مقاله‌نامه





ارائه‌های شفاهی

سی امین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران

و شانزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران

دانشگاه دامغان

۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

مطالعه پخش محلول‌های شفاف‌سازی نوری در بافت پوست موش

الهه دهقانی چم پری، محمدعلی انصاری*

Ellahedehghani@gmail.com, m_ansari@sbu.ac.ir

چکیده - یافتن یک روش تشخیص پزشکی کارآمد، ایمن و کم هزینه یکی از اهداف مهم در زمینه‌های تحقیقاتی است. اما علیرغم تمامی مزایا، استفاده از روش‌های تصویربرداری نوری در تشخیص پزشکی در محیط‌های پراکنده مانند بافت‌های بیولوژیکی از وضوح و نفوذ بسیار کمی برخوردار است. بنابراین، محققان به دنبال راه‌هایی برای کاهش خواص پراکندگی بافت و در نتیجه افزایش وضوح تصویر هستند. مفهوم شفاف‌سازی نوری برای این منظور معرفی شده است. شفاف‌سازی نوری بافت، پتانسیل زیادی در بهبود عملکردهای مختلف تصویربرداری نوری نشان داده است. در این کار از سه ماده شفاف‌کننده نوری گلوکز، ساکارز و گلیسرول استفاده شده است. ابتدا گلوکزو ساکارز را در محلول های ۴۰ و ۶۰ درصد آماده کرده و سپس با گلیسرول ۱۰۰ درصد در نسبت‌های مختلف مخلوط می‌کنیم. پس از بررسی و آزمایش به ۲ محلول شفاف‌ساز نوری بهینه رسیدیم. استفاده از روش عبور و بازتاب موازی برای بررسی تغییرات ناشی از عوامل شفاف‌ساز نوری در عملکرد تصویربرداری، خواص نوری بافت و نفوذپذیری استفاده شد. ضریب تضعیف کل، میزان ضریب انتشار و همچین تغییرات زمانی ضریب انتشار در طی این مطالعه اندازگیری شده‌است و مقادیر آن گزارش شده. همچنین محلول بهینه با شرایط مطلوب معرفی شده است.

کلید واژه- شفاف‌سازی نوری، گلیسرول، ضریب تضعیف کل، ضریب انتشار، تغیرات زمانی ضریب انتشار

Study of clearing agent diffusion in rat skin tissue

Elahe Dehghani Champari, *Mohammad Ali Ansari

Ellahedehghani@gmail.com, m_ansari@sbu.ac.ir

Abstract- Finding an efficient, safe and low-cost medical diagnosis method is one of the important goals in research fields. But despite all the advantages, the use of optical imaging methods in medical diagnosis in scattered environments such as biological tissues have very little clarity and penetration. Therefore, researchers are looking for ways to reduce the scattering properties of the tissue and thus increase the resolution of the image. The concept of Optical clearing has been introduced for this purpose. Optical clearing of tissue has shown great potential in improving various optical imaging functions. In this work, three optical brighteners, glucose, sucrose and glycerol, have been used. First, glucose and sucrose are prepared in 40% and 60% solutions and then mixed with 100% glycerol in different proportions. After checking and testing, we reached 2 optimal optical clarifying solutions. The use of parallel transmission and reflection method was used to investigate the changes caused by optical brightening agents in imaging performance, tissue optical properties and permeability. The total attenuation coefficient, the amount of the diffusion coefficient and the time changes of the diffusion coefficient were measured during this study and their values were reported. Also, the optimal solution with favorable conditions has been introduced.

Keywords: optical clearing, Glycerol, Total attenuation coefficient, diffusion coefficient, Temporal variations of diffusion coefficient

مقدمه

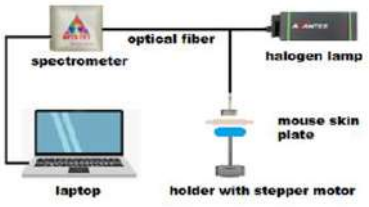
امروزه فوتونیک زیست پزشکی نقش بسزایی در تحقیقات تشخیص نوری، تصویربرداری زیست پزشکی، لیزر درمانی و غیره دارد [۱]. این روش تشخیص و درمان بیماری‌های مختلف نسبتاً ارزان و برای سلامت بیماران بی‌خطر است [۲]. یکی از محدودیت‌های تکنیک‌های نوری کنونی این است که عمق نفوذ نور در بافت‌های بیولوژیکی به دلیل ماهیت بسیار پراکنده آنها محدود است. پراکندگی و جذب چندگانه مسئول گسترش و میرایی نهایی پرتو نور در حین حرکت در بافت است [۲]. روش‌های متعددی برای افزایش عمق کاوش بافت ایجاد شده‌است [۳]. علاقه به روش‌های شفاف‌سازی نوری به طور دائم در حال رشد است که ناشی از پیشرفت فناوری‌های نوری و لیزر برای کاربرد در زیست شناسی و پزشکی است. روش موثری که باعث افزایش عمق کاوش و کیفیت تصویر ساختارهای بینابینی و در نتیجه افزایش نفوذ نور در بافت‌های بیولوژیکی می شود، استفاده از عوامل شفاف کننده نوری است [۵-۳]. مفهومی که توسط توچین پیشگام شد [۲]. این عوامل، پراکندگی از طریق ضریب شکست را به دو طریق کاهش می دهند. یک مورد صرفاً با تطبیق ضریب شکست عامل شیمیایی با اجزای اصلی بافت است. مورد دوم کم آبی بافت است که به دلیل خاصیت اسمزی این عوامل است که منجر به از دست رفتن آب از فضای بینابینی می شود [۵]. یک OCA باید نیاز به غیر سمی بودن را برای ایجاد عوارض جانبی هنگام استفاده بر روی بافت‌های زیستی برآورده کند [۱]. عوامل شیمیایی هیپراسموتیک مانند گلیسرول، DMSO، PG، مانیتول، گلوکز و ... از جمله عوامل مورد استفاده در این تکنیک هستند [۲]. در این کار پس از بررسی درصدهای مختلف محلول های قندی و ترکیب آنها با گلیسرول، به ۲ محلول شفاف‌کننده نوری رسیدیم که باعث شفافیت در بافت پوست شد. با این حال، ما دقت این کار را با استفاده از روش نوری مانند عبور و بازتاب موازی بررسی کرده‌ایم. هدف از این کار توضیح یک اصل مفید برای توسعه عوامل شفاف‌کننده نوری جدید با راندمان بالا و غیر سمی و همچنین بهبود تصویربرداری نوری است.

مواد

این مطالعه آزمایشگاهی بر روی ۱۸ نمونه پوست موش Balb C با وزن ۱۲-۹ گرم و ۶ هفته انجام شد. قبل از انجام آزمایش‌ها، با استفاده از دستگاه موزر و تیغه جراحی، مو از پوست حیوان برداشته، قطعات نمونه به ابعاد تقریبی ۲۰*۱۰ میلی متر با قیچی جراحی از نمونه‌های پوست جدا شده و لایه چربی زیر پوست تا حد امکان برداشته شده است. از گروه قندی ساکارز (گرید میکروبیولوژی) با وزن مولکولی ۳۴۲.۳ گرم در مول، گلوکز با وزن مولکولی ۱۸۰.۱۵۶ گرم در مول و گلیسرول با وزن مولکولی ۹۲.۱ گرم در مول با ویسکوزیته ۱۱ میلی پاسکال در ثانیه، به‌عنوان عوامل‌شفاف‌کننده استفاده شد. محلول‌های ۴۰ و ۶۰ درصد از هر یک از گروه قندی ذکر شده و آب مقطر تهیه و با گلیسرول ۱۰۰درصد به نسبت های ۱، ۲ و ۳ مخلوط شدند تا پس از آزمایش بر روی نمونه‌های پوست، محلول بهینه از بین ۱۲ محلول ساخته شده به دست آید. ضریب شکست محلول های شفاف کننده نوری با یک انکسارسنج (Schmidt , Haensch ATR-W2) و در طول موج (۵۸۹ نانومتر) اندازه گیری شد. ضرایب شکست ۲ محلول بهینه در جدول ۱ گزارش شده است.

روش انجام آزمایش

طیف بازتاب و عبور بافت پوست موش با استفاده از پروب بازتاب و عبور (Avantes-FCR-7UVIR200-2-ME) در محدوده طول موج ۵۰۰-۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. چیدمان این روش در شکل۱ آورده شده است.



شکل۱: چیدمان مورد استفاده برای اندازه‌گیری بازتاب و عبور موازی

تغییرات زمانی ضریب انتشار (τ) و ضریب انتشار در طی شفاف‌سازی نوری بافت پوست طبق روابط (۱) و (۲) و همچنین ضریب تضعیف کل با رابطه (۳) با استفاده از عبور موازی محاسبه شده است [۶].

$$\tau = \frac{-t}{\ln(1-T_c)} \qquad (۱)$$

$$D_a = \frac{4d^2}{\pi^2 \tau} \qquad (۲)$$

$$\mu_t = \frac{\ln(T_c)}{d} \qquad (۳)$$

جدول۱: ضریب شکست محلول‌های شفاف‌کننده نوری در طول موج ۵۸۹ نانومتر.

OCA	N
Glo60% + Gly100% (3:7)	1.459
Suc60% + Gly100% (1:9)	1.462

جدول ۲: ضریب تضعیف کل قبل و بعد از ۴۵ دقیقه شفاف‌سازی

Time	OCA	$\Delta d(cm)$	$\mu_t(cm^{-1})$
Before	Glo60%+Gly100% (3:7)	0.002	45.541±0.170
After 45			24.605±0.156
Before	Suc60%+Gly100% (1:9)	0.04	35.903±0.135
After 45			18.556±0.018

جدول۳: ضریب تضعیف کل قبل و بعد از ۶۰ دقیقه شفاف‌سازی

Time	OCA	$\Delta d(cm)$	$\mu_t(cm^{-1})$
Before	Glo60%+Gly100% (3:7)	0.04	61.670±0.146
After60			25.941±0.251
Before	Suc60%+Gly100% (1:9)	0.01	39.421±0.007
After 60			22.753±0.040

جدول۴: تغییرات زمانی ضریب انتشار پس از۴۵ دقیقه شفاف‌سازی

Time	OCA	$\Delta d(cm)$	$\tau(min)$
Before	Glo60%+Gly100% (3:7)	0. 0.002	-
After45			90.486±0.707
Before	Suc60%+Gly100% (1:9)	0.04	-
After 45			176.760±0.073

جدول۵: تغییرات زمانی ضریب انتشار پس از ۶۰ دقیقه شفاف‌سازی

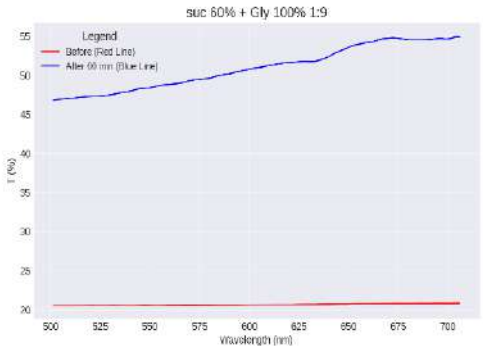
Time	OCA	$\Delta d(cm)$	$\tau(min)$
Before	Glo60%+Gly100% (3:7)	0.04	-
After60			138.610 ± 1.793
Before	Suc60%+Gly100% (1:9)	0.01	-
After 60			85.679 ± 0.150

جدول۶: ضریب انتشار پس از ۴۵ دقیقه شفاف‌سازی

Time	OCA	$\Delta d(cm)$	$D_a(cm^2/min)$
Before	Glo60%+Gly100% (3:7)	0.002	-
After45			$6.48210^{-6} \times 5.01010^{-8}$
Before	Suc60%+Gly100% (1:9)	0.04	-
After 45			$3.67210^{-6} \times 1.50810^{-9}$

جدول۷: ضریب انتشار پس از ۶۰ دقیقه شفاف‌سازی

Time	OCA	$\Delta d(cm)$	$D_a(cm^2/min)$
Before	Glo60%+Gly100% (3:7)	0.04	-
After45			$4.74310^{-6} \times 6.07110^{-8}$
Before	Suc60%+Gly100% (1:9)	0.01	-
After 45			$7.63410^{-6} \times 1.35810^{-8}$



نمودار۱: طیف عبور نور قبل و بعد از ۶۰ دقیقه شفاف‌سازی با محلولSuc60%+Gly100% 1:9


شکل۲: نمونه قبل از شفاف‌سازی


شکل۳: نمونه بعد از ۶۰شفاف‌سازی با محلولSuc60%+Gly100% 1:9

نتیجه‌گیری

با استفاده از مجموعه آزمایشی ارائه شده در جدول‌های۲ تا ۷ ما عبور و بازتاب موازی را در نمونه‌های با محلول‌هایی با غلظت‌های متفاوت گروه قندی(ساکارز و گلوکز) با گلیسرول اندازه‌گیری کرده‌ایم. نتایج عبور نور در نمودار۱ برای محلول بهینه ما در ۶۰دقیقه آمده است. همانطور که از نمودار عبور مشاهده می‌شود به‌طور کلی پس از شفاف‌سازی میزان عبور نور افزایش یافته که بیانگر آن است که محلول توانایی کاهش ذرات پراکندگی را داشته و نور به میزان بیشتری در بافت پوست نفوذ کرده است. سایر پارامترهای نوری نیز با استفاده از فرمول‌هایی که در بالاتر معرفی شده بدست آمده‌اند. تمامی نتایج در دو زمان ۴۵ و ۶۰ دقیقه گزارش شده‌است. در جدول-های۴و ۵ تغییرات زمانی ضریب انتشار برای هر دو محلول آورده شده. این میزان برای محلول suc60%+gly100% 1:9 در ۶۰ دقیقه پس از شفاف‌سازی در حدود ۸۵دقیقه است. که در مقایسه با شفاف‌سازی همین محلول در ۴۵دقیقه و همچنین در مقایسه با محلول glo60%+gly100% 3:7 مدت زمان کمتری برای انتشار در بافت نیاز دارد و این به دلیل توانایی مطلوب این اجزا این محلول در شفاف‌سازی بافت پوست است. اندازه‌گیری زمان ضریب انتشار و به دنبال آن ضریب انتشار معیاری از میانگین نرخ تبادل کل مایع هیپراسموتیک (محلول شفاف‌کننده) به بافت و آب از بافت است. مقدار بزرگتر ضریب انتشار محلول‌های شفاف‌کننده کارایی بالاتر شفاف‌ساز نوری بافت را تضمین نمی‌کند. میزان تغییرات زمانی ضریب انتشار نیز می‌تواند به غلظت محلول شفاف نیز مرتبط باشد. ویسکوزیته محلول‌های شفاف‌سازی نیز در سرعت انتشار آن‌ها و به تبع آن زمان ضریب انتشار می‌تواند مرتبط باشد. همچنین میزان آب میان بافتی و آب موجود در محلول‌های شفاف‌ساز نیز عامل دیگر در تعیین زمان ضریب انتشار محلول می‌تواند باشد. همچنین کاهش ضریب تضعیف کل پس از استفاده از محلول شفاف‌ساز به خوبی قابل مشاهده است. که آن را میتوان به توانایی محلول‌ها در کاهش پراکندگی ذرات موجود در بافت پوست نسبت داد. همانطور که از جدول۲ ملاحظه می‌شود در ۶۰دقیقه پس از شفاف-سازی میزان ضریب تضعیف کل به‌طور قابل توجهی کاهش یافته این نسبت استفاده شده برای این محلول مقدار بهینه ای بوده‌است و از میان سایر نسبت‌ها انتخاب شده‌است. همچنین به‌صورت ظاهری می‌توان تاثیر آن را در شفاف‌سازی در شکل۳ که ۶۰ دقیقه پس از شفاف‌سازی است مشاهده کرد.

مرجع‌ها

[1] X. Jin *et al.*, “Study of the inhibition effect of thiazone on muscle optical clearing,” *J. Biomed. Opt*, vol. 21, no. 10, p. 105004, Oct. 2016, doi: 10.1117/1.JBO.21.10.105004.

[2] Y. He and R. K. Wang, “Dynamic optical clearing effect of tissue impregnated with hyperosmotic agents and studied with optical coherence tomography,” *J. Biomed. Opt.*, vol. 9, no. 1, p. 200, 2004, doi: 10.1117/1.1629682.

[3] E. A. Genina, A. N. Bashkatov, Y. P. Sinichkin, I. Yu. Yanina, and V. V. Tuchin, “Optical clearing of biological tissues: prospects of application in medical diagnostics and phototherapy,” *JBPE*, vol. 1, no. 1, pp. 22–58, Mar. 2015, doi: 10.18287/JBPE-2015-1-1-22.

[4] E. A. Genina, A. N. Bashkatov, M. D. Kozintseva, and V. V. Tuchin, “OCT Study of Optical Clearing of Muscle Tissue in vitro with 40% Glucose Solution,” *Opt. Spectrosc.*, vol. 120, no. 1, pp. 20–27, Jan. 2016, doi: 10.1134/S0030400X16010082.

[5] W. P. Chen *et al.*, “A KINEMATIC AND PHOTOMETRIC STUDY OF THE GALACTIC YOUNG STAR CLUSTER NGC 7380,” *The Astronomical Journal*, vol. 142, no. 3, p. 71, Sep. 2011, doi: 10.1088/0004-6256/142/3/71.

[6] V. V. Tuchin, D. Zhu, and E. A. Genina, *Handbook of Tissue Optical Clearing: New Prospects in Optical Imaging*, 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 2021. doi: 10.1201/9781003025252.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

آنالیز عنصری سنگ کلیه با استفاده از روش بیناب‌نگاری فروشکست القایی لیزری

رضوان بابامیر[۱]، محمدعلی حداد[۱و۲]، سید حسن توسلی[۳]، ابوالفضل ساجدی[۱]، سراج‌الدین وحیدی مهرجردی[۴]

[۱]دانشکده فیزیک دانشگاه یزد، صفائیه، بلوار دانشگاه، یزد.

[۲]گروه پژوهشی فوتونیک، آزمایشگاه تحقیقاتی بیناب‌نگاری لیزری، دانشگاه یزد، صفائیه، بلوار دانشگاه، یزد.

[۳]پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، میدان شهید شهریاری، اوین، تهران.

[۴]بخش اورولوژی بیمارستان شهید رهنمون، خیابان فرخی، یزد.

Rezvanbabamir74@gmail.com, mahaddad@yazd.ac.ir, h-tavassoli@sbu.ac.ir, Sajedi.abolfazl.1994@gmail.com, Vahidi.seraj@gmail.com

چکیده – در این پژوهش، نمونه‌های گوناگون سنگ سیستم ادراری با استفاده از روش بیناب‌نگاری فروشکست القایی لیزری (LIBS) مورد تجزیه و تحلیل عنصری قرار گرفته‌اند. در آرایه انتخابی در روش بیناب‌نگاری، از لیزر Q-سوئیچ Nd:YAG در طول‌موج ۱۰۶۴nm برای تولید پلاسمای القایی و ثبت خطوط بینابی استفاده شده است. عناصری همچون Ca، Fe، Na، Ti، Cu، Si، Al، Cr، Mg، Ar، Sr، Mn، Ba و Mo در غالب نمونه‌های مورد بررسی مشاهده می شوند.

کلید واژه- اورولوژی، آنالیز عنصری، بیناب‌نگاری فروشکست القایی، پلاسما، سنگ کلیه.

Elemental Analysis of Kidney Stones using Laser Induced Breakdown Spectroscopy technique

Rezvan Babamir[1], Mohammad Ali Haddad[1,2], Seyed Hassan Tavassoli[3], Abolfazl Sajedi[1], Serajuddin Vahidi[4]

[1]Department of Physics,Yazd University, Yazd, Iran.
[2]Photonic Research Group, Laser Spectroscopy Research Laboratory, Yazd University, Yazd, Iran.
[3]Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
[4]Department of Urology, Shahid Rahhnemoun Hospital, Farrokhi Street, Yazd, Iran.

Abstract- In this study, different samples of urinary system stones were analyzed using the laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) method for elemental analysis. In our experimental setup, a Q-switched Nd:YAG laser with a wavelength of 1064 nm is used to generate induced plasma and record the emission line from the samples. Elements such as Ca, Fe, Na, Ti, Cu, Si, Al, Cr, Mg, Ar, Sr, Mn, Ba, and Mo are found in the majority of the analyzed samples.

Keywords: Analysis of Elements, Kidney Stone, Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS), Plasma, Urology.

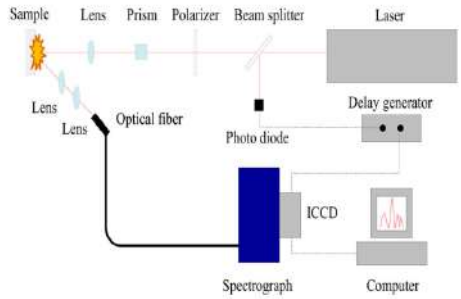
مقدمه

سنگ کلیه یک بیماری شایع مولتی‌فاکتوریال است که بروز آن در بیماران یک علت واحد و مشخصی ندارد؛ اما عواملی وجود دارد که احتمال بروز آن را بیشتر می‌کند. به‌طورکلی، افزایش غلظت برخی مواد در ادرار منجر به رسوب آن‌ها و ایجاد ساختارهای بلوری در کلیه، مثانه و حالب بیماران می‌گردد. اولین قدم برای پی بردن به علت تشکیل سنگ‌های سیستم ادراری و درنهایت درمان و پیشگیری از تشکیل دوباره‌ی آن، آنالیز اجزای تشکیل‌دهنده‌ی سنگ است. امروزه از روش‌های بسیاری برای آنالیز سنگ مجاری ادراری استفاده می‌شود که ازجمله مرسوم‌ترین آن‌ها می‌توان به آنالیز شیمیایی (Qualitative Wet Chemical Analysis)، انکسار امواج X-ray تابیده شده به اجزا کریستالی سنگ (X-ray Diffraction)، بیناب‌نگاری فلورسانس پرتو ایکس (XRF)، بیناب‌نگاری مادون‌قرمز (Infrared Spectroscopy)، بیناب‌نگاری فلورسانس پرتو ایکس (XRF)، بیناب‌نگاری پراش انرژی پرتو ایکس (SEM-EDAX) و بیناب‌نگاری فروشکست القایی لیزری LIBS در تشخیص عناصر تشکیل‌دهنده سنگ اشاره داشت؛ که در این میان می‌توان از بیناب‌نگاری فروشکست القایی لیزری LIBS به‌عنوان روشی نوین یاد کرد [۱]. بیناب‌نگاری فروشکست القایی لیزری (LIBS)، یک روش بیناب‌نگاری گسیل اتمی است که با متمرکز کردن تپ لیزر روی ماده و برخورد نور لیزر با ماده حجم بسیار کوچکی از آن کنده شده و تشکیل یک پلاسمای ناپایدار و داغ می‌دهد. عناصر موجود در پلاسما پس از سرد شدن، بیناب‌های نشری مخصوص به خود را ساطع می‌کنند. نور گسیلی از پلاسما به‌وسیله یک بیناب‌نگار به مؤلفه‌های طول موجی تجزیه شده و به وسیله‌ی آشکارساز ثبت می‌شود که با پردازش این طول‌موج‌ها می‌توان به اطلاعاتی در مورد مقدار و نوع عناصر موجود در نمونه‌ی مذکور پی برد. ازجمله مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های مرسوم می‌توان به عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه، سرعت و دقت بالا و تشخیص عناصر کمیاب اشاره کرد؛ همچنین مقدار کمی از نمونه برای تجزیه‌وتحلیل موردنیاز است و نمونه پس از بیناب‌نگاری آلوده نمی‌شود [۲ و ۳]. در پژوهشی در سال ۲۰۰۹ از بیناب‌نگاری شکست ناشی از لیزر (LIBS) برای تخمین اجزای عنصری توزیع شده در قسمت‌های مختلف سنگ سیستم ادراری استفاده شد. عناصر Ca، Mg، Mn، Cu، Fe، Zn، Sr، Na، K، C، H، N، O، P، S و Cl شناسایی شد [۲]. در پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۲ سنگ‌های کلیه با استفاده از (LIBS)، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. از روش‌های پراش اشعه‌ایکس (XRD) و فلورسانس اشعه ایکس (XRF) برای تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای استفاده شد. مشخص شد که نسبت هیدروژن به کربن یک شاخص مهم برای ترکیبات آلی مانند اسیداوریک است. عناصر جزئی رایج مشاهده شده در سنگ‌کلیه شامل P، S، Si، Ti، Zn هستند [۳].

در این مقاله، به منظور آنالیز عنصری درون-اندامی سنگ‌های کلیه، مثانه و حالب و دسته‌بندی آن‌ها، استفاده از بیناب‌نگاری فروشکست القایی لیزری مورد امکان سنجی قرار گرفته شده است. در فاز اولیه این پروژه، ۱۰ نمونه از سنگ‌های کلیوی از بیماران جمع‌آوری‌شده و مورد ارزیابی عنصری قرار گرفته شد.

روش انجام آزمایش

حدود ۴۰ نمونه از سنگ‌های رسوبی سیستم ادراری شامل: سنگ‌های کلیوی، حالب و مثانه توسط جراحان متخصص به روش جراحی از بدن بیماران زن و مرد با رده‌های سنی متفاوت خارج شد و برای تجزیه و تحلیل مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. شکل ۱، آرایه آزمایشگاهی ثبت بیناب‌های مربوط به هر نمونه با استفاده از روش بیناب‌نگاری فروشکست القایی لیزری را نشان می‌دهد.



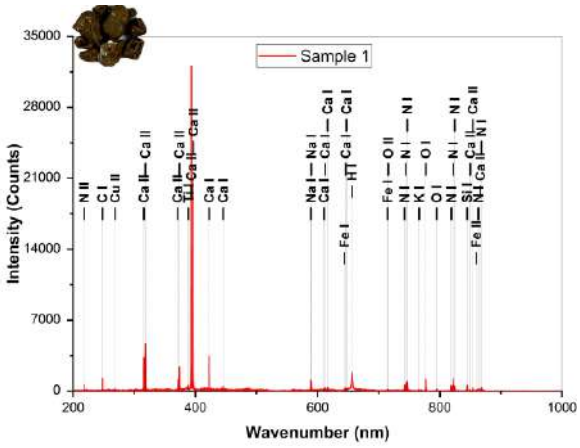
شکل ۱: چیدمان آزمایشگاهی بیناب‌نگاری فروشکست القایی[۴]

در چیدمان شکل ۱، از یک لیزر تپی Nd:YAG (Q-Switch) با طول موج ۱۰۶۴ nm، فرکانس ۱۰Hz و انرژی ۷۵ mJ بر پالس، یک روزنه که نور را هدایت می‌کند، دو لنز با فواصل کانونی ۴ (cm) و ۱/۵ (cm) برای تجمیع نور لیزر برروی نمونه و برای ایجاد پلاسما استفاده شده است. سپس تابش‌های پلاسما توسط سیستم اپتیکی جمع‌آوری شده و به‌منظور تفکیک طول موجی توسط یک فیبر نوری به بیناب‌نگار فرستاده شد. از آنجایی که تابش نور لیزر روی سطح نمونه، سبب کنده شدن مقدار بسیار کمی از نمونه می‌شود؛ به‌منظور برطرف‌شدن

آلودگی شامل ادرار، خون و گردوغبار، بیناب نشری حاصل از تابش دو تپ اول در تحلیل داده‌ها درنظر گرفته نشده و بیناب نهایی از میانگین پنج تپ متوالی بعدی حاصل شده است. همچنین به کمک یک دوربین ICCD، نور تابشی از پلاسما با تاخیر ۱ µs پس از تابش آخرین تپ لیزری ثبت شده است. در چیدمان یادشده، محل قرارگیری فیبر نوری نسبت به نمونه در حالت تقریباً عمودی تنظیم شده است. این چیدمان باعث می‌شود که بیشینه تابش ناشی از فرایند فروشکست القایی توسط فیبر نوری تجمیع و برای تحلیل به بیناب‌نگار ارسال شود.

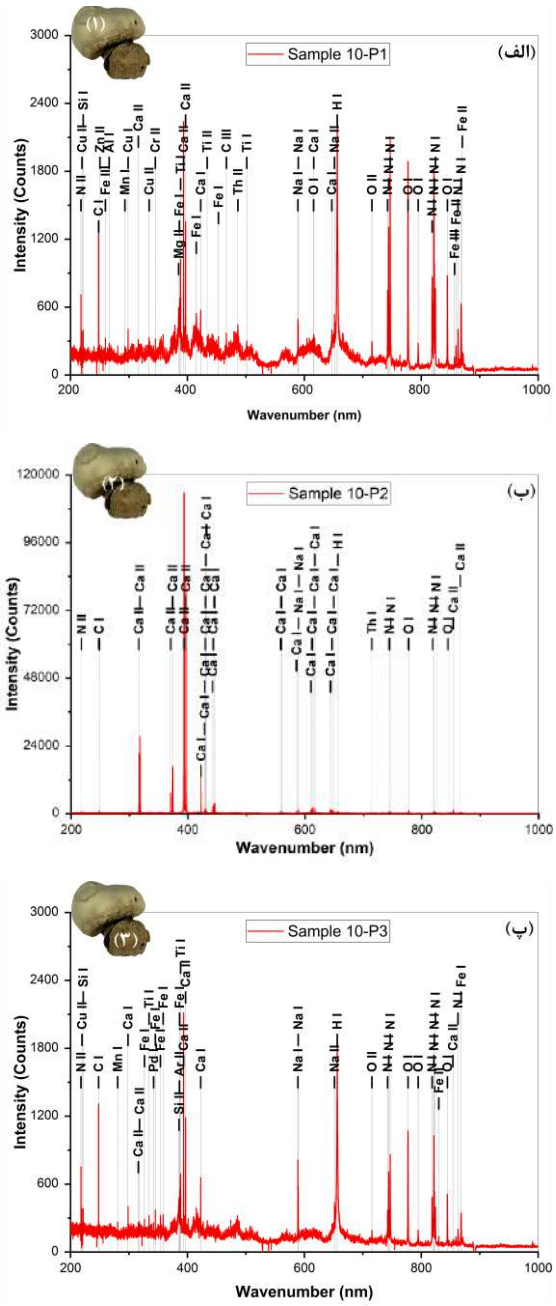
نتایج

در این تحقیق ابتدا ۵ نمونه منتخب از سنگ‌های سیستم ادراری با شکل ظاهری تقریباً یکنواخت انتخاب شدند. پس از تجمیع نور حاصل از پلاسما و ثبت آن در بیناب‌نگار، بیناب هر نمونه در بازه‌ی طول‌موجی ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر ثبت شد. آشکارا هر کدام از این بیناب‌های ثبت شده قله‌های نشری متعددی را شامل می‌شود که بیانگر وجود عناصر مختلفی در نمونه سنگ است. شکل ۲ بیناب ثبت شده نوعی از یک سنگ کلیه را نشان می‌دهد. از دو وب‌گاه NIST LIBS Database و Atometrace، خطوط نشری مشاهده شده در بیناب‌های ثبت شده مورد بررسی قرار گرفت [۵و۶].



شکل ۲: نمودار LIBS نمونه شماره ۱ همراه با مشخصه‌یابی عنصری

در مرحله دوم، ۵ نمونه سنگ سیستم ادراری دیگر با شکل ظاهری ناهمگون انتخاب شدند و در نقاط و حالت‌های مختلف بر روی آن‌ها تابش‌دهی انجام شد و بیناب هر نمونه در بازه‌ی طول‌موجی ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر ثبت گردید. با مقایسه بیناب های ارائه شده در ۳ قسمت مختلف یک نمونه سنگ کلیه در شکل ۴، مشخص است که مقدار و نوع عناصر تشکیل دهنده هر ۳ قسمت کاملاً با هم متفاوت است.



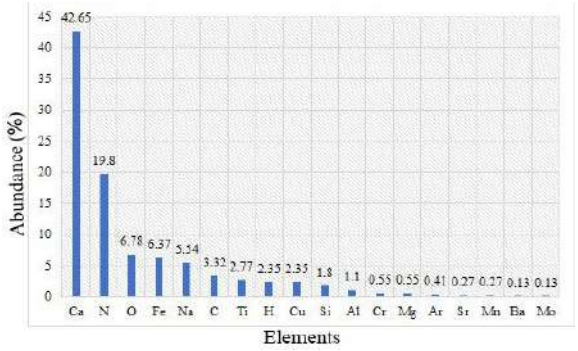
شکل ۴: الف) نمودار LIBS سطح بیرونی (۱) سنگ کلیه ب) نمودار LIBS قسمت میانی (۲) سنگ کلیه پ) نمودار LIBS سطح بیرونی (۳) سنگ کلیه

همانطور که مشاهده می‌شود در سطح بالایی (۱) سنگ سهم عمده ای N و پس از آن Ca، O، Fe و عناصر متعدد دیگر به مقدار کمتری موجود است؛ اما در قسمت میانی (۲) سنگ بالغ بر ۵۰ درصد از قله‌ها به عنصر Ca تعلق دارد و عناصر دیگر سهم بسیار کمتری نسبت به Ca دارند، همچنین تنوع عناصر در قسمت میانی سنگ نسبت به پوسته خارجی سنگ بسیار کمتر است. در سطح پایینی (۳) سنگ، عمده سنگ از عناصر N، Ca و Fe تشکیل شده و دیگر عناصر تشکیل دهنده سهم کمتری دارند. همچنان تنوع عناصر این قسمت نسبت به قسمت میانی

سنگ بیشتر است. می‌توان به این نکته پی برد که بیناب قسمت میانی با بیناب سطوح بیرونی سنگ کاملاً متفاوت است و مراحل رسوب این ۳ قسمت سنگ با هم متفاوت است و احتمالاً یا گذر زمان و رسوب ترکیبات جدید به یکدیگر چسبیده اند.

مطابق شکل ۵، با به دست آوردن درصد فراوانی قله‌های مشاهده شده برای هر عنصر و برای تمام ۱۰ نمونه‌ی مورد بحث، واضح است که درصد بالایی از سنگ‌های سیستم ادراری از Ca و N تشکیل شده‌است و بقیه عناصر سهم کمتری در تشکیل سنگ کلیه و مجرای ادراری دارند.

در تمام نمونه‌های سنگ کلیه، سنگ مثانه و سنگ حالب تعدادی از قله‌ها مانند Ca در ۳۱۵/۸۹، ۳۱۷/۹۳، ۳۹۳/۳۷، ۳۹۶/۸۵ و ۴۲۲/۶۷ نانومتر، Na در ۵۸۹ و ۵۸۹/۵۹ نانومتر، H در ۶۵۶/۲۸ نانومتر و N در ۷۴۲/۳۶، ۷۴۴/۲۳ و ۷۴۶/۸۳ نانومتر مشاهده شد [۶].



شکل۵. نمودار درصد فراوانی خطوط نشری عناصر ۱۰ نمونه سنگ سیستم ادراری

نتیجه‌گیری

قله‌های مشخص شده در بیناب‌ها نماینده عناصر مختلف مربوط به ترکیب نمونه‌ها است. تمام عناصر موجود در نمونه‌ها از تجزیه و تحلیل بینابی با استفاده از پایگاه داده مؤسسه ملی استاندارد و فناوری (NIST) شناسایی شدند. عناصر شناسایی شده Ca، Fe، Na، Ti، Cu، Si، Al، Cr، Mg، Ar، Sr، Mn، Ba و Mo هستند. عناصر آلی مانند N، O، C و H نیز شناسایی شدند، که شناسایی این عناصر با سایر روش‌های مرسوم مانند XRF و ICP-MS دشوار است. وجود این عناصر به وضوح نشان می‌دهد که ترکیبات تشکیل‌دهنده سنگ کلیه، ترکیبات معدنی و آلی هستند. سنگ‌های کلسیمی شایع‌ترین نوع سنگ‌های سیستم ادراری هستند که به دو شکل عمده اگزالات کلسیم و فسفات کلسیم رخ می‌دهند. اگزالات یک نمک ارگانیک با فرمول شیمیایی C_2O_4 است. وجود قله‌های بسیار زیاد Ca و یون‌های C و O و عدم وجود P در طیف LIBS در اکثر نمونه‌های مورد مطالعه این واقعیت را تایید می‌کند ترکیب عمده سنگ‌ها اگزالات کلسیم است. وجود یون‌های Ca و Mg در برخی نمونه‌ها نشان دهنده‌ی ترکیب احتمالی دولومیت در سنگ با فرمول شیمیایی ($CaMg(CO_3)_2$) است. سنگ‌های اوریک اسیدی دارای ترکیبات آلی غیرنمکی با فرمول شیمیایی $C_5H_4N4O_3$ هستند که وجود یون‌های آلی در نمونه‌ها بیانگر وجود این سنگ‌ها است. خطوط انتشار Ca و Na در بیناب LIBS نشان می‌دهد که ترکیب اصلی سنگ‌ها می‌تواند مخلوطی از اگزالات کلسیم و اورات سدیم باشد. Cr فلزی سنگین و سمی است که خطوط انتشار اندکی از آن در برخی نمونه‌ها دیده شد. پی بردن به عناصر و ترکیبات و نحوه‌ی تشکیل سنگ حائز اهمیت است و بر این اساس نفرولوژیست‌ها ممکن است روش‌های ایمن‌تری را برای جلوگیری از عود سنگ برنامه‌ریزی کنند.

مرجع‌ها

S. R. Khan, M. S. Pearle, W. G. Robertson, G .Gambaro, B. K. Canales, S. Doizi, O. Traxer, and H. G. Tiselius, “ Kidney stones,” N Disease primers. 2(1), pp. 1-23, 2016.

V. K. Singh, A. K. Rai, P. K. Rai, and P. K. Jindal, “Cross-sectional study of kidney stones by laser-induced breakdown spectroscopy,” J. L. Med. Sci. 24, pp. 749, 2009.

B. G. Oztoprak, J. Gonzalez, J. Yoo, T. Gulecen, N. Mutlu, R. E. Russo, O. Gundogdu, and A. Demir, “Analysis and classification of heterogeneous kidney stones using laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS),” Appl. Spec. 66, pp. 1353, 2012.

M. Bahreini, Z. Hosseinimakarem, and S. H. Tavassoli, “A study of association between fingernail elements and osteoporosis by laser-induced breakdown spectroscopy,” JAP. 112.5, pp. 054701, 2012.

https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/LIBS/libs-form.html.2023.

https://www.atomtrace.com/.1997.2023.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

تسریع اثر بخشی نانوامولسیون دارویی بر باکتری استافیلوکوکوس اورئوس توسط به دام‌اندازی نوری و نوردهی توسط پالس‌های فمتوثانیه

نسترن کهراریان[۱]، آتوسا سادات عربانیان[۱]، زینب مرادی الوند[۲]، حسن رفعتی[۲]، رضا مسعودی[۱]

[۱] پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران[۱].

[۲] پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه‌ی دارویی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران[۲]

[۳] n.kahrarrian@Mail.sbu.ac.ir, a_arabanian@sbu.ac.ir zmoradialvand94@gmail, h_rafati@sbu.ac.ir, R-massudi@sbu.ac.ir

چکیده – ایجاد تغییرات ساختار سطحی سلول در اثر روش‌های مخرب همچون دارو یا مواد شیمیایی و روش‌های غیرمخرب نظیر نوردهی توسط نور لیزر، در حوزه‌ی زیست‌شناسی سلولی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. نوردهی سلول توسط پالس‌های لیزری فمتوثانیه می‌تواند نفوذپذیری دارویی آنها را بدون تخریب حرارتی افزایش دهد. در این مقاله با به دام‌اندازی نوری باکتری (Staphylococcus aureus) تغییرات ساختاری آن در حضور ماده دارویی و تحت تابش پالس‌های لیزری فمتوثانیه به مدت ۲۰ دقیقه مشاهده و ثبت می‌شود. همچنین نشان داده می‌شود به کمک نوردهی توسط پالس‌های لیزری فمتوثانیه اثربخشی ماده‌ی دارویی تسریع می‌گردد.

کلید واژه- انبرک نوری، باکتری، پالس‌های فمتوثانیه، غشاء سلول.

Accelerating the efficacy of pharmaceutical nanoemulsion on Staphylococcus aureus bacteria by optical trapping and exposure by femtosecond pulses

Nastaran Kahrarian[1], Atoosa Sadat Arabanian[1], Zinab Moradi Alvand[2], Hasan rafati[2], Reza Massudi[1]

[۴] Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran[1]

[۵] Research Institute of Medicinal Plants and Raw Materials, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran[2]

Abstract- Creating changes in the surface structure of the cell due to destructive methods such as drugs or chemicals and non-destructive methods such as exposure by laser light has received much attention in the field of cell biology. Exposure of cells by femtosecond laser pulses can increase their drug permeability without thermal destruction. In this article, by optical trapping of bacteria (Staphylococcus aureus), its structural changes are observed and recorded in the presence of medicinal substance and under the radiation of femtosecond laser pulses for 20 minutes. It is also shown that with the help of exposure by femtosecond laser pulses, the effectiveness of the medicinal substance is accelerated.

Keywords: Optical Tweezer, bacteria, femtosecond laser pulses, cell membrane.

مقدمه

هر سلول زیستی به منظور حفظ بقای خود نیازمند تبادل مواد ضروری با محیط خارج از خود است[۱]. غشای سلولی این وظیفه را بر عهده دارد. از این ویژگی می‌توان در انتقال دارو و یا مواد شیمیایی به داخل سلول، جهت تغییرات ژنتیکی، درمان سلولی، اختلال در روند تکثیر و...، بهره برد. از این‌رو دانشمندان در پی روش‌هایی جهت دستکاری لایه‌ی غشایی به منظور انتقال هرچه بیشتر مواد خارج از محیط سلولی به داخل آن هستند.

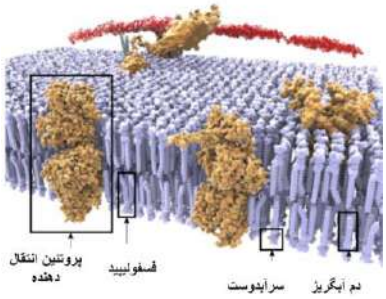
از میان روش‌های کاربردی در این زمینه می‌توان به تابش پالس-های لیزری فمتوثانیه بر سطح غشا سلولی اشاره کرد[۲]. لیزرهای فمتوثانیه (fs) در ناحیه طیفی مادون قرمز نزدیک، مزایای مهمی از جمله جذب کم توسط آب و داشتن انرژی فوتون پایین، را دارند. پالس‌های فوق کوتاه با انرژی تک پالس در حدود نانوژول و یا کمتر هنگام نوردهی نمونه‌های زیستی، آسیب‌های نوری و حرارتی کمتری را برای سلول، به همراه خواهند داشت. این پالس‌ها با ایجاد منافذ کوچک در حد میکرون در سطح سلول، مسیر ورود مواد خارجی به داخل سیتوپلاسم سلول را برای چند ثانیه فراهم می‌کنند[۲]، که کاربردهای فراوانی در زمینه مهندسی زیستی، مهندسی بافت، و درمان سلول‌های بنیادی دارد.

به منظور مشاهده دقیق و در لحظه فرآیند نوردهی سطح نمونه توسط پالس‌های فمتوثانیه، می‌توان از انبرک‌های نوری کمک گرفت. به‌دام‌اندازی نوری[۱] سلول، یک روش قدرتمند، غیر مخرب و دقیق در میان روش‌های به‌دام‌اندازی ذرات زیستی است، که در زمینه‌های فراوانی از جمله مطالعه واکنش‌های سلولی، تغییرات ساختار سطحی سلول در اثر عوامل مختلف و ... کاربرد دارد[۳].

در این مقاله، با برپایی یک چیدمان تجربی، افزایش نفوذپذیری نانوامولسیون[۲] دارویی بر تخریب باکتری استافیلوکوکوس اورئوس، را تحت تابش پالس‌های فمتوثانیه مورد مطالعه قرار می‌دهیم. همچنین به کمک یک انبرک نوری، باکتری هدف را به دام انداخته و تاثیرات دارو بر آن را در لحظه مشاهده و ثبت می‌کنیم.

مبانی نظری

غشای سلولی از پروتئین‌ها و لیپیدها تشکیل شده است. لیپیدها خاصیت انعطاف پذیری به غشا می‌دهند، در حالی که پروتئین‌ها از نظر شیمیایی سلول را حفظ و کنترل می‌کنند و به انتقال مولکول‌ها در غشاء کمک می‌کنند[۱].(شکل ۱).



شکل ۱- اجزا تشکیل دهنده‌ی غشاء سلولی

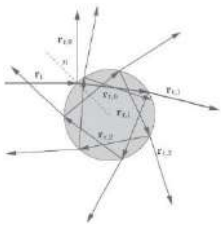
برای انتقال اجزای خارجی به داخل یک سلول، می‌توان از پالس-های لیزر فمتوثانیه کانونی شده بر روی غشا سلولی استفاده نمود. با تابش این پالس‌های کانونی شده، چگالی فوتون‌ها در قله پالس به بیش از 10^{12} W/cm^3 افزایش می‌یابد، که می‌تواند لایه‌ی غشایی را تا حدی مختل کرده و منافذ بسیار ریزی بر سطح آن ایجاد، و راه تبادلی بین محیط داخل و خارج آن را فراهم سازد. قابل ذکر است که فسفولیپیدهای سازنده‌ی غشا مطابق شکل ۱ از دو بخش آب‌دوست و آب‌گریز تشکیل شده است، که پس از ایجاد بی‌نظمی، سرهای آب‌دوست باهم و دم‌های آب‌گریز با یکدیگر، مجددا پیوندهای خود را برقرار کرده و سلول در زمان بسیار کوتاهی به حالت اولیه‌ی خود برمی‌گردد.

---

[۱] Optical trapping

[۲] Nanoemulsion

برای مشاهده‌ی دقیق این فرآیند، می‌توان از به‌دام اندازی نوری استفاده کرد. در فرآیند به دام‌اندازی می‌بایست برآیند نیروهای مختلف وارد بر سلول صفر باشد. از آنجایی که نمونه‌ی زیستی در محیط مایع سوسپانسیون قرار دارد، نیروی حاصل از گرانش (F_g) و نیروی شناوری (F_b) را تجربه می‌کند؛ لذا نیروی نوری ناشی از باریکه لیزری می‌بایست بر این دو نیرو غلبه کند، به طوری که برآیند نیروها صفر شود. نیروی نوری وارد بر ذره بر اساس اپتیک هندسی محاسبه می‌شود. پرتوی r در برخورد با سطح کره به دلیل اختلاف ضریب شکست آن با محیط اطراف شکسته و به دو بخش بازتابی (r_r) و عبوری (r_t) تقسیم می‌گردد. در نتیجه‌ی پایستگی تکانه، تغییرات تکانه موجب وارد شدن نیرو به کره می‌شود(شکل ۱).



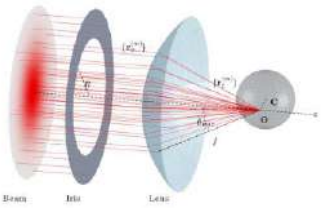
شکل۲- بازتاب‌های متوالی تک پرتو داخل کره دی‌الکتریک

برای توضیح چگونگی انتقال انرژی از یک مجموعه پرتو نور استفاده می‌شود که این پرتوها، بردارهایی عمود بر جبهه موج و در جهت شارش انرژی الکترومغناطیسی هستند. براین اساس نیروی وارد بر یک کره با ضریب شکست n_t در محیطی به ضریب شکست n_i مطابق رابطه ۱ بدست می‌آید. [۳]

(۱)

$$\mathbf{F}_{GO} = \sum_m \mathbf{F}_{ray}^{(m)} = \sum_m [\frac{n_i P_i^{(m)}}{c}\hat{\mathbf{r}}_i^{(m)} - \frac{n_i P_r^{(m)}}{c}\hat{\mathbf{r}}_{r,0}^{(m)} - \sum_{n=1}^{+\infty}\frac{n_i P_{t,n}^{(m)}}{c}\hat{\mathbf{r}}_{t,n}^{(m)}]$$

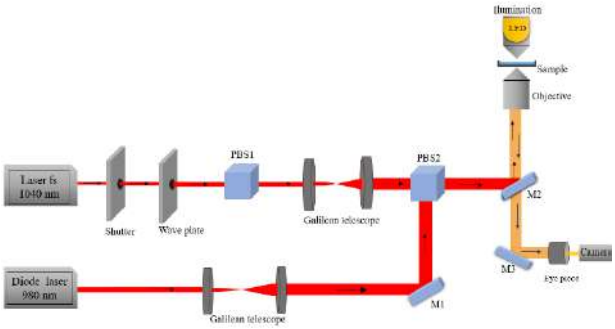
که درآن $\hat{r}_i$، $\hat{r}_{r,n}$، $\hat{r}_{t,n}$ به ترتیب بردارهای یکه در راستای فرود و n امین پرتو بازتابی و عبوری و $P_i^{(m)}$، $P_r^{(m)}$ و $P_{t,n}^{(m)}$به ترتیب توان منسوب به پرتو فرودی m، اولین بازتاب و nامین پرتو عبوری آن و c سرعت نور در خلاء است. پرتوهای ورودی توسط یک عدسی بر مرکز جرم ذره، کانونی شده و نیروی F_{GO} تحت برهمکنش پرتوهای همگرا $r_f^{(m)}$ مطابق شکل ۳ در نقطه o ، به ذره وارد می‌شود.



شکل۳- کانونی شدن پرتوهای پیرامحوری

F_{Go} وارد شده به ذره می‌بایست به گونه‌ای باشد که، برآیند نیروهای وارد بر ذره در نقطه‌ی کانون لیزر صفر شود، ($F_{Go} = F_b + F_g$)، در این صورت ذره ثابت مانده و در نقطه‌ی کانون لیزر به‌دام می‌افتد.

طراحی چیدمان تجربی



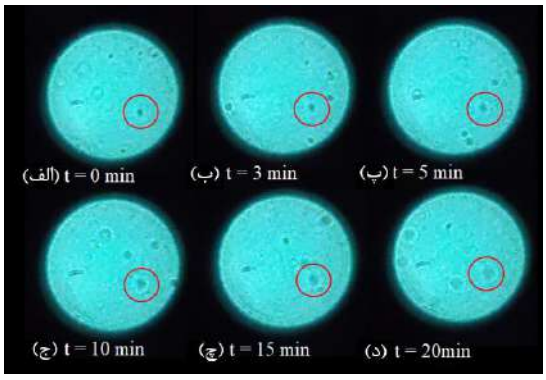
شکل۴-شمایی از چیدمان تجربی

در این مطالعه از یک لیزرCW با طول موج 980nm برای به دام اندازی و از یک لیزر فمتوثانیه با پهنای پالس 200fs و طول موج 1040nm با نرخ تکرار 23MHz، (Vira-fs-1040 ساخت شرکت نورآبی لیزر)، برای بررسی تاثیر پالس های لیزری بر نفوذپذیری دارویی استفاده شده است (شکل۴). برای تطبیق قطر باریکه هر دو لیزر با قطر دهانه عدسی‌شیئی از دو سیستم تلسکوپی گالیله‌ای در مسیر باریکه دو لیزر استفاده می‌شود. هر دو باریکه به‌طور متعامد، به یک تقسیم کننده باریکه‌ی قطبشی (PBS) وارد شده و در خروجی آن با یکدیگر هم خط می‌شوند. سپس از طریق یک آینه‌ی تخت(M_2) با ۹۰٪ بازتاب در طول موج‌های 980nm و 1040nm به سمت عدسی شیئی هدایت می‌شود. برای متمرکز شدن دو باریکه لیزری بر روی نمونه از یک عدسی‌شیئی غوطه‌ور در روغن با روزنه‌ی عددی ۱.۲۵ و بزرگنمایی $100X$ استفاده می‌شود. به منظور تصویربرداری، نمونه توسط یک ال ای دی نوردهی شده و پس از آن نور بازگشتی از نمونه از طریق آینه‌ی تخت(M_2) به سمت عدسی

چشمی و دوربین هدایت می‌شود. بعلاوه به منظور کنترل توان متوسط لیزر فمتوثانیه و تنظیم انرژی پالس‌های فرودی بر نمونه، در مسیر عبور این باریکه از یک تیغه نیم موج و PBS، استفاده می‌شود. برای تنظیم مدت زمان تابش آن بر نمونه‌ی مورد بررسی نیز یک تنظیم‌گر زمانی (shutter)، بکار می‌رود.

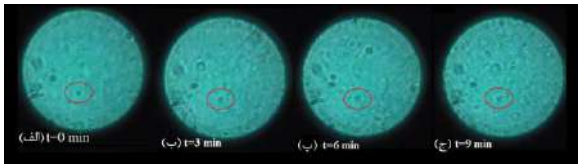
نتایج تجربی

در بخش اول آزمایش، مدت زمان اثربخشی نانوامولسیون دارویی بر روی باکتری را مورد بررسی قرار می‌دهیم. به این منظور، پس از اضافه شدن نانوامولسیون دارویی به محلول باکتری، توسط ، یک باکتری در 36.8mwانبرک نوری با توان لیزر دیود برابر محل کانونی شدن باریکه‌ی لیزری، به دام افتاد. سپس روند تخریب غشای سطحی باکتری به دام اندازی شده، در زمان‌های ، مشاهده و ثبت شد. شکل۵ نشان t=3,5,10,15,20 min می‌دهد که تخریب لایه‌ی سطحی باکتری از دقیقه‌ی ۵ام، شروع شده و در دقیقه‌ی ۲۰ام، فرم استاندارد ساختار سطحی خود را از دست می‌دهد. از این نتایج می‌توان فهمید که ماده‌ی نانواملسیون دارویی بطور متوسط ۳ الی ۵ دقیقه زمان اولیه جهت ورود به سیتوپلاسم باکتری، نیاز دارد.



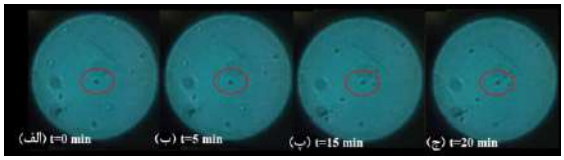
شکل۵- به دام اندازی یک باکتری توسط لیزر

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، باکتری در تمام زمان‌ها توسط انبرک نوری ثابت نگه‌داشته شده است. در ادامه به منظور افزایش تاثیر نانوامولسیون بر روند نابودی باکتری، نوردهی باکتری توسط پالس‌های فمتوثانیه با توان 14.3mw و انرژی هرتک پالس 0.62nj به مدت 40 ثانیه، انجام شد. مطابق شکل۶ روند نابودی ساختار سطحی باکتری به ۹دقیقه، کاهش یافته است. همچنین شروع فرآیند نابودی باکتری قبل از دقیقه‌ی ۳، (قسمت(ب) درشکل۶) می‌باشد. این یعنی ماده‌ی نانوامولسیون دارویی سریعتر از حالت قبل وارد نمونه شده است.



شکل۶- بررسی تاثیر پالس‌های فمتوثانیه بر تسریع اثربخشی نانوامولسیون روی باکتری

همچنین به منظور بررسی عدم تاثیر مخرب پالس‌های فوق کوتاه بر روی نابودی ساختار باکتری؛ یکی از باکتری‌ها را بدون افزودن مواد نانوامولسیون به محلول، به دام انداخته و با همان توان لیزری و به مدت 40s تحت تابش پالس‌های فمتوثانیه قرار دادیم. مطابق شکل۷ مشاهده شد که پالس‌های لیزری فمتوثانیه به تنهایی و در عدم حضور مواد نانوامولسیونی توانایی تخریب و نابودی باکتری را ندارند و هیچ تغییر شکلی در سطح باکتری مشاهده نمیشود.



شکل۷- بررسی تاثیر پالس‌های فوق کوتاه بدون حضور نانوامولسیون بر باکتری

نتیجه‌گیری

در این مقاله به کمک دام نوری پایدار ایجاد شده توسط یک انبرک نوری یک باکتری (Staphylococcus aureus)، به افتاده و تاثیر دارو رسانی به آن با و بدون حضور تابش پالس لیزر فمتوثانیه بررسی شد و مشاهده کردیم که تابش پالس‌های لیزر فمتوثانیه منجر به افزایش سرعت اثربخشی مواد دارویی می‌شود، بدون اینکه این پالس‌ها خود به تنهایی حیات باکتری را به خطر بیاندازد. در نتیجه درمان ترکیبی لیزر فمتوثانیه و دارو، میتواند تاثیرپذیری دارویی را افزایش داده و به بهبود درمان کمک کند.

مرجع‌ها

Cooper GM, Hausman RO. A molecular approach. The Cell. 2nd ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates. 2000.

M. Waleed, S.-U. Hwang, J.-D. Kim, I. Shabbir, S.-M. Shin, and Y.-G. Lee, “Single-cell optoporation and transfection using femtosecond laser and optical tweezers,” *Biomed. Opt. Express*, vol. 4, no. 9, pp. 1533–1547, 2013.

Z. Zhang, T. E. P. Kimkes, and M. Heinemann, “Manipulating rod-shaped bacteria with optical tweezers,” *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, p. 19086, 2019.

سی‌امین کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری
فوتونیک ایران دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

تمایز بین بافت توموری خوش خیم و بدخیم با روش پراکندگی نور عبوری

زینب نبوی زاده[۱] ، سلمان مهاجر مازندرانی[*۱]

Zeynab.nabavi@khu.ac.ir , Mohajer@khu.ac.ir*

[۱] آزمایشگاه بیوفوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه خوارزمی، کرج.

چکیده – سرطان امروزه به عنوان دومین عامل مرگ و میر در جهان شناخته شده است، از این رو تشخیص به موقع آن دارای اهمیت ویژه‌ای است. توده های بدنی به دو دسته کلی خوش‌خیم و بدخیم تقسیم میشوند؛ تمایز بین این دو مهم‌ترین چالش پیش‌روی پزشکان است. دستورالعمل‌های بالینی تشخیص سرطان، دارای محدودیت‌های متعددی مانند نیاز به متخصصان با تجربه، پرهزینه و زمانبر بودن، هستند، لذا نیاز استفاده از روش‌های کم هزینه و سریع احساس می‌شود. در این پژوهش نمونه های خوش‌خیم و بدخیم با دستگاه میکروتوم برش داده شد و برروی لام تثبیت شده و با استفاده از روش اپتیکی پراکندگی و محاسبه ضریب ناهمسانگردی (g) و پهنای تابع برازش هنیی_گرینشتاین (H-G) تفاوت بین نمونه‌های خوش‌خیم و بدخیم مشخص و تمایز بین آنها امکان پذیر شد.

کلید واژه-سرطان، بافت خوش‌خیم و بدخیم، پراکندگی زاویه ای، تابع هنیی_گرینشتاین.

Optical Differentiation Between Benign and Malignant Tumors by Forward Scattering

Zeynab Nabavi[1], Salman Mohajer Mazandarani[*1]

[1]Biophotonics laboratory, Physics department, Kharazmi University, Karaj.

Abstract- Nowadays cancer is known as the second leading cause of death in the world, so early detection is important. Body mass is divided into two general categories benign and malignant types; distinguishing between these types is the most important challenge for doctors. Clinical guidelines for cancer diagnosis have several limitations, such as the need for experienced specialists, cost, and time-consuming, so the need to use low-cost and fast methods is felt. In this study, benign and malignant samples were cut by microtome and then fixed on slides; by using the optical scattering method and calculation of anisotropy(g) and the width of H-G fitting function, the difference between benign and malignant samples is determined and differentiate between them is possible.

Keywords: cancer, benign and malignant tissue, forward scattering, Henyey- Greenstein.

مقدمه

سرطان دومین عامل مرگ و میر در جهان است، علیرغم وجود داروهای شیمی درمانی فراوان و صدها ترکیب موجود برای درمان؛ درمان سرطان در حال حاضر به رژیم های شیمی درمانی کلاسیک مبتنی بر بافت شناسی و عوامل هدفمند برای بیمارانی که دارای تغییرات ژنومی خاص هستند متکی است. با این حال، آزمایش ژنومی هنوز نمی تواند عواملی را که در نهایت تعیین می کنند سلول های تومور در داخل بدن چگونه رفتار کنند، شناسایی کند. یکی از این عوامل ناهمگنی داخل توموری است[۱]

تعیین و تشخیص ضایعات خوش خیم، پیش سرطانی و بدخیم معمولاً با غربالگری بصری و سپس بیوپسی از محل های بافت مشکوک انجام می شود. بررسی هیستوپاتولوژیک نمونه های بیوپسی برای تشخیص مورد نیاز است. با این حال، اغلب حتی برای یک پزشک باتجربه تصمیم گیری در مورد بهترین ناحیه برای بیوپسی دشوار است؛ بنابراین، تشخیص را پیچیده تر می کند[۲]

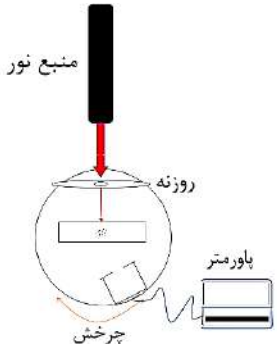
سنجش های پیش بینی کننده در نمونه برداری از تومورهایی است که معمولاً به نمونه های بیوپسی یا برش های کوچکی که پیچیدگی تومور را به طور کامل نشان نمی‌دهند متکی هستند، بنابراین منجر به شکست داروهای انتخاب شده از طریق غربالگری شخصی می شود.[۱]

راه های مختلفی برای شناسایی و تشخیص بافت های سرطانی وجود دارد، که عبارتند از:
میکروسکوپ کانفوکال بازتابی[۳](RCM)، میکروسکوپ اسکن لیزری کانفوکال(CLSM)[۴]، توموگرافی انسجام نوری[۵] (OCT)، طیف سنجی رامان و تصویربرداری چندطیفی،[۶] تصویربرداری رادیولوژیک با MRI، و فناوری انتشار پوزیترون[۷] CT - (PET) برای سرطان‌های پیشرفته‌تر در نظر گرفته شده است[۳].

برای بررسی پیشرفت سرطان و نمونه برداری با پروتکل های بالینی نیاز به عمل جراحی وجود دارد. پروتکل‌های بالینی استاندارد تشخیص سرطان،دارای محدودیت‌های متعددی مانند نیاز به متخصصان با تجربه، حجم زیاد مایعات بدن، پرهزینه و زمانبر بودن، هستند[۴].از این رو، یکی از راه‌های غیرتهاجمی برای تشخیص سرطان، استفاده از روش های اپتیکی است. یکی از روش های برای تشخیص خواص نوری سلول های سرطانی، تکنیک روبش محوری است.[۲]

مواد و روش ها

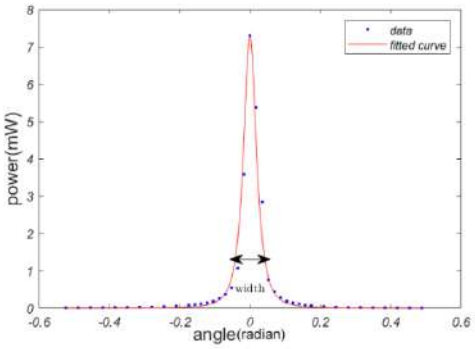
نمونه های بافت خوش‌خیم و بدخیم دهانی با دستگاه میکروتوم در آزمایشگاه مرکزی بیمارستان حضرت رسول اکرم(ص) وابسته به دانشگاه علوم پزشکی ایران تهیه و آماده‌سازی شد. این نمونه ها دارای کدهای مشخصی هستند که مستندات هیستوپاتولوژی آنها بطور استاندارد در آزمایشگاه پاتولوژی دانشگاه علوم پزشکی ثبت شده است.
در این پژوهش به بررسی پراکندگی نمونه ها پرداخته شده است، برای این منظور از چیدمان اپتیکی زیر استفاده شد.



[۳] reflectance confocal microscopy
[۴] confocal laser scanning microscopy
[۵] optical coherence tomography
[۶] Raman spectroscopy and multispectral imaging
[۷] positron emission technology

شکل۱: چیدمان اپتیکی برای محاسبه پراکندگی نمونه.

در این چیدمان از لیزر هلیوم-نئون باکاواک ۱متری و توان بیشینه ۷۰میلی وات در طول موج ۶۳۳ نانومتر، روزنه فلزی چندضلعی به قطر ۳.۰۰ میلی متر، صفحه چرخان مدرج با دقت ۲درجه و پاورمتر (از شرکت labmaster، مدل LM ULTIMA) استفاده شده است. مطابق شکل (۱)، نور بعد از عبور از روزنه به نمونه ثابت شده برخورد می‌کند و آشکار ساز پاورمتر طوری تنظیم شده‌است که کاملا در راستای مرکز دایره دوران باشد و پراکندگی ناشی از نمونه‌ها را بصورت عمود در زوایای ۹۰- تا ۹۰+ را ثبت می‌کند. همچنین برروی آشکارساز شکافی به عرض ۲.۱۰ میلی متر قرار گرفته است تا زوایای کوچک ثبت و تعداد نقاط بیشتر شوند.



شکل۲: نمودار توان ورودی برحسب زاویه و برازش آن با تابعH-G

تئوری

پراکندگی نور زمانی اتفاق می‌افتد که فوتون ها با یک جسم فشرده با ضریب شکست متفاوت از مواد اطراف مواجه میشوند. پراکندگی در محیط های بیولوژیکی به دلیل ساختار در هم آمیخته بافت ها بسیار پیچیده است. از آنجایی که بیشتر بافت‌های انسانی دارای مواد ناهمگنی از جمله ماکرومولکول‌ها، اندامک‌های سلولی وآب هستند؛ خواص نوری در آنها دچار تغییر میشود، درنتیجه به عنوان محیط کدر شناخته می‌شوند.[۵], [۶]پراکندگی می تواند به دو شکل مختلف، یعنی پراکندگی کشسان و غیرکشسان باشد.

پراکندگی کشسان باعث تغییر جهت انتشار نور به دلیل برخورد بین ذرات پراکنده و در عین حال حفظ انرژی جنبشی می شود که بیشتر به کاربرد مورد نظر مربوط می‌شود.

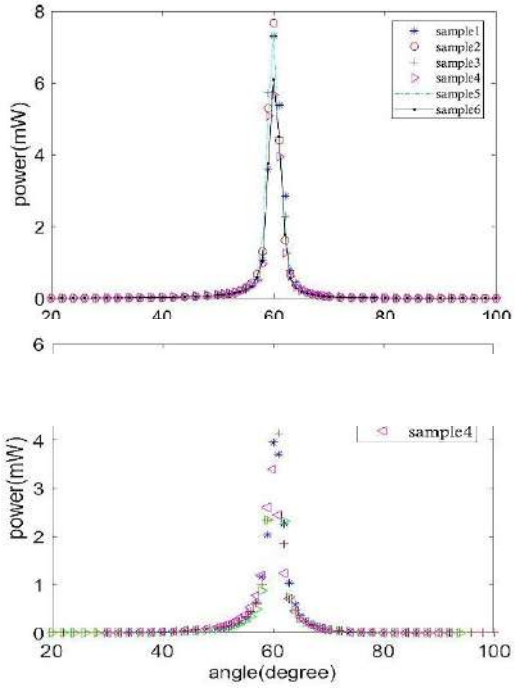
از این رو برای بررسی رابطه بین زاویه انحراف(θ) و ضریب ناهمسانگردی (g)، از تابع هنیی_گرینشتاین (Henyey-Greenstein) استفاده می‌شود[۷]:

$$P(\theta) = \frac{1-g^2}{4\pi\left(1+g^2-2g\cos(\theta)\right)^{3/2}} \qquad (۱)$$

ضریب ناهمسانگردی هر نمونه با برازش بهنجار شده تابع H-G برروی داده ها بدست می‌آید؛ علاوه بر این، از پهنای تابع نیز برای مقایسه بین نمونه های خوش‌خیم و بدخیم استفاده شد. مطابق شکل (۲) پهنای تابع هر نمونه، از $1/e$ مقدار ماکزیمم تابع H-G بدست می‌آید.

نتایج تجربی

نمودار توان دریافتی برحسب زاویه پراکندگی مطابق شکل‌های (۳) و (۴) برای نمونه های خوش خیم و بدخیم رسم شده است.



مقادیر پهنا و ضریب ناهمسانگردی برای هردو نمونه در جدول‌های شماره (۱) و (۲) آورده شده است.

جدول۱: مقادیر عددی پهنای تابع و ضریب ناهمسانگردی برای نمونه خوش‌خیم دهانی.

خوش خیم دهانی	
$width \pm$ ۰.۰۰۷	$g \pm$ ۰.۰۰۲
۰/۶۶۹	۰.۹۷۲
0.649	0.973
0.675	0.971
0.682	0.971
0.667	0.972
0.670	0.972

جدول۲: مقادیر عددی پهنای تابع و ضریب ناهمسانگردی برای نمونه های بدخیم دهانی

بدخیم دهانی	
$width \pm$ ۰.۰۰۴	$g \pm$ ۰.۰۰۹
0.793	0.960
0.704	0.969
0.706	0.969
0.780	0.962

باتوجه به جداول بالا، مقادیر پهنای تابع و ضریب ناهمسانگردی برای نمونه‌های خوش‌خیم و بدخیم بیش از ۰.۱ باهم اختلاف دارند درحالی که محدوده خطا در هردو کمتر از ۰.۱ است.

بنابراین از این دو پارامتر میتوان به‌عنوان پارامترهای تشخیص بین نمونه های خوش‌خیم و بدخیم استفاده نمود.

جمع‌بندی

در این پژوهش، با محاسبه ضریب ناهمسانگردی و پهنای تابع برازش شده همانطور که توضیح داده‌شد اختلاف دو پارامتر فوق برای دو نوع نمونه خوش‌خیم و بدخیم دهانی، بگونه ایی است که میتوان این دو نوع را با دقت (۰.۱) از یکدیگر تمیز داد. با توجه به خطای اندازه‌گیری شده برای هر پارامتر، محدوده دقت کار نیز طوری است که اجازه می‌دهد این دو نوع نمونه به خوبی از یکدیگر تمایز داده شوند؛ بنابراین تکرار پذیری آزمایش قابل قبول است.

مراجع

[1] "kreahling-altiok-2015-special-technologies-for-ex-vivo-analysis-of-cancer".

[2] M. Salman, M. A. M. Hossein, K. S. Kamran, and M. Shayan, "Optical discrimination of benign and malignant oral tissue using Z-scan technique," *Photodiagnosis Photodyn Ther*, vol. 16, pp. 54–59, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.pdpdt.2016.08.001.

[3] A. Levine, D. Siegel, and O. Markowitz, "Imaging in cutaneous surgery," *Future Oncology*, vol. 13, no. 26. Future Medicine Ltd., pp. 2329–2340, Nov. 01, 2017. doi: 10.2217/fon-2017-0277.

[4] B. Kaur, S. Kumar, and B. K. Kaushik, "Recent advancements in optical biosensors for cancer detection," *Biosens Bioelectron*, vol. 197, p. 113805, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.BIOS.2021.113805.

[5] G. Keiser and G. Keiser, "Light-tissue interactions," *Biophotonics: Concepts to applications*, pp. 147–196, 2016.

[6] "Paras N. Prasad-Introduction to Biophotonics-Wiley-Interscience (2003)".

[7] "HG_note".

سی‌امین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و
شانزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری
فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

بررسی اثر قطبش نور فرودی در تصویربرداری غیرخطی تولید هماهنگ دوم از بافت قلب موش

شهاب کریمی، آتوسا سادات عربانیان، رضا مسعودی

sh_karimi@sbu.ac.ir, a_arabanian@sbu.ac.ir, r-massudi@sbu.ac.ir

چکیده – میکروسکوپ غیرخطی تولید هماهنگ دوم به دلیل وابستگی غیرخطی با شدت نور فرودی، قادر است توان تفکیک، کنتراست و نسبت سیگنال به نویز زمینه را در مقایسه با میکروسکوپ‌های خطی معمولی بهبود بخشد. در این مقاله با ساخت میکروسکوپ تولید هماهنگ دوم و به‌کارگیری روش آشکارسازی حساس به فاز تصویربرداری از نمونه نامتقارن مرکزی، بافت قلب موش انجام و با تحلیل تصاویر به‌دست‌آمده، افزایش قدرت تفکیک و کنتراست نسبت به تصاویر حاصل از میکروسکوپ میدان گسترده به‌وضوح مشاهده می‌شود. همچنین، حساسیت این سیستم نسبت به قطبش پالس لیزری فمتوثانیه فرودی، با مقایسه تصاویر حاصل از بافت قلب موش در دو قطبش نور فرودی خطی و دایروی، نشان داده می‌شود.

کلیدواژه- میکروسکوپی غیرخطی، میکروسکوپ تولید هماهنگ دوم، پالس‌های لیزری فمتوثانیه، ساختارهای نامتقارن مرکزی، قطبش، نمونه‌های بیولوژیکی

Investigating the effect of polarization of incident light in the second harmonic generation nonlinear imaging of rat heart tissue

Shahab Karimi, Atoosa Sadat Arabanian, Reza Massudi

sh_karimi@sbu.ac.ir, a_arabanian@sbu.ac.ir, r-massudi@sbu.ac.ir

Abstract – Due to the nonlinear dependence on the incident light intensity, second harmonic generation (SHG) microscopy is capable of improving the resolution, contrast, and signal-to-background noise ratio compared to conventional linear microscopes. In this article, by manufacturing a second harmonic generation microscope and employing the phase-sensitive detection method, imaging of the noncentrosymmetric sample of rat heart tissue is performed. By analyzing the obtained images, an enhancement in resolution and contrast compared to images obtained from wide field microscopy is clearly observed. Furthermore, the system's sensitivity to incident femtosecond laser pulse polarization is demonstrated by comparing images of rat heart tissue under two linear and circular light polarizations.

Keywords: Nonlinear microscopy, Second harmonic generation microscope,Femtosecond laser pulses, Noncentrosymmetric structures, Polarization, Biological samples

مقدمه

تصویربرداری تولید هماهنگ دوم یک تکنیک تصویربرداری غیرخطی مبتنی بر فرآیند تولید هماهنگ دوم است. سیگنال هماهنگ دوم از نمونه، زمانی تولید می‌شود که نمونه تقارن مرکزی نداشته باشد. بسیاری از بافت‌های زیستی، حاوی کلاژن رشته‌ای هستند که ساختاری نامتقارن مرکزی دارد. کلاژن، پروتئین ساختاری اصلی در پستانداران است و استحکام ساختاری بافت را فراهم می‌کند[۱]. این پروتئین همچنین نقش مهمی در عملکرد و توسعه بافت ایفا می‌کند. تغییر در ساختار این پروتئین می‌تواند یکپارچگی بافت را از بین برده و در مواردی از عوامل اصلی وقوع متاستاز در بافت های سرطانی شود[۲]. بنابراین، تصویربرداری و ارزیابی بافت ها به‌منظور به دست آوردن دید بیشتر در مورد چگونگی ارتباط خصوصیات این پروتئین (تغییرات مولکولی، ساختار و پاسخ قطبشی) با سلامت بافت، سودمند است. تصویربرداری میکروسکوپ تولید هماهنگ دوم که مبتنی بر قطبش است، یک تکنیک مکمل برای افزایش کنتراست، همچنین استخراج اطلاعات قطبشی و چگونگی جهت‌گیری مولکولی از یک نمونه می‌باشد. این اطلاعات به دلیل خواص ذاتی قطبشی نمونه به دست می‌آید؛ بنابراین، این روش برای تصویربرداری از محیط‌های ناهمسانگرد نظیر کلاژن در بافت سودمند است[۳]. در این مقاله بررسی وابستگی شدت سیگنال تولید هماهنگ دوم به نوع قطبش باریکه فرودی انجام می‌شود، بدین صورت که بافت قلب موش که حاوی رشته کلاژن‌هایی با جهت‌گیری‌های مختلف می‌باشد، تحت تابش پالس‌های لیزری فمتوثانیه با قطبش‌های خطی و دایروی قرارگرفته و تأثیر قطبش‌های متفاوت پالس فرودی بر تصویر غیرخطی تولید هماهنگ دوم بررسی می‌شود.

مبانی نظری

در فرایند غیرخطی تولید هماهنگ دوم باریکه برانگیزش ورودی با بردار میدان الکتریکی E، قطبش P را در یک نمونه پراکننده، القا خواهد کرد. برای هر ماده‌ای با تقارن استوانه‌ای، عمومی‌ترین بیان برداری برای قطبش غیرخطی مرتبه دوم، با فرض تقارن کلینمن، با رابطه زیر داده می‌شود[۴, ۵]:

که در آن $\hat{s}$ نشان‌دهنده بردار واحد در جهت امتداد محور فیبر کلاژن، $\vec{E_1}$ میدان الکتریکی فرودی و a، b ضرایب مربوط به تانسور پذیرفتاری غیرخطی مرتبه دوم ماده می‌باشند که به‌صورت زیر داده می‌شود:

$$\vec{P} = a\hat{s}(\hat{s}\cdot\vec{E_1})^2 + b\hat{s}(\vec{E_1}\cdot\vec{E_1}) + 2b\vec{E_1}(\hat{s}\cdot\vec{E_1}). \quad (۱)$$

$$\chi^{(2)}_{ijk} = a s_i s_j s_k + b s_i \delta_{jk} + (b)(s_j\delta_{ik} + s_k\delta_{ij}) \quad (۲)$$

برای یک باریکه فرودی گاوسی تحت تقریب پیرامحوری، بردار قطبش لیزر فرودی و قطبش هماهنگ دوم تولیدشده در صفحه نرمال بر جهت انتشار لیزر $(\hat{k})$ قرار دارند. قطبش غیرخطی $\vec{P}$، متناسب با مربع میدان الکتریکی هماهنگ دوم تولیدشده و دارای دو مؤلفه برداری در امتداد محور فیبر $(\vec{P}\cdot\hat{s})$ و همچنین در امتداد محور نرمال بر محور فیبر $(\hat{s}\times\hat{k})$ می‌باشد. با توجه به اینکه شدت سیگنال تولید هماهنگ دوم متناسب با مربع میدان الکتریکی، و درواقع مربع قطبش می‌باشد، بنابراین می‌توانیم برای آن تناسب زیر را بنویسیم :

$$I_{SHG} \propto (\vec{P}\cdot\hat{s})^2 + (\vec{P}\cdot(\hat{s}\times\hat{k}))^2 \quad (۳)$$

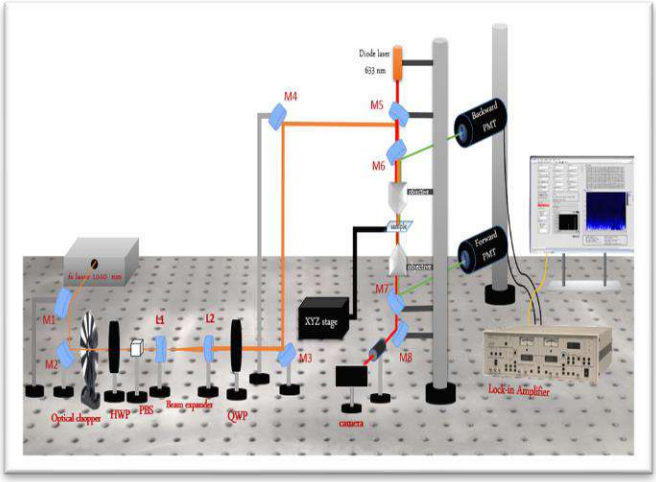
اگر سیگنال تولید هماهنگ دوم حاصل پس از عبور از یک قطبشگر جهت‌گیری شده در جهت $\hat{e}$ آشکار شود، شدت تولید هماهنگ دوم آشکارشده برابر با $I_e \propto (\vec{P}.\hat{e})^2$ خواهد بود که به‌صورت زیر داده می‌شود[۴, ۵]:

$$I_e \propto (\vec{P}\cdot\hat{e})^2 \propto \begin{matrix}[a\cos\alpha\cos^2\varphi + b\cos\alpha^2 \\ +c\cos(\alpha-\varphi)\cos\varphi]\end{matrix} \quad (۴)$$

در اینجا α زاویه بین فیبریل کلاژن و محور قطبشگر، و ϕ زاویه بین فیبریل کلاژن و قطبش باریکه برانگیزش است. با توجه به این رابطه، به ازای قطبش باریکه لیزری موازی/عمود با محور فیبر کلاژن سیگنال هماهنگ دوم، قوی‌تر/ ضعیف‌تر تولید خواهد شد. بنابراین با توجه به رابطه (۴) وابستگی شدت سیگنال تولید هماهنگ دوم به جهت‌گیری فیبر کلاژن و زاویه قطبش باریکه برانگیزش نسبت به محور فیبر کلاژن مشخص می‌شود.

چیدمان تجربی

شمای چیدمان تجربی میکروسکوپ غیرخطی تولید هماهنگ دوم در شکل ۱ نشان داده‌شده است.

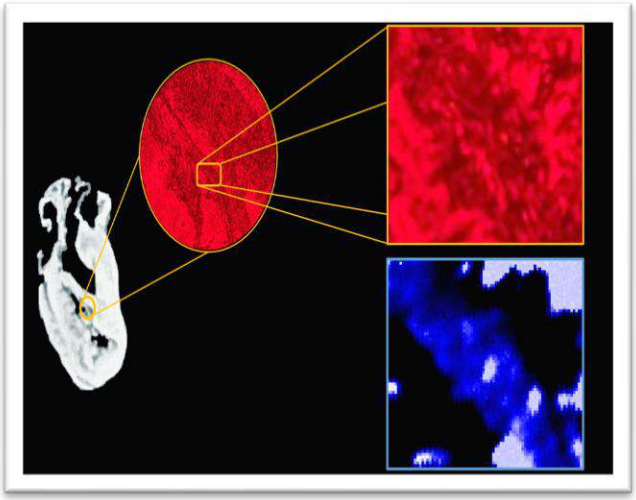


شکل ۱. شمای چیدمان تجربی میکروسکوپ غیرخطی تولید هماهنگ دوم

در این چیدمان از یک لیزر فیبری قفل‌مدی با طول‌موج مرکزی ۱۰۳۳ نانومتر و پهنای زمانی قابل تنظیم ۱۰۰تا۲۰۰ فمتوثانیه (VIRA-FS-1040-ساخت شرکت نور آبی لیزر) به‌عنوان منبع نوری استفاده‌شده است. از یک گسترش‌دهنده پرتو گالیله‌ای برای افزایش قطر باریکه به مقدار مناسب برای دهانه عدسی شیئی استفاده شده است. سپس باریکه لیزری توسط آینه‌های M_3، M_4 و M_5 از بالا به سمت میکروسکوپ غیرخطی هدایت می‌شود؛ و به‌وسیله یک عدسی شیئی با بزرگنمایی ۴۰ برابر، بر روی نمونه شدیداً کانونی می‌گردد. با استفاده از یک عدسی شیئی مشابه، سیگنال دریافتی از نمونه جمع‌آوری و توسط آینه M_8 و عدسی چشمی در یک میکروسکوپ میدان گسترده وارون، با نوردهی یک لیزر دیود با طول‌موج ۶۳۳ نانومتر، تصویر را بر روی عدسی دوربین تشکیل می‌دهد. به‌وسیله این میکروسکوپ میدان گسترده می‌توان محل مناسب نمونه را پیدا کرد. آینه‌های M_6 و M_7 آینه‌های دو رنگی هستند که بازتابنده طول‌موج سبز می‌باشند و توسط آن‌ها سیگنال تولید هماهنگ دوم دریافتی از نمونه در دو جهت رو به جلو و رو به عقب پس از عبور از یک فیلتر برای حذف طول‌موج منبع لیزری، به سمت آشکارسازهای PMT هدایت می‌شوند. ازآنجاکه سیگنال تولید هماهنگ دوم سیگنال ضعیفی می‌باشد از آشکارساز بسیار حساس PMT و روش آشکارسازی حساس به فاز توسط دستگاه تقویت‌کننده قفل شونده به همراه چاپر اپتیکی استفاده شده است. با پردازش و تقویت این سیگنال الکتریکی توسط دستگاه تقویت‌کننده قفل شونده و با استفاده از یک مبدل آنالوگ به دیجیتال، و درنهایت به کمک برنامه کنترل و پردازش داده در نرم‌افزار Labview، تصویر نهایی از نمونه به دست می‌آید. به دلیل آنکه نورهای محیطی باعث افزایش نویز و آسیب به آشکارساز می‌گردد، چیدمان میکروسکوپ غیرخطی تولید هماهنگ دوم درون یک محفظه تاریک قرار داده شده است. به‌منظور جاروب نقطه کانون لیزری روی نمونه برای تشکیل تصویر دو و سه‌بعدی، نمونه روی یک‌پایه حرکتی XYZ قرارگرفته است و جاروب حرکتی نمونه توسط برنامه نوشته شده در نرم‌افزار Labview اجرا می‌گردد.

نتایج تجربی

تصویربرداری غیرخطی از نمونه بافت قلب موش که به‌صورت عرضی و با ضخامت ۷ میکرومتر برش خورده و بر روی یک لامل تثبیت شده است، انجام می‌شود. شکل ۲ تصاویر میدان گسترده و تصویر غیرخطی تولید هماهنگ دوم حاصل از آن را نشان می‌دهد.

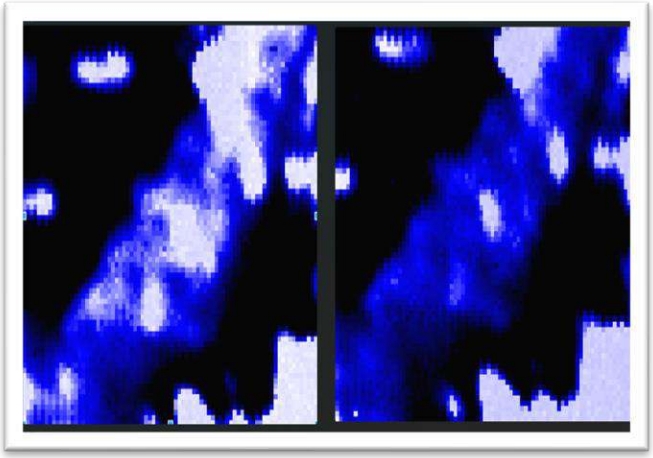


شکل ۲. تصاویر میدان گسترده و تولید هماهنگ دوم از بافت قلب موش

تصویر تولید هماهنگ دوم از بافت قلب در یک آرایه ۸۰×۸۰ با گام‌های ۲۵۰ نانومتری و در یک پنجره دید ۲۰ در ۲۰ میکرومتری به‌دست‌آمده است. بنابراین با استفاده از تصویربرداری تولید هماهنگ دوم در یک مقیاس میکرومتری، به

توان تفکیک و کنتراست بالاتری نسبت به تصاویر میدان گسترده دست یافته‌ایم.

از طرف دیگر تکنیک تصویربرداری تولید هماهنگ دوم یک روش حساس به قطبش نور فرودی می‌باشد. شکل ۳ نمایش دو تصویر هماهنگ دوم حاصل از بافت قلب موش را به ازای قطبش‌های متفاوت نور فرودی خطی و دایروی نشان می‌دهد.



شکل ۳. تصویر تولید هماهنگ دوم از نمونه بافت قلب موش با نور لیزر فرودی قطبیده خطی (سمت راست) و قطبیده دایروی (سمت چپ)

در واقع قطبش نور فرودی تأثیر مستقیم در شدت سیگنال تولید هماهنگ دوم دارد. اساساً تأثیر قطبش بر شدت تولید سیگنال هماهنگ دوم به این‌گونه است که اگر قطبش نور فرودی، و درواقع جهت میدان الکتریکی، هم‌جهت با قرارگیری محور فیبر کلاژن در بافت نمونه باشد، سیگنال تولید هماهنگ دوم با شدت بیشتری از نمونه تولید خواهد شد. بنابراین در حالتی که قطبش نور فرودی به‌صورت خطی و در یک جهت باشد، تنها نواحی از نمونه که دارای جهت‌گیری مشابهی با قطبش نور فرودی هستند، شدت مناسبی در سیگنال تولید هماهنگ دوم نشان می‌دهند. به همین منظور ازآنجایی‌که برای قطبش دایروی تمامی جهات میدان الکتریکی وجود دارد، با فرود نور قطبیده دایروی بر روی نمونه، تمامی جهت‌گیری های متفاوت فیبرهای کلاژن در بافت نمونه تحت برانگیزش قرار می‌گیرند. به همین دلیل تصاویر حاصل‌شده با نور قطبیده دایروی بسیار پرشدت تر و حاوی اطلاعات کامل‌تری از نمونه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با تصویربرداری غیرخطی تولید هماهنگ دوم از نمونه بافت قلب موش با دو نوع قطبش نور فرودی خطی و دایروی و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده دریافتیم که، نوع جهت‌گیری محور فیبرهای کلاژن در بافت نمونه و همچنین، نوع قطبش نور فرودی، می‌تواند درشدت سیگنال تولید هماهنگ دوم از نمونه مؤثر باشد. اگر قطبش نور فرودی هم‌جهت با جهت‌گیری محور فیبر کلاژن باشد، سیگنال تولید هماهنگ دوم حاصل‌شده از نمونه با شدت بیشتری گسیل خواهد شد و ازآنجاکه در نمونه‌های زیستی به‌ویژه برای فیبرهای کلاژن، جهت‌گیری‌های مختلفی در ساختار بافت وجود دارد، با ارسال نور قطبیده دایروی بیشترین شدت دریافتی از نمونه را خواهیم داشت و اطلاعات کامل‌تری از تمامی نقاط نمونه به دست خواهد آمد. با تصویربرداری از نمونه بافت قلب موش در دو نوع قطبش نور فرودی خطی و دایروی این اثر مشاهده شد.

مرجع‌ها

1. Di Lullo, G.A., et al., *Mapping the ligand-binding sites and disease-associated mutations on the most abundant protein in the human, type I collagen.* 2002. **277**(6): p. 4223-4231.
2. Hall, C.L., et al., *Type I collagen receptor (α2β1) signaling promotes the growth of human prostate cancer cells within the bone.* 2006. **66**(17): p. 8648-8654.
3. Jacques, S.L., et al., *Imaging superficial tissues with polarized light.* 2000. **26**(2): p. 119-129.
4. Stoller, P., et al., *Polarization-modulated second harmonic generation in collagen.* 2002. **82**(6): p. 3330-3342.
5. Roth, S. and I.J.T.J.o.c.p. Freund, *Second harmonic generation in collagen.* 1979. **70**(4): p. 1637-1643.
6. Mostaço-Guidolin, L., N.L. Rosin, and T.-L.J.I.j.o.m.s. Hackett, *Imaging collagen in scar tissue: developments in second harmonic generation microscopy for biomedical applications.* 2017. **18**(8): p. 1772.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

بررسی اثر توان منبع برانگیزش بر تولید گونه‌های فعال اکسیژنی در نوردرمانی پویا

سپیده دلاوری- اسماعیل حیدری

sepidehdelavari@Khu.ac.ir, E.Heydari@Khu.ac.ir

توان منبع برانگیزش مورد استفاده در فرآیند نوردرمانی پویا به صورت مستقیم بر تولید گونه‌های فعال اکسیژنی اثر می‌گذارد. همچنین طیف‌سنجی تفکیک زمانی با استفاده از حسگرهای فوتونیکی در راستای تشخیص تولید گونه‌های فعال اکسیژنی در فوتوداینامیک‌تراپی یا نوردرمانی پویا امکان پایش پیوسته ی تولید و مصرف این گونه‌ها را فراهم می‌کند.

Investigating the effect of excitation source power on the production of reactive oxygen species in photodynamic Therapy.

S.Delavari, E.Heydari

Sepidehdelavari@Khu.ac.ir, E.heydari@Khu.ac.ir

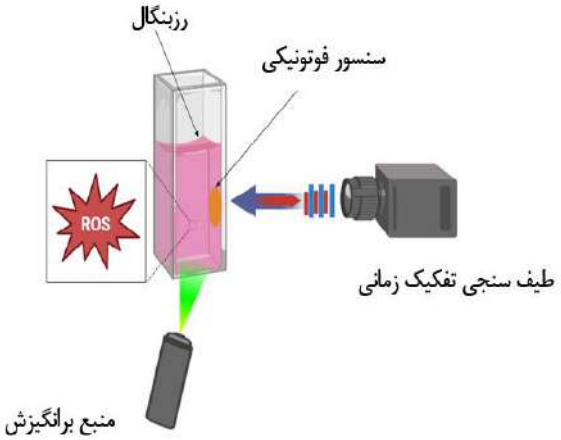
The power of the excitation source used in the Photodynamic therapy process directly affects the production of reactive oxygen species. Also, time-resolved spectroscopy using photonic sensors in order to detect the production of reactive oxygen species in photodynamic therapy provides the possibility of continuous monitoring of the production and consumption of these species.

مقدمه

سرطان یک اصطلاح عمومی برای گروه بزرگی از بیماری‌ها است که می‌توانند هر قسمتی از بدن را درگیر کنند. این بیماری دومین عامل اصلی مرگ و میر در جهان است که حدود ۹/۶ میلیون مرگ را در سال ۲۰۲۰ به خود اختصاص داده است. فوتودینامیک‌تراپی یا نوردرمانی پویا یک روش موضعی و کم تهاجمی برای درمان سرطان است که مبتنی بر سه عامل ماده‌ی حساس به نور، اکسیژن مولکولی و منبع نور با طول‌موج برانگیزش ماده‌ی حساس به نور می‌باشد. در این شیوه‌ی درمانی ماده‌ی حساس به نور تحت تابش منبع برانگیزش قرارگرفته و برانگیخته می‌شود سپس با اکسیژن مولکولی واکنش داده و گونه‌های فعال اکسیژنی تولید می‌کنند. این گونه‌ها با آسیب به ساختار دی ان ای و یا غشای سلول‌های سرطانی منجر به نکروز و یا آپوپتوز آن‌ها می‌شوند. هیدروژن پراکسید ، سوپراکسید، سینگلت اکسیژن و رادیکال‌های هیدروکسیل از این دسته‌اند. با توجه به این مکانیسم، پایش و اندازه‌گیری میزان گونه‌های فعال اکسیژنی که در این شیوه‌ی درمانی تولید می‌شوند امری ضروری می‌باشد. طیف‌سنجی تفکیک زمانی یکی از روش‌هایی است که امکان آشکارسازی گونه‌های فعال اکسیژنی را فراهم می‌آورد. در این روش از حسگرهای فوتونیکی حساس به اکسیژنی استفاده می‌شود که دارای خاصیت فسفرسانس می‌باشند. همبستگی طول‌عمر تابش فسفرسانس این حسگرها با تغییرات غلظت اکسیژن موجود در محیط، مبنای پایش پیوسته‌ی تولید و مصرف گونه‌های فعال اکسیژنی به شیوه‌ی طیف‌سنجی تفکیک زمانی را فراهم می‌آورد. بدین معنی که این حسگرها نسبت به تغییرات اکسیژن محیط حساس بوده و این تغییرات را با افزایش یا کاهش مقادیر طول عمر تابش فسفرسانس خود نشان می‌دهند. افزایش مقادیر طول‌عمر تابش این سنسورها با استناد به این نکته که اکسیژن موجود در محیط منجر به سرکوب و یا خاموشی تابش این سنسورها می‌شود، به تولید گونه‌های فعال اکسیژنی تعمیم داده می‌شود. با توجه به اینکه اکسیژن یکی از عوامل اصلی شرکت‌کننده در فرآیند فوتودینامیک‌تراپی است، کاهش مقدار آن در نمونه و در شرایط پایدار نظیر دما، و غلظت ثابت می‌تواند موید تولید گونه‌های فعال اکسیژنی باشد.

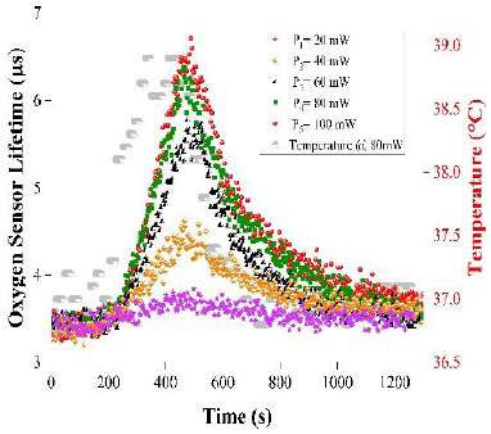
روش اجرا

در این پژوهش از رزبنگال به عنوان ماده‌ی حساس به نور استفاده شده است . این ماده در طول موج ۵۴۷ نانومتر دارای بیشترین مقدار جذب خود بوده و به همین دلیل از لیزر با طول‌موج ۵۳۲ نانومتر در جهت برانگیختن آن و به عنوان منبع برانگیزش مورد استفاده در این فرآیند استفاده شد. با توجه به هدف پژوهش که بررسی اثر توان منبع برانگیزش مورد استفاده یعنی لیزر با طول‌موج ۵۳۲ نانومتر در راستای برانگیختن رزبنگال می‌باشد، سه پارامتر مدت زمان برانگیزش در ۱۳ دقیقه، غلظت نمونه‌ها در ۰/۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و همچنین دما در ۳۶/۲ تا ۳۷/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد ثابت نگه داشته شد. بر همین اساس نمونه‌های مذکور با قرارگرفتن در تماس با حسگرهای فوتونیکی حساس به اکسیژن تحت تابش لیزر با توان‌های ۲۰و ۴۰ و ۶۰ و ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌وات مورد طیف‌سنجی تفکیک‌زمانی قرارگرفتند. شکل (۱) شماتیکی از این فرآیند را نشان می‌دهد. سنسور فوتونیکی حساس به اکسیژن با ماتریس پلی استایرن با دارا بودن خاصیت فسفرسانس پس از قرارگیری در برابر منبع نور آبی تغییرات اکسیژن موجود در محیط را با افزایش یا کاهش مقادیر طول‌عمر تابش خود نشان می‌دهد.



شکل۱. شماتیکی از پایش گونه‌های فعال اکسیژنی به روش طیف‌سنجی تفکیک‌زمانی

این تابش در شکل (۱) با رنگ قرمز نشان داده شده است. از یک چیدمان اپتیکی فشرده مبتنی بر طیف سنجی تفکیک زمانی که متشکل از منبع نور ال ای دی آبی، لنز و آشکارساز می‌باشد به منظور بررسی تغییرات اکسیژن



شکل۲. تغییرات طول‌عمر تابش حسگر فوتونیکی

نمونه‌ها استفاده شده است. نتایج حاصل از این اندازه‌گیری‌ها در نموداری به صورت زیر گرد آورده شده است. نمونه‌های موردنظر هر یک به مدت ۱۳ دقیقه تحت تابش لیزر مذکور قرار گرفته و تغییرات مقادیر طول‌عمر تابش فسفرسانس مربوط به سنسور حساس به اکسیژن مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. مقادیر طول‌عمر برای نمونه‌ای که تحت تابش لیزر با توان ۲۰ میلی‌وات قرار گرفت ۰/۳۲ میکروثانیه افزایش و نمودار مربوط به آن با رنگ بنفش مشخص شده است. نمودارهای نارنجی، سیاه، سبز و قرمز به ترتیب بیانگر مقادیر طول‌عمر تابش برای نمونه‌های مذکور در توانهای ۶۰ و ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌وات هستند. تغییرات مقادیر طول‌عمر تابش سنسور برای این نمونه‌ها نیز به ترتیب ۱/۱۷، ۲/۱۵، ۲/۸۴ و ۳/۵۷ میکروثانیه می‌باشد. با قطع کردن تابش لیزر این مقادیرکاهش یافته و رفته رفته و با گذشت مدت زمانی به مقادیر اولیه‌ی خود قبل از تابش لیزر رسیدند. همچنین روند این تغییرات به گونه‌ای است که افزایش توان لیزر منجر به افزایش مقادیر طول‌عمر پس از اتمام مدت‌زمان تابش نسبت به قبل از اعمال آن است که به به تولید گونه‌های فعال اکسیژنی تعبیر می‌شود.

نتایج

این گونه استنباط می‌شود که توان منبع برانگیزش به عنوان یکی از عوامل اصلی در فرآیند نوردرمانی پویا نقش بسزایی را در افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژنی به عهده دارد. همچنین استفاده از روش طیف‌سنجی تفکیک زمانی امکان پایش پیوسته‌ی تولید و مصرف گونه‌های فعال اکسیژنی را فراهم می‌کند.

مراجع

[1] Dorota Bartusik-Aebisher a, Lukasz O , David Aebisher, Alternative methods of photodynamic therapy and oxygen consumption measurements, Biomedicine & Pharmacotherapy, 2021.

[2] Michele M,] Light Sources and Dosimetry Techniques for Photodynamic Therapy, Photochemistry and Photobiology, 2020.

[3]Santi Nonell and Cristina Flors, Singlet Oxygen Applications in Biosciences and Nanosceinces, Comperhensive Series in Photoghemical and Photobiological series, 2020.

[4] Dmitry B. Popkovsky, Phosphorescent Oxygen - Sensitive Probes , SPRINGERBRIEFS IN BIOMEDICAL AND MOLECULAR BIOLOGY.

[5]] Dmitry B. Popkovsky, Quenched Phosphorescence Detection of Molecular Oxygen, Detection Sience, 2018.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

ساخت میکرو سوزن های فعال فوتونیکی برای سنجش گلوکز

فائزه دادگر، اسماعیل حیدری، محمدحسین مجلس آرا، محمد عادل غیاث

دانشگاه خوارزمی، دانشکده فیزیک، آزمایشگاه سنسورهای نانوفوتونیکی و اپتوفلویدیک

faeze.dadgar@khu.ac.ir, e.heydari@khu.ac.ir, majlesara@khu.ac.ir, ghiass@modares.ac.ir

چکیده - در این پژوهش از پلت فرم میکروسوزن های فوتونیکی که از روش نانو ایمپرینت لیتوگرافی ساخته شده است برای اندازه گیری گلوکز استفاده می شود. میکروسوزن های ساخته شده در پچی به ابعاد ۱×۱ سانتی متر به صورت یکنواخت قرار گرفته اند که ارتفاع هر میکروسوزن به صورت میانگین برابر است با ۲۴۴.۱۶ میکرومتر و فاصله ی بین پایه ی میکروسوزن ها حدودا ۵۴۱.۵۵ میکرومتر است، همچنین تیزی نوک آن ها قطری حدود۲۳.۹۶ میکرومتر را شامل می شود. عملکرد سنسور به این صورت است که، میکروسوزن ها روی پوست اعمال شده، کمپلکس فلزی پلاتین استفاده شده در میکروسوزن ها تحت تابش لیزر آبی برانگیخته می شوند، که با توجه به غلظت گلوکز در محیط و واکنش گلوکز با گلوکز اکسیداز، موجب مصرف اکسیژن می شود که با اندازه گیری طول عمر فسفرسانس غلظت گلوکز بررسی می شود.

کلید واژه- میکرو سوزن های فعال فوتونیکی، کمپلکس فلزی پلاتین، سنجش گلوکز

Fabrication of Nanophotonic Microneedles for Glucose Sensing

Faeze Dadgar, Esmaeil Heydari, Mohamad hosein Majles ara, Mohamad adel Ghias

Kharazmi university, Faculty of Physics, Nanophotonic sensors and optofluidics lab

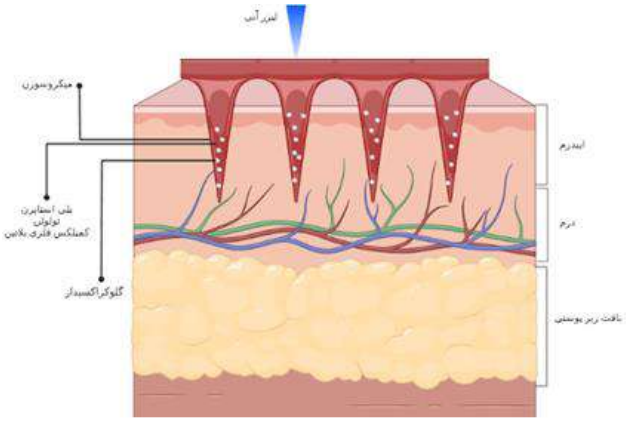
faeze.dadgar@khu.ac.ir, e.heydari@khu.ac.ir, majlesara@khu.ac.ir, ghiass@modares.ac.ir

In this research, the platform of photonic microneedles, which is made by nanoimprint lithography method, is used to measure glucose. The microneedles made in a patch with dimensions of 1x1 cm are uniformly placed, the average height of each microneedle is equal to 244.16 micrometers, and the distance between the bases of the microneedles is about 541.55 micrometers, as well as the sharpness Their tips have a diameter of about 23.96 micrometers. The function of the sensor is that microneedles are applied to the skin, the platinum metal complex used in the microneedles is excited under blue laser radiation, which causes oxygen consumption due to the concentration of glucose in the environment and the reaction of glucose with glucose oxidase. which is checked by measuring the fluorescence lifetime of glucose concentration.

Keywords: photonic active micro-needles, platinum metal complex, glucose measurement

مقدمه

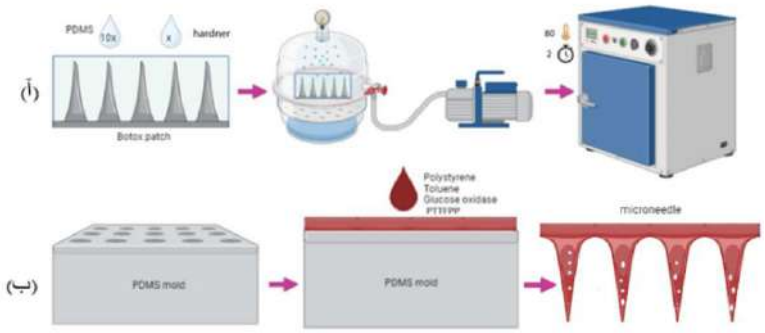
گلوکز به عنوان یکی از قندهای ساده و اصلی ترین منبع تامین انرژی بدن محسوب می شود. بدن کربوهیدرات های غذاهای مصرف شده را به گلوکز تبدیل می کند. سایر علل بالقوه بالا بودن سطوح گلوکز خون موجب بروز مشکلاتی نظیر، هایپرتیروئیدیسم یا پرکاری غده تیروئید، پانکراتیت یا التهاب پانکراس، سرطان پانکراس، و غیره است. بنابراین اندازه گیری گلوکز در رشد سلولی و سرطان بسیار حائز اهمیت است. علیرغم آن که کارشناسان می‌گویند رژیم‌های غذایی حاوی قندهای افزوده بالا ممکن است خطر ابتلا به سرطان را در طول زندگی افزایش دهند اما حذف تمام قندها در واقع با تومورهای موجود مبارزه نمی‌کند. آزمایش گلوکز خون اکثراً برای افراد مبتلا به دیابت نوع ۱، دیابت نوع ۲ و دیابت های بارداری به کار می رود. دیابت بیماری است که در طی آن سطوح گلوکز خون بالا می رود. به طور متداول برای اندازه گیری قند خون از دستگاه های تست قند خون استفاده می شود،که توسط سوزن و نوار تست از نوک انگشت بیمار نمونه گیری انجام می شود. بنابراین افرادی که تحت درمان هستند، به دلیل درد ناشی از سوزن های معمولی ممانعت در مراقبت های درمانی دارند. میکروسوزنهای فوتونیکی کم تهاجمی برای به حداقل رساندن درد ناشی از اعمال سوزن بر پوست و بررسی قند خون پیشنهاد می شود.[۱-۲] روش جدید اندازه گیری گلوکز توسط میکروسوزن های فوتونیکی می باشد. در سال ۲۰۰۴ به دلیل نیاز به مقدار قابل توجهی نمونه برای تجزیه وتحلیل، و زمان طولانی، زیمرمن و همکارانش حسگرهای گلوکزسنجی را معرفی کردند که از آرایه های سیلیکونی تو خالی استفاده کردند.[۳] همینطور گارتشتاین و همکارانش دستگاهی برای درمان تعریق بیش از حد را که از مجموعه ای از میکروسوزن های تو خالی، یک مخزن و مجموعه ای از کاتد و اند، یک منبع برق، کنترل کننده الکترونیکی را به ثبت رساند که در آن الکترود به عنوان حسگر بیوالکتروشیمیایی عمل می کند و مخزن که حاوی یک هیدروژل بارگذاری شده با گلوکز اکسیداز برای تشخیص و تعیین کمیت گلوکز می باشد.[۴] مزیت های فناوری میکروسوزن ها عبارتند از : به حداقل رساندن میزان احساس درد، و فوبیا از سوزن، کاهش خطر عفونت، اجتناب از تخریب در دستگاه گوارش در مقایسه با دارو رسانی به روش خوراکی، تزریق هدفمند آرایه های میکروسوزن از چندین نمونه ی کوچک سوزن های زیرپوست ی تشکیل شده اند،که برای نفوذ و هدف قرار دادن مناطق خاصی از غشاهای بیولوژیکی به روشی کم تهاجمی طراحی شده اند. به طور معمول، دارای طول ۱ میلی متر و پهنای پایه ی ۱۰۰ میکرومتر هستند. میکروسوزن ها اشکال و اندازه های مختلفی دارند، و از مواد مختلفی از جمله سیلیکون، فلز، پلیمر، شیشه و سرامیک ساخته شده اند. این میکروسوزن ها به عنوان حسگر برای تشخیص پارامترهای زیستی قرار میگیرند.[۵-۶] عملکرد سنسور همانطور که در شکل(۱) مشاهده می شود به این صورت است که، میکروسوزن ها روی پوست اعمال شده، کمپلکس فلزی پلاتین استفاده شده در میکروسوزن ها تحت تابش لیزر آبی برانگیخته می شوند، که با توجه به غلظت گلوکز در محیط و واکنش گلوکز با گلوکز اکسیداز، موجب مصرف اکسیژن می شود که با اندازه گیری طول عمر فسفرسانس غلظت گلوکز بررسی می شود.



شکل۱ ساختار میکروسوزن ها و عملکردشان

روش تجربی

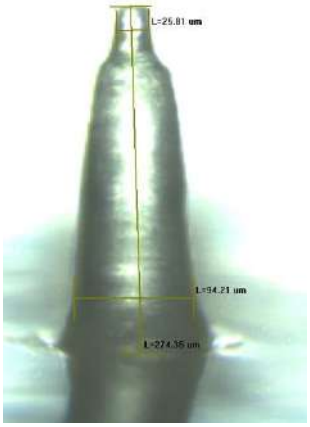
مراحل ساخت قالب میکروسوزن ها طبق شکل۲ قسمت (آ) به این صورت می باشد که برای قالب گیری از پچ بوتاکس تهیه شده، ابتدا پچ را به ابعاد ۱×۱ سانتی متری برش زده که حدودا دارای ۱۰۰ میکروسوزن می باشد. سپس پلی دی متیل سیلوکسان که یک ماده ی الاستومر است برای نانو ایمپرینت لیتوگرافی را به همراه ماده ی هاردنر با نسبت



شکل۲ (الف) روش تهیه ی قالب پلی دی متیل سیلوکسان، (ب) روش ساخت میکروسوزن ها

۱۰ به ۱ مخلوط می کنیم و روی پچ میریزیم و به مدت ۱۰ دقیقه داخل دستیکاتور قرار می دهیم تا حباب های آن خارج شود و در نهایت به مدت ۲ ساعت با دمای ۸۰ درجه ی سانتی گراد داخل آون قرار می دهیم، تا قالب آماده شود. سپس نمونه اولیه ی میکروسوزن ها در ماتریس پلی استایرن که یک نوع پلیمر است به عنوان ماتریس ازآن استفاده می شود توسط نانو ایمپرینت لیتوگرافی تشکیل می شود. بنابراین ابتدا قالب به دست آمده را به مدت ۱۰ دقیقه پلاسما می کنیم که سطح آبگریز پلی دی متیل سیلوکسان از بین برود و محلول ساخت میکروسوزن ها به خوبی در قالب نفوذ کند و باتوجه به تصویر۲ قسمت (ب) گلوکزاکسیداز را به میزان ۴ میلی گرم در یک قطره آب دیونیزه ریخته می شود و سپس در کمپلکس فلزی پلاتین که به اندازه ی ۵۰ میکرولیتر است و ماتریس پلیمری پلی استایرن قرارگرفته است، همینطور در ادامه با۳۰ میکرولیتر از ماده ی تولوئن مخلوط می کنیم تا به اندازه ی کافی رقیق شود. سپس محلول را طی دو مرحله که در هر کدام به میزان ۱۰ میکرولیتر از محلول تهیه شده را برداشته و روی قالب ریخته و به مدت ۳۰دقیقه در دمای ۴۰ درجه ی سانتی گراد داخل آون قرار می دهیم تا به خوبی خشک شود و در نهایت از قالب جدا می نماییم.

نمونه ای ازمیکروسوزن تهیه شده را که توسط میکروسکوپ نوری تصویر برداری شده است و ابعاد آن در تصویر که شامل ارتفاع، قطر پایه و تیزی نوک میکروسوزن است را در شکل۳ مشاهده می نماییم که نتیجه ی نهایی به این صورت می



شکل۳ تصویر میکروسکوپ نوری از میکروسوزن

باشد که تقریبا حدود۵۰ میکروسوزن سالم از کل میکروسوزن ها به شکل درست قالب گیری شده اند وشکل مناسبی دارند. عملکرد سنجش گلوکز توسط میکروسوزن های فعال فوتونیکی تهیه شده به این صورت است که میکروسوزن ها روی پوست اعمال شده و کمپلکس فلزی پلاتین برانگیخته شده و با توجه به غلظت گلوکز در محیط و واکنش گلوکز با گلوکز اکسیداز، موجب مصرف اکسیژن می شود که با اندازه گیری طول عمر تابش فسفرسانس غلظت گلوکز بررسی می شود.

نتیجه گیری

قابل ذکر است که در این پژوهش ساخت نمونه هایی از میکروسوزن های فعال فوتونیکی برای سنجش گلوکز صورت گرفته است که فرم و شکل ظاهری مناسب آنها در تصویربرداری با میکروسکوپ نوری قابل مشاهده است. همچنین میزان شکستگی های میکروسوزن ها به حداقل

رسیده است و ارتفاع، تیزی نوک وشعاع پایه آنها به ترتیب حدودا برابر ۵۰۰ ، ۲۷۰ و ۲۵ میکرومتر است که مطابق با ابعاد نمونه ی مدنظر می باشد.

مرجع‌ها

Boris Stoeber, PEng, PhD Raja K Sivamani, MD, MS (Bioengineering), AP Howard I. Maibach, MD "Microneedling in Clinical Practice" 2021

Ryan F. Donnelly, Thakur Raghu Raj Singh, Eneko Larrañeta, and Maelíosa T.C. McCrudden "Microneedles for Drug and Vaccine Delivery and Patient Monitoring" 2018

Elizabeth Bahar Houshmand Series Editor Michael H. Gold "Microneedling Global Perspectives in Aesthetic Medicine" 2021

Ryan F. Donnelly, Tha ٠kur Raghu Raj Singh, Desmond I.J. Morrow, A. David Woolfson "Microneedle-mediated Transdermal and Intradermal Drug Delivery" 2012

Eldhose Skaria "Development of A Nanocomposite Microneedle Biosensor for Rapid Intradermal Bioanalysis"PhD Thesis 2018

Matthias Müller, Juan Pedro Cascales, Haley L. Marks, Michael Wang-Evers, Dieter Manstein, and Conor L. Evans "Phosphorescent Microneedle Array for the Measurement of Oxygen Partial Pressure in Tissue" ACS Sens. 2022

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

تکنیک نوری تخمین غلظت هموگلوبین گلیکولیزه خون به صورت غیرتهاجمی

سارا مومنی موکوئی[۱]، زهرا امینی[۲]، عزالدین مهاجرانی[۲]، صمد روشن انتظار[۱]

[۱]دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. sara.momeni67@gmail.com

[۲]پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.e-mohajerani@sbu.ac.ir

چکیده – روش‌های غیرتهاجمی، نظارت مداوم بر سطح گلوکز را تسهیل می‌کنند. یکی از رویکردهای نوین در این حوزه استفاده از هموگلوبین گلوکولیزه به عنوان نشانگر برای تحلیل تغییرات گلوکز است. در این مقاله، به روش طیف‌سنجی بازتابی پخشی برای بررسی تغییرات گلوکز پرداخته شده است. ارتباط میان تغییرات طیف بازتابی پخشی از روی پوست و نتایج گلوکومتر نشان می‌دهد . چالش‌های رایج این سیستم‌ها را مورد بررسی قرار داده و چشم‌اندازی برای راه‌حل‌های فعلی و آینده ارائه شده است

کلید واژه- طیف سنجی بازتابی پخشی، غیرتهاجمی، گلوکز، هموگلوبین، هموگلوبین گلیکولیزه.

The non-invasive optical technique for estimating the concentration of glycated hemoglobin in blood

Sara Momenimokoei[1], Zahra Amini[2], Ezeddin Mohajerani[2], Samad Roshanentezar[1]

[1]Tabriz University, Faculty of Physics. Email: sara.momeni67@gmail.com

[2]Shahid Beheshti University, Laser & plasma Research Institute, Tehran, Iran

Email: e-mohajerani@sbu.ac.ir

Abstract- Non-invasive methods facilitate continuous monitoring of glucose levels. A novel approach in this field involves applying glycated hemoglobin as a marker for analyzing glucose variations. Here, we explore diffuse reflectance spectroscopy and investigate glucose changes by examining spectra obtained in and non-fasting states. The direct correlation between changes in diffuse reflectance spectra from the skin and glucometer results. Common challenges of these systems are discussed, and a perspective on current and future solutions is presented.

Keywords: Diffuse Reflectance Spectroscopy, Non-invasive Glucose, Hemoglobin, Glycated Hemoglobin.

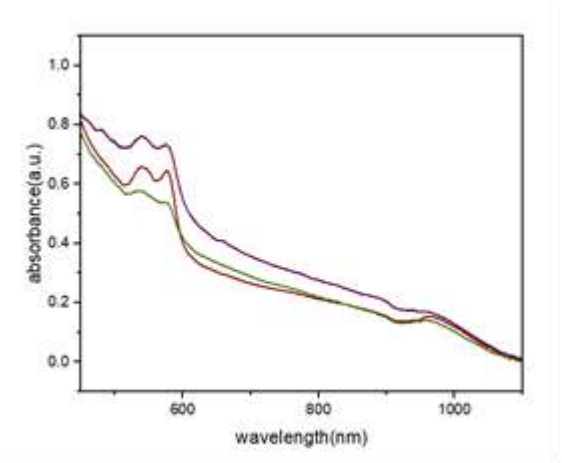
مقدمه

هموگلوبین نوعی پروتئین است که در گلبول‌های قرمز خون یافت می‌شود .هموگلوبین متصل به گلوکز، هموگلوبین گلیکوزه شده (HbA1c) نامیده می شود. از بین تمام آزمایشهای موجود برای تشخیص دیابت، سطح هموگلوبین گلیکوزیله (HbA1c) در خون میتواند یک شاخص قابل اعتماد در کنترل بلندمدت قند خون بدون نوسانات روزانه قابل توجه باشد.در نتیجه به‌عنوان. پایش گلوکز خون یکی از جنبه های ضروری مدیریت بیماری برای افراد مبتلا به دیابت است[۱]. متأسفانه روش‌های سنتی نیاز به جمع‌آوری نمونه خون دارند، بنابراین تهاجمی و ناخوشایند هستند. پیشرفت‌های اخیر در مانیتورهای مداوم گلوکز با حداقل تهاجم، جایگزین راحت‌تری برای افراد مبتلا به دیابت برای ردیابی سطح گلوکز خود به صورت ۷/۲۴ فراهم کرده است، اما هنوز هم نیاز زیادی به رویکردهای کاملاً غیرتهاجمی برای نظارت بر گلوکز وجود دارد. فناوری پشتیبانی از سنجش نوری گلوکز خون با سرعت در حال توسعه است. روش‌های مبتنی بر نوری امیدوارکننده هستند و با استفاده از خواص نوری که با مولکول‌های گلوکز به روشی وابسته به غلظت در طیف وسیعی از فرکانس‌ها برهمکنش می‌کنند، عمل می‌کنند [۲]. تکنیک های نوری را به دو دسته تقسیم می‌کنیم: (۱) تکنیک‌های سنجش مستقیم که خواص نوری گلوکز را برای استنباط سطح گلوکز اندازه‌گیری می‌کنند. (۲) تکنیک‌های سنجش غیرمستقیم که تغییر در خواص بافت و خون را برای استنباط سطح گلوکز تشخیص می‌دهند.

روش و مراحل آزمایش

در میان روش‌های سنجش مبتنی بر نوری، روش‌های طیف‌سنجی بازتابی پخشی پتانسیل بالاتری برای سنجش دقیق گلوکز نشان می‌دهند [۳]. زیرا هموگلوبین پروتئینی است که در گلبول های قرمز یافت می شود. پیک جذب هموگلوبین در محدوده VIS در ۵۴۰ نانومتر، ۵۷۶ نانومتر و بین ۳۸۰ تا ۴۲۰ نانومتر قرار دارد. در این روش از پروب فیبر نوری برای طیف سنجی استفاده می‌شود. بدین گونه که یکی از فیبرها به منبع نور و دیگری به اسپکترومتر VO-ULS2048CL-AvaSpec وصل شده و انتهای هر دو فیبر با زاویه ۴۵ درجه در بالای نگه‌دارنده انگشت دست ثابت می‌شوند. در ادامه فرد در حالت ساکن دست خود را در زیر پروب فیبر نوری و در محل نگه‌دارنده‌ی انگشت قرار داده و از زمان صفر طیف های مد جذبی به طور مستمر تا ۴۵ دقیقه هر یک دقیقه یک‌بار ثبت می‌شوند. در کلیه‌ی آزمایش‌ها به منظور اعتبارسنجی و اطمینان پیدا کردن از نتایج طیف سنجی‌ها، با استفاده از دستگاه تست قند خون مدل آوان عدد قند خون یادداشت شده و میزان افزایش آن مورد بررسی قرار گرفته است. در این قسمت تنها به دلیل اطمینان پیدا کردن از روند طیف ها در دو حالت ناشتا و غیر ناشتا از ۳ نفر نمونه گرفته می‌شود.

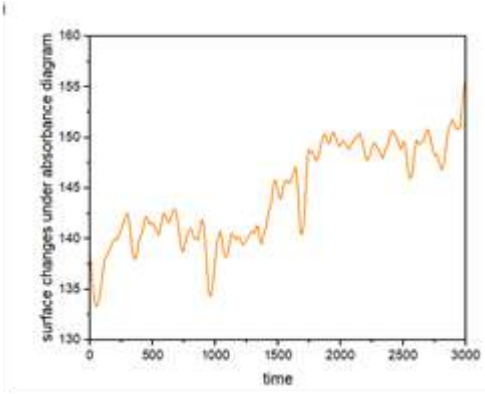
برای انتخاب موضع مناسب جهت طیف سنجی، چند ناحیه را کاندید کرده و نواحی مختلفی از دست افراد مورد آزمایش و بررســـی قرار گرفت.در شکل(۱) نشان داده شده ناحیه داخلی بند اول انگشت سوم به عنوان بهترین موضع برای طیف سنجی تعیین گردید .



شکل ۱: طیف جذبی به روش بازتابی پخشی از سه ناحیه(رنگ بنفش انگشت سوم دست راست، رنگ قرمزانگشت شصت دست راست و رنگ سبز ساعد دست راست)

روند آزمایش بدین گونه است که با گذشت زمانی حدود ۵ دقیقه شخص مورد نظر، در حالت آرامش و بدون تکان

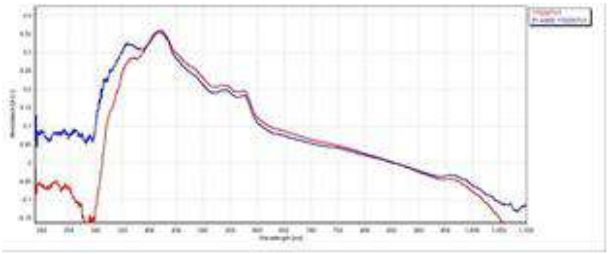
خوردن روی صندلی مقابل ستاپ آزمایش در حالی که انگشت وی در زیر فیبر نوری قرار گرفته است، می‌نشیند. طیف مورد بررسی تغییرات سطح زیر نمودار در زمان ۴۰ دقیقه را در بازه های طول موجی مشخص از ۴۲۰ تا ۴۵۰، ۵۲۰ تا ۵۵۰، ۵۵۰ تا ۵۹۰ و هم چنین یک بازه طول موجی گسترده از ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ را نشان می‌دهد. بعد از گذشت ۵ دقیقه شروع به طیف گیری می‌شود. پس از گذشت زمان ۳ دقیقه که انگشت شخص شروع به خوردن آب می‌کند. این کار به دلیل آن است که احیانا اثراتی که ممکن است آب موجود در شربت گلوکز بر روی طیف داشته باشد حذف شده و از آن ها چشم پوشی شود. بعد از گذشت زمانی در حدود ۱۰ دقیقه شخص به نوشیدن شربت گلوکز می‌پردازد. در روند تغییرات سطح زیر نمودار افزایش ایجاد می‌شود(شکل ۲) در زمان انجام آزمایش شربت گلوکز تا دقیقه ۲۰ خورده شده و پس از آن فرد به همان حالت ثابت انگشت خود را در زیر فیبر نوری نگه می دارد.



شکل۲: تغییرات مساحت زیر نمودار در هر یک دقیقه

نتایج

در این بخش به بررسی طیف های بدست آمده از حالت های ناشتا و غیر ناشتا، به روش بازتابی پخشی به مشاهده تفاوت در این دو طیف و رسم آن‌ها در یک گراف برای مقایسه بهتر پرداخته شده است. لازم به ذکر است مقصود از انجام چنین پژوهشی تنها رصد و مطالعه تغییرات قند خون در یک فرد در حالت ها و در زمان های مختلف بوده است. به هیچ وجه برخورد با چنین مسائلی از راه آماری مد نظر نبوده، پس هر فرد نسبت به خودش در زمان های متفاوت مقایسه می‌شود. همانطور که در شکل ۳مشاهده می‌شود طیف سنجی از روی پوست، از دقیقه صفر تا دقیقه ۴۵ام اطلاعات هر یک دقیقه ثبت شد. این اندازه‌گیری ها اختلاف سطح زیر نمودار جذب را در هر دقیقه با نمودار قبلی خود محاسبه کرده و نشان می‌دهد. سپس به منظور مطالعه تغییرات ایجاد شده در پیک های شاخص هموگلوبین که در اثر اتصال گلوکز ایجاد شده‌اند، از روش انتگرال زیر سطح نمودار استفاده شده است و روند صعودی جذب در مدت ۴۵ دقیقه نشان داده شده است.



شکل ۳: تغییرات طیف جذب از روی پوست در حالت ناشتا نمودارآبی رنگ و در حالت غیرناشتا نمودارقرمز رنگ

بعد از مصرف گلوکز نسبت به حالت ناشتا بسته به فیزیولوژیک بدن هر فرد در حدود ۱۰ الی ۱۵ دقیقه زمان می‌برد تا گراف طیف شروع به تغییر کند. مصرف شربت گلوکز باعث گلیکوزیله شدن هموگلوبین شده و این تغییر ساختار در طیف قابل مشاهده است .اما با بررسی پیک های هموگلوبین در سه طول موج۴۲۰، ۵۴۰و ۵۷۵ نانومتر و به موازات آن ثبت عدد قند خون با دستگاه گلوکومتر روند صعودی طیف جذب قابل توجیه است و نشان دهنده ی آن است که می توان از این روش غیر تهاجمی پیشنهادی برای اندازه گیری و بررسی تغییرات قند خون استفاده نمود . در این روش دقت اندازه گیری گلوکز به اجزای خون، انتقال گلوکز در بدن، ضخامت و ترکیب لایه های بافت پوست و ویژگی های فیزیولوژیکی مربوط به مولکول های گلوکز خون بستگی دارد مولکول‌های گلوکز با اجزای خون/بافت و اجزای غالب در خون/بافت تعامل دارند و این بر دقت حسگرهای گلوکز تأثیر می‌گذارد. . خون و اجزای بافتی که بر این

اندازه‌گیری‌ها تأثیر می‌گذارند شامل: آب، پروتئین‌های خون (بیشتر هموگلوبین و آلبومین)، گلبول‌های قرمز، بافت چربی، اسمولالیته سرم خون، کراتین در اپیدرم و کلاژن در درم، است [۴].

موانع فعلی برای سنجش غیرتهاجمی گلوکز

با وجود چندین دهه تحقیق، سنجش غیرتهاجمی گلوکز تا به امروز یک چالش بزرگ باقی مانده است. از آنجایی که بسیاری از فناوری‌های غیرتهاجمی مبتنی بر نوعی از تکنیک‌های سنجش نوری هستند، ممکن است یک تاخیر زمانی بین اندازه‌گیری میزان گلوکز خون از قسمت‌های مختلف بدن رخ دهد که می‌تواند خطای کالیبراسیون را ایجاد کند. علاوه بر این، نیروی ناحیه اندازه گیری ممکن است بر تغییر شکل نقطه تماس بافت تأثیر بگذارد، به این دلیل که تغییر شکل‌های مختلف بافت‌ها ممکن است ویژگی‌های جذب یا انعکاس متنوعی ایجاد کند. علاوه بر این، دما ممکن است بر نتیجه پیش‌بینی تأثیر بگذارد، به‌ویژه برای فناوری حسگر نوری، زیرا تغییرات چندین درجه ممکن است به طور قابل‌توجهی بر سطح انرژی محتوای جذب تأثیر بگذارد. همچنین، انتخاب طول موج همچنان یک مشکل چالش برانگیز است. زیرا که با بسیاری از مولکول‌های مداخله‌گر که می‌توانند سیگنال گلوکز را بپوشانند. مهمتر از همه، تأثیر فیزیولوژیکی انسان مهمترین عامل در پایش غیرتهاجمی گلوکز است [۴].

نتیجه‌گیری و جمع بندی

طیف سنجی از روی پوست به نسبت حالت تهاجمی از دقت کمتری برخوردار می‌باشد، اما از لحاظ نشان دادن رفتار مشابه با حالت تهاجمی که همان افزایش سطح زیر نمودار جذب است، قابل بررسی خواهد بود و در هر فرد با توجه به ویژگی‌های مختص به خود آن فرد، طیف خون نسبت به شخص دیگر از لحاظ ارتفاع پیک های شاخص تفاوت وجود دارد.

در حوزه سنجش غیرتهاجمی گلوکز، تاکنون پیشرفت‌های چشمگیری در اندازه‌گیری گلوکز و تخمین سطح HbA1c که به نتایج قابل قبولی دست یافته اند اما هنوز چالش‌های مهمی برای تجاری‌سازی این سیستم‌ها باقی مانده است. این شامل موانعی چون مسائل کالیبراسیون، عدم شباهت نژادی/قومی، تأثیرات فیزیولوژیکی و ابهامات مرتبط با شکل سیستم‌ها می‌شود. رفع این موانع نیازمند پیشرفت‌های دائمی و فرآیند پیچیده است. اما با تداوم تلاش‌ها، امیدبخش است که این راهکارهای غیرتهاجمی واقعی را برای کنترل و پیشگیری از دیابت فراهم می‌کنند.

مرجع‌ها

[1] M. A. Arnold and G. W. Small, "Noninvasive glucose sensing," Anal. Chem., vol. 77, no. 17, pp. 5429-5439, Sep. 2005

M. Shokrekhodaei and S. Quinones, "Review of Non-Invasive Glucose Sensing Techniques: Optical, Electrical and Breath Acetone," Sensors, vol. 20, no. 5, p. 1251, Feb. 2020,

D. Bruen, "Glucose Sensing for Diabetes Monitoring: Recent Developments," Sensors, vol. 17, no. 8, p. 1866, Aug. 2017.

Hossain, M.S.;.Noninvasive Estimation of Glycated Hemoglobin In-Vivo Based on Photon Diffusion Theory and Genetic Symbolic Regression Models. IEEE Trans. Biomed. Eng. 2021.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی و
فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

سنسور فوتونیکی اکسیژن برای ارزیابی رهایش اکسیژن نانوذرات کلسیم پراکسید در پوشش نانوذرات لیپیدی جامد

مبینا امیری، حانیه رضایی فر، اسماعیل حیدری، محمد معینی

دانشگاه خوارزمی، دانشکده فیزیک، خیابان مفتح، تهران، ایران

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک)، خیابان حافظ، تهران، ایران

mob.amiri@aut.ac.ir, h.rezaeifar6@gmail.com, e.heydari@khu.ac.ir, m.moeini@aut.ac.ir

چکیده-اکسیژن یک متابولیت ضروری برای بقا و عملکرد موجودات هوازی است که در رفتارهای مختلف سلولی نقش دارند. نانومواد مانند کلسیم پراکسید با قرار گرفتن در معرض آب، اکسیژن و H_2O_2 تولید می‌کنند برای در امان ماندن از اثرات سمی H_2O_2 انرا در پوشش های مختلف لیپیدی قرار می‌دهند. روش های مختلفی برای اندازه گیری رهایش اکسیژن نانوذرات به کارگرفته می‌شود. اخیرا اندازه‌گیری‌های فتونیکی به دلیل سادگی ودقت بالا مورد توجه قرارگرفته‌اند.در این پژوهش نانوذرات کلسیم پراکسید در نانوذرات جامد لیپیدی قرار گرفت که با اعمال دما سامانه ذوب شده و کلسیم پراکسید را در معرض اب قرار می‌دهد و بصورت همزمان میزان اکسیژن رهاشده را توسط سنسور فتونیکی اندازه‌گیری می‌کند.

کلید واژه-سنسور فوتونیکی، رهایش اکسیژن، کلسیم پراکسید، نانوذرات

A Photonic Oxygen Sensor for Evaluation of the Oxygen Release of Calcium Peroxide Nanoparticles in Solid Lipid Nanoparticles

Mobina Amiri, Hanie Rezaee Far, Esmaeil Heydari, Mohammad Moeini
Faculty of Physics, Kharazmi University, Mofateh Ave., Tehran, Iran
Amir Kabir University of Technology (Polytechnic), Hafez St., Tehran

Abstract- Oxygen is an essential metabolite for the survival and functioning of aerobic organisms that are involved in various cellular behaviors. Nanomaterials such as calcium peroxide produces oxygen and H2O2 when exposed to water. To avoid the toxic effects of H2O2, they are placed in different lipid coatings. Different methods are used to measure the oxygen release of nanoparticles. Recently, photonic measurements have received attention due to their simplicity and high accuracy. In this research, calcium peroxide nanoparticles were placed in solid lipid nanoparticles, which were melted by applying temperature to the system and exposed calcium peroxide to water, and At the same time, it measures the amount of released oxygen by a photonic sensor.

Keywords: calcium peroxide, nanoparticles, oxygen release, photonic sensor

مقدمه

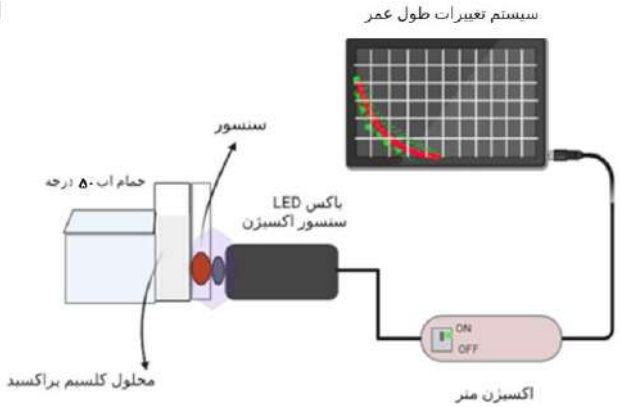
اکسیژن یک متابولیت ضروری برای بقا و عملکرد موجودات هوازی است. نقش کلیدی اکسیژن در بدن انسان، اکسیداسیون مواد مغذی است که تولید انرژی کارآمد را ممکن می سازد. در دسترس بودن محدود اکسیژن می‌تواند منجر به محدودیت در دسترس بودن ATP شود. این به نوبه خود باعث ایجاد تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و اتوفاژی که در نهایت باعث مرگ سلولی می‌شود؛ علاوه بر این، در رگزایی، مهاجرت سلولی، التهاب، تحرک سلولی و تکثیر نقش دارند. بنابراین، بیومواد آزاد کننده اکسیژن، یک دستاورد جدید و منحصر به فرد است.[۱] صرف نظر از این، فشار اکسیژن یک بافت می‌تواند به شدت توسط شرایط پاتولوژیک ، مانند سرطان، دیابت، سکته مغزی و بیماری عروق کرونر قلب و سایر موارد مختل شود؛ در حالی که در کوتاه مدت، این تغییر به سمت هیپوکسی با پاسخ‌های ترمیمی مانند تمایز سلول‌های بنیادی و بازسازی بافت همراه است. در نتیجه، به دست آوردن کنترل بر pO2 موضعی باعث تحریک بازسازی بافت و کاهش اثرات نامطلوب شدید بر ساختار بافت می‌شود[1].

انواع سامانه‌های تولید کننده اکسیژن تاکنون توسعه یافته است، مانند روش‌های مستقیم و غیر مستقیم شامل پراکسیدهای مایع، مانند پراکسید هیدروژن (H_2O_2)،که به آب و اکسیژن تجزیه می‌شوند و در نتیجه این مکانیسم اکسیژن تولید می‌شود، آنها به دلیل انحلال پذیری و سرعت تجزیه در آب، دارای سرعت آزادسازی سریع اکسیژن هستند. برای افزایش حداکثر بار اکسیژن و اجازه دادن به آزادسازی تدریجی اکسیژن، پراکسیدهای جامد (SPs) به عنوان راهی برای تولید اکسیژن با تولید H_2O_2 به عنوان یک محصول میانی پس از هیدرولیز آنها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سه SP که بیشتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند عبارتند از: کلسیم پراکسید (CPO)، پراکسید منیزیم (MPO) و پرکربنات سدیم (SPC). میزان و مدت آزاد شدن اکسیژن را می‌توان با تنظیم عوامل دیگر مانند دما، حلالیت، pH و کاتالیزورها تنظیم کرد.این ازاد سازی اکسیژن به علت سطوح بالای H_2O_2 و ROS با سمیت سلولی شدید همراه است؛ برای مقابله با این چالش، SP ها در یک ماده آبگریز به عنوان مثال، پلی (کاپرولاکتون) (PCL) یا یک ماده تغییر شکل دهنده مانند حامل‌های لیپیدی محصور می‌شوند، که همزمان تولید تدریجی H_2O_2 و در نهایت اکسیژن را ارائه می‌دهند که به طور قابل‌توجهی سمیت سلولی SPs را به دلیل به حداقل رساندن تجمع ترکیبات سمی مبتنی بر پراکسید و رادیکال‌های آزاد کاهش می‌دهد.[۲] از جمله موادی که در رهایش کنترل شده دارو در پاسخ به افزایش دما می‌توان استفاده‌کرد، مواد زیست‌سازگاری نظیر پلیمر های زیست سازگار یا لیپیدهایی است که دمای ذوب آنها مناسب برای کاربردهای کلینیکی باشد؛این مواد با افزایش دما و تغییر فازی که می‌دهند نفوذ پذیری به شدت افزایش می‌یابد و امکان رهایش دارو فراهم می‌شود[3]. انواع مختلفی از مواد تغییر فاز دهنده و حامل‌های لیپیدی تا به امروز معرفی شده‌اند مانند لیپوزوم‌ها، میکروامولسیون‌ها و نانو یا میکروذرات پلیمری. مسیر های دارورسانی مختلفی مانند مسیر تزریقی، سطحی و بینی برای نانوذارت جامد لیپیدی (SLN) ها پیشنهاد و به کار گرفته شده‌است. از دیگر مزایای این نانوحامل‌ها می‌توان به ارزان قیمت بودن، زیست تخریب پذیری و زیست‌سازگاری آنها اشاره کرد.[۴]

روش‌های مختلفی برای ارزیابی آزادسازی اکسیژن نانوذرات وجود دارد. یکی از رایج ترین روش‌های تشخیص مبتنی بر فوتولومینسانس است. این روش شامل استفاده از رنگینه های فوتولومینسانس است که می‌تواند وجود اکسیژن را به صورت برگشت ناپذیر در نمونه تشخیص دهد .تشخیص الکتروشیمیایی روش دیگری است که می‌تواند برای ارزیابی آزادسازی اکسیژن از نانوذرات استفاده شود. این روش شامل استفاده از الکترودها برای اندازه‌گیری تغییرات جریان الکتریکی ناشی از آزاد شدن اکسیژن از نانوذرات است این روش بسیار حساس، انتخابی و پایدار است که می‌توانند در دمای بالا کار کنند؛ بنابراین برای محیط‌های سخت مناسب هستند. با این حال، آنها گران هستند و به الکترود مرجع نیاز دارند. روش دیگر الکترود کلارک است (بر اساس آمپرمتری) این الکترود پوشیده شده با یک غشای تراوا نسبت به اکسیژن است، که با اعمال ولتاژ معمولاً ۰.۷ ولت،

اکسیژن به صورت الکتروشیمیایی در سطح الکترود کاهش می‌یابد. الکترود کلارک از معایبی رنج می برد، از جمله: ۱- مصرف اکسیژن (که می‌تواند در مورد نمونه‌های بسیار کوچک و/یا کمبود اکسیژن مضر باشد)، ۲-اسیب ناشی از سوزن حسگر به بافت و ...[۵] حسگرهای نوری برای اکسیژن بر اساس ادغام سه سیستم هستند. اولین مورد شیمی حسگر است. اساساً، این اصطلاح به مخلوطی از موادی از جمله پروب نشانگر، حداقل یک پلیمر و در صورت نیاز مواد افزودنی مانند نرم‌کننده‌ها، چسباننده‌ها و موارد مشابه مربوط می‌شود . دوم، سیستم نوری متشکل از یک منبع نور، یک سیستم نوری (هدایت کننده نور) یا یک میکروسکوپ، و آشکارسازهای نوری است که از فتودیودها تا انواع مختلف دوربین های دیجیتال و اسکنرهای تخت را شامل می‌شود. سومین سیستم الکترونیکی است که داده ها را دیجیتالی پردازش کرده و نمایش می‌دهد. روش های نوری در حال جایگزینی روش کلارک هستند[5].

در این پژوهش یک سامانه کلسیم پراکسید پوشش داده شده با نانوذرات جامد لیپیدی توسعه داده شده و از یک سنسور اپتیکی بر اساس تغییرات طول عمر فتولومینسانس برای ارزیابی میزان رهایش اکسیژن ازاد شده از (ماده تغییر فاز دهنده) استفاده می‌شودکه شماتیک چیدمان در تصویر(۱) قابل مشاهده است..



شکل۱: شماتیک چیدمان اندازه‌گیری اکسیژن محلول کلسیم پراکسید در نانوذارت جامدلیپیدی.

فرایند به این صورت است که یک حمام اب ۵۰ درجه در اطراف محلول برقرار شده و با افزایش تدریجی دما و رسیدن به نقطه ذوب سامانه(۴۸ درجه)پوشش لیپیدی ذوب شده و کلسیم پراکسید را در معرض آب محیطی قرار می‌دهد و اکسیژن تولید می‌شود، از طرفی به طور همزمان با تابش LED محرک سنسور اکسیژن طول عمر هر سه ثانیه یک بار توسط نرم افزار ثبت می‌شود.

تجربی

طبق پروتکل خداویسی[۶] ذرات کلسیم پراکسید سنتز شدند. ۱.۵ گرم کلسیم کلرید در ۱۵ میلی لیتر آب دوبار تقطیر حل شد. ۷.۵ میلی لیتر محلول آمونیاک ۱ مولار و ۶۰ میلی لیتر PEG ۲۰۰ به محلول افزوده شد. به مخلوط قبل در حالی که در دمای محیط هم زده می‌شد۶.۴۳، میلی لیتر هیدروژن پراکسید ٪۳۵ قطره قطره با پمپ تزریق افزوده شد . تزریق با نرخ ۰.۰۷ min/ml معادل سه قطره بر دقیقه انجام شد. سپس ۶۰ میلی لیتر محلول سدیم هیدروکسید ۰.۵ مولار قطره قطره افزوده شده تا pH به بیشتر از ۱۱ برسد و نانوذرات کلیسم پراکسید به حالت رسوب درآیند و یک سوسپانسیون سفید رنگ تشکیل شود. در ادامه با سانتریفیوژ رسوب کلسیم پراکسید کامل جدا گردید. پس از مرحله شستشو(۳ مرتبه با سدیم هیدروکسید ۰.۱ مولار و ۶ مرتبه با آب مقطر) در آون خلاء خشک گردید. برای سنتز نانوذرات جامد لیپیدی حاوی کلسیم پراکسید از روش تزریق حلال استفاده شد به این صورت که ابتدا اتانول و لیپید جامد ستیل الکل به همراه نانوذرات کلسیم پراکسید سونیکیت کرده ، وقتی به دمای ۶۰ درجه رسید به محلول اب دوبار تقطیر و توین ۲۰ به عنوان سورفکتانت اضافه کرده و ۱۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی(دور بالا) همگن شده، سپس سانتریفیوژ کرده به مدت ۴۵ دقیقه و در نهایت بوسیله خشک کن انجمادی به پودر تبدیل می‌شود.

برای تهیه فیلم سنسور اکسیژن کمپلکس فلزی PtTFPP به عنوان یک ماده حساس به اکسیژن در ماتریس پلی استایرن آلاییده شد. به این منظور ابتدا مقداری از آن در تولوئن به خوبی پراکنده شد و به پلی استایرن حل شده در تولوئن افزوده شد. مقداری از این ترکیب بر روی لام ریخته

شده و با تبخیر تلوئن فیلم حسگر اکسیژن بدست آمد. در ادامه میزان تاثیر غلظت اکسیژن محلول در آب بر روی طول عمر این سنسور سنجیده شد و به کمک اندازه گیری طول عمر در غلظت های مختلف و رابطه استرن – ولمر(۱) نمودار کالیبراسیون به دست آمد.

$$\tau_0/\tau = 1 + k_{sv} \cdot DO \qquad (۱)$$

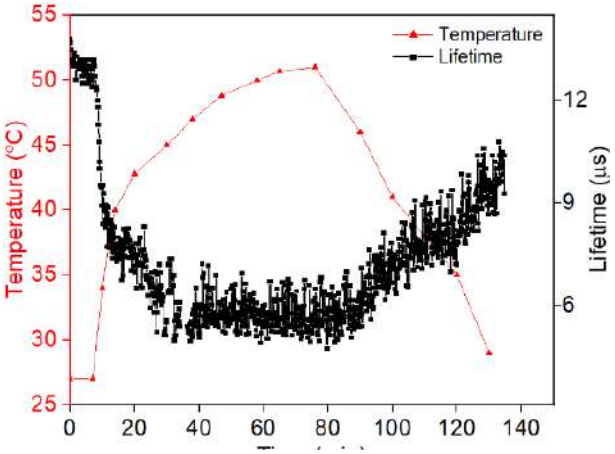
τ_0 = طول عمر افت لومینسانس سنسور در غلظت اکسیژن

τ = طول عمر افت لومینسانس سنسور در غلظت اکسیژن مورد نظر

K_{sv} =ثابت استر -ولمر که وابسته به سنسور می‌باشد و از روی منحی کالیبراسیون بدست می‌آید

DO =غلظت اکسیژن محلول در اب

همانطور که توضیح داده شد، نمودارتغییرات طول عمر نمونه کلسیم پراکسید در نانوذارت جامد لیپیدی طبق شکل (۳) بدست امد.



شکل۳: نمودار تغییرات طول عمر بر حسب دمای نمونه کلسیم پراکسید در نانوذارت جامد لیپیدی.

همانطور که می‌دانیم طبق داده های قبلی، میزان طول عمر تابش با غلظت اکسیژن محلول و دما نسبت عکس دارد، طبق شکل۳ حدود ۷ دقیقه اول در دمای محیط طول عمر ثبت شد و با افزایش تدریجی دما تا ۳۵ درجه طول عمر در حال کاهش است تا زمانی که دما به ۴۹-۵۰ می‌رسد؛ در اینجا که بازه زمانی ۴۵-۸۰ دقیقه می‌باشد طبق انتظار باید افت مقدار طول عمر را داشته باشیم. در این نقطه با توجه به دمای ذوب سامانه(۴۸) پوشش لیپیدی ذوب شده و اکسیژن رها می‌شود که این مقدار اکسیژن رها شده از کاهش بیش از حد طول عمر تابش جلوگیری کرده و بعد از این زمان یعنی از دقیقه۸۲ تا ۱۴۰ ، طبق انتظار با کاهش دما افزایش طول عمر را شاهد هستیم ومقدار طول عمر پایان یا انتها از طول عمر شروع پایین تر است که به معنای افزایش اکسیژن محلول می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نقش کلیدی اکسیژن در بدن انسان، که اکسیداسیون مواد مغذی است و تولید انرژی کارآمد را ممکن می‌سازد، در دسترس بودن محدود اکسیژن، برای هر بافتی ضروری می‌باشد؛ از این‌رو سامانه تولید کننده اکسیژن نانوذرات کلسیم پراکسید در نانوذرات جامد لیپیدی طراحی شد که با اعمال دما به سامانه و نزدیک شدن به نقطه ذوب آن رهایش اکسیژن را با استفاده از سنسور فوتونیکی بر اساس تغییر طول عمر تابش سنسور اندازه گیری شد که روشی بسیار دقیق، حساس و برگشت پذیر است.

مرجع‌ها

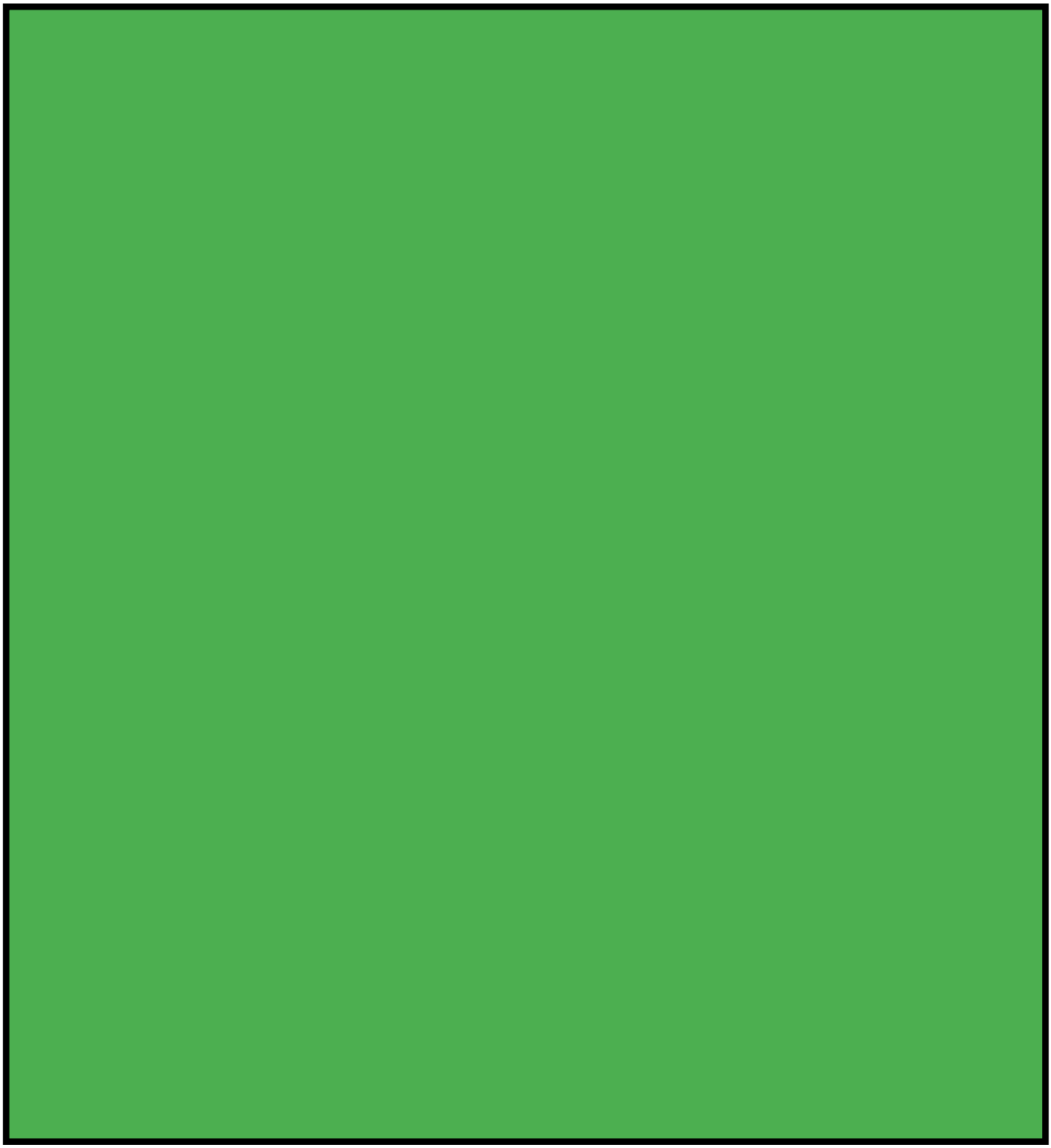
[1] N. G. Willemen, , et al., "Oxygen-releasing biomaterials: current challenges and future applications", Trends in biotechnol, Vol. 39, No. 11, pp. 1144-1159, 2021

[2] G. T. Huynh, , et al., "Review: Nanomaterials for Reactive Oxygen Species Detection and Monitoring in Biological Environments", Frontiers in Chemistry, No. 9, 2021

[3] M. Makowski, , et al., "Advances in lipid and metal nanoparticles for antimicrobial peptide delivery", Pharmaceutics, Vol. 11, No. 11, pp. 588, 2019

[4] N. Naseri, H. Valizadeh, and P. Zakeri-Milani, "Solid lipid nanoparticles and nanostructured lipid carriers: structure, preparation and application", Advanced pharmaceutical bulletin, Vol. 5, No. 3, pp. 305, 2015

[5] O. S. Wolfbeis, "Luminescent sensing and imaging of oxygen: Fierce competition to the Clark electrode", BioEssays, Vol. 37, No. 8, pp. 921-928, 2015





سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

اثر تعداد پالس لیزر اگزایمر بر تشکیل نانوساختارهای پلاسمونی دوفلزی نیکل-آلومینیوم

محدثه عربی [۱]، سمیه پناهی‌بخش [*۲] و مریم علیان‌نژادی [۱]

[۱] دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، ایران.

[۲] پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی، پژوهشگاه علوم وفنون هسته‌ای، تهران، ایران.

Mohadeseh.arabi@semnan.ac.ir, spanahi@aeoi.org.ir, m_aliannezhadi@semnan.ac.ir

چکیده – در این مقاله،نانوساختارهای نیکل-آلومینیوم‌با استفاده ازتابش دهی نمونه های لایه‌نازک دوفلزی نیکل-آلومینیوم توسط تابش لیزر اگزایمر ArF با طول موج ۱۹۳ nm و پهنای زمانی۱۵ ns بدست آمد. تابش دهی در شار انرژی ۶۰ mJ/cm^2 و با تعداد ۱۰ و ۲۰۰ پالس لیزری انجام شد. تصاویر FESEM نشان می‌دهد ساختارها با شکل، چگالی و ابعاد متفاوتی بدست آمدند و نتایج طیف سنجی DRS نیز نشان می‌دهد که پدیده غالب در نمونه تولید شده با ۱۰ و ۲۰۰ پالس لیزری به ترتیب جذب و بازتاب است. نتایج این مقاله در کاربردهای پلاسمونیکی نظیر حسگری و آنتن‌ها اهمیت دارد.

کلید واژه- لیزر اگزایمر، لایه نازک دوفلزی، نانوساختار پلاسمونی، نیکل، آلومینیوم

Effect of the excimer laser pulse number on the formation of bimetallic nickel-aluminum plasmonic nanostructures

Mohadeseh Arabi[1], Somayeh Panahibakhsh[2*], Maryam Aliannezhadi[1]

[1]Faculty of Physics,Semnan University, PO Box:35195-363, Semnan, Iran

[2] Photonics and Quantum Technologies Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran

Mohadeseh.arabi@semnan.ac.ir, spanahi@aeoi.org.ir , m_aliannezhadi@semnan.ac.ir

Abstract- In this paper, nickel-aluminum nanostructures are obtained by irradiating nickel-aluminum bimetallic thin layer samples by ArF excimer laser irradiation with a wavelength of 193 nm and a time width of 15 ns. Irradiation was performed at an energy fluence of 60 mJ/cm^2 and with the number of 10 and 200 laser pulses. FESEM images show that structures with different shapes, densities and dimensions are obtained, and DRS results also show that absorption and reflection are dominant in the samples produced by 10 and 200 laser pulses, respectively. The results of this paper are important in plasmonic applications such as sensors and antennas.

Keywords: Excimer laser, bimetallic thin layer, plasmonic nanostructure, nickel, aluminum

مقدمه

نانوذرات نیکل به دلیل خواص منحصر به‌فرد مغناطیسی، شیمیایی و فیزیکی و همچنین کاربردهای بالقوه آنها در زمینه‌های مختلف فناوری مانند کاتالیز [۱] و ساخت باتری [۲] مورد توجه خاص قرار دارند .رسانایی الکتریکی نیکل استفاده از آن را در چندین کاربرد ممکن می‌سازد [۳]. نانوذرات آلومینیوم نیز به دلیل سطح ویژه بزرگ بسیار واکنش‌پذیر می‌باشند و واکنش‌پذیری نانوذرات آلومینیوم به قطر ذرات بستگی دارد [۴]. امروزه، نانوذرات آلومینیوم نیز مورد توجه قرار دارند و برای کاربردهای مختلفی مانند قطعات متالورژی، پودرهای آلیاژی، خودروها، هواپیماها، الکترونیک، پزشکی، مواد غذایی، و محصولات بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵]. طول موج LSPR نانوذرات نیکل، در بازه ۲۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر از طیف UV-vis قرار دارد. همچنین، برای نانوذرات آلومینیوم، طول موج LSPR معمولاً در بازه ۲۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر در طیف UV-vis قرار دارد. پدیده‌های نوری که به واسطه نوسان الکترون‌ها در نانوذرات ایجاد می‌شوند، می‌توانند برای کاربردهای مختلف در حوزه‌هایی مانند حسگرهای نوری، نانو داروها و تصفیه آب مورد استفاده قرار گیرند.

نانوذرات دو فلزی؛ متشکل از دو فلز مختلف از نظر علمی و همچنین روش ساخت و توسعه توجه بیشتری نسبت به نانوذرات تک فلزی به خود جلب کرده است [۶]. خواص نانوذرات با توجه به فلزات تشکیل‌دهنده و شکل و اندازه نانومتری هر دو فلز تعیین می‌شود. در واقع این ساختارها امکان بهینه‌سازیِ انرژی نوار جذب پلاسمونی مربوط به ساختارهای دو فلزی را فراهم می‌کنند که ابزاری چند منظوره برای کاربردهای مختلف نظیر سنجش زیستی ارائه می‌دهد. نانوذرات فلزی مانند نانوذرات نیکل به دلیل خواص کاتالیزوری و مغناطیسی آن‌ها به شدت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این حال، نیکل در ترکیب با فلزات دیگر خواص شگفت‌انگیزی از خود نشان می‌دهد [۷]. کاتالیزورهای حاوی نیکل به دلیل هزینه کم، پایداری بالا و نرخ گردش سریع معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند. اهمیت نانوکامپوزیت‌های دو فلزی در استفاده همزمان از مزایای دو فلز نهفته است.

اخیراً، پژوهش در مورد نانوکامپوزیت‌های دو فلزی به دلیل کاربردهای متعددشان مثل طیف‌سنجی رامان افزایش یافته سطحی، فلورسانس افزایش یافته، حسگرهای LSPR، پوشش‌های ضد خوردگی و ... شتاب بیشتری یافته است. نانوذرات دو فلزی به دلیل ترکیبات و اثرات هم افزایی، ازخواص الکترونیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، مکانیکی و حرارتی جالبی برخوردار هستند. فعالیت و همچنین گزینش‌پذیری کاتالیزور تحت تأثیر اندازه ذره است. ذرات دو فلزی هسته پوسته از جمله نانو کاتالیزورهای مورد مطالعه هستند. در تهیه نانوذرات دو فلزی، برهمکنش بین دو فلز نقش مهمی ایفا می‌کند [۸].

یکی از روش‌های ساخت نانوذرات تابش لیزر به لایه نازک فلزی و ایجاد نانوذرات با کندگی لیزری می‌باشد. در این مقاله نانوساختارهای دوفلزی نیکل-آلومینیوم با استفاده از تابش‌دهی نمونه‌های لایه نازک توسط تابش پالس‌های لیزر اگزایمر ArF مورد بررسی قرار می‌گیرد و اثر تعداد پالس لیزری بر تشکیل ساختارها و شکل آنها مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

آزمایش

جدول۱:پارامترهای تابش لیزر اگزایمر به نمونه‌های نیکل-آلومینیوم لایه‌نشانی شده بر روی زیر لایه پلی-کربنات

نمونه	تعداد پالس	شار انرژی لیزر ($m J/cm^2$)	مساحت لکه لیزری(cm^2)	میانگین انرژی هر پالس لیزر (m J)
Ni-AL-1	۱۰	۶۰	۰/۵	۳۰
Ni-Al-2	۲۰۰	۶۰	۰/۵	۳۰

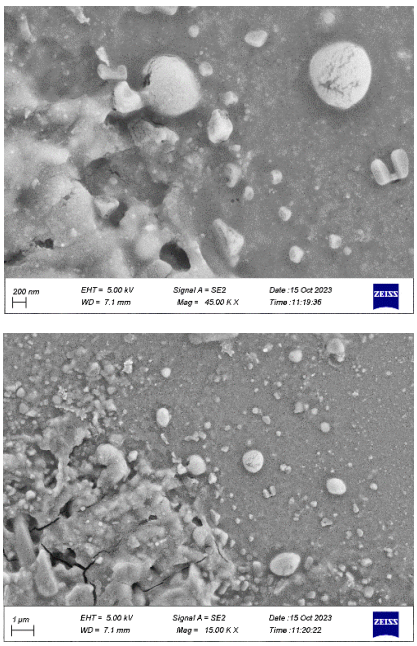
در ابتدا لایه‌نشانی فلز آلومینیوم با ضخامت ۵۰ نانومتر بر روی زیرلایه پلی کربنات با روش انباشت بخار فیزیکی[8] (PVD) انجام شد و پس از آن یک لایه ۵۰ نانومتری از نیکل با همین روش روی لایه اول ایجاد شد و نمونه لایه نازک دوفلزی آلومینیوم-نیکل ۱۰۰ نانومتری به دست آمد.

سپس، تابش لیزر اگزایمر ArF سری Lambda Physik X200 با طول موج ۱۹۳نانومتر به‌منظور ایجاد نانوساختارهای کامپوزیت نیکل-آلومینیوم استفاده شد. نمونه‌های ایجاد شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FESEM) مدل Sigma300-HV و طیف‌سنج بازتابی DRS مدل Avaspec-2048-TEC مورد بررسی قرار گرفتند. مشخصات تابش نمونه‌ها شامل شار انرژی، تعداد پالس و میانگین انرژی در جدول ۱ ارائه شده است. نرخ تکرار لیزری Hz ۱ می‌باشد.

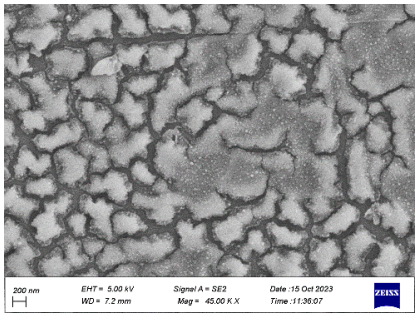
نتایج و بحث

درشکل۱و ۲، تصاویرFESEM نمونه‌های Ni-Al ایجادشده با تعداد متفاوت ۱۰و۲۰۰ پالس لیزر اگزایمر نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای ۱۰ پالس لیزر نانوساختارها با ابعاد گوناگون تشکیل شده‌اند که شامل نانوذرات دوفلزی در ابعاد کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر تا کلوخه-های میکرومتری می‌باشند. در حالی که برای تابش ۲۰۰ پالس لیزر اگزایمر ساختارها نظم بهتری دارند و قسمت عمده لایه نازک دو فلزی به ساختارهای ستاره مانند با ابعاد بالاتر از ۲۰۰ نانومتر تبدیل شده است.

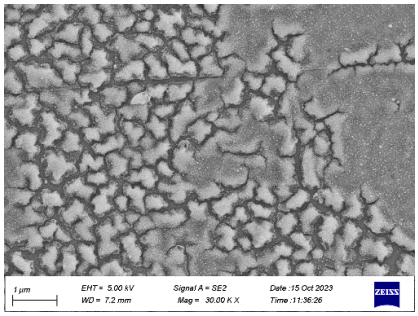
به منظور بررسی مشخصات اپتیکی نمونه‌های نیکل-آلومینیوم از آنالیز طیف‌سنجی بازتابی (DRS) استفاده شد و سپس تابع کوبلا-کامونگ که متناسب با جذب نمونه ها است، محاسبه گردید [۹].



شکل۱:تصاویرمیکروسکوپ الکترونی روبشیِ نشر میدانی (FESEM) نمونه $Ni-Al-1$ ایجاد شده با تابش ۱۰ پالس در دو مقیاس بزرگنمایی متفاوت.

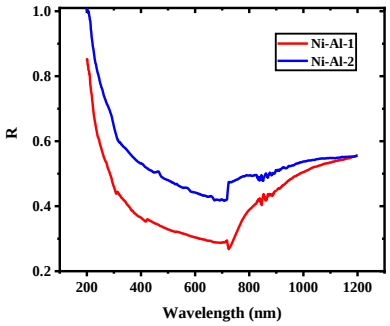


[8] physical Vapor Deposition

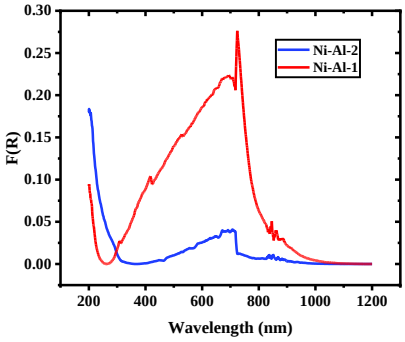


شکل۲:تصاویرمیکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FESEM) نمونه $Ni-Al-2$ ایجاد شده با تابش ۲۰۰پالس در دو مقیاس متفاوت.

نتایج آنالیز طیف سنجی با توجه به شکل ۳ نشان می‌دهد که نمونه ۲ با تابش ۲۰۰ پالس لیزری دارای بازتاب بیشتری بخصوص در ناحیه مرئی طیف می‌باشد که نشان می‌دهد، چنین ساختارهایی برای نانوآلیاژهای مورد استفاده در کاربردهایی نظیر بدنه هواپیما و اتومبیل‌ها که بازتاب مطرح است، مناسب می‌باشند و این امر با استفاده از فلزات ارزان قیمت محقق شده است که بسیار با ارزش می‌باشد. از سوی دیگر، نانوساختارهای نیکل-آلومینیوم تشکیل شده روی نمونه ۱ همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است دارای جذب بالاتر و قله‌های پلاسمونیکی مناسب برای کاربردهایی نظیر حسگری می‌باشد.



شکل۳: طیف انعکاسی نمونه های نیکل-آلومینیوم ایجاد شده با تابش تعداد ۱۰ و ۲۰۰ پالس لیزر اگزایمر.



شکل۴: تابع کوبلکا-مونگ نمونه‌های نیکل-آلومینیوم ایجاد شده با تابش تعداد ۱۰ و ۲۰۰ پالس لیزر اگزایمر.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، ایجاد نانوذرات دو فلزی با استفاده از تابش لیزر به لایه نازک نیکل-آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفت و با تغییر تعداد پالس لیزری نانوساختارهای دوفلزی نیکل-آلومینیوم با شکل، ابعاد و چگالی متفاوت برای کاربردهای پلاسمونیکی بدست آمد.

مرجع‌ها

[1] I. Bibi *et al.*, "Nickel nanoparticle synthesis using Camellia Sinensis as reducing and capping agent: Growth mechanism and photo-catalytic activity evaluation," *International journal of biological macromolecules*, vol. 103, pp. 783-790, 2017.

[2] Y. Cheng, M. Guo, M. Zhai, Y. Yu, and J. Hu, "Nickel nanoparticles anchored onto Ni foam for supercapacitors with high specific capacitance," *Journal of nanoscience and nanotechnology*, vol. 20, no. 4, pp. 2402-2407, 2020.

[3] A. Sagasti, V. Palomares, J. M. Porro, I. Orúe, M. B. Sánchez-Ilárduya, A. C. Lopes, and J. Gutiérrez, "Magnetic, magnetoelastic and corrosion resistant properties of (Fe–Ni)-based metallic glasses for structural health monitoring applications," *Materials*, vol. 13, no. 1, p. 57, 2019.

[4] H. R. Ghorbani, "A review of methods for synthesis of Al nanoparticles," *Orient. J. chem*, vol. 30, no. 4, pp. 1941-1949, 2014.

[5] A. Baladi and R. S. Mamoory, "Investigation of different liquid media and ablation times on pulsed laser ablation synthesis of aluminum nanoparticles," *Applied Surface Science*, vol. 256, no. 24, pp. 7559-7564, 2010.

[6] G. Sharma, Z. A. ALOthman, A. Kumar, S. Sharma, S. K. Ponnusamy, and M. Naushad, "Fabrication and characterization of a nanocomposite hydrogel for combined photocatalytic degradation of a mixture of malachite green and fast green dye," *Nanotechnology for Environmental Engineering*, vol. 2, pp. 1-7, 2017.

[7] M. M. Kumari, J. Jacob, and D. Philip, "Green synthesis and applications of Au–Ag bimetallic nanoparticles," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 137, pp. 185-192, 2015.

[8] G. Sharma, A. Kumar, S. Sharma, M. Naushad, R. P. Dwivedi, Z. A. ALOthman, and G. T. Mola, "Novel development of nanoparticles to bimetallic nanoparticles and their composites: A review," *Journal of King Saud University-Science*, vol. 31, no. 2, pp. 257-269, 2019.

[9] Z. Gholizadeh, M. Aliannezhadi, M. Ghominejad, and F. S. Tehrani, "High specific surface area γ-Al2O3 nanoparticles synthesized by facile and low-cost co-precipitation method," *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, p. 6131, 2023.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

سنتز و مطالعه خواص نوری سیم‌های پروسکایتی سه‌بعدی $MAPbBr_3$ و شبه دوبعدی $BA_2MA_2Pb_3Br_{10}$

رباب اظهرشکوفه، نیما فتحعلیزاده، اصغر عسگری، سهراب احمدی کندجانی

گروه فیزیک اپتیک ولیزر، دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز.

Robab.azharshokoofeh@gmail.com, fathalizadeh.nima@gmail.com, asgari@tabrizu.ac.ir, s_ahmadi@tabrizu.ac.ir

چکیده – انتظار می‌رود که سیم‌های پروسکایت هالید فلزی به دلیل ویژگی‌های اپتوالکترونیکی جذاب، به عنوان اجزای سازنده برای نسل بعدی ادوات فوتونیکی عمل کنند. عملکرد عالی ادوات مبتنی براین سیم‌ها، عمدتاً به دلیل ویژگی‌هایی مانند ساختار بلوری خوب، طول عمر بیشتر و انتقال محدود شده حامل‌ها نسبت داده می‌شود. تا به امروز، روش‌های مختلفی برای ساخت ادوات فوتونیکی مبتنی بر این سیم‌های پروسکایتی مانند سلول‌های خورشیدی و دیودهای نور گسیل توسعه یافته‌اند. در این پژوهش، از روش رشد محدود شده فضایی استفاده و سیم‌های پروسکایت سه‌بعدی $MAPbBr_3$ با قالب مستر DVD-R و سیم‌های پروسکایت شبه دوبعدی $BA_2MA_2Pb_3Br_{10}$ با قالب مستر Blu-ray سنتز شده و مورفولوژی و خواص نوری آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه- ادوات فوتونیکی، روش رشد محدود شده فضایی، سیم‌های پروسکایت هالید فلزی

Synthesis and study of optical properties of perovskite wires of three-dimensional $MAPbBr_3$ and quasi-two-dimensional $BA_2MA_2Pb_3Br_{10}$

Robab Azharshokofeh, Nima Fathalizadeh, Asghar Asgari, Sohrab Ahmadi Kandjani

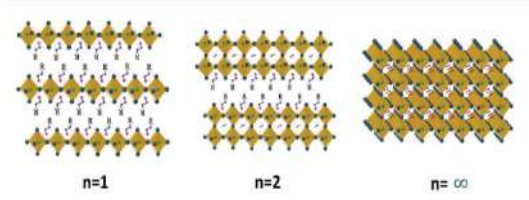
Physics of Optics & Lasers Department, Faculty of Physics, University of Tabriz, Tabriz.

Abstract- Metal halide perovskite wires are expected to serve as building blocks for next-generation photonic devices due to their attractive optoelectronic properties. The excellent performance of devices based on these wires is mainly attributed to features such as good crystalline structure, longer lifetime, and confined carrier transport. Various methods have been developed to fabricate photonic devices based on these perovskite wires, such as solar cells and light-emitting diodes. In this research, a spatially confined growth method has been used to synthesize three-dimensional $MAPbBr_3$ perovskite wires with a DVD-R master template, and quasi-two-dimensional $BA_2MA_2Pb_3Br_{10}$ perovskite wires with a Blu-ray master template, Then their morphology and optical properties have been investigated.

Keywords: Metal halide perovskite wires, Photonic devices, Space-Confined Growth

مقدمه

پروسکایت‌های هالید فلزی، ساختارهایی هستند که فرمول کلی آن‌ها به صورت ABX_3 است. A کاتیون تک ظرفیتی مانند Cs^+ و یا کاتیون آمینی آلی همانند متیل آمینیوم و فرمامیدنیوم، است[۱]. B نیز کاتیون فلزی مانند Pb^{2+} و X از عناصر هالوژنی Cl^-, Br^-, I^- است[۲]. یک پروسکایت ایده‌آل، ساختاری مکعبی با هشت وجهی‌هایی با فرمول BX_6 است که از گوشه‌ها به هم متصل شده‌اند. اگر در ساختار پروسکایت، یک کاتیون بزرگ آلی نظیر زنجیره بزرگ یون‌های آلکیل آمین که در ساختار هشت وجهی جای نمی‌گیرد استفاده شود، منجر به تشکیل ساختار دوبعدی لایه‌ای می‌شود. فرمول عمومی برای این ساختار $R_2A_{n-1}B_nX_{3n+1}$ است که R کاتیونی با زنجیره بلند و n تعداد لایه‌ها است. پروسکایت‌های لایه‌ای بسته به تعداد لایه‌ها خواص متفاوتی از خود نشان می‌دهند به طوریکه n=∞ ساختار سه‌بعدی و n=1 ساختار دوبعدی را توصیف می‌کند.



شکل ۱: شماتیک ساختار پروسکایت از n=1 تا n=∞ [۳].

پروسکایت‌های ابعاد پایین، به ترکیب‌های پروسکایتی با حداقل یک بعد کاهش‌یافته گفته می‌شود. پروسکایت‌های ابعاد پایین به دو شکل «سطح ماده» و «سطح ساختار» طبقه‌بندی می‌شوند. «سطح ماده» شامل مواد پروسکایتی دوبعدی، یک‌بعدی و صفربعدی هستند که به خود ماده پروسکایت و اجزای سازنده آن مربوط می‌شوند و «سطح ساختار»، بر مورفولوژی نهایی تأکید دارد که شامل نانوصفحات، نانوسیم‌ها/نانومیله‌ها و نانوبلورها است[۴]. در این پژوهش، سیم‌های پروسکایتی مورد بررسی قرار گرفته است، که در دو بعد محدود شده هستند.

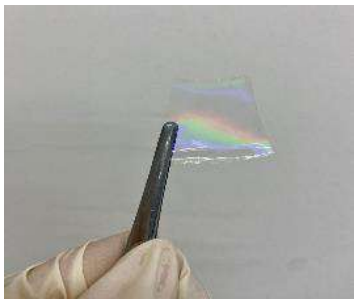
در مقایسه با ادوات مبتنی بر فیلم پروسکایت، عملکرد اپتوالکترونیکی عالی ادوات مبتنی بر سیم‌های پروسکایتی عمدتاً به دلیل بلورینگی خوب، بازترکیب کم، انتقال بار جهت‌دار، مرزدانه‌های کم، غلظت نقص کم، طول عمر حاملین نوری بالا و ترابرد محدود شده حاملین است. تا به امروز روش‌های مختلفی مانند خودآرایی، رسوب دهی شیمیایی بخار (CVD)، روش‌های مبتنی بر محلول و ... برای سنتز سیم‌های پروسکایتی به منظور استفاده در ادواتی شامل آشکارسازهای نوری، لیزرها، سلول‌های خورشیدی و دیودهای نور گسیل (LED) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اگرچه روش‌های فوق واقعاً مؤثر بوده‌اند، اما غیرقابل انکار است که این روش‌ها دارای معایبی همچون مورفولوژی ضعیف و عدم کنترل بر وضعیت می‌باشند.

یکی از روش‌های مورد استفاده برای سنتز سیم‌های پروسکایتی، روش رشد محدود شده فضایی است که یک روش ساده و کم‌هزینه برای به دست آوردن نانوسیم‌های پروسکایتی منظم بر اساس محدود کردن محلول پیش‌ساز پروسکایت می‌باشد. در سال ۲۰۲۱، آشکار ساز نوری مبتنی بر نانو سیم‌های پروسکایتی $MAPbI_3$ با استفاده از ورق پلی کربنات دیسک DVD توسط هوانگ و همکاران ساخته شد[۵]. در این کار پژوهشی، از قالب DVD-R و Blu-ray برای سنتز سیم‌های پروسکایتی به روش رشد محدود شده فضایی، استفاده شده است.

مواد و روش سنتز

برای این کار، لایه پلی‌کربنات DVD-R که حاوی شیارهای زیر میکرون است، جدا شد و به عنوان قالب مستر مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه مخلوطی از پلیمر پلی دی متیل سیلوکسان (PDMS) و هاردنر آن، با نسبت وزنی ۱۰:۱ مخلوط و سپس روی صفحه پلی‌کربنات دیسک DVD-R ریخته شد. پس از پخت در دمای ۷۰°C به مدت ۴ ساعت، یک الگوی PDMS با شیارهای موازی به دست آمد که در شکل (۲) قابل مشاهده است[۵]. همان

طور که مشاهده می‌شود، ساختار متناوب و توری مانند آن باعث پراش نور می‌شود.

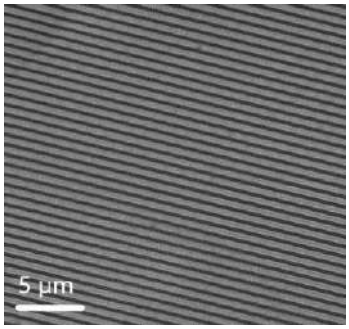


شکل ۲: تصویر قالب PDMS تهیه شده توسط لایه پلی‌کربنات DVD-R.

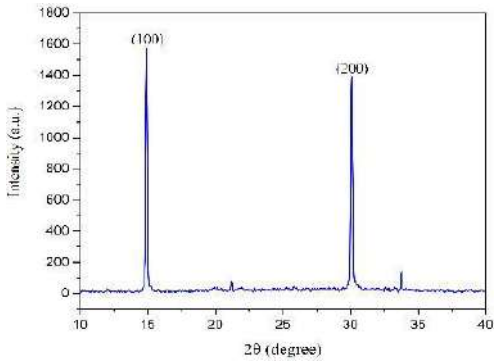
در مرحله بعد، محلول پروسکایت $MAPbBr_3$ که از قبل تهیه شده بود، بر روی زیرلایه آبدوست ریخته شد و بلافاصله یک قطعه از الگوی PDMS به آرامی بر روی زیرلایه قرار داده شد و فشار متوسطی (حدود ۲۰Kpa) ، به آن اعمال شد و به مدت ۲ ساعت در دمای ۷۰°C نگهداری شد تا حلال به تدریج تبخیر شود. پس از تبخیر کامل حلال، قالب PDMS جدا شد و آرایه‌ای از سیم‌های پروسکایتی هم راستا بر روی زیرلایه تشکیل شد. این روش سنتز، امکان دستیابی به سیم‌های پروسکایتی منظم با عرض و شکل همگن را فراهم می‌کند.

نتایج و بحث

در شکل (۳)، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از سیم‌های پروسکایت سه‌بعدی $MAPbBr_3$ سنتز شده، نشان داده شده است. آنالیز تصاویر SEM، میانگین قطر سیم‌ها را ۴۰۰ nm نشان می‌دهد. همچنین طرح پراش پرتو X (XRD) سیم‌های پروسکایتی $MAPbBr_3$ در شکل (۴) آورده شده است.



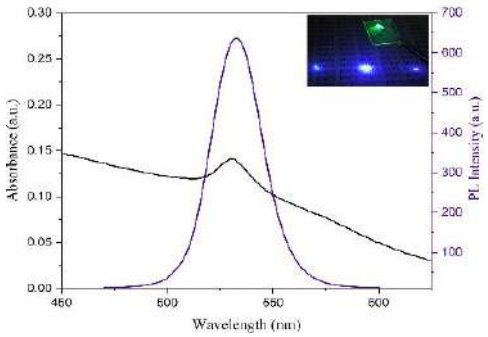
شکل ۳: تصویر SEM با بزرگنمایی µm ۵ از آرایه‌ای از سیم‌های پروسکایتی $MAPbBr_3$ سنتز شده با قالب مستر DVD-R.



شکل ۴: الگوی XRD سیم‌های پروسکایت هالید فلزی $MAPbBr_3$.

همان طور که مشاهده می‌شود، دو قله آشکار در زوایای ۱۴/۹۴ و ۳۰/۰۸ درجه قابل مشاهده است که به ترتیب مربوط به صفحات (۱۰۰) و (۲۰۰) می‌باشد که نشان دهنده سنتز صحیح این سیم‌های پروسکایتی است.

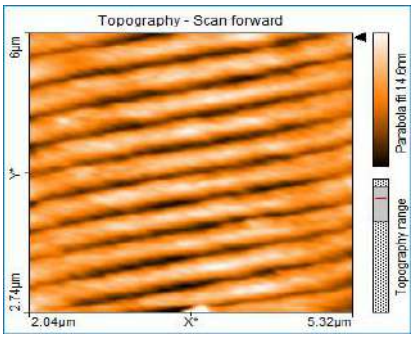
طیف‌های فوتولومینسانس (PL) و جذب این سیم‌های پروسکایتی $MAPbBr_3$ سنتز شده، در شکل (۵) نمایش داده شده است.



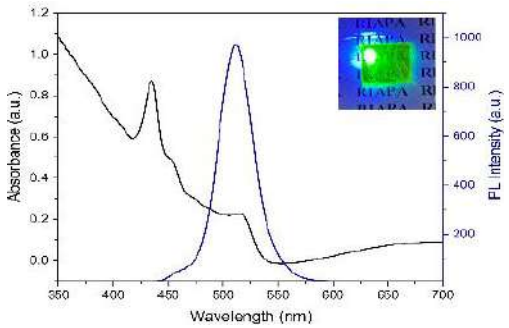
شکل ۵: طیف PL و جذب سیم‌های پروسکایتی $MAPbBr_3$ سنتز شده با قالب مستر DVD-R. نورزایی تحت تابش نور لیزر ۴۰۵ nm و طرح پراش این سیم‌های پروسکایتی در تصویر داخل صفحه نمایش داده شده است.

طیف جذبی محل قله اکسایتونی را در طول موج ۵۳۱ nm و طیف PL قله گسیلی را در طول موج ۵۳۳ nm نشان می‌دهد که نشان دهنده نورزایی این سیم‌های پروسکایتی $MAPbBr_3$ به رنگ سبز است.

در ادامه به نتایج حاصل از سنتز سیم‌های پروسکایت شبه دوبعدی $BA_2MA_2Pb_3Br_{10}$ با استفاده از دیسک Blu-ray که برای اولین بار توسط این گروه انجام شده است، می‌پردازیم.



شکل ۶: تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) از سیم‌های پروسکایتی $BA_2MA_2Pb_3Br_{10}$ سنتز شده با استفاده از یک دیسک Blu-ray.



شکل ۷: طیف PL و جذب سیم‌های پروسکایتی $BA_2MA_2Pb_3Br_{10}$ سنتز شده با قالب مستر Blu-ray. نورزایی تحت تابش نور لیزر ۴۰۵ nm در تصویر داخل صفحه نمایش داده شده است.

در شکل‌های (۶) و (۷) به ترتیب، تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) و طیف‌های فوتولومینسانس و جذب این سیم‌های سنتز شده قابل مشاهده است. آنالیز نتایج، قطر سیم‌ها را کمتر از ۲۰۰ nm نشان می‌دهد. طیف PL قله گسیلی را در طول موج ۵۱۱ nm نشان می‌دهد و طیف جذب، دو قله در طول موج ۴۳۵ nm و ۵۱۸ nm و یک شانه در طول موج ۴۵۵ nm نشان می‌دهد که قله ۵۱۸ nm مربوط به پروسکایت سه‌بعدی است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از روش رشد محدود شده فضایی، سیم‌های پروسکایت سه‌بعدی $MAPbBr_3$ با استفاده از یک دیسک DVD-R و سیم‌های پروسکایت شبه دوبعدی $BA_2MA_2Pb_3Br_{10}$ با استفاده از یک دیسک Blu-ray سنتز و مورفولوژی و خواص نوری آن‌ها بررسی شد. همانطور که مشاهده شد، با استفاده از این روش می‌توان به سیم‌های پروسکایتی منظم با عرض و شکل همگن دست یافت که در مقایسه با فیلم پروسکایتی دارای مزیت‌هایی همچون ساختار بلوری خوب، طول عمر بیشتر و انتقال محدود شده حامل‌ها است. در ادامه می‌توان از این سیم‌های پروسکایتی به عنوان اجزای سازنده در ادواتی همچون سلول‌های خورشیدی، دیودهای نورگسیل و... بهره برد.

مرجع‌ها

[1] R.J. Tilley, Perovskites: structure-property relationships, John Wiley & Sons2016.

G.C. Papavassiliou, G.A. Mousdis, I. Koutselas, Some new organic–inorganic hybrid semiconductors based on metal halide units: structural, optical and related properties, Advanced Materials for Optics and Electronics, 9 (1999) 265-271.

Etgar, Lioz. "The merit of perovskite's dimensionality; can this replace the 3D halide perovskite?." *Energy & Environmental Science* 11, no. 2 (2018): 234-242.

P. Zhu, J. Zhu, Low-dimensional metal halide perovskites and related optoelectronic applications, InfoMat, 2 (2020) 341-378.

Huang, Rui, Di-Hua Lin, Jia-Yin Liu, Chun-Yan Wu, Di Wu, and Lin-Bao Luo. "Nanochannel-confined growth of crystallographically orientated perovskite nanowire arrays for polarization-sensitive photodetector application." *Science China Materials* 64, no. 10 (2021): 2497-2506.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

کاربرد توریهای پلازمونیک خودسامانده در لایه های نازک حساس به نور به عنوان قطبشگر

عذرا کیاست فر، ارشمید نهال

آزمایشگاه پژوهشی مواد فوتونیکی،دانشکده فیزیک،دانشکدگان علوم،دانشگاه تهران،تهران
nahal@ut.ac.ir, ozra.kiasatfar@ut.ac.ir

چکیده – در نتیجه برهمکنش پرتو لیزر پلاریزه خطی با یک نانولایه حساس به نور که توسط نانوذرات نقره لایه نشانی شده است، توری پلازمونیک خود سازمانده تشکیل می شود. توری های پلازمونیک خود سامانده از زنجیره های رسانای نانوذرات نقره ساخته شده اند. شدت جذب در جهت موازی با نانوساختارها با جذب در جهت عمود بر توری ها متفاوت است. اگر دو نانوساختار یکسان را به موازات یکدیگر در مقابل نور آزمون قرار دهیم و سپس تغییرات جذب شدت پرتو آزمون بعد ازنانوساختار دوم را در زولیای مختلف بین دو جهت توری اندازه گیری کنیم، می توانیم قانون مالوس را بررسی کنیم. این اندازه گیری تایید کرد که نور آزمون عبوری از توری قطبی شده است. به این معنا که توری های پلازمونیک خود سامانده در لایه های نازک حساس به نور می توانند به عنوان قطبشگراستفاده شوند. زمان نوردهی نقش مهمی در کیفیت توری تولید شده دارد. درصد قطبیدگی پرتو آزمون تابعی از زمان نوردهی است که می تواند به عنوان یک پارامتر کنترل در نظر گرفته شود.

کلید واژه- قانون مالوس، قطبشگر، نانوساختارهای پلازمونیک خود سامانده.

Application of self-organized plasmonic gratings in photosensitive thin films as polarizers

Ozra Kiasatfar, Arashmid Nahal. Photonic Materials Research Laboratory, Department of Physics, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran. nahal@ut.ac.ir, ozra.kiasatfar@ut.ac.ir

Abstract- As a result of the interaction of a linear polarized laser beam with a photosensitive nanolayer doped by silver nanoparticles self-organized plasmonic grating forms. The self-organized plasmonic gratings are made of conductive chains of silver nanoparticles. The intensity of absorption in the direction parallel to the nanostructures differs from the absorption in the direction perpendicular to the gratings. If one places two identical nanostructures parallel to each other in front of the probe light, and then measures the variation of absorption of a probe beam intensity after the second nanostructure at different angles between the two directions of the gratings, one can investigate the Malus law. This measurement confirmed that the probe light passed through the grating became polarized. That is, the self-organized plasmonic gratings in light-sensitive thin films can be used as polarizers. The exposure time plays an important role in the quality of the generated grating. The percentage of polarization of the probe beam is a function of the exposure time which could be considered as a control parameter.

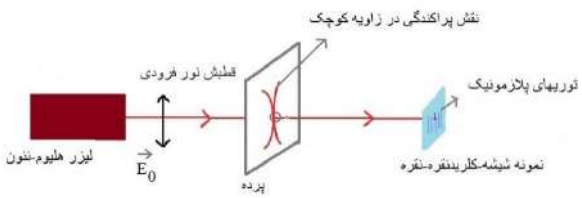
Keywords: Malus law, Polarizer, Self-organized plasmonic nanostructure.

مقدمه

تشکیل توری های خودسامانده در لایه‌های نازک کلرید نقره حساس به نور، در نتیجه برهم کنش پرتو لیزر قطبیده با فیلم نازک به عنوان روشی آسان و کم هزینه معرفی شده اند[۱]. در اثر برخورد باریکه لیزر به لایه نازک شیشه-کلریدنقره-نقره، نانوذرات نقره در جهات مختلف پراکنده می‌شوند و بخشی از نور پراکنده شده، در صورت برآورده کردن شرط مد انتشاری در موجبر کلرید نقره، منتشر می‌شود. از تداخل نور فرودی و مد، الگوی تداخلی ایجاد می‌شود. نانوذرات نقره در اثر گرادیان شدت میدان تداخلی، به منظور کمینه کردن انرژی خود به سمت تاریکی های طرح تداخلی مهاجرت می‌کنند و زنجیره های رسانای نقره در راستای قطبش نور فرودی تشکیل می‌شوند. همچنین، بطور همزمان تحریک نانوپلاسمونهای جفت شده در نانوذرات نقره که در فاصله ی بهینه از هم قرار گرفته اند، شدت نور پراکنده شده را افزایش می‌دهند[۲]. با تشکیل زنجیره های نقره شدت مد موجبر تقویت می‌شود و درنتیجه تباین طرح تداخلی افزایش یافته و نانوذرات نقره با سرعت بیشتری به سمت تاریکی ها می‌روند. این چرخه بارها تکرار شده و توریها بهتر و بهتر می‌شوند، به همین دلیل به این زنجیره ها، توریهای خودسامانده پلازمونیک می‌گویند. این توریها توانایی ثبت حالت قطبش میدان فرودی، طول موج نور فرودی و ضریب شکست زیر لایه را دارا هستند[۳].به عبارت دیگر این پارامترها شکل الگوی تداخل و ساختار توریها را تعیین می‌کنند. در این مقاله به بررسی توریهای پلازمونیک خودسامانده به عنوان قطبشگر می‌پردازیم.

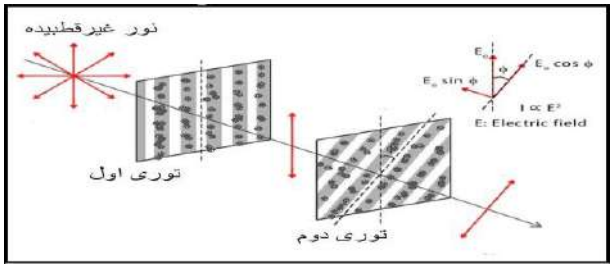
آزمایش و نتایج تجربی

در دو مرحله مستقل و متوالی لایه کلرید نقره و نقره به ضخامت ۵۰ و ۱۰ نانومتر بر روی بستر شیشه ای، با روش تبخیر در خلا لایه نشانی می‌شوند[۳]. طبق چیدمان شکل(۱) نمونه های آماده شده را در معرض تابش نور لیزر هلیوم-نئون با طول موج ۶۳۲.۸ نانومتر و توان ۵ میلی وات قرار می‌دهیم. حد فاصل میان نمونه و لیزر پرده قرار داده ایم تا طرح پراکندگی در زاویه کوچک مشاهده شود[۱].بدلیل ساختار دانه ای ذرات نقره مد انتشاری از این ذرات پراکنده می‌شود که منجر به ایجاد ساختار منطقه ای برای توریهای پلازمونیک خودسامانده می‌شود. مد TE_0 هنگام انتشار از مرزهای چندگانه ی ساختار منطقه ای پراکنده می‌شود که باعث ایجاد الگوی پراکندگی در پرده مابین لیزر و نمونه می‌شود.شدت الگوی پراکندگی در زاویه کوچک معیاری از کیفیت نانوساختارهای تشکیل شده است[۱]. با توجه به آنکه توریهای خودسامانده، از زنجیره ای رسانا تشکیل شده اند، دارای جذب انتخابی یا دوفامی هستند. بدین معنی که، بعد از عبور نور غیرقطبیده از توریها، مولفه ی میدان الکتریکی نور که در راستای خطوط توری است بیشتر از مولفه ای از میدان الکتریکی نور که بر خطوط توری عمود است، جذب می‌شود، بنابراین نور عبوری از نمونه در راستای عمود بر توریهای خودسامانده نسبتا قطبیده ی خطی می‌شود.



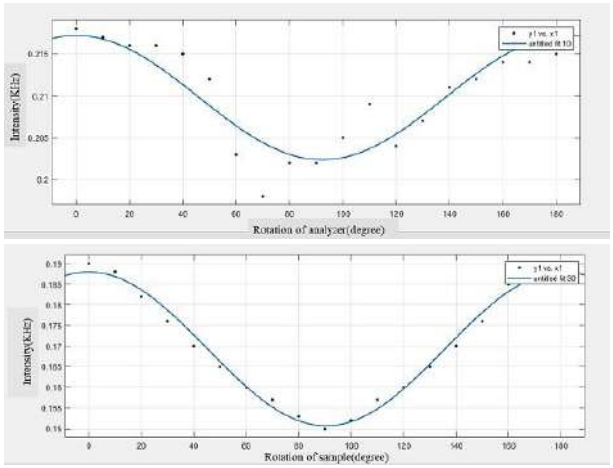
شکل ۱: چیدمان آزمایشگاهی ساخت توریهای پلازمونیک خودسامانده.

توریها در مدت زمانهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه با نور لیزر هلیوم- نئون نوردهی شده اند و طبق چیدمان شکل(۲)، قانون مالوس را برای هر یک از توریها اندازه گرفته ایم. طبق شکل(۲) در مقابل نور غیر قطبیده، بطور متوالی توری اول و توری دوم را قرار دادیم. راستای زنجیره های توری دوم بر راستای زنجیره های توری دوم عمود است. در این حالت آشکارساز مینیمم شدت را نشان می‌دهد. سپس برای ثبت مقادیر شدت در تمام زوایای بین محور دو توری، توری دوم را به اندازه ی ۱۰ درجه، تا ۱۸۰ درجه می چرخانیم.



شکل ۲: چیدمان آزمایشگاهی بررسی قانون مالوس برای توریهای پلازمونیک خودسامانده.

مقادیر شدت نور خروجی از توری دوم برحسب زاویه چرخش توری دوم رسم شده است (شکل ۳). داده‌های اندازه گیری شده بر $I = I_0 cos^2(\theta)$ برازش شده اند.

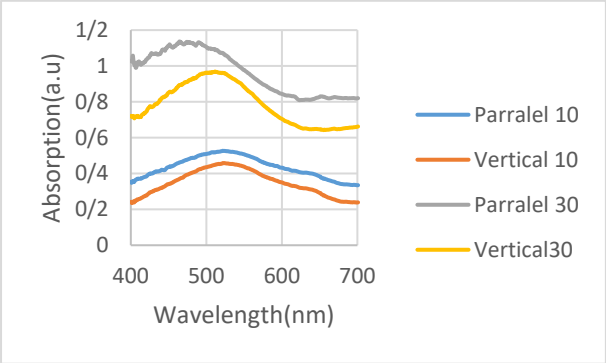


شکل ۳:نتایج تجربی محاسبه شدت خروجی بر حسب زاویه چرخش توری دوم در چیدمان شکل (۲)و برازش داده ها به قانون مالوس.

شکل۴،طیف جذب را برای توریها، با زمان نوردهی ۱۰و ۳۰ دقیقه نشان می دهد. طبق شکل(۴) ،با افزایش زمان نوردهی و کامل شدن توریها شدت جذب بیشتر می‌شود. توریها جذب بیشتری در راستای موازی با توری دارند، بنابراین انتظار داریم نور عبوری از نانوساختارها در راستای عمود بر آنها نسبتا قطبیده باشد. شکل(۵) میدان الکتریکی در مجاورت نانوذرات نقره را در دو حالت عمود و موازی با راستای توریها نشان می‌دهد.طبق شکل(۵) میدان الکتریکی در حالت قطبش موازی با زنجیره‌های بیشتر تقویت شده است. درصد قطبیدگی به صورت زیر تعریف می‌شود.

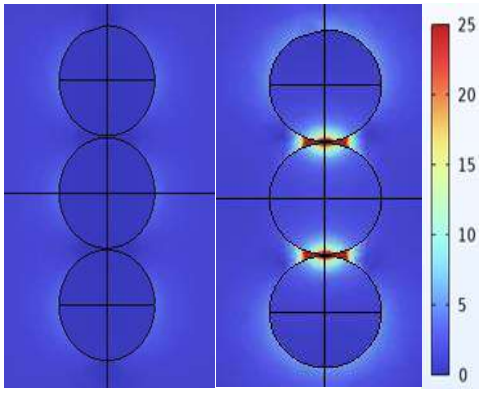
$$p = \left(\frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}\right) 100 \qquad (1)$$

پارامتر p درصد قطبیدگی را نشان می‌دهد. نمونه ۱۰ دقیقه نوردهی شده دارای درصد قطبیدگی ۴.۸٪ و نمونه ۳۰ دقیقه نورخورده دارای درصد قطبیدگی ۱۶.۷٪ است. با افزایش بیشتر زمان نوردهی توریها تخریب شده[۳]و درصد قطبیدگی کاهش می یابد.



شکل ۴: طیف جذب برای نمونه‌های با زمان های نوردهی ۱۰، ۳۰.طیف جذب برای راستای موازی با نانوساختار و عمود بر نانوساخنار رسم شده است.

(ب) (الف)



شکل ۵: محاسبه میدان الکتریکی در مجاورت نانوذرات نقره در توریهای پلازمونیک خودسامانده.الف)قطبش میدان فرودی در راستای عمود بر زنجیره ها، ب) قطبش میدان در راستای زنجیره ها است.جهت پیکان نشان دهنده جهت میدان است. طول موج نور فرودی ۶۳۳ نانومتر است.

نتیجه‌گیری

درتوریهای پلازمونیک خود سامانده شدت جذب در راستای نانوساختارها که همان راستای قطبش میدان نور فرودی است،نسبت به راستای عمود بر آنها بیشتر است. با اندازه گیری شدت خروجی از نانوساختارهایی که در چیدمان

آزمایشگاهی مربوط به قانون مالوس قرار گرفته اند و برازش رابطه مالوس به داده های تجربی، نتیجه میگیریم که نانوساختارهای پلازمونیک نور خروجی از خود را نسبتا قطبیده می کنند. این قطبیدگی به زمان نوردهی نانوساختارها در هنگام شکل گیری بستگی دارد. در زمان نوردهی ۳۰ دقیقه بدلیل کامل شدن توریها بیشترین درصد قطبیدگی را داریم.

مرجع‌ها

V. K. Miloslavsky, A. Nahal, and L. A. Ageev, “Peculiarities of spontaneous gratings formation in photosensitive films under linearly and circularly polarization radiation,” Opt. Commun. **147**(4–6), 436–442 (1998).

S. Kashani and A. Nahal, “The role of coupled nanoplasmon excitationin growth mechanism of laser-induced self-organized nanostructures in AgCl-Ag waveguide thin films,” Plasmonics (published online) **12**, 1305:1316 (2017).

A. Nahal and S. Kashani, “Optical chirality in AgCl-Ag thin films through formation of laser-induced planar crossed-chain nanostructures,” J. Appl. Phys. **122**, 103102 (2017).

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

تولید نانوذرات سطحی نیکل با برهمکنش پالس لیزر نانوثانیه با لایه نازک نیکل

سمیه خورشیدسوار [۱]، مریم علیان‌نژادی [۲]* ، سمیه پناهی‌بخش [۳]

[۱] دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، sahar.khorshidi1401@semnan.ac.ir
[۲] دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، m_aliannezhadi@semnan.ac.ir
[۳] پژوهشکده فوتونیک و فناوری های کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، تهران، ایران، spanahi@aeoi.org.ir

چکیده – نانوذرات نیکل به دلیل خواص ویژه آن در حوزه‌های مختلف از جمله زیست‌حسگرهای نوری، تصویربرداری، ذخیره داده‌ها، دارورسانی و ... مورد توجه قرار دارند. ایجاد نانوذرات سطحی بر پایه کندگی لیزری روشی سریع برای تولید نانوذرات خالص است. بنابراین، در این مقاله امکان‌سنجیِ تولید نانوذرات نیکل با برهمکنش پالس لیزر اگزایمر با لایه نازک نیکل مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که تابش ۲ پالس لیزر اگزایمر با شار انرژی لیزر ۵۰ mJ/cm^2 به لایه نازک نیکل (ضخامت ۸۰ نانومتر) منجر به تولید نانوذرات اندک می‌شود، در حالیکه تابش ۵ پالس باعث ایجاد نانوخوشه‌های نیکل شامل نانوذرات کروی با قطر میانگین ۳۵/۷ نانومتر می‌شود. وجود قله‌های تشدید پلاسمون سطحی موضعی در بازه ۲۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر نیز به دلیل حضور نانوذرات نیکل با قطرهای مختلف در نمونه می‌باشد.

کلید واژه- پلاسمون سطحی موضعی جایگزیده (LSPR)، برهمکنش لیزر- لایه نازک، نانوذرات فلزی، لایه نازک نیکل، لیزر اگزایمر.

Surface Ni Nanoparticles induced by interactions of nanosecond laser pulses with nickel thin film

Somayeh Khorshidsavar[1], Maryam Aliannezhadi [2*], Somayeh Panahibakhsh[3]

[1]Faculty of Physics, Semnan University, PO Box: 35195-363, Semnan, Iran, sahar.khorshidi1401@semnan.ac.ir
[2] Faculty of Physics, Semnan University, PO Box: 35195-363, Semnan, Iran, m_aliannezhadi@semnan.ac.ir
[3] Photonics and Quantum Technologies Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran, spanahi@aeoi.org.ir

Abstract- Due to their unique properties, nickel nanoparticles are of interest in various fields such as biosensors, imaging, data storage, drug delivery, etc. Producing surface nickel nanoparticles based on laser ablation is a rapid method for pure nanoparticle production. Therefore, the possibility of nickel nanoparticle production through the interaction of excimer laser pulses with a thin nickel film is investigated in the paper. The results illuminate that Irradiation of two excimer laser pulses with an energy flux of 50 mJ/cm^2 to a thin film of nickel (80 nm thickness) leads to the production of low-value Ni nanoparticles, while five pulses cause the creation of uniform nickel nanoclusters including spherical nanoparticles with an average diameter of 35.7 nm. The observed localized surface plasmon resonance peaks in the 200 to 400 nanometers range are also attributed to the presence of nickel nanoparticles with various diameters in the nickel samples.

Keywords: Localized surface plasmon resonance (LSPR), Laser-thin film interaction, Metallic nanoparticles, Nickel thin film, excimer laser.

مقدمه

نیکل ماده ای فرومغناطیس است که خواص مغناطیسی آن با تقلیل به مقیاس نانو افزایش یافته و بنابراین برای کاربردهایی مانند ذخیره سازی داده‌ها، سیالات مغناطیسی و تصویربرداری پزشکی مفید می‌باشد. نانوذرات نیکل به دلیل کاربردهای زیست‌پزشکی، از جمله تحویل دارو و تصویربرداری موضوع تحقیقات روز می‌باشد و خواص مغناطیسی این نانوذرات آنها را برای دارورسانی هدفمند و عوامل کنتراست تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI) مناسب می سازد. خواص آنتی باکتریال این نانوذرات نیز به اثبات رسیده است و باعث مطرح‌شدن نانوذرات نیکل برای کاربردهایی با هدف کنترل رشد باکتری‌ها شده است [۱]. برخی از مطالعات نشان می‌دهند که نانوذرات نیکل ممکن است خواص ضدباکتریایی از خود نشان دهند و آنها را به طور بالقوه در کاربردهایی با هدف کنترل رشد باکتری‌ها مفید می‌سازد. کاربرد این نانوساختارها در دستگاه‌های ذخیره‌سازی انرژی، مانند باتری‌ها و ابرخازن‌ها نیز به اثبات رسیده است. نانوذرات نیکل در کاربردهای ذخیره‌سازی هیدروژن نیز مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان می‌دهد که آنها می توانند هیدروژن را به طور موثر جذب و آزاد نمایند و به همین دلیل در توسعه مواد ذخیره‌سازی هیدروژن برای سلول‌های سوختی مورد توجه قرار دارند. رسانایی و خواص مغناطیسی منحصر به فرد نانوذرات نیکل باعث کاربرد گسترده در صنایع الکترونیک و حسگرها نیز شده است. علاوه‌براین، نانوذرات نیکل به دلیل سطح و واکنش پذیری بالا به عنوان کاتالیزور در واکنش‌ها از جمله فرآیندهای هیدروژناسیون و هیدروژن زدایی موثر می‌باشند. نانوذرات نیکل می‌توانند پایداری حرارتی خوبی از خود نشان دهند، که در کاربردهایی که به موادی با خواص پایدار در دماهای بالا نیاز دارند، سودمند است [۲].

روش‌های شیمیایی به طور متداول برای تولید نانوذرات نیکل مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این وجود، ایجاد نانوذرات سطحی نیکل با تابش پرتو لیزر به سطح لایه‌های نازک نیکل که با اهداف علمی و صنعتی خاص انجام می‌شود، می‌تواند به عنوان روش جایگزین مورد بهره‌برداری قرار گیرد. ایجاد نانوذرات سطحی بر پایه کندگی لیزری روشی سریع و بدون نیاز به معرف های شیمیایی اضافی در اختیار کاربران قرار می‌دهد که برای کاربردهای خاصی مانند دستگاه های پزشکی یا الکترونیکی ضروری است [۳, ۴]. علاوه‌براین، این روش‌های لیزر به پیش‌ماده‌های شیمیایی نیاز ندارند و احتمال آلودگی شیمیایی در نانوذرات سنتز شده کاهش می‌یابد و می توانند برای کاربردهایی که خلوص شیمیایی در آنها الزامی است، مفید باشند. همچنین، کندگی لیزری می‌تواند در حضور محفظه بسته و در حضور گازهای بی‌اثر انجام شود و خطر اکسیداسیون را در طول فرایند تولید نانوذرات فلزی که به راحتی می توانند اکسید شوند، کاهش دهد.

به طور کلی، استفاده از تابش لیزر به لایه نازک فلزی برای ایجاد نانوذرات نیکل رویکردی مطمئن و کنترل شده را فراهم می‌کند و به محققان و صنایع اجازه می‌دهد تا خواص نانوذرات را برای کاربردهای خاص تنظیم کنند. اگرچه که ایجاد نانوذرات نیکل با استفاده از لیزر پالسی تیتانیوم سافایر به لایه‌های نیکل با ضخامت کمتر از ۲۰ نانومتر گزارش شده است [۵]، اما همچنان دانش کمی در مورد ایجاد این نانوذرات با روش فیزیکی و با تابش لیزر به لایه نازک نیکل وجود دارد. بنابراین، در این مقاله امکان‌سنجی ایجاد نانوذرات نیکل با تابش لیزر پالسی اگزایمر برای اولین بار گزارش شده و تاثیر تعداد پالس لیزری بر ایجاد این نانوذرات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

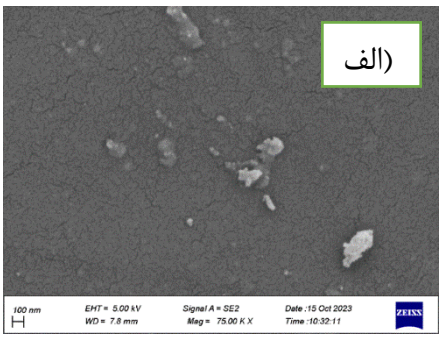
مواد و روش‌ها

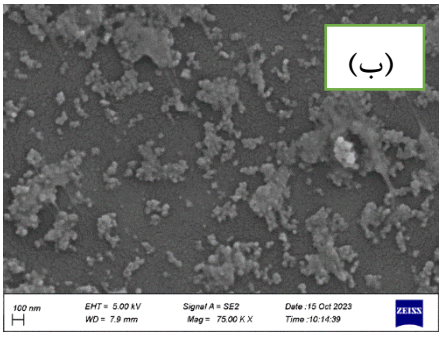
در ابتدا لایه‌نشانی فلز نیکل با ضخامت ۵۰ نانومتر بر روی زیرلایه پلی کربنات با روش انباشت بخار فیزیکی[9] (PVD) انجام شد و سپس پالس‌های لیزر اگزایمر آرگون فلوراید مدل Lambda Physik X200 با طول موج ۱۹۳ نانومتر و شار انرژی لیزر ۵۰ mJ/cm^2 بر روی این لایه نازک اعمال شد. آزمایش با تابش ۲ و ۵ پالس لیزری انجام و نمونه‌ها بر طبق جنس و تعداد پالس لیزر به ترتیب با عناوین Ni-2 و Ni-5 نامگذاری شدند. در مرحله بعد، نمونه‌های نیکل با میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی مدل Sigma HV- 300 و طیف‌سنج بازتابی DRS مدل Avaspec-2048- TEC مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج و دستاوردها

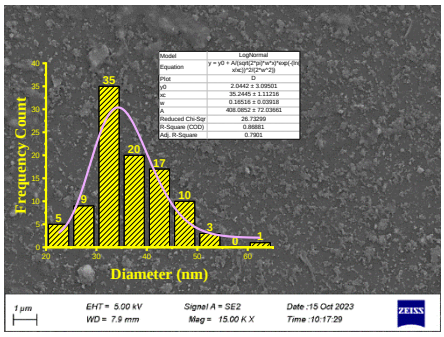
در شکل ۱ نمودار تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی نمونه‌های Ni-2 و Ni-5 نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تابش ۲ پالس لیزر با شار انرژی لیزر ۵۰ mJ/cm^2 بر روی لایه نازک نیکل (شکل ۱-الف) باعث ایجاد نانوذرات کروی با ابعاد مختلف شده است اما در هر حال تعداد و تراکم نانوذرات ایجاد شده چندان زیاد نیست. بررسی نمونه Ni-5 نشانگر ایجاد نانوخوشه‌های مشتمل بر نانوذرات کروی نیکل می‌باشد. همچنین، بررسی تصاویر SEM این نمونه با بزرگنمایی کمتر در شکل ۲ نشان می‌دهد که نانوذرات به صورت یکنواخت بر روی سطح لایه نازک نیکل ایجاد شده است.

میانگین قطر نانوذرات نیکل و پراکندگی قطر این نانوذرات به ترتیب ۳۵/۷ و ۰/۴۹ نانومتر می‌باشد که موید یکنواختی ابعاد نانوذرات نیکل توزیع شده می‌باشد.





شکل ۱. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FESEM) نمونه‌های نیکل تابش شده با تعداد الف) ۲ و ب) ۵ پالسِ لیزر اگزایمر با شار انرژی ۵۰ mJ/cm^2.

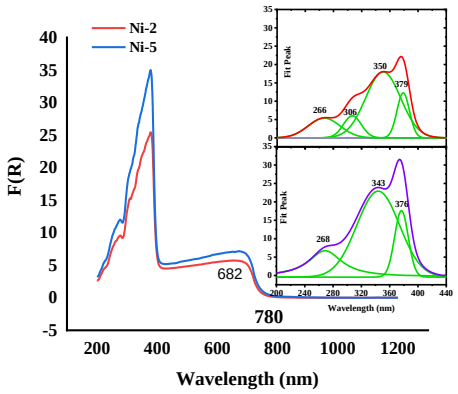


[9] physical Vapor Deposition

شکل ۲. تصاویر SEM نمونه Ni-5 با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰ برابر. نمودار ستونی توزیع قطر نانوذرات نیکل ایجاد شده در نمونه Ni-5 و تابع Log-Normal برازش شده به آنها نیز در داخل شکل نشان داده شده است.

به منظور بررسی طیف جذب نمونه‌های نیکل از آنالیز طیف-سنجی بازتابی (DRS) استفاده و سپس تابع کوبلا-کامونگ که متناسب با جذب نمونه است، با توجه به مرجع [۶] محاسبه و در شکل ۲ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌کنید، اگرچه که جذب هر دو نمونه در طول موج‌های بزرگتر از ۷۸۰ نانومتر صفر است اما جذب نمونه Ni-5 بیشتر از نمونه Ni-2 می‌باشد که با نتایج SEM و تشکیل نانوذرات بیشتر در نمونه Ni-5 سازگار است.

به منظور بررسی دقیق‌تر، طیف کوبلا-کامونگ نمونه مطابق مرجع [۴] به مولفه‌های گاوسی سازنده آنها (توابع سبز رنگ) تفکیک شده است و نتایج در داخل شکل ۳ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌کنید، قله‌های مختلف جذب در نمونه‌های نیکل به چشم می‌خورد که مربوط به نانوذرات ایجاد شده با شعاع‌های مختلف است. طول موج تشدید پلاسمون سطحی موضعی (LSPR) نانوذرات کروی نیکل با توجه به روش سنتز و ابعاد آن‌ها متفاوت است و به عنوان مثال، طول موج LSPR در بازه ۲۰۰ تا ۲۵۰ نانومتر با تابش پالس لیزر به فلز در آب دیونیزه گزارش شده است [۷].



شکل۷: تابع کوبلکا-مونگ نمونه‌های نیکل تابش شده با ۲ و ۵ پالسِ لیزر اگزایمر با شار انرژی ۵۰ mJ/cm^2.

نتیجه‌گیری

در این مقاله امکان‌سنجی تولید نانوذرات نیکل با تابش پالس‌های لیزر اگزایمر به لایه نازک فلز نیکل مورد بررسی قرار گرفت. در پژوهش انجام شده، شار انرژی پالس لیزری را ثابت در نظر گرفته و تعداد پالس ۲ و ۵ پالس لیزر اگزایمر به لایه نازک نیکل لایه‌نشانی شده بر روی زیرلایه پلی-کربنات مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که امکان ایجاد نانوذرات سطحی نیکل با استفاده از روش کندگی لیزری وجود دارد و با تابش ۵ پالس لیزر به این لایه می‌توان نانوخوشه‌های نیکل شامل نانوذرات کروی را تولید کرد. در حالی که تابش ۲ پالس باعث ایجاد تعداد کمی از نانوذرات می‌شود و مناسب نمی‌باشد. در نهایت، با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان نمود که تابش ۳ یا ۴ پالس می‌تواند باعث شکل‌گیری نانوذرات مجزای نیکل شود که نیاز به بررسی‌های بیشتر در ادامه این پژوهش دارد.

مرجع‌ها

[1] Q. A. Pankhurst, J. Connolly, S. K. Jones, and J. Dobson, "Applications of magnetic nanoparticles in biomedicine," *Journal of physics D: Applied physics*, vol. 36, no. 13, p. R167, 2003.

[2] N.-D. Jaji, H. L. Lee, M. H. Hussin, H. M. Akil, M. R. Zakaria, and M. B. H. Othman, "Advanced nickel nanoparticles technology: From synthesis to applications," *Nanotechnology reviews*, vol. 9, no. 1, pp. 1456-1480, 2020.

[3] S. Durbach, H. Kilian, and N. Hampp, "Laser-driven self-organized evolution of 1D-and 2D-Nanostructures from metal thin-films on silicon: Influence of alloying and oxidation," *Applied Surface Science*, vol. 622, p. 156927, 2023.

[4] E. Naranji, M. Aliannezhadi, and S. Panahibakhsh, "Surface structured silver-copper bimetallic nanoparticles by irradiation of excimer laser pulses to bilayer thin films," *Physica Scripta*, vol. 98, no. 10, p. 105529, 2023.

[5] R. D. Murphy, M. J. Abere, K. J. Schrider, B. Torralva, and S. M. Yalisove, "Nanoparticle size and morphology control using ultrafast laser induced forward transfer of Ni thin films," *Applied Physics Letters*, vol. 103, no. 9, 2013.

[6] Z. Gholizadeh, M. Aliannezhadi, M. Ghominejad, and F. S. Tehrani, "High specific surface area γ-Al2O3 nanoparticles synthesized by facile and low-cost co-precipitation method," *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, p. 6131, 2023.

[7] J. P. Cuenca, J. D. López, M. M. Werneck, S. S. Camargo Jr, J. S. Duque, and H. Riascos, "Optical Properties of Cu, Ni, and Co Nanoparticles Synthesized by Pulsed Laser in Liquid Ambient," *Brazilian Journal of Physics*, vol. 52, no. 3, p. 96, 2022.

تعیین خواص اپتیکی خطی و غیرخطی نانو ذرات CdTe، Cds و هسته-پوسته CdTe/CdS

امیرحسین شکوه ، محمد خان‌زاده*، مهدی ملایی، فرزاد فرهمندزاده

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

[۲]Khanzadeh@vru.ac.ir ,[۱]amhosh79ir@gmail.com

چکیده- نانو ذرات CdS و CdTe و هسته/پوسته CdTe/ CdS کاربردهای زیادی در فوتونیک به عنوان سلول‌های خورشیدی، حسگرهای نوری والکترواپتیکی دارند.دراین مقاله ویژگی‌های طیفی و اپتیکی غیرخطی(ضریب جذب وضریب شکست غیرخطی) آن‌ها بااستفاده از روش جاروب-z با لیزرپیوسته دیودی سبز با طول موج ۵۳۲ نانومتردر یک شدت یکسان $۰/۶۶۲۴ \left(\frac{w}{cm^۲}\right) \times ۱۰^۶$ اندازه‌گیری شده است. ضرایب جذب و شکست غیرخطی برای نانو ذرات CdS ۰/۲۶۷۵ CdTe ۰/۲۸۵۶ وترکیب هسته-پوسته آنها CdTe/CdS ۰/۰۹۸۲ $\left(\frac{cm}{w}\right) \times ۱۰^{-۶}$ بدست آمد. نتایج بدست آمده از ضرایب اپتیکی غیرخطی درهسته CdTe وپوسته CdS به‌طور مستقل به ترتیب دارای رفتار خود کانونی و خود-واکانونی و در هسته-پوسته به صورت خود کانونی هستند.

کلید واژه- جاروب-z، ضریب جذب غیرخطی، ضریب شکست غیرخطی، نانو ذرات CdTe-Cds، هسته-پوسته CdTe/CdS

Measurement of Linear and non-linear optical properties of CdTe, Cds Nano particles and CdTe/CdS core-shell.

Amir Hosein Shokouh, Mohammad Khanzadeh*, Mehdi molaie, Farzad Farahmandzadeh

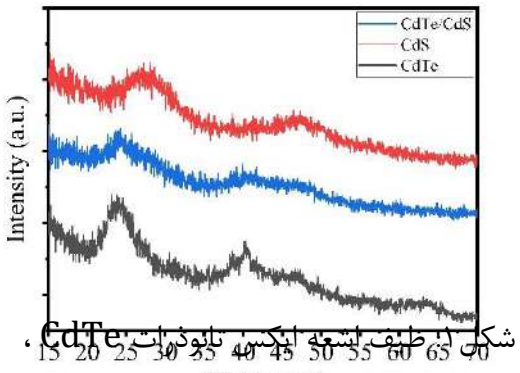
Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Faculty of Basic science, Department of physics

Abstract- CdS and CdTe nanoparticles and the CdS/CdTe core/shell have many applications in photonics as solar cells, optical and electrooptical sensors. In this paper, their nonlinear spectral and optical properties (absorption coefficient and nonlinear refractive index) were measured using the z-scan method by CW diode laser (λ=532nm ,I_0=0.6624 $(\frac{w}{cm^2})\times10^6$). Nonlinear absorption and refraction coefficients were obtained for nanoparticles: CdS (0.2675,-0.105), CdTe (0.2856,0.060) and their core-shell CdTe/CdS (0.0982, 0.005) [$(\frac{cm}{w})\times10^{-6}$,$(\frac{cm^2}{w})\times10^{-12}$] respectively.The results obtained from the nonlinear optical coefficients in CdTe core and CdS shell independently have self-focusing and self-defocusing behavior, and in the core-shell, they are self-focusing.

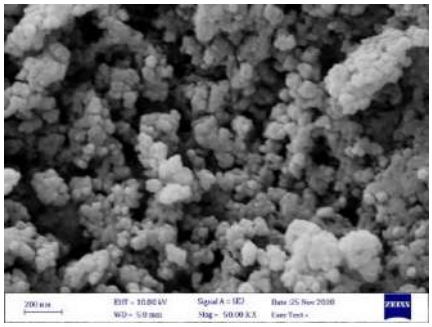
Keywords: CdS-CdTe nanomaterials, CdTe/Cds core-shell, Non-linear absorption coefficient, Non-linear refractive index, Z-scan.

مقدمه: امروزه نانو ذرات CdTe و CdS و ساختار هسته-پوسته CdTe/CdS به دلیل به دلیل واکنش پذیری هسته و پوسته، ایجادپایداری شیمیایی وحرارتی وتغییرات در خواص اپتیکی و مغناطیسی، کاربردهای بسیاری در صنعت فوتونیک پیدا کرده است[۱]. خواص اپتیکی غیرخطی مواد (جذب و ضریب شکست غیرخطی)، از طریق روش جاروب-z تعیین شده‌است [۲،۳،۴]. درپژوهش‌های پیشین خواص اپتیکی غیرخطی نانوذرات مختلفی همچون CdTe ،CdS، Ag2S و PbS/ZnS تعیین شد[۵]. در این پژوهش نانو ذرات CdTe و CdS و CdTe/Cds با روش فوتوشیمیایی سنتز شده، ویژگی‌های طیفی جذب و نورتابی نانو ذرات و مشخصه‌های اپتیکی غیرخطی آن‌ها به طور مستقل و ترکیب هسته-پوسته اندازه‌گیری شده است.

روش آزمایشگاهی: ابتدا ۰٫۱ گرم کادمیم استات درون ۳۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه حل شده. سپس ۱۰۰ µL TGA با آن افزوده شد. PH محلول را با استفاده از NaOH به ۹ رسانده شد. درنهایت ۲۰m از نقاط کوانتومی سنتز شده CdTe با روش مایکروویو به آن اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه تحت تابش UV قرار گرفت[۶،۷]. مطابق طیف اشعه ایکس، نمونه‌های سنتز شده، پهن شدگی قله‌ها اشاره به ابعاد نقاط کوانتومی ذرات دارد شکل (۱).



شکل ۱: طیف اشعه ایکس نانوذرات CdTe، CdTe/CdS و CdS



شکل۲: تصویربرداری الکترونی(SEM) نانوذرات CdTe/CdS

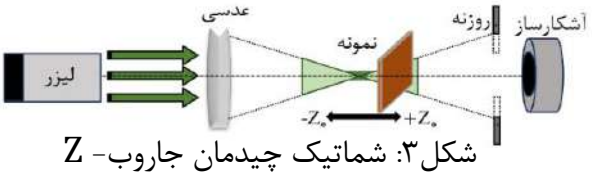
شکل (۳) شماتیکی از چیدمان اپتیکی جاروب- z را نشان می‌دهد، که از یک لیزر دیودی سبز، جابجاگر نمونه، آشکاساز و عدسی‌ها تشکیل شده‌است. باتوجه به اندازه کمینه شعاع باریکه لیزر (W_0)، و روابط زیر خواص اپتیکی غیرخطی یاد شده محاسبه می‌شوند:

$$E_e(r,z,t)=E(z,r,t)e^{-\alpha L/2}\, e^{i\Delta\phi(z,r,t)}$$

$$\Delta\Phi_0(L,t) = n_2(I)\frac{2\pi}{\lambda} L_{eff} \qquad (1)$$

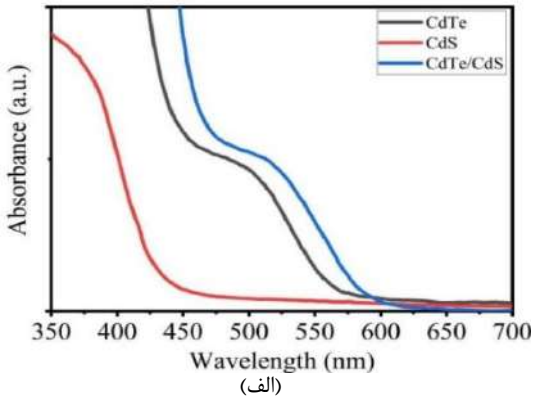
$$L_{eff} = \frac{1-e^{-\alpha_0 L}}{\alpha_0}$$

که در آن $E_e(r,z,t)$ شدت تابشی در محل نمونه، $\Delta\Phi_0(L,t)$ اختلاف فاز مربوط به محل برهمکنش نور با ماده در گستره رایلی، λ طول موج منبع تابشی، L_{eff} طول مؤثر برهمکنش، α_0 ضریب جذب خطی ماده و L طول نمونه آزمایشی است. باتوجه به بیناب‌نگاری جذبی هر سه محلول، درنظر گرفته شده است. محلول‌های مورد مطالعه به ترتیب CdTe، Cds، CdTe/CdS با غلظت $2(\frac{mg}{ml})$ به ترتیب ۲٫۸، ۳٫۶ و ۴٫۷ نانومتر گزارش می‌شود که در سل با ضخامت ۱ میلی‌متر در مقابل چیدمان قرار گرفته است.

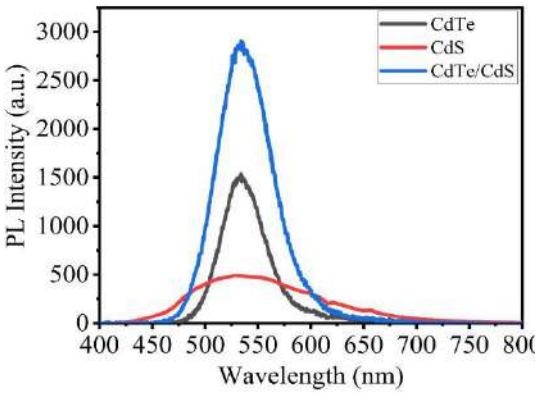


شکل۳: شماتیک چیدمان جاروب- Z

نتایج و داده‌ها: مطابق شکل (۴) طیف جذب هر سه نمونه رسم و گاف ممنوعه نوری برای هر سه نمونه CdTe ,CdS, CdTe/CdS به ترتیب ۲٫۱۵، ۲٫۸۱ و۲٫۰۶ (eV) بدست آمده است. مطابق شکل قله نورتابی هر سه نمونه، جابجایی طول‌موجی نورتابی در هسته-پوسته با شدت بالاتر به سمت طول موج قرمز می‌باشد.



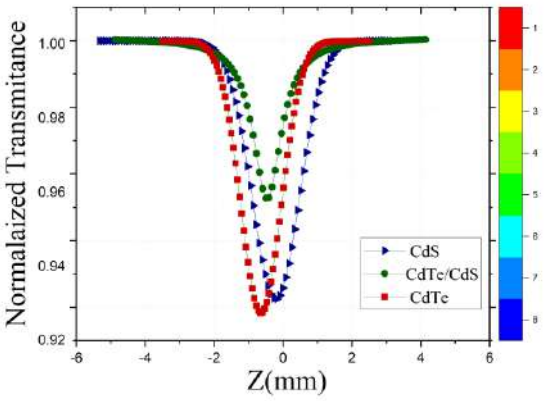
(الف)



(ب)

شکل۴: الف) طیف جذب CdS، CdTe/CdS، CdTe- ب) طیف نورتابی CdS، CdTe/CdS، CdTe

تعیین ضریب جذب غیرخطی: با ثبت داده‌های مربوط به چیدمان روزنه باز، نمودارهای تراگسیل بهنجار برحسب جابجایی برای هر سه نانو ذره رسم شده‌است. ضرایب جذب غیرخطی هر سه محلول پس از ترسیم و برازش داده‌ها درجدول (۱) آمده است. طبق شکل(۵)، میزان جذب هسته-پوسته کمتر از دو نانو ذره CdS و CdTe به‌طور مستقل می‌باشد. به عبارت دیگر ضمن انتخاب ترکیب نانو ذرات CdTe به عنوان هسته و CdS به عنوان پوسته در شدت اولیه $I_0 = ۰٫۶۶۲۴ \ (\frac{w}{cm^2}) \times ۱۰^۶$ میزان جذب خطی و غیرخطی نانو ذرات به‌طور مستقل نسبت به ترکیب هسته- پوسته آن‌ها به ترتیب ۰٫۱۸ و ۰٫۰۹ کاهش یافته است.



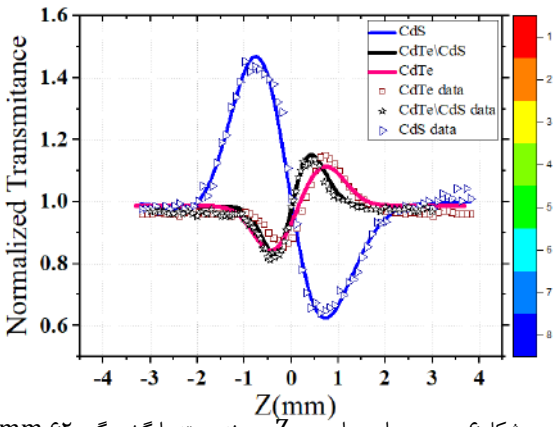
شکل۵: منحنی‌های جاروب- z روزنه باز CdS، CdTe/CdS، CdTe

جدول۱: مقادیر جذب خطی و غیرخطی نانوذرات CdTe, CdS, CdTe/CdS

نمونه	$\alpha_0(cm^{-1})$	$\beta(\frac{cm}{W})\times ۱۰^{-۶}$
CdS	۱۲٫۲	-۰٫۱۰۵
CdTe	۱٫۷	۰٫۰۶۰
CdTe/CdS	۱٫۷۵	۰٫۰۰۵

محاسبه ضریب شکست غیرخطی: با قرار دادن یک روزنه با گشودگی $۰٫۱cm^2$ در چیدمان و جابجایی نمونه حول کانون پرتو ضریب شکست غیرخطی (n_2) نمونه‌های آزمایشی پس از ثبت داده‌ها و برازش آنها مطابق رابطه (۱) اندازه‌گیری شده‌اند؛ شکل (۶). نتایج حاصله مربوط به ضریب شکست غیرخطی نانوذرات مورد مطالعه بادقت سه رقم اعشار در جدول (۲) آورده شده‌است. باتوجه به این که شدت تابشی اولیه با چیدمان روزنه باز یکسان است، ضمن مشاهده برازش منحنی‌ها در شکل (۶)، ترتیب قرارگیری قله-دره ثبت شده مربوط به دو ماده CdS و CdTe به ترتیب

رفتار خود-واکانونی و خودکانونی ازخود نشان می‌دهند. درواقع ضریب شکست غیرخطی مربوط به این ذرات به



شکل۶: منحنی‌های جاروب- Z روزنه بسته با گشودگی ۶۲ $mm^2$۰/ به ترتیب CdS، CdTe/CdS، CdTe

ترتیب منفی و مثبت اندازه‌گیری شده است. از طرفی منحنی تراگسیل بهنجار مربوط به ترکیب هسته-پوسته دو نانو ذره یک رفتار خود کانونی مشابه با رفتار هسته از خود نشان می‌دهد، به عبارت دیگر با انتخاب هسته و پوسته نانوذرات به صورت CdS/CdTe ضریب شکست غیرخطی قابل مشاهده به‌طور تقریبی در ابعاد هسته ظاهر می‌شود. اما آنچه که جلب توجه می‌کند میزان اختلاف فاز بدست آمده در ترکیب هسته پوسته، و دو نانو ذره مستقل از یکدیگر است، به بیان دیگر نانو ذره CdS در حضور میدان شدید نسبت به CdTe خاصیت غیرخطی بیشتری از خود نشان داده و ضمن ترکیب آن‌ها به صورت هسته-پوسته ضریب شکست غیرخطی، به صورت برهمنهی از ضریب شکست منفی و مثبت از دو نانو ذره و همسو با رفتار هسته ظاهر شده‌است.

نتیجه‌گیری: دراین مقاله مشخصه‌های غیر خطی نانو ذرات CdS وCdTe و هسته-پوسته آنها به روش جاروب z- مورد مطالعه قرار گرفت، ضرایب جذب غیرخطی نانو ذرات به ترتیب یاد شده به طور مستقل از مرتبه 10^{-6}و در

هسته-پوسته از مرتبه 10^{-8} تعیین شد که بیانگر کاهش اثر جذب غیرخطی پس از تشکیل هسته-پوسته می‌باشد؛

همچنین باتوجه به ترتیب قرار گیری قله-دره درچیدمان روزنه بسته مقدار ضریب شکست غیرخطی مربوط به نانو ذرات محاسبه و نشان داده شد که تحت تابش اولیه یکسان، CdS دارای رفتار خود-واکانونی، CdTe دارای رفتار خودکانونی و هسته-پوسته به صورت برهمنهی از این دو اما با الگویی مشابه هسته ظاهر شد.

جدول۳: مقادیر ضریب شکست محلول‌های CdS، CdTe\CdS، CdTe

نمونه	n_0	$\Delta\Phi_0$	ضریب شکست غیرخطی $n_2\left(\frac{cm^2}{W}\right)\times10^{-12}$
CdS	۱/۳۳۰۵	-۰/۱۰۵	-۲۰/۶۸۴
CdTe	۱/۳۳۱۵	۰/۰۶۰	۱۱/۷۹۹
CdTe\CdS	۱/۳۳۲۰	۰/۰۰۵	۱/۰۷۴۶

مرجع‌ها

[1] Kumar, S. G., & Rao, K. K. (2014). Physics and chemistry of CdTe/CdS thin film heterojunction photovoltaic devices: fundamental and critical aspects. *Energy & Environmental Science*, *7*(1), 45-102.

[2] Sheik-Bahae, M., Said, A. A., Wei, T.-H., Hagan, D. J., & Van Stryland, E. W. (1990). Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam. *IEEE journal of quantum electronics*, *26*(4), 760-769.

[3] Ratnesh, R., & Mehata, M. S. (2017). Synthesis and optical properties of core-multi-shell CdSe/CdS/ZnS quantum dots: Surface modifications. *Optical Materials*, *64*, 250-256.

[4] Jang, J., Park, S., Clark, D., Saouma, F., Lombardo, D., Harrison, C., & Shim, B. (2013). Impact of two-photon absorption on second-harmonic generation in CdTe as probed by wavelength-dependent Z-scan nonlinear spectroscopy. *JOSA B*, *30*(8), 2292-2295.

[5] Molaei, M., Karimipour, M., Abbasi, S., Khanzadeh, M., & Dehghanipour, M. (2020). PbS and PbS/CdS quantum dots: Synthesized by photochemical approach, structural, linear and nonlinear response properties, and optical limiting. *Journal of Materials Research*, *35*(4), 401-409.

[6] Farahmandzadeh, F., Salehi, S., Molaei, M., Fallah, H., & Nejadshafiee, V. (2023). CdS Semiconductor Quantum Dots; Facile Synthesis, Application as Off Fluorescent Sensor for Detection of Lead (Pb2+) Ions and Catalyst for Degradation of Dyes from Water. Journal of Fluorescence, 1-10.

[7] Pourtakallo, S. N., Molaei, M., & Khanzadeh, M. (2023). CdTe/CdS Core–Shell Quantum Dots: Synthesis and Applications as a Heavy Metal Ion's Fluorescence Sensor and Photocatalyst for Photodegradation of Organic Dyes. physica status solidi (a), 220(7), 2200858.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

مطالعه خواص ساختاری، الکترونی و اپتیکی نانوپودرهای نیمرسانای γ-Ga_2O_3

مهسا سادات سرمالک، مهدی عادلی فرد*

دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

mahsa.sarmalek55555@gmail.com, * adelifard@du.ac.ir

چکیده- Ga_2O_3 به عنوان یک نیمرسانای ترکیبی با گاف نواری خیلی پهن (۴/۵-۹/۳ eV)، ولتاژ شکست الکتریکی بالا، دارا بودن خواص فیزیکی منحصر به فرد به خصوص در الکترونیک، آشکارسازهای نوری فرابنفش و سلول‌های خورشیدی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای بر روی فاز پایدار β- Ga_2O_3 و ساخت انواع نانوساختارهای β- Ga_2O_3 صورت گرفته است و توجه کمتری به دیگر فازهای ناپایدار α- Ga_2O_3، δ- Ga_2O_3 و γ- Ga_2O_3 شده است، از این‌رو پیدا کردن روش‌های موثر سنتز فازهای ناپایدار برای تحقیقات در مورد خواص فیزیکی و شیمیایی آنها و همچنین دستیابی به خواص منحصر به فرد آن‌ها در مقیاس نانو و یافتن کاربردهای بالقوه در تکنولوژی مدرن از اهمیت بالایی برخوردار است. در این تحقیق، ساخت نیمرسانای γ-Ga_2O_3 به روش هیدروترمال به منظور دستیابی به فاز پایدار γ-Ga_2O_3 انجام شد. نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از دستگاه پراش پرتو X (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM)، طیف نگار UV-Vis و طیف سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FTIR)مشخصه‌یابی شدند. مطالعه‌ی الگوهای پرتو X (XRD) ، روی نمونه‌ها نشان دهنده‌ی تشکیل ساختار γ-Ga_2O_3 با قله‌ی ارجح (۳۱۱) مربوط به فاز مکعبی می‌باشد.

کلید واژه- خواص اپتیکی، روش هیدرو ترمال، گالیوم اکسید، نیمرسانای اکسیدی

Study of structural, electronic and optical properties of γ-Ga_2O_3 semiconductor nanopowders

Mahsa Sadat Sarmalek, Mehdi Adelifard*

mahsa.sarmalek55555@gmail.com, * adelifard@du.ac.ir

Abstract- Ga_2O_3 as a compound semiconductor with a very wide bandgap (4.9-5.3 eV), high electrical breakdown voltage, having unique physical properties, especially in electronics, ultraviolet light detectors and solar cells, has attracted a lot of attention. In recent years, extensive research has been done on the stable phase β- Ga_2O_3 and the construction of various β- Ga_2O_3 nanostructures and less attention has been paid to other unstable phases α- Ga_2O_3, δ- Ga_2O_3 and γ- Ga_2O_3, hence finding effective methods of synthesizing unstable phases for research on their physical and chemical properties as well as achieving their unique properties in the scale Nano and finding potential applications in modern technology is of great importance. In this research, γ- Ga_2O_3 semiconductor was manufactured by hydrothermal method in order to achieve a stable γ-Ga2O3 phase. The studied samples were characterized using X-ray diffraction (XRD), field emission scanning electron microscope (FESEM), UV-Vis spectrometer and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The study of X-ray patterns (XRD) on the samples shows the formation of γ- Ga_2O_3 structure with the preferred peak (311) corresponding to the cubic phase.

Keywords: gallium oxide, hydrothermal method, Optical properties, oxide semiconductor

مقدمه

اکسید گالیوم به طور گسترده برای تهیه سنسورهای گاز، دستگاه‌های اپتوالکترونیکی، مواد و کاتالیزورهای درخشان در واکنش‌های شیمیایی فاز مایع و گازی متنوع مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نیمرسانای عایق دارای وسیع‌ترین شکاف نواری در میان اکسیدهای رسانای شفاف در دمای اتاق است (TCOs)، همچنین دارای پایداری شیمیایی و حرارتی عالی و ضریب عبور بالای UV می‌باشد، غلظت حامل نوع n لایه نازک Ga_2O_3 را می‌توان با آلاییدن عناصری مانند Si، Ge یا Sn تنظیم کرد و آن را از 10^{17} cm^{-3} به 10^{20} cm^{-3} رسانید، این خصوصیات به طور همزمان می‌توانند الزامات رسانایی خوب و عبور نوری بالای الکترود رسانا را در مقایسه با الکترودهای تجاری TCO (مانند ITO، FTO، AZO و ...)، برآورده کنند، TCO مبتنی بر Ga_2O_3 دارای یک مزیت آشکار انتقال بالا به فرابنفش است، که باعث افزایش استفاده از نور فرابنفش در دستگاه‌ها می‌شود [۱]. Ga_2O_3 یک بستر جذاب برای ساخت است ال ای دی‌های عمودی(VLED) ساختار است[۲]. Ga_2O_3 دارای پنج ساختار اتمی متفاوت شامل ($\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$) است که در این میان β-Ga_2O_3 پایدارترین فاز می‌باشد. α-Ga_2O_3 دارای ساختار لوزی وجهی یا هگزاگونال، β-Ga_2O_3 دارای ساختار مونوکلینیک، γ-Ga_2O_3 دارای ساختار اسپینل معکوس یا مکعبی δ-Ga_2O_3 ساختار مکعبی و ε-Ga_2O_3 دارای ساختار اورتورومبیک یا هگزاگونال می‌باشد. در دمای حدود ۵۵۰°C ساختار α-Ga_2O_3 و بالاتر از آن دما، تبدیل فاز به β-Ga_2O_3 صورت می‌گیرد. تغییرات پارامتر شبکه در ساختارهای سلولی مسئول این تغییرات در ساختار مواد هستند. از آنجا که تمام ساختارهای اکسید گالیوم دارای ساختارهای سه بعدی می‌باشند، تعداد پارامترهای شبکه افزایش می‌یابد، این به نوبه خود، تعداد ساختارهای ممکن را افزایش می‌دهد. با این حال، تمام ساختارها پایدار نیستند α-Ga_2O_3 یک ساختار ناپایدار است. اکثر ساختارها در دمای بالاتر از ۶۰۰ °C به β-Ga_2O_3 تبدیل می‌شوند [۳]. γ-Ga_2O_3 متعلق به گروه فضایی Fd_3125m و دارای ساختار اسپینل معکوس یا مکعبی است، ساختار اسپینل معکوس (نوع AB_2O_4)، شبیه ساختار γ و η-Al_2O_3 می‌باشد، که در آن A و B کاتیون‌های فلزی مختلف هستند. این ساختار را می‌توان ترکیبی از ساختارهای نمک طعام و بلند روی در نظر گرفت. در این ساختار با فرمول $B(AB)O_4$، یون‌های AB در پرانتز مکان‌های هشت‌وجهی را اشغال می‌کنند و یون‌های B دیگر در مکان‌های چهار وجهی هستند[۴]. روش‌های مختلفی مانند لایه‌نشانی بخار شیمیایی (CVD)، برآرایی پرتو مولکولی (MBE) و رسوب لیزر پالسی (PLD) و... برای بدست آوردن γ-Ga_2O_3 وجود دارد[۵]. در کار حاضر، ما یک مسیر ساده‌ی شیمی آبی را برای سنتز γ-Ga_2O_3 بررسی کرده و نشان دادیم که نه تنها α، β، بلکه γ-Ga_2O_3 نیز می‌تواند توسط عملیات حرارتی پیش سازهای به دست آمده از محلول آبی به منظور کاربردهای اپتیکی مورد بحث قرار گیرد. ما خواص نوری نمونه مورد نظر را با تخمین انرژی باند شکاف تجزیه و تحلیل کردیم، همچنین ویژگی‌های ساختاری مانند بلورینگی و مورفولوژی سطح را به طور کامل بررسی کردیم.

روش آزمایش

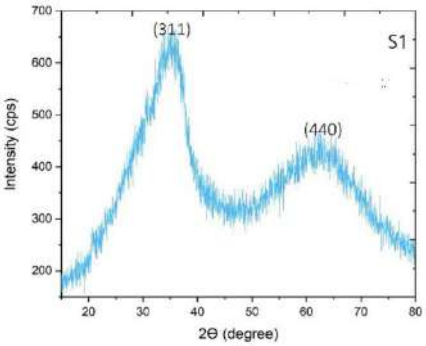
برای تهیه نانو پودرهای Ga_2O_3 به روش هیدروت‌رمال ۰/۶g نیترات گالیوم ($Ga(NO_3)_3.xH_2O$) در ۴۰cc آب دیونیزه (DI) در دمای ۶۰°C حل شد سپس g ۱/۱۲۸ اسید سیتریک ($C_6H_8O_7.H_2O$) به محلول اضافه شد و محلول به بالن دودهانه منتقل شد، دهانه‌های بالن با آلومینیوم پوشانده شد و سوراخ‌هایی روی آلومینیوم ایجاد شد، سپس بالن داخل حمام روغن به مدت ۴ ساعت در دمای ۹۰°C قرار گرفت پس از آن محلول به داخل بشر ریخته شد و به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۱۰۰ °Cدر داخل حمام روغن قرار گرفت بعد از آن ژل تشکیل شده را داخل کوره در دمای

۴۰۰°C به مدت ۱ ساعت قرار دادیم و بعد نمونه را آسیاب کردیم. این نمونه را S_1 نامگذاری کردیم.

نتایج و بحث

مطالعات ساختاری

شکل ۱ الگوی XRD بعد از بازپخت نمونه تهیه شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱ الگوی پراش XRD

قله‌های مربوط به فاز مکعبی گالیوم اکسید دارای قله‌های اصلی پراش در گستره‌ی حدودی 2Θ برابر با ۳۶°،۶۴° در راستاهای (۳۱۱), (۴۴۰) هستند، بطوریکه شدیدترین قله در 2Θ~۳۶° در راستای (۳۱۱) می‌باشد. این راستاها مطابق با کارت استاندارد (JCPDS#۲۰-۰۴۲۶) و بیانگر فاز γ- Ga_2O_3 می‌باشند. ابعاد بلورک‌ها با استفاده از رابطه‌ی شرر (معادله ۱) در جدول ۱ محاسبه شده است.

$$D=\lambda\cdot/\beta Cos\Theta \qquad (۱)$$

که D متوسط اندازه بلورک‌ها بر حسب نانومتر، λ طول موج پرتو ایکس برحسب نانومتر، β پهنای کامل در نصف ارتفاع بیشینه بر حسب رادیان و Θ محل ظهور قله در الگوی XRD بر حسب درجه می‌باشد. اندازه بلورک‌ها تأثیر عمده‌ای بر خواص نوری و الکتریکی نمونه ها دارد. در نیمرساناهای بس بلور، افزایش ابعاد بلورک‌ها باعث کاهش گاف نواری می‌شود و کاهش ابعاد بلورک‌ها منجر به افزایش گاف نواری می‌شود.

جدول ۱ محاسبه اندازه بلورک از رابطه شرر

نمونه	۲ Θ (deg)	FWHM	D (nm)
S_1	۳۵/۰۲	۰/۰۰۷۱	۲۰/۳۱

مطالعات اپتیکی

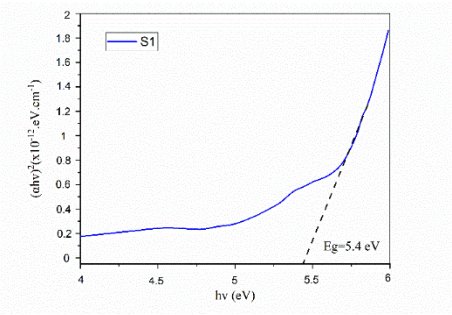
محاسبه گاف نواری بعد از بازپخت

مشخصه‌یابی نوری لایه‌ها با استفاده از دستگاه طیف سنجی در گستره طول موجی ۱۹۰nm -۱۱۰۰nm و با گام ۰/۵ nm انجام شد. برای تعیین گاف نواری نمونه‌ها، ابتدا طیف جذبی لایه‌ها اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده از فرمول زیر ضریب جذب (α) بدست آمد

$$\alpha = (۲/۳۰۳ \times A) / d \qquad (۲)$$

که در این رابطه d متوسط اندازه‌ی دانه‌ها می‌باشد که از طریق دستگاه میکروسکوپ روبشی اثر میدان (FESEM) بدست آمده است. با داشتن مقدار ضریب جذب لایه، از طریق قانون تاوک مقادیر گاف نواری مستقیم لایه‌ها با برون‌یابی بخش خطی منحنی $(\alpha h\nu)^2$ برحسب hν تعیین می‌شوند.

$$(\alpha h\nu)^n = A\,(h\nu - E_g) \qquad (۳)$$

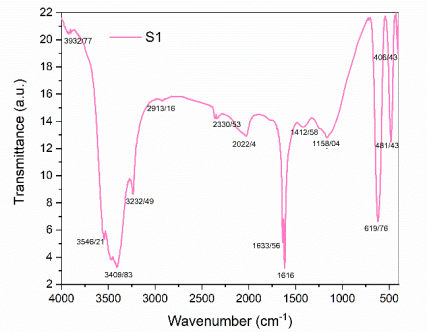


شکل ۲ نمودار $(\alpha h\nu)^2$ برحسب (hν)

انرژی گاف نواری حدود ۵/۴ eV تخمین زده شده است. تغییرات در انرژی‌های گاف نواری می‌تواند به دلیل تغییرات ساختاری و سطحی مشاهده شده پس از فرآیند بازپخت باشد همچنین این تغییرات می‌تواند تابع عوامل مختلفی از قبیل ساختاری، مورفولوژی، تناسب عنصری و ... باشد.

طیف سنجی تبدیل فوریه فروسرخ FTIR

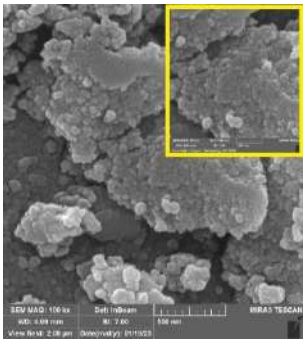
به منظور تأیید نتایج بخش‌های قبلی و بررسی فرآیند واکنش، طیف مادون قرمز تبدیل فوریه تهیه شد.اکسیدهای فلزات معمولا زیر $1000\ cm^{-1}$ ارتعاش می‌دهند، $466\ cm^{-1}$ و $678\ cm^{-1}$ مربوط به ارتعاش فلزی گالیوم اکسید است که در اینجا با کمی شیفت ایجاد شده است. حضور قله‌های زیر $1000 cm^{-1}$ شروع تشکیل ساختار بلوری را تایید می‌کنند.



شکل ۳ طیف سنجی تبدیل فوریه فروسرخ FTIR

مطالعات سطحی نمونه‌ها

برای کسب اطلاعات مورد نیاز در مورد ریزساختار، دانه‌بندی و مورفولوژی سطحی نمونه‌ها تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی اثر میدان FESEM از سطح نمونه S1 در بزرگنمایی‌های (۵۰۰ nm و ۲۰۰ nm) تهیه شدند. شکل ۴ تصاویر FESEM نمونه Ga_2O_3 را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مورفولوژی سطح دانه‌ای و غیر یکنواخت است و در قسمت‌هایی ذرات آلگومره‌ای شده‌اند. همچنین مشاهده می‌شود که ذرات بطور تقریبی لوزی وجهی می‌باشند.



شکل ۴ تصاویر FESEM نمونه Ga_2O_3 به روش هیدروترمال

نتیجه‌گیری

در این تحقیق نیمرسانای اکسیدی Ga_2O_3 به روش هیدروترمال ساخته شد، انرژی گاف نواری بدست آمده حدود ۵/۴ eV تخمین زده شد که این نتیجه با مشاهدات ساختاری و مورفولوژی نمونه سازگار است. نتایج بدست آمده تایید می‌کند که نمونه مورد نظر می‌تواند کاندیدای مناسبی برای استفاده در کاربردهای اپتیکی باشد.

مرجع‌ها

K. D. Leedy, K. D. Chabak, V. Vasilyev, D. C. Look, J. J. Boeckl, J. L.Brown, S. E. Tetlak, A. J. Green, N. A. Moser, A. Crespo, D. B. Thomson, R. C. Fitch, J. P. McCandless, G. H. Jessen, Appl. Phys. Lett. 111 (2017) 012103

F. H. Teherani, D. C. Look, D. J. Rogers, E. G. Víllora, S. Arjoca, K.Shimamura, D. Inomata, K. Aoki, 8987 (2014) 89871U.

Jamwal, Nishant Singh, and Amirkianoosh Kiani. "Gallium oxide nanostructures: A review of synthesis, properties and applications." *Nanomaterials* 12.12 (2022): 2061.

Chiang, Jung-Lung, et al. "A Review on Gallium Oxide Materials from Solution Processes." *Nanomaterials* 12.20 (2022): 3601.

Tang, Xun, et al. "High-performance Ga2O3 anode for lithium-ion batteries." *ACS applied materials & interfaces* 10.6 (2018): 5519-5526.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

سنتز و بررسی خواص اپتیکی نانو کامپوزیت پلی آنیلین- اکسید قلع

غزل ورمزیار[1*]،کاظم جمشیدی-قلعه[1]،توکل توحیدی[2]،سمیه توحیدی[3]
۱.گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه ، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز-ایران
۲.مجتمع پژوهشی شمال غرب کشور(بناب)، پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران
۳.گروه فیزیک،دانشکده فیزیک،دانشگاه تبریز،تبریز-ایران

چکیده - نانو کامپوزیت های $PANI/SnO_2$ به کمک یک رویکرد ترکیبی هیدروترمال و پلیمریزاسیون شیمیایی که از مهمترین روش‌ها برای تهیه نانو ذرات با توزیع یکنواخت است سنتز شدند و آمونیوم پرسلفات به عنوان اکسید کننده برای تشکیل مواد نانوکامپوزیت آلی - معدنی استفاده شد. نانو ذرات SnO_2 با درصدهای وزنی مختلف شامل ۳۰٪،۲۰٪،۱۰٪ و ۵٪ در دمای اتاق درون پلی آنیلین تعبیه شدند. در این مقاله از تکنیک‌های مختلف همچون پراش اشعه ایکس (XRD) برای مطالعه ساختار ذرات و تخمین اندازه آنها استفاده شد. همچنین از طیف سنجی فوتولومینسانس(PL) برای مطالعه انتقالات الکترونی و از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف جذب مریی- فرابنفش (UV-VIS) به ترتیب برای بررسی مورفولوژی مواد و خواص اپتیکی استفاده شد. تصاویر SEM نشان می‌دهند که پودرهای سنتز شده SnO_2 به صورت ذرات کروی و پلی‌آنیلین به صورت نانولوله‌هایی هستند که این ذرات را با اندازه متوسط ۲۳/۷۸۲ نانومتر دربر گرفته‌اند.

کلید واژه- اکسید قلع، پلی آنیلین، سنتز هیدروترمال، نانوکامپوزیت

Synthesis and investigation of optical properties of tin oxide-polyaniline nanocomposite

Ghazal Varmazyar[1*], Kazem Jamshidi-Ghaleh[1], Tavakkol Tohidi[2], Somayeh Tohidi[3]
[1]. Department of Physics, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
[2]. Northwest Research Complex (Bonab), Radiation Applications Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran, Iran
[3].Department of Physics, Faculty of Physics, Tabriz University, Tabriz-Iran

Abstract- PANI/SnO2 nanocomposites are made with the help of a combined method of hydrothermal and chemical polymerization, which is one of the most important methods for preparing nanoparticles using uniform synthesis, and ammonium persulfate is used as a converter of organic-inorganic nanocomposite materials. SnO2 nanoparticles with is a percentage Different weights of 30%, 20%, 10% and 5% were embedded in the polyaniline chamber. In this article, different techniques such as X-ray diffraction (XRD) were used to study the structure of the particles and estimate their size. Also, photoluminescence (PL) measurements are used to study electron transitions and scanning electron microscopy (SEM) and ultraviolet-visible absorption spectrum (UV-VIS) are used to examine morphological materials and optical properties, respectively. Characterization (SEM) indicates that the synthesized SnO2 powders contain spherical particles and polyaniline nanotubes that contain .these particles with an average size of 23.782 nm

Keywords: Tin oxide, Polyaniline, Hydrothermal synthesis, Nanocomposite.

مقدمه

طی چندین سال گذشته نانوکامپوزیت های آلی-معدنی یکی از پر جاذبه ترین مواد برای تحقیق به دلیل خواص فیزیکی منحصر به فردشان تبدیل شده است و زمینه جدیدی را برای توسعه مواد در علم و فناوری ایجاد می‌کنند. این خواص نانو کامپوزیت به دلیل فعل و انفعالات سطحی بین پلیمرهای نانوساختار و نیمه هادی‌ها کاملا متفاوت‌تر از مواد تشکیل دهنده‌شان عمل می-کنند[۱]. پلیمرهای رسانایی که بیشتر مورد مطالعه بوده‌اند عبارتند از: پلی آنیلین، پلی پیرول، پلی تیوفن و غیره..[۱]. پلیمر-های رسانا بدلیل سهولت در آماده سازی، پایداری محیطی خوب، رسانایی الکتریکی بالا [۱] و سنتز نسبی آسان [۲] و بسیاری از کاربردهای دیگر مورد توجه بسیاری قرار گرفته‌اند. جای‌گیری نانو ذرات در یک محیط مساعد روشی جدید برای آماده‌سازی نانو کامپوزیت‌ها به شمار می‌رود [۱] ما در این مقاله از پلی‌آنیلین بعنوان میزبان برای تهیه نانو کامپوزیت‌های پلیمری بهره خواهیم برد [۲]. نانو ذره به کار رفته اکسید قلع SnO_2 می‌باشد که نیمه هادی نوع n با گاف باند وسیع است و ساختاری کریستالی دارد [۱] و از آنجایی که قیمت پایین دارد و بی خطر است بهترین نانو ذره انتخاب شده می‌تواند باشد [۳] برای سنتز نانو کامپوزیت-های پلی‌آنیلین $PANI/SnO_2$ روش‌های متفاوتی همچون روش هم رسوبی، روش سل ژل، هیدروترمال و ... وجود دارند که در این مقاله از روش سنتز راحت و قیمت پایین هیدروترمال برای سنتز پلی آنیلین و سپس ذرات SnO_2 استفاده کردیم. خوبی این روش این است که نانوذرات را می‌توان بصورت همگن و یکنواخت و با صرف کمترین انرژی و به صورت تک مرحله‌ای و با تولید ذرات با اندازه‌های متفاوت و تقارن بلورها را بدست آورد. بعلاوه روش هیدروترمال نسبت به سایر روش‌ها مضرات زیست محیطی کمتری دارد [۴] و در نتیجه با بهره‌گیری از آن‌ها نانو کامپوزیت-های هیبریدی $PANI/SnO_2$ با درصدهای وزنی ۳۰٪،۲۰٪،۱۰٪، ۵٪ را تهیه کرده و مواد آماده شده را روی بستر شیشه‌ای پوشش داده شده و خواص نانو کامپوزیت‌های هیبریدی همچون مورفولوژی، ریزساختار و غیره را براساس روش‌های آنالیز XRD، SEM، UV-VIS،PL مورد مطالعه قرار داده و بررسی کردیم [۳].

تجربی

نانو کامپوزیت های $PANI/SnO_2$ در دو مرحله سنتز شدند در مرحله اول پلی آنیلین و کلرید قلع به روش هیدروترمال سنتز شدند و در مرحله دوم طی پلیمریزاسیون شیمیایی PANI، نانوذرات برای سنتز $PANI/SnO_2$ استفاده شد. از نانوذرات $PANI/SnO_2$ آماده شده برای مشخصه‌یابی استفاده شد.

سنتز SnO_2

مقدار ۹۸۱/۶۸ میلی‌گرم کلرید قلع در ۷۰ میلی لیتر آب دیونیزه حل شده و ۸ گرم گلوکز را به آن اضافه گردید و تا شفاف شدن محلول بهم زده شد. سپس مقدار ۱۰۴/۲۴ میلی لیتر اسید فسفریک به صورت قطره‌ای به محلول بالا اضافه شده و به مدت ۲۰ دقیقه با همزن مغناطیسی مخلوط گردید سپس محلول درون تفلون اتوکلاو به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۱۴۰ درجه درون آون قرار داده شد و پودر ته‌نشین شده سانتریفیوژ گردید. پودرها در دمای ۸۰ درجه و به مدت ۱۲ ساعت درون آون خشک کرده و در نهایت پودر بدست آمده برای بهبود شرایط بلوری به مدت ۳ ساعت در کوره و تحت دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد.

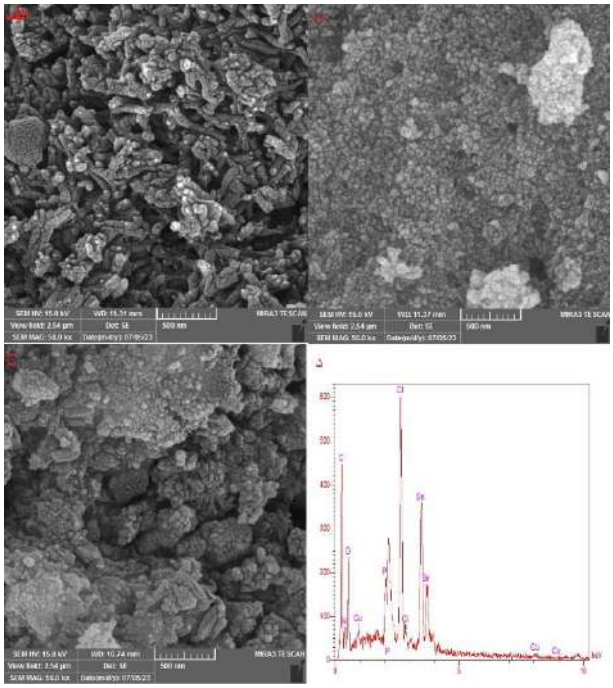
سنتز $PANI/SnO_2$

برای سنتز دو ظرف جداگانه A و B داریم که درون ظرف A ترکیبی از ۰/۵ میلی مول آمونیوم پرسلفات و ۳۰ میلی لیترهیدروکلریک رقیق داریم که به مدت ۳۰ دقیقه همزده شده است. درون ظرف B (۳۰٪ وزنی) SnO_2 سنتز شده و۳۰ میلی لیتر هیدروکلرید رقیق داریم که توسط دستگاه اولتراسونیک ۱۰ دقیقه هم زده شده‌اند و سپس ۰/۵ میلی مول آنیلین به ان افزوده و مجددا ترکیب می‌گردد. محتویات ظرف A را درون ظرف B به صورت قطره‌ای اضافه کرده و به مدت ۲ ساعت درون حمام یخ نگه‌داری می‌شود و رسوبات جمع‌آوری و توسط سانتریفیوژ شسته و خشک شدند. نمونه حاصل نانو کامپوزیت $PANI/SnO_2$ با ۳۰٪ وزنی SnO_2 است نانو کامپوزیت‌های پلی‌آنیلین-اکسید قلع توسطXRD، SEM، PL و طیف سنج UV-VIS مشخصه‌یابی شدند.

بحث و نتیجه‌گیری

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

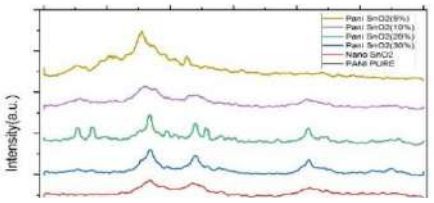
مورفولوژی نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی آنالیز شد. تصاویر FE-SEM نمونه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. این تصاویر ساختار نانو مقیاس ذرات SnO_2 و ساختار لوله‌ای PANI سنتز شده را تایید می‌کند. در ترکیبات $PANI/SnO_2$ ذرات کروی و نانو لوله‌ها یک ساختار در هم تنیده‌ای را تشکیل می-دهند که هم شامل نانو ذرات SnO2 و هم شامل نانولوله‌های PANI می‌باشد. در شکل ۱ (د) حضور همه‌ی عناصر مانند: Sn، Cl، C، O با استفاده از آنالیز طیف EDX تایید شده است.



شکل۱تصاویر SEM الف:پلی آنیلین خالص ب: نانوذرات اکسید قلع ج:نانوکامپوزیت $PANI/SnO_2(30\%)$ د: مشخصه آنالیز عنصری طیف سنجی پراش انرژی پرتوایکس مربوط به $PANI/SnO_2(30\%)$

پراش اشعه ایکس (XRD)

الگوهای XRD نانوذرات خالص PANI و SnO_2 و نانوکامپوزیت $PANI/SnO_2$ در شکل زیر نشان داده شده است. در پلی انیلین خالص دو قله در مقادیرمرکزیت $2\theta = 32/71^{\circ}$ و

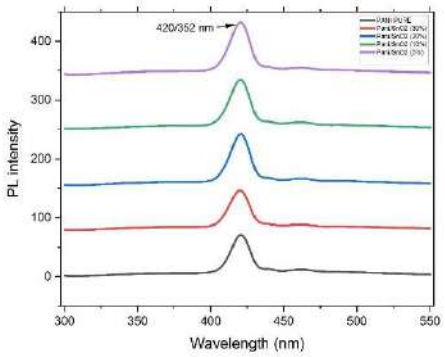


شکل۲: الگوی پراش اشعه X برای پلی آنیلین و نانوذرات اکسید قلع خالص و نانوکامپوزیت$PANI/SnO_2$ با درصدهای مختلف نانو ذرات اکسید قلع

$2\theta = 25.49^{\circ}$ وجود دارد که نشان دهنده بی شکل بودن طبیعت ان است. الگوهای پراش از نانو کامپوزیت‌های $PANI/SnO_2$ مشابه نانو ذرات SnO_2 است این نشان دهنده این است که حضور پلی انیلین بر عملکرد تبلور نانو SnO_2 تاثیر چندانی ندارد به علاوه در $PANI/SnO_2$ پیک مشترک داریم در $2\theta = 26^{\circ}$ که نشان دهنده این است که پلی انیلین هویت خود را در فاز کامپوزیت حفظ کرده و ارتفاع قله با افزایش درصد وزنی SnO_2 افزایش می‌یابد و نانو کامپوزیت‌ها به تدریج و با افزایش درصد وزنی از فاز غیر بلوری و نامنظم به فاز بلوری عبور می‌کنند[۱]. اندازه نانوذرات SnO_2 با فرمول Scherrer حدود نانومتر ۲۳ نانومتر تخمین زده شد.

فوتولومینانس PL

طیف نشری فوتولومینسانس نانوذرات با اسپکتروفلورومتر در دمای اتاق انجام شد. طول موج تحریک ۲۹۰ نانومتر انتخاب شد. طیف نشری فوتولومینسانس را در محدوده طول موج ۳۰۰-۵۵۰ نانومتربرای همه نمونه ها در (شکل۲) مشاهده می‌کنیم. طیف فتولومینسانس دارای یک قله در طول موج ۴۲۰/۲۰ نانومتر می باشد.



شکل۳:طیف نشری فوتولومینسانس نمونه های مختلف

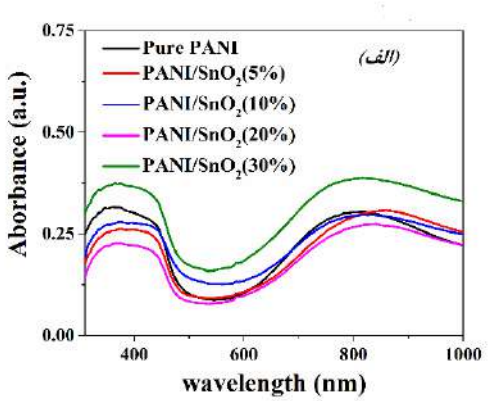
آنالیز (UV-VIS) و گاف نواری

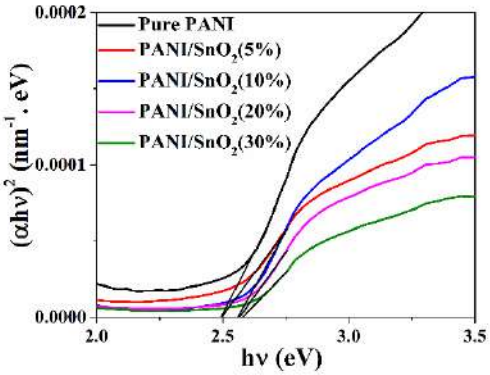
طیف جذبی یکی از ابزار مهم در مطالعه خواص نوری مواد است و این خواص نمونه‌های تهیه شده توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در ناحیه مریی و در محدوده طول موج۳۰۰-۹۰۰ نانومتر بررسی شده است. طیف UV-VIS مربوط به نانو کامپوزیتهای پلی انیلین خالص و $PANI/SnO_2$ در شکل۳(الف) آورده شده است. قله‌های موجود در طیف پلی آنیلین خالص در طیف‌های $PANI/SnO_2$ نیز مشاهده می‌گردد. البته مکان آنها اندکی جا به جا شده‌اند که این امر به برقراری پیوند هیدروژنی میان نانوذرات فلزی و پلی انیلین مربوط می‌شود[۵].

برای تعیین گاف اپتیکی از طیف سنجی نمونه ها از رابطه زیر که به رابطه Tauc معروف است استفاده شده است[۶].

$$(\alpha h\nu)^2 = k\,(h\nu - Eg)$$

سپس وابستگی تابعی $(\alpha h\nu)^2$ برحسب $h\nu$ انرژی فوتون را رسم می‌کنیم. برای بدست آوردن مقدار E_g از روش برون یابی قسمت راست که در این مورد از طریق رسم مماس قسمت خطی نمودار و قطع کردن محور انر ژی $\left((\alpha h\nu)^2 = 0\right)$ به وسیله خط مماس، مقدارانرژی شکاف باند با تقریب خوبی بدست آمده است.





شکل۴(الف): طیفUV-VIS (ب)گاف انرژی محاسبه شده نانوکامپوزیت های $PANI/SNO_2$

مراجع

1. Nadaf, L., et al., *Poly-aniline-Tin oxide nanocomposites: synthesis and characterization.* IOSR Journal of Applied Chemistry, 2016. **9**(2): p. 55-61.
2. Li, S., et al., *Room temperature gas sensor based on tin dioxide@ polyaniline nanocomposite assembled on flexible substrate: ppb-level detection of NH3.* Sensors and Actuators B: Chemical, 2019. **299**: p. 126970.
3. Dutta, K. and S. De, *Optical and nonlinear electrical properties of SnO2–polyaniline nanocomposites.* Materials letters, 2007. **61**(27): p. 4967-4971.
4. Khuspe, G., et al., *Facile method of synthesis of polyaniline-SnO2 hybrid nanocomposites: Microstructural, optical and electrical transport properties.* Synthetic metals, 2013. **178**: p. 1-9.
5. Das, M. and D. Sarkar, *One-pot synthesis of zinc oxide-polyaniline nanocomposite for fabrication of efficient room temperature ammonia gas sensor.* Ceramics International, 2017. **43**(14): p. 11123-11131.
6. Filippo, E., et al., *Fabrication of α-TeO2 smooth and beaded microwires by thermal evaporation method.* Journal of crystal growth, 2011. **336**(1): p. 101-105.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

سنتز نانوذره بیسموت فریت و اثرات آن در بلورمایع با ناهمسانگردی منفی

مریم بیگ محمدی عزیزی، جعفر پورصمد بناب، مهسا خادم صدیق، امیرحسین مویدنیا

مهندسی اپتیک و لیزر، دانشگاه بناب، بناب، ایران
MaryamBeigmohammadi@gmail.com

JPoursamad@yahoo.com

Mahsa.Sadigh@yahoo.com

چکیده - بیسموت فریت ($BiFeO_3$) یک ماده مولتی فروئیک شامل خواص فروالکتریک و فرومغناطیس است، بنابراین نانوذرات بیسموت فریت با خلوص بالا برای کاربرد بالقوه آن‌ها در کاربردهای مختلف تکنولوژیکی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است. از این رو، در این تحقیق از روشی ساده و کارآمد برای سنتز پودر $BiFeO_3$ استفاده شده‌است. همچنین ناهمسانگردی دی‌الکتریک متفاوتی با تغییر درصد وزنی نانوذرات در بلور مایع MBBA مشاهده شد. بررسی داده های حاصل نشان می دهند که ثابت دی الکتریک بلور مایع نماتیک آالائیده شده با درصد پایین از نانو ذرات بیسموت فریت را می‌توان کنترل کرد.

کلید واژه- بیسموت فریت، مولتی فروئیک، ناهمسانگردی، بلورمایع

Synthesis of Bismuth ferrite nanoparticle and its effects on liquid crystals with negative anisotropy

Maryam Beigmohammadi Azizi, Jafar Poursamd bonab, Mahsa Khadem Sadigh and Amirhossein Moayednia

MaryamBeigmohammadi@gmail.com, JPoursamad@yahoo.com, Mahsa.Sadigh@yahoo.com

Department of Laser and Optics engineering, University of Bonab, Bonab, Iran

Abstract- Bismuth ferrite ($BiFeO_3$) is a multiferroic consisting of ferroelectric and antiferromagnetic properties, so bismuth ferrite nanoparticles with high purity have been highly regarded for their potential applications in various technological applications . Therefore, in this research, a simple and efficient method is used to produce $BiFeO_3$ powder. Also, different dielectric anisotropy was observed with changing the weight percent of nanoparticles in liquid crystal. Analysis of the obtained data shows that the dielectric constant of nematic liquid crystal doped with a low percentage of bismuth ferrite nanoparticles can be controlled.

Keywords: Bismuth ferrite, Multiferroic, Anisotropy, Liquid crystal

مقدمه

دلیل کاربرد وسیع بلورهای مایع در ساخت انواع صفحات نمایشگر ، مدارهای الکتریکی و نوری، مواد مذکور یکی از جذابترین زمینه های مطالعه در حوزه علوم پایه و مواد است [۱]. بلورهای مایع را می توان به گروههای ترموتروپیک، لیوتروپیک و پلیمریک تقسیم بندی نمود[۲و۳].

مواد مولتی فروئیک با داشتن سه خاصیت هم زمان فروئیکی فرومغناطیس ، فروالکتریک و فروالاستیک) در دهه‌های اخیر باعث جلب نظر زیادی از نظر کاربرد در ابزارهای چند منظوره شده‌اند. ویژگی کلیدی نانوذرات فریت بیسموت آن ها را در کاربردهای مختلف مغناطیسی - الکتریکی از جمله اسپینترونیک مفید می سازد[۸-۴] .
نانوذرات فریت بیسموت دارای دمای کوری بالایی هستند که حدود ۸۳۰ درجه سانتی گراد تخمین زده می شود که به طور قابل توجهی بیشتر از بسیاری از مواد فروالکتریک دیگر است و آن ها را به طور خاص برای کاربردهای با دمای بالا مناسب می کند. مشخص شده است که اندازه و شکل نانوذرات فریت بیسموت بر خواص آن ها تاثیر می گذارد؛ برای مثال، نانوذرات کوچک‌تر معمولا نواحی سطحی بزرگتری را نشان می دهند، که می تواند واکنش پذیری آن ها را افزایش دهد و فعالیت فتوکاتالیستی آن ها را افزایش دهد[۹].

ثابت دی‌الکتریک پارامتری منحصر به فرد و سودمند برای بلورهای مایع است که تمامی پاسخ های الکترواپتیکی مولکولها، ناهمسانگردی و و فازهای احتمالی که مولکولهای بلور مایع می توانند از خود نشان دهند را کنترل می کند[۱۰].

مواد و روش‌ها

برای سنتز بیسموت فریت از روش هیدروترمال استفاده نمودیم. مقادیر بیسموت نیترات پنج آبه (۱/۲۱۳ گرم) و آهن نیترات نه آبه (۱/۰۰۹ گرم) به دقت وزن شدند و در ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر تحت هم زدن شدید حل شدند . سپس محلول HNO_3 (۳۲ میلی لیتر) به مخلوط در یک بشر اضافه شد. اسید تارتاریک در نسبت مولی ۱:۱ (0/750 گرم) نسبت به نیترات های فلزی به محلول وارد شد. مواد اولیه‌ی $Bi(NO_3)_3,5H_2O$ ،$Fi(NO_3)_3,9H_2O$، اسید نیتریک و اسید تارتاریک از سیگما آلدریچ و مرک تهیه شدند و به دلیل درجه خلوص بالا بدون خالص سازی بیشتر مورد استفاده قرار گرفتند. محلول را روی هیتر تحت هم زدن قرارداده و دمای صفحه حرارتی ۱۷۰ درجه سانتیگراد حفظ شد تا زمانی که تمام مایع از محلول تبخیر شود که بسته به دمای صفحه گرمایش بین ۶ تا ۱۰ ساعت طول کشید. پودر سبز رنگ حاصل جمع آوری شده و به مدت ۲ ساعت در دما۵۰۰ درجه سانتیگرادکلسینه شد.
در نهایت، برای بررسی اثرات سنتز نانوذرات بر ویژگی‌های ناهمسانگردی بلورمایعMBBA، سلول‌های موازی و عمود بر هم ساخته شد. این سلول‌ها شامل دو صفحه شیشه‌ای ITO بود که قبل از آزمایش با اتانول، استون و آب دیونیزه به دقت تمیز شدند. سپس لایه ای از پلی وینیل الکل روی صفحات شیشه ای پوشانده شد تا با فرآیند مالش، سلولی موازی به دست آید. علاوه بر این، جهت هموتروپیک مولکول‌های بلور مایع با استفاده از پوشاندن سطوح شیشه‌ای با لسیتین به دست آمد[۸]. فضای بین دو صفحه شیشه ای با استفاده از اسپیسرهای کروی تنظیم می شود. از LCR متر (VICTOR 4091C) با کنترل دما برای اندازه گیری ثابت دی الکتریک موازی و عمود بر کریستال مایع نماتیک خالص و آلائیده شده با درصد وزنی مختلف نانوذرات $BiFeO_3$ استفاده شد.

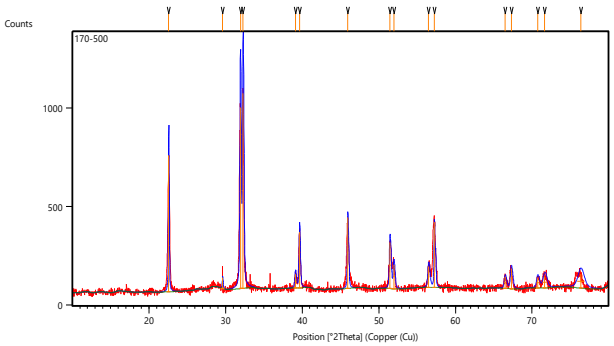
بررسی نتایج

پراش اشعه ایکس:

ساختار کریستالی پودرهای کلسینه شده با پراش اشعه‌ی ایکس (XRD) مشخص می‌گردد، شکل۱ تصویر XRD از پودرهای سنتز را نشان می دهد. برای محاسبه اندازه ذرات پودر از فرمول شرراستفاده شد:

$$D = \frac{0/9\lambda}{\beta \cos\theta}$$

در جایی که D اندازه متوسط ذره است، $\lambda = 1/54$(طول موج پرتو ایکس) و β عرض پیک پراش در نصف حداکثر برای زاویه پراش 2θ است.

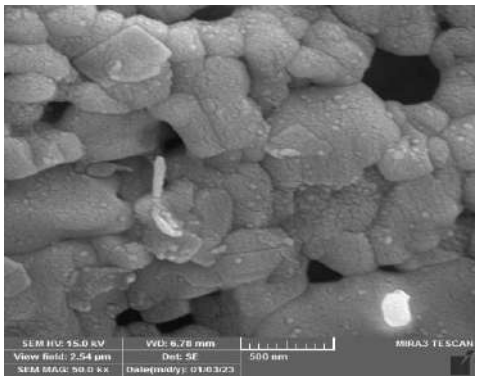


شکل ۱: پراش اشعه‌ی ایکس (XRD) نانوذره‌ی بیسموت فریت

میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی(FESEM):

مورفولوژی نمونه با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با بزرگنمایی ۵۰۰ نانومتر، همانطور که در شکل۲ نشان داده شده است، تعیین شد. تصاویر SEM نشان می دهد که پودر $BiFeO_3$ دارای منافذ یا حفره هایی با اندازه ها و اشکال مختلف است.

میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FESEM, JSM-7600F) برای توصیف نانوذرات آنیل شده استفاده شد. اندازه ذرات از میکروگراف های FE-SEM با استفاده از نرم افزار ImageJ محاسبه شد. میانگین مقادیر به‌دست‌آمده برای نانوذرات در دمای هیتر ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و کلسینه‌شده در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۲۶/۰۴ نانومتر بود.



شکل ۲: مورفولوژی نانوذره بیسموت فریت با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با بزرگنمایی ۵۰۰ نانومتر

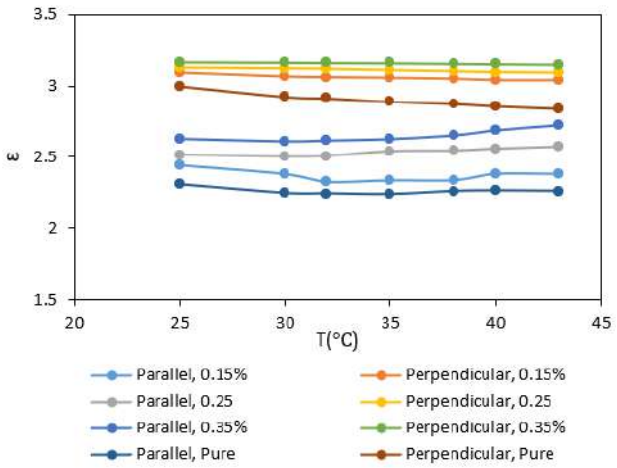
اثرات نانوذرات بر خواص دی الکتریک محیط های ناهمسانگرد:

امروزه بلورهای مایع با فاز میانی، دریچه‌ی جدیدی را برای طراحی دستگاه های اپتیکی باز می کنند. از این رو، ثابت دی الکتریک این گروه از مواد، عامل مهمی است. در این بخش، تأثیر نانوذرات $BiFeO_3$ بر ثابت‌های دی‌الکتریک و ناهمسانگردی دی‌الکتریک بلور مایع نماتیک MBBA می-پردازیم. برای اندازه‌گیری ثابت‌های دی‌الکتریک در جهت‌های موازی و عمود بر هم، ظرفیت سلول‌های بلور مایع آماده‌شده برای هر دو حالت خالی و پر در دماهای مختلف اندازه‌گیری شد. مطابق شکل ۳، ثابت دی الکتریک و ناهمسانگردی بلور مایع MBBA به شدت به درصد وزنی نانوذرات و دما بستگی دارد.

برای بلورهای مایع با جهت‌دهی موازی، مقادیر ثابت دی الکتریک با افزایش دما افزایش می یابد. در مقابل حالت عمود مقدارش با دما کاهش می یابد. این رفتار به دلیل ناهمسانگردی دی الکتریک منفی است. علاوه بر این، تفاوت بین ثابت های دی الکتریک موازی و عمود بر هم با افزایش دما کاهش می یابد. بررسی دقیق نشان می دهد که افزودن نانوذرات $BiFeO_3$ با ۰/۱۵ درصد وزنی به بلور مایع MBBA منجر به افزایش ناهمسانگردی دی الکتریک بلور مایع نماتیک خالص می شود. برای بلورهای های مایع با درصد وزنی بالا (۰/۲۵ درصد وزنی و ۰/۳۵ درصد وزنی نانوذره)، مقدار ناهمسانگردی دی الکتریک کاهش می یابد.

شکل ۳: ثابت دی الکتریک موازی و عمود بلور مایع دوپ شده با درصد وزنی مختلف نانوذرات $BiFeO_3$

در واقع، برای بلورهای مایع با 0/15 درصد وزنی نانوذرات، مقدار ناهمسانگردی دی الکتریک را می توان به دلیل برهمکنش های دوقطبی ضعیف بین مولکول های بلور مایع و نانوذرات افزایش داد. در این حالت، تغییرات کوچکی در جهت گیری مولکولی MBBA رخ می دهد و منجر به افزایش گشتاور دوقطبی حاصل از سیستم کامپوزیت بلورمایع- نانوذرات می شود. به عبارت دیگر، افزایش گشتاور



دوقطبی خالص سیستم می تواند ناهمسانگردی دی الکتریک بلورهای مایع را با 0/15 درصد وزنی نانوذرات افزایش دهد. به‌صورت متقابل، بلورهای مایع آلائیده با درصد وزنی بالای نانوذرات، ترتیب جهت گیری بلورهای مایع نماتیک را کاهش می دهند. بنابراین، با افزودن غلظت مناسب نانوذره $BiFeO_3$ به یک بلورمایع نماتیک، می‌توان ناهمسانگردی دی الکتریک بلورمایع نماتیک انتخابی را کنترل کرد.

مرجع‌ها

[1] B.S. Andereck, B.R. Patton, “Anisotropic renormalization of thermodynamic quantities above the nematic–smectic-A phase transition”, Physical Review E, Vol 49, P 1393, 1994.

[2] P. De Gennes, Prost. *The Physics of Liquid Crystals*, Oxford: Clarendon Press, 1993.

[3] L.M. Blinov, *Structure and properties of liquid crystals*, Springer Science & Business Media, 2010.

[4] Singh, A., Pandey, V., Kotnala, R. K., & Pandey, D., “Direct evidence for multiferroic magnetoelectric coupling in 0.9 BiFeO 3–0.1 BaTiO 3”, Phys. Rev. Lett., 101(24), 247602, 2008.

[5] Wang, J. B. N. J., et al., “Epitaxial BiFeO3 multiferroic thin film heterostructures”, Science, 299.5613, 1719-1722, 2003.

[6] Balke, N. et al., “Deterministic control of ferroelastic switching in multiferroic materials”, Nat. Nanotechnol., 4, 868–875, 2009.

[7] Sando, D. et al., “Crafting the magnonic and spintronic response of BiFeO3 films by epitaxial strain”, Nat. Mater., 12, 641–646, 2013.

[8] U. A. Joshi, J. S. Jang, P. H. Borse, and J. S. Lee, “Microwave synthesis of single crystalline perovskite BiFeO3 nanocubes for photoelectrode and photocatalytic applications”, Appl. Phys. Lett., vol. 92, no. 24, Article ID 242106, 2008.

[9] B.S. Soram, B.S. Ngangom, H.B. Sharma, “Effect of annealing temperatures on the structural and optical properties of sol–gel processed nanocrystalline BiFeO3 thin films”, Thin Solid Films, 524 (2012) 57-61.

[10] NE Hill, WE Vaughan, AH Price, M. Davies. “Dielectric properties and molecular behaviour”, van Nostrand and Reinhold, London, UK, pp306. 1969.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

ساخت حسگر فرابنفش (UVA) بر پایه نانو ساختارهای ZnO بروی زیر لایه انعطاف پذیر

رسول عسکری، فاطمه باقری، حمید هراتی زاده

دانشگاه صنعتی شاهرود،

askarirasool2@gmail.com، f.bagheri.8@gmail.com, hamid.haratizadeh@gmail.com

چکیده – در این تحقیق، حسگرهای UV مبتنی بر نانو ساختارهای ZnO با استفاده از روش‌های ساده و کم‌هزینه ساخته شدند . مواد نانو ساختار ZnO سنتز شده به روش هیدروترمال، با استفاده از روش قطره‌چکانی بر روی زیرلایه‌های سخت (شیشه) و انعطاف‌پذیر (پلیمری) لایه‌نشانی شدند .حسگرهای ساخته شده تحت شرایط تابشی مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. راندمان کوانتومی خارجی حسگرهای UV مبتنی بر زیرلایه سخت و انعطاف‌پذیر به ترتیب ۱۶۱.۷٪ و ۲۹۰.۲٪ (در ۳۶۵ نانومتر /بایاس ۱۰ ولت) بود . علاوه بر این، نسبت‌های جریان تحت تابش UV به مرئی (۳۶۰ نانومتر/۴۰۰ نانومتر) برای زیرلایه سخت و انعطاف‌پذیر به ترتیب ۸۱۰ و ۱۷۲۸ بدست آمد. اهمیت این تحقیق علاوه بر ساخت حسگر UVA با روشی ارزان قیمت و با قابلیت تولید انبوه، موفقیت در ساخت آن بروی زیرلایه‌های انعطاف‌پذیر است که در زمینه‌های مختلفی مانند حسگرهای پوشیدنی می تواند کاربردهای گسترده ای داشته باشد.

کلید واژه- حسگر فرابنفش، حسگرهای پوشیدنی، زیرلایه انعطاف‌پذیر، نانو ذرات اکسید روی، تولید انبوه.

Fabrication of ultraviolet (UVA) sensors based on ZnO nanostructured on flexible substrate

Rasoul Askari, Fatemeh Bageri, Hamid Haratizadeh

Physics Department, Shahrood University of Technology, 3619995161, Shahrood, Iran

Abstract- In this research, UV sensors based on ZnO nanostructured were fabricated using simple and low-cost methods. ZnO nanostructured materials synthesized by hydrothermal method were deposited on hard (glass) and flexible (polymeric) substrates using drop cast method. The fabricated sensors were investigated under different radiation conditions. The external quantum efficiency of UV sensors based on hard and flexible substrate was 161.7% and 290.2% (at 365 nm/10 V bias), respectively. In addition, the current ratios under UV to visible (360 nm/400 nm) for the hard and flexible substrate were obtained as 810 and 1728, respectively. The importance of this research, in addition to making a UVA sensor with a cheap method and mass production capability, is the success in making it on flexible substrates, which can have wide applications in various fields such as wearable sensors.

Keywords: UVA sensor, wearable sensors, flexible substrate, ZnO, nano particles, mass production.

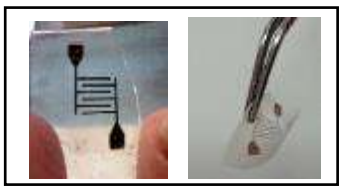
مقدمه

در سال‌های اخیر، حسگرهای نوری فرابنفش (UV) به دلیل طیف گسترده‌ای از کاربردهای خود مانند پیشگیری از سرطان پوست، تصفیه آب، تشخیص شعله، ارتباطات نوری و غیره توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند [۱], [۲]. بر اساس گزارش‌های سازمان بهداشت جهانی، شواهد قابل توجهی وجود دارد که قرار گرفتن در معرض طیف UVA (۳۱۵-۴۰۰nm) می‌تواند منجر به بروز مشکلاتی برای سلامتی انسان شود [۲]. برای جلوگیری از خطرات ناشی از اشعه UV بر سلامت پوست، مانند سرطان، التهاب و چین و چروک، نظارت بر اشعه فرابنفش بسیار ضروری است [۳]. نظارت و کنترل برای سلامت افراد با وسایل الکترونیکی پوشیدنی که راحت، کوچک و سبک هستند امکان پذیر است. در نتیجه، تقاضا برای آشکارسازهای فرابنفش با استفاده از فناوری پوشیدنی، به ویژه برای مراقبت‌های بهداشتی، در عصر اینترنت اشیا افزایش یافته است. فن‌آوری‌های الکترونیکی پوشیدنی می‌توانند به عنوان یک گزینه جذاب برای تشخیص نور UV ظاهر شوند زیرا سبک، راحت، کوچک و کم‌هزینه هستند و در عین حال دارای عملکرد سنجش عالی نیز می‌باشند [۴]. علاوه‌بر ویژگی‌های ذکر شده، برای کاربردهای عملی، آشکارسازهای نوری UV باید دارای حساسیت بالا، گزینش‌گری مناسب، نسبت بالای جریان روشنایی/تاریکی، سرعت پاسخ‌دهی بالا و پایداری طولانی مدت باشند. دستیابی به این ویژگی‌ها با مواد نیمرسانای اکسید فلزی نانو ساختار (SMON) امکان پذیر است.

بنابراین با توجه به اهمیت شناسایی نور UV در حوزه‌های مختلف، ساخت حسگرهای مبتنی بر SMON با قابلیت پوشیدنی و انعطاف پذیر بسیار حائز اهمیت بوده و توجه بسیاری از پژوهش‌گران را به خود جلب کرده است [۵].

ساخت قطعه حسگری

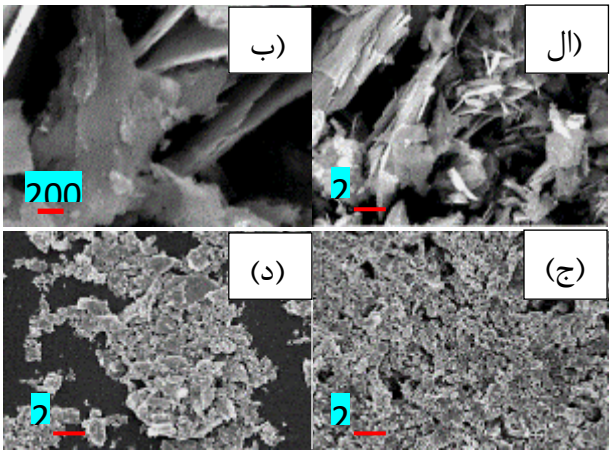
در این پژوهش نانو ساختارهای ZnO به روش گرمابی تهیه شدند. از آنجایی که هدف پژوهش بررسی تاثیر جنس زیرلایه بر روی عملکرد حسگر UV بود، مواد تهیه شده به روش قطره چکانی بر روی زیرلایه‌های انعطاف پذیر (SP) و سخت (SG) لایه نشانی شدند. جنس زیر لایه حسگر SP از پلی اتیلن و حسگر SG شیشه انتخاب شد. قبل از لایه نشانی مواد، الکترودهای شانه‌ای از جنس پلاتین و به ضخامت ۱۰۰ nm بر روی زیرلایه‌ها با استفاده از سیستم کندوپاش لایه نشانی شدند (شکل ۱).



شکل ۵ : قطعه حسگر فرابنفش با زیرلایه انعطاف پذیر و سخت

مشخصه یابی مواد

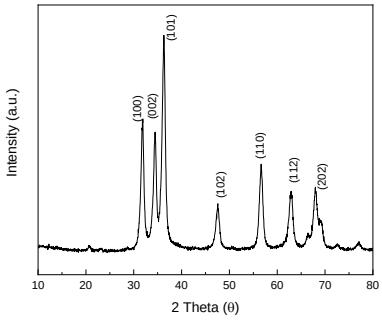
شکل ۲ تصاویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) ماده تهیه شده و نیز تصاویر مربوط به بعد از لایه نشانی را بر روی هر دو زیرلایه نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۲ (الف و ب) مشاهده می‌شود، ZnO به صورت ورقه‌هایی با ضخامت نانومتر تشکیل شده است. در شکل ۲-ج تصویر مربوط به حسگر SP قابل مشاهده است. با توجه به تصویر دیده می‌شود که لایه تشکیل شده به صورت کاملا یکنواخت بر روی زیر لایه قرار گرفته است. اما برای حسگر SG (شکل ۲-د) لایه تشکیل شده به صورت جزیره‌ای و غیر یکنواخت است. این موضوع می‌تواند منجر به کاهش انتقال بار در حسگر SG شود.



شکل ۱- تصاویر FESEM (الف) و (ب) ZnO سنتز شده در مقیاس‌های مختلف (ج) حسگر SP (د) حسگر SG

در شکل ۳ الگوی پراش پرتو ایکس نانو ساختار ZnO نشان داده شده است. با توجه به الگوی پراش بدست آمده و مقایسه آن با الگوی پراش استاندارد ZnO (JCPDS: 36-1451)، ساختار

ورتزایت تشکیل شده است. همچنین نشان می‌دهد ZnO به صورت خالص و با کیفیت ساختار بلوری مناسبی تهیه شده است.



شکل۳: نمودار الگوی پراش نمونه سنتز شده ZnO

مطالعه عملکرد حسگرهای ساخته شده

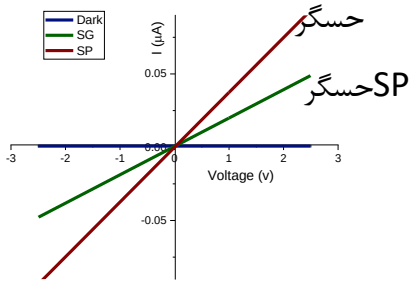
تست حسگری قطعات ساخته شده تحت تابش فرابنفش با طول موج‌های ۳۶۵nm و ۳۹۰nm و نیز شدت‌های مختلف که مقادیر آن در جدول ۱ آمده است، مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول ۱- شدت تابشی منبع UV

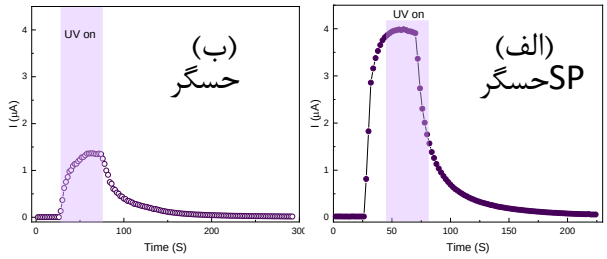
شماره تابش	I1	I2	I3	I4	I5
شدت تابش (mW/cm^2)	۰.۲۶	۰.۳۴	۰.۴۴	۰.۵۵	۰.۶۵

شکل ۴ نمودار I-V، برای هر دو نمونه را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار بدست آمده برای هر دو نمونه، اتصال مناسب بین لایه ZnO و الکترودهای پلاتین شکل گرفته است و رفتار اهمی این اتصال را می‌توان در نمودارها با توجه به خطی بودن آنها مشاهده کرد.

شکل ۵ نمودارهای جریان برحسب زمان دو نمونه حسگری را تحت تابش ۳۶۵nm و شدت تابش I_5 نشان می‌دهد. در این بررسی مقدار جریان بیشینه در حسگر SP، ۳.۹۹μA و در حسگر SG، ۱.۳۶μA می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار جریان تولید شده در حسگر SP نسبت به حسگرSG بیشتر است. با مشاهده تصاویر FESEM برای هر دو حسگر می‌توان بیان کرد که بدلیل لایه نشانی جزیره ای در نمونه با زیر لایه سخت (SG) در مقایسه با یکنواختی لایه در نمونه با زیرلایه انعطاف پذیر (SP) ، درصد بیشتری از حامل‌های تولید در نمونه با زیر لایه انعطاف پذیر به الکترودها می‌رسند بنابراین جریان تولید شده در این نمونه بیشتر است.

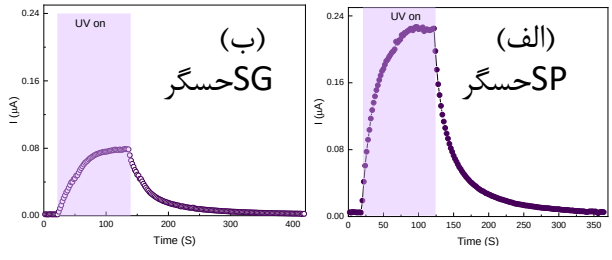


شکل ۴ :تغییرات جریان برحسب ولتاژ حسگر UV هر دو حسگر



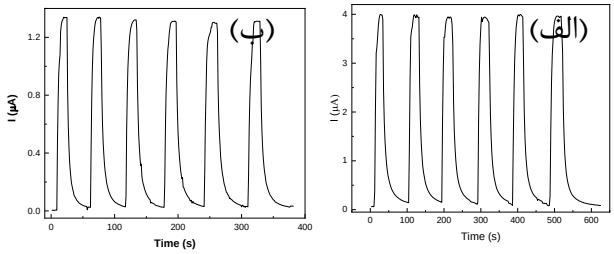
شکل ۵: نمودار جریان بر حسب زمان حسگر ها در تابش۳۶۵ nm

شکل ۶ نمودارهای جریان بر حسب زمان دو نمونه حسگری را تحت تابش ۳۹۰nm با شدت I_5 نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار بیشینه جریان در حسگر با زیرلایه انعطاف پذیر ۰.۲۳ μA و مقدار بیشینه جریان در حسگر با زیرلایه سخت ۰.۰۷ μA می‌باشد.در مقایسه حسگرها در تابش‌های ۳۶۵nm و ۳۹۰nm مشاهده می‌شود در حسگر هایی با زیرلایه یکسان، مقدار جریان بیشینه در تابش ۳۶۵nm بیشتر از تابش ۳۹۰nm است این پدیده احتمالا به دلیل جذب نوری بیشتر لایه ZnO در نزدیکی طیف ۳۶۵nm می‌باشد.



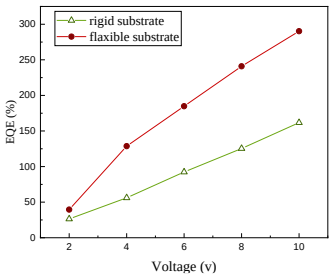
شکل ۶: نمودار جریان بر حسب زمان حسگر ها در تابش۳۹۰ nm

یکی از پارامترهای مهم حسگرهای نوری تکرار پذیری آن است، که شکل ۷ نشان دهنده تکرار پذیری مطلوب حسگر با هر دو زیرلایه می‌باشد.



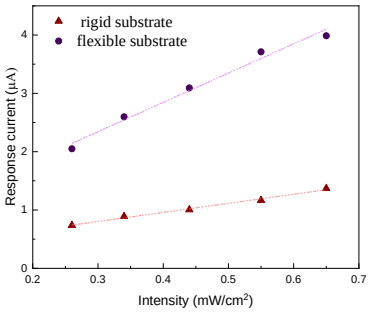
شکل ۷ : نمودار تکرار پذیری الف) زیرلایه انعطاف پذیر ب) زیرلایه سخت تحت تابش ۳۶۵nm با شدت I_6

راندمان کوانتومی خارجی (EQE) یکی دیگر از پارامترهای حسگرهای نوری نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بررسی پاسخ قطعه‌های حسگری با هر دو زیرلایه تحت تابش ۳۶۵nm و شدت I_5 و تحت ولتاژهای مختلف اندازه گیری شدند. نمودار مربوط به این بررسی در شکل ۸ مشاهده می‌شود. مقادیر EQE برای هر دو قطعه از رابطه $\eta = \frac{I_p/e}{P/h\vartheta}$ بدست آمده است. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که حسگر SP تحت ولتاژهای مختلف مقادیر EQE بیشتری نسبت به حسگر SG دارد، و مفهوم آن این است که با توجه به مقادیر مطلوب حسگر SP می‌تواند تابش‌هایی با شدت‌های ضعیف تر را با این نمونه شناسایی کرد.



شکل ۸ : نمودار EQE تحت ولتاژهای مختلف ۲V-۱۰V

با توجه به کاربردهای صنعتی و پزشکی حسگرهای UVA فرآیند کالیبراسیون این قطعات اهمیت بالایی دارد. شکل ۹ مربوط به نمودار کالیبراسیون بیان‌گر آن است که هر دو حسگر قابلیت کالیبراسیون خطی مناسبی را دارند.



شکل ۹ : نمودار جریان نوری بر حسب شدت های تابش ۳۶۵nm

نتیجه‌گیری

بررسی پارامترهای مربوط به حسگر UV نشان داد که حسگر مبتنی بر زیرلایه انعطاف‌پذیر از عملکرد مناسب‌تری برخوردار است. مطلوب بودن این پارامترها در حسگر SP می‌تواند این حسگر را گزینه مناسبی برای کاربرد حسگرهای فرابنفش پوشیدنی و نیز کاربردهای اپتوالکترونیکی قرار دهد. که این نتایج با دیگر پژوهش‌ها نیز قابل مقایسه است. (جدول)

	I_{UV}/I_{dark}	زمان پاسخ	زمان بازگشت	زیرلایه
[2]	۵۰	۴۲S	۵۵S	PET
[6]	۲.۶۸	۱.۹s	۱.۶s	سخت
این پژوهش	10^3	۱۵s	۱۱۳s	انعطاف پذیر

مرجع‌ها

[1] Y. Dong *et al.*, “Zinc Stannate Nanocrystal–Based Ultrarapid-Response UV Photodetectors,” *Adv. Mater. Technol.*, vol. 3, no. 6, pp. 1–8, 2018.

[2] M. R. Alenezi, S. J. Henley, and S. R. P. Silva, “On-chip fabrication of high performance nanostructured ZnO UV detectors,” *Sci. Rep.*, vol. 5, pp. 1–9, 2014.

[3] P. Pathak, S. Park, and H. J. Cho, “A Carbon Nanotube – Metal Oxide Hybrid Material for Visible-Blind Flexible UV-Sensor,” 2020.

[4] L. Li, L. Gu, Z. Lou, Z. Fan, and G. Shen, “ZnO Quantum Dot Decorated Zn2SnO4 Nanowire Heterojunction Photodetectors with Drastic Performance Enhancement and Flexible Ultraviolet Image Sensors,” *ACS Nano*, vol. 11, no. 4, pp. 4067–4076, 2017.

[5] H. C. Wang *et al.*, “ZnO UV Photodetectors Modified by Ag Nanoparticles Using All-Inkjet-Printing,” *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 15, no. 1, pp. 0–7, 2020.

[6] Boruah, B.D.; Misra, A. Conjugated assembly of colloidal zinc oxide quantum dots and multiwalled carbon nanotubes for an excellent photosensitive ultraviolet photodetector. Nanotechnology 2016, 27, 355204.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

تاثیر اثر یان تلر بر خواص اپتیک غیر خطی نانوذرات $Cu_{(1-2x)}Ni_{(x)}Zn_{(x)}Fe_2O_4$

مرضیه ویسی ، یاسر رجبی ، احمد قلی زاده

marziyehveisi6@gmail.com ,y.rajabi@du.ac.ir , gholizadeh@du.ac.ir

چکیده

اپتیک غیرخطی نقش بسیار مهمی در دستگاه‌های نوری بی‌شماری دارد که در زندگی روزمره امروزی ضروری به نظر می‌رسد. به همین دلیل پیداکردن موادجدید با رفتار اپتیک‌غیرخطی از اهمیت زیادی برخوردار است .در این مقاله ارتباط بین حضور یونهای Cu^{2+} در جایگاه۸ وجهی و اثر یان‌تلر را با رفتار اپتیک غیرخطی نمونه *Cu (1-2x) Ni(x) Zn (x) Fe2O4* مطالعه می شود. در این مقاله برای بررسی رفتار اپتیک‌غیرخطی نمونه از روش حلقه‌های پراش استفاده می شود. نتایج به خوبی گویا تغییر رفتار اپتیک غیرخطی نمونه‌ها را با درجه اثر یان تلر به خوبی نشان میدهد.

کلید واژه: نانوذرات – اثر یان تلر – اپتیک غیر خطی- ضریب شکست غیر خطی – حلقه های پراش

The effectiveness of Jan Teller's effect on nonlinear optical properties of Cu (1-2x) Ni(x) Zn (x) Fe_2O_4 nanoparticles

Mariyah veisi, yasser Rajabi , Ahmad gholizadeh

marziyehveisi6@gmail.com , y.rajabi@du.ac.ir , gholizadeh@du.ac.ir

Abstract

Nonlinear optics play an extremely important role in the countless optical devices that seems essential in today's daily life. For this reason, it is very important to find new materials with nonlinear optical behavior. In this article, the relationship between the presence of Cu^{2+} ions in the 8-facet position and the Jan Teller effect with the nonlinear optical behavior of the sample *Cu (1-2x) Ni(x) Zn (x) Fe2O4*is studied. In this article, the diffraction rings method is used to investigate the nonlinear optical behavior of the sample. The results clearly show the change in the nonlinear optical behavior of the samples with the degree of Jan Teller's effect

Keywords: Nanoparticles- jahn teller effect -Nonlinear optics- Nonlinear refractive index- Diffraction rings

مقدمه

در سال‌های اخیر، دانشمندان توجه خود را به کاربردهای اپتیک غیرخطی در بهبود فناوری لیزر، تعامل پرتو لیزر با مواد، و فناوری اطلاعات شامل ارتباطات، سنجش، ذخیره‌سازی داده‌ها و پردازش سیگنال معطوف کرده‌اند. کشف مواد با کارایی بالا با پاسخ نوری غیرخطی سریع، باند پهن و بزرگ به دلیل کاربرد گسترده در سوئیچینگ، مخابرات، محاسبات نوری، ذخیره سازی داده ها، نوسان سازهای پارامتری و مدولاسیون الکترواپتیک به چالشی برای دانشمندان تبدیل شده است[۱]. فرآیند سنتز آسان و مقرون به صرفه، پایداری شیمیایی و حرارتی بالا، در دسترس بودن و غیر سمی بودن از دیگر عوامل مهم در انتخاب مواد برای کاربردهای اپتیک غیرخطی هستند[۲]

مطالعه منشاء ساختار هندسی تعادلی سیستم‌ها پیشینه‌ای طولانی دارد. هر سیستم تمایل دارد به حالت پایدار خود برسد، بنابراین حالت‌های ناپایدار سیستم‌های مولکولی با پیکربندی تقارن بالا به سمت تقارن پایین سوق پیدا کرده و پایدار می‌شوند. منشاء ناپایداری سیستم‌ها به اثر یان‌تلر نسبت داده می‌شود. در واقع اثر یان‌تلر شامل خاصیت یان‌تلر (در حالت‌های هم‌تراز الکترونی)، شبه‌یان‌تلر (در حالت‌های غیرهم‌ترازالکترونی) یا رنرتلر (در سیستم‌های خطی) است و مکانیسم مهم شکست تقارن در مولکول‌ها و سیستم‌های حالت‌جامد می‌باشد. جفت‌شدن نوسانی بین حالت‌پایه و حالت‌های برانگیخته در امتداد جابه‌جایی‌های هسته به عنوان اختلال فرض‌شده،که باعث تغییر پیکربندی سیستم‌ها از ساختار هندسی مسطح با تقارن بالا به ساختار تعادلی کج شکل با تقارن پایین‌تر می‌شود. کج‌شکلی برروی پیش‌بینی طیف وخواص مولکولی سیستم‌ها تاثیر بسزایی دارد، به‌طوری که خواص‌الکتریکی، خواص‌اپتیکی، خواص‌مغناطیسی، هدایت پذیری و برخی خواص دیگر مولکولی می‌تواند دست‌خوش تغییر شود[۳].

در این مقاله، بر روی اثرات شرایط هندسی (اثر یان-تلر) بر تغییر خواص نوری غیرخطی نانوذرات $Cu_{(1-2x)}Ni_{(x)}Zn_{(x)}Fe_2O_4$ تمرکز شده‌است. روش حلقه‌های پراش برای مطالعه غیرخطی بودن نوری نانوذرات سه $Cu_{(1-2x)}Ni_{(x)}Zn_{(x)}Fe_2O_4$ تحت لیزر $Nd:YAG$ با موج پیوسته (CW) که در ۵۳۲ نانومتر کار می کند، مورد استفاده قرار گرفت. در مورد وابستگی غیرخطی بودن به شرایط هندسی نانوذرات $Cu_{(1-2x)}Ni_{(x)}Zn_{(x)}Fe_2O_4$ با xهای متفاوت بحث خواهد شد. در واقع در این مقاله نمونه‌های با درجات اثر یان‌تلر متفاوت سنتز شده‌اند. سپس بااستفاده از پراش ناشی از عبور باریکه پرتوان لیزر از میان نمونه‌های متفاوت، ارتباط بین رفتار اپتیک غیرخطی و اثر یان‌تلر بررسی شده است.

تئوری

در میان نانومواد‌های‌مغناطیسی، فریت‌های اسپینل شامل خصوصیات نوری، مغناطیسی والکتریکی ارزشمندی می‌باشند. استفاده از فریت‌های اسپینل باتوجه به خصوصیت مغناطیسی و الکتریکی آن‌ها شبیه مغناطش‌بالا(Ms)ونیز خاصیت دی‌الکتریک مطلوب، طیف گسترده‌ای از کاربردها برای آن‌ها به وجود آورده است. ساختار فریت‌های اسپینل را می‌توان با یک فرمول کلی $(\boldsymbol{M1-\delta\, Fe\delta})[\boldsymbol{M\delta Fe2-\delta}]\boldsymbol{O_4}$نشان داد که دراینجا، δ عامل وارونگی توزیع کاتیون است[۴]. پرانتز و کروشه نشان‌دهنده مکان‌های بینابینی چهاروجهی(A)و هشت‌وجهی(B)است به‌گونه‌ای که کسری از مکان‌های چهاروجهی (A) توسط فلزات دوظرفیتی (M^{2+}) به طور مثال $\boldsymbol{Cu^{2+}}$، $\boldsymbol{Co^{2+}}$، $\boldsymbol{Ni^{2+}}$، $\boldsymbol{Zn^{2+}}$ و غیره اشغال می‌شود و Fe کاتیون فلزی سه‌ظرفیتی(Fe_{3+}) است که شبکه FCC تشکیل شده توسط آنیون‌های O^{2-} را اشغال می‌کند. برای ارزیابی توزیع کاتیون در فریت‌های اسپینل از پارامتر وارونگی δ، استفاده می‌شود. هرچه مقدار این پارامتر بزرگتر باشد یعنی کاتیون‌های دوظرفیتی(Cu^{2+}) یان‌تلر بیشتری در جایگاه هشت‌وجهی حضور دارند. اثر جمعی یان‌تلر با حضور کاتیون‌های Cu^{2+} $(3d^9)$ در محل هشت‌وجهی ایجاد می‌شود که منجر به کشیده‌شدن یا فشرده‌شدن هشت‌وجهی FeO_6 درامتداد محور c می‌شود و ساختار اسپینل به چهارضلعی منحرف می‌شود.

هنگامی که یک پرتوگاوسی با یک محیط غیرخطی برهمکنش می‌کند، یک الگوی‌پراش میدان‌دور ایجاد می‌شود

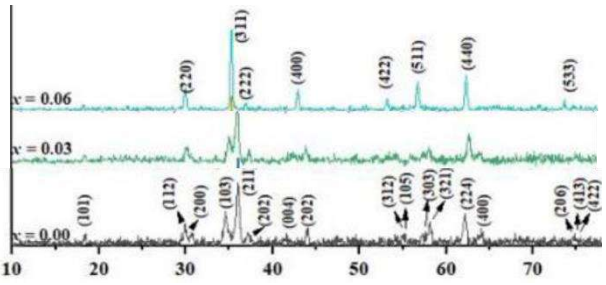
که توزیع‌شدت آن با مجموعه حلقه‌ای متحدالمرکز مطابقت دارد[۵]. برخی از ویژگی‌های الگوی‌پراش به عنوان قطر نقطه‌مرکزی و فاصله بین‌حلقه‌ها در شکل واندازه با توجه به ویژگی‌های سیستم‌نوری تغییر می‌کند. چندین مکانیسم فیزیکی مسئول تغییرفاز روی جبهه‌موج‌گاوسی هستند که شکل حلقه‌هایی را در الگوی پراش فرانهوفر ایجاد می‌کند[۶]. چندین مکانیسم فیزیکی مسئول تغییر فاز روی جبهه موج گاوسی هستند که شکل حلقه‌هایی را در الگوی پراش فراونهوفر ایجاد می‌کند. در نتیجه،امواج تابش مجدد تحریف شده دارای فرکانس های متفاوتی از موج فرودی هستند واز تعداد حلقه‌ها، رابطه ضریب شکست غیر خطی ماده به دست می‌آید[۷].

$$n = n_0 + \Delta n \quad ; n = n_{0+} n_2 I n_2 = \frac{\Delta n}{I} \quad ; \quad \Delta n = \frac{N\lambda}{L} \quad ; \quad I = \frac{2P}{\pi\omega^2} \rightarrow \quad n_2 = N\lambda/IL$$

$P = 147mw$ توان ورودی لیزر، $\omega = 6.2 \times 10^{-6}\mu m$ کمرباریکه $L = 1mm$، ضخامت‌نمونه، I شدت ورودی، $\lambda = 532nm$ طول‌موج پرتولیزر است.

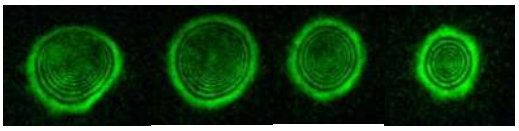
روش تجربی

برای تهیه‌ی فریت $Cu_{1-2x}Ni_xZn_xFe_2O_4$ به روش سیترات-نیترات خوداحتراقی، مخلوطی از نیترات‌های فلزی به نسبت استوکیومتری معین از مواد اولیه نیترات مس، نیترات مس، نیترات آهن، نیترات روی، سیتریک اسید و آمونیوم استفاده شده است. نسبت خالص مول اسید سیتریک به کل مول یون های فلزی ۱:۱ بود. این مخلوط را درون حمام آبی با دمای $80\ ^\circ C$ گرمادهی می‌کنیم تا زمانی که ژل چسبناک به‌دست آمد. ژل حاصل به مدت ۱۲ ساعت در دمای $200\ ^\circ C$ در آون خشک شد تا پیش ماده اولیه به دست آید. سرانجام ماده بدست آمده را در دمای $450\ ^\circ C$ به مدت ۴ ساعت در کوره پازپخت کردیم. در ادامه هرنمونه به مقدار ۰.۰۳ گرم در $50ml$ اتانول ۹۵.۵٪ ریخته ودردستگاه هوموژنایزر به مدت ۷ دقیقه گذاشته شد، تا نانوذرات در اتانول دیسپرس شوند.

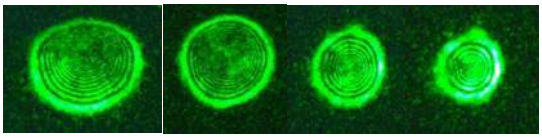


نمودار ۱) نتایج پراش پرتو ایکس. این نتایج با کارت های استاندارد ICDD به شماره های ۰۰-۰۳۴-۰۴۲۵ ، ۰۰۱۰-۰۱-۰۷۷ تطابق دارد.

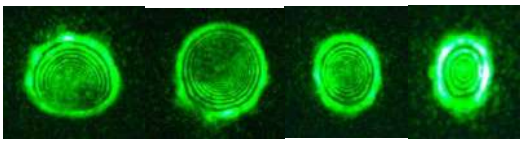
مشخصه یابی ساختاری نمونه ها نشان می دهد که سنتز نمونه ها با موفقیت انجام شده. نمونه‌های آماده شده را در چیدمان آزمایش قرار داده‌شد. چیدمان شامل یک لیزر با توزیع شدت‌گاوسی و یک‌عدسی برای‌کانونی کردن نور لیزر است. سپس بعد از عدسی و در فاصله‌کانونی، سل(ظرفی مستطیلی با اندازه ضخامت $1mm$حاوی نمونه قرار داده‌می‌شود. جهت ثبت داده‌ها، در فاصله‌ی $88cm$ صفحه‌ی نمایشی گذاشته شد تا بتوان حلقه‌های پراش ناشی از برخورد نورلیزر با نانوذرات درون سل را مشاهده‌کرد. حال تغییرات زمانی تشکیل حلقه‌ها را با استفاده از یک دوربین باسلر با سرعت داده‌برداری ۵۰۰ فریم در هر ثانیه، عکس گرفته می‌شود. نتایج در شکل‌های (۱-۴) نشان داده‌شده است.



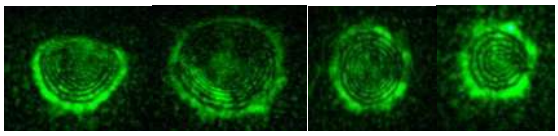
شکل۱)دراین شکل $Cu\ (1-2x)\ Ni(x)\ Zn\ (x)\ Fe_2O_4$ *با* $x=0$ *در توان* ۱۴۷ mw *در بازه زمانی‌های* $t= 0.06, 0.12, 0.24, 0.46$ *(ازراست به چپ) روند تحول زمانی حلقه های پراش.*



شکل۲) دراین‌شکل نمونه $Cu\ (1-2x)Ni(x)Zn\ (x)Fe_2O_4$ با $x=0.03$در توان mw۱۴۷ در بازه زمانی $t=0.05,0.12,0.28,0.60$ (از راست به چپ) روند تحول زمانی حلقه‌های پراش.



شکل۳) در این شکل نمونه $Cu\ (1-2x)Ni(x)Zn\ (x)Fe_2O_4$ با $x=\ 0.06$ در توان mw۱۴۷ در بازه زمانی $t=0.03,0.07,0.0.32.0.73$ (از راست به چپ) روند تحول زمانی حلقه‌های پراش.



شکل۴) در این شکل نمونه $Cu\ (1-2x)\ Ni(x)\ Zn\ (x)\ Fe_2O_4$ با $x=0.09$ در توان mw۱۴۷ در بازه زمانی $t=$ $0.04,0.09,0.33,0.66$ (از راست به چپ) روند تحول زمانی حلقه‌های پراش.

جدول۱: نتایج بدست آمده

ضریب یان-تلر	تعدادحلقه-ها(N)	ضریب‌شکست‌غیرخطی(n_2)
$x=0$	۲۰	4.368×10^{-12}
$x=0.03$	۱۷	3.713×10^{-12}
$x=0.06$	۱۵	3.276×10^{-12}
$x=0.09$	۱۳	2.402×10^{-12}

این تصویربرداری تا زمانی که تغییرات همرفتی در شکل حلقه‌ها تاثیرگذاشته و بالای حلقه‌ها شکل تورفتگی ایجاد شود، ادامه پیدا می‌کند. تعداد حلقه‌ها بالافاصله قبل از ایجاد تورفتگی درحلقه‌های پراش تعیین می شود. برای نمونه‌های با مقادیر x متفاوت تعداد حلقه‌ها رو به کاهش و مقدار ضریب‌شکست غیرخطی آن‌ها کاهش یافته است. در نمونه با (x=0) تعداد حلقه‌ها نسبت به x=0.03 کمتر شده‌است، که این رویداد می‌تواند به دلیل عدم وجود نیکل و روی در نمونه باشد.نتایج به‌خوبی رفتارغیرخطی نمونه‌هارا نشان‌داده و همچنین نشان می‌دهند که باتغییر درجه یان‌تلر مواد،رفتاراپتیک غیرخطی نمونه‌ها نیز تغییر کرده است.

نتیجه‌گیری

دراین‌مقاله در ابتدا نمونه‌هایی بافرمول‌کلی $Cu_{(1-2x)}\ Ni_{(x)}\ Zn_{(x)}\ Fe_2O_4$ با Xهای متفاوت سنتز شد. در این نمونه با تغییر X، اثر یان‌تلر تغییر می‌کند. هرچه مقدار Xها بزرگتر می‌شود اثر یان‌تلر نمونه کمتر می‌شود. با بررسی رفتار غیرخطی مشخص شد که با تغییر Xضریب‌شکست غیرخطی نمونه نیز تغییر می‌کند.

مرجع‌ها

[1] Fahimeh Abrinaei, Shokufeh Aghabeygi, Optimization on preparation conditions to improve the nonlinear optical response of ZnO/TiO2/ZrO2 ternary nanocomposites under continuous-wave laser irradiation, Optik, 255, 2022.

[2] Sirleto, L.; Righini, G.C. An Introduction to Nonlinear Integrated Photonics Devices: Nonlinear Effects and Materials. Micromachines, 14, 604, 2023.

[3] Streltsov, Sergey V. and Khomskii, Daniel I., Jahn-Teller Effect and Spin-Orbit Coupling: Friends or Foes?, Phys. Rev. X, 2020.

[4] Correlation between structural phase transition and physical properties of Co2+/Gd3+ co-substituted copper ferrite, 2023.

[5] Elias RS, Hassan QMA, Emshary CA, Sultan HA, Saeed BA. Formation and temporal evolution of diffraction ring patterns in a newly prepared dihydropyridone. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc. 2019.

[6] R. Karimzadeh, Studies of spatial self-phase modulation of the laser beam passing through the liquids, Optics Communications, 286, 2013.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

بررسی خواص اپتیکی و الکتروکرومیکی لایه نازک اکسید تیتانیوم تهیه شده به روش کندوپاش در فشار بالا

صادق سلطانی[۱]، مهدی اردیانیان[۲]، محمد مهدی شهیدی[۳]

۲،۱: گروه فیزیک، دانشگاه دامغان، دامغان، Soltani.137@gmail.com, Ardyanian@du.ac.ir

۳: گروه فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، Mmahdishahidi@gmail.com

چکیده – در این مقاله به روش کندوپاش در فشار بالا و دمای پایین لایه نازک اکسید تیتانیوم به ضخامت ۱۱۵ nm بر روی بستر FTO جانشانی و خواص ساختاری، اپتیکی و الکتروکرومیکی آن مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان دادند که لایه مورد نظر آمورف بوده و دارای گاف نواری پهن ۳٫۶۹ eV و شفافیت اپتیکی بالایی است. همچنین نمونه حاصل با تغییر در عبوردهی نوری به میزان ۴۵٫۵۳ ٪ در طول موج ۶۳۳nm خواص الکتروکرومیکی قابل توجهی را از خود نشان می دهد.

کلید واژه‌ها: اکسید تیتانیوم، الکتروکرومیک، آمورف، کندوپاش، لایه نازک

Optical and electrochromic properties of titanium oxide thin film prepared by high-pressure sputtering

Sadegh Soltani [1], Mahdi Ardyanian [2], and Mohammad Mahdi Shahidi [3]

1,2: School of Physics, Damghan University, Damghan, Iran, Soltani.137@gmail.com, Ardyanian@du.ac.ir

3: School of Physics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, Mmahdishahidi@gmail.com

Abstract- In this paper, 115nm-thick titanium oxide thin film was deposited onto FTO substrate using the sputtering method under high pressure and low temperature; then its structural, optical, and electrochromic properties were investigated. The results indicate that the deposited layer is amorphous and has a wide band gap of 3.69 eV and excellent optical transparency. Also, the resulting film with a change in optical transmittance of 45.53% at the wavelength of 633 nm, shows significant electrochromic properties.

Keywords: Amorphous, Electrochromic, Sputtering, Thin film, Titanium oxide

مقدمه

مواد الکتروکرومیک موادی هستند که با ورود یا خروج یون‌ها تحت میدان الکتریکی تغییر رنگ می‌دهند. در بین مواد معدنی اکسید تیتانیوم به دلیل فراوانی، ثبات الکتروشیمیایی عالی، مدولاسیون نوری خوب و برگشت‌پذیری مناسب، به عنوان یک ماده امیدوار کننده در کاربردهای الکتروکرومیک شناخته می‌شود. اما فعالیت الکتروشیمیایی ضعیف و رسانایی الکتریکی کم این ماده مانع استفاده عملی از آن شده است. استفاده از نانوساختارهای اکسید تیتانیوم با مورفولوژی متخلخل باعث بهبود خواص الکتروکرومیکی آن می‌شود.

یکی از روش های لایه نشانی که به ما کمک می کند تا به این هدف دست پیدا کنیم، لایه نشانی به روش کندوپاش است. Wang و همکاران [۱] لایه نازک اکسید تیتانیوم را با استفاده از کندوپاش قرص TiO_2 در شرایط مختلف لایه نشانی کرده و لایه حاصل را در دماهای متفاوت بازپخت کردند. بیشینه تغییرات اپتیکی مشاهده شده، ۲۲٪ در طول موج ۵۵۰ nm بود. Idris و همکاران [۲] با استفاده از کندوپاش DC قرص تیتانیوم در فشارها و دماهای مختلف زیرلایه به این نتیجه رسیدند که فشار بالای لایه‌نشانی به همراه دمای پایین باعث بهبود راندمان رنگی لایه‌های اکسید تیتانیوم می‌گردد. Idris و همکاران [۳] اثر ضخامت لایه بر روی خواص الکتروکرومیکی لایه های نازک لایه نشانی شده در فشار بالا را بررسی کردند و مشاهده کردند که با افزایش ضخامت از ۱۰۰ به ۴۰۰ نانومتر تغییرات اپتیکی نمونه ها در طول موج ۵۵۰ نانومتر، از ۲۳ ٪ به ۵۸ ٪ افزایش می‌یابد.

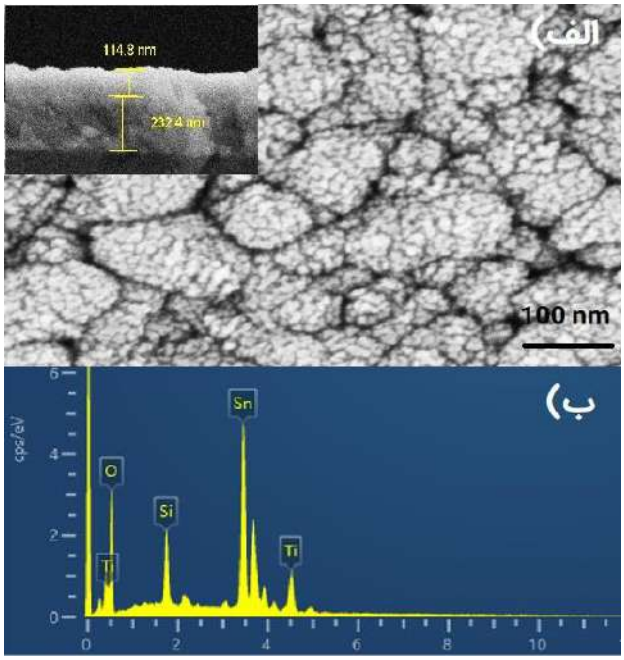
همانطور که مشخص است در فرآیند کندوپاش فشار بالای لایه‌نشانی به همراه دمای پایین زیرلایه شرایط مناسبی را در بهبود خواص الکتروکرومیکی لایه اکسید تیتانیوم فراهم می‌آورد. اما فشار بالا باعث می‌شود که آهنگ لایه‌نشانی بسیار کند شود. همچنین برای افزایش ضخامت لایه ها لازم است مدت زمان لایه نشانی را به همان نسبت زیاد کنیم که این امر باعث افزایش هزینه‌های تولید می‌گردد. در این تحقیق شرایطی برای کندوپاش در فشار بالا فراهم شد که لایه اکسید تیتانیوم با ضخامت حدود ۱۱۵ نانومتر دارای تغییرات اپتیکی مناسب‌تری نسبت به نمونه‌های مشابه باشد و سپس خواص اپتیکی و الکتروکرومیکی لایه حاصل مورد بررسی قرار گرفت.

روش تهیه نمونه

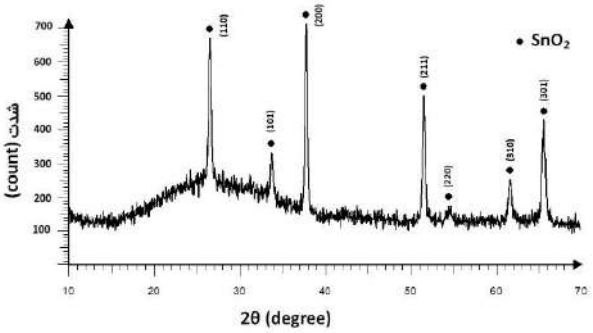
تعدادی زیرلایه FTO با مقاومت سطحی $۱۵\Omega/m^2$ و شفافیت ۸۳٪ پس از شستشو با استفاده از دستگاه اسپاترینگ پوشش‌های نانوساختار (DST3-A)، به روش کندوپاش لایه نشانی شدند. شرایط لایه نشانی نمونه ها عبارتند از: منبع تغذیه RF با توان ۲۰۰W، دمای زیرلایه دمای محیط، خلوص قرص هدف (۹۹٫۹۹٪) Ti، اتمسفر شامل گاز اکسیژن و آرگون به نسبت ۱:۱۰، فاصله قرص تا زیرلایه ۷cm، فشار لایه نشانی $۱٫۵-۱٫۶\times۱۰^{-۲}$ Torr.

بررسی خواص ساختاری

در شکل ۱ تصاویر FESEM و EDX (Zeiss Sigma 300-HV) نمونه نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود سطح نمونه به طور یکنواخت از نانوجزایر کاملا متخلخل پوشیده شده است. همچنین برش عرضی نمونه نشان می دهد که ضخامت لایه در حدود ۱۱۵ nm می‌باشد. تصویر EDX نشان می‌دهد نمونه از عناصر Ti، O و عناصر زیرلایه تشکیل شده است. به منظور مطالعه فازی لایه از نمونه آنالیز XRD گرفته شد (D8-Advance, Bruker, Cu Kα1 radiation, $\lambda = 0.15406$ nm) که در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که در تصویر دیده می‌شود با وجود لایه یکنواخت اکسید تیتانیوم با ضخامت بیش از ۱۰۰ نانومتر، تنها قله های پراش مربوط به زیرلایه FTO در طیف XRD قابل رویت می‌باشد. این موضوع بیان کننده اینست که در طول لایه نشانی شرایط مناسب برای تشکیل فازهای بلوری اکسید تیتانیوم فراهم نشده و لایه تشکیل شده آمورف است.



شکل ۱: تصویر میکروسکوپ الکترونی و آنالیز EDX نمونه

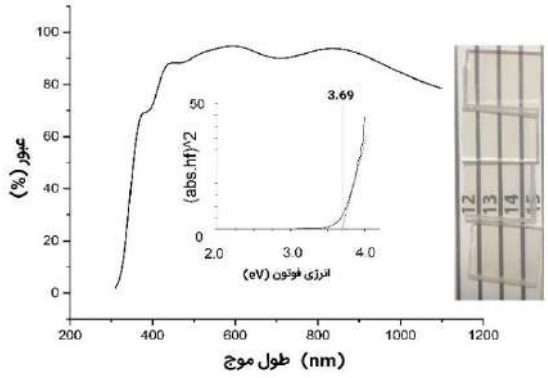


شکل ۲: تصویر پراش پرتو اشعه ایکس

بررسی ویژگی های اپتیکی و الکتروکرومیکی

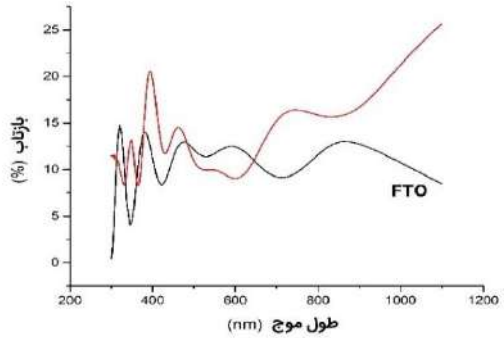
در شکل ۳ تصویر طیف عبوری نمونه (Shimadzu, UV-1800)، نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است نمونه دارای عبور اپتیکی بسیار خوبی در محدوده مرئی می باشد که آنرا جهت استفاده در پنجره‌های هوشمند مناسب می‌گرداند.

همچنین با استفاده از مدل تاوک مقدار گاف نواری مستقیم نمونه ۳٫۶۹ eV تعیین شد. در حالت بلوری گاف نواری دی‌اکسید تیتانیوم به ازای فازهای مختلف در محدوده ۳-۳٫۴eV می‌باشد [۴]. اما اثر محدوویت کوانتومی ناشی از نانوذرات موجود در ساختار آمورف می‌تواند باعث انتقال آبی گاف نواری شود به طوریکه با تغییر در اندازه ذرات اکسید تیتانیوم از ۴۹ به ۷ نانومتر گاف نواری آن از ۳٫۲ eV به ۳٫۷eV تغییر می‌کند [۵].



شکل ۳: طیف عبوری، گاف نواری مستقیم، به همراه تصویر نمونه

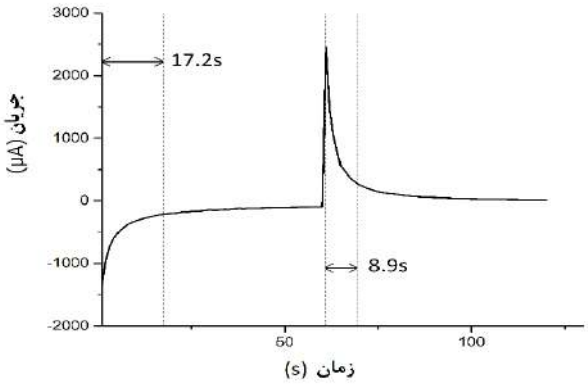
نمودار طیف بازتابی زیرلایه به همراه لایه اکسید تیتانیوم در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است لایه اکسید تیتانیوم باعث افزایش بازتاب در ناحیه فروسرخ (IR) شده که این موضوع می‌تواند تبادل گرمایی ناشی از تابش IR را در پنجره‌های هوشمند کاهش دهد.



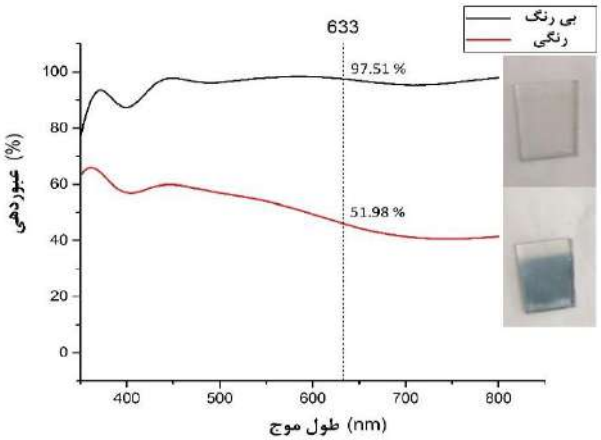
شکل۴: طیف بازتابی نمونه

خواص الکتروکرومیکی نمونه از طریق تست‌های ولتامتری چرخه‌ای (CV) و کرونوآمپرمتری (CA) در یک سلول الکتروشیمیایی سه الکترودی مورد بررسی قرار گرفت. تست ولتامتری چرخه‌ای، قله‌های اکسایشی و کاهشی را در پتانسیل‌های ۰٫۰۷ و ۲٫۲۵ ولت را نشان داد. همچنین نمودار کرونوآمپرمتری تحت پتانسیل‌های پله‌ای ۱ و ۲٫۷۵- ولت در شکل ۵ نشان داده شده است. مساحت زیر این نمودار نشان دهنده مقدار بار انتقال یافته به نمونه در طی فرآیند الکتروکرومیک است که مقدار آن $۸۶۹۴\mu C/cm^2$

بدست آمد. با استفاده از نمودار CA، زمان پاسخ رنگی شدن ۱۷٫۲s و زمان پاسخ بی‌رنگی ۸٫۹s تعیین شد.



شکل ۵: نمودار CA و زمان پاسخ



شکل ۶: تغییرات طیف عبوری نمونه

تغییرات طیف عبوری نمونه در فرآیند رنگی شدن در محدوده ۳۵۰ تا ۷۰۰ نانومتر در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تغییر در عبوردهی نوری نمونه در طول موج ۶۳۳nm، ۴۵٫۵۳ ٪ است.

کمیت مهم دیگری که در مواد الکتروکرومیک استفاده می‌شود، راندمان رنگی (CE) است. این کمیت به صورت نسبت تغییر در چگالی اپتیکی به مقدار بار انتقال یافته در یک طول موج مشخص تعریف می‌شود. بزرگ بودن راندمان رنگی به معنای تغییر عبور اپتیکی بیشتر با انتقال بار کمتر است و به عنوان یک عامل مثبت در ثبات چرخه ای ماده الکتروکرومیک در نظر گرفته می‌شود [۶]. بر این اساس مقدار راندمان رنگی نمونه $۳۱٫۴\ C^{-1}cm^2$ تعیین شد.

نتیجه گیری

لایه نازک اکسید تیتانیوم تهیه شده به روش کندوپاش در فشار بالا و دمای پایین با تغییر ۴۵ درصدی در گذردهی نوری پس از اعمال ولتاژ را می‌توان به عنوان یک کاندیدای مناسب جهت استفاده در پنجره‌های هوشمند در نظر گرفت.

مرجع‌ها

[1] Wang, CM, and SY Lin. "Electrochromic Properties of Sputtered Tio 2 Thin Films." Journal of Solid State Electrochemistry 10 : 255-59, 2006.
[2] Sorar, Idris and Esat Pehlivan. "Electrochromism of DC magnetron sputtered TiO2 thin films: Role of deposition parameters. " Solar Energy Materials and Solar Cells, 2013. 115: p. 172-180, 2013.
[3] Sorar, Idris, Esat Pehlivan, Gunnar A Niklasson, and Claes G Granqvist. "Electrochromism of Dc Magnetron-Sputtered Tio2: Role of Film Thickness." Applied surface science 318: 24-27, 2014.
[4] Hannula, Markku, Harri Ali-Löytty, Kimmo Lahtonen, Essi Sarlin, Jesse Saari, and Mika Valden. "Improved Stability of Atomic Layer Deposited Amorphous Tio2 Photoelectrode Coatings by Thermally Induced Oxygen Defects." Chemistry of Materials 30, no. 4 : 1199-208, 2018.
[5] Dorosheva, IB, AA Valeeva, and AA Rempel. "Sol-Gel Synthesis of Nanosized Titanium Dioxide at Various Ph of the Initial Solution." Paper presented at the AIP Conference Proceedings, 2017.
[6] Tang, Kai, Yong Zhang, Yingdi Shi, Jiewu Cui, Xia Shu, Yan Wang, Yongqiang Qin, et al. "Fabrication of Wo3/Tio2 Core-Shell Nanowire Arrays: Structure Design and High Electrochromic Performance." Electrochimica Acta 330: 135189, 2020.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

پرتودهی لیزری فلز برنج با لیزر تار و بررسی خاصیت ترشوندگی آن

آرزو جودکی[۱]، بابک ژاله[۱]، انسیه شعبانلو[۱]، سعید عزیزیان[۲]

[۱] گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

[۲] گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

joudaki.arezoo78@gmail.com, jaleh@basu.ac.ir, en30.sh.sh73@gmail.com, sazizian@basu.ac.ir

چکیده –کندوسوزلیزری به عنوان روشی آسان، سبز و کم هزینه برای ساخت سطوح فلزی فوق آب‌گریز مناسب است. در این پژوهش، سطح فلز برنج در توان های مختلف لیزر تار با ثابت نگه داشتن سایر پارامترهای لیزری در جو هوا، به طور جداگانه مورد پرتودهی قرار گرفتند. بعد از پرتودهی سطح برنج، مشخصه یابی پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی به منظور بررسی ساختار کریستالی و موروفولوژی سطوح قبل و بعد پرتودهی لیزری به کار گرفته شدند. پراش پرتو ایکس تشکیل ساختار های اکسیدی مس را بر روی سطح برنج تایید کرد. در نتیجه، دقیقا بعد از پرتودهی لیزری به علت تغییر مورفولوژی سطوح و تشکیل ساختار های جدید بر روی فلز برنج، سطح آنها آبدوست شدند. در نهایت با گذشت زمان به علت تغییر شیمی سطوح، ترشوندگی نمونه ها از حالت فوق آبدوست به فوق آبگریز تغییر پیدا کرد.

کلید واژه- آب دوست، آب گریز، برنج، ترشوندگی، کندوسوز لیزری.

Laser irradiation of brass metal using fiber laser and its wettability investigation

Arezou Joudaki[1], Babak Jaleh[1], Ensiye Shabanlou[1], Saeid Azizian[2]

[1]Department of Physics, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan.

[2]Department of Chemistry, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan.

joudaki.arezoo78@gmail.com, jaleh@basu.ac.ir, en30.sh.sh73@gmail.com, sazizian@basu.ac.ir

Abstract- Laser ablation method as an easy, green and low-cost technique is so suitable for fabrication of superhydrophobic metal surfaces. In this research, the surface of brass metal was irradiated separately in air atmosphere at different laser beam powers with keeping other laser parameters constant. Before and after laser ablation process, X-ray diffraction (XRD) analysis and scanning electron microscopy (SEM) were applied to investigate their crystal structure and morphology of the surfaces, respectively. XRD test confirmed the formation of copper oxide structures on the ablated brass surfaces. As a result, it was observed that the brass metal immediately after the laser ablation process became hydrophilic owing to the change in the surfaces' morphology and the formation of new structures on the brass surface. Eventually, by aging effect, the wettability of irradiated brass surfaces changed from super-hydrophilic to super-hydrophobic due to the surface chemistry changing.

Keywords: brass, hydrophilic, hydrophobic, laser ablation, wettability

مقدمه

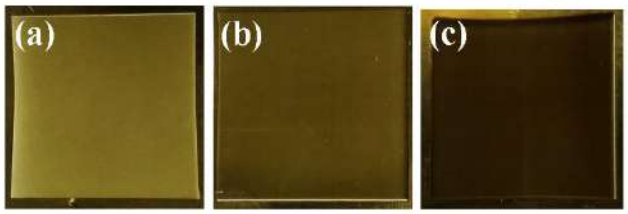
فلز برنج تاکنون به دلیل رسانایی حرارتی و الکتریکی خوب و همچنین ویژگی‌های مکانیکی منحصربه فرد در زمینه‌های مختلفی همچون الکتریکی، الکتروشیمی و سایرکاربردهای صنعتی استفاده شده است[۱ و ۲]. برنج به عنوان آلیاژی از دو فلز روی و مس نسبتاً به شرایط محیطی واکنش نشان می‌دهدکه منجر به تغییرخاصیت ترشوندگی آن از آبدوستی به آبگریزی می‌شود. فلز برنج با کنترل چسبندگی آب در سطوح می‌تواند در زمینه‌های مختلفی همچون ضدخوردگی، جداسازی روغن از آب، ضد یخ زدگی و دستگاه‌های پزشکی و میکروسیال به کار گرفته شوند [٤-۲]. با توجه به تحقیقات اخیر، روش لیزری به منظور ساخت سطوح آبگریز برنجی با ساختارهای ریز که حاوی دانه‌های در ابعاد نانو و نانو خوشه‌های Cu_2O هستند، میتواند مناسب باشد [۱ و ۲]. در پژوهشی، فلز برنج توسط لیزر به صورت الگوهای پیوسته و منظم بر روی شیشه لایه نشانی شده است و با تغییر ریخت‌شناسی، شیمی سطح و تشکیل ترکیب ساختارهای آبدوست وآبگریز، جمع آوری آب از مه موجود در هوا مورد مطالعه قرارگرفته است [۳]. در پژوهش حاضر، به دنبال ایجاد سطوح آبگریز فلز برنج توسط روش کندوسوز لیزری هستیم بطوریکه نیازی به فرایندهای سخت شیمیایی، هزینه های زیاد و زیر لایه نباشد. پس از پرتودهی فلز برنج توسط لیزر تار، آنالیز دستگاهی پراش پرتو ایکس (XRD) به منظور شناسایی و مشخصه‌یابی ساختارهای جدید تشکیل یافته برسطح نمونه‌های پرتودهی شده، انجام شد. ریخت شناسی نمونه ها هم توسط تصاویر میکروسکوپی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی(Scanning Electron Microscope (SEM)) بررسی شدند. نمونه ها را به منظور تغییر شیمی سطح و جذب ترکیبات کربنی موجود در جو هوا، در محیط اتاق به مدت ۴۰ روز قرار دادیم و اثر این عملیات را بر خاصیت آبگریزی فلز برنج پرتودهی شده توسط اندازه‌گیری زاویه قطره آب water contact angle (WCA) بر روی نمونه ها مورد مطالعه قرار دادیم.

مواد و روش ها

ابتدا ورقه برنج با ضخامت 0.08 mm تهیه گردید و سپس این ورقه برنج به قطعاتی در ابعاد $15 \times 15\ mm^2$ برش داده شدند. سپس درون بشرهای حاوی آب مقطر توسط دستگاه اولتراسونیک به مدت ۱۵ دقیقه شست‌وشو دادیم. یک نمونه به عنوان نمونه مرجع و نمونه های دیگر به عنوان نمونه هایی به منظور اعمال فرایند کندوسوز لیزری در ابعاد $10 \times 10\ mm^2$ انتخاب شدند. با استفاده از یک لیزرتار با طول موج ۱۰۶۴nm نانومتر، عرض پالس ۱۰۰ns، سرعت اسکن ۱۸۰۰ mm/s و نرخ تکرار ۲۰KHz، پرتودهی سطح برنج در جو هوا انجام شد. این فرآیند با ثابت نگه داشتن پارامترهای لیزر و با تغییر توان لیزر بر روی ۳ نمونه صورت پذیرفت به‌صورتی که B0 نمونه‌ی مرجع برنج و نمونه‌های B1، B2 و B3 به ترتیب مربوط به توان‌های پرتودهی ۹، ۱۵ و ۲۱ وات پرتو لیزر می‌باشند. تصاویر اپتیکی نمونه ها در شکل ۱ آورده شده است. همانطور که از تصاویر پیداست، رنگ نمونه ها بعد از پرتودهی احتمالا به علت ایجاد ساختارهای جدید و تغییرات ریخت‌شناسی در توان های مختلف، تغییر پیدا کرد.

شکل ۱: تصاویر اپتیکی نمونه های B1 (a)،B2 (b) وB3 (c).

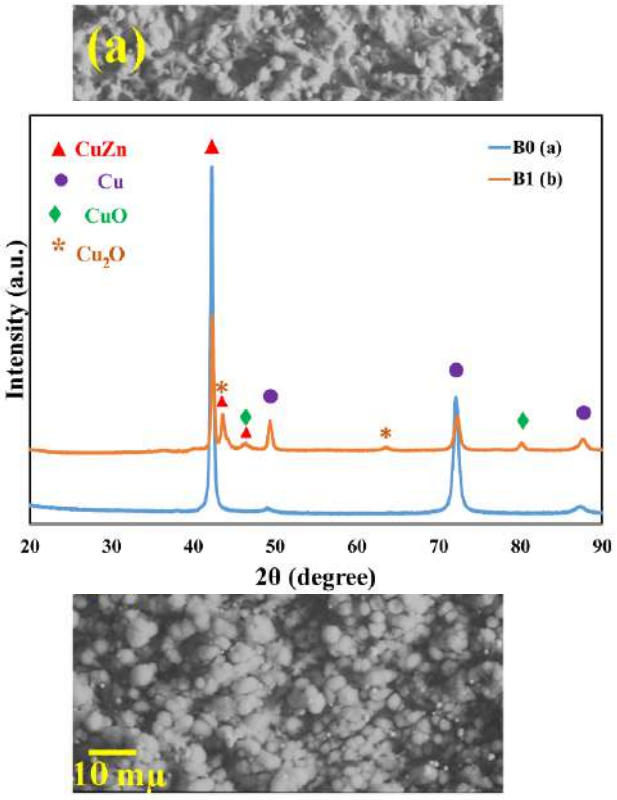
نتایج و بحث



نمونه‌های مرجع B0 و نمونه پرتودهی شده B1 برای انجام آزمایش مشخصه‌یابی XRD انتخاب شدند و نتایج حاصل در شکل ۲ آورده شده است. شکل۲ (a) الگوی پراش اشعه ایکس از سطح هدف برنج (B0) و شکل ۲(b) متناظر با الگوی پراش اشعه ایکس از سطح برنج پرتودهی شده B1 می‌باشد. همان‌طور که در هر دو الگو پراش ایکس مشاهده می‌شود، یک قله حدودا در زاویه °۴۲/۴ با CuZn و سه قله‌ی دیگر در °۴۹/۵، °۷۲/۳ و°۸۸/۰ با Cu تطبیق دارند [۳]. بعد از انجام فرایند کندوسوز لیزری، چهار قله حدودا در زوایای °۴۳/۷، °۴۶/۳، °۶۳/۹ و °۸۰/۲ درالگوی پراش ایکس نمونه‌ی B1 ظاهر شدند به طوریکه زوایای °۴۶/۳ و °۸۰/۲ با اکسید مس (CuO)-ICDD Card (00-002-1041)) و دو زاویه دیگر°۴۳/۷ و °۶۳/۹ با (Cu_2O)- ICDD Card 00-03-0879) تطبیق دارند. بنابراین نتایج آزمون XRD، تشکیل اکسید مس را بر روی فلز برنج بعد از اعمال فرایند کندوسوز لیزری تایید کرد. قابل ذکر است که قله هایی که در زوایای °۴۳/۷ و °۴۶/۳ هستند با (CuZn-ICDD Card 00-008-0349) نیزهم‌پوشانی دارند.کندوسوز لیزری با اعمال پرتودهی لیزر بر سطح هدف برنج در محیط هوا که حاوی گاز اکسیژن هست، آغاز می‌شود. وقتی دمای هدف توسط پرتو

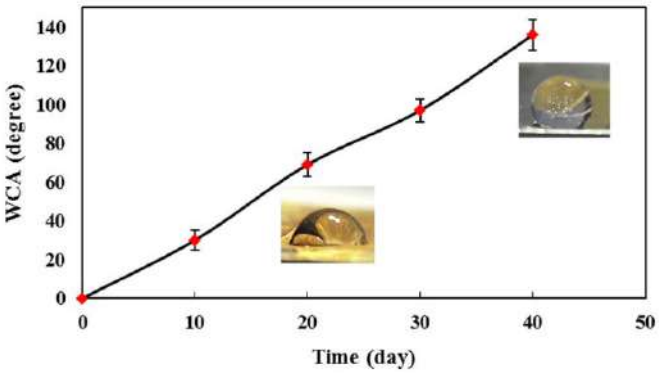
لیزر به بالاتر از دمای ذوب خود برسد، ناحیه‌ی پرتودهی شده توسط لیزر ذوب می‌شود و پلاسمایی حاصل از برهم‌کنشهای بین اکسیژن موجود درهوا و اتم های موجود در فلز برنج مثل Zn و Cu بر سطح آن تشکیل می‌شود [۵]. پلاسمای ایجاد شده با فشار و دمای بالا که باعث یونیزه و تجزیه شدن اکسیژن می‌شود توسط سطح ذوب شده جذب می‌شوند و موجب اکسید برنج و تشکیل ساختار های جدید می‌شود [۱ و ۲]. تصاویر SEM از سطح نمونه های پرتودهی شده‌ی B1، B2 و B3 به ترتیب در شکل ۳ (a-c) در مقیاس ۱۰ µm آورده شده است. همانطور که از تصاویر پیداست، آثار کندگی و خلل و فرج ها بعد از فرایند پرتودهی به خوبی دیده می‌شود که منجر به تغییر زبری نمونه‌ها می‌شود. از مقایسه تصاویر سطوح پرتودهی شده می‌توان فهمید به علت پرتودهی سطح نمونه ها در توان های مختلف پرتو لیزر، ریخت‌شناسی سطوح اصلاح شده با هم تفاوت دارند. ترشوندگی نمونه ها (B0_B3) با اندازه گیری زاویه تماس قطره آب ارزیابی شد. قبل از فرایند کندوسوزلیزری، سطح برنج دارای زاویه تماس قطره آب حدودا ۵۸° بود که نشان می‌دهد سطح برنج آبدوست است. دقیقا پس از پرتودهی لیزری، زاویه تماس قطره آب کاهش یافت به طوریکه قطره به طور کامل بر روی سطوح پرتودهی شده پخش شد و سطح نمونه های پرتودهی شده به طور کامل، فوق آبدوست شدند. ترشوندگی سطح مواد جامد تا حد زیادی تحت تأثیر عواملی مثل ساختار سطحی، زبری و همچنین تغییر شیمی سطوح، مثل اکسیداسیون سطح است. اکسیداسیون سطح باعث افزایش انرژی سطحی می‌شود که منجر به چسبندگی آب در سراسر سطح و پخش شدن آن می‌شود[۵]. در این روش، با اسکن پرتو لیزر بر روی سطح، ریخت‌شناسی و زبری نمونه ها تغییر می‌کند و همچنین به علت تشکیل ساختارهای اکسیدی که آزمون XRD آن را تایید کرد، سطح نمونه های B1-B3، فورا پس از پرتودهی کاملا آبدوست شدند. در ادامه نمونه‌ها را در جو محیط اتاق قرار می‌دهیم و ترشوندگی نمونه‌ها را در فواصل زمانی مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ روز مورد بررسی قرار می‌دهیم. با گذشت زمان در ترشوندگی نمونه‌ی مرجع، تغییری ایجاد نشد. اما همه ی نمونه های پرتودهی شده با گذشت زمان رفتار آبگریز از خود نشان دادند و زاویه تماس قطره آب با سطح بیشتر شد.

شکل۲: الگوهای پراش اشعه ایکس فلز مرجع برنج B0 (a) و نمونه‌ی پرتودهی شده B1(b).



شکل۳: تصاویر SEM از سطح نمونه‌های پرتودهی شده B1(a)، B2(b) و B3(C).

در طول مدت ۴۰ روز، نمونه B1 که در شرایط لیزری با توان پایین پرتودهی شده بود، نسبت به نمونه های دیگر زاویه تماس قطره آب بیشتری داشت. برای این نمونه (B1) در فاصله های زمانی ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰، زاویه تماس قطره آب با سطح به ترتیب حدودا به زوایای ۳۰°، ۶۹°، ۹۷° و ۱۳۶° رسید (شکل ۴). با گذشت زمان، ریخت‌شناسی هیچ یک از نمونه ها تغییر نمی‌کند، پس عامل دیگری در آب گریز شدن نمونه ها دخیل است. با توجه به تحقیقات انجام شده، ترکیبات کربنی موجود در جو هوا، به مرور زمان، توسط سطوح اصلاح شده با روش لیزری جذب می‌شوند و این ترکیبات مانع از پخش شدن آب بر سطح می‌شود [۵]. لذا به مرور زمان، نمونه ها آبگریز شدند. نمونه B1 به دلیل تفاوت در ریخت شناسی آن، رفتار آبگریزی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها نشان داد و احتمالا این تفاوت منجر به جذب ترکیبات کربنی بیشتری در سطح آن می‌شود.



شکل ۴: روند تغییرات زاویه تماس قطره آب با سطح نمونه B1 با گذشت زمان.

نتیجه‌گیری

کندوسوز لیزری توسط لیزر تار در توان های مختلف ۹، ۱۵ و ۲۱ وات بر روی فلز برنج درجو هوا انجام شد. اسکن نمونه های مختلف از برنج در توان های متفاوت باعث تغییر ریخت‌شناسی و تشکیل ساختار های اکسیدی بر روی سطح نمونه برنج شد این نتایج توسط آزمون XRD و SEM مورد تایید قرار گرفتند. دقیقا پس از اصلاح سطح توسط روش لیزری، رفتار ترشوندگی فلز برنج با زاویه تماس قطره آب ۵۸° به حالت فوق آبدوست تغییر کرد. به منظور بررسی تاثیر اثر گذشت زمان بر خاصیت ترشوندگی نمونه‌های پرتودهی شده، آنها را به مدت ۴۰ روز در جو محیط اتاق قرار دادیم و پس از گذشت این دوره ی زمانی، نمونه‌هایی که سطح آنها توسط کندوسوز لیزری اصلاح شده بودند، از حالت فوق آبدوست به فوق آبگریز تقریبا در زاویه تماس قطره آب ۱۳۶° تغییر رفتار دادند. در صورتی که نمونه‌ی مرجع بدون اعمال فرایند لیزری هیچ گونه تغییر در ویژگی ترشوندگی آن دیده نشد. این اثر به علت جذب ترکیبات کربنی موجود در جو محیط توسط سطوح اصلاح شده به روش لیزری است. بنابراین عواملی همچون تغییر ریخت‌شناسی، تشکیل ساختار های جدید توسط کندوسوز لیزری و تغییر شیمی سطح با جذب ترکیبات کربنی از جو بر روی سطح تاثیر مستقیمی در تغییرات رفتار ترشوندگی دارند.

مرجع‌ها

Y. Huangping, M.R.B.A. Rashid, S.Y. Khew, L. Fengping, H. Minghui, Realization of laser textured brass surface via temperature tuning for surface wettability transition, Opto-Electronic Engineering, 44 (2017) 587-592.

X. Lu, L. Kang, B. Yan, T. Lei, G. Zheng, H. Xie, J. Sun, K. Jiang, Evolution of a Superhydrophobic H59 Brass Surface by Using Laser Texturing via Post Thermal Annealing, Micromachines, 11 (2020) 1057.

N. Bakhtiari, S. Azizian, B. Jaleh, Hybrid superhydrophobic/hydrophilic patterns deposited on glass by laser-induced forward transfer method for efficient water harvesting, Journal of Colloid and Interface Science, 625 (2022) 383-396.

X. Li, Y. Jiang, Z. Zhang, Z. Jiang, J. Lian, L. Ren, Facile and environmentally-friendly fabrication of underwater superaerophobic and superaerophilic metallic surfaces through laser ablation and heat treatment, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 621 (2021) 126547.

E. Shabanlou, B. Jaleh, B.F. Mohazzab, O. Kakuee, R. Golbedaghi, Y. Orooji, TiN formation on Ti target by laser ablation method under different N2 gas pressure and laser scanning cycles: a wettability study, Surface. Interfac. 27 (2021), 101509.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

تاثیر آهنگ لایه نشانی کاتد نقره بر عملکرد دیود نور گسیل آلی

فاطمه شریعتی نیا[۱]، محمدرضا فدوی اسلام[۲]

[۱] دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان، دامغان، دانشجو، fshariatinia@yahoo.com،

[۲] دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان، دامغان، دانشیار، m.r.fadavieslam@du.ac.ir

چکیده – در این تحقیق، دیودهای نور گسیل آلی (OLEDs) با ساختار Glass/ITO/PEDOT:PSS/Alq3/Ag ساخته شدند. در دیودها از نقره به عنوان کاتد استفاده شد و تاثیر آهنگهای لایه نشانی ۰/۱، ۰/۵ و ۲ nm/s نقره بر عملکرد دیودها بررسی شد. ساختار لایه‌های نازک نقره توسط پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) و میکروسکپ نیروی اتمی (AFM) مطالعه شدند. مشخصه یابی ساختاری نشان دادند که لایه‌ها دارای ساختار بس بلوری مکعبی با قله در راستای صفحه (۱۱۱) است و افزایش آهنگ لایه نشانی باعث افزایش اندازه دانه ها می شود. مشخصه یابی جریان – ولتاژ و طیف سنجی نورگسیل دیودها انجام شد. بطور کلی افزایش آهنگ لایه نشانی نقره منجر به کاهش ولتاژ آستانه دیودها می شود. دیود تهیه شده با کاتد نقره لایه نشانی شده با آهنگ ۰/۵ nm/s کمترین ولتاژ آستانه و بیشترین شدت طیف گسیلی را دارد.

کلید واژه- دیود نور گسیل آلی، آهنگ لایه نشانی نقره، کاتد

Effect of silver cathode depotion rate on organic light emitting diode performance

Fatemeh shariatiniya, Mohammad Reza Fadavieslam

[1] School of Physics, Damghan University, Damghan, fshariatinia@yahoo.com, m.r.fadavieslam@du.ac.ir

Abstract- In this research, organic light emitting diodes (OLEDs) with Glass/ITO/PEDOT:PSS/Alq3/Ag structure were fabricated. In the diodes, silver was used as the cathode and the effect of deposition rate 0.1, 0.5 and 2 nm/s of silver on the performance of the diodes was investigated. The structure of silver thin films was studied by X-ray diffraction (XRD), field emission scanning electron microscope (FESEM) and atomic force microscope (AFM). The structural characterization results showed that the films have a polycrystalline in a cubic crystal structure with preferred orientations along (111) and increasing deposion rate of films cause to increases the grain size. The current-voltage characterization and light emission spectroscopy of diodes were performed. In general, increasing deposion rate of films cause to reduce the threshold voltage and increased the intensity of the emission spectrum of the diodes.

Keywords: organic light emitting diode, silver depotion rate, cathode

مقدمه

نمایشگرها در زندگی مدرن امروزی کاربرد وسیعی دارند. فناوری نمایشگرهای دیود نور گسیل آلی (OLED) می‌تواند ارزان‌تر و قابل دسترس‌تر شود و در نتیجه کاربران بیشتری می‌توانند از کیفیت تصویری بهتر از گذشته به دلیل زاویه دید وسیع، پاسخ سریع، ولتاژ آستانه پایین و انعطاف پذیری لذت ببرند [۱, ۲]. ضروری است که پژوهش بر روی دیودهایی صورت گیرد که علاوه بر اینکه ولتاژ کاری و توان مصرفی پایین داشته باشند، دارای درخشندگی بیشتر، طول عمر طولانی‌تر و عملکرد بهتری باشند.

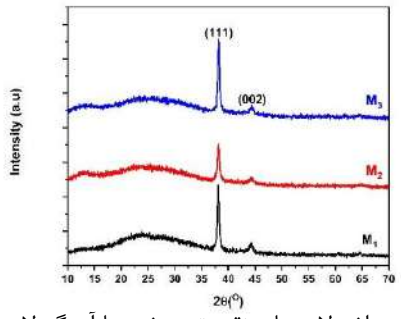
بطور کلی ولتاژ راه اندازی، راندمان گسیل نور و پایداری طولانی مدت این دیودها به تزریق حامل از کاتد و آند و به ضریب تعادل حامل بار بستگی دارد [۳]. ویژگی های فیزیکی کاتد نقره یکی از عوامل موثر بر عملکرد دیود است. این ویژگی ها متاثر از آهنگ لایه نشانی آن است. آهنگ تبخیر یکی از مهمترین عواملی است که بر ساختار و ریختار سطح تأثیر می گذارد [۴, ۵]. در این پژوهش با هدف مطالعه عملکرد OLED سعی شده است اثر تغییر نرخ لایه نشانی کاتد نقره را در دیود نور گسیل آلی سبز با ساختار ITO/ PEDOT:PSS/ Alq3/ Ag بررسی شود.

بخش تجربی

در این پژوهش از اکسید ایندیوم آلاییده با قلع (ITO) به عنوان لایه‌ی تزریق‌کننده‌ی حفره، از PEDOT:PSS به عنوان لایه‌ی انتقال‌دهنده‌ی حفره، از Alq_3 به عنوان لایه‌ی گسیلنده‌ی نور و از Ag به عنوان کاتد استفاده شد. لایه PEDOT:PSS به روش چرخشی بر روی ITO لایه نشانی شد. سپس لایه Alq_3 بر روی لایه PEDOT:PSS به روش تبخیر حرارتی لایه نشانی شد. این لایه‌نشانی در فشار 10^{-5} mbar و با آهنگ ۰/۵ nm/s انجام شد. بدین منظور مقدار ۰/۰۱ mgr از Alq_3 در بوته‌ای از جنس تنگستن قرار گرفت. بسترهای ماسک‌گذاری شده در فاصله‌ی ۴۰ سانتی‌متر از بوته‌ی تبخیر در بالای بوته قرار گرفتند. در حین تبخیر Alq_3، آهنگ تبخیر و ضخامت لایه با دقت کنترل شد. در نهایت لایه Ag بر روی لایه Alq_3 به روش تبخیر حرارتی تحت فشار 10^{-5} mbar لایه نشانی شد. شرایط لایه نشانی PEDOT:PSS و ALq_3 برای تمام نمونه ها یکسان ولی لایه نقره با ضخامت ۸۰ nm و با آهنگهای لایه‌نشانی ۰/۱، ۰/۵ و ۲ nm/s تهیه شدند که به ترتیب نمونه‌های M_1، M_2 و M_3 نام گذاری شدند.

بحث و نتیجه گیری

به منظور بررسی تاثیر آهنگ لایه نشانی نقره بر ساختار آن، لایه‌های نقره بعد از لایه‌نشانی تحت آنالیز پراش پرتو ایکس قرار گرفتند. طیف‌های مقایسه‌ای پراش پرتو ایکس آنها در شکل (۱) ارائه شده است. مطالعه‌ی این شکل نشان می‌دهد که نمونه‌ها دارای ساختارهای بس‌بلور هستند. قله‌ی ارجح فاز مکعبی نقره مربوط به راستای بلوری (۱۱۱) در آنها مشاهده می‌شود که با کارت استاندارد ICDD 004-0783 تطابق دارد [۶]. با افزایش آهنگ لایه نشانی بلورینگی لایه‌ها کاهش و سپس افزایش می یابد.

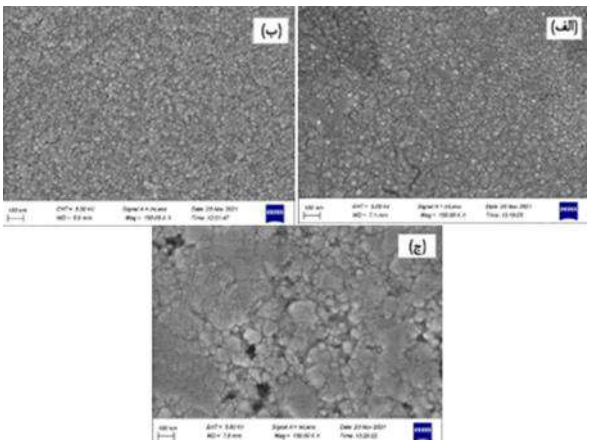


شکل ۱ الگوهای پراش لایه های نقره تهیه شده با آهنگ لایه نشانی ۰/۱ (M_1)، ۰/۵ (M_2) و ۲ nm/s (M_3)

تصاویر FESEM لایه‌های نازک نقره در شکل (۲) ارائه شده است. این شکل نشان میدهد که لایه‌ها دارای ساختار دانه ای هستند و علاوه بر آن افزایش آهنگ لایه‌نشانی باعث افزایش اندازه دانه‌ها میشود. آهنگ لایه‌نشانی پایین منجر به تبخیر کمتر اتمها و در نتیجه تشکیل کمتر خوشه‌ها می‌شود. بنابراین دانه‌های تشکیل شده از خوشه‌ها نیز کوچک هستند. با افزایش آهنگ لایه‌نشانی تعداد خوشه‌های تشکیل شده در سطح افزایش یافته که در نهایت منجر به تشکیل دانه‌های بزرگتر می‌شود [۴].

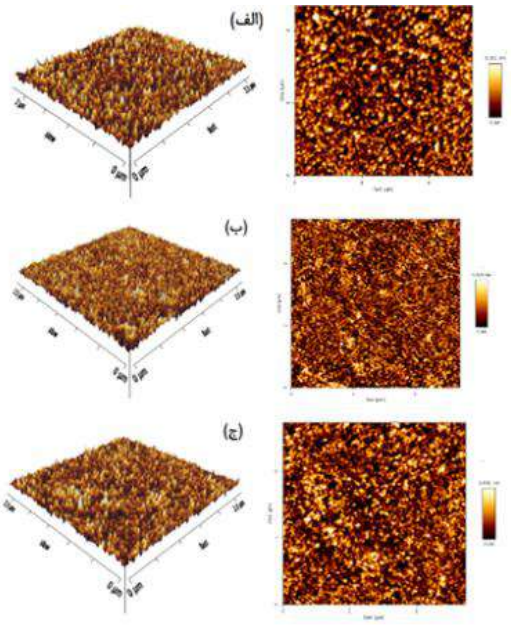
شکل (۳) تصاویر دو و سه بعدی AFM نمونه‌های را نشان می‌دهند. در نمونه‌ی M_1 که آهنگ لایه‌نشانی نسبت به

بقیه‌ی نمونه‌ها کمتر است سطح لایه صاف‌تر است. در نمونه‌ی M_3 با افزایش آهنگ لایه‌نشانی به ۲nm/s اندازه‌ی تپه‌ها بزرگتر شده و زبری لایه نیز افزایش می‌یابد. متوسط اندازه زبری سطح نمونه‌های M_1، M_2 و M_3 به ترتیب ۰٫۹، ۱٫۲۴ و ۱٫۳۵ nm است. در نمونه‌های لایه نازک نقره با آهنگ لایه‌نشانی کمتر لایه‌ها زبری کمتری دارند [۷]. افزایش آهنگ لایه‌نشانی سبب افزایش زبری سطح می‌شود. افزایش زبری سطح لایه‌ها با افزایش اندازه دانه‌های مشاهده شده در تصاویر FESEM همخوانی مناسبی دارند.

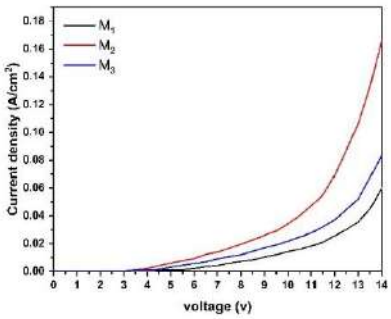


شکل ۲ تصاویر FESEM لایه های نقره تهیه شده با آهنگ لایه نشانی (الف) ۰٫۱، (ب) ۰٫۵ و (ج) ۲ nm/s

نمودار مقایسه‌ای جریان – ولتاژ دیودهای نور گسیل آلی با کاتد نقره در شکل (۳) ارائه شده است. مطالعه این نمودارها رفتار دیودی نمونه‌ها را نشان می‌دهند. چگالی جریان به ازای بایاس ۱۲ ولت دیودهای M_1، M_2 و M_3 به ترتیب ۲٫۶، ۷٫۰۹ و ۳٫۷۷ mA/cm^2 اندازه‌گیری شدند. این نتایج نشان می‌دهد آهنگ لایه‌نشانی کاتد برروی چگالی جریان دیودها تاثیر می‌گذارد و بطور کلی باعث افزایش آن می‌شود. این افزایش را می‌توان به تزریق و ترابرد مناسبتر الکترونها نسبت داد. ولتاژ آستانه دیودهای M_1، M_2 و M_3 به ترتیب ۶ ، ۴ و ۴٫۵V اندازه‌گیری شدند. بنابراین بطور کلی افزایش آهنگ لایه‌نشانی کاتد باعث کاهش ولتاژ آستانه می‌شود، با این وجود افزایش آهنگ لایه‌نشانی به بیش از ۰٫۵ nm/s سبب افزایش ولتاژ آستانه می‌شود.



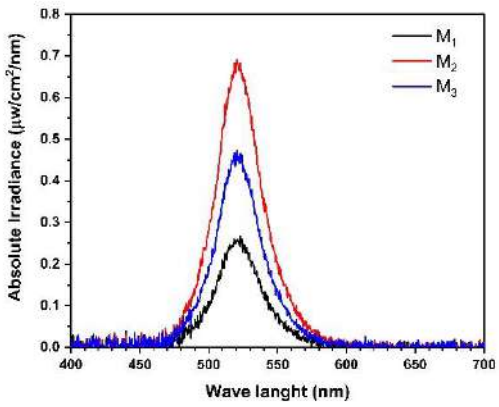
شکل ۳ تصاویر AFM لایه های نقره تهیه شده با آهنگ لایه نشانی (الف) ۰٫۱، (ب) ۰٫۵ و (ج) ۲ nm/s



شکل ۴ نمودار جریان- ولتاژ دیودهای M_1، M_2 و M_3

با اعمال ولتاژ به دیودها طیف نور گسیل شده آنها توسط دستگاه طیف سنجی STS VIS-Ocean ساخت شرکت Ocean Optics انجام شد. طیف‌های مقایسه‌ای چگالی شدت طیف گسیلی دیودها در شکل (۵) ارائه شده است. مطالعه این شکل نشان می دهد که قله‌ی طیف‌های گسیلی در حدود ۵۲۵nm است که مربوط به نور سبز گسیلی از لایه نور گسیل Alq_3 در دیودها می‌باشد. بنابراین آهنگ لایه‌نشانی کاتد تاثیری بر خواص نور گسیلی Alq_3 ندارد و محل قله‌ی طیف گسیلی در دیودها تغییر نمی‌کند. شدت نور گسیلی با افزایش آهنگ لایه‌نشانی کاتداز ۰٫۱ به ۰٫۵ nm/s افزایش می‌یابد که به دلیل تزریق حامل‌های بیشتر و توازن ترابرد حامل‌ها و بازترکیب بیشتر آنها در لایه نور

گسیل می‌باشد. ولی با افزایش بیشتر آهنگ لایه نشانی کاتد تا ۲nm/s شدت نور گسیلی کاهش می‌یابد. این پدیده می‌تواند به دلیل کاهش توازن ترابرد حامل‌ها و کاهش بازترکیب آنها باشد.



شکل ۵ طیفهای مقایسه ای چگالی شدت طیف گسیلی دیودهای M_1، M_2 و M_3 بر حسب طول موج

نتیجه گیری

در این پژوهش نشان داده شد که آهنگ لایه نشانی کاتد نقره در دیودهای نور گسیل آلی بر عملکرد آن تاثیر دارد. از میان دیودهای ساخته شده با آهنگهای لایه نشانی ۰/۱، ۰/۵ و ۲ nm/s دیود نور گسیل آلی ساخته شده با کاتد نقره لایه نشانی شده با آهنگ ۰/۵ nm/s کمترین ولتاژ آستانه و بیشترین شدت نور گسیلی را دارد. با این وجود آهنگ لایه نشانی کاتد تاثیر در طول موج نور گسیلی دیود ندارد.

مرجع‌ها

[1] M. Qian, Q. Liu, W.-S. Li, J.-X. Man, Y.-B. Zhao, Z.-H. Lu, Dual Ag electrodes for semitransparent organic light-emitting diodes, Organic Electronics, 57 (2018) 98-103.
[2] H. Siemund, F. Bröcker, H. Göbel, Enhancing the electron injection in polymer light-emitting diodes using a sodium stearate/aluminum bilayer cathode, Organic Electronics, 14 (2013) 335-343.
[3] J.H. Kwon, J.Y. Lee, High efficiency and long lifetime in organic light-emitting diodes using bilayer electron injection structure, Synthetic metals, 159 (2009) 1292-1294.
[4] K. Bordo, H.-G. Rubahn, Effect of deposition rate on structure and surface morphology of thin evaporated Al films on dielectrics and semiconductors, Materials Science, 18 (2012) 313-317.
[5] H. Yuan, Q. Li, W. Yan, Y. Zhang, L. Chen, P. Pan, J. Luo, B. Liao, X. Ouyang, A novel and efficient technology of depositing Al2O3 film for OLEDs thin film encapsulation, Vacuum, 196 (2022) 110741.
[6] A.I. Oje, A. Ogwu, M. Mirzaeian, A. Oje, N. Tsendzughul, Silver thin film electrodes for supercapacitor application, Applied Surface Science, 488 (2019) 142-150.
[7] H. Khachatryan, S.-N. Lee, K.-B. Kim, M. Kim, Deposition of Al thin film on steel substrate: the role of thickness on crystallization and grain growth, Metals, 9 (2018) 12.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

طراحی و شبیه سازی مجموعه چند لایه‌ای برای آینه‌های با آستانه آسیب لیزری بالا در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر

محمد نجفی، حمید رضا فلاح، مرتضی حاجی محمودزاده، حسین زابلیان

دانشکده فیزیک، دانشگاه اصفهان

**Najafimohammad1996mnl@gmail.com, hfallah@sci.ui.ac.ir,
m.hajimahmoodzadeh@sci.ui.ac.ir, zabolian.hh@gmail.com**

چکیده –زمانی که قدرت و چگالی انرژی لیزر بالا می‌رود به آینه‌ها که در لیزر تشکیل یک کاواک لیزری می‌دهند از طریق جذب گرمایی و شکست دی‌الکتریک آسیب می‌رسد که این آسیب باعث تخریب و شکستگی در آینه‌ها می‌شود. یکی از راه‌های جلوگیری از این آسیب و بالا بردن آستانه آسیب لیزری کنترل میدان الکتریکی در لایه‌های آینه است، که معمولاً این آینه‌ها را از مجموعه جفت لایه‌ای با ضریب شکست بالا و پایین از مواد دی‌الکتریک که جذب کم‌تری نسبت به فلزات دارند می‌سازند. در این مقاله ما برای جفت لایه SiO_2 و ZrO_2 با استفاده از نرم افزار مکلود و بهینه‌سازی ضخامت لایه‌ها، میدان الکتریکی را در مرز لایه‌ها که آسیب‌پذیرتر است کمینه کرده‌ایم تا آستانه آسیب لیزر را بالا ببریم.

کلید واژه- آستانه آسیب لیزری، آینه‌های لیزر، لیزر توان بالا.

Design and simulation of multilayer assembly for mirrors with high laser damage threshold at 1064 nm wavelength

Mohammad Najafi, HamidReza Fallah, Morteza Hajimahmoodzadeh, Hosein Zabolian

Faculty of Physics, University of Isfahan

Abstract- The power and energy density of the laser increases, it damages the mirrors that create a laser cavity in the laser from heat absorption and dielectric breakdown, which causes destruction and breakage in the mirrors. One of the ways to prevent damage and raise the damage point of the laser is to control the electric field in the mirror layers, which are usually made of pairs of high and low refractive index layers of dielectric materials that absorb less than metals. In this paper, we have minimized the electric field at the boundary of the layers, which is vulnerable, for the pair of SiO2 and ZrO2 layers using McLeod software and optimizing the thickness of the layers in order to raise the laser damage threshold.

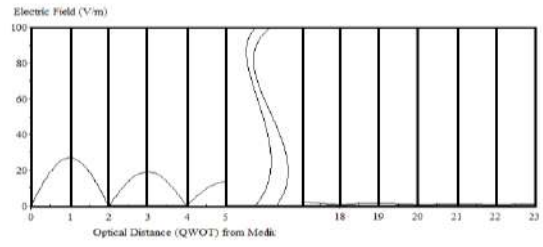
Keywords: Laser damage threshold, laser mirrors, high power laser.

مقدمه

یکی از نیازها و دغدغه‌ها پس از ساخت لیزر، کوچک کردن و افزایش بازدهی لیزر بوده است. دستیابی و تحقق بخشیدن به این امر با بالا رفتن چگالی انرژی همراه می‌باشد، بالا رفتن چگالی انرژی و توانی که لیزر تولید می‌کند باعث آسیب رساندن به آینه‌های پشتی و جلویی لیزر که تشکیل یک کاواک لیزری می‌دهند و کاهش آستانه آسیب لیزر می‌شود [۱]. برای بالا بردن آستانه آسیب ناشی از لیزر به ساخت آینه‌هایی با قابلیت انعکاس بالا و جذب کم نیاز می‌باشد، ساخت چنین آینه‌هایی با مواد دی‌الکتریک و فلزات امکان پذیر است[۲].بنا به توان و انرژی‌که برای لیزرمان در نظر داریم می‌توانیم با تعداد، ضخامت و جنس لایه‌ها که معمولاً چارک موج در نظر گرفته می‌شوند به ویژگی‌های مد نظر دست یافت و روی آن‌ها کنترل پیدا کنیم. پوشش‌های آینه لیزر که تحت تابش نور با انرژی بالا قرار می‌گیرند به دلیل جذبی که در سطح صورت می‌گیرد دچارآسیب می‌شوند[۳]. مقدار موجود جذب در مواد پوششی باعث می‌شود بازتابی که ازلایه چارک موج صورت می‌گیرد محدود شود که این محدودیت و کاهش بازتاب از سطح برای اولین بار توسط کوپلمان در یک مقاله در سال ۱۹۶۰ ارائه شد و به همین علت به این محدودیت، محدودیت کوپلمان می‌گویند[۴]. شدت میدان الکتریکی با جذبی که در سطح صورت می‌گیرد رابطه مستقیم دارد [۵]. با کنترل اندازه میدان الکتریکی می‌توان آستانه آسیب ناشی از لیزر را کنترل کنیم. یکی از متداولترین روش‌های کنترل میدان الکتریکی لایه نشانی و کنترل ضخامت لایه‌ها در مواد مورد استفاده است . این کار باید به صورتی انجام شود که بتوان دامنه میدان الکتریکی را در مرز لایه‌ها به کم‌ترین حد امکان رساند [۶و۷]. زمانی که میدان الکتریکی در لایه‌ها بزرگ باشد، می‌تواند از طریق یک سری فرآیندها مانند خود کانونی شدن نور که یک اثر غیر خطی است به لایه‌ها آسیب برساند و آستانه آسیب لیزر را پایین بیاورد [۸]. در این مقاله با استفاده از نرم افزار شبیه‌سازی مکلود و بهینه‌سازی ضخامت لایه‌ها، بیشینه میدان الکتریکی را در مرز لایه‌ها جابه جا و کم می‌کنیم.

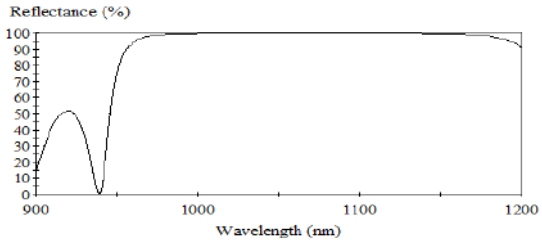
شبیه سازی و بهینه سازی

برای ساخت آینه‌های بازتاب بالا معمولا از مجموعه‌ای از جفت لایه‌هایی با ضریب شکست بالا و پایین استفاده می‌شود که در طول موج ۱۰۶۴نانومتر مناسب ترین ماده بنا به خصوصیاتی مانند بازتاب بالا، میدان الکتریکی کم و درصد جذب پایین، ماده با ضریب شکست پایین SiO_2 شناسایی شد و برای لایه‌های با ضریب شکست بالا از میان تمام مواد ZrO_2 به دلیل بازتاب مناسب‌تر و ضریب جذب کم‌تر نسبت به مواد دیگر انتخاب شد. طبق مطالعات و پیشینه پژوهشی در این موضوع زمانی می‌شود با کم‌ترین تعداد لایه‌ها به بالاترین بازتاب رسید که تمام لایه‌ها چارک موج باشند ولی متاسفانه در این حالت طبق شکل ۱ بیشینه میدان الکتریکی در حساس ترین و آسیب‌پذیرترین منطقه یعنی مرز لایه‌ها می‌افتند و احتمال آسیب طبق تجربه‌های قبلی افزایش می‌یابد؛ به همین علت نیاز به بهینه سازی در ضخامت لایه‌ها می‌باشد که علاوه بر بازتاب بالا هم زمان میدان الکتریکی در مرزها کمینه و قله میدان به داخل لایه‌ها کشانده می‌شود.



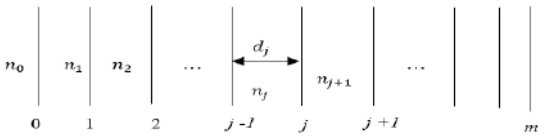
شکل ۱: محور افقی نمودار ضخامت لایه‌هارا بر حسب چارک موج و محور عمودی مربوط به میدان الکترکی بر حسب ولت بر متر می‌باشد. خط‌های عمودی روی نمودار نشان دهنده مرز لایه‌ها هستند.

برای حالت چارک موج با تعداد ۲۳ لایه می‌توان به بازتاب بالای ۹۹ درصد رسید.



شکل ۲ : نمودار بازتاب برای تعداد ۲۳ لایه چارک موج.

برای تعین ضخامت جفت لایه جدید و نشان دادن روابط آن شکل۳ را در نظر بگیرید.



شکل ۳ : طرحی از یک مجموعه چند لایه ای[۹].

نسبت میدان الکتریکی در دو طرف مرز بین لایه‌ها که به صورت:

$$\frac{E_j}{E_{j-1}} = \frac{1 + r\,exp(2i\varphi)}{(1+r)\,exp(i\varphi)} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) ضریب بازتاب که بین دو مرز j و $j\text{-}1$ هست با r نشان داده شده است. برای فرود عمود ضخامت فازی φ و ضخامت فیزیکی d لایه‌ها از رابطه زیر بدست می‌آیند:

$$\varphi_j = \frac{2\,\pi\,n_j\,d_j}{\lambda} \qquad (۲)$$

اگر یک جفت لایه مواد با ضریب شکست بالا و پایین را به مجموعه چند لایه‌ای اضافه کنیم، شرط تساوی شدت میدان الکتریکی در دو مرز $j+1$ و $j\text{-}1$ را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\left|\frac{E_{j-1}}{E_j}\right|^2 = \left|\frac{E_{j+1}}{E_j}\right|^2 \qquad (۳)$$

با استفاده از رابطه (۱) و شرایط مرزی در لایه‌های نازک برای بازتاب داریم:

$$\left|\frac{1 + r\,exp(-2i\varphi_L)}{(1+r)\,exp(-i\varphi_L)}\right|^2 = \left|\frac{(1-fr) + (r-f)exp\,(2i\varphi_H)}{(1-fr+r-f)exp\,(i\varphi_H)}\right|^2 \qquad (۴)$$

در رابطه بالا تابع f به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \qquad (۵)$$

ضخامت فازی لایه اضافه شده با ضریب شکست پایین در حالی که φ_L را با θ نشان دهیم به صورت زیر می‌باشد:

$$cos\,\theta = \frac{f(1-r)^2 + (1-fr)(r-f)\,cos\,2\varphi}{r(1-f)^2} \qquad (۶)$$

اگر لایه با ضریب شکست پایین که از رابطه(۶) بدست آمده است به مجموعه لایه‌ها اضافه کنیم ضریب بازتاب مختلط به صورت زیر بدست می‌آید:

$$r\,e^{-2i\theta} = u + iv \qquad (۷)$$

با استفاده از رابطه بالا می‌توان ضخامت فازی لایه با ضریب شکست بالا را به صورت زیر بدست آورد:

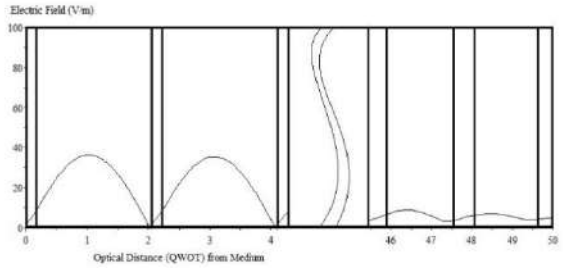
$$tan\,2\varphi = \frac{v(1-f^2)}{u(1+f^2) - f(1+u^2+v^2)} \qquad (۸)$$

با ادامه این روند برای جفت لایه‌های بعدی می‌توان میدان الکتریکی را در مرزها کمینه کرد[۹].

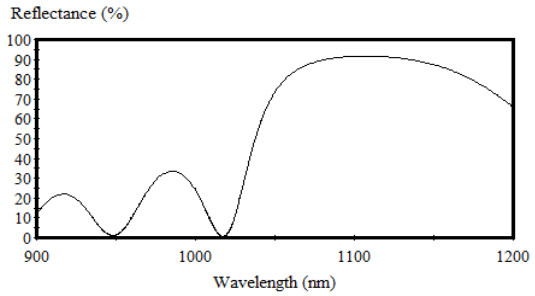
با توجه به روابط بالا و استفاده از نرم افزار شبیه سازی مکلود برای ماده ZrO_2 و SiO_2 در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر یک مجموعه جفت لایه‌ای را طراحی کردیم که مطابق شکل ۴ می‌توان تغییرات میدان الکتریکی در مرز را مشاهده کنیم:

شکل۴ :میدان الکتریکی برای حالتی که ضخامت لایه‌ها بهینه شده‌اند.

در حالت اول که ضخامت تمام لایه‌ها چارک موج بود با مجموعه۲۳ لایه‌ای می‌توانستیم به بازتاب بالای ۹۹ درصد



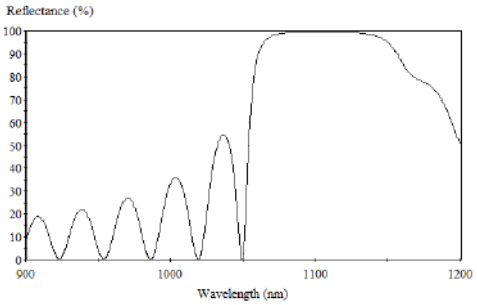
دست پیدا کنیم ولی در حالتی که ضخامت لایه‌ها را بهینه



کرده‌ایم بازتاب مانند شکل۵ مقداری افت پیدا کرده است.

شکل۵ :نمودار بازتاب برای ۲۳ لایه بهینه شده.

برای جبران این افت بازتاب، تعداد جفت لایه‌ها را افزایش می‌دهیم به طوری که به بازتاب بالای ۹۹ درصد برسیم مانند شکل۶ همچنین اگر در نزدیک بستره و محیط فرودی



ماده با ضریب شکست بالاتر قرار بگیرد میزان بازتاب به شکل قابل توجهی کاهش پیدا کند.

شکل ۶ :نمودار بازتاب برای ۵۰ لایه بهینه شده.

نتیجه گیری

با توجه به اینکه میزان جذب متناسب است با میدان الکتریکی اینکه مرز لایه‌ها نسبت به درون لایه‌ها آسیب پذیرتر هستند، ما با بهینه سازی توانستیم، برای حالتی که تمام لایه‌ها چارک موج بودند و بیشینه میدان الکتریکی در مرزها قرار می‌گرفت بیشینه میدان الکتریکی را به داخل لایه که ناحیه ای مقاوم‌تری هستند ببریم و میدان الکتریکی را در مرز کم کنیم و برای جبران افت بازتاب تعدادلایه‌ها را افزایش و در نزدیک محیط فرودی و بستره مواد با ضریب شکست بالا قرار دادیم تا میزان بازتاب بالاتر رود.

R. M. Wood, *Laser-induced damage of optical materials*. (CRC Press, 2003).

P. G. Sheasby, R. Pinner, and S. Wernick, The surface treatment and finishing of aluminium and its alloys. (ASM international Materials Park, OH, 2001).

S. Papernov and A. Schmid, “Laser-Induced Damage in Optical Materials:absorption sources, initiation, growth, and mitigation,”469,71132,2008).

G.Koppemann,“On the theory of multilayer consisting of weakly absorbing materials and their use as interferometer mirror,” Ann. Phys 5, 355 (1960).

D. Ristau, *Laser-induced damage in optical materials.* (CRC Press, 2014).

H. A. Macleod and H. A. Macleod, *Thin-film optical filters*. (CRC press, 2010).

F. Demichelis, E. Mezzetti-Minetti, L. Tallone, and E. Tresso, “Optimization of optical parameters and electric field distribution in multilayers,” Applied optics 23 (1), 165 (1984).

C.-C. Lee and C.-W. Chu,“High power CO2 laser mirror: a design,” Applied optics 26 (13), 2544 (1987).

J.C.Monga,"Multilayer thin-film polarizers withreduced electric-field intensity," Journal of Modern Optics **36**, 769-784 (1989).

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

بررسی اثر نانوذرات اکسید کبالت بر روی مقادیر امپدانس بلور مایع نماتیک E7 در فرکانس های مختلف

مهسا خادم صدیق*[۱]، فاطمه نورفرد

مهندسی اپتیک و لیزر، دانشگاه بناب، بناب، ایران

mahsa.sadigh@ubonab.ac.ir, noorfatameh@gmail.com

چکیده – بلورهای مایع مایع با ویژگی های نظم جهتی منحصر به فرد نقش مهمی در طراحی و ساخت اداوات اپتیکی و فوتونیکی ایفا می کنند. از اینرو، بهبود عملکرد و کنترل عملکرد آنها در سیستم های مختلف نقش مهمی دارد. یکی از روش های موثر آلائیدن نمونه های بلور مایع با نانوذرات می باشد. به همین منظور در این پژوهش اثرات نانوذره اکسید کبالت بر روی مقادیر امپدانس نمونه های خالص و آلائیده بررس شد. مطابق نتایج بدست آمده، مقادیر امپدانس وابسته به جهتگیری مولکول های بلور مایع، غلظت نانو ذره و فرکانس می باشد.

کلید واژه- امپدانس، اکسید کبالت، بلور مایع، نانوذره.

Investigating the effect of cobalt oxide nanoparticles on the impedance values of E7 nematic liquid crystal at different frequencies

Mahsa Khadem Sadigh*[1], Fatemeh Norfard[1]

Department of Laser and Optical Engineering, University of Bonab, Bonab, Iran

mahsa.sadigh@yahoo.com, noorfatameh@gmail.com

Abstract- Liquid crystals with unique directional order features play an important role in designing and manufacturing optical and photonic devices. Therefore, improving their performance and controlling their performance in different systems plays an important role. One of the effective methods is contamination of liquid crystal samples with nanoparticles. For this purpose, in this study, the effects of cobalt oxide nanoparticles on the impedance values of pure and doped samples were investigated. According to the obtained results, the impedance values depend on the orientation of liquid crystal molecules, nanoparticle concentration and frequency.

Keywords: Cobalt Oxide, Impedance, liquid crystal, Nanoparticle.

مقدمه

کریستال مایع حالتی از ماده است که مانند مایع، روان ولی همچون جسم متبلور از نظم برخوردار است. همانگونه که می‌دانیم در مواد جامد بخصوص حالت کریستالی مولکول ها دارای نظم مکانی و جهتی هستند. یعنی هر مولکول در محل خاصی قرار می‌گیرد و با مولکول های دیگر جهتگیری خاصی دارد. ولی مولکول های مایعات نه نظم مکانی دارند و نه نظم جهتی، اما حالت حدواسط نیز وجود دارد که این حالت واسطه همان کریستال مایع می‌باشد. بنابراین بلور مایع ها با وجود توسعه سریع خود، هنوز شاخه جوانی از علم به حساب می آیند که جای تحقیقات زیادی در این زمینه برای پاسخ به سوالات بی جواب بسیاری وجود دارد. در حالت کلی این گروه از مواد، وابسته به ساختار مولکولی، دما، غلظت و استخلاف های متصل به اسکلت اصلی آنها به سه گروه لیوتروپیک ها، پلیمریک ها و ترمو تروپیک تقسیم می شوند که در این میان گروه سوم با ساختار مولکولی ساده تر بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد [1].

این گروه از مواد با ویژگی های ساختاری و نظم منحصر به فرد به دلیل خواص اپتیکی و نوری مناسب، دارای اهمیت فراوانی بوده وکاربردهای بسیار زیادی در علوم و فناوری های مختلف دارند. از این حیث مورد توجه بسیاری از پژوهشگران در گروههای تحقیقاتی مختلف قرار دارند. بلور مایعها مواد آلی هستند که قابلیت تولید در مقیاسهای بالا با قیمت های ارزان دارند و از همین لحاظ بیشتر از مواد معدنی که تهیه و تولید آنها زمانبر و بسیار سخت می باشد مورد توجه قرارگرفته اند. این گروه از مواد به طور گسترده در طراحی و ساخت انواع مختلفی از ادوات اپتیکی و فوتونیکی مانند نمایشگرها، پنجره های هوشمند و سنسورها مورد استفاده قرار می گیرند [۲-۵].

کنترل پاسخ اپتیکی و بهبود عملکرد بلورهای مایع در سیستم های مختلف یکی از مهمترین چالش هایی که در سالهای اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است. به همین منظور استفاده از بلورهای مایع آلائیده شده با گروههای مختلفی از مواد آلی و معدنی مورد توجه قرار گرفته است . از میان انواع مختلفی مواد، نانوذرات با ویژگی های نوری منحصر به فرد توجه بسیاری از گروههای تحقیقاتی را به خود جلب نموده است.

هدف از این کار تجربی بررسی اثرات نانوذرات اکسید کبالت بر روی مقادیر امپدانس بلور مایع نماتیک E7 در فرکانس های مختلف می باشد. این تجزیه و تحلیل اطلاعات مفیدی برای یافتن رویکردهای جدید برای ساخت مواد با خواص عملکردی جدید فراهم می کند.

مواد و روشها

در این کار تجربی بلور مایع نماتیک E7 و نانوذرات اکسید اکسید کبالت از شرکت مرک خریداری و مورد استفاده قرار گرفتند.

به منظور اندازه گیری امپدانس بلورمایع نماتیک خااص و آلائیده شده با درصدهای وزنی مختلف از نانودره اکسید کبالت، دستگاه Iviumstat مورد استفاده قرار گرفت. به همین منظور سل های بلور مایع با جهت دهی موازی و عمود ساخته شد. به همین منظور ابتدا شیشه های تمیز ITO با یک لایه پلیمری (پلی ونیل الکل) پوشش داده شد. سپس با استفاده از یک پارچه ابریشمی جهت های موازی بر روی پلیمر ایجاد شد و در نهایت دو شیشه جهت مند با استفاده از فاصله انداز بر روی هم قرار گرفتند. قابل ذکر است برای تهیه سل های عمودی یک لایه از محلول لیسیتین بر روی شیشه ها قرار گرفت.

به منظور انجام کارهای تجربی مربوط به این پژوهش، سلول های تهیه شده با بلورهای مایع خالص و آلائیده شده با نانوذرات اکسید کبالت با استفاده از خاصیت موبینگی پر شدند.

نتایج

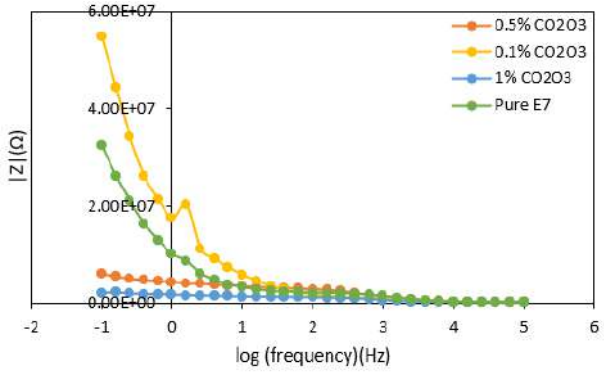
طیف سنجی امپدانس ابزاری قدرتمند برای بررسی دینامیک حاملین با در مواد مختلف در فازهای جامد و مایع می باشد. در حالت کلی اندازه امپدانس که از دو قسمت حقیقی و موهومی تشکیل شده است مطابق با رابطه (۱) بدست می آید:

$$|z| = \sqrt{Z_r^2 + Z_i^2} \qquad (۱)$$

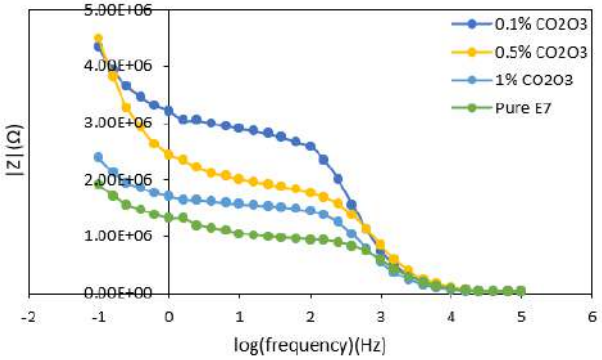
بطوریکه Z_r و Z_i به ترتیب قسمت های حقیقی و موهومی امپدانس را نشان می دهند.

مقدار امپدانس کل برای بلورهای مایع خالص و آلائیده شده با نانوذره اکسید کبالت با درصدهای وزنی ۰/۱، ۰/۵ و ۱ در شکل های (۱) و (۲) برای سلول های بلور مایع با جهت دهی موازی و عمود در بازه فرکانسی ۰/۱ هرتز تا ۰/۱ مگاهرتز نشان داده شده است. در این حالت برهم کنش بین مولکول های بلور مایع در فصل مشترک و میدان الکتریکی در محدوده فرکانس ذکر شده اتفاق می افتد.

مطابق شکل (۱) ، در محدوده ۰/۱ تا ۴ هرتز فرکانس های پایین ، اندازه امپدانس نمونه های خالص E7 با افزایش فرکانس کاهش می یابد. پس از آن، فرکانس های میانی مقدار آن تقریباً ثابت می ماند. سپس با افزایش بیشتر فرکانس تا ۳ کیلوهرتز به صورت خطی کاهش می یابد. در فرکانس های بالاتر، اندازه امپدانس به آرامی کاهش می یابد و در نهایت به طور مجانبی به محور افقی نزدیک می شود. روند مشابهی برای اندازه امپدانس نیز برای بلورهای مایع حاوی نانوذرات اکسید کبالت با در صدهای وزنی مختلف مشاهده می شود. در این حالت برای سلول ها با جهتگیری موازی بیشترین مقدار امپدانس برای نمونه های حاوی ۰/۱ درصد وزنی از نانو ذره مشاهد می شود بطوریکه افزایش غلظت نانوذره منجر به کاهش مقادیر امپدانس در فرکانس های مورد مطالعه می شود. در حقیقت با تغییر درصد وزنی نانو ذره در بلور مایع نماتیک مورد مطالعه، نوع و شدت برهم کنش های مولکولی تغییر می کند. در حالت کلی سه نوع برهم کنش متفاوت وابسته به درصد وزنی نانو ذره می تواند رخ دهد. برای در صدهای وزنی پایین، برهم کنش های بین مولکول های بلور مایع غالب هستند. به تدریج با افزایش درصد وزنی نانوذره، برهم کنش های بین مولکوب های بلور مایع و نانوذرات و برهم کنش های بین مولکول های نانوذرات ظاهر می شوند. در این صورت با توجه به نوع برهم کنش غالب درگیر در نمونه های بلور مایع مقدار امپدانس تغییر می کند. مطابق شکل(۱)، با افزایش غلظت به دلیل برهم کنش های غالب بین مولکول های نانوذرات و اثرات تجمعی مقدار امپدانس کاهش می یابد.



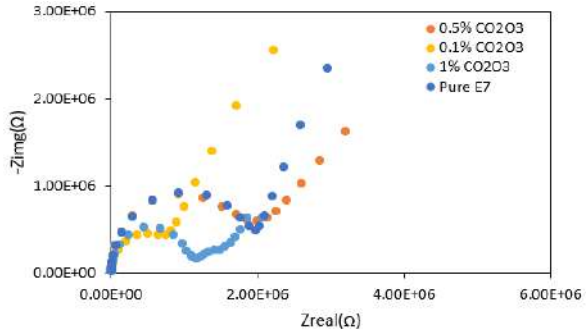
شکل ۱: تغیرات امپدانس بر حسب فرکانس برای بلور مایع های خالص و آلائیده شده با نانوذره اکسید کبالت برای سلول موازی



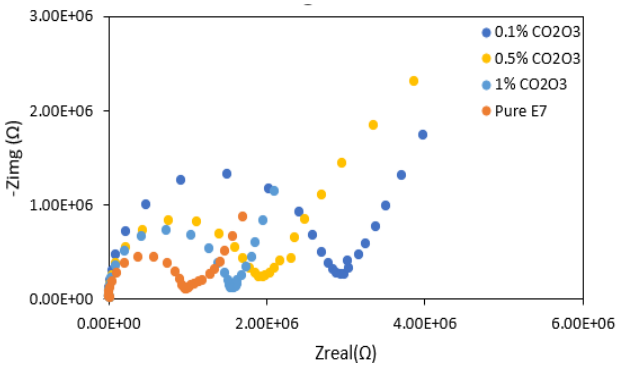
شکل ۲: تغیرات امپدانس بر حسب فرکانس برای بلور مایع های خالص و آلائیده شده با نانوذره اکسید کبالت برای سلول عمودی

به منظور بررسی اثرات جهتگیری مولکول های بلور مایع بر روی مقادیر امپدانس، سلول های عمودی حاوی بلور مایع خالص و آلائیده مورد بررسی قرار گرفت. مطابق نتایج بدست

آمده (شکل ۲)، مقادیر امپدانس برای سلول های عمود مقادیر کمتری نسبت به حالت موازی نشان می دهد. بدین ترتیب ناهسمانگردی امپدانس در نمونه های بلور مایع مورد مطالعه مثبت می باشد. در این حالت مقادیر بزرگتر امپدانس برای بلور مایع حاوی ۰/۱ درصد وزنی از نانو ذره اکسید کبالت مشاهده شد. همچنین با رسم قسمت منحنی قسمت موهومی امپدانس بر حسب قسمت حقیقی آن (منحنی کول-کول) (شکل ۳) می توان اطلاعاتی از فرایند واهلش در سل های موازی و عمود بدست آورد.



الف)



ب)

شکل ۳: منحنی های کول-کول برای سلول های الف) موازی و ب) عمودی حاوی بلورهای مایع خالص و آلائیده شده با نانوذرات اکسید کبالت

مطابق بررسی های صورت گرفته منحنی های کول-کول در فرکانس بالا می توانند به دلیل چرخش دوقطبی حول محور بلند مولکولی باشند [۶].

نتیجه گیری

مطابق نتایج بدست آمده ویژگی های الکتریکی نمونه های بلور مایع مورد مطالعه شدیدا وابسته به در صد وزنی نانوذره افزوده شده به آن و نوع جهتگیری مولکول های بلور مایع وابسته می باشد. بدین ترتیب برای یک سلول بلور مایع با جهتگیری مناسب با افزودن مقدار مناسبی از نانوذره به آن می توان میزان امپدانس آن را جهت طراحی انواع مختلفی از ادوات اپتیکی و فوتونیکی کنترل نمود.

مرجع‌ها

I. C. Khoo, "Liquid crystals", 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 2007.

S. Gauza, X. Zhu, W. Piecek, R. Dabrowski, ST. Wu, " Fast switching liquid crystals for color-sequential LCDs", J. Disp. Technol., Vol.3,350-352, 2007.

H. J. Masterson, G. D. Sharp, K. M. Johnson, " Ferroelectric liquid-crystal tunable filter", Opt Lett., Vol. 14, 1249, 1989.

M. Mitov, "Cholesteric liquid crystals with a broad light reflection band", J Adv Mater., Vol. 24, 6260-6276, 2012.

H. Khandelwal, A. P. H. J. Schenning, M. G. Debije, " Infrared regulating smart window based on organic materials", Adv Energy Mater., Vol. 7, 1602209, 2017.

A.G. Gilani, M.S. Beevers, "The low-frequency dielectric response of aligned supercooled nematic mixtures", J. Mol. Liq. 94, 97–112, 2001.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

تأثیر تغییر مد موج لاگرگوسی بر روی پراکندگی دینامیکی ذرات

مریم طرفه اصفهانی، داریوش عبداله پور و حمیدرضا خالصی فرد

زنجان، بلوار گاوازنگ، دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان

m.torfe@iasbs.ac.ir; d.abdollahpour@iasbs.ac.ir; khalesi@iasbs.ac.ir

چکیده – در این مقاله به بررسی پراکندگی دینامیکی نور در جهت رو به جلو و همچنین تاثیر تغییر مد موج لاگر گوسی بر پراکندگی دینامیکی نور خواهیم پرداخت. همچنین نتایج آزمایشگاهی که از پراکندگی نور با دو مد مختلف لاگر گوسی از ذرات کروی کلوییدی بدست می آید ارائه گردیده است و با استفاده از تابع خودهمبستگی شدت برای نور پراکنده شده، ثابت پخش و اندازه ذرات در دو مد محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده است. در این مقاله نشان داده می‌شود در بخش چیدمان آزمایشگاهی تنها حدود ۲۰ میکرولیتر از نانوذرات معلق در آب برای اندازه‌گیری اندازه آنها در جهت رو به جلو کافی می‌باشد.

کلید واژه- پراکندگی دینامیکی نور لاگرگوسی، تابع خودهمبستگی ، ثابت پخش ، حرکت براونی ، مدهای نور لاگرگوسی

The effect of changing the Laguerre-Gaussian mode on the dynamic light scattering

Maryam Torfeh Esfahani, Daryoush Abdollahpour and Hamid R. Khalesifard

Department of physics, Institute for Advanced studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan Iran, maryam.torfeh.esfahani@gmail.com

Abstract- It is demonstrated here the dynamic light scattering in the forward direction, as well as the effect of changing the Laguerre-Gaussian wave mode on the dynamic light scattering. Laboratory results obtained from scattering light with two different Laguerre-Gaussian modes from colloidal spherical particles are presented, and the diffusion constant and particle size are calculated and compared with each other using the intensity correlation function for scattered light. The article demonstrates that only about 20 microliters of suspended nanoparticles in water are sufficient for measuring their size in the forward direction in the experimental setup.

Keywords: Autocorrelation function, Diffusion constant, Dynamic light scattering (DLS), Laguerre-Gaussian beam (LG beam, LG beam modes.

مقدمه

پراکندگی دینامیکی نور به طور گسترده در تعیین اندازه ذرات کلوییدی به کار می‌رود. این روش برای مطالعه ذرات با حرکت براونی بکار می‌رود. در سال ۱۹۸۹ رابطه خودهمبستگی میدان پراکنده شده از نانوذرات کلوییدی بدست آمد [۱]، همچنین در سال ۲۰۱۲ رابطه میان خودهمبستگی میدان و خودهمبستگی شدت میدان پراکنده شده بررسی شده است [۲].

در بررسی پراکندگی دینامیکی نور غالبا از چیدمان‌های آزمایشگاهی با زاویه پراکندگی ۴۵، ۹۰ و ۱۸۰ درجه استفاده می‌شود که البته این چیدمان‌های آزمایشگاهی با نور گوسین کار می کنند و از آنجا نور پراکنده شده در جهت رو به جلو یعنی زاویه پراکندگی صفر درجه دارای نویز نور زمینه بالایی می‌باشد، لذا در جهت رو به جلو نسبت سیگنال به نویز پایینی خواهیم داشت و قادر به اندازه‌گیری ثابت پخش نانوذرات و اندازه آنها نیستیم. در این مقاله توضیح خواهیم داد که با به کاربردن نور لاگرگوسی به عنوان باریکه فرودی بر روی نانوذرات پلی‌استایرن معلق در آب قادر به اندازه‌گیری سیگنال شدت نور پراکنده شده از این ذرات در جهت رو به جلو می‌باشیم. به دلیل اینکه در باریکه لاگر گوسی در قسمت مرکزی دارای تکینگی فاز هستیم بنابراین در جهت رو به جلو از نسبت سیگنال به نویز نسبتا خوبی برخوردار می‌باشیم و بنابراین از سیگنال نور پراکنده شده و تابع خودهمبستگی آن، توزیع اندازه ذرات و ثابت پخش قابل اندازه‌گیری است.

مبانی نظری

نمونه مورد استفاده در این آزمایش نانوذرات کروی پلی‌استایرن معلق در آب هستند. به دلیل اینکه حرکت ذره در حالت کاتوره‌ای در زمان ایستا نیست و دارای آمار نرمالی است بنابراین برای آن یک سرعت نرمالی در نظر می گیریم. تابع چگالی احتمال جابه‌جایی ذره به صورت زیر است [۱]:

$$f_u(x,y,z) = \frac{1}{[2\pi\sigma_x^2(t)]^{\frac{3}{2}}} \exp\left[-\frac{(x^2+y^2+z^2}{2\sigma_x^2(t)}\right] \quad (۱)$$

ثابت پخش ذرات به اندازه آنها وابسته است و برای ذرات کروی در نهایت با استفاده از رابطه استوکس اینشتن، که به صورت زیر است می توان شعاع ذره را محاسبه نمود [۲]:

$$a = \frac{K_B T}{6\pi\eta D} \quad (۲)$$

در رابطه بالا T دمای محیط، K_B ثابت بولتزمن و η ویسکوزیته مایعی است که ذرات در آن معلق هستند.

در آزمایش پراکندگی دینامیکی نور، نور به نمونه حاوی ذرات کلوییدی که دارای حرکات براونی و نامنظم هستند، تابیده می‌شود و به دلیل حرکات ذرات، شدت نور پراکنده شده دارای افت و خیز خواهد بود. برای سنجش همبستگی میدان نور فرودی، تابع خود همبستگی میدان به صورت زیر تعریف می شود [۱]:

$$C(t) = < E_s(t)E_s^*(0) > \quad (۳)$$

که معادله بالا با توجه به اینکه اتوکورولیشن میدان پراکنده شده، تنها به زمان مشاهده بستگی دارد و بنابراین جابجایی ذره فقط به تفاوت زمانی بستگی دارد نوشته شده است[۱].

با فرض ارگودیک بودن سیستم ذرات با حرکت براونی، می‌توان میانگین زمانی را با میانگین گیری آنسامبلی یکسان دانست[۳]. در معادله (۳) میدان پراکنده شده به صورت زیر تعریف می شود [۱]:

$$E_s = E_i A(\theta_n, \varphi_n) \frac{\exp(-\mathrm{i}kR_n)}{R_n} \quad (۴)$$

که E_i میدان فرودی و $A(\theta_n, \varphi_n)$ دامنه میدان پراکنده شده توسط ذرات کروی و R_n فاصله ذرات کروی تا آشکارساز است. با توجه به اینکه در آزمایشگاه بر روی آشکارساز شدت را مشاهده می‌کنیم بنابراین لازم است که

خودهمبستگی شدت را بدست آوریم که معادله آن به صورت زیر است[۲]:

$$A_c(t) = |C(t)|^2 \qquad (۵)$$

برای بدست آوردن رابطه خودهمبستگی در رابطه (۵) از گستره ابعاد آشکارساز صرف نظر شده است. با در نظر گرفتن ابعاد دهانه آشکارساز تابع همبستگی شدت به صورت زیر خواهد بود [۲]:

$$A_c(t) = f(A)|C(t)|^2 \qquad (۶)$$

ضریب $f(A)$ را ضریب همدوسی فضایی گویند که به مساحت سطح آشکارساز و به شکل دقیق و اندازه پراکندگی که از طرف آشکارساز دیده می شود بستگی دارد[۲].

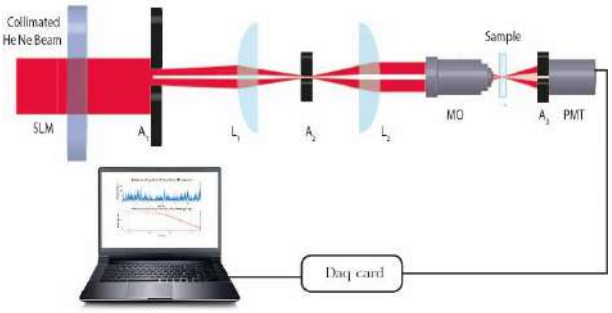
میدان فرودی در انجام آزمایش نور لاگر گوسی می باشدکه دامنه مختلط آن در مختصات استوانه ای (ρ, φ, z) به صورت زیر است[۴]:

$$E_i(\rho,\varphi,z) = A_{l,m}\left[\frac{W_0}{W(z)}\right]\left(\frac{\sqrt{2}\rho}{W(z)}\right)^l L_m^l\left(\frac{2\rho^2}{W^2(z)}\right) \exp\left[-ikz - ik\frac{\rho^2}{2R(z)} - il\varphi + i(l+2m+1)\xi(z)\right] \exp\left(-\frac{\rho^2}{2R(z)}\right) \qquad (۷)$$

که در معادله بالا L_m^l نشان‌دهنده چندجمله‌ای لاگر و $A_{l,m}$ یک ثابت و l و m اعداد صحیح هستند. همچنین W_0، $W(z)$، $R(z)$ و $\xi(z)$ به ترتیب کمینه نصف کمر باریکه، کمر باریکه، شعاع پیچش و فاز گوی هستند. با جایگذاری معادله (۷) در معادله (۶) اتوکورولیشن شدت بدست می آید که از آن برای فیت کردن نتایج و داده‌های آزمایشگاهی استفاده خواهد شد.

چیدمان آزمایش

طرح کلی چیدمان آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. در این آزمایش از لیزر هلیوم نئون ۱۲ میلی وات استفاده شده است. نور لیزر موازی شده از مدولاتور فضایی نور(SLM) عبور کرده و مدهای باریکه لاگر گوسی را می سازد. روزنه های A_1 و A_2 جهت انتخاب مد $l=1$ هستند.



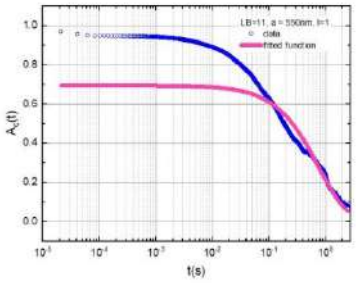
شکل ۱: چیدمان آزمایش پراکندگی دینامیکی نور لاگر گوسی از نانوذرات پلی استایرن

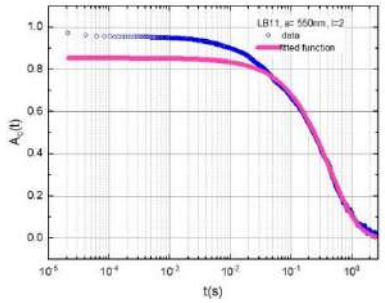
فاصله کانونی عدسیهای L_1 و L_2 به ترتیب ۱۵ و ۲۰ میلیمتر است. یک آبجکتیو 10x برای کانونی کردن نور روی نمونه پلی‌استایرن به کار برده شده است. نمونه مورد نظر ذرات پلی‌استایرن Sigma Aldrich با شماره تولید LB11 و شعاع ۵۵۰ نانومتر است که از حجم حدود ۲۰ میکرولیتر از آن برای این آزمایش استفاده می‌شود. آشکار ساز Photomultiplier tube(PMT) می‌باشد که بر روی آن از روزنه سوزنی A_3 استفاده شده است. شدت نور پراکنده شده توسط PMT به ولتاژ تبدیل می‌شود و سپس به وسیله کارت DAQ-NI-USB6009 با فرکانس داده‌برداری 48kS/s و به صورت 14-bit به رایانه منتقل خواهد شد. دمایT=293K که همان دمای اتاق است در نظر گرفته می شود و کمینه نصف پهنای باریکه لاگر گوسی روی نمونه حدود ۶ میکرومتر بدست می‌آید. ثابت ویسکوزیته آب $\mu = 1.002 \times 10^{-3}$Pa. s است. پس از آن با استفاده از کد MATLAB داده‌ها تحلیل شده و تابع خودهمبستگی آن محاسبه خواهد شد که در بخش بعد نتایج ارائه خواهد شد.

نتایج اندازه گیری

شکل شماره ۲ تابع خود همبستگی نور لاگرگوسی با مد $l=1$ از روی نانوذره با شعاع ۵۵۰ نانومتر را نشان می دهد که تابع خود همبستگی سیگنال با استفاده از کد MATLAB محاسبه شده و در نرم افزار Origin Pro با تابع شدت خود همبستگی نور لاگرگوسی $l=1$ برازش شده است. ثابت پخش با استفاده از برازش این تابع عدد $D = 4.03 \times 10^{-13}\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}$ بدست می‌آید که از معادله شماره (۲) با داشتن ثابت پخش می‌توانیم شعاع ذره را $a = 530\mathrm{nm}$ بدست آوریم.

شکل ۲: تابع خود همبستگی شدت نور لاگر گوسین مد $l=1$ از ذره با شعاع ۵۵۰ نانومتر Sigma Aldrich





شکل ۳: تابع خود همبستگی شدت نور لاگر گوسین مد $l=2$ از ذره با شعاع ۵۵۰ نانومتر Sigma Aldrich

شکل شماره ۳ تابع خود همبستگی شدت نور پراکنده شده با مد $l=2$ از ذرات Sigma Aldrich با شعاع ۵۵۰ نانومتر را نشان می دهد. پس از برازش خودهمبستگی با تابع خود همبستگی نور لاگر گوسی در مد $l=1$، و استفاده از معادله (۲) به ترتیب ثابت پخش، $D = 3.26 \times 10^{-13}\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}$ و شعاع ذره $a = 656\mathrm{nm}$ بدست می‌آید.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش پراکندگی دینامیکی نور لاگرگوسی و چیدمان آزمایش مربوط به آن شرح داده شده و با استفاده از این روش شعاع ذرات پلی استایرن ۵۵۰ نانومتر برابر $a = 530\mathrm{nm} \pm 70\mathrm{nm}$ بدست آمد. همچنین مد نور لاگرگوسی را تغییر دادیم و مشاهده نمودیم که شعاع را برابر $a = 656nm$ با استفاده از خودهمبستگی شدت تابع لاگر گوسی $l=1$ بدست می آوریم که تفاوت ۲۰ درصدی نسبت به اندازه اصلی را بدست می دهد.

سپاسگزاری

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور بابت حمایت این پروژه تشکر می کنیم.

مرجع‌ها

[1] D. Ross, "Laser measurement of Brownian movement with a focused beam," *Optics & Laser Technology*, vol. 21, no. 3, pp. 169-172, 1989.

[2] W. I. Goldburg, "Dynamic light scattering," *American Journal of Physics*, vol. 67, no. 12, pp. 1152-1160, 1999.

[3] K. J. Måløy, W. Goldburg, and H. K. Pak, "Spatial coherence of homodyne light scattering from particles in a convective velocity field," *PHYSICAL REVIEW-SERIES A-*, vol. 46, pp. 3288-3288, 1992.

[4] B. E. Saleh and M. C. Teich, *Fundamentals of photonics*. john Wiley & sons, 2019.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

ساخت و مشخصه یابی فلش لامپ پالسی به منظور تولید طیف تابشی پیوستهUVC

رضا، ابراهیم‌نژاد درزی[۱،۲]، فرشاد، صحبت زاده[۱،۲] ، مطهره، امین جراحی[۱،۲]

۱. گروه فیزیک اتمی و مولکولی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر

۲. هسته پژوهشی فناوری پلاسما، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران. بابلسر
r.darzi26@gmail.com . aminjarahi03@gmail.com . f.sohbat@umz.ac.ir .

چکیده – در این پژوهش به ساخت فلش لامپ پالسی ۵۰۰ وات برای تولید تابش الکترومغناطیسی پیوسته در ناحیه فرابنفش به ویژه در ناحیه UVC پرداخته شده است. پوشش لامپ از جنس کوارتز، الکترودها آلیاژ تنگستن و توریم، گاز کاری آرگون در فشار ۸۰ میلی بار انتخاب شده است. از روش راه اندازی دو مرحله ای زیمر-قوس استفاده شد. ولتاژ بکار گرفته شده برای زیمر ۱۲ کیلو ولت سینوسی پیوسته و ولتاژ ایجاد قوس از ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ ولت اعمال گردید. قله جریان ثبت شده در تخلیه الکتریکی قوس با ولتاژ ۸۰۰ ولت، ۱۰۰۰ آمپر و پهنای کامل در بیشینه شدت ۲۰۰ میکروثانیه اندازه گیری گردید. طیف نشری لامپ از فاصله دور در گستره ۲۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر ثبت گردید. نتایج نشان داد که در ناحیه ۲۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر طیف تابشی پیوسته قابل ملاحظه ای توسط لامپ منتشر می شود اگر چه در بازه طیفی UVC خطوط غالبی هم در طول موج های ۲۷۹ و ۲۴۳ نانومتر ثبت گردید.

کلید واژه- تابش فرابنفش، فرا بنفش خلاء، فلش لامپ.

Fabrication and characterization of a flash lamp to produce continues Spectrum UVC radiation

Reza, Ebrahimnezhad Darzi[1,2], Farshad Sohbatzadeh [1,2] , and Motahare, Aminjarrahi [1,2].

1. Atomic and Molecular Physics group, Science department, University of Mazandaran. Babolsar.

2. Plasma research core, Science department, University of Mazandaran. Babolsar

Abstract- In this research, the construction of 500 watts pulsed flashlight to produce continuous electromagnetic radiation in the ultraviolet region, especially in the UVC region, has been discussed. The lamp cover is made of quartz, tungsten and thorium alloy is used as electrodes and argon working gas at a pressure of 80 mbar. The two-stage Simmer-arc starting method was used. The voltage used for the simmer was 12 kV continuous sinusoidal and the arcing voltage was applied from 800 to 1000 volts. The peak current in the electric discharge with a voltage of 800 volts was measured 1000 amperes with a full width at half maximum 200 microseconds. The emission spectrum of the lamp was recorded from a distance in the range of 200 to 1100 nm. The results showed that in the region of 200 to 280 nm, a considerable continuous radiation spectrum is emitted by the lamp, although in the UVC spectral range, dominant lines were also recorded at the wavelengths of 279 and 243 nm.

Keywords: Flash lamp, Ultraviolet radiation, Vacuum ultraviolet.

مقدمه

فلش لامپ‌ها امروزه در تحقیقات علمی مانند: لیزر، پزشکی و ده‌ها کاربرد دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این میان فلش لامپ‌ها با تابش فرابنفش دارای فناوری پیچیده‌تر می باشند. کاربرد اصلی لامپها با تابش فرابنفش در استریل نمودن و غیر فعالسازی میکرو ارگانیسم ها می باشد [۱-۳]. فلش لامپ ها از تخلیه الکتریکی گاز بی اثر استفاده می کنند و در مد عملیاتی قوس الکتریکی، نور تولید می کنند. عموماً برای پوشش بیرونی این لامپ‌ها که الکترودها و گاز محبوس شده را در برگرفته از شیشه با جنس‌های مختلف استفاده می‌شود. جنس شیشه‌ی انتخاب شده باید برای بازه طول موجی مورد نظر شفاف و قادر به انتقال نور مفید و تابش تولید شده توسط لامپ باشد. این پوشش باید نسبت به هوا و گاز اعمالی نشت ناپذیر باشد و از نظر مکانیکی و در مقابل دمای بالا، محکم و قوی باشد. عموماً ماده ای که در تولید شیشه های فلش لامپ ها و لامپ‌های قوسی برای تولید تابشUV استفاده می شود کوارتز گداخته شده‌ی شفاف می باشد [۱،۳].

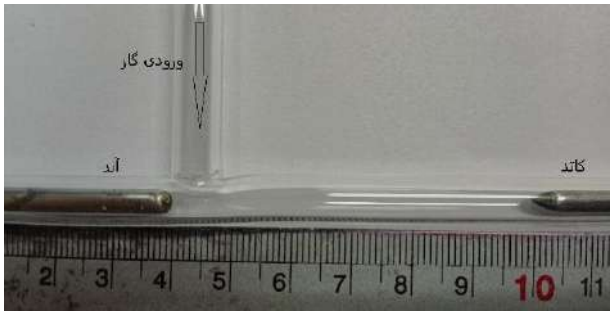
در این پژوهش ابتدا ساختار فلش لامپ تولید شده ارائه می‌شود که شامل ساختار تیوب تخلیه الکتریکی و مدار الکتریکی راه‌انداز می‌باشد. سپس با ارائه مشخصه‌های الکتریکی و اپتیکی فلش لامپ ساخته شده خواهیم پرداخت.

چیدمان و روش انجام آزمایش

به طور کلی ساختار فلش لامپ‌ها از دو قسمت مهم الکترودها و پوشش بیرونی تشکیل می‌شود. مهمترین جزء در فلش لامپ‌ها کاتد می‌باشد. در تولید الکترودها برای فلش لامپ‌ها و لامپ‌های قوسی انتخاب مواد استفاده شده باید با دقت انجام شود. به منظور تأمین الکترون‌های لازم در کاتد از تنگستن با ۲٪ توریوم استفاده شده است. استفاده از تنگستن به دلیل نقطه ذوب بالا در ساختار الکترودی فلش لامپ‌ها مرسوم می‌باشد. وجود توریوم در تنگستن باعث می‌شود تا تابع کار گسیل الکترون کاهش یابد و شرایط تخلیه تسهیل شود. به منظور ایجاد میدان الکتریکی قوی و همچنین ایجاد گرمایونی در کاتد، شکل کاتد به صورت تیز ساخته می‌شود. در حالیکه در آند ایجاد گرمای کمتر مورد نظر می‌باشد، لذا سطح آند به صورت کروی ساخته می‌شود. تصویر الکترودهای مورد استفاده در این پژوهش از جنس تنگستن در شکل (۱) قابل مشاهده است. ساختار کاتد با نوک تیز و آند با شکل کروی مشخص است. طول هریک از الکترودها ۸ سانتی متر و قطر آن‌ها ۴ میلیمتر می‌باشد.

جزء مهم بعدی برای فلش لامپ‌ها، ساختار پوشش بیرونی لامپ می‌باشد که وظیفه نگهداری الکترودها و گاز کاری را دارد، می‌باشد. لامپ ها ی فرابنفش که در محدوده طول موج پایین تر از ۳۰۰ نانومتر کار می‌کنند بیشتر از پوشش استوانه ای با جنس شیشه ی شفاف مانند سیلیکای گداخته و یا کوارتز گداخته استفاده می‌شود. معمولا کوارتز بخاطر ویژگی مکانیکی و گرمایی خوب آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش نیز از تیوب کوارتز مصنوعی با قطر داخلی ۴ میلیمتر و ضخامت ۱ میلیمتر استفاده شده است.

گاز استفاده شده در این فلش لامپ آرگون می‌باشد. به منظور خلأ سازی تیوب فلش لامپ و همچنین گاز دهی به آن، یک تیوب دیگر از جنس کوارتز به صورت عمودی و به شکل T به تیوب اصلی لامپ جوش داده شده است. تصویر تیوب جوش داده شده و نحوه قرارگیری الکترودها در آن در شکل (۱) آورده شده است.

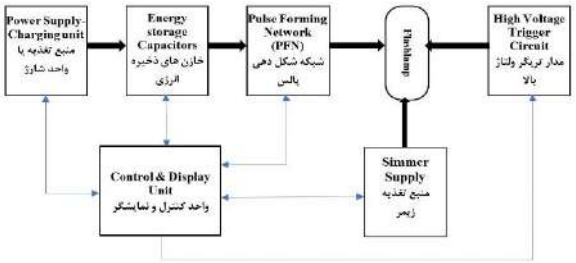


شکل ۱ اتصال تیوب کوارتز برای ورود گاز و قرار گیری الکترودها درون تیوب اصلی لامپ.

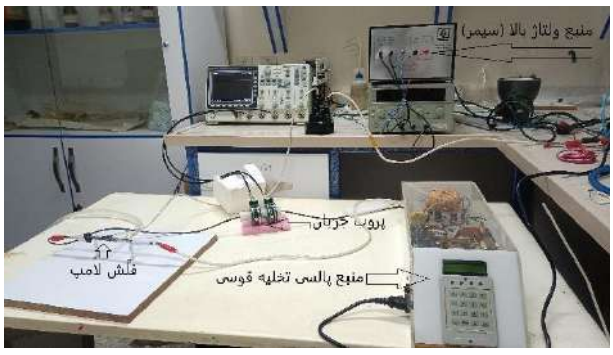
همانگونه که در شکل مشخص است فاصله نوک الکترودها از یکدیگر ۶ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. پس از اتصال تنگستن به کوارتز و همچنین اتصال T شکل محل اتصال بوسیله چسب سیلیکونی درز بندی شده است تا از نشتی های جزئی که ممکن است در اتصال وجود داشته باشد و یا

در اثر کار کردن مداوم لامپ بوجود بیاید جلوگیری شود. تیوب ساخته شده به سیستم خلاء متصل شده و پس از ایجاد خلا در فشار پایه ۱۰ میکرو تور و چندبار شست و شو با گاز آرگون برای بالا بردن خلوص آرگون موجود درون لامپ، گاز کاری آرگون با فشارهای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی بار به درون لامپ تزریق می‌شود تا لامپ آماده شود.

برای شروع تخلیه قوس در فلش لامپ از دو مدار تغذیه جداگانه استفاده می شود. ابتدا با استفاده از یک زیمر(Simmer) برای یونیزه کردن گاز کاری با ولتاژ بالا و جریان پایین استفاده می‌شود. زیمر یک سیم پیچیده شده به دور تیوب فلش لامپ در سطح بیرونی آن است که به منبع ولتاژ بالا (۵ تا ۲۰ کیلو ولت) متصل شده است. پس از یونش اولیه گاز امپدانس لامپ به شدت کاهش می یابد و سپس پالس الکتریکی اصلی با ولتاژ ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ ولت با جریان بالا به الکترودها اعمال می‌شود تا تخلیه قوس شکل بگیرد. بلوک دیاگرام مدار الکتریکی مورد استفاده در شکل (۲) آورده شده است.



شکل ۲ بلاک دیاگرام از مدار الکتریکی راه انداز.

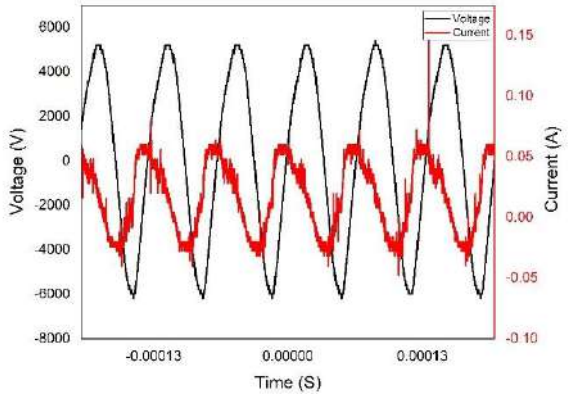


شکل ۳ نمای کلی از چیدمان آزمایشگاهی.

به منظور اندازه گیری در این پژوهش از پروب جریان Pearson مدل 3972، پروب ولتاژ Tektronix مدل P6015A، طیف سنج solar wide range S100 استفاده شده است. نمای کلی چیدمان آزمایشگاهی در شکل (۳) نشان داده شده است.

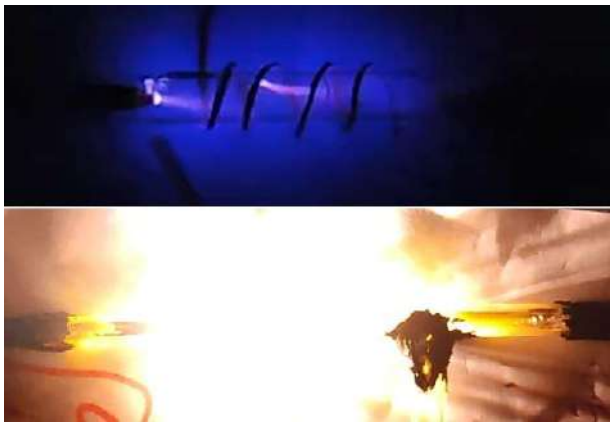
نتایج و بحث

در ابتدا منحنی مشخصه ولتاژ-جریان اعمالی بر روی زیمر در شکل (۴) آورده شده است. مشاهده می‌شود که ولتاژ قله تا قله اعمالی به زیمر ۱۲ کیلوولت می‌باشد در حالیکه جریان RMS تخلیه در حدود ۳۴ میلی‌آمپر اندازه‌گیری شد.



شکل ۴ منحنی مشخصه ولتاژ - جریان زیمر.

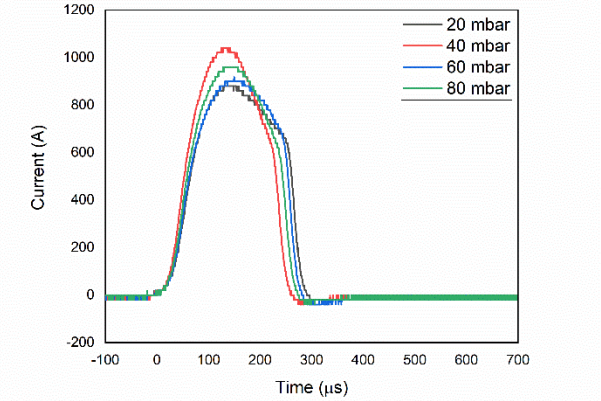
پس از اعمال ولتاژ به زیمر و یونیزه شدن آرگون درون تیوب فلش لامپ، ولتاژ پالسی با پهنای ۲ میکرو ثانیه و ولتاژ خازن های شارژ شده به مقدار ۸۰۰ ولت به دو سر الکترود لامپ اعمال می‌شود که باعث تخلیه قوسی و تابش با شدت بالا می‌شود. تصویر فلش لامپ با اعمال ولتاژ به زیمر و همچنین در هنگام فلش زدن در شکل (۵) آورده شده است.



شکل ۵ لامپ با اعمال ولتاژ زیمر ۱۲ کیلو ولت (تصویر بالا) و پس از اعمال پالس ولتاژ ۸۰۰ ولت در تخلیه قوس الکتریکی.

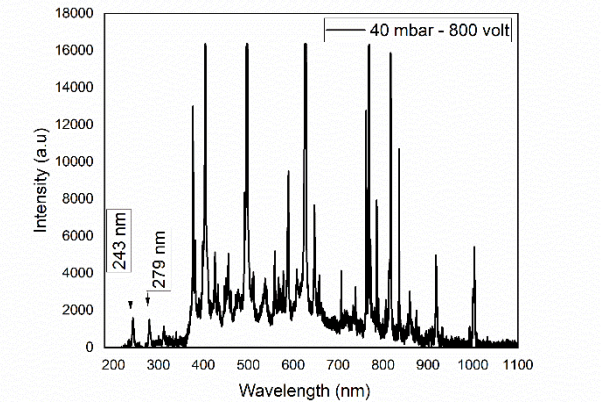
اعمال ولتاژ تخلیه قوس در فشارهای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی بار انجام شده و جریان تخلیه اندازه‌گیری شده است

که در شکل (۶) نشان داده شده است. همانگونه که قابل مشاهده است، به صورت مستقل از فشار کاری لامپ، جریان تخلیه با یکدیگر تقریبا برابر می باشند. بیشینه جریان ثبت شده برابر با ۱۰۰۰ آمپر در ولتاژ ۸۰۰ ولت می باشد.



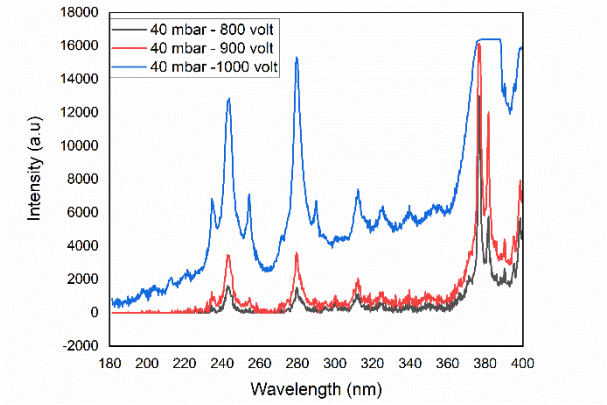
شکل ۶ جریان فلش لامپ در فشار های مختلف در ولتاژ ۸۰۰ ولت.

به منظور بررسی تابش خروجی از فلش لامپ، طیف تابشی آن در گستره ۱۸۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر ثبت شد. طیف مربوط به فلش لامپ در فشار کاری ۴۰ میلی‌بار با اعمال پالس ۸۰۰ ولت در شکل (۷) آورده شده است. در طول‌موج‌های کوچکتر از ۳۰۰ نانومتر دو خط طیفی در ۲۷۹ و ۲۴۳ نانومتر مشاهده می‌شود که نشان دهنده دو خط غالب طیفی در طیف پیوستار فرابنفش در ناحیه UVC می باشد.



شکل ۷ طیف تابشی از فلش لامپ در ولتاژ پالسی ۸۰۰ ولت(با کاهش زاویه پذیرش فیبر).

همچنین به منظور افزایش تابش فرابنفش و تولید تابش‌های با طول موج کوتاهتر از ۲۴۰ نانومتر (UVC) ولتاژ پالس اعمالی به ۹۰۰ و ۱۰۰۰ ولت افزایش داده شد. طیف تابشی ثبت شده در بازه ۲۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر در شکل (۸) آورده شده است. با مشاهده خروجی طیف تابشی، مشاهده می‌شود با افزایش ولتاژ پالسی نه تنها شدت خطوط طیفی در طول موج‌های یاد شده افزایش می‌یابد، بلکه شدت تابش پیوسته در ناحیه فرابنفش نیز افزایش یافته و تابش ها با طول موج-های کوتاهتر تولید می‌شوند.



شکل ۸ طیف تابشی UV برای ولتاژ اعمالی مختلف.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ساخت فلش لامپ با تابش UVC پیوسته معرفی شد. با ارائه مشخصات ولتاژ – جریان و همچنین طیف تابشی، ملاحظه شد که با افزایش ولتاژ بانک خازنی برای تخلیه الکتریکی قوس، شدت تابش UV افزایش یافته و همچنین تابش با طول موج کوتاهتر (UVC) نیز تولید می‌شود. در این لامپ در ولتاژ ۸۰۰ ولت به عنوان ولتاژ شارژ بانک خازنی و با پهنای پالس در نیمه بیشینه شدت جریان به میزان ۲۰۰ میکروثانیه، توان الکتریکی تزریقی ۵۰۰ وات تخمین زده شد.

مرجع‌ها

[1] Wekhof, Alexander. "Disinfection with flash lamps." PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology 54.3 (2000): 264-276.

[2] Memarzadeh, Farhad. "A review of recent evidence for utilizing ultraviolet irradiation technology to disinfect both indoor air and surfaces." Applied Biosafety 26.1 (2021): 52-56.

[3] Tran, Hai Duc Minh, et al. "Potential of UV-B and UV-C irradiation in disinfecting microorganisms and removing N-nitrosodimethylamine and 1, 4-dioxane for potable water reuse: A review." *Chemosphere* 286 (2022): 131682.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

بررسی ضرایب شکست و پارامتر نظم بلورهای مایع خالص و آلائیده در دماهای مختلف

مهسا خادم صدیق[۱*]، مریم بیگ محمدی[۱]، امیرحسین مویدنیا[۱]

[۱]گروه مهندسی اپتیک و لیزر، دانشگاه بناب، بناب، ایران

mahsa.sadigh@ubonab.ac.ir

چکیده – در این کار تجربی، ضرایب شکست عادی و غیرعادی و پارامتر نظم بلور مایع های نماتیک و آلائیده شده با درصد وزنی مختلف ماده R-1011 بررسی می شود. مطابق نتایج بدست آمده ضرایب شکست و پارامتر نظم نمونه های مورد مطالعه شدیدا وابسته به دما و درصد وزنی ماده کایرال افزوده شده به بلور مایع خالص می باشد. با افزایش دما مقادیر پارامتر نظم و ضرایب شکست غیرعادی کاهش می یابد. بعلاوه، افزودن ماده کایرال منجر به کاهش ضرایب شکست و پارامتر نظم بلور مایع نماتیک مورد می مطالعه می گردد. از اینرو با افزودن یک ماده کایرال با درصد وزنی مشخص به یک بلور مایع خالص می توان ویژگی های فیزیکی آن را کنترل نمود.

کلید واژه- کلید واژه- بلور مایع، پارامتر نظم، دما، ضریب شکست.

Investigation of refractive indices and order parameter of pure and doped liquid crystals

Mahsa Khadem Sadigh*[1], Maryam Beygmohamadi[1] and Amirhossein Moayednia[1]

[1]Department of Laser and Optical Engineering, University of Bonab, Bonab, Iran

mahsa.sadigh@yahoo.com

Abstract- In this experimental work, ordinary and extraordinary refractive indices and order parameter of pure and doped nematic liquid crystals with different weight percentage of R-1011 were investigated. According to the results, refractive indices and order parameter of liquid crystal samples depend highly on temperature and weight parentage of chiral dopant. By increasing temperature, order parameter and refractive indices values were decreased. Moreover, by increasing the weight percentage of chiral dopants, the values of order parameter and refractive indices were decreased. Therefore, the physical properties of a nematic liquid crystal can be controlled by weight percentage of doped chiral dopant.

Keywords: Liquid crystal, Order parameter, Refractive index, Temperature.

مقدمه

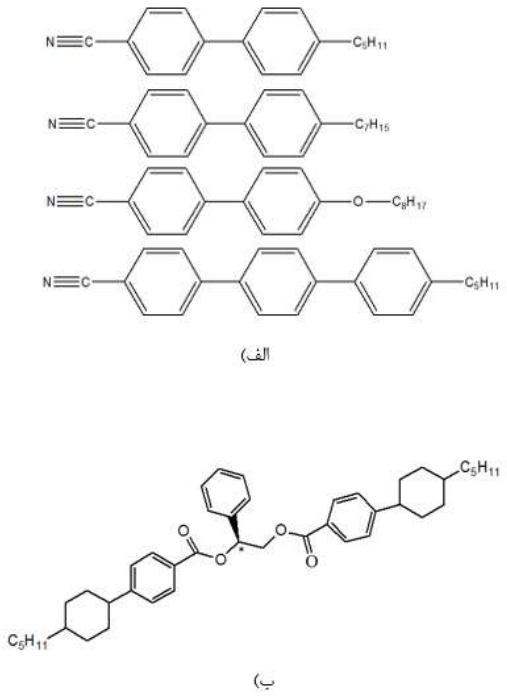
برای اولین بار در سال ۱۸۸۸ میلادی، یک گیاه شناس اتریشی به نام فردریک راینیتزر در حال مطالعه بر روی ماده بنزوات کلسترول مشاهده کرد که این ماده دارای دو نقطه ذوب متفاوت می باشد. این ماده در دمای ۱۴۵ درجه سانتیگراد از حالت جامد بلوری ذوب شده و یک ماده کدر به دست می آمد و با افزایش دما در ۱۷۸/۵ درجه سانتیگراد حالت کدری مایع از بین رفته و مایع شفافی حاصل میشد. وی برای حل این مسأله از لهمان فیزیکدان آلمانی که متخصص اپتیک بلورها بود کمک خواست. لهمان متقاعد شد که مایع کدر دارای نوعی نظم منحصر بفرد است. در حالی که مایع شفاف در دمای بالاتر، همان بی نظمی مختص مایعات را دارد و اعلام کرد که مایع کدر حالت جدیدی از ماده بوده و آن را بلور مایع نامید. این پدیده مدتها به عنوان یک کنجکاوی آزمایشگاهی باقی ماند تا اینکه در سال ۱۹۲۲ یک طبقه بندی برای بلور مایع ها بر اساس تفاوت نظم مولکولی هریک معرفی شد که منجر به کشف و سنتز بلور مایع های جدید در طول سال های بعد شد. این گروه از مواد با فاز میانی و ویژگی های ساختاری منحصر به فرد نقش مهمی در اپتیک و فوتونیک ایفا می کنند [۱].

بلورهای مایع با ویژگی های ساختاری، نظم جهتی و مکانی متفاوت بطور گسترده در پنجره های هوشمند، نمایشگرها و فیلتر ها مورد استفاده قرار می گیرند [۲-۵]. در طی سالهای اخیر، از میان انواع مختلف بلور مایع های ترموتروپیک، نماتیک ها با تقارن استوانه ای و ساختار مولکولی نسبتا ساده تر، توجه گروههای مختلف تحقیقاتی را به خود جلب نموده اند. تقارن ساختاری و نظم جهتی موجود در این گروه از بلور مایع ها منجر به بروز ویژگی های فیزیکی مختلف در دو راستای موازی و عمود بر بردار راهنما می شود.

پارامتر نظم یکی از پارامترهای مهم توصیف کننده رفتار بلورهای مایع تحت شرایط مختلف آزمایش می باشد. از اینرو محاسبه این پارامتر و دیگر پارامترهای فیزیکی مانند ضرایب شکست و ویژگی های قطبش پذیری بلور مایع ها می تواند اطلاعات ارزشمندی از نحوه عملکرد بلور مایع ها در فرایندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ارائه دهد. در این کار تجربی ضرایب شکست عادی و غیرعادی بلور مایع های خالص و آلائیده شده در دماهای مختلف اندازه گیری و نتایج بدست آمده جهت بررسی پارامتر نظم و ویژگی های قطبش پذیری بلورمایع های مورد مطالعه مورد استفاده قرار می گیرد.

مواد و روش ها

در این کار تجربی بلور مایع های خالص E7 و آلائیده با درصد های وزنی مختلف از R-1011 با ساختار شمیایی نشان داده شده در شکل (۱) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. به همین منظور بلور مایع و ماده کایرال مورد مطالعه از شرکت Merck خریداری گردید.

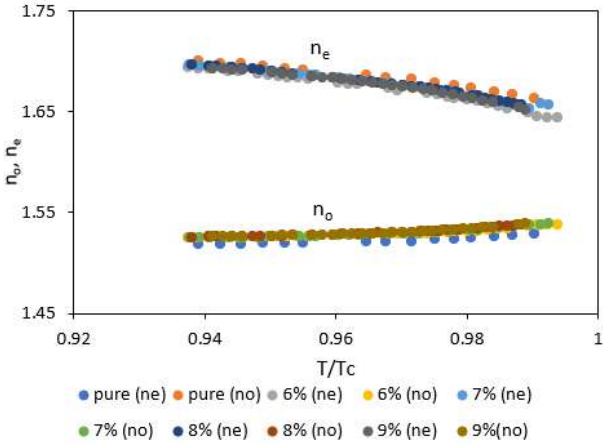


شکل (۱): ساختار شیمیایی مواد مورد استفاده

به منظور مطالعه بررسی اثرات دما بر روی ویژگی های فیزیکی بلورمایع های تهیه شده، پارامتر نظم و ضرایب شکست عادی (n_o) و غیرعادی (n_e) بلورهای مایع خالص و آلائیده اندازه گیری شد. برای اندازه گیری ضرایب شکست از یک دستگاه ضریب شکست سنج *bbA* مدل *ED/۶۰* استفاده شد. این دستگاه دارای نمایشگر دمای محیط مورد مطالعه است. برای ثابت نگه داشتن دمای نمونه در آن به هنگام اندازه گیری ضریب شکست، از یک دستگاه حمام آب گرم مجهز به سیستم چرخش آب استفاده شد. به این ترتیب دمای محیط مورد مطالعه در این سیستم نیز با دقت ۰/۱ درجه کنترل گردید.

نتایج و بحث

در این قسمت ابتدا نتایج حاصل از اثرات دما بر روی ضرایب شکست عادی و غیر عادی بلور های مایع خالص و آلائیده با ۶٪، ۷٪، ۸٪ و ۹٪ وزنی از ماده کایرال R-1011 ارائه می شود.



شکل (۲)- تغییرات ضرایب شکست بلورهای مایع خالص و آلائیده با R-1011 بر حسب دما

همانطوریکه در شکل (۲) نشان داده شده است با افزایش دما ضرایب شکست غیر عادی کاهش و ضرایب شکست عادی افزایش می یابد. همچنین بلور مایع نماتیک خالص ضرایب شکست بزرگتری نسبت به بلورهای مایع خالص آلائیده به R-1011 از خود نشان می دهد. . در این حالت معادله هالر به منظور بررسی وابستگی دمایی ضرایب شکست نمونه های مورد مطالعه، مورد استفاده قرار می گیرد.

$$\Delta n = \Delta n_0 (1-\frac{T}{T_c})^{\beta} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، Δn_0 ضریب شکست در دمای صفر کلوین، β ثابت مشخصه بلور مایع و T_c دمای گذار بلور مایع مورد مطالعه می باشد. قابل ذکر است که دمای گذار بلور مایع خالص و آلائیده با ۶٪، ۷٪، ۸٪ و ۹٪ از ماده کایرال R-1011 به ترتیب برابر است با ۳۳۲/۲۰، ۳۲۸/۶۸، ۳۲۸/۶۰، ۳۲۸/۴۶ و ۳۲۷/۴۰ .

با استفاده از روش برازش خطی، مقادیر Δn_0 و β قابل حصول می باشند. در اینصورت با استفاده از روابط زیر می توان وابستگی دمایی ضرایب شکست را بدست آورد.

$$< n^2 >= \frac{(n_e{}^2 + 2n_0{}^2)}{3} \qquad (۲)$$

$$\sqrt{< n^2 >} = A + BT \qquad (۳)$$

ثوابت A و B با استفاده از روش برازش خطی بدست می آید.

$$n_e =< n > + \frac{2}{3}\Delta n \qquad (۴)$$

$$n_o =< n > - \frac{1}{3}\Delta n \qquad (۵)$$

با جایگذاری روابط (۲) و (۳) در رابطه های (۴) و (۵) می توان نوشت:

$$n_e = A + BT + \frac{2}{3}\Delta n_0 (1-\frac{T}{T_c})^{\beta} \qquad (۶)$$

$$n_o = A + BT - \frac{1}{3}\Delta n_0 (1-\frac{T}{T_c})^{\beta} \qquad (۷)$$

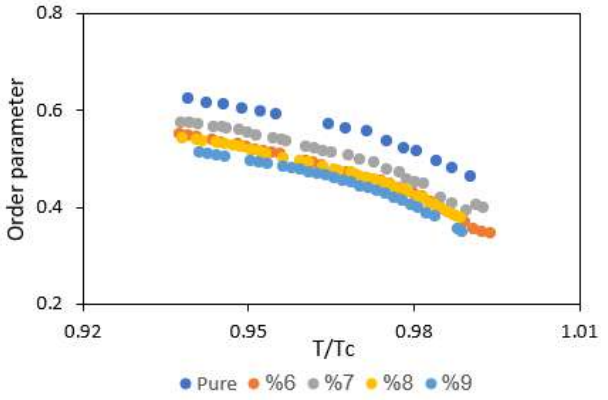
معادلات فوق به معادلات اصلاح شده چهارپارامتری مشهور هستند و در این کار تجربی به منظور بررسی اثرات دمایی بر روی ضرایب شکست عادی و غیرعادی بلور مایع نماتیک

خالص و آلائیده شده با مواد کایرال با درصد وزنی مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. نتایج بدست آمده در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱)- مقادیر بدست آمده از برازش (A، B، Δn_0 و β)

Sample	A	B	Δn_0	β
E7	1.7008	-0.0004	0.2924	0.1702
E7+6% S-811	1.7372	-0.0005	0.3098	0.2204
E7+7% S-811	17074	-0.0004	0.2981	0.2004
E7+8% S-811	1.7079	-0.0004	0.3176	0.2216
E7+9% S-811	1.7070	-0.0004	0.3278	0.2350

مطابق نتایج حاصل در جدول (۱)، بلورهای مایع آلائیده شده مقادیر Δn_0 بزرگتری در مقایسه با بلورهای مایع خالص از خود نشان می دهند. در واقع ناخالصی های کایرال می توانند جهتگیری بلورهای مایع را مختل نموده و مقادیر دوشکستی را تحت تاثیر قرار دهند. همچنین می توان با استفاده از نتایج بدست آمده جهت بررسی پارامتر نظم [۶] بلورهای مایع خالص و آلائیده استفاده نمود. در شکل (۳) تغییرات پارامتر نظم با استفاده از رابطه وکس در دماهای مختلف برای نمونه های مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل (۳)- تغییرات پارامتر نظم بلورهای مایع خالص و آلائیده با R- 1011 بر حسب دما

مطابق شکل (۳)، افزودن ماده کایرال راستگرد R-1011 به بلور مایع خالص نماتیک منجر به کاهش نظم جهتی بلور مایع نماتیک می شود. از اینرو، با افزودن ماده کایرال R-1011 با درصد وزنی مشخص به بلور مایع نماتیک خالص، می توان میزان نظم جهتی آن را کنترل نمود.

نتیجه گیری

مطابق نتایج بدست آمده افزودن ماده کایرال R-1011 به بلور مایع نماتیک منجر به کاهش ضرایب شکست و نظم جهتی بلور مایع نماتیک مورد مطالعه می شود. در اینصورت با انتخاب ماده مناسب جهت آلائیدن بلور مایع نماتیک می توان تغییرات نظم جهتی آن را کنترل نمود.

مرجع‌ها

[2] I. C. Khoo, "Liquid crystals", 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 2007.

[3] S. Gauza, X. Zhu, W. Piecek, R. Dabrowski, ST. Wu, " Fast switching liquid crystals for color-sequential LCDs", J. Disp. Technol., Vol.3,350-352, 2007.

[4] H. J. Masterson, G. D. Sharp, K. M. Johnson, " Ferroelectric liquid-crystal tunable filter", Opt Lett., Vol. 14, 1249, 1989.

[5] M. Mitov, "Cholesteric liquid crystals with a broad light reflection band", J Adv Mater., Vol. 24, 6260-6276, 2012.

[6] H. Khandelwal, A. P. H. J. Schenning, M. G. Debije, " Infrared regulating smart window based on organic materials", Adv Energy Mater., Vol. 7, 1602209, 2017.

[7] M. S. Zakerhamidi, M. H. Majles Ara, A. Maleki, " Dielectric anisotropy, refractive indices and order parameter of W-1680 nematic liquid crystal", J. Mol. Liq., 181, 77-81, 2013.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

طراحی و ساخت یک حسگر نیرو با استفاده از ریز تشدیدگر اپتیکی و تعیین مشخصات آن

مهدی شایگان منش، ریحانه مختاری و محمدحسین مهدیه

نارمک - دانشگاه علم و صنعت ایران – دانشکده فیزیک

چکیده – در این مقاله طراحی و ساخت آزمایشگاهی یک حسگر نیرو با استفاده از میکرو تشدیدگر(ریز تشدیدگر) نوری گزارش میشود. میکروتشدیدگر از جنس پلیمر شفاف با هندسه استوانه ای طراحی و بصورت آزمایشگاهی ساخته شد. از محلول گلیسیرین و رادامین B برای محیط تشعشع در داخل کانال تشدیگر استفاده شد. این محلول بوسیله فرکانس دوم لیزر پالسی Nd:YAG (نانوثانیه) با شدت مناسب پمپ و تحریک شده است. رفتار حسگر با اعمال نیرو روی تشدیدگر مورد بررسی قرار گرفت. اعمال نیرو موجب تغییر سطح مقطع تشدیدگر استوانه ای از شکل دایروی به بیضیگون شد. تغییرات سطح مقطع منجر به تغییر طول موج تشدیدی شده است. نتایج نشان می دهند که با اعمال نیرو ، طول موج تشدیدی به سمت طول موج های کوچکتر جابجا می شود. با ثبت تصویر تغییر شکل سطح مقطع کانال و اندازه گیری آن به کمک یک مدل ساده ، تغییرات طول موجی محاسبه شد. نتایج تجربی توافق خوبی با نتایج محاسباتی دارند.

کلید واژه- جابجایی طول موجی، حسگر نیرو، رادامین B ، ریز تشدیگر، ، ریزتشدیدگر با مقطع بیضی.

Design, fabrication, and characterization of force sensor using an optical micro-resonator

[1]Mahdi Shayganmanesh, Rayhane Mokhtari, Mohammad Hossein Mahdieh

Department of Physics, Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran, IRAN,

[1] shaygan@iust.ac.ir [2]r-mokhtari96@physics.iust.ac.ir [3]mahdm@iust.ac.ir

Abstract- In this paper, design and fabrication of a force sensor by using optical micro-resonator is presented. The micro-resonator is a transparent polymer with cylindrical geometry. The micro-resonator is filled with solution of Rhodamine B in Glycerol and optically pumped by second harmonic of a nanosecond Nd:YAG laser. The sensor was examined by applying a force so that the circular cross section of the channel was changed to elliptical geometry. Such geometrical deviation in channel cross section results in shifting the resonance wavelength towards shorter wavelength. Recording the cross section diameters, and analyzing the data by a simple model, the wavelength shifts were extracted. The results show good agreement between the experiment and calculation.

Keywords: Force sensor, Micro-resonator, Micro-resonator with elliptical cross section, Rhodamine B, Wavelength shift.

مقدمه

به‌دلیل کوچک شدن دستگاه ها در دهه‌های گذشته، سیستم های الکترومکانیک[10]، با مصرف کم انرژی، بازده بالا و تولید انبوه آسان مورد توجه زیادی قرارگرفته‌اند. این دستگاه‌ها در میکروروباتیک، دستگاه‌های پزشکی و الکترونیک قابل حمل، کاربرد دارند. اگرچه روش‌های سنجش نیرو در مقیاس های کوچک به‌خوبی توسعه یافته اند، اما هنوز این روش‌ها برای تشخیص نیروهای میکرونیوتنی مناسب نیستند. در میان انواع مختلف روش‌های سنجش، ریزتشدیدگرها بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. در این ریز تشدیدگر ها معمولا مدهایی تحت عنوان *Whispering Gallery Mode (WGM)* شکل می گیرد، که به دلیل فاکتور کیفیت بالا در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته اند*[1]*. عبارت WGM برای اولین بار در سال ۱۹۱۲ توسط لرد رایلی[11] مطرح شد. این مد ها شامل یک موج صوتی است که در پیرامون یک سطح مقعر بسته شکل می گیرد. از منظر هندسی، این مدها با استفاده از بازتاب‌های مکرر هدایت می‌شوند که با تقریب کوچک بودن جذب و پراکندگی، بررسی می شوند. ایده WGM در امواج الکترومغناطیسی نیز شکل می گیرد که بر اساس آن سامانه های سنجشی متنوعی ساخته شده است. در طیف نوری ساختار های میکرویی برای این سامانه ساخته می شود که برای حسگر های نوری مورد استفاده قرار میگیرند*[2-4]* . در این مقاله با استفاده از یک ریزتشدیدگر (میکرو تشدیدگر) تلاش شده است تا بصورت نسبی نیروی وارد بر تشدیدگر اندازه گیری شود. این اندازه گیری بر مبنای تغییر مدها در تشدیدگر می باشد. اساساً اعمال نیرو باعث تغییر شکل هندسی تشدیدگر می شود که درنتیجه مدهای تشدیدی را تغییر می دهد. با استفاده از یک مدل ساده، محاسباتی نیز انجام شده است که نتایج آن با نتایج آزمایش مورد مقایسه قرار گرفته است.

مبانی نظری و مدل ریاضی

اساس کار تشدیدگر بر بازتاب کلی داخلی موج الکترومغناطیسی می باشد. با بازتاب کلی موج رونده در داخل تشدیدگر، پدیده تشدید شکل می گیرد. شرط تشدید در یک تشدیدگر دایره‌ای، با رابطه (۱) توصیف می شود.

$$m\lambda = 2\pi Rn \qquad (۱)$$

در این رابطه، λ طول موج تشدید n ضریب‌شکست تشدیدگر، m عدد صحیح و R شعاع تشدیدگر دایره‌ای است. به طور کلی اساس عملکرد حسگرهای مبتنی بر ریزتشدیدگرها، اندازه گیری تغییرات طول موج تشدید ناشی از تغییرات فیزیکی سیستم است. بنابراین تغییر در شعاع حفره یا تغییر در ضریب شکست باعث تغییر در طول موج تشدید می شود *[5]*.رابطه (۲) این تغییرات را نشان میدهد.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta n}{n} + \frac{\Delta R}{R} \qquad (۲)$$

در این مقاله با اعمال نیرو به یک ریزاستوانه، سطح مقطع آن تبدیل به بیضی می‌شود. بنابراین برای محاسبه‌ی طول موج تشدید، نمی‌توان از رابطه‌ی (۱) استفاده کرد. همانطور که مدهای WGM در دیسک دی الکتریک بیضوی منتشر می شود ثابت انتشار آن در امتداد محیط دیسک تغییر می کند. ثابت انتشار و توزیع میدان به شدت به شعاع انحنای بیضی بستگی دارد. ثابت‌های انتشار مدهای WGM در دیسک بیضوی را می‌توان از ثابت‌های انتشار و میدان‌های موضعی تعیین کرد که برای دیسک‌های دایره‌ای محاط شده در هر نقطه از محیط محاسبه می‌شوند (شکل۱). رابطه (۳) تغییر طول موج تشدید ناشی از تغییر شکل تشدیدگر را ارائه می کند.

$$\Delta\lambda \approx \frac{\lambda_0^2}{n\int_0^{2\pi}\sqrt{a^2sin^2(\theta)+b^2cos^2(\theta)}d(\theta)} \qquad (۳)$$

[10] **Micro-Electromechanical Systems (MEMS)**

[11] **Lord Rayleigh**

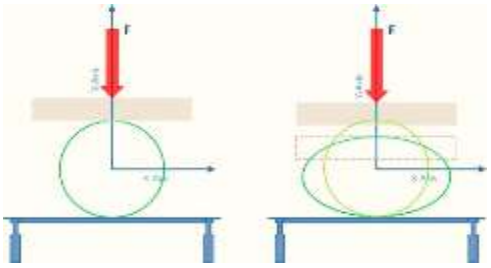
در رابطه (۳) λ_0 طول موج مربوط به یک تشدیدگر با مقطع دایروی است و a و b به ترتیب شعاع‌های اصلی و فرعی بیضی هستند[6-7].

روش انجام آزمایش

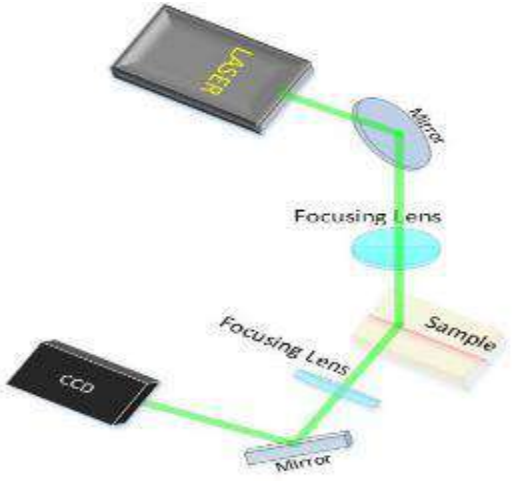
تشدیدگر یک کانال استوانه ای (قطر ۱۲۰ میکرون) می باشد که در داخل یک قطعه مکعب مستطیل شفاف (از جنس پلیمر پی دی ام اس) ایجاد شده است. با استفاده از یک سرنگ، محلولی



(الف)

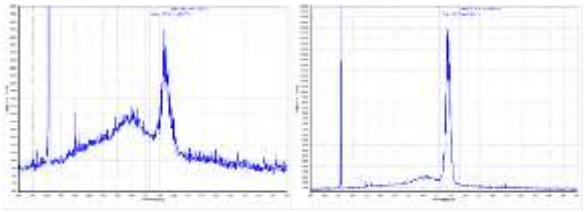


(ب)

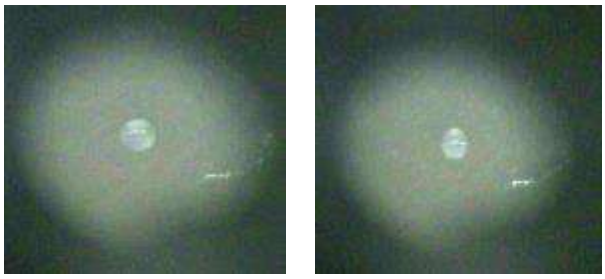


(ج)

شکل۲ الف) تصویر چیدمان اعمال نیرو به قطعه پلیمری. ب)شماتیک تغییر شکل سطح مقطع استوانه بااعمال نیرو. ج)به ترتیب شماتیک آزمایش



(الف) (ب)



(ج) (د)

شکل ۳الف) طول موج تشدید قبل از اعمال نیرو. ب) طول موج تشدید بعد از دو دور چرخش. ج) تصویر سطح مقطع استوانه قبل از اعمال نیرو. د) تصویر سطح مقطع پس از اعمال نیرو

جدول۱: a و b ابعاد تغییرشکل یافته کانال و تغییرات طول موجی وابسته به همراه طول‌موج‌های‌تخمین زده شده(محاسباتی و اندازه‌گیری شده) و جابه‌جایی اهرم اعمال نیرو d .

b(nm)	a(nm)	$\Delta\lambda(nm)$	λ_{theory} (nm)	$\lambda_{\text{experiment}}$ (nm)	d (μm)
3.9215e+04	40293	1.0745	611.9	611.71	500
3.3137e+04	3.8627e+04	1.1838	610.5	612.81	750
2.9901e+04	40195	1.2115	611.6	607.6	1000
3.0293e+04	4.0530e+04	1.1790	606.4	607.6	1250
2.9803e+04	3.9417e+04	1.2068	606.4	607.6	1500
2.8435e+04	3.8338e+04	1.2502	606.3	607.33	1750
29215	3.9117e+04	1.2209	606.1	605.68	2000
2.9130e+04	3.9515e+04	1.2081	604.5	605.68	2250
2.9314e+04	3.9610e+04	1.2034	604.5	606.23	2500
2.8922e+04	4.0003e+04	1.2045	605.5	605.68	2750
28627	40295	1.2016	604.5	605.95	3000
2.7943e+04	4.0303e+04	1.2133	604.7	605.68	3250
28533	40299	1.2030	604.5	605.13	3500
2.8448e+04	4.1876e+04	1.1732	604.0	605.13	3750
28725	4.0885e+04	1.1870	604.0	602.65	4000
28929	4.1777e+04	1.1583	601.5	602.65	4250
2.8731e+04	41481	1.1665	601.5	599.63	4500

از گلیسرین و رنگدانه‌ی رودامین بی[۱۲] داخل کانال تزریق شده است. رودامین داخل کانال بوسیله هارمونیک دوم (۵۳۲ نانومتر) یک پرتو لیزر پالسی *(Q switch- Nd:YAG)* مورد تابش قرار گرفته و پمپ می شود. تشعشعات رودامین برانگیخته در داخل کانال، در یک بازه طیفی بسیار محدود تشدید می گردد. بازه طیفی به ابعاد تشدیدگر وابسته است. در صورتیکه سطح مقطع دایروی تشدیدگر در اثر اعمال نیرو به سطح مقطع بیضی‌گون تبدیل شود، یک جابجایی طول موجی در بازه طیفی تشدید شده ایجاد می گردد که در محدوده شرایط آزمایش، متناسب با میزان نیروی وارده می باشد. برای سادگی، میزان جابجایی اهرم اعمال نیرو در این مقاله با پارامتر d معرفی شده است. طیف طول موج تشدید با استفاده از دستگاه طیف سنج اندازه گیری می شود. نیرو توسط یک سامانه مکانیکی میکروجابجاگر از بالا روی قالب مکعب مستطیلی تشدیدگر اعمال می شود. با هر دور چرخش میکرومتر مربوط به جابجا گر، قطعه ای که روی قالب تشدید گر نیرو وارد می کند به اندازه ۵۰۰ میکرومتر به سمت پایین حرکت میکند. جابجایی کلی در حدود ۴/۵ میلی متر با فاصله های ۵۰۰ میکرومتر اعمال شده است و هر بار طیف گسیل ردامین با طیف سنج ثبت شده است. اطلاعات طول موج تشدید در جدول (۱) ثبت شده است. برای ثبت تصویر سطح مقطع کانال و اندازه گیری ابعاد آن از یک دوربین سی سی دی با اپتیک مناسب استفاده شده است. دو تصویر نمونه (قبل از اعمال نیرو و بعد از اعمال نیرو) به همراه طیف های مربوطه در شکل ۳ نشان داده شده است. با استفاده از اطلاعات تصویر و نرم افزار دیجی‌مایزر شعاع های a و b سطح مقطع بیضی گون در هر مرحله اندازه گیری شده و در جدول (۱) ثبت شده است.

نتایج آزمایش ها و محاسبات

تغییرات طول موج ناشی از تغییر شکل سطح مقطع کانال با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شده و در جدول (۱) درج شده است. نمونه‌ای از تصاویر طیف تشدیدی بدست آمده توسط طیف‌سنج و تصاویر بیضی در شکل۳ نمایش داده شده است. اطلاعات جدول نشان می دهد که انطباق خوبی بین نتایج آزمایش و نتایج محاسباتی وجود دارد. با بررسی طیف ثبت شده تشدیدگر، می‌توان میزان نیروی اعمال شده را به‌طور نسبی تخمین زد. همچنین نتایج نشان می‌دهند که با افزایش مقدار نیرو، طول موج تشدید به سمت طول موج‌های کوچکتر جابجا می شود. برای تکمیل اطلاعات نیاز است تا جابجایی اهرم اعمال نیرو را بر حسب مقادیر نیروکالیبره نمود که در برنامه آینده آزمایش قرار دارد.

نتیجه‌گیری

یک حسگر اعمال نیرو با استفاده از میکرو تشدیدگر نوری با هندسه استوانه ای طراحی و بصورت آزمایشگاهی ساخته شد. رفتار حسگر با اعمال نیرو روی تشدیدگر مورد بررسی قرار گرفت. اعمال نیرو موجب تغییر سطح مقطع تشدیدگر استوانه ای از شکل دایروی به بیضیگون شد. نتیجه این تغییر شکل ، جابجایی طول موج تشدیدی به سمت طول موج های کوچکتر شد. با ثبت تصویر تغییر شکل سطح مقطع کانال و اندازه گیری آن، تغییرات طول موجی محاسبه شد و نتایج آن با نتایج تجربی مقایسه گردید. توافق خوبی بین نتایج تجربی و محاسباتی وجود دارد.

مرجع‌ها

Y. Wei and Q. Xu, "An overview of micro-force sensing techniques," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 234, pp. 359-374, 2015.

X. Jiang, A. J. Qavi, S. H. Huang, and L. Yang, "Whispering-gallery sensors," *Matter*, vol. 3, no. 2, pp. 371-392, 2020.

T. Ioppolo, M. Kozhevnikov, V. Stepaniuk, M. V. Ötügen, and V. Sheverev, "Micro-optical force sensor concept based on whispering gallery mode resonators," *Applied optics*, vol. 47, no. 16, pp. 3009-3014, 2008.

M. R. Foreman, J. D. Swaim, and F. Vollmer, "Whispering gallery mode sensors," *Advances in*

[12] **Rhodamine B (RhB)**

optics and photonics, vol. 7, no. 2, pp. 168-240, 2015.

K. D. Heylman, K. A. Knapper, E. H. Horak, M. T. Rea, S. K. Vanga, and R. H. Goldsmith, "Optical microresonators for sensing and transduction: a materials perspective," *Advanced Materials*, vol. 29, no. 30, p. 1700037, 2017.

K. Matsumura, K. Shiraishi, and I. Okada, "Whispering gallery mode resonance in an elliptic dielectric disk for millimeter through optical wave application," in *1993 23rd European Microwave Conference*, 1993: IEEE, pp. 608-610Whispering Gallery Mode Laser in an Elliptical Microring Reyhan Baktur1 , L. W. Pearson2 , and J. M. Ballato

R. Baktur, L. Pearson, and J. Ballato, "Whispering Gallery Mode Laser in an Elliptical Microring," *The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)*, pp. 99-107, 2010

طراحی و ساخت طیف‌سنج با استفاده از توری پراشی مقعر

ابوالحسن مبشری*، مرضیه همتی و مائده ملاآقابابایی

پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر-دانشگاه صنعتی مالک اشتر- اصفهان

*ایمیل نویسنده مسئول: **mobashery59@yahoo.com**

چکیده –ساده‌ترین ساختار طیف سنج‌ها شامل دو آینه موازی سازی و کانونی کننده، توری پراش و شکاف ورودی است. برای کاهش حجم و وزن طیف سنج می‌توان از یک توری مقعر استفاده کرد که منجر به حذف دو آینه کانونی ساز و موازی ساز می‌شود. تصویر این نوع طیف سنج بر روی دایره رولند تشکیل می‌شود. در این مقاله، شبیه سازی و برپایی آزمایشگاهی یک طیف سنج با استفاده از توری مقعر با شعاع انحناء ۱۱۰ mm انجام شده است. این طیف سنج با قطر دایره رولند برابر ۱۱۰ mm بسیار ساده و کم حجم است. شبیه سازی و نتایج تجربی، وجود ابیراهی آستیگماتیسم را در الگوی تصویر طیف سنج نشان می‌دهد.

کلید واژه- طیف‌سنج، توری پراش مقعر، دایره رولند، نرم افزار زیمکس

Design and Fabrication of a Spectrometer Using Concave diffraction Grating

Abolhasan Mobashery, Marziyeh Hemati, and Maede Mollaaghababayi

Optic and Laser Science and Technology Research Center, Malek-e Ashtar University of Technology, Isfahan

Abstract- The simplest structure of a spectrometer is consisting of two collimating and focusing mirrors and an entrance slit. To decrease the weight and volume of the spectrometer one can use a curved grating to eliminate the collimating and focusing mirrors of the spectrometer. Image of this spectrometer lye on the Rowland circle. In this paper, simulation and experimental set up of a spectrometer by means of curved grating with radius of curvature 110 mm have been done. This spectrometer with Rowland diameter of 110 mm is very simple and low weight. Simulations and experimental results show astigmatism aberration in the image surface of this spectrometer.

Key words: spectrometer, concave diffraction grating, Roeland circle, ZEMAX software

مقدمه

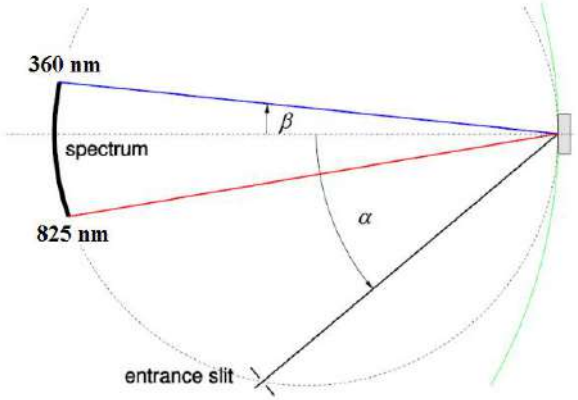
طیف‌سنج‌های کوچک به دلیل قابل حمل بودن و هزینه کم اهمیت زیادی پیدا کرده‌اند. این طیف سنج‌ها به طور گسترده در تجزیه و تحلیل های شیمیایی، سنجش از دور مواد شیمیایی، و تحقیقات بیولوژیکی استفاده می‌شوند [۱]. برای کوچک کردن یک سیستم طیف سنجی، باید اجزای نوری مختلف را در یکدیگر ادغام کرد. موثرترین راه برای تحقق این امر، ترکیب عناصر نوری بازتابنده و پراشی برای تشکیل یک عنصر نوری جدید، به عنوان مثال، یک توری مقعر است [۲-۴]. یک توری مقعر که به درستی طراحی شده باشد نه تنها یک طیف سنج کوچک را امکان پذیر می‌کند، بلکه با کاهش تعداد بازتاب‌های مورد نیاز قبل از رسیدن سیگنال‌ها به آشکارساز، کارایی را نیز بهبود می‌بخشد.

در یک طیف سنج با استفاده از ساختار دایره رولند، شکاف ورودی، مرکز توری مقعر و طیف‌های جداسازی شده روی دایره رولند قرار دارند که قطری برابر با شعاع مماسی انحنای توری دارد. این ساختار در سال ۱۸۸۳ توسط هنری رولند طراحی شد [۵]. او اولین کسی بود که توری‌های مقعر با کیفیت قابل استفاده در طیف سنجی را تولید کرد. طیف‌های ثبت شده با استفاده از این پیکربندی، عموماً عاری از عیب واکانونی و کمای اولیه در کل بازه طول موج هستند و انحراف کروی آن‌ها ناچیز است. با این حال، آستیگماتیسم می‌تواند باعث ایجاد مشکلاتی در کارایی ابزار شود.

در این مقاله طراحی و پیاده سازی یک طیف سنج مرئی در بازه ۳۶۰ nm تا ۸۲۵ nm با استفاده از توری مقعر انجام شده است. رزلوشن طیفی مورد نظر برای این طیف سنج کمتر از ۱/۵ nm است.

تئوری

ساختار هندسی طیف سنج مورد نظر در شکل (۱) نشان داده شده است که شامل شکاف ورودی، توری مقعر و آشکارساز است. مرکز توری منطبق بر مبدا دستگاه مختصات است. شعاع انحناء توری ۱۱۰ mm، قطر دهانه آن ۳۰ mm و چگالی خط آن ۶۰۰ lp/mm است. ابعاد شکاف ۱۰ µm و آشکارساز خطی شامل ۳۰۷۲ پیکسل با پهنای ۱۴ µm در نظر گرفته شده است.



شکل (۱) طرح واره طیف سنج با استفاده ار توری مقعر

زاویه پرتو فرودی بر توری $\alpha = 15^{o}$ در نظر گرفته شده است. با استفاده از رابطه پراش در توری می‌توان زاویه پراش، β، را برای طول موج‌های مختلف λ به دست آورد:

$$\sin\alpha + \sin\beta = m\lambda G \qquad (۱)$$

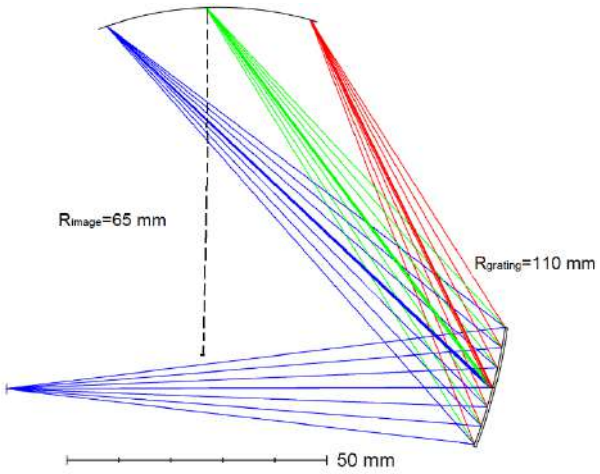
جدول (۱) مشخصات توری و زاویه پراش پرتوها را نشان می‌دهد.

جدول (۱) مشخصات توری و زاویه پراش از توری

شعاع انحناء توری		۱۱۰ mm
قطر دهانه		۳۰ mm
چگالی خط		۶۰۰ lp/mm
زاویه پراش	۳۶۰ nm	۲۸/۳۵
	۶۰۰ nm	۳۸/۲۳
	۸۲۵ nm	۴۸/۹۲

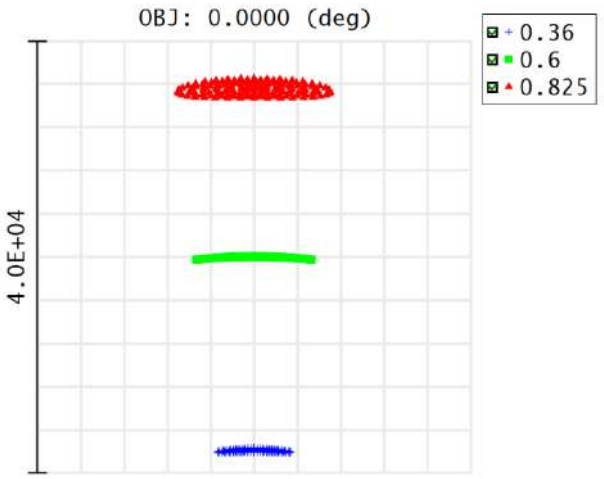
شبیه سازی

برای شبیه سازی و بهینه سازی طیف سنج از نرم افزار زیمکس استفاده شده است. شکل (۲) طرح واره طیف سنج در این نرم افزار را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، صفحه تصویر طیف سنج به صورت یک منحنی با شعاع انحناء mm ۶۵ است. موقعیت مرکز انحناء صفحه تصویر با صورتی انتخاب شده است که کمترین ابیراهی در صفحه تصویر ایجاد شود.



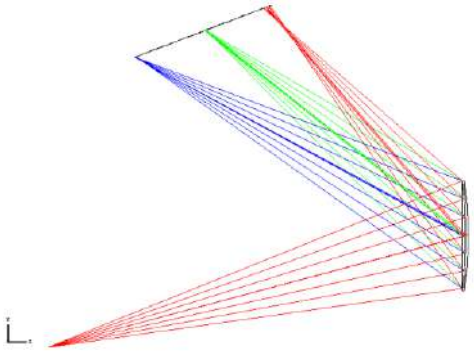
شکل (۲) طرح واره طیف سنج در نرم افزار زیمکس

الگوی لکه مربوط به طول موج‌های مختلف در صفحه تصویر این طیف سنج در شکل (۳) نشان داده شده است. بر اساس این شکل، ابیراهی آستیگماتیسم یک ابیراهی واضح و غالب در این نوع طیف سنج است.

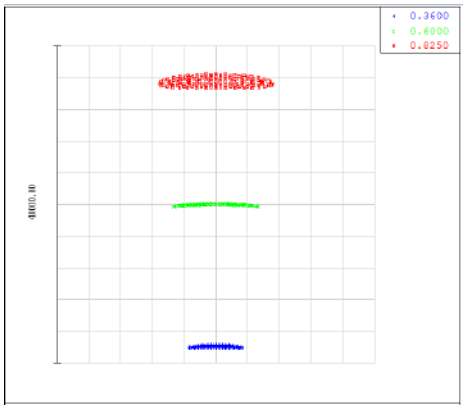


شکل (۳) الگوی لکه در صفحه تصویر منحنی طیف سنج

با توجه به اینکه از یک آرایه خطی تخت برای آشکارسازی طول موج‌ها استفاده خواهد شد، صفحه تصویر به یک صفحه تخت تبدیل شده است که در شکل (۴) نشان داده شده است. با بهینه سازی طیف سنج، الگوی لکه‌ای مطابق شکل (۵) به دست آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود، به دلیل استفاده از آشکارساز تخت، علاوه بر ابیراهی آستیگماتیسم، ابیراهی واکانونی نیز به تصویر اضافه شده است.



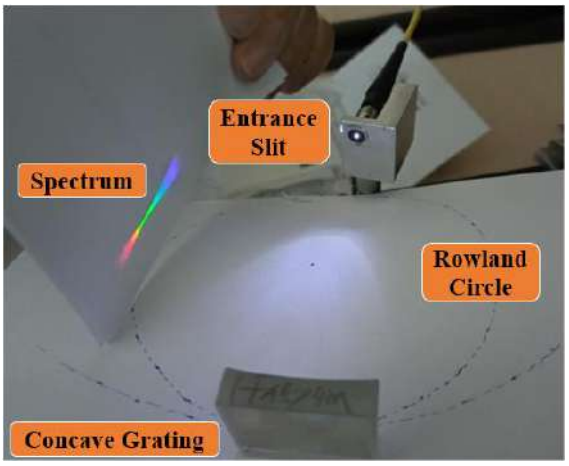
شکل (۴) طرح واره طیف سنج با آشکارساز تخت



شکل (۵) الگوی لکه در صفحه آشکارساز طیف سنج

پیاده سازی آزمایشگاهی

برای نشان داده عملکرد طیف سنج با استفاده از یک توری مقعر، چیدمانی مطابق شکل (۶) برپا شد. در این شکل، برای وضوح بیشتر، شعاع انحناء توری و دایره رولند نیز رسم شده است. به جای شکاف از یک فیبر نوری با قطر µm ۱۰۰ استفاده شده است. همانطور که انتظار داریم، الگوی پراش پرتوها، در اثر ابیراهی آستیگماتیسم در لبه‌های طیف دچار کشیدگی شده است.



شکل (۶) چیدمان طیف سنج بازتابی با استفاده از یک المان اپتیکی

نتیجه گیری

در این پژوهش طراحی و ساخت یک طیف سنج با استفاده از یک توری پراش مقعر مورد بررسی قرار گرفته است. توری‌های مقعر امکان طراحی و ساخت طیف سنج با استفاده از یک المان را فراهم می‌کنند که منجر به سادگی، ابعاد کم و ارزان شدن ساختار طیف سنج می‌شود. به دلیل اینکه تصویر این نوع طیف سنج بر روی دایره رولند تشکیل می‌شود، ابیراهی آستیگماتیسم عیب غالب آن است. برای رفع این مشکل می‌توان از توری‌هایی با چگالی خط متغیر استفاده کرد که یک تصویر تخت را بوجود می‌آورند.

مرجع‌ها

C. P. Bacon, Y. Mattley, and R. Defrece, “Miniature spectroscopic instrumentation: applications to biology and chemistry,” Rev. Sci. Instrum. Vol. 75, No. 1, pp. 1-16, 2004.

Z. Li, M. J. Deen, Q. Fang, and P. R. Selvaganapathy, “Design of a flat field concave-grating-based micro-Raman spectrometer for environmental applications,” Appl. Opt. Vol. 51 , No. 28, pp. 685-6863, 2012.

J. F. Wu, Y. Y. Chen, and T. S. Wang, “Flat field concave holographic grating with broad spectral region and moderately high resolution,” Appl. Opt. Vol. 51, No. 4, pp. 509-514, 2012.

J. Chen, W. Chen, G. Zhang, H. Lin, and Sh. Chen, “High-resolution compact spectrometer based on a custom-printed varied-line-spacing concave blazed grating,” Opt. Express. Vol. 25, No. 11, pp. 12446-12454, 2017

C. H. Ko, W. C. Liu, N. P. Chen, J. L. Shen, and J. S. Lin, “Double reflection in the concave reflective blazed grating,” Opt. Express, Vol. 15 , No.17, pp. 10498-10503, 2007.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

اندازه‌گیری ضریب تمرکز متمرکز کننده خورشیدی شلجمی

م. ابراهیم فولادوند، ابراهیم نوذری پاک

۱-دانشیار گروه فیزیک، دانشکده علوم دانشگاه زنجان (foolad@znu.ac.ir)

۲-دانشجوی دکتری، گروه فیزیک دانشکده علوم دانشگاه زنجان (a.nozaripak@znu.ac.ir)

چکیده

در این پژوهش ضریب تمرکز دیش متمرکز کننده شلجمی با روش گرمایی- اپتیکی به دست‌آمده است. منظور از ضریب تمرکز، نسبت شدت میانگین نور خورشید متمرکزشده در ناحیه کانونی دیش به شدت نور خورشید است. برای این کار یک صفحه فلزی دایره‌ای در کانون دیش گذاشتیم و با کمک دماسنج فروسرخ نمودار دما-زمان صفحه را به دست آوردیم. یک تابش‌سنج خورشیدی شدت لحظه‌ای نور خورشید را اندازه می‌گیرد. صفحه فلزی نور متمرکزشده را جذب کرده و دمای آن بالا می‌رود. از سویی دیگر صفحه انرژی گرمایی خود را با دو سازوکار تابش و همرفت از دست می‌دهد. با نوشتن معادله بالانس گرمایی دمای میانگین صفحه فلزی به‌دست‌آمده و از روی آن شدت میانگین انرژی متمرکز دریافت شده در مکان صفحه به دست می‌آید. با بخش این شدت میانگین برشدت انرژی خورشید، ضریب تمرکز دیش به دست می‌آید.

کلیدواژه‌ها: دیش شلجمی، توان تابشی، انرژِی خورشیدی، ضریب تمرکز، ناحیه کانونی

Measuring the concentration ratio of a solar dish by a thermal method

M. Ebrahim Foulaadvand , Ebrahim Nozaripak

Associate professor of Physics, Science Faculty, University of Zanjan (foolad@znu.ac.ir)

Ph.D. student, Department of Physics, Zanjan University (a.nozaripak@znu.ac.ir)

Abstract

The objective of this research is to measure the average coefficient of concentration for a parabolic dish by a thermo-optical method. A solar-power metre measures the instantaneous solar intensity and an infrared thermometer measures the temperature of a plate which is located at the dish focal area. The iron plate absorbs the concentrated radiation and its temperature rises. It loses its thermal energy via radiation and convective heat-loss mechanisms. A heat balance equation gives us the average concentrated intensity at the dish focal area.

Keywords: concentration ratio, concentrated radiant power, parabolic dish, solar energy,

پیش گفتار

یکی از رایج‌ترین شیوه‌های بهره‌وری از انرژی خورشیدی، متمرکز کردن پرتوهای خورشید در ناحیه‌ای کوچک است. به این منظور، گردآور(کالکتور)های خورشیدی گوناگونی مانند دیش‌های خورشیدی شلجمی و کروی، گردآور شلجمی خطی، و نیز گرد-آورهای تخت فرنل ساخته شده‌اند [۱]. شکل (۱) یک نمونه از دیش متمرکز کننده خورشیدی شلجمی‌گون را نشان می‌دهد. از گرمای کانونی‌شده می‌توان برای تولید الکتریسیته، هیدروژن سوختی، انجام آزمایش‌های دما-بالا و شار-بالا اشاره نمود. هراندازه سطح بازتابنده دیش به شلجمی گون نزدیک‌تر باشد درجه تمرکز بهتر است. انحراف از سطح دقیق هندسی، بازتاب کمتر از حالت ایده آل، جذب پرتوهای نور توسط سطح بازتابنده ازجمله عوامل تأثیرگذار در کاهش بازدهی اپتیکی یک دیش خورشیدی هستند. برای یافتن کارایی اپتیکی یک دیش باید بدانیم دیش چه اندازه می‌تواند نور را در ناحیه کانونی خود متمرکز کند. از روش‌های رایج برای این کار می‌توان به تحلیل نظری، شبیه‌سازی اپتیک هندسی و پردازش تصویر اشاره نمود [۲]. هدف این نوشته، یافتن درجه تمرکز اپتیکی در دیش‌های شلجمی به کمک یک روش اپتیکی-گرمایی است. در این نوشته فرض شده تمام پرتوهای نور به شکل موازی با محور اصلی دیش و از یک شیء بسیار دور (خورشید)، به سطح دیش می‌رسند.



شکل ۱: دیش اروپایی در مرکز پژوهشی پی اس آی (جنوب شرق اسپانیا) با دو محور ردیابی سمتی و فرازی (ارتفاعی)

مشخصات دیش شلجمی و ابزارهای اندازه‌گیری

* دیش شلجمی بکار رفته در این پژوهش در دانشگاه زنجان ساخته شده است. زیر لایه سطح بازتابنده دیش از جنس فایبرگلاس است که مقاومت بالایی در برابر وزش باد و شرایط آب و هوایی گوناگون دارد. سطح بازتابنده دیش با چسبانیدن لایه‌های نازک به ضخامت یک میلی‌متر از جنس پلکسی آیینه‌ای روی زیر لایه فایبرگلاس ساخته‌شده است. قطر دیش ۱.۸ متر و فاصله کانونی آن ۱.۶۳ متر است.



شکل۲: دیش شلجمی دانشگاه زنجان با قطر۱۸۰ سانتی‌متر.

* آیینه‌های بکار رفته در دیش از جنس پلکسی بوده که دارای انعطاف و بازتاب مناسبی برای ایجاد تمرکز نور در کانون دیش است. دمای کاری این آیینه ها از منفی ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی-گراد بوده و در برابر شرایط محیطی مقاومت خوبی را از خود نشان داده می‌دهند.

* دماسنج فروسرخ و لیزری مدل MS۶۵۳۰ ساخت شرکت لترون تایوان برای اندازه‌گیری دمای با دقت بالا و گستره کاری دمایی ۲۰- تا ۵۳۷ درجه سانتی‌گراد برای اندازه‌گیری دمای صفحه در ناحیه کانونی بکار رفته است.

* یک صفحه فلزی آهنی با رنگ تیره به قطر ۱۶ سانتی‌متر و ضخامت ۲ میلی‌متر در ناحیه کانونی دیش و عمود بر محور آن کار گذاشته شده است. این صفحه نقش جاذب نور را دارد. این صفحه جاذب آهنی قابلیت حرکت در دو بعد را با کمک دو ریل اپتیکی به‌منظور تنظیم دریافت نور در ناحیه کانونی را دارد. شکل (۳) صفحه آنی و مکانیک حرکتی آن در ناحیه کانونی دیش را نشان می‌دهد. در بخش بعدی چگونگی اندازه‌گیری شار گرمایی متمرکزشده در کانون دیش با کمک اندازه‌گیری دمای صفحه آهنی شرح داده خواهد شد.



شکل ۳: صفحه آهنی جاذب نور در کانون دیش شلجمی

مبانی نظری اپتیکی و ترمودینامیکی

چنانچه محور یک دیش متمرکز کننده شلجمی در راستای تابش خورشیدی قرار گیرد نور را در ناحیه کانونی دیش متمرکز می‌کند. اگر جسمی در این ناحیه کانونی قرار دهیم بخشی از گرما را جذب رده و دمای آن بالا می‌رود. از سویی دیگر با گرم شدن جسم هدررفت گرمایی آن با دو سازوکار تابشی و همرفتی نیز بالا می‌رود. قانون اشتفان-بولتسمان توان هدررفت تابشی P را بیان می‌کند:

$$P_{Rad} = \varepsilon A \sigma T^{4} \quad (۱)$$

که در آن دمای T صفحه برحسب کلوین، A مساحت آن، ε ثابت گسیلندگی آن و $\sigma = 5.67\times10^{-8}\,(J/sm^2K^4)$ ثابت اشتفان-بولتسمان است. ثابت گسیلندگی صفحه فلزی آهنی برابر $\varepsilon = 0.28$ است. توان هدر رفت گرمایی به روش همرفتی از صفحه با قانون سردشدگی نیوتن داده می‌شود:

$$P_{conv} = h[T(t) - T_o] \quad (۲)$$

T دمای لحظه‌ای صفحه فلزی است که با دماسنج فروسرخ اندازه‌گیری می‌گردد. T_a دمای محیط است، هر دو دما برحسب کلوین بیان می‌شوند. h ضریب ترابرد (انتقال) گرمایی همرفتی است که به جنس صفحه و سرعت باد در محل وابسته است. برای فلز آهن و سرعت باد میانگین سه متر بر ثانیه اندازه این ضریب برابر با $h = 25.32\ \ W/K$ است. با فرض کم بودن جرم صفحه و نیز پایین بودن کسر نور بازتابی از صفحه، از پایستگی انرژی گرمایی فرمول زیر (رابطه شماره ۳) نتیجه می‌شود:

$$\overline{G}_{con} = 2h[T(t) - T_a] + \varepsilon\sigma(T^4 - T_a^4) + mc\frac{dT}{dt} \quad (۳)$$

که در آن $\overline{G}_{conc}$ شار میانگین متمرکزشده خورشیدی در کانون دیش است. در معادله (۳) از جمله سوم سمت راست در برابر دو جمله دیگر چشم پوشی می‌شود، برای فهم بهتر، مرتبه بزرگی جمله دوم و سوم را برای روز ۲۳ اکتبر در ساعت ۱۲ تا ۱۲:۱۵ ً بررسی می‌نماییم:

$$T(12{:}15) = 703K^0; T(12{:}00) = 681K^0; t = 900s.$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{22}{900} \simeq 0.02 \Rightarrow mc\frac{dT}{dt} = 0.1\times450\times0.02 \simeq 1.0$$

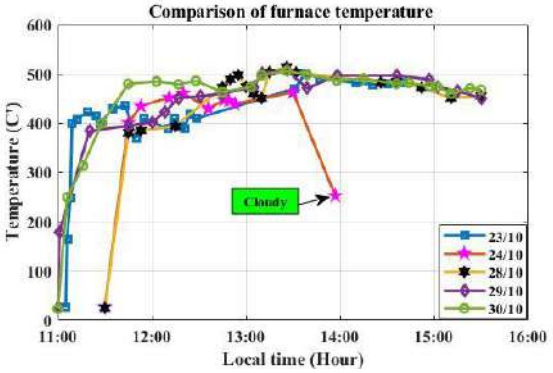
حال برای مرتبه بزرگی جمله دوم را محاسبه می‌کنیم:

$$T(12{:}15) = 703K^0; T_a = 300;\ \varepsilon = 0.28;$$
$$\sigma = 5.68\times10^{-8}. \Rightarrow \varepsilon\sigma(T^4(t) - T^4{}_a) =$$
$$0.28\times5.68\times10^{-8}\times(703^4 - 300^4) = 3884.$$

همانطور که می‌بینید بزرگی جمله دوم نسبت به سوم 10^3 برابر است، پس از جمله سوم چشم پوشی می‌کنیم.

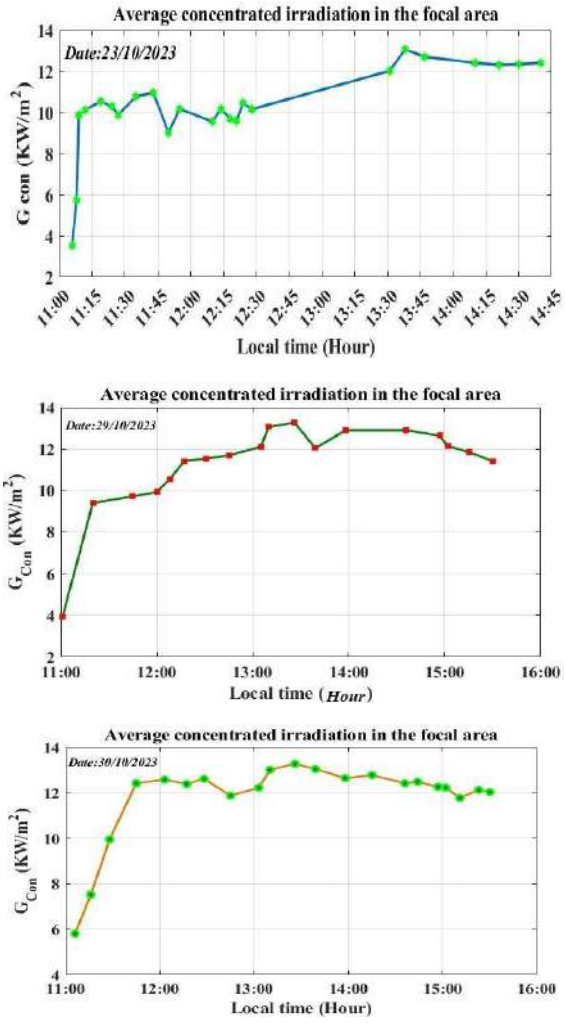
اندازه‌گیری دمای صفحه

برای اندازه‌گیری دما صفحه، به صورت دستی محور دیش را پیوسته با راستای خورشید همسو می‌کنیم. سپس هر ۱۵ دقیقه یک‌بار با کمک دماسنج فروسرخ دمای صفحه را یادداشت می‌کنیم. با توجه به حرکت ظاهری خورشید در آسمان، پیش از اندازه‌گیری دما، دیش را باید دوباره در راستای خورشید قرار دهیم. گفتنی است دیش موجود در دانشگاه زنجان ردیاب نبوده و تنظیم پیکربندی دیش هر بار به‌صورت دستی انجام می‌گیرد. نمودار دما-زمان اندازه‌گیری‌ها در شکل (۴) آورده شده است:

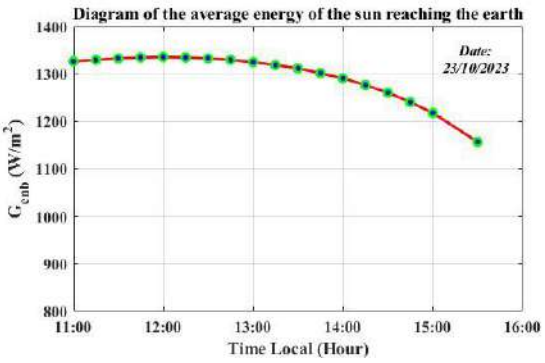


شکل ۴: نمودار دما-زمان صفحه جاذب در کانون دیش شلجمی

با جایگذاری دماهای اندازه‌گیری شده در رابطه (۳) بخش نظری، اندازه میانگین شار تابشی متمرکزشده خورشید توسط دیش شلجمی را به دست می‌آوریم. شار میانگین تمرکزی برای در نمودارهای شکل (۵) کشیده شده است:



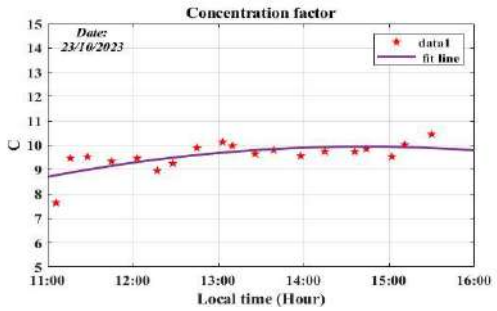
شکل ۵: بستگی زمانی توان تابشی متمرکزشده



شکل۶ : بستگی زمانی شار خورشیدی

با اندازه گیری شار خورشید $\bar{G}_{bn}$ بر روی زمین با کمک توان سنج خورشیدی و همچنین داشتن شار تمرکزی دیش، می‌توانیم ضریب تمرکز C دیش شلجمی را به دست آوریم:

$$C(t)=\frac{\bar{G}_{con}(t)}{\bar{G}_{bn}(t)} \Rightarrow C(12{:}00)=\frac{11246}{1320}=8.5$$



شکل۷: بستگی زمانی نسبت تمرکز دیش شلجمی

نتیجه‌گیری

با یک روش اپتیکی-گرمایی توانستیم میانگین شار متمرکزشده خورشیدی را در کانون دیش متمرکز کننده شلجمی به دست آوریم. با بخش شدت میانگین شار متمرکزشده بر شار خورشیدی نسبت تمرکز دیش در حدود ۹ به دست آمد.

مرجع‌ها

فولادوند,کریمی,سعیدی آزاده ,شریفی آبدر. سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران - کد همایش: ۹۹۲۰۱-۵۵۷۸۷ - صفحه:۱۰۴ -۱۰۷

John A. Duffie, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Fourth Edition,2014

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

طراحی یک تلسکوپ تداخلی نور سفید بر اساس تداخل‌سنج تویمن-گرین

علیرضا آل‌کثیری (alirezaalkasir@gmail.com)، مسعود رضوانی جلال

گروه فیزیک و مهندسی اپتیک و لیزر، دانشگاه ملایر، ملایر

با ترکیب تداخل‌سنج و تلسکوپ می‌توان اطلاعات دقیق‌تری درباره اشیاء دور و اجرام آسمانی به دست آورد. تلسکوپ برای جمع‌آوری نور از یک ناحیه گسترده در فضا استفاده می‌شود و تداخل‌سنج با استفاده از اصول تداخل نور، الگوهای تداخلی نور را تشکیل می‌دهد و اطلاعات آن‌ها را به تصویر تبدیل می‌کند. در مقاله حاضر طراحی و شبیه‌سازی یک تلسکوپ تداخلی بر اساس تداخل‌سنج تویمن-گرین و تلسکوپ شکستی معمولی مورد بررسی خواهد گرفت. نتایج اولیه نشان می‌دهند که طرح تداخلی ایجاد شده روی تصویر (در اینجا ماه) متشکل از تعدادی نوار روشن و تاریک است. شکل طرح تداخلی شدیداً به طول همدوسی نور، اندازه زاویه‌ای شیئ و اختلاف طول بازوی تداخل‌سنج بستگی دارد.

کلید واژه: اندازه زاویه‌ای، تداخل‌سنج تویمن-گرین، تلسکوپ شکستی، طول همدوسی نور سفید.

Design of a White Light Interferometric Telescope Based on the Twyman-Green Interferometer

Alireza Alkasiri, Masoud Rezvanijalal

Department of Physics and Engineering of Optics and Lasers, Malayer University, Malayer

Combining an interferometer by a telescope allows for obtaining high-precision information about the far objects and terrestrial masses. Telescopes are used to collect light from a wide region in the space, while interferometers, using the principles of light interference, detect interference patterns and converts their information into images. In the present paper, design and simulation of an interferometric telescope based on a Twyman-Green interferometer and a simple refracting telescope will be considered. First-stage results show that the interference pattern formed on the image (here moon) contains several black and white bands. The pattern highly depends on the light coherence length, angular size of the object and length difference between two arms of the interferometer.

Keywords: Angular size, Twyman-Green interferometer, Refracting telescope, Coherence length of white light.

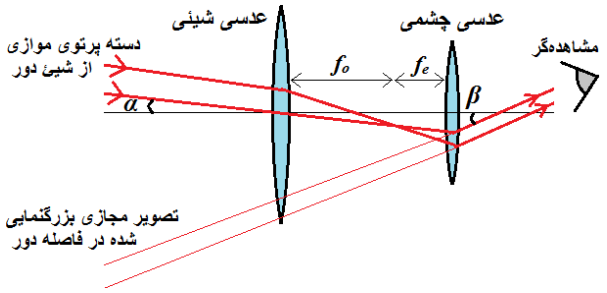
مقدمه

تلسکوپ‌های نوری مرسوم که به دو دسته بازتابی و شکستی تقسیم می‌شوند نقش مهمی در مباحث نجومی، موضوعات هواشناسی، زیست محیطی و ... دارند. تمام این تلسکوپ‌ها با استفاده از فرمول‌بندی اپتیک هندسی کار می‌کنند [۱و۲]. دیده شده است که استفاده از اصول اپتیک موجی و ظهور پدیده‌هایی همچون تداخل در خیلی از سیستم‌های نوری مانند میکروسکوپ باعث ایجاد انقلابی در حوزه‌های تصویرسازی و مترولوژی شده است. انواع مختلفی از میکروسکوپ‌های تداخلی وجود دارند که از آن جمله می‌توان به میکروسکوپ نومارسکی، میرآو و ... اشاره کرد که توانسته‌اند اپتیک هندسی و اپتیک موجی را با هم ادغام کرده و وضوح و دقت تصویربرداری و اندازه‌گیری دنیای میکروسکوپی را متحول کنند [۲و۳]. سوالی که پیش می‌آید این است که آیا می‌توان تداخل را در حوزه تلسکوپی نیز وارد کرد و تصویربرداری از اجرام غول‌پیکر و دور آسمانی را مورد تحول قرار داد یا نه؟ جستوجو در منابع اطلاعاتی بیان می‌دارد که پدیده تداخل نیز در تلسکوپ‌ها وارد شده است ولی این کاربرد محدود به امواج بلند رادیویی می‌باشد [۴]. به عبارت دیگر می‌توان گفت که پدیده تداخل هنوز نتوانسته است که در تلسکوپ‌های نوری مرسوم نفوذ داشته باشد. به نظر می‌آید که با به کارگیری پدیده تداخل در یک تلسکوپ نوری بتوان دایره کاری آنرا وسعت بخشید. یکی از معروف‌ترین تداخل‌سنج‌ها، تداخل‌سنج تویمن-گرین است که با دسته پرتوهای موازی کار می‌کند و قادر است که با نور سفید نیز طرح‌های تداخلی تشکیل دهد. از آنجا که نور رسیده از اجرام آسمانی به شکل دسته پرتوهای موازی با هم است این امکان وجود دارد که بتوان از چیدمان آن در طراحی یک تلکسوپ تداخلی استفاده کرد.

در مقاله حاضر، ترکیب یک تلسکوپ نوری با یک تداخل‌سنج تویمن-گرین مورد طراحی و شبیه‌سازی قرار می‌گیرد و معلوم می‌شود که اجرای یک تلسکوپ تداخلی امکان‌پذیر می‌باشد.

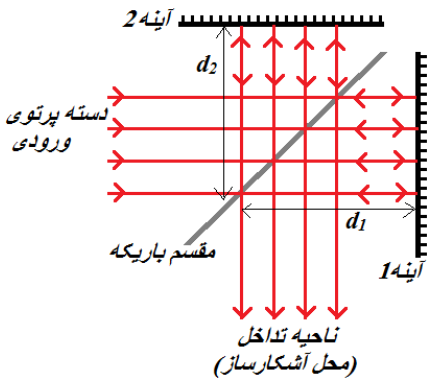
طراحی تلسکوپ تداخلی

در شکل ۱ طرح‌واره یک تلسکوپ ساده آورده شده است. از این شکل مشخص است که یک دسته پرتو موازی از شیئ دوردست به عدسی شیئی می‌رسند و در کانون آن (f_o) تشکیل تصویر حقیقی می‌دهند. این تصویر نیز به عنوان شیئ برای عدسی چشمی (در محل کانون f_e) رفتار می‌کند و تصویر بزرگ‌نمایی شده و مجازی آن در فاصله دور تشکیل می‌شود. بزرگ‌نمایی زاویه‌ای این تلسکوپ نیز طبق شکل ۱ برابر با β/α می باشد که البته بر حسب قطر عدسی چشمی و عدسی شیئی نیز قابل نوشتن است [۲].



شکل ۱: طرح‌واره‌ای از یک تلسکوپ شکستی ساده.

در شکل ۲ نیز طرح کلی یک تداخل‌سنج تویمن-گرین نشان داده شده است [۳]:



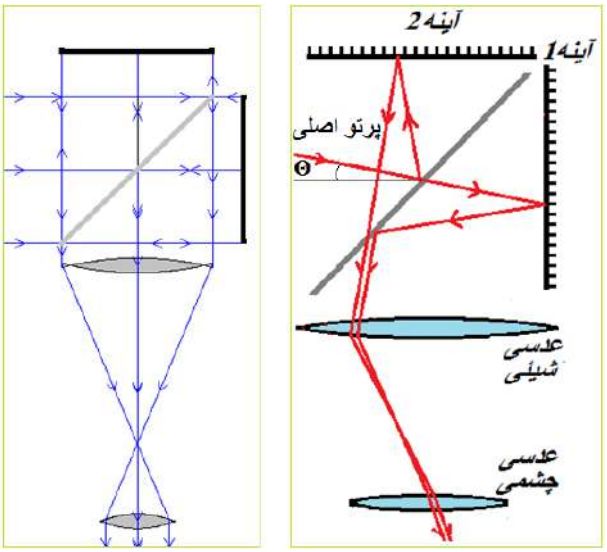
شکل ۲: طرح‌واره یک تداخل سنج تویمن-گرین.

طبق این شکل هنگامی که یک دسته پرتوی موازی وارد تداخل‌سنج می‌شوند توسط مقسم باریکه به دو دسته شکافته می‌گردند. نور رفت و برگشتی از آینه اول با نور رفت

و برگشتی از آینه دوم در مقسم موج به هم رسیده و تداخل می‌کنند و در ناحیه تداخلی آشکارسازی می‌شوند. بسته به اینکه اختلاف راه $2(d_2\text{-}d_1)$ چقدر باشد این تداخل می‌تواند سازنده یا ویرانگر باشد. اگر هم دسته پرتوی شکل ۲ با زاویه θ نسبت به خط افقی وارد تداخل سنج می‌شد آنگاه اختلاف راه با رابطه زیر به دست می‌آمد:

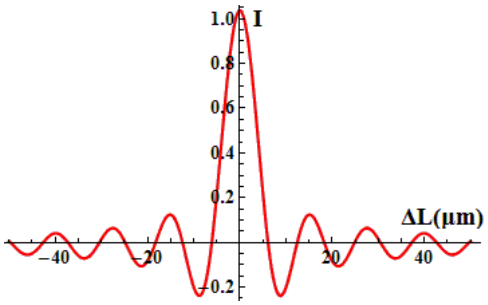
$$\Delta L = 2(d_2 - d_1)Cos(\theta) \qquad (۱)$$

حال با توجه به شکل‌های ۱ و ۲ می‌توان یک تلسکوپ تداخلی به گونه‌ای طراحی کرد که در عین حالی که یک تلسکوپ شکستی است یک تداخل‌سنج تویمن-گرین نیز باشد. در شکل ۳-راست این طرح و در شکل ۳-چپ نیز طراحی آن با زیکمس نشان داده شده است:



شکل ۳: طرح یک تلسکوپ تداخلی (شکل راست) و طراحی آن با زیمکس (شکل چپ).

نوری که از اشیاء دور و اجرام آسمانی می‌رسد سفید است و همدوسی بسیار ضعیفی دارد. به عبارت دیگر، تداخل ایجاد شده از نوع تداخل نور سفید است و لازم است که اختلاف طول دو بازوی تداخل‌سنج (یعنی $d_2\text{-}d_1$) کمتر از طول همدوسی باشد [۳]. از شکل ۳ معلوم است که عملکرد یک تلسکوپ تداخلی با عملکرد تلسکوپ‌های رادیویی متفاوت است زیرا در اینها از چندین تلسکوپ دور از هم تصویر گرفته می‌شود و تداخل ایجاد می‌گردد تا وضوح زاویه‌ای بیشتر شود ولی در یک تلسکوپ تداخلی فرایند تلکسوپی و تداخلی در یک دستگاه واحد به طور همزمان انجام می‌شود. پرتوهایی که از یک شیئ دور و آسمانی به ورودی تلسکوپ می‌رسند در عین حالی که با هم موازی هستند ولی زاویه آنها نسبت به محور تلسکوپ دارای یک بازه تغییراتی است. برای مثال بازه تغییرات زاویه دسته پرتوهای موازی رسیده از ماه به سطح زمین در حدود 0.26^{o} است. دسته پرتوهای موازی که به تلسکوپ تداخلی شکل ۳ می‌رسند ابتدا از قسمت تداخلی آن عبور کرده و یک طرح تداخلی تشکیل می‌دهند. همانطور که گفته شد نور دریافتی از اجرام آسمانی به صورت سفید با همدوسی ضعیف است. طرح تداخلی تشکیل شده از این وضعیت نیز به صورت اینترفروگرام نور سفید است. این طرح برای طول همدوسی کمتر از ۱۰۰ میکرومتر که مناسب برای نور ماه می‌باشد در شکل ۴ آورده شده است [۵]:



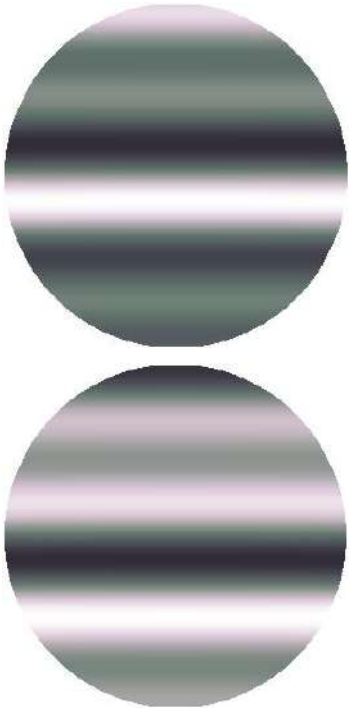
شکل ۴: اینترفروگرام نور سفید با طول همدوسی ۵۰ μm.

که در آن ΔL از رابطه (۱) به دست می‌آید. با داشتن اینترفروگرام شکل ۴ و انتخاب یک مقدار دلخواه و مناسب برای $(d_2\text{-}d_1)$ می‌توان طرح تداخلی را به دست آورد. در ادامه به این موضوع پرداخته می‌شود.

شبیه‌سازی

به عنوان شیئ آسمانی از ماه استفاده می‌شود. محاسبات مختلف با اعداد واقعی (مثل اندازه زاویه‌ای ماه و طول همدوسی نور آن) نشان می‌دهد که لازمه ایجاد یک تداخل با نمایانی بالا این است که دسته پرتوهای ورودی به داخل تداخل‌سنج (زاویه Θ در شکل ۳-راست) با زاویه زیادی وارد

آن شوند. انتخاب Θ بیشتر از 60^{o} وضوح خوبی به دست می‌دهد که در اینجا نیز استفاده خواهد شد. ترسیم طرح تداخلی تشکیل شده روی تصویر ماه در داخل تلسکوپ برای طول همدوسی μm ۹۰ (در نور سفید مرئی) و نیز اختلاف دو بازوی تداخل‌سنج برابر با d_2-d_1=۹۰ μm در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۵: (بالا) طرح تداخلی تصویر ماه از داخل تلکسوپ تداخلی با طول همدوسی μm ۹۰ و d_2-d_1=۹۰ μm. (پایین) همان طرح برای d_2-d_1=۸۹ μm.

شبیه‌سازی‌های مختلف نشان می‌دهند که طرح تداخلی حاصل شدیداً به d_2-d_1 حساس است و وقتی که مثلاً مقدار آن از μm ۹۰ به μm ۸۹ تغییر می‌کند طرح تداخلی ایجاد شده تغییرات بسیار زیادی از خودش نشان می‌دهد. این طرح در شکل ۵-پایین نشان داده شده است. محاسبات دیگری که در اینجا آورده نشده است مؤید این مطلب هستند که طرح تداخلی شکل ۵ شدیداً به طول همدوسی و نیز اندازه زاویه‌ای شیئ دوردست (در اینجا ماه) نیز وابسته است و با ایجاد تغییرات اندکی در آنها طرح تداخلی تغییرات زیادی از خودش به نمایش می‌گذارد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله ترکیب یک تداخل‌سنج تویمن-گرین و یک تلسکوپ شکستی مورد بررسی قرار گرفت. شبیه‌سازی نشان داد که طرح تداخلی به دست آمده به شکل تعدادی نوار روشن و تاریک روی تصویر ماه در داخل تلسکوپ است. با این دستگاه می‌توان در عین حالی که تصویر بزرگ تلسکوپی به دست آورد اثرات تداخلی را هم مشاهده کرد. با تشکیل و مطالعه این اثرات تداخلی و مدل‌زنی آنها می‌توان طول همدوسی نور دریافتی از اجرام آسمانی و اندازه زاویه‌ای آنها را به دقت به پیدا کرد که البته در این مقاله انجام نشده است و به عنوان پیشنهادهای ادامه کار لحاظ می‌گردد. می‌توان کارهایی همچون اندازه‌گیری اندازه اجرام آسمانی، استهلال، دورسنجی و کاربردهای نظامی مثل پایش مرزها را با این دستگاه انجام داد. طراحی و ساخت این دستگاه جزء کارهای آتی نویسندگان می‌باشد.

سپاسگزاری

از دانشگاه ملایر برای این کار پژوهشی قدردانی می‌شود.

مرجع‌ها

هشت، زایاک؛ «**نور شناخت**» مرکز نشر دانشگاهی؛ صفحه ۱۵۳ تا ۱۵۹.

Francis A. Kenkins, Harvey E. White, "**Fundamentals of Optics**", Mc.Graw Hill, 2001.

P.Hariharan; "**Optical interferometry**"; 2th edition, Academic Press. (2003) 42

A.Richard Thompson, James M.Moran and George W.Swenson Jr; "**Interferometry and Synthesis in Radio Interferometry**"; 2th edition, Springer, (2017) 13-42.

S. Divitt et al, "**Spatial coherence of sunlight and its implications for light management in photovoltaics**", Optica, 2(2), 95-103, 2015.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

بررسی اثر وضعیت راننده بر میدان دید آینه های خودرو جهت کاهش تصادفات ناشی از انحراف به چپ

فهیمه ابری نائی[۱و۲]، نوا خانگی[۱]

[۱]گروه فیزیک، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[۲]گروه فیزیک، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده – تشخیص ناحیهٔ نقطهٔ کور یکی از نگرانی‌های اصلی در زمینهٔ ایمنی خودرو به‌شمار می‌رود و به‌کارگیریِ تجهیزات پیشرفته مانند رادار نقطهٔ کور منجر به افزایش قیمت خودرو می‌شود. تغییرات در وضعیت راننده مانند جابجایی صندلی و نیز استفادهٔ مناسب از آینه‌ها به‌عنوان راه حلی ساده و کارآمد می‌تواند در افزایش میدان دید خودرو مؤثر واقع شود. در این مقاله، بررسی زاویهٔ دید آینه‌های خودروی SD ۲۰۶ نشان داد با افزایش فاصلهٔ راننده از آینه، میدان دید آینه کاهش می‌یابد. نتایج بررسی‌های عملی و نظری بزرگتربودنِ وسعت دیدِ بیشتر آینهٔ محدب نسبت به آینهٔ تخت را تایید کرد. از طرفی آینهٔ تخت به علت بزرگنمایی واحد در تخمینِ فاصله و سرعت خودروهای در حالِ نزدیک شدن بهتر از آینهٔ محدب عمل می‌کند. از این رو برای دست‌یابی به دیدِ واضح‌تر استفادهٔ هم‌زمان از هر دو آینه و نیز تنظیم دقیقِ موقعیت راننده و آینه‌ها پیشنهاد می‌شود.

کلید واژه- آینهٔ تخت، آینهٔ محدب جانبی، دید دوچشمی، میدان دید، ناحیهٔ نقطهٔ کور.

Investigating the effects of the driver's position on the field of view in car mirrors to reduce accidents caused by the left turns

Fahimeh Abrinaei[1,2], Nava Khanegi[1]

[1] Department of Physics, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Fa.abrinaei@iau.ac.ir
[2] Department of Physics, East Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Naavaakhanegi@gmail.com

Abstract- Detection of blind spot zone is one of the main concerns in safety of vehicle and use of advanced equipment such as blind spot radar increases the price of car. Checking the driver's position such as seat movement and proper use of mirrors as a simple and efficient solution, can be effective in increasing the field of view. In this paper, investigating the viewing angle of mirrors used in 206 SD showed a decrease in field of view with increasing the distance between the driver and mirrors. The results of both practical and theoretical considerations confirmed larger convex mirror's field of view compared to flat mirror. On the other hand, a flat mirror works better than a convex mirror in estimating the distance and speed of approaching vehicles due to having a unit magnification. Therefore, in order to achieve a clearer view, it is suggested to use both mirrors simultaneously, and to adjust mirrors and driver's position.

Keywords: Binocular vision, Blind spot zone, Convex mirror, Field of view, flat mirror.

مقدمه

ایمنی هم‌چنان یک نگرانی اصلی برای صنایع خودروسازی و خریداران خودرو به‌شمار می‌رود. شخصی که با یک خودرو رانندگی می‌کند، برای مشاهدهٔ وسایل نقلیهٔ عقبی، به آینهٔ داخل و برای مشاهدهٔ اطراف، به دو آینهٔ جانبی نیاز دارد. با این حال وسیلهٔ نقلیه‌ای که نزدیک می‌شود، ممکن است وارد منطقه‌ای خارج از میدان دید راننده شود. از سوی دیگر انحراف به چپ به قصد سبقت، منجر به ایجاد یک ناحیهٔ کور در فضای اطراف خودرو می‌شود. چنین ناحیه‌ای به عنوان ناحیهٔ نقطهٔ کور شناخته می‌شود [۱].

تشخیص ناحیهٔ نقطهٔ کور یکی از نکات مهم و اساسی برای مسائل ایمنی است. بنابر اعلام پلیس راهنمایی و رانندگی، انحراف به چپ بیش‌ترین عامل در بروز تصادفات مرگبار رانندگی است. بنابراین سازندگان خودرو به طور مداوم در حال پیدا کردن راهی هستند تا بتوانند وسعت ناحیهٔ نقطهٔ کور را کاهش دهند. اگرچه آموزش‌های رانندگی بر اهمیت بررسی وسایل نقلیه در ناحیهٔ نقطهٔ کور قبل از اقدام به سبقت تأکید می‌کند، اما بسیاری از تصادفات مرگبار هنگام سبقت و انحراف از مسیر مستقیم رخ داده است. بنابراین درک ناحیهٔ نقطهٔ کور و به‌ویژه پارامترهای مربوط به آن از جمله میدان دید، به منظور توسعهٔ سیستم‌های مؤثر برای تشخیص وسایل نقلیهٔ نزدیک و ارائهٔ هشدار به راننده ضروری است.

ناحیهٔ نقطهٔ کور، منطقه‌ای در اطراف وسیلهٔ نقلیه است که راننده بدون تغییرِ بیشترِ وضعیت خود قادر به دیدن آن از آینه‌های داخلی و جانبی نیست که به نوبهٔ خود ممکن است هنگام سبقت باعث تصادف شود [۲].

دید راننده در رابطه با ناحیهٔ نقطهٔ کور باید مورد مطالعه قرار گیرد؛ زیرا برای توسعهٔ سیستم‌های تشخیص و هشدار مهم است. نواحی کورِ تولید شده توسط آینه‌های وسایل نقلیه، مدت‌هاست که نگران کننده بوده است. اخیراً تحقیقات متعددی برای تعیین ناحیهٔ نقطهٔ کور به ویژه برای وسایل حمل و نقل سنگین انجام شده است. به طوری که انواع مختلفی از سیستم‌های تشخیص نقطهٔ کور با استفاده از رادار، دوربین و امواج مافوق صوت برای تشخیص وسایل نقلیهٔ نزدیک در ناحیهٔ نقطهٔ کور پیشنهاد شده است [۳]. درک مناطق کور مهم است و عنصر کلیدی در درک آن‌ها، زاویهٔ دید آینه‌هاست. با این حال تحقیقات بسیار کمی در مورد ناحیهٔ نقطهٔ کور برای وسایل نقلیهٔ سواری، به ویژه در مورد تأثیر متغیرهای مختلف مانند میدان دید و موقعیت نشستن راننده در وسیلهٔ نقلیه انجام شده است [۴].

در این مقاله، با استفاده از معادلات مربوط به میدانِ دیدِ آینه‌های تخت و محدب، زاویهٔ دید آینه‌های جانبی و داخلی در یک دستگاه خودرو SD ۲۰۶ محاسبه و بررسی در زمینهٔ حدود ناحیهٔ کور با استفاده از زاویهٔ دید مشخص شد. اندازه‌گیری‌های تجربی نیز انجام شد و با نتایج نظری مقایسه شد. در نهایت برای دست‌یابی به یک دید واضح‌تر و نیز رفع مشکل دید در نواحی کور راه حل‌هایی ارائه می‌شود.

اندازه‌گیری‌های عملی

یک دستگاه خودروی SD ۲۰۶ برای آزمایش انتخاب شد. آزمایش در یک روز آفتابی با دمای ۱۷ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت ۳۰ درصد در پارک پردیسان تهران انجام شد. خانمی با قد ۱۷۱ سانتی‌متر و تجربهٔ رانندگی حدود ۶ سال در این آزمایش حضور داشت. راننده تنظیمات آینهٔ جانبی و تخت را جهت دست‌یابی به یک دید واضح انجام داد. ابعاد آینه $۲\times۱۲\times۲۰\ cm^۳$ و شعاع انحنای آن ۱۵۲/۴ cm بود. بعد از تنظیم موقعیت آینه توسط راننده، شخص دیگری مطابق شکل ۱ از کنار چرخ عقبِ وسیلهٔ نقلیه گام به گام شروع به حرکت در جهتِ دور شدن از بدنهٔ خوردو کرد. از راننده خواسته شد به محض خارج شدن این شخص از میدان دید آینه علامت بدهد. موقعیت این نقطه روی زمین با یک ضربدر مشخص شد. همین روند برای حرکت از کنار درب جلویی تکرار شد و مجدداً موقعیت شخص در لحظهٔ خروج از میدان دید علامت‌گذاری شد. سپس این دو نقطه با یک خط راست به هم وصل شد. این خط راست طوری رسم شد که سر آن به آینهٔ جانبی خودرو رسید و زاویهٔ آن نسبت به خط مستقیمی که از کنار خودرو عبور کرده بود،

اندازه‌گیری شد. مراحل فوق برای حرکت شخص در عقب خودرو نیز تکرار و نتایج ثبت شد.



شکل ۱: تصاویر گرفته‌شده در حین انجام آزمایش‌های بررسی نقاط کور وسیلهٔ نقلیه. تصاویر به ترتیب دورشدنِ سوژه را از بدنهٔ خودرو نشان می‌دهد.

محاسبات نظری

برای محاسبهٔ زاویهٔ دید آینه‌های داخلی و جانبی در یک وسیلهٔ نقلیه، به معادلاتی نیاز است که با استفاده از ابعاد و ویژگی‌های آینه‌های خودرو و نیز موقعیت خودروهای اطراف نسبت به راننده بتوان اطلاعات خوبی راجع به محدودهٔ میدان دید کسب کرد. از آن جا که آینهٔ تخت حالت خاصی از آینهٔ محدب با شعاع بی‌نهایت است، ابتدا معادلات مربوط به زاویهٔ دید آینهٔ محدب بیان می‌شود و سپس با در نظر گرفتنِ این نکته که شعاع در آینهٔ تخت به سمت بی‌نهایت میل می‌کند، معادلات مربوط به زاویهٔ دید آینهٔ تخت به دست می‌آید.

اگر فاصلهٔ چشم تا محوری که از مرکز آینه می‌گذرد را با S_L و نیز فاصلهٔ مرکز آینه تا این محور عمودی را با S_t نمایش دهیم؛ S فاصله ناظر تا آینه به صورت زیر به دست می‌آید [۵]:

$$S = \sqrt{S_t^2 + S_L^2} \qquad (۱)$$

زاویهٔ دید آینهٔ محدب برای نمای دو چشمی یعنی حالتی که دو چشم با فاصلهٔ مساوی از هم و در خارج از محور اصلی آینه قرار دارند، از رابطهٔ زیر قابل محاسبه است [۵]:

$$\theta = 2\left[2\tan^{-1}\frac{w}{2r} + \tan^{-1}\frac{w\cos\lambda - D}{2s}\right] \qquad (۲)$$

که در آن، r شعاع انحنای آینه، w پهنای آینه و D فاصلهٔ مرکز دو چشم است. λ زاویهٔ بین پرتوی فرودی با خطی است که از مرکز آینه می‌گذرد و مقدار آن از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود [۵]:

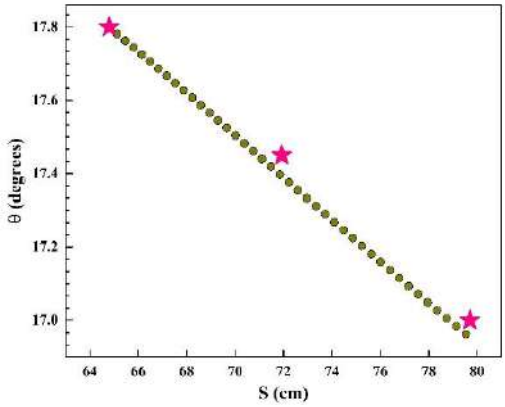
$$\lambda = \frac{1}{2}\tan^{-1}\frac{s_t}{s_L} \qquad (۳)$$

اگر شعاع به سمت بی نهایت میل کند، زاویهٔ دید آینهٔ تخت با رابطهٔ زیر داده می‌شود [۵]:

$$\theta = 2\tan^{-1}\frac{w\cos\lambda}{2s} \qquad (۴)$$

نتایج و بحث

اندازه‌گیری‌های مربوط به محاسبهٔ زاویهٔ دید دوچشمی برای آینهٔ محدب جانبی واقع در سمت راننده با در نظر گرفتن مشخصات خودرو مانند پهنای آینه، شعاع انحنای آینه و نیز فاصله‌های طولی و عرضی چشم نسبت به آینه انجام شد. نتایج برای شرایطی که صندلی راننده در سه حالت جلو، وسط و عقب قرار دارد، با نماد ستاره در شکل ۲ نمایش داده شده است.



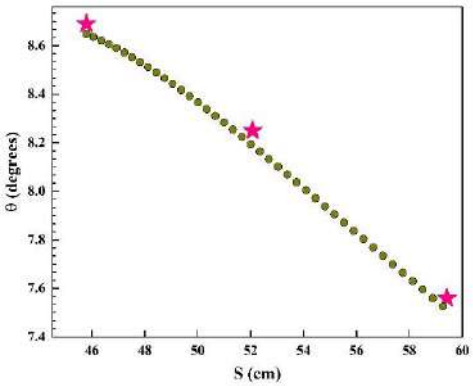
شکل۲ : نمودار تغییرات زاویهٔ دید دوچشمی بر حسب فاصلهٔ ناظر تا آینهٔ محدب جانبی واقع در سمت راننده. دایره‌ها داده‌های نظری و ستاره نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش را نشان می‌دهد.

بررسی روند تغییرات این مقادیر نشان می‌دهد که با افزایش فاصلهٔ ناظر از آینه، زاویهٔ دید دوچشمی و در نتیجه میدان دید کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، تغییر در وضعیت راننده در هنگام رانندگی به تغییر در میدان دید منجر می‌شود.

به‌منظور مقایسهٔ نتایج به‌دست آمده از آزمایش عملی با مقادیر داده شده توسط روابط نظری، داده‌های مربوط به زاویهٔ دید آینهٔ محدب جانبی بر حسب فاصلهٔ ناظر تا آینه در پایتون محاسبه و به نمودار شکل ۲ اضافه شد. این نمودار برای حالت نمای دوچشمی و با به‌کارگیری پارامترهای موجود در خودروی مورد بررسی با استفاده از معادلهٔ (۲)

رسم شده است. از شکل ۲ مشاهده می‌شودکه انطباق خوبی بین داده‌های نظری و تجربی وجود دارد.

جهت بررسی تغییرات زاویهٔ دید آینهٔ تخت واقع در داخل خودرو که در مقایسه با آینهٔ محدب جانبی به تخمین دقیق‌تری از فاصلهٔ خودروهایی که در حالِ نزدیک‌شدن هستند منجر می‌شود، تغییرات زاویهٔ دید برای آینهٔ تخت بر حسب فاصلهٔ ناظر تا آینه با استفاده از معادلهٔ (۴) رسم و در شکل ۳ نمایش داده شده است. نتایج تجربی نیز جهت مقایسه به نمودار شکل ۳ اضافه شد.



شکل۳ : نمودار تغییرات زاویهٔ دید دوچشمی بر حسب فاصلهٔ ناظر تا آینهٔ تخت داخلِ خودرو. نمادهای دایره و ستاره به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ داده‌های نظری و آزمایشی است.

از شکل ۳ مشاهده می‌شود که مشابه با حالت آینهٔ محدب جانبی، با افزایش فاصلهٔ راننده از آینه، زاویهٔ دید دوچشمی کاهش می‌یابد که منجر به کاهش در میدان دید می‌شود. از طرفی همان‌طور که انتظار داریم مقادیر زاویهٔ دید در این نمودار در مقایسه با زاویهٔ دید در نمودار شکل ۲ به میزانِ قابل توجهی کوچک‌تر است؛ چرا که آینهٔ تخت در مقایسه با آینهٔ محدب وسعت کمتری از فضای اطراف خودرو را پوشش می‌دهد. آینه تخت این امکان را به راننده می‌دهد تا در مورد فاصله و سرعت وسایل نقلیه‌ای که از عقب نزدیک می‌شوند، به دقت قضاوت کند.

نتیجه‌گیری

تغییرات زاویهٔ دید دوچشمی برای آینهٔ محدب جانبی واقع در سمت راننده و آینهٔ تخت داخل خودروی SD ۲۰۶ نسبت به فاصلهٔ راننده از آینه مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش در دو بخش عملی و نظری و برای سه وضعیت راننده در موقعیت‌های صندلی جلو، وسط و عقب انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش فاصلهٔ ناظر از آینه، زاویهٔ دید دوچشمی کاهش و در نتیجه میدان دید کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، تغییر در وضعیت صندلی راننده تأثیر مستقیم بر وسعت ناحیهٔ کور دارد. بنابراین با تنظیم درست صندلی راننده قبل از شروع به رانندگی می‌توان به میزان قابل توجهی میدان دید را افزایش داد. تنظیم دقیق آینه‌ها و استفادهٔ هم‌زمان از آینه‌های بغل و داخل خوردو، به گونه‌ای که کل محدودهٔ شیشهٔ عقب در آینهٔ تخت و نیز بخشی از بدنهٔ خودرو و بخشی از جاده در آینهٔ محدب جانبی قابل رؤیت باشد از عوامل دیگری است که در افزایش میدان دید مؤثر است.

مرجع‌ها

[1] T.S. Ajay, R. Ezhil, “Detecting blind spot by using ultrasonic sensor”, Int. J. Sci. Technol. Res. Vol. 5, No. 5, 2016.

[2] J. Kholkhujaev, N. Abdurakhmonov, S. Ruzimov, N. Abdukarimov, J. Inoyatkhodjaev, A. Saidov; “Ray tracing simulation of wing mirrors for ultrasonic sensor based blind spot monitoring system”, IEEE 14th International Conference on AICT2020.

[3] S.M. Hashim, A.H. Ismail, S. Abu Bakar, M.S. Muhamad Azmi, Z. Mohamad Razlan, A. Harun, N.S. Kamarrudin, I. Ibrahim, M.K. Faizi, M.A.M. Saad, M.F.H. Rani, A.R. Mahayadin, M.A. Rojan, M.S. Azizizol and M.H. Md Isa; “Identifying blind spot zone for passenger cars using grid-based technique”, JSAEM Vol. 2, No. 3, pp. 245-251, 2018.

[4] E. Stevens, P. Spielholz, M.A. Cohen; “Optical properties of plane and convex mirrors: investigation of mirror use to enhance construction flagger safety”, Int. J. Occup. Saf. Eergon. Vol. 15, No. 1, 2015.

[5] G. Platzer; “The geometry of automotive rearview mirrors- why blind zones exist and strategies to overcome them”, SAE Int. J. Passeng. Cars Vol. 1, No. 104, pp. 1062-1075, 1995.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی و
فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

زیست حسگر کریستال نوری برای تشخیص سلول سرطانی بر پایه ضریب شکست

فاطمه کسرائی، سید مهدی حسینی، ریحانه آگاه، محمد کاظم باقری

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران-کد پستی۷۱۵۵۷-۱۳۸۷۶

E-mails: f.kasraei@sutech.ac.ir; hosseini@sutech.ac.ir; r.agah@sutech.ac.ir; mk.bagheri@sutech.ac.ir

چکیده - در این پژوهش یک زیست حسگر فلز- دی الکتریک برای تشخیص سلول سرطانی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. طول موج تشدید حسگر به پارامترهایی ساختاری از جمله ضریب شکست مواد مورد استفاده و مقادیر هندسی و ... بستگی دارد. این حسگر در ناحیه فروسرخ نزدیک به مرئی کار می‌کند. این ساختار با حداکثر جذب ۹۵٪ در طول موج ۷۴۲.۶ نانومتر و FWHM ۰.۲ نانومتر و ضریب کیفیت ۳۷۱۳ می‌تواند حسگر زیستی مناسبی برای تشخیص سلول سالم از سلول سرطانی باشد.

کلید واژه – بلور فوتونی، زیست حسگر ، سلول سرطانی

Refractive index based photonic crystal biosensor for cancerous cell detection

Fatemeh Kasraei, Mehdi Hosseini, Reyhaneh Agah, Mohammad Kazem Bagheri
Dept. of Physics, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

Abstract- In this research, a metal-dielectric biosensor is studied for cancer cell detection. The resonance wavelength of the sensor depends on the structural parameters such as materials' refractive indices, geometrical values and … . This sensor operates in the near-infrared region. This structure, has a maximum absorption of 95% at 742.6 nm and FWHM of 0.2 nm and quality factor 3713, and also could be used as a biosensor to diagnose cancer cells from healthy cells.

Keywords: Biosensor, Cancer cell, Photonic crystal

مقدمه

در چند دهه گذشته، به دلیل عدم موفقیت علم پزشکی در ارائه درمان جامع برای مشکلات درمان سرطان، تحقیقات در زمینه تشخیص سرطان در سطح جهانی افزایش یافته است.[1] این سلول های بدخیم به طور غیرقابل کنترلی رشد می کنند و به تومور تبدیل می شوند که با تعدادی از تکنیک های پزشکی قابل تشخیص هستند.[1] به منظور کاهش اثرات مخرب سرطان، شناسایی آن در مراحل اولیه ضروری است. برای این منظور، سازمان های مراقبت های بهداشتی انواع مختلفی از گزینه های مطالعات بالینی را برای آگاهی بیشتر در مورد سلول ارائه می‌دهند از جمله ماموگرافی، اسکن تصویربرداری تشدید مغناطیسی(MRI)، اسکن توموگرافی کامپیوتری (CT)، معاینه آندوسکوپی، بیوپسی و ...که همه این روش ها هم پرهزینه و هم زمان بر هستند. زمان در درمان سرطان بسیار مهم است زیرا سرطان در صورتی که از مرحله خاصی پیشرفت کند می‌تواند کشنده باشد.[2]

به طور خاص با توجه به افزایش جهانی سرطان پوست نیاز به تخمین دقیق تغییرات در سلول های پوستی بیشتر شده است. این تغییرات توسط پارامترهای نوری سلول قابل مشاهده است.[3] اندازه گیری با استفاده از ضریب شکست سلول‌ها می‌تواند یک روش دقیق برای تعیین، تشخیص و وضعیت سلول باشد.[4] تحقیقات نشان می‌دهد که تغییرات در ساختار سلول‌های سرطان پوست بر خواص نوری و به طور خاص ضریب شکست آن‌ها تاثیر می-گذارد.[5]

زیست حسگرهای فوتونی، کوچک، قابل حمل، حساس، دقیق و دارای قیمت مناسب هستند.[2] یک ساختار تناوبی با ضرایب شکست مختلف را کریستال فوتونی می‌نامند که قابلیت کنترل و دستکاری نور را دارد.[6] مزایای زیست حسگرهای فوتونی موجب کاربرد گسترده ی آن ها برای شناسایی زود هنگام سلول های سرطانی شده‌است.[7] همچنین این ساختارها در نانو حسگرها و فناوری تشخیص نزدیک به فروسرخ و سایر زمینه ها کاربرد دارند.[8]

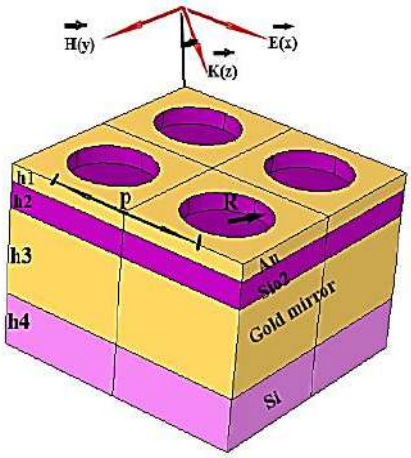
در این پژوهش یک زیست حسگر بصورت جاذب تقریبا کامل چند لایه فلز- دی الکتریک ($Au-Sio_2-Au-Si$) طراحی شده است که به عنوان حسگر ضریب شکست برای تشخیص سلول سرطانی پوستی استفاده می‌شود.

ساختار هندسی

ساختار استفاده شده در این پژوهش همانطور که در شکل ۱ مشخص است شامل چندلایه فلز- دی الکتریک است که به شکل مکعب در ۳ بعد طراحی شده است که ضخامت هر کدام از لایه ها به ترتیب از لایه طلای بالایی، لایه دی الکتریک (SiO_2)، طلا به عنوان آینه فلزی که به منظور بازتاب نور استفاده شده است و زیرلایه سیلیکونی (Si) باh_1=۴۵ نانومتر، h_2=۱۰۰ نانومتر، h_3=۱۵۰۰ نانومتر و h_4=۱۰۰۰ نانومتر مشخص شده اند.

لایه های SiO_2 و Si به ترتیب دارای ثابت دی الکتریک ۱.۴۵ و ۳.۴ می باشند.[6]

فاصله بین دو مرکز دایره ۷۵۰ نانومتر ($P_y=P_x=P=۷۵۰$)، ضخامت آنالیت ۱۰۰ نانومتر و شعاع حفره‌های نانودایره(R) ۱۳۰ نانومتر در نظر گرفته شده است. یک نانو حفره منفرد می‌تواند با نور فرودی تعامل کند تا باعث افزایش جذب نور شود.



شکل ۱: تصویر شماتیک زیست حسگر کریستالی نوری

همچنین جهت نور فرودی همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است به گونه ای انتخاب شده که قطبش در امتداد جهت z باشد و محدوده طول موج از ۷۴۱ تا ۷۴۵ نانومتر است.

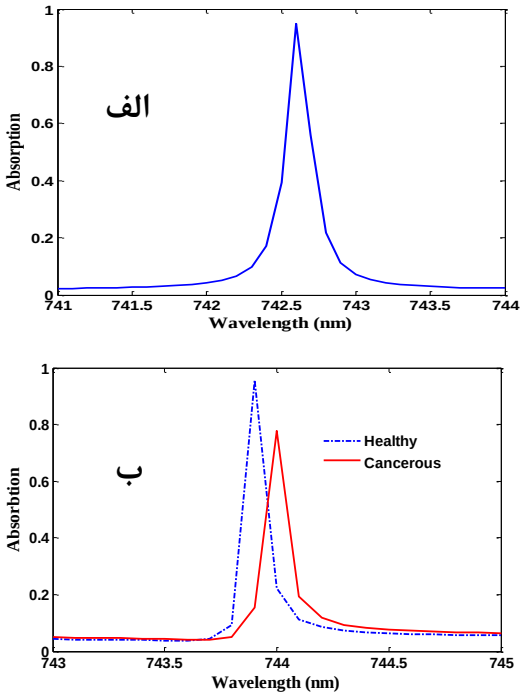
نتایج و بحث

در جدول شماره ۱ ضریب شکست سلول سالم و سرطانی در محدوده ۷۴۰-۷۴۵ نانومتر آورده شده است.

جدول ۱ ضریب شکست سلول سالم و سرطانی [7]

سلول	نشان اختصاری	ضریب شکست
پوست سالم	A	۱,۲۵۷۹۳±۰/۰۱۶۳
پوست سرطانی	M	۱/۳۰۰۹۸±۰/۰۵۵۰

در شکل ۲-الف نمودار جذب بر حسب طول موج برای ساختار بدون آنالیت و در شکل۲-ب برای ساختار در حضور آنالیت شامل سلول سالم و سلول سرطانی آورده شده است.



شکل ۲: نمودار جذب بر حسب طول موج

الف) بدون آنالیت ب) در حضور آنالیت

همانطور که در شکل ۲-الف مشاهده می‌شود، قله جذب بدست آمده توسط این ساختار در طول موج ۷۴۲.۶ نانومتر قرار دارد و حداکثر جذب می‌تواند ۹۵٪ باشد، و مقدار FWHM (full width at half maximum) ۰.۲ است.

نکته قابل توجه در طیف جذب این حسگر این است که قله جذب دیگری در اطراف این ناحیه مشاهده نمی‌شود و این باعث افزایش دقت کار و کاهش خطا می باشد.

در شکل ۲-ب قله جذب برای سلول سالم و سرطانی مشاهده می‌شود که در حالت سرطانی، طول موج قله جذب به سمت مقادیر بالاتر انتقال پیدا می‌کند.

کمیت‌های ضریب کیفیت و حساسیت حسگر مورد نظر در تشخیص سلول سالم و سرطانی در زیر معرفی و محاسبه شده است.[9] که در روابط آن‌ها:

W_M = طول موج بافت سرطانی

W_A= طول موج بافت سالم

W_{max}= طول موج قله ساختار

N_M= ضریب شکست بافت سرطانی

N_A= ضریب شکست بافت سالم

$$Q = \frac{W_{\max}}{FWHM} \quad (۱)$$

$$Sensitivity = \frac{W_{\max M} - W_{\max A}}{N_M - N_A} \quad (۲)$$

در خروجی حسگری که طراحی شد مقدار ضریب کیفیت (Q) از رابطه (۱) ۳۷۱۳ بدست آمد. همچنین حساسیت این حسگر بر اساس اختلاف طول موج از رابطه (۲) برابر با ۲.۳۲ بدست می‌آید.

نتیجه گیری

در این پژوهش یک زیست حسگر بصورت جاذب تقریبا کامل چند لایه فلز- دی الکتریک طراحی شده است. این زیست حسگر با مقدار جذب تقریبا کامل، مقدار ضریب کیفیت به مقدار ۳۷۱۳ و FWHM به مقدار ۰.۲ و حساسیت ۲.۳۲ ساختار مناسبی به عنوان حسگر ضریب شکست برای تشخیص سلول سرطانی پیشنهاد می‌گردد.

مرجع ها

[1] Abinash Panda and Pukhrambam Puspa Devi, “Photonic crystal biosensor for refractive index based cancerous cell detection”, Optical Fiber Technology, Vol. 54, 2020.

[2] Karuna Gamare and Ranjan Bala Jain, “Cancer Cell Detection using 2D Photonic Crystal”, ICCDW, 2020.

[3] Zoe Apalla, Aimilios Lallas, Elena Sotiriou, Elizabeth Lazaridou, Demetrios Ioannides, “Epidemiological trends in skin cancer”, Dermatology practical and conceptual, Vol. 7, 2017.

[4] Hampus Martensson Jonsson, “Biomedical Investigation of Human Muscle Tissue using Near Infrared Time-Of-Flight spectroscopy”, Faculty of science 2015.

[5] Mingguang Shan, Mikhail E. Kandel and Gabriel Popescu, “Refractive index variance of cells and tissues measured by quantitative phase imaging”, Optics express, Vol. 25, No. 2, pp. 1573-1581, 2017.

[6] Pinghui Wua,, Zeqiang Chena, Huge Jileb, Congfen Zhangc, Danyang Xud and Li Lve, “An infrared perfect absorber based on metal-dielectric-metal multi-layer films with nanocircle holes arrays”, Results in Physics, Vol. 16, 2020.

[7] Afshan Shirkavand, Shirin Farivar, Ezeddin Mohajerani, Leila Ataie Fashtami, and Mohammad H. Ghazimoradi, “Non-invasive Reflectance Spectroscopy for Normal and Cancerous Skin Cells Refractive Index Determination: An In Vitro Study”, Lasers in Surgery and Medicine, pp.742-750, 2019.

[8] Shobhit K. Patel and Juveriya Parmar, “Highly sensitive and tunable refractive index biosensor based on phase change material”, Physica B: Physics of Condensed Matter, Vol. 622, p.413357, 2021.

[9] Arafa H Aly and Zaky A Zaky, “Ultra-sensitive photonic crystal cancer cells sensor with a high-quality factor”, Cryogenics, 104, p.102991, 2019.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

بررسی انتشار پالس گوسی فمتوثانیه در یک تار کریستال فوتونی با ۳ طول موج پاشندگی صفر: وجود تونل‌زنی سالیتونی در نواحی پاشندگی

امیررضا خوشحال، شراره بابامحمدی، ابولفضل صفائی بزگ آبادی*

دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

a.khoshhal@student.kgut.ac.ir; shararehb@gmail.com; a.safaei@kgut.ac.ir

چکیده – در این مقاله با استفاده از مشخصه‌های اپتیکی تار کریستال فوتونی با ۳ طول موج پاشندگی صفر که اخیرا طراحی شده‌است با حل عددی معادله شرودینگر غیرخطی تعمیم‌یافته به بررسی انتشار پالس گوسی پرداخته می‌شود. با شبیه‌سازی پروفایل فرکانسی و پروفایل زمانی پالس منتشر شده در تار نوری درنظر گرفته شده، مشخص می‌شود که پهن شدگی طیفی بین ۸۰۰-۱۶۰۰ نانومتر رخ می‌دهد همچنین پدیده شکافت سالیتونی نیز اتفاق می‌افتد که بخشی از پهن شدگی طیفی ناشی از این پدیده است. در این پدیده حداقل ۴ پالس سالیتونی ناشی از شکافت، شکل گرفته است. به دلیل اینکه طول موج پالس ورودی در ناحیه پاشندگی عادی تار نوری قرار می‌گیرد، نوعی تونل‌زنی سالیتونی بین دو ناحیه با پاشندگی غیرعادی وجود خواهد داشت.

کلید واژه: نور ابرپیوستار، اپتیک غیرخطی، طول موج پاشندگی صفر، سالیتون، تار کریستال فوتونی

Investigation of a femtosecond pulse propagation inside a photonic crystal fiber with three zero dispersion wavelengths: existence of soliton tunneling between dispersion regions

Amirreza Khoshhal, Sharareh Babamohammadi, Abolfazl Safaei Bezgabadi*

Faculty of Modern Sciences and Technologies, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.

a.khoshhal@student.kgut.ac.ir; shararehb@gmail.com; a.safaei@kgut.ac.ir

Abstract- In this paper, by implementing the generalized nonlinear Schrodinger equation, we investigate the pulse propagation of a Gaussian pulse through a recently designed photonic crystal fiber with three zero dispersion wavelengths. Our simulated results exhibit pulse broadening in the range of 800-1600nm. In addition, the soliton fission occurs in this process which responsible to parts of spectral broadening. Through this fission, 4 solitonic pulses are generated at least. Due to the central frequency of the input pulse that lies in the normal dispersion region of the fiber, there is a kind of soliton tunnelling between the two anomalous dispersion regions.

Keywords: Supercontinuum generation , Nonlinear optics, Zero dispersion wavelength, Soliton, Photonic crystal fiber

مقدمه

پاشندگی و پدیده‌های غیرخطی در برهمکنش نور با ماده، فیزیک حاکم بر منابع نوری ابرپیوستار را توصیف می‌کنند. در حال حاضر منابع نور ابرپیوستار کاربردهای متنوعی در صنعت و پزشکی دارند. به عنوان مثال، این منابع برای تشخیص سرطان، بهبود زخم‌ها، سوزاندن بافت‌ها، تحریک عصبی برای درمان و بهبود برخی از بیماری ها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱و۲]. تقریباً تمام مواد قابلیت بروز رفتار غیرخطی را دارند. اما شدت میدان الکترومغناطیسی عبوری از آنها باید به اندازه کافی بالا باشد. البته این شدت برای هر ماده متغیر است. بنابراین مبنای نظری فرآیندهایی که در تولید طیف ابرپایستار حضور دارند، با اپتیک غیرخطی بیان می شود [۱-۳]. منبع نور ابر پیوستار کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های مخابرات، طیف نگاری ، فشردگی پالس، طراحی منابع لیزری قابل تنظیم فوق سریع از نوع فمتوثانیه و یا علم اندازه‌گیری نوری دارد. در این تحقیق با استفاده از مشخصه‌های اپتیکی (نظیر ضرایب پاشندگی) تار کریستال فوتونی با ۳ طول موج پاشندگی صفر که اخیرا طراحی شده-است[۴]، طیف ابرپایستار برای پالس ورودی به تار که پروفایل گوسی دارد شبیه سازی می‌شود.

فیزیک و معادلات حاکم بر مسئله

در نظریهٔ کلاسیکی امواج الکترومغناطیسی، معادلهٔ موج که از معادلات ماکسول به دست می‌آید، توصیف کننده برهمکنش موج الکترومغناطیسی با محیط انتشار است [۲]. بخش طولی معادلهٔ موج، انتشار موج در محیط را مشخص می کند و بخش عرضی معادله موج، مدهای انتشاری در محیط را توضیح می‌دهد. با به‌کارگیری تقریب پوش کند تغییر در بخش طولی معادلهٔ موج، معادله‌ای حاصل می‌شود که به معادلهٔ شرودینگر غیرخطی تعمیم یافته مشهور است [۲]. این معادله که معادلهٔ حاکم بر فرآیند تولید نور ابرپایستار می‌باشد، به صورت:

$$\frac{\partial A(z,T)}{\partial z}+\frac{\alpha}{2}A(z,T)-\sum_{k\geq 2}\frac{(i)^{k+1}}{k!}\beta_k\frac{\partial^k A(z,T)}{\partial T^k}= i\gamma\left(1+\frac{1}{\omega_.}\frac{\partial}{\partial T}\right)\left(A(z,T)\int_{-\infty}^{\infty}R(T')|A(z,T-T')|^2dT'\right) \quad (۱)$$

می‌باشد که در آن $A(z,T)$، $\omega_.$ ، γ، β_k و α به ترتیب دامنه‌ی پالس لیزر، فرکانس مرکزی پالس ورودی، پاشندگی مرتبه kام، پارامتر غیرخطی و ضریب تضعیف تار نوری هستند. تابع $R(T)$ به صورت [۲]:

$$R(T)=(1-f_R)\delta(T)+f_R h_R(T) \quad (۲)$$

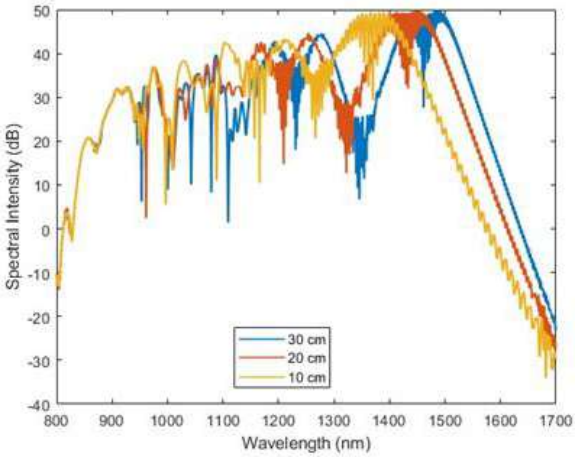
می‌باشد که $0\leq f_R\leq 1$ توزیع ساختاری از پاسخ رامان تأخیری ماده نسبت به قطبش غیرخطی است. همچنین $\delta(T)$، تابع دلتای دیراک می باشد و تابع پاسخ رامان محیط است که معمولاً به صورت [۲]:

$$h_R(T)=\frac{\tau_1^2+\tau_2^2}{\tau_1\tau_2^2}exp\left(-\frac{T}{\tau_2}\right)sin(\frac{T}{\tau_1})\,\Theta(T) \quad (۳)$$

نوشته می‌شود و آثاری نظیر خود جابه‌جایی فرکانسی سالیتون رامان را توصیف می‌کند. در رابطهٔ (۳،) $\Theta(T)$ تابع پلهٔ هویساید می‌باشد و پارمترهای τ_1 و τ_2 به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که نمودار طیفی بهره رامان تطبیق خوبی با طیف بهره رامان واقعی، که به صورت تجربی اندازه گیری می‌شود، داشته باشد. مدوله سازی فاز خودی، مدوله سازی فاز عرضی، مخلوط کردن چهار موج، شکافتن سالیتون، پراکندگی رامان القایی و خود سراشیبی عمده-ترین پدیده‌های غیرخطی هستند که در فرآیند تولید نور ابرپیوستار نقش اساسی دارند با معادلهٔ شرودینگر غیرخطی تعمیم یافته قابل توصیف می‌باشد.

نتایج شبیه‌سازی

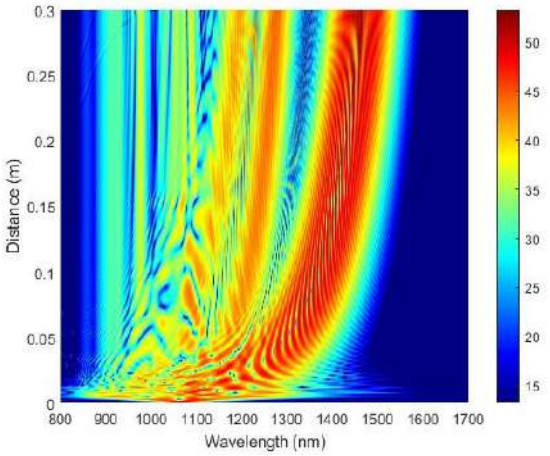
در اینجا برای حل معادله (۱) از روش عددی رونگ – کوتای مرتبه ۴ [۵]، استفاده شده است. همچنین مشخصه-های اپتیکی تار کریستال فوتونی طراحی شده با ۳ طول موج پاشندگی صفر [۴]، مورد استفاده قرار گرفته و توان قله پالس گوسی ورودی ۵ کیلو وات و پهنای زمانی آن ۳۰ فمتوثانیه در نظر گرفته شده است.



شکل ۱: طیف ابرپیوستار شبیه‌سازی شده در فواصل ۱۰ ، ۲۰ و ۳۰ سانتی متر از تار کریستال فوتونی مرجع [۴].

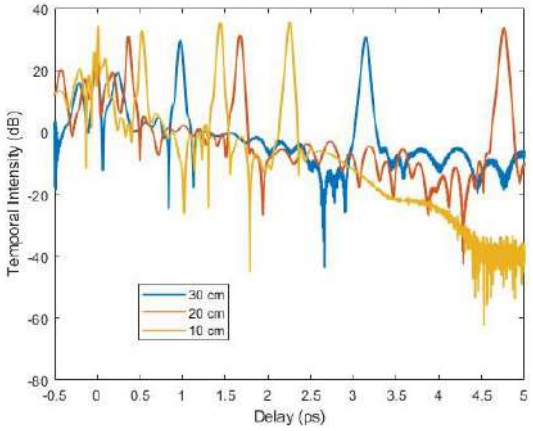
در شکل (۱) طیف ابرپیوستار شبیه‌سازی شده در تار کریستال فوتونی [۴] که در طول‌های مختلف از تار مذکور رسم شده است. از این شکل مشخص می‌شود که هر چه طول تار بزرگتر باشد پهن‌شدگی طیفی نیز بیشتر است البته این نتیجه برای طول‌موج‌های بلند صادق است و همانطور که از شکل (۱) مشاهده می‌شود در طول‌موج‌های کوتاه بویژه در ناحیه کوچکتر از ۱۰۰۰ نانومتر، افزایش طول تار تاثیری بر این طول‌موج‌ها ندارد.

شکل (۲) تحول فرکانسی پالس در سرتاسر تار مورد نظر به طول ۳۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. از آنجایی که تار کریستال فوتونی [۴] دارای ۳ طول‌موج پاشندگی صفر است و طول موج پالس ورودی که ۱۰۶۴ نانومتر انتخاب می‌شود در ناحیه با پاشندگی عادی قرار دارد. این طول موج نزدیک به سومین طول موج پاشندگی صفر تار نوری در نظر گرفته شده می‌باشد و مضافا به دلیل اینکه در ناحیه پاشندگی عادی تا نوری است می‌توان به مطالعه پدیده تونلزنی سالیتونی پرداخت. هنگامی که فرکانسهای جدید توسط پدیده‌های دخیل در فرآیند ابرپیوستار تولید می‌شوند بخشی از پالس از ناحیه پاشندگی عادی به دو ناحیه پاشندگی غیرعادی وارد می‌شود. در ناحیه پاشندگی عادی، سالیتونی شکل نمی‌گیرد در حالی که در نواحی پاشندگی غیرعادی سالیتون شکل می‌گیرد بنابراین می‌توان اینگونه توصیف کرد که یک تونلزنی سالیتونی بین دو ناحیه با پاشندگی غیرعادی وجود دارد.

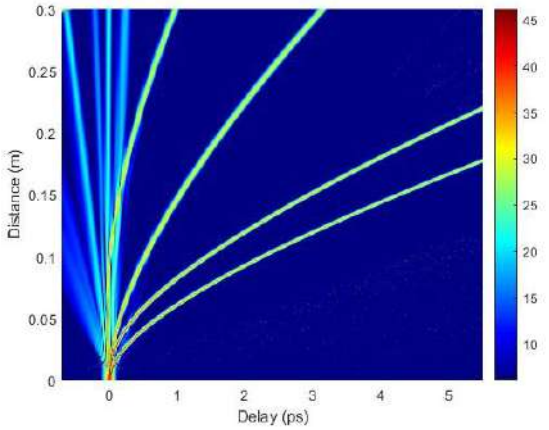


شکل ۲: طیف ابرپیوستار شبیه‌سازی شده در سرتاسر تار کریستال فوتونی مرجع [۴].

شکل (۳) پروفایل زمانی پالس منتشر در تار کریستال فوتونی [۴] را در طول‌های مختلف از تار نشان می‌دهد. پالسهای سالیتونی شکل گرفته در این طولها به وضوح مشخص هستند البته باید به این نکته توجه کرد که محور عمودی این نتایج در مقیاس لگاریتمی می‌باشد. شکل (۴) تحول پالس در حوزه زمانی را در سراسر طول تار نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است پدیده شکافت سالیتونی در طول ابتدایی تار (حدود ۱/۵ سانتی‌متر) اتفاق می‌افتد. پدیده شکافت سالیتونی در اثر برهمکنش آثار پاشندگی مراتب بالا با اثر خود-سراشیبی و اثر رامان القایی رخ می‌دهد [۱و۲]. در اینجا با توجه به شدت پالس ورودی و پارامترهای مربوز به تار کریستال فوتونی مذکور حداقل ۴ پالس سالیتونی ناشی از شکافت، شکل گرفته است. محور افقی شکلهای (۳) و (۴) تاخیر زمانی بخشی از پروفایل موج ورودی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال در شکل (۴)، پالسهای سالیتونی شکافته شده نسبت به جبهه اصلی موج دارای تاخیر زمانی (عقب‌تر) هستند. این تاخیر به دلیل پاسخ رامان محیط می‌باشد.



شکل ۳: پالس منتشر شده (در حوزه زمان)، در فواصل ۱۰ ، ۲۰ و ۳۰ سانتی متر از تار کریستال فوتونی مرجع [۴].



شکل ۴: تحول زمانی پالس گوسی ورودی در تار کریستال فوتونی [۴]- پدیده شکافت سالیتونی.

نتیجه‌گیری

در این مقاله با حل عددی معادله شرودینگر غیرخطی تعمیم‌یافته انتشار پالس گوسی در یک نمونه تار کریستال فوتونی با ۳ طول موج پاشندگی صفر شبیه‌سازی شد. پس از انتشار پالس ورودی در ۳۰ سانتی‌متر از تار مذکور، پهن شدگی طیفی بین ۸۰۰-۱۶۰۰ نانومتر رخ می‌دهد که در محدوده مادون قرمز نزدیک قرار دارد. از پروفایل زمانی نتیجه گرفته می‌شود که پدیده شکافت سالیتونی نیز اتفاق می‌افتد و بخشی از پهن شدگی طیفی ناشی از این پدیده است. از آنجایی که طول موج پالس ورودی به تار، ۱۰۶۴ نانومتر انتخاب شده باتوجه به پاشندگی تار مذکور این طول موج در ناحیه با پاشندگی عادی قرار دارد. با توجه به ماهیت ذاتی پالس سالیتونی، در ناحیه پاشندگی عادی، سالیتونی شکل نمی‌گیرد در حالی که در نواحی پاشندگی غیرعادی سالیتون شکل می‌گیرد [۱و۲] بنابراین می‌توان اینگونه توصیف کرد که یک تونل‌زنی سالیتونی بین دو ناحیه با پاشندگی غیرعادی وجود دارد که می‌طلبد روی مکانسیم این اثر مطالعه جامعی صورت گیرد.

مرجع‌ها

[1] Alfano, R.R., *The supercontinuum laser source: the ultimate white light*, 4th edn. Springer, New York (2023).

[2] Agrawal, G.P., *Nonlinear fiber optics*, 6th edn. Academic Press, San Diego (2019).

[3] Safaei Bezgabadi, A., Bolorizadeh, M.A., "Quantum model for supercontinuum generation process", Sci. Rep. **12**, 9666 (2022).

[4] Yu, X. et al., "Supercontinuum generation from Airy-Gaussian pulses in photonic crystal fiber with three zero-dispersion points", Photonics **10**, 1061, (2023).

[5] Safaei Bezgabadi, A., Bolorizadeh, M.A., "Solving nonlinear Schrödinger equation by a new and fast method", Phys. Scr. **96**, 125238 (2021).

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

بررسی عملکرد متالوپورفیرین برم‌دار در افزایش بازدهی و پایداری سلول خورشیدی پروسکایتی

نیره ملک‌محمدی، سالار مهدی‌پورنعیم، فاطمه حسینی‌الست، ناصر صفری

[۱] دانشکده شیمی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران [۲] دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
Nayereh.malek@yahoo.com, s.mehdipournaiem@sbu.ac.ir, f_hosseinialast@sbu.ac.ir, n-safari@sbu.ac.ir

چکیده – اخیرا بلورهای هیبریدی آلی-معدنی پروسکایتی با توجه به ویژگی‌های الکترواپتیکی مناسب به عنوان ماده جاذب در زمینه سلول‌های خورشیدی مطرح شده است. استفاده از مواد افزودنی در لایه پروسکایت در جهت کاهش نقص و اثرات آن در ساختار بلوری و بهبود خواص اپتیکی لایه جاذب صورت می‌پذیرد که موجب افزایش کارایی و بازده سلول می‌شود. پورفیرین و مشتقات آن با توجه به خواص فوتوالکتریکی و پایداری دمایی که دارند، کاندیدای مناسبی برای این منظور هستند. در پژوهش حاضر پورفیرین برم‌دار با فلز مرکزی روی، مزوتترابرمو تترافنیل پورفیرین، سنتز شده و عملکرد آن در تغییر مشخصات فتوولتاییک سلول خورشیدی پروسکایتی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این پژوهش تاثیرجایگاه‌های الکترونگاتیو برم درکاهش اثرات نقص‌های بلوری پروسکایت بررسی شده است. کاهش اثرات نقص‌های بلوری لایه‌ی پروسکایت موجب کاهش میزان بازترکیب الکترون و حفره و بهبود خواص فتوولتاییک سلول خورشیدی می‌شود، چنانکه شاهد افزایش ۱۵٪ در بازدهی و افزایش پایداری در اثر افزودن متالوپورفیرین در سلول خورشیدی هستیم.

کلید واژه- سلول های خورشیدی پروسکایت ، پورفیرین، مواد افزودنی

Investigation of the performance of Brominated Metalloporphyrin in Enhancing Efficiency and Stability of Perovskite Solar Cells

Nayereh Malek Mohammadi[a], Salar Mehdipour Naiem[b], Fatemeh Hosseini Alast[b], Nasser Safari[a]
[a] department of chemistry; [b] department of physics, Shahid Beheshti university, Evin, Tehran, Iran

Nayereh.malek@yahoo.com, s.mehdipournaiem@sbu.ac.ir, f_hosseinialast@sbu.ac.ir, n-safari@sbu.ac.ir

Abstract- Recently, Organic-inorganic hybrid perovskite crystals have received considerable attentions due to their electro-optical characteristics as light absorber in solar cells. Selection of a suitable additive in perovskite film is becoming of great concern to achieve the synergistic function of morphology tailoring and defect suppression of perovskite film in order to gain higher performance. Porphyrins and their derivatives with excellent photoelectric properties and thermal stability render them as promising additive candidates in perovskite films to resolve these issues. In this research brominated porphyrins with zinc metal was synthesized and its functions in perovskite solar cells have been investigated. The effect of electronegative Br sites in defect states passivation and the function of additive in surface morphology of perovskite layer have been studied. Passivation of defect states results in reducing of carrier recombination, which improve photovoltaic performance of solar cell. This modification results in 15% increase in power conversion efficiency beside improved device stability.

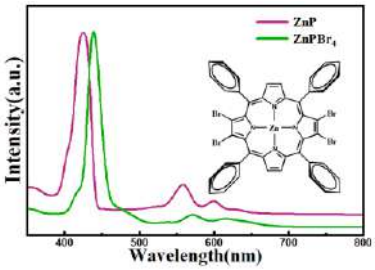
Keywords: planar perovskite solar cells, porphyrin, additive

مقدمه

سلول‌های خورشیدی پروسکایتی به عنوان نسل جدید فناوری فتوولتائیک بدلیل ویژگی‌های الکترواپتیکی بلور پروسکایت مانند ضریب جذب نوری بالا در ناحیه مرئی، طول انتشار و تحرک بالای حامل‌های بار، گاف انرژی قابل تنظیم و هزینه پایین تولید مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند. رشد سریع بلور پروسکایت باعث ایجاد نقص‌های شبکه بلوری بویژه در سطوح و بین دانه‌های بلوری پروسکایت می‌شود. نقص‌های بلوری حاصل از اتم‌های غیر کوئوردینه سرب Pb^{2+} در پروسکایت‌های بر پایه سرب باعث افزایش نرخ بازترکیب الکترون و حفره شده و بر عملکرد فتوولتاییک سلول خورشیدی تاثیر منفی دارد[1]. همچنین نقص‌های بلوری روند تخریب لایه پروسکایت در برخورد با رطوبت و اکسیژن را تسریع می‌کنند. استفاده از مواد افزودنی در لایه‌ی پروسکایت یکی از راهکارهای امیدبخش برای کاهش اثرات منفی نقص‌های بلوری لایه‌ی پروسکایت به منظور دستیابی به بازدهی و پایداری حداکثر در سلول‌های خورشیدی پروسکایتی است[2]. در این پژوهش ازپورفیرین به عنوان ماده افزودنی در لایه پروسکایت استفاده شده است.پورفیرین‌ها ماکروسیکل‌های آروماتیک مزدوج با یک نوار جذبی در ناحیه‌ی مرئی حدود ۴۰۰ نانومتر هستند که این ماکزیمم در طیف جذبی مشخصه پورفیرین‌ها بوده و نوار سورت نام دارد. علاوه بر این طیف جذبی پورفیرین‌ها شامل ۴ نوار جذبی با شدت نسبتا کم در طول‌موج‌های بلندتر هستند که نوارهای Q نامیده می‌شوند. با فلزدار شدن پورفیرین، بدلیل افزایش تقارن ساختار مولکولی تعداد نوارهای Q به ۲ عدد کاهش پیدا می‌کند. پایداری حرارتی و خاصیت آبگریزی مزوتترابرمو تترافنیل پورفیرین ($ZnPBr_4$) می‌تواند باعث بهبود عملکرد و پایداری سلول خورشیدی شود و همچنین بدلیل وجود اتم الکترونگاتیو برم که باعث افزایش چگالی ابرالکترونی در اطراف این اتم می‌شود، قابلیت اندرکنش با نقص‌های بلوری Pb^{2+} ایجاد می‌شود که باعث افزایش بازدهی سلول خواهد شد.

سنتز متالوپورفیرین

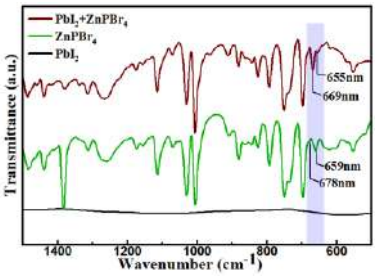
برای سنتز $ZnPBr_4$ از روش آلدر بهره گرفته شد[3]. ابتدا مزوتترافنیل پورفیرین با استفاده از نسبت‌های مساوی از پیرول و بنزآلدهید در پروپیونیک اسید به مدت ۳۰ دقیقه تحت تقطیر برگشتی قرار داده شد و پس از خشک شدن، مزوتترافنیل پورفیرین با استفاده از زینک‌استات در حلال دی‌متیل‌فرمامید، فلزدار شد (ZnP). جهت اضافه کردن برم به زینک-مزوتترافنیل پورفیرین از ان-برومو سوکسینیمید استفاده شد. باند سورت در طیف جذبی پورفیرین با اضافه شدن فلز برم به طول‌موج‌های بلندتر گذار می‌کند (۴۲۵نانومتر به ۴۳۸نانومتر). (شکل ۱)



شکل ۱: طیف جذبی مرئی-فرابنفش ZnP و $ZnPBr_4$ در CH_2Cl_2، و ساختار مولکولی $ZnPBr_4$ نشان داده شده است.

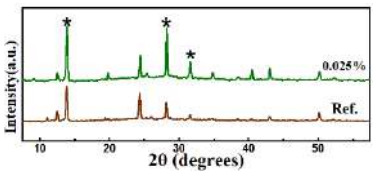
مشخصه‌یابی

برای بررسی اندرکنش $ZnPBr_4$ با نقص بلوری مربوط به اتم‌های سرب غیرکوئوردینه Pb^{2+} از روش طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FTIR) استفاده شد. این آنالیز بر روی نمونه‌های پودری $ZnPBr_4$ و PbI_2 و مخلوط $ZnPBr_4$+PbI_2 انجام شد. تغییر عددموج مربوط به پیک‌های طیف FTIR در نمونه $ZnPBr_4$+PbI_2 نسبت به طیف‌های $ZnPBr_4$ و PbI_2 نشان‌دهنده اندرکنش بین اتم غیرکوئوردینه Pb^{2+} و ابرالکترونی حول اتم الکترونگاتیو برم است (شکل ۲). گذار پیک‌های با عددموج ۶۷۸ و ۶۵۹ cm^{-1} به‌ترتیب به ۶۶۹ و ۶۵۵ cm^{-1} مربوط به پیوند C-Br در مولکول $ZnPBr_4$ بوده و نشان‌دهنده قابلیت اندرکنش ابرالکترونی متالوپورفیرین با نقص‌های بلوری مربوط به Pb^{2+} در بلور پروسکایت است که تاثیر قابل توجهی در کاهش شدت بازترکیب غیرتابشی الکترون و حفره در ساختار بلور دارد.



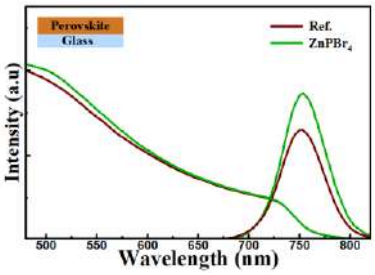
شکل ۲:طیف FTIR نمونه‌های پودری $ZnPBr_4$ و PbI_2 و مخلوط $ZnPBr_4+PbI_2$.

اثر افزودن $ZnPBr_4$ در تشکیل بلور پروسکایت توسط پراش اشعه X (XRD) بررسی شد. برای این منظور از پروسکایت سه کاتیونه $(Cs,FA,MA)Pb(I,Br)_3$ استفاده شد و متالوپورفیرین با درصد وزنی ۰.۰۲۵٪ نسبت به مقدار سرب در محلول پیش‌ماده اضافه شد. آنالیز روی لایه پروسکایت مرجع و پروسکایت حاوی $ZnPBr_4$ انجام شد. طیف مربوط به لایه پروسکایت اصلاح شده پیک جدید یا تغییر پیک قابل توجهی را نشان نمی‌دهد که عدم تغییر ساختار بلوری پروسکایت و حضور $ZnPBr_4$ در بین دانه‌های بلوری پروسکایت را آشکار می‌سازد. نکته قابل توجه افزایش شدت پیک‌های پراش بلور پروسکایت مخصوصا در زوایای ۱۴.۱ و ۲۸.۲ و ۳۱.۶ به عنوان پیک‌های مشخصه پروسکایت است. افزایش شدت پیک به همراه کاهش پهنا در نصف مقدار بیشینه در زاویه ۱۴.۱ درجه از ۰.۱۸ برای پروسکایت مرجع به ۰.۱۲ در پروسکایت اصلاح شده بیانگر بهبود کیفیت بلوری پروسکایت با افزودن $ZnPBr_4$ است.



شکل ۳: طیف XRD پروسکایت مرجع و اصلاح شده (* نشانگر پیک‌های مشخصه پروسکایت است).

عملکرد $ZnPBr_4$ در بهبود ویژگی‌های الکترواپتیکی لایه‌ی پروسکایت توسط طیف جذبی مرئی-فرابنفش و همچنین طیف فتولومینسانس (PL) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). افزایش جزئی در طیف جذبی مرئی-فرابنفش لایه‌ی پروسکایت اصلاح شده با $ZnPBr_4$ نسبت به پروسکایت مرجع بیانگر بهبود کیفیت بلور پروسکایت در اثر افزودن $ZnPBr_4$ است که نتایج حاصل از آنالیز XRD را تایید می‌کند. همچنین افزایش شدت پیک در طیف‌سنجی PL در طول‌موج ۷۵۰ نانومتر در تطابق با نتایج آنالیز XRD و طیف جذبی، افزایش جذب فوتون و بازترکیب تابشی را نشان می‌دهد که موید بهبود کیفیت بلوری لایه‌ی پروسکایت و همچنین کاهش اثر نقص‌های بلوری در لایه‌ی پروسکایت به عنوان عامل اصلی بازترکیب غیرتابشی و کاهش شدت پیک طیف فتولومینسانس است.



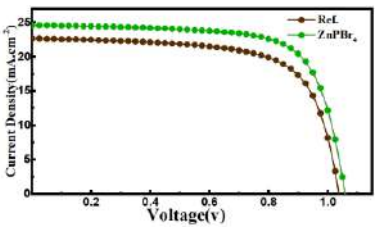
شکل ۴: طیف جذبی مرئی-فرابنفش و طیف PL لایه پروسکایت مرجع و پروسکایت اصلاح شده.

عملکرد فتوولتاییک

تاثیر افزودن $ZnPBr_4$ در مشخصه‌های فتوولتاییک در ساختار n-i-p سلول خورشیدی پروسکایتی با پیکربندی $FTO/SnO_2/Perovskite/CIS/Carbon$ مورد بررسی قرار گرفت. ساخت سلول با روش لایه‌نشانی چرخشی انجام شده است. نمودار چگالی-جریان ولتاژ (شکل ۵) بیان کننده عملکرد بهینه‌تر سلول با پروسکایت اصلاح شده نسبت به سلول با لایه پروسکایت مرجع است. پارامترهای فتوولتاییک در جدول ۱ خلاصه شده است. افزودن $ZnPBr_4$ باعث افزایش ۱۵٪ در بازدهی سلول خورشیدی شده است.

جدول ۱: پارامترهای فتوولتاییک سلول با لایه پروسکایت مرجع و پروسکایت اصلاح شده.

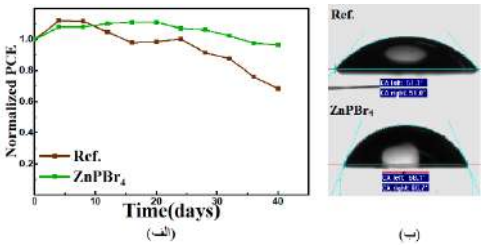
	$J_{sc}\,(mA.cm^{-2})$	$V_{oc}\,(mV)$	FF (%)	EFF (%)
Ref.	**22.6**	**1037.5**	**68.5**	**16.1**
$ZnPBr_4$	**24.5**	**1059.3**	**71.3**	**18.5**



شکل ۵: نمودار چگالی جریان- ولتاژ سلول با لایه پروسکایت مرجع و پروسکایت اصلاح شده.

یکی از مشکلات سلول‌های خورشیدی پروسکایتی، پایداری عملکرد این سلول‌ها در بازه زمانی طولانی است. پایداری فتوولتاییک سلول خورشیدی با افزودن $ZnPBr_4$ در بازه زمانی ۴۰ روزه بررسی شد (شکل ۶ (الف)). سلول مرجع افت ۳۸٪ در بازدهی را در مدت زمان اندازه‌گیری را نشان می‌دهد در حالی که بازده سلول با لایه پروسکایت اصلاح شده فقط ۴٪ کاهش داشته است. پایداری بالاتر نشانگر تاثیر متالوپورفیرین در کاهش اثرات نقص‌های بلوری در لایه‌ی پروسکایت است که به عنوان عاملی در تسریع تخریب لایه‌ی پروسکایت شناخته شده است. سلول‌ها در فاصله زمانی اندازه‌گیری در محیط آزاد و تاریک نگهداری شده است.

یکی دیگر از عوامل تاثیرگذار در تخریب لایه‌ی پروسکایت، نفوذ رطوبت به لایه و تخریب ساختار بلوری ماده جاذب است که باعث افت بازدهی سلول در مدت‌زمان طولانی می‌شود. حضور متالوپورفیرین در بین دانه‌های بلوری پروسکایت، بدلیل خاصیت آبگریزی ذاتی $ZnPBr_4$ باعث افزایش آبگریزی لایه‌ی پروسکایت می‌شود. اندازه‌گیری زاویه‌تماس آب روی لایه‌ی پروسکایت مرجع و پروسکایت اصلاح شده (شکل ۶(ب)) به وضوح افزایش ویژگی آبگریزی در اثر افزودن $ZnPBr_4$ را نشان می‌دهد که توجیهی برای پایداری بالای مشاهده شده در بازه زمانی اندازه‌گیری شده است.



شکل ۶: الف) نمودار نرمالیزه شده پایداری زمانی بازده سلول خورشیدی با لایه پروسکایت مرجع و اصلاح شده. ب) تست زاویه تماس قطره آب (این مقدار برای پروسکایت مرجع ۵۰.۶ و برای پروسکایت اصلاح شده ۶۷.۴ درجه می‌باشد).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نشان‌داده شد که مزوتترابرمو تترافنیل پورفیرین بدلیل توزیع ابرالکترونی حول اتم‌های الکترونگاتیو برم توانایی بی‌اثر کردن نقص‌های بلوری حاصل از اتم‌های سرب غیرکوئوردینه را دارد که باعث افزایش راندمان سلول خورشیدی می‌شود. همچنین به علت خاصیت آبگریزی ذاتی، باعث کاهش نفوذ رطوبت به ساختار بلوری پروسکایت و درنتیجه افزایش پایداری سلول خورشیدی می‌شود.

مرجع‌ها

[1] L. Deng *et al.*, “Electron-deficient 4-nitrophthalonitrile passivated efficient perovskite solar cells with efficiency exceeding 22%,” *Sustain. Energy Fuels*, vol. 5, no. 8, pp. 2347–2353, 2021, doi: 10.1039/d1se00188d.

[2] X. Zhang *et al.*, “Additive Engineering by 6-Aminoquinoline Monohydrochloride for High-Performance Perovskite Solar Cells,” *ACS Appl. Energy Mater.*, vol. 4, no. 7, pp. 7083–7090, 2021, doi: 10.1021/acsaem.1c01142.

[3] A. D. Adler, F. R. Longo, J. D. Finarelli, J. Goldmacher, J. Assour, and L. Korsakoff, “A simplified synthesis for meso-tetraphenylporphine,” *J. Org. Chem.*, vol. 32, no. 2, pp. 476–476, Feb. 1967, doi: 10.1021/jo01288a053.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

مطالعه پایداری حرارتی پروسکایت‌های مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی

افشین افشاری[۱]، فاطمه ارشادی[۲]، علی مهدی‌پورثریائی[۲]، صغری میرارشادی[۱]، فرهاد ستاری[۲]

[۱]گروه علوم مهندسی، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه محقق اردبیلی، نمین

[۲]گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

Email: Afshin.afshari091@gmail.com, fatemehershadi733@gmail.com, alisorayai64@gmail.com, s.mirershadi@uma.ac.ir, f_sattari@uma.ac.ir

چکیده - در سال‌های اخیر هیبریدهای آلی معدنی به دلیل بازدهی بالا در سلول‌های خورشیدی مورد توجه قرار گرفته اند. یکی ازمحدودیت ها در توسعه و کاربردشان، پایداری پایین آن‌ها در برابر عوامل محیطی است. در این مقاله علاوه برمطالعه خواص اپتیکی ساختارهای مختلف پروسکایتی با اتم‌های هالوژن مختلف که به کارگیری آن ها درسلول های خورشیدی مرسوم است، پایداری حرارتی این ساختارها نیز مورد مطالعه قرار گرفته است .

کلید واژه – آنالیز حرارتی، پروسکایت، سلول خورشیدی، هیبرید آلی- معدنی.

Study of the thermal stability of perovskites for use in solar cells

Afshin Afshari[1], Fatemeh Ershadi[1], Ali Mehdipour Sorayai[2], Soghra Mirershadi[1], Farhad Sattari[2]

[2]Department of physics, Faculty of science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil
[1]Department of Engineering Science, Faculty of Advanced Technologies, University of Mohaghegh Ardabili, Namin.
Email: Afshin.afshari091@gmail.com, fatemehershadi733@gmail.com, alisorayai64@gmail.com, s.mirershadi@uma.ac.ir, f_sattari@uma.ac.ir

Abstract- In recent years, organic-inorganic hybrids have been considered in solar cells due to their high efficiency. One of the limits in their development and application is their low resistance against environmental factors. In this article, in addition to studying the optical properties of various perovskite structures with different halogen atoms, which are commonly used in solar cells, the thermal stability of these structures has also been studied.

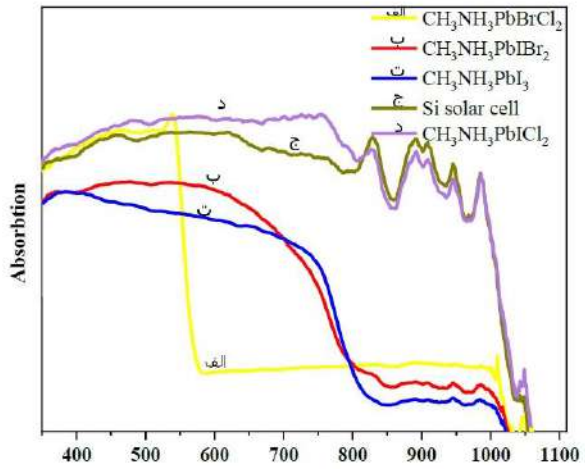
Keywords: Thermal analysis, Perovskite, Solar cell, Inorganic organic hybrids.

مقدمه

چالش اصلی در فناوری‌های فتوولتائیک، تبدیل و ذخیره انرژی خورشیدی به شیوه ای کارآمد، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست بوده است[۱]. پروسکایت‌ها نوعی کریستال هستند، که خواص جالبی برای استفاده در فناوری نانو، به ویژه در توسعه سلول‌های خورشیدی نانوساختار نسل جدید دارند. مدتهاست که به دلیل دارا بودن خواص منحصربه‌فرد الکترونیکی، نوری خطی و غیرخطی مورد توجه بوده‌اند. در میان انواع مختلف آن‌ها، پروسکایت‌های مبتنی بر پایه هالید سرب با فرمول عمومی $CH_3NH_3PbX_3$ که در آن X=I, Br, Cl است که بخاطر طیف گسترده‌ای از خواص، از جمله ضرایب جذب بالا در طیف وسیع، جداسازی سریع بار، طول انتشار بالا، تحرک و طول عمر بالای حامل-های بار دارای کاربردهای فراوانی هستند. این ویژگی‌ها آنها را به مواد جذابی برای سلول‌های خورشیدی حالت جامد تبدیل کرده است و در نتیجه سلول‌های خورشیدی مبتنی بر پروسکایت افزایش قابل توجهی در کارایی از۳/۸درصد در سال ۲۰۰۹ به ۲۵/۸ درصد در سال ۲۰۲۳ داشته‌اند. با این حال، یک مانع عمده برای تجاری‌سازی سلول‌های خورشیدی پروسکایتی، ناپایداری آنها در برابر عوامل محیطی از جمله گرما، رطوبت و قرار گرفتن در معرض اشعه ماوراء بنفش وجود دارد[۲]. دما یکی از عواملی است که تاثیر زیادی بر کارایی سلول خورشیدی پروسکایت دارد. در این تحقیق، علاوه بر مطالعه خواص اپتیکی ساختارهای مختلف پروسکایتی با اتم‌های هالوژن مختلف که به کار-گیری آن ها درسلول های خورشیدی مرسوم است، پایداری حرارتی ساختارهای $CH_3NH_3PbBrCl_2$، $CH_3NH_3PbIBr_2$، $CH_3NH_3PbICl_2$، $CH_3NH_3PbI_3$ مورد مطالعه قرار گرفته است.

بحث و بررسی

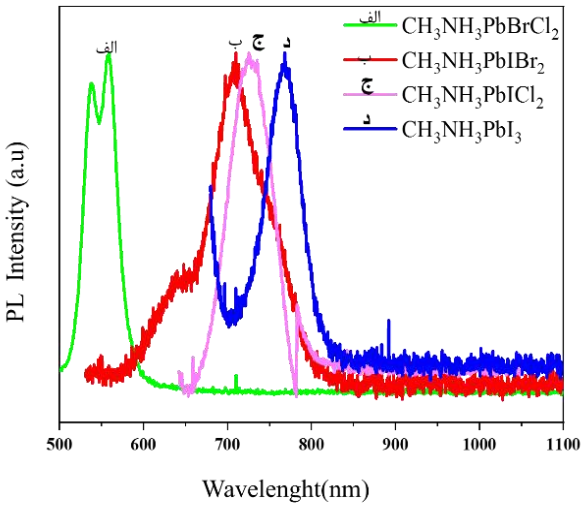
در این بررسی مهم ترین خواص اپتیکی و پایداری حرارتی ترکیبات پروسکایتی از جمله جذب اپتیکی و نورزایی طی فرآیند فوتولومینسانس(PL) مورد بررسی قرار گرفت. در فرآیند جذب اپتیکی انرژی فرکانس‌های خاصی از تابش الکترومغناطیسی توسط ماده به طور گزینشی جذب شده و در نتیجه شدت پرتو تابشی اولیه تضعیف می‌شود. همچنین لازم به ذکر است فرآیند فوتولومینسانس از آن جهت حائز اهمیت است که گسیل نور از یک ماده تحت تحریک نوری را نشان می‌دهد. محدوده جذب طول موج ساختارهای پروسکایتی ۴۰۰-۱۱۰۰ نانومتر است[۳]. طیف جذب ساختارهای پروسکایتی معرفی شده در شکل۱ آمده است.



شکل۱: طیف جذبی ساختارهای پروسکایتی الف) $CH_3NH_3PbBrCl_2$ ب) $CH_3NH_3PbIBr_2$ ج) $CH_3NH_3PbICl_2$ د) $CH_3NH_3PbI_3$

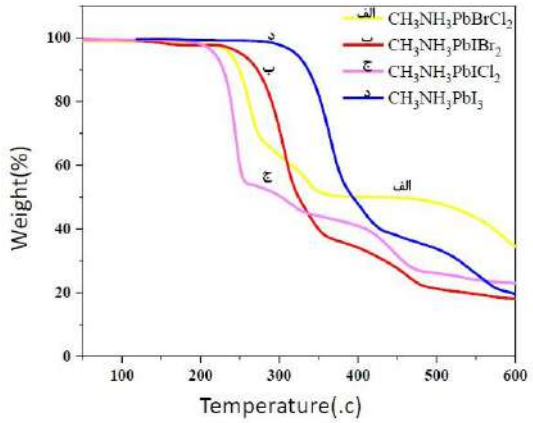
نتایج بیانگر این است که ساختارهای پروسکایتی با اتم هالوژن ترکیبی بخش قابل توجهی از طیف خورشیدی را جذب می‌کنند. همان طور که مشاهده می‌شود طول موج قله جذب برای هر یک از ساختارهای هیبریدی آلی-معدنی $CH_3NH_3PbBrCl_2$، $CH_3NH_3PbI_3$، $CH_3NH_3PbIBr_2$ و $CH_3NH_3PbICl_2$ افزایش می یابد و بیشترین مقدار و بازه جذب مربوط به ساختار $CH_3NH_3PbICl_2$ است.

یکی دیگر از خواص مهم اپتیکی که در باید مورد ارزیابی قرار گیرد، نورزایی طی فرآیند فوتولومینسانس است. طیف فوتولومینسانس ساختارهای پروسکایتی $CH_3NH_3PbBrCl_2$، $CH_3NH_3PbICl_2$، $CH_3NH_3PbI_3$، $CH_3NH_3PbIBr_2$ در شکل ۲ قابل مشاهده است. همانگونه که این شکل نشان می‌دهد، با تغییر شعاع هالوژن‌ها از برم-کلر تا ید-کلر بیشینه طول موج تابشی این ساختارها در اثر تحریک فوتون‌ها به سمت طول موج‌های بلندتر منتقل می-شود. همچنین ساختار $CH_3NH_3PbBrCl_2$ دارای نورزایی در طول موج ۵۸۰ نانومتر بوده و ساختارهای پروسکایتی $CH_3NH_3PbI_3$، $CH_3NH_3PbIBr_2$، $CH_3NH_3PbICl_2$ به ترتیب دارای نورزایی در طول موج‌های ۷۷۷،۷۶۰،۷۱۰ نانومتر هستند، که در شرایط متفاوت می‌توانیم از ویژگی‌های هر یک به نوعی بهره ببرم.



شکل ۲: طیف فوتولومینسانس ساختارهای پروسکایتی الف) $CH_3NH_3PbBrCl_2$ ب) $CH_3NH_3PbIBr_2$ ج) $CH_3NH_3PbICl_2$ د) $CH_3NH_3PbI_3$

برای ارزیابی پایداری حرارتی ساختارهای سنتز شده از یک روش آنالیز حرارتی به نام آنالیز ثقل سنجی حرارتی TGA (Thermal gravimetric analysis) استفاده کردیم. در فرآیند سنتز ساختارهای پروسکایتی، دمای واکنش با اکسیژن محیط برای هر ساختار متفاوت است و تجزیه و تحلیل TGA می‌تواند به درک نوع و مقدار این ترکیبات کمک کند[۴]. آنالیز ثقل سنجی حرارتی روشی برای مطالعه پایداری حرارتی است که در آن جرم یک نمونه در طول زمان با تغییر دما اندازه‌گیری می‌شود. این اندازه‌گیری اطلاعاتی درباره انتقال فاز و جذب می‌دهد. سه پارامتر مهمی که در آنالیز ثقل سنجی حرارتی باید به آن دقت شود دما، جرم و زمان است. در شکل ۳ نمودار آنالیز حرارتی مربوط به ساختارهای پروسکایتی مورد مطالعه $CH_3NH_3PbBrCl_2$ ، $CH_3NH_3PbICl_2$، $CH_3NH_3PbI_3$ و $CH_3NH_3PbIBr_2$ مشاهده می‌شود.



شکل۳ :طیف تجزیه تحلیلی الف) ساختار هیبرید آلی- معدنی پروسکایتی الف) $CH_3NH_3PbBrCl_2$ ب) CH_3NH_3PbIBr ج) $CH_3NH_3PbICl_2$ د) $CH_3NH_3PbI_3$

با توجه به نمودار TGA شکل ۳ برای ساختار هیبرید آلی-معدنی سه بعدی $CH_3NH_3PbBrCl_2$ کاهش وزن از ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد تا دمای ۳۶۰ درجه سانتی‌گراد و تغییرات جرم در این بازه ۴۷/۲۳ درصد است و برای ساختار $CH_3NH_3PbIBr_2$ کاهش وزن از ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد تا دمای ۳۶۰ درجه سانتی‌گراد و تغییرات جرم ۵۸/۲۰ درصد است و برای ساختار هیبرید آلی – معدنی $CH_3NH_3PbI_3$ کاهش وزن از ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد تا دمای ۳۶۰درجه

سانتی‌گراد اتفاق افتاده و تغییرات جرم ۵۷/۵۴ درصد و همچنین برای ساختار $CH_3NH_3PbICl_2$ کاهش وزن از ۱۹۰ سانتی‌گراد تا دمای ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد روی داده است و تغییرات جرم در این بازه ۴۸ درصد است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ساختار $CH_3NH_3PbICl_2$ در مقایسه با بقیه ساختارها دارای پایداری حرارتی بهتری است. اخیرا عوامل موثر بر بهبود تبدیل توان در سلول‌های خورشیدی و نیز پایداری تضعیف آن‌ها به عنوان مانع اصلی تجاری سازی توسط وانگ و همکارانش مورد بررسی قرار گرفته است از عوامل موثر بر پایداری حرارتی این ساختارها می‌توان به تغییرات ساختاری با دما اشاره کرد. طبق نتایج بدست آمده توسط وانگ و همکارانش افزایش دما باعث تغییر در فاز ساختار بلوری می‌شود به عنوان مثال از مکعبی به راست لوزی(orthorhombic) باعث تغییر خواص پایداری حرارتی می‌شود.

نتیجه‌گیری

ساده ترین راه برای دسترسی به انرژی پاک و جلوگیری از آلودگی محیط زیست استفاده از سلول‌های خورشیدی است. مواد گوناگونی تاکنون در ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده شده‌اند دارای بازده و هزینه ساخت متفاوتی هستند. در واقع این سلول‌ها باید طوری طراحی شوند که بتوانند طول موج‌هایی از نور خورشید را که به سطح زمین می‌رسد با بازده بالا به انرژی مفید تبدیل کنند. هیبریدهای آلی- معدنی با اینکه زمان زیادی نیست در ساخت سلول‌های خورشیدی به کار می‌روند اما بازده مناسبی داشته‌اند. در این پژوهش ما از ترکیبات آلی-معدنی $CH_3NH_3PbBrCl_2$، $CH_3NH_3PbICl_2$، $CH_3NH_3PbI_3$، $CH_3NH_3PbIBr_2$ که دارای قله جذب در طول موج‌های مختلف هستند را مورد بررسی قرار دادیم. بیشترین مقدار جذب مربوط به ترکیب ید-کلر است. بعلاوه در فرآیند فوتولومینسانس ساختار پروسکایتی $CH_3NH_3PbICl_2$ دارای بیشترین مقدار نورزایی بود. همچنین آنالیز حرارتی ساختارهای پروسکایتی نشان می‌دهد که ساختار $CH_3NH_3PbICl_2$ از مقاومت حرارتی مناسبی برخوردار است. امید است در آینده نزدیک بتوان از این مواد در تجاری سازی سلول‌های خورشیدی پروسکایتی استفاده نمود.

مرجع‌ها

[1] P. Tonui, S. O. Oseni, G. Sharma, Q. Yan, and G. Tessema Mola, "Perovskites photovoltaic solar cells: An overview of current status," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 91, pp. 1025-1044, 2018.

[2] A. Mehdipour-Sorayaei, F. Sattari, S. Mirershadi, and S. Rasoulzadehfard, "Mixed halide perovskite-based luminescent solar concentrator with high efficiency," *Journal of Molecular Structure*, vol. 1295, p. 136608, 2024.

[3] S. Mirershadi, F. Sattari, and M. M. Saridaragh, "Effects of halogen replacement on the efficiency of luminescent solar concentrator based on methylammonium lead halide perovskite," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 186, pp. 365-372, 2018.

[4] F. Ershadi, S. Mirershadi, F. Sattari, S. Mirzaee, "Study of structural, optical and magnetic properties of 3D and quasi-2D iron-based lead-free perovskites", *Applied Physics A*, vol. 127, no. 10, pp. 736, 2021.

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

اصلاح خواص اپتیکی و ساختاری فیلم نازک پروسکایت سه کاتیونی هالید مختلط با تغییر نسبت برم به ید

فاطمه زارعلی[۱]، مصطفی شعبانلو[۲]، الناز یزدانی[۳*]،نیما تقوی‌نیا[۴]

[۱،۲،۳] بخش فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

[۴] دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

[1]F.Zarali@modares.ac.ir [2]M.Shabanloo@modares.ac.ir [3*]Elnaz.Yazdani@modares.ac.ir
[4]Taghavinia@sharif.edu

چکیده - با توجه به نیاز روزافزون بشر به انرژی و همچنین پیدایش روش‌های نوین تحقیقاتی، پروسکایت‌های هالیدی و ساختارهای مختلف آن، بخصوص عدم پایداری و شناخت دقیق عملکرد آنها بخش عمده‌ای از تحقیقات دانشمندان را در بر گرفته است. در این پژوهش تلاش شده است تا ساختارهای مختلف پروسکایت هالیدی با تغییر مقادیر عناصر سازنده آنها، برای کنترل پایداری و همچنین ساختارهای مناسب برای سلول‌های خورشیدی داخلی ساخته و خواص و رفتار آنها مورد بررسی قرار گیرد. این ساختارها عمدتا با تغییر مقدار برم نسبت به ید و افزایش آن همراه بوده است. برای بررسی ساختارها از طیف شناسی جذب مرئی-فرابنفش و نورتابی استفاده گردیده است. محاسبه گاف اپتیکی ساختارهای مختلف توسط روش تاک انجام شد.

کلید واژه- پایداری، پروسکایت هالیدی، سلول خورشیدی ، طیف شناسی

Modification of the optical and structural properties of triplet-cations mixed-halide perovskite thin films by tailoring bromine/iodine ratio

Fatemeh Zarali[1], Mostafa Shabanloo[2], Elnaz Yazdani[3*], Nima Taghavinia[4]

[1,2,3] Physics Department, Faculty of Basic Science, Tarbiat Modares University, Tehran

[4]Faculty of Physics, Sharif University of technology, Tehran

Abstract- Considering the ever-increasing human need for energy as well as the new research methods, Halide perovskites and their various structures, especially their lack of stability and accurate understanding of their performance, have covered a major part of scientists' research. In this research, an attempt has been made to construct different Halide perovskite structures by changing the amounts of their constituent elements, to control their stability, as well as construct suitable structures for indoor applications, and investigate their properties and behavior. These structures are mainly associated with the change of the amount of bromine/iodine ratio. To examine the structures, UV-visible and photoluminescence spectroscopy have been used. Band gap calculation of different structures was done by Tauc plot.
Keywords: Halide Perovskites, Solar Cells, Spectroscopy, Stability.

مقدمه

پروسکایت‌های هالید آلی- معدنی ترکیباتی با ساختار شیمیایی ABX3 هستند. A یک کاتیون تک ظرفیتی آلی، مانند متیل آمونیوم ($MA^+, CH_3NH_3^+$)، فرامیدیم (FA^+, $CH_3(NH_2)_2^+$) و یا معدنی، مانند سزیم (Cs^+) است. کاتیون B یک کاتیون فلزی دو ظرفیتی است،مانند سرب (Pb^{2+}) و قلع (Sn^{2+}) و X یک آنیون هالوژن (I^-, Br^-, Cl^-) است [1].در سلول‌های خورشیدی مبتنی بر پروسکایت، پروسکایت‌های هالیدی به عنوان جاذب نور عمل می‌کنند. در حالیکه پروسکایت‌های هالیدی به شدت در ترکیب و ساختار منعطف هستند، به روزترین ساختارهای این مواد به عنوان جاذب،عموما ($MAPbI_3$) $CH_3NH_3PbI_3$ و $HC(NH_2)PbI_3$ ($FAPbI_3$)می‌باشند [2].تکنولوژی سلول‌های خورشیدی پشت سر هم (تندم) که شامل یک سلول بالایی با گاف اپتیکی بزرگ و یک سلول پایینی با گاف اپتیکی کمتر به عنوان جاذب نوری هستند، بعنوان یک زمینه تحقیقاتی مهم در علم انرژی، از شانس بیشتری برای افزایش بازده در مقایسه با سلول های خورشیدی تک پیوندی برخودار هستند. سلول‌های خورشیدی پروسکایتی با گاف اپتیکی قابل تنظیم (در حدود۱/۴۸-۲/۳eV) کاندیداهای مناسبی به عنوان لایه جاذب در ساختارهای پشت سر هم هستند. محاسبات تئوری نشان می‌دهند که گاف اپتیکی بهینه برای قرار گرفتن لایه جاذب در چنین ساختاری در حدود ۱/۶۸eV -۱/۵۸می‌تواند باشد [3]. علاوه بر بازده‌های قابل توجه، تغییر پذیری گاف اپتیکی با جانشانی مقدار مناسب هالید یک ویژگی منحصر به فرد در این مواد ایجاد می‌کند. همچنین ساختارهای ترکیبی (شامل چند کاتیون و هالید متفاوت) از این مواد از نظر شیمیایی به مراتب از ساختار $CH_3NH_3PbI_3$ که سریعا در محیط تجزیه می‌شوند، پایدارتر هستند. تغییر ساختار توسط تغییر نوع و میزان هالیدها خواص اپتیکی را مدوله می‌کند که این امر مستقیما در ظرفیت جذب نور و چگالی جریان مدارباز قطعه تاثیرمی‌گذارد [4] .پروسکایت‌های هالیدی با گاف اپتیکی بزرگ (ساختارهای مناسب برای سلول‌های خورشیدی پشت سر هم) دارای مشکل تجزیه و جدایی هالیدها هستند. خصوصا زمانی که مقدار برم آنها بیشتر از ۲۰٪ باشد. این موضوع منجر به عملکرد اپتوالکترونیک ضعیف و ناپایداری سلول می‌گردد. برای جلوگیری از جدایی هالیدها و کاهش آن، کاهش مقدار برم بدون کاهش در گاف اپتیکی انرژی ماده ضروری است. یافتن یک رابطه بین ساختارهای پروسکایت و گاف اپتیکی آنها بسیار ضروری است. در این صورت می‌توان ساختارهایی با برم کمتر و گاف اپتیکی مورد نظر، به عبارتی ساختار پایدار همراه با کاهش جدایی هالیدها را ساخت. معادلات و روابط بسیاری برای چنین رهیافتی منتشر شده است که همچنان این روابط قادر به پیش بینی دقیق گاف اپتیکی ساختار پیشتر از رهیافت‌های تجربی نیستند [5].علیرغم پیشرفت‌های گوناگون در زمینه‌ی سلول‌های خورشیدی پروسکایتی، کاربردهای خاصی از این سلول ها، مانند پتانسیل استفاده از آنها تحت نورهای داخلی، کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. جهت بررسی عملکرد سلول‌های خورشیدی تحت نورهای داخلی، شناخت و فهم دقیق مشخصات نورهای داخلی مانند شدت و طیف این دسته از نورها در مقایسه با نور خورشید، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. منابع نورهای داخلی نظیر دیودهای نوری (LEDs) و لامپ‌های فلورسانس دارای طیف باریک در محدوده‌ی نورهای مرئی با شدتی ۱۰۰-۱۰۰۰ برابر ضعیف‌تر از نور خورشید هستند. بررسی‌های تئوری نشان می‌دهد که یک سلول خورشیدی با گاف اپتیکی ۱/۹eV -۱/۸تحت نور داخلی می‌تواند بازده‌ای در حدود ۵۰٪ را کسب کند که این مقدار بسیار بیشتر از حد بالای بازده‌ی سلول خورشیدی تحت نور خورشید است[6] .در اصل با اضافه کردن برم باید ساختار پروسکایت ایجاد شده به دلیل پیوند قوی‌تر Pb-Br نسبت به Pb-I پایدارتر باشد. این اثر به دلیل شعاع کوچک‌تر Br^- (۱/۹۶ Å) نسبت به ید

I^- (۲/۲۰ Å) و الکترونگاتیوی بالاتر برم می‌باشد. مقدار برم بیشتر موجب افزایش سرعت بلورینگی فیلم‌های پروسکایتی می‌گردد. این امر گاها موجب تولید نواقص در ساختار و نایکنواختی ترکیبی همراه با چگالی مرزدانه‌های بیشتر می‌گردد. رویکردهای مختلفی برای کنترل ای موارد نظیر مهندسی ترکیب، افزدونی و مهندسی میان لایه‌ای تا کنون انجام شده است [7]. کاتیون A به واسطه تغییر در اندازه شبکه، در گاف اپتیکی اثر می‌گذارد. بنابراین ترکیب آنها می‌تواند مقدار گاف اپتیکی تغییر دهد[1] .در این مقاله با توجه به اهمیت ساختار پروسکایت در پایداری و همچنین جذب بهینه نور، تلاش گردیده تا ساختارهای مختلف از این ماده ساخته و لایه نشانی گردد. لایه‌های تولید شده توسط روش‌های طیف شناسی مختلف اعم از طیف جذب مرئی-فرابنفش و نورتابی بررسی گردیدند و مقدار گاف اپتیکی هر ساختار توسط روش تاک به دست آمد.

بخش تجربی

چهار محلول مختلف پروسکایت توسط ترکیب پودرهای (CsI, MABr, FAI, PbI_2, $PbBr_2$) در محلول DMF:DMSO به نسبت ۴:۱ درست شدند. محلول‌های ساخته شده توسط روش لایه نشانی چرخشی دو مرحله‌ای با دور اول ۱۰ ثانیه ۱۰۰۰ rpm و ۳۰ ثانیه ۵۰۰۰ rpm لایه نشانی گردیدند. مقدار ۲۷۰ میکرو لیتر کلروبنزن در ثانیه ۱۵ از دور دوم به عنوان پادحلال به محلول اضافه گردید و سپس لایه‌ها به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد بازپخت گردیدند. ترکیب محلول‌های مذکور به ترتیب بودند. لایه‌ها پس از لایه نشانی در دمای محیط و در ظرف حاوی سیلیکاژل قرار گرفتند. تمامی مراحل اندازه گیری در دما و رطوبت محیط انجام شدند.

PSK0($Cs_{0.08}FA_{0.80}MA_{0.12}Pb(I_{0.88}Br_{0.12})_3$)،

PSK1($Cs_{0.05}FA_{0.80}MA_{0.15}Pb(I_{0.85}Br_{0.15})_3$)،

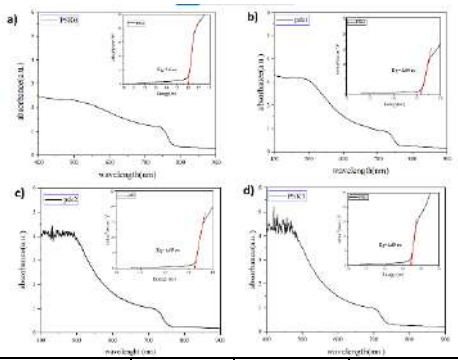
PSK2($Cs_{0.05}FA_{0.78}MA_{0.18}Pb(I_{0.83}Br_{0.18})_3$)

و PSK3($Cs_{0.05}FA_{0.73}MA_{0.22}Pb(I_{0.78}Br_{0.22})_3$)

نتایج

شکل۱(a-d) به ترتیب طیف جذب مرئی-فرابنفش لایه‌های پروسکایت PSK0, PSK1, PSK2, PSK3 را همراه با محاسبات گاف اپتیکی از طریق روش تاک را نشان می‌دهد. علاوه بر تغییر لبه‌ی نمودار جذب می‌توان مشاهده کرد که در دو نمونه‌ی PSK2 و PSK3 جذب ساختار از نمونه‌های دیگر با برم کمتر افزایش یافته است که عمده‌ی این افزایش مربوط به ناحیه طول موج‌های کوتاه‌تر (ناحیه رنگ‌های سبز و آبی) است. همچنین این روند افزایش جذب در ساختارها همراه با کاهش جذب در نواحی طول موج‌های بلندتر است که این ساختارها را برای کاربردهای خانگی (نورهای داخلی) جذاب می‌کند. بدیهی است نتایج محاسبه گاف اپتیکی این رفتار را تایید می‌کند. گاف پروسکایت‌های ساخته شده از۱/۶eVتا۱/۶۹eVتغییر یافته است. این روند حاکی از آن است که افزایش مقدار برم بطور خطی با افزایش گاف اپتیکی ماده متناسب نیست.

شکل۱: طیف جذب مرئی-فرابنفش و گاف اپتیکی لایه پروسکایت a)psk0, b)psk1, c)psk2, d)psk3

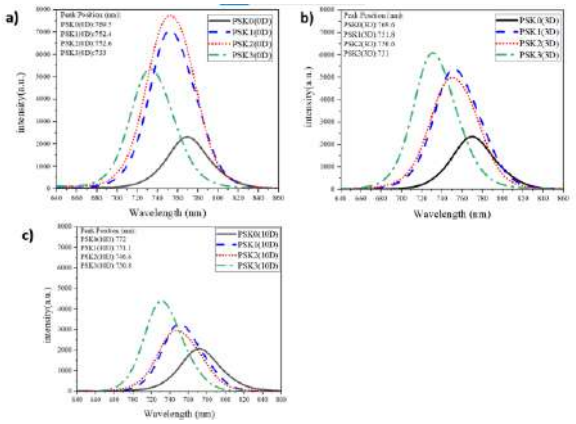


نوع پروسکایت	PSK0	PSK1	PSK2	PSK3
گاف اپتیکی	۱/۶eV	۱/۶۴eV	۱/۶۵eV	۱/۶۹eV

جدول۱:مقایسه ای بین پروسکایت ها وگاف اپتیکی

شکل۲ (a-c) طیف نورتابی هر پروسکایت را به ترتیب در روز ساخت، ۳ و ۱۰ روز بعد از ساخت را نشان می‌دهد. از نمودارهای روز صفرم می‌توان مشاهده کرد که تغییر مقدار هر یک از عناصر به چه شکل بر روی طیف‌های نورتابی آن

اثر گذاشته است. تغییر مقدار هالید نقش موثری در این پاسخ دارد.



شکل۲: طیف نورتابی لایه‌های پروسکایتی a) درست بعد از لایه نشانی، b) سه روز بعد از لایه نشانی، c) ده روز بعد از لایه نشانی

جابجایی قرمز و جزئی پیک‌ها می‌تواند حاکی از آن باشد که با گذشت زمان و قرار گرفتن لایه پروسکایتی در مجاورت هوا و رطوبت محیط دچار تولید نقص گردیده که عمدتا این نواقص به صورت نقص‌های سطحی هستند که این می‌تواند به تشکیل پیوند هیدروژنی با هالیدها ارتباط داده شود. می‌توان مشاهده کرد در این بین نمونه‌ی PSK0 بیشترین جابجایی قرمز را تجربه کرده است. کاهش شدت پیک‌ها می‌تواند به دلیل کالیبراسیون روزهای مختلف دستگاه باشد، لکن در طی زمان‌های طولانی و با تخریب کامل لایه این شدت به سمت صفر خواهد رفت که در این صورت حاکی از تولید نقص‌های عمیق می‌باشد.

نتیجه‌گیری

مقدار هالید و نسبت برم به ید و همچنین کاتیون‌های سایت A می‌توانند بطور مستقیم در گاف اپتیکی پروسکایت تاثیر بگذارند و علاوه بر این موضوع که منجر به ساخت پروسکایت برای کاربردهای جدید می‌گردد، پایداری آنها نیز می‌تواند بهبود یابد. پایداری ساختار با افزایش مدیریت شده نسبت برم به ید ممکن است و ساختار PSK3 در این کار پایداری نسبتا خوبی را نشان می‌دهد. با افزایش جذب ساختارهای جدید در ناحیه مرئی، این ساختارها را برای سلول‌های خورشیدی داخلی مناسب می‌نماید.

مرجع‌ها

Tong, Y., Najar, A., Wang, L., Liu, L., Du, M., Yang, J., Li, J., Wang, K. and Liu, S Wide-Bandgap Organic–Inorganic Lead Halide Perovskite Solar Cells Advanced Science914p. 21050852022

Hu, M., Chen, M., Guo, P., Zhou, H., Deng, J., Yao, Y., Jiang, Y., Gong, J., Dai, Z., Zhou, Y. and Qian, FSub-1.4eV bandgap inorganic perovskite solar cells with long-term stability Nature communications111p. 1512020

Liu, X., Wu, Z., Fu, X., Tang, L., Li, J., Gong, J., & Xiao, X Highly efficient wide-band-gap perovskite solar cells fabricated by sequential deposition method Nano Energy86p. 1061142021

Kulkarni, S. A., Baikie, T., Boix, P. P., Yantara, N., Mathews, N., & Mhaisalkar, S Band-gap tuning of lead halide perovskites using a sequential deposition process Journal of Materials Chemistry A224pp. 9221-92252014

Li, Y., Lu, Y., Huo, X., Wei, D., Meng, J., Dong, J., Qiao, B., Zhao, S., Xu, Z. and Song, DBandgap tuning strategy by cations and halide ions of lead halide perovskites learned from machine learning RSC advances1126pp. 15688-156942021

Muhammad, B. T., Kar, S., Stephen, M., & Leong, W. L Halide perovskite-based indoor photovoltaics: recent development and challenges Materials Today Energy23p. 1009072022

Compositional texture engineering for highly stable wide-bandgap perovskite solar cellsScience3786626pp. 1295-13002022

سی‌امین
کنفرانس اپتیک و فوتونیک
و شانزدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه دامغان
۹ تا ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

شبیه سازی سلول خورشیدی ۵ لایه‌ای کادمیوم سولفید-کادمیوم تلوراید

آیلین سعیدی[۱]، محمد کریمی[۲]، حکیمه محمدپور[۳]

[۱،۲،۳] دانشکده فیزیک ، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان،تبریز،ایران.

[۱]aylin.saeedi@azaruniv.ac.ir ,[۲]ac.karimi@azaruniv.ac.ir,
[۳]mhmdpour@azaruniv.ac.ir

چکیده – در این مقاله عملکرد سلول خورشیدی چند لایه ای مبتنی بر کادمیوم تلوراید(CdTe) با کد نویسی مستقل در محیط میپل شبیه سازی شده است. برای بهینه سازی عملکرد ساختار پیشنهادی تاثیر تغییر طول و تراکم ناخالصی لایه ی CdTe روی پارامتر های عملکردی مطالعه شده است. مقادیر بهینه پارامترهای عملکردی ساختار پیشنهادی بصورت چگالی جریان اتصال کوتاه۳۷۱/۳۲میلی آمپر بر سانتی متر مربع، ولتاژمدار باز۹۱/ ۰ ولت، ضریب پرشدگی ۰/۷۷، و بازده در حدود ۲۶ درصد تحت شرایط جرم هوای ۱.۵ و ضریب جذب $5 \times 10^{-5} cm^{-1}$ بدست آمده است.هدف اصلی این مقاله ضمن بهینه سازی عملکردسلول پیشنهادی،کد نویسی مستقل برای حل عددی معادلات ترابردی حاکم بر ساختار نامتجانس(بدون استفاده از نرم افزارهای تجاری) می باشد.

کلید واژه- بهینه سازی, سلول خورشیدی، عملکرد،کادمیوم تلوراید،کادمیوم سولفید، میپل.

Simulation of 5-layer CdS/CdTe

Aylin Saeedi[1] , Mohammad Karimi[2] , Hakimeh Mohammadpour[3]

[1,2,3]Department of Physics, Shahid Madani University of Azerbaijan, Tabriz ,Iran.

aylin.saeedi@azaruniv.ac.ir[1] , ac.karimi@azaruniv.ac.ir[2] , mhmdpour@azaruniv.ac.ir[3]

Abstract- In this article, the performance of a multilayer solar cell based on cadmium telluride (CdTe) with is simulated by independent coding in Maple environment. To optimize the performance of the proposed structure, the effect of changing the length and impurity density of the CdTe layer on the performance parameters has been studied. The optimal values of the functional parameters of the proposed structure have been obtained as short circuit current density 371.32 mA/cm^2, open circuit voltage 0.91V, fill factor 0.77 and efficiency around 26% under the conditions of air mass 1.5 and absorption coefficient $5 \times 10^{-5} cm^{-1}$. The main goal of this article is to optimize the performance of the proposed cell, independent coding to numerically solve the transport equations governing an inhomogeneous structure (without using commercial software).

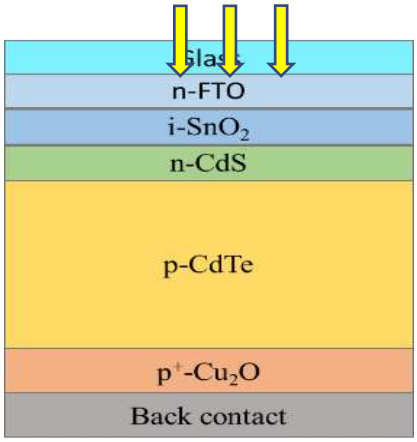
Keywords: optimization, solar cell, performance, cadmium telluride, cadmium sulfide, maple.

مقدمه

سلول خورشیدی قطعه نیمرسانایی است که بر اساس اثر فتوولتائیک، انرژی خورشیدی را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. وقتی یک فوتون به این قطعه برخورد می‌کند این فوتون توسط یک الکترون در باند ظرفیت جذب شده و به باند رسانش منتقل می‌شود و یک حفره در باند ظرفیت برجای می‌گذارد. بنابراین الکترون‌ها و حفره‌ها بصورت حامل‌های بار آزاد تحت تاثیر پتانسیل پیوندی قبل از بازترکیب مجدد، جریان الکتریکی ایجاد می کند. به منظور کاهش فوتون‌های منعکس شده و یا عبوری معمولاً از پوشش ضدبازتاب در سطح جلویی و لایه منعکس کننده در لایه پشتی استفاده می‌شود. آلیاژ دوتایی کادمیوم تلوراید (CdTe) به دلیل عرض نوار انرژی مطلوب ۱/۵ الکترون ولت و ضریب جذب نوری بیش از $10^5 cm^{-1}$ برای سلول‌های خورشیدی یک ترکیب ایده آل است. به طور معمول کادمیوم سولفید (CdS) نوع n روی کادمیوم تلوراید نوع pلایه نشانی می‌شود.تا یک پیوند n-p سلول خورشیدی فیلم نازک تشکیل شود[۱]. عملکرد ساختار سلول خورشیدی پیشنهادی با استفاده از تحلیل عددی ساختار یک بعدی با کدهای (برنامه‌های) نوشته شده در میپل بررسی می‌شود. پارامترهای ساختاری بهینه شده حاصل از شبیه سازی می‌تواند برای مدلبندی و ساخت سلول خورشیدی کارآمد استفاده گردد. در مدلبندی سلول خورشیدی پیشنهادی از یک ساختار چندلایه‌ای (چند پیوندی) استفاده می‌شود. زیرا سلول‌های خورشیدی تک پیوندی اکثریت فوتون‌های فرودی را نمی‌توانند جذب کنند و در نتیجه بازده نسبتاً پایینی خواهند داشت، برای جلوگیری از بازتاب فوتون‌های فرودی از یک یا دو لایه ضد بازتاب قبل از پیوند n-p استفاده می شود و همچنین به منظور جلوگیری از بازترکیب حامل های تولید نوری بعد از زیر لایه و قبل از لایه جاذب از یک لایه پشتی استفاده می‌گردد[۲, ۳].

مدل سلول

ساختار پیشنهادی سلول خورشیدی در شکل ۱ نشان داده شده است که از مواد با مشخصات زیر مدلبندی و شبیه سازی شده است. لایه دوپ نشده (ذاتی) اکسید قلع (i-SnO_2)به عنوان لایه شفاف با مقاومت بالا(HRT) بین TCO ولایه بافر(CdS) کارایی را افزایش می‌دهد[۴, ۵]. CdS نوع n اغلب بعنوان لایه پنجره و بافر در سلول‌های خورشیدی چند لایه CdTe استفاده می‌شود، CdTe به دلیل عرض نوار انرژی مطلوب و ضریب جذب نوری یک ماده جاذب ایده آل است[۶-۸]. یک ماده با عرض نوار انرژی بزرگ (Cu_2O) به عنوان لایه میدان پشتی (BSF) عمل می‌کند و مانعی برای دفع حامل‌ها در فصل مشترکCdTe/BSF برای به حداقل رساندن تلفات حامل‌ها در اتصال پشتی است و علاوه بر این کارایی سلول را با کاهش بازترکیب حامل ها در اتصال پشتی بهبود می بخشد[۹-۱۱].



شکل ۹: ساختار پیشنهادی سلول خورشیدی

شبیه سازی و تجزیه و تحلیل عددی

تجزیه وتحلیل عددی یک رویکرد اساسی برای پیش بینی عملکرد و اطمینان از ماندگاری ساختار پیشنهادی است. پارامترهای شبیه سازی در مدلبندی سلول خورشیدی پیشنهادی را می‌توان تغییر داد. پارامترهای فیزیکی $Cu_2O,CdTe,CdS,SnO_2$ برای استفاده در شبیه سازی در جدول ۱ فهرست بندی شده است[۱۲-۱۵].

جدول ۲: پارامترهای استفاده شده برای شبیه سازی سلول خورشیدی کادمیوم تلوراید-کادمیوم سولفید

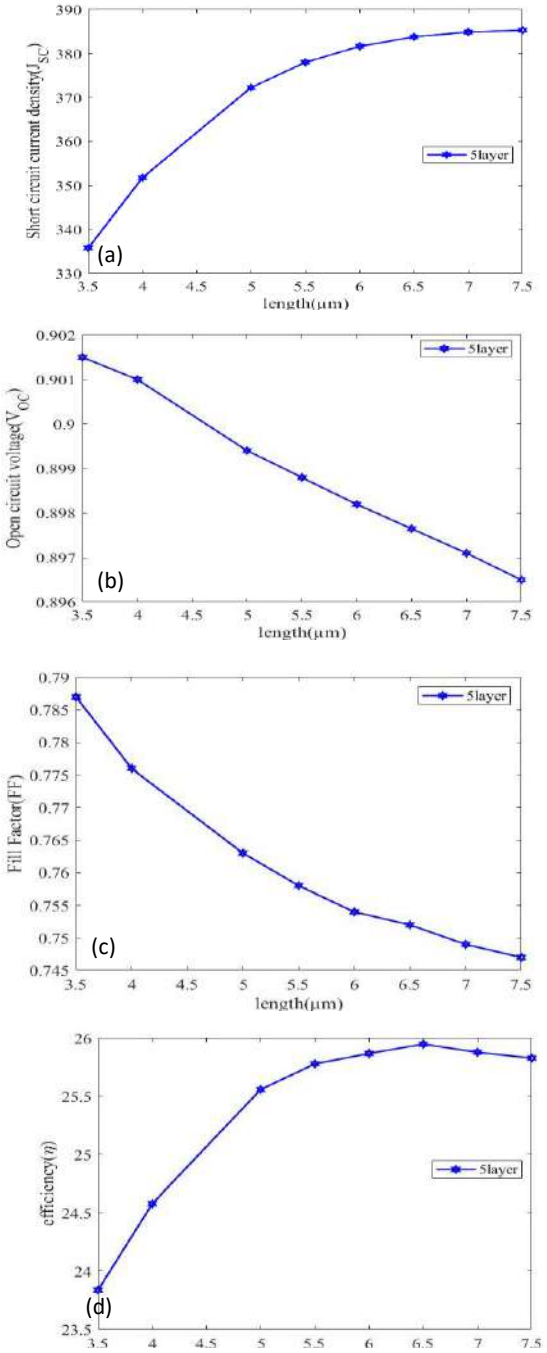
Parameters	n-FTO	i-SnO_2	n-CdS	p-CdTe	p^+-Cu_2O
Thickness, W (μ m)	0.05	0.05	0.05	0.4-4.4	0.05
Dielectric Ratio ($\varepsilon/\varepsilon_0$)	2	10	10	9.4	9
Electron mobility, µN (cm^2/Vs)	70	100	100	320	200
Hole mobility, $\mu_P(cm^2/Vs)$	50	25	25	40	25
Acceptor concentration, (cm^{-3})	-	-	-	3e14	5e18
Donor concentration, (cm^{-3})	2e20	1.1e18	1.1e18	-	-
Band gap, E_g (eV)	3.6	2.4	2.4	1.5	2.2
density of states, NC (cm^{-3})	2e20	2.2e18	2.2e18	8e17	1.8e18
density of states, NV (cm^{-3})	1.8e19	1.8e19	1.8e19	1.8e19	2.4e19
Electron affinity,x(eV)	4.1	4	4	3.9	3.3

تجزیه و تحلیل عددی عملکرد سلول‌های خورشیدی فیلم نازک یک استراتژی مهم برای افزایش کارایی آن‌ها است. نتیجه این تجزیه و تحلیل پیش بینی تثیر تغییرات پارامترهای ساختاری سلول(نظیر ضخامت لایه ها،ناخالصی لایه ها و...) روی پارامترهای عملکردی سلول (جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدار باز، فاکتور پرشدگی، کارایی و...) است. شبیه سازی عددی سلول‌های خورشیدی از حل معادلات اساسی حاکم مربوط به نیمرسانا ها مانند معادله پواسون، معادلات پیوستگی و معادلات ترابردی الکترون‌ها و حفره-های آزاد انجام می‌شود. برای توصیف ترابرد بار در سلول‌های خورشیدی از معادلات جریان سوقی و پخشی الکترون‌ها و حفره‌ها در نیم رساناها استفاده می شود.کدهای نوشته شده در این تحقیق قابل تعمیم برای شبیه سازی مدل‌های متعدد سلول‌های خورشیدی لایه نازک می‌باشند که برای دست‌یابی به یک سلول خورشیدی کارآمد مفید هستند شبیه سازی سلول‌های خورشیدی برای پیش بینی عملکرد خروجی سلول‌های خورشیدی قبل از ساخت واقعی آن‌ها بسیار مفید است و هزینه های تولید را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد و از هزینه‌های اضافی جلوگیری می‌کند. در شکل ۲ تاثیر تغییر پارامترهای ساختاری سلول خورشیدی بر پارامترهای عملکردی نشان داده است که در آن تغییرات جریان اتصال کوتاه بر حسب طول، ولتاژ مدار باز بر حسب طول، فاکتور پرشدگی بر حسب طول و در نهایت بازده بر حسب طول رسم شده است.

نتیجه گیری

در این مقاله، یک ساختار جدید سلول خورشیدی نامتجانس چند لایه بر اساسCdTe/CdS پیشنهاد شده است.که این ساختار با استفاده از کدهای نوشته شده در میپل مدلبندی و شبیه سازی شده است. نتایج شبیه سازی نشان داد که با افزایش ضخامت لایه‌ی CdTe میدان الکتریکی در طول لایه‌ها غیر صفر شده و منجر به افزایش بازده می‌شود. نتایج این شبیه سازی در شکل ۲ نشان داده شده است که با تغییر طول سلول از ۳.۵تا ۷.۵ میکرومترجریان اتصال کوتاه افزایش پیدا می‌کند و در طول ۶.۵ میکرومتر بیشنیه بازده بدست می‌آید. که بازده بیشینه برای این طول در حدود ۲۶ درصد می‌باشد.

International Conference on Electrical and Computer Engineering. 2014. IEEE.
[3] Enam, F., *Combo-Renewable Lambert Campus*. 2013, Germany: Academic Publishing.
[4] Feldman, S., et al. Non-uniformity mitigation in CdTe solar cells: the effects of high-resistance transparent conducting oxide buffer layers. in Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2005. 2005. IEEE.
[5] Mahabaduge, H., et al. Sputtered HRT layers for CdTe solar cells. in 2011 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference. 2011. IEEE.
[6] Morris, G. and S. Das, *Some fabrication procedures for electrodeposited CdTe solar cells.* International Journal of Solar Energy, 1992. **12**(1-4): p. 95-108.
[7] Britt, J. and C. Ferekides, *Thin-film CdS/CdTe solar cell with 15.8% efficiency.* Applied physics letters, 1993. **62**(22): p. 2851-2852.
[8] Fthenakis, V., *Could CdTe PV Modules Pollute the Environment?* National Photovoltaic Environmental Health and Safety Assistance Center, Brookhaven National Laboratory: Upton, NY, USA, 2002.
[9] Ogwu, A., et al., The influence of rf power and oxygen flow rate during deposition on the optical transmittance of copper oxide thin films prepared by reactive magnetron sputtering. Journal of Physics D: Applied Physics, 2005. **38**(2): p. 266.
[10] Balamurugan, B. and B. Mehta, Optical and structural properties of nanocrystalline copper oxide thin films prepared by activated reactive evaporation. Thin solid films, 2001. **396**(1-2): p. 90-96.
[11] Wang, Y., et al., Transmittance enhancement and optical band gap widening of Cu2O thin films after air annealing. Journal of Applied Physics, 2014. **115**(7).
[12] Tinedert, I., et al., Design and simulation of a high efficiency CdS/CdTe solar cell. Optik, 2020. **208**: p. 164112.
[13] Tinedert, I.E., et al., Numerical modelling and optimization of CdS/CdTe solar cell with incorporation of Cu2O HT-EBL layer. Optical Materials, 2020. **106**: p. 109970.
[14] Khattak, Y.H., et al., Effect of Cu2O hole transport layer and improved minority carrier life time on the efficiency enhancement of Cu2NiSnS4 based experimental solar cell. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 2018. **10**(4).
[15] Baines, T., et al., *Incorporation of CdSe layers into CdTe thin film solar cells.* Solar Energy Materials and Solar Cells, 2018. **180**: p. 196-204.



شکل ۲ : پارامترهای عملکردی سلول خورشیدی چندلایه ای CdS/CdTe برحسب ضخامت لایه قطعه برای ساختار ۵ لایه (a) چگالی جریان اتصال کوتاه J_{sc}، (b) ولتاژ مدار باز V_{oc}، (c) ضریب پرشدگی FF، و (d) بازده برحسب طول سلول خورشیدی

مرجع‌ها

[1] Bonnet, D., *Manufacturing of CSS CdTe solar cells.* Thin Solid Films, 2000. **361**: p. 547-552.
[2] Khan, N., et al. Design optimization of CdTe thin film solar cells from numerical analysis. in 8th