بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

بررسی اثر پاشندگی بر روی میزان چرخش اپتیکی ناشی از دوشکستی القاء شده توسط باریکه ی لیزرهلیوم – نئون با قطبش بیضوی، در لایه‌های نازک AgCl-Ag

راضیه طالبی[۱] و ارشمید نهال[۲]

[۱]مؤسسه آموزش عالی صفاهان، اصفهان، کد پستی:۸۱۷۴۷۴۳۱۹۶
[۲]آزمایشگاه پژوهشی مواد فوتونیکی، دانشکده فیزیک، دانشگاه تهران

چکیده – در این مقاله نتایج بررسی ویژگی‌های اپتیکی نانوساختارهای که با تابش پرتو نور قطبیده‌ی بیضویِ تکفام به لایه‌ی نازک کلریدنقره-نقره ایجاد می‌شوند، ارائه خواهد شد. با تابش پرتوهای قطبیده‌ی بیضوی با زاویه‌ی سمتی °۲۲/۵ راستگرد و چپگرد، نانوساختارهای دوره‌ای متشکل از نانوذرات نقره ایجاد می‌شوند، که دارای ویژگی اپتیک غیرخطی، دوشکستی القایی هستند. با اندازه‌گیری تجربی میزان و علامت چرخش نوری، میزان دوشکستی این نانوساختارها اندازه‌گیری شد. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که محور نوری در ساختارهای ناهمسانگرد ایجاد شده با نور قطبیده‌ی بیضوی °۲۲/۵ راستگرد و چپگرد در دو جهت متقابل نسبت یکدیگر قرار دارند. اثر پاشندگی چرخش نوری و وابستگی به طول موج در این ساختارها ناهمسانگرد بررسی و نتایج ارائه شده است.

کلید واژه- پاشندگی، پرتو قطبیده بیضوی، چرخش نوری، دوشکستی، کلرید نقره- نقره.

An investigation on dispersion of optical rotatory in AgCl-Ag thin films due to the birefringence, induced by elliptical polarized light irradiation

Razieh Talebi[۱] and Arashmid Nahal[۲]

[۱]Safahan Institute for Higher Education, Isfahan, ۸۱۷۴۷۴۳۱۹۶
[۲] Photonic Materials Research Laboratory, Department of Physics, University of Tehran

Abstract- In this report, the optical properties of nanostructures made by irradiating AgCl-Ag thin-films by a monochromic elliptical polarized He-Ne laser beam, is presented. By irradiating the samples by right and left-handed elliptically polarized light beam with angle **۲۲,۵**°, a periodic nanostructure containing silver nanoparticles is fabricated, which shows a birefringence. By experimental measuring the sign and amount of the optical rotation, the induced linear birefringence is determined. The results show, the optical axis of nanostructures made by the right or left-handed elliptically polarized light, are in opposite direction versus vertical axis. Dispersion for induced optical rotation is observed and explained.

Keywords: dispersion, elliptically polarized beam, optical rotation, birefringence, AgCl-Ag.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]

۱- مقدمه

لایه‌ی نازک کلرید نقره-نقره، از جمله لایه‌های حساس به نور هالید نقره-نقره است که با تابش پرتو نور قطبیده‌ی تکفام به آن، ساختارهای منظم با ویژگی‌های اپتیکی جالب ایجاد می‌شوند [۱]. با تابش نور به سطح لایه‌ی کلرید نقره- نقره، ابتدا پرتوهای نور توسط نانوذرات نقره پراکنده می‌شوند، سپس وارد لایه موجبری کلرید نقره شده و انتشار می‌یابند. موج منتشر شده در لایه‌ی موجبری کلرید نقره با موج فرودی تداخل می‌کنند و نقش تداخلی در سطح نمونه ایجاد می‌شود. نانوذرات نقره به فریزهای تاریک نقش تداخلی رفته و در آنجا انباشته و نانوساختارهای دوره‌ای منظم ایجاد می‌کنند [۱ و ۲].

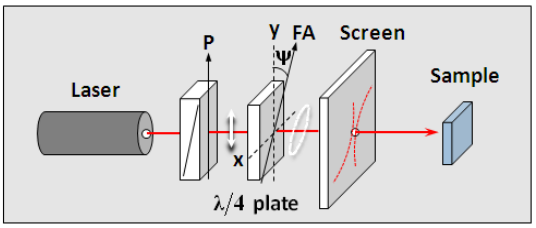
ویژگی‌های اپتیکی نانوساختارهای ایجاد شده بر لایه‌ی نازک کلرید نقره-نقره به نوع قطبش، طول موج و زاویه‌ی فرود نور بستگی دارند. در این مقاله نشان خواهیم داد که با نوردهی نمونه ها تحت فرود عمودی با پرتوهای نور قطبیده‌ی بیضوی لیزر هلیوم-نئون با زاویه‌ی سمتی ۲۲/۵° راستگرد و چپگرد، ساختارهای ناهمسانگرد القاء می‌شوند. این ساختارهای ناهمسانگرد، می‌توانند صفحه قطبش نور آزمون را بچرخانند [۲]. با توجه به اینکه میزان چرخش نوری وابسته به طول موج پرتو نور آزمون است، می‌توان رابطه پاشندگی چرخش نوری در ساختارهای ناهمسانگرد ایجاد شده، بررسی کرد.

۲- روش تهیه نمونه

برای تهیه‌ی لایه‌ی حساس به نور کلرید نقره-نقره بر زیرلایه‌ی شیشه‌ای، پس از تمیز کردن زیرلایه، یک لایه‌ی ۵۰ نانومتری کلریدنقره و سپس یک لایه ۱۰ نانومتری نقره در دو مرحله‌ی مجزا به روش تبخیر حرارتی بر روی لام شیشه‌ای لایه‌نشانی می‌شود. لایه‌ی دی‌الکتریک کلرید نقره و زیرلایه‌ی شیشه‌ای، یک موجبر نامتقارن می‌سازند. ضخامت ۵۰ نانومتری کلریدنقره برای انتشار مد TE. پرتو لیزر هلیوم-نئون با طول موج ۶۳۲/۸ نانومتر محاسبه می‌شود [۲ و ۳].

با عبور پرتو قطبیده‌ی لیزر از تیغه‌ی ربع موج، نور قطبیده‌ی بیضوی ایجاد می‌کنیم. اگر موج به سمت مشاهده‌گر انتشار یابد، با چرخش محور تند تیغه‌ی ربع موج به اندازه‌ی ψ=۲۲/۵° به سمت راست، نور قطبیده بیضوی راستگرد ۲۲/۵° ایجاد می‌شود. اگر محور تند تیغه ψ=۲۲/۵° به سمت چپ بچرخانیم، نور قطبیده بیضوی چپگرد ۲۲/۵° ایجاد کرده‌ایم.

با تابش این نور قطبیده بیضوی، در چیدمانِ شکل ۱، نانوساختار دوره‌ای مورب متشکل از نانوذرات نقره ایجاد می‌شوند. برای بررسی اثر پراکندگی نور از نانوذرات نقره، صفحه‌ی روزنه‌داری، مطابق شکل ۱، بین چشمه‌ی نور لیزری و نمونه قرار می‌گیرد. در صورتی که نانوذرات نقره ساختار دوره‌ای منظم (توری پراش) تشکیل دهند، اثر پراکندگی نور در زاویه کوچک از این ساختارها منظم به وضوح بر صفحه‌ی روزنه‌دار مشاهده می‌شود.



شکل ۱: چیدمان نوردهی لایه‌ی نازک کلرید نقره-نقره توسط پرتو لیزر قطبیده بیضوی.

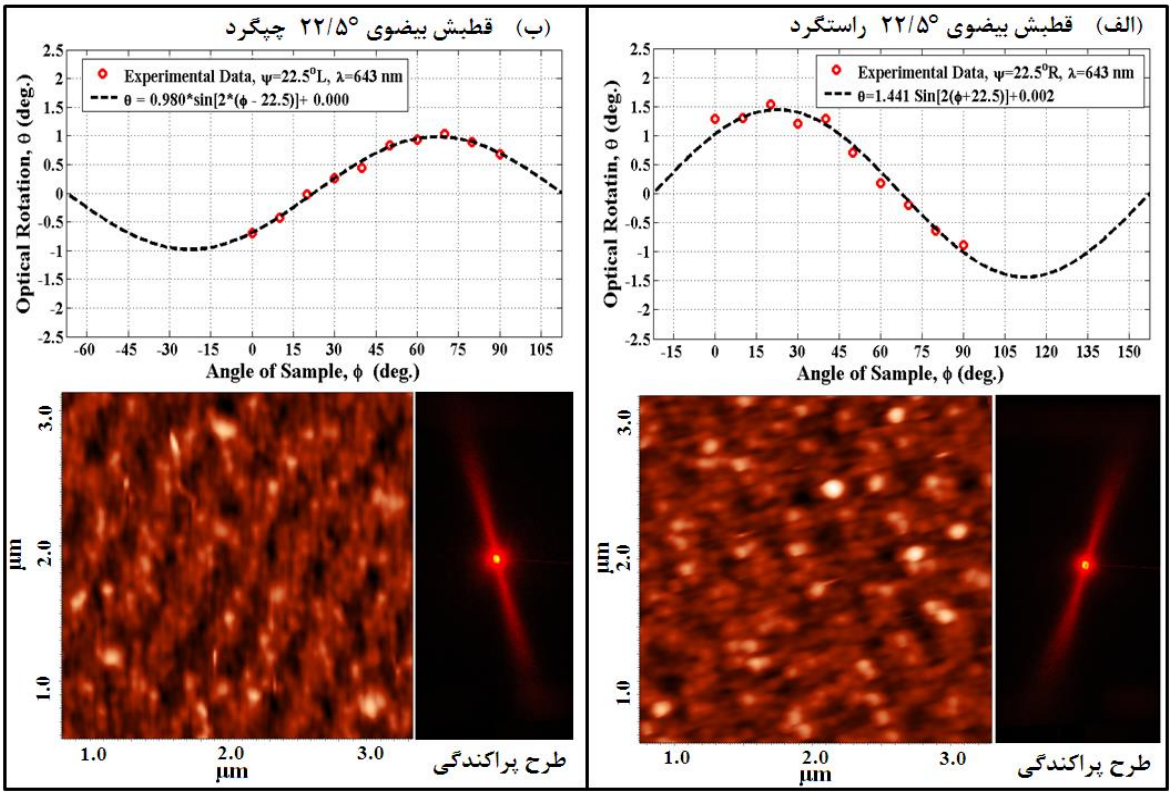
با تابش پرتو قطبیده‌ی بیضوی ۲۲/۵° راستگرد و چپگرد به لایه‌های کلرید نقره-نقره، دو نمونه با ساختار منظم تشکیل می‌شوند که به بررسی اثر چرخش نور در این ساختارها خواهیم پرداخت.

۲-۱- چرخش نوری در ساختارهای دوره‌ای

یکی از ویژگی‌های اپتیکی که در نانوساختارهای دوره‌ای منظم، متشکل از نانوذرات نقره، می‌توان بررسی کرد، اثر چرخش نوری است. چرخش نوری میزان چرخش صفحه‌ی قطبش نور آزمون پس از عبور از محیط‌های ناهمسانگرد و یا محیط‌های فعال نوری است. نمونه‌ای که با چرخش آن نمونه، میزان چرخش نوری تغییر نکند، به محیط فعال نوری موسوم است. اما در حالتی که با چرخش نمونه، میزان چرخش نوری به صورت تابع سینوسی تغییر کند، نمونه ناهمسانگرد است و چرخش نوری در آن مربوط به دوشکستی خطی القاء شده در نمونه است.

چرخش نوری، θ، نمونه‌های ایجاد شده با نور قطبیده‌ی بیضوی ۲۲/۵° راستگرد و چپگرد، تحت زاویه‌های مختلف نمونه، ϕ، توسط پرتو آزمون قرمز با طول‌موج ۶۴۳ نانومتر اندازه‌گیری و نتایج آن به ترتیب در شکل ۲ (الف) و (ب)

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]



شکل ۲: نمودار تغییرات چرخش نوری بر حسب زاویه‌ی چرخش نمونه برای نمونه ساخته شده با نور قطبیده‌ی بیضوی °۲۲/۵ راستگرد و چپگرد، تصاویر AFM و نقش پراکندگی در زاویه کوچک مربوط به هر نمونه.

گزارش شده است.

مطابق شکل ۲، در این نمونه‌ها، چرخش نوری (θ) بر حسب زاویه‌ی چرخش نمونه (ϕ)، به شکل یک تابع سینوسی است. به همین منظور، یک تابع سینوسی بر داده‌های تجربی به صورت زیر برازش شده است [۴]:

$$\theta = A\ \mathrm{Sin}\left[2\left(\phi - B\right)\right] + C. \qquad (۱)$$

در این رابطه A دامنه‌ی تابع سینوسی و بیشینه‌ی چرخش نوری نمونه است. B راستای محور اپتیکی محیط ناهمسانگرد و C میزان فعالیت نوری نمونه است. در رابطه‌ی (۱)، A وجود دوشکستی خطی و القای ناهمسانگردی در نمونه را نشان می‌دهد. میزان دوشکستی خطی نمونه که اختلاف ضریب شکست عادی و غیرعادی محیط است، به شکل زیر با A رابطه دارد [۲]:

$$A = \frac{\pi}{\lambda}\Delta n\ d, \qquad (۲)$$

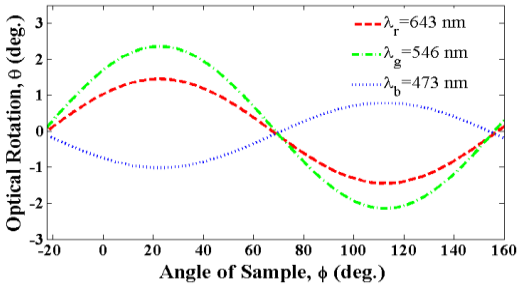
که در آن d ضخامت محیط است که حدود ۶۰ نانومتر در نظر گرفته می‌شود. همچنین λ طول موج پرتو گمانه است که ۶۴۳ نانومتر در نظر گرفته شده است. با تعیین A از شکل ۲ (الف) و (ب) و جاگذاری در رابطه‌ی (۲)، می‌توان میزان دوشکستی خطی (Δn) را تعیین کرد. میزان دوشکستی خطی برای نمونه‌های ایجاد شده با پرتو قطبیده‌ی بیضوی °۲۲/۵ راستگرد و چپگرد، به ترتیب ۰/۰۸۶ و ۰/۰۵۸ است. نتایج برازش تابع سینوسی، نشان می‌دهد که چرخش نوری در نمونه‌های شکل ۲، به طور عمده ناشی از ناهمسانگردی نمونه‌ها است و سهم فعالیت نوری ناچیز است (A>>C). همچنین راستای محورها اپتیکی (B) برای نمونه ایجاد شده با پرتو قطبیده‌ی بیضوی °۲۲/۵ راستگرد، در راستای °۲۲/۵- و عمود بر آن در °۶۷/۵ است که با تصویر AFM نمونه‌ی مربوطه و نقش پراکندگی آن سازگار است. باید توجه داشت که تصاویر AFM، تصویر آینه‌ای از نمونه واقعی است. راستای محورها اپتیکی (B) برای نمونه ایجاد شده با پرتو قطبیده‌ی بیضوی °۲۲/۵ چپگرد، در °۲۲/۵ و عمود بر آن در °۶۷/۵- است.

۲-۲- بررسی میزان پاشندگی چرخش نور

معمولاً ضریب شکست یک کمیت وابسته به طول موج است. بنابراین چرخش نوری که متناسب با اختلاف ضریب شکست عادی و غیرعادی محیط‌های ناهمسانگرد است [٤]، نیز به طول موج وابسته است و به پاشندگی چرخش نوری موسوم است. چرخش نوری و دوشکستی در نمونه‌ی

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]

ایجاد شده با پرتو قطبیده‌ی بیضوی راستگرد (R) و چپگرد (L)، در سه طول موج قرمز (۶۴۳nm)، سبز (۵۴۶nm) و آبی (۴۷۳nm) پرتو آزمون، اندازه‌گیری و نتایج آن در شکل ۳ و جدول ۱ گزارش شده است.



شکل ۳: چرخش نوری بر حسب زاویه چرخش نمونه‌ی ایجاد شده با پرتو قطبیده‌ی °۲۲/۵ راستگرد در سه طول موج مختلف.

طبق شکل ۳ چرخش نوری برای پرتو گمانه آبی در جهت مخالف چرخش نوری پرتوهای آزمون قرمز و سبز است.

جدول ۱: دوشکستی در نمونه‌های ایجاد شده با پرتو قطبیده‌ی °۲۲/۵ راستگرد (R) و چپگرد (L) برای سه طول موج مختلف.

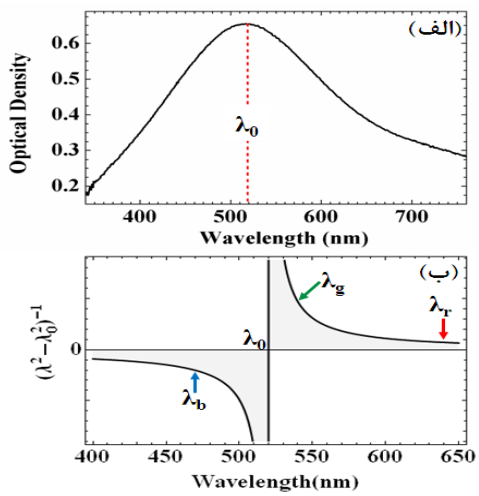
Wavelength	Δn_R	Δn_L
۶۴۳nm	۰,۰۸۶	۰,۰۵۸
۵۶۴nm	۰,۱۳۴	۰,۰۹۶
۴۷۳nm	۰,۰۵۴	۰,۰۴۶

جدول ۱ نشان می‌دهد که دوشکستی و در نتیجه میزان چرخش نوری پرتو آزمونِ سبز با طول موج ۵۶۴ نانومتر، بزرگتر از میزان چرخش نوری پرتوهای آزمون قرمز و آبی است. این نتیجه در شکل ۳ نیز کاملاً مشخص است.

طیف پاشندگی چرخش نوری برای بسیاری از مواد در ناحیه مرئی از معادله‌ی درود پیروی می‌کند [۵]. شکل ساده‌ای از معادله‌ی درود به صورت زیر است:

$$\theta(\lambda) = A'\left(\lambda^2 - \lambda_0^2\right)^{-1}, \qquad (۳)$$

که $\theta(\lambda)$ میزان چرخش نوری، A' ضریبی متناسب با میزان جذب نمونه و λ_0 طول‌موج جذب نمونه است که برای نمونه کلرید نقره-نقره تحت تابش پرتو لیزر هلیوم-نئون، مطابق شکل ۴ (الف) حدود ۵۲۰ نانومتر است.



شکل ۴: (الف) طیف جذب لایه‌ی نازک کلرید نقره-نقره تحت تابش پرتو قطبیده‌ی °۲۲/۵، (ب) طیف پاشندگی چرخش نوری آن.

با رسم طیف پاشندگی چرخش نوری، $\left(\lambda^2 - \lambda_0^2\right)^{-1}$، در شکل ۴(ب) مشاهده می‌شود که در اطراف طول موج جذب نمونه، λ_0، میزان و علامت چرخش نوری تغییرات بزرگی دارد. به گونه‌ای که علامت چرخش پرتو آزمون آبی عکس پرتوهای آزمون قرمز و سبز است که با شکل ۳ که نتیجه‌ی اندازه‌گیری تجربی است، هماهنگی خوبی دارد.

۳- نتیجه‌گیری

دراین مقاله، نشان دادیم با تابش پرتو لیزر قطبیده‌ی بیضوی به لایه‌های نازک کلرید نقره-نقره دوشکستی خطی القاء می‌شود. دوشکستی در این نمونه‌ها سبب چرخش نوری می‌شود. همچنین وابستگی چرخش نوری به طول موج در این نمونه‌ها بررسی شد که نشان داده شد بیشترین چرخش نوری در طول موج سبز است. چرخش نوری در طول موج آبی در جهت عکس طول موج‌های سبز و قرمز است.

مراجع

[۱] Ageev L. A., Miloslavsky V. K., *Photoinduced effect in light-sensitive films*, **Opt. Eng.** ۳٤ (۱۹۹٥) ۹٦۰-۹۷۲.

[۲] Nahal A., and Talebi R. *Ellipticity-dependent laser-induced optical gyrotropy in AgCl thin films doped by silver nanoparticles*, **J. Nanopar. Res.**, ۱٦ (۲۰۱٤) ۲٤٤۲.

[۳] Tamir T., *Integrated optics*, Springer-Verlag, ۱۹۷۹.

[٤] Svirko Yu. P, Zheludev N. I., *Polarization of light in nonlinear optics* ,John Wiley & sons, ۱۹۹۸.

[٥] Barron D., *Molecular Light Scattering and Optical Activity*, Cambridge University Press, ۲۰۰٤.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]