بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

مطالعه تجربی وابستگی رفتار نوری غیرخطی نقاط کوانتومی کادمیوم تلوراید آلاییده به منگنز به شرایط سنتز آنها

مریم افشار[۱]، محمدعلی حداد[۱و۲]، حکیمه زارع[۱]، شیما قرقانی[۱]

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

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

maryamafshar@stu.yazd.ac.ir, mahaddad@yazd.ac.ir, hzare@yazd.ac.ir, shima.gharghani۹٤@gmail.com

چکیده –در این تحقیق با روش آبی نقاط کوانتومی کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز ساخته شده‌است. ضریب شکست و ضریب جذب غیرخطی کادمیم تلورا ید آلاییده شـــده با منگنز با دو حرارت‌دهی متفاوت با اســـتفاده از روش جاروب محوری تعیین گردیده‌ا ست. آزمایش‌ها با ا ستفاده از لیزر پیو سته نئودیم یاگ با طول موج ۵۳۲ نانومتر انجام شده‌ا ست. نتایج نشان می‌دهند که روش ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی در مقادیر ضریب شکست غیر خطی آنها بسیار موثر است.

کلید واژه- جاروب محوری، خواص نوری غیرخطی، ضریب شکست غیرخطی، کادمیم تلوراید، نقاط کوانتومی، منگنز

Experimental study of the dependence of nonlinear optical behavior of CdTe-Mn quantum dots on their synthesis conditions

Maryam Afshar[۱], Mohammad Ali Haddad[۱،۲], Hakimeh Zare[۱], Shima Gharghani[۱]

[۱] Department of Physics, Yazd University, Yazd, Iran
[۲] Photonic Research Group, Laser Spectroscopy Research Laboratory, Yazd University, Yazd, Iran

maryamafshar@stu.yazd.ac.ir, mahaddad@yazd.ac.ir , hzare@yazd.ac.ir, shima.gharghani۹٤@gmail.com

Abstract- In this research, the nonlinear optical responses of Mn-doped CdTe are investigated. The nonlinear refractive index and nonlinear absorption coefficient of samples, made by an aqueous method with two different heating methods, have been measured. For this purpose, Z-scan method with a continuous Nd: YAG laser is used experiments. The results indicate that nonlinear optical response, particularly the nonlinear refractive index, depends on the CdTe-Mn quantum dots' synthesis procedure.

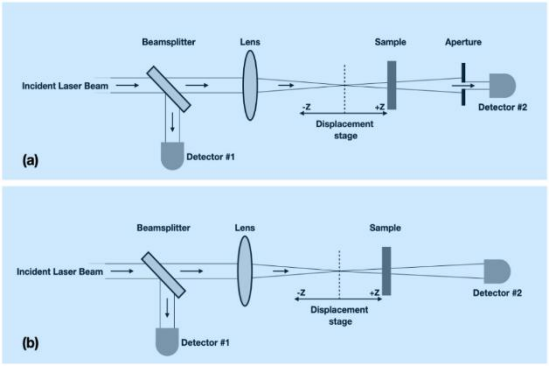
Keywords: CdTe, CdTe- Mn, Nonlinear optical properties, Nonlinear refractive index, Z-Scan, Quantum dots.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

مقدمه

به طور کلی نقاط کوانتومی، ساختارهای نانوکریستالی هستند که می‌توانند با استفاده از روش‌های فیزیکی یا شیمیایی رشد کنند. انواع نقاط کوانتومی مغناطیسی به دلیل خواص نوری و مغناطیسی خوبی که دارند، عوامل مهمی برای تصویربرداری دوگانه فلورسانس و تشدید مغناطیسی هستند و به‌دلیل داشتن اندازه کمتر از شعاع اکسایتون بوهر و تعداد الکترون‌های متغیر، خواص متعددی از خود بروز می‌دهند[۱].

هنگامی که اندازه نقاط کوانتومی از شعاع اکسایتون بوهر کوچکتر باشد، محدودیت کوانتومی در آن‌ها به وجود آمده و باعث تغییر خواص نوری و الکتریکی آن‌ها می‌شود که این خواص در نانوذرات و حالت توده آن متفاوت است. نقاط کوانتومی به‌علت داشتن طیف نشر باریک و طیف جذب پهن، پایداری نوری نسبتا بالا و طول عمر بالای فلورسانس نسبت به ملکول‌های نورتاب آلی یا پروتئین‌های فلورسانس کننده برتری یافته است و این خواص، تعیین کننده کاربردهای عملی نقاط کوانتومی در زمینه‌های مختلف شده است[۲]. صرف نظر از اندازه آن‌ها، انواع نقاط کوانتومی نمونه خوبی از محدود کننده‌های نوری با آستانه پایین هستند[۱]. نقاط کوانتومی به واسطه خواص نوری و ساختار الکترونیکی منحصر به فردشان مورد توجه محققان قرار گرفته و در زمینه‌های بسیاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. علاوه بر این، نوع روش ساخت نیز بر نوع کاربرد آنها تاثیرگذار است، به عبارت دیگر نقاط کوانتومی ساخته شده فاز آلی به‌دلیل اینکه در آب پخش نمی‌شوند و به اصطلاح آبگریز هستند در زیست‌فناوری قابل استفاده نیستند ولی چون دارای اندازه بزرگتری بوده و قابل کنترل می‌باشند، کاربردهای مختلفی در حسگرهای نوری، سلول‌های خورشیدی و لیزرها دارند. همانطور که گفته شد خواص نوری غیرخطی نقاط کوانتومی بسیار حائز اهمیت است. در این مقاله خواص نوری غیرخطی نقاط کوانتومی کادمیوم تلوراید آلاییده به منگنز در شرایط سنتز متفاوت مورد بررسی قرار گرفته‌است. اثرات گرمایی موضعی ناشی از انتشار پرتو گاوسی و جذب نور بر نمونه منجر به ایجاد یک



شکل ۱: آرایه اپتیکی جاروب محوری روزنه a) بسته و b) باز

میدان حرارتی (بویژه در ناحیه کانونی‌سازی لیزر) می‌شود. این میدان القایی، منجر به تغییرات ضریب شکست موضعی محیط جاذب خواهد شد. برای نمونه‌هایی با خاصیت رفتار اپتیکی غیرخطی، تغییرات ضریب شکست به شدت پرتو لیزر وابسته است. بدین منظور از روش جاروب محوری که روشی ساده و در عین حال حساس است برای مطالعه رفتار اپتیک غیر خطی نمونه‌های کادمیوم تلوراید آلاییده به منگنز استفاده شده‌است.

روش تجربی

در انجام مراحل آزمایش، پاسخ رفتار اپتیکی غیرخطی نقاط کوانتومی کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز ساخته شده با روش آبی مورد ناشی از اثر گرمایی پرتو لیزر، مورد مطالعه قرار گرفت. دو نمونه از نقاط کوانتومی کادمیم تلوراید آلاییده با منگنز ساخته شده یکی با حرارت‌دهی ۴ ساعته و دیگری با حرارت‌دهی ۸ ساعته استفاده شدند. جزییات روش ساخت این نقاط کوانتومی در مرجع [۱] یافت می‌شود. در مطالعه خواص اپتیکی غیرخطی این مواد از روش جاروب محوری استفاده شده‌است[۵-۳]. استفاده از این روش، اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی، ضریب جذب غیرخطی نمونه‌های آزمایشگاهی را فراهم می‌آورد. شکل ۱ آرایه اپتیکی روش اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. هر یک از کمیت‌های ذکر شده بالا در رژیم گرمایی، با استفاده از لیزر پیوسته‌ی Nd:YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر با تابش‌دهی محلول نمونه در یک سل کوارتز با ضخامت ۱ میلی‌متر و کانونی‌سازی با عدسی به فاصله کانونی ۵۰ میلی‌متر بر روی نمونه اندازه‌گیری شد. این اندازه‌گیری

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

مبتنی بر تخمین میزان عبور پرتو لیزر از نمونه، با جابه‌جایی نمونه در راستای محور z (محور اپتیکی) است. با ثبت تغییرات شدت پرتوی عبوری، نمودار تراگسیلندگی بهنجار عبوری بر حسب فاصله z برای هر دو ماده حاصل می‌شود. در این آرایه اپتیکی، همزمان نمودار تراگسیلندگی در آرایش روزنه باز و بسته قابل ثبت است. شایان ذکر است با رسم نمودار تراگسیلندگی روزنه بسته و باز و تحلیل آنها می‌توان ضریب شکست غیرخطی (n_2) و ضریب جذب غیرخطی مواد (β) را تعیین نمود. با استفاده از روابط زیر، هر یک از مقادیر یادشده بدست می‌آیند[۵-۲].

$$\Delta T_{p-v} = ۰,۴۰۶(۱-S)^{-۰,۲۵} \quad (۱)$$

$$\beta = ۲\sqrt{۲}\, T_{min}/ I_0 L_{eff} \quad (۲)$$

در رابطه (۱) $n_۲$ ضریب شکست غیرخطی، λ طول موج لیزر و I_0 شدت پرتو لیزر در کانون است. طول مؤثر نمونه (L_{eff}) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$L_{eff} = (۱- e^{-\alpha L})/\alpha \quad (۶)$$

که در این رابطه α ضریب جذب خطی نمونه است. مقدار کمیت S از رابطه $S= ۱-\exp(-۲r_a^۲/\omega_a^۲)$ شعاع پرتو در روزنه و r_a شعاع روزنه) حاصل می‌شود.

برای برازش داده‌های تجربی حاصل از عبور پرتو در آرایش روزنه بسته، ضریب شکست غیرخطی با استفاده از رابطه (۵)، و داده‌های تجربی حاصل از عبور پرتو در آرایش روزنه باز برای محاسبه ضریب جذب غیرخطی، با استفاده از رابطه (۶) قابل انجام است[۲،۵]:

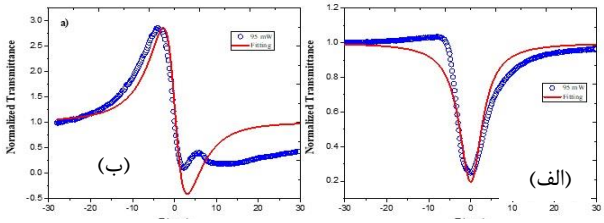
$$T(z)=۱- ٤x\Delta\Phi_0/(x^۲+۹)(x^۲+۱) \quad (۵)$$

$$T(z) = ۱- T_{min}/(x^۲+۱) \quad (۶)$$

رابطه (۵) $T(z)$ تراگسیلندگی عبوری بهنجار شده روزنه بسته است که در آن، $x=z/z0$ و $z_0=k\omega_0/۲$ است که z طول پراکندگی رایلی و ω_0 کمره پرتو در کانون به مقدار ۳۰ میکرومتر تخمین زده شده است. تراگسیلندگی بهنجار عبوری روزنه باز از رابطه (۶) حاصل می‌شود و با تخمین مقدار T_{min} از این رابطه مقدار (β) قابل محاسبه است.

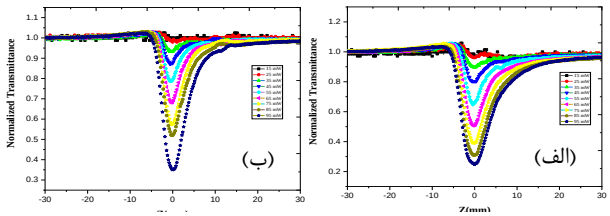
نتایج و بحث

شکل۲ نمودار تراگسیلندگی بهنجار روزنه بسته و روزنه باز در توان ۹۵ میلی‌وات برای کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز با چهار ساعت حرارت‌دهی را نشان می‌دهد. می‌توان با روابط ۵ و ۶ نمودار برازش آنها را رسم کرد. همانگونه که دیده می‌شود تطابق مناسبی میان داده‌های تجربی و منحنی‌های برازش شده وجود دارد.

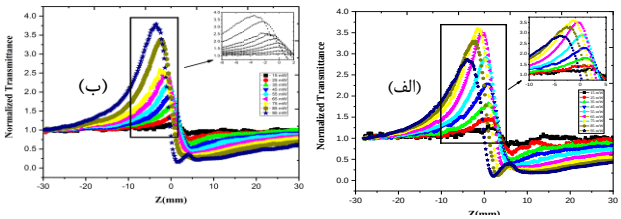


شکل۲: نمودار تراگسیلندگی بهنجار عبوری جاروب محوری با برازش برای توان ۹۵ میلی‌وات کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز با ساخت ۴ ساعت و برازش هر یک با استفاده از روابط الف) (۵) و ب) (۶)

شکل ۳ و شکل ۴ به ترتیب نمودار تراگسیلندگی با آرایش



شکل۳: نمودار تراگسیلندگی بهنجار عبوری جاروب محوری روزنه باز کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز الف) با ساخت چهار ساعت ب) با ساخت ۸ ساعت



شکل۴: نمودار تراگسیلندگی بهنجار عبوری جاروب محوری روزنه بسته کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز الف) با ساخت چهار ساعت ب) با ساخت ۸ ساعت

روزنه باز و نیز میزان تغییرات تراگسیندگی بهنجار شده، حاصل تقسیم داده‌های ثبت شده شدت پرتو در آرایش روزنه بسته به آرایش روزنه باز را نشان می‌دهند. با استفاده از داده های ثبت شده و روابط ۱ تا ۶ هر یک از ضرایب

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

جذب غیرخطی و ضرایب شکست غیرخطی نمونه‌ها در توان‌های فرودی متفاوت حاصل می‌شوند. با استفاده از این داده‌ها مقادیر ضریب جذب غیرخطی نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۲ حاصل می‌شود. در جدول ۱ مقادیر اندازه‌گیری شده این ضرایب را برای سه توان انتخابی ۹۵، ۷۵، ۴۵ میلی‌وات درج شده‌است.

جدول ۱: نتایج حاصل از دو گروه مواد در توان‌های انتخابی

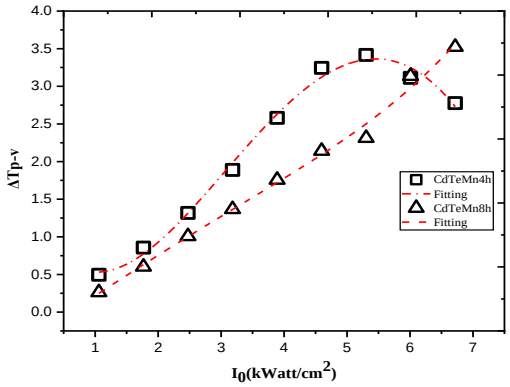
نمونه	توان فرودی(mW)	$\beta\times10^{-7}$ (cm/W)	$-n_2\times10^{-7}$ (W/cm^2)
CdTeMn (4h)	۹۵	۳/۹۸۳۹	۰/۷۱۰۵
	۷۵	۳/۵۶۵۳	۷/۲۸۴
	۴۵	۱/۶۱۷	۲/۲۰۴
CdTeMn (8h)	۹۵	۳/۴۵۱۵	۰/۵۱۴۲
	۷۵	۲/۸۷۲۱	۱/۱۰۱۹
	۴۵	۱/۳۷۱۷	۲/۷۹۷۹

همانگونه که دیده می‌شود، با افزایش توان فرودی پرتو لیزر میزان جذب غیرخطی نمونه‌ها در هر دو نمونه افزایش می‌یابد. همانگونه که در نمودار تراگسیلندگی روزنه بسته بهنجار عبوری برای کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز با حرارت‌دهی ۴ ساعت مشاهده شد، که تا توان ۷۵ میلی‌وات با افزایش توان فرودی اختلاف قله-دره نیز افزایش می‌یابد سپس با بالابردن سطح توان فرودی اختلاف قله و دره کم می‌شود. اما در کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز با حرارت‌دهی هشت ساعت بر خلاف چهار ساعت روند اختلاف قله-دره صعودی است یعنی با افزایش توان فرودی اختلاف قله-دره نیز افزایش می‌یابد. با تجزیه و تحلیل اندازه قله و دره می‌توان $\Delta T_{p-v}=T_p - T_v$ را محاسبه کرد. نمودار شکل ۷ اختلاف قله و دره را برحسب شدت فرودی برای هر دو ماده نشان می‌دهد. از رابطه زیر می‌توان برای برازش داده‌های محاسبه شده، استفاده کرد [۶]:

$$\Delta T_{p-v} = AI_0^4 + BI_0^3 + CI_0^2 + DI_0 + E \qquad (۷)$$

که در آن $A\propto n_4^2$ ،$B\propto n_2 n_4$ ،$C\propto(n_2^2+n_4)$ ،$D\propto n_2$ است.

با برازش داده‌های حاصل از هریک از نمونه‌ها در شکل ۵ و محاسبه هر یک از مقادیر بدست آمده برای هر یک از ضرایب رابطه ۷ می‌توان نتیجه گرفت که مقدار ضرایب شکست غیر خطی مرتبه دوم و مرتبه چهارم نمونه‌ها با توجه



شکل ۵: اختلاف بین قله و دره داده‌های تراگسیلندگی بهنجار عبوری، جاروب محوری روزنه بسته در شدت‌های مختلف همراه با برازش

به روش ساخت آن می‌تواند متفاوت باشد. این نتیجه با اندازه‌گیری نمونه‌های بیشتر دقیق‌تر قابل بررسی است.

مرجع‌ها

[۱] Gharghani, S., Zare, H., Shahedi, Z., Fazaeli, Y., & Rahighi, R. (۲۰۲۱). Synthesis of Magnetic Ions-Doped QDs Synthesized Via a Facial Aqueous Solution Method for Optical/MR Dual-Modality Imaging Applications. Journal of Fluorescence, ۳۱(۳), ۸۹۷-۹۰۶.

[۲] Jasim, K. E. (۲۰۱۹). Third-Order Nonlinear Optical Properties of Quantum Dots. In Standards, Methods and Solutions of Metrology. IntechOpen.

[۳] E. W. Stryland and M. Sheik-bahae, “Z-Scan Measurements of Optical Nonlinearities,” ۲۰۰٤.

[٤] M. Sheik-bahae, A. Said, and E. V. Van Stryland, “High-sensitivity, single-beam n(۲) measurements.,” *Opt. Lett.*, vol. ١٤ ١٧, pp. ٩٥٥–٩٥٧, ١٩٨٩.

[٥] M. Sheik-bahae, A. Said, T.-H. Wei, D. Hagan, and E. W. Stryland, “Sensitive Measurement of Optical Nonlinearities Using a Single Beam Special ٣٠th Anniversary Feature,” ١٩٩٠.

[٦] Mousavi, Z., Ghafary, B., & Ara, M. M. (۲۰۱۹). Fifth-and third-order nonlinear optical responses of olive oil blended with natural turmeric dye using z-scan technique. Journal of Molecular Liquids, ۲۸٥, ٤٤٤-٤٥٠

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]