

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



# مطالعه تجربی وابستگی رفتار نوری غیرخطی نقاط کوانتومی کادمیوم تلوراید آلاییده به منگنز به شرایط سنتز آنها مریم افشار<sup>۱</sup>، محمدعلی حداد<sup>۹۱٬</sup>، حکیمه زارع<sup>۱</sup>، شیما قرقانی<sup>۱</sup> (دانشکده فیزیک دانشگاه یزد، صفائیه، بلوار دانشگاه، یزد

<sup>۲</sup> 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.gharghani92@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 شــده با منگنز با دو حرارتدهی متفاوت با اســتفاده از روش جاروب محوری تعیین گردیدها ست. آزمایشها با استفاده 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.

كليد واژه- جاروب محوري، خواص نوري غيرخطي، ضريب شكست غيرخطي، كادميم تلورايد، نقاط كوانتومي، منگنز

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

Maryam Afshar', Mohammad Ali Haddad',', Hakimeh Zare', Shima Gharghani'

' Department of Physics, Yazd University, Yazd, Iran ' 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.gharghani9£@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.



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

میدان حرارتی (بویژه در ناحیه کانونی سازی لیزر) می شود. این میدان القایی، منجر به تغییرات ضریب شکست موضعی محیط جاذب خواهد شد. برای نمونه هایی با خاصیت رفتار اپتیکی غیر خطی، تغییرات ضریب شکست به شدت پر تو لیزر وابسته است. بدین منظور از روش جاروب محوری که روشی ساده و در عین حال حساس است برای مطالعه رفتار اپتیک غیر خطی نمونه های کادمیوم تلوراید آلاییده به منگنز استفاده شده است.

# روش تجربی

در انجام مراحل آزمایش، پاسخ رفتار اپتیکی غیرخطی نقاط كوانتومى كادميم تلورايد آلاييده 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 آلاييده با منگنز ساخته شده يكي با حرارتدهي ۴ ساعته و دیگری با حرارتدهی ۸ ساعته استفاده شدند. جزییات روش ساخت این نقاط کوانتومی در مرجع [۱] یافت می شود. در مطالعه خواص اپتیکی غیرخطی این مواد از روش جاروب محوری استفاده شدهاست[۵-۳]. استفاده از این روش، اندازه گیری ضریب شکست غیرخطی، ضریب جذب غیرخطی نمونههای آزمایشگاهی را فراهم می آورد. شکل ۱ آرایه اپتیکی روش اندازه گیری 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 کانونی سازی با عدسی به فاصله کانونی ۵۰ میلیمتر بر روی نمونه اندازه گیری شد. این اندازه گیری

#### 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 مهمی برای تصویربرداری دوگانه فلورسانس و تشدید مهناطیسی 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 كننده برترى يافته است و اين خواص، تعيين كننده کاربردهای عملی نقاط کوانتومی در زمینههای مختلف شده است[۲]. صرف نظر از اندازه آنها، انواع نقاط كوانتومي نمونه خوبی از محدود کنندههای نوری با آستانه پایین هستند[۱]. نقاط کوانتومی به واسطه خواص نوری و ساختار الكترونيكي 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 می باشند، کاربردهای مختلفی در حسگرهای نوری، سلولهای خورشیدی و لیزرها دارند. همانطور که گفته شد خواص نورى غيرخطى نقاط كوانتومى بسيار حائز اهميت است. در این مقاله خواص نوری غیرخطی نقاط کوانتومی كادميوم تلورايد آلاييده به منگنز در شرايط سنتز متفاوت مورد بررسی قرار گرفتهاست. اثرات گرمایی موضعی ناشی از انتشار پرتو گاوسی و جذب نور بر نمونه منجر به ایجاد یک

مبتنی بر تخمین میزان عبور پرتو لیزر از نمونه، با جابه جایی 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 ( $\beta$ ) را تعیین نمود. با استفاده از روابط زیر، هر یک از مقادیر یادشده بدست میآیند[-7].

$$\beta = \Upsilon \sqrt{\Upsilon} T_{min} / I_0 L_{eff}$$
(Y)

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

$$L_{eff} = (1 - e^{-\alpha L})/\alpha \tag{(6)}$$

که در این رابطه  $\alpha$  ضریب جذب خطی نمونه است. مقدار کمیت *S* از رابطه ( $S = 1 - \exp(-7r_a)/\omega_a$ ) مقدار کمیت *S* از رابطه ( $r_a$  (رایش پرتو در روزنه و *r* شعاع روزنه) حاصل می شود. برای برازش دادههای تجربی حاصل از عبور پرتو در آرایش روزنه (۵)، و دادههای تجربی حاصل از عبور پرتو در آرایش روزنه (۵)، و دادههای تجربی حاصل از عبور پرتو در آرایش روزنه باز برای محاسبه ضریب جذب غیر خطی، با استفاده از رابطه (۶) قابل انجام است (۵):

$$T(z) = 1 - \frac{\epsilon}{x\Delta} \Phi_0/(x^{\tau} + 9)(x^{\tau} + 1)$$
(\Delta)

$$T(z) = 1 - T_{min}/(x^{*}+1)$$
 (9)

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

# نتايج 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



جدول۱: نتایج حاصل از دو گروه مواد در توانهای انتخابی

نمونه	توان فرودی(mW)	$\beta_{\times 1} \cdot \cdot^{-\gamma}$ (cm/W)	$\frac{-n_{2\times} \vee^{-\gamma}}{(W/cm^{\gamma})}$
CdTeMn (۴۵)	۹۵	٣/٩٨٣٩	•/Y1•۵
	۷۵	37/2823	٧/٢٨۴
	40	1/814	۲/۲۰۴
CdTeMn (^h)	٩۵	37/4010	•/0147
	۷۵	$T/\Lambda YT$	١/١٠١٩
	₩	1/211	TIVAVA

همانگونه که دیده میشود، با افزایش توان فرودی پرتو لیزر میزان جذب غیرخطی نمونه ها 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 ۲۵ میلیوات با افزایش توان فرودی اختلاف قله – دره نیز افزایش مییابد میشود. اما در کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز با میشود. اما در کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز با میشود. اما در کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز با میشود. اما در کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز با میشود. اما در کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز با میشود. اما در کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز با میشود. اما در کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز با میشود. اما در کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز با میشود. اما در کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز با میشود. اما در کادمیم تلوراید آلاییده شده با منگنز با میشود. اما در کادمیم تلوراید آلایده می وان فرودی میشود. اما در میتوان برای میابد. با تجزیه و تحلیل اندازه اختلاف قله – دره نیز افزایش مییابد. با تجزیه و تحلیل اندازه میله و دره میتوان  $T - T_p - T_p$ را محاسبه کرد. نمودار شکل ۷ اختلاف قله و دره را برحسب شدت فرودی برای هر دادههای محاسبه شده، استفاده کرد [۶]:

 $\Delta T_{p-\nu} = AI.^{f} + BI.^{r} + CI.^{r} + DI. + E \qquad (Y)$   $\sum_{k=1}^{\infty} \Delta \alpha n_{4} \sum_{k=1}^{\infty} \Delta \alpha n_{4} \sum_{k=1$ 



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

با	ین نتیجه	باشد. ا	متفاوت	مىتواند	ىاخت آن	روش س	بە
	ی است.	بل بررس	قيق تر قا	بیشتر د	، نمونەھاي	ازەگىرى	اند

### مرجعها

- [1] Gharghani, S., Zare, H., Shahedi, Z., Fazaeli, Y., & Rahighi, R. (<sup>Y</sup>, <sup>Y</sup>). Synthesis of Magnetic Ions-Doped QDs Synthesized Via a Facial Aqueous Solution Method for Optical/MR Dual-Modality Imaging Applications. Journal of Fluorescence, <sup>Y1</sup>(<sup>Y</sup>), <sup>AqY-q, Y</sup>.
- [<sup>Y</sup>] Jasim, K. E. (<sup>Y</sup> · )<sup>9</sup>). Third-Order Nonlinear Optical Properties of Quantum Dots. In Standards, Methods and Solutions of Metrology. IntechOpen.
- [<sup>r</sup>] E. W. Stryland and M. Sheik-bahae, "Z-Scan Measurements of Optical Nonlinearities," Y • • ٤.
- [1] M. Sheik-bahae, A. Said, and E. V. Van Stryland, "High-sensitivity, single-beam n(<sup>Y</sup>) measurements.," Opt. Lett., vol. 11 19, 900– 107, 1909.
- [°] M. Sheik-bahae, A. Said, T.-H. Wei, D. Hagan, and E. W. Stryland, "Sensitive Measurement of Optical Nonlinearities Using a Single Beam Special "•th Anniversary Feature," 199•.
- [7] 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, ۲۸ο, ٤٤٤-٤ο.