





## بررسی خواص نوری غیرخطی در نانوساختار دوبعدی MoS<sub>2</sub>

افشین علی پور'، صغری میرارشادی'، سیده زهرا مر تضوی''، فرهاد ستاری'

<sup>۱</sup> گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل <sup>۲</sup> گروه علوم مهندسی، دانشکده فناوری های نوین، دانشگاه محقق اردبیلی، نمین <sup>۳</sup> گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بینالمللی امام خمینی (ره)، قزوین

چکیده – در این مقاله، خواص اپتیکی غیرخطی نانو ساختار دوبعدی MoS<sub>2</sub> با به کارگیری روش جاروب–Z توسط لیزر پیوسته با توانهای مختلف ۵۵ و ۱۲ میلی وات در طول موج ۵۳۲ نانومتر مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله این خواص اندازه و علامت ضریب شکست غیرخطی و ضریب جذب غیرخطی است که به کمک نمودارهای آزمایش جاروب-Z محاسبه شده است. همچنین پذیرفتاری غیرخطی مرتبه سوم از مرتبهی (esu) <sup>7-1</sup>0 تعین گردید. چنین خواص نوری مرتبه سوم بالا، این ساختار را کاندیدای مناسبی جهت بکارگیری در ادوات اپتوالکترونیکی و فوتوترانزیستورها معرفی می کند.

كليد واژه- روش جاروب-Z، خواص اپتيكى غيرخطى، MoS<sub>2</sub>

## Investigation of Nonlinear Optical Properties in 2D MoS<sub>2</sub> Nanostructures

Afshin Alipour<sup>1</sup>, Soghra Mirershadi<sup>2</sup>, Seyedeh Zahra Mortazavi<sup>3</sup>, Farhad Sattari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

<sup>2</sup> Department of Advanced Technologies, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

<sup>3</sup>Department of Physics, Faculty of Science, Imam Khomeini International University, Qazvin

Abstract- In this paper, the nonlinear optical properties of two-dimensional  $MoS_2$  nanostructure are investigated using the Z-scan method by continuous wave lasers with 12 and 55 mW at 532 nm. The properties of the size and sign of the nonlinear refractive index and the nonlinear absorption coefficient are calculated using the Z-scan technique. The corresponding third-order susceptibilities is determined to be as large as  $10^{-7}$  (esu) under laser excitation. This large third-order optical nonlinearity, makes this structure suitable for application of optoelectronic devices and phototransistors.

Keywords: Z-scan technique, Nonlinear optical properties, MoS<sub>2</sub>

۱ - مقدمه
 ۱ - مقدم

غیرخطی است. این روش اولین بار توسط شیخ بهایی و همکارانش در سال ۱۹۸۹ ابداع شده است و توجه پژوهشگران و محققان قرار گرفت [۱]. اخیرا ساختارهای دوبعدی مولیبدن دی سولفید (MoS<sub>2</sub>) توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. این ساختارها با دارا بودن ویژگیهای منحصر به فرد مانند گاف انرژی تنظیم پذیر، تشکیل اکسایتون پایدار و انرژی پیوند اکسایتونی بالاتر در بسیاری از پژوهشها مورد مطالعه قرار گرفتهاند [۴–۲]. اما در این پژوهش مطالعه برروی رفتار نوری غیر خطی MOS<sub>2</sub>

۲- روش آزمایش

با توجه به اینکه امکان به کارگیری نانو ساختارهای دو بعدی مورد مطالعه در ادوات اپتو الکترونیکی پیشرفته، مستلزم شناخت پاسخ نوری غیرخطی آنها میباشد، به این خاطر هدف اصلی ما مطالعه بر روی عاملهای بوجود آورندهی رفتار نور غیر خطی در این ساختار ها است. در این آزمایش از لیزر پیوسته با توانهای مختلف ۱۲ و ۵۵ میلی وات با طول موج ۵۳۲ نانومتر استفاده شده است. مطابق شکل (۱) باریکه لیزر پس از خارج شدن از دهانه لیزر توسط شکافنده به دو باریکه تقسیم میشود، شدت ۱ ثبت می گردد و پرتو دیگر به یک عدسی با فاصله کانونی ۱۰۰ میلیمتر میرسد، این پرتو به وسیله عدسی کانونی شده و از نمونههای آزمایش که حول کانون عدسی



شکل۱: چیدمان جاروب-Z

تحت این شرایط، تابندگی در محل کانون که از رابطه

 $\mathcal{O}_{0f} = \frac{2P_{in}}{\pi\omega_{0f}^2}$  بدست میآید (Pin) توان ورودی و  $I_0 = \frac{2P_{in}}{\pi\omega_{0f}^2}$  شعاع باریکه در محل کانون است) که برای توانهای مغتلف ۱۲ و ۵۵ میلی وات، به ترتیب برابر  $I_0 = 5.15 \times 10^2$  و ۵۵ میلی وات، به ترتیب برابر  $I_0 = 5.15 \times 10^2$  وات بر سانتیمتر مربع و محدین  $I_0 = 2.26 \times 10^3$  میکرومتر منعاع باریکه در محل کانون 39.3 میکرومتر معین گردید. علاوه براین طول رایلی از رابطه تعیین گردید. علاوه براین طول رایلی از رابطه رابطه روش جاروب-Z و در حدود ۹.1 میلی متر بدست آمد که بسیار بیشتر از ضخامت نمونه نانو ساختار (۱۰۰ نانومتر) است. روش جاروب-Z از دو چیدمان تشکیل می شود: ۱- بیشتر از دریچه بسته برای اندازه گیری ضریب شکست میروب (۱۰ میر) میروب (۱۰۰ میر) میروب شکست میروب (۱۰۰ میر) میر) میروب (۱۰۰ میر) میر) میروب (۱۰۰ میر) میروب (۱۰ میر) میروب (۱۰۰ میر) میروب (

تراگسیلندگی خطی و شعاع باریکه در روزنه با استفاده از  $\omega_a = \omega_{0f} \sqrt{1 + z_a^2 / z_0^2}$  و  $S = 1 - \exp(-2r_a^2 / \omega_a^2)$  بو به دست میآیند که در آن  $r_a$  شعاع روزنه و  $z_a$  شعاع پرتو در محل روزنه است [۱]. تراگسیلندگی نور از میان روزنه-ای که در فاصله دور از کانون قرار گرفته است برابر S=0.54 تعین شد.

۳- بحث و بررسی

در این تحقیق خواص اپتیکی غیرخطی مرتبه سوم نانو ساختار دوبعدی  ${
m MoS}_2$ ، از جمله ضریب شکست غیرخطی  $n_2$ ، ضریب جذب غیرخطی eta و پذیرفتاری غیرخطی مرتبه سوم  $\chi^{(3)}$  مورد بررسی قرار گرفته است.

همچنین ضریب جذب خطی با استفاده از روش مرسوم آزمایشی تحت تابش با شدت های کم پرتو لیزر و در ناحیه خطی پاسخ ماده، توسط رابطه  $(\frac{I}{I_0}) = \alpha_0$ تعیین گردید. که در آن  $I_0$  و *I* به ترتیب بیانگر شدت نور تابشی و عبوری از نمونه و *I* ضخامت آن است. بیست و چهارمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و دهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران ۱۰۰–۱۲ بهمن ۱۳۹۶

همچنین طول موثر را میتوان با استفاده از رابطه $L_{eff}=rac{1-\exp(-lpha_0L)}{lpha_0}$ 

نمودار تراگسیلیدگی جاروب-Z با روزنه بسته برای نانو ساختار MoS<sub>2</sub> با دو توانهای لیزر ۵۵ و ۱۲ میلی وات به ترتیب در شکل (۲) الف و ب آورده شده است.



شکل۲: منحنی تراگسیلیدگی جاروب-Z با روزنه بسته در نانو ساختار MoS<sub>2</sub> برای توان لیزر (الف): ۵۵ میلی وات و (ب): ۱۲ میلیوات.

کاهش شدت نور عبوری برای حالتی که نمونه قبل از کانون عدسی در حال حرکت است و افزایش شدت برای زمانی که نمونه مورد نظر بعداز کانون قرار دارد، بیانگر پدیدهی خودکانونی متناظر با رفتار غیرخطی مثبت است [1].

با محاسبه تفاضل تراگسیلیدگی بهنجار بین قله و دره به صورت  $\Delta T_{P-V} = T_P - T_V$  از منحنی برازش شده توسط  $\Delta T(z, \Delta \Phi_0) = 1 \approx (\Delta \Phi_0)$  معادله  $\Delta \Phi_0 = \frac{4x}{(x^2 + 9)(x^2 + 1)}$   $\Delta \Phi_0$  معادله می توان تغییر فاز روی محور در محل کانون ( $|\Delta \Phi_0|$ )، را می توسط رابطه  $|\Delta \Phi_0| = 0.406(1 - S)^{0.27} |\Delta \Phi_0|$  بدست آورد. در ادامه با قرار دادن  $\Delta \Phi_0$  در رابطهی  $n_2$  محسن غیرخطی  $\Delta \Phi_0$  در رابطهی  $n_2 I_0 L_{eff}$  مریب شکست غیرخطی  $n_2 I_0 L_{eff}$  را محاسبه نمود [1]. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول (۱) آورده شده است. همانطور که از جدول (۱) نمونه دارای ضریب شکست غیرخطی بالایی از مرتبه  $1 \cdot \gamma$  نمونه دارای ضریب شکست غیرخطی بالایی از مرتبه  $1 \cdot \gamma$ 

به وسیله برازش منحنیهای حاصل از داده های تجربی با  
به وسیله برازش منحنیهای حاصل از داده های تجربی با  
رابطه تقریبی 
$$\left[1/(1+\frac{z^2}{z_0^2})\right] \propto \Delta T(z) \approx \alpha$$
 می توان  
مقدار ضریب  $q_0$  را تعیین نمود و با معلوم بودن آن طبق  
مقدار ضریب  $q_0$  را تعیین نمود و با معلوم بودن آن طبق  
رابطه ی  $q_0 = \beta I_0 L_{eff}$  را با می توان ضریب جذب اشباع  $\beta$  را  
بدست آورد [۵]. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول

بیست و چهارمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و دهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران ۱۰۰–۱۲ بهمن ۱۳۹۶

 (۱) آورده شده است. همچنین قسمتهای حقیقی و موهومی پذیرفتاری غیر خطی تعیین گریید و نتایج حاصل
 از آن نیز در جدول (۱) آورده شده است.





شکل۳: منحنی تراگسیلیدگی جاروب-Z با روزنه باز در نانو ساختار MoS<sub>2</sub> برای توان لیزر (الف): ۵۵ میلی وات و (ب): ۱۲ میلی وات.

جدول (۱): محاسبات انجام شده آزمایش جاروب-Z

## ۴ - نتیجه گیری

-							
	$MoS_2$	$\alpha_0$	n <sub>2</sub>	β	$\boldsymbol{\chi}^{(3)}$	$Im\chi^{(3)}$	$Re \ \chi^{(3)}$
	sample	(cm <sup>-1</sup> )	(cm <sup>2</sup> /W)	(cm/W)	$(m^2/v^2)$	(esu)	(esu)
-	$P_{in} = 55 \text{ mW}$	1.71×10 <sup>5</sup>	2.15×10 <sup>-7</sup>	34.2	1.89×10 <sup>-12</sup>	1.41×10 <sup>-8</sup>	9.5×10
_	$P_{in} = 12 \text{ mW}$	2.04×10 <sup>5</sup>	2.30×10 <sup>-6</sup>	-1.32×10 <sup>3</sup>	0.45×10 <sup>-13</sup>	1.51×10 <sup>-7</sup>	3.6×10 <sup>-1</sup>

در این مقاله ضریب شکست غیرخطی، ضریب جذب غیرخطی و پذیرفتاری مرتبه سوم نانو ساختار MoS<sub>2</sub> مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان میدهد که ضریب شکست غیرخطی، با کاهش شدت لیزر افزایش یافته است. همچنین با افزایش شدت لیزر در هر اتم با جذب همزمان دو فوتون گذاری از حالت پایه به برانگیخته اتفاق میافتد و پدیده جذب دو فوتونی با مشاهده یک دره در نمودار تایید میشود.

مراجع

 $[\mbox{``}]$  M. Sheik-bahae, A. A. Said, E. W. Van Stryland, "High-sensitivity, single-beam  $n_2$  measurements", Opt. Lett., Vol. 14, pp. 955-957, 1989.

[r] A. M-Sánchez, K. Hummer, L. Wirtz, "Vibrational and optical properties of MoS<sub>2</sub>: From monolayer to bulks", Surface Science Reports, Vol. 70, pp. 554-586, 2015.

[٣] C. Yim, M. O'Brien, N. McEvoy, S. Winters, I. Mirza, J. G. Lunney, G. S. Duesberg, "Investigation of the optical properties of MoS<sub>2</sub> thin films using spectroscopic ellipsometry", Appl. Phys. Lett. Vol. 104, pp. 103114-103118, 2014.

[f] R. Wang, H-C. Chien, J. Kumar, N. Kumar, H-Y. Chiu, H. Zhao "Third-Harmonic Generation in Ultrathin Films of MoS2", Appl. Mater. Interfaces, Vol. 6, pp. 314-318, 2014.

[△] W. Van Stryland and M. Shei-Bahae, "Z-Scan, Characterization Tech-niques and Tabulations for Organic Nonlinear Optical Materials", M. G. Kuzyk and C. W. Dirk, Eds. New York: Marcel Dekker, 1998, pp. 655–692

٩٠٨

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت <u>WWW.0pSi.ir</u> قابل دسترسی باشد