بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

رشد لایه‌های نازک WS_2 با روش PLD و بررسی جذب غیرخطی و محدودکنندگی نوری آن‌ها

شبنم ابوطالبی[۱]، محمد خان‌زاده[۲]، سید محمدباقر مرعشی[۳]

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

[۱]Abootalebi.sh@gmail.com
[۲]khanzadeh@vru.ac.ir
[۳]smb_marashi@yahoo.com

چکیده – در این پژوهش ضریب جذب غیرخطی و محدودکنندگی نوری لایه‌های نازک WS_2 اندازه‌گیری شده است. لایه‌های نازک WS_2 به روش لایه‌نشانی لیزر پالسی رشد یافته‌اند و آنالیزهای انجام شده نشان می‌دهد این روش برای رشد لایه‌های با کیفیت کارآمد است. از طرفی پاسخ نوری غیرخطی این لایه‌ها با روش پویش Z روزنه باز با لیزر پیوسته nm ۵۳۲ و توان mW ۲۰۰ بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد جذب غیرخطی لایه‌های WS_2 برای ضخامت‌ها و توان‌های مختلف از مرتبه $۱۰^{۳}\frac{cm}{kW}$ می‌باشد. این لایه‌ها برای کاربردهایی چون محدودکننده‌های نوری مناسب بشمار می‌روند.

کلید واژه- لایه نازک، لایه نشانی لیزر پالسی، پویش Z، ضریب جذب غیرخطی، محدودکنندگی نوری

The growth of WS_2 thin films by PLD method and investigation of nonlinear absorption and optical limiting

Shabnam Abutalebi, Mohammad Khanzadeh, Seyed MohammadBagher Marashi

Vali asr University of Rafsanjan, Faculty of basic science, Department of physics

Abstract- In this study, nonlinear absorption and optical limiting of WS2 thin films was measured. WS2 thin films grown by pulsed laser deposition method and analyzes show this method is useful for the growth of high quality layers. On the other hand, nonlinear response of these layers is investigated by open apreture z-scan with 532nm contineous wave laser at 200mw. The results show nonlinear absorption of WS2 layers with various thickness and power of order$10^{3}\frac{cm}{kW}$. These layers are also suitable for applications such as optical limiting.

Keywords: thin film, pulsed laser deposition, Z-scan, nonlinear absorption, optical limiting

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

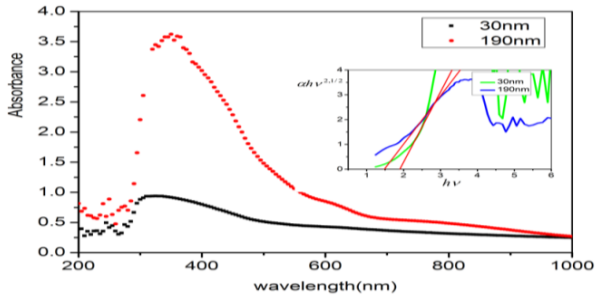
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-15]

مقدمه

دی‌سولفید تنگستن (WS_2) از خانواده کلکوژن‌های فلزات واسطه (TMD) است. این نوع مواد دو بعدی هستند که از لایه‌هایی تشکیل شده‌اند که با یک نیروی واندروالس ضعیف به هم متصل شده‌اند. گاف نوری این مواد در حالت حجمی غیرمستقیم و درحالت تک لایه مستقیم است، بنابراین خواص نوری این مواد وابستگی زیادی به ضخامت دارد. مواد TMD دارای ویژگی‌های نوری و اپتوالکترونیکی بارزی هستند که به عنوان نمونه می‌توان به پاسخ نوری غیرخطی، دینامیک فوق سریع حامل‌ها و محدوده‌ی عملکرد گسترده‌ای از طول‌موج‌ها اشاره کرد [۲-۱]. در سال ۲۰۱۵ آقای ژانگ و همکاران پارامترهای غیرخطی فیلم‌های نازک WS_2 و MoS_2 را باروش پویش Z و با استفاده از لیزر فمتوثانیه در ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان می‌دهد پاسخ نوری غیرخطی این لایه‌ها قابل توجه است. همچنین وابستگی جذب غیرخطی به ضخامت لایه و طول‌موج گزارش داده شد[۳]. در این پژوهش پاسخ نوری غیرخطی و محدودکنندگی نوری لایه‌های نازک WS_2، رشد یافته با روش لایه نشانی لیزر پالسی، با روش پویش Z لیزر سبز پیوسته مورد بررسی قرار گرفته است.

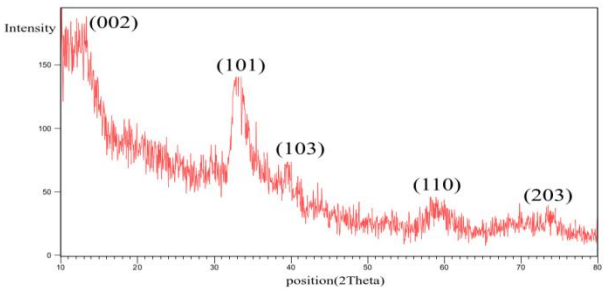
کارتجربی

رشد لایه‌های نازک WS_2 با روش لایه‌نشانی لیزر پالسی در آزمایشگاه پیشرفته لیزر دانشگاه ولی عصر(عج) انجام شده است. در این روش باریکه لیزر پالسی با ماده هدف برهم-کنش می‌کند و در نتیجه این برهم‌کنش، قسمتی از ماده تبخیر شده و بر روی زیرلایه می‌نشینند. در فرآیند لایه-نشانی لیزر Nd:YAG با طول‌موج ۱۰۶۴ نانومتر، پهنای پالس ۵-۴ نانوثانیه و انرژی ۰/۶ ژول استفاده شده است. لایه‌ها در شرایط خلاء (10^{-6} mbar) و دمای $130^{\circ}C$ در دو ضخامت ۳۰ و ۱۹۰ نانومتر بر روی لام شیشه‌ای رشد یافته‌اند. ضخامت لایه‌ها با ضخامت‌سنج کریستالی دستگاه اندازه‌گیری شده است. به منظور بهبود ساختار و کیفیت لایه‌ها، فرآیند پخت بر روی لایه‌های نازک انجام شده است. لایه‌های رشد داده شده در کوره با دمای $400^{\circ}C$ به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده می‌شوند. در طی فرآیند پخت، پودر خالص سولفور در کوره با فاصله معین از لایه‌ها قرار دارد، همچنین گاز آرگون در جریان است. طیف جذب و نمودار تائوک لایه‌های نازک WS_2 در شکل ۱ نشان داده شده است. با استفاده از رابطه تائوک، گاف ممنوعه برای لایه‌های WS_2 با ضخامت ۳۰ و ۱۹۰ نانومتر به ترتیب ۱/۹۸ و ۱/۴۷ الکترون-ولت بدست می‌آید.



شکل ۱: نمودار جذب و نمودار تائوک مربوط به لایه‌های نازک WS_2 با ضخامت ۳۰ و ۱۹۰ نانومتر

در شکل ۲ آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) نشان داده شده است. با توجه به این طیف ساختار کریستالی لایه، شش گوشه است و ثابت شبکه آن در شکل مشخص شده است. طیف این لایه با طیف دی سولفید تنگستن همخوانی دارد.



شکل ۲: طیف XRD لایه نازک WS_2 با ضخامت ۱۹۰ نانومتر

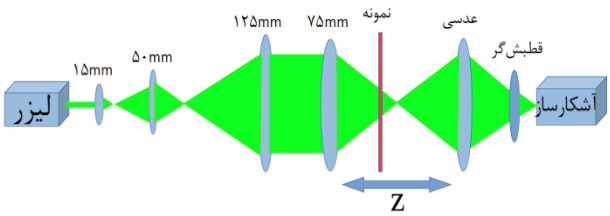
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-15]

ضریب جذب غیرخطی این لایه‌ها با روش پویش Z روزنه باز اندازه‌گیری شده است. در این روش که اولین بار در سال ۱۹۸۹ توسط شیخ بهایی ارائه شد، همه نور تراگسیل از ماده در موقعیت‌های متفاوت نسبت به کانون اندازه-گیری می‌شود سپس داده‌های تجربی با توجه به فرمول ۱ برازش شده و ضریب جذب غیرخطی محاسبه می‌شود[۵-۴].

$$T(z,S=1)=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{[-q_0(z)]^n}{(n+1)^{3/2}} \qquad (۱)$$

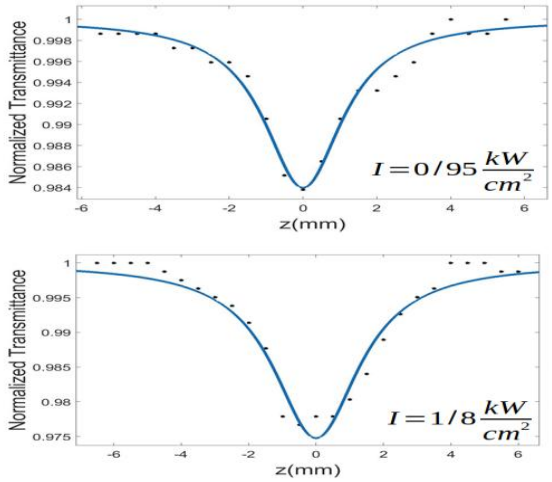
در این رابطه $q_0(z)=\frac{\beta I_0 L_{eff}}{1+(z/z_0)^2}$ است که β ضریب جذب غیرخطی، I_0 شدت در کانون، $L_{eff}=\frac{(1-e^{-\alpha L})}{\alpha}$ طول مؤثر نمونه (αجذب خطی است) و z_0 طول ریلی می-باشد. چیدمان این روش در شکل ۳ آمده است. در این چیدمان از لیزر پیوسته با طول موج ۵۳۲ نانومتر و توان ۲۰۰ میلی‌وات استفاده شده است که با عدسی‌های ۱۵، ۵۰ و ۱۲۵ میلی‌متر پهن و موازی می‌شود، سپس باریکه موازی شده‌ی نور با عبور از عدسی ۷۵ میلی‌متر متمرکز می‌شود. در محدوده نور کانونی شده، نمونه به نحوی قرار می‌گیرد که بتواند مسیر قبل و بعد از کانون را پویش کند و نور تراگسیل از آن با کمک یک عدسی مثبت به آشکارساز برسد. آشکارساز توان‌های پایین را با دقت بیشتری اندازه‌گیری می‌کند به همین دلیل قبل از آشکارساز از یک قطبش‌گر استفاده شده است تا توان ورودی را کاهش دهد. کمر باریکه لیزر در کانون مقدار ۶۸ میکرون با روش آزمایش پراش از لبه تیغه اندازه‌گیری شده است. جذب خطی برای لایه‌ها با ضخامت ۳۰ و ۱۹۰ نانومتر به ترتیب $۱/۶۳\times۱۰^{۵}\ cm^{-1}$ و $۴/۸\times۱۰^{۴}\ cm^{-1}$ است.



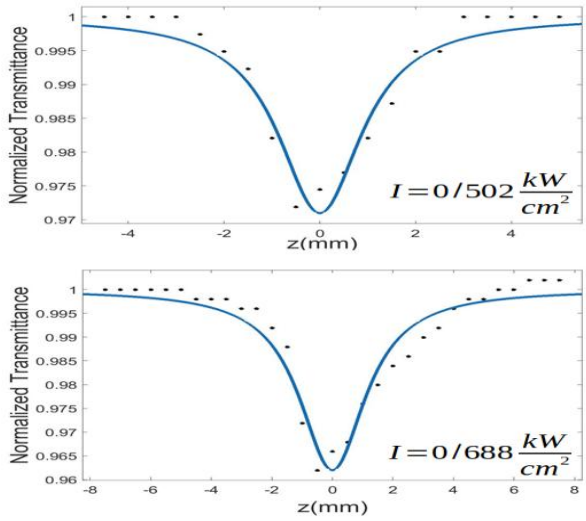
شکل ۳ :چیدمان پویش Z لیزر پیوسته با طول موج ۵۳۲ نانومتر

نتایج و بحث

منحنی جذب غیرخطی برای لایه نازک WS_2 با ضخامت ۳۰ نانومتر و ۱۹۰ نانومتر به ترتیب در شکل ۴ و شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴: نمودار پویش Z روزنه باز برای لایه نازکWS_2 با ضخامت ۳۰ نانومتر در دو شدت متفاوت



شکل ۵: نمودار پویش Z روزنه باز برای لایه نازک WS_2 با ضخامت ۱۹۰ نانومتر در دو شدت متفاوت

طبق نتایج حاصل، پاسخ غیرخطی لایه‌های نازک WS_2 با ضخامت ۳۰ و ۱۹۰ نانومتر بصورت جذب اشباع معکوس است بنابراین علامت جذب مثبت است. ضریب جذب غیرخطی برای ضخامت‌ها و شدت‌های مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است. پاسخ غیرخطی لایه نازک WS_2 با

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

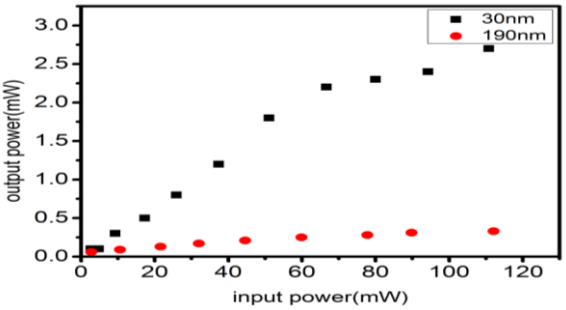
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-15]

ضخامت ۳۰ نانومتر در توان‌های بالا بزرگ‌تر از لایه با ضخامت ۱۹۰ نانومتر است. برای لایه ۱۹۰ نانومتر شدت-های بالا به لایه آسیب زده و نمی‌توان اندازه‌گیری دقیقی داشت.

جدول ۱: ضریب جذب غیرخطی لایه‌های نازک WS_2

لیزر ۵۳۲nm				
f(mm)	ضخامت (nm)	p(mW)	I ($\frac{kW}{cm^2}$)	$\beta(\frac{cm}{kW})$
۷۵	۳۰	۶۹	۰/۹۵	۲۰/۶۲ × ۱۰^{۳}
		۱۳۱	۱/۸	۱۷/۴ × ۱۰^{۳}
	۱۹۰	۳۶/۵	۰/۵۰۲	۱۳/۷۵ × ۱۰^{۳}
		۵۰	۰/۶۶۸	۱۳/۳۵ × ۱۰^{۳}

یکی از کاربردهای اپتیک غیرخطی محدودکنندگی نوری است. اهمیت این کاربرد در محافظت از چشم انسان و حسگرهای نوری از تابش لیزر با شدت بالا است. مکانیزم-های غیرخطی متفاوتی چون جذب غیرخطی، شکست غیرخطی، پراکندگی غیرخطی و ... می‌توانند در محدودکنندگی نوری نقش داشته باشند[۶]. شکل ۶ محدودکنندگی نوری، برای لایه نازک WS_2 در دو ضخامت ۳۰ و ۱۹۰ نانومتر نشان می‌دهد. برای انجام تست محدودکنندگی نوری لایه‌ها در کانون عدسی قرار می-گیرند و نسبت توان ورودی به توان خروجی از روزنه‌ای که بعد از نمونه قرار گرفته است اندازه‌گیری می‌شود. در توان-های پایین این نسبت بصورت خطی است اما بعد از آستانه محدودکنندگی، شیب تغییرات توان تغییر می‌کند و می-توان تا حدی آن را ثابت در نظر گرفت.



شکل ۶: نمودار محدودکنندگی لایه نازک دی سولفید تنگستن برای دو ضخامت متفاوت

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ضریب جذب غیرخطی لایه‌های نازک WS_2 با استفاده از روش پویش Z با لیزر سبز پیوسته اندازه‌گیری شد. تأثیر عوامل مختلف مانند ضخامت و شدت بر روی این اندازه‌گیری مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد این لایه‌ها دارای جذب غیرخطی قابل توجهی در این طول‌موج هستند که در نتیجه برای کاربردهایی چون محدودکنندگی نور و سوئیچ‌های نوری مناسب بشمار می‌آیند.

مرجع‌ها

[1] S. Manzeli, D. Ovchinnikov, D. Pasquier, O. V. Yazyev, & A. Kis, “2D transition metal dichalcogenides”, Nat. Rev. Mater, Vol. 2, No. 8, pp. 17033, 2017.

[2] M. Zhang, G. Hu, G. Hu, R. C. T. Howe, L. Chen, Z. Zheng, & T. Hasan, "Yb-and Er-doped fiber laser Q-switched with an optically uniform, broadband WS 2 saturable absorber", Sci. Rep., Vol. 5, pp. 17482, 2015.

[3] S. Zhang, N. Dong, N. McEvoy, M. O’Brien, S. Winters, N. C. Berner,... & L. Zhang, “Direct observation of degenerate two-photon absorption and its saturation in WS2 and MoS2 monolayer and few-layer films”, *ACS nano*, Vol. 9, No. 7, pp. 7142-7150, 2015.

[4] M. Sheik-Bahae, A. A. Said, & E. W. Van Stryland, "High-sensitivity, single-beam n 2 measurements.", Opt. Lett., Vol. 14, No. 17, pp. 955-957, 1989.

[5] M. Sheik-Bahae, A. A. Said, T. H. Wei, D. J. Hagan, & E. W. Van Stryland, "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam.", IEEE J. Quant. Electr. Vol. 26, No. 4, pp. 760-769, 1990.

[6] G. S. He, S. H. Liu, *physics of nonlinear optics*, p. 448, World scientific, 1999.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-15]