

مجله فیزیک کاربردی دانشگاه الزهرا (س)

شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۲

اندازه‌گیری ویژگی‌های اپتیکی غیرخطی لایه‌های نازک نانوساختاری مس و روی

مهسا اطمینان^۱

فرشته حاج اسماعیل بیگی^۲

عطاءالله کوهیان^۳

یاسمن گلیان^۴

اسماء‌السادات معتمدی^۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۱۳

تاریخ تصویب: ۹۱/۱۱/۹

چکیده

در این مقاله لایه‌های نازک نانوساختار مس و روی به روش لایه نشانی لیزر پالسی تهیه شده و ضرایب جذب و شکست غیرخطی این لایه‌ها با استفاده از روش روبش - Z اندازه‌گیری و بررسی شده

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک، دانشگاه تهران.

^۲ هیئت علمی پژوهشکده لیزر و اپتیک، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران؛ fesmaeilbaigi@aeoi.org.ir

^۳ دانشیار فیزیک، دانشگاه تهران.

^۴ هیئت علمی پژوهشکده لیزر و اپتیک، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران.

است. جزئیات پارامترهای لایه نشانی لیزر پالسی برای هر دو فلز مس و روی ارائه شده است. برای انجام آزمایش روبش Z- از لیزر موج پیوسته با طول موج ۵۳۲ نانومتر و توان ۱۳۰ میلی‌وات استفاده کردیم. علامت و اندازه ضریب جذب و ضریب شکست غیرخطی لایه‌های نازک نانو ساختاری مس و روی به کمک نمودارهای آزمایش روبش Z- محاسبه شده است.

واژه‌های کلیدی: لایه نشانی لیزر پالسی، لایه‌های نازک

نانو ساختاری، ضریب جذب غیرخطی، ضریب شکست غیرخطی.

۱- مقدمه

مواد نانو ساختاری به خاطر ویژگی‌های منحصر به فرد آن‌ها، در سال‌های اخیر به طور گسترده مورد مطالعه و کاربرد قرار گرفته‌اند. یکی از ویژگی‌های مهم و پرکاربرد این مواد، خواص اپتیکی غیرخطی آن‌ها است. پاسخ اپتیکی غیرخطی نانو ساختارها به باریکه‌های پر شدت لیزر، منجر به کاربردهای نوین و گسترده این دسته از مواد در اسپکتروسکوپی غیرخطی، ابزارهای اپتوالکترونیکی و محدودکننده‌ها و سوئیچ‌های اپتیکی شده است. یکی از روش‌های معتبر رشد لایه‌های نازک نانو ساختاری مواد مختلف، لایه نشانی لیزر پالسی^۱ است که در آن نانوذرات یا نانو ساختارها با استفاده از لیزر پالسی پرتوان مناسب، به طور یکنواخت از سطح ماده هدف کندوسوز می‌شود و به شکل توده‌ای پلاسمایی جدا شده و تحت شرایط کنترل‌شده‌ی دما و فشار خلأ یا گازهای محیطی، بر روی زیرلایه، لایه نشانی می‌شود [۱]. از مزایای روش لایه نشانی لیزر پالسی این است که با بهینه سازی شرایط رشد نظیر چگالی لیزر، لایه نشانی دور از محور یا فاصله هدف تا زیرلایه می‌توان از لایه نشانی قطرات مذاب که هنگام کندوسوز از سطح هدف جدا شده و

^۱ Pulsed Laser Deposition (PLD)

همراه توده پلاسمایی است، جلوگیری کرد. علاوه بر این پالس‌های کوتاه لیزری امکان تبخیرِ همگنِ ماده هدف را فراهم می‌سازد.

خواص غیر خطی مواد به روش‌های مختلفی چون اختلاط چهار موج تبهگن [۲]، تقریب اختلاط سه موج تبهگن [۳]، روبش Z^{-1} [۴] و جابه‌جایی سنجی ماره [۵] اندازه‌گیری می‌شود. اخیراً روش روبش Z^{-1} به علت حساسیت و سادگی چیدمان آزمایش توسط محققان زیادی برای اندازه‌گیری خواص غیرخطی مواد مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش در حین جابه‌جایی نمونه در طول انتشار باریکه گوسی کانونی شده (محور Z)، توان تراگسیل نمونه اندازه‌گیری و ثبت می‌گردد. علامت و بزرگی ضریب شکست و ضریب جذب غیرخطی از نمودار توان تراگسیل به دست می‌آید. در این مقاله رفتارهای غیرخطی دو فلز مس و روی، مورد مطالعه قرار گرفته است. ابتدا لایه‌های نازک مس و روی به روش لایه‌نشانی لیزر پالسی تهیه شده و سپس رفتارهای غیرخطی آن‌ها با روش روبش Z^{-1} مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- تهیه نمونه‌ها

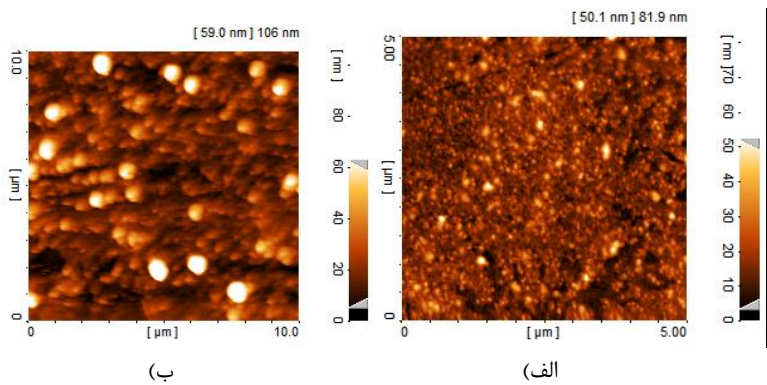
نمونه‌های لایه نازک فلزی تهیه شده برای بررسی رفتارهای غیرخطی، شامل یک نمونه لایه نازک مس و یک نمونه لایه نازک روی می‌باشد. تمامی نمونه‌ها به روش لایه‌نشانی لیزر پالسی و با کندوسوز لیزری هدف‌های روی و مس تهیه شده‌اند. در این روش هدف و زیرلایه در دمای اتاق در داخل محفظه‌ای فولادی قرار گرفته و فشار خلأ در محفظه به کمک دستگاه پمپ خلأ دیفیوژنی تا حد 2×10^{-5} تور پایین آورده شد. هدف و زیرلایه هر دو بر روی نگهدارنده‌های چرخان قرار گرفتند تا هم کندوسوز لیزری هدف و هم نحوه قرار گرفتن نانوذرات بر روی زیرلایه به طور یکنواخت انجام شود. از لام شیشه‌ای به عنوان زیرلایه استفاده شد. باریکه لیزر با استفاده از یک عدسی به فاصله کانونی ۴۰ سانتی‌متر متمرکز شده و پس از عبور از پنجره شیشه‌ای وارد محفظه خلأ می‌شود و به طور مایل به سطح هدف می‌تابد.

¹ Z-scan

جهت ساخت لایه‌های نازک مس، از هماهنگ‌کننده دوم لیزر پالسی Nd:YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر برای کندوسوز هدف مس استفاده شده است. مدت زمان لایه نشانی برای ساخت لایه‌های نازک مس ۴۵ دقیقه و فاصله هدف تا زیرلایه ۲/۵ سانتی‌متر بوده است. برای تهیه لایه‌های نازک فلز روی، هماهنگ‌کننده اصلی لیزر پالسی Nd:YAG با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر برای کندوسوز فلز روی مورد استفاده قرار گرفته است. مدت زمان لایه نشانی ۱۵ دقیقه و فاصله هدف تا زیرلایه ۲/۵ سانتی‌متر است.

۳- تحلیل نمونه‌ها

برای بررسی ریخت‌شناسی لایه‌های نازک تهیه شده از تصاویر AFM استفاده شده است. این در شکل ۱ آمده است.

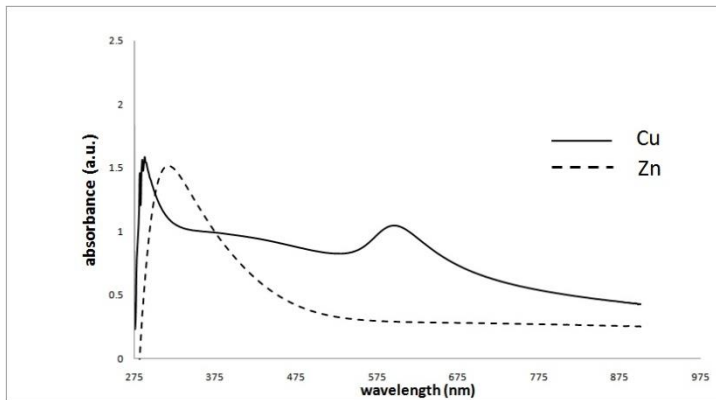


شکل ۱: تصاویر AFM لایه‌های نازک فلزی.

الف) لایه نازک مس، ب) لایه نازک روی.

طیف جذب نمونه‌ها را در بازه طول موج ۲۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر با دستگاه طیف‌سنجی carry ۵۰۰ به دست آوردیم (شکل ۲). چنانچه در مورد طیف جذب فلزات انتظار می‌رود، طیف جذب لایه‌های نازک تهیه شده مس و روی در ناحیه مرئی قرار دارد که مربوط به گذارهای الکترونی است. قله جذب پلاسمونی لایه نازک مس در طول موج ۵۹۶ نانومتر و برای لایه نازک روی در طول موج ۳۱۸ نانومتر وجود قله

تشدید پلاسمونی آشکار در طیف جذب، نشانگر این است که لایه‌های نازک شکل گرفته از نوع نانو ساختاری است. قله تشدید پلاسمونی دو نوع مختلف با منشأ متفاوت است: تشدید ناشی از پلاسمون پولاریتون‌های سطحی و تشدید ناشی از پلاسمون‌های سطحی جایگزیده. از آنجا که پلاسمون‌های سطحی جایگزیده در نانوذرات فلزی شکل می‌گیرند، قله‌های تشدید پلاسمونی طیف جذب لایه‌های نازک ما از نوع دوم است.



شکل ۲: طیف جذب لایه‌های نازک مس و روی.

۴- ویژگی‌های غیر خطی

جهت بررسی خواص نوری غیر خطی لایه‌های نازک فلزی مس و روی، از روش روبش-Z استفاده شده است. لیزر مورد استفاده در روبش-Z، لیزر دیودی موج پیوسته با طول موج ۵۳۲ نانومتر، قطر لکه ۱/۳۵ میلی‌متر و توان ۱۳۰ میلی‌وات است. از عدسی به فاصله کانونی ۱۹/۵ سانتی‌متر برای متمرکز کردن باریکه لیزر استفاده شده و شعاع کمر باریکه لیزر 0.768×10^{-4} متر است.

۴-۱- روبش-Z روزنه باز

رویش-Z روزنه باز برای بررسی و اندازه‌گیری ضریب جذب غیر خطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این آزمایش، روزنه از چیدمان آزمایش حذف می‌شود و به این ترتیب تمام

پرتو تراگسیل شده از نمونه به آشکارساز می‌رسد؛ بنابراین روش روبش -Z نسبت به تغییرات غیرخطی باریکه گوسی ناشی از شکست غیرخطی، غیر حساس است.

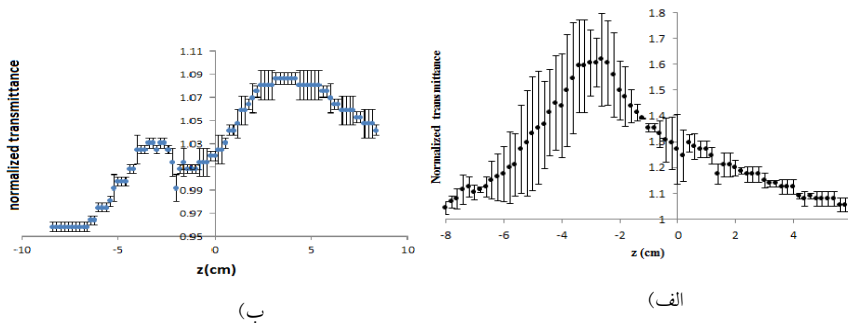
شکل ۳- الف نمودارِ روبشِ -Z روزنهٔ باز لایهٔ نازک مس را نشان می‌دهد. این نمودار نشان‌دهندهٔ رفتارِ اشباعِ جذبِ توسطِ لایهٔ نازک مس است. نمودارِ روبشِ -Z روزنهٔ باز لایهٔ نازک روی نیز در شکل ۳- ب آمده است. لایه نازکِ روی ابتدا رفتارِ اشباعِ جذبِ نشان می‌دهد، اما در شدت‌های بالاتر در نزدیکی کانونِ عدسی، جذبِ دوفوتونی رخ می‌دهد. پس از آن دوباره اشباعِ جذبِ را می‌بینیم.

ضریب جذبِ غیرخطی از رابطهٔ:

$$T(z) = 1 - \frac{L_{\text{eff}} \beta I_0}{2} \left(\frac{1}{1+x^2} \right) \quad (1)$$

به دست می‌آید [۴]. در این رابطه $x = \frac{z}{z_0}$ ، Z مکان نمونه در کمینه توان تراگسیل، z_0 طول پراش باریکهٔ گوسی و T(Z) توان تراگسیل بهنجار شده است. هم‌چنین $L_{\text{eff}} = (1 - \exp(-\alpha L))/\alpha$ ، که در آن α ضریب جذبِ خطی و L ضخامتِ نمونه است. I_0 نیز شدتِ باریکهٔ لیزر بر روی محور و در محلِ کانون است.

با استفاده از روابط فوق، ضریب جذبِ غیرخطی (β) لایه نازک مس 460 cm/W و ضریب جذبِ غیرخطی لایهٔ نازک روی $1/71 \text{ cm/W}$ به دست آمد.



شکل ۳: نمودارِ روبشِ -Z روزنه باز
الف) لایه نازک مس ب) لایه نازک روی.

۴-۲- روبش - Z روزنه بسته

با قرار گرفتن یک روزنه در پشت نمونه و در ناحیه میدان دور می توان ضریب شکست غیرخطی نمونه را به دست آورد. روزنه، سطح مقطع پرتو پس از عبور از نمونه را کنترل می کند. با حرکت نمونه در طول باریکه گوسی (محور Z)، توان تراگیسیل عبوری از نمونه به عنوان تابعی از Z توسط آشکارساز ثبت می شود.

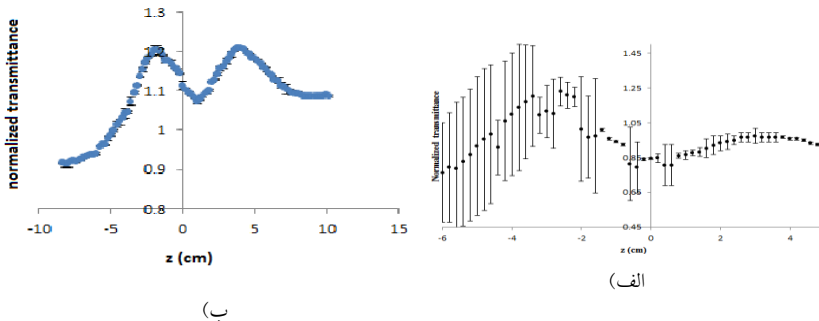
شکل ۴- الف نمودار روبش Z- روزنه بسته لایه نازک مس را نشان می دهد. در این نمودار وجود قله پیش از کانون بیا نگر منفی بودن علامت ضریب شکست غیرخطی لایه نازک مس است. در مورد لایه نازک روی (شکل ۴- ب) نیز شاهد قله پیش از کانون هستیم که منفی بودن علامت ضریب شکست روی را نشان می دهد. ضریب شکست غیر خطی از اطلاعات به دست آمده از نمودار روبش - Z و به کمک رابطه زیر به دست می آید [۴]:

$$\Delta T_{p-v} \cong 0/406 |\Delta \varphi_0| \quad (2)$$

که در آن ΔT_{p-v} اختلاف توان تراگیسیل قله و دره است. $\Delta \varphi_0$ نیز از رابطه زیر به دست می آید:

$$\Delta \varphi_0 = kn_2 I_0 L_{eff} \quad (3)$$

ضریب شکست غیرخطی (n_2) لایه های نازک تهیه شده که با استفاده از روابط فوق به دست آمده اند $3/68 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{W}$ برای لایه نازک مس و $2/06 \times 10^{-4}$ برای لایه نازک روی می باشد.



شکل ۴: نمودار روبش Z- روزنه بسته
الف) لایه نازک مس، ب) لایه نازک روی

۵- نتیجه‌گیری

بررسی خواص غیرخطی اپتیکی لایه‌های نازک نانوساختار مس و روی نشان‌دهنده منفی بودن علامت ضریب شکست غیرخطی هر دو لایه نازک است. با این تفاوت که ضریب شکست غیرخطی لایه نازک روی تقریباً ۱۰ برابر کوچک‌تر از لایه نازک مس است. در مورد جذب غیرخطی نیز لایه نازک روی علاوه بر اشباع جذب، در شدت‌های بالا جذب دوفوتونی دارد، اما لایه نازک مس فقط رفتار اشباع جذب از خود نشان می‌دهد. اندازه ضریب جذب غیرخطی لایه نازک روی نیز نسبت به لایه نازک مس بسیار کوچکتر است.

منابع

- [1] D. B. Chrisey and G. K. Hubler; “Pulsed Laser Deposition of Thin Films”; Wiley-VCH. (2003) 648.
- [2] S. R. Friberg and P. W. Smith; “Nonlinear Optical Glasses for Ultrafast Optical Switches”; *IEEE Journal of Quantum Electronics* **23**, No. 12 (1987) 2089–2094.
- [3] R. Adair, L. L. Chase, and S. A. Payne; “Nonlinear Refractive-index Measurements of Glasses Using Three-wave Frequency Mixing.” *JOSA B* **4**, No. 6 (1987) 875–881.
- [4] M. Sheik-Bahae, A. A. Said, T. H. Wei, D. J. Hagan, and E. W. Van Stryland; “Sensitive Measurement of Optical Nonlinearities Using a Single Beam” *IEEE Journal of Quantum Electronics* **26**, No. 4 (1990) 760–769.
- [5] K. Jamshidi-Ghaleh and N. Mansour; “Nonlinear Refraction Measurements of Materials Using the Moiré Deflectometry” *Optics Communications* **234**, No. 1 (2004) 419–425.