



نوزدهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و پنجمین کنفرانس مهندسی فوتونیک ایران

۳ تا ۵ بهمن ماه ۱۳۹۱ - دانشگاه سیستان و بلوچستان



اندازه گیری پاسخ اپتیکی غیر خطی لایه نازک نقره

عادلہ گرنامیہ راد^۱، حامد عباسی^۲

۱. دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رودهن، ایران

۲. گروه فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده - در این مقاله مشخصات اپتیکی غیر خطی لایه نازک نقره گزارش شده است. این لایه های نازک با استفاده از دستگاه کند و پاش مغناطیسی فعال استوانه ای با جریان مستقیم در فشار داخلی 10^{-5} تور ساخته شده اند. شیشه های BK7 به عنوان زیر لایه انتخاب شده اند. ضریب شکست غیر خطی لایه نازک نانو ذرات نقره با استفاده از لیزری با توان ۱۵ میلی وات و با روش انحراف سنجی ماره اندازه گیری شده است. تمام نمونه های ساخته شده با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی و اسپکتروفوتومتری از نور مرئی تا مادون قرمز نزدیک مشخصه یابی شده اند.

کلید واژه - انحراف سنجی ماره، ضریب شکست غیر خطی، کند و پاش مغناطیسی، لایه نازک نقره.

کد PACS - 190.0190, 310.0310.

Measurement of Nonlinear Optical Responses of Ag Thin Films

Adeleh Granmayeh Rad¹, Hamed Abbasi²

1. Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

2. Department of Photonics, Faculty of Physics, University of Kashan, Kashan, Iran

Abstract- In this paper we report the preparation of silver nanoparticle thin films by cylindrical direct current reactive magnetron sputtering (at 10^{-5} torr initial pressure) and characterization of their nonlinear optical properties. BK7 glasses were selected as substrate. Nonlinear optical response of silver nanoparticle thin films was measured by moiré deflectometry technique using 15 mW He-Ne laser illuminations. All fabricated silver nanoparticle thin films were evaluated using atomic force microscopy and spectrophotometry (from visible region to near infrared region).

Keywords: Silver thin film, DC magnetron sputtering, Moiré deflectometry, Nonlinear refractive index.

PACS No: 190.0190, 310.0310.

۱- مقدمه

اینجا یافت [۷]. ضریب شکست (n) که با شدت نور تابشی تغییر می کند را می توان با استفاده از ضریب شکست غیر خطی (n_2) این گونه نوشت:

$$n = n_0 + n_2 I = n_0 + \Delta n \quad (۱)$$

که در آن I (W^1cm^{-2}) نشان دهنده شدت پرتو فرودی است و بنابراین n_2 بر حسب (cm^2W^{-1}) محاسبه می شود. n_0 نشان دهنده ضریب شکست خطی بوده و همانند n بدون واحد است. Δn نشان دهنده تغییرات ضریب شکست است. با در نظر گرفتن عبور باریکه گوسی از نمونه خواهیم داشت:

$$I = I_0 \frac{\omega_0^2}{\omega^2(z)} \exp\left[-\frac{2r^2}{\omega^2(z)}\right] \quad (۲)$$

در این رابطه ω_0 و $\omega(z)$ به ترتیب نشان دهنده شعاع باریکه در کانون و در فاصله z است. از آنجائیکه در این آزمایش باریکه لیزر ابتدا کانونی شده و سپس مجدداً موازی می شود، با حرکت نمونه در راستای این باریکه گوسی، شدت پرتو در صفحه نمونه تغییر خواهد کرد و خواهیم داشت:

$$\Delta n = n_2 I_0 \frac{\omega_0^2}{\omega^2(z)} \exp\left[-\frac{2r^2}{\omega^2(z)}\right] \quad (۳)$$

در نهایت با فرض عبور باریکه از عدسی نازک مثبت به ضخامت d خواهیم داشت:

$$n_{2,\min} = \frac{\theta_f^2 \pi \omega_0^4}{4z_t dp_{in} z_0^2} \alpha_{\min} \quad (۴)$$

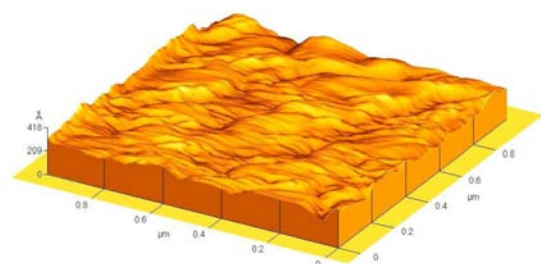
در این رابطه با استفاده از تصاویر ضبط شده توسط دوربین CCD، مقدار α_{\min} (کمینه زاویه چرخش فریز ماره ضبط شده) را محاسبه کرده و میزان $n_{2,\min}$ (کمینه ضریب شکست غیر خطی) را بدست خواهیم آورد. در رابطه فوق f_2 فاصله کانونی لنز دوم، p_{in} توان تابشی لیزر و z_t فاصله دو توری در آزمایش است. این فاصله معروف به فاصله تالبوت است. فاصله تالبوت را از رابطه زیر می توان محاسبه کرد:

$$z_t = \frac{tp^2}{\lambda} \quad (۵)$$

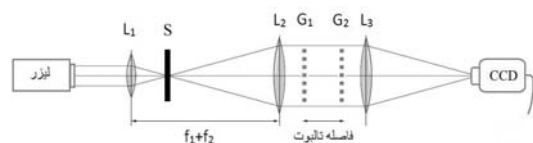
توانایی نانو ذرات فلزی در کمک به حل بسیاری از مشکلات، توجه دانشمندان رشته های مختلف را به این نوع نانو ذرات منعطف ساخته است. نقره یکی از پر کاربردترین این نوع نانو ذرات است. هر فرد علاقه مندی می تواند کاربرد های بسیار متنوع و گوناگون نانو ذرات نقره در اشکال مختلف آن (مانند کلئوئید نانو ذرات نقره، لایه نازک نقره و غیره) را در اینجا ببیند [۱]. این کاربردها در علوم پزشکی، علوم زیست شناسی و صنعت بررسی شده اند. دانستن خواص نانو ذرات لازمی استفاده از آن ها است. این خواص شامل خواص اپتیکی، الکتریکی و ... می باشد. ضریب شکست غیر خطی از مهمترین خواص اپتیکی نانو ذرات به شمار می رود. تا کنون روش های مختلفی برای اندازه گیری ضریب شکست غیر خطی گزارش شده اند. معروف ترین آن ها روش روبش زد است [۲]. فهرستی از سایر روش های موجود را می توان در اینجا پیدا کرد [۳]. در این مقاله از روش انحراف سنجی ماره برای تعیین ضریب شکست غیر خطی لایه نازک نقره استفاده شده است.

۲- مبانی نظری

استفاده از روش انحراف سنجی ماره برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ میلادی گزارش شده است [۴]. با استفاده از اندازه گیری میزان انحراف فریز ماره، امکان اندازه گیری بسیاری از خواص مواد مختلف به وجود می آید. دکتر جمشیدی قلعه و دکتر منصور در سال ۲۰۰۴ میلادی از روش انحراف سنجی ماره برای اندازه گیری ضریب شکست غیر خطی استفاده کردند [۵]. استفاده از این روش برای اندازه گیری ضریب شکست غیر خطی نانو ذرات گوناگون مورد توجه بسیاری دانشمندان ایران و سایر کشور ها قرار گرفت. در سال ۲۰۱۱ میلادی دکتر رسولی و دکتر جمشیدی قلعه متوجه اشتباهی محاسباتی در مقاله منتشر قبلی شده شدند و اصلاحیه ای را برای آن مقاله در همان مجله منتشر کردند [۶]. فهرستی از موارد استفاده شده از این روش برای اندازه گیری ضریب شکست غیر خطی با استفاده از سنجش انحراف نقش ماره در همین مقاله آورده شده است. مطالعه ای نظری و تجربی از برهمکنش میان لیزر و نانو ذرات را می توان در



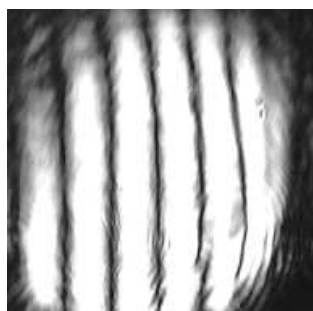
شکل ۲: تصویر سطح لایه نازک نقره با ضخامت ۷۱ نانومتر.



شکل ۳: آرایش تجربی آزمایش انحراف سنجی ماره.

۳-۲- آزمایش انحراف سنجی ماره

همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، نور لیزر از عدسی مثبت عبور کرده و سپس توسط یک عدسی مثبت دیگر مجدداً موازی می شود. فاصله این دو عدسی مجموع فاصله کانونی های این دو عدسی است. نور پس از عبور از عدسی دوم از دو توری پراش مشابه موازی عبور کرده و نهایتاً توسط عدسی سوم روی دوربین CCD تصویر سازی می شود. نمونه ابتداً در کانون مشترک عدسی های اول و دوم قرار گرفته و سپس به طرفین حرکت داده می شود. تصویر نقش ماره حاصل در فاصله های گوناگون ضبط می شود. شکل های ۴ و ۵ به ترتیب نشان دهنده ی نقش ماره ضبط شده در کانون مشترک و در فاصله ۵ میلی متری از آن است.



شکل ۴: تصویر فریز ماره در زمان حضور نمونه با ضخامت ۷۱ نانومتر در کانون مشترک.

در این رابطه p گام توری پراش، λ طول موج لیزر و t یک عدد ثابت است. همچنین کمینه تغییرات ضریب شکست را از رابطه زیر می توانیم به دست بیاوریم:

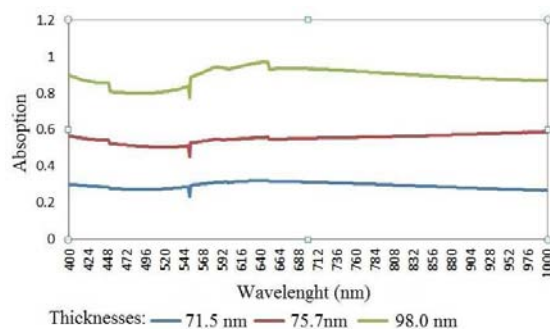
$$\Delta n_{\min} = \frac{\theta_f^2 \omega_0^2}{z_f dz_0^2} \alpha_{\min} \quad (6)$$

در این رابطه Δn_{\min} نشان دهنده کمینه تغییرات ضریب شکست است.

۳- کار های تجربی

۳-۱- ساخت و مشخصه یابی لایه نازک نقره

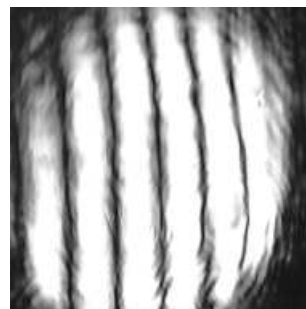
لایه های نازک نقره با استفاده از دستگاه کند و پاش مغناطیسی فعال استوانه ای با جریان مستقیم ساخته شده اند. شیشه BK7 به عنوان زیر لایه انتخاب شده و نمونه ها در فشار داخلی 10^{-5} torr لایه نشانی شدند. سه نمونه با ضخامت های ۷۱، ۷۵ و ۹۸ نانومتر تولید شدند. زمان لایه نشانی این نمونه ها به ترتیب ۶،۵ و ۷ دقیقه بود. شکل ۱ طیف جذبی این سه لایه نازک را نشان می دهد (Unico uv-2100). میزات جذب نمونه ها با افزایش ضخامت افزایش یافته است.



شکل ۱: طیف جذبی لایه های نازک نقره در ضخامت های مختلف.

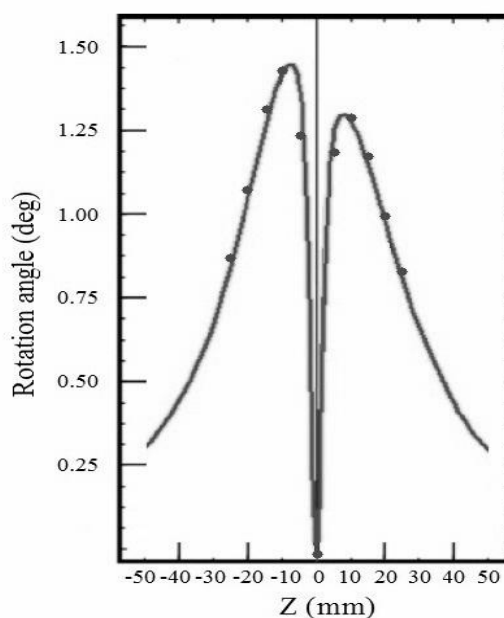
با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) ساختار سطح لایه های نازک بررسی شد (Scientific Park Instruments, Auto Probe cp). شکل ۲ تصویر سه بعدی سطح لایه نازک نقره با ضخامت ۷۱ نانومتر را نشان می دهد. دستگاه میکروسکوپ نیروی اتمی در مد تماسی بوده است. ضخامت میانگین نمونه ها نیز توسط دستگاه ضخامت سنج دقیقی در مد تماسی اندازه گیری شده است (Dektak 3 Profilometer).

نقره در ضخامت های مختلف ساخته شدند. از میکروسکوپ نیروی اتمی برای مشاهده سطح نمونه ها استفاده شد. مشاهده شد که طیف جذبی نمونه ها با افزایش ضخامت افزایش یافته است که با دیدگاه نظری در توافق است. ضریب شکست غیر خطی لایه نازک نقره با ضخامت ۷۱ نانومتر با استفاده از روش انحراف سنجی ماره از مرتبه 10^{-5} محاسبه شد که نسبت به بسیاری از مواد دیگر یک مقدار بزرگ برای ضریب شکست غیر خطی محسوب می شود.



شکل ۵: تصویر فریز ماره با ضخامت ۷۱ نانومتر در زمان حضور نمونه در فاصله ۵ میلی متری از کانون مشترک.

میزان چرخش فریز های ماره بر حسب فاصله شان از کانون مشترک در شکل ۶ نشان داده شده است. خط ممتد از مقادیر نظری بر منحنی تطبیق داده شده است.



شکل ۶: میزان چرخش فریز های ماره ضبط شده بر حسب تابعی از فاصله نمونه با ضخامت ۷۱ نانومتر از کانون مشترک.

مقدار ضریب شکست غیر خطی لایه نازک نقره با ضخامت $d=71$ nm برابر $4.70 \times 10^{-5} \text{ cm}^2\text{W}^{-1}$ محاسبه شد. همچنین در این آزمایش α_{\min} برابر با ۲.۷۵ درجه اندازه گیری شد. کمینه تغییرات ضریب شکست نیز از مرتبه 10^{-3} به دست آمد.

۴- نتیجه گیری

نقره خالص روی زیر لایه شیشه BK7 توسط روش کند و پاش مغناطیسی فعال لایه نشانی شد و لایه های نازک

مراجع

- [1] A. Granmayeh Rad, H. Abbasi, *Preparation of Colloidal Silver Nanoparticles by Laser Ablation; Evaluation and Study on its Developed Applications*, Adv. Mater. Res. 488/489 (2012) 1409.
- [2] M. Sheik-Bahae, A.A. Said, T.W. Wei, D.J. Hagan, E.W. Van Stryland, *Sensitive Measurement of Optical Nonlinearities Using a Single Beam*, IEEE J. Quantum Electron 26 (1990) 760.
- [3] M. H. Majles Ara, E. Koushki, S. H. Mousavi, S. Salmani, M. Rafizadeh, A. Gharibi, *Nonlinear optical properties of a dithioamide determined by single beam techniques*, Mater. Chem. and Phys. 109 (2008) 320.
- [4] I. Glatt, O. Kafri, *Moiré Deflectometry – Ray Tracing Interferometry*, Opt. Lasers Eng. 8 (1988) 277.
- [5] K. Jamshidi-Ghaleh, N. Mansour, *Nonlinear refraction measurements of materials using the moiré deflectometry*, Opt. Commun. 234 (2004) 419.
- [6] S. Rasolui, K. Jamshidi-Ghaleh, *Erratum to Nonlinear refraction measurements of materials using the moiré deflectometry*, Opt. Commun. 284 (2011) 1481.
- [7] Kh. Madanipour, N. Taheri, A. Granmayeh Rad, H. R. Zangeneh, *Experimental and theoretical study of nonlinear interaction effects in laser and nanoparticles by Moiré deflectometry*, Proceeding of 17th Photonics Conference of Iran.