بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

ساخت و مشخصه‌یابی ساختار پلاسمونی بر پایه نانومیله‌های منظم نقره با استفاده از لایه‌نشانی زاویه‌دار

مهدی حمزه زاده، ندا روستایی، مسیح قاسمی، نزار شنان، مسعود محمودی و سیده مهری حمیدی*

آزمایشگاه مگنتوپلاسمونیک، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

چکیده – لایه‌نشانی برخورد زاویه‌دار چرخان به عنوان روش بسیار پر کاربرد برای ایجاد ساختار نانومتری جزیره‌ای روی سطح شیشه در این مطالعه به کار گرفته شده است. پیاده سازی این تکنیک در یک ماشین لایه‌نشان تبخیری و تحت خلا بالا انجام گرفته است. نتایج تصویربرداری لایه، حاکی از آن است که جزایری نانو متری، با سطح مقطع تقریبی دایره‌ای، تحت زاویه ی $\theta=۳۴^{\circ}$ ایجاد گردیده است. همچنین تصویربرداری تحریک پلاسمونی در لایه نازک، بیانگر تقویت مناسب میدان نزدیک در نمونه زاویه‌دار به نسبت نمونه شاهد است که می‌تواند راه‌گشای طراحی و ساخت نمونه‌های ترموپلاسمونی مینیاتوری و طرح‌دار باشد.

کلید واژه- لایه‌نشانی زاویه‌دار (GLAD)، ساختار نانومیله، تصویربرداری پلاسمونی، ماشین لایه‌نشان تبخیری.

Construction and characterization of new thermoplasmonic structure based on silver nano rods by glancing angle deposition technique

Mehdi Hamzehzadeh, Neda Roostaei, Masih Ghasemi, Nazzar Shnan, Masoud Mahmoodi, Seyedeh Mehri Hamidi*

Magneto-plasmonic Lab, Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran. *M_hamidi@sbu.ac.ir

Abstract- An ultrahigh vacuum system for the deposition of thin films with glancing angle deposition method is described. Fabricated silver nano wire thin film by this method shows efficient thermoplasmonic effect by the aid of plasmonic imaging system. These results show good modification of near field enhancement in the perforated sample in the comparison to the normal sample which is useful for new miniaturized thermoplasmonic samples.

Keywords: Glancing angle deposition; nano wire thin film; plasmonic imaging system; thermal evaporation system;

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

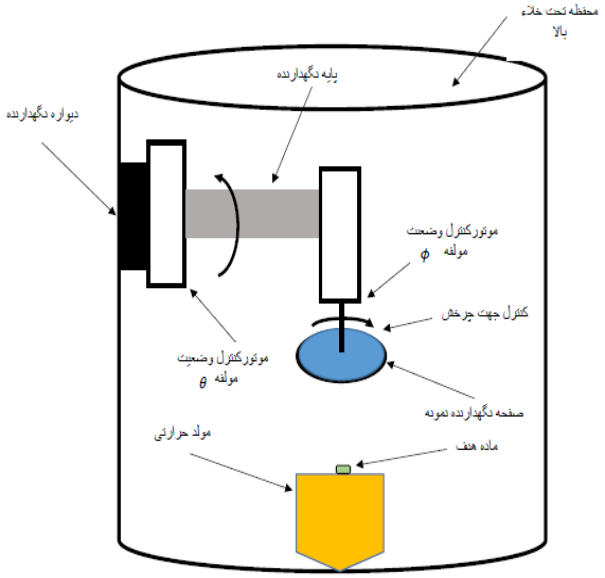
مقدمه

کنترل و تنظیم خاصیت‌های ماده همانند مقاومت الکتریکی، شفافیت، باند نواری و یا پلاسمونی از جمله مسائل مهم و کاربردی به شمار می‌آید. رسیدن به این مهم با خلق نانوساختارهای مهندسی شده امکان‌پذیر است. خلق این ساختارهای نانومتری پیچیده فلزی و غیر فلزی با روش‌های مختلفی امکان‌پذیر است که لایه‌نشانی زاویه‌دار(GLAD)[1] یکی از کاربردی ترین این روش‌ها است[۳,۲,۱]. کساپراگادا[2] و همکارانش نشان دادند که باریکه‌های زیگزاگ نانوفنر[3] و شیبدار نانومیله[4] ، یک تغییر برگشت‌پذیر در مقاومت الکتریکی طی وارد شدن فشار، با مهندسی شرایط لایه‌نشانی _ با ۵۰٪ برای نانوفنرها و ۵٪ برای نانومیله‌ها_ از خود نشان می‌دهند؛ که این ساختارها به عنوان حسگر فشار را نشان می‌دهد[۴]. همچنین نشان داده شده است که با فیلم SiO_2 با ضریب شکست تدریجی و با استفاده از تکنیک GLAD می‌توان یک لایه ضدانعکاس را روی شیشه، لایه‌نشانی کرد. همچنین با کنترل دقیق روی ساختارهای نانومتری لایه نازک، می توان لایه‌هایی با چگالی تدریجی با یک پروفایل گوسی خلق کرد که منجر به مقدار شفافیت بیشتر از ۹۹.۹٪ برای مرز تک لایه با پهنای باندهای کم، تا ۴۶۰ نانومتر شود [۵]. رسیدن به توانایی کنترل ساختار هندسی تشکیل شده روی سطح به صورت تناوبی را می‌توان از جمله موفقیت‌های بزرگ در پیاده سازی این سیستم دانست.

با استفاده از این تکنیک می‌توان به طور طبیعی شاخه‌های عمودی نانومیله را در ردیف‌هایی مرتب چید. اندازه و چگالی نانومیله‌ها را می‌توان با زاویه برخورد، تنظیم کرد. بالقوه، هیچ محدودیتی برای مواد، تا جایی که قابل تبخیر باشند، وجود ندارد. شکل، ردیف و جهت‌گیری نانومیله‌ها را می‌توان به راحتی با برنامه‌ریزی روند چرخش، تغییر داد و با استفاده از برنامه کامپیوتری می‌توان ساختار های نانومیله‌ای سه بعدی مناسبی ساخت[۶].

مراحل اجرا و اندازه‌گیری

پیاده‌سازی در ابتدا با طراحی یک سیستم نگهدارنده موتوری در درون محفظه خلأ ماشین لایه‌نشان تبخیری صورت گرفت (شکل ۱). سیستم GLAD در این اجرا دارای دو موتور می‌باشد که موتور اول را به اختصار با نام "موتور θ" می‌توان معرفی کرد؛ به دلیل اینکه وظیفه جاروب مولفه θ را در مختصات فضای کروی بر عهده دارد.



شکل ۱. طرح واره محفظه خلاء ماشین لایه‌نشان و اجزا سیستم GLAD.

این موتور که از خانواده موتورهای پله‌ای برگزیده شده است و بدلیل اینکه باید موتور φ، که جاروب مولفه φ را در مختصات فضای کروی بر عهده دارد، را نیز بر روی شفت خود حمل نماید، طوری انتخاب شده است، تا قدرت بسیار بیشتری نسبت به موتور φ داشته باشد. جهت‌های چرخش همانطور که در شکل نشان داده شده است از نظر فضایی بر هم عمود می‌باشند.

ماده هدف در این آزمایش فلز نقره انتخاب شده است. این آزمایش در شرایطی که سرعت موتور θ صفر و موتور φ

[1] Glancing Angle Deposition
[2] S. V. Kesapragada
[3] Nanospring
[4] Nanorod

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

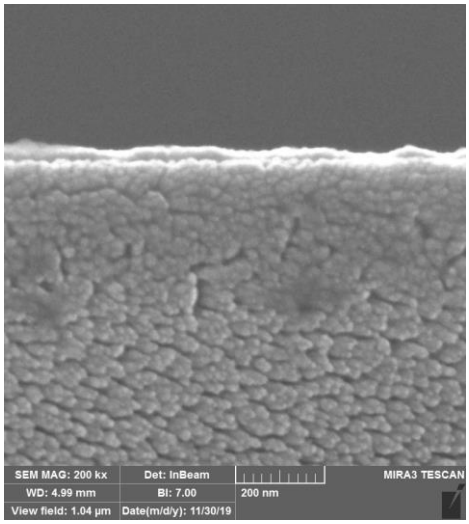
زاویه ۳۴ درجه نسبت به θ می‌ساخت، انجام گرفته است. موتور φ به مدت ۱۱ دقیقه با سرعت ۰/۷۵ دور در دقیقه چرخید. لایه نقره با ضخامت ۲۷ نانومتر و با نرخ ۰/۵ آنگستروم بر ثانیه لایه‌نشانی شد و جهت اطمینان از طرح‌دار شدن سطح و قابلیت تحریک بیشتر پلاسمون‌های سطحی در این نمونه، از چیدمان تصویربرداری پلاسمونی استفاده نمودیم.

در تصویربرداری پلاسمونی، پرتوی لیزر با استفاده از یک تقسیم‌کننده باریکه به دو قسمت مساوی تقسیم می‌شود. سپس نمونه مورد نظر توسط عدسی شیئی با گشودگی عددی بالا نوردهی می‌شود و نور بازتابی از نمونه توسط عدسی شیئی دریافت می‌شود. در نهایت، تصویر نمونه توسط عدسی بر روی دوربین CCD کانونی می‌گردد.

لازم به ذکر است که عدسی شیئی با گشودگی عددی بالا می‌تواند برای تحریک پلاسمون سطحی-پلاریتون[5] مورداستفاده قرار گیرد. گشودگی عددی بالای عدسی شیئی این امکان را فراهم می‌کند که در گستره وسیعی از زاوایای فوق بحرانی نمونه نوردهی شود و پدیده بازتاب داخلی کلی رخ دهد.

نتایج و بررسی

با بکارگیری تکنیک لایه‌نشانی زاویه‌دار، ما توانستیم ساختارهای میله‌ای با توده‌هایی جزیره مانند که به طور دوره‌ای تکرار می‌شوند، روی سطح ایجاد کنیم. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌کنید این جزایر تشکیل شده روی سطح به طور دوره‌ای تکرار می‌شوند و یک ساختار منظم نانومتری را تشکیل می‌دهند.



شکل ۲. عکس SEM از سطح مقطع نمونه نقره لایه نشانی شده با تکنیک GLAD.

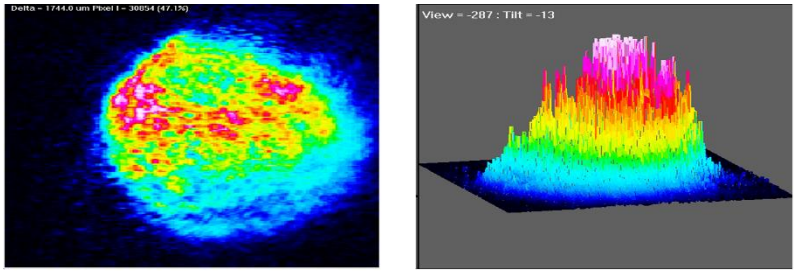
این جزایر در ابعاد بین ۱۰ تا حدود ۲۰ نانومتر روی سطح وجود دارند. فاصله‌ی دوره‌ای بین ۱۰ تا ۱۵ نانومتر برای جزیره‌های بزرگتر وجود دارد، که به صورت توده‌ای از جزایر کوچکتر با زاویه ۳۴ درجه مشاهده می‌شوند و یک الگوی تکرار شونده را دنبال می‌کنند. جهت اطمینان از این چینش، تصویر برداری پلاسمونی از نمونه شاهد (بدون چرخش) و نمونه چرخانِ زاویه‌دار انجام شده است.

این نتایج در شکل ۳ (الف) و (ب) به ترتیب برای نمونه‌های زاویه‌دار و شاهد نشان داده شده است که تایید کننده تراکم و افزایش شدت تحریک پلاسمونی در نمونه لایه‌نشانی شده با تکنیک زاویه‌دار است. این افزایش میدان نزدیک می‌تواند در راستای بهره‌وری افزایش دما در ترموپلاسمونیک استفاده شوند.

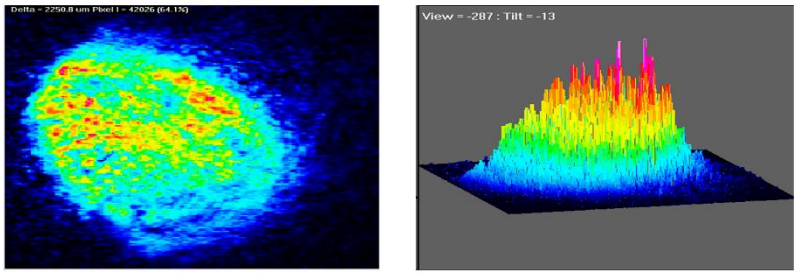
[5] Surface plasmon-polariton (SPP)

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]



(الف)



(ب)

شکل ۳: توزیع شدت نمونه نقره (الف) با سرعت چرخش ۰/۷۵ دور بر دقیقه و (ب) نمونه شاهد بدون چرخش.

نتیجه‌گیری

راه‌اندازی سامانه کامل مکانیزه جهت لایه‌نشانی زاویه‌دار در این مقاله گزارش شده است. در این سامانه در لایه نازک نقره با استفاده از تصویربرداری تحریک پلاسمونی انجام شده است. نتایج حاصل از این اندازه‌گیری موید تحریک گسترده و مناسب پلاسمون در لایه نازک نقره است که می‌تواند راه‌گشای طراحی و ساخت سامانه‌های جدید ترموپلاسمونی باشد.

مراجع

[1] Shuang, Shuang, Zheng Xie, and Zhengjun Zhang. "Enhanced visible light photocatalytic performance by nanostructured semiconductors with glancing angle deposition method." *Semiconductor Photocatalysis: Materials, Mechanisms and Applications*, pp.163, 2016

[2] Bruynooghe, S., et al. "Antireflection coatings combining interference multilayers and a nanoporous MgF2 top layer prepared by glancing angle deposition." *Surface and Coatings Technology*, Vol. 267, pp. 40-44, 2015

[3] Seawsakul, Kittikhun, et al. "Transparent conductive nanocolumnar AZO film coating by glancing angle deposition technique." *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2010. No. 1. AIP Publishing, 2018.

[4] S. V. Kasapragada, P. Victor, O. Nalamasu, and D. Gall, "Nanospring Pressure Sensors Grown by Glancing Angle Deposition", Nano Letters, Vol. 6, No. 4, pp. 854-857, 2006.

[5] Scott R. Kennedy, Michael J. Brett, " Porous Broadband Antireflection Coating by Glancing Angle Deposition", Applied Optics, Vol. 42, No. 22, pp. 4573-4579, 2003.

[6] Yiping Zhao, Dexian Ye, Gwo-Ching Wang, Toh-Ming Lu, "Designing Nanostructures by GLAD", Nanotubes and Nanowires, Vol. 5219, pp. 59-73, 200۳

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]