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

ساخت انبرک های پلاسمونی نانو ساختار بر اساس لیتوگرافی کلوییدی

محمد علی خسروی، سارا دربار‌ی

دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده برق و کامپیوتر، گروه الکترونیک

Alikh6868@yahoo.com-s.darbari@modares.ac.ir

چکیده – در این مقاله با استفاده از روش لیتوگرافی کلوییدی[۱]، که نسبت به مابقی روش‌های لیتوگرافی کم‌هزینه‌تر و آسان‌تر است، ساختارهایی از جنس طلا در ابعاد مختلف را ساخته، که می‌توان با استفاده از تحریک پلاسمون‌های سطحی این ساختارها از آن‌ها به عنوان انبرک‌های پلاسمونی برای به دام‌اندازی ذرات و در مرحله بعد آزمایشگاه روی تراشه استفاده کرد. دو مزیت مهم این انبرک‌های پلاسمونی، نسبت به انبرک های پلاسمونی دیگر، سادگی نسبی فرآیند ساخت آن‌ها و استفاده از لیزر با طول موج دلخواه (با استفاده از تغییر پارامترهای ساخت) برای تحریک پلاسمون‌های سطحی است.

کلید واژه- انبرک، پلاسمونیک، تله‌اندازی، لیتوگرافی کلوییدی.

Fabrication of nano-structured plasmonic tweezers based on colloidal lithography

Mohammad Ali Khosravi, Sara Darbari*

Department of Electronic, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Alikh6868@yahoo.com-s.darbari@modares.ac.ir

Abstract- In this paper, we fabricate gold structures in different dimensions using the colloidal lithography method, which is less costly and easier than other lithography methods, Then, using the surface plasmonic stimulation of these structures, they can be used as plasmonic tweezers for particle trapping, and lab on chip devices. Two of the important advantages of these plasmonic tweezers Compared with other plasmonic tweezers are: The relative simplicity of their fabricating process and the use of a desired wavelength laser (using the change of fabricating parameters) to stimulate surface plasmons.

Keywords: colloidal lithography, plasmonic, tweezer, trapping.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-20]

۱-مقدمه

مدت هاست از انبرک‌ها (نوری و غیرنوری) برای به دام‌اندازی و دستکاری ذره‌ها استفاده می‌شود.

انبرک‌های نانومتری (غیرنوری) مشکلاتی مانند: اثرهای مخرب روی نمونه‌های زیستی، کنترل‌پذیری کم ذره‌ها و جداسازی مشکل‌تر به دلیل نیروهای واندروالسی، را دارند. اما با انبرک‌های نوری می‌توان کنترل‌پذیری بهتری روی نمونه‌ها داشته و بعد از به دام‌اندازی، ذره را بدون اثرهای مخرب روی آن رها کرد. همچنین انبرک‌های نوری منجر به ظهور حوزه کنترل میکرومتری و نانومتری نوری شده که در آن می‌توان ذره‌ها را جابه‌جا کرد، به دام انداخت و یا تفکیک نمود. از دیگر مزیت‌های این روش توانایی مجتمع سازی واستفاده به عنوان آزمایشگاه روی تراشه است.

نور می تواند حرکت ذره‌هایی به ابعاد یک تک سلول تا ابعاد کوچک‌تری مانند یک تک اتم را تحت تاثیر قرار دهد. در ۳۰ سال گذشته این حوزه بسیار گسترش یافته و در بسیاری از مطالعات علوم زیستی پیشرو است. کنترل میکرومتری نوری امکان مطالعه ساختار DNA، دینامیک کلوئیدها، حرکت براونی ، به دام‌اندازی اجسام بدون اثرهای تخریبی، مطالعات زیستی و شیمیایی جدید، جداسازی ذرات و ساخت سامانه‌های اتمی را فراهم نموده‌است. همچنین انبرک های نوری ابزاری با ارزش به منظور کنترل مکان اشیا کوچک می‌باشند که کاربردهای شگفت‌آوری در حوزه زیستی دارند [۲-۶]. از میان انبرک های نوری، انبرک‌های پلاسمونی به دلیل‌هایی همچون: نداشتن مشکل حد پراش، به دام‌اندازی همزمان چندین ذره و مصرف توان کمتر برای تحریک پلاسمون‌های سطحی، طی این چند سال توجه زیادی را به خود جلب کرده اند.

در ادامه روش ساخت افزاره را بر اساس لیتوگرافی‌کلوییدی توضیح می‌دهیم . سپس افزاره را مشخصه‌یابی و برای یک ساختار خاص نیروهای گرادیانی و عمق پتانسیل را شبیه سازی می‌کنیم.

۲-فرآیند ساخت

شمای کلی فرآیند ساخت افزاره طراحی‌شده برای به‌دام-اندازی ذره‌ها مطابق شکل (۱) است.

مرحله‌های ساخت :

۱-تمیز کردن بستر(شیشه لام): شیشه لام‌ها را با استفاده از ترکیبی از آب و هیدوژن پرواکسید و آمونیاک تمیز می‌کنیم.

۲-لایه نشانی تک لایه ذره‌های پلی‌استایرن: ما در این مرحله ذره‌های تولید شده پلی‌استایرن طبق روش بسپارش امولسیونی [۶] را روی شیشه لام ریخته و خشک کردیم (شکل ۲-الف).

۳-لایه نشانی طلا : در طی دو مرحله و هر مرحله با زاویه ۴۵ درجه و به ضخامت ۴۵ نانومتر طلا به روش تبخیر حرارتی (PVD) روی ذرات پلی‌استایرن تک لایه و خشک شده می‌نشانیم (شکل ۲-ب).

۴-ریختن فتورزیست: در این مرحله فتورزیست را پس از ریختن روی ساختار با دستگاه اسپین کوتر به طور یکنواخت پخش می‌کنیم (شکل ۲-ج).

۵-زدایش فتورزیست تا اندازه دلخواه: با استفاده از دستگاه DRIE و پلاسمای گاز اکسیژن رزیست را تا اندازه لازم برای ساختار می‌زداییم.

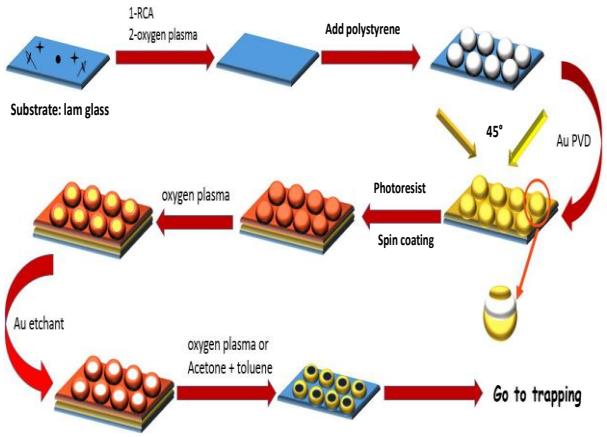
۶-زدایش طلا: با استفاده از محلول زدایش طلا، نوک ساختار های طلا را که طی مرحله قبل از رزیست بیرون زده اند، برمی‌داریم (شکل ۲-د).

۷-خارج کردن ذره‌های پلی‌استایرن از ساختار: در آخر، ساختار را به مدت ۱۰ دقیقه درون دستگاه DRIE ، با پلاسمای گاز اکسیژن قرار می‌دهیم (شکل ۲-ه).

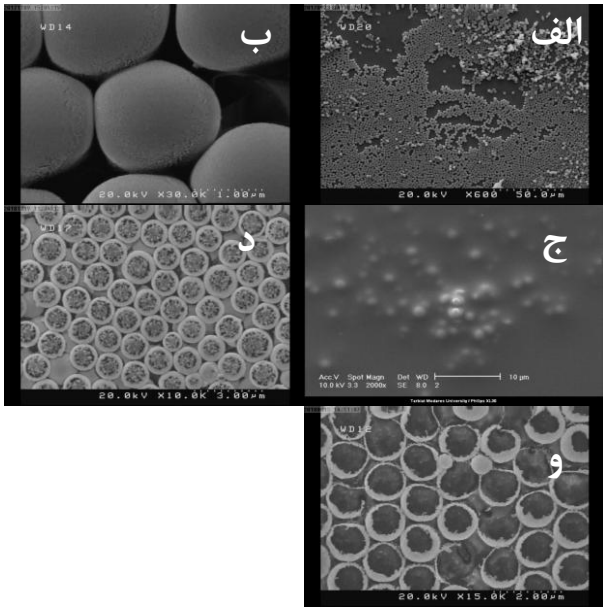
1-lab on a chip
2- Physical vapor deposition
3-Deep reactive-ion etching

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-20]



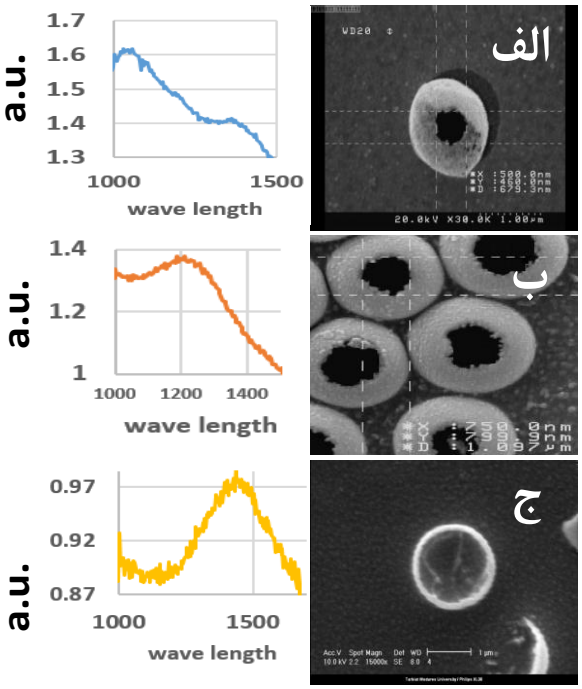
شکل ۱: شمای کلی فرآیند ساخت



شکل ۲: تصاویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به هر مرحله از ساخت ساختار ها.
الف- ریختن ذرات پلی استایرن و خشک کرده آن. ب- لایه نشانی زاویه دار طلا و به اندازه ۴۵ نانومتر. ج- لایه نشانی فتورزیست. د- زدایش طلا. ه- ساختار نهایی.

۳-مشخصه یابی

پس از ساخت، به منظور مشخصه یابی نوری ساختار مورد نظر، از آن طیف‌سنجی می‌کنیم. شکل (۳) طیف جذبی ساختار را نشان می دهد. همانطور که در شکل (۳-الف تا ج) مشخص است هر چه قدر دهانه ساختار بزرگتر شده است طول موج متناسب با آن به سمت طول موج‌های بالاتری می‌روند.



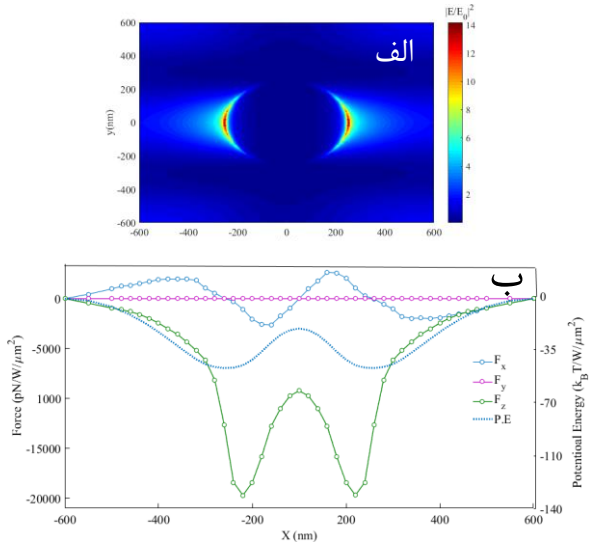
شکل ۳: تغیرات پیک طول موج با استفاده از تغییرات سایز دهانه ها. الف- سایز دهانه ۵۰۰ نانومتر-طول موج تحریک ۱۰۰۰نانومتر. ب- سایز دهانه ۷۵۰ نانومتر- طول موج تحریک ۱۲۰۰ نانومتر. ج- سایز دهانه ۱۰۰۰ نانومتر-طول موج تحریک ۱۴۵۰ نانومتر.

۴-شبیه‌سازی

با استفاده از تنسور تنش ماکسول در نرم‌افزار لومریکال، نیروهای گرادیانی وارد بر ذره پلی‌استایرنی با ضریب شکست ۱,۵۷۱۷ و به شعاع ۲۰۰ نانومتر را در راستای X ، و به فاصله ۵ نانومتری بالای دهانه ساختار شکل (۳-الف) محاسبه کردیم. در این شبیه سازی موقعیت مکانی ذره نسبت به محور Y صفر در نظر گرفته شده است. نتایج این محاسبات در شکل (۴) آورده شده است.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-20]



شکل ۴: شبیه سازی به دام اندازی ذره پلی استایرن به شعاع ۲۰۰ نانومتر برای ساختار شکل (۳-الف). **الف**- تصویر دو بعدی میدان گرفته شده از فاصله ۵ نانومتری بالای دهانه ساختار (۳-الف).**ب**-محاسبه نیروهای گرادیانی وارد بر ذره پلی استایرن در راستای X به شدت منبع(محور سمت چپ)و محاسبه عمق پتانسیل به شدت منبع (محور سمت راست)

۵-نتیجه‌گیری

با استفاده از تغییر فاصله بین ساختارها و دهانه‌های آن ها می‌توانیم انبرک‌های پلاسمونی که در طول موج های مختلف تحریک می‌شوند را بسازیم. اگر لیزر با طول موج مشخص داریم و می‌خواهیم از این لیزر برای به دام اندازی ذرات استفاده کنیم، می توان با شبیه‌سازی دقیقا فاصله بین ساختارها و دهانه‌های آن‌ها را پیدا کنیم و سپس انبرک پلاسمونی را بر مبنای این مشخصه‌ها بسازیم.

مرجع‌ها

[1] Ai, Bin, et al. Advanced colloidal lithography beyond surface patterning. *Advanced Materials Interfaces* 4.1 ,2017.

[۲] Abbondanzieri, E.A., et al., *Direct observation of base-pair stepping by RNA polymerase.* Nature, 2005. 438(7067): p. 460

[۳] Asavei ,T., et al., *Optically trapped and driven paddle-wheel.* New Journal of Physics, 2013. 15(6): p. 063016

[٤] Xin, H., R. Xu, and B. Li, Optical trapping, driving, and arrangement of particles using a tapered fibre probe. Scientific reports, 2012. 2.

[٥] Lei, H., et al., Bidirectional optical transportation and controllable positioning of nanoparticles using an optical nanofiber. Nanoscale, 2012. 4(21): p. 6707-6709.

[٦] Zhang, Y. and B. Li, *Particle sorting using a subwavelength optical fiber.* Laser & Photonics Reviews, 2013. 7(2): p. 289-296.

[6] J.Hong C.Kook Hong“Synthesis of polystyrene microspheres by dispersion polymerization using poly(vinyl alcohol) as a steric stabilizer in aqueous alcohol media”, (COLLOID SURFACE A) 302(1):225-233 · July 2007

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-20]