



لیگ
پژوهشی
فوتونیک
و مهندسی

بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی



بررسی اثر غلظت در خودآرایی تک لایه هگزاگونال بلور کلوییدی به روش تبخیر حال و کاربرد آن در ساخت بلور فوتونی فلزی دو بعدی

نفیسه رجب^۱، امیرحسین برادران قاسمی^۲ و حمید لطیفی^{۱و۲}

^۱پژوهشکده لیزر و پلاسمما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

^۲دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

امروزه بلورهای کلوییدی متشكل از میکرو و نانو ذرات کروی سیلیکا و پلی استایرن مورد توجه زیادی واقع شده‌اند، این ساختارها در حسگرهای سلولی خورشیدی و ادوات اپتیکی به کار می‌روند. تهیه بلور کلوییدی تک لایه به منظور ایجاد ماسک در لیتوگرافی کلوییدی حائز اهمیت است. روش تبخیر حال ساده‌ترین روش موجود برای ساخت آن‌ها است. در این مقاله اثر غلظت محلول سیلیکا و پلی استایرن در ایجاد تک لایه به منظور ساخت شبکه هگزاگونال از ذرات نقره‌ای روی بستر شیشه‌ای بررسی شده است.

کلیدواژه: بلور فوتونی فلزی، ذرات کلوییدی، فرآیند خودآرایی، لیتوگرافی کلوییدی.

The Impact of Concentration on Hexagonal-close-packed Monolayer Colloidal Crystals Self-assembly Process in Fabrication of 2D Metallic Photonic Crystal

Nafiseh Rajab¹, Amir H. Baradaran Ghasemi², and Hamid Latifi^{1,2}

¹Laser & Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

²Department of Physics, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Keywords: Metallic photonic crystals, Colloidal particles, Self-assembly process, Colloidal lithography

The research on colloidal crystals (CCs) made of micro and nanospheres of silica and polystyrene has attracted much attention. Many practical materials based on CCs with possible applications in sensors, solar cells and optical devices have been developed. Monolayer colloidal crystal arrays are more attractive for their importance in colloidal lithography. The solvent-evaporation method is a simple method to growing colloidal crystals (CCs). In this paper the impact of particle concentration of silica and polystyrene on structure of hexagonal-close-packed monolayer Colloidal Crystals in fabrication of metallic photonic crystal on glass has been studied.

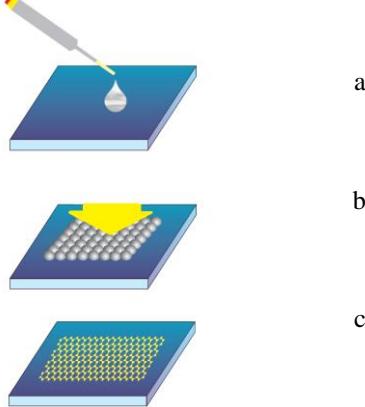
۱- مقدمه

غوطه‌وری [4]، لانگمویر بلاجت [5] وجود دارد. کنترل ابعاد شبکه بلوری و ایجاد شبکه بلوری در ابعاد چند ده میکرومتر از چالش‌های روش لیتوگرافی کلوییدی می‌باشد. در این مقاله به بررسی تشکیل بلورهای کلوییدی دو بعدی به روش تبخیر حلال پرداخته شده و تلاش می‌گردد تا با کنترل غلظت کلوییدهای هماندازه پلی استایرن و سیلیکا، ساختار بلوری از نانو ذرات فلزی نقره در ابعاد بزرگ تولید شود. همچنین ثابت شدکه بلور تولید شده، مناسب برای ایجاد یک گاف فوتونی عریض در طیف اپتیکی و مادون قرمز نزدیک است. در این روش مهم‌ترین عامل در تشکیل دو بعدی بلور کلوییدی نیروی کپیلاری است. بعد از چکاندن قطره با گذشت زمان غلظت ذرات روی زیرلایه افزایش می‌یابد ذرات به هم نزدیک می‌شوند و تشکیل یک لایه هگزاگونال می‌دهند. خود آرایی ذرات پلی استایرن به غلظت، نوع حلال، دما، نرخ تبخیر و نوع زیرلایه وابسته است [6].

۲- روش انجام آزمایش

ذرات هماندازه سیلیکا به قطر 900 nm و پلی استایرن به قطر 800 nm تهیه شدند. از لامل (mm) $18*0/18*0/18$ به عنوان زیرلایه استفاده شد. به منظور ایجاد یک لایه یکنواخت، سطح زیرلایه باید کاملاً تمیز و آبدوست باشد. ابتدا لامل ها به مدت 15 دقیقه به ترتیب در استون، اتانول و آب دی یونیزه داخل التراسونیک قرار داده شدند، سپس به مدت 45 دقیقه در محلول پیرانها قرار داده شدند، سپس با آب دی یونیزه شستشو داده و با گاز نیتروژن خشک شدند. بعد از آماده سازی زیرلایه، ابتدا سه غلظت 5% و 17% و 20% وزنی از سیلیکا و همچنین دو غلظت $2/5\%$ و 2% وزنی از پلی استایرن با آب تهیه شدند. به منظور منظم نمودن ذرات پلی استایرن و افزایش خیسی سطح از ترکیب Triton X-100 و متانول با نسبت حجمی یک به چهارصد استفاده شد. نسبت حجمی یکسان ترکیب حاصل از Triton X-100 و متانول با محلول $2/5\%$ و 2% وزنی پلی استایرن ترکیب گردید. میکرو لیتر از محلول‌ها را بر روی زیرلایه‌های تمیز شده ریخته تا خشک شوند. به روش تبخیر گرمایی لایه نشانی نقره روی نمونه‌ها انجام شد. به منظور برداشتن ماسک کلوییدی، نمونه سیلیکا در آب و نمونه پلی استایرن در

یک بلور کلوییدی آرایه منظم از ذرات هماندازه کلوییدی است و دریکی از سه گروه یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی قرار می‌گیرد. امروزه بلورهای کلوییدی متشکل از میکرو و نانو ذرات پلیمری و معدنی مورد توجه زیادی واقع شده‌اند و در ساخت بلورهای فوتونی، ادوات اپتیکی، حسگرهای باتری‌های لیتیومی و ابر خازن‌ها به کار گرفته می‌شوند [1]. یکی از کاربردهای این بلورها استفاده آن‌ها در لیتوگرافی کلوییدی است. روش لیتوگرافی کلوییدی یک روش ساده و کم‌هزینه به منظور ایجاد ساختارهایی متشکل از نانو مثلث، نانوسیم، نانو حفره و نانو نقطه است [1]. به منظور ایجاد نانو ساختارها روش‌های مختلفی از جمله لیتوگرافی باریکه الکترونی و لیتوگرافی اشعه ایکس به کار گرفته می‌شوند؛ اما این روش‌ها بسیار پرهزینه و دور از دسترس می‌باشند [2]. درنتیجه روش لیتوگرافی کلوییدی بسیار مورد توجه قرار گرفته است و از ساختارهای به دست آمده از آن در اپتیک، فوتونیک و میکروالکترونیک بهره می‌گیرند. در این روش ابتدا زیر لایه آماده می‌شود. سپس یک لایه هگزاگونال از ذرات کلوییدی بر روی آن ایجاد می‌شود که نقش ماسک را ایفا می‌کند (شکل ۱a) و بعد از آن لایه نشانی فلز انجام می‌گردد. ذرات فلزی از فضای خالی بین ذرات کروی کلوییدی عبور کرده و به سطح زیر لایه می‌رسند (شکل ۱b) سپس لایه کلوییدی توسط حلال مناسب برداشته می‌شود و ساختار دو بعدی منظم فلزی به دست می‌آید. (شکل ۱c).

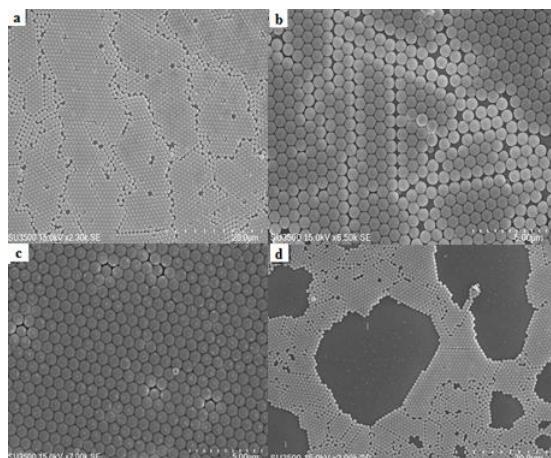


شکل ۱: روش لیتوگرافی کلوییدی. (a) خود آرایی ذرات کلوییدی، (b) لایه نشانی فلزی، (c) برداشتن ماسک کلوییدی.

روش‌های مختلفی به منظور ایجاد یک لایه هگزاگونال دو بعدی از ذرات کلوییدی از جمله روش چرخشی [3]،

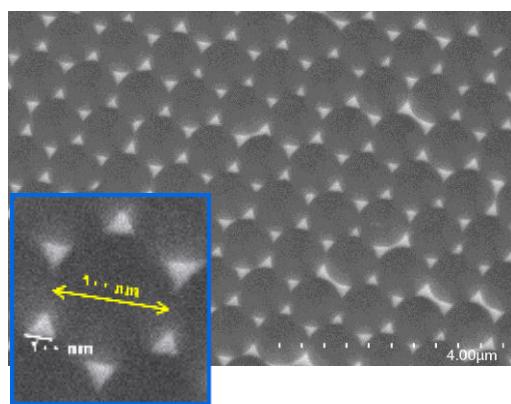
مساحت بزرگتری از خودآرایی ذرات دست یافته‌یم. در نمونه رقیق شده با آب در شکل ۴d، ایجاد جزیره‌های خالی از ذرات مشاهده می‌شود و محلول روی تمام سطح پخش نمی‌گردد. همان‌طور که در شکل ۴c مشاهده می‌شود قطر چند ذره کوچک‌تر از بقیه ذرات است. این عدم یکنواختی در قطر ذرات، نظم ساختار را به هم می‌زند، درنتیجه باعث ایجاد نقص‌هایی در قالب کلوپیدی می‌شود.

شکل ۴: a و b) ترکیب ۲/۵٪ وزنی پلی استایرن، Triton X-100 و



متانول c و d) ترکیب ۲٪ وزنی پلی استایرن Triton X-100 و متانول.

تصویر نمونه‌های ۰/۹٪ و ۲٪ رقیق شده با آب بعد از برداشتن ماسک به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده‌اند. ساختار مثلثی ایجاد شده توسط پلی استایرن به دلیل کوچک‌تر بودن قطر ذرات، نسبت به نمونه سیلیکا کوچک‌تر است. همچنین اضلاع مثلثی شکل در نمونه سیلیکا انحنای بیشتری نسبت به پلی استایرن دارد.

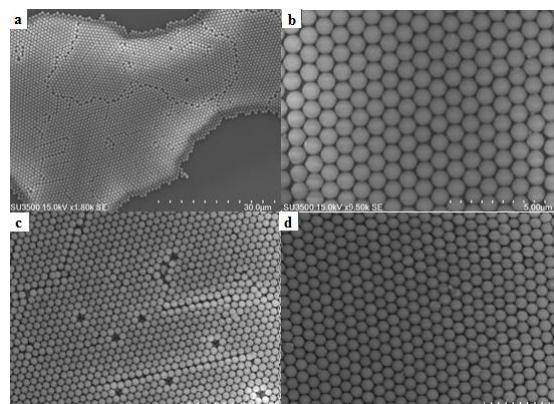


شکل ۵: ساختار دوبعدی بلور فوتونی نقره بعد از برداشتن سیلیکا.

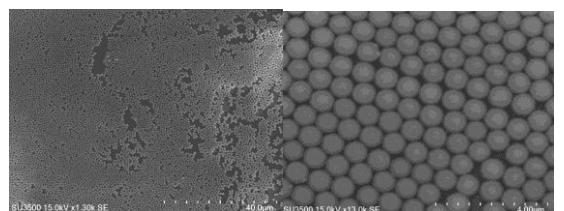
کلروفرم در مدت زمان کمتر از یک دقیقه در التراسونیک قرار داده شدند.

۳- بحث و نتایج

عکس‌های حاصل از میکروسکوپ الکترونی (SEM) از نمونه‌های تهیه شده در زیر نمایش داده شده‌اند. شکل‌های ۲a و ۲b مربوط به نمونه ۵٪ سیلیکا است. به دلیل غلظت زیاد، ذرات روی هم انباسته شده‌اند و ساختار چندلایه‌ای ایجاد شده است (شکل ۲a) و مساحت تک لایه (شکل ۲b) کمتر در نمونه مشاهده می‌شود. در شکل‌های ۲c و ۲d با کاهش غلظت، ایجاد فضای چندلایه در نمونه کم شده (شکل ۲c) و فضای تک لایه (شکل ۲d) افزایش پیدا کرده است و مساحت تک لایه و یکنواخت بزرگ‌تری نسبت به حالت قبل ایجاد می‌گردد. با کمتر کردن غلظت به ۰/۹٪ در شکل ۳ فضای خالی زیادی در ساختار به چشم می‌خورد و فضای مرتب کمتر مشاهده می‌شود، زیرا ذرات قبل از مرتب شدن به سطح می‌چسبند.



شکل ۲: a و b) ترکیب ۵٪ وزنی سیلیکا، c و d) ترکیب ۱/۷٪ وزنی سیلیکا.



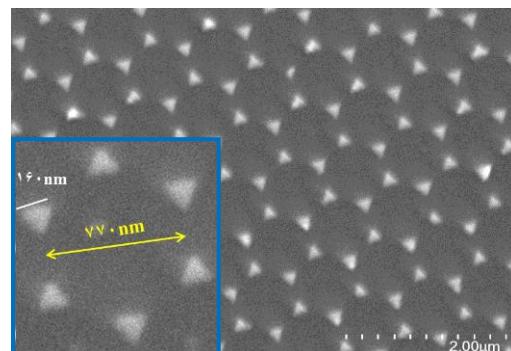
شکل ۳: ترکیب ۰/۹٪ وزنی سیلیکا با خودآرایی تک لایه‌ای.

عکس‌های مربوط به قالب ایجاد شده با ذرات پلی استایرن در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. در شکل‌های ۴a و ۴b از ترکیب ۲/۵٪ وزنی استفاده شده است که ساختار مرتب و منظمی تشکیل نداده است. بعد از رقیق کردن نمونه با آب در شکل‌های ۴c و ۴d مشاهده می‌گردد که به

فلزی از جنس نقره ساخته شد. شبیه‌سازی انجام شده نشان داد که گاف نواری بلور فوتونی تولید شده از قالب پلی استایرن در ناحیه مرئی طیف الکترومغناطیسی قرار می‌گیرد.

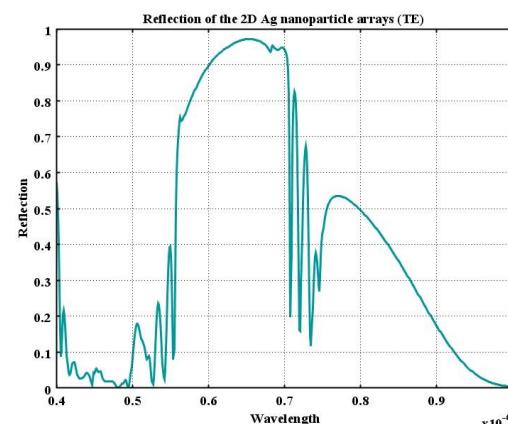
مراجع

- [1] Hailin Cong, Bing Yu, Jianguo Tang, Zejing Li and Xuesong Liu. *Current status and future developments in preparation and application of colloidal crystals*. **Chem. Soc. Rev.** (2013) 42, 7774-7800.
- [2] John C. Hulteen, David A. Trichel Matthew T. Smith, Michelle L. Duval, Traci R. Jensen, and Richard P. Van Duyne. *Nanosphere Lithography: Size-Tunable Silver Nanoparticle and Surface Cluster Arrays*. **J. Phys. Chem. B** (1999) 103, 3854-3863
- [3] Jian Chen, Peitao Dong, Di Di, Chaoguang Wang, Haoxu Wang, Junfeng Wang, Xuezhong Wu. *Controllable fabrication of 2D colloidal-crystal films with polystyrene nanospheres of various diameters by spin-coating*. **Applied Surface Science** 270 (2013) 6–15
- [4] Erik Garnett and Peidong Yang, *Light Trapping in Silicon Nanowire Solar Cells*. **Nano Lett.** (2010) 10, 1082–1087
- [5] RUAN Wei-dong , LÜ Zhi-cheng , Nan, WANG Chun-xu, ZHAO Bing and ZHANG Jun-hu, *Facile Fabrication of Large Area Polystyrene Colloidal Crystal Monolayer via Surfactant-free Langmuir-Blodgett Technique*. **CHEM. RES. CHINESE.** (2007) 23(6), 712-714
- [6] Hind Kadiri, Serguei Kostcheev1, Daniel Turover, Rafael Salas-Montiel1, Komla Nomenyo1, Anisha Gokarna1 and Gilles Lerondel1 *Topology assisted self-organization of colloidal nanoparticles: application to 2D large-scale nanomastering* **Beilstein J. Nanotechnol.** (2014)



شکل ۶: ساختار دوبعدی بلور فوتونی نقره بعد از برداشتن پلی استایرن

به منظور بررسی ساختار بلور فوتونی فلزی تولید شده، ضریب بازتاب ساختار شکل ۷ برای قالب‌های مربوط به نمونه‌های پلی استایرن با استفاده از نرم‌افزار کامسول شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی در شکل (۷) نمایش داده شده است.



شکل ۷: طیف انعکاسی نمونه بلور فوتونی فلزی ساخته شده از قالب پلی استایرن. باند گاف فوتونی کامل در بازه طیفی ۵۷۰-۷۰۰ nm تشکیل شده است.

با توجه به شکل فوق ساختار بلور فوتونی ایجاد شده در بازه ۵۷۰ nm تا ۷۰۰ از طیف الکترومغناطیسی دارای گاف فوتونی کامل و در ۷۸۰ nm تا ۸۲۰ دارای گاف جزئی است.

۴- نتیجه‌گیری

ابتدا اثر غلظت محلول برای ایجاد یک لایه هگزاگونال کلوییدی بررسی شد. شکل‌ها نشان دادند که غلظت ۱/۷٪ سیلیکا و ۲٪ پلی استایرن به منظور ایجاد یک مساحت تک لایه با حداقل نقص در شبکه خودآرایی شده مناسب است. سپس به کمک روش ساده، سریع و کم‌هزینه لیتوگرافی کلوییدی یک بلور فوتونی دوبعدی با المان‌های