بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

ساخت بلور فوتونی دو بعدی به‌وسیله میکرو ذرات پلیمری با روش سلول زاویه دار

پوریا چقامیرزایی، فرزانه بیات، سهراب احمدی کندجانی و حبیب تجلی

گروه فوتونیک،پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز

در این مقاله ساخت بلور فوتونی دو بعدی با استفاده از پلیمرهای کروی شکل پلی استایرن بررسی‌شده است. با استفاده از روش سلول زاویه دار، میکرو ذرات پلیمری ساختار تک لایه شش وجهی را بر روی زیر لایه شیشه‌ای به‌صورت خودآرا تشکیل می‌دهند. در این کار، تاثیر تغییر زاویه داخلی سلول بر تراکم و کیفیت بلور کلوئیدی تک لایه مورد بررسی قرار گرفته است. بلورهای فوتونی دو بعدی ساخته شده می‌توانند به عنوان یک قالب برای ساخت انواع نانو ساختارهای دو بعدی و یا بلورهای فوتونی متنوع دیگری مورد استفاده قرار گیرند.

کلید واژه: بلور فوتونی دو بعدی، میکرو ذرات پلیمری، نوار توقف فوتونی، خودآرایی.

Fabrication of two-dimensional photonic crystal by polymeric microparticles using wedge shaped method

Pourya Chaghamirzaie , Farzaneh Bayat , Sohrab Ahmadi-Kandjani , and Habib Tajalli

Photonics Group, Institute for Applied Physics and Astronomy, University of Tabriz, Tabriz

In this paper, the fabrication of two-dimensional photonic crystals using microspheres of polystyrene is investigated. The wedge shaped method is used to grow a hexagonal self-assembled monolayer structure with polymeric microparticles on a glass substrate. In this work the effect of the cell's internal angle on the monolayer's density and quality is studied. The proposed two-dimensional photonic crystals can be used as a template for fabrication of various two-dimensional nanostructure arrays and also other kinds of photonic crystals.

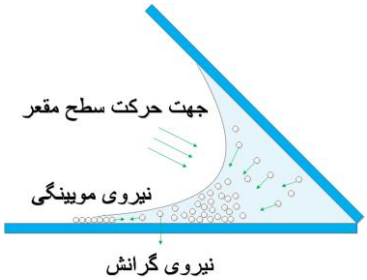
Keywords: Two-dimensional photonic crystal, Polymeric microparticles, Photonic band gap, Self-assembly.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

یکی از انواع بلورهای فوتونی، بلورهای کلوئیدی هستند که به صورت دو بعدی و سه بعدی از میکرو ذرات پلیمری یا معدنی ساخته می‌شوند. بلورهای کلوئیدی دو بعدی می‌توانند به عنوان قالب برای ساخت انواع دیگر بلورهای فوتونی (اوپال معکوس)، حسگرهای زیستی و شیمیایی، سلول‌های خورشیدی، دیودهای نور گسیل و نیز به عنوان ماسک در روش‌های لیتوگرافی کلوئیدی، که به عنوان یکی از کم هزینه ترین روش های لیتوگرافی به حساب می آید، مورد استفاده قرار گیرند. برای ساخت بلور کلوئیدی دو بعدی شامل یک تک لایه از میکرو ذرات پلیمری از روش‌های مختلفی مانند روش لانگمیور-بلاجت، چرخشی و تجمع همرفتی استفاده می‌شود. روش لانگمیور-بلاجت شامل چهار مرحله اصلی است، اصلاح سطح ذرات، توزیع ذرات بر روی سطح آب، فشرده نمودن ذرات در یک آرایه دو بعدی و انتقال ذرات بر روی زیر لایه جامد [۱]. از معایب این روش هزینه بالا و پیچیدگی فرآیندهای ساخت می‌باشد. در روش چرخشی آرایه‌های دو بعدی از ذرات کلوئیدی به صورت فشرده و غیر فشرده می‌تواند تولید شود [۲]. به علت توانمندی و سادگی روش تجمع همرفتی، این روش از پر کاربردترین روش‌های ساخت بلور کلوئیدی دو بعدی است [۳]. در این مقاله، از روش سلول زاویه دار که نوعی روش تجمع همرفتی است، برای رشد بلور فوتونی کلوئیدی دو بعدی با استفاده از میکرو کرات پلی استایرن استفاده شده است. این سلول از دو لام شیشه‌ای که تحت زاویه‌ی مناسب نسبت به هم قرار گرفته‌اند تشکیل شده است (شکل۱). هنگامی که محلول کلوئیدی داخل سلول تزریق می‌شود، وجود نیروی چسبندگی سطحی بین محلول و شیشه، منجر به تشکیل سطح مقعری از محلول بین دو دیواره سلول می‌شود. وجود این سطح مقعر در شکل‌گیری بلور کلوئیدی بسیار مؤثر است به طوری که ضخامت بلور کلوئیدی دو بعدی تشکیل شده بر روی زیر لایه به آهنگ نازک شدن سطح مقعر و سرعت حرکت ذرات کلوئیدی به طرف لبه، محل آغاز رشد بلور، بستگی دارد. در تشکیل بلور کلوئیدی دو بعدی عوامل مختلفی از جمله آهنگ تبخیر حلال، غلظت محلول، میزان آبدوستی زیر لایه‌ها، هندسه و زاویه‌ی بین دیواره‌های سلول و همچنین یک اندازه بودن ذرات کلوئیدی دخالت دارند.



شکل ۱ : حرکت ذرات کلوئیدی به سمت لبه‌ها و تشکیل ساختار منظم در اثر برآیند نیروهای وزن و مویینگی.

۲- روش انجام آزمایش

در ابتدا زیر لایه‌ها جهت رشد بلور فوتونی دو بعدی آماده می‌شوند. زیر لایه‌های مورد استفاده از نوع لام شیشه‌ای بوده که در ابتدا با محلول صابونی و بعد آب مقطر شست و شو داده می‌شوند. سپس، برای افزایش آبدوستی و ایجاد سطح مقعر بهتر به مدت ۱ ساعت در محلول پیرانها[۱] در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و بعد با آب دو بار تقطیر شسته شده و با گاز نیتروژن خشک می‌شوند.

در این کار، تأثیر زاویه داخلی سلول بر کیفیت و اندازه بلور کلوئیدی دو بعدی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، آزمایش برای سلول‌هایی با زاویه‌های داخلی ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ درجه تکرار گردید. در این راستا، از محلول ذرات کلوئیدی پلی استایرن با قطر ۵۰۸ نانومتر و غلظت ۱٪ وزنی استفاده شد. محلول داخل سلول‌ها تزریق شده و در محیطی با دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۸۰٪ به مدت ۱۸ ساعت قرار گرفت به طوری‌که کل آب محلول تبخیر شده و بلور کلوئیدی دو بعدی تشکیل شد.

تبخیر آب از فصل مشترک محلول کلوئیدی-شیشه-هوا منجر به ایجاد یک جریان در داخل سلول شده و ذرات کلوئیدی به سمت فصل مشترک انتقال می‌یابند. در محلی که ضخامت سطح مقعر به طور تقریبی برابر با قطر ذرات پلی استایرن باشد، هسته اولیه‌ی فاز منظم ذرات کلوئیدی پلی استایرن شروع به ظاهر شدن می‌کند. به علت وجود نیروی وزن ذرات روی زیر لایه ته نشین می‌شوند و نیروی مویینگی عرضی منجر می‌شود که ذرات کلوئیدی داخل ناحیه مقعر کشیده شوند و به صورت منظم بر روی سطح قرار گیرند (شکل۱).

[۱] Piranha

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

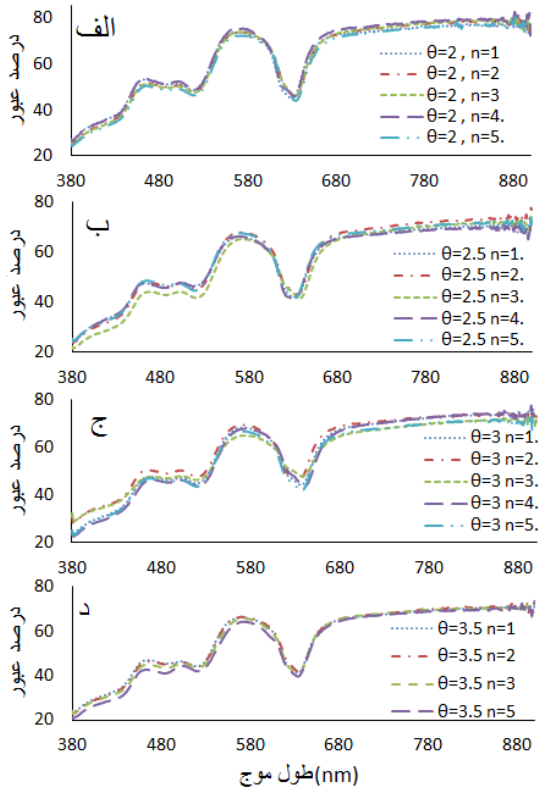
۳- بحث و نتایج

لایه‌های ساخته شده از ذرات هم اندازه، ساختارهای دو بعدی متناوبی تشکیل می‌دهند که در طیف عبوری از این ساختارها، نوارهای توقف فوتونی به وجود می‌آید. این نوارها به دلیل پراکنده شدن نور میان آرایه‌ای از کره‌ها ایجاد می‌شوند و هرچه این نوارها پهنای کمتری داشته باشند نشان دهنده کیفیت بهتر ساختار بلور دو بعدی تشکیل شده است. مکان تقریبی طول موج مربوط به نوار توقف فوتونی با رابطه زیر داده می‌شود [۴].

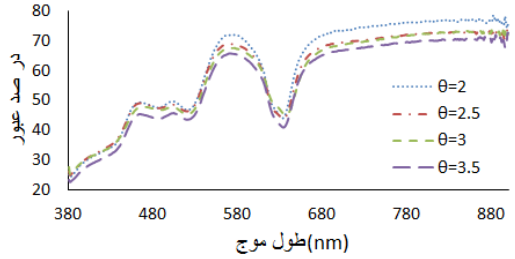
$$\lambda = n_{eff}\,(2/3)^{1/2}\,d \qquad (۱)$$

که در آن n_{eff} ضریب شکست مؤثر ماده و d قطر کره‌ها است. شکل (۲) طیف عبوری در حالت تابش عمود برای نمونه‌های ساخته شده در سلول‌هایی با زاویه داخلی ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ درجه را نشان می‌دهد. برای هر زاویه از پنج نمونه مختلف طیف گرفته شده است. نمودارهای شکل (۲-الف) مربوط به زاویه ۲ درجه، شکل (۲-ب) زاویه ۲/۵ درجه، شکل (۲-ج) زاویه ۳ درجه و شکل (۲-د) زاویه ۳/۵ درجه است. همان طور که در این شکل‌ها نمایان است، نمودارهای نمونه‌های مختلف در زاویه یکسان انطباق بسیار خوبی دارند که نشان دهنده‌ی تولید بلورهای دو بعدی یکسان و تکرار پذیری آزمایش است.

در شکل (۳) نمودارهای مربوط به زاویه‌های مختلف در کنار هم رسم شده است (نمودار مربوط به هر زاویه حاصل میانگین‌گیری از اطلاعات پنج نمونه مختلف تحت همان زاویه است). با توجه به شکل (۳) محل قرار گرفتن طول‌موج کمینه مربوط به نوار توقف برای زاویه ۲ درجه ۶۳۳ نانومتر، ۲/۵ درجه ۶۳۴ نانومتر، ۳ درجه ۶۳۷ نانومتر و ۳/۵ درجه ۶۳۴ نانومتر است. طول موج کمینه‌ای که برای ذرات کلوئیدی پلی استایرن با قطر ۵۰۸ نانومتر با استفاده از رابطه (۱) به دست می‌آید، برابر ۶۳۹ نانومتر می‌باشد که به نتایج تجربی بسیار نزدیک است. پهنای طیف در نصف کمینه مربوط به طول‌موج نوار توقف برای زاویه‌های مختلف از داده‌های تجربی به دست آمده که برای زاویه ۲ درجه ۳۹ نانومتر، ۲/۵ درجه ۴۱ نانومتر، ۳ درجه ۴۶ نانومتر و ۳/۵ درجه ۴۰ نانومتر بود. با توجه به این که باریک‌تر بودن پهنای طیف در نصف کمینه نشان دهنده‌ی کیفیت بلور فوتونی است، می توان نتیجه گرفت که بهترین کیفیت بلور در زاویه ۲ درجه حاصل شده است.



شکل ۲ : طیف عبوری از بلورهای کلوئیدی دو بعدی ساخته شده در سلول های الف) ۲ درجه، ب) ۲/۵ درجه، ج) ۳ درجه و د) ۳/۵ درجه. برای هر زاویه از پنج نمونه مختلف طیف گرفته شده است.



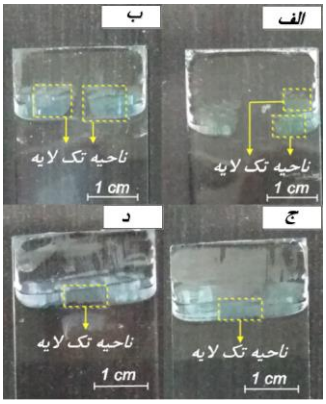
شکل ۳ : طیف عبوری از بلور کلوئیدی دو بعدی با ذرات کلوئیدی پلی استایرن با قطر ۵۰۸ نانومتر در سلول‌های با زاویه ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ درجه.

شکل (۴) تصاویری از نمونه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. به سادگی و با چشم غیر مسلح نیز می‌توان ناحیه‌های تک لایه و چند لایه را، با توجه به تفاوت رنگ، از هم تشخیص داد. همان‌طور که در شکل (۴-الف) دیده می‌شود در حالت زاویه ۲ درجه بلورهای کلوئیدی (تک لایه و چند لایه) در کناره‌های لام تشکیل‌شده و ابعاد آنها کوچک است. با افزایش زاویه، محل تشکیل لایه‌ها به سمت مرکز لام جابجا شده و همچنین ابعاد لایه‌های تشکیل شده نیز بزرگتر می‌شود. با این وجود، مشاهده می‌شود که با افزایش زاویه نسبت ناحیه‌های چند لایه به ناحیه‌های تک لایه افزایش می‌یابد (شکل (۴-د)). با مقایسه‌ی

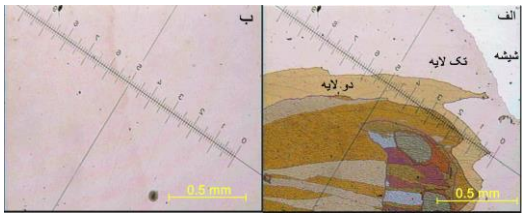
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

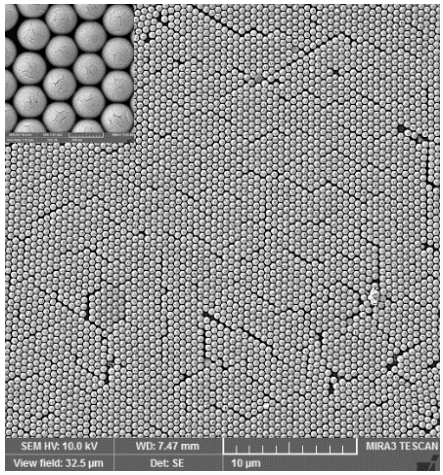
نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که برای کره‌های پلی استایرن با قطر ۵۰۸ نانومتر بیشترین وسعت بلورهای دو بعدی تک لایه تحت زاویه ۲/۵ درجه حاصل شده است.



شکل ۴ : تصاویر نمونه‌های ساخته شده در سلول با زاویه‌های مختلف الف : زاویه ۲ درجه. ب : زاویه ۲/۵ درجه. ج : زاویه ۳ درجه و د : زاویه ۳/۵ درجه.



شکل ۵ : تصاویر گرفته شده با استفاده از میکروسکوپ نوری. الف : ناحیه‌ای شامل ذرات کلوئیدی تک لایه و چند لایه ب: ناحیه‌ای که فقط ذرات کلوئیدی تک لایه حضور دارند.



شکل ۶ : تصویر SEM از میکرو ذرات پلیمری تک لایه. گوشه سمت چپ بالا قسمتی از همین نمونه با بزرگ نمایی بیشتر را نشان می‌دهد.

شکل (۵) تصاویر تهیه شده از نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری را نشان می‌دهد. شکل (۵-الف) ناحیه‌ای که ذرات کلوئیدی تک لایه و چند لایه کنار هم تشکیل شده‌اند را نشان می‌دهد و تفاوت رنگ این ناحیه‌ها به وضوح دیده می‌شود. شکل (۵-ب) بخشی از ناحیه تک لایه را نشان می‌دهد که مشخص کننده عدم وجود نواحی چند لایه در وسعت زیادی می‌باشد. تصویر گرفته شده از ناحیه تک لایه با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در شکل (۶) نمایش داده شده است. در این تصویر ساختارهای شش وجهی میکرو ذرات پلیمری به خوبی نمایان است. تصویر گوشه بالا سمت چپ تراکم بالای این ذرات را نشان می‌دهد که به طور مستقیم در شکل نوار توقف فوتونی تاثیر می‌گذارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، اثر زاویه داخلی سلول بر روی اندازه و کیفیت بلور کلوئیدی ایجاد شده با استفاده از میکرو کرات پلی استایرن با قطر ۵۰۸ نانومتر بررسی شد. مطالعه‌ی طیف عبوری از ساختار نشان داد که بهترین کیفیت بلور برای سلول‌هایی با زاویه‌ی داخلی ۲ درجه بدست می‌آید. همچنین، با کمک تصاویر میکروسکوپ نوری مشخص شد که بزرگ‌ترین نواحی بلور کلوئیدی دو بعدی به ازای زاویه ۲/۵ درجه حاصل می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که زاویه داخلی سلول، پارامتر تعیین‌کننده‌ای در ساخت بلور کلوئیدی دو بعدی است. شایان ذکر است که نتایج بدست آمده برای میکرو ذرات پلیمری با قطر ۵۰۸ نانومتر بوده و برای ذرات با قطرهای دیگر باید زاویه بهینه بدست آید.

سپاسگزاری

این کار با حمایت بنیاد ملی نخبگان انجام گرفته است.

مراجع

[1] B. Duffel, H. Robin and F. C. áDe Schryver, "Langmuir–Blodgett Deposition and Optical Diffraction of Two-Dimensional Opal", J. Mater. Chem., Vol. 11, No. 12, pp. 3333-3336, 2001.

[2] J. Chen, P. Dong, D. Di, C. Wang, H. Wang, J. Wang, et al., "Controllable Fabrication of 2d Colloidal-Crystal Films with Polystyrene Nanospheres of Various Diameters by Spin-Coating", Appl. Surf. Sci., Vol. 270, pp. 6-15, 2013.

[3] P. Born, A. Munoz, C. Cavelius and T. Kraus, "Crystallization Mechanisms in Convective Particle Assembly", Langmuir, Vol. 28, No. 22, pp. 8300-8308, 2012.

[4] R. Ye, Y.-H. Ye, Z. Zhou and H. Xu, "Gravity-Assisted Convective Assembly of Centimeter-Sized Uniform Two-Dimensional Colloidal Crystals", Langmuir, Vol. 29, No. 6, pp. 1796-1801, 2013.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]