همایش نانوفوتونیک ایران ۱۳۹۹- ۱ و ۲ آبان
Iranian Nano-Photonic Conference 2020
October 23 and 24

تولید رنگ توسط بلور پلاسمونی دو بعدی فوق نازک و انعطاف‌پذیر

ندا روستائی، سیده مهری حمیدی*

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

چکیده: اخیراً تولید رنگ با استفاده از ساختارهای پلاسمونی به طور گسترده مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، بلور پلاسمونی دوبعدی مسطح و انعطاف‌پذیر کپتون-مس با ضخامت خیلی کم با روشی جدید و بهینه تولید شده است. تولید رنگ با استفاده از ساختار پلاسمونی پیشنهادشده انجام شده است و با تغییر زاویه فرود نور، رنگ‌های مختلف حاصل شده است. همچنین پاسخ تشدید پلاسمونی ساختار تولید شده تحت زاویه ۵۸ درجه مشاهده و ثبت گردیده است. از جمله مزایای ساختار پیشنهاد شده می‌توان به موارد هزینه کم، سهولت ساخت و ابعاد بسیار کوچک اشاره کرد و این پژوهش با توجه به نیازهای فزاینده به مجتمع‌سازی و کوچک‌سازی ادوات نوری در سامانه‌های نانوفوتونیکی مدرن، می‌تواند مفید باشد.

کلید واژگان: رنگ‌سنجی؛ بلور پلاسمونی؛ تولید رنگ؛ تشدید پلاسمونی.

Two dimensional flexible and very thin plasmonic Crystal for color production

Neda Roostaei, Seyedeh Mehri Hamidi*

Magnetoplasmonics Lab, Laser and Plasma Research institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract- Recently, color production by using plasmonic structures has been extensively studied. In this research, a flat and flexible two-dimensional Kapton-copper plasmonic crystal with very low thickness has been fabricated in a new and optimal way. Color production is performed using our proposed plasmonic structure and different colors are achieved by changing the incidence angle of light. Also, the plasmonic resonance response of the fabricated structure has been recorded at an angle of 58 degrees. Advantages of our proposed structure are low cost, easy fabrication and very small dimensions, and thus this research can be useful due to the increasing needs for the integration and miniaturizing of optical devices in modern nanophotonic systems.

Keywords: colorimetry; plasmonic crystal; color production; plasmonic resonance.

* m_hamidi@sbu.ac.ir

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

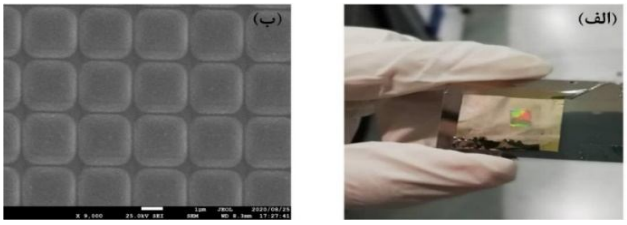
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-07]

۱- مقدمه

رنگ‌ها به دلیل توانایی‌شان در حمل اطلاعات، نقش خیلی مهمی در زندگی روزمره بشر بازی می‌کنند. به‌طور کلی، سه مکانیزم برای تولید رنگ وجود دارد: ۱- جذب جزئی نور و بازتاب بخش باقی‌مانده، ۲- تفکیک‌پذیری رنگ‌های مختلف در اثر پدیده‌های پراکندگی، پراش و پاشندگی ماده و ۳- گسیل نور در طول‌موج‌های خاص. روش دوم که در آن تولید رنگ از برهمکنش نور با میکرو/ نانوساختارها ناشی می‌شود به دلیل رزولوشن و کنتراست بالا و همچنین پایداری زیاد یکی از موضوعات علمی جذاب و به روز است. رنگ ساختاری اولین بار توسط لود ریلی مورد مطالعه قرار گرفت که رنگ آبی آسمان را با پراکندگی نور توسط نانوذرات توجیه کرد [۱]. بعدها می مدل پراکندگی را توسعه داد و با موفقیت توانست رنگ‌های نانوذرات طلای کلوییدی را توصیف کند. سپس رنگ‌های نانوذرات فلزی به اطلاعات ساختاری‌شان مرتبط شد و در نتیجه امکان کنترل خواص تشدیدی فراهم شد [۲]. بنابراین، تولید رنگ‌های ساختاری با استفاده از نانوساختارهای پلاسمونی به دلیل توانایی‌شان در دست‌کاری رفتار نور از طریق تشدید پلاسمون سطحی بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۴-۳]. تولید رنگ در ساختارهای پلاسمونی از تزویج تشدیدی نور با الکترون‌های آزاد (که به عنوان پلاسمون سطحی شناخته می‌شود) نشأت می‌گیرد و در این ساختارها، جذب تشدیدی نور (و بازتاب بقیه نور) اتفاق می‌افتد که از این ویژگی می‌توان برای تولید رنگ بهره گرفت. این نوع رنگ‌ها در مقایسه با رنگ‌های رنگدانه‌ای می‌توانند رزولوشن بهتری داشته باشند و در مقابل رنگ‌زدایی ایمن هستند. در این پژوهش، بلور پلاسمونی دو بعدی مسطح و انعطاف‌پذیر مس-کپتون با ضخامت خیلی کم تولید شده است و تولید رنگ با استفاده از این بلور پلاسمونی فوق نازک مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- بخش تجربی و نتایج

در این پژوهش، بلور پلاسمونی دو بعدی مسطح و انعطاف‌پذیر مس-کپتون با ضخامت خیلی کم با روش لیتوگرافی نرم [۵] طراحی و تولید شده است. نوار کپتون علاوه بر مسطح و انعطاف‌پذیر بودن دارای مزایایی از جمله: مقاومت حرارتی بالا، ضخامت خیلی کم و مقاومت مکانیکی و شیمیایی بالا می‌باشد. از این رو به عنوان زیرلایه در ساختار موردنظر انتخاب گردیده است. همچنین، از سی‌سی‌دی دوربین عکاسی جهت ایجاد طرح متناوب توری دو بعدی بر روی کپتون استفاده شده است. فرایند آماده‌سازی نمونه به این صورت است که پس از استخراج و جداسازی سی‌سی‌دی دوربین عکاسی، لایه‌ای از نوار کپتون با اعمال فشار بر روی سی‌سی‌دی موردنظر قرار داده شده است و به مدت ۳۰ دقیقه بر روی هیتر تحت دمای ۷۵ درجه قرار داده شده است. سپس جهت ثبات طرح توری دو بعدی بر روی کپتون، نمونه به مدت یک هفته تحت فشار و در دمای محیط نگهداری شده است. بعد از گذشت یک هفته، نوار کپتون با دقت و به آرامی از روی سی‌سی‌دی برداشته شده است و یک ساختار مسطح متناوب دو بعدی با ضخامت خیلی کم حاصل شده است. درنهایت، با روش PVD لایه نازکی از مس با ضخامت ۳۵ نانومتر بر روی زیرلایه طرح‌دار کپتون لایه‌نشانی شده است (شکل ۱-(الف)). به این ترتیب، یک بلور پلاسمونی نازک مسطح و انعطاف‌پذیر متشکل از کپتون و مس خواهیم داشت که تصویر SEM آن در شکل ۱-(ب) آورده شده است.

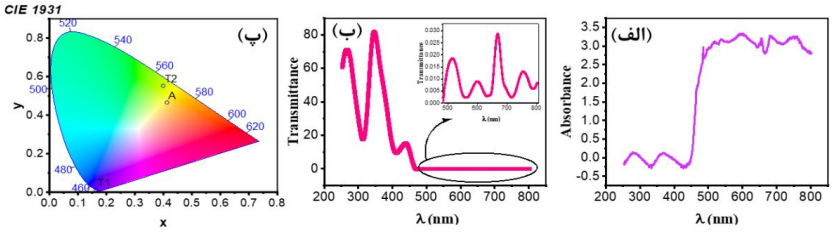


شکل ۱- (الف) بلورپلاسمونی تولیدشده، (ب) تصویر SEM از ساختار نهایی.

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

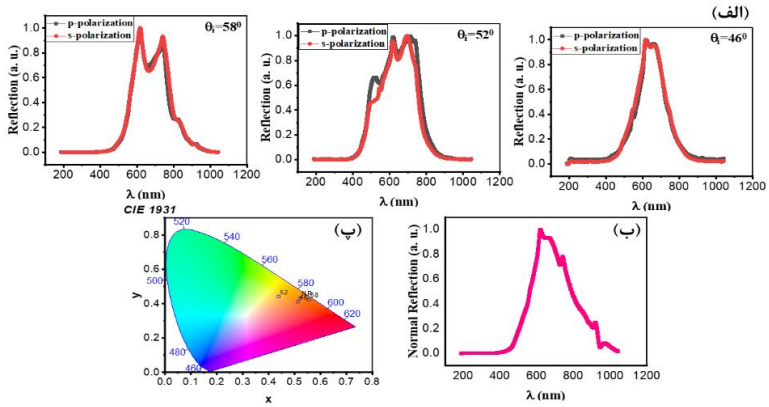
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-07]

طیف جذب و عبور بلور پلاسمونی تولید شده با استفاده از طیف‌سنج uv-vis اندازه‌گیری شده است و در شکل ۲ آورده شده است. همچنین نمودار رنگ‌سنجی (CIE 1931) با استفاده از داده‌های طیف جذب و عبور استخراج شده است (شکل ۲-(پ)). همانطور که مشاهده می‌شود، جذب و عبور ساختار موردنظر نواحی سبز، زرد و آبی ناحیه مرئی را پوشش می‌دهد.



شکل ۲- (الف) طیف جذب، (ب) طیف عبور و (پ) نمودار رنگ‌سنجی CIE اندازه‌گیری شده نمونه.

برای بررسی دقیق‌تر ساختار پلاسمونی پیشنهاد شده، طیف بازتاب نمونه تحت زوایای فرودی ۴۶، ۵۲ و ۵۸ درجه ثبت شده است (شکل ۳-(الف)). مطابق شکل ۳-(الف)، تشدید شبکه‌ای پلاسمون‌های سطحی (SLR) برای ساختار پلاسمونی موردنظر در زاویه ۵۸ درجه به خوبی قابل مشاهده است. همچنین بازتاب عمودی نمونه نیز ثبت شده است (شکل ۳-(ب)). در نهایت، طیف‌های بازتاب اندازه‌گیری‌شده رنگ‌سنجی شده‌اند و در شکل ۳-(پ) آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود به ازای زوایای فرودی مختلف، طیف رنگ‌های مختلف ایجاد شده است. در واقع، پاسخ ساختار پلاسمونی تولیدشده به زاویه حساس است که با توجه به وابستگی تشدید شبکه‌ای پلاسمون‌های سطحی به زاویه فرود می‌توان آن را توصیف کرد و از این ویژگی می‌توان برای تولید رنگ‌های تنظیم‌پذیر بهره گرفت.



شکل ۳- (الف) طیف بازتاب اندازه‌گیری شده از نمونه تحت زوایای فرودی ۴۶، ۵۲ و ۵۸ درجه (به ترتیب از راست به چپ) و به ازای قطبش‌های s و p، (ب) طیف بازتاب عمودی ثبت‌شده و (پ) نمودار رنگ‌سنجی محاسبه‌شده.

از جمله مزایای ساختار پیشنهاد شده می‌توان به موارد: هزینه کم، سهولت ساخت و ابعاد بسیار کوچک اشاره کرد و این پژوهش با توجه به نیازهای فزاینده به مجتمع‌سازی و کوچک‌سازی ادوات نوری در سامانه‌های نانوفوتونیکی مدرن، می‌تواند کاربردی و کمک‌کننده باشد.

مراجع

1. A. T. Young **Applied Optics 20**(4) 533, 1981.
2. K. L. Kelly, E. Coronado, L. L. Zhao, G. C. Schatz, **Physical Chemistry B 107**(3) 668, 2003.
3. W. Wang, D. Rosenmann, D. A. Czaplewski, X. Yang, J. Gao. **Optics express 25**(17) 20454, 2017.
4. M. Jalali, Y. Yu, K. Xu, R. J. Ng, Z. Dong, L. Wang, S. S. Dinachali, M. Hong, J. K. Yang, **Nanoscale 8**(42) 18228, 2016.
5. M. Ghasemi, N. Roostaei, F. Sohrabi, S. M. Hamidi, and P. K. Choudhury. **Optical Materials Express 10**(4) 1018, 2020.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-07]