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

بررسی اثر حضور نانوجزیره طلا بر طیف فلوئورسانس کاواک فابری‌پرو بر پایه‌ی بلورمایع نماتیک آلاییده به رنگینه

فاطمه حبیبی مقدم[1]، حسین مهرزاد[2]، افشان شیرکوند[3]، عزالدین مهاجرانی[4]، محمد محمدی مسعودی[5]، کریستین نیتس[6]

[1,2,3,4]. آزمایشگاه فوتونیک مواد آلی و پلیمرها، پژوهشکده‌ی لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

5. دانشکده‌ی علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

6. مرکز نانو و بایوفوتونیک، دانشگاه گنت، گنت، بلژیک

چکیده - در این مقاله ما با اضـــافه‌کردن لایه‌ی نانوجزیره‌ی طلا به یک کاواک فابری‌پرو بر پایه‌ی بلورمایع نماتیک آلاییده به رنگینه، فلوئورسانس قطبیده با مدهای چندگانه با پهنای باریک و عمق مدولاسیون زیاد را گزارش کردیم. آینه‌های این کاواک فیلم پیوسته‌ی طلا و لایه‌ی نانوجزیره‌ی طلا هســـتند. لایه‌ی نانوجزیره‌ی طلا باعث تقویت مدهای فابری‌پرو می‌شـــود، در واقع مدهای پلاســـمونیک نانوجزیره‌ی طلا منجر به تقویت کیفیت کاواک می‌شود. اثر لایه‌ی نانوجزیره بر کیفیت اپتیکی کاواک بررسی شد.

کلید واژه- نانوجزیره‌ی طلا، پلاسمونیک، بلورمایع، کاواک فابری‌پرو، فلوئورسانس.

The investigation of the effect of gold nano-island layer on the photoluminescence spectrum of Fabry-Perot cavity based on dye doped nematic liquid crystal

Fatemeh Habibimoghaddam, Hossein Mehrzad, Afshan Shirkavand, Ezeddin Mohajerani, Mohammad Mohammadimasoudi, Kristiaan Neyts

*Corresponding author: Ezeddin Mohajerani, POMP lab, Photonic department, Laser and Plasma research institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract-In this paper, a polarized and strongly modulated photoluminescence with narrow-band multi-modes is reported by adding a gold nano-island (NI) layer to a Fabry-Perot (FP) cavity based on dye doped nematic liquid crystal. The mirrors of this cavity are gold thin-film and gold NI layer. The gold NI layer strengthens the FP modes, in fact, plasmonic modes of the gold NI layer strongly amplifies the quality of the cavity. The role of the NI layer on optical quality of the cavity is investigated.

Keywords: Gold nano-island, Plasmonic, Liquid crystal, Fabry-Perot cavity, photoluminescence.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

مقدمه

افزایش و تحدید میدان‌الکترومغناطیسی در مقیاس‌های طولی از مرتبه‌ی نانومتر که در نانوذرات فلزی دیده می‌شود، علم پلاسمونیک را شکل می‌دهد. در سال‌های اخیر، برهم‌کنش بین مدهای پلاسمونیک و مدهای اپتیکی توجه زیادی را به خود جلب کرده، و منجر به گسترش مطالعات بنیادین شده است [1]. تشدید پلاسمون‌سطحی جایگزیده به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد از جمله افزایش و جایگزیدگی میدان‌الکتریکی، و همچنین سطح مقطع جذب و پراکندگی بالا توانسته با کاواک‌های اپتیکی ترکیب شده و خواص اپتیکی آنها را بهبود دهد، به گونه‌ای که کاربردهای متنوعی مثل افزایش حساسیت نسبت به تغییرات ضریب‌شکست، افزایش کیفیت کاواک‌اپتیکی (بهبود کیفیت مدهای فابری‌پرو و بهبود بازدهی مثل کاهش آستانه‌ی لیزری) پیدا کرده است [2-5]. به عنوان مثال زوبین و همکاران از طریق جفت‌کردن مدهای پلاسمونیک لایه‌ی گرافن و مدهای اپتیکی میکرورزوناتور نواری، خروجی لیزینگ را افزایش و آستانه را کاهش دادند [6]. از طرفی در سالهای اخیر علاقه‌ی زیادی به فیلم‌های جزیره‌ای که به روش لایه‌نشانی تبخیر حرارتی آماده می‌شوند، وجود دارد که به تشدید پلاسمون‌سطحی جایگزیده در فیلم‌های فلزی نانوساختار نسبت داده می‌شود [7].

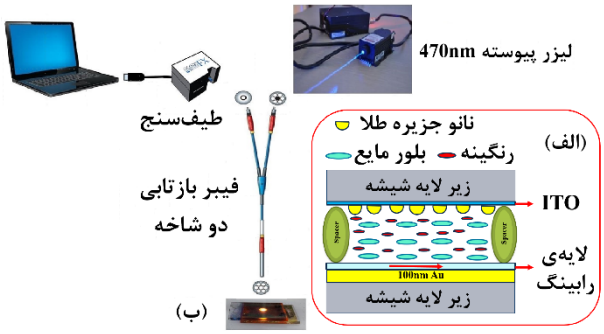
در این پژوهش ما یک لایه‌ی نانوجزیره‌ی طلا را با یک کاواک فابری‌پرو بر پایه‌ی بلورمایع آلاییده به رنگینه ترکیب کرده‌ایم و اثر حضور نانوجزیره را بر طیف فلوئورسانس خروجی بررسی کرده‌ایم. فلوئورسانس خروجی قطبیده است و این قطبیدگی از همراستایی گشتاور دوقطبی مولکولهای رنگینه در امتداد دایرکتور بلورمایع نشأت می‌گیرد.

روش ساخت و چیدمان آزمایشگاهی

سطح‌های داخلی کاواک از لایه‌ی نانوجزیره‌ی طلا و فیلم پیوسته‌ی طلا تشکیل شده است. بدین منظور ابتدا 7nm طلا به روش تبخیر حرارتی در فشار 8×10^{-5}mbar و نرخ $0.1\text{A}^{\circ}/\text{s}$ روی شیشه‌ی ITO لایه‌نشانی و سپس در دمای 500°C حرارت داده شد. برای سمت دیگر کاواک ابتدا ۱۰۰nm طلا روی زیر لایه‌ی شیشه با نرخ $0.5\text{A}^{\circ}/\text{s}$ و در همان فشار لایه‌نشانی شد. سپس محلول پلی‌آمید به روش چرخشی روی آن لایه‌نشانی شد. در ادامه یک دستمال مخمل روی آن و در یک جهت کشیده شد. این دو شیشه با استفاده از اسپیسر 8μm به هم متصل شدند.

در انتها ترکیب بلورمایع نماتیک LC (mixture1802) (ضریب‌شکست عادی ۱.۵۲ و ضریب‌شکست غیرعادی 1.82) و رنگینه‌ی لیزری PM-597 با استفاده از عمل موئینگی به داخل سل هدایت شد (شکل ۱(الف)).

در آزمایش مربوط به تحول طیف فلوئورسانس از طیف‌سنج Ocean Optics HR 4000 با فیبر بازتابی دوشاخه استفاده شده است. بدین صورت که نور لیزر با طول‌موج 470nm از طریق یکی از شاخه‌ها به پروب‌مرکزی منتقل و به نمونه می‌رسد. سپس نور فلوئورسانس نمونه توسط پروب‌مرکزی جمع‌آوری شده و از طریق شاخه‌ی دیگر به طیف‌سنج منتقل می‌شود (شکل ۱(ب)).



شکل ۱: شماتیک مربوط به (الف) کاواک فابری‌پرو حاوی بلورمایع و رنگینه، (ب) چیدمان آزمایش طیف فلوئورسانس.

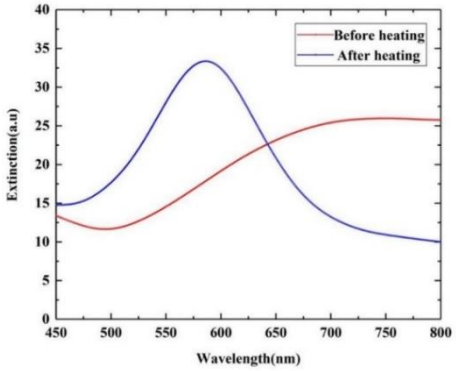
نتایج آزمایشگاهی

در فیلم‌های جزیره‌ای باند جذب تشدید پلاسمون‌سطحی جایگزیده توسط اندازه‌گیری مستقیم طیف خاموشی آشکار می‌شود. به همین دلیل بعد از لایه‌نشانی، طیف خاموشی

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

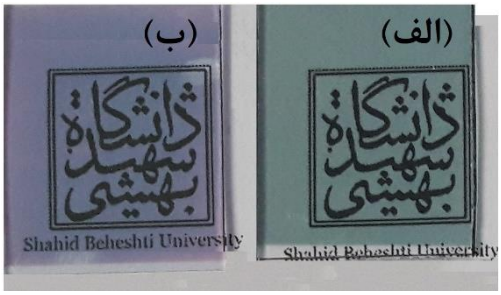
نانوجزیره‌ی طلا بر روی شیشه‌ی ITO قبل و بعد از حرارت‌دهی با استفاده از چیدمان طیف‌سنجی عبوری ثبت شد. همانطور که در شکل ۲ می‌بینیم، بیشینه‌ی جذب بعد از حرارت‌دهی به سمت طول‌موج‌های کوتاهتر جابه‌جا شده‌است. دلیل این جابه‌جایی افزایش جدایی متوسط بین نانوجزایر (شکل‌گیری نانوذرات جدا از هم) و همچنین ضعیف‌شدن اثر جفت‌شدگی است. همچنین پهنای باند بعد از حرارت‌دهی کاهش یافته است. پهنای باند رابطه‌ی مستقیم با مقدار جفت‌شدگی دارد؛ هرچه جفت‌شدگی ضعیف‌تر شود، پهنای باند نیز کمتر می‌شود [7].



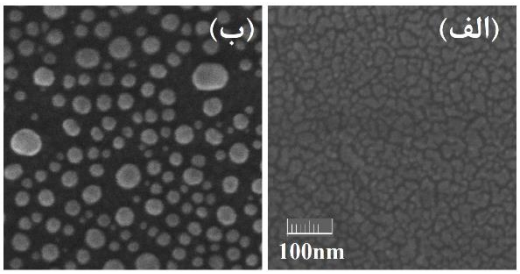
شکل ۲: طیف خاموشی نانوجزیره‌ی طلا قبل و بعد از حرارت‌دهی.

تغییرات باند جذب تشدید پلاسمون‌سطحی جایگزیده، همچنین منجر به تغییر رنگ قابل مشاهده با چشم می‌شود. تصاویر ماکروسکوپیک و میکروسکوپیک (FESEM[1]) نانوجزایر طلا، قبل و بعد از حرارت‌دهی در شکل‌های ۳ و ۴ آورده شده است.

همانطور که در شکل ۴ (الف) می‌توان دید قبل از حرارت‌دهی نانوجزایر تقریباً پیوسته بر روی زیر لایه شکل گرفته‌اند. به محض پردازش‌حرارتی، جزایر تقریباً پیوسته با شکل ناهمسانگرد از نظر انرژی ناپایدار می‌شوند و به صورت گسسته در می‌آیند و در نهایت به آرایه‌ای از ذرات کره مانند جدا از هم تجزیه می‌شوند (شکل ۴ (ب)).



شکل ۳: نانوجزایر طلا (الف) قبل و (ب) بعد از حرارت‌دهی.



شکل ۴: تصویر FESEM نانوجزایر طلا (الف) قبل، و (ب) بعد از حرارت‌دهی.

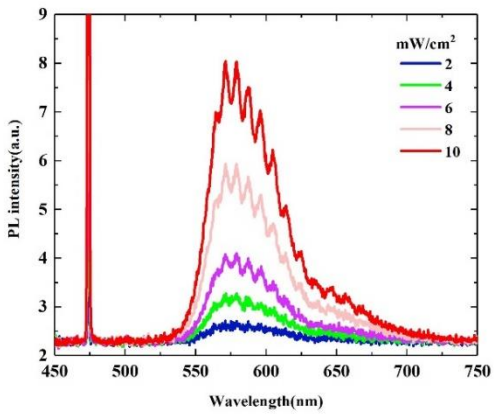
به منظور بررسی تأثیر حضور لایه‌ی نانوجزیره‌ی طلا بر طیف فلوئورسانس کاواک فابری‌پرو بر پایه‌ی بلورمایع آلاییده به رنگینه از دو کاواک استفاده شد که یکی از آنها شامل لایه‌ی نانوجزیره و دیگری بدون لایه‌ی نانوجزیره بود. طیف فلوئورسانس در شدت‌های مختلف لیزر پمپ با

[1] Field emission scanning electron microscopy

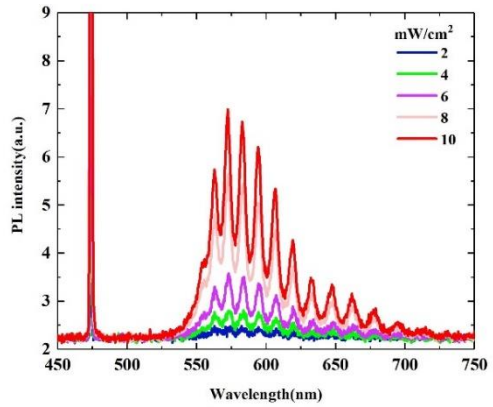
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

استفاده از طیف‌سنج بازتابی ثبت شد. نتایج این آزمایش در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده‌است.



شکل ۵: تحول طیف فلوئورسانس در توان‌های مختلف لیزر پمپ در عدم حضور نانوجزیره.



شکل ۶: تحول طیف فلوئورسانس در توان‌های مختلف لیزر پمپ در حضور نانوجزیره.

همانطور که از شکل‌های ۵ و ۶ مشخص است با افزایش توان لیزر پمپ، شدت فلوئورسانس در هر دو نمونه افزایش پیدا کرده است، اما این شدت در حضور لایه‌ی نانوجزیره نسبت به نمونه‌ی بدون لایه‌ی نانوجزیره کمتر است. علت این امر این است که در نمونه‌ی شامل لایه‌ی نانوجزیره بخشی از نور لیزر پمپ هنگام ورود و همچنین بخشی از نور فلوئورسانس هنگام خروج از سل توسط لایه‌ی نانوجزیره جذب و بازتاب می‌شود. حضور مدهای سینوسی روی طیف لورنتسی فلوئورسانس نشان می‌دهد که مدهای فابری‌پرو در هر دو کاواک تحریک شده است، اما عمق مدولاسیون در حضور نانوجزیره به طور چشمگیری افزایش پیدا کرده است، که علت آن مدولاسیون مدهای رزونانس فابری‌پرو توسط تشدید پلاسمون‌سطحی جایگزیده مربوط به لایه‌ی نانوجزیره‌ی طلا می‌باشد. همچنین آستانه‌ی ظهور مدهای فابری‌پرو بر روی طیف فلوئورسانس در نمونه‌ی با نانوجزیره کمتر از نمونه‌ی بدون نانوجزیره است.

نتیجه‌گیری

کیفیت طیف فلوئورسانس کاواک از جمله عمق مدولاسیون و آستانه‌ی ظهور مدهای فابری‌پرو در حضور نانوجزیره نسبت به کاواک بدون نانوجزیره بهبود یافته است.

مرجع‌ها

[1] Sánchez-Sobrado, "Interplay of resonant cavity modes with localized surface plasmons: optical absorption properties of Bragg stack," vol. 23, no. 18, p. 2108-2112.

[2] R. Ameling, L. Langguth, M. Hentschel, M. Mesch, P. V. Braun, and H. J. A. P. L. Giessen, "Cavity-enhanced localized plasmon resonance sensing," vol. 97, no. 25, p. 253116, 2010.

[3] T. Abhilash, M. Balasubrahmaniyam, A. Patra, and S. J. A. P. L. Kasiviswanathan, "Plasmon resonance mediated enhancement in Fabry-Perot cavity modes," vol. 104, no. 24, p. 241112, 2014.

[4] Z. Wang, X. Meng, A. V. Kildishev, A. Boltasseva, V. M. J. L. Shalaev, and P. Reviews, "Nanolasers Enabled by Metallic Nanoparticles: From Spasers to Random Lasers," vol. 11, no. 6, p. 1700212, 2017.

[5] J. Li *et al.*, "Plasmon coupled Fabry-Perot lasing enhancement in graphene/ZnO hybrid microcavity," *Scientific reports*, vol. 5, p. 9263, 2015.

[6] F. Liu, X. Zhang, X. Fang, and Y. J. O. e. Lin, "Plasmonic microcavity using photo-reduced silver nanoparticles and light-emitting polymer," vol. 24, no. 2, pp. 1747-1757, 2016

[7] T. Karakouz, D. Holder, M. Goomanovsky, A. Vaskevich, and I. J. C. o. M. Rubinstein, "Morphology and refractive index sensitivity of gold island films," vol. 21, no. 24, pp. 5875-5885, 2009.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]