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

تحریک پلاسمون پلاریتون‌های سطحی چندگانه در فصل مشترک توری فلزی و بلور فوتونی یک بعدی

مجتبی زمانی[۱]، سیده مهری حمیدی[۱]، علیرضا بنانج[۲]

[۱]آزمایشگاه مگنتوپلاسمونیک، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲ پژوهشکده اپتیک، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران.

چکیده – امروزه تغییر جذب نور پهن باند غیر قطبیده با بهره گیری از توریهای فلزیِ یک بعدی از جمله مباحث بحث برانگیز است. تحریک مدهای پلاسمونیِ چندگانه در بازه طول موجی گسترده مرئی و تشخیص نوع مدهای تحریک شده با برانگیزش توری و گیراندازیِ نور می‌تواند با استفاده از جایگزینی محیط دی‌الکتریک بالای توری با چند لایه‌ای متناوبی به شکل یک بلور فوتونی یک بعدی، به شکل موثرتری رخ دهد. در این گزارش، بلور فوتونی یک بعدی در فصل مشترک توری فلزی آماده سازی شده و چگونگیِ تحریک مدهای چندگانه پلاسمونی و موجبری مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از تحقیق نشان دهنده حساسیت مدهای پلاسمونی به تغییر زوایای سمتی توری و عدم حساسیت مدهای موجبری به این تغییر است که می تواند جهت گیراندازی نور به منظور بهره گیری در زمینه های مختلف مانند سلول های خورشیدی به کار رود.

کلید واژه- بلور فوتونی یک بعدی، پلاسمون پلاریتون های سطحی، توری فلزی، مدهای موجبری.

Multiple Surface Plasmon Polariton excitations at the interface of one-dimensional photonic crystal and metal grating

Mojtaba Zamani[۱], Seyedeh Mehri Hamidi[۱], Alireza Bananej[۲]

[۱]Magneto-plasmonic Lab, Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

[۲] Optic Institute, NSRTI, Tehran, Iran.

Abstract-Here we report the optical absorptance of metallic grating coupled to the one-dimensional photonic crystal layers to investigate the multiple surface Plasmon polariton waves and waveguide modes. Our dielectric photonic crystal was made by electron gun deposition method onto the Aluminium thin film on the polycarbonate grating. These surface Plasmon polariton waves at the interface of metallic grating are very sensitive to the polar incidence angles which can be used to the light trapping for solar cell applications.

Keywords: One- dimensional photonic crystal, Surface Plasmon polariton, metallic grating, waveguide modes.

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

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

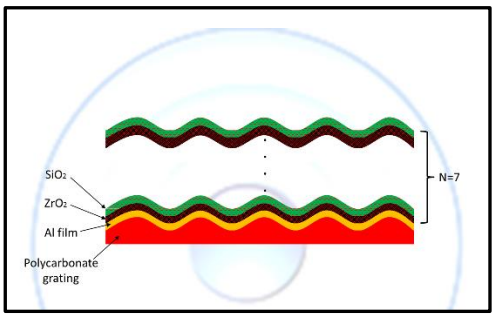
مقدمه

توری‌های فلزی یک بعدی می‌توانند نور فرودی بر روی آن‌ها را به طور موثری بازتاب کنند. این اتفاق تنها در زمانی رخ نمی‌دهد که بردار میدان مغناطیسی نور فرودی موازی با خطوط توری باشد و همچنین نور تکفام در زاویه‌ای خاص به توری برخورد کند. در این حالت، نوسانات تجمعی الکترون‌های رسانشی در نزدیکی سطح توری باعث افزایش جذب نور در این ساختارها می‌شود [۱] . جذب تشدیدی در ناحیه‌ی فصل مشترک توری فلزی و ماده‌ی دی‌الکتریک بالای آن تنها با نور با قطبش p (یعنی نوری که میدان مغناطیسی آن به موازات خطوط توری است) رخ می‌دهد. در این حالت انرژی اپتیکی در ناحیه‌ای زیر طول موجی در دی‌الکتریک محبوس می‌شود و تنها مدهای موج‌های پلاسمون پلاریتون‌های سطحی انفرادی در هر طول موج خاصی قادر به شکل گیری هستند. بنابراین جذب نور پهن باند غیر قطبیده وقتی از توری‌های یک بعدی استفاده می‌کنیم به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از ۵۰ درصد است. برای حل مشکل حساسیت این ساختارها به قطبش و زاویه‌ی نور فرودی، ساختارهای گیر انداز نور متفاوتی در سال‌های اخیر پیشنهاد شده است. این ساختارها عموما برای رفع مشکل حساسیت به قطبش، از توری‌های فلزی دو بعدی استفاده می‌کنند.

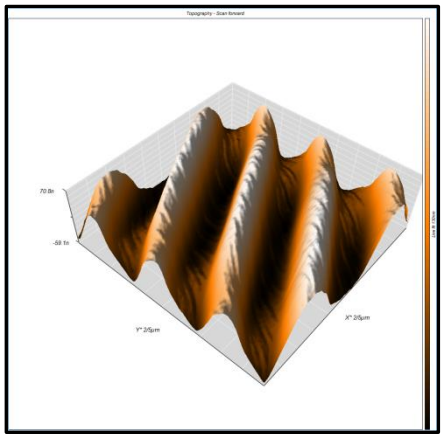
گیراندازی نور توسط ساختارهای توری می‌تواند با استفاده از جایگزینی محیط دی‌الکتریک بالای توری با چند لایه-ای متناوبی به شکل یک بلور فوتونی یک بعدی، به شکل موثرتری رخ دهد. در این حالت هر دو قطبش s و p می-توانند باعث تحریک امواج پلاسمون پلاریتونهای سطحی[۱] شوند [۲]. در این مقاله به صورت تجربی تحریک چندگانه‌ی امواج SPP با استفاده از تغییر زوایای سمتی و قطبی فوتونیک کریستال لایه‌نشانی شده بر روی توری فلزی یک بعدی نسبت به نور فرودی پهن باند با قطبش pبررسی شده است.

ساختار نمونه و چیدمان اندازه‌گیری

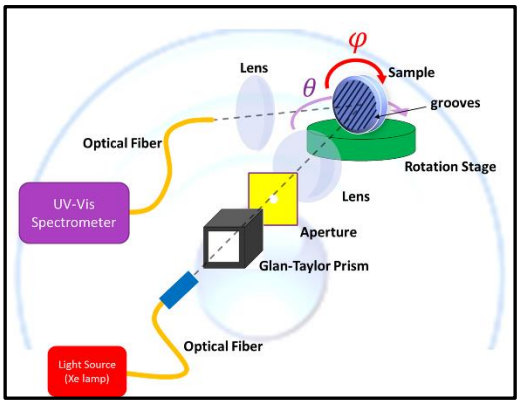
بلور فوتونی یک بعدی با تعداد تناوب ۷ و با لایه‌هایی از جنس ZrO_2 و SiO_2 بر روی زیرلایه‌ای شامل توری یک بعدی از جنس پلی‌کربنات که به ضخامت ۱۰۰ نانومتر آلومینیوم بر روی آن لایه نشانی شده است، توسط روش باریکه‌ی الکترونی نشانده شده است. شماتیک این ساختار در شکل ۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱- ساختار بلور فوتونی لایه نشانی شده بر روی توری فلزی



شکل ۲- تصویر AFM از مورفولوژی سطحی زیرلایه‌ی حاوی توری پیش از لایه نشانی بلور فوتونی



شکل ۳- چیدمان مورد استفاده جهت بررسی طیف بازتاب نمونه در زوایای قطبی و سمتی مختلف

همچنین تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی از سطح زیرلایه پیش از لایه نشانی بلور فوتونی در شکل ۲ آمده است. همانطور که از تصویر مشخص است، فاصله‌ی بین شیارهای توری ۷۵۰ نانومتر و ارتفاع آن‌ها ۱۳۰ نانومتر است.

[۱] Surface Plasmon Polariton (SPP)

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

بررسی جفت شدگی پلاسمونهای سطحی در ترکیب بلور با استفاده از چیدمان نشان داده شده در شکل ۳ انجام شده است که چیدمان اندازه‌گیری بازتاب از نمونه و نحوه-ی تعریف زوایای قطبی و سمتی قابل مشاهده است.

تحریک پلاسمون پلاریتون‌های سطحی چندگانه

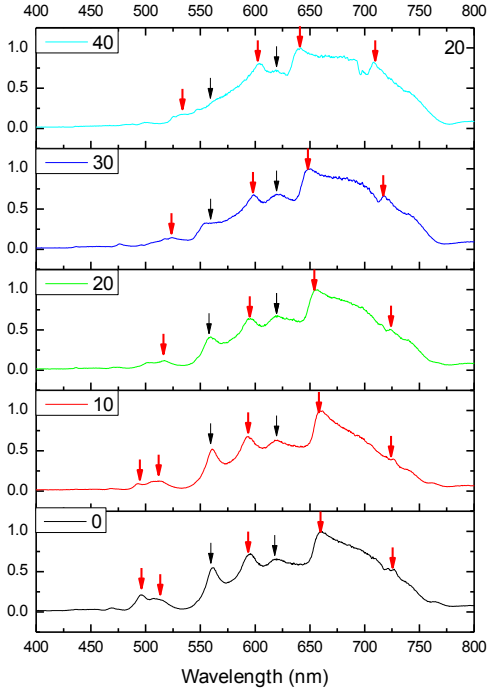
شکل‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ طیف حاصل از بازتاب از سطح نمونه را به ترتیب در زوایای قطبی (θ) برابر با ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه نشان می‌دهد. در هر یک از زوایای قطبی، زاویه‌ی سمتی (φ) نمونه از صفر تا ۴۰ درجه و با گام‌های ۱۰ درجه‌ای تغییر کرده است.

با توجه به اینکه تحریک پلاسمون پلاریتون‌های سطحی به شدت به زاویه‌ی سمتی توری فلزی نسبت به نور فرودی وابسته هستند، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در صورت تغییر زاویه‌ی سمتی نمونه در یک زاویه‌ی قطبی ثابت، کمینه‌ها و بیشینه‌هایی که مکان آن‌ها جابجا می-شود، مربوط به تحریک مدهای موج SPP هستند. همچنین بیشینه‌ها و کمینه‌هایی که مکان آن‌ها با تغییر زاویه‌ی سمتی ثابت می‌ماند، مربوط به مدهای موجبری می‌باشند. یکی از تفاوت‌های مدهای موج SPP و مدهای موجبری در این است که انرژی مدهای موج SPPدر فصل مشترک فلز/دی‌الکتریک جایگزیده هستند در حالی که انرژی مدهای موجبری اغلب در تمام ضخامت لایه‌ی دی-الکتریک توزیع شده است. در این شکل‌ها، مدهای نشان داده شده با پیکان قرمز نشان دهنده‌ی مدهای تحریکی SPP هستند. زیرا این مدها به تغییر زاویه‌ی سمتی عکس‌العمل نشان می‌دهند.

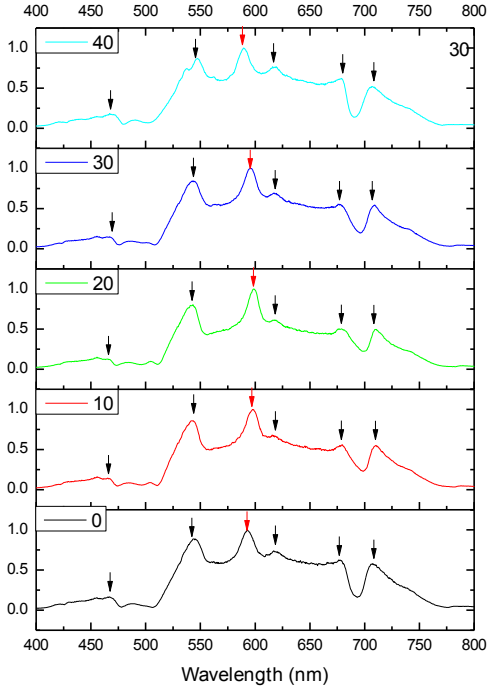
همچنین مدهای نشان داده شده با پیکان سیاه مشخص کننده‌ی مدهای موجبری هستند که با تغییر زاویه‌ی سمتی تغییر قابل ملاحظه‌ای در آن‌ها ایجاد نشده است.

تغییر زوایای سمتی به ازای زوایای قطبیِ ثابت، تغییر در تحریک پلاسمون پلاریتون های سطحیِ چندگانه و وایستگی آنها به مدهای موجبری و یا مدهای پلاسمونی را به خوبی نشان می دهد.

در واقع جابجایی پیک های تشدید پلاسمونی در این مورد به طور موثر به تغییر زاویه سمتی وابسته است.

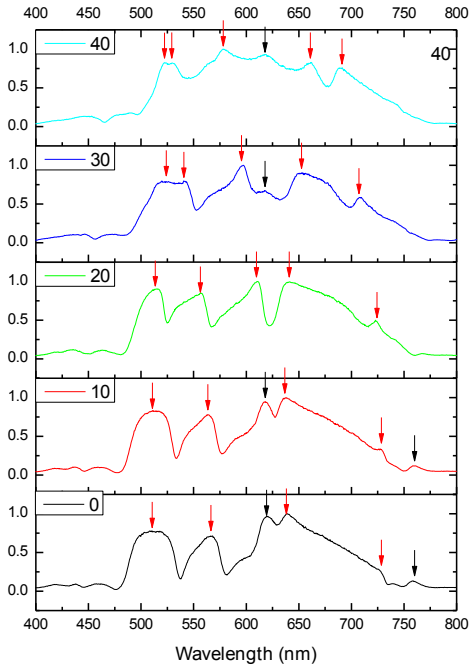


شکل ۴- طیف حاصل از بازتاب از سطح نمونه در زاویه قطبی ۲۰ و زوایای سمتی صفر تا ۴۰ درجه.

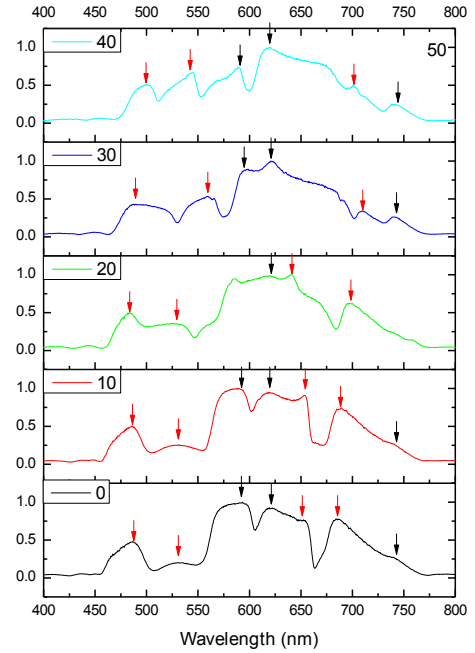


شکل ۵- طیف حاصل از بازتاب ازسطح نمونه در زاویه قطبی ۳۰ و زوایای سمتی صفر تا ۴۰ درجه

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

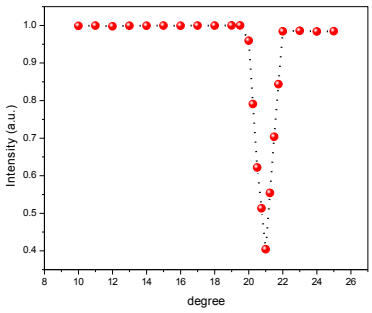


شکل ۶- طیف حاصل از بازتاب از سطح نمونه در زاویه قطبی ۴۰ و زوایای سمتی صفر تا ۴۰ درجه



شکل ۷-طیف حاصل از بازتاب از سطح نمونه در زاویه قطبی ۵۰ و زوایای سمتی صفر تا ۴۰ درجه.

این تغییر، با اسکن زاویه ایِ تشدید پلاسمونی به ازای تحریک در طول موجی یکتا، ۵۳۲ نانومتر، در نمونه مورد استفاده همراه با پوشش آلومینیومی قبل از لایه‌نشانی بلور فوتونی قابل لمس است (شکل ۸).



شکل ۸- نمودار تحریک پلاسمون‌های سطحی در توری آلومینیومی با تابش نور تکفام با طول موج ۵۳۲ نانومتر

همچنان که ذکر شد، زاویه‌ی تحریک پلاسمون‌های سطحی، که در حالت زاویه‌ی سمتی صفر برابر با۲۲/۵ درجه بوده است، با تغییر زاویه‌ی سمتی به سمت زوایای بالاتر جابجا می‌شود. ضخامت لایه های فلزی آماده شده و عمق متناسبِ توری، موجب شده است لایه های بلور فوتونی آماده شده، نقش توری را به خود پذیرفته اند و بنابراین در تحریک مدهای چندگانه پلاسمونی در هندیه توری، نقش ایفا می کنند.

نتیجه‌گیری

در این گزارش، نمونه بلور فوتونی با فصل مشترک توری فلزی آماده شده و چگونگیِ وابستگیِ مدهای چندگانه پلاسمون پلاریتونهای سطحی و مدهای موجبری به تغییر زوایای سمتی و قطبی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان دهنده تمایز مدهای پلاسمونی به ازای زوایای سمتی متفاوت و عدم تمایز مدهای موجبری به ازای این تغییر است.

مراجع

[۱] Faryad, Muhammad and Hall, Anthony Shoji and Barber, Greg D and Mallouk, Thomas E and Lakhtakia, Akhlesh, "Excitation of multiple surface-plasmon-polariton waves guided by the periodically corrugated interface of a metal and a periodic multilayered isotropic dielectric material," *JOSA B*, pp. ۷۰۴-۷۱۳, ۲۰۱۲.

[۲] Solano, Manuel E and Faryad, Muhammad and Lakhtakia, Akhlesh and Monk, Peter B, "Comparison of rigorous coupled-wave approach and finite element method for photovoltaic devices with periodically corrugated metallic backreflector," *JOSA A*, vol. ۳۱, no. ۱۰, pp. ۲۲۷۵-۲۲۸۴, ۲۰۱۴.

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