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 ضریب عبور کوک‌پذیر در توری پلاسمونیکی Polycarbonate/Au

مجتبی زمانی، سیده مهری حمیدی

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

**چکیده –در این مقاله طیف عبوری از ساختار توری پلاسمونیکی *polycarbonate/Au* و امکان کوک‌پذیری جذب‌های پلاریتون پلاسمون‌های سطحی با استفاده از تغییر زوایای سمتی و قطبی توری نسبت به پرتو فرودی مورد بررسی قرار گرفته است. با افزایش زاویه قطبی نمونه طول موج‌های جذب شده به سمت طول موج‌های کوچکتر جابجا می‌شوند. همچنین با افزایش زاویه‌ی سمتی، طول موج‌های جذب شده به سمت طول موج‌های بلندتر جابجا خواهند شد.**

**کلید واژه**- توری پلاسمونیکی، پلاریتون پلاسمون سطحی، کوک پذیری، ضریب عبور.

# Tunable transmission constant in polycarbonate/Au plasmonic grating

M. Zamani, S. M. Hamidi

Magnetoplasmonic Lab, Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract- We investigate the transmission spectra of polycarbonate/Au plasmonic grating and the possibility of tuning surface Plasmon polariton absorption by use of changing polar and azimuthal angles of grating with respect to the incident beam. Increasing in the polar angle of sample yield to shifted absorbed wavelengths to the smaller wavelengths. Also, with the increase of azimuthal angle, the absorbed wavelengths will shift to the larger wavelengths which are very suitable in sensor applications.

Keywords: Plasmonic gratings, Surface Plasmon resonance, Tunability, Transmission constant.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]



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

## مقدمه

پلاسمونیک یکی از زمینه‌های تحقیقاتی با رشد سریع است که در مورد خواص اپتیکی نانوساختارهای فلزی به بحث می‌پردازد و کاربردهای زیادی در زمینه‌هایی نظیر آشکارسازها [۱]، مگنتوپلاسمونیک[۲]، سلول‌های خورشیدی [۴] و حسگرها [۳] دارد. استخراج نتایج حسگری در این ساختارها به کمک پیک‌های پلاسمونی حاصل از تشدید پلاسمون‌های سطحی[۱] در زاویه و طول موجی خاص است که عرض این پیک ها و مکان طول موجی و زاویه ای آنها بیانگر کاربردی بودن حسگرها خواهد بود.

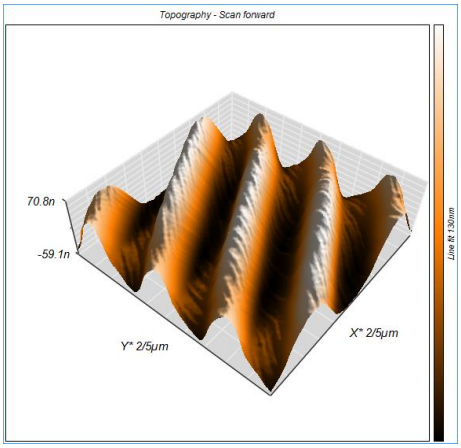
یافتنِ شرایط تحریک و جفت شدگیِ بهینه ی نور به پلاریتون پلاسمون‌های سطحی[۲] با روش متداولِ پایش نور عبوری یا بازتابی از سطح فلز در پیکربندی‌های مختلف امکان پذیر است. در شرایط مناسب، کاهش شدت قابل توجهی در طول موجی که شرط تشدید پلاسمون سطحی (SPR) را ارضا می کند، رخ می‌دهد. همچنین اخیرا مشخص شده است که عبور طول موجهای خاصی در سطوح نانوساختار مانند آرایه‌ی حفره‌های نانومتری می‌تواند توسط SPR افزایش یابد. به این پدیده "عبور نوری غیرعادی" گفته می‌شود زیرا شدت نور عبوری بسیار بیشتر از مقدار مورد انتظار است [۵]. در این حالت نانوساختارهای پلاسمونیکی در یک طرفِ فیلم فلزی نور را به پلاسمون های سطحی تبدیل می‌کنند، سپس این پلاسمون‌ها به سطح پشتی تونل می‌زنند و در آنجا مجددا به فوتون‌ها تبدیل می‌شوند. از آنجایی که پلاسمون های سطحی نقش مهمی را در عبور نور از میان نانوساختارهای پلاسمونیکی ایفا می‌کنند، اندازه و مکان بیشینه‌های عبور تقویت شده، به ضریب شکست محیط نزدیک سطح فلزی بسیار حساس است و این حساسیت کاربرد فراوانی در ساخت حسگرهای بر پایه‌ی نانوساختارهای پلاسمونیکی خواهد داشت.

در این مقاله طیف عبوری نور قطبیده‌ی سفید در زوایای سمتی ($\varphi$) و قطبی ($\theta$) مختلف در هنگام عبور از توری فلزی مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار گرفته است.

[۱] Surface Plasmon Resonance (SPR)

## چیدمان اندازه گیری

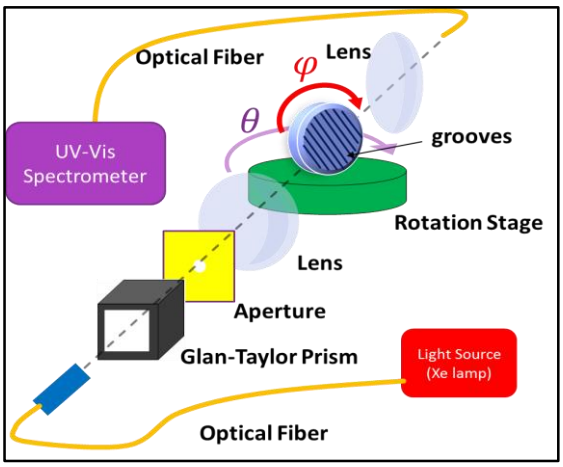
توری‌های پلی کربنات مورد استفاده در این مقاله از تقسیم یک عدد دیسک نوری DVD با ظرفیت ۴/۷ گیگابایت به دو بخش تشکیل دهنده‌ی آن بدست می‌آید. شکل ۱، تصویر AFM این توری‌ها قبل از لایه نشانی را نشان می‌دهد. مطابق این تصویر، فاصله‌ی بین شیارهای توری برابر ۷۴۳ نانومتر و ارتفاع آن‌ها برابر ۱۶۵ نانومتر است.




شکل ۱) تصویر AFM سطح توری پلی‌کربنات پیش از لایه نشانی.

این توری‌ها،پس از شستشو، در نگهدارنده‌ی مخصوص لایه‌نشانی با زاویه‌ی مایل قرار گرفته و توسط ۱۲۰ نانومتر طلا و تحت زاویه‌ی ۶۰ درجه مورد لایه‌نشانی قرار گرفته و نمونه polycarbonate grating/ Au آماده می گردد.

طیف نور عبوری از این توری‌ها توسط چیدمانی مطابق شکل ۲ به ازای زوایای قطبی و سمتیِ مختلف ثبت می‌شود. لازم به ذکر است که برای جفت کردن نور به پلاسمون‌های سطحی از قطبش p استفاده می‌شود.

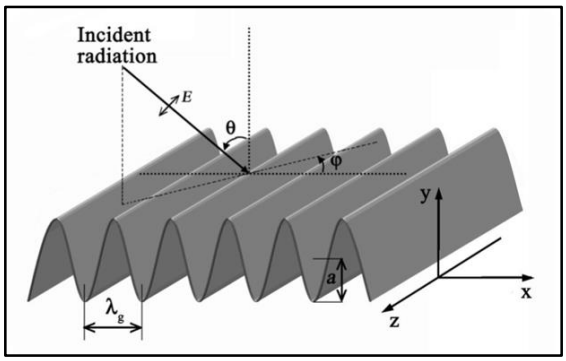



شکل ۲) چیدمان جمع آوری نور عبوری از نمونه polycarbonate/Au.

[۲] Surface Plasmon Polariton (SPP)



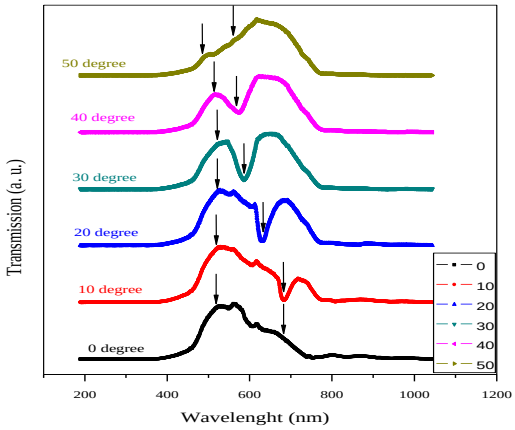
[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]




شکل ۳) تعریف زوایای قطبی و سمتی با توجه به جهت‌گیری نانو شیارها نسبت به نور فرودی.

## پاسخ پلاسمونیِ کوک پذیر

طیف عبورِ نور سفید حاصل از لامپ زنون را برای زوایای قطبی مختلفِ توری نسبت به پرتو فرودی با استفاده از چیدمان شکل ۲ در شکل ۴ نشان داده شده است.

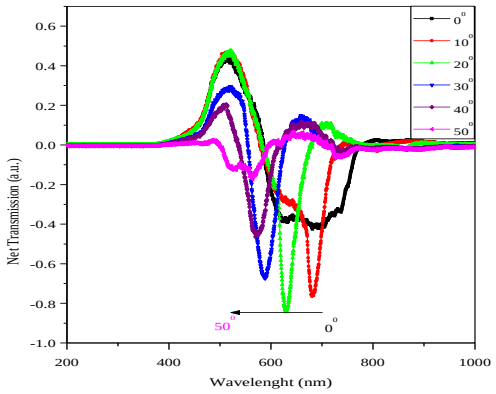



شکل ۴) طیف عبوری از نمونه در زوایای قطبی صفر تا ۵۰ درجه.

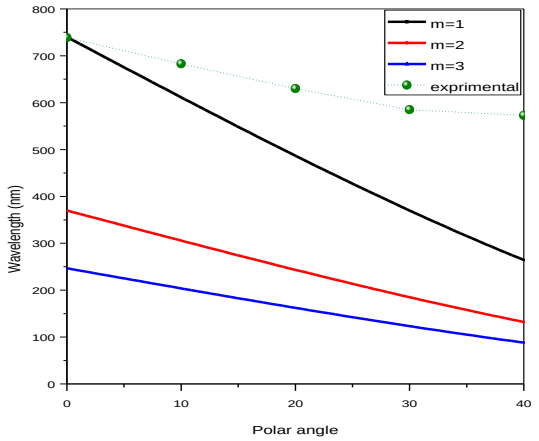
شکل ۵ تفاضل نور عبوری از زیرلایه‌ی بدون لایه نشانی را از نور عبوری از نمونه در زوایای قطبی یکسان نشان می دهد. مکان بیشینه‌ها و کمینه‌های طیف تفاضلیِ شکل ۵ بر روی طیف‌های عبور، شکل ۴، مشخص شده است.

همانطور که مشخص است، با افزایش زاویه‌ی قطبی نمونه نسبت به نور فرودی، طول موج‌هایی که کمینه‌ی عبور در آن‌ها رخ می‌دهد، به سمت طول موج‌های کوچکتر جابجا می‌شود. این رفتار از نمودار بدست آمده از رابطه‌ی یک هم مورد انتظار است. این نمودار را می‌توان در شکل ۶ مشاهده کرد.

بررسی این رفتار برای حالت ایجاد زاویه‌ی سمتی برای هر یک از زوایای قطبی نیز انجام گرفته است و نتایج آن در نمودار شکل ۷ قابل مشاهده است.




شکل ۵) تفاضل طیف عبوری از زیرلایه پیش از لایه نشانی از طیف عبوری لایه پس از لایه نشانی.




شکل ۶) طول موج تحریک پلاسمون پلاریتون‌ها به صورت تابعی از زاویه‌ی تحریک قطبی برای تحریکاتی از مرتبه‌ی پراش ۱(خط سیاه)، ۲ (خط قرمز) و ۳ (خط آبی) و مقایسه‌ی آن با نتایج تجربی.

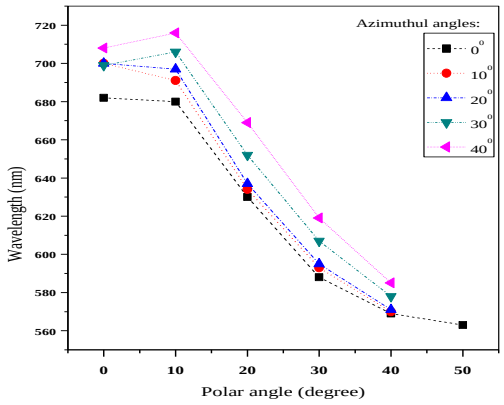
بنابراین در زوایای قطبی یکسان و با تغییر زاویه‌ی سمتی، طول موج‌های جذب شده توسط ساختار به سمت طول موج‌های بلندتر جابجا می‌گردد. قابل توجه است که در زوایای قطبی بالاتر، فاصله‌ی طول موج‌های کمینه در زوایای سمتی مختلف در مقایسه با طول موج‌های کمینه در زوایای قطبی پایین تر و زوایای سمتی مختلف، کمتر است.

برای اطمینان از اینکه کمینه‌های مشاهده شده در طیف عبوری از نمونه بر اثر تحریک پلاسمون‌های سطحی در طول موج و زاویه‌ای خاص و مطابق با رابطه‌ی ۱ بوده است، طیف عبوری از نمونه با نور فرودی با قطبش s در شکل ۸



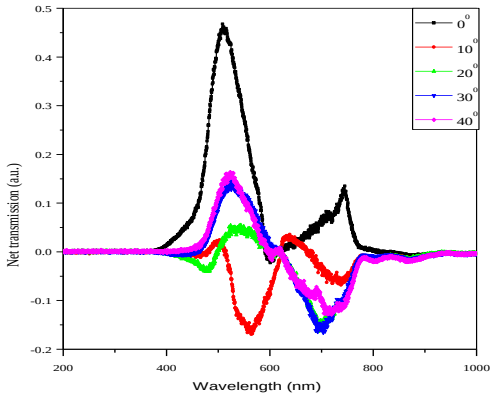
[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]

آورده شده است.




شکل ۷) بررسی نحوه‌ی جابجایی طول موج‌های جذب شده در زوایای سمتی و قطبی مختلف

قابل مشاهده است که کمینه های حاصل از نور عبوری با قطبش s کاملا با قطبش p متفاوت است. تغییرات در نور عبوری با قطبش s می‌تواند به دلیل تغییر راه نوری در اثر تغییر زوایای قطبی حاصل شده باشد. به بیان دیگر تحریک بهینه پلاریتون پلاسمون‌های سطحی در این مورد نقشی ایفا نمی کنند.




شکل ۸) طیف عبوری از نمونه در زوایای قطبی از صفر تا ۴۰ درجه با تابش نور با قطبش S.

واضح است که نتایج ثبت شده به قطبش و زوایای سمتی و قطبی وابسته اند که می توان نتایج را با بررسی چگونگی جفت شدن نور به توری توجیه نمود. تحریک پلاریتون پلاسمون‌های سطحی بر روی توری زمانی اتفاق می‌افتد که شرط پایستگی ممنتوم زیر برقرار باشد:

$$k_{SPP} = n_1 k_0 sin\theta \mp N k_g \qquad (۱)$$

که در آن N عددی صحیح و $n_1 = \sqrt{\varepsilon_1}$ ضریب شکست محیط بالای توری است. زاویه‌ی قطبی θ برای توصیف زاویه‌ی فرود نور لیزر نسبت به بردار عمود بر سطح نمونه مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین انتظار می‌رود برای هر طول موج فرودی، زاویه‌ی تشدید پلاسمون‌های سطحی متفاوت از طول موج‌های دیگر باشد. به عبارت دیگر در تابش نور سفید به سطح نمونه، تنها محدوده‌ی کوچکی از طول موج‌ها در یک زاویه‌ی خاص شرایط تحریک پلاسمون‌های سطحی را پیدا می‌کنند. در حالت متقارن، یعنی وقتی که محیط دی الکتریک اطراف توری فلزی در هر دو طرف مشابه است، طیف پلاریتون پلاسمون‌های سطحی و در نتیجه فرکانس تحریک آن‌ها در هر دو فصل مشترک لایه‌ی فلزی برابر است و این امر منجر به ایجاد شرایط دو تحریکی در برهمکنش نور با مدهای SPP و افزایش شدید عبور نور می‌شود. در این حالت، بر خلاف حالت عادی که انتظار کاهش نمایی شدت نور عبوری از لایه امری بدیهی است، هیچ فاکتور نمایی کاهش دهنده‌ای در رابطه‌ی بهره‌ی عبور وجود ندارد زیرا انتقال انرژی تشدیدی بین حالت‌های موج‌های بلاخ پلاریتون پلاسمون در فصل مشترک‌های متفاوتی رخ می‌دهد [۶].

## نتیجه‌گیری

در این مقاله وابستگی طول موج‌های جذب شده توسط یک توری پراش لایه نشانی شده توسط طلا به زوایای قطبی و سمتی تابش پرتو پهن باند به آن بررسی شد. قابلیت تنظیم طول موج‌های جذب شده توسط تغییر در این زوایا، می‌تواند برای ساخت فیلترها و حسگرهای کوک‌پذیر مورد استفاده قرار گیرد.

## مراجع

[1] S. Butun, N. A. Cinel, and E. Ozbay, "Nanoantenna coupled UV subwavelength photodetectors based on GaN," Opt. Express, 20 (3) 2649 (2012).

[2] V. I. Belotelov, L. L. Doskolovich, and A. K. Zvezdin, "Extraordinary magneto-optical effects and transmission through metal-dielectric plasmonic systems," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 98, no. 7, p. 77401, 2007.

[3] J. Homola, S. S. Yee, and G. Gauglitz, "Surface plasmon resonance sensors: review," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 54, no. 1, pp. 3–15, 1999.

[4] A. Polman and H. A. Atwater, "Photonic design principles for ultrahigh-efficiency photovoltaics," *Nat. Mater.*, vol. 11, no. 3, pp. 174–177, 2012.

[5] B. K. Singh and A. C. Hillier, "Surface plasmon resonance enhanced transmission of light through gold-coated diffraction gratings," *Anal. Chem.*, vol. 80, no. 10, pp. 3803–3810, 2008.

[6] S. Darmanyan and A. Zayats, "Light tunneling via resonant surface plasmon polariton states and the enhanced transmission of periodically nanostructured metal films: An analytical study," *Phys. Rev. B*, vol. 67, no. 3, p. 035424, 2003.



[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]