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

برانگیزش پلاسمون پلاریتون های سطحی توسط توری های ساخته شده از پلیمر آزو و توری های پلی کربنات برای کاربردهای زیست حسگری

آرش آذرخشی ، سهراب احمدی کندجانی،آرش نیک نیازی

دانشگاه تبریز ، پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی

چکیده: در این مقاله امکان برانگیختگی پلاسمون های سطحی توسط توری مورد مطالعه قرار گرفته است همچنین تشکیل توری های برجسته سطحی (*SRG*) بر روی پلیمر آزو توسط آینه لوید با پای توری دلخواه بحث شده است .استفاده از توری های دی وی دی به علت سهولت در تهیه و صرفه اقتصادی پیشنهاد شده و برانگیختگی پلاسمون های سطحی توسط آن ها به روش تجربی مورد آزمایش قرار گرفته است و تاثیر جنس توری فلزی بر کیفیت نمودار در حالت بازتابی نیز بررسی شده است .

کلید واژه- پلاسمون پلاریتون های سطحی،پلیمر آزو ،حسگر زیستی، توری ، دی وی دی

Surface Plasmon polaritons excitation based on Azo-polymer and polycarbonate gratings coupling method for biosensing applications

A.Azarakhshi, S. Ahmadi-Kandjani, A.Nikniazi

Research Institute for Applied Physics and Astronomy (RIAPA), University of Tabriz

Abstract: In this work high-performance grating coupled surface plasmon resonance sensor based on DVD grating and SRG grating is proposed. A polycarbonate surface gratings obtained from commercially available DVD-R stampers and azo polymer are used as substrates and are coated with silver and aluminum thin films. We fabricate SRG on the surface of an azo film by lloyd's mirror setup .Also the effect of metallic thin film on the reflected signal are studied.

Keywords: Biosensors, Plasmon polaritons, SPP, SPR, DVD, Gratings, Azo polymer

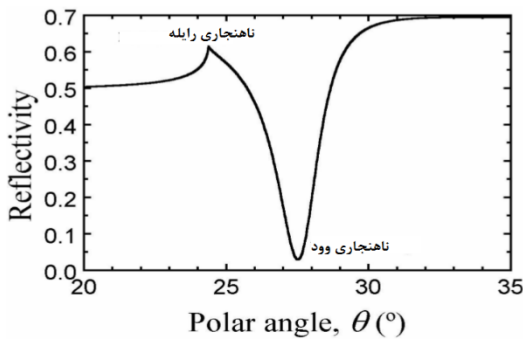
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

۱- مقدمه

حسگرهای زیستی که بر مبنای برانگیزش پلاسمون های سطحی کار می کنند به علت دقت بالا و زمان پاسخ دهی سریع توجه بسیاری را به خود جلب کرده اند. برانگیزش پلاسمون پلاریتون های سطحی (SPP) به روش های مختلفی قابل انجام است. دو روش استفاده از منشور و توری از روش های مرسوم در این زمینه است. استفاده از منشور به علت سهولت در استفاده و دقت بالا، در ساخت حسگرهای زیستی رایج می باشد، اما ساخت حسگرهای مجتمع در اندازه های کوچک و قابل حمل توجه را بار دیگر به توری ها معطوف ساخته است[۱]. از آنجاییکه توری های مورد استفاده در برانگیزش پلاسمون های سطحی دارای پای توری در حدود چند صد نانومتر می باشند، دست یابی به روشی برای ساخت چنین توری هایی با پای توری و ارتفاع دلخواه چالشی پیش پای حسگرهای زیستی بر مبنای توری می باشد.

وود در سال ۱۹۰۲ هنگامیکه یک توری فلزی را تحت تابش نور سفید قرار داد مشاهده نمود که در زوایای متفاوت بازتاب برخی از طول موج ها دارای شدت کمتری هستند[۲]. سال ها بعد رایله با استفاده از رابطه ی پراش طول موج هایی را که با کاهش شدت مواجه می شدند به طور تقریبی پیش بینی نمود. این توصیف که به ناهنجاری رایله معروف است کاهش شدت نور بازتابی را در نزدیکی محل ناپدید شدن مرتبه های پراش نور پیش بینی می کند. اما سال ها بعد محققین دریافتند که ناهنجاری رایله در شدت بازتابی به صورت قله ظهور خواهد کرد در حالی که کاهش شدت، همجوار با این قله و به صورت یک دره ظاهر خواهد شد که به این حالت ناهنجاری وود گفته می شود.



شکل ۱: نمودار تئوری شدت بازتاب از توری طلا با تغییرات زاویه[۳]

کاهش شدت نور بازتابی به علت ایجاد و انتشار امواجی به نام پلاسمون پلاریتون های سطحی (SPP) می باشد. این امواج از کوپل شدن میدان الکتریکی موج الکترومغناطیسی قطبیده TM با الکترون های موجود در سطح رسانا شکل می گیرند. اما از آنجاییکه بردار انتشار SPP از بردار انتشار موج الکترومغناطیسی در ماده شفاف بیشتر می باشد(رابطه ۱ و ۲)، برانگیخته کردن این امواج احتیاج به ساختاری دارد که تغییراتی را در بردار انتشار نور بر روی سطح ایجاد کند[۴].

$$K_{SPP} = K_0 \sqrt{\frac{\varepsilon_m \varepsilon_d}{\varepsilon_m + \varepsilon_d}} \qquad (۱)$$

$$K_{SPP} \succ K_0 \qquad (۲)$$

یکی از ساختارهایی که می تواند بر روی مولفه های بردار انتشار موج تغییر ایجاد کند توری پراش می باشد. عملکرد توری بدین گونه است که در هر مرتبه از پراش مقدار ثابتی به مولفه مماس بر سطح پرتوی فرودی می افزاید. لازم به ذکر است این تغییر به گونه ای است که بردار انتشار کلی نور ثابت می ماند[۴].

$$K_{X_N} = K_0 \sin\theta_N = K_0 \sin\theta \pm NK_g \qquad (۳)$$

در یک زاویه مشخص یکی از مرتبه های پراش مماس بر سطح قرار گرفته و گذرا خواهد شد-ناهنجاری رایله- در نزدیکی این محل شرایط کوپل شدن طبق رابطه زیر به وجود آمده و امواج پلاسمون پلاریتون های سطحی ایجاد می شود. که این منطقه به صورت یک دره در نمودار بازتابی نمود پیدا خواهد کرد .

$$K_{SPP} = K_0 \sin\theta \pm NK_g \qquad (۴)$$

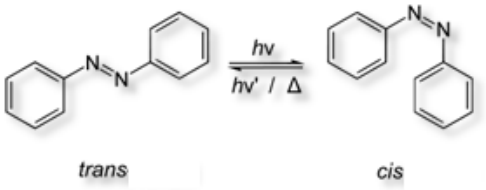
کیفیت نمودار از نظر عمق و پهنا تاثیرات مهمی در کاربردهای زیست حسگری دارد، در نتیجه تغییر پارامترهای توری همچون ارتفاع، پای توری و جنس آن برای دستیابی به یک حالت بهینه امری لازم الاجراست.

یکی از روش های ساخت توری با پای توری و ارتفاع دلخواه استفاده از پلیمر آزو می باشد. پلیمر آزو از دو گروه فنیل و یک پیوند دوگانه N=N تشکیل یافته است و مطابق شکل۳

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

دارای ۲ ساختار ایزومری متفاوت سیس (Cis) و ترنس (Trans) می باشد. در شرایطی که پلیمر آزو تحت نوردهی در ناحیه جذب خود قرار گیرد تبدیلات ساختارها به یکدیگر باعث جهت گیری مولکول های آزو عمود بر قطبش نور فرودی خواهد شد. این تغییر جهت گیری با انتقال جرم همراه بوده و مولکول های آزو در راستای قطبش از مناطق روشن به مناطق تاریک مهاجرت خواهند کرد. با تکیه بر این خاصیت و استفاده از آینه لوید که وظیفه ی ایجاد نقش های تداخلی را بر عهده دارد می توان توری های برجسته سطحی(SRG) را بر روی فیلم پلیمر آزو حکاکی کرد[۵].

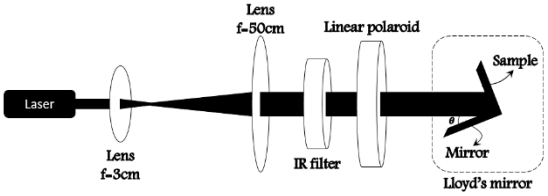


شکل ۲: دو ساختار ایزومری پلیمر آزو که با جذب فوتون و یا به طور گرمایی می توانند به یکدیگر تبدیل شوند[۵].

یکی از راه های آسان دسترسی به توری های با پای توری چند صد نانومتر استفاده از دی وی دی،سی دی و دیسک بلو-ری (Blu-Ray) است. در ابزارهای ذکر شده از توری های سینوسی به منظور ذخیره سازی اطلاعات استفاده شده است، که می توان با جداسازی لایه های مختلف آن ها به توری های سینوسی دسترسی پیدا کرد. توری های موجود در سی دی،دی وی دی و دیسک بلو-ری به ترتیب دارای پای توری ۱۶۰۰، ۷۴۰ و ۴۵۰ نانومتر می باشند. که در قسمت تجربی برانگیختگی پلاسمون پلاریتون های سطحی توسط آن ها مورد بحث قرار گرفته است .

۲- مواد و روش ها

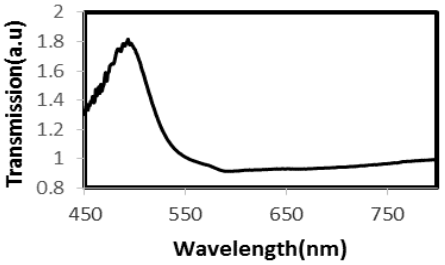
پلیمر آزوی مورد استفاده در این مقاله پلیمر آزو Mb2I می باشد که در آزمایشگاه به روش سنتز بدست آمده است، برای ایجاد توری سینوسی بر روی پلیمر آزو، در ابتدا محلول پلیمر آزو با غلظت ۵۰ میلی گرم بر میلی لیتر توسط روش لایه نشانی چرخشی بر روی فیلم شیشه ای لایه نشانی شده است. سپس با استفاده از لیزر دیود سبز با توان ۱۰۰ میلی وات و طول موج ۵۳۲ نانومتر که در ناحیه جذب پلیمر آزو قرار دارد و با به کارگیری چینش آینه لوید (شکل ۳) طرح سینوسی بر روی فیلم آزو حکاکی شده است. مراحل ساخت طرح های برجسته سطحی در مرجع [5] بیان شده که در این مقاله تنها برای ساخت توری های پراش مراحل تکرار شده است. روش های مرسوم برای ساخت توری هایی در ابعاد نانو لیتوگرافی و حکاکی نوری بر سطح فیلم پلیمر آزو می باشند.



شکل ۳ : آرایش تجربی آینه لوید برای ایجاد توری سینوسی بر روی نمونه پلیمر آزو

در مرحله بعد نقره با خلوص ۹۹,۹٪ توسط روش لایه نشانی تبخیری در خلاء با ضخامت ۳۰ نانومتر بر روی توری پلیمری لایه نشانی شده است.

با استفاده از طیف سنجی نور عبوری، نور عبوری از تراشه ی حاصل برای قطبش TM برای محل دارای توری نسبت به محل بدون توری رسم گردیده است، که قله ی ظاهر شده نشان دهنده برانگیختگی پلاسمون پلاریتون های سطحی در طول موجی معین می باشد .



شکل ۴: نمودار نسبت طیف عبوری پلیمر آزوی لایه نشانی شده با نقره با توری به طیف عبوری پلیمر آزوی لایه نشانی شده با نقره بدون توری

برای مشاهده پدیده SPR در توری های حاصل از DVD در ابتدا لایه های مختلف از یکدیگر جدا شده و لایه ای از پلی کربنات شفاف پس از شست و شو در الکل جهت استفاده انتخاب شده و نقره با خلوص 99.9% بر روی توری پلی کربنات لایه نشانی شده است.

از سویی دیگر یکی از لایه ها که دارای آلیاژی از فلز

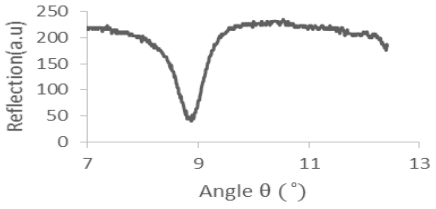
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

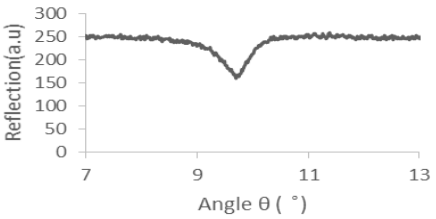
آلومینیوم می باشد به طور مستقیم مورد استفاده قرار گرفته است. برای بررسی پدیده ی SPR در این حالت به علت بازتابی بودن تراشه ها از روش تغییرات زاویه بهره گرفته شده است، در این حالت لیزر هلیم نئون با طول موج ۶۳۲ نانومتر در یک میز چرخان با قطبش TM به نمونه تابانده شده و بازتاب این پرتو رسم شده است .

شکل ۵ مربوط به فیلم پلی کربنات لایه نشانی شده با آلیاژ آلومینیوم و شکل ۶ مربوط به پلی کربنات لایه نشانی شده با نقره می باشد. زاویه های بدست آمده در تشدید SPP در بحث تجربی که در نمودار به صورت دره ظاهر شده اند در تطابق مناسبی با مدل بندی انجام شده در روابط (۱) ،(۳) و (۴) می باشند.

همچنین نمودارهای SPR با عمق بیشتر امکان ساخت زیست حسگرهای دقیق تری را فراهم می آورند. همانطور که از شکل های (۵) و (۶) واضح است، توری لایه نشانی شده با آلیاژ آلومینیوم دارای عمق بیشتری است .



شکل۵ : نمودار شدت بازتابی از دی وی دی با توری از جنس آلیاژ آلومینیوم



شکل ۶: نمودار شدت بازتابی از دی وی دی با توری از جنس نقره

۳- نتیجه گیری

با استناد به آزمایش های صورت گرفته افزایش شدت عبوری در طیف عبوری و کاهش شدت در پرتو بازتابی که هر دو از اثرات پدیده SPR می باشند به وضوح قابل مشاهده است.

توری تشکیل شده از پلیمر آزو که پارامترهایی نظیر ارتفاع توری و پای توری را برای دست یافتن به حالتی بهینه در اختیار ما می گذارد می تواند انتخابی بهینه برای کاربردهای زیست حسگری دقیق باشد. همچنین استفاده از ابزارهایی همچون دی وی دی به علت صرفه اقتصادی و سهولت در دسترسی به شرط استفاده از فلز مناسب می تواند به دقت های مناسبی دست یابد و انتخاب معقولی برای کاربردهای زیست حسگری باشد . از طرفی محدودیت این ابزارها در مشخصات توری ها همانند پای توری و عمق توری ها بهینه سازی نمودارهای SPR را مشکل تر خواهد ساخت .

مراجع

[1] Turker, Burak, et al. "Grating coupler integrated photodiodes for plasmon resonance based sensing." *Lab on a Chip* 11.2 (2011): 282-287.

[2] Wood, R. W. "XLII. On a remarkable case of uneven distribution of light in a diffraction grating spectrum." *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 4.21 (1902): 396-402.

[3] Alastair Paul Hibbins.Grating coupling of surface plasmon polaritons at visible and microwave frequencies.PHD Thesis.November 1999.

[4] Zhu, Jun, et al. "Design of a surface plasmon resonance sensor based on grating connection." *Photonic Sensors* 5.2 (2015): 159-165.

[5] S. Ahmadi-Kandjani, P. Tajalli, H. Khoshsima, R. Barille, J. –M. Nunzi, S. Kucharski, and H. Tajalli" Birefringence Properties and Surface Relief Grating Formation on Methylacrylate Polymers with Photochromic Side Chains", International Journal of Optics and Photonics (IJOP), Vol. 4, No. 1, Winter-Spring 2010

[6] Hu, Changkui, and Deming Liu. "High-performance grating coupled surface plasmon resonance sensor based on Al-Au Bimetallic layer." *Modern Applied Science* 4.6 (2010): 8.

[7] Chiang, Hai-Pang, Jing-Lun Lin, and Zhi-Wei Chen. "High sensitivity surface plasmon resonance sensor based on phase interrogation at optimal incident wavelengths." *Applied physics letters* 88.14 (2006): 1105.

[8] Viswanathan, NirmaláK, DongáYu Kim, and SukantáK Tripathy. "Surface relief structures on azo polymer films." *Journal of Materials Chemistry* 9.9 (1999): 1941-1955.

[9] Raether, H. "Dispersion relation of surface plasmons on gold- and silver gratings." *Optics Communications* 42.4 (1982): 217-222.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]