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 قطبشگرهای پهن باند بر پایه نانوتوری‌های پلاسمونی جفت شده

مجتبی زمانی، سیده مهری حمیدی و رضا مسعودی

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

چکیده – قطبشگر ها از جمله المان های بسیار مهم در اپتیک به شمار می روند که محققان به دنبال معرفی انواع مختلف این قطبشگر ها هستند. در این گزارش قطبشگر ای پهن باند در بازه طول موجی مرئی با استفاده از توریهای فلزی آماده سازی گردیده و میزان قطبندگی انها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان گر میزان قطبندگی ۲۷ درصدی در توریهای فلزی به هم چسبیده از جنس پلی کربنات و نقره است که می تواند افق جدیدی در قطبشگر های پلاسمونیکی بگشاید.

کلید واژه- قطبشگر، توریهای فلزی، قطبشگر های پلاسمونیکی، پلاریتون پلاسمون سطحی.

Broadband optical polarizer based on plasmonic coupled nanograting

Mojtaba Zamani and Seyedeh Mehri Hamidi, Reza Masoudi

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

Abstract- scientists try to introduce and develop new structures based on the plasmonics. In this paper we try to design and fabricate a new plasmonic polarizer based on metal nano-grating consist of silver thin film on polycarbonante gratings. Our results show the 28 % polarized light in overall visible light. This new devices can open a new insight in plasmonic based polarizers.

Keywords: Polarizer, metal gratings, plasmonic gratings, surface Plasmon polariton.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

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

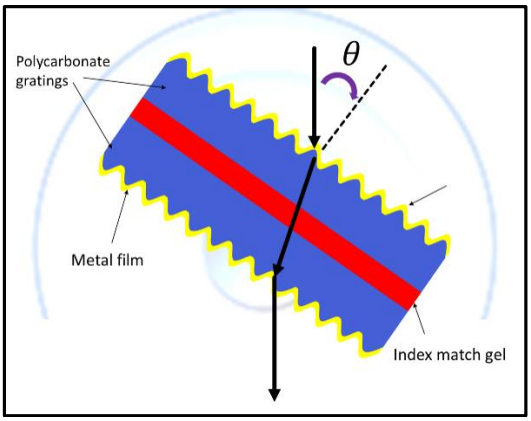
۱- مقدمه

نور قطبیده دارای کاربردهای زیادی در ساخت صفحات نمایشگر، ژیروسکوپ‌های بر پایه‌ی فیبر نوری، ایزولاتورهای اپتیکی و حسگرهای پلاسمونیکی است. روش‌های زیادی برای ایجاد و بررسی نور قطبیده وجود دارد. قطبشگرهایی نظیر قطبشگرهای شبکه سیمی[۱]، قطبشگرهای جاذب[۲] و قطبشگرهای تقسیم کننده‌ی نور[۳] به میزان قابل توجهی برای تولید نور قطبیده مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳-۱]. امروزه بهره گیری از پلاسمونیک در زمینه طراحی و ساخت قطبشگر ها مورد توجه فراوان قرار گرفته است [۴]. در این طراحی ها از پلاریتون پلاسمون های سطحی به منظور جایگزیده نمودن نور و تغییر قطبش نور فرودی استفاده می شود. در راستای بهره گیری از این ساختارهای پلاسمونی، پلاریتون پلاسمونهای جایگزیده و پلاریتون پلاسمون های انتشاری سطحی مورد استفاده قرار می گیرند که یکی از پر کاربرد ترین آنها، توریهای فلزی هستند.

در این گزارش، توریهای فلزی در کنار یکدیگر به منظور تولید قطبشگر مورد استفاده قرار گرفته و میزان قطبندگی نور حاصله در آنها مورد تحلیل قرار گرفته است.

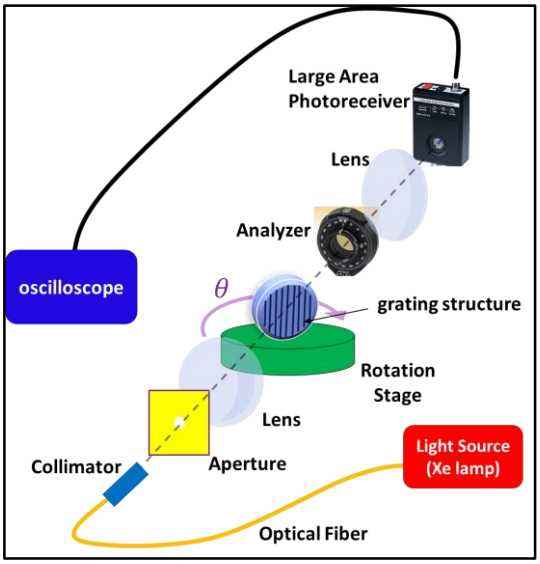
۲- تولید و مشخصه یابی قطبشگر های فلزی

توریهای فلزی مورد استفاده در این گزارش، از ترکیب توری دی الکتریک پلی کربنات با تناوب ۷۰۰ نانومتر و عمق ۱۴۰ نانومتر و لایه نازک نقره تشکیل شده است که به کمک روش لایه نشانی فیزیکیِ حرارتی به ضخامت ۱۲۰ نانومتر در هندسه لایه نشانی مایل[۴] با زوایای ۶۰ و ۷۰ درجه آماده سازی شده اند. پس از تهیه توریهای فلزی، دو توری با استفاده از ژل تطبیق دهنده امپدانس به یکدیگر اتصال یافته و سه نمونه آماده گردید(شکل ۱). نمونه های مورد سنجش، شامل دو توری یکسان با زوایای رشد مایل ۶۰ درجه، دو توری یکسان با زوایای رشد ۷۰ درجه و دو توری متفاوت با زاویه رشد ۶۰ و ۷۰ درجه هستند.



شکل ۱: چیدمان قرار گرفتن توریهای فلزی آماده شده جهت تشکیل قطبشگر.

در مرحله بعد، قطبشگر های آماده شده در چیدمان اپتیکی اندازه گیری قرار گرفته اند، به این ترتیب که نور عبوری غیر قطبیده از یک لامپ گسترده زنون پس از گذشتن از موازی ساز و شکاف، از نمونه گذشته و به کمک تحلیلگر[۵] چرخان و پس از عبور از عدسی، توسط توان سنج اپتیکی تحلیل گردیده است (شکل ۲).



شکل ۲: چیدمان اپتیکی سنجش پاسخ قطبشگر فلزی.

هر کدام از توریهای فلزی با زوایای رشد مایل ۶۰ و ۷۰ درجه نیز در این چیدمان، با حضور ژل تطبیق دهنده امپدانس در پشت نمونه ها، مورد سنجش قرار گرفته اند. نتایج حاصل از این اندازه گیریها در بخش بعد به تفضیل آورده شده است.

[۱] Wire-grid polarizer
[۱] Absorptive polarizer
[۱] Beam-splitting polarizer

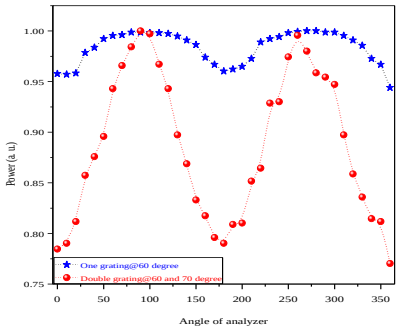
[۴] Oblique angle deposition

[۵] Analyzer

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

۳- پاسخ قطبشگرهای فلزی

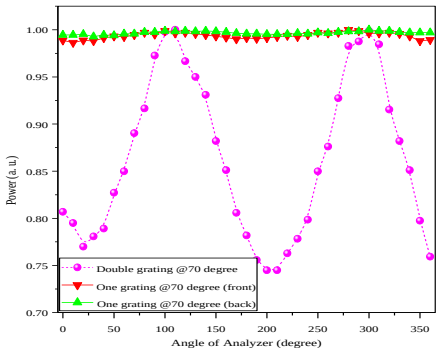
نتایج حاصل از اندازه گیری هر کدام از توریهای فلزی ۶۰ و ۷۰ درجه به تنهایی، در کنار جفت توریهای فلزی در شکل ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۳: پاسخ قطبشگر های فلزی به تفکیک یک قطبشگر با زاویه رشد ۶۰ درجه (مثلث) و دو قطبشگر متصل به هم با زوایای ۶۰ و ۷۰ درجه (دایره).

همچنانکه از این نمودار بر می آید، اتصال دو قطبشگر با زوایای رشد ۶۰ و ۷۰ درجه در کنار یکدیگر، به دلیل اختلاف در جهت ارجح رشد، قطبندگی ۲۲ درصدی (نقاط دایروی) در مقابل قطبندگی ۵ درصدی در نمونه توری فلزی با جهت رشد ۶۰ درجه به تنهایی (نقاط مثلثی) ایجاد نموده است.

از سوی دیگر، اتصال دو توری با جهت رشد یکسان ۷۰ درجه در کنار یکدیگر نیز قادر به تولید قطبش ۲۷ درصدی در کنار یک توری ۷۰ درجه با برخورد از روی نمونه و یا از پشت آن می باشد (شکل ۴).



شکل ۴: پاسخ قطبشگر های فلزی به تفکیک یک قطبشگر با زاویه رشد ۷۰ درجه با برخورد باریکه از رو و یا از پشت توری (مثلث بالا و پایین) و دو قطبشگر متصل به هم با زاویه رشد یکسان ۷۰ درجه (دایره).

میزان قطبندگی حاصل شده در توریهای فلزی با زاویه رشد ۷۰ درجه از قطبش گر معادل با زاویه رشد ۶۰ درجه و همچنین قطبش گر حاصل از اتصال دو توری با زاویه های رشد ۶۰ و ۷۰ درجه بیشتر شده است. این میزان افزایش، به زاویه ی بیشترِ لایه نازک رشد داده شده روی توری پلی کربنات در زاویه ۷۰ درجه مربوط می شود. همچنین تغییر دو جهت ارجح رشد در توریهای ۶۰ و ۷۰ درجه می تواند عامل دیگری در کم شدن میزان قطبندگی باشد.

نکته مورد تامل و مفید دراین نوع قطبشگر ها پاسخ پهن باند آنها در بازه طول موجی مرئی است و می توان از آنها به عنوان قطبشگر های پهن باند مرئی بهره جست.

فرود نور با قطبش TE بر روی توری فلزی نمی‌تواند منجر به تحریک SPP شود، در حالی که فرود نور با قطبش TM نیز نمی‌تواند منجر به چرخش قطبش شود. توری فلزی پاسخ اپتیکی متفاوتی به قطبش‌های مختلف نشان می‌دهد و بنابراین مانند یک فلز غیر همسانگرد همگن دو شکستی تک محور عمل می‌کند. تانسور ثابت دی‌الکتریک موثر مربوط به این محیط به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\varepsilon_{eff} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{\parallel} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{\perp} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{\perp} \end{pmatrix} \qquad (۱)$$

در این رابطه $\varepsilon_{\parallel}$ و $\varepsilon_{\perp}$ به ترتیب گذردهی در جهت بردار توری و عمود بر آن خواهد بود. با استفاده از نظریه‌ی محیط موثر[۶]، المان‌های غیر صفر تانسور به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$\varepsilon_{\parallel} = \frac{\varepsilon_m \varepsilon_0}{(1-f)\varepsilon_m + f\varepsilon_0} \qquad (2)$$

$$\varepsilon_{\perp} = f\varepsilon_m + (1-f)\varepsilon_0 \qquad (3)$$

غیرهمسانگردی ایجاد شده توسط توری فلزی منجر به تغییر علامت زاویه‌ی موثر با تغییر زاویه‌ی سمتی می‌شود. به عبارت دیگر وقتی قطبش به موازات بردار توری است، توری فلزی به صورت دی‌الکتریکی با گذردهی مثبت عمل می‌کند و وقتی قطبش عمود بر بردار توری است، توری به صورت فلزی با پاسخ گذردهی منفی عمل می‌کند. در

[۶] Effective medium theory

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

صورت تابش نور غیرقطبیده به نمونه، هر دو قطبش TE و TM می‌توانند SPP را تحریک کنند زیرا هردوی آن‌ها دارای میدان الکتریکی عمود بر بردار توری هستند.

چرخش قطبش به دلیل جابجایی فاز نسبی بین مولفه‌های TE و TM و ثابت انتشار پایین مولفه‌ی TE و ثابت انتشار بالاتر جفت‌شدگی TM به SPP ایجاد می‌شود. ضریب موثر مولفه‌ی TE به دلیل جفت‌شدگی، کمتر از ضریب موثر مولفه‌ی TM است. این جابجایی فاز نسبی بین مولفه‌های عمودی باعث چرخش قطبش ۹۰ درجه‌ای در نور عبوری می‌شود [6].

در واقع در این نانوساختار پلاسمونیکی در یک طرفِ فیلم فلزی، نور به پلاسمون های سطحی تبدیل می‌شود، سپس این پلاسمون‌ها به سطح پشتی تونل می‌زنند و در آنجا مجددا به فوتون‌ها تبدیل شده و آشکارسازی می گردند.

در حالتی که یک توری در مسیر باریکه قرار می گیرد، عبور به دلیل ذکر شده حادث می شود، اما در صورتی که دو توری مشابه با فاصله ای که از مرتبه طول انتشار پلاسمون های سطحی بیشتر باشد، ضخامت ژل تطبیق دهنده، به یکدیگر متصل شوند، به دلیل یکی بودن مدهای پلاسمونی می توان انتظار درصد عبور بیشتری از این ساختار را داشت. تاکید بر بیشتر بودنِ ضخامت لایه میانی به این دلیل است که باریکه های بازتاب شده از سطح دوم، با پلاسمونهای تولید شده از سطح اولیه بازترکیب نمی شوند.

از سوی دیگر به دلیل زاویه دار بودن لایه های نقره ی رشد داده شده در سطح توریِ اولیه ی پلی کربنات، می توان قطبیده شدن نور فرودی را توجیه نمود.

۴- نتیجه‌گیری

در این گزارش، توریهای فلزی با زوایای رشد مختلف از جنس نقره، روی بستره توری پلی کربنات رشد داده شده و امکان قطبیده نمودن نور در بازه طول موجی مرئی مورد تحقیق قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از قطبیده شدن ۲۸ درصدی نور فرودی در دو توری فلزی به هم چسبیده با زاویه رشد ۷۰ درجه است که می تواند به عنوان شروعی از قطبشگر های پهن باند معرفی گردد.

مراجع

[1] Y. Wakabayashi, J. Yamauchi, and H. Nakano, "*A TM-Pass / TE-Stop Polarizer Based on a Surface Plasmon Resonance*," vol. 2011, 1, 2011.

[2] Z. Ye, J. Zheng, S. Sun, S. Chen, and D. Liu, "*Compact Color Filter and Polarizer of Bilayer Metallic Nanowire Grating Based on Surface Plasmon Resonances*," Plasmonics, 23, 555, 2012.

[3] Z. Ye, Y. Peng, T. Zhai, Y. Zhou, and D. Liu, "*Surface plasmon-mediated transmission in double-layer metallic grating polarizers*," J. Opt. Soc. Am. B, 28, 502, 2011.

[4] D. W. C. So and S. R. Seshadri, "*Thin-film grating polarizer*," Opt. Lett., 19, 469, 1994.

[5] K. Gurel, B. Kaplan, H. Guner, M. Bayindir, and A. Dana, "*Resonant transmission of light through surface plasmon structures*," Appl. Phys. Lett., 94, 233102, 2009.

[6] P. Arora and A. Krishnan, "*Imaging of polarization rotation in transmission resonances of periodic plasmonic structures*," in *SPIE Photonics Europe*, 2014, p. 91261–91261.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]