



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 - قطبشگرها از جمله المان‌های بسیار مهم در اپتیک به شمار می‌روند که محققان به دنبال معرفی انواع مختلف این قطبشگرها هستند. در این گزارش قطبشگر ای پهن باند در بازه طول موجی مرئی با استفاده از توریه‌های فلزی آماده سازی گردیده و میزان قطبندگی آنها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان گر میزان قطبندگی ۲۷ درصدی در توریه‌های فلزی به هم چسبیده از جنس پلی کربنات و نقره است که می‌تواند افق جدیدی در قطبشگرهای پلاسمونیک بگشاید.

کلید واژه - قطبشگر، توریه‌های فلزی، قطبشگرهای پلاسمونیک، پلاریتون پلاسمون سطحی.

## Broadband optical polarizer based on plasmonic coupled nanograting

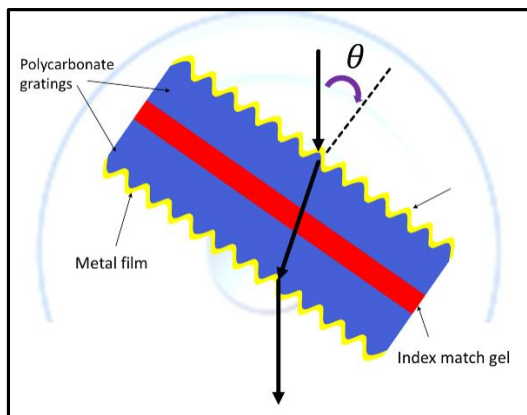
Mojtaba Zamani and Seyedeh Mehri Hamidi, Reza Masoudi

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 polycarbonate gratings. Our results show the 28 % polarized light in overall visible light. This new devices can open a new insight in plasmonic based polarizers.

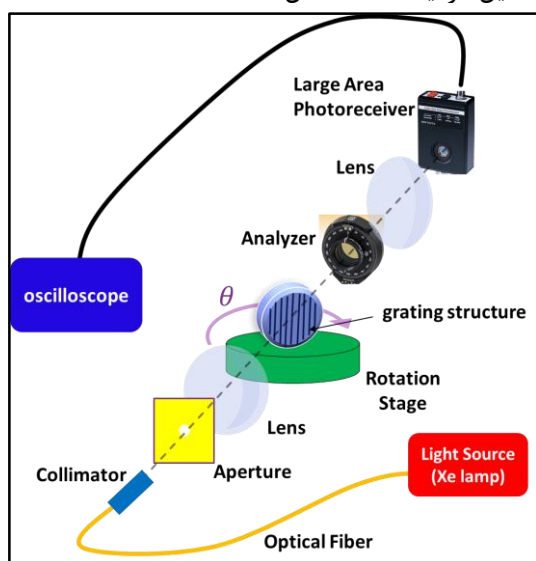
Keywords: Polarizer, metal gratings, plasmonic gratings, surface Plasmon polariton.

## ۱- مقدمه



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

در مرحله بعد، قطبشگرهای 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<sup>۵</sup> 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 تفصیل آورده شده است.

نور قطبیده دارای کاربردهای زیادی در ساخت صفحات نمایشگر، ژئروسکوپهای بر پایه فیبر نوری، ایزولاتورهای اپتیکی و حسگرهای پلاسمونیک است. روشهای زیادی برای ایجاد و بررسی نور قطبیده وجود دارد. قطبشگرهایی نظیر قطبشگرهای شبکه سیمی<sup>۱</sup>، قطبشگرهای جذب<sup>۲</sup> و قطبشگرهای تقسیم کننده نور<sup>۳</sup> به میزان قابل توجهی برای تولید نور قطبیده مورد استفاده قرار می گیرند [۱-۳]. امروزه بهره گیری از پلاسمونیک در زمینه طراحی و ساخت قطبشگرها 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 قطبشگرهای فلزی

توریهای فلزی مورد استفاده در این گزارش، از ترکیب توری دی الکترونیک پلی کربنات با تناوب ۷۰۰ نانومتر و عمق ۱۴۰ نانومتر و لایه نازک نقره تشکیل شده است که به کمک روش لایه نشانی فیزیکی حرارتی به ضخامت ۱۲۰ نانومتر در هندسه لایه نشانی مایل<sup>۴</sup> 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.

<sup>۴</sup> Oblique angle deposition

<sup>۵</sup> Analyzer

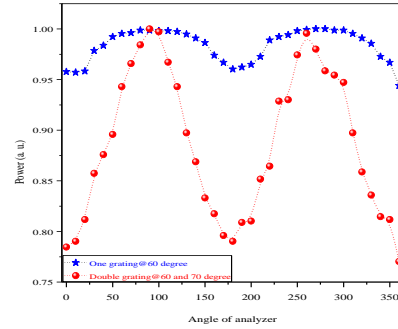
<sup>۱</sup>Wire-grid polarizer

<sup>۲</sup>Absorptive polarizer

<sup>۳</sup>Beam-splitting polarizer

### ۳- پاسخ قطبشگرهای فلزی

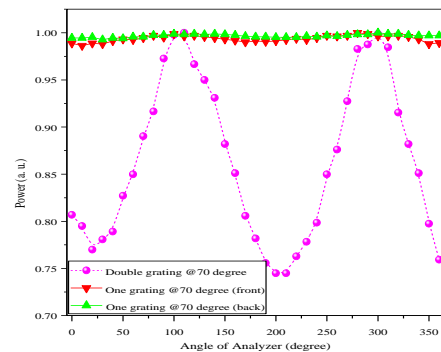
نتایج حاصل از اندازه گیری هر کدام از توریهای فلزی ۶۰ و ۷۰ درجه به تنهایی، در کنار جفت توریهای فلزی در شکل ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۳: پاسخ قطبشگرهای 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 قطبشگرهای 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 قطبشگر معادل با زاویه رشد ۶۰ درجه و همچنین قطبشگر حاصل از اتصال دو توری با زاویه های رشد ۶۰ و ۷۰ درجه بیشتر شده است. این میزان افزایش، به زاویه ی بیشتر 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 در این نوع قطبشگرها پاسخ پهن باند آنها در بازه طول موجی مرئی است و می توان از آنها به عنوان قطبشگرهای پهن باند مرئی بهره جست. فرود نور با قطبش TE بر روی توری فلزی نمی تواند منجر به تحریک SPP شود، در حالی که فرود نور با قطبش TM نیز نمی تواند منجر به چرخش قطبش شود. توری فلزی پاسخ اپتیکی متفاوتی به قطبشهای مختلف نشان می دهد و بنابراین مانند یک فلز غیر همسانگرد همگن دو شکستی تک محور عمل می کند. تانسور ثابت دی الکتریک موثر مربوط به این محیط به صورت زیر بیان می شود.

$$\epsilon_{eff} = \begin{pmatrix} \epsilon_{||} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{\perp} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{\perp} \end{pmatrix} \quad (1)$$

در این رابطه  $\epsilon_{||}$  و  $\epsilon_{\perp}$  به ترتیب گذردهی در جهت بردار توری و عمود بر آن خواهد بود. با استفاده از نظریه ی محیط موثر<sup>۶</sup>، المانهای غیر صفر تانسور به صورت زیر بیان می شوند:

$$\epsilon_{||} = \frac{\epsilon_m \epsilon_0}{(1-f)\epsilon_m + f\epsilon_0} \quad (2)$$

$$\epsilon_{\perp} = f\epsilon_m + (1-f)\epsilon_0 \quad (3)$$

غیرهمسانگردی ایجاد شده توسط توری فلزی منجر به تغییر علامت زاویه ی موثر با تغییر زاویه ی سمتی می شود. به عبارت دیگر وقتی قطبش به موازات بردار توری است، توری فلزی به صورت دی الکتریکی با گذردهی مثبت عمل می کند و وقتی قطبش عمود بر بردار توری است، توری به صورت فلزی با پاسخ گذردهی منفی عمل می کند. در

<sup>۶</sup> Effective medium theory

## 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.

صورت تابش نور غیرقطبیده به نمونه، هر دو قطبش TE و TM می‌توانند SPP را تحریک کنند زیرا هر دو 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 نانو ساختار پلاسمونیک در یک طرف فیلم فلزی، نور به پلاسمون‌های سطحی تبدیل می‌شود، سپس این پلاسمون‌ها به سطح پشتی تونل می‌زنند و در آنجا مجدداً به فوتون‌ها تبدیل شده و آشکارسازی می‌گردند. در حالتی که یک توری در مسیر باریکه قرار می‌گیرد، عبور به دلیل ذکر شده حادث می‌شود، اما در صورتی که دو توری مشابه با فاصله‌ای که از مرتبه طول انتشار پلاسمون‌های سطحی بیشتر باشد، ضخامت زل تطبیق دهنده، به یکدیگر متصل شوند، به دلیل یکی بودن مدهای پلاسمونی می‌توان انتظار درصد عبور بیشتری از این ساختار را داشت. تاکید بر بیشتر بودن ضخامت لایه میانی به این دلیل است که باریکه‌های بازتاب شده از سطح دوم، با پلاسمونهای تولید شده از سطح اولیه باز ترکیب نمی‌شوند. از سوی دیگر به دلیل زاویه دار بودن لایه‌های نقره‌ی رشد داده شده در سطح توری اولیه‌ی پلی‌کربنات، می‌توان قطبیده شدن نور فرودی را توجیه نمود.

## ۴- نتیجه‌گیری

در این گزارش، توریهای فلزی با زوایای رشد مختلف از جنس نقره، روی بستره توری پلی‌کربنات 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 می‌تواند به عنوان شروعی از قطبشگرهای پهن باند معرفی گردد.