بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۴-۱۲ 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

عبور نور با قطبش دایروی از یک فراسطح فلزی شامل نانوحفره‌های L شکل

عباس قاسم‌پور اردکانی، خاطره مرادی

بخش فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز

چکیده – در این مقاله، یک فراسطح بر پایه‌ی یک لایه‌ی نازک نقره شامل آرایه‌ای منظم از نانوحفره‌های L شکل پیشنهاد می‌شود. یک نور با قطبش دایروی چپگرد و راستگرد به صورت عمودی به ساختار موردنظر تابیده شده و طیف عبوری و انعکاسی آن محاسبه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که فراسطح طراحی شده به چپگرد و راستگرد بودن قطبش نور دایروی حساسیت زیادی نشان می‌دهد. این ساختار می‌تواند برای تشخیص چپگرد یاراستگرد بودن قطبش دایروی و فیلتر برای این نوع قطبش به کار رود. همچنین اثر تغییر طول بازوی افقی نانوحفره‌ی L شکل و ضخامت فراسطح بر ناحیه طول موجی که در آن سیستم به چپگرد و راستگرد بودن حساسیت نشان می‌دهد بررسی می‌شود.

کلید واژه- پلاسمون، فراسطح، قطبش دایروی، نانوحفره.

Transmission of circularly polarized light through a metallic metasurface containing L-shaped nanoholes

Abbas Ghasempour Ardakani, Khatereh Moradi

Department of Physics, College of Science, Shiraz University, Shiraz 71454, Iran

Abstract- In this paper, a metasurface is proposed based on a silver thin film containing an ordered array of L-shaped nanoholes. A left and right-handed circularly polarized light is normally incident onto the proposed structure and its reflection and transmission spectra are calculated. Our simulated results show that the designed metasurface is significantly sensitive to the left and right-handed circular polarizations. This structure can be used to determine whether the incident circularly polarized light is left-handed or right-handed. Furthermore, it can be used as a filter for this type of polarization. Also, the effects of changing the horizontal arm of the L-shaped nanohole and thickness of metasurface are investigated on the wavelength region at which sensitivity to the left and right-handed circular polarization occurs.

Keywords: Plasmon, Metasurface, Circular Polarization, Nanohole.

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

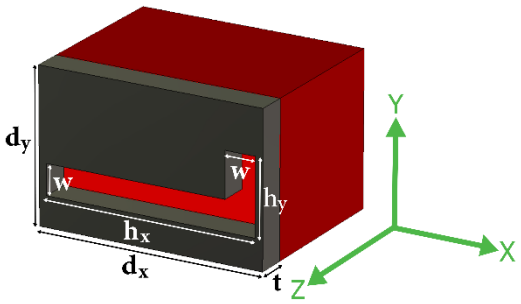
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

۱- مقدمه

قطبش نور یکی از مهم‌ترین مباحث در بسیاری از زیرشاخه‌های اپتیک و فوتونیک است. به عنوان مثال، این خاصیت نور در ارتباطات اپتیکی، ذخیره‌سازی داده‌ها، ساخت حسگرها و نمایشگرها مورد استفاده قرار می‌گیرد. قطبش-گرهای خطی جدید آرایه‌ی نازکی از نانومیله‌ها هستند و پهنای باند فرکانسی وسیعی دارند. اما تولید نور با قطبش دایروی بسیار چالش برانگیزتر است. قطبش دایروی به صورت مصنوعی در آزمایشگاه تولید و فیلتر می‌شود ولی دارای پهنای باند محدودی است. بر خلاف آن، در طبیعت بعضی گونه‌های زنده کنترل به مراتب بهتری روی نور با قطبش دایروی دارند و در پهنای باند بسیار وسیع‌تری عمل می‌کنند. این موجودات با استفاده از این اطلاعات گران بها قادر به علامت دادن، دفاع و جهت یابی هستند [۱و۲]. بنابراین بسیار بجاست که از ساختارهای زنده برای تولید و فیلتر نور دایروی الگوبرداری کرده و سیستم‌های فوتونیکی جدیدی را طراحی کرد. در این باب، فراماده اپتیکی، به عنوان مواد ایده‌آل پیشنهاد می‌شوند تا قطبش‌گرهای نسل جدید را ایجاد کنند [۳]. فراماده، موادی مصنوعی ساخت بشر هستند که دارای ساختارهای زیر طول موج بوده که به صورت تناوبی در یک الگو قرار گرفته‌اند. ویژگی‌های جمعی این مواد معمولاً، در فرکانس‌های اپتیکی، در مواد طبیعی قابل دسترس نیستند. می‌توان با تغییر اندازه و ترتیب قرارگیری اجزای الگو، خواص جمعی اپتیکی فراماده را به راحتی کنترل کرد. اگر چه فراماده سه بعدی بسیار جذاب هستند، ساخت آن‌ها بر اساس روش‌هایی مانند نانولیتوگرافی بسیار مشکل می‌باشد. اما ساخت فراماده دو بعدی بر اساس این روش‌ها راحت‌تر است. بنابراین، در سال‌های اخیر، لایه-های نازک الگوبندی شده‌ی دو بعدی که به آن‌ها فراسطح یا فرالایه می‌گویند، به شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند [۳و۴]. در سال‌های اخیر، از فراسطوح برای ساخت قطبش‌گرها و فیلترهای دایروی استفاده شده است. به عنوان مثال نشان داده شده است که لایه‌های فلزی شامل آرایه‌ای از نانوحفره-ها می‌توانند برای تشخیص نور با قطبش دایروی استفاده شوند [۳]. همچنین نشان داده شده است که آرایه‌ای از نانوساختارها می‌تواند برای تبدیل نور با قطبش خطی به دایروی استفاده شود [۵]. در این مقاله، یک لایه‌ی نازک از جنس نقره شامل آرایه‌ای از نانوحفره‌های L شکل طراحی می‌شود و نشان می‌دهیم که این آرایه‌ی بسیار نازک می‌تواند به عنوان یک فیلتر برای نور با قطبش دایروی چپگرد (LCP) و راستگرد (RCP) عمل کند. همچنین نشان داده می‌شود این ساختار به چپگرد و راستگرد بودن نور حساس است و می‌تواند برای تشخیص چپگرد و راستگرد بودن نور با قطبش دایروی مورد استفاده قرار گیرد. در نهایت نشان داده می‌شود که پارامترهای مختلف ساختار چگونه بر عمکرد تراشه‌ی طراحی شده تأثیر می‌گذارد.

۲- طراحی ساختار و شبیه‌سازی

در این مقاله، یک لایه‌ی نازک نقره به ضخامت t در نظر می‌گیریم که روی یک زیرلایه از شیشه با ضریب شکست ۱/۵ لایه نشانی شده است. روی این لایه‌ی نازک آرایه‌ای از نانوحفره‌های L شکل ایجاد می‌کنیم. در شکل ۱، طرحواره‌ای از سلول واحد ساختار طراحی شده نشان داده شده است. در شکل ابعاد سلول واحد با d_x و d_y و طول بازوی افقی و عمودی نانوحفره‌ی L شکل با h_x و h_y و همچنین پهنای بازوی افقی و عمودی با w نشان داده شده است.



شکل ۱: طرحواره‌ای از سلول واحد فراسطح طراحی شده.

فرض می‌شود یک پرتوی نوری با قطبش دایروی چپگرد و راستگرد با طول موج‌های مختلف به صورت عمودی بر فراسطح طراحی شده تابیده می‌شود. برای محاسبه‌ی ضرایب عبور و بازتاب این پرتوی نوری، از نرم افزار CST استفاده می‌شود که بر اساس الگوریتم FIM (finite integration method) کار می‌کند.

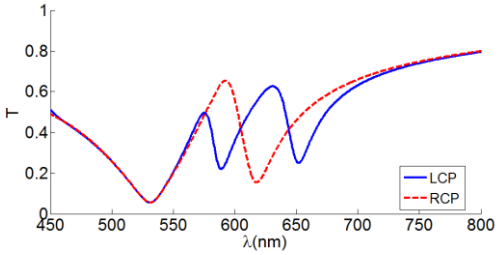
۳- بحث و نتایج عددی

در ابتدا، حساسیت ساختار فراسطح طراحی شده به چپگرد و راستگرد بودن نور با قطبش دایروی را بررسی می‌کنیم.

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

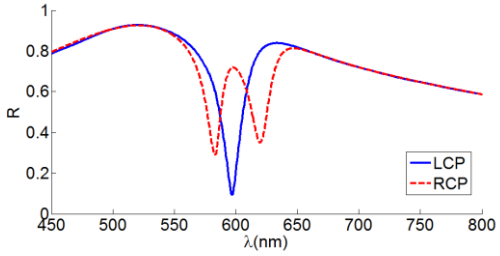
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

پارامترهایی که برای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد به صورت h_x=140 ،t=20nm ،d_y=100 nm ،d_x=150 nm ،nm h_y=50 nm وw=20 nm است. فرض می‌شود که نور با قطبش دایروی از مبدأ مختصات در جهت محور z به صورت عمودی به فراسطح تابیده می‌شود. در شکل ۲، طیف عبور از ساختار مورد نظر برای قطبش‌های دایروی چپگرد و راستگرد نشان داده شده است.



شکل ۲: طیف عبور از ساختار طراحی شده برای قطبش‌های دایروی چپگرد و راستگرد.

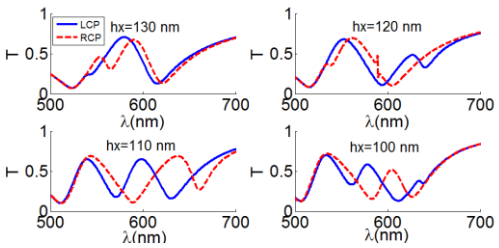
همان‌گونه که مشاهده می‌شود طیف عبور از ساختار در بعضی از نواحی طول موجی به چپگرد یا راستگرد بودن نور با قطبش دایروی حساسیت بیشتری نشان می‌دهد. برای مثال در طول موج ۶۱۷ نانومتر، ضریب عبور برای قطبش چپگرد ۰/۵۵ و برای قطبش راستگرد ۰/۱۵ است. بنابراین ساختار مورد نظر می‌تواند برای تشخیص چپگرد و راستگرد بودن نور با قطبش دایروی مورد استفاده قرار گیرد. در شکل ۳ نیز طیف انعکاسی رسم شده است و همانطور که انتظار داریم طیف انعکاسی نیز به چپگرد و راستگرد بودن نور با قطبش دایروی حساس است.



شکل ۳: طیف انعکاسی از ساختار طراحی شده برای قطبش‌های دایروی چپگرد و راستگرد.

بنابراین نتایج عددی ارائه شده نشان می‌دهد که یک لایه نقره‌ای نازک شامل آرایه‌ای از نانوحفره‌های L شکل می‌تواند به عنوان یک نانوآشکارساز برای تشخیص چپگرد یا راستگرد بودن قطبش دایروی در یک ناحیه طول موجی مشخص عمل کند. دلیل این اثر می تواند ناشی از این باشد که مدهای پلاسمونی جایگزیده در آرایه‌ی نانوحفره‌های فلزی و جفت شدگی بین آن‌ها به چپگرد و راستگرد بودن نور فرودی بستگی دارد.

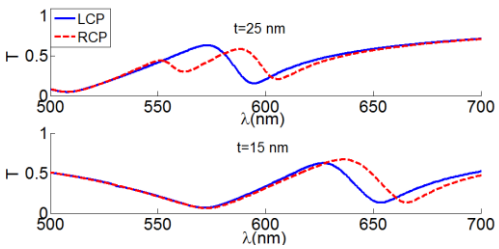
حال بررسی می‌کنیم که این ناحیه‌ی طول موجی مشخص چگونه به تغییر پارامترهای فراسطح طراحی شده بستگی دارد. ابتداپارامتر h_x با مقادیر مختلف ۱۳۰ و ۱۲۰ و ۱۱۰ و ۱۰۰ نانومتر را بررسی کردیم و نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: طیف عبور از ساختار طراحی شده برای قطبش‌های دایروی چپگرد و راستگرد به ازای طول‌های مختلف بازوی افقی نانو حفره.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود ناحیه‌ی طول موجی حساس به چپگرد و راستگرد بودن قطبش دایروی به تغییر پارامتر h_x حساس است. لذا می‌توانیم با تغییر h_x، ناحیه‌ی طول موجی مطلوبی که می‌خواهیم برای تشخیص چپگرد و راستگرد بودن نور با قطبش دایروی مورد استفاده قرارگیرد را کنترل کنیم. لازم به ذکر است که هر چه اختلاف طول بازوی افقی و عمودی کمتر شود، حساسیت فراسطح طراحی شده به چپگرد و راستگرد بودن نور با قطبش دایروی نیز کمتر می‌شود. به عنوان مثال برای h_x=60 nm، طیف عبوری نور با قطبش دایروی چپگردو راستگرد تفاوت قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر ندارند.

در مرحله بعد ضخامت فراسطح طراحی شده (t) را به ترتیب ۱۵ و ۲۵ نانومتر قرار دادیم. نتایج متناظر در شکل ۵ نشان داده شده است.



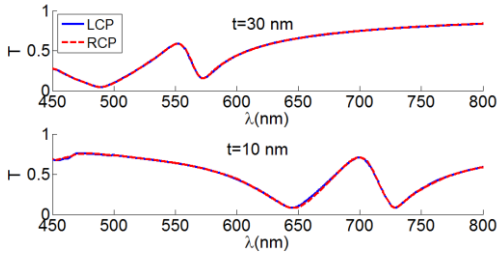
شکل ۵: طیف عبور از ساختار طراحی شده برای قطبش‌های دایروی

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

چپگرد و راستگرد به ازای ضخامت‌های فراسطح با مقادیر ۲۵ و ۱۵ نانومتر.

لازم به ذکر است که بقیه پارامترها شبیه به پارامترهای تعریف شده برای شکل ۲ است. همانگونه که نتایج در شکل ۵ نشان می‌دهد، در اینجا نیز می‌توانیم با تغییر t، ناحیه طول موجی مطلوبی که می‌خواهیم چپگرد و راستگرد بودن نور با قطبش دایروی تشخیص داده شود را کنترل کنیم. همچنین مشاهده می‌کنیم که حساسیت تراشه به چپگرد و راستگرد بودن، فقط در یک محدوده ضخامتی خاص اتفاق می‌افتد و در ضخامتی بیشتر و کمتر از این محدوده، تراشه به چپگرد و راستگرد بودن نور با قطبش دایروی حساس نیست. برای مثال طیف عبور برای ضخامت های ۳۰ و ۱۰ نانومتر بررسی شده و نتایج در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل۶: طیف عبور از ساختار طراحی شده برای قطبش‌های دایروی چپگرد و راستگرد به ازای ضخامت‌های فراسطح با مقادیر ۳۰ و ۱۰ نانومتر.

۴- نتیجه گیری

یک ساختار با نانوحفره‌های L شکل از جنس نقره طراحی شد. محاسبات نشان داد که این ساختار به چپگرد یا راستگرد بودن نور با قطبش دایروی حساس است. اثرات تغییر ضخامت و تغییر طول بازوی افقی نانوحفره بررسی شد. نتایج نشان داد با تغییر این پارامترها می‌توان ناحیه طول موجی مطلوب برای تشخیص چپگرد و راستگرد بودن نور با قطبش دایروی را کنترل کرد.

مراجع

[1] T. H. Chiou, S. Kleinlogel, T. Cronin, R. Caldwell, B. Loeffler, A. Siddiqi, A. Goldizen, J. Marshall, "Circular polarization vision in a stomatopod crustacean", Curr. Biol., Vol. 18, pp. 429-434, 2008.

[2] N. W. Roberts, T. H. Chiou, N. J. Marshall, T. W. Cronin, "A biological quarter-wave retarder with excellent achromaticity in the visible wavelength region", Nat. Photonics, Vol. 3, pp. 641-644, 2009.

[3] Z. Yang, A. Alù, "Manipulating light polarization with ultrathin plasmonic metasurfaces", Physical Review, *B* 84, no. 20, pp. 205428-1- 205428-6, 2011.

[4] Awan, Z. A. "Reflection and transmission properties of a metasurface composed of resonant loaded wire dipoles", Applied Optics, Vol. 55, No. 15, pp. 4219-4226, 2016.

[5] Wang, Feng, et al, "Polarization conversion with elliptical patch nanoantennas", Applied Physics Letters Vol 101, 023101-1 - 023101-4 ,2012.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]