بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۱۱-۶۶-۱۰-A

دو رنگی دایروی در نمونه پلاسمونی دوبعدی مربعی ساده

سیده طاهره سجادیان، ندا روستایی و سیده مهری حمیدی

m_hamidi@sbu.ac.ir

آزمایشگاه مگنتوپلاسمونیک،پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهیدبهشتی،تهران،ایران

چکیده–اخیرا نانو ساختارهای پلاسمونی نامتقارن به دلیل اهمیت بیشائبه‌شان در اکثر زمینه‌های علمی بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. در این پژوهش،یک ساختار پلاسمونی دو بعدی دارای تقارن کامل شبکه به روش لیتوگرافی نرم تولید شده است و با چرخاندن نمونه در زوایای مختلف اثرات دو رنگی دایروی قوی‌ای حاصل شده است. این نوع اثرات عدم تقارن که به عنوان اثرات عدم تقارن اپتیکی غیر ذاتی شناخته می‌شود در سال‌های اخیر به عنوان یک مساله چالش برانگیز توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. از آنجا که دست‌یابی به ساختارهای نامتقارن دارای محدویت‌هایی شامل هزینه بالا و زمان‌بر بودن فرایند ساخت می‌باشد، با بهینه‌سازی هندسه این نوع ساختارهای متقارن می‌توان به سهولت به اثرات عدم تقارن اپتیکی قوی دست پیدا کرد که به تبع از اثرات عدم تقارن اپتیکی ذاتی بسیار قوی‌تر است.

کلید واژه- اثرات عدم تقارن اپتیکی، دو رنگی دایروی، ساختارهای پلاسمونی.

Circular Dichroism in simple cubic Two-Dimensional plasmonic sample

Seyedeh Tahereh Sajjadian, Neda Roostaei, and Seyedeh Mehri Hamidi

Magnetoplasmonic lab, Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti university, Tehran, Iran

m_hamidi@sbu.ac.ir

Abstract- Recently, chiral plasmonic nanostructures have received a lot of attention in most scientific fields due to their undoubted importance. In this research, a two-dimensional plasmonic structure with the complete lattice symmetry has been fabricated by the softlithography method and then strong circular dichroism effects have been achieved by rotating the sample at different angles. This type of chiral effect, known as non-intrinsic chiroptical effect, has attracted a lot of attention in recent years as a challenging issue. Since the achieving chiral structures has limitations such as high cost and time consuming manufacturing process, by optimizing the geometry of this type of symmetrical structures, it is easy to achieve strong chiroptical effects, which are much stronger than the inherent chiroptical effects.

Keywords: Circular dichroism,chiroptical effect,plasmonic nanostructure.

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

مقدمه

دورنگی دایروی به عنوان یکی از پدیده‌های مهم فعالیت نوری، در موادی با ساختار نامتقارن رخ می‌دهد و به صورت اختلاف جذب نور با قطبش‌های دایروی راستگرد و چپگرد تعریف می‌شود. دو رنگی دایروی به دلیل کاربردهای بسیار زیاد در زمینه‌های مختلف اپتیکی همانند حسگرها، ایزومرهای نوری، داروسازی و ... توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این پدیده به ساختار ماده بستگی دارد و بنابراین در تعداد محدودی از مواد، با ساختارهای نامتقارن با عدم تقارن در کل ساختار و یا در نقطه شبکه‌ای ساختارهای متقارن، ظهور کرده است[۱]. این خاصیت که تقریبا توسط همه مولکول‌های زیستی به نمایش گذاشته شده به عنوان نشانه‌ای از حیات روی زمین شناخته می‌شود[۲]. اکثر مولکول‌های زیستی و به عنوان مثال ۱۹ مورد از ۲۰ آمینو اسید رایج که پروتئین‌ها را تشکیل می‌دهند دارای ساختار نامتقارن اپتیکی هستند. بنابراین عدم تقارن اپتیکی مولکول برای تشخیص بسیاری از بیماری‌ها امری ضروری است.

در راستای رسیدن به این ساختارهای مفید در محیط‌های آزمایشگاهی و بهره‌گیری از آن‌ها در زمینه‌های مختلفی مانند حسگری، روش‌های متنوعی پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به بهره‌گیری از تغییر دامنه میدان در ساختارها اشاره کرد. در این میان، ساختارهای پلاسمونی به دلیل فراهم کردن امکان کنترل توزیع دامنه میدان و اعمال عدم تقارن، به عنوان گزینه خوبی جهت این منظور معرفی شده‌اند[۳-۲]. تاکنون گزارش‌های زیادی در خصوص ساختارهای پلاسمونی دو رنگ ثبت شده است [۴]. اما تفاوت واضح بین ساختارهای پلاسمونی دورنگ ذاتی و غیرذاتی [۵]، پژوهشگران را به سمت به‌کارگیری ساختارهای متقارن پلاسمونی سوق داده است.

دراینپژوهش،یک ساختار پلاسمونی دو بعدی متقارن تولید شده است و نشان داده شده است که با چرخاندن نمونه در زوایای متفاوت، آرایه‌های کاملاً متقارن دو بعدی پلاسمونی، اثرات عدم تقارن اپتیکی قوی‌ای ایجاد می‌کنند که این اثرات عدم تقارن اپتیکی غیرذاتی می‌توانند بسیار قوی‌تر از اثرات عدم تقارن اپتیکی ذاتی باشند.

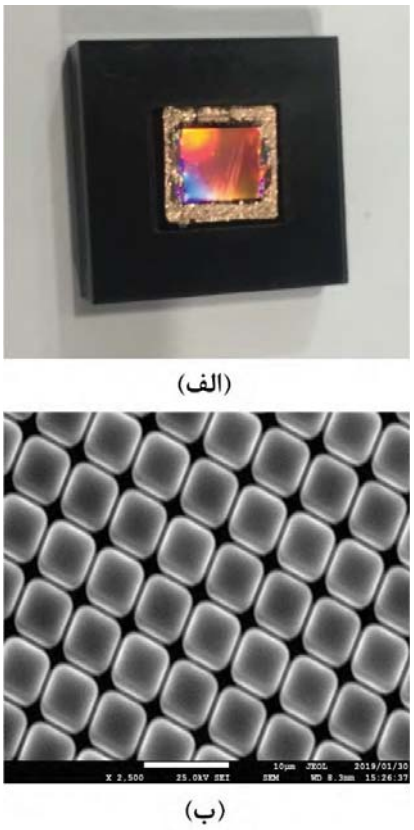
ساختارپیشنهادی: ساخت و اندازه‌گیری

ساختار پلاسمونی تولید شده شامل ماده پلیمری پلی‌دی متیل‌سیلوکسان(PDMS) به عنوان زیرلایه است که لایه نازکی از طلا به ضخامت ۳۵ نانومتر به عنوان ماده پلاسمونی به روش PVD بر روی آن لایه‌نشانی شده است. جهت ایجاد طرح متناوب دو بعدی بر روی زیرلایه حاوی PDMS، طرحی کسی‌سی‌دی دوربین عکاسی که در واقع یک توری دو بعدی می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفته است.بدین منظور، ۰.۲ گرم از ماده PDMSو ۰.۰۲ گرم از ماده سفت‌کننده(با نسب وزنی ۱:۱۰) بر روی سی‌سی‌دیود رونقالب آماده‌شده، ریخته شده است. محفظه حاوی نمونه جهت حباب‌گیری به مدت ۱۵ دقیقه در خلاء قرار داده شده است. سپس جهت خشک شدن و تثبیت طرح سی سی‌دی بر روی PDMS، در بازه‌های زمانی و دماهای مختلف، نمونه بر روی هیتر قرار داده می‌شود. در مرحله اول به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، در مرحله دوم به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و در مرحله آخر به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نمونه بر روی هیتر قرار داده می‌شود. سپس نمونه به مدت ۲۴ ساعت در فضای آزاد قرار داده می‌شود تا تثبیت نهایی طرح بر روی ماده انجام گیرد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، سی‌سی‌دی را از قالب حاوی PDMS جدا کرده و بدین ترتیب یک نمونه PDMS دارای طرح متناوب دو بعدی خواهیم داشت. در نهایت، ۳۵ نانومتر طلا به روش PVD بر روی زیرلایه PDMS لایه نشانی شده است (شکل ۱-(الف)). تصویر SEM ساختار پلاسمونی دو بعدی تولید شده در شکل ۱-(ب) آورده شده است.

چیدمان آزمایشگاهی اندازه‌گیری دو رنگی دایروی شامل قطبش‌گر، عدسی، شانه فرنل و آشکارساز است. نور

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

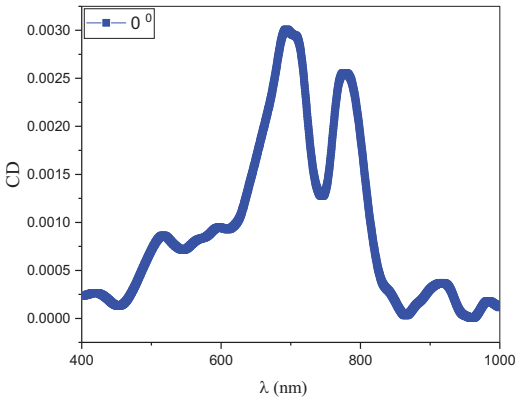
قطبیده خطی فرودی (در دو جهت عمود بر هم) از طریق شانه فرنل به قطبیده دایروی چپگرد و راستگرد (بسته به جهت قطبش نور فرودی) تبدیل می‌شود.



شکل۱. (الف) نمونه پلاسمونی دو بعدی تولید شده، (ب) تصویرSEMساختار پلاسمونی دو بعدی کاملاً متقارن تولید شده.

سپس نور قطبیده دایروی به نمونه تابیده می‌شود و نور عبوری از نمونه به ازای قطبشهای دایروی چپگرد و راستگرد توسط طیفسنج ثبت می‌شود. به این ترتیب دو رنگی دایروی نمونه موردنظر قابل اندازه‌گیری خواهد بود. میزان این پاسخ در تابش ترمال و به ازای زاویه قطبی صفر درجه نمونه، در شکل ۲ نشان داده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود برای ساختار پلاسمونی پیشنهاد شده علی رغم تقارن کامل شبکه، دو رنگی دایروی خوبی حاصل شده است و در طول موج متناسب با تشدید پلاسمونی شبکه ای، معادل با ۶۵۰ نانومتر، کمینه شده و به ازای دو قله تشدید اصلی، میزان بیشینه دورنگی دایروی به دست آمده است.



شکل۲. طیف دورنگی دایروی به دست آمده برای نمونه پلاسمونی مربعی دو بعدی

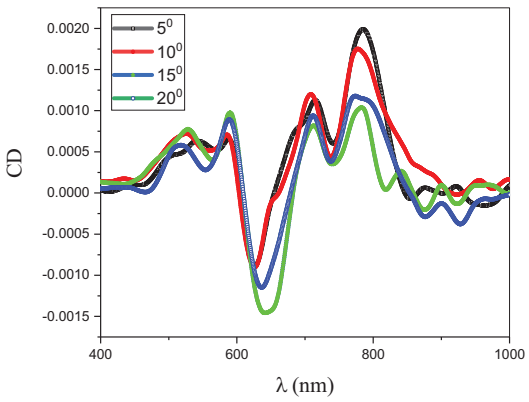
اما وجود دورنگی دایروی در ساختارهای پلاسمونی متقارن، ریشه اصلی در مدهای پلاسمونی و چگونگی جهت گیری دامنه های میدان پلاسمونی در سلول واحد شبکه دارد. به منظور اطمینان از این جهت گیری و تاثیر آن در میزان دو رنگی دایروی، نمونه را در راستای قطبی به اندازه ۲۰ درجه با گام های ۵ درجه ای چرخانده ایم و داده های عبوری به ازای دو قطبش را ثبت نموده ایم (شکل ۳). در واقع با چرخاندن نمونه،پلاسمون‌ها روی محورهای اصلی شبکه توزیع نامتقارنی را خواهند داشت و در نتیجه پلاسمون‌ها به‌صورت نامتقارن تحریک خواهند شد.همچنین در نمودار شکل ۳ همان‌طور که مشاهده می‌شود در زاویه ۰ درجه به دلیل اینکه همپوشانی صفحه نور فرودی با صفحه اصلی شبکه (شامل محورهای اصلی شبکه) کمتر است، ساختار تولید شده در این زاویه پاسخ دو رنگی دایروی قوی‌تری از خودنشان می‌دهد.

با مقایسه شکل های ۲ و ۳، ظهور مد جدیدی در طول موج ۶۳۰ نانومتر تایید شده است که با افزایش ۱۰ درجه ای در زاویه، به اندازه ۱۰ نانومتر، جابجایی قرمز در این مد جدید داشته است.

همچنین افزایش در میزان دو رنگی دایروی با تغییر همپوشانی صفحه نور فرودی و سلول واحد بلور پلاسمونی تولید شده، مشاهده می شود. در نقطه مقابل، کمتر شدن

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

میزان دورنگی در مدهای غالب به ازای فرود عمود و زاویه قطبی صفر، به همراه حابجایی آبی با افزایش زاویه قطبی نکته جالب توجه دیگری است که باید با بررسی توزیع دامنه میدان در سلول واحد پلاسمونی مورد تحلیل قرار گیرد.



شکل ۳.طیف دورنگی دایروی به دست آمده برای نمونه پلاسمونی مربعی دو بعدی به ازای زوایای قطبی مختلف نمونه.

در واقع با چرخاندن نمونه در زوایای قطبی متفاوت، آرایه های کاملاً متقارن دو بعدی پلاسمونی،اثراتعدم تقارن اپتیکی قوی‌ای در مدهای افقی و عمودی پلاسمونی ایجاد می‌کنند که این اثرات عدم تقارن اپتیکی غیر ذاتی می توانند بسیار قوی‌تر از اثرات عدم تقارن اپتیکی ذاتی باشند. این امر به‌دلیل چرخش محورهای تقارن شبکه، خارج از صفحه فرود ایجاد می‌شود. همچنین وابستگی قطبش دایروی به تحریک پلاسمون-پلاریتون‌های سطحی (SPPs)، یک فرآیند اساسا وابسته به فاز است که به شدت به هندسه و همچنین جزئیات چرخاندن ساختار بستگی دارد که تعیین می‌کند چه مدی تداخل سازنده یا مخرب را تجربه خواهد کرد. این واقعیت در طول موج نزدیک به تشدید پلاسمون سطحی شبکه ای در ساختار پیشنهادی ما ظاهر شده است. در حالی که در ساختارهای غیرمتقارن، پلاسمون-پلاریتون های موضعی که معمولا در فواصل کوچک‌تر از طول موج امتداد دارند، چنین وابستگی فازی ندارند.

نتیجه‌گیری

دو رنگی دایروی معمولاً در ساختارهای نامتقارن رخ می دهد. از آنجا که دست‌یابی به ساختارهای نامتقارن دارای محدودیت‌هایی شامل هزینه بالا و زمان‌بر بودن فرایند ساخت می‌باشد، بهینه‌سازی ساختارهای متقارن برای دست‌یابی به اثرات عدم تقارن اپتیکی قوی مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، یک ساختار پلاسمونی دو بعدی متقارن به روش لیتوگرافی نرم تولید شده است و برای ساختار پلاسمونی پیشنهاد شده علیرغم تقارن کامل شبکه، دورنگی دایروی خوبی حاصل شده است. وابسنگی این دو رنگی دایروی به عدم تقارن مدهای پلاسمونی انتشاری در دو امتداد بردارهای شبکه ای در این پژوهش بررسی شده است و نشان داده شده که با جهت گیری این مدها، میتوان به دورنگی دایروی قوی تری در مد جدید متناسب با تشدید پلاسمونی شبکه ای دست یافت.

مرجع‌ها

[1] W. Feng, U. Kadiyala, J. Yan, Y. Wang, V. J. DiRita, J. S. VanEpps, and N. A. Kotov,“Plasmonic nanoparticles assemblies templated by helical bacteria and resulting optical activity”, Chirality, Vol. 32, No. 7, pp. 899-906, 2020.

[2] J. Sachs, J. P. Günther, A. G. Mark, and P. Fischer, “Chiroptical spectroscopy of a freely diffusing single nanoparticle”, Nature communications 11, No. 1,pp. 1-7, 2020.

[3] X. Wang, and Z. Tang, “Circular dichroism studies on plasmonic nanostructures”, Small, Vol. 13, No. 1,pp. 1601115, 2017.

[4] Z. Hu, D. Meng, F. Lin, X. Zhu, Z. Fang, and X. Wu,“Plasmonic circular dichroism of gold nanoparticle based nanostructures”, Advanced Optical Materials, Vol. 7, No. 10, pp. 1801590, 2019.

[5] M. Schäferling, *Chiral nanophotonics*, Springer Series in Optical Sciences 205, 2017.

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