طراحی و شبیه سازی فیلتر پلاسمونیکی چند لایه مبتنی بر آرایه ای از نانوذرات نقره جاسازی شده در لایه ژرمانیوم در طول موج مخابراتی

سیده زینب ابراهیمی، آیدین امینی، سعید گل‌محمدی

دانشکده مهندسی فناوری های نوین، دانشگاه تبریز

چکیده- در این مقاله عملکرد آرایه متناوبی از نانوذرات کروی از جنس نقره ،تحت عنوان فیلتر پلاسمونیکی ارائه شده است. هدف طراحی و شبیه سازی باشد. در ساختار ارائه شده، آرایه نانوذرات در بستری از جنس نانوساختار پیشنهادی به‌عنوان فیلتر تنظیم پذیر نوری برای کاربردهای مخابراتی می ژرمانیوم قرار داده شده است. هدف از این ترکیب مواد افزایش شدت میدان محلی در حد فاصل آرایه‌ی نانوذرات و لایه‌ی پوششی ژرمانیوم بوده که به نوبه خود افزایش چشمگیری را دراندازه میدان جایگزیده توسط این آرایه را به دنبال خواهد داشت. تابش نور در محدوده‌ی مادون قرمز منجر به تحریک پلاسمون‌های سطحی موضعی در نانوذرات شده و با هیبریداسیون بین ذرات، فرکانس رزونانس این امواج سطحی به پنجره مخابراتی انتقال یافته است. تزویج نور به این امواج سطحی موضعی باعث حبس شدن نور بصورت میدان محلی در حدفاصل بین نانوذرات شده و عملکرد فیلتری را در پنجره) استفاده شده FDTDمخابراتی بهبود می‌بخشد. به منظور مدل سازی و بررسی عملکرد ساختار ارائه شده از روش عددی تفاضل محدود در حوزه زمان (است. در این بررسی، تاثیر ابعاد لایه‌ها و نانوذرات بر کیفیت حبس میدان محلی و طیف فیلترینگ، مورد مطالعه قرار گرفته است.

کلید واژه : فیلتر پلاسمونیکی، طول موج مخابراتی، نانو ذرات نقره، ژرمانیوم.

Designing and simulating of plasmonic multilayer filters based on Ag nanoparticles arrays embedded in Ge layer on communication wavelength

Seyyedeh Zainab Ebrahimi, Aydin Amini and Saeed Golmohammadi

School of engineering emerging technologies, University of Tabriz

Abstract- In this paper, a periodic array of Silver spherical-nanoparticles is considered to act as a tunable plasmonic filter in telecommunication window, in which, the array is embedded by a layer of Germanium and set on the silicon dioxide substrate. The purpose of this material configuration is to increase the local fiend between adjacent nanoparticle and Ge layer which in turn increases the absorption of optical fields by nanoparticles in array. Illumination at infrared region excites localized surface plasmons (LSPRs) of silver nanoparticles and due to the hybridization between these nanoparticles in array, the resonance frequency LSPRs red-shifts to telecommunication window. Coupling between LSPRs and incident field leads to confining optical field at the gap distance between nanoparticles and improves the quality of filtering at telecommunication window in the terms of optical absorption at the wavelength of interest. Finite difference time domain (FDTD) method have been used to both calculate filtering spectra and local field between adjacent nanoparticles. Also, the effect of size parameters of nanoparticles on quality of optical confinement and filtering spectra have been studied.

Keywords: plasmonic filter, communication wavelength, Ag nanoparticles, Ge

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

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

۱- مقدمه

از فیلترهای نوری در سیستم های تصویربرداری رنگی و طیفی برای جداسازی نور طول موج‌های مختلف استفاده می‌شود[1]. فیلترهای نوری معمولی با استفاده از تکنیک لایه‌های نازک ساخته می‌شوند. همچنین این فیلترها مشکلاتی چون: ابعاد بزرگ و توان مصرفی بالا حین فرآیند ساخت دارند. بنابراین اخیراً به‌جای فیلترهای معمولی، فیلترهای چند لایه پلاسمونیکی بدلیل مزایایی همانند ابعاد کوچک، تلورانس نسبتاً کم زاویه‌ی فرودی و توانایی هدایت مؤثر نور مورد توجه زیادی قرار گرفته اند. همچنین برای این فیلترهای ابعاد کوچک کاربردهای بسیاری مانند، انتخاب پهنای باند گسترده، باند باریک، باند میان‌گذر و باند کناری را ذکر نمود [1].

در ادامه به خلاصه‌ای از کارهای انجام شده در این زمینه اشاره خواهیم نمود.

کارتیک کومار و همکارانش آرایه های مختلفی از نانودیسک های فلزی نقره و طلا بر روی یک سطح بازتابنده قرار دادند تا بتوانند با استفاده از آن ساختار تصویری رنگی در حد پراش نوری چاپ کنند[2].چندی بعد، گوانگ یوان و همکارانش نیز با استفاده از آرایه‌ای از نانومیله‌های نقره، فیلترهای رنگی بازتابنده طراحی کردند که با تغییر هندسه آرایه‌ها، طول موج فیلتر حاصل نیز متغیر بود[3]. فیلترهایی با خواص بازتابندگی مطلوب در طول موج طیف مرئی برای آرایه ای از نانوذرات هسته-پوسته‌دار نقره وسیلیکا جاسازی شده درون ماتریکس پلیمری هم در مقاله[4] توسط چیا وی هسو و همکارانش ساخته شد.

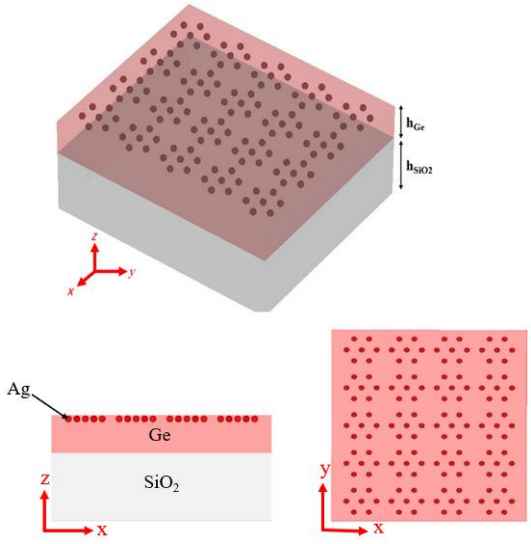
در مقاله‌ی [5] خواص فیلترینگ برای شبکه ای از نانوذرات فلزی با مقطع بیضوی که بر روی لایه‌ای از ITO لایه‌نشانی شده و کل ساختار داخل ماده‌ی سیلیکا جاسازی شده در بازه‌ی مرئی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. ساختار طوری طراحی شده‌است تا قله بازتاب با حداقل تلفات جذب و حداکثر میانگین سطح گذار به-دست آید.

در این مقاله طراحی و شبیه سازی فیلترهای نوری بر اساس آرایه‌ای متناوب از نانوذرات نقره کروی مدفون در ژرمانیوم که مابین دو لایه از جنس سیلیکا قرار گرفته-است، انجام شده است. هدف طراحی فیلتر برای کارکرد در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر می باشد.

فیلتری که در این مقاله به طراحی و شبیه سازی آن پرداخته‌ایم، دامنه انتقالی تقریبی ۸۰٪ با قله رزونانسی بیشینه در طول موج مخابراتی را دارد.

۲- ساختار و روش شبیه سازی

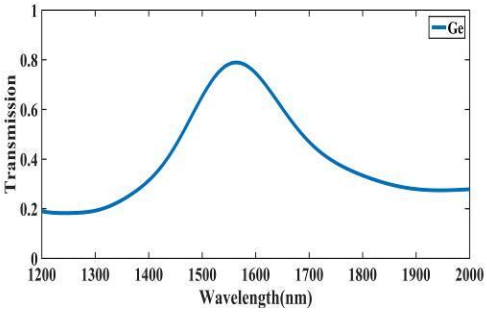
در ساختار پیشنهادی آرایه‌ای متناوب از نانوذرات کروی از آلیاژ نقره با شعاع 11 نانومتر و ضخامت (h_{Ag}) و ثابت شبکه متناوب 44 نانومتر در راستای محورهای مختصاتی x و y را درون لایه‌ای از جنس ژرمانیوم با ضخامت بهینه (h_{Ge}) در حدود 355 نانومتر بر روی بستری از جنس سیلیکا با ضخامت (h_{sio2}) ۱۰۰۰ نانومتر قرار می‌دهیم. شرایط مرزی در راستای عمود بر ساختار بصورت لایه‌های جاذب PML و در راستای موازی با آن بصورت شرایط مرزی متناوب در نظر گرفته شده است. به‌منظور تحریک ساختار از یک منبع موج تخت با شدت ۱ وات بر میکرومتر مربع در جهت z- با گستره‌ی طول موجی ۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ نانومتر از بالای ساختار و عمود بر آن استفاده شده است. دقت فضایی در هر سه راستا ۰/۵ نانومتر مد نظر گرفته شده است. ساختار فیلتر پلاسمونیکی پیشنهادی در این مقاله در محیط نرم افزار FDTD SOLUTION شبیه سازی و مورد ارزیابی قرار گرفته‌است [6].



شکل۱. شماتیک دو و سه بعدی از ساختار پیشنهادی

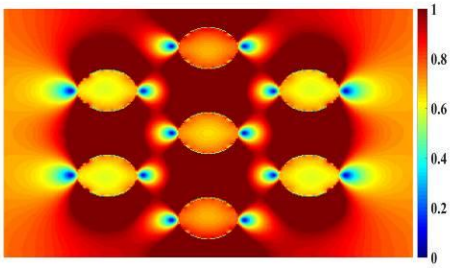
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]



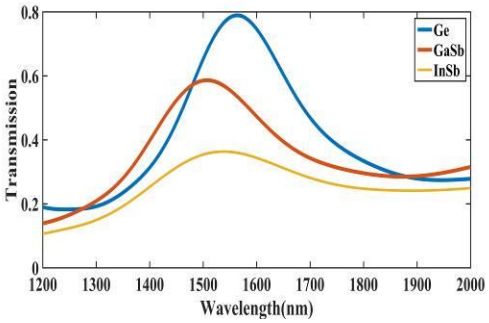
شکل ۲. نمودار طیف عبور هنگامیکه از آرایه متناوب با ثابت شبکه ۴۴ نانومتر از نانوذراتی کروی از جنس نقره با شعاع ۱۱ نانومتر داخل لایه‌ای از ژرمانیوم با ضخامت ۳۵۵ نانومتر قرار داده ایم.

طیف عبور حاصل از شبیه سازی برای ساختار پیشنهادی در شکل۲ نشان داده شده‌است. همانطور که ملاحظه می-شود، ژرمانیوم با شیفت فرکانس پلاسمون سطحی منجر به تشکیل قله رزونانسی در طول موج مخابراتی شده است. به‌منظور مقایسه کیفیت رزونانس پلاسمونیکی نانوذرات فلزی و نیمه‌هادی، از طیف شدت محلی در مرز بین نانوذرات بهره می‌گیریم زیرا میزان میدان محلی گویای میزان تزویج نور ورودی به مد پلاسمونیکی می‌باشد. شکل۳ میدان محلی ایجاد شده در حد فاصل بین نانوذرات نقره در یک سلول واحد از شبکه را نشان می-دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، به هنگام استفاده از لایه ژرمانیوم و نانوذرات نقره بدلیل بالا بودن ضریب گذردهی منفی فلزات نسبت به نیمه‌هادی‌های آلایش شده، شدت میدان در مرز بین نانوذرات و لایه ژرمانیوم نسبتا شدید بوده و بین نانوذرات و لایه ژرمانیوم تزویج شدیدتری رخ داده است. که البته بدلیل خاصیت فلزی، بخشی از نوسانات بصورت تلفات اهمی میرا شده و از اینرو دامنه طیف انتقال کمتر از حالتی است که از نانوذرات نیمه‌هادی استفاده کردیم.



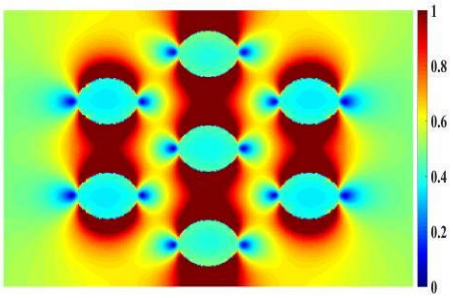
شکل۳. طیف شدت میدان محلی در صفحه x-y در مرز بین نانوذرات نقره واقع در لایه ژرمانیوم در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر.

در انتها به بررسی تاثیر تغییر جنس لایه‌ی نیمه‌هادی استفاده شده در ساختار شکل۲ می‌پردازیم. در این بررسی، از نیمه‌هادی‌های دیگری مانند GaSb و InSb با حفظ مقادیر اولیه برای ابعاد ساختار به جای لایه ژرمانیوم استفاده می‌کنیم(شکل۴).

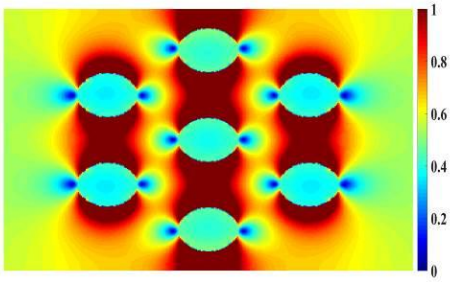


شکل۴. مقایسه‌ی طیف انتقال به ازای سه عنصر: Ge، GaSb، InSb

با این تغییرات، تغییر شدت میدان محلی در مرز بین نانوذرات نقره در لایه‌ای از نیمه‌هادی InSb و GaSb بترتیب در شکل‌های۵ و ۶ قابل مشاهده است.



شکل۵. طیف شدت میدان محلی در صفحه x-y در مرز بین نانوذرات واقع در لایه InSb در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر



شکل۶. طیف شدت میدان محلی در صفحه x-y در مرز بین نانوذرات واقع در لایه GaSb در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

۳- نتیجه گیری

از آنجایی که فرکانس پلاسمون سطحی نقره در طول موج های پایین تر از پنجره‌ی مخابراتی قرار دارد، در واقع این ژرمانیوم است که منجر به شیفت قله رزونانسی به سمت طول موج های بزرگتر شده و در نهایت باعث تشکیل بیشینه قله رزونانسی در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر می‌شود. علاوه بر این، وجود مقطع دایروی شکل نانوذرات باعث عملکرد تک مدی نانوذرات در واکنش به میدان ورودی می‌شود[7]. بطوریکه این مدها همگی از نوع مد نوسانی بوده و بسادگی توسط میدان تحریک می‌شوند. ژرمانیوم بدلیل تلفات ذاتی پایین و همچنین قابلیت دوپینگ شدید برای کاربردهای پلاسمونیکی، انتخاب مناسبی برای افزاره-های فتونیکی در ناحیه مادون قرمز میانی است[8]. همپنین بدلیل پایین بودن جرم مؤثر ژرمانیوم ($m^* \approx 0.12$)، ژرمانیوم قابلیت تولید فرکانس پلاسمای بزرگتری را برای سطح دوپینگ یکسان دارد. علاوه بر این، گاف غیر مستقیم ژرمانیوم از بازترکیب سریع حامل‌های برانگیخته نوری جلوگیری می‌کند[8].

استفاده از نانوذراتی مثل نقره و در ساختارهایی مشابه با ساختار پیشنهادی ما در این مقاله منجر به رزونانس های پلاسمونیکی می‌شود که این نیز خاصیت فیلترینگ را در ساختار ایجاد می کند ، با این تفاوت که نانوذرات نقره خاصیت فیلترینگ در ناحیه UV-plasmonic ایجاد می کنند [9].

مراجع

[1] Chih-Jui Yu , "Color Filtering Using Plasmonic Multilayer Structure" , Nanoelectronics Conference (INEC), IEEE 4th International, 2011.

[2] K. Kumar, H. Duan, R. S. Hegde, S. C. W. Koh, J. N. Wei, and J. K. W. Yang, "Printing colour at the optical diffraction limit," Nat. Nanotechnol. **7**, 557 (2012)

[3] G. Si, Y. Zhao, J. Lv, M. Lu, F. Wang, H. Liu, N. Xiang, T. J. Huang, A. J. Danner, J. Teng, and Y. J. Liu, "Reflective plasmonic color filters based on lithographically patterned silver nanorod arrays," Nanoscale**5**,6243(2013).

[4] C. W. Hsu, B. Zhen, W. Qiu, O. Shapira, B. G. DeLacy, J. D. Joannopoulos, and M. Soljai, "Transparent displays enabled by resonant nanoparticle scattering," Nat. Commun. **5**, 3152 (2014).

[5] Y Brûlé, G Demésy, AL Fehrembach, B Gralak ,M.Grangier,D.Barat,… "Design of metallic nanoparticle gratings for filtering properties in the visible spectrum",physics.optics,2015.

[6] Dennis M. Sullivanl., "Electromagnetic Simulation Using the FDTD Method". Wiley-IEEE Press, 2013.

[7] Mohammed Nadhim Abbas, Cheng-Wen Cheng, Yia-Chung Chang and M H Shih," An omni-directional mid-infrared tunable plasmonic polarization filter", IOP Publishing Ltd,2012.

[8] Paolo Biagioni, "Group-IV midinfrared plasmonics,journal of nanophotonics",vol.9,2015.

[9] Prashant K. Jain Mostafa A. El-Sayed c,1," Plasmonic coupling in noble metal nanostructures", Chemical Physics Letters 487, 153–164,(2010).

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]