بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک
ایران و دوازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری
فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

سوییچ تمام نوری بر پایه ساختار موجبر پلاسمونیکی چند دندانه ای با استفاده از اثر غیرخطی کر

امید عباس زاده آذر ، کامبیز عابدی

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

o_abbaszadeh@sbu.ac.ir, k_abedi@sbu.ac.ir

چکیده – در این مقاله یک سوییچ تمام نوری سریع برپایه موج برهای پلا سمونیک فلز-عایق-فلز بر پایه موجبر دندانه ای شکل با دندانه های غیرخطی کر ارایه شده و به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از شبیه سازی تفاضل محدود حوزه زمان(FDTD)، نشان داده شده است که با تغییر شدت نور یک حالت دوپایداری اپتیکی مشخص برای سیگنال نوری ایجاد می شود و در نتیجه آن یک سوییچ نوری بد ست می آید. این حالت دوپایداری از تغییر ثابت دی الکتریک، وابسته به شدت، ماده غیر خطی ساختار دندانه ای شکل ناشی می شود.

کلید واژه- سوییچ تمام نوری، پلاسمونیک، موجبر دندانه ای شکل، اثر غیرخطی کر

All optical switching based on the Kerr nonlinear multi-teeth-shaped plasmonic waveguide structure

Omid Abbaszadeh-Azar, Kambiz Abedi

Department of Electrical Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
o_abbaszadeh@sbu.ac.ir, k_abedi@sbu.ac.ir

Abstract- An all-optical switch based on metal-insulator-metal plasmonic waveguide is presented on the basis of multi-teeth-shaped waveguide with teeth which filled by nonlinear Kerr and is numerically investigated. Using a finite-difference time domain simulation, it has been shown that by changing the light intensity, a definite optical stability is created for the optical signal, resulting in an optical switch. Using a finite-difference time domain simulation, it has been shown that by changing the light intensity, obvious optical stability is created for the optical signal, resulting in an optical switch. This stability results from a dielectric constant change, depending on the intensity, of the nonlinear material of the multi-teeth-shaped waveguide. This optical switch can have a potential application in all-optical processing and optical communication.

Keywords: all optical switch, plasmonic, multi-teeth-shaped waveguide, nonlinear Kerr effect.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-16]

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

مقدمه

پردازش سیگنال تمام نوری در مدارات مجتمع نوری و کاربردهای آن در محاسبات نوری و مخابرات نیازمند کنترل نور با نور است. بر پایه اثرات غیرخطی نوری ادوات تمام نوری پیشنهاد و بررسی شده است[۱]. اگرچه اکثر این ادوات دارای دو اشکال اصلی هستند. اولا، اندازه قطعه با مقدار طول عبور نور محدود شده است. دوم، اینکه شدت بالای نور برای دریافت پاسخ غیرخطی ضروری است[۲].

با توجه به ویژگی پلاسمون پلاریتون های سطحی در محصورسازی شدت میدان نوری در ساختاری با ابعادی کمتر از طول موج عبوری راهی تازه برای ایجاد اثر نوری غیرخطی قوی و کاهش اندازه اجزا قطعه نوری، با توجه به افزایش قابل توجه شدت میدان نوری و به کارگیری نور در ابعاد نانو ایجاد و تعداد زیادی از ادوات نوری غیرخطی بر این پایه مورد مطالعه قرار گرفته است[۶-۳].

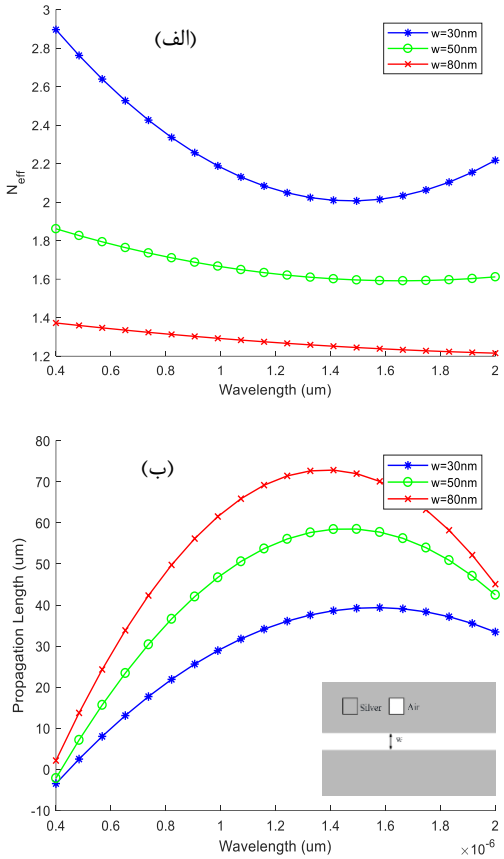
در این مقاله، یک سوییچ تمام نوری در ابعاد نانو برپایه موجبر فلز عایق فلز با ساختارهای دندانه ای پیشنهاد و مورد بررسی قرار گرفته است. ثابت دی الکتریک ماده غیرخطی کر در دندانه ها با تغییر شدت پمپ نوری تغییر می کند و در نتیجه عبور سیگنال کنترل می شود.

ساختار و روش

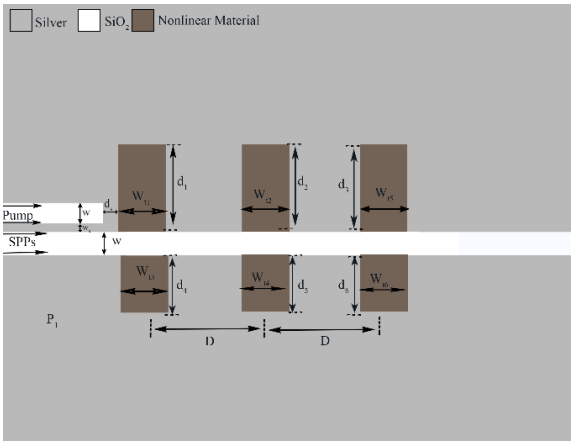
برای بدست آوردن پاسخ ساختار در حالت خطی و غیرخطی از روش تفاضل محدود حوزه زمان (FDTD) استفاده شده است. در این روش $\Delta t = \Delta x / 2c$ و $\Delta x = \Delta y = 5nm$ فرض شده است که برای همگرایی نتایج عددی کافی می باشد [۷].

قسمت حقیقی ضریب شکست موثر به عنوان تابعی از طول موج در شکل ۱ (الف) نشان داده شده است و طول انتشار برای عرض های مختلف موجبر به منظور بررسی تاثیر عرض آن در طول انتشار در شکل ۱ (ب) نشان داده شده است. طول انتشار از رابطه زیر بدست می آید:

$$L_{spps} = \lambda_0 / [4\pi \, \mathrm{Im}(n_{eff})] \quad (1)$$



شکل ۱: الف) بخش حقیقی ضریب شکست موثر ب) طول انتشار، به عنوان تابعی از طول موج برای عرض های مختلف.



شکل ۲:طرحواره موجبر پلاسمونیک چند دندانه ای

با توجه به شکل ۱(ب)، با افزایش عرض دندانه ها بخش حقیقی ضریب شکست موثر کاهش و طول انتشار افزایش می یابد.

شکل ۲ طرحواره ساختار سوییچ تمام نوری را نشان می دهد که دارای موجبر با ساختار چند دندانه ای و دو لایه فلزی در کناره ها است. فلز مورد استفاده، نقره است که گذردهی نسبی آن را می توان با مدل درود به صورت زیر توصیف کرد:

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-16]

$$\varepsilon_m(\omega)=\varepsilon_\infty-\omega_P^2/\left[\omega(\omega+i\gamma)\right] \quad (۲)$$

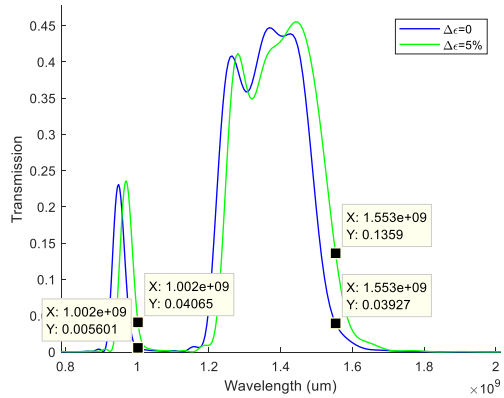
که $(\varepsilon_\infty,\omega_p,\gamma)=(3.7,9.1eV,0.018eV)$ می باشند.

ε_∞ ثابت دی الکتریک در فرکانس بینهایت، γ,ω_p نشان دهنده فرکانس برخورد و فرکانس پلاسما بالک می باشند.

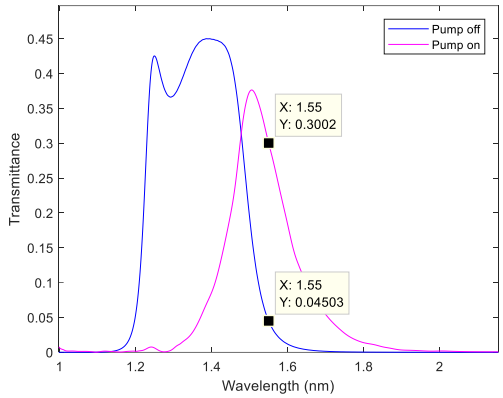
دندانه ها با ماده غیرخطی کر پر شده که ثابت دی الکتریک آن ε_c وابسته به شدت میدان الکتریکی $|E|^2$ است: $\varepsilon_c=\varepsilon_\infty+\chi^{(3)}|E|^2$. مقدار ثابت دی الکتریک خطی ε_0 برابر ۲ است. ماده غیر خطی کر $Ag-BaO$ و حساسیت غیرخطی درجه ۳ برابر $\chi^{(3)}=4.8\times10^{-10}esu$ می باشد[۸]. عرض موجبر پلاسمونیک ۵۰ نانومتر است و عرض دندانه ها ۱۰۰ نانومتر و طول آن ها برابر مقادیر زیر است:

$d_1=d_2=d_3=500nm$ و $d_4=d_5=d_6=400nm$

شکل ۳ طیف عبور ساختار پیشنهاد شده در این مقاله را نشان می دهد. دو نقطه عبور نزدیک صفر مربوط به طول موج های۱و ۱,۵۵ میکرومتر مشاهده می شود. که نشانگر دو طول موج رزونانس می باشند. زمانی که ثابت دی الکتریک ماده غیرخطی به اندازه ۰,۵ افزایش می یابد، نقاط عبور به طول موج های بالاتر جابه جا می شوند که میزان عبور در طول موج ۱,۵۵ از ۰,۰۳ به ۰,۱۵ افزایش می یابد. در حالی که میزان عبور در طول موج ۱ میکرومتر از ۰,۰۰۵ به ۰,۰۴ افزایش می یابد که این میزان تغییر بسیار پایین است. بنابراین طول موج نوری ۱,۵۵ میکرومتر برای سیگنال و طول موج نوری ۱ میکرومتر برای طول موج نور پمپ مناسب می باشد[۲].



شکل ۳: میزان عبور برای طول موج های مختلف برای ضریب دی الکتریک مختلف



شکل ۴: عبور سیگنال زمانی که پمپ در حالت خاموش و روشن قرار دارد. طول موج پمپ ۱ میکرومتر و طول موج سیگنال ۱,۵۵ میکرومتر می باشد. شدت پمپ برابر است با $650MW/cm^2$

نتایج شبیه سازی و بررسی آن

ضریب شکست ماده غیرخطی در اثر نور پمپ می تواند تغییر کند. شکل ۴ پاسخ های عبور در زمان وجود و عدم وجود نور پمپ را نشان می دهد. مشاهده می شود هنگامی که نور پمپ از حالت خاموش(عدم وجود) به حالت روشن (وجود) تغییر وضعیت پیدا می کند، میزان عبور نور سیگنال از ۰,۰۴ به ۰,۳ ، تغییر می کند، که نشانگر اثر سوییچی بسیار واضحی است.

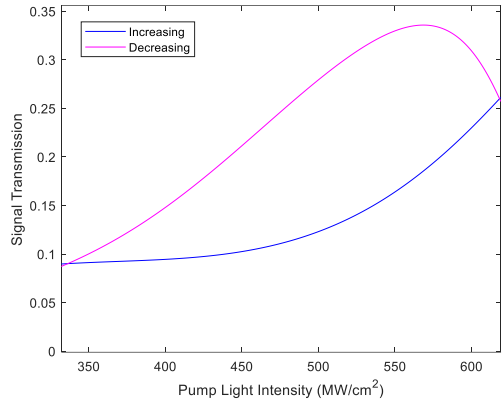
شکل ۵ وابستگی عبور به شدت نور کنترل نشان می دهد. حلقه پایدار ایجاد شده آن قابل مشاهده است. اگر شدت نور پمپ فرودی تغییر کند، تغییرات ثابت دی الکتریک القا شده به وسیله شدت میدان فضایی دندانه ها باعث ظهور اثرات عبور مختلف نور سیگنال می شود.

زمانی که شدت پمپ فزایش پیدا می کند، عبور سیگنال افزایش می یابد و به مقادیر بالای $450MW/cm^2$ می رسد. زمانی که شدت پمپ کاهش پیدا می کند، سیگنال عبور در مقادیر بالا می ماند تا اینکه به نقطه نزول در حدود $400MW/cm^2$ می رسد. حالت دوپایداری با توجه به ساختار هندسی [۲] ایجاد می شود و بنابراین به پایداری بهتری با ارتقا شکل هندسی می توان رسید. تحقق پایداری اپتیکی فقط نیازمند شدت پمپ کمتر از $650MW/cm^2$ است.

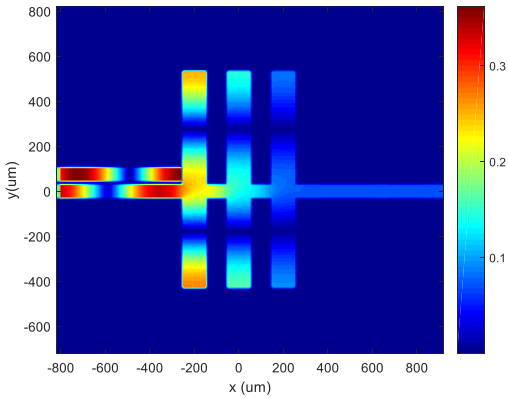
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

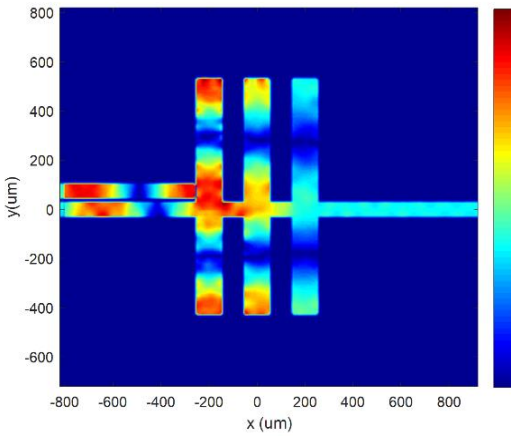
[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-16]

برای نشان دادن هرچه بهتر عملکرد نور سیگنال تحت شرایط سوییچ روشن و خاموش توزیع میدان مغناطیس $|H_z|$ نور سیگنال با خاموش بودن سیگنال پمپ و روشن بودن آن در شکل ۶ نشان داده شده اند.برای ما مشخص شد که نور سیگنال زمانی که پمپ خاموش است منعکس و زمانی که پمپ روشن است از موجبر عبور می کند. نتایج با پاسخ عبور سیگنال در هنگام سوییچ روشن وخاموش همخوانی مناسبی دارند.



شکل ۵:میزان عبور با افزایش و کاهش شدت پمپ ورودی(حالت دوپایداری)





شکل ۶: توزیع میدان مغناطیسی زمانی که پمپ در حالت الف) خاموش و ب) روشن می باشد.

نتیجه گیری

در این مقاله ما ساختار نانو پلاسمونیک برپایه موجبرهای فلز عایق فلز با دندانه های غیرخطی کر پیشنهاد داده ایم. مشخصه عبور، حالت دوپایداری اپتیکی و اثر سوییچ در این ساختار مورد بررسی قرار گرفته و به صورت عددی با روش تفاضل محدود حوزه زمان شبیه سازی شده است. با تغییر شدت نور کنترل، حالت دوپایداری اپتیکی درنور سیگنال مشاهده می شود. سوییچ پیشنهاد شده کاربرد های زیادی در پردازش سیگنال تمام نوری و همچنین ارتباطات نوری و محاسبات در مدارات فشرده نانوپلاسمونیک دارد.

مرجع‌ها

[1] Dickson W, Wurtz GA, Evans PR, Pollard RJ, Zayats AV. Electronically controlled surface plasmon dispersion and optical transmission through metallic hole arrays using liquid crystal. Nano letters. 2008;8(1):281-6.

[2] Lu H, Liu X, Wang L, Gong Y, Mao D. Ultrafast all-optical switching in nanoplasmonic waveguide with Kerr nonlinear resonator. Optics express. 2011;19(4):2910-5.

[3] (الف) ;, Lu H, Liu X, Gong Y. Numerical investigation of an all-optical switch in a graded nonlinear plasmonic grating. Nanotechnology. 2012;23(44):444009.

[4] Wang F, Martinson AB, Harutyunyan H. Efficient nonlinear metasurface based on nonplanar plasmonic nanocavities. ACS Photonics. 2017;4(5):1188-94.

[5] Ooi KJ, Cheng J, Sipe J, Ang L, Tan DT. Ultrafast, broadband, and configurable midinfrared all-optical switching in nonlinear graphene plasmonic waveguides. APL Photonics. 2016;1(4):046101.

[6] Firouzabadi MD, Nikoufard M, Tavakoli MB. Optical Kerr nonlinear effect in InP-based hybrid (ب) waveguides. Optical and Quantum Electronics. 2017;49(12):390.

[7] Veronis G, Fan S. Theoretical investigation of compact couplers between dielectric slab waveguides and two-dimensional metal-dielectric-metal plasmonic waveguides. Optics Express. 2007;15(3):1211-21.

[8] Lin X, Huang X. Numerical modeling of a teeth-shaped nanoplasmonic waveguide filter. JOSA B. 2009;26(7):1263-8.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-16]