



## طراحی گیت‌های منطقی پلاسمونی بر اساس یک سوییچ پلاسمونی مبتنی بر حلقه تشدیدگر مربعی

محمد ولی صالح‌زهی<sup>۱</sup>، دکتر محمد علی منصور بی‌رجندی<sup>۲</sup>، دکتر مجید قدردان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، افزاره‌های میکرو و نانو الکترونیک، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، [mvsalehzehi@pgs.usb.ac.ir](mailto:mvsalehzehi@pgs.usb.ac.ir)

<sup>۲</sup> استاد تمام، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، [mansouri@ece.usb.ac.ir](mailto:mansouri@ece.usb.ac.ir)

<sup>۳</sup> استادیار، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، [ghadrdan@ece.usb.ac.ir](mailto:ghadrdan@ece.usb.ac.ir)

### چکیده

مصرف برق و هزینه اتصالات نوری تراشه یک روند نقشه راه فوتونیک را برای اجزای فوتونیک تعیین کرده است. اخیراً، قطعات گیت‌های منطقی تمام نوری در مقیاس نانو به دلیل کاربردهای مهمشان در زمینه‌های محاسبات نوری و پردازش اطلاعات با سرعت فوق‌العاده، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [1]. به عنوان یک عنصر کلیدی برای سیستم‌های محاسباتی نوری و پردازش اطلاعات با سرعت فوق‌العاده زیاد، گیت‌های منطقی تمام نوری از اهمیت بالا و توجه خاصی برخوردار هستند. چندین روش برای تحقق گیت‌های منطقی تمام نوری پیشنهاد شده است، مانند تقویت کننده نوری نیمه هادی<sup>۱</sup> (SOA) [2]، اثر تداخل نوری<sup>۲</sup> [3]، اثر غیرخطی مرتبه سوم<sup>۳</sup> [4]، و موجبرهای دی الکتریک یا فلزی<sup>۴</sup> [5]. از زمان معرفی رزونانس‌های پلاسمون سطحی<sup>۵</sup> (SPRs)، تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه انجام شده و دستگاه‌های نوری مختلف بر اساس SP با سرعت عملیاتی بالا و معماری‌های فوق فشرده ساخته شده‌اند. به خصوص برای اهداف هدایت موج، که به طور کلی ایده‌های اصلی گیت‌های منطقی هستند، برخی از مطالعات تلاش کرده‌اند تا نور را در زیر حد پراش متمرکز کنند و موجبرهای پلاسمونیک پیشنهاد شده‌اند. این موجبرها از SPها برای انتشار نور در طول سیم‌ها [6]، نوارهای فلزی [7]، شیارها در فلز [8] و زنجیره‌ای از ذرات فلزی [9] استفاده می‌کنند. بر اساس این تکنیک‌ها، برخی از تحقق گیت‌های منطقی پلاسمونیک منتشر شده است.

### تئوری ساختار

برای طراحی گیت‌های منطقی تمام نوری می‌توان از ساختار یک سوییچ بهره برد. ساختار سوییچ باید به گونه‌ای طراحی گردد که با در نظر گرفتن و استفاده از یک ماده غیر خطی نوری با داشتن ویژگی کاپای مرتبه سوم بالا، توانایی ایجاد یک تزویج کننده قوی و نسبتاً سطح بالا را داشته باشد، زیرا با بهره‌گیری از ساختار یک

در این تحقیق و بررسی در ابتدا به طراحی و تحلیل یک سوییچ تمام نوری پلاسمونی، که می‌تواند اساس کار دو گیت منطقی NOR، NOT باشد را مورد مطالعه و تحلیل قرار می‌دهیم. ساختار ارائه شده، یک سوییچ از نوع فلز-عایق-فلز (MIM)، می‌باشد که با بکارگیری تحریک پلاسمون‌های سطحی در فصل مشترک فلز-عایق، و همچنین استفاده از خواص موجبری، موجبرهای موجود در ساختار که خود شامل یک حلقه مربعی و دو موجبر نسبت به هم متعامد از جنس یک ماده غیر خطی با اثر کر نسبتاً قوی می‌باشد، را تشکیل می‌دهد، مورد بررسی قرار گردیده است. ساختار این سوییچ برای تشدید در طول موج ۱۵۲۰ نانومتر طراحی گردیده است. از این سوییچ به صورت مستقیم می‌توان به عنوان گیت NOT، استفاده کرد. با سطح سیگنال پایین بیشینه انتقال به ۸۰ درصد می‌رسد و به ازای سطح سیگنال بالا، کمینه انتقال به حدود ۱ درصد می‌رسد. در گیت منطقی NOR، هنگامی که یک ورودی و یا هر دو ورودی با سطح سیگنال بالا، روشن باشند، کمینه انتقال به ۳/۸ درصد می‌رسد و در حالتی که هر دو ورودی خاموش هستند مقدار انتقال به بیشینه ۷۸ درصد می‌رسد. تمامی شبیه‌سازی‌های این مقاله به روش المان محدود (FEM)، و با نرم‌افزار کامسول انجام شده است.

### واژه‌های کلیدی

پلاسمونیک، گیت منطقی تمام نوری، اثر غیر خطی کر.

### مقدمه

در دهه گذشته، فناوری‌های فوتونیک در مخابرات داده‌های جهانی همه گیر شده‌اند. افزایش روزافزون پهنای باند داده، کاهش نیازهای

<sup>4</sup> Dielectric or metallic waveguide

<sup>5</sup> Surface plasmon Resonance

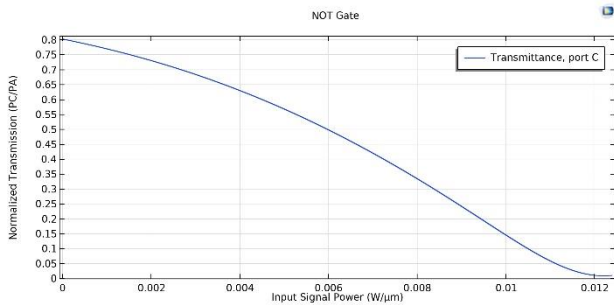
<sup>1</sup> Semiconductor optical amplifier

<sup>2</sup> Optical interference effect

<sup>3</sup> Thrid-order nonlinear effect

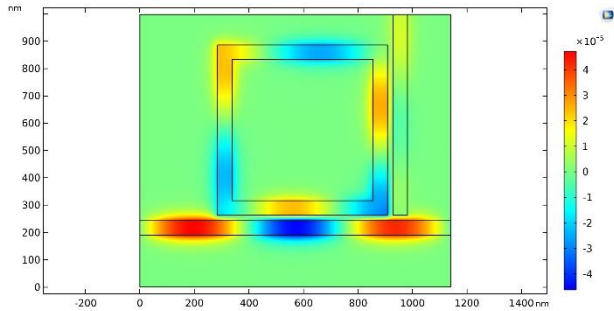
### گیت منطقی NOT

یک سیگنال بایاس در طول موج ۱۶۰۰ نانومتر با توان پایین و یک موج نور ورودی در طول موج ۱۵۲۰ نانومتر به ترتیب به درگاه‌های A و B ارسال می‌شوند. در حالت خطی، هنگامی که یک سیگنال سطح پایین در پورت B وجود دارد، انتقال در پورت خروجی C به ۸۰ درصد می‌رسد که این یعنی یک منطقی.

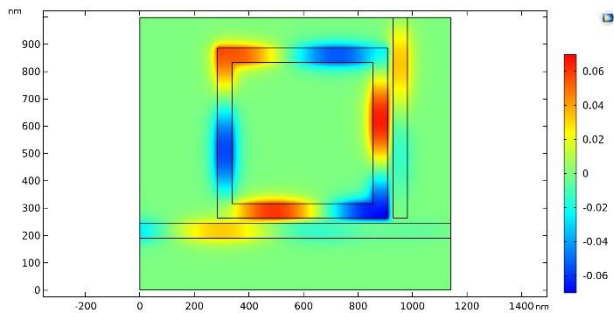


شکل ۳- نمودار انتقال عادی در پورت C

در حالت سطح سیگنال بالا پورت C خاموش است و انتقال حدود ۱٪ است که با ۰ منطقی مطابقت دارد.



شکل ۴- توزیع میدان مغناطیسی گیت NOT به ازای ورودی B = 0

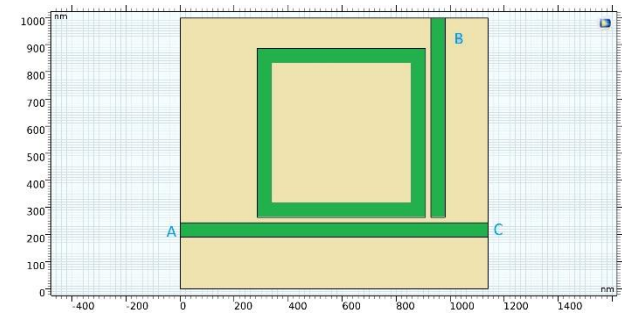


شکل ۵- توزیع میدان مغناطیسی گیت NOT به ازای ورودی B = 1

تشدیدگر می‌توان به یک سویچ رسید و با اعمال شرایط خاص، نسبت به هر سویچ که بستگی به نوع ساختار و ماده غیر خطی بکار رفته در آن دارد، می‌توان به گیت‌های منطقی مورد نظر رسید. توجه به این نکته اساسی که سویچ‌های تمام نوری مبتنی بر تحریک پلاسمونهای سطحی اولاً به علت زمان پاسخ فوق العاده سریع، و ثانیاً به دلیل توان مصرفی ناچیز و مقیاس نانومتری، ضروری و از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند.

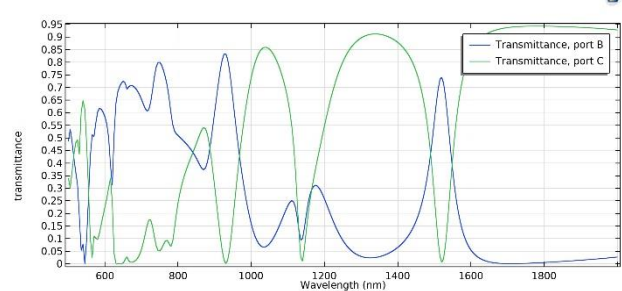
### طراحی و شبیه‌سازی

این سویچ از یک تشدید کننده حلقوی مربع شکل و دو موجبر عمود بر هم تشکیل شده است. سوئیچ دارای پورت‌های ورودی A و B برای سیگنال پمپ و امواج نور است. این سویچ برای طول موج ۱۵۲۰ نانومتر طراحی گردیده است. عامل تحریک SPP ها در ساختارهای فلزی فقط قطبش TM می‌باشد. ماده فلزی مورد استفاده و دی الکتریک بکار رفته در این ساختار به ترتیب نقره و کامپوزیتی از SiO<sub>2</sub> می‌باشند. هنگامی که نور با قطبش TM به ساختار فلزی تابانده می‌شود، نور تابشی، باعث تحریک SPPها بر روی سطح مشترک فلز و عایق می‌شود. همچنین، نور با قطبش TM در طول موج تشدید حلقه باعث تحریک SPP ها در تشدیدگر نیز می‌گردد.



شکل ۱- ساختار سویچ

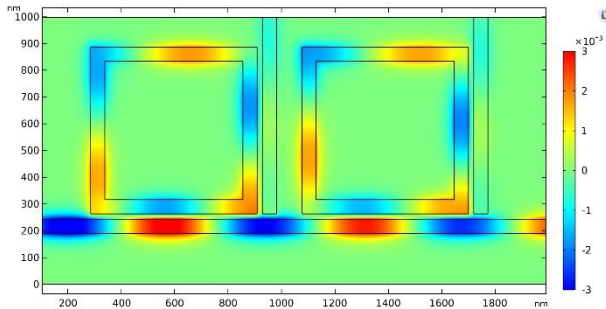
طیف های انتقال نرمالیزه شده خروجی سوئیچ برای یک پالس مدوله شده گاو سی ورودی با توان  $9.3 \times 10^{-11}$  وات بر میکرومتر در شکل ۲ نمایش داده شده است.



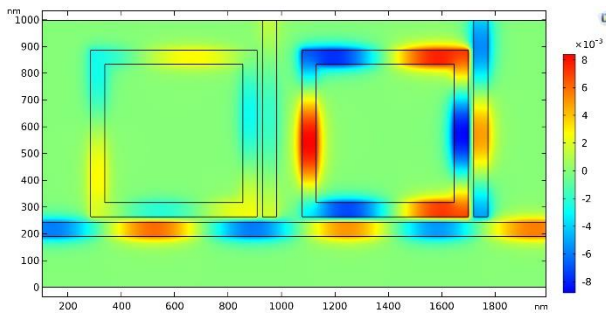
شکل ۲- طیف های انتقال نرمالیزه شده خروجی سوئیچ

### گیت منطقی NOR

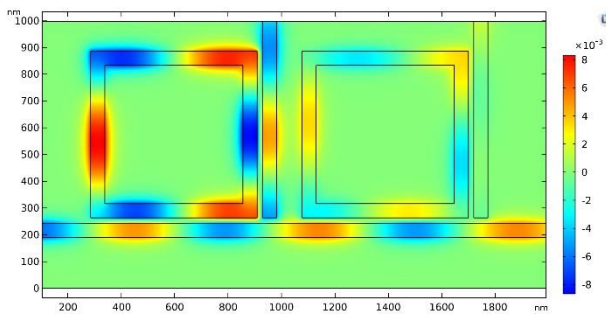
یک گیت منطقی تمام نوری NOR را می توان از کنار هم قرار دادن به صورت موازی دو سوئیچ مربعی شکل ۱، همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، ساخت. یک سیگنال بایاس پیوسته گاوسی در طول موج ۱۶۰۰ نانومتر و دو موج نور ورودی در طول موج ۱۵۲۰ نانومتر به طور همزمان به پورت های P و A و B تابانده می شود.



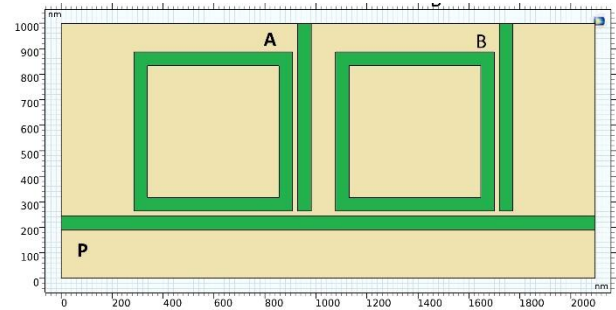
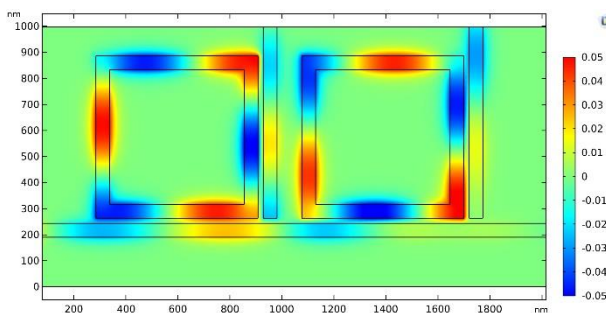
شکل ۸- هر دو ورودی صفر می باشند



شکل ۹- ورودی  $A=0$  ،  $B=1$

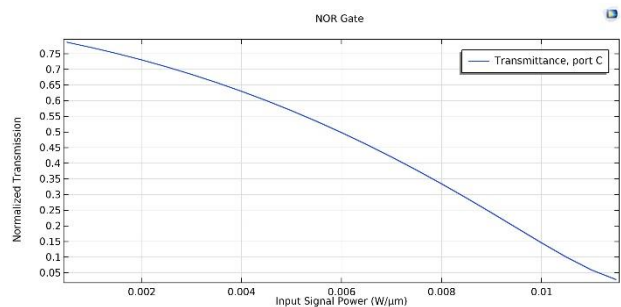


شکل ۱۰- ورودی  $A=1$  و  $B=0$



شکل ۶- ساختار گیت منطقی NOR

فاصله بین حلقه ها حداقل باید ۱۰۰ نانومتر در نظر گرفته شود تا از تداخل بین آنها جلوگیری شود. هنگامی که یکی از سیگنال های ورودی A یا B یا هر دو آنها روشن باشند، سیگنال بایاس با شدت کم به یک یا هر دو تشدید کننده حلقه کوپل می شود و انتقال در پورت C به کمتر از ۳/۸ درصد می رسد که این نشان دهنده صفر منطقی می باشد.



شکل ۷- نمودار انتقال عادی پورت C در گیت NOR

توزیع میدان مغناطیسی ۴ حالت مختلف در شکل های زیر نشان داده شده است.



دانشگاه ولایت



- 7) [7] Pile D F P and Gramotnev D K 2004 Channel plasmonpolariton in a triangular groove on a metal surface *Opt. Lett.* 29 1069–71
- 8) [8] Brongersma M L, Hartman J W and Atwater H A 2000 Electromagnetic energy transfer and switching in nanoparticle chain arrays below the diffraction limit *Phys. Rev. B* 62 R16356–9
- 9) [9] Wang H., Modelling and Simulation of Plasmonic Waveguides and Nanolasers, *PhD thesis, Arizona state university*, 2014

شکل ۱۱- هر دو ورودی یک می‌باشند

#### نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از ساختارهای MIM حلقه تشدیدگر مربعی و با بهره‌گیری از خواص غیر خطی کامپوزیتی از SiO<sub>2</sub> در ابتدا یک سویچ پلاسמוنی تمام نوری برای طول موج ۱۵۲۰ نانومتر طراحی گردید. این سویچ متشکل از دو موجبر نسبت به هم عمود و یک حلقه تشدیدگر مربعی از جنس کامپوزیت SiO<sub>2</sub> می‌باشد. از این سویچ به صورت مستقیم می‌توان به عنوان گیت NOT، استفاده کرد. با سطح سیگنال پایین بیشینه انتقال به ۸۰ درصد می‌رسد و به ازای سطح سیگنال بالا کمینه انتقال به حدود ۱ درصد می‌رسد. در گیت منطقی NOR، هنگامی که یک ورودی و یا هر دو ورودی دارای سطح سیگنال بالا باشند، یعنی حالت یک منطقی باشند، کمینه انتقال به ۳/۸ درصد می‌رسد و در حالتی که هر دو ورودی خاموش هستند مقدار انتقال به بیشینه ۷۸ درصد می‌رسد.

#### مراجع و منابع

- 1) [1] Kim J Y, Kang J M, Kim T Y and Han S K 2006 10 Gbit/s alloptical composite logic gates with XOR, NOR, OR and NAND functions using SOA-MZI structures *Electron. Lett.* 42 303–4
- 2) [2] Li Z J, Chen Z W and Li B J 2005 Optical pulse controlled alloptical logic gates in SiGe/Si multimode interference *Opt. Express* 13 1033–8
- 3) [3] Passaro V M N and Leonardis F D 2007 All-optical AND gate based on Raman effect in silicon-on-insulator waveguide *Opt. Quantum Electron.* 38 877–88
- 4) [4] Wei H, Li Z P, Tian X R, Wang Z X, Cong F Z, Liu N, Zhang S P, Nordlander P, Halas N J and Xu H X 2011 Quantum dot-based local field imaging reveals plasmonbased interferometric logic in silver nanowire networks *Nano Lett.* 11 471–5
- 5) [5] Weeber J C, Dereux A, Girard C, Krenn J R and Goudonnet J P 1999 Plasmon polaritons of metallic nanowires for controlling submicron propagation of light *Phys. Rev. B* 60 9061–8
- 6) [6] Lamprecht B, Krenn J R, Schider G, Ditlbacher H, Salerno M, Felidj N, Leitner A, Aussenegg F R and Weeber J C 2001 Surface plasmon propagation in microscale metal stripes *Appl. Phys. Lett.* 79 51–3