



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۱۱-۹ بهمن ۱۳۹۷



طراحی یک گیت منطقی تمام نوری مبتنی بر تداخل سنج ماخ-زندر غیرخطی همراه با موجبر کنترلی پلاسمونیکی مستقیم

سهیل نوری کورانی و حمید واحد

دانشکده مهندسی فناوری های نوین، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

Soheil.noori2012@yahoo.com و vahed@tabrizu.ac.ir

چکیده - پردازش تمام نوری سیگنال در مدارات مجتمع نوری و کاربرد آن در ارتباطات و محاسبات نوری نیازمند توانایی کنترل نور با نور است. بنابراین ادوات سوئیچینگ تمام نوری توجه زیادی را بخود جلب کرده اند. در این مقاله با استفاده از تداخل سنج ماخ-زندر غیرخطی و موجبرهای کنترلی مستقیم پلاسمونیکی دو گیت منطقی تمام نوری AND و OR طراحی و شبیه سازی شده است. گیت منطقی تمام نوری پیشنهادی مبتنی بر موجبرهای پلاسمونیکی فلز-عایق-فلز هستند. استفاده از این ساختار پلاسمونیکی سبب کاهش ابعاد و توان مصرفی ساختار شده است.

کلید واژه- ماخ-زندر، غیرخطیت، پلاسمونیک، سوئیچینگ نوری.

Design of an All-Optical Logic Gate Based on Non-Linear MZI and the Straight Plasmonic Control Waveguides

Soheil Noori Kourani, and Hamid Vahed

School Of Engineering Emerging Technologies University of Tabriz, Tabriz, Iran

Soheil.noori2012@yahoo.com and vahed@tabrizu.ac.ir

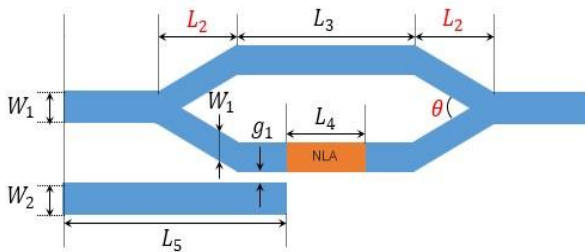
Abstract- All optical signal processing in integrated photonic circuits and its applications in optical computing and communications require the ability to control light with light. Therefore, all-optical switching devices have attracted a lot of attentions. In this paper, two all-optical logic gates are designed by using of nonlinear Mach-Zehnder interferometer and straight plasmonic control waveguides. All-optical logic gates are based on the metal-insulator-metal (MIM) plasmonic waveguides. Using of the plasmonic structure leads to reduction of the device length and power consumptions.

Keywords: Mach-Zehnder, Plasmonic, Non-Linear, Optical Switching

مقدمه

ساختار پایه یک سیستم سوئیچینگ تمام نوری

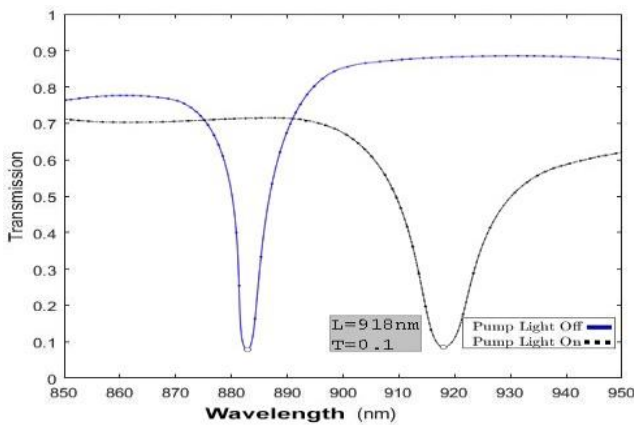
ساختار پایه یک سیستم سوئیچینگ تمام نوری مبتنی بر MZI غیرخطی همراه با موجبر کنترلی پلاسمونیک در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: تصویر شماتیک از ساختار پایه یک سیستم سوئیچینگ تمام نوری مبتنی بر MZI.

در این ساختار، برای ایجاد غیر خطیت در یکی از بازوهای MZI، از ماده غیر خطی کر ($Ag - BaO$) برای ایجاد غیرخطیت مرتبه سوم استفاده شده است. غیر خطیت مرتبه سوم این ساختار با ضخامت تقریبی ۳۰۰ نانومتر و نسبت کسر حجمی نانوذرات نقره در لایه نازک با مقدار ۲۵٪ در طول موج لیزر ۸۲۰ نانومتر برابر با $(\chi^{(3)} = 4.8 \times 10^{-10} \text{ esu})$ می باشد. با تنظیم دقیق شدت سیگنال پمپاژ و طول موج ورودی، ساختار پایه ارائه داده شده، به عنوان یک ابزار سوئیچینگ نوری عمل خواهد کرد، که می تواند کاربردهایی در ادوات سوئیچینگ فوق سریع و سیستم های پردازش اطلاعات داشته باشد. ساختار شامل بستر از جنس فلز، تداخل سنج پلاسمونیک غیرخطی ماخ-زندر، و موجبر مستقیم پمپاژ می باشد. فلز در این ساختار از جنس نقره است که گذردهی نسبی آن توسط مدل درود به صورت $\epsilon_{\infty} = 3.7$ ، $\text{Hz}\omega_p = 1.38 \times 10^{16}$ و $\gamma =$

نور یک بستر بسیار مناسب برای انتقال سریع و حجیم اطلاعات می باشد، ولی مساله در استفاده از این شبکه ها این است که در این حوزه ادوات تماما نوری مورد نیاز جهت تقویت، پردازش، سوئیچینگ و غیره را نداریم. به همین دلیل در سالهای اخیر تمرکز بر این شده است تا بتوان ادوات نوری با کارکرد مشابه ادوات الکترونیکی ولی با سرعت و راندمان بالاتر طراحی کرد. در این راستا، ادوات مبتنی بر تداخل سنج ماخ-زندر، برای مدولاسیون، سوئیچینگ، گیت های منطقی و غیره پیشنهاد شده است [۱]. استفاده همزمان از اثرات اپتیک غیرخطی در این ادوات مبتنی بر تداخل سنج ماخ-زندر، باعث کاربردی شدن آنها در سیستم های پردازش نوری و یک گام رو به جلو در این سیستمها در جهت کنترل تمام نوری شده است [۲]. امکان حبس زیر طول موجی نور در ساختارهای پلاسمونیک باعث شده است تا توجه ویژه ای به استفاده از این ساختارها در طراحی ادوات نوری گردد که منجر به کاهش ابعاد ادوات و توان مصرفی شان گردیده است [۳]. در این مقاله از تداخل سنج پلاسمونیک ماخ-زندر در یک ساختار فلز-عایق-فلز با یک بازو غیر خطی کر جهت طراحی یک گیت منطقی تمام نوری استفاده شده است. غیر خطیت ماده کر توسط یک موجبر پلاسمونیک مستقیم، تحت عنوان موجبر کنترلی تغییر کرده و رفتار خروجی گیت تمام نوری مبتنی بر MZI مورد بررسی قرار گرفته است.



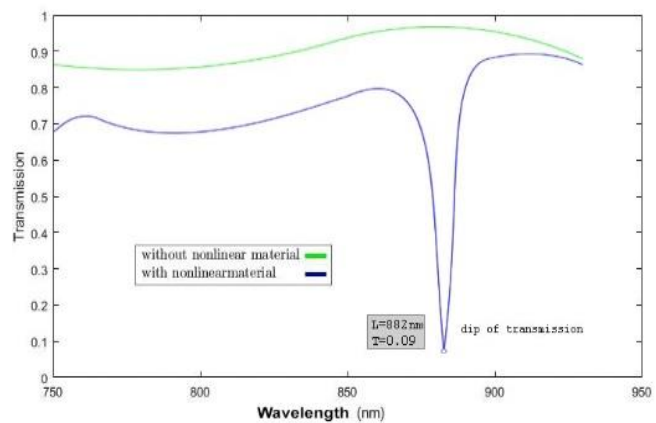
شکل ۳: شیف طول موج قطع MZI.

استفاده از ساختار ارائه شده برای طراحی گیت‌های منطقی

با استفاده از نتایج به دست آمده در بخش قبلی و کمک گرفتن از طرح ساختار پایه مربوطه (شکل ۱)، گیت تمام نوری منطقی طراحی شده است که شامل دو عدد MZI و دو موجبر کنترلی مستقیم است. دو موج پمپاژ (P1, P2) به دو موجبر کنترلی مستقیم و دو موج سیگنال (A, B) بعنوان دو ورودی گیت منطقی به دو ورودی دو تداخل سنچ-ماخ-زندر تزریق میگردد. هر دو ماخ-زندر از نظر ساختار و ابعاد برابر بوده و طول موج ورودی هر دو یکی است. با اعمال ورودیهای (A, B)، و همچنین تنظیم پمپ‌های (P1, P2)، خروجی مد نظر جهت طراحی گیت منطقی OR طبق شکل (۵) بدست آمده است. جدول ۱ نیز عملکرد ساختار را به عنوان گیت منطقی OR نشان می دهد.

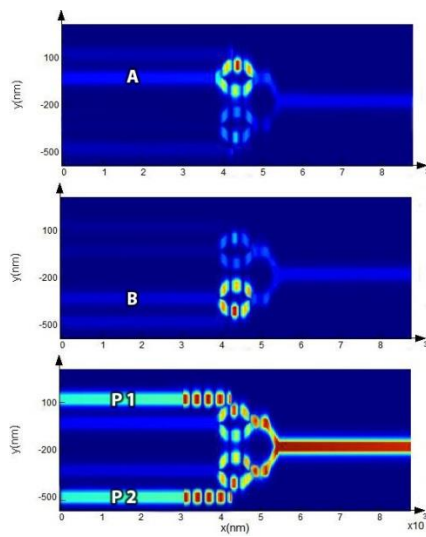
چنانچه هر دو ورودی A و B قطع باشند، خروجی ساختار صفر خواهد بود (معادل ردیف اول جدول صحت). حال چنانچه ورودی A یا B به همراه موج پمپاژ مربوطه وصل باشد، ساختار کل خروجی نشان خواهد داد (ردیف دوم و سوم جدول صحت). در حالت چهارم نیز هر دو ورودی A و B به همراه هر دو پمپ وصل بوده که این باعث می شود خروجی هر دو ماخ-زندر وصل بوده و ساختار خروجی ۱ نشان میدهد (ردیف چهارم جدول صحت).

$2.73 \times 10^{13} \text{ Hz}$ بیان میشود [۴]. برای تحلیل و شبیه سازی ساختار از روش FDTD استفاده شده است. موج سیگنال به شدت $1.9 \times 10^4 \text{ V}^2/\text{m}^2$ به ورودی تداخل سنچ-ماخ-زندر و موج پمپاژ به شدت $1.9 \times 10^6 \text{ V}^2/\text{m}^2$ به موجبر کنترلی مستقیم تزریق میگردد. میزان عبوردهی MZI بر حسب طول موج در دو حالت حضور و عدم حضور بازوی غیرخطی تداخل سنچ در شکل (۲) رسم شده است. در حضور بازوی غیرخطی، منحنی عبور در طول موج ۸۸۲ نانومتر یک مینیوم نشان داده و میزان عبوردهی تداخل سنچ به ۰/۰۹ می رسد، که این حالت را می توان حالت خاموش به معنای خروجی صفر در نظر گرفت.

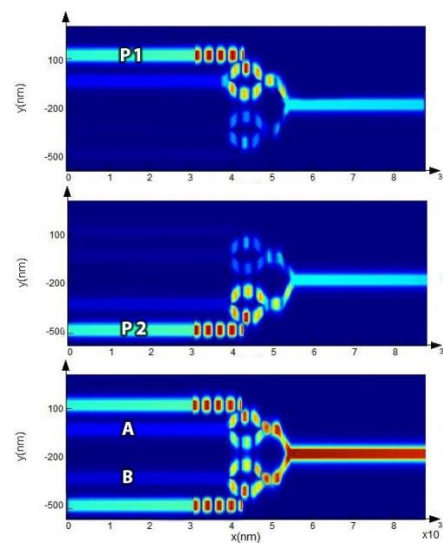


شکل ۲: میزان عبوردهی MZI بر حسب طول موج در حضور و عدم حضور بازوی غیرخطی.

حضور ماده غیرخطی کر، در بازوی ماخ-زندر، باعث میشود خروجی بازوهای ماخ-زندر نسبت به هم اختلاف فاز پیدا کنند که تداخل سازنده و مخرب را برای ما در پی خواهد داشت. در طول موج ۸۸۲ نانومتر، این اختلاف فاز به حداکثر مقدار خود، یعنی ۱۸۰ درجه، می رسد که نتیجه آن تداخل مخرب و خروجی صفر خواهد بود. تاثیر حضور یا عدم حضور موج پمپاژ در طیف عبوردهی MZI در شکل ۳ نشان داده شده که طول موج قطع شیف یافته است. از نتایج بدست آمده از ساختار پایه مندرج در شکل (۱) میتوان برای طراحی ساختار یک گیت تمام نوری بهره گرفت.



شکل ۵: توزیع میدان گیت منطقی پیشنهادی AND در حالات به ترتیب از بالا به پایین (۱) $A=1, B=0$ (۲) $A=0, B=1$ (۳) $A=1, B=1$



شکل ۴: توزیع میدان گیت منطقی پیشنهادی OR در حالات به ترتیب از بالا به پایین (۱) $A=1, B=0$ (۲) $A=0, B=1$ (۳) $A=1, B=1$

جدول ۱: عملکرد ساختار به عنوان گیت منطقی OR

A	B	P1	P2	Out
0	0	-	-	0
1	0	1	-	1
0	1	-	1	1
1	1	1	1	1

نتیجه گیری

در این مقاله، با استفاده از تداخل سنج ماخ-زندر غیرخطی و موجبر کنترلی مستقیم پلاسمونیک دو گیت منطقی تمام نوری AND و OR طراحی و شبیه سازی شده است. این دو گیت منطقی پیشنهادی با استفاده از ساختارهای پلاسمونیک دارای ابعاد زیر طول موجی جهت کاربرد در مدارات مجتمع نوری هستند.

مرجع ها

- [1] Schrieck, Roland, Martin Kwakernaak, Heinz Jackel, Emil Gamper, Emilio Gini, Werner Vogt, and Hans Melchior. "Ultrafast switching dynamics of Mach-Zehnder interferometer switches." *IEEE Photonics Technology Letters* 13, no. 6 (2001): 603-605.
- [2] Srivastava, Arpita, and S. Medhekar. "Switching of one beam by another in a Kerr type nonlinear Mach-Zehnder interferometer." *Optics & Laser Technology* 43, no. 1 (2011): 29-35.
- [3] Ozbay, Ekmel. "Plasmonics: merging photonics and electronics at nanoscale dimensions." *science* 311, no. 5758 (2006): 189-193.
- [4] Tao, Jin, Xu Guang Huang, Xianshi Lin, Jihuan Chen, Qin Zhang, and Xiaopin Jin. "Systematical research on characteristics of double-sided teeth-shaped nanoplasmonic waveguide filters." *JOSA B* 27, no. 2 (2010): 323-327.

طراحی گیت های منطقی AND

با توجه به توضیحات داده شده در ساختار و عملکرد گیت OR، برای طراحی گیت منطقی AND کافیت با اعمال تغییرات در موج پمپاژ، خروجی مورد نظر جهت طراحی گیت منطقی مربوطه بدست آید. بدین منظور لازم است که موجهای پمپاژ فقط در حضور همزمان هر دو ورودی A و B به سیستم تزریق گردد و در بقیه حالات موجهای پمپاژ خاموش باشند. شکل (۵)، توزیع میدان گیت منطقی AND را در حالات مختلف از موج سیگنال ورودی نشان میدهد.