بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ 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 وکاربرد آن در ارتباطات و محاسبات نوری نیازمند توانایی کنترل نور با نور است. بنابراین ادوات سوئیچینگ تمام نوری توجه زیادی را بخود جلب کرده‌اند. 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 وشبیه 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

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02 ]



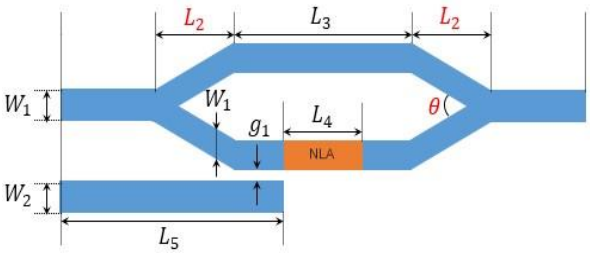
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

**مقدمه**

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، سوئیچنگ وغیره 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 تداخل‌سنج ماخ-زندر، برای مدولاسیون، سوئیچینگ، گیتهای 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 پلاسمونیکی باعث شده است تا توجه ویژه‌ای به استفاده از این ساختارها در طراحی ادوات نوری گردد که منجر به کاهش ابعاد ادوات و توان مصرفی‌شان گردیده است[۳]. در این مقاله از تداخل سنج پلاسمونیکی 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 پلاسمونیکی مستقیم، تحت عنوان موجبر کنترلی تغییر کرده و رفتار خروجی گیت تمام نوری مبتنی بر MZI مورد بررسی قرار گرفته است.

**ساختار پایه یک سیستم سویچینگ تمام نوری**

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




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

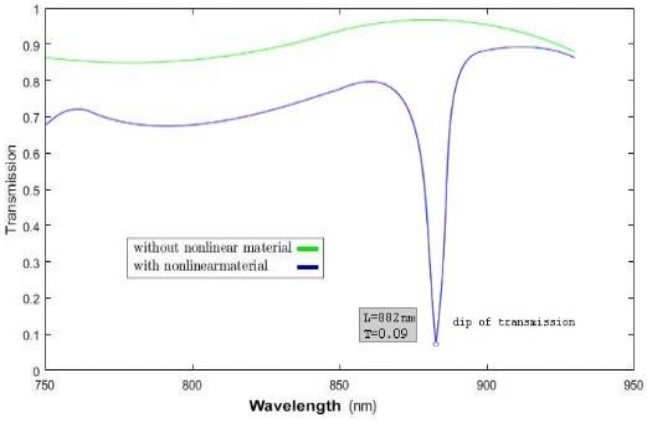
در این ساختار، برای ایجاد غیر خطیت در یکی از بازوهای MZI ، از ماده غیر خطی کر $(Ag-BaO)$ برای ایجاد غیرخطیت مرتبه سوم استفاده شده است. غیر خطیت مرتبه سوم این ساختار با ضخامت تقریبی ۳۰۰ نانومتر و نسبت کسر حجمی نانوذرات نقره در لایه نازک با مقدار ۲۵٪ در طول موج لیزر ۸۲۰ نانومتر برابر با $\left(\chi^{(3)}=4.8\times10^{-10}esu\right)$ 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 پلاسمونیکی 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 $\varepsilon_\infty=3.7$ ، $\omega_p=1.38\times10^{16}$ Hz و $\gamma=$



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

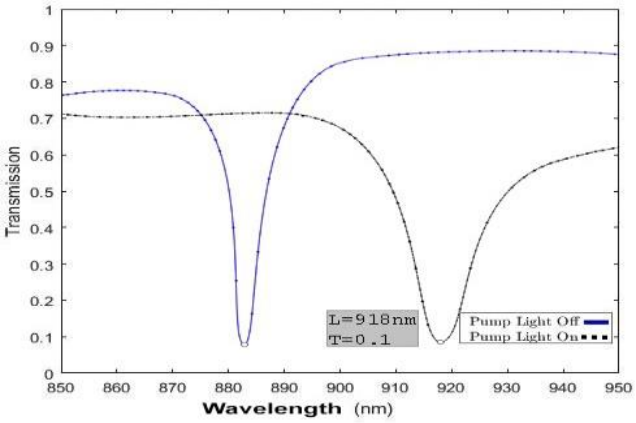
[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02 ]

$2.73 \times 10^{13} Hz$ بیان میشود [۴]. برای تحلیل و شبیه‌سازی ساختار از روش FDTD استفاده شده است. موج سیگنال به شدت $1.9 \times 10^{4} V^2/m^2$ به ورودی تداخل سنج ماخ-زندر و موج پمپاژ به شدت $1.9 \times 10^{6} V^2/m^2$ به موجبر کنترلی مستقیم تزریق میگردد. میزان عبوردهی MZI بر حسب طول موج در دو حالت حضور و عدم حضور بازوی غیرخطی تداخل سنج در شکل (۲) رسم شده است. در حضور بازوی غیرخطی، منحنی عبور در طول موج ۸۸۲ نانومتر یک مینیموم نشان داده و میزان عبوردهی تداخل سنج 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 شیفت یافته است. از نتایج بدست آمده از ساختار پایه مندرج در شکل (۱) میتوان برای طراحی ساختار یک گیت تمام نوری بهره گرفت.




شکل ۳: شیفت طول موج قطع MZI.

## استفاده از ساختار ارائه شده برای طراحی گیت‌های منطقی

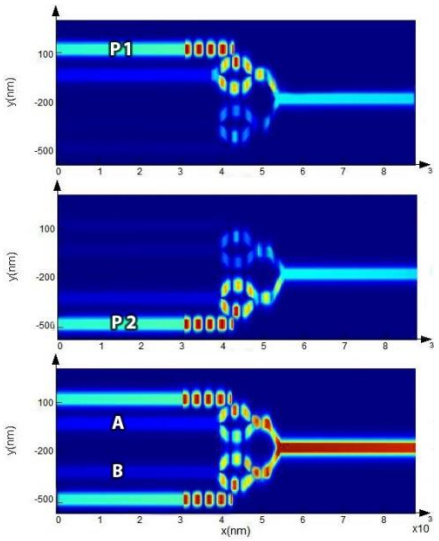
با استفاده از نتایج به دست آمده در بخش قبلی و کمک گرفتن از طرح ساختار پایه مربوطه (شکل ۱)، گیت تمام نوری منطقی طراحی شده است که شامل دو عدد MZI و دو موجبر کنترلی مستقیم است. دو موج پمپاژ (P1, P2) به دو موجبر کنترلی مستقیم و دو موج سیگنال (A, B) بعنوان دو ورودی گیت منطقی به دو ورودی دو تداخل سنج ماخ-زندر تزریق میگردد. هردو 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 هردو ماخ-زندر وصل بوده و ساختار خروجی ۱ نشان میدهد (ردیف چهارم جدول صحت).



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

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02 ]



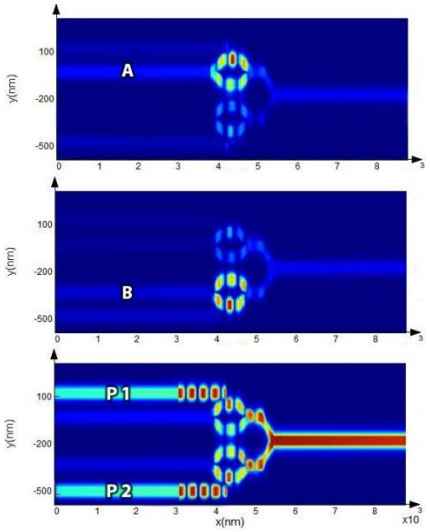

شکل ۴: توزیع میدان گیت منطقی پیشنهادی OR در حالات به ترتیب از بالا به پایین ۱) A=1, B=0 ۲) A=0, B=1 ۳) A=1 , B=1

جدول ۱: عملکرد ساختار به عنوان گیت منطقی OR

| *A* | *B* | *P*1 | *P*2 | *Out* |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | - | - | 0 |
| 1 | 0 | 1 | - | 1 |
| 0 | 1 | - | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

## طراحی گیت های منطقی AND

با توجه به توضیحات داده شده در ساختار و عملکرد گیت OR، برای طراحی گیت منطقی AND کافیست 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.




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

## نتیجه گیری

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

## مرجع‌ها

**[1]** Schreieck, 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.



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

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02 ]