



بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی



گیت منطقی ایکس‌ار پلاسمونی بر اساس ساختار نانو کاواک شکافی

علیرضا دولت‌آبادی و نصرت‌الله گرانیپایه

دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده - در این مقاله، یک گیت منطقی ایکس‌ار تمام نوری پلاسمونی معرفی می‌شود. ساختار، شامل موج‌برهای فلز-عایق-فلز و نانوکاواک شکافی تشدیدگر است. رفتار گیت براساس آرایش خاص مدهای تشدید در این تشدیدگر است. عملکرد این گیت به صورت تحلیل عددی به روش تفاضل محدود در حوزه زمان تایید شده است.

کلیدواژه- پلاسمونی، تفاضل محدود در حوزه زمان، فلز-عایق-فلز، کاواک تشدیدگر، گیت منطقی، نانوشکاف.

Plasmonic XOR Logic Gate Based on Nanoslot Cavity

¹Alireza Dolatabady and ^{2*}Nosrat Granpayeh

K. N. Toosi University of Technology, Faculty of Electrical Engineering

¹alirezadolatabady@ee.kntu.ac.ir, ^{2*}granpayeh@eetd.kntu.ac.ir

Abstract- In this paper, an all optical plasmonic XOR logic gate has been demonstrated. The structure includes metal-insulator-metal (MIM) waveguides with nanoslot cavity resonator. The gate behavior is based on the special arrangements of the resonant modes in the nanoslot cavity resonator. The behavior of the gate has been verified numerically using finite difference time domain (FDTD) method.

Keywords: Cavity resonator; FDTD; logic gate; MIM; nanoslot; plasmonic.

۱- مقدمه

طی سال‌های اخیر استفاده از ادوات، پردازش‌گرها، و محاسبه‌گرهای نوری به عنوان یکی از ایده‌ها برای غلبه بر محدودیت‌های ناشی از به‌کارگیری ادوات و پردازش‌گرهای الکترونیک در نظر گرفته شده است. سامانه‌های الکترونیک که در آنها الکترون‌ها حامل اطلاعات هستند، دارای ویژگی‌های نامطلوبی مانند تاخیر ذاتی و نیز تولید تلفات زیاد هستند که می‌توانند توسط استفاده از ادوات نوری بهبود یابند. بررسی‌های گوناگون تجربی و نظری نشان داده‌اند که به‌کارگیری ادوات نوری، که در آنها از فوتون‌ها به عنوان حامل‌های اطلاعات استفاده می‌شود، منجر به سرعت بیشتر، ظرفیت بیشتر و نیز تلفات توان کمتر می‌شود [۱]. از دیگر سو، حد پراش نور، به عنوان یک محدودیت ذاتی ادوات نوری، از کاهش ابعاد ادوات نوری به ابعادی در حد مدارهای مجتمع نوری جلوگیری می‌کند [۲]. طی دهه اخیر، ادوات نوری متنوعی بر اساس انتشار امواج پلاسمون پلاریتون‌های سطحی به منظور نیل به مدارهای مجتمع تمام نوری معرفی و بررسی شده‌اند [۳]. پلاسمون پلاریتون‌های سطحی به عنوان امواج سطحی تحریک و منتشر شده در فصول مشترک فلز-عایق توصیف می‌شوند. این امواج توسط اندرکنش بین الکترون‌های آزاد در سطوح فلزی و نیز میدان‌های الکترومغناطیس در عایق، تحریک شده و به تدریج در جهت عمود بر فصول مشترک فلز-عایق میرا می‌شوند. بنابراین بسیار مقید به این فصول مشترک هستند. استفاده از ویژگی‌های منحصر به فرد انتشار این امواج سطحی امکان پیاده‌سازی ادوات نوری در ابعاد زیر طول-موج، محدود کردن و هدایت امواج نوری را بدون مشکل حد پراش نور فراهم می‌کند [۲].

در روند نیل به طراحی پردازش‌گرهای نوری، گیت‌های نوری از بخش‌های پایه و اساسی به شمار می‌روند. تاکنون ایده‌ها و روش‌های بسیاری برای تحقق گیت‌های تمام نوری بررسی شده‌اند. برخی از آنها از اثرات غیرخطی نور استفاده کرده‌اند [۴]. در این قطعات از میدان‌های الکتریکی یا مغناطیسی خارجی برای ایجاد ویژگی‌های غیرخطی و در نتیجه عملگرهای منطقی موردنظر استفاده شده است. با این حال، استفاده از این روش، مشکلاتی را از قبیل افزایش اندازه گیت و تلفات توان به دلیل نیاز به

استفاده از پالس‌های کنترلی پرتوان ایجاد می‌کند. پیش‌تر، یک گیت منطقی برپایه ساختاری متشکل از فوتونیک کریستال و براساس طراحی خاص، گزارش شده است [۵]. همچنین، عملکرد چندگانه منطقی بر اساس مدولاسیون خودفازی در فیبری با ویژگی غیرخطی بالا [۶] و نیز گیت‌های منطقی تمام نوری پلاسمونی بر اساس ساختار تشدیدگر دیسک شکل [۷]، بررسی شده‌اند. به تازگی نیز، گیت‌هایی از شبکه‌هایی شامل نانوسیم‌های کربنی به هم پیوسته معرفی شده‌اند. این عملگرهای منطقی، با استفاده از تداخل وابسته به فاز و قطبش پرتوهای پلاسمونی منتشر شونده در این شبکه سیمی ایجاد شده‌اند [۱].

گیت‌های منطقی پلاسمونی نانومتری می‌توانند مسیری برای تحقق پردازش‌گرهای نوری نوین برای به‌کارگیری در فن‌آوری‌های محاسباتی آینده خلق کنند. با این حال، مهم‌ترین ضعف ساختارهای پلاسمونی شامل فلزات، نرخ تلفات غیرتثبیتی ناشی از تلفات فلزی است که به طور قابل ملاحظه‌ای به کاهش ضریب عملکرد آنها می‌انجامد.

در این مقاله یک عملگر پایه منطقی، ایکس‌آر، در یک ساختار ساده از نانوکاواک تشدیدگر ارائه می‌شود. این گیت تمام نوری بر اساس نانوموج‌برهای فلز-عایق-فلز شامل کاواک تشدیدگر شکافی، به عنوان عنصری پرکاربرد در ساختارهای پردازشی-محاسباتی نوری ارائه می‌شود. پیش‌تر، گیت‌هایی بر پایه نانوموج‌برهای شکافی به صورت تجربی بررسی و ساخته شده‌اند [۸]. ساختار پیشنهادی در [۸]، بر اساس ساختار Y-شکل متقارن، و با ایجاد نانوشکاف‌هایی بر لایه نازکی از طلا بوده و بر پایه سازنده یا مخرب بودن تداخل امواج عمل می‌کند. ساختار پیشنهادی ما نیز، براساس تداخل سازنده یا مخرب امواج ورودی به آن عمل می‌کند، اما شامل کاواکی تشدیدگر است و در مقایسه با ساختار پیشنهادی در [۸]، از طول کوتاه‌تری برخوردار است. ساختار این مقاله بدین شرح است: در بخش ۲، ساختار اصلی معرفی می‌شود. در بخش ۳، نتایج شبیه‌سازی ارائه می‌شوند و در پایان چند نتیجه-گیری در بخش ۴ خلاصه می‌شوند.

۲- ساختار ارائه شده و توصیف عملکرد آن

نمای ساختاری این گیت منطقی پلاسمونی که شامل سه موج‌بر فلز-عایق-فلز و یک نانوکاواک شکافی مستطیلی شکل است، در شکل ۱ مشاهده می‌شود. یک ساختار

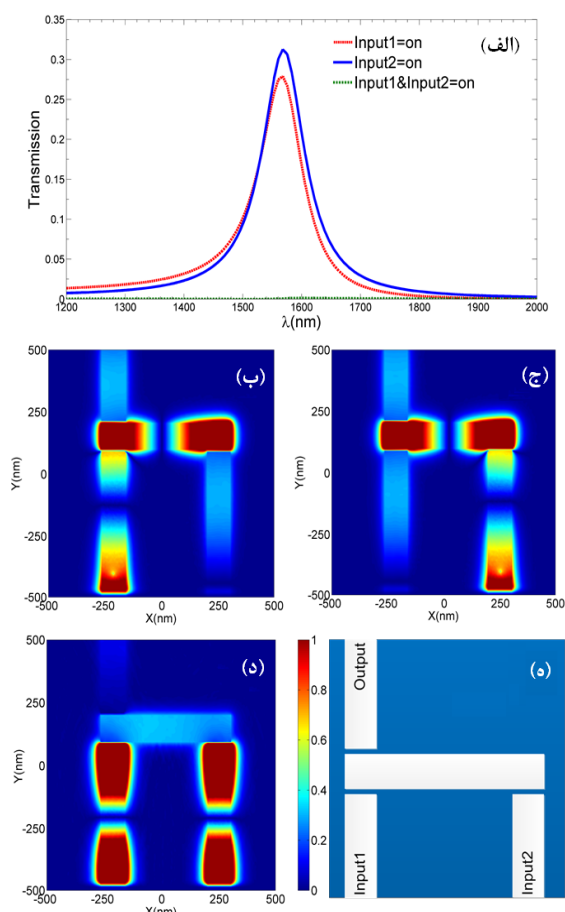
Diagram illustrating the cross-section of a silver-coated optical fiber. The central core is labeled "Air" (white) with diameter W . The cladding is labeled "Silver" (blue) with thickness d . The total diameter is W_s . The cladding is divided into two sections of length ΔL_1 and ΔL_2 by a dashed vertical line.

جدول ۱: جدول درستے گیت منطقے ایکس آر۔

INPUT1	INPUT2	OUTPUT
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$$\varepsilon_m(\omega) = \varepsilon_\infty - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 - j\gamma\omega} \quad (1)$$

2 Yee



شکل ۲: (الف) طیف انتقال توان، پروفایل شدت میدان مغناطیسی عمودی در حالتی که (ب) و (ج) تنها یکی از ورودی‌ها، و (د) هر دو ورودی روشن (۱) هستند، و (ه) ساختار نهایی گیت پیشنهادی.

مراجع

- [1] H. Wei, Z. Wang, X. Tian, M. Kall, and H. Xu, "Cascaded logic gates in nanophotonic plasmon networks," **Nat. Commun.** 1388, (2011), 1-5.
- [2] D.K. Gramotnev and S.I. Bozhevolnyi, "Plasmonics beyond the diffraction limit," **Nat. Photonics**, 4, (2010), 83-91.
- [3] F. Hu, H. Yi, and Z. Zhou, "Band-pass plasmonic slot filter with band selection and spectrally splitting capabilities," **Opt. Express**, 19, (2011), 4848-4855.
- [4] T. Yabu, M. Geshibo, T. Kitamura, K. Nishida, and S. Sawa, "All-optical logic gates containing a two-mode nonlinear waveguide," **IEEE J. Quantum Electron.** 38, (2009), 37-46.
- [5] I.S. Maksymov, "Optical switching and logic gates with hybrid plasmonic-photonic crystal nanobeam cavities" **Phys. Lett. A**, 375, (2011), 918-921.
- [6] J. Qiu, K. Sun, M. Rochette, and L.R. Chen, "Reconfigurable All-Optical Multilogic Gate (XOR, AND, and OR) Based on Cross-Phase Modulation in a Highly Nonlinear Fiber," **IEEE Photon. Technol. Lett.** 22, (2010), 1199-1201.
- [7] A. Dolatabady and N. Granpayeh, "All optical logic gates based on two dimensional plasmonic waveguide with nanodisk resonator," **J. Opt. Soc. Korea**, 16, (2012), 432-442.
- [8] Y. Fu, X. Hu, C. Lu, S. Yue, H. Yang, and Q. Gong, "All-optical logic gates based on nanoscale plasmonic slot waveguides," **Nano. Lett.** 12, (2012), 5784-5790.

شرایط مرزی CPML^۳ ارضا شده‌اند.

پارامترهای ساختاری مطابق تعاریف مشاهده شده در شکل ۱، به صورت $d=15$ nm، $L_s=565$ nm، $W=W_s=100$ nm و $\Delta L_1=\Delta L_2=((L_s-W)/2)$ انتخاب شده‌اند. جهت پیاده‌سازی الگوریتم FDTD، کدی در نرم‌افزار متلب نوشته شده است.

۳-۲- نتایج شبیه‌سازی

شکل ۲-الف، طیف انتقال توان گیت تمام نوری پیشنهادی را در هر سه حالت آخر متناظر با جدول ۱ نشان می‌دهد. این طیف، از محاسبه نسبت توان خروجی به توان ورودی در یکی از موج‌برهای ورودی (شدت موج ورودی هر دو موج‌بر ورودی یکسان فرض شده است) و در حوزه فرکانس محاسبه شده است. برای دو حالتی که تنها یکی از ورودی‌های موج‌برها روشن (۱ منطقی) هستند، نسبت انتقال توان از ورودی به خروجی برابر با 0.32 است. این مقدار را می‌توان به منزله میزان ۱ منطقی در خروجی تعریف نمود. در حالتی که هر دو ورودی روشن (۱ منطقی) هستند نیز، خروجی میزان ناچیزی دارد که می‌توان آنرا به منزله ۰ منطقی در نظر گرفت. بیشینه منحنی‌های یاد شده در طول موج 1568 نانومتر (که متناظر با یکی از طول‌موج‌های تشدید کاواک با ابعاد یاد شده است) مشاهده می‌شود. در شکل‌های ۲-ب تا ۲-د نیز پروفایل شدت میدان مغناطیسی ساختار گیت نهایی شکل ۲-ه در طول موج 1568 نانومتر مشاهده می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک گیت منطقی ایکس‌ار تمام نوری بر اساس ساختار نانوکاوک شکافی معرفی شد. نتایج شبیه‌سازی عملکرد این گیت بر اساس روش تحلیل عددی تفاضل محدود در حوزه زمان بررسی شدند. می‌توان با در نظر گرفتن طرح‌های دیگر، سایر عملگرهای منطقی را نیز تحقق بخشید. همچنین می‌توان با تغییر پارامترهای ساختاری، میزان تعریف شده ۰ و ۱ منطقی و نیز طول-موج کار را برای اهداف خاص تعیین نمود.

³ Convolutional Perfectly Matched Layers: CPML