

طراحی و شبیه سازی گیت منطقی NOR تمام نوری مبتنی بر بلورهای فوتونیک

محمد آتش زای^۱، عبدالله علیزاده^۲

^۱ گروه مهندسی برق، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران - ^۲ بناب، انتهای بزرگراه ولایت، دانشگاه بناب، گروه مهندسی برق - الکترونیک، کد پستی ۵۵۵۱۷۶۱۱۶۷

چکیده - در این مقاله گیت منطقی NOR تمام نوری مبتنی بر بلورهای فوتونیک با تشدیدگرهای حلقوی طراحی و شبیه سازی شده است. بلورهای فوتونیک در این تحقیق از شبکه دو بعدی مربعی با میله های دی الکتریک در بستر هوا تشکیل شده اند. برای اینکه بتواند در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر کارآیی داشته باشد، ثابت شبکه ساختارها برابر ۰/۵۹۴۳ میکرومتر در نظر گرفته شده است. ضریب شکست و شعاع میله های ساختارهای طراحی شده به ترتیب ۳/۱ و ۰/۱۱۸۸ میکرومتر می باشند. برای استخراج باند گپ ساختارها از روش بسط موج مسطح (PWE) استفاده شده است. نتایج شبیه سازی با استفاده از روش های عددی FDTD دو بعدی تجزیه و تحلیل شده اند. ساختار ارائه شده بدلیل برخورداری از اشکال هندسی ساده، قابلیت کاربرد در مدارات مجتمع را دارا می باشد.

کلید واژه- بلورهای فوتونیک، کریستالهای فوتونیک، گیت های تمام نوری، گیت NOR تمام نوری، تشدیدگرهای حلقوی

Design and simulation of All-optic NOR gate based on photonic crystals

Mohammad Atashzay¹, Abdollah Alizadeh²

¹Department of Electrical Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University of Ahar, Iran. ²Department of Electrical Engineering, University of Bonab, Bonab 5551761167, Iran, email: a_alizadeh@tabrizu.ac.ir

Abstract- In this paper the design and simulation process of an all optical logic NOR gate have been presented. We have designed the gate with a 2D square lattice of photonic crystals of dielectric rods, consisting of input waveguides and T-type ring resonators. To be suitable with communication wavelength 1.55 μm , the gate was designed to have a lattice constant of structure, refraction index, and radius of rods of 0.5943 μm , 3.1 and 0.1188 μm respectively. The plane wave expansion (PWE) method have been used for band gap extraction of structure. The designed gate has been simulated and analyzed by finite difference time domain (FDTD) methods. Due to the simple structure, the proposed device is compatible with optical integrated circuits.

Keywords: All optical NOR gate, All optical gates, Photonic crystals, Ring resonators

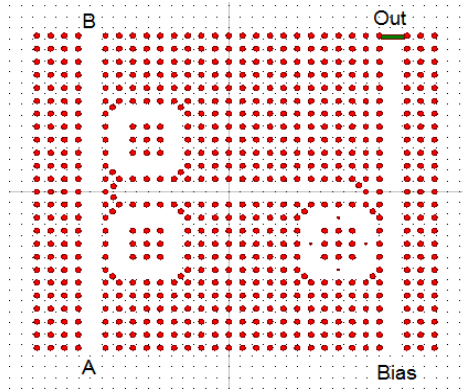
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

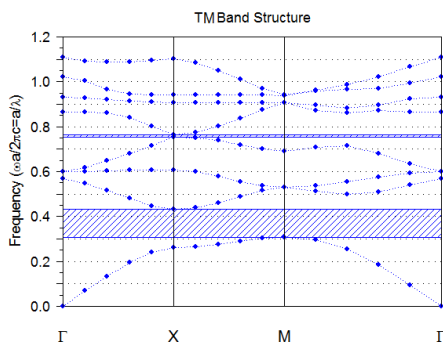
با گسترش سیستم های مخابراتی جهت فراهم کردن سرعت و ظرفیت بالا برای انتقال اطلاعات، تقاضا برای پردازش سیگنال ها با استفاده از نور به طور چشمگیری افزایش یافته است. هم اکنون پذیرفته شده است که در آینده الکترونیک دیجیتال توانایی پاسخ به این تقاضا ها را ندارد. در سال های اخیر روش های پردازش سیگنال ها به صورت تمام نوری توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است [۱-۳]. گیت های منطقی تمام نوری با سرعت عملکرد بسیار بالا نقش اساسی را در سیستم های پردازش سیگنال و شبکه های نوری ایفا خواهند کرد. تاکنون ساختارهای مختلفی برای تحقق گیت های منطقی نوری ارائه شده اند. در راستای آسانی مجتمع سازی ساختار های ارائه شده، گیت های منطقی بر اساس بلور های فوتونی خطی و غیر خطی مورد توجه ویژه ای قرار گرفته اند و به صورت چشمگیری گسترش یافته اند [۴-۶]. در مطالعات و تجربیات قبلی گیت های منطقی مانند گیت NOT [۸] و گیت NOR [۹] با روش های متفاوت شبیه سازی شده است. در این مقاله، عملکرد گیت منطقی NOR تمام نوری با استفاده از تشدیدگرهای حلقوی نوع-T بلور فوتونی دو بعدی ارائه شده است. ساختار بلور فوتونی از شبکه مربعی از میله های دی الکتریک در بستر هوا تشکیل شده است. انتشار امواج الکترومغناطیسی در حوزه زمان با استفاده از روش تفاضل های متناهی در حوزه زمان (FDTD) شبیه سازی و باند ممنوعه فوتونی با روش بسط امواج تخت (PWE) [۱۰-۱۱] محاسبه شده اند.

۲- طراحی و بررسی ساختار گیت NOR

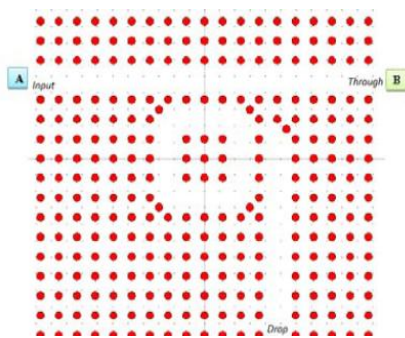
در این مقاله برای طراحی ساختار از بلور فوتونی دو بعدی با آرایه مربعی 30×25 از میله های دی الکتریک در بستر هوا استفاده شده است. ضریب شکست میله ها $3/1$ با نفوذ پذیری نسبی $9/61$ هستند. ثابت شبکه ساختار 594nm و شعاع میله ها 118nm می باشند. ساختار گیت NOR تمام نوری پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. با استفاده از روش بسط امواج تخت باند ممنوعه فوتونی محاسبه شد و دیاگرام باند ساختار برای مود TM در شکل ۲ نشان داده شده است. از شکل ساختار باند (شکل ۲) مشخص می شود که باند ممنوعه در بازه فرکانسی a/λ



شکل ۱: ساختار پیشنهادی گیت NOR در بلور فوتونیکی دو بعدی

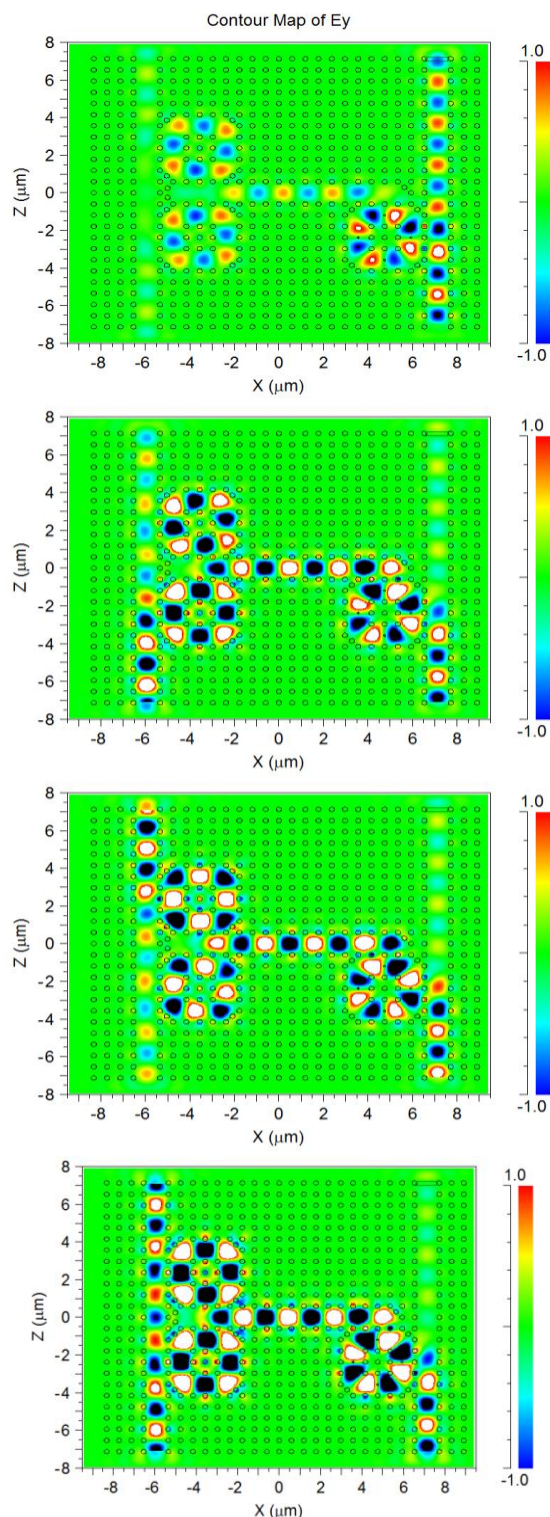


شکل ۲: ساختار باند ممنوعه فوتونیکی گیت NOR



شکل ۳: تشدیدگر حلقوی نوع T

مابین $0/3$ تا $0/43$ (پهنای باند $0/1249$ و فرکانس مرکزی بهنجار شده $0/37405$) وجود دارد. در طراحی گیت NOR از تشدیدگر حلقوی نوع T استفاده شده است. تشدیدگر حلقوی مورد نظر در شکل ۳ به نمایش در آمده است. شعاع حلقه ها برابر $3a$ و شعاع میله ها $0/2a$ می باشند. چهار میله در گوشه های حلقه قرار داده شده اند تا اثر پراکندگی معکوس امواج در گوشه های حلقه از بین برود و عملکرد تشدید درون حلقه به سهولت انجام شود. در ساختار گیت مورد نظر نیز چهار میله در داخل حلقه نزدیک به موجبر سمت راست وجود دارند که مانع از تزویج کامل نور از موجبر سمت راست



شکل ۴: دامنه الگوی میدان مغناطیسی گیت NOR به ترتیب از بالا به پایین برای حالت‌های ورودی ۰۰، ۰۱، ۱۰ و ۱۱

به موجبر خروجی انتقال یافته و به سمت ورودی Bias منتشر شده و مانع از رسیدن نور Bias به خروجی شده و گیت خاموش می شود. وقتی که هر دو ورودی یک باشند،

به موجبر میانی می شوند. اما در شدت های بالا که معمولاً در موجبر میانی با توجه به قرار گرفتن آن میان سه حلقه رخ می دهد، از موجبر میانی به سمت موجبر بایاس (حرکت جهت عقربه ساعت) امکان تزویج فراهم می شود.

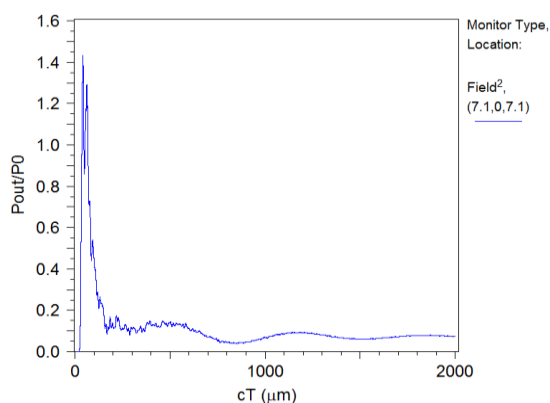
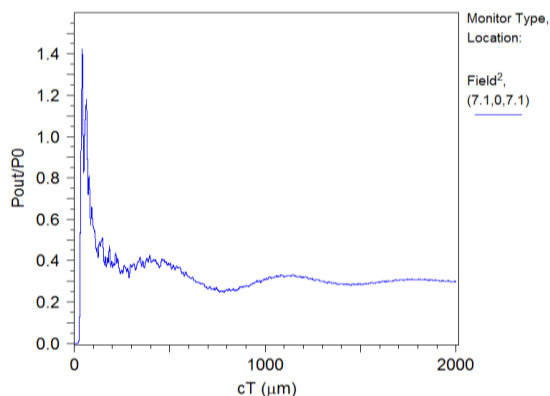
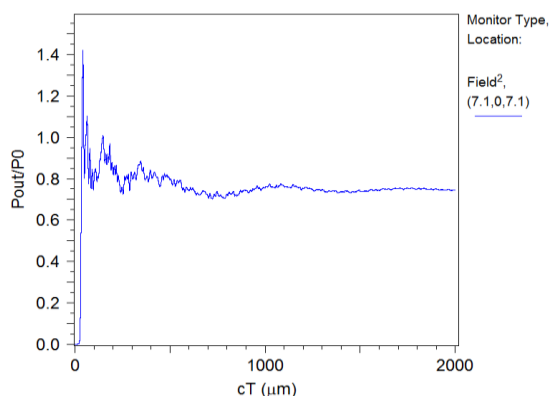
۳- شبیه سازی و نتایج گیت NOR

یکی از مسائل مهم در طراحی گیت های منطقی، قابلیت تفکیک سطوح منطقی صفر و یک است. از آنجایی که تا کنون سطوح منطقی استاندارد برای گیت های منطقی تمام نوری ارائه نشده است، ما در این تحقیق توانهای خروجی ۰ تا $0.3P_0$ را سطح "صفر منطقی" و از مقدار $0.7P_0$ تا P_0 را "سطح یک منطقی" در نظر می گیریم. در این طراحی توان ورودی ها یکسان و برابر P_0 می باشند. میزان توان خروجی ها نیز بر حسب همین توان بیان شده است [۸].

ساختار طراحی شده برای گیت منطقی NOR دارای سه ورودی و یک خروجی است. پورت های Bias، A و B پورت های گیت بوده و پورت Out خروجی گیت می باشد. پورت های A و B به عنوان ورودی های منطقی و ورودی Bias به عنوان بایاس یا تغذیه گیت می باشند. گیت NOR دارای دو حالت کاری روشن و خاموش است. گیت NOR زمانی روشن است که هر دو ورودی اش صفر باشد و در غیر این صورت خاموش می شود. زمانی که هر دو ورودی صفر باشند نوری که از ورودی Bias به ساختار وارد می شود نمی تواند از طریق حلقه تشدید سمت راست به موجبر میانی منتقل شود، چون چهار میله که در داخل حلقه تشدید قرار دارند مانع از انتقال کامل نور به داخل حلقه و موجبر میانی می شوند. در نتیجه نور به سمت خروجی حرکت کرده و گیت روشن می شود. در صورتی که یکی از ورودی ها یک باشد، در این حالت تمام نور توسط یکی از تشدیدگرهای سمت چپ به موجبر میانی انتقال می یابد و نوری از پورت ورودی دیگر خارج نمی شود. نوری که وارد موجبر میانی شده با توجه به اینکه بین سه حلقه تشدید قرار گرفته، پس با شدت بالا همراه بوده که این شدت در شکلها نیز مشخص می باشند. حلقه تشدید که دارای چهار میله در بین حلقه هاست دیگر نمی تواند در شدت بالا مانع از انتقال نور شود. بنابراین نور از موجبر میانی از طریق تشدیدگر سمت راست

Electrical and Computer Engineering (IECE) Vol. 3, No. 4, pp. 478~482, August 2013.

- [9] Wen-piao Lin, Yu-fang Hsu, "Design of optical nor logic gates using two dimension photonic crystals", American J. of Modern Physics, Published online May 20, 2013.
- [10] Joannopoulos, J. D. et al., "Photonic Crystals: Molding the Flow of Light", Princeton University Press, New Jersey, 2008
- [11] Wu, Y.D., Zou, T.H., Lee, J.J., "The All-optical Logic Gates Based on Mach-Zehnder Interferometer Photonic Crystal Waveguides", PIERS Proceedings, Moscow, Russia, August 19-23, 2012.



شکل ۵: نسبت توان خروجی گیت NOR به ترتیب از بالا به پایین به ازای ترکیبات ورودی ۰۰، ۰۱ یا ۱۰ و ۱۱

در این حالت نوری که از هر دو ورودی وارد ساختار شده و توسط تشدیدگر حلقوی به موجبر میانی انتقال می یابد. نور ها از موجبر میانی توسط تشدیدگر حلقوی سمت راست به موجبر خروجی تزویج شده و مانند حالت قبل مانع از رسیدن نور Bias به خروجی شده و گیت خاموش می شود. شبیه سازی ها به ازای ورودی های مختلف انجام شد و الگوی میدان مغناطیسی گیت NOR به ازای ورودی های مختلف در شکل ۴ نمایش داده شده اند. همچنین نسبت توان خروجی به توان ورودی به ازای ورودی های مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطوری که از حالت پایدار شکلها مشاهده می شود گیت NOR تنها زمانی روشن خواهد شد که هر دو ورودی گیت خاموش باشند که در شکل ۵ (بالا ترین) نمایش داده می شود. در بقیه حالت ها خروجی گیت خاموش می مانند که در بقیه شکل های ۵ نشان داده شده اند.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله یک گیت منطقی NOR تمام نوری مبتنی بر تشدیدگر حلقوی نوع T کریستال فوتونیک طراحی شد. کریستال فوتونیک از شبکه مربعی دویعدی از میله های دی الکتریک در بستر هوا با ضریب شکست $3/1$ تشکیل شده است. ساختار برای کاربرد در طول موج $1/55$ میکرومتر طراحی شد و ثابت شبکه آن برابر $a=0/5943$ میکرومتر بدست آمد. ساختار از شکل هندسی ساده ای برخوردار است.

مراجع

- [1] Kabilan, A. P., Christina, X. S., and Caroline, P. E., "Photonic crystal based all optical OR and XOR logic gates", Proc. of IEEE ICCNT, pp. 1-4, 2010
- [2] Zhu, Z.H., Ye, W.M., Ji, J.R., Yuan, X.D., and Zen, C., "High-contrast light-by-light switching and AND gate based on nonlinear photonic crystals", Opt. Express 14, 1783-1788, 2006
- [3] Zhang, Y., Zhang, Y., Li, B., "Optical Switches and Logic Gates Based on Self-Collimated Beams in Two-Dimensional Photonic Crystal", Opt. Express 15, p 9287-9292, 2007
- [4] Yghoubi, E., Ashrafbakhtiar, L., "A novel design for all-optical NAND/NOR/XOR gates based on nonlinear directional couple", Journal of Advances in Computer Research, 09/2011.
- [5] Lee Kun-Yi, et al., "The Designs of XOR Logic Gates Based on Photonic Crystals", J. Lightw. Technol. 24, 3392, 2008
- [6] Andalib, P., Granpayeh, N., "All-optical ultra-compact photonic crystal NOR gate based on nonlinear ring resonators", J. Opt. A, Pure Appl. Opt. 11, 085203, 2009
- [7] Mansouri-Birjandi, M. A., Moravvej-Farshi, M. K. and Rostami, A., "Ultrafast low threshold all-optical switch implemented by arrays of ring resonators coupled to a Mach-zehnder interferometer arm: based on 2D photonic crystals", Appl. Opt. 47, 5041-5050, 2008
- [8] Ghadrnan, M., Mansouri-Birjandi, M.A., "All-Optical NOT Logic Gate Based on Photonic Crystals", Inter. J. of