



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 و شبیه‌سازی رمزگذار تمام‌نوری مبتنی بر تزویج‌گرهای بلور فوتونی

نوید اعتمادی‌فر^۱، علیرضا طاوسی^۲، محمدرضا رخشانی^۳

^۱موسسه آموزش عالی هاتف، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی برق (navid.etemadi88@gmail.com)

^۲دانشگاه ولایت، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی برق (a.tavousi@velayat.ac.ir)

^۳دانشگاه زابل، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی برق (mrakhshani@uoz.ac.ir)

چکیده - در این مقاله یک رمزگذار بلور فوتونی متشکل از دو تزویج‌گر شش ضلعی در شبکه مربعی از میله‌های دی‌الکتریک در هوا ارایه شده است. موج‌برها با حذف میله‌های دی‌الکتریک در ساختار ایجاد شده اند و برای دستیابی به تزویج‌گرها با عملکرد مناسب از میله‌های دی‌الکتریک با شعاع کوچکتر استفاده شده است. ساختار ارایه شده می‌تواند بدون استفاده از اثرات خطی یک کد دودویی دو بیتی را با توجه به ترتیب ورودی‌های فعال در خروجی تولید کند. برای تحقق این ساختار یک دروازه OR طراحی شده، سپس برای تحکیم رمزگذار مورد نظر دو دروازه OR با یکدیگر ترکیب شده است. بهترین زمان تاخیر بدست آمده و ابعاد ساختار ارایه شده به ترتیب حدود ۱۶۶fs و $390\mu\text{m}^2$ است و نرخ سوییچینگ ۶THz می‌باشد.

کلید واژه- بلور فوتونی، زمان تاخیر، رمزگذار، تزویج‌گر، نرخ سوییچینگ

Design and Simulation of All Optical Encoder Based on Photonic Crystal Couplers

Navid Etemadifar¹, Alireza Tavousi², and Mohammad Reza Rakhshani³

¹Faculty of Engineering, Hatef Higher Education Institute, Zahedan

²Faculty of Engineering, Velayat University, Iranshahr

³Faculty of Engineering, University of Zabol, Zabol

Abstract - In this paper, a photonic crystal based encoder consisting of two hexagonal shaped couplers in 2D square lattice of dielectric rods in air is proposed. Waveguides have been created by removing dielectric rods in the structure, and rods with smaller radii have been used to achieve the proper couplers operations. The proposed structure can generate a two-bit binary code in the output, according to the order of active inputs, without the use of nonlinear effects. To realize this structure, an OR gate is designed, then the two OR gates are combined to consolidate the desired encoder. Best delay time and the dimensions of the proposed structure are about 166 fs and $390\mu\text{m}^2$, respectively, and the switching rate is 6THz.

Keywords: Photonic crystals, Delay time, Encoder, Coupler, Switching rate

مقدمه

تقاضای انتقال اطلاعات دیجیتالی در باند های وسیع رو به رشد است، اما محدودیتهای ذاتی افزاره های الکترونیکی نسبت به شبکه های نوری در پردازش سریع داده ها مانعی جدی بر سر تحقق این امر بوده و منجر به محدودیت در انتقال داده ها می-گردد. در سال های اخیر روش پردازش سیگنال به صورت تمام نوری توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است [۱-۳]. دروازه های منطقی تمام نوری [۴] با عملکرد بسیار سریع نقش مهمی در سیستم پردازش سیگنال و شبکه نوری برعهده خواهند داشت. در همین راستا ساختارهای مختلفی برای تحقق دروازه های منطقی ارایه شده که این ساختارها براساس بلورهای فوتونی خطی و غیرخطی مورد توجه ویژه ای قرار گرفته اند و به شکل چشمگیری گسترش یافته اند [۲-۵]. در این مقاله طراحی افزاره رمزگذار تمام نوری به وسیله بلورهای فوتونی دو بعدی ارایه شده است. ساختار بلور فوتونی از شبکه مربعی با میله های دی الکتریک در بستر هوا تشکیل شده است. در این پایان نامه از روش بسط امواج تخت (PWE) [۶] برای محاسبه شکاف نوار در بلور فوتونی بدون نقص، مدهای انرژی در موجبر [۷، ۸] و حفره استفاده شده است و همچنین برای محاسبه منحنی های طیفی در ساختارهای ارائه شده، از روش تفاضل محدود در حوزه زمان (FDTD) [۹] استفاده شده است.

طراحی و بررسی ساختار رمزگذار

در این مقاله برای طراحی افزاره رمزگذار تمام نوری از بلورهای فوتونی دو بعدی با آرایش مربعی و در ابعاد 41×31 عدد از میله های دی الکتریک در بستر هوا تشکیل شده است. نمای مدار منطقی این طرحواره در شکل ۱ نمایش داده شده است و در شکل ۲ نیز طرح ایجاد شده پیشنهادی در بستر بلور فوتونی آمده است. موج برهای این ساختار با حذف برخی میله های دی الکتریک بلورهای فوتونی دو بعدی ایجاد شده اند با این فرض که میله های دی الکتریک از جنس سیلیکون ($n_1 = 3.45$) با شعاع $r_1 = 0.2a$ ساخته شده و a ثابت شبکه بلور فوتونی برابر 554 nm می باشد. بر اساس ساختار ارایه شده در شکل ۲، موج برهای بازوی بالا و پایین به همراه موج بر میانی، فرکانس موج ورودی را به حلقه های شش ضلعی انتقال داده و

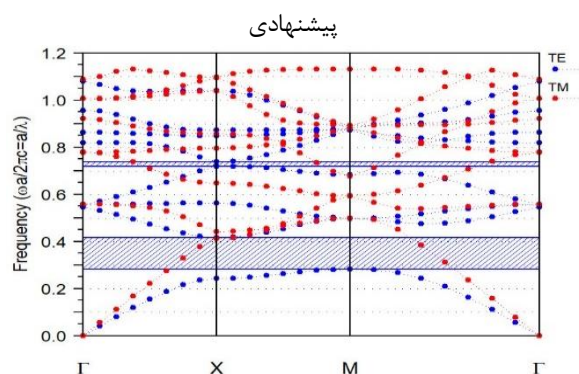
موج خروجی با عبور از حلقه ها از موج برهای Y شکل خارج می گردد.



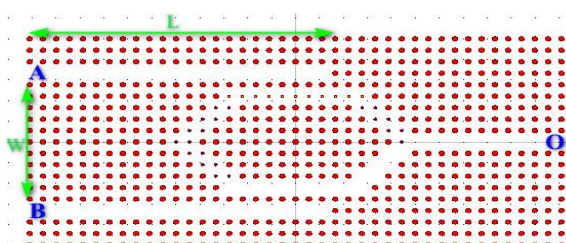
شکل ۱: نمودار مدار منطقی رمزگذار پیشنهادی



شکل ۲: ساختار بلور فوتونی رمزگذار تمام نوری

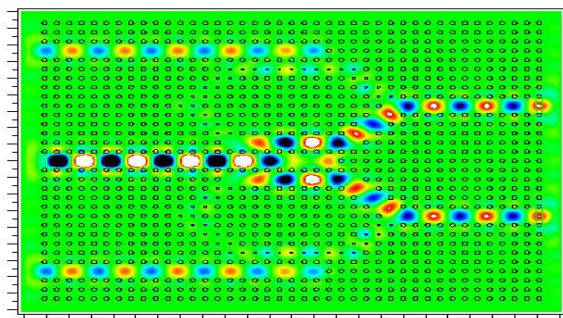


شکل ۳: نمودار شکاف نوار ساختار شبکه مربعی با میله های دی الکتریک از جنس سیلیکون



شکل ۴: ساختار بلور فوتونی دروازه OR پیشنهادی

با استفاده از روش بسط امواج تخت نوار ممنوعه فوتونی محاسبه گردید که نوار باند ساختار در مد TE و TM در شکل



(ج)

شکل ۵: حالت‌های کاری مختلف در رمزگذار پیشنهادی
(الف) زمانی که $I_0=1$ و $I_1=I_2=0$ (ب) زمانی که $I_1=1$ و $I_0=I_2=0$
(ج) زمانی که $I_0=I_2=1$ و $I_1=0$ است.

حالت ۱: هنگامی که ورودی I_0 فعال است، درگاه‌های ورودی I_1 و I_2 غیرفعال است. با فعال شدن ورودی I_0 تداخل سازنده بین پرتوهای موج‌بر در حلقه تزویج‌گر رخ می‌دهد و از این رو خروجی O_0 فعال می‌شود. با توجه به شکل ۵(الف). **حالت ۲:** وقتی ورودی I_1 فعال است، درگاه‌های I_0 و I_2 غیرفعال می‌باشد. در نتیجه درگاه خروجی O_1 فعال خواهد شد. این فرایند در شکل ۵(ب) نمایش داده شده است.

حالت ۳: زمانی که ورودی I_2 فعال شود، در اثر تشدید حلقه، تداخل ساختاری پرتو تمایل دارد با عبور از موج‌برهای Y_1 و Y_2 به درگاه‌های خروجی O_0 و O_1 انتقال یابد. بنابراین هر دو خروجی فعال می‌شود، با توجه به شکل ۵(ج).

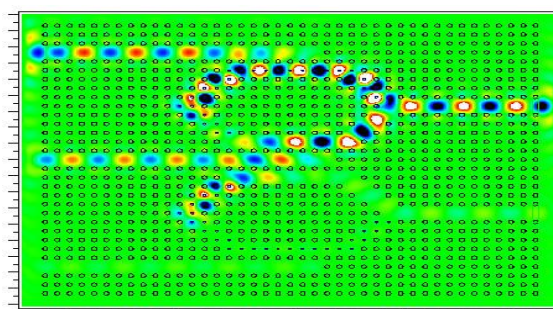
همانطور که گفته شد یک پرتو نور به صورت جداگانه در ورودی‌های I_0 ، I_1 و I_2 منتشر شد، بر این اساس سه توان مجزا در خروجی‌های O_0 و O_1 شناسایی گردید. توان انتقالی خروجی بهنجار شده (P_{out}/P_{in}) برای ورودی‌های فعال در شکل ۶ به ترتیب برابر ۷۹٪ برای ورودی I_0 ، ۸۲٪ برای ورودی I_1 و ۵۸٪ در مجموع دو خروجی، برای ورودی I_2 بدست آمد.

بر اساس نتایج بدست آمده، نسبت توان انتقالی بهنجار شده (P_{out}/P_{in}) کمتر از ۱۴٪ و بیش از ۲۸٪ است که به ترتیب برای تعریف منطق "0" و "1" تعیین می‌گردد. همچنین شکل ۶(ج) نشان می‌دهد تفاضل بین دو توان خروجی، نرخ تبدیل توان به منطق "0" و "1" را بیان می‌کند که مهمترین پارامتر

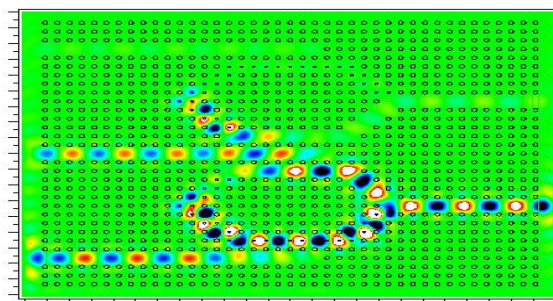
۳ نشان داده شده است. با توجه به ساختار نواری مشخص می‌گردد که نوار ممنوعه در بازه فرکانسی نرمال شده (a/λ) ۰/۲۸۲ تا ۰/۴۱۷ و برای مود TM دارای شکاف نواری ممنوعه است. با انتخاب ثابت شبکه مناسب، فرکانس کاری این رمزگذار $\lambda = 1543 \text{ nm}$ می‌باشد. جهت دستیابی به بهترین عملکرد دستگاه و بالاترین نرخ توان خروجی در ناحیه اتصال بین دو تزویج‌گر با موج‌برهای ورودی I_0 و I_1 (ناحیه آبی)، از میله‌های شبه دایره با ضریب شکست $n_2 = 3/45$ و دارای دو شعاع $r_1 = 0/2a$ و $r_2 = 0/1a$ می‌باشد. همچنین در قسمت زرد رنگ شکل ۲ از میله‌هایی با ضریب شکست n_2 و شعاع r_2 استفاده شده است. در طراحی این رمزگذار از دو طبقه دروازه OR استفاده شده که ساختار این دروازه در شکل ۴ به نمایش در آمده است.

شبیه سازی و نتایج

به منظور طراحی ساختار رمزگذار پیشنهادی از پرتو نوری با فرکانس $\lambda = 1543 \text{ nm}$ در هر ورودی استفاده شده است. در این بخش به بررسی حالت‌های کاری ساختار ارایه شده پرداخته شده است.



(الف)



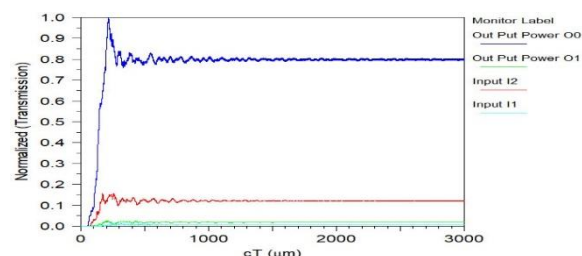
(ب)

منطقی OR با استفاده از تشدیدگرهای شش ضلعی، بصورت خطی عمل می‌کند که این امر سبب افزایش سرعت عملکرد ساختار می‌گردد. در مدل ارایه شده برای افزایش نرخ سوئیچینگ از یک ردیف سیلیکون با شعاع و ضریب شکست کمتر نسبت به سایر بلورهای تشکیل دهنده، در محل قرارگیری موجبر ورودی و مجاورت با تزویج‌گر استفاده شده است. جهت عملکرد مناسب از دو نمونه دی‌الکتریک جهت تزویج و انسداد نور استفاده شده است. حداکثر زمان تاخیر این دستگاه در حدود ۱۶۶fs و نرخ سوئیچینگ در حدود ۶THz خواهد بود.

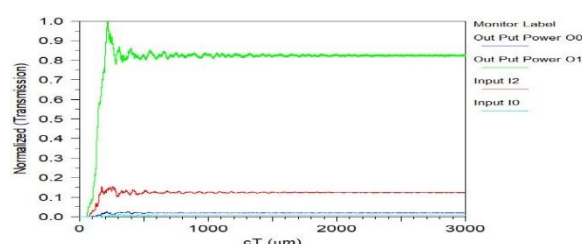
مرجع‌ها

- [1] A. Salimzadeh, H. Alipour-Banaei, "An all optical 8 to 3 encoder based on photonic crystal OR-gate ring resonators," Opt. Commun. Vol. 1, pp. 793-798, 2018.
- [2] F. Parandin, et al. "Design of a high bitrate optical decoder based on photonic crystals," J Comput Electron, Vol.17, no. 2, pp.830-836. 2018.
- [3] F. Cheraghi, M. Soroosh, G. Akbarizadeh, "An ultra-compact all optical full adder based on nonlinear photonic crystal resonant cavities," Superlattices Microstruct., Vol. 1, pp. 3593-65, 2018.
- [4] Rani, P., Kalra, Y., Sinha, R.K.: 'Design of all optical logic gates in photonic crystal waveguides' Opt. - Int. J. Light Electron Opt., Vol. 126, pp. 950-955, 2015.
- [5] P. Andalib, N. Granpayeh, "All-optical ultra-compact photonic crystal NOR gate based on nonlinear ring resonators", J. Opt. A, Pure Appl. Opt., Vol. 11, pp. 085203, 2009.
- [6] V. F. Rodriguez-Esquerre, M. Koshiba, H. E. Hernandez-Figueroa, "Finite-element analysis of photonic crystal cavities: time and frequency domains," J Lightwave Technol, Vol. 23, pp: 1514-1521, 2005.
- [7] M. Tokushima and H. Yamada, "Light propagation in a photonic-crystal-slab line-defect waveguide," IEEE J. Quantum Electron. Vol. 38, pp. 753-759, 2002.
- [8] A. Sugitatsu, T. Asano, and S. Noda, "Characterization of line-defect-waveguide lasers in two-dimensional photonic-crystal slabs," Appl. Phys. Lett. Vol. 84, pp. 5395-5397, 2004.
- [9] J. Yonekura, I. Mitsutaka, and T. Baba, "Analysis of finite 2-D photonic crystal of columns and lightwave devices using the scattering matrix method," J Lightwave Technol, Vol. 17, pp: 1500-1508, 1999.

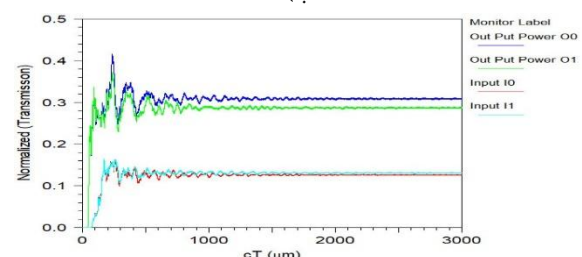
این ساختار به شمار می‌رود. رابطه منطقی ورودی- خروجی این رمزگذار تمام نوری در جدول ۱ آمده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۶: نمودار خروجی رمزگذار پیشنهادی (الف) زمانی که $(I_1=0, I_2=0, I_0=1)$ (ب) زمانی که $(I_1=1, I_2=0, I_0=0)$ و $(I_1=0, I_2=1, I_0=0)$ (ج) زمانی که $(I_1=0, I_2=1, I_0=0)$

جدول ۱: رابطه بین ورودی‌ها و سطوح مختلف توان

خروجی

ورودی‌ها			سطح توان		سطح منطقی	
I_0	I_1	I_2	O_1	O_0	O_1	O_0
1	0	0	0.01Pin	0.79Pin	0	1
0	1	0	0.82Pin	0.01Pin	1	0
0	0	1	0.28Pin	0.30Pin	1	1

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک رمزگذار تمام نوری بلور فوتونی طراحی و معرفی گردید. این رمزگذار با استفاده از ترکیب دو دروازه