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 و شبیه‌سازی رمزگذار تمام‌نوری مبتنی بر تزویج‌گرهای بلور فوتونی

نوید اعتمادی‌فر[۱]، علیرضا طاوسی[۲]، محمدرضا رخشانی[۳]

[۱]موسسه آموزش عالی هاتف، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی برق (navid.etemadi88@gmail.com)
[۲]دانشگاه ولایت ، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی برق (a.tavousi@velayat.ac.ir)
[۳]دانشگاه 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 میله های 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 ۳۹۰μm^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 Etemadifar [1], Alireza Tavousi[2], and Mohammad Reza Rakhshani[3]

[1]Faculty of Engineering, Hatef Higher Education Institute, Zahedan
[2]Faculty of Engineering, Velayat University, Iranshahr
[3]Faculty 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 μm^2, respectively, and the switching rate is 6THz.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

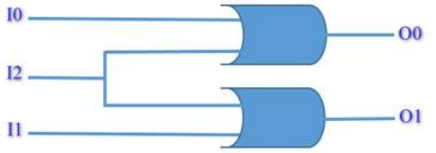
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

مقدمه

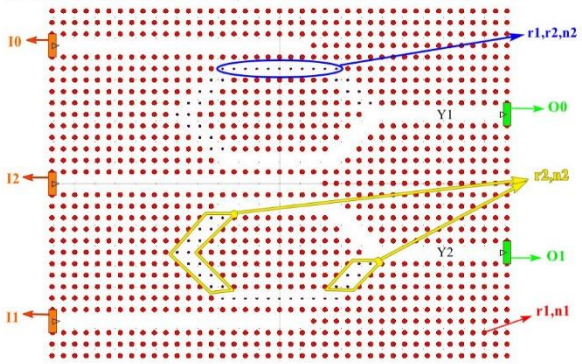
تقاضای انتقال اطلاعات دیجیتالی در باند های وسیع رو به رشد است، اما محدودیتهای ذاتی افزارههای الکترونیکی نسبت به شبکههای نوری در پردازش سریع دادهها مانعی جدی بر سر تحقق این امر بوده و منجر به محدودیت در انتقال دادهها می-گردید. در سال‌های اخیر روش پردازش سیگنال به صورت تمام نوری توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است [۱-۳]. دروازه‌های 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 دروازه‌های منطقی ارایه شده که این ساختارها براساس بلورهای فوتونی خطی و غیرخطی مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته‌اند و به شکل چشمگیری گسترش یافته‌اند[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 میله‌های دی‌الکتریک در بستر هوا تشکیل شده است. در این پایان‌نامه از روش بسط امواج تخت (PWE) [۶] برای محاسبه‌ی شکاف نوار در بلور فوتونی بدون نقص، مدهای انرژی در موجبر [۷، ۸] و حفره استفاده شده است و همچنین برای محاسبه‌ی منحنی‌های طیفی در ساختارهای ارائه شده، از روش تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان (FDTD) [۹] استفاده شده است.

طراحی و بررسی ساختار رمزگذار

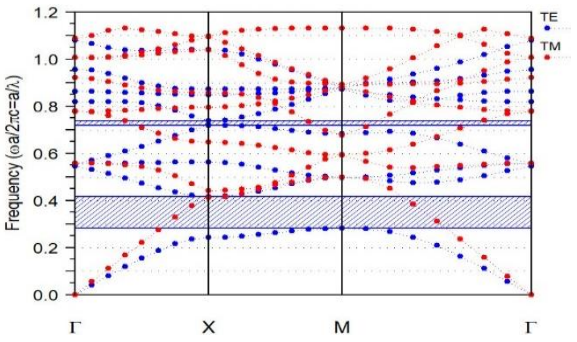
در این مقاله برای طراحی افزاره رمزگذار تمام نوری از بلورهای فوتونی دو بعدی با آرایش مربعی و در ابعاد ۳۱×۴۱ عدد از میله‌های دی‌الکتریک در بستر هوا تشکیل شده است. نمای مدار منطقی این طرحواره در شکل ۱ نمایش داده شده است و در شکل ۲ نیز طرح ایجاد شده پیشنهادی در بستر بلور فوتونی آمده است. موجبرهای این ساختار با حذف برخی میله-های دی‌الکتریک بلورهای فوتونی دو بعدی ایجاد شده اند با این فرض که میله‌های دی‌الکتریک از جنس سیلیکون (n_1=۳/۴۵) با شعاع r_1=۰/۲a ساخته شده و a ثابت شبکه بلور فوتونی برابر ۵۵۴nm می‌باشد. بر اساس ساختار ارایه شده در شکل ۲ ، موجبرهای بازوی بالا و پایین به همراه موجبر میانی، فرکانس موج ورودی را به حلقه‌های شش ضلعی انتقال داده و موج خروجی با عبور از حلقه‌ها از موجبرهای Y شکل خارج می‌گردد.



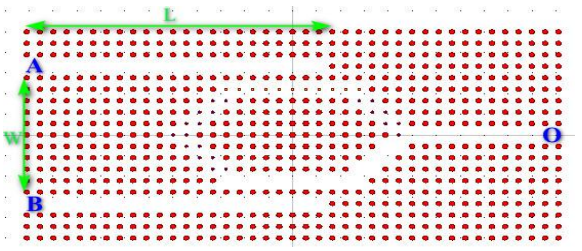
شکل ۱: نمودار مدار منطقی رمزگذار پیشنهادی



شکل ۲: ساختار بلور فوتونی رمزگذار تمام نوری پیشنهادی



شکل ۳: نمودار شکاف نوار ساختار شبکه مربعی با میله-های دی‌الکتریک 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 TM و TE در شکل

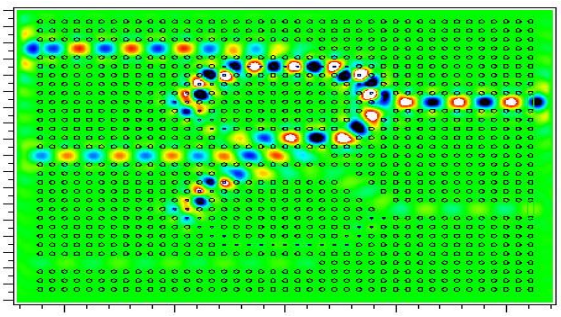
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

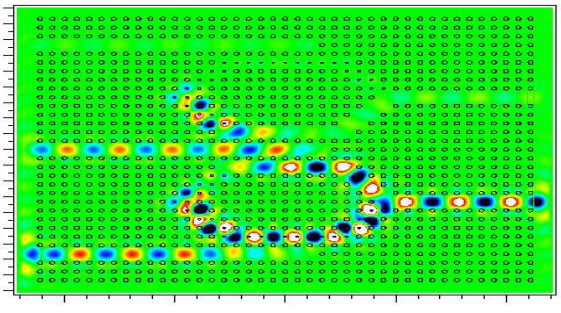
۳ نشان داده شده است. با توجه به ساختار نواری مشخص می-گردد که نوار ممنوعه در بازه فرکانسی نرمال شده (a/λ) ۰/۲۸۲ تا ۰/۴۱۷ و برای مود TM دارای شکاف نواری ممنوعه است. با انتخاب ثابت شبکه مناسب، فرکانس کاری این رمزگذار λ =۱۵۴۳nm می‌باشد. جهت دستیابی به بهترین عملکرد دستگاه و بالاترین نرخ توان خروجی در ناحیه اتصال بین دو تزویج‌گر با موج‌برهای ورودی I_0 و I_1 (ناحیه آبی)، از میله‌های شبه دایره با ضریب شکست n_2=۳/۴۵-۰/۱ و دارای دو شعاع r_1=۰/۲a و r_2=۰/۱a می‌باشد. همچنین در قسمت زرد رنگ شکل۲ 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

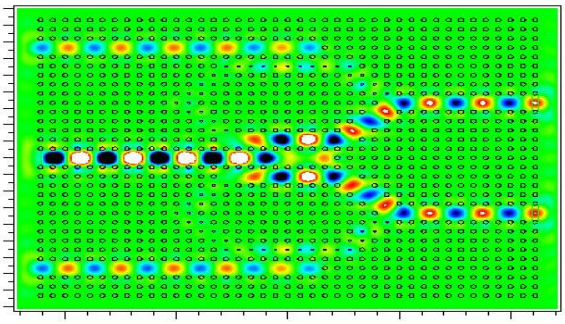
به منظور طراحی ساختار رمزگذار پیشنهادی از پرتو نوری با فرکانس λ =۱۵۴۳ nm در هر ورودی استفاده شده است. در این بخش به بررسی حالت‌های کاری ساختار ارایه شده پرداخته شده است.



الف)



ب)



ج)

شکل ۵: حالت‌های کاری مختلف در رمزگذار پیشنهادی
الف)زمانی که I_0=۱ و $I_1=I_2$=۰ ب)زمانی که I_1=۱ و $I_0=I_2$=۰ ج)زمانی که I_2=۱ و $I_0=I_1$=۰ 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).

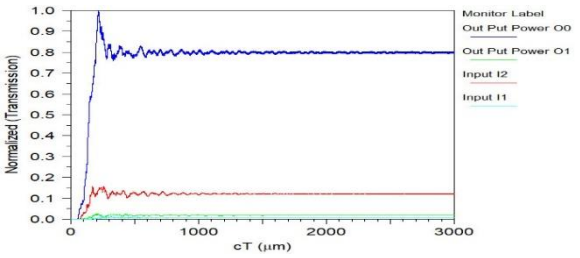
همانطور که گفته شد یک پرتو نور به صورت جداگانه در ورودی‌های I_0، I_1 و I_2 منتشر شد، بر این اساس سه توان مجزا در خروجی‌های O_0 و O_1 شناسایی گردید. توان انتقالی خروجی بهنجار شده (P_{out}/P_{in}) برای ورودی‌های فعال در شکل۶ به ترتیب برابر ۷۹٪ برای ورودی I_0، ۸۲٪ برای ورودی I_1 و ۵۸٪ در مجموع دو خروجی، 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

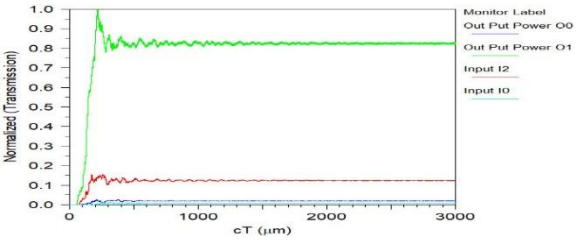
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

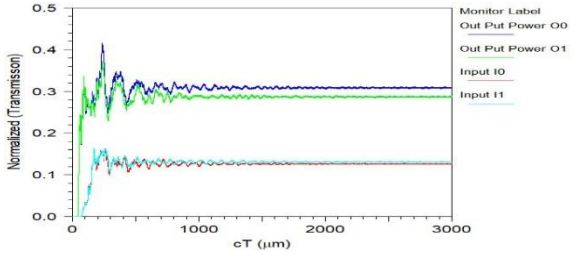
این ساختار به شمار می‌رود. رابطه منطقی ورودی- خروجی این رمزگذار تمام نوری در جدول ۱ آمده است.



الف)



ب)



ج)

شکل ۶: نمودار خروجی رمزگذار پیشنهادی الف)زمانی‌که (I1=۰ و I2=۰ و I0=۱) ب)زمانی‌که (I1=۱ و I2=۰ و I0=۰) ج)زمانی‌که (I1=۰ و I2=۱ و I0=۰)

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**

نتیجه گیری

در این مقاله یک رمزگذار تمام نوری بلور فوتونی طراحی و معرفی گردید. این رمزگذار با استفاده از ترکیب دو دروازه 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 سوییچینگ 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 سوییچینگ 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. Hernandes-Figueroa, “Finite-element analysis of photonic crystal cavities: time and frequncy 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.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

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