بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

طراحی دیکدر نوری مبتنی بر کریستالهای فوتونیکی

سمیه سراج‌محمدی[۱]، مهسا جهان‌آرا[۱]، فرهاد مهدیزاده[۱] و حامد علیپوربنایی[۲]

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، گروه مهندسی برق، اهر، ایران
۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، گروه مهندسی برق، تبریز، ایران

چکیده – در این مقاله با استفاده از رزوناتورهای حلقوی و اثر کر یک سویچ دیکدر ۱ به ۲ طراحی و شبیه سازی شده است. ساختار پیشنهادی ما دارای دو پورت ورودی می باشد که یکی بعنوان پورت بایاس و دیگر بعنوان پورت منطقی عمل می‌کند. دیکدر ۱ به ۲ دارای دو پورت خروجی می باشد که روشن بودن هر یک از این دو پورت توسط پورت ورودی منطقی کنترل می شود. در طراحی و شبیه سازی این دیکدر پیشنهادی از روشهای عددی مانند بسط امواج مسطح و تفاضل نامتناهی در حوزه زمان استفاده شده است.

کلید واژه-اثر کر، دیکدر نوری، کریستال فوتونیکی، رزوناتور حلقوی.

Designing Optical Decoder Based on Photonic Crystals

Somaye Serajmohammadi[1], Mahsa Jahanara[1], Farhad Mehdizadeh[1] and Hamed Alipour-Banaei[2]

1- Department of Electrical Engineering, Islamic Azad University, Ahar Branch, Ahar, Iran
2- Department of Electronics, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran

Abstract- In this paper we proposed and all optical 1 to 2 decoder switch based on photonic crystal ring resonator and nonlinear Kerr effect. The proposed structure has 2 input ports namely bias and logic input ports. The 1 to 2 decoder has two output port which can be switched ON/OFF using the logic input port. For designing and simulation of the proposed structure we employed numerical methods such as plane wave expansion and finite difference time domain methods.

Keywords: Photonic crystal, Optical decoder, Kerr effect, Ring resonator.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

۱- مقدمه

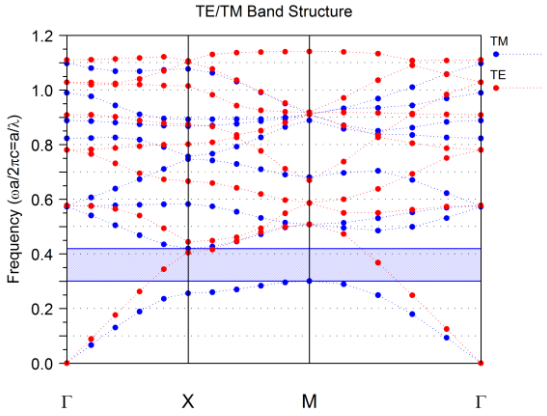
توسعه و پیشرفت شبکه های نوری و سیستم های مخابرات نوری نیاز به مدارات و قطعات تمام نوری را ایجاد کرده است. درحال‌حاضر هدف شبکه های مخابراتی رسیدن به پهنای باند و سرعت انتقال بسیار بالا می‌باشد که با استفاده از سیستم های مبتنی بر قطعات الکترونیکی امکان رسیدن به آنها وجود ندارد. لذا محققین و مهندسین عرصه اپتیک و فوتونیک به دنبال رسیدن به شبکه های تمام نوری هستند که مستلزم داشتن قطعات تمام نوری می باشد.

در حال حاضر کریستال های فوتونی بهترین گزینه برای طراحی قطعات تمام نوری می باشند که بعلت داشتن باند ممنوعه فوتونی امکان حبس و کنترل انتشار نور در فضاهای بسیار کوچک و فشرده را فراهم می‌سازد. در سالیان اخیر قطعات نوری مختلفی برای استفاده در سیستم های مخابرات نوری و پردازش نوری با استفاده از کریستال‌های فوتونی طراحی و شبیه سازی شده است که از آنجمله می توان به فیلترهای نوری [۱-۴]، دی مالتی-پلکسرهای نوری [۵-۸]، سویچ نوری [۹] و گیت های نوری [۱۰-۱۱] اشاره کرد.

یکی از قطعات اساسی که کاربردهای فراوانی در شبکه های سویچ زنی دارد دیکدر می باشد. در این مقاله هدف طراحی و شبیه سازی ساختار دیکدر نوری ۱ به ۲ است که در آن با یک پورت ورودی منطقی می توان بین دو پورت خروجی عمل سویچ زنی را انجام داد. چن و همکارانش [۱۲] یک نمونه دیکدر ۲به ۴ را با استفاده از تداخل سنج چند حالته طراحی کرده اند که مکانیزم کاری‌اش مبتنی‌بر سویچ‌زنی الکترو-اپتیک است. هدف ما طراحی ساختاری است که کاملا در حوزه نور کار کند.

۲- طراحی دیکدر

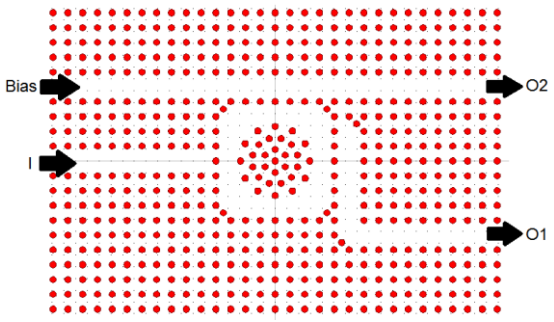
ساختار پایه بکار رفته برای طراحی دیکدر نوری یک کریستال فوتونی دوبعدی متشکل از میله های دی الکتریک در بستر هوا می باشد. جنس میله های دی الکتریک از شیشه کلکوجناید می باشد که دارای ضریب شکست ۳/۱ در طول موج ۱۵۵۰نانومتر می باشد. شعاع میله های دی الکتریک r=0/215*a می باشد که a=630 nm ثابت شبکه یا دوره تناوب کریستال فوتونی دو بعدی می باشد. ساختار باند کریستال فوتونی پایه با استفاده از روش بسط امواج مسطح به صورت شکل ۱ محاسبه و رسم شده است. شکل ۱ نشان می دهد که ساختار پایه ما دارای باند ممنوعه فوتونی در مد TM در محدوده فرکانس نرمالیزه $0/3 < a/\lambda < 0/42$ می‌باشد که متناظر با محدوده طول موجی $1500\ nm < \lambda < 2100\ nm$ می باشد. از آنجاییکه باند ممنوعه ساختار در مد TM می باشد همه شبیه سازی ها نیز در این مد انجام خواهد شد.



شکل ۱. ساختار باند کریستال پایه

برای طراحی دیکدر مورد نظر ابتدا با حذف یک ردیف کامل از میله های دی الکتریک یک موجبر باس را درون کریستال فوتونی ایجاد می کنیم. در مرحله بعد یک آرایه مربعی ۷*۷ از میله های دی الکتریک را در مجاورت موجبر باس حذف کرده و یک ساختار کریستال ۱۲ تایی شبه متناوب در مرکز مربع ایجاد شده قرار می دهیم تا بدین ترتیب یک ساختار رزوناتور حلقوی ایجاد شود. پارامترهای این رزوناتور حلقوی چنان انتخاب شده اند که طول موجی رزونانسی این حلقه رزونانسی در 1550 nm باشد. در مرحله بعد یک موجبر L شکل در مجاورت حلقه رزونانسی ایجاد می شود. آخرین موجبر مربوط به موجبر ورودی می باشد که پورت ورودی منطقی را به حلقه رزونانسی وصل می کند. ساختار نهایی دیکدر ارایه شده در شکل ۲ نشان داده شده است. که دارای دو پورت ورودی به نام های O1 و O2 می باشد که روشن و خاموش بودن این پورت ها توسط پورت ورودی منطقی I کنترل می شود. پورت بایاس هم مربوط به نور بایاس می باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]



شکل ۲. ساختار نهایی دیکدر ۱ به ۲

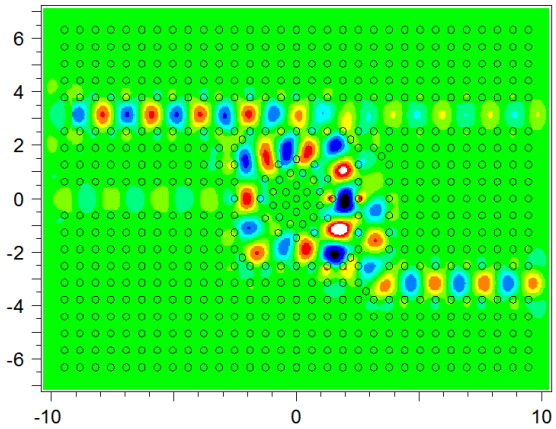
همانگونه که اشاره شد در این ساختار از ضریب غیر خطی اثر کر نیز استفاده شده است. ضریب شکست هر ماده دی‌الکتریک به صورت n=n1+n2*I تعریف می شود، که n1 مولفه خطی ضریب شکست ماده دی الکتریک می باشد که برای ماده بکار رفته در این ساختار برابر ۳.۱ می باشد. n2 نیز ضریب اثر کر می باشد که برای ماده بکار رفته در این مقاله برابر $n_2=9*10^{-17}\ m^2/W$ می‌باشد. I نیز شدت توان نور می باشد، طبق این رابطه ضریب شکست مواد دی الکتریک در توان های بالا تابعی از شدت توان نور تابشی به سطح ماده می باشد لذا می‌توان با تغییر شدت توان نور، ضریب شکست میله های دی الکتریک در کریستالهای فوتونی را کنترل کرد. نکته مهم دیگر بکار رفته در طراحی این ساختار این است که طول موج رزونانسی رزوناتورهای حلقوی طراحی شده با استفاده از کریستال های فوتونی به ضریب شکست میله های هسته رزوناتور و نیز میله های پیرامونی حلق رونانسی وابسته است، بصورتی که کمترین تغییر در ضریب شکست این میله ها منجر به جابجایی طول موج رزونانسی رزوناتور حلقوی می شود. پس می توان نتیجه گیری کرد که با تغییر شدت توان نور ورودی به ساختار می توان طول موج رزونانسی رزوناتروهای حلقوی طراحی شده با کریستال های فوتونی را کنترل کرد.

۳- شبیه‌سازی و نتایج

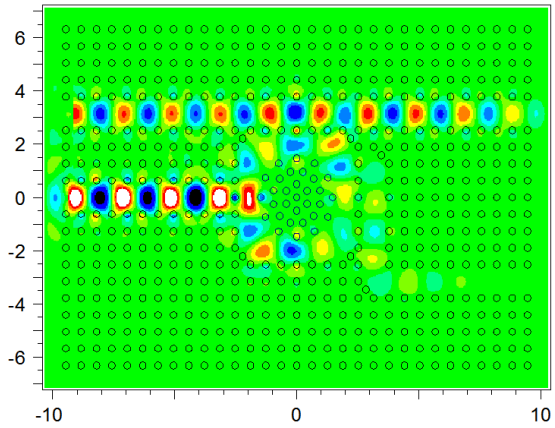
بعد از اتمام فرآیند طراحی دیکدر مورد نظر این مقاله نوبت شبیه سازی قطعه و مطالعه رفتار نوری و سویچ زنی آن می باشد. برای این کار از روش تفاضل نامتناهی استفاده شده است. همانگونه که در بخش قبل اشاره شد رزوناتور حلقوی چنان طراحی شده است که طول موج رزونانسی اش در طول موج 1550 nm باشد. این بدان معناست که اگر نوری با این طول موج در موجبر باس منتشر شود از طریق رزوناتور حلقوی به موجبر L شکل کوپل می‌شود. این در شرایطی است که شدت توان نور ورودی کم باشد و به اصطلاح ساختار در ناحیه خطی باشد. اگر شدت توان نور ورودی زیاد شود، افزایش شدت توان نور ورودی منجر به افزایش ضریب شکست ساختار شده و آنهم منجر به افزایش طول موج رزونانسی حلقه رزونانسی می‌شود. اگر این افزایش توان نوری تا حدی ادامه یابد که مد رزونانسی بطور کامل از 1550 nm جابجا شود دیگر نور امواج نوری با طول موج 1550 nm نمی توانند از طریق حلقه رزونانسی به موجبر L شکل کوپل شوند به این مقدار شدت توان نور ورودی اصطلاحا شدت توان سویچ زنی می گوییم که برای این ساختار حدود $2\ kW/\mu m^2$ بدست آمده است. در ادامه نحوه کار و نیز عملکرد دیکدر طراحی شده را برای حالت های مختلف ورودی I بررسی می کنیم. شکل ۳ (الف) حالتی را نشان می دهد که در آن ورودی I=0 بوده و فقط نور بایاس با شدت توان $1\ kW/\mu m^2$ با طول موج مرکزی 1550 nm از پورت بایاس وارد ساختار می‌شود و در موجبر باس منتشر می‌شود با توجه به اینکه شدت توان نور کمتر از شدت توان آستانه لازم برای سویچ زنی حلقه رزونانسی می باشد و طول موج مرکزی اش نیز با طول موج رزونانسی حلقه مطابقت دارد امواج نوروی ورودی از طریق حلقه به موجبر L شکل کوپل شده و به سمت پورت O1 می روند که باعث می شود برای این حالت ورودی I=0 پورت O1=1 و روشن باشد در حالیکه پورت O2=0 و خاموش می باشد. حالت دوم مربوط به زمانی است که I=1 بوده و پورت ورودی منطقی روشن می شود شدت توان نور تابشی به این پورت نیز $1\ kW/\mu m^2$ می‌باشد. حال با وجود نور بایاس و نور پورت ورودی منطقی مجموع کل شدت توان نور در اطراف حلقه رزونانسی برابر $2\ kW/\mu m^2$ می‌باشد که به حد شدت توان آستانه لازم برای سویچ زنی‌رسیده است در این حالت این شدت توان نور بالا باعث افزایش ضریب شکست میله های هسته و مجاور حلقه رزونانسی می شود که در نهایت به افزایش طول موج رزونانسی حلقه رزونانسی منجر می شود لذا نور بایاس با طول موج مرکزی 1550 nm دیگر نمی تواند از

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

طریق حلقه رزونانسی به موجبر L شکل کوپل شود و ناچار است درون موجبر باس منتشر شده و به سمت پورت O2 حرکت کند. در این حالت پورت O2=1 بوده و روشن می شود. که این حالت در شکل ۳ (ب) نشان داده شده است. لازم به تذکر است که این خروجی ها زمانی معتبر می‌باشند که ورودی بایاس دیکدر روشن باشد و درصورت خاموش بودن بایاس هر دو خروجی دیکدر برای هر دو حالت خاموش خواهند بود.



(الف)



(ب)

شکل ۳. خروجی دیکدر برای (الف) I=0 و (ب) I=1

۴- نتیجه گیری

در این مقاله از اولین دیکدر نوری مبتنی بر کریستال فوتونی طراحی و شبیه سازی شده است. این ساختار یک دیکدر ۱ به ۲ می باشد که دو پورت خروجی O1 و O2 آن توسط پورت ورودی I کنترل می شود. بدین صورت که وقتی I=0 می‌باشد O1=1 و O2=0 بوده و وقتی I=1 است O1=0 و O2=1 می باشد.

.

مراجع

[1] H. Alipour-Banaei, and F. Mehdizadeh, "Significant role of photonic crystal resonant cavities in WDM and DWDM communication tunable filters", Optik (2012) http://dx.doi.org/10.1016/j.ijleo.2012.07.029.

[2] H. Alipour-Banaei,M. Hassangholizadeh-Kashtiban, and F. Mehdizadeh, " WDM and DWDM optical filter based on 2D photonic crystal Thue-Morse structure", Optik (2013) http://dx.doi.org/10.1016/j.ijleo.2013.03.027.

[3] F. Mehdizadeh, H. Alipour-Banaei, and S. Serajmohammadi, "Channel-Drop filter based on a photonic crystal ring resonator", J. Opt. 15 (2013) 075401 (7pp).

[4] H. Alipour-Banaei, F. Mehdizadeh , and M. Hassangholizadeh-Kashtiban "Important Effect of Defect Parameters on the Characteristics of Thue-Morse Photonic Crystal Filters" *Advances in OptoElectronics* (2013) 2013, 856148.

[5] H. Alipour-Banaei, F. Mehdizadeh, and M. Hassangholizadeh-Kashtiban "A novel proposal for all optical PhC-based demultiplexers suitable for DWDM applications" Opt Quant Electron 45 (2013) 1063–1075.

[6] H. Alipour-Banaei. F. Mehdizadeh, and S. Serajmohammadi, "A novel 4-channel demultiplexer based on photonic crystal ring resonators" Optik (2013) http://dx.doi.org/10.1016/j.ijleo.2013.04.117.

[7] A. Rostami, F. Nazari, H. Alipour Banaei, and A. Bahrami, "A novel proposal for DWDM demultiplexer design using modified T P\photonic crystal structure" Photonic and Nanostrucutres – Fundamentals and Applications 8 (2010) 14-22.

[8] A. Rostami, H. Alipour Banei, F. Nazari, and A. Bahrami, "An ultra-compact photonic crystal wavelength division demultiplexer using resonance cavities in a modified Y-branch structure" Optik 466 (2011) 1481-1485.

[9] A. Sharkawy, S. Shi, and D. W. Prather, "Electro-optical switching using coupled photonic crystal waveguides", Opt. Express. 10 (2002) 1048–1059.

[10] M. Danaei, and H. Kaatuzian, "Design and simulation of an all optical photonic crystal AND gate using nonlinear Kerr effect" Opt Quant Electron 44 (2012) 27–34.

[11] X. Zhang, Y. Wang, J. Sun, D. Liu, and D. Huang, "All-optical AND gate at 10 Gbit/s based on cascaded single-port-coupled SOAs," Opt. Express 12 (2004) 361–366.

[12] Z. Chen, Z. Li, and B. Li "A 2-to-4 decoder switch in SiGe/Si multimode interference" Opt. Express 14 (2006) 2671–2678.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]