طراحی و شبیه سازی یک نیم جمع کننده جدید بر پایه کریستال فوتونی دو بعدی برای استفاده در پردازنده های نوری

فریبرز پرندین[1و2*]، رضا کمریان[2] و محمدرضا جمور[2]

1- گروه مهندسی برق، واحد اسلام آباد غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

2- گروه مهندسی برق، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

نویسنده مسئول: f.parandin@iauksh.ac.ir

چکیده - در این مقاله یک ساختار گیت منطقی نیم جمع کننده بر اساس کریستال فوتونی دو بعدی طراحی و شبیه سازی شده است.کریستال-های فوتونی ساختارهایی هستند که دارای ضریب شکست متناوب بوده و در حوزه‌ی دیجیتال اپتیکی که مقادیر «0» و «1» منطقی بر اساس میزان توان اپتیکی تعریف می شوند کاربرد دارند. برای رسیدن به نیم جمع کننده اپتیکی ابتدا یک ساختار کریستال فوتونی با استفاده از میله های Si در هوا ایجاد شده است. در طراحی این ساختار از دو ورودی و دو خروجی استفاده شده است، که با توجه به مقدار «0» و«1» آن می توان گفت که این ساختار برای استفاده در مدار های مجتمع اپتیکی با سرعت بالا مناسب است.

کلمات کلیدی- کریستال فوتونی، موجبر، نیم جمع کننده اپتیکی.

1- مقدمه

امروزه پایه انتقال اطلاعات، بیشتر بر پایه مدارات الکترونیکی است. مدار های مجتمع الکترونیک در ارسال اطلاعات و پردازش آن، از جریان الکترون ها و کنترل آن استفاده می کنند. سرعت حرکت الکترون ها و در نتیجه سرعت الکتریکی امروزه کند محسوب می شود. از طرفی الکترون ها دارای برهم کنش برهم هستند و این موضوع باعث شده است که خط های جریان الکتریکی بر روی یکدیگر تاثیر نامطلوبی بگذارند. همچنین پهنای باند کم این افزاره ها باعث شده است که محققان به سمت افزاره های نوری روی بیاورند. در حوزه اپتیک فوتون ها به عنوان ذره‌های تشکیل دهنده نور می توانند انرژی خود را به طور مستقل حفظ کنند. فوتون‌ها

برعکس الکترونها برهم کنش ندارند و از طرفی دارای سرعت بسیار بیشتر هستند. بنابراین سرعت انتقال اطلاعات نوری بسیار بیشتر خواهد بود. به علاوه پهنای باند بسیار زیاد افزاره های نوری باعث شده است به طور وسیعی قابلیت استفاده در سیستم های مخابراتی را داشته باشد[1-3]

از مهم‌ترین کریستال‌های فوتونی که در حوزه الکترونیک کاربرد دارند، ساختار های دو بعدی هستند.کریستال های فوتونی دو بعدی را می توان از کنار هم قرار دادن مواد الکترومغناطیسی در دو جهت به صورت متناوب ایجاد نمود مثلا می توان میله هایی از یک ماده الکترومغناطیسی را در زمینه هوا یا یک مایع، در دو بعد به صورت پریودیک قرار دارد. یکی از مدارهای منطقی، نیم جمع کننده است. این مدار دو بیت را باهم جمع می‌کند.تا کنون در زمینه طراحی نیم جمع کننده اپتیکی با استفاده از کریستال های فوتونی، کار های بسیار محدودی گزارش شده است[4-9].

در این تحقیق یک نیم جمع کننده نوری با استفاده از ساختار کریستال‌های فوتونی طراحی شده است. در ساختار پیشنهادی از نقص های ساده استفاده شده است که باعث شده در این ساختار زمان تاخیر کم و در نتیجه سرعت انتقال اطلاعات بالا باشد. فاصله مناسب توان خروجی در دو حالت منطقی «0» و «1» یکی دیگر از ویژگی های نیم افزاینده است.

از مزایای کریستال فوتونی که در صنعت استفاده می شود می توان به سرعت و تسریع رشد دیجیتالی شدن صنعت اشاره کرد که پیش بینی می‌شود در آینده نه چندان دور پایه و اساس قطعات الکترونیکی، کریستال های فوتونی باشند که در حوزه ی دیجیتالی مهندسی آب و برق، توربین های بادی و سدها در پردازش اطلاعات مورد استفاده قرار می گیرند. حال اگر به جای سیستمهای دیجیتال کنونی از سیتمهای دیجتالی اپتیکی استفاده شود سرعت پردازش و انتقال اطلاعات بسیار بیشتر خواهد شد. مثلا در توربین های بادی که در مناطق مشخصی قرار داده شده است، نحوه محاسبه انرژی تولیدی و توزیع آن ملزم به استفاده از قطعات و کامپیوترهای الکترونیکی است. با استفاده از قطعات کریستال فوتونی و گیت های منطقی نوری می توان سرعت کامپیوتر، انتقال و دریافت داده ها را تا چندین برابر افزایش داد که همین امر باعث صرفه جویی در زمان، انرژی و هزینه می باشد.

2- طراحی نیم جمع کننده اپتیکی

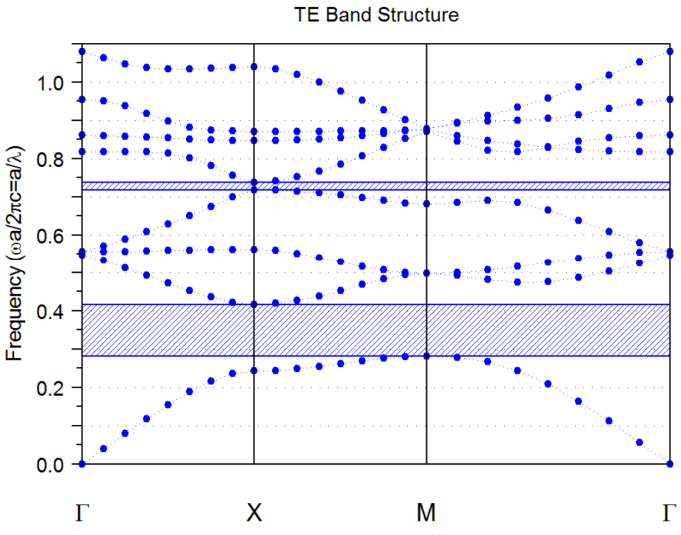
ساختار نیم جمع کننده مداری است که دارای دو ورودی و دو خروجی است. دو خروجی شامل Sum وCarry می باشد که Sum وCarry به ترتیب بیت حاصل جمع و بیت انتقالی هستند. اگر منابع ورودی فعال باشند منطق «1» و اگر غیر فعال باشند منطق «0» خواهد بود. حال در خروجی اگر توان نوری نزدیک به توان منبع ورودی روشن باشد معادل منطق «1» و اگر نزدیک صفر باشد مغادل منطق «0» خواهد بود. مهم ترین نکته قابل توجه در گیت های منطقی اختلاف بین «0» و «1» می باشد، یعنی هرچه فاصله بین آن ها بیشتر باشد امکان بروز خطا در حالت «0» و «1» کمتر می شود و بهترین نتیجه را در پی خواهد داشت.

از مزیت های این مدار به نسبت مدارات دیگر که طراحی شده است، این است که در این ساختار از رزوناتورهای حلقوی که باعث تاخیر انتشار می شوند استفاده نشده است. همچنین استفاده از ساختار مربعی باعث سادگی ساختار شده است که در ساخت آن مشکلات کمتری خواهد داشت. از دیگر مزیت

های این مدار می توان به سادگی طرح اشاره کرد که در این مدار از مسیر های ساده تری استفاده شده که همین امر باعث می شود بتوان از این ساختار در مدارهای مجتمع نوری استفاده کرد.

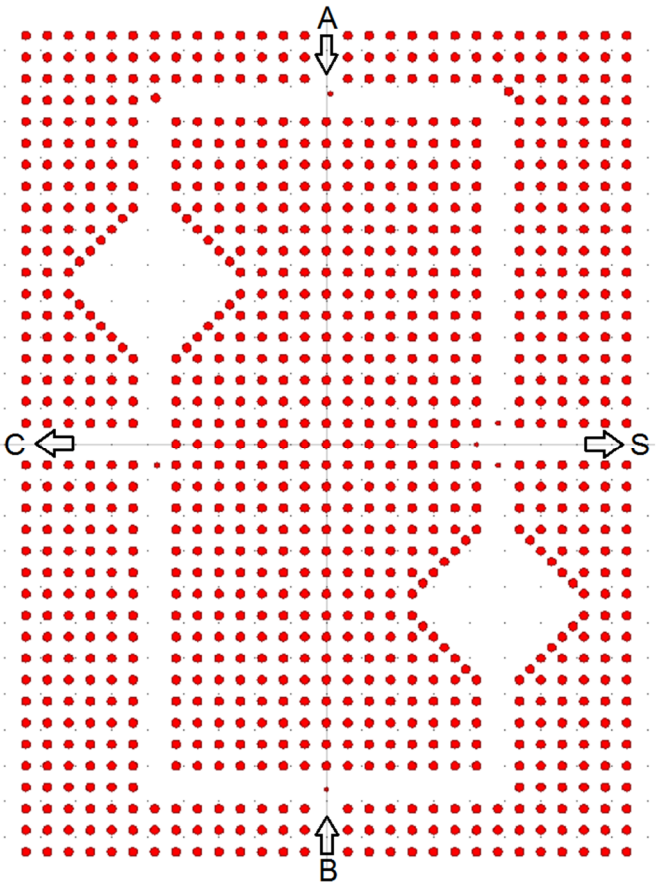
3- شبیه سازی ساختار

برای شبیه سازی نیم جمع کننده اپتیکی و محاسبه انتشار توان در خروجی ها از روش FDTD استفاده شده است. در این ساختار از میله هایی از جنس Si در زمینه هوا با ضریب شکست n=1 استفاده شده است. ضریب شکست میله ها برابر با n=3.46 در نظر گرفته شده است. همچنین شعاع میله های دی الکتریک r=0.2*a می باشد. در ساختار پیشنهادی از شبکه مربعی استفاده شده است که ثابت شبکه برابر با a=600nm انتخاب شده است. برای مشخص کردن طول موج مناسب که در این ساختار بتوان نور را کنترل کرد و از طرفی در مسیر های دلخواه قابل هدایت باشد، از محاسبات ساختار باند استفاده می شود، نتایج ساختار باند در شکل 1 نشان داده شده است



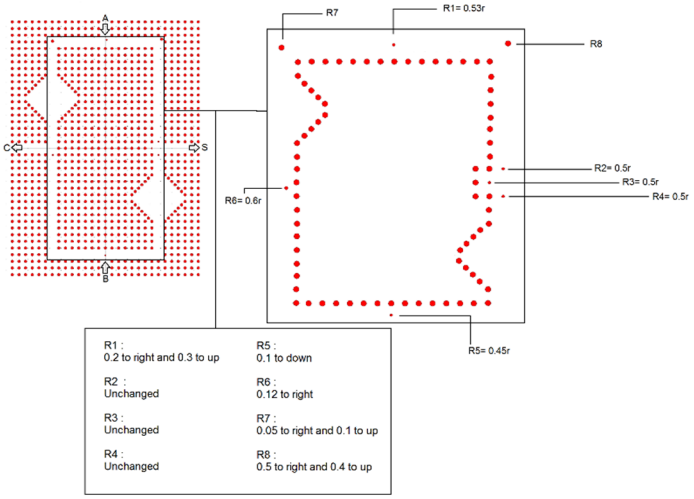
شکل1.نتایج ساختار باند

همان طور که در شکل 1 دیده می شود یک PBG پیوسته در فاصله نرمالیزه شده $0.42> a/\lambda > 0.29$ و نیز در فاصله $0.74 > a/\lambda > 0.72$ ایجاد شده است. در شبیه سازی این ساختار از طول موج1550nm استفاده می شود. در گام بعدی باید مسیر های انتشار نور برای ارتباط ورودی ها و خروجی ها ایجاد شوند که به این مسیر های موجبر گفته می شوند. برای ایجاد موجبر ها از ایجاد نقص در ساختار اولیه استفاده می شوند. در اینجا برای ایجاد موجبر ها از ترکیب نقص های نقطه ای و خطی استفاده می شود. شکل2 موجبر های ایجاد شده برای تحقق نیم جمع کننده اپتیکی را نشان می دهد.



شکل 2،ساختار نیم جمع کننده پیشنهادی

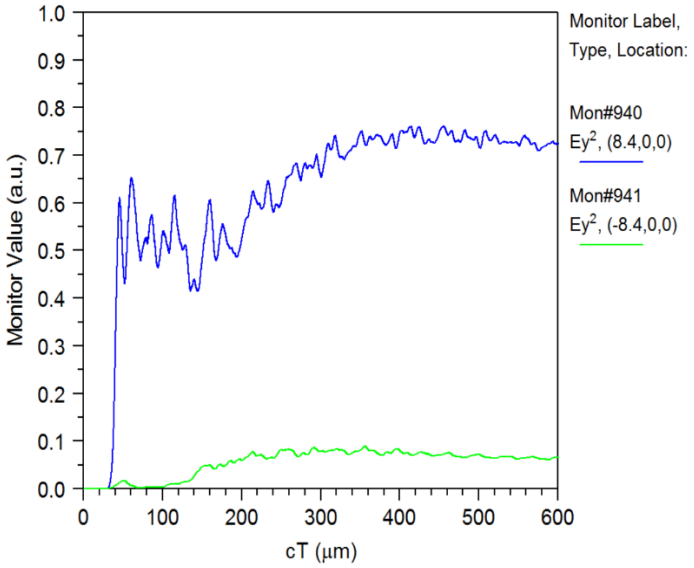
همان طورکه در شکل 2 نشان داده شده است، ساختار به صورت قرینه ای طراحی شده است.در این ساختار در8 میله تغییرات ایجاد شده است که مقدار تغییرات آن ها در شکل 3 نشان داده شده است که این تغییرات شامل شعاع و مختصات میله ها می باشد. در ورودی های x و y دو منبع نور اپتیکی لحاظ شده و همینطور در دو سمت چپ و راست ساختار دو مانتیور زمانی هم قرار گرفته است که نتایج خروجی را نمایش می دهند.



شکل3. تغییرات شعاع و مختصات میله های دی الکتریک

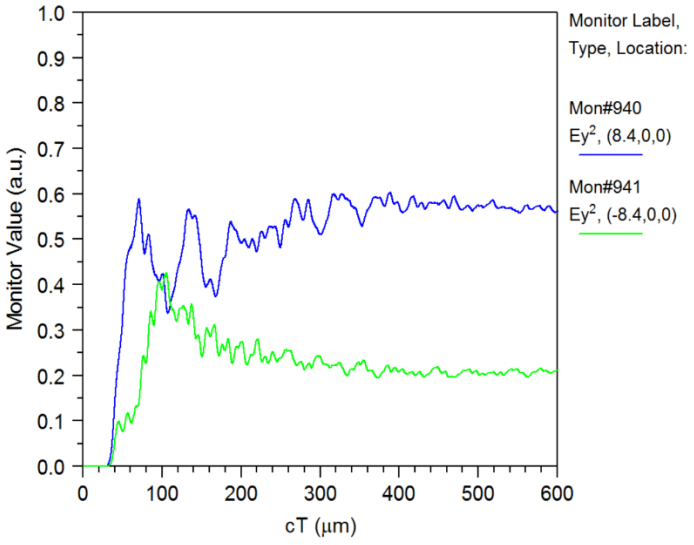
4- آنالیز نتایج

در حالت اول منبع A روشن و منبع B خاموش است یعنی حالت 1+0 که S=1 و C=0 خواهد بود و مقادیری که در خروجی بدست امده Sum= 0.75 و Carry= 0.06 می باشد. شکل 4 نمودار توان نوری در این حالت را در خروجیها نشان می دهد.



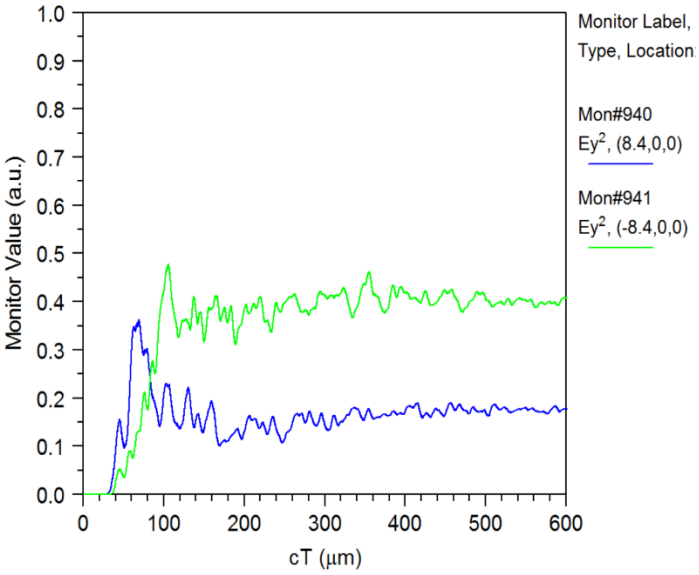
شکل 4. توان نوری برای حالت A=1, B=0

درحالت دوم که نتایج آن در شکل 5 نشان داده شده است، منبع A خاموش و منبع B روشن است یعنی حالت 0+1 که S=1 و C=0 خواهد بود و مقادیری که در خروجی بدست امده Sum= 0.6 و Carry=0.2 می باشد.



شکل 5. توان نوری برای حالت A=0, B=1

درحالت آخر که در شکل 6 نشان داده شده است ، هر دو منبع A و B روشن است یعنی حالت 1+1 که S=0 و C=1 خواهد بود و مقادیری که در خروجی بدست آمده Sum= 0.18 و Carry= 0.4 هستند.



شکل 6. توان نوری برای حالت A=1, B=1

5-نتیجه گیری

در این مقاله یک نیم جمع کننده اپتیکی بر مبنای کریستال های فوتونی دو بعدی با شبکه مربعی طراحی و شبیه سازی شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که این نیم جمع کننده اپتیکی دارای توان بالا برای منطق «1» و توان پایین «0» منطقی است، بنابراین فاصله توان بین هر دو مقدار منطقی مذکور زیاد بوده و به همین دلیل خطا در خروجی برای تشخیص مقادیر منطقی کاهش می یابد و با توجه به این ویژگی می توان از این نیم جمع کننده در مدار های دیجیتالی با سرعت بالا استفاده کرد.

مراجع:

[1] Parandin, F., Karkhanehchi, M.M., Naseri, M., Zahedi, A.: Design of a high bitrate optical decoder based on photonic crystals, Journal of Computational Electronics 17(2), 830-836 (2018)

[2] Z. Seraj, M. Soroosh, N. Alaei-Sheini, Ultra-compact ultra-fast 1-bit comparator based on a two-dimensional nonlinear photonic crystal structure, Appl. Opt. 59, 811-816, (2020)

[3] Parandin, F., Karkhanehchi, M.M.: Terahertz all-optical NOR and AND logic gates based on 2D photonic crystals, Superlattices and Microstructures 101, 253-260 (2017)

[4] A. Kumar, S. Medhekar, All optical NOR and NAND gates using four circular cavities created in 2D nonlinear photonic crystal. Optics & Laser Technology, 123, 105910, (2020)

[5] D.G.S. Rao, S. Swarnakar, S. Kumar, Performance analysis of all-optical NAND, NOR, and XNOR logic gates using photonic crystal waveguide for optical computing applications, Opt. Eng. 59(5), 057101, (2020)

[6] Karkhanehchi, M.M., Parandin, F., Zahedi, A.: Design of an all optical half-adder based on 2D photonic crystals, Phot. Netw. Commun. 33, 159-165 (2017)

[7] Jiang, Y.C., Liu, S.B., Zhang, H.F., Kong, X.K.: Design of ultra-compact all optical half subtracter based on self-collimation in the two-dimensional photonic crystals, Optics Communications 356, 325-329 (2015)

[8] Parandin, F., Malmir, M.R., Naseri, M.: All-optical half-subtractor with low-time delay based on two-dimensional photonic crystals, Superlattices and Microstructures 109, 437-441 (2017)

[9] Alipour-Banaei, H., Seif-Dargahi, H.: Photonic crystal based 1-bit full-adder optical circuit by using ring resonators in a nonlinear structure, Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications 24, 29-34 (2017)