



## طراحی و شبیه‌سازی گیت منطقی XOR مبتنی بر کریستال فوتونی دوبعدی

فرصاد حیدری<sup>۱</sup>، مهدی اصلی نژاد<sup>۲\*</sup>

موسسه غیرانتفاعی جهاد دانشگاهی کرمانشاه، کرمانشاه<sup>۱</sup>

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران<sup>۲</sup>

### چکیده

در این تحقیق با استفاده از ساختار کریستال فوتونی دو بعدی یک گیت منطقی XOR با فناوری ساخت آسان طراحی و شبیه‌سازی شده است. این ساختار شامل دو ورودی و یک خروجی به صورت مستقیم بوده و با استفاده از جایجا نمودن دو میله در محل الحاق ورودی‌ها، از انتشار نور در کانال‌های ورودی به هنگام غیرفعال بودن یکی از آن‌ها، جلوگیری می‌کند. بخاطر نوع طراحی این ساختار، خروجی‌های ما نزدیک‌ترین مقدار به ورودی‌های اعمال شده را داراست. در این مقاله سعی شده است تا توان نوری در خروجی بررسی شود تا بیشترین مقدار را به توان نوری ورودی داشته باشد. همچنین نشت به کانال ورودی مجاور نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت تا کمترین مقدار را داشته باشد. محاسبات ساختار باند، از روش بسط موج تخت بوده و نتایج نشان دهنده این است یک PBG با طول موج ۱/۲۶ میکرومتر تا ۱/۹۲ میکرومتر ایجاد شده، که در این فاصله هیچ طول موجی نمی‌تواند در ساختار انتشار یابد.

کلمات کلیدی: کریستال‌های فوتونی، موج‌بر نوری، گیت منطقی



تاریخچه مقاله:

تاریخ ارسال: ۹۷/۱۲/۸  
تاریخ اصلاحات: ۹۸/۲/۱۵  
تاریخ پذیرش: ۹۸/۴/۱۴  
تاریخ انتشار: ۹۸/۵/۱۵

**Keywords:**

*Photonic crystals  
Optical wave guide  
Logic gate*

## Design and Simulate XOR Logic Gate Based on Two-dimensional Photonic Crystal

Farsad Heidari<sup>1</sup>

Mehdi Aslinezhad<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>ACECR Kermanshah Higher Education Institute

<sup>2</sup>Department of Electrical Engineering, Shahid Sattari Aeronautical University of science and Technology, Tehran, Iran

### Abstract

Using a two-dimensional (2D) photonic crystal structure in this research, an XOR logic gate has been designed and simulated through easy fabrication technology. The structure includes two inputs and one output used directly, and by moving two rods at the intersection of the inputs, it prevents the light emission in the input channels when one of them is deactivated. Because of the type of design of the same structure, our outputs have the closest value to those of the applied inputs. In this paper, we have attempted to examine the optical power at the output, so that it has the highest optical power value as compared to the input optical power. The adjacent input channel leakage ratio (AC LR) will also be controlled, so that it has the lowest value. Band structure calculations are made through plane-wave expansion method, and the results indicate that a PBG with a wavelength of 1.26  $\mu\text{m}$  to 1.92  $\mu\text{m}$  has been created that no wavelength can be propagated in the structure within the same interval.

روش ارجاع به مقاله : ف. حیدری، م. اصلی نژاد طراحی و شبیه‌سازی گیت منطقی XOR مبتنی بر کریستال فوتونی دوبعدی دوفصلنامه محاسبات عددی و سامانه های توزیع شده، سال دوم، شماره اول، شماره پیاپی ۳، سال ۱۳۹۸، ص ۱۰۵-۱۱۱



## ۱ - مقدمه

فوتونیک کریستال‌ها ساختارهای متناوب در اندازه نانو هستند و طراحی‌شده‌اند تا حرکت فوتون‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. همانند کاری که کریستال‌های نیمه‌رسانا با الکترون‌ها انجام می‌دهند. فوتونیک کریستال‌ها در اشکال و خواص مختلف وجود دارند و از ۱۰۰ سال پیش مطالعه بر روی آن‌ها شروع شده است. فوتونیک کریستال‌ها ساختارهای نانومتری متناوبی هستند که یا دی‌الکتریک یا فلز دی‌الکتریک هستند که مسیر حرکت موج الکترومغناطیسی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به همان روشی که پتانسیل‌های متناوب در نیمه‌رساناها حرکت الکترون‌ها را با ایجاد نوارهای انرژی ممنوعه و مجاز تحت تأثیر قرار می‌دهند. اساس کار فوتونیک کریستال‌ها بر اساس تغییر درونی ضریب شکست به صورت کم و زیاد در درون کریستال است. انتشار فوتون در داخل این ساختارها به طول موج آن‌ها بستگی دارد. طول موج‌هایی از نور که اجازه انتشار پیدا می‌کنند مد نامیده می‌شوند؛ و گروهی از مدهای انتشار یافته باند تشکیل می‌دهند. باندهای غیرمجاز فوتونیک کریستال باند گپ نامیده می‌شوند. این اتفاق منجر به پدیده‌های آشنایی مانند جلوگیری از گسیل خود به خودی و آینه‌های با بازتاب بالای تک جهتی و موج‌برهای با اتلاف پایین می‌شود. از آنجایی که پدیده غالب پراش است باید یک هم‌خوانی بین طول موج انتشار یافته و ابعاد فوتونیک کریستال وجود داشته باشد. که این ابعاد معمولاً بصورت نصف طول موج انتشاری می‌باشد [۱-۴]

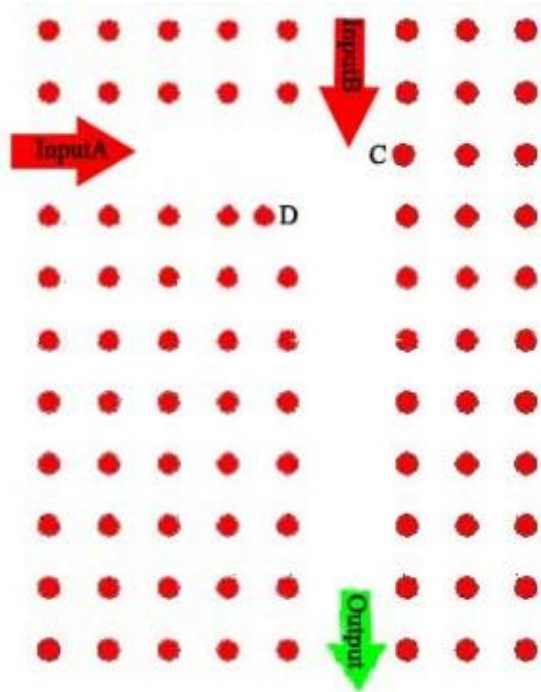
یکی از مهم‌ترین و نخستین کاربردهای کریستال‌های فوتونی ساخت موج‌برهای نوری و ایجاد خم‌هایی در مقیاس نانومتری است که تا قبل از این یک مشکل اساسی در فیبرهای نوری به حساب می‌آمد. موج‌برهای وسیله‌ای برای هدایت نور است. موج‌برهای تشدیدکننده مزدوج نوری، از اهمیت ویژه‌ای در ساخت افزاره‌های نوری بخصوص افزاره‌های تأخیر یافته برخوردار هستند. در حالت کلی زنجیره‌ای از تشدیدکننده‌های مزدوج است که نور در آن از طریق تزویج بین تشدیدکننده‌های همسایه منتشر می‌شود. در مقایسه با موج‌برهای معمولی این نوع موج‌برها کنترل بیشتری بر مشخصات پاشیدگی دارند و در تأخیر، ذخیره‌سازی و بافر سازی تپ‌های نوری کاربرد دارند [۵].

در ساختار گیت XOR طراحی‌شده خروجی بصورت L بوده و با ورودی A در یک جهت است. این حالت به خاطر نشت نور در اطراف ورودی و ترکیب شدن با خروجی باعث ایجاد اختلال در نتیجه به دست آمده می‌باشد [۶]

این ساختار به صورت شش‌وجهی بوده که از انتشار نور از دیواره‌ها به خارج جلوگیری می‌کند اما به دلیل زیاد بودن پایه‌ها و استفاده از نقص‌های نقطه‌ای، فناوری بالایی برای ساخت آن نیاز است [۷].

در این ساختار خروجی دارای موج‌بر است که برای جلوگیری از انتشار نور به خروجی از دو نانو حلقه شش‌وجهی استفاده شده است که باعث افزایش تأخیر انتقال نور به خروجی می‌شود [۸].

طراحی و پیاده‌سازی این تحقیق مشکل بوده و به دلیل بزرگ بودن موج‌بر میانی تلفاتی نوری بالایی



(شکل-۲): ساختار طراحی شده

در این گیت برای هدایت یا محدود کردن نور در محل الحاق ورودی‌ها دو میله جابجا شده‌اند. این جابجایی باعث شده تا نور هنگامی که هر دو ورودی‌ها  $(A=1 \ \& \ B=1)$  یک باشد هیچ‌گونه خروجی نداشته و برابر صفر باشد. و هنگامی که  $(A=1 \ \& \ B=0)$  یا بالعکس باشد خروجی بالا و قابل ملاحظه‌ای داشته باشیم. میله‌های جابجا شده را با حروف D و C نمایش داده‌ایم. هنگامی که ورودی A و B خاموش هستند از آنجا که هیچ سیگنال نوری به سمت خروجی منتقل نمی‌شود، خروجی، "0" منطقی است. شکل ۳ توزیع نور در حالت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

دارد و نور بیشتری به کانال ورودی مجاور منتقل می‌شود [۹].

## ۲ - گیت منطقی XOR

این گیت دارای دو ورودی و یک خروجی است. و تنها زمانی خروجی‌اش یک می‌شود که سطح منطقی ورودی‌هایش یکسان نباشند. در شکل ۱ می‌توانید نماد مداری آن را مشاهده نمایید.



(شکل-۱): نماد مداری گیت منطقی XOR

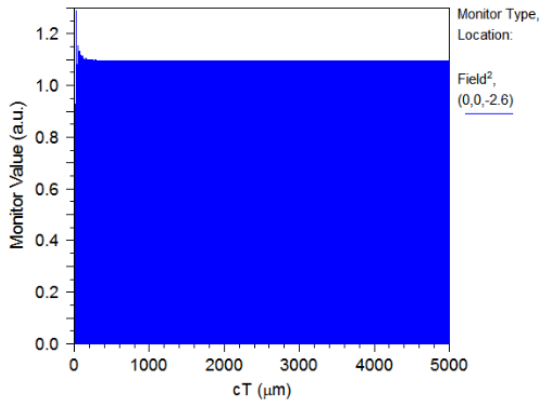
در جدول ۱ نیز می‌توانید جدول درستی این گیت را مشاهده نمایید.

(جدول-۱): جدول درستی گیت منطقی XOR

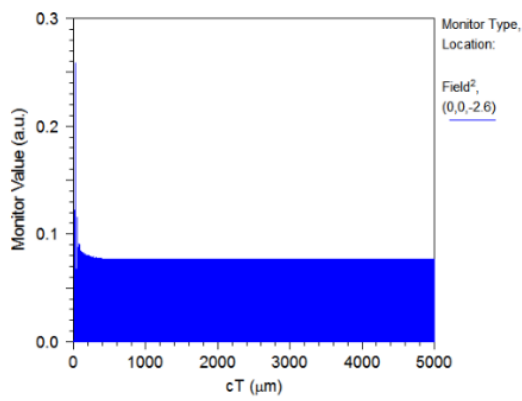
خروجی	ورودی	
0	0	0
1	1	1
1	0	1
0	1	1

## ۳ - نتایج تجربی

در این مقاله از یک ساختار کوچک برای طراحی و شبیه‌سازی یک گیت منطقی کریستال فوتونی استفاده شده است. این ساختار از میله‌های عایق با ضریب شکست  $3/4$  در زمینه هوا با ضریب شکست ۱ می‌باشد. ابعاد این ساختار  $8 \times 10$  بوده و دارای ثابت شبکه  $a=0/5286$  میکرومتر است. شعاع هر کدام از میله‌ها برابر  $r=a \times 0.18$  می‌باشد. در شکل ۲ می‌توانید ساختار طراحی شده را مشاهده نمایید.

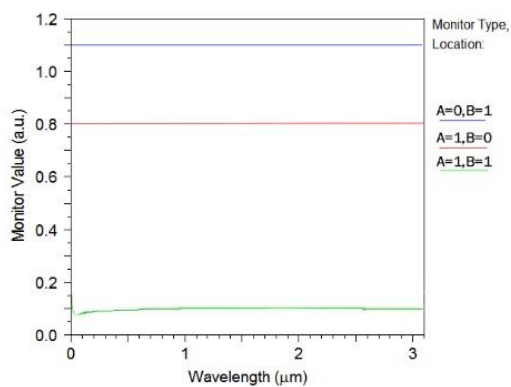


(شکل-۶): قدرت نوری خروجی در حالت (0,1)



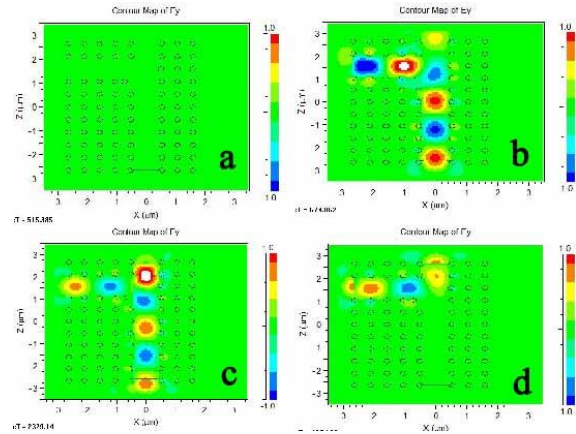
(شکل-۷): قدرت نوری خروجی در حالت (1,1)

در شکل ۸ می‌توانید تمامی طول موج خروجی‌ها را در یک‌شکل مشاهده نمایید.



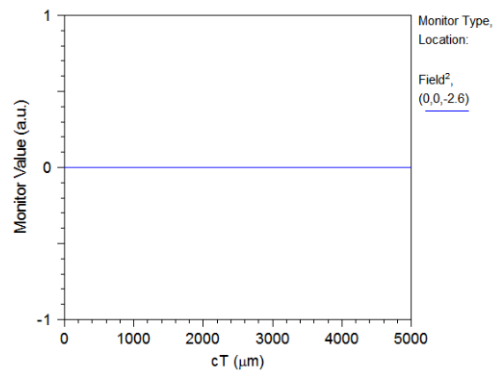
(شکل-۸): طیف خروجی به ازای ورودی‌های ذکرشده

در جدول ۲ می‌توانید خروجی گیت نوری XOR را مشاهده نمایید.

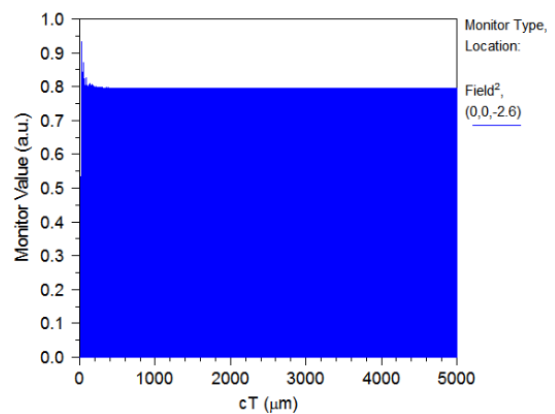


(شکل-۹): توزیع نور در موج‌برها به ازای ورودی‌های مختلف

همچنین در شکل‌های ۴ تا ۷ همه خروجی‌ها به‌صورت مجزا نمایش داده شده‌اند.



(شکل-۴): قدرت نوری خروجی در حالت (0,0)



(شکل-۵): قدرت نوری خروجی در حالت (1,0)



Princeton Univ." Press, edn 2 (2008): 94-99.

[۵] کریستال‌های فوتونی، افزارها، فیبرها، نانو ساختارها و حسگرها، ص ۳۳، دکتر سعید علیایی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۱۳۹۵.

[6] Mohebbi, Zahra, Najmeh Nozhat, and Farzin Emami. "High contrast all-optical logic gates based on 2D nonlinear photonic crystal." *Optics Communications* 355 (2015): 130-136.

[7] Liu, Weijia, Daquan Yang, Guansheng Shen, Huiping Tian, and Yuefeng Ji. "Design of ultra compact all-optical XOR, XNOR, NAND and OR gates using photonic crystal multi-mode interference waveguides." *Optics & Laser Technology* 50 (2013): 55-64.

[8] Salmanpour, Aryan, Shahram Mohammadnejad, and Ali Bahrami. "All-optical photonic crystal AND, XOR, and OR logic gates using nonlinear Kerr effect and ring resonators." *Journal of Modern Optics* 62, no. 9 (2015): 693-700.

[9] Rath, Smruti, Sonali P. Dash, Mihir Hota, and Sukanta K. Tripathy. "Realization of optical XOR and OR gates using asymmetric Y-structure in a two dimensional photonic crystal." In *AIP Conference Proceedings*, vol. 1461, no. 1, pp. 369-373. AIP, 2012.



فرصاد حیدری مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق الکترونیک در سال ۱۳۹۴ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، مدرک کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۹۷ از جهاد دانشگاهی کرمانشاه در رشته مهندسی برق الکترونیک گرایش مدارات مجتمع اخذ کرده است.

(جدول-۲): خروجی گیت XOR

A	B	خروجی	مقدار منطقی
0	0	0	1
1	0	0/8	1
0	1	1/1	1
1	1	0/08	0

#### ۴- نتیجه‌گیری و پژوهش‌های آتی

در این تحقیق گیت XOR بر مبنای کریستال‌های فوتونی دوبعدی توسط نرم‌افزار RSOFT طراحی و شبیه‌سازی گردید. منبع نوری استفاده شده در فرکانسی حدود ۱/۵۵ میکرومتر است که در رنج PBG ساختار می‌باشد که نور می‌تواند در مسیر نقص‌ها هدایت شود. در این تحقیق خروجی نسبتاً بالا می‌باشد و خروجی در حالت (۱،۱) کمترین نشت نور به خروجی را داشتند. کوچک بودن ساختار طراحی شده یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این ساختار بوده و قرار نداشتن مسیر ورودی و خروجی در یک مسیر از دیگر ویژگی‌های خوب این طراحی می‌باشد.

#### ۵- مراجع

- [1] Yablonovitch, Eli. "Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics." *Physical review letters* 58, no. 20 (1987): 2059.
- [2] Khorasani, S., K. Mehrany, M. Chamanzar, B. Rashidian, and A. Atabaki. "A Review of Photonic Crystal Science & Technology." In *12th Conference on Optics & Photonics*. 2006.
- [3] Khorasani, S. "Numerical methods in analysis of photonic crystals." In *1st Workshop on Photonic Crystals*. 2005.
- [4] Joannopoulos, J. D., S. G. Johnson, J. N. Winn, and R. D. Meade. "Photonic Crystals: Molding the Flow of Light,



زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان عبارتند از: سنسورها و گیت های منطقی کریستال فوتونی، مدارات منطقی برنامه پذیر AVR، FPGA.



مهدی اصلی نژاد مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق مخابرات در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، مدرک

کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۸۶ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب در رشته مهندسی برق مخابرات و مدرک دکترا در سال ۱۳۹۸ از دانشگاه کاشان در رشته مهندسی برق اخذ کرده است.

ایشان در حال حاضر بعنوان مدرس و عضو هیات علمی دانشگاه مشغول به کار هست. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان عبارت‌اند از: سنسورهای میکروویو، پایش میکروویو، توربین‌های گازی، انتشار امواج، آنتن و شناسایی الگو.