

«مقاله پژوهشی»

## شبیه‌سازی دروازه منطقی مخابراتی OR با بلور فوتونی دو بعدی

مهدی پزشکیان<sup>۱</sup>، حسین شاهمیرزایی<sup>۲\*</sup>

۱. کارشناسی ارشد، فیزیک، دانشگاه پیام نور

۲. استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۳۰

## Simulation of OR Telecommunication Logic Gate with Two-Dimensional Photonic Crystal

M. Pezeshkian<sup>1</sup>, H. Shahmirzaei<sup>2\*</sup>

1. MS.c. of Physics, Payame Noor University

2. Assistant Professor, Department of Physics, Maleke Ashtar University

Received: 2020/02/12

Accepted: 2020/04/18

### Abstract

In this paper, a complete study has been done in the field of optical crystal logic gates. Also, several gates have been designed and simulated in the ultraviolet and infrared wavelengths (wavelength range of 1500 nm). In all cases, the boundary conditions of the complete absorber are considered. First, the method of constructing a waveguide is presented, which is used to construct a divider. Then, with the help of this waveguide, an amplifier loop is designed. In this simulation, an attempt has been made to reduce the gate operator time. For this purpose, we have used dividers as a combination of wave generators in the center of the gate. These gates respond in a very short time, about 0.3 femtoseconds, to incoming light. In the telecommunication area, silicon has been used for building the gates. Also, in the center of the gate, the Mach Zander interferometer is used instead of the power combiner, which increases the response time; In this range, the dispersion of silicon material is considered. Another advantage of these gates is the input and output on one side, which can be used in integrated circuits. Powerful RSOFT software has been used to simulate the gate and to observe and analyze the results. Also, the band gap calculations of the PWE flat wave expansion method have been performed with the same software, and in the gate output wavelength calculations, the time domain finite difference method of FDTD has been used.

### Keywords

Photonic Crystal, Expansion Of Plane Waves, Finite Difference In Time Domain, Logic Gates.

### چکیده

در این مقاله بررسی کاملی در زمینه دروازه‌های منطقی بلور نوری صورت گرفته است. همچنین چندین دروازه در طول موج‌های فرابنفش و فرورسرخ (طول موج محدوده مخابراتی ۱۵۰۰ نانومتر) طراحی و شبیه‌سازی شده است. در تمامی موارد شرایط مرزی جاذب کامل در نظر گرفته شده است. در ابتدا نحوه ساخت موجبر ارائه شده است که از این موجبر طراحی شده برای ساخت تقسیم‌کننده استفاده می‌شود. سپس با کمک این موجبر یک حلقه تشدیدگر طراحی می‌گردد. در این شبیه‌سازی سعی بر این شده است که زمان عملگر دروازه کاهش یابد که برای این منظور از تقسیم‌کننده‌ها به صورت ترکیب‌کننده سازنده امواج در مرکز دروازه استفاده کرده‌ایم. این دروازه‌ها پاسخ زمانی بسیار کوتاه در حدود ۰/۳ فمتو ثانیه به پرتو نور ورودی می‌دهند. در محدوده مخابراتی از سیلیسیوم برای ساخت دروازه استفاده شده است. همچنین در مرکز دروازه از تداخل‌سنج ماخ زندر به جای ترکیب‌کننده توان استفاده شده است که زمان پاسخ را افزایش می‌دهد؛ در این محدوده پاشندگی ماده سیلیسیوم در نظر گرفته شده است. یکی دیگر از مزیت‌های این دروازه‌ها ورودی و خروجی در یک سمت است که می‌توان در مدارات مجتمع از آن استفاده کرد. برای شبیه‌سازی دروازه و مشاهده و تجزیه و تحلیل نتایج از نرم‌افزار قدرتمند RSOFT استفاده شده است. همچنین محاسبات شکاف باند روش بسط موج تخت PWE با همین نرم‌افزار انجام گرفته است و در محاسبات طول موج خروجی دروازه از روش تفاضل متناهی حوزه زمان از FDTD<sup>۱</sup> استفاده شده است.

### واژگان کلیدی

بلور فوتونی، بسط امواج تخت، تفاضل متناهی در حوزه زمان، دروازه‌های منطقی.

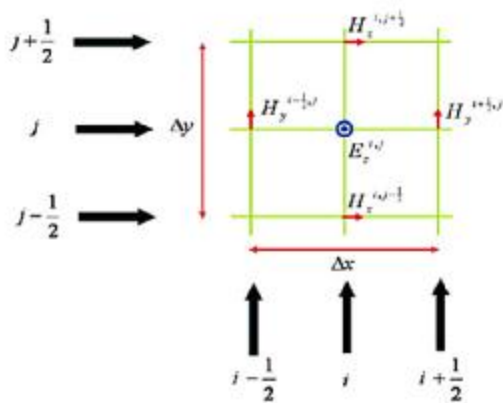
1. Finite Difference Frequency Domain

## مقدمه

بلور فوتونی ساختارهای متناوبی هستند که از مواد دی‌الکتریک ساخته می‌شوند. نواحی با ضریب دی‌الکتریک متفاوت به صورت تناوبی تکرار شده و این تناوب تعیین‌کننده طول موج نور قابل انتشار است [۵-۲]. یک بلور فوتونی با ایجاد تغییرات متناوب در ضریب شکست مواد دی‌الکتریک و یا با ایجاد ردیف منظمی از حفره‌ها در مواد ایجاد می‌گردد. وقتی که نور در ساختار متناوب منتشر می‌شود، در هر برخورد با ماده دی‌الکتریک بازتاب می‌شود. در نتیجه تداخل بازتاب کلی، در طول موج مشخصی رخ می‌دهد و نور با آن طول موج‌ها نمی‌تواند از داخل ماده عبور کند [۸-۶]. مجموعه این طول موج و بسامدها شکاف باند نوری ممنوعه نام دارد که پایه عملکرد بلور فوتونی است. عملکرد بلور فوتونی در مقابل امواج نوری، شبیه به عملکرد نیم رساناها برای الکترون‌ها است. در ساختارهای نیم‌رسانا، اتم‌ها و مولکول‌ها به طور متناوب در شبکه بلور قرار گرفته‌اند و این امر باعث ایجاد یک پتانسیل متناوب برای الکترون‌های موجود در ساختار بلور می‌شود. تحت تأثیر این پتانسیل متناوب، الکترون‌های دارای مقادیر انرژی خاص اجازه انتشار در درون ساختار بلور را ندارند [۱۱-۹]. در این مواد ضریب شکست تابعی متناوب از مکان است و این تناوب در ابعادی نزدیک به طول موج نور است. ساده‌ترین ساختار ممکن برای بلور فوتونی، شامل لایه‌های متناوب مواد با ثابت دی‌الکتریک متفاوت است. فیلم چندلایه (که ضریب شکست آنها تنها در یک جهت تغییر می‌کند اما در جهت‌های دیگر همسان گرد است). بلور فوتونی یک بعدی با توجه به مشخصاتشان می‌توانند شکاف باند نوری در جهت تناوب داشته باشند و شبیه‌سازی آنها راحت‌تر است اما تحریک این ساختارها در یک راستا چالش عملی است [۱۶-۱۲]. از این رو در این مقاله برای شبیه‌سازی دروازه منطقی و تجزیه و تحلیل نتایج از نرم‌افزار قدرتمند آرسافت استفاده می‌شود. همچنین محاسبات شکاف باند روش بسط موج تخت با همین نرم‌افزار انجام گرفته است و در محاسبات طول موج خروجی دروازه از روش تفاضل متناهی حوزه زمان استفاده شده است.

## روش تفاضل متناهی حوزه زمان (FDTD)

در این روش ساختار موردنظر به شبکه‌ای مربعی تقسیم شده است و تقریب پله‌ای برای پارامترهای محیط به کار می‌رود؛ همچنین میدان‌های الکترومغناطیسی گسسته‌سازی شده است و معادلات ماکسول با تقریب تفاضلی آنها جایگزین و میدان‌های الکترومغناطیسی در طول زمان محاسبه می‌شوند. با اینکه در این روش میدان‌ها در حوزه زمان محاسبه می‌شوند، با تکنیک‌هایی می‌توان به تحلیل مودال بلور فوتونی، حفره‌ها و موج‌برها پرداخت. این روش به صورت شرطی پایدار است و عموماً مشکل هم‌گرایی ندارد. این روش به منابع محاسباتی و حافظه بالایی به ویژه در حالت سه‌بعدی نیاز دارد. روش تفاضل‌های محدود در زمان در سه بعد در سال ۱۹۶۶ به وسیله<sup>۱</sup> یی<sup>۲</sup> ابداع شد، ولی به دلیل دسترسی نداشتن به سخت‌افزارهای مناسب برای محاسبات عددی به این روش تا اواسط دهه ۱۹۷۰ توجهی نگردید. امروزه این روش به‌عنوان روشی عمده در محاسبات بلور فوتونی به کار می‌رود [۲۱-۱۷]. برای توضیح روش اجزای محدود در حوزه زمان ابتدا به مدل ساده‌تر آن برای یک فضای دوبعدی در نظر گرفته می‌شود. در این روش فضا را روی یک صفحه مانند شکل ۱ شبکه‌بندی می‌شود.



شکل ۱. گسسته سازی فضای دوبعدی در روش تفاضل‌های محدود

1. Finite Element Method  
2. Yee

$$-\mu_0 \frac{\partial H_y}{\partial t} = -\frac{\partial E_z}{\partial x} \quad (10)$$

$$\varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \quad (11)$$

$$-\mu_0 \frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \quad (12)$$

$$\varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{\partial H_z}{\partial y} \quad (13)$$

$$\varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{\partial E_y}{\partial t} = -\frac{\partial H_z}{\partial x} \quad (14)$$

نحوه گسسته‌سازی فضا برای قطبش مغناطیسی دقیقاً مطابق با شکل ۲ است با این تفاوت که جای E و H را عوض می‌شود. در قطبش الکتریکی برای آنکه در گام زمانی بعد به دست آید، مشتق‌های مکانی نیاز است؛ همچنین به طریق مشابه در قطبش مغناطیسی اگر بخواهیم مشتق زمانی به دست آید. به مشتق‌های مکانی نیاز خواهد بود. برای دستیابی به یک نسخه عددی پایدار بر طبق روش ییی، باید مشتق‌های مکانی و زمانی هر دو مرکزی باشند. این بدان معنی است که برای محاسبه گام بعدی زمانی میدان الکتریکی یا مغناطیسی عمود از جدیدترین مقادیر موجود میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی در صفحه استفاده می‌شود و برعکس. جهت پیش روی در زمان برای میدان الکتریکی مشتق مکانی میدان مغناطیسی مورد نیاز است که با کمک مؤلفه‌های موجود میدان مغناطیسی طرفین نقطه موردنظر در شبکه میدان الکتریکی محاسبه می‌گردد. پس لازم است که شبکه‌های فضایی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی درهم‌تنیده قرار بگیرند و منطبق نباشند. میدان الکتریکی در نیم گام زمانی نخست و میدان مغناطیسی در نیم گام زمانی بعدی به‌روز شوند [۲۷-۲۲].

در سه بعد نحوه گسسته‌سازی فضا برای معادلات فوق همانند دو بعد در شکل ۲ است و شبکه‌های میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به شکل درهم‌تنیده قرار می‌گیرند.

در اینجا قطبش الکتریکی در نظر گرفته شده است. در این روش دو معادله اول ماکسول:

$$\nabla \times E = -\mu_0 \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times H = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{\partial E}{\partial t} \quad (2)$$

به‌صورت زمان و تزویج شده با یکدیگر حل می‌شوند. ابتدا برای سادگی فرض می‌شود که انتشار در صفحه x-y قرار داشته و میدان الکتریکی تنها دارای مؤلفه z است. بدین ترتیب قطبش الکتریکی مدنظر قرار می‌گیرد.

$$-\mu_0 \frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \quad (3)$$

$$-\mu_0 \frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \quad (4)$$

$$-\mu_0 \frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \quad (5)$$

$$\varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \quad (6)$$

$$\varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \quad (7)$$

$$\varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \quad (8)$$

برای توصیف قطبش الکتریکی به دست می‌آید:

$$-\mu_0 \frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{\partial E_z}{\partial y} \quad (9)$$

$$E_x^{n+\frac{1}{2}}(i, j + \frac{1}{2}) = E_x^{n-\frac{1}{2}}(i, j + \frac{1}{2}) - \frac{\Delta t}{\epsilon_0 \epsilon(i, j + \frac{1}{2})} \left[ \frac{H_y^n(i, j+1) - H_y^n(i, j)}{\Delta y} \right] \quad (18)$$

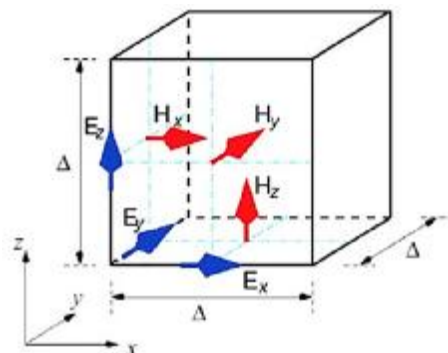
$$E_y^{n+\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j) = E_y^{n-\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j) + \frac{\Delta t}{\epsilon_0 \epsilon(i + \frac{1}{2}, j)} \left[ \frac{H_x^n(i+1, j) - H_x^n(i, j)}{\Delta x} \right] \quad (19)$$

$$H_z^{n+1}(i, j) = H_z^n(i, j) + \frac{\Delta t}{\mu_0} \times \left[ \frac{E_y^{n+\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j) - E_y^{n-\frac{1}{2}}(i - \frac{1}{2}, j)}{\Delta x} - \frac{E_x^{n+\frac{1}{2}}(i, j + \frac{1}{2}) - E_x^{n-\frac{1}{2}}(i, j - \frac{1}{2})}{\Delta y} \right] \quad (20)$$

همان‌طور که دیده می‌شود معادلات مربوط به قطبش‌های الکتریکی و مغناطیسی تنها با تبدیلات  $\mu_0 \leftrightarrow \epsilon \epsilon_0$  و  $E \leftrightarrow H$  به‌سادگی به یکدیگر تبدیل می‌شوند. از این ویژگی برای آسان‌سازی در برنامه‌نویسی تحلیل این دو قطبش می‌توان برای کوچک‌تر و مؤثرتر کردن نرم‌افزار استفاده فراوان برد. در سه بعد نحوه گسسته‌سازی معادلات ماکسول به‌طور کامل مشابه دو بعد است. روش تفاضل‌های متناهی در زمان به‌طور مشروط پایدار است. می‌توان نشان داد که برای پایداری عددی گام زمانی نباید از حد زیر تجاوز کند [۲۸-۳۴]:

$$0 \leq \Delta t \leq \frac{1}{c} \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(\Delta x)^2} + \frac{1}{(\Delta y)^2} + \frac{1}{(\Delta z)^2}}} \quad (21)$$

اگر شبکه فضایی همگن باشد، برای محیط‌های غیرپاشنده، خطی و بدون اتلاف می‌توان نوشت  $C \leq C_N$  که  $\frac{\Delta \sqrt{N}}{\Delta t} = C_N$  در آن سرعت انتشار عددی نامیده می‌شود. به‌بیان دیگر شرط پایداری آن است که سرعت



شکل ۲. گسسته سازی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در شبکه بی در سه بعد

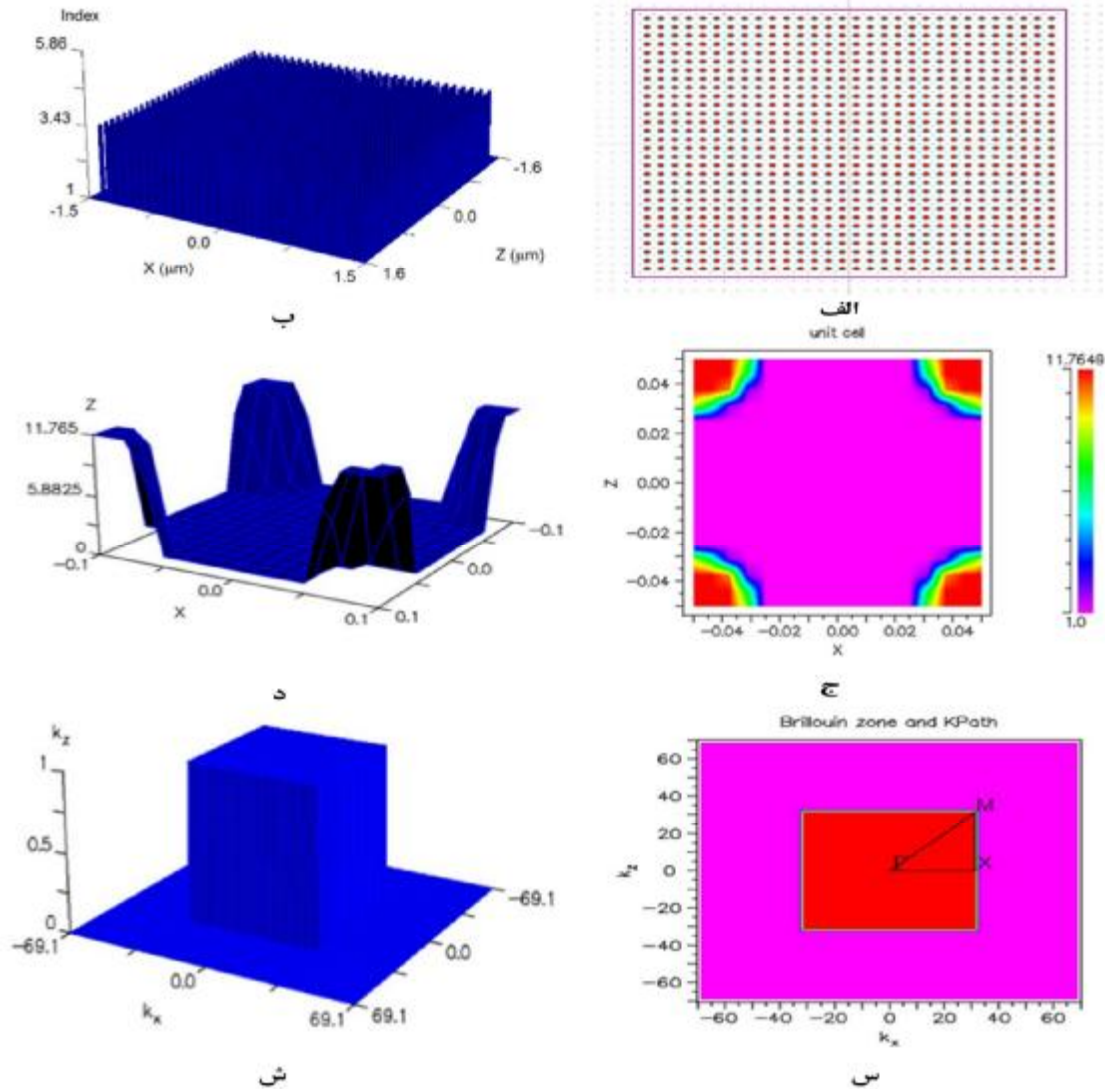
در تحلیل شبکه معکوس برای قطبش الکتریکی اگر از مشتق مرکزی استفاده شود به دست می‌آید:

$$H_x^{n+\frac{1}{2}}(i, j + \frac{1}{2}) = H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, j + \frac{1}{2}) - \frac{\Delta t}{\mu_0} \left[ \frac{E_z^n(i, j+1) - E_z^n(i, j)}{\Delta y} \right] \quad (15)$$

$$H_y^{n+\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j) = H_y^{n-\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j) + \frac{\Delta t}{\mu_0} \left[ \frac{E_z^n(i+1, j) - E_z^n(i, j)}{\Delta x} \right] \quad (16)$$

$$E_z^{n+1}(i, j) = E_z^n(i, j) + \frac{\Delta t}{\epsilon_0 \epsilon(i, j)} \times \left[ \frac{H_y^{n+\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j) - H_y^{n-\frac{1}{2}}(i - \frac{1}{2}, j)}{\Delta x} - \frac{H_x^{n+\frac{1}{2}}(i, j + \frac{1}{2}) - H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, j - \frac{1}{2})}{\Delta y} \right] \quad (17)$$

که در آن بالانویس n برای زمان و i و j برای مکان به کار می‌روند. به طریق مشابه مجموعه معادلات قطبش مغناطیسی عبارت‌اند از:



شکل ۳. الف) ساختار میله‌های سیلیسیوم در هوا با ضریب شکست ۳/۴۳ (ب) ضریب شکست آن برابر با ۳/۴۳ نسبت به هوا (ج) سلول واحد دوبعدی ساختار (د) ضریب شکست سلول واحد در سه بعد (ه) منطقه بریلوئن ساختار در دو بعد (ه) منطقه بریلوئن ساختار در سه بعد

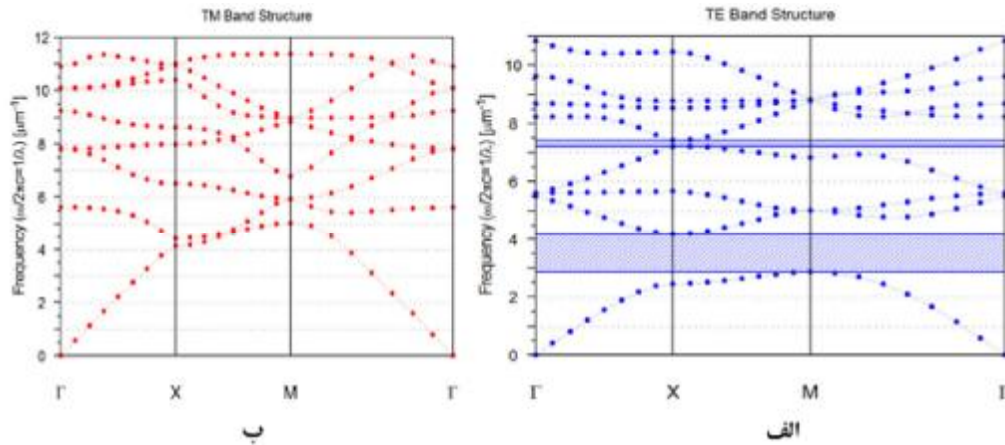
25 مناسب خواهد بود. نیز در بلور فوتونی، سلول واحد در هر بعد مکانی آن معمولاً باید دست کم به ۲۰ بخش تقسیم گردد [۳۵-۴۰].

### روش شبیه‌سازی

داشتن ضریب کیفیت مناسب و حداقل تلفات در محدوده شکاف باند مخابراتی به‌طور هم‌زمان در فیلترهای بلور نوری بسیار مهم است. اکثر فیلترهای نوری، مبتنی بر یک

انتشار عددی از سرعت فاز<sup>۱</sup> نور در خلأ کمتر نباشد. نیز N تعداد ابعاد فضایی و  $\Delta$  گام مکانی است. معمولاً هنگامی محیط مورد تحلیل خطی است می‌توان برای سهولت قرارداد  $\Delta = C = L = \mu_0 = \epsilon_0 = 1$  و از کمیات و ابعاد نرمالیزه استفاده کرد. بدین ترتیب دامنه میدان‌ها از مرتبه واحد قابل انتخاب کردن است و معمولاً  $\Delta t = 0$ .

1. Phase Velocity

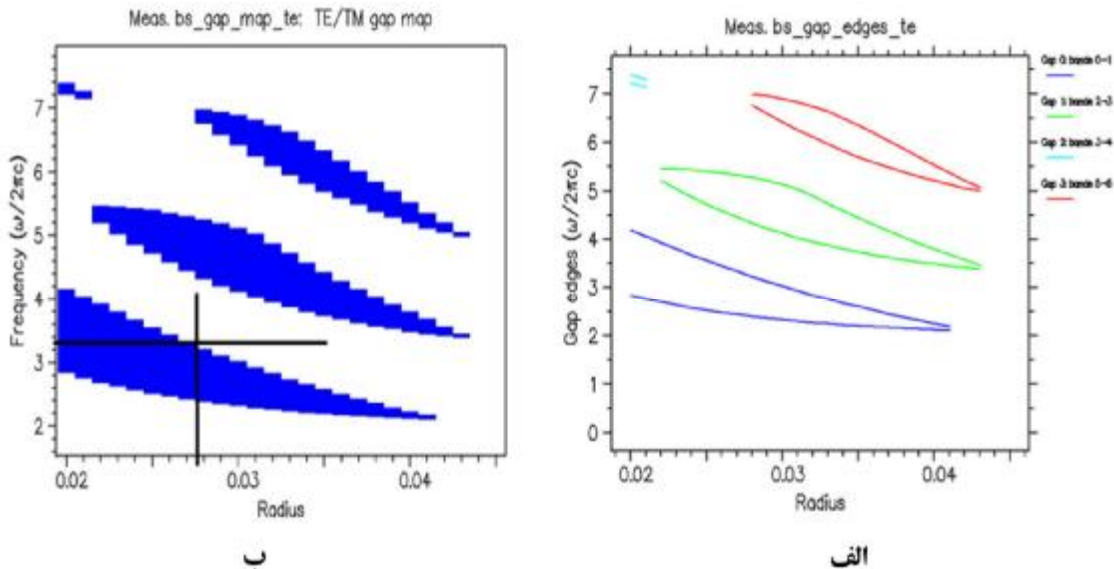


شکل ۴. شکاف باند ساختار طراحی شده در محدوده طول موج بین  $134nm < \lambda < 238nm$

۱۳۸nm (الف) مد میدان الکتریکی عرضی (ب) میدان مغناطیسی عرضی

نظر می‌گیریم. ضریب شکست میله‌های سیلیسیوم  $3/43$  و شعاع میله‌ها  $20$  نانومتر که ثابت شبکه  $100$  نانومتر در نظر گرفته شده است.

تشدیدگر حلقوی بلور نوری‌اند. در این گروه از فیلترها تغییر ویژگی‌های ساختار مانند تغییر ابعاد و شکل کاواک و ثابت شبکه و شعاع میله‌های دی‌الکتریک سبب کنترل بهتری در خصوصیتی مانند تلفات و بهبود ضریب کیفیت می‌شود. اما



شکل ۵. الف) شکاف باند با افزایش شعاع میله‌ها از  $1$  تا  $9$  نانومتر با ثابت شبکه  $20$  نانومتر. ب) محدوده طول موج امواج الکترومغناطیس با تغییر شعاع میله‌ها

**یافته‌ها**

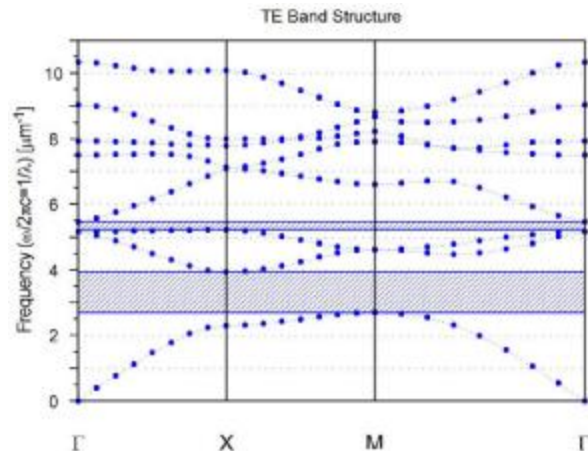
شکافت باند ساختار را به دست آمده مطابق شکل‌های ۴ در محدوده طول موج  $134nm < \lambda < 238nm$  و  $138nm < \lambda < 134nm$  برای دو مد میدان الکتریکی عرضی و میدان مغناطیسی عرضی نشان می‌دهد که تنها در

در اغلب موارد داشتن این خصوصیات به‌طور هم‌زمان مشکل است، چرا که بهبود یکی، سبب تخریب دیگری می‌شود و باید بین آنها تعادل ایجاد کرد. در ابتدا مطابق شکل ۳ یک نانو ساختار از  $90$  میله سیلیسیوم با مقطع دایره‌ای که در یک ساختار مربع شکل قرار گرفته‌اند را در

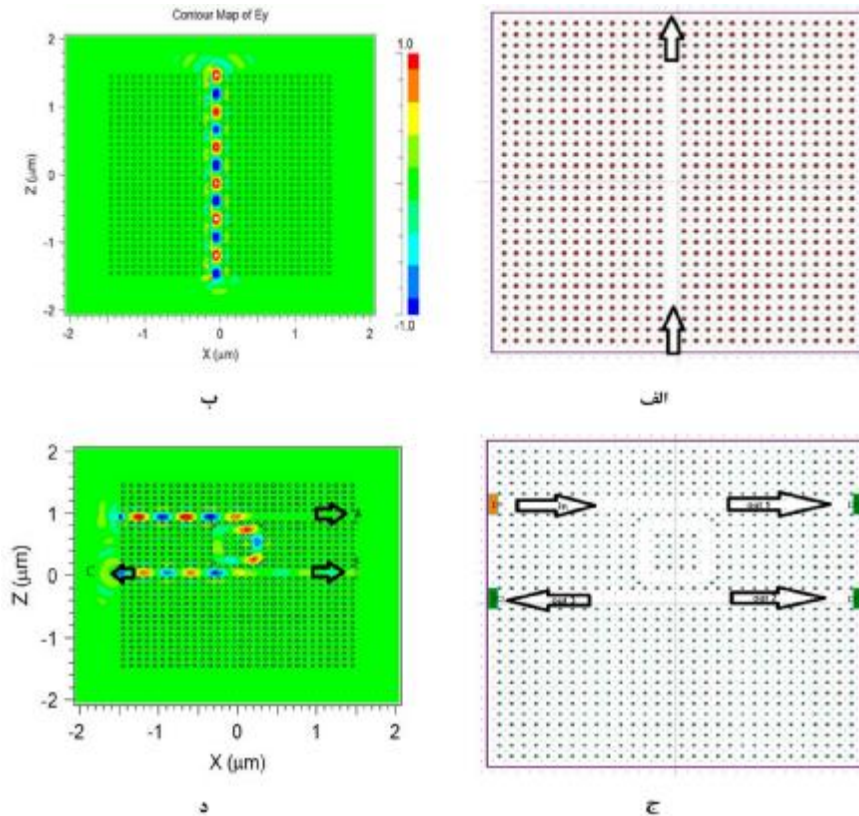
نمی‌دهد. شکاف‌های باند برای مد میدان مغناطیسی عرضی وجود ندارد.

با ثابت نگه‌داشتن ثابت شبکه در مقدار ۱۰۰ نانومتر شعاع میله‌ها را از ۲۰ تا ۴۵ نانومتر با گام‌های ۱ نانومتری افزایش می‌دهیم. مطابق شکل‌های ۵ مشاهده می‌گردد که با افزایش شعاع تعداد شکاف باند افزایش می‌یابد. ولی پهنای آن کاهش پیدا می‌کند.

برای ساخت ساختار با شکاف باند در طول موج ۳۰۰ نانومتر شعاع میله‌ها بین ۲۰ تا ۲۷ نانومتر است؛ برای این منظور شعاع میله‌های ساختار را ۲۲ نانومتر در نظر می‌گیریم؛ و نمودار شکاف باند مد میدان الکتریکی عرضی را مطابق شکل ۶ به دست می‌آید.

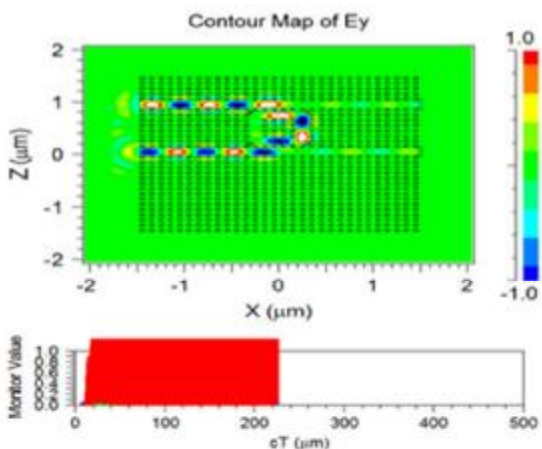


شکل ۶. شکاف باند ساختار با شعاع ۲۲ نانومتر و ثابت شبکه ۱۰۰ نانومتر در شبکه مربع با میله‌های دایره‌ای

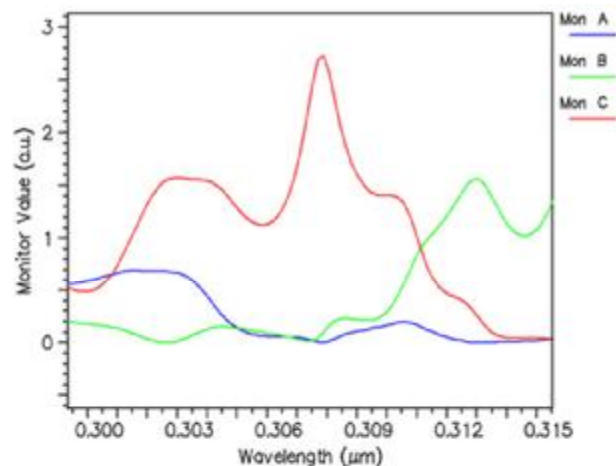


شکل ۷. الف) ساختار موج‌بر بلور فوتونی میله‌های دایره‌ای در شبکه مربع (ب) عبور موج گاوسی با طول موج ۳۰۰ نانومتر از ساختار بلور فوتونی (ج) ساختار فیلتر نوری یک حلقه تشدیدگر (د) ایجاد تشدید در حلقه ساختار برای طول موج ۳۰۷ نانومتر در خروجی C

صورت انتشار نور فرودی در مد میدان الکتریکی عرضی، شکاف باند که به رنگ آبی نشان داده شده است، وجود دارد که ساختار اجازه عبور امواج با طول موج مشخص شده را



ب



الف

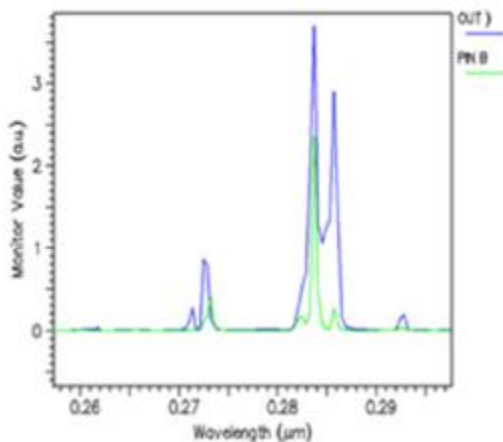
شکل ۸. الف) دامنه میدان الکتریکی در سه خروجی. بیشترین خروجی سوم برای طول موج ۳۰۷ نانومتر. ب) پاسخ زمانی سریع فیلتر به طول موج ورودی

حلقه و یا شعاع میله‌ها طول موج تشدیدگر تغییر می‌یابد. همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌کنید این حلقه تشدیدگر برای طول موج ۳۰۷ نانومتر طراحی گردیده است. امواج از سمت راست وارد می‌شود و در حلقه فقط یک طول موج تشدید می‌گردد و از خروجی C طول موج ۳۰۷ نانومتر خارج می‌گردد.

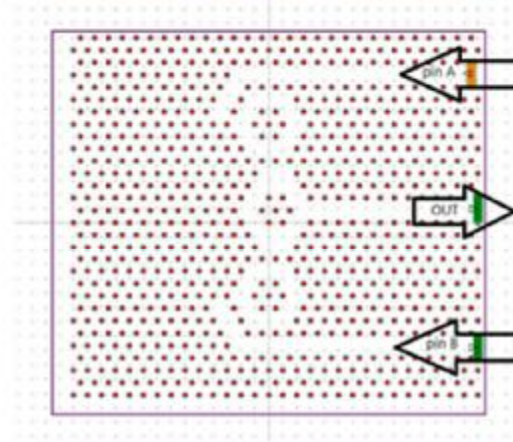
مطابق شکل ۸ دامنه میدان خروجی برای طول موج ۳۰۷ نانومتر در خروجی C بسیار زیادتر از دو خروجی دیگر

#### ساخت موج‌بر در طول موج ۳۰۰ نانومتر

با حذف یک ستون از میله‌ها یک موج‌بر برای طول موج ۳۰۰ نانومتر طراحی می‌گردد. مطابق شکل ۷ با حذف یک ستون موج‌بر طراحی می‌گردد. با توجه به شکل ۱۵ در طول موج ۳۰۰ نانومتر برای ساختار جدید شکاف باند وجود ندارد. امواج گاوسی در طول موج ۳۰۰ نانومتر به راحتی از درون موج‌بر عبور می‌کند.



ب



الف

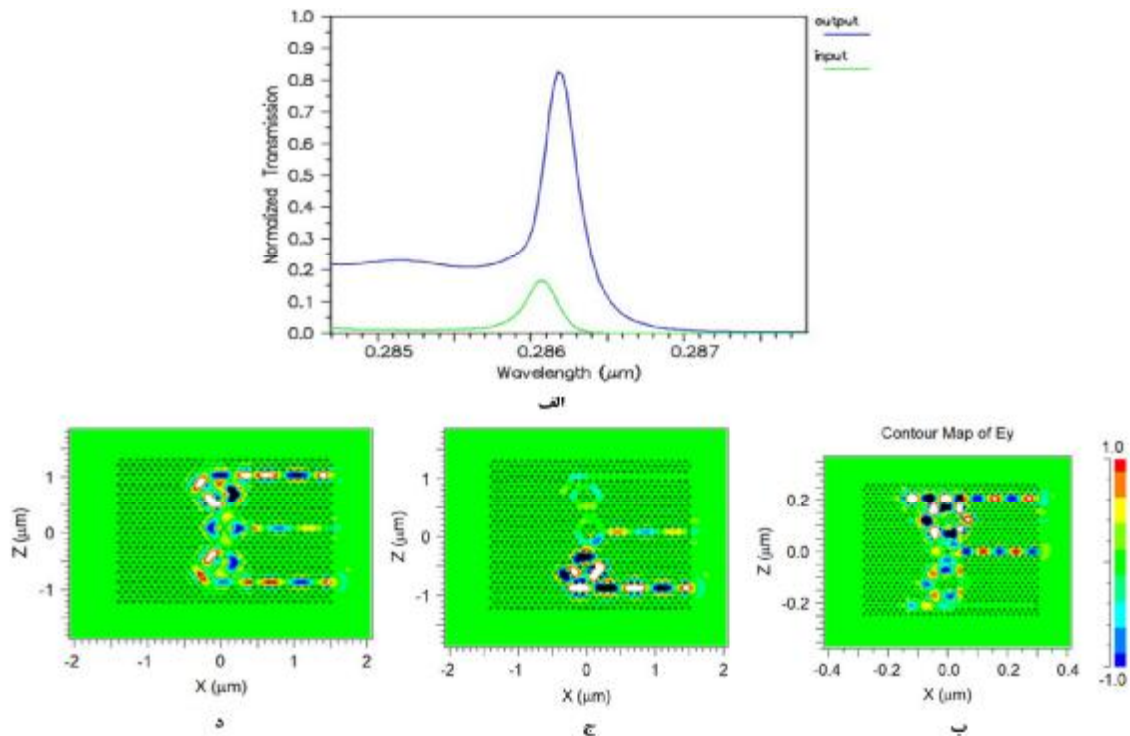
شکل ۹. الف) ساختار دروازه منطقی OR شامل دو پورت ورودی A و B و خروجی ب) طول موج ۲۸۶ نانومتر مناسب تشدید دروازه منطقی OR

است و در این طول موج دو خروجی A و B دیگر هیچ خروجی ندارند. از مشخصات این ساختار، پاسخ سریع ساختار به طول موج تشدید است که در حدود ۰/۳۳ فمتو ثانیه است.

#### طراحی حلقه تشدیدگر

این وسیله برای جدا کردن طول موج خاصی استفاده می‌شود که از دو موج‌بر و یک حلقه تشکیل شده است. با تغییر شعاع





شکل ۱۰. الف) میزان توان خروجی نسبت به خروجی ناخواسته دروازه منطقی OR (ب) منبع نور A روشن و منبع B خاموش (ج) منبع نور B روشن و منبع نور A خاموش (د) منبع نور A و B روشن

### دروازه منطقی OR در محدوده فرابنفش

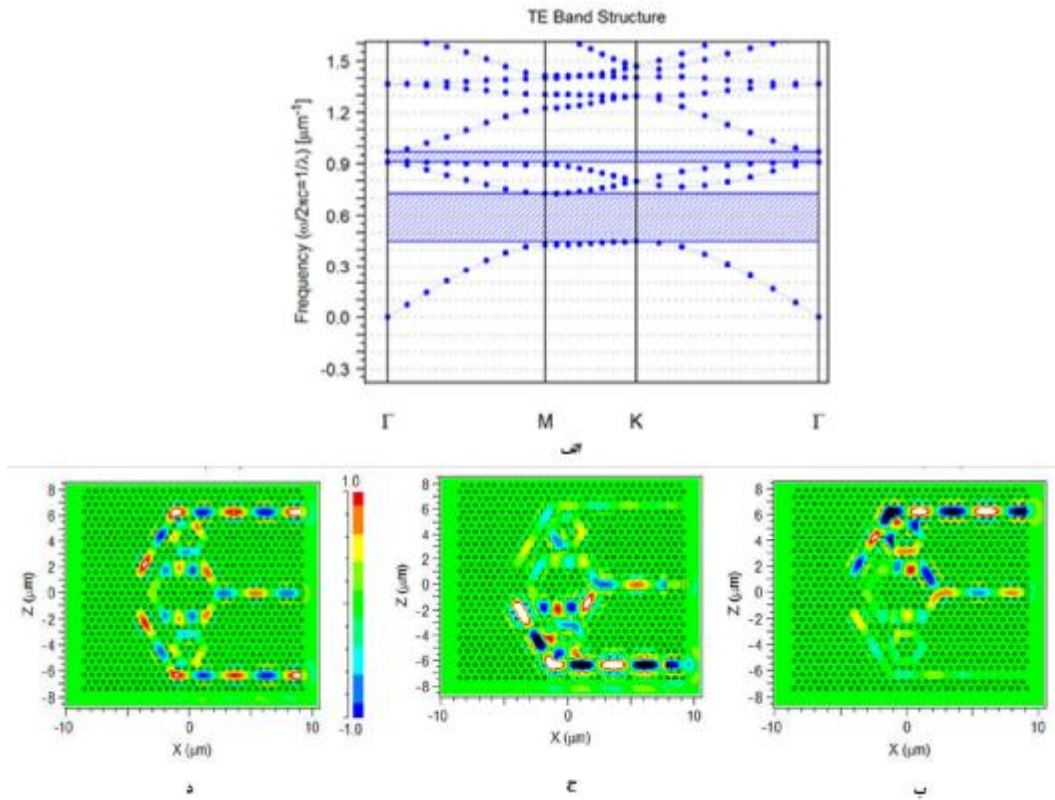
در این دروازه از میله‌هایی با ضریب شکست  $3/43$  که در هوا قرار دارند استفاده شده است. تعداد میله‌ها ۹۰ عدد است که در یک شبکه مثلثی  $30 \times 30$  قرار گرفته‌اند. شعاع میله‌ها ۲۰ نانومتر و ثابت شبکه ۱۰۰ نانومتر است. ساختار دارای دو پورت ورودی A و B است که در یک طرف ساختار است که در شکل ۹ نشان داده شده است. طول موج مناسب این دروازه ۲۸۶ نانومتر است که در پهنای باند شکاف ساختار قرار دارد.

میزان توان عبوری از خروجی نسبت به خروجی ناخواسته کم است که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. اگر منبع نور A روشن و منبع نور B خاموش باشد دروازه منطقی در حالت روشن قرار دارد. اگر منبع نور B روشن و منبع نور A خاموش باشد دروازه منطقی در حالت روشن قرار دارد و اگر هر دو منبع A و B روشن باشد، دروازه منطقی در حالت روشن قرار دارد.

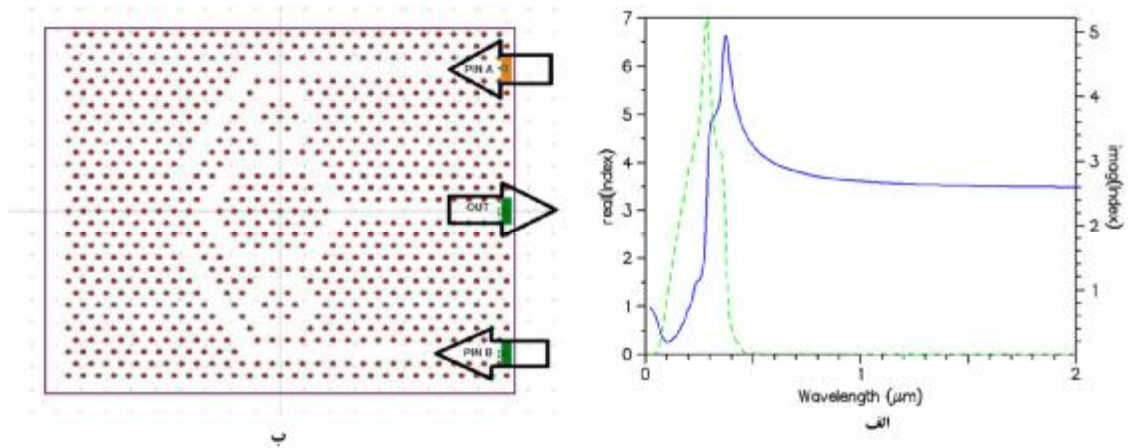
### دروازه منطقی OR در محدوده مخبراتی

با توجه با اینکه طول موج مخبراتی در محدوده  $1/3$  تا  $1/7$  میکرون است. دروازه طراحی شده در این محدوده کار می‌کند. در این دروازه از میله‌هایی از جنس سیلیسیوم و با شعاع  $0/12152$  میکرون که در هوا و در یک شبکه مثلثی قرار دارد، استفاده شده است. با نمودار تغییرات ضریب شکست نسبت به طول موج و دروازه منطقی OR که در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

با توجه به نمودار شکاف باند TE که در شکل ۱۲ دیده می‌شود، دو شکاف باند وجود دارد که یکی از آنها در محدوده مخبراتی قرار دارد. هنگامی که منبع نور گاوسی روشن است، دروازه منطقی حالت OR را دارد.



شکل ۱۱. الف) نمودار تغییرات ضریب شکست حقیقی و موهومی سیلیسیم نسبت به طول موج فرودی ب) دروازه منطقی OR در محدوده مخابراتی



شکل ۱۲. الف) نمودار شکاف باند ساختار ب) دروازه منطقی OR منبع نور بالا روشن و منبع نور پایین خاموش ج) دروازه منطقی OR منبع نور پایین روشن و منبع نور بالا خاموش د) هر دو منبع روشن

## بحث و نتیجه‌گیری

ضریب شکست محیطها باید افزایش می‌یابد. برای کاهش زمان پاسخ، تداخل‌سنج میانی دروازه باید کوچک‌ترین اندازه را داشته باشد. با افزایش طول موج اندازه دروازه منطقی افزایش می‌یابد؛ در نتیجه برای طول موج‌های بزرگ‌تر شعاع و ثابت شبکه بزرگ‌تر می‌شود.

## منابع

[۱] خراسانی، سینا، "مقدمه‌ای بر اپتیک بلور فوتونی"، تهران، فروردین ۱۳۸۶.

- [2] Johnson SG, Floren, P. Introduction to photonic crystals: *Bloch's theorem*. 2003:1-16.
- [3] Jean-Michel L, Henri B, Vincent B. Photonic Crystals: Towards Nanoscale Photonic Devices. *Springer-Verlag: Berlin/Heidelberg, Germany*; 2008.
- [4] Busch K, Stefan L, Wehrspohn RB, Helmut F. *Photonic crystals: advances in design, fabrication, and characterization*. John Wiley & Sons; 2004.
- [5] Bogaerts W. Nanophotonic waveguides and photonic crystals in silicon-on-insulator. 2004.
- [6] Quimby RS. Photonics and lasers: an introduction: John Wiley & Sons; 2006.
- [7] Benisty H, Weisbuch C, Labilloy D, Rattier M, Smith C, Krauss T, et al. Optical and confinement properties of two-dimensional photonic crystals. *J Lightwave Technol*. 1999;17(11):2063-77.
- [8] Joannopoulos JD, Johnson SG, Winn JN, Meade RD. Photonic crystals: molding the flow of light: *Princeton university press*; 2007.
- [9] Yablonovitch EJJ. Photonic band-gap structures. *J OptSoc AmB*. 1993;10(2): 283-296.
- [10] Lončar M, Doll T, Vučković J, Scherer AJJolt. Design and fabrication of silicon photonic crystal optical waveguides. *J Lightwave Technol*. 2000;18(10):1402.
- [11] Baets R, Bogaerts W, Taillaert D, Dumon P, Bienstman P, Van Thourhout D, et al., editors. *Low Loss Nanophotonic Waveguides and Ring Resonators in*

- در این مقاله شبیه‌سازی دروازه‌های منطقی با استفاده از نرم‌افزار آرسافت انجام گردید. نتایج نشان دادند که با تغییر شعاع میله‌ها، شکاف باند تغییر پیدا می‌کند. همچنین با تغییر جنس میله‌ها، مدهای قابل عبور از دروازه منطقی تغییر می‌کند. با تغییر شعاع حلقه‌های تشدیدگر، دروازه منطقی در طول موج دیگر قابل استفاده می‌شود. از حلقه تشدیدگر طراحی شده به عنوان وسیله‌ای برای طراحی لیزر بدون آستانه می‌توان استفاده کرد. برای شبیه‌سازی دروازه منطقی OR برای طول موج‌های بزرگ‌تر، شعاع میله‌ها و اختلاف Silicon-on-Insulator. *AIP Conference Proceedings*; 2002: AIP.
- [12] Villeneuve PR, Fan S, Joannopoulos JJPRB. Microcavities in photonic crystals: Mode symmetry, tunability, and coupling efficiency. *Phys Rev A*. 1996;54(11):7837.
- [13] Chutinan A, Noda SJJJoAP. Analysis of waveguides and waveguide bends in photonic crystal slabs with triangular lattice. *Jpn Appl Phys*. 2000;39(6B): L595.
- [14] Baba T, Fukaya N, Yonekura JJEL. Observation of light propagation in photonic crystal optical waveguides with bends. *J Appl Phys*. 1999;35(8):654-5.
- [15] Bogaerts W, Baets R, Dumon P, Wiaux V, Beckx S, Taillaert D, et al. Nanophotonic waveguides in silicon-on-insulator fabricated with CMOS technology. *J Lightwave Technol*. 2005; 23(1):401.
- [16] Johnson SG, Villeneuve PR, Fan S, Joannopoulos JDJPRB. Linear waveguides in photonic-crystal slabs. *Phys Rev A* 2000;62(12):8212.
- [17] Noda S, Chutinan A, Imada MJn. Trapping and emission of photons by a single defect in a photonic bandgap structure. *Nature*. 2000; 407(6804):608.
- [18] Lončar M, Doll T, Vučković J, Scherer AJJolt. Design and fabrication of silicon photonic crystal optical waveguides. *J Lightwave Technol*. 2000;18(10):1402.
- [19] Johnson SG. Photonic crystals: from theory to practice: *Massachusetts Institute of Technology*, 2001.

- [20] Hassibi B, Jing Y. Department of Electrical Engineering California Institute of Technology.
- [21] Altug H, Englund D, Vučković J. Ultrafast photonic crystal nanocavity laser. *Nat Phys*. 2006;2(7):484.
- [22] Ren F-F, Yu M, Ye J, Chen Q, Lo G, Kwong DJ. Enhanced Vertical Light Extraction from Ultrathin Amorphous Si-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Multilayers with Photonic Crystal Patterns. *IEEE Photonic Tech l*. 2009;21(2):91-3.
- [23] Luan P-G, Chang K-D. Periodic dielectric waveguide beam splitter based on co-directional coupling. *Opt Express*. 2007;15(8):4536-45.
- [24] Kim S, Park I, Lim H. Proposal for ideal 3-dB splitters-combiners in photonic crystals. *Opt Lett* 2005.30(3):257-9.
- [25] Frandsen LH, Borel PI, Zhuang Y, Harpøth A, Thorhauge M, Kristensen M, et al. Ultralow-loss 3-dB photonic crystal waveguide splitter. *Opt Lett* 2004; 29(14):1623-5.
- [26] Wu L, Mazilu M, Gallet J-F, Krauss T, Jugessur A, De La Rue R. Planar photonic crystal polarization splitter. *Opt Lett*. 2004; 29(14):1620-2.
- [27] Todorov Trifonov T. Photonic bandgap analysis and fabrication of macroporous silicon by electrochemical etching: Universitat Rovira i Virgili; 2004.
- [28] Koponen T, Huttunen A, Törmä P. Conditions for waveguide decoupling in square-lattice Photonic Crystals. 2004;96(8):4039-41.
- [29] Zhang Y, Li B. Photonic crystal-based bending waveguides for optical interconnections. *Opt Express*. 2006; 14(12): 5723-32.
- [30] Zhang Y, Li B. Ultracompact waveguide bends with simple topology in two-dimensional photonic crystal slabs for optical communication wave-lengths. *Opt Lett*. 2007;32(7):787-9.
- [31] Chen B, Tang T, Chen H. Study on a compact flexible photonic crystal waveguide and its bends. *Opt Express*. 2009;17(7):5033-8.
- [32] Hassibi B, Jing Y. Department of Electrical Engineering California Institute of Technology.
- [33] Yang Y-P, Lin K-C, Yang I-C, Lee K-Y, Lin Y-J, Lee W-Y, et al. All-optical photonic crystal AND gate with multiple operating wavelengths. *Opt Commun*. 2013; 297:165-8.
- [34] Madsen CK, Zhao JH. Optical filter design and analysis: Wiley New York; 1999.
- [35] Kee C-S, Ko D-K, Lee J-M, Lim H. Functional optical filters based on two-dimensional photonic crystals. 2006; 48(5):978-81.
- [36] Joannopoulos JD, Johnson SG, Winn JN, Meade RD. Photonic crystals: molding the flow of light: Princeton university press; 2008.
- [37] A. Yariv, "Critical coupling and its control in optical waveguide-ring resonator systems," IEEE Photonics Technology Letters. *IEEE Photonic Tech l*. Vol .14, pp. 483-485, 2002.
- [38] Wang Y, Zhu H, Li B. Optical characterization of mechanically tunable microwire based resonators by changing ring radius and wire diameter. *Opt Commun*. 2011;284(13):3276-9.
- [39] Outlook. Integrated Ring Resonators: The Compendium. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. *Analog Integer Circ R*. 2007. p. 231-.
- [40] Nawi I, Hairi H, Daud S, Aziz M, Ali J, Yupapin PJ. Analytical treatment of parametric effects in a ring resonator. *Procedia Eng*. 2011; 8:366-73.

#### COPYRIGHTS



© 2022 by the authors. Licensee PNU, Tehran, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY4.0) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)