

طراحی و اتافتگرهای مبتنی بر بلورهای فوتونی با قابلیت تواناسازی مناسب برای سامانه‌های مخابرات نوری

سعید سیدطاهری^{۱،۲}، کارشناس ارشد؛ علی‌رضا عندلیب^۳، استادیار

۱- گروه مهندسی برق - واحد تبریز - دانشگاه آزاد اسلامی - تبریز - ایران - saeidseyyedtaheri@gmail.com

۲- گروه مهندسی برق - واحد علوم و تحقیقات آذربایجان شرقی - دانشگاه آزاد اسلامی - تبریز - ایران

۳- گروه مهندسی برق - واحد تبریز - دانشگاه آزاد اسلامی - تبریز - ایران - andalib@iaut.ac.ir

چکیده: در این مقاله روشی برای فعال کردن یک واتافتگر^۱ مبتنی بر بلور فوتونی دوبعدی پیشنهاد شده است. ساختار استفاده شده در این مقاله از میله‌های استوانه‌ای ماده عایق الکتریک در بستری از هوا با شبکه مربعی تشکیل شده است. برای این منظور ابتدا یک واتافتگر با ساز و کار طول‌موج‌گزینی متشکل از یک نقص^۲ تشدید ارائه شده و سپس ساختار تواناساز پیشنهادی روی آن پیاده شده است. برای رسیدن به این هدف از ترکیب مخرب دو پرتو نوری استفاده شده است. در شبیه‌سازی‌ها از روش‌های عددی بسط موج تخت^۳ و تفاضل محدود حوزه زمان^۴ استفاده شده است. روش اول در محاسبه و استخراج ساختار باند و روش دوم در بررسی ویژگی‌های نوری افزار به کار گرفته شده است.

واژه‌های کلیدی: بلور فوتونی، تواناساز، فیلتر، واتافتگر، باند ممنوعه فوتونی^۵.

Design of PhC-based Demultiplexers With the Ability to Enabling, Suitable for Optical Communication Systems

S. S. Taheri^{1,2}, MSc; A. R. Andalib³, Assistant Professor

1- Department of Electrical Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran, Email: saeidseyyedtaheri@gmail.com

2- Department of Electrical Engineering, East Azerbaijan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

3- Department of Electrical Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran, Email: andalib@iaut.ac.ir

Abstract: In this paper a method is proposed for enabling a two-dimensional PhC-based demultiplexer. The structure used in this paper is composed of cylindrical dielectric material immersed in the air with cubic lattice. For this purpose, a photonic crystal based demultiplexer is designed. The proposed mechanism for wavelength selecting is a resonant defect. For realizing this aim, a destructive combination of two light beams is used. Two numerical methods, PWE and FDTD, are employed in the simulations. The first one is used for extracting band structures and the second one is used for studying the optical properties of the proposed device.

Keywords: Photonic crystal, enabler, filter, de-multiplexer, photonic band gap.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۰۶

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۲ و ۱۳۹۵/۰۵/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۱۰

نام نویسنده مسئول: علی‌رضا عندلیب

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تبریز - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز - گروه مهندسی برق.

۱- مقدمه

امروزه به دلیل کاستی‌های شبکه‌های مخابرات الکترونیک مرسوم و نیاز به انتقال سریع و مطمئن اطلاعات و با توجه به مزایای مخابرات نوری مانند مقرون به صرفه بودن، داشتن پهنای باند و سرعت انتقال اطلاعات بالا، مصونیت در برابر نویز میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی و ایمنی بسیار بهتر، سامانه‌های مخابرات نوری بیش‌تر در کانون توجه قرار گرفته‌اند. با گسترش شبکه‌ها و سامانه‌های مخابرات نوری، نیاز به افزارها و مدارهای تمام نوری نیز افزایش یافته است. در طراحی افزارهای تمام نوری مناسب برای شبکه‌ها و سامانه‌های مخابرات نوری مشکلاتی رخ نمودند که طراحی و ساخت ادوات بسیار کوچک مناسب برای مدارهای مجتمع نوری و مشکل تحدید کامل نور در فضاهای با ابعاد بسیار کوچک از آن جمله هستند. محققان و دانشمندان با استفاده از مواد ویژه‌ای بنام بلورهای فوتونی تا اندازه زیادی بر این مشکلات ساخت افزارهای تمام نوری چیره شده‌اند [۱-۳].

بلورهای فوتونی را می‌توان آرایه‌هایی منظم از لایه‌های مواد عایق الکتریک با ضریب شکست‌های متفاوت در نظر گرفت. به دیگر سخن، این نوع از مواد با تکرار مواد با ضریب شکست متفاوت از هم ساخته می‌شوند. بلورهای فوتونی مصنوعی به سه شکل کلی: (الف) یک‌بعدی، (ب) دوبعدی و (ج) سه‌بعدی ساخته می‌شوند.

مهم‌ترین ویژگی مواد بلور فوتونی یک گستره طول موجی در ساختار باند آن‌ها است. انتشار هر موج الکترومغناطیس در این گستره در ماده بلور فوتونی غیرممکن است. اگر امواج الکترومغناطیس با این طول موج‌ها به بلور فوتونی برخورد کنند، از سطح آن باز تابیده خواهند شد. این گستره طول موجی باند ممنوعه فوتونی نامیده می‌شود [۴-۶]. با تنظیم باند ممنوعه فوتونی در این نوع مواد و ایجاد موجبرهایی درون آن‌ها قادر به طراحی و ساخت افزارهای تمام نوری خواهیم بود. البته باید در نظر داشت که به دلیل نبود باند ممنوعه فوتونی کامل در نوع یک‌بعدی و بسیار کوچک بودن ثابت شبکه در نوع سه‌بعدی، بیش‌تر از بلورهای فوتونی دوبعدی استفاده می‌شود. در این نوع از بلورها می‌توان با تغییر دادن ضریب شکست یا نسبت شعاع به ثابت شبکه باند ممنوعه فوتونی را تنظیم کرد.

می‌توان با ایجاد نقص‌های نقطه‌ای (کاواک^۷) و خطی (موجبر) در ساختار بلور فوتونی ادوات مختلف تمام نوری طراحی کرد. از جمله ادوات تمام نوری که ساخته و در سامانه‌های تمام نوری استفاده می‌شوند، موجبرهای نوری، تزویجگرهای^۸ نوری، سوئیچ‌های نوری، تقسیم‌کننده‌های توان نوری، همتافت‌گرهای نوری، فیلترها و واتافترهای نوری را می‌توان نام برد.

امروزه با افزایش انفجارگونه تعداد کاربران شبکه‌ها و سامانه‌های مخابراتی، استفاده از استانداردهایی مانند تسهیم تقسیم طول موج^۹ و تسهیم تقسیم طول موج چگال^۹ از بدیهیات طراحی و ساخت سامانه‌های مخابرات نوری شده‌اند. توانایی استانداردهای یادشده در افزایش ظرفیت تارهای نوری^{۱۰} است. طبق استاندارد اتحادیه بین‌المللی مخابرات

محدوده طول موج‌های بکار رفته در روش تسهیم تقسیم طول موج چگال باید ۱۵۰۰ الی ۱۶۰۰ نانومتر و فاصله دو کانال مجاور از هم کم‌تر از یک نانومتر در نظر گرفته شوند. با در نظر گرفتن این استاندارد، نیاز به ساخت واتافترهای تمام نوری مبتنی بر بلورهای فوتونی بیشتر احساس می‌شود [۷، ۸].

در سال‌های گذشته تحقیقات زیادی برای طراحی و ساخت افزارهای نوری انجام شده و مقاله‌های متعددی نوشته شده‌اند. اولین گمانه‌زنی‌ها درباره امکان انتشار نور با استفاده از ساختارهای متناوب به سال ۱۸۷۷ بر می‌گردد که توسط ریلی^{۱۱} منتشر شد [۹]. پس از حدود صد سال در ۱۹۷۲، بایکوف^{۱۲} مقاله‌ای درباره امکان استفاده از ساختارهای متناوب برای کنترل انتشار نور منتشر کرد [۱۰]. با این وجود اولین تحقیقات متمرکز در این باره مقالات یابلانوویچ و جان^{۱۳} هستند که در سال ۱۹۸۷ منتشر شدند [۱۱]. در سال ۱۹۹۰ سوکولیس و همکاران^{۱۴} ساختار باند بلور فوتونی با ساختار FCC را به‌دست آوردند [۱۲]. در سال ۲۰۰۰ اولین بلور فوتونی سه‌بعدی که باند ممنوعه فوتونی کامل داشت، برای محدوده مادون قرمز ساخته شد [۱۳]. رستمی و همکاران در سال ۲۰۱۰ یک واتافتر مبتنی بر بلور فوتونی با کاواک تشدید به شکل T اصلاح‌شده که برای سامانه‌های تسهیم تقسیم طول موج مناسب بود، طراحی و پیشنهاد کردند. آن‌ها به فاصله کانال یک نانومتر با پهنای باند میانگین ۰/۴۵ نانومتر دست یافتند [۱۴]. رستمی و همکاران در سال ۲۰۱۱ یک واتافتر مبتنی بر بلور فوتونی بسیار فشرده، با استفاده از کاواک تشدید به شکل Y اصلاح‌شده، طراحی کردند. ابعاد ساختار این واتافتر ۱۷/۸ میکرومتر در ۱۷/۶ میکرومتر بود. پهنای باند و فاصله کانال آن به ترتیب برابر با حدود یک نانومتر و ۳/۵ نانومتر محاسبه شد [۱۵]. شی چی چنگ^{۱۵} و همکارانش در سال ۲۰۱۲ ویژگی‌های دو سامانه مخابراتی همتافت تقسیم طول موج چند کانال ساخته‌شده از بلورهای فوتونی چندگانه دوبعدی را معرفی کردند. در یکی از آن‌ها از پنج واحد بلور فوتونی متشکل از شبکه‌های مثلی و مستطیلی استفاده کردند. سامانه دوم را از پنج واحد با شبکه مستطیلی طراحی نمودند. آن‌ها ثابت کردند که می‌توان با استفاده از ثابت شبکه متناوب در واحدهای بلور فوتونی به تقسیم طول موج متناوب رسید [۱۶]. پیشوایی بازرگانی در سال ۲۰۱۲ یک واتافتر نوری چهار کانال با استفاده از شبه‌بلور فوتونی دوازده لایه با مقطع عرضی برابر با ۱۳۸ میکرومتر مربع معرفی کرد. اندازه این ساختار برای استفاده در مدارهای مجتمع نوری و ادوات مخابراتی همتافت تقسیم طول موج مناسب است [۱۷]. علیپور و همکارانش در سال ۲۰۱۳ با استفاده از یک ساختار نقص تشدید مرکب از یک نقص مرکزی و چهار نقص در پیرامون آن، ساز و کاری برای طول موج‌گیری پیشنهاد کردند. آن‌ها موفق به ارائه سه واتافتر ۸، ۱۶ و ۳۲ کانال مناسب برای کاربردهای همتافت تقسیم طول موج چگال شدند [۱۸]. ابراهیم‌زاده شرمه و همکاران در سال ۱۳۹۴ با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی اقدام به طراحی فیلترهای توری پراشی نمودند. آن‌ها با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی خفاش با تقریب بسیار بالایی به نتیجه رسیده‌اند.

شده‌اند. این کار با ایجاد نقص‌های خطی و نقطه‌ای مناسب در ساختار اساسی انجام شده است. سپس رفتار موج‌های نور درون این ساختارها بررسی شده است. بهترین روش عددی برای این کار، روش تفاضل محدود حوزه زمان است. ما برای این محاسبات از ابزار Full Wave/FDTD در نرم‌افزار RSoft Photonic CAD استفاده کرده‌ایم. برای پیشنهاد ساز و کار تواناساز، از روش بسیار ساده‌ای استفاده شده است. در واقع از این روش می‌توان در همه افزارهای تمام نوری مبتنی بر بلور فوتونی با ساختار دوبعدی متشکل از میله‌های عایق پوشیده با هوا استفاده کرد. هرکدام از چهار مرحله بیان‌شده با جزئیات آن‌ها در بخش بعدی بحث شده‌اند.

۳- شبیه‌سازی و نتایج

۳-۱- بلور فوتونی پایه و مهندسی باند ممنوعه فوتونی

در این مقاله از بلور فوتونی دوبعدی به‌عنوان ساختار بنیادی استفاده شده است. این ساختار از میله‌های استوانه‌ای شکل ماده عایق الکتریک در بستری از هوا با شبکه مربعی و با ابعاد 32×32 در راستاهای x و z انتخاب شده است. به این دلیل شبکه مربعی انتخاب شده است که ایجاد دو موجبر مستقیم عمود بر هم در بلور فوتونی با شبکه مربعی امکان‌پذیر است. این موضوع در طراحی ساختار تواناساز مفید خواهد بود. انتشار امواج الکترومغناطیس معمولاً به‌صورت عرضی است. یعنی امتداد میدان‌های الکتریکی (E) و مغناطیسی (H) عمود بر مسیر انتشار هستند. امتداد بردار E عمود بر مسیر انتشار همان امتداد قطبش یا پلاریزاسیون به‌هنگام انتشار است. در حالت کلی بردار شدت میدان الکتریکی را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} E &= E_x \cdot \hat{x} + E_y \cdot \hat{y} = Re[E_{x0} e^{j(\omega t - \beta z + \phi_x)} \cdot \hat{x} \\ &\quad + E_{y0} e^{j(\omega t - \beta z + \phi_y)} \cdot \hat{y}] \\ &= E_{x0} \cos(\omega t - \beta z + \phi_x) \cdot \hat{x} \\ &\quad + E_{y0} \cos(\omega t - \beta z + \phi_y) \cdot \hat{y} \end{aligned} \quad (1)$$

امواج الکترومغناطیس (مانند نور) در عبور از فضای آزاد یا یک فضای همگن و ایزوتروپیک و بدون اتلاف، کاملاً به‌صورت امواج متقاطع توصیف می‌شوند. یعنی بردار میدان الکتریکی E و بردار میدان مغناطیسی H یک موج تخت در جهاتی عمود بر سوی انتشار موج هستند. E و H خود عمود بر یکدیگرند. با در نظر گرفتن یک موج تخت تک‌رنگ با فرکانس نوری f و در نظر گرفتن راستای انتشار همسو با محور z میدان‌های E و H باید دارای مؤلفه‌هایی در راستاهای x و y باشند، طوری که $E_z = 0$. با استفاده از نمایش مختلط یا فازور متوجه می‌شویم که میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی لحظه‌ای با قسمت‌های حقیقی مقادیر مختلط ظاهر شده در معادلات زیر برابر هستند. به‌عنوان تابعی از زمان t و موقعیت مکانی z این میدان‌های مختلط به‌صورت زیر می‌توانند نوشته شوند.

روش جستجوی محلی الگوریتم ارائه‌شده به‌وسیله آن‌ها با الگوریتم خفاش استاندارد متفاوت بوده و دارای توانمندی قابل توجه و بازده بالا برای طراحی فیلترهای GMR انعکاسی است [۱۹].

موارد اشاره‌شده در پاراگراف بالا گوشه‌ای از تحقیقات و بررسی‌های انجام‌شده درباره طراحی و اتافترهای بلور فوتونی را نشان می‌دهد. ما در این مقاله یک ساز و کار مناسب برای فعال یا غیرفعال کردن یک واتافتر هشت کانال ارائه کرده‌ایم. ساختار این واتافتر با قابلیت تواناسازی، از بلور فوتونی با شبکه مربعی که از میله‌های ماده عایق ساخته شده است، تشکیل یافته است.

در این مقاله به بررسی یک ساختار بلور فوتونی که علی‌پور و همکاران در سال ۲۰۱۳ پیشنهاد کرده‌اند پرداخته شده است [۱۸]. درنهایت ساختار مذکور به‌گونه‌ای تغییر داده شده است که دارای یک پایه فعال‌کننده باشد. تا جایی که بررسی شده، برای اولین بار است که یک افزار بلور فوتونی مانند فیلتر یا واتافتر، با قابلیت فعال‌سازی ارائه می‌شود.

۲- مدل و روش

برای بررسی و مطالعه رفتار موج‌های الکترومغناطیس درون ساختارهای متناوبی همچون بلورهای فوتونی روش‌های عددی متعددی معرفی شده‌اند. یکی از محبوب‌ترین و پرکاربردترین این روش‌ها بسط موج تخت نام دارد. با این روش می‌توان فرکانس‌های ویژه یک ساختار متناوب را با حل معادلات ماکسول در حوزه فرکانس به‌دست آورد که سرعت محاسباتی بالایی نیز دارد. در سال ۱۹۶۶ روش دیگری بنام تفاضل محدود حوزه زمان به‌وسیله یی^{۱۶} پیشنهاد شد. این یک روش محاسباتی بسیار دقیق برای بررسی، مطالعه و شبیه‌سازی رفتار نور درون ادوات مبتنی بر بلور فوتونی است. تفاضل محدود حوزه زمان روشی بسیار قوی برای حل معادلات ماکسول در حوزه زمان است [۱۴].

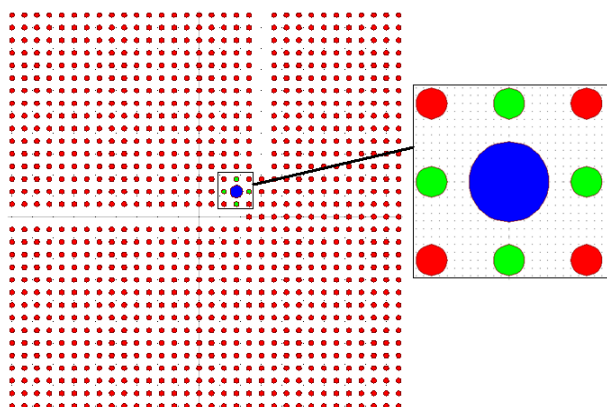
در مقاله حاضر روند کار ما از چهار بخش اصلی تشکیل شده است: (الف) انتخاب یک ساختار مناسب مبتنی بر بلور فوتونی و محاسبه باند ممنوعه فوتونی آن، (ب) ارائه یک فیلتر نوری بر اساس ساز و کار طول‌موج‌گزینی مورد نظر، (ج) پیشنهاد یک ساز و کار تواناساز برای فیلتر ارائه‌شده در مرحله قبل و بالاخره (د) تعمیم دادن فیلتر به یک واتافتر نوری با قابلیت تواناسازی.

مرحله نخست بیش‌تر روی محاسبه ساختار باند و استخراج باند ممنوعه فوتونی ساختار اساسی متمرکز است. بهترین روش عددی برای محاسبه باند ممنوعه فوتونی روش بسط موج تخت است. بدین منظور از ابزار Band SOLVE در نرم‌افزار RSoft Photonic CAD استفاده شده است. همان‌گونه که می‌دانیم، ساختار باند بلور فوتونی دوبعدی به مقادیر ضریب شکست و نسبت شعاع به ثابت شبکه آن وابسته است. مقادیر استفاده‌شده در این مقاله برای پارامترهای یادشده یکتا نیستند ولی طبق شبیه‌سازی‌های ما مناسب‌ترین مقادیر بودند. مراحل بعدی بیش‌تر روی ارائه یک ساختار برای فیلتر و واتافتر و ساز و کار تواناساز آن‌ها متمرکز

نخستین محدوده باند ممنوعه فوتونی به دست آمده، برای طراحی ابزارهای نوری در کاربردهای تسهیم تقسیم طول موج چگال مناسب است. پس طول موج فضای آزاد نیز در نرم افزار ۱/۹۲ میکرومتر انتخاب می شود.

۳-۲- طراحی فیلتر

شکل ۲ ساختار پیشنهاد شده برای فیلتر را نشان می دهد. این فیلتر از سه قسمت اصلی (الف) موجبر ورودی، (ب) نقص تشدید و (ج) موجبر خروجی تشکیل شده است. عمل طول موج گزینی به وسیله نقص تشدید انجام می گیرد. نقص تشدید از یک میله در مرکز و چهار میله دیگر در اطراف آن تشکیل یافته است. در این نقص تشدید شعاع میله مرکزی و فاصله چهار میله از میله مرکزی به ترتیب R_d و L در نظر گرفته شده اند. میله مرکزی و چهار میله اطراف آن در شکل برای تمایز از دیگر میله های ساختار به ترتیب با رنگ های آبی و سبز نشان داده شده اند. طول موج های گزیده شده با این ساختار به طور مستقیم وابسته به فاصله نقص مرکزی از چهار نقص اطراف آن هستند. در سطرهای آبی اثر پارامترهای R_d و L بر روی رفتار طول موج گزینی فیلتر بررسی و بحث شده اند.



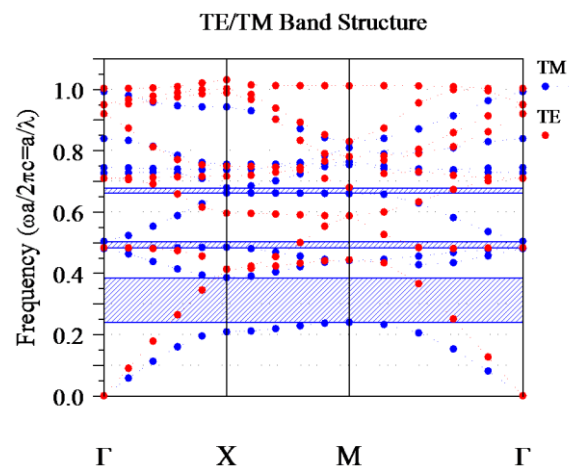
شکل ۲: ساختار پیشنهادی فیلتر به همراه ساز و کار طول موج گزینی آن

ابتدا برای بررسی اثر مقادیر متفاوت R_d بر رفتار طول موج گزینی فیلتر، با در نظر گرفتن $L = 0$ فیلتر برای مقادیر مختلف R_d شبیه سازی شده است. طیف خروجی به دست آمده برای مقادیر مختلف R_d در شکل ۳ به نمایش در آمده است. با توجه به شکل با انتخاب مقادیر مختلف R_d برابر با ۲۹۷، ۲۹۸، ۲۹۹، ۳۰۰، ۳۰۱ و ۳۰۲ نانومتر طول موج هایی به ترتیب برابر با ۱۵۷۱، ۱۵۷۵/۲، ۱۵۸۰/۴، ۱۵۸۵/۱، ۱۵۸۹/۹ و ۱۵۹۴/۶ نانومتر به وسیله فیلتر گزیده می شوند. این نتایج نشان می دهند که با افزایش مقدار R_d ، مقادیر طول موج های گزیده شده نیز افزایش می یابند. مشاهده می شود که بهره انتقال طیف خروجی برای مقادیر مختلف R_d ثابت نبوده و برای مقادیر مختلف، کاهش در بهره انتقال دیده می شود. همچنین پهنای باندها کم تر از ۰/۷ نانومتر هستند.

$$\begin{aligned} \vec{E}(z, t) &= \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \\ 0 \end{bmatrix} e^{j2\pi(z/(x/n)-t/T)} = \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \\ 0 \end{bmatrix} e^{i(kz-\omega t)} \\ \vec{H}(z, t) &= \begin{bmatrix} h_x \\ h_y \\ 0 \end{bmatrix} e^{j2\pi(z/(x/n)-t/T)} = \begin{bmatrix} h_x \\ h_y \\ 0 \end{bmatrix} e^{i(kz-\omega t)} \end{aligned} \quad (2)$$

می دانیم که در بلورهای فوتونی دوبعدی ساخته شده از میله های ماده عایق در بستر هوا، ساختار باند برای مد TM وجود دارد. یعنی باند ممنوعه فوتونی اصلی و کاربردی آن ها در مد TM است. پس تمام محاسبات و شبیه سازی ها در مد TM انجام شده اند.

در بلورهای فوتونی دوبعدی باند ممنوعه فوتونی وابسته به ضریب شکست میله های عایق و نسبت شعاع به ثابت شبکه است. در اینجا مقادیر ۱۱۶ و ۶۰۰ نانومتر به ترتیب برای پارامترهای شعاع میله های عایق و ثابت شبکه و ۴/۲ برای ضریب شکست میله های عایق انتخاب شده اند.



شکل ۳: ساختار باند بلور فوتونی اساسی

ساختار باند بلور فوتونی با پارامترهای ذکر شده در شکل ۱ نشان داده شده است. سه ناحیه باند ممنوعه فوتونی در دیاگرام ساختار باند برای مد TM وجود دارند که با ناحیه های هاشور خورده با رنگ آبی دیده می شوند.

محدوده های نواحی باند ممنوعه فوتونی به صورت زیر هستند:

$$0.239 < a/\lambda < 0.385 \quad (3)$$

$$0.484 < a/\lambda < 0.504 \quad (4)$$

$$0.661 < a/\lambda < 0.678 \quad (5)$$

که محدوده طول موج های به دست آمده از آن ها به ترتیب برابر هستند با:

$$1558.4nm < \lambda < 2510.4nm \quad (6)$$

$$1190nm < \lambda < 1239.6nm \quad (7)$$

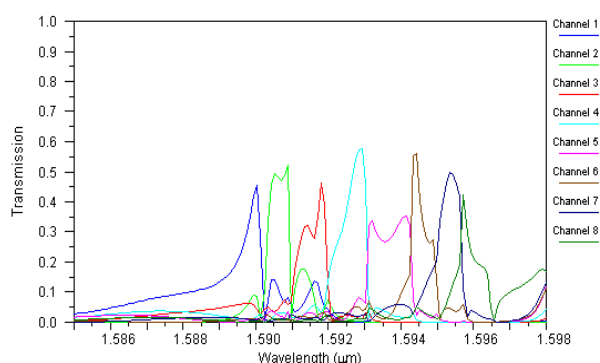
$$887.9nm < \lambda < 907.7nm \quad (8)$$

طول موجبر کنترلی باید به اندازه‌ای انتخاب شود که هر دو پرتو ورودی و کنترلی در یک زمان به نقطه تلاقی دو موجبر برسند. شعاع نقص نقطه‌ای، R_c ، باید به اندازه‌ای باشد که باعث ایجاد اختلاف فازی برابر $\pi/2$ با پرتو ورودی اصلی شود. پس از شبیه‌سازی‌های بسیار با مقادیر مختلفی که برای R_c در نظر گرفته شدند، مناسب‌ترین مقدار برای آن برابر 125 نانومتر انتخاب شد. بنابراین فیلتر با انتخاب مقادیر 300 nm $R_d = 0$ ، $L = 0$ و $R_c = 125 \text{ nm}$ در دو حالت (الف) وجود ورودی کنترلی و (ب) نبود ورودی کنترلی شبیه‌سازی شد. طیف خروجی فیلتر برای هر دو حالت ورودی تواناساز فعال و غیرفعال در شکل ۶ به نمایش در آمده است.

۳-۳- طراحی ساز و کار تواناساز برای فیلتر

در این مرحله یک ساختار تواناساز برای فعال یا غیرفعال کردن فیلتر پیشنهاد شده است. به این صورت که با یک یا صفر منطقی شدن تواناساز، فیلتر فعال یا غیرفعال می‌شود. ساختار پیشنهادی ما از ترکیب سازنده یا مخرب طول موج‌ها با هم استفاده می‌کند. اگر در یک نقطه مشخص از موجبر ورودی یک پرتو دیگر با اختلاف فازی به اندازه $\pi/2$ پرتو ورودی ترکیب شود، این دو پرتو به صورت مخرب با یکدیگر ترکیب شده و در طول موج‌های مورد نظر توان قابل توجهی به نقص تشدید نخواهد رسید. این سبب غیرفعال شدن فیلتر می‌شود. برای انجام دادن این کار، ساختار پیشنهادی ما از یک موجبر ورودی کنترلی عمود بر موجبر ورودی اصلی و یک نقص نقطه‌ای در انتهای آن تشکیل شده است. موجبر ورودی

برای این و اتافتگر کمترین بهره انتقال ۳۵٪ و بدترین پهنای باند و کمترین ضریب کیفیت به ترتیب برابر با ۰/۷ نانومتر و ۲۲۷۳ هستند. اطلاعات هر کدام از کانال‌ها با جزئیات در جدول ۱ فهرست شده‌اند.



شکل ۸: طیف خروجی و اتافتگر هشت کانال

جدول ۱: داده‌های به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی و اتافتگر با مقادیر

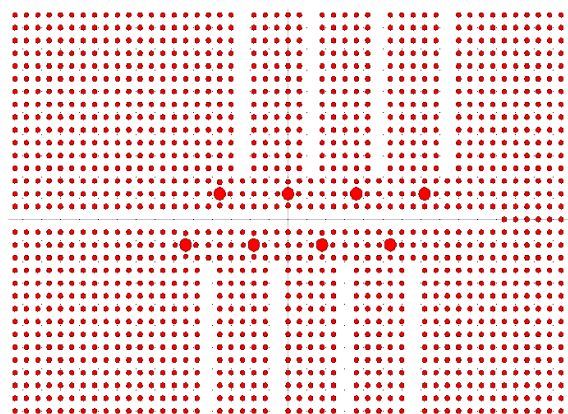
مختلف L در هر کانال					
کانال	L (nm)	λ_0 (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	Q	TE (%)
۱	۰	۱۵۸۹/۹	۰/۳	۵۲۹۹/۶	۰/۴۵
۲	۱۰	۱۵۹۰/۶	۰/۵	۳۱۸۱/۲	۰/۵
۳	۲۰	۱۵۹۱/۶	۰/۷	۲۲۷۳/۷	۰/۴۶
۴	۳۰	۱۵۹۲/۸	۰/۴	۳۹۸۲	۰/۵۷
۵	۴۰	۱۵۹۳/۷	۱/۲	۱۳۲۸	۰/۳۵
۶	۴۵	۱۵۹۴/۴	۰/۲	۷۹۷۲	۰/۵۶
۷	۵۰	۱۵۹۵/۳	۰/۴	۳۹۸۸/۵	۰/۵
۸	۵۵	۱۵۹۵/۷	۰/۱	۱۵۹۵۷	۰/۴۲

۳-۵- افزودن ساز و کار تواناساز به ساختار و اتافتگر

در این بخش با استفاده از ساز و کار تواناساز پیشنهاد شده برای فیلتر، یک ورودی کنترلی به و اتافتگر افزوده می‌شود. همان‌گونه که قبلاً بیان شد، طول موجبر کنترلی باید به‌اندازه‌ای باشد که هر دو پرتو ورودی و کنترلی با طی کردن مسافت‌های برابر به همدیگر برسند. بر این اساس ابعاد ساختار ۳۲×۵۴ (۵۴ میله در راستای x و ۳۲ میله در راستای z) انتخاب شده‌اند. موجبر کنترلی با حذف ۱۵ میله و عمود بر موجبر ورودی ایجاد شده است. یک نقص نقطه‌ای نیز در انتهای این موجبر تعبیه شده که وظیفه آن ایجاد اختلاف فاز است.

در شکل ۹ ساختار کلی و اتافتگر با ورودی تواناساز دیده می‌شود. در این ساختار مقادیر R_d و L همانند حالت بررسی شده قبلی و شعاع نقص واقع در انتهای موجبر کنترل‌کننده، R_c ، برابر ۱۲۵ نانومتر در نظر گرفته شده‌اند. و اتافتگر با وجود پرتو ورودی در موجبر کنترلی و نبود پرتو

در هر دو حالت، طول موج گزیده شده برابر $۱۵۸۶/۲ \text{ nm}$ و پهنای باند برابر $۰/۲ \text{ nm}$ به‌دست آمده است. در صورتی که بهره انتقال برای حالتی که ورودی کنترلی صفر است، برابر ۸۸٪ و برای حالتی که ورودی کنترلی یک است مقدار ناچیز ۲۱٪ (که قابل چشم‌پوشی است) دیده می‌شود. بنابراین فیلتر پیشنهاد شده یک فیلتر فعال صفر است.



شکل ۷: ساختار و اتافتگر هشت کانال

۳-۴- طراحی و اتافتگر

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی، فیلتر معرفی شده، دیده می‌شود که ساختار توانایی انتخاب طول موج‌های متفاوت با اندکی تغییر دادن ویژگی‌های نقص تشدید را دارد. بنابراین می‌توان از این ویژگی فیلتر معرفی شده استفاده کرده و آن را برای ارائه یک و اتافتگر نوری تعمیم داد. بنابراین با استفاده از ساز و کار طول موج‌گزینی و روش کنترلی که قبلاً پیشنهاد شد، یک و اتافتگر هشت کانال با یک پایه تواناساز معرفی شده است. ابعاد ساختار اصلی بلور فوتونی برای این و اتافتگر ۳۲×۵۰ (۵۰ میله در راستای x و ۳۲ میله در راستای z) در نظر گرفته شده است. ابتدا به شبیه‌سازی و اتافتگر بدون قابلیت تواناسازی می‌پردازیم. ساختار کلی این و اتافتگر در شکل ۷ نشان داده شده است. این و اتافتگر شامل سه قسمت است: یک موجبر افقی به‌عنوان موجبر ورودی، هشت موجبر عمودی به‌عنوان موجبرهای خروجی و هشت نقص تشدید به‌عنوان ساز و کار طول موج‌گزینی و اتافتگر. اما این هشت نقص تشدید برای انتخاب طول موج‌های مختلف باید متفاوت از هم باشند. و اتافتگر با استفاده از مقادیر متفاوت L برای هر کدام از نقص‌های تشدید، شبیه‌سازی شده است.

مقدار R_d برای همه نقص‌های تشدید ثابت و برابر با ۳۰۱ نانومتر انتخاب شده است. مقادیر انتخاب شده برای L در هر کدام از نقص‌های تشدید و اتافتگر به ترتیب برابر با ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۵۵ نانومتر هستند. طیف خروجی این و اتافتگر هشت کانال در شکل ۸ نشان داده شده است.

برای و اتافتگر مقادیر $\lambda_1 = ۱۵۸۹/۹ \text{ nm}$ ، $\lambda_2 = ۱۵۹۰/۶ \text{ nm}$ ، $\lambda_3 = ۱۵۹۱/۸ \text{ nm}$ ، $\lambda_4 = ۱۵۹۲/۷ \text{ nm}$ ، $\lambda_5 = ۱۵۹۳/۳ \text{ nm}$ ، $\lambda_6 = ۱۵۹۴/۴ \text{ nm}$ ، $\lambda_7 = ۱۵۹۵/۳ \text{ nm}$ و $\lambda_8 = ۱۵۹۵/۷ \text{ nm}$ به‌دست آمده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

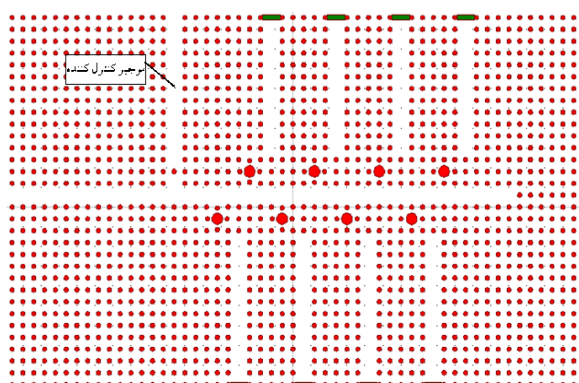
ما در این مقاله یک ساز و کار تواناساز برای فعال یا غیرفعال کردن و اتاقتگری هشت کانال پیشنهاد کردیم. این روش بر اساس ایجاد اختلاف فاز در پرتو کنترلی با پرتو ورودی و ترکیب مخرب آن‌ها با هم پیشنهاد شده است. بدین منظور از یک نقص نقطه‌ای درون موجبر کنترلی برای ایجاد اختلاف فاز $\pi/2$ بین پرتو کنترلی و پرتو ورودی استفاده شد. عیب این ساز و کار تواناساز در بزرگ‌تر کردن ابعاد ساختار افزار مورد نظر است. ساز و کار طول‌موج‌گزینی این افزار تا حدودی ساده و بر مبنای تغییر فاصله نقص‌های طرفین نسبت به نقص مرکزی در ساختار نقص تشدید است.

در تحقیقات بعدی می‌توان به این موضوع پرداخت که چگونه با حداقل افزایش ابعاد ساختار اصلی می‌توان به چنین ساز و کار کنترلی دست یافت. همچنین یافتن چنین ساز و کاری برای ساختارهای شش‌ضلعی نیز پیشنهاد می‌شود.

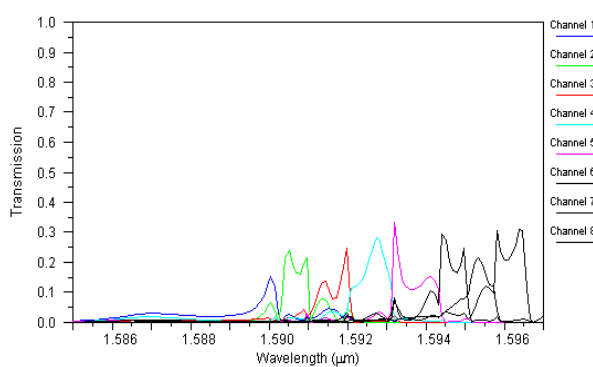
جدول ۲: مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده برای طول‌موج مرکزی و بهره انتقال به‌دست‌آمده برای هر یک از حالت‌های فعال و غیرفعال در و اتاقتگر

کانال	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
فعال	λ_0 (nm)	۱۵۹۰	۱۵۹۰/۷	۱۵۹۱/۹	۱۵۹۲/۷	۱۵۹۲/۲	۱۵۹۴/۷	۱۵۹۵/۴
	TE (%)	۴۹	۷۳	۹۷	۹۷	۷۶	۶۰	۷۸
غیرفعال	λ_0 (nm)	۱۵۹۰	۱۵۹۰/۷	۱۵۹۱/۹	۱۵۹۲/۷	۱۵۹۲/۲	۱۵۹۴	۱۵۹۵/۴
	TE (%)	۱۵	۲۴	۲۴	۲۸	۳۳	۲۹	۲۱

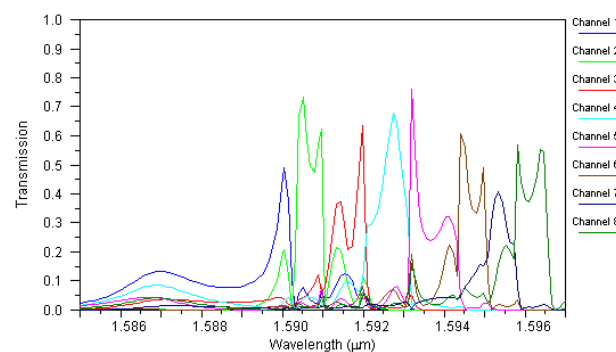
ورودی در موجبر کنترلی شبیه‌سازی شده است. طیف خروجی برای هر دو حالت به ترتیب در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ دیده می‌شوند.



شکل ۹: ساختار و اتاقتگر هشت کانال با قابلیت تواناسازی



شکل ۱۰: طیف خروجی و اتاقتگر در حضور پرتو کنترل‌کننده



شکل ۱۱: طیف خروجی و اتاقتگر در نبود پرتو کنترل‌کننده

منابع

- [1] H. Alipour-Banaei, F. Mehdizadeh, "Significant role of photonic crystal resonant cavities in WDM and DWDM communication tunable filters," *Optik*, 2013.
- [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.

از نتایج شبیه‌سازی هر دو حالت ملاحظه می‌شود که مقادیر طول‌موج‌های مرکزی در هر دو حالت فعال و غیرفعال یکسان هستند. بدون حضور پرتو کنترلی کم‌ترین بهره انتقال در حدود ۴۰٪ و با حضور پرتو کنترلی بیش‌ترین بهره انتقال حدود ۳۳٪ است. داده‌های مربوط به حالت‌های فعال و غیرفعال و اتاقتگر در جدول ۲ دیده می‌شوند.

- [13] A. Blanco, E. Chomski, S. Grabtchak, et al, "Large-scale synthesis of a silicon photonic crystal with a complete three-dimensional bandgap near 1.5 micrometres," *Nature*, 2000.
- [14] A. Rostami, F. Nazari, H. Alipour-Banaei and A. Bahrami, "A novel proposal for DWDM demultiplexer design using modified-T photonic crystal structure," *Photonics and Nanostructures – Fundamentals and Applications*, 2010.
- [15] A. Rostami, H. Alipour-Banaei, F. Nazari and A. Bahrami, "An ultra compact photonic crystal wavelength division demultiplexer using resonance cavities in a modified Y-branch structure," *Optik*, 2011.
- [16] S. C. Cheng, J. Z. Wang, L. W. Chen and C. C. Wang, "Multichannel wavelength division multiplexing system based on silicon rods of periodic lattice constant of hetero photonic crystal units," *Optik*, 2012.
- [17] H. P. Bazargani, "Proposal for a 4-channel all optical demultiplexer using 12-fold photonic quasicrystal," *Optics Communications*, 2012.
- [18] H. Alipour-Banaei, F. Mehdizadeh and M. Hassan-Gholizadeh-Kashtiban, "A novel proposal for all optical PhC-based demultiplexers suitable for DWDM applications," *Opt Quant Electron*, 2013.
- [۱۹] عطاءالله ابراهیمزاده شرمه، عباس فتح تبار و حسین علیجائزاده بورا، «طراحی فیلترهای توری پراشی با استفاده از الگوریتمهای تکاملی»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۵، شماره ۴، ۱۳۹۴.
- [20] K. Sakoda, *Optical Properties of Photonic Crystals*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.
- [3] H. Alipour-Banaei, M. Jahanara and F. Mehdizadeh, "T-shaped channel drop filter based on photonic crystal ring resonator," *Optik*, 2014.
- [4] H. Alipour-Banaei, F. Mehdizadeh and M. Hassan-Gholizadeh-Kashtiban, "A new proposal for PCRR-based channel drop filter using elliptical rings," *Physica E*, 2014.
- [5] H. Alipour-Banaei, F. Mehdizadeh and M. Hassan-Gholizadeh-Kashtiban, "Important effect of defect parameters on the characteristics of Thue-Morse photonic crystal filters," *Hindawi Publishing Corporation*, 2013.
- [6] S. Serajmohammadi, H. Alipour-Banaei, "Band gap properties of 2D square lattice photonic crystal composed of rectangular cells," *Front. Optoelectron*, 2013.
- [7] H. Alipour-Banaei, F. Mehdizadeh and S. Serajmohammadi, "A novel 4-channel demultiplexer based on photonic crystal ring resonators," *Optik*, 2013.
- [8] N. D. Gupta, V. Janyani, "Dense wavelength division demultiplexing using photonic crystal waveguides based on cavity resonance," *Optik*, 2014.
- [9] L. Rayleigh, "On the maintenance of vibrations by forces of double frequency, and on the propagation of waves through a medium endowed with a periodic structure," *Philosophical Magazine*, 1887.
- [10] V. Bykov, "Spontaneous emission in a periodic structure," *J. Exp. Theor. Phys*, 1972.
- [11] E. Yablonovitch, "Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics," 1987.
- [12] K. M. Ho, C. T. Chan, C. M. Soukoulis, "Existence of a photonic gap in periodic dielectric structures," *Phys. Rev. Lett*, 1990.

زیر نویس ها

- ¹ Demultiplexers
- ² Defect
- ³ Plane Wave Expansion (PWE)
- ⁴ Finite Difference Time Domain (FDTD)
- ⁵ Photonic Band Gap (PBG)
- ⁶ Cavity
- ⁷ Couplers
- ⁸ Wavelength Division Multiplexing (WDM)
- ⁹ Dense wavelength division multiplexing (DWDM)
- ¹⁰ Optical Fibers
- ¹¹ Rayleigh
- ¹² Baykov
- ¹³ Yablanovitch
- ¹⁴ Soukoulis
- ¹⁵ Shih-Chieh Cheng
- ¹⁶ Yee