Tech. Edu. J. 13(4): 762-774, Autumn 2019

Technology of Education Journal

(TEJ)

Homepage: jte.sru.ac.ir

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Software-based teaching of optical demultiplexers by using photonic crystals with presenting the syllabus for MSc students in electronic engineering major

Gh. A. Delphi[1], S. Olyaee[1,*], M. Seifouri[2]

[1] Nano-photonics and Optoelectronics Research Laboratory (NORLab), Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

[2] Faculty of Electrical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

Submited: 28 March 2019
Reviewed: 12 May 2019
Revised: 23 May 2019
Accepted: 12 June 2019

KEYWORDS:
Simulation-Based Teaching
Software-Based Teaching
Syllabus
Photonic Crystal
Demultiplexer

* Corresponding author
s_olyaee@sru.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objectives: Software-based education is one of the most important ways to transfer knowledge in the field of new technologies. Because the hardware implementation of some modern science phenomena is not possible due to its complexity or sometimes due to the lack of appropriate manufacturing technology. Therefore, appropriate software can be used to teach such phenomena. One of the sciences and technologies that has grown significantly in recent years is photonic crystal structures, which have also appeared in new editions of graduate courses syllabuses as photon crystals. In this paper, simulation-based (software-based) teaching of a 4-channel optical demultiplexer based on photonic crystal is presented by using the R-Soft software.

Methods: The teaching of the demultiplexer structure is based on the use of a photonic crystal filter. In this analysis, with the variation of the radius of the cylindrical nano-ring resonator and the radius of the scattering rods, the critical length parameter of 1573.6 nm is improved in the design of the filter. The advantages of the 4-channel demultiplexer include the mean quality factor of 4525, mean channel power transfer factor of 95%, and maximum and minimum channel cross-talk of -19.6 and -40.4, respectively. Also, mean channel width is obtained as 0.375 nm. Moreover, the proposed 4-channel demultiplexer can be used in WDM systems.

Findings: The simulation-based teaching of these structures is very important to develop and improve the multiplexers performance. Therefore, the related syllabus is suggested for master of science (MSc) students in Electronic Engineering major. This syllabus can be considered as a part of Photonic Crystal or Photonics courses.

Conclusion: In this paper, a 4-channel optical demultiplexer based on photonic crystal was studied. In order to teach the theoretical principles and foundations which are mostly complex and its hardware implementation is difficult due to technological limitations, the use of appropriate software environments along with strengthening the basic knowledge required can Improve teaching-learning processes. For this purpose, in this article, we tried to express the appropriate concepts of designing a four-channel optical dimplexplexor system for effective training. Accordingly, the proposed principles and topics as well as the prerequisites in the design were described. In the training section of the four-channel dimplex structure, it was stated that a T-shaped input waveguide, square resonator rings and several output waveguides can be used.

NUMBER OF REFERENCES	NUMBER OF Fig.S	NUMBER OF TABLES
28	17	3

مقاله پژوهشی

آموزش مبتنی بر نرم افزار دی مالتی پلکسر نوری با استفاده از کریستال های فوتونی دو بعدی و ارائه سرفصل آن برای دانشجویان کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک

غلامعلی دلفی [۱]، سعید علیائی [۱،*]، محمود صیفوری [۲]

[۱] آزمایشگاه تحقیقاتی نانوفوتونیک و اپتوالکترونیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران، ایران
[۲] دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: آموزش مبتنی بر نرم افزار یکی از روش های مهم برای انتقال دانش در حوزه فناوری های جدید است. از آنجایی که پیاده سازی سخت افزاری برخی از پدیده های علوم روز به دلیل پیچیدگی های آن و یا گاهی به دلیل عدم وجود فناوری ساخت متناسب با آن، امکان پذیر نیست. از این رو، برای آموزش چنین پدیده هایی می‌توان از نرم افزارهای مناسب استفاده کرد. یکی از علوم و فناوری هایی که در سال های اخیر رشد قابل توجهی داشته است، ساختارهای کریستال فوتونی است که در ویرایش های جدید سرفصل های تحصیلات تکمیلی نیز با عنوان بلورهای فوتونی ظهور یافته است. در این مقاله به آموزش مبتنی بر نرم افزار یک دی مالتی پلکسر چهار کاناله کریستال فوتونی با استفاده از نرم افزار آرسافت پرداخته شده است.

روش‌ها: آموزش ساختار دی مالتی پلکسر بر مبنای خصوصیات یک فیلتر کریستال فوتونی بنا نهاده شده است. در این تجزیه و تحلیل با تغییر شعاع میله های درون نانو تشدیدگر حلقوی و شعاع میله های پراکندگی در ساختار کریستال فوتونی، پارامتر مهم طول موج مرکزی ۱۵۷۳٫۶ نانومتر در فیلتر بهبود یافته است. از مزایای دی مالتی پلکسر چهار کاناله می توان به میانگین ضریب کیفیت ۴۵۲۵ و میانگین ضریب انتقال توان کانال ها ۹۵% و میزان بیشینه و کمینه هم شنوایی کانال ها به ترتیب -۱۹٫۶ دسی بل و -۴۰٫۴ دسی بل و میانگین عرض کانالی ۰٫۳۷۵ نانومتر اشاره کرد. می توان از دی مالتی پلکسر های چهار کاناله پیشنهاد شده در سامانه های مخابراتی بهره برد. با توجه به ضرورت آموزش فناوری های جدید، آموزش مبتنی بر نرم افزار و ارائه مراحل طراحی چنین ساختارهایی به منظور توسعه و بهبود آن ها بسیار حائز اهمیت است.

یافته‌ها: از این رو، در این مقاله به ارائه سرفصل مربوطه برای دانشجویان کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک پرداخته می شود. این مبحث می تواند به عنوان بخشی از درس بلورهای فوتونی و یا درس فوتونیک در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری: در این مقاله به آموزش مبتنی بر نرم افزار یک دی مالتی پلکسر چهار کاناله کریستال فوتونی پرداخته شد. به منظور آموزش اصول و مبانی نظری که عمدتا پیچیده بوده و پیاده سازی سخت افزاری آن با توجه به محدودیت های فناوری مشکل است، استفاده از محیط های نرم افزاری مناسب به همراه تقویت دانش های مورد نیاز اولیه می تواند در بهبود فرآیندهای یاددهی-یادگیری سهم بسزایی داشته باشد. به همین منظور در این مقاله سعی شد مفاهیم مناسب طراحی سامانه دی مالتی پلکسر چهار کاناله نوری برای آموزش موثر بیان شود. بر همین اساس مبانی و سرفصل های پیشنهادی و نیز پیش نیازهای مورد نظر در طراحی توصیف شد. در بخش آموزش ساختار دی مالتی پلکسر چهار کاناله بیان شد که می توان از یک موجبر ورودی T شکل، حلقه های تشدیدگر مربعی شکل و چند موجبر خروجی استفاده کرد.

دریافت: ۰۸ فروردین ۱۳۹۸
داوری: ۲۲ اردیبهشت ۱۳۹۸
اصلاح: ۲ خرداد ۱۳۹۸
پذیرش: ۲۲ خرداد ۱۳۹۸

واژگان کلیدی:
آموزش مبتنی بر نرم افزار
آموزش مبتنی بر شبیه سازی سرفصل
کریستال فوتونی
دی مالتی پلکسر

*نویسنده مسئول
s_olyaee@sru.ac.ir

مقدمه

آموزش مبتنی بر نرم افزار یکی از روش های مهم برای انتقال دانش در حوزه فناوری های جدید است [۱-۴]. از آنجایی که پیاده سازی سخت افزاری برخی از پدیده های علوم روز به دلیل پیچیدگی های آن و یا گاهی به دلیل عدم وجود فناوری ساخت متناسب با آن، امکان پذیر نیست. از این رو، برای آموزش چنین پدیده هایی می‌توان از نرم افزارهای مناسب استفاده کرد. یکی از علوم و فناوری هایی که در سال های اخیر رشد قابل توجهی داشته است، ساختارهای کریستال فوتونی است که در ویرایش های جدید سرفصل های تحصیلات تکمیلی نیز با عنوان بلورهای فوتونی ظهور یافته است. در حال حاضر ادوات نوری یکی از نیازهای اولیه در عرصه مخابرات و الکترونیک است. با توجه به اینکه ادوات نوری اطلاعات را با سرعت خیلی بیشتر و پهنای باند بهتری می توانند انتقال بدهند، بنابراین کریستال های فوتونی به خاطر ویژگی های منحصر به فردشان توجه زیادی را به خود جلب کرده است.

کریستال های فوتونی گزینه های خوبی در آینده برای طراحی مدارهای مجتمع نوری و سامانه های ارتباطی نوری هستند. این ساختارها دارای شکاف باند فوتونی و حبس قوی نور در ساختار خود هستند.

شکاف باند فوتونی به ناحیه ای از ساختار کریستال فوتونی گفته می شود که هر طول موجی توانایی و اجازه انتشار را ندارند و در اصطلاح به آن باند ممنوعه فوتونی می گویند [۵]. کریستال های فوتونی به دلیل ساختار تناوبی برای طراحی در اندازه های خیلی کوچک کاربرد دارند، و از انتشار امواج الکترومغناطیسی که در محدوده شکاف باند فوتونی هستند، در هرجهت جلوگیری می کنند و به سه شکل یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی وجود دارند [۶]. شکاف باند فوتونی یک عامل کلیدی برای طراحی اجزاء مختلف مبتنی بر کریستال فوتونی مانند فیلترها، سوئیچ های نوری، مالتی پلکسر، دی مالتی پلکسر با مزایایی از جمله کارایی بالا، کاهش اندازه و توان مصرفی کم همراه هستند. ساختار کریستال فوتونی این امکان را به وجود آورده که بتوان به راحتی طراحی های با ابعاد بسیار کوچک را پیاده سازی کرد [۷].

در کریستال های فوتونی انتخاب شعاع میله های دی الکتریک و ثابت شبکه دی الکتریک و ضریب شکست موثر n_{eff} در تشکیل شکاف باند فوتونی و طول موج های مجاز یک ساختار کریستال فوتونی حائز اهمیت است. به این طریق می توان شدت توان پرتو نور ورودی را تحت تاثیر قرار داد و از پراکندگی نور جلوگیری کرد [۸]. کریستا ل های فوتونی در مدارات مجتمع تمام نوری کاربردهای متفاوتی دارند و تا به حال افزاره ها گوناگونی مبتنی بر این مواد ارائه شده است [۷-۱۰]. به خصوص فیلتر ها، مالتی پلکسرها و دی مالتی پلکسرهای نوری مبتنی بر شکاف باند فوتونی درکریستال فوتونی، با به دام انداختن نور در ساختار یک کاواک و حلقه های تشدیدگر طراحی شده است، و به این وسیله می توان به طول موج های مورد انتظار رسید. از این مزیت در سامانه های مالتی پلکس تقسیم طول موج[۱] می توان استفاده کرد [۱۱]. فیلتر های فزون/فرود عملکرد دیگری از کریستال های فوتونی هستند که بین دو موجبر ورودی و خروجی قرار می گیرند و باعث آنالیز نور ورودی شده و با محبوس کردن نور، توانایی افزایش و کاهش طول موج های جدید در خروجی یک طراحی ساختار را دارند. از این افزایش و کاهش سریع نور می توان به عنوان یک مزیت کلیدی در مدارات مجتمع نوری استفاده کرد. چنین عملکردی با یک توان نوری ورودی چند میکروواط امکان پذیر است. از طراحی یک فیلتر می توان در طراحی ساختارهای دی مالتی پلکسر و دیگر افزاره های نوری استفاده نمود، فیلتر فزون/ فرود که توسط منصوری بیرجندی و همکارانش طراحی شده قابلیت واکنش سریع، مصرف کم انرژی و قابلیت ادغام به چندین کانال ارتباطی و همچنین قابلیت تنظیم در حالت غیرخطی و سوئیچینگ را دارد. با کمترین توان نوری قابلیت کلیدی روشن و خاموش شدن را دارد [۱۲]. فیلتر دیگری توسط صیفوری و همکارانش مبتنی بر نانوتشدیگر حلقوی کریستال فوتونی با ضریب کیفیت ۱۲۹۰ و طول موج مرکزی ۱۵۴۸ نانومتر و ضریب انتقال ۹۵% طراحی شده است [۱۳].

تا به حال طراحی انواع دی مالتی پلکسرهای نوری نانوتشدیدگر خطی و نقطه ای توسط پژوهشگران متعددی صورت گرفته است. هر کدام دارای نتایج قابل قبولی در تقسیم طول موج های مرکزی خود داشته اند. اما به دلیل فاصله بین کانالی زیاد دی مالتی پلکسرهای نوری خطی قابلیت استفاده در سیستم مالتی پلکس تقسیم طول موج فشرده[۲] را ندارند. جهت جبران این مشکل در دی مالتی پلکسرهای نوری خطی، نانو تشدیدگر های حلقوی کریستال فوتونی پیشنهاد می شوند. قربان پور و همکارانش در طراحی دی مالتی پلکسر دو کاناله مبتنی بر نانو تشدیدگر حلقوی کریستال فوتونی توانسته اند به میانگین ضریب کیفیت ۱۹۸۹,۴ و میانگین همشنوایی -۲۴,۵۱ دسی بل و ضریب توان ۹۱% و طول‌موج مرکزی کانال ۱۵۸۷,۲ نانومتر دست یابند [۱۴]. دی مالتی پلکسر چهار کاناله نانوتشدیدگر حلقوی کریستال فوتونی x-شکلی توسط علیپور و همکارانش ارائه شد که بیشترین ضریب‌کیفیت این ساختار ۱۹۵۴ و کمترین و بیشترین همشنوایی بین کانالی -۲۳,۷ و -۷,۵ دسی بل و فاصله بین کانالی ۳ نانومتر گزارش شده است [۱۵]. یک دی مالتی پلکسر دو کاناله x-شکل با فاصله بین کانالی ۴ نانومتر و طول موج مرکزی کانال اول ۱۵۵۵,۷ نانومتر و کانال دوم ۱۵۵۱,۳ نانومتر و کمترین و بیشترین همشنوایی به ترتیب -۱۶ دسی بل و -۱۱ دسی بل توسط علیپور و همکارانش گزارش شده است [۱۶]. در مقاله دیگری که توسط طالب زاده مطرح شده، کمیت های قابل مطرح در این ساختار یکی ضریب انتقال ۱۰۰% و فاصله بین کانالی ۱,۷۵ نانومتر و دیگری پهنای باند متوسط ۱,۵ نانومتر و همچنین مقدار متوسط تداخل بین کانالی -۱۸ دسی بل بوده است [۱۷]. تحقیق دیگری در مورد یک دی مالتی پلکسر چهار کاناله نانوتشدیدگر حلقوی با ساختار هندسی توسط مهدی زاده و همکارانش گزارش شده که کمیت‌هایی چون فاصله بین کانالی حدود ۳ نانومتر و کمترین بازده انتقال ۹۲% و ضریب کیفیت بیش از ۸۱۸ و همشنوایی بین کانالی -۱۸ دسی بل از آن نتیجه شده است [۱۸]. در این مقاله که یک دی مالتی پلکسر شش ضلعی چهار کاناله تشدیدگر حلقوی است توسط فلاحی و همکارانش به چاپ رسیده است. این مقاله دارای میانگین ضریب کیفیت ۱۹۴۳، فاصله بین کانالی ۲ نانومتر و مقدار همشنوایی بین کانالی -۱۸,۱۱ دسی بل و متوسط ضریب انتقال توان ۹۵% است [۱۹]. در این مقاله که یک دی مالتی پلکسر ۵ کاناله نانو تشدیدگر حلقوی کریستال فوتونی است، توسط نقی زاده و همکارانش بر اساس نتایج یک فیلتر با طول موج ۱۵۵۰ نانومتری شبیه سازی شده است. در این طراحی میانگین ضریب انتقال، ۹۲% و میانگین فاصله بین کانالی ۴,۲ نانومتر ومیانگین عرض کانالی، ۱,۵۱ نانومتر و ضریب کیفیت کانال ها بین ۱۰۳۴ تا ۱۰۴۴ به دست آمده است [۲۰]. در مقاله دیگری که توسط نقی زاده طراحی شده ، یک دی مالتی پلکسر ۱۶ کاناله ای مبتنی بر کریستال فوتونی دو بعدی است.

در این مقاله متوسط ضریب کیفیت ۵۱۷۶، ضریب انتقال توان ۹۹% و عرض کانالی ۰,۳ نانومتر و همشنوایی این ساختار بین -۱۹ دسی بل و -۹۰ دسی بل است [۲۱]. این مقاله که یک مقاله بهبود یافته است، توسط کاویان و همکارانش تهیه شده، نتایج مقاله قبلی خود را که یک مقاله ۸ کاناله بوده بهبود داده است و پارامترهای ضریب کیفیت ۲۵۲۲ و ضریب انتقال ۹۸% و بیشترین و کمترین همشنوایی به ترتیب -۶,۲

دسی بل و ۲۹,۹ دسی بل را و عرض کانال ۰,۸ نانومتر و فاصله کانالی ۱,۱ نانومتر را به دست آورده است [۲۲]. در مقاله دیگری که یک دی مالتی پلکسر چهار کاناله نانو تشدیدگر حلقوی کریستال فوتونی دو بعدی است و توسط رخشانی و همکارانش به ثبت رسیده است. ضریب کیفیت بالا و ضریب انتقال ۹۵% و فاصله بین کانالی ۶,۱ نانومتر و عرض کانالی ۲,۷۵ نانومتر و میانگین همشنوایی بین کانال ها ۲۴,۴- دسی بل گزارش شده است [۲۳].

با توجه به بررسی های صورت گرفته مشخص شد که دی مالتی پلکسرهای نوری نانوتشدیدگر حلقوی کریستال فوتونی قابلیت بیشتری در طراحی و نتایج بهینه تری در پارامترهای خروجی شان مثل ضریب کیفیت، ضریب انتقال توان، میزان همشنوایی و فاصله بین کانالی در سامانه های مالتی پلکس تقسیم طول موج دارند.

موارد بیان شده نشان دهنده رشد سریع فناوری های مرتبط با سامانه های مالتی پلکس تقسیم طول موج است که ضرورت آموزش های مناسب به فراگیر را بیش از پیش مشخص می کند. در همین راستا مطالعات و پژوهش هایی در خصوص آموزش فناوری های نو ارائه شده است که از آن جمله می توان به آموزش همزمان نظری و عملی ساختارهای تداخل سنج لیزری اشاره کرد [۱]. خطای غیرخطی در تداخل سنج های لیزری از جمله مباحثی است که آموزش آن نیازمند درک صحیحی از فرآیندهای یاددهی-یادگیری آموزشی در دانشجویان است. در این پژوهش سعی شده است با ترکیب آموزش های نظری (با تغییرات برخط مشخصات غیرخطی) و عملی (با چیدمان آزمایشگاهی مناسب) در فراگیری عمیق تر موضوع توسط دانشجویان گام برداشته شود. تحقق یافته های نوین و آموزش مبانی آن گاه به دلیل هزینه های بالای ساختار به صورت عملی امکان پذیر نیست و از این رو تلفیق مباحث نظری با عملی می تواند راه گشا باشد. همچنین گزارش هایی نیز به منظور بهبود مهارت های ارتباطی و آموزش نظری مباحثی مانند مخابرات نور فضای آزاد نیز ارائه شده است که در آن به آموزش مفاهیم پیچیده در مرز دانش پرداخته شده است [۲-۴].

علاوه بر موضوع آموزش فناوری های نوین، مطالعاتی نیز در خصوص آموزش علوم محض از جمله ریاضی صورت گرفته است که نشان می دهد آموزش های سنتی برای آموزش برخی از علوم تناسب بیشتری دارد، اما در همین زمینه استفاده از رایانه و نرم افزارهای مناسب می تواند برای آموزش مباحثی مانند گراف ها تاثیرگذارتر باشد [۲۳-۲۵].

با توجه به موارد طرح شده، در این مقاله به ارائه آموزش مبتنی بر نرم افزار ساختار دی مالتی پلکسر نوری با استفاده از ساختارهای کریستال فوتونی پرداخته می شود و سرفصل های پیشنهادی برای این منظور ارائه می شود. این سرفصل ها به منظور ارائه مباحث دی مالتی پلکسرهای نوری در دوره کارشناسی ارشد و در قالب درس بلورهای فوتونی و یا درس فوتونیک پیشنهاد شده است. از آنجایی که هدف از این پژوهش ارائه راه کارهای مبتنی بر نرم افزار به منظور افزایش بازدهی یادگیری در دانشجویان است، سعی شده است مباحث پیش نیاز و مقدمات موضوع نیز در حد نیاز توصیف شود.

روش تحقیق

در فرایند آموزش مبتنی بر نرم افزار طراحی یک فیلترنانوتشدیدگر حلقوی کریستال فوتونی لازم است دقت و توجه بیشتری در انتخاب حجم و اندازه ساختار شود؛ زیرا که فیلترهای نوری در جهت طراحی دی مالتی پلکسر های نوری، حسگرهای نوری، سوئیچینگ و ادوات نوری قابل کاربرد و استفاده هستند. در آموزش طراحی یک فیلتر چندین فاکتور اهمیت دارد که به آنها اشاره می شود:

- شعاع میله های اصلی در ساختار
- شعاع میله های تزویج بین موجبر ورودی و موجبر خروجی و حلقه های نانوتشدیدگر حلقوی
- انتخاب محل قرار گرفتن میله های پراکندگی
- شعاع میله های پراکندگی
- شکل هندسی نانوتشدیدگر و موجبرها
- تقارن در شکل هندسی ساختار
- فاصله نانوتشدیدگر از لحاظ طولی
- انتخاب ضریب شکست مناسب برای ماده دی الکتریک مورد استفاده در ساختار با توجه به فناوری ساخت این ماده
- ثابت شبکه به عنوان فاکتور تعیین کننده جابه جایی طول موجی در ساختار
- انتخاب ماده دی الکتریک با آرایه مناسب (مربعی، مثلثی، شش ضلعی)

برای طراحی این فیلتر یک شبکه کریستال فوتونی دو بعدی با ساختاری مربعی شکل در نظر گرفته شده است. جنس میله های دی الکتریکی سیلیکن با ضریب شکست ۳,۴۶ در بستری از هوا با ضریب شکست ۱,۰۰ است.

با استفاده از نرم افزار آرسافت در ابتدا شکاف باند فوتونی محاسبه شده است. شکاف باند طول موج های ممنوعه برای انتشار در شبکه کریستال فوتونی را بیان می کند. برای محاسبه این نمودار از روش بسط موج صفحه ای[۳] استفاده شده است. در نرم افزار آرسافت برای قطبش TM شکاف باند فوتونی ندارد و برای قطبش های TE دو شکاف باند فوتونی دارد. این دو شکاف باند به صورتی است که یکی محدوده بزرگتری را در بر می گیرد و دیگری محدوده ای کوچک را پوشش می دهد.

فیلتر کریستال فوتونی طراحی شده با استفاده از یک حلقه تشدیدگر به شکل مربع و دو موجبر طراحی شده است. حلقه تشدیدگر هم با حذف یک حلقه مربع شکل و تغییر اندازه شعاع میله های دی الکتریک در حلقه های میانی آن شکل گرفته است. شعاع میله های دی الکتریکی در ساختار ($R=a\times۰,۲$) برابر با ۱۰۴ نانومتر و ثابت شبکه ساختار کریستال فوتونی برابر با ($a=$ ۵۲۰) نانومتر است.

در ساختمان این فیلتر از میله های پراکندگی جهت بهبود حبس نور و بالابردن ضریب کیفیت استفاده شده است. برای به دست آوردن ساختار بهینه اندازه این میله های پراکندگی اسکن شده است و بهترین اندازه برای عملکرد بهینه فیلتر انتخاب شده است.

به منظور شبیه سازی و انجام محاسبات از روش تفاضل محدود در حوزه زمانی[۴] استفاده شده است. برای استفاده از این روش نیاز به مش بندی دقیق و انجام محاسبات زمانی است و رابطه زیر در این زمینه صادق است.

$$\Delta t \leq \frac{1}{c\sqrt{\frac{1}{\Delta x^2}-\frac{1}{\Delta z^2}}}$$

که در این رابطه Δx و Δz اندازه مش بندی ساختار و Δt گام های زمانی ساختار و c سرعت نور در فضای آزاد است.

با تغییر شعاع میله ها اصلی و میله های پراکندگی می توان به طول موج های مورد نظر دست یافت. در انتخاب و گزینش طول موج در ساختار های کریستال فوتونی سوالات متعددی می تواند پیش بیاید. سوالاتی از قبیل چگونگی تغییر شعاع میله ها و طراحی فیلتر و نحوه به دست آوردن مقادیر و پارامترهایی چون ضریب کیفیت و ضریب انتقال، که هر کدام را می توان در محیط نرم افزار آرسافت شبیه سازی نمود و به مقادیر عددی آن دست یافت.

در ادامه با استفاده از نتایج فیلتر در طراحی چهار کاناله نانو تشدیدگر حلقوی نوری در ماده کریستال فوتونی استفاده شده است. مبنای گزینش نور در ساختار کریستال فوتونی در طراحی دی مالتی پلکسر در محیط آرسافت استفاده شده است و نتایج آموزش این طراحی در ادامه این پژوهش آورده شده است.

در طراحی دی مالتی پلکسر، دانشجو و یا محقق به دنبال پاسخی برای سوالاتی چون نحوه به دست آوردن ضریب کیفیت، ضریب انتقال توان، پهنای عرض کانالی، میزان همشنوایی بین کانالی و فاصله بین کانالی است. به همین منظور آموزش مبتنی بر نرم افزار باید بتواند پاسخگوی چنین مواردی باشد. هدف از طراحی دی مالتی پلکسرهای نوری ایجاد یک بستر تجزیه و جداسازی داده های مخابراتی در گیرنده با قدرت نور براساس ساختار طول موجی است تا بتوان برای طول موج های مختلف کانال های بیشتری در ماده کریستال فوتونی طراحی و شبیه سازی نمود؛ به طوری که این کانال ها با هم همشنوایی و تداخل طول موجی نداشته باشند.

در این تحقیق در نهایت محقق توانسته است یک دی مالتی پلکسر چهار کاناله ای طراحی نماید که دارای ضریب کیفیت بالا و همشنوایی بین کانالی کمتری نسبت به ساختارهای از این قبیل است. در واقع هدف طراحی یک دی مالتی پلکسر چهار کاناله با عرض کانالی کمتر و تعداد کانال بیشتر در پهنای باند کمتر به منظور کاربرد در سامانه های مالتی پلکس تقسیم طول موج است.

در این مقاله با توجه به فیلتر ارائه شده و نتایج به دست آمده از آن، یک دی مالتی پلکسر چهار کاناله طراحی شده، که این ساختار از میله های دی الکتریک (سیلیکن) و هوا (مغزی جامد) تشکیل شده است. این ساختار دارای تعداد ۳۷×۲۴ میله و ضخامت(۲۱,۰۹×۱۳,۶۸) میکرومتر و ثابت شبکه میله ها ۵۷۰ نانومتر و شعاع میله های اصلی ساختار ۰,۲ ثابت شبکه انتخاب شده است.

در این ساختار یک ثابت شبکه در نظر گرفته شده و چهار نانو تشدیدگر حلقوی مربعی قرار داده شده است. در این تشدیدگر های حلقوی مربعی از میله هایی با شعاعی غیر از شعاع میله های اصلی استفاده شده است. این تغییرات در شعاع میله ها و ثابت شبکه یکسان، باعث شده میزان تفکیک طول موج ها و جداسازی این طول موج ها در خروجی با قدرت و دقت بیشتری صورت گیرد.

شعاع میله های نانوتشدیگر حلقوی ۱، ۰,۲۷۵ ثابت شبکه، و شعاع میله های نانوتشدیدگر حلقوی ۲، ۳ و ۴ با اختلاف ۱,۰۰ نانومتر از همدیگر انتخاب شده است.

البته در این طراحی از ۲۰ میله پراکندگی به منظور محبوس کردن و هدایت بهتر نور (طول موج مورد نظر) استفاده شده است. که شعاع این میله ها ۰,۱۸ ثابت شبکه است.

با توجه به مباحثی که در این بخش به آن اشاره شد، لازم است برای آموزش مبتنی بر نرم افزار سامانه های مذکور، پیش نیازهای لازم تدوین و ارائه شود. برای همین منظور آموزش های نظری زیر به عنوان پیش نیاز فراگیری دقیق مباحث علمی الزامی است:

۱. آموزش نظری- تحلیلی ساختارهای کریستال فوتونی یک، دو و سه بعدی با تاکید بر آموزش ساختارهای دوبعدی؛

۲. آموزش نظری شبکه های براویس[۵] دوبعدی؛

۳. آموزش نظری مفاهیم قطبش و معادلات توصیف کننده موج در صفحه؛

۴. آموزش نظری مفاهیم رایج در کریستال های فوتونی مانند ثابت شبکه، نسبت پرشدگی، مقیاس پذیری و شکاف باند فوتونی؛

۵. آموزش تحلیلی مفاهیم شبکه هم پاسخ و ناحیه بریلوین؛

۶. آموزش تحلیلی روش های تحلیل کریستال های فوتونی و بررسی روابط و معادلات ماکسول به خصوص در محیط های متناوب مانند کریستال های فوتونی؛

۷. آموزش نظری روش های تحلیلی مانند روش بسط موج تخت و روش تفاضل متناهی در حوزه زمان؛

۸. سایر آموزش های مربوط به رفتار نور در محیط مادی و به خصوص ساختارهای تناوبی ضریب شکست و

۹. آموزش نرم افزار آرسافت.

پس از پیش نیازهای ذکر شده در بالا و آموزش کامل مبانی اولیه که برای درک دانشجو از مباحث بعدی و اصلی ضروری است، مباحث زیر در قالب سرفصل های مورد نیاز به صورت آموزش مبتنی بر نرم افزار ارائه می شود:

۱. آموزش مبتنی بر نرم افزار انواع تشدیدگرهای Lx، Hm و حلقوی مانند شش ضلعی، لوزی و ...؛

۲. آموزش مبتنی بر نرم افزار موجبرهای کریستال فوتونی؛

۳. آموزش مبتنی بر نرم افزار تزویج موجبر و تشدیدگر؛

۴. آموزش مبتنی بر نرم افزار فیلترهای کریستال فوتونی؛

۵. آموزش مبتنی بر نرم افزار خم های کریستال فوتونی؛

۶. آموزش مبتنی بر نرم افزار شکافنده های کریستال فوتونی و

Target group
MSc students in electronic engineering major

Software-based teaching
System title: Optical demultiplexers

Photonic Crystals
Analysis of electromagnetic waves in the periodic medium and investigation of photonic band gaps in the photonic crystals

Theoretical syllabus

- Analytical and theoretical teaching of 1D, 2D, and 3D photonic crystal structures
- Theoretical teaching of two-dimensional Bravais lattice
- Theoretical teaching of waves and polarizations
- Theoretical teaching of photonic crystal principles such as lattice constant, filling factor, scaling, and photonic band gap
- Analytical and theoretical teaching of Brillouin zone and related subjects
- Theoretical teaching of analysis methods for investigation of Maxwell equations in periodic mediums such as photonic crystals
- Theoretical teaching of plane wave expansion and finite-difference time-domain methods
- Teaching of the R-Soft software
- Other subjects related to the optics

Software-based teaching

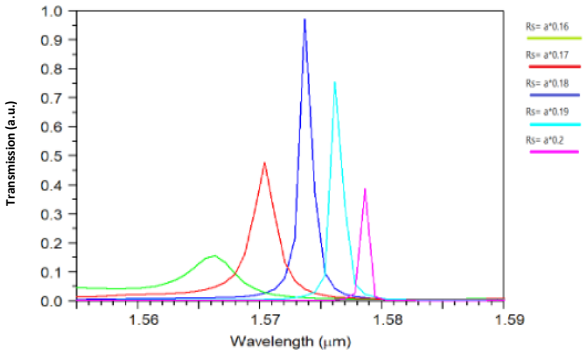
- ✓ Software-based teaching for resonators
- ✓ Software-based teaching for photonic crystal waveguides
- ✓ Software-based teaching for coupling between resonators and waveguides
- ✓ Software-based teaching for bending
- ✓ Software-based teaching for photonic crystal beam splitters
- ✓ Software-based teaching for photonic crystal fibers (PCFs)
- ✓ Software-based teaching for photonic crystal sensors

Additional topics

- ✓ Photonic crystal review (photonic bandgap, lattice constant, refractive index, so on)
- ✓ Defects
- ✓ Optical communications
- ✓ Optical multiplexers and demultiplexers
- ✓ Wavelength division multiplexing
- ✓ Dense wavelength division multiplexing
- ✓ Line and ring resonators for optical multiplexers and demultiplexers
- ✓ Applications of optical multiplexers and demultiplexers
- ✓ Important parameters such as quality factor, transmission, cannel width, and FSR
- ✓ PWE and FDTD methods
- ✓ Experimental results
- ✓ Other subjects

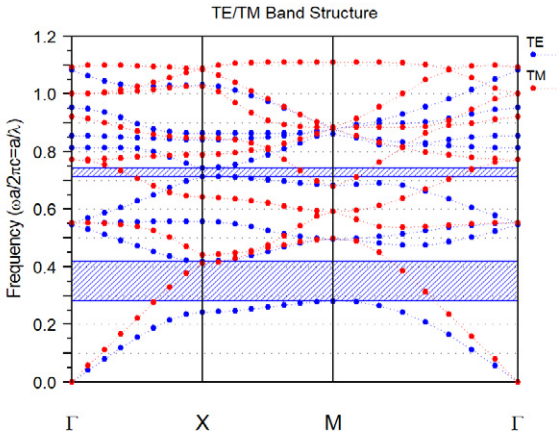
شکل ۱: سرفصل و مباحث سامانه دی مالتی پلکسر نوری بر اساس طرح آموزش نرم افزار محور

Fig. 1: The syllabus and sections of optical demultiplexer by using software-based teaching method



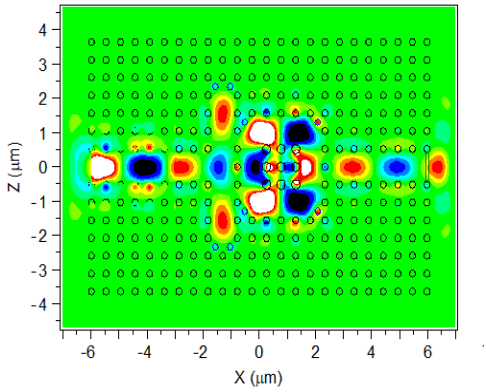
شکل ۵: خروجی فیلتر با طولموج 1573.6 نانومتر

Fig. 5: Filter output with wavelength of 1573.6 nm



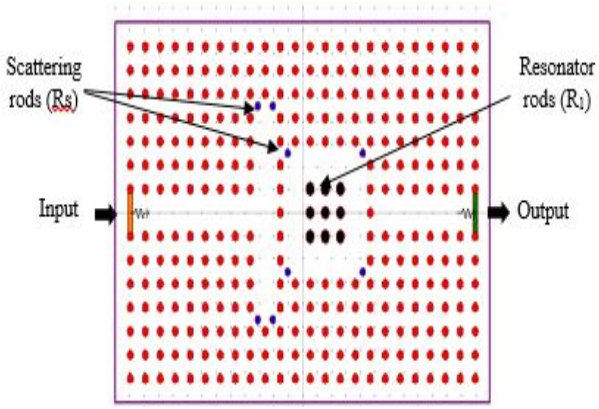
شکل ۲: نمودار شکاف باند فوتونی در قطبشهای TE و TM، برای ساختار کریستال فوتونی که ثابت شبکه آن برابر 520 نانومتر و شعاع میلههای دی الکتریک 104 نانومتر است

Fig. 2: Photonic band gap in TE and TM polarizations for a photonic crystal structure, where the lattice constant is 520 nm and radius of dielectric rods is 104 nm



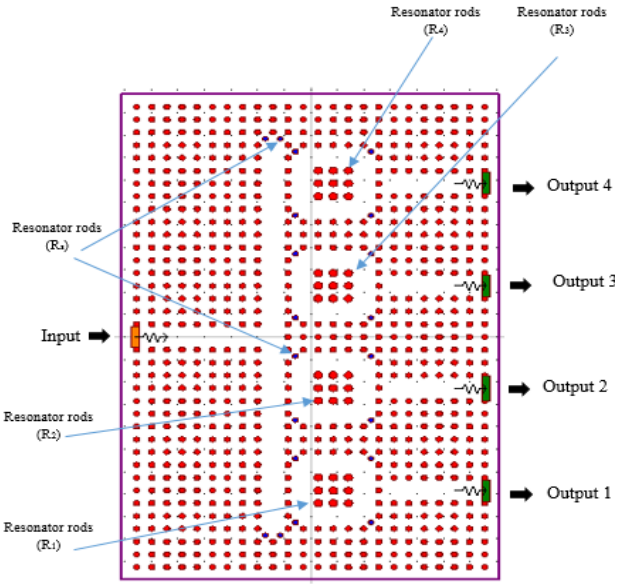
شکل ۶: رفتار میدان الکترومغناطیسی فیلتر در طولموج 1573:6 نانومتر

Fig. 6: Electromagnetic field behavior in a wavelength of 1573:6 nm



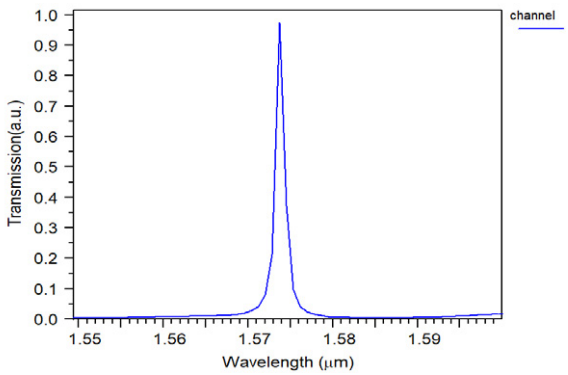
شکل ۳: ساختار فیلتر کریستال فوتونی مبتنی بر حلقه تشدیدگر پیشنهاد شده جهت استفاده در دیمالتیپلکسر نوری

Fig. 3: Photonic crystal filter structure based on the proposed ring resonator to be used in optical demultiplexer



شکل ۷: دیمالتیپلکسر نوری ۴ کاناله مربعی شکل

Fig. 7: 4-channel optical demultiplexers based on square-shaped nano-ring resonators



شکل ۴: تغییرات طولموجهای خروجی و شدت انتقال بر حسب شعاع میلههای پراکندگی

Fig. 4: Outlet wavelength variations and transfer rate per radius of scattering rods

۷. آموزش مبتنی بر نرم افزار فیبرهای کریستال فوتونی به عنوان یکی از موجبرهای خاص و کلیدی موجبرهای کریستال فوتونی.

پس از بیان موارد پیش نیاز و مباحث اولیه، موضوعات مرتبط با سامانه دی مالتی پلکسر نوری به شرح زیر خواهد بود:

(الف) مروری بر کریستال های فوتونی (شکاف باند فوتونی، ثابت شبکه، ضریب شکست)؛

(ب) انواع نقص در کریستال های فوتونی و اهمیت ایجاد نقص در این ساختارها؛

(ج) سامانه های مخابراتی با تاکید بر مالتی پلکس تقسیم طول موج و تقسیم زمانی؛

(د) معرفی دی مالتی پلکسر و مالتی پلکسر نوری؛

(ه) اهمیت دی مالتی پلکسر و انواع دی مالتی پلکسر از نظر نوع تشدیدگر: خطی و حلقوی؛

(و) کاربرد دی مالتی پلکسرهای نوری؛

(ز) پارامترهای مهم دی مالتی پلکسر مانند ضریب کیفیت، ضریب انتقال، عرض کانال و فاصله بین کانال و

(ح) روش های تحلیل با تاکید بر تفاضل محدود در حوزه زمان و بسط موج صفحه ای.

این مباحث به طور خلاصه در شکل ۱ نشان داده شده است.

نتایج و بحث در حوزه آموزش مبتنی بر نرم افزار

آموزش مبتنی بر نرم افزار فیلتر

نمودار شکاف باند فوتونی در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که مشخص است، در شکل ۳ ساختار پیشنهادی برای فیلتر کریستال فوتونی مبتنی بر نانو تشدید گر حلقوی آورده شده است. شبکه کریستال فوتونی شامل ۱۵ ردیف و ۲۴ ستون از میله های دی الکتریک است. شعاع میله های دی الکتریک درون تشدیدگر (R_1=a×۰,۲۷۵) و شعاع میله های پراکندگی(R_S=a×۰,۱۸) لحاظ شده است.

آموزش نتایج تحلیل تاثیر شعاع میله های پراکندگی در فیلتر

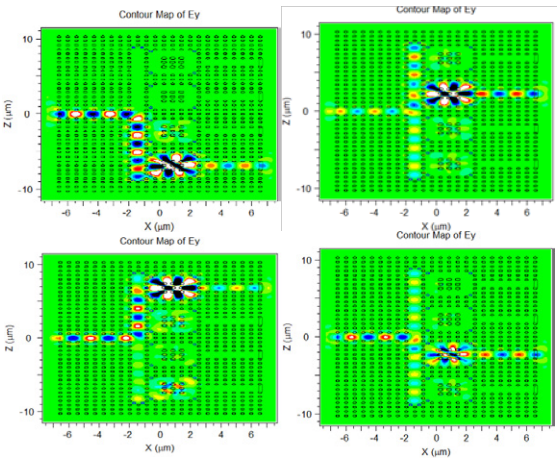
میله های پراکندگی در این فیلتر برای جلوگیری از پراکنده شدن نور در میله های ساختار است. نکته مهمی که درمورد میله های پراکندگی در طراحی نانو تشدیدگر های حلقوی باید مورد توجه قرارگیرد، انتخاب شعاع مناسب و بهینه برای آنها است. این فیلتر به ازاء مقادیر (۰,۱۶, ۰,۱۷, ۰,۱۸, ۰,۱۹, ۰,۲) = Rs برای شعاع میله های پراکندگی مورد شبیه سازی قرار گرفته و پارامترهای مهم در عملکرد فیلتر محاسبه شده است. در شکل ۴ خروجی فیلتر به ازاء شعاع های مختلف از میله های پراکندگی نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشخص است، بهترین حالت در(R_S=a×۰,۱۸) است. در این اندازه برای میله های پراکندگی بیشترین ضریب انتقال به دست آمده است و از طرفی ضریب کیفیت بالاتری هم به دست خواهد آمد. در این فیلتر شکل ۵ طول موج ۱۵۷۳,۶ نانومتر بهینه ترین مقدار است. همچنین در شکل ۶ رفتار میدان الکترومغناطیسی فیلتر نشان داده شده است.

آموزش مبتنی بر نرم افزار دی مالتی پلکسر چهار کاناله

در شکل ۷ ابتدا یک موجبر با حذف یک ردیف از میله های دی الکتریک اصلی ایجاد شده، سپس یک طرف این موجبر چهار مربع با ابعاد (۵×۵) یعنی با حذف ۵ میله افقی و ۵ میله عمودی یک حلقه مربعی به وجود آمده است. و بعد از آن در درون این حلقه یک تشدیگر (۳×۳) تشکیل شده است که چهار نانوتشدیدگر حلقوی به صورت قرینه در این ساختار هستند. در طرف دیگر چهارتشدیدگر، موجبرهای خروجی قرار دارند.

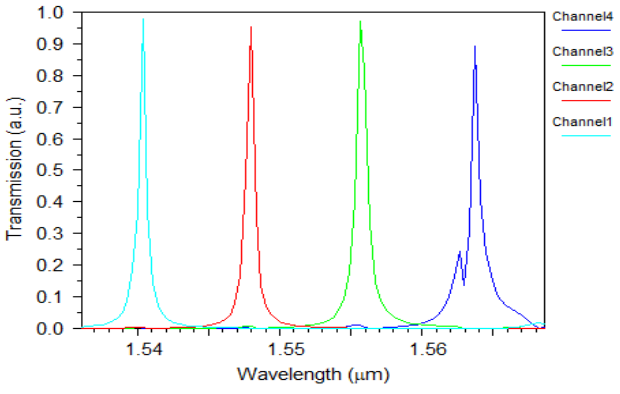
رفتار میدان الکترومغناطیسی کانال ها در طول موج های گزینشی

در شکل ۸ میدان های الکترومغناطیسی به وسیله نرم افزار آرسافت در کانال های دی مالتی پلکسر نوری چهار کاناله نشان داده شده است. نتایج شبیه سازی در شکل های ۹ و ۱۰ و جدول های ۱ و ۲ آمده است. نکته مهم در این ساختار یکسان بودن ثابت شبکه در تمام میله های ماده دی الکتریک است. ساخت این گونه طرح های دی مالتی پلکسر



شکل ۸: رفتار میدان الکترومغناطیسی در ساختار و گزینش طولموج

Fig. 8: Electromagnetic field behavior and light selection



شکل ۹: خروجی دامنه انتقال طولموج دیمالتیپلکسر 4 کاناله

Fig. 9: Output of transition wavelength intensity in the 4-channel optical demultiplexer

نانوتشدیدگر حلقوی کریستال فوتونی نیز با توجه به انتخاب ثابت شبکه یکسان در ماده دی الکتریک اطراف حفره های نانو تشدیدگر حلقوی بسیار ساده تر از طرح های دیگر خواهد بود. در این ساختار شعاع میله های دی الکتریک وابسته به ثابت شبکه روش دیگری است که در ساختار دی مالتی پلکسر چهار کاناله رعایت شده است.

نتایج مقایسه دی مالتی پلکسرهای۴ کاناله

با توجه به نتایج جدول ۳ مشخص است که این دی مالتی پلکسر چهار کاناله در پارامترهای ضریب کیفیت و عرض کانالی و ضریب انتقال نسبت به دی مالتی پلکسرهای دیگر بهبود یافته است که با آموزش مناسب مبتنی بر نرم افزار می توان با تغییرات دیگر، سایر پارامترها را نیز بهبود داد.

آموزش طراحی دی مالتی پلکسر چهار کاناله نوری کریستال فوتونی

به منظور طراحی یک دی مالتی پلکسر چهار کاناله نوری کریستال فوتونی، ابتدا باید یک فیلتر کریستال فوتونی طراحی نمود. ابتدا از محیط نرم افزار آرسافت ابعاد ماده کریستال فوتونی را مشخص می کنیم. مراحل طراحی ابعاد فیلتر به ترتیب در شکل های زیر مشخص شده است.

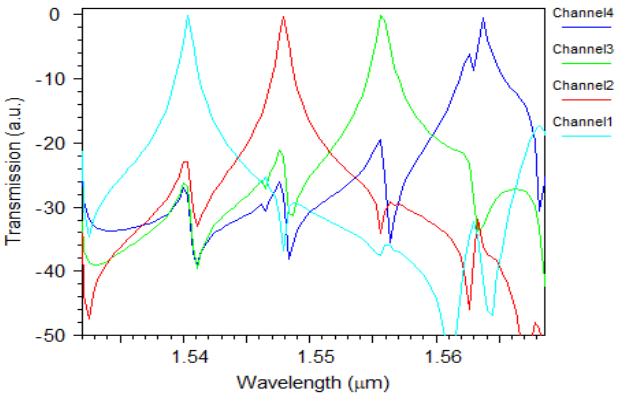
بنابراین، شکل هندسی مربوط به نوع تشدیدگر را انتخاب می کنیم. در این انتخاب باید به ابعاد تشدیدگر و مقدار نقصی که در فیلتر و تشدیدگر ایجاد می کنیم توجه شود.

۱. مطابق شکل ۱۱ از منوی «ابزار»[۶] زبانه «طرح آرایه»[۷] تعداد میله های عمودی و افقی را انتخاب می کنیم. در این فیلتر تعداد میله های ۱۵×۲۴ در چیدمان مربعی میله های دی الکتریک کریستال فوتونی صورت گرفته است.

۲. در این مرحله از زبانه کنار صفحه «ویرایش تنظیمات اصلی»[۸] ضریب شکست محیط اول (هوا) با مقدار ۱,۰۰۰ و ضریب شکست محیط دوم (سیلیکن) با مقدار ۳,۴۶ انتخاب شده، که میانگین موثر محیط اول و دوم ۲,۴۶ به دست آمده است (شکل ۱۲).

۳. در این مرحله مطابق شکل ۱۳ از زبانه کنار صفحه «ویرایشگر جدول نماد»[۹] مقدار ثابت شبکه و شعاع میله های دی الکتریک برای میله های ساختار پایه و شعاع میله های پراکندگی و شعاع میله های تشدیدگر می توان اقدام نمود. در این طراحی ثابت شبکه ۰,۵۲ میکرومتر و شعاع میله ها ۰,۲ ثابت شبکه انتخاب شده است.

۴. اکنون می توان با توجه به مقادیر داده شده به نرم افزار، شکاف باند را برای این ساختار از زبانه «انجام شبیه سازی»[۱۰] برای مود TM و TE به دست آورد (شکل ۱۴). با توجه به شکل، برای مود TE دو شکاف باند وجود دارد. این دو شکاف باند به صورتی است که یکی محدوده بزرگتری را در بر می گیرد و دیگری محدوده ای کوچک را پوشش می دهد و برای مود TM شکاف باندی وجود ندارد. فرکانس های به هنجار شده برای مود TE در شکاف باند فوتونی بزرگتر بین ۰,۲۷۹-۰,۴۱۶ قرار دارد. برای شکاف باند کوچکتر بین ۰,۷۴۱-۰,۷۱۳ است. با توجه به



شکل ۱۰: نمودار همشنوایی دیمالتیپلکسر چهار کاناله

Fig. 10: Cross-talk diagram in the 4-channel demultiplexer

جدول 1. پارامترهای مهم دیمالتیپلکسر چهارکاناله برای هر کانال

Table 1. Important parameters for 4-channel demultiplexer separated by each channel

Channel	Central wavelengths (nm)	Channel width (nm)	Quality factor	Power transfer (%)
1	1540.3	0.3	5134	98
2	1547.9	0.3	5159	96
3	1555.8	0.6	2593	97
4	1563.8	0.3	5213	90

جدول 2. همشنوایی بینکانالی در دیمالتیپلکسر چهارکاناله بر حسب دسیبل

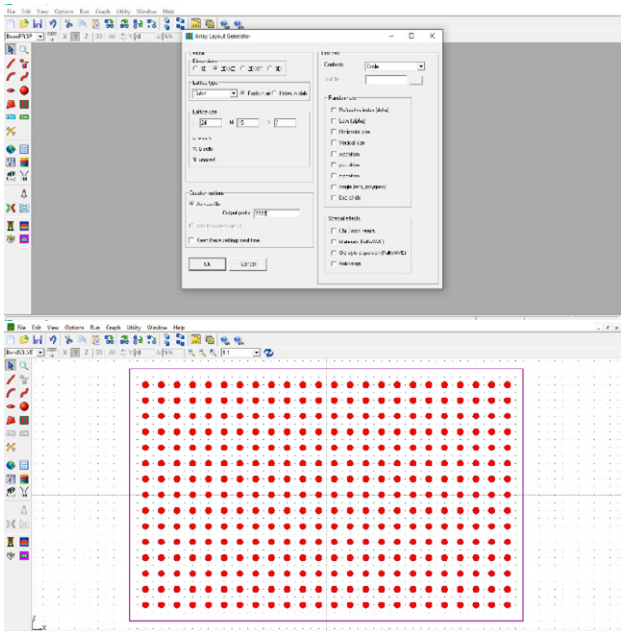
Table 2. Cross-talk rates between different channels in the 4-channel demultiplexer (dB)

Channel	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4
1	-	-22.8	-26	-27
2	-34	-	-21.4	-26.7
3	-35.8	-31	-	-19.6
4	-40.4	-35	-32.6	-

جدول3. مقایسه دیمالتیپلکسرهای نوری چهارکاناله

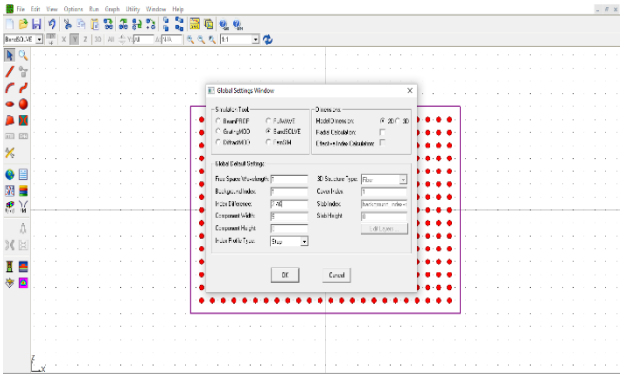
Table 3: Comparison of 4-Channel Optical demultiplexers

Paper	Resonator type	Year	# Channels	Channel width (nm)	Quality factor	Power transfer %
This structure	Square Shape	2019	4	0.375	4525	95
[27]	Hexagonal	2018	4	0.4	4164	95
[15]	x-shaped	2012	4	1.7	1234.2	52.25
[28]	Circular Shape	2013	4	0.8	1600	65
[20]	q-shaped	2016	4	1.4	818	92



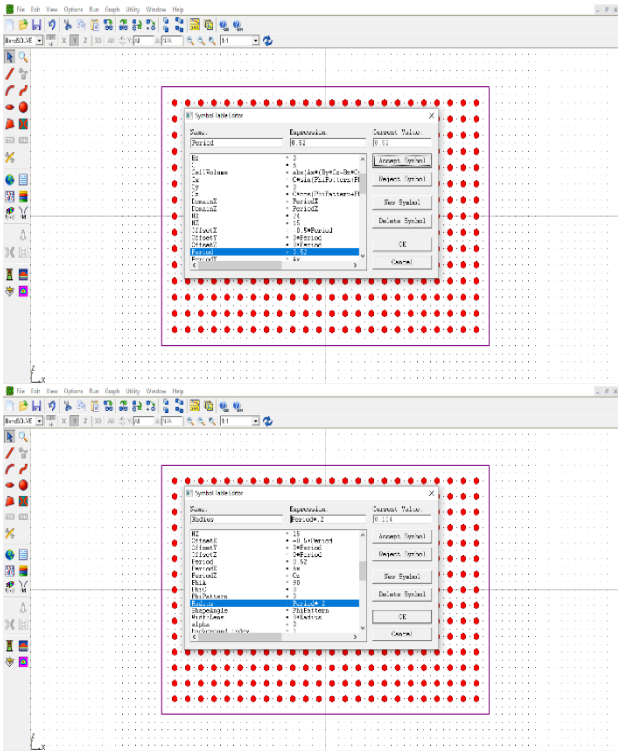
شکل ۱۱: گام نخست در آموزش مبتنی بر نرمافزار دیمالتیپلکسر

Fig. 11: The 1st step in software-based education of demultiplexer



شکل ۱۲: گام دوم در آموزش مبتنی بر نرمافزار دیمالتیپلکسر

Fig. 12: The 2nd step in software-based education of demultiplexer



شکل ۱۳: گام سوم در آموزش مبتنی بر نرمافزار دیمالتیپلکسر

Fig. 13: The 3rd step in software-based education of demultiplexe

$$\begin{cases} \frac{a}{\lambda_1} < \frac{a}{\lambda} < \frac{a}{\lambda_2} \\ \frac{a}{\lambda_1} < \frac{a}{\lambda} < \frac{a}{\lambda_2} \end{cases} \leftrightarrow \begin{cases} 0.279 < \frac{a}{\lambda} < 0.416 \\ 0.713 < \frac{a}{\lambda} < 0.741 \end{cases} \leftrightarrow \begin{cases} \frac{0.520}{0.416} < \lambda < \frac{0.520}{0.279} \\ \frac{0.520}{0.741} < \lambda < \frac{0.520}{0.713} \end{cases} \leftrightarrow \begin{cases} 1.25 < \lambda < 1.863 \\ .701 < \lambda < .729 \end{cases}$$

a=۵۲۰در این ساختار طول موج های ($\boldsymbol{\lambda}$) متناظر با شکاف باند اصلی (بزرگتر) برابر با ۱۸۶۳ - ۱۲۵۰ نانومتر و برای شکاف باند کوچکتر برابر با ۷۰۱-۷۲۹ نانومتر است.

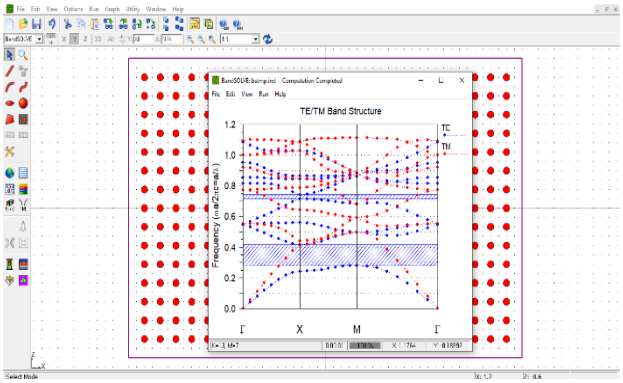
۵. در این مرحله با انتخاب شکل هندسی ساختار می توان میله هایی را از درون ساختار برداشت. این حالت در شکل ۱۵ نشان داده شده است. با ایجاد این نقص ها می توان به ایجاد موجبر ورودی و خروجی و همچنین ایجاد یک تشدیدگر مربعی با ابعاد ۵×۵ پرداخت.

۶. مطابق شکل ۱۶ در این مرحله با تغییر مختصات بعضی از میله ها می توان از این میله ها به عنوان میله های پراکندگی برای حبس نور در ساختار کریستال فوتونی و تشدید بهتر استفاده کرد. همچنین می توان شعاع میله ها را تغییر داد تا به این صورت بتوان طول موج های بهتری از لحاظ دامنه شدت نور و عرض طول موجی به دست آورد. تمامی این تغییرات از زبانه و منوی صفحه کناری «ویرایشگر جدول نماد» امکان پذیر است. همچنین بعد از اعمال تغییرات در منوی ذکر شده، می توان تمامی نمودارهای خروجی طول موج ها و رفتار مغناطیسی ساختار طراحی شده را از زبانه و منوی «انجام شبیه سازی» مشاهده و شبیه سازی نمود.

۷. در ادمه با بسط دادن این فیلتر در ابعاد بزرگتری از ساختار ماده کریستال فوتونی می توان به تعداد بیشتری از کانال های طول موجی و طراحی یک دی مالتی پلکسر ۴ کاناله در این ماده دست یافت. در این طراحی۴ طول موج خروجی از دی مالتی پلکسر حاصل خواهد شد که این طول موج ها از زبانه «انجام شبیه سازی» قابل مشاهده و شبیه سازی خواهد بود (شکل ۱۷) که جزئیات خروجی های این ساختار در مطالب اولیه این تحقیق بیان شده است.

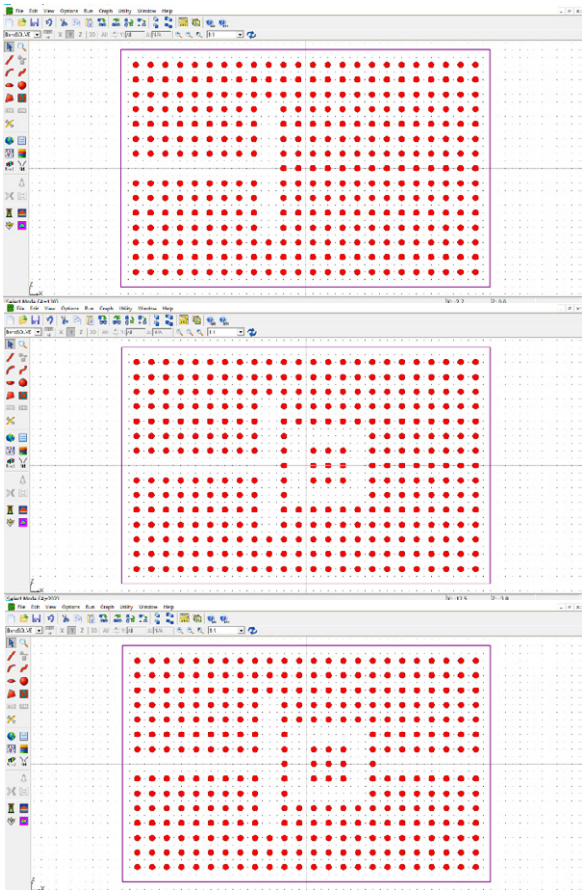
نتیجه گیری

در این مقاله به آموزش مبتنی بر نرم افزار یک دی مالتی پلکسر چهار کاناله کریستال فوتونی پرداخته شد. به منظور آموزش اصول و مبانی نظری که عمدتا پیچیده بوده و پیاده سازی سخت افزاری آن با توجه به



شکل ۱۴: گام چهارم در آموزش مبتنی بر نرمافزار دیمالتیپلکسر

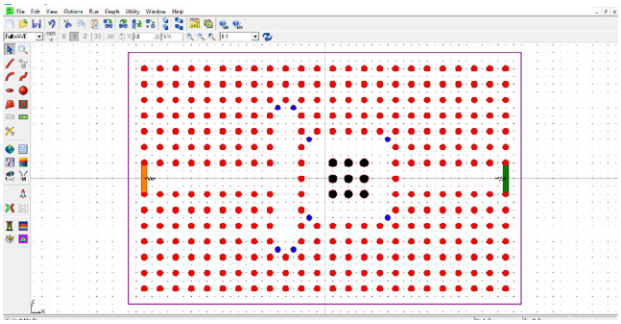
Fig. 14: The 4th step in software-based education of demultiplexer



شکل ۱۵: گام پنجم در آموزش مبتنی بر نرمافزار دیمالتیپلکسر

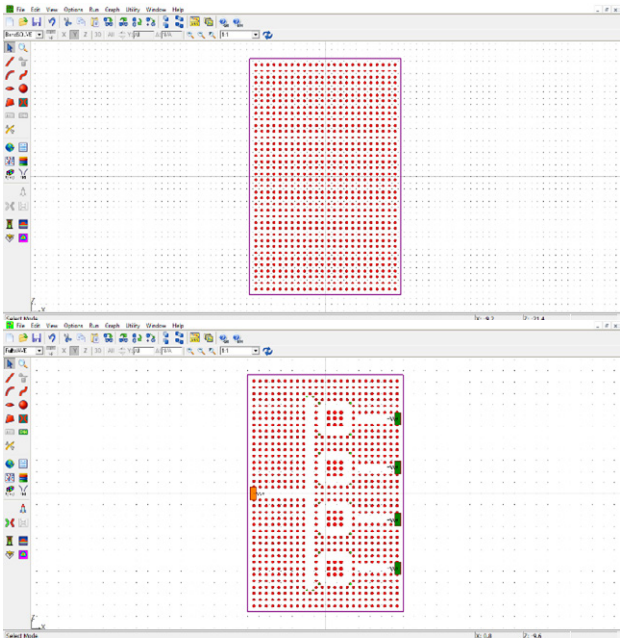
Fig. 15: The 5th step in software-based education of demultiplexer

محدودیت های فناوری مشکل است، استفاده از محیط های نرم افزاری مناسب به همراه تقویت دانش های مورد نیاز اولیه می تواند در بهبود فرآیندهای یاددهی-یادگیری سهم بهسزایی داشته باشد. به همین منظور در این مقاله سعی شد مفاهیم مناسب طراحی سامانه دی مالتی پلکسر چهار کاناله نوری برای آموزش موثر بیان شود. بر همین اساس مبانی و سرفصل های پیشنهادی و نیز پیش نیازهای مورد نظر در طراحی



شکل ۱۶: گام ششم در آموزش مبتنی بر نرمافزار دیمالتیپلکسر

Fig. 16: The 6th step in software-based education of demultiplexer



شکل ۱۷: گام هفتم در آموزش مبتنی بر نرمافزار دیمالتیپلکسر

Fig. 17: The 7th step in software-based education of demultiplexer

توصیف شد.

در بخش آموزش ساختار دی مالتی پلکسر چهار کاناله بیان شد که می توان از یک موجبر ورودی T شکل، حلقه های تشدیدگر مربعی شکل و چند موجبر خروجی استفاده کرد.

با استفاده از تغییر شعاع میله های درون تشدیدگرهای حلقوی و جایگزینی مناسب برای میله های پراکندگی، قابلیت گزینش طول موج در ساختار بهبود یافته است. نکته دیگر در این طراحی نزدیک بودن مقدار ثابت شبکه در ساختمان فیلتر و دی مالتی پلکسر چهار کاناله است. دی مالتی پلکسر پیشنهاد شده قادر است طول موج های ۱۵۴۰,۳، ۱۵۴۷,۹، ۱۵۵۵,۸، ۱۵۶۳,۸ نانومتر را گزینش نماید و در سیستم های مالتی پلکس تقسیم طول موج قابل استفاده است. میزان بیشترین و کمترین همشنوایی در چهارکاناله به ترتیب -۱۹,۶ دسی بل و -۴۰,۴ دسی بل است. میانگین میزان ضریب کیفیت در چهار کاناله

۴۵۲۵ به دست آمده است.

همچنین در این مقاله با بیان مراحل مختلف طراحی، مبحث آموزش مبتنی بر نرم افزار و شبیه سازی آن توسط نرم افزار آرسافت توصیف و نکات مهم در آموزش مبتنی بر نرم افزار به منظور بهبود فرایندهای یاددهی-یادگیری بیان شد. مباحث اولیه، آموزش مبتنی بر نرم افزار و آموزش های تکمیلی نیز به همین منظور در موضوع بلورهای فوتونی مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

پی نوشت

[1]Wavelength Division Multiplexing

[2] Dense Wavelength Division Multiplexing

[3] Plane Wave Expansion

[4] Finite-Difference Time-Domain

[5] Bravais Lattice

[6] Utility

[7] Array Layout

[8] Edit Global Setting

[9] Symbol Table Editor

[10] Perform Simulation

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان به نسبت سهم برابر در این پژوهش مشارکت داشتند.

تشکر و قدردانی

از تمام کسانی که ما را در انجام این پژوهش یاری رساندند تشکر و قدردانی داریم.

تعارض و منافع

«هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع و مآخذ

[1] Olyaee S, Hamedi, S. Theoretical and practical education of nonlinear error separations in the measurement systems. *Education Technology.* 2011; 6(1): 17-27.

[2] Blackmore A, Vasileiou E, Purva M. Simulation-based education to improve communication skills: a systematic review and identification of current best practice. *Systematic Review.* 2018; 4: 159-164.

[3] Olyaee S, Delphi G. *Theoretical education of designing two-channel demultiplexer.* Paper presented at 4th National Conference on Research in Basic Science Education, Tehran, Iran; 2019. Persian.

[4] Ebrahimi F, Olyaee S. *Teaching process of indoor optical wireless communication for optical communication networks course in accordance with the syllabus of MSRT (Ministry of Science, Research and technology).* Paper presented at the 8th National Conference on Education, Tehran, Iran; 2016. Persian.

[5] Talebzadeh R, Soroosh M. A high quality complete coupling 4-channel demultiplexer based o photonic crystal ring resonators. *Optoelectronics and Advanced Materials–Rapid Communications.* 2015; 9(1-2): 5-9.

[6] Venkatachalam K, Kumar DS. and Robinson, S. Investigation on 2D photonic crystal-based eight-channel wavelength-division demultiplexer. *Photonic Network Communications.* 2017; 34(1): 100-110.

[7] Almasian MR, Abedi K. Performance improvement of wavelength division multiplexing based on photonic crystal ring resonator. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics.* 2015; 126(20): 2612-2615.

[8] Alipour-Banaei H, Serajmohammadi S, Mehdizadeh F. Effect of scattering rods in the frequency response of photonic crystal demultiplexers. *Journal of Optoelectctronics and Advanced Materials.* 2015; 17(3-4): 259-263.

[9] Olyaee S, Mohebzadeh-Bahabady A. Two-curve-shaped biosensor for detecting glucose concentration and salinity of seawater based on photonic crystal nano-ring resonator. *Sensor Letters.* 2015; 13(9): 774-777.

[10] Mohebzadeh-Bahabady A, Olyaee S. All-optical NOT and XOR logic gates using a photonic crystal nano-resonator and based on interference effect. *IET Optoelectronics.* 2018; 12(4): 191-195.

[11] Gupta ND, Janyani V. Dense wavelength division demultiplexing using photonic crystal waveguides based on cavity resonance. *Optik. Int. J. Light Electron Opt.* 2014; 125(19): 5833–5836.

[12] Mansouri-Birjandi MA, Tavousi A, Ghadrdan, M. Full-optical tunable add/drop filter based on nonlinear photonic crystal ring resonators. *Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications.* 2016; 21: 44-51.

[13] Seifouri M, Fallahi V, Olyaee S. Ultra-high-Q optical filter based on photonic crystal ring resonator. *Photonic Network Communications.* 2018; 35(2): 225-230.

[14] Ghorbanpour H, Makouei S. 2-channel all optical demultiplexer based on photonic crystal ring resonator. *Frontiers of Optoelectronics.* 2013; 6(2): 224-227.

[15] Alipour-Banaei H, Mehdizadeh F, Serajmohammadi S. A novel 4-channel demultiplexer based on photonic crystal ring resonators. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics.*

WDM Systems. *Journal of Optical Communications*. 2018.

[23] Rakhshani MR, Mansouri-Birjandi MA. Design and simulation of wavelength demultiplexer based on heterostructure photonic crystals ring resonators. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures.* 2013; 50: 97-101.

[24] Zhang L, Jiao J. A study on effective math teaching strategy design in hybrid learning environment. Springer. *Hybrid Learning.* 2011; LNCS 6837:221-223.

[25] Mehar H, Nebhnani N. Software based approach for classroom teaching of electrical engineering courses: A case study. *Journal of Technical Education and Training (JTET).* 2015; 7(1): 67-79.

[26] Aye KM. Simulation of power electronic converter circuits using COM3LAB learning software in teaching: A case study. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD);* 2018; 2(5): 133-137.

[27] Fallahi VA, Seifouri MA. A new design of a 4-channel optical demultiplexer based on photonic crystal ring resonator using a modified Y-branch. *Optica Applicata.* 2018; 48(2): 191-200.

[28] Barsary RG, Andalib A, Alipour- Banaei A. Design and Simulation 4-Channel Demultiplexer Based on Photonic Crystals Ring Resonators. *Journal of Artificial Intelligence in Electrical Engineering.* 2013; 2(5): 22-25.

2013; 124(23): 5964-5967.

[16] Alipour-Banaei H, Serajmohammadi S, Mehdizadeh F. Effect of scattering rods in the frequency response of photonic crystal demultiplexers. *J. Optoelectron. Adv. Mater.* 2015; 17(3-4): 259-263.

[17] Talebzadeh R, Soroosh M, Kavian YS, Mehdizadeh F.

[18]https://www.researchgate.net/publication/305083103_An_optical_demultiplexer_based_on_photonic_crystal_ring_resonators

[19] Fallahi V, Seifouri M, Olyaee S, Alipour-Banaei H. Four-channel optical demultiplexer based on hexagonal photonic crystal ring resonators. *Optical Review.* 2017; 24(4): 605-610.

[20] Naghizade S, Sattari-Esfahlan SM. An optical five channel demultiplexer-based simple photonic crystal ring resonator for WDM applications. *Journal of Optical Communications.* 2017; 41(1)

[21] Naghizade S, Sattari-Esfahlan SM. Tunable High Performance 16-Channel demultiplexer on 2D Photonic Crystal Ring Resonator Operating at Telecom Wavelengths. *Journal of Optical Communications.* 2018.

[22] Kannaiyan V, Dhamodharan SK, Savarimuthu R. Investigation of 2D-PC Ring Resonator-Based Demultiplexer for ITU-T G. 694.1

Citation: (Vancoure): Delphi GH.A , Olyaee S , Seifouri M. [Software-based teaching of optical demultiplexers by using photonic crystals with presenting the syllabus for MSc students in electronic engineering major]. *Tech. Edu. J.* 2019; 13(4): 762-774.

http://dx.doi.org/10.22061/jte.2019.5027.2155

COPYRIGHTS

©2019 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.