



بهبود عملکرد ساختار رینگ رزوناتور در راستای ایزوله نمودن طول موج‌های رزونانس

محمد علی تاجیکی^{۱*}، آرش کریمخانی^۲

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی برق، دانشگاه تفرش

۲- استادیار، مهندسی برق، دانشگاه تفرش

*ali.tajiky@gmail.com

ارسال: شهریور ماه ۱۴۰۱ پذیرش: مهر ماه ۱۴۰۱

چکیده

در این مقاله با استفاده از نرم افزار Rsoft به شبیه سازی ساختارها و بررسی موجبرهای نوری پرداخته شده و سعی شده است با ارائه ساختار پیشنهادی جدید و با تغییرات ثابت شبکه، جنس ساختار، شعاع میله ها، شکل کلی ساختار و نحوه قرار گرفتن حفره ها عملکرد موجبر نوری بهبود یابد. موجبرهای بلورهای فوتونی قابلیت انتقال سیگنالهای طولانی تر و موثرتر را دارند. ساختارهای ناهمگون این ویژگی را دارند که ضریب انتقال را در موجبرهای نوری بر پایه ی بلورهای فوتونی، بهبود می بخشند. کاواک ها در ساختارهای فوتونی عملکردی مشابه فیلتر را دارند. با تغییر باند گپ بلورهای فوتونی می توان عملکرد موجبر نوری را بهبود بخشید. در نهایت ساختار جدیدی نیز پیشنهاد می شود که عملکرد بهتری نسبت به ساختارهای مشابه را دارا است [۱]. در این ساختار کمترین اتلاف توان را در مسیر رفت و برگشت وجود دارد، که میزان آن ۱.۵ dB- بوده است، و این خود نکته قابل توجه و بهبود دهنده در زمینه طراحی ساختارهای ایزولاتور نوری است.

کلمات کلیدی: فیبر بلور فوتونی، رینگ رزوناتور، طول موج، ایزولاتور نوری.

۱- مقدمه

در دهه های اخیر نیاز به انتقال سریع تر اطلاعات و داده ها در سیستم های مخابراتی، تقاضا برای انتقال اطلاعات و سیگنال ها با استفاده از نور را سرعت بخشیده است. نیاز به بالاتر رفتن سرعت انتقال داده ها دانشمندان را واداشته است تا از فوتون ها، که بسیار سریع تر از الکترون می باشند، استفاده کنند، این جایگزینی باعث استقبال چشم گیری در دنیای الکترونیک و مخابرات شده است. سه خاصیت مهم بلور فوتونی که منجر به تحقیقات گسترده در این زمینه شده است، وجود باند ممنوعه فوتونی، انعطاف طراحی بالا و قابلیت ساخت در ابعاد نانو است.

در ساخت موجبرهای نوری، که یکی از المان های ساختار نوری است، از بلورهای فوتونی استفاده می شود که میزان انعکاس و تلفات در موجبر و خصوصاً هنگام تزویج، به ناحیه های کاواک تشدید بسیار بستگی دارد. بازه ای از طول موج ها که می توانند از بلورهای فوتونی عبور کنند مد نامیده می شوند، گروهی از مدهای انتشار یافته باندی را تشکیل می دهند که باند ممنوعه نام گذاری شده اند و به خاطر وجود این ویژگی، قابلیت کنترل و هدایت نور در ساختارهای فوتونی ایجاد می شود. به وسیله ایجاد نقص های

بلور فوتونی امکان هدایت و دستکاری گسیل خود به خود به وجود می‌آید و شکل دهی حالت نقص‌ها برای طراحی ابزارهایی با کاربردهای مختلف که منجر به مجتمع شدن ابزارهای نوری می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بلورهای فوتونی معمولاً به صورت میله‌های ساخته شده از ماده دی‌الکتریک معلق در هوا، یا حفره‌های هوا ایجاد شده در ماده دی‌الکتریک می‌باشند. بلورهای فوتونی دو بعدی به دلیل سادگی ساختار نسبت به بلورهای فوتونی سه بعدی و ابعاد کوچکتر و همچنین شباهت فرآیند ساخت آنها با فرایند ساخت مدارهای مجتمع الکترونیک، مورد توجه طراحان قرار گرفته است. در این مقاله با مطالعه طرح‌های متفاوت ایزولاتورهای نوری بر پایه بلورهای فوتونی و الگو برداری از ساختار موجبرها و کاواک‌های آنها و همچنین ایجاد ناحیه ای برای انواع نقص‌ها دیگر بلور فوتونی در ساختارهایشان، مسیر موجبری در ایزولاتور نوری طراحی و شبیه‌سازی شده است [۲].

بلورهای فوتونی دارای ساختارهایی در اندازه نانو می‌باشند و ساختارهای آن‌ها به نحوی است که حرکت فوتون‌ها را تحت تاثیر قرار دهد، به مانند عملی که بلورهای نیمه هادی با الکترون‌ها انجام می‌دهند. بلورهای فوتونی جریان نور را کنترل و دستکاری می‌کنند. مطالعه بر روی بلورهای فوتونی از ۱۰۰ سال پیش آغاز شده است و این ساختار (بلورهای فوتونی) دارای اشکال و خواص مختلفی می‌باشند.

اپتو ایزولاتور^۱ یا کوپلر نوری^۲ یا فوتوکوپلر^۳ یا عایق نوری^۴ یک وسیله الکترونیکی است که برای انتقال سیگنال‌های الکتریکی به وسیله امواج نوری بین دو مدار مجزا طراحی شده است تا به این وسیله یک عایق الکتریکی بین ورودی و خروجی ایجاد کند. اپتو ایزولاتورها از تاثیر ولتاژهای بالا بر سیستم دریافت سیگنال جلوگیری می‌کنند. یک جدا کننده نوری یا دیود اپتیکی یک قطعه اپتیکی است که اجازه عبور نور را تنها در یک جهت می‌دهد و معمولاً از بازگشت ناخواسته نور به رزوناتور اپتیکی مثل کاواک لیزر، جلوگیری می‌کند. به کارگیری این قطعه به چرخش فارادی بستگی دارد (که توسط اثر مگنتو اپتیکی) ایجاد می‌شود؛ که به عنوان قطعه اصلی در چرخشگر فارادی به کار می‌رود [۳-۴]. اثر فارادی جزء اصلی دیود اپتیکی چرخش دهنده یا چرخشگر اپتیکی است. میدان مغناطیسی که به چرخش دهنده فارادی اعمال می‌شود موجب چرخش قطبش نور در اثر فارادی می‌شود. چرخش زاویه با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\beta = vBd \quad (1)$$

v ثابت ورودی مواد (بی نظم یا بلور؛ جامد یا مایع یا گاز) که چرخش را ایجاد می‌کند و d که طول چرخاننده است. جداکننده وابسته به چرخش یا ایزولاتور فارادی از ۳ جزء تشکیل شده است که یک قطبشگر ورودی (به صورت عمود قطبیده شده)، یک چرخش دهنده فارادی و یک قطبشگر خروجی که تحلیل گر (آنالیزور) گفته می‌شود (در ۴۵ درجه قطبیده شده). نور جلورونده به وسیله قطبشگر ورودی در جهت عمود پلاریزه می‌شود. چرخش فارادی قطبش را ۴۵ درجه می‌چرخاند. آنالیزور نور را بدون کمترین اتلاف عبور می‌دهد. نور عبوری در جهت برگشت توسط آنالیزور در زاویه ۴۵ درجه قطبیده شده. چرخشگر فارادی دوباره آن را به اندازه ۴۵ درجه می‌چرخاند. به عبارت دیگر قطبش در جهت افقی قرار گرفته (چرخش نسبت به جهت حرکت عمود است). چون قطبشگر به صورت عمودی پلاریزه‌است، نور بلوکه می‌شود. برای یک ایزولاتور وابسته قطبش، زاویه بین قطبیده و آنالیزور به اندازه ۴۵ درجه تنظیم می‌شود. چرخشگر به صورتی انتخاب می‌شود که چرخش ۴۵ درجه را ایجاد کند. ایزولاتورهای وابسته به قطبش عموماً در سامانه‌های اپتیکی فضای آزاد به کار می‌روند. این موضوع به علت قطبش منبع، اصولاً توسط سامانه تعیین می‌شود. در سامانه‌های فیبر اپتیکی جهت قطبش در سامانه‌های غیر کنترل قطبش پراکنده می‌شود، بنابراین زاویه قطبش از بین می‌رود [۵-۶].

^۱ opto-isolator

^۲ optocoupler

^۳ photocoupler

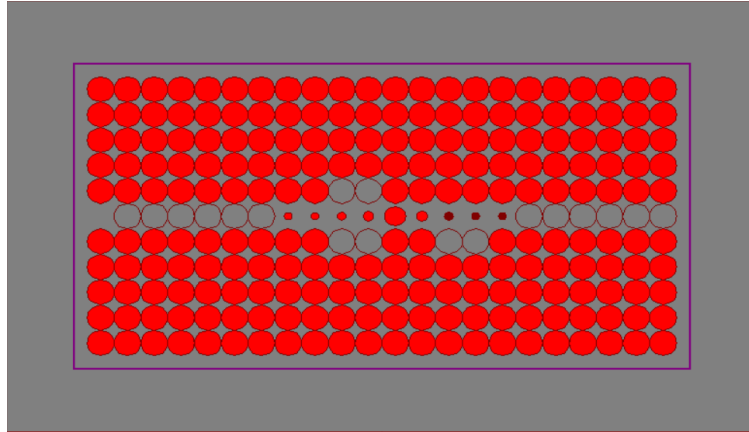
^۴ optical isolator

ممکن است در نظر اول چنین به نظر برسد که دستگاهی که اجازه عبور نور را تنها در یک جهت می‌دهد، با اجازه به عبور انرژی نور از جسم سرد به جسم گرم و بلوکه کردن آن در جهت دیگر قانون کیرشهف و قانون دوم ترمودینامیک را نقض می‌کند، اما خطایی در کار نیست زیرا ایزولاتور باید نور را از جسم گرم جذب (و نه بازتاب) کند و سرانجام آن را به جسم سرد می‌تاباند [۳-۴].

ایزولاتورهای فارادی و چرخشگرها کاربردهای زیادی در تکنولوژی لیزر دارند. در بسیاری موارد، آن‌ها برای محافظت لیزر و تقویت کننده‌ها در برابر نور بازگشتی به کار می‌روند. رشته‌های تقویت کننده در بعضی مواقع شامل چندین ایزولاتور بین مراحل مختلف تقویت نه تنها برای ایزوله کردن نور بازگشتی بلکه جهت جلوگیری از ایجاد اثرات ناخواسته توسط نشر خود به خودی تقویت شده‌است. در سیستم‌های ارتباطی فیبر اپتیکی ایزولاتورهای کوپل فیبر غیر حساس به قطبش مرتباً قبل و بعد از تقویت کننده‌های فیبری به کار می‌روند. انواع گسترده‌ای از تداخل سنج‌ها و دیگر دستگاه‌ها (به عنوان مثال تقویت کننده‌ها) در دو نوع قطعه‌ای و فیبری از چرخشگرها برای جداسازی نور بازگشتی از نور جلو رونده به کار می‌روند؛ که امکان استفاده از تقویت کننده‌های دو عبوری را فراهم می‌کند. مشخصه قطبش، جداکننده‌های وابسته قطبش درون مشدد لیزر (به عنوان مثال یک لیزر فیبری) ممکن است جهت وارد کردن یک حالت قطبش خطی جهت قفل کردن مد با چرخش قطبش غیر خطی است. علاوه بر این‌ها کاربردهای زیادی به عنوان چرخشگر فارادی خالص و نه به عنوان ایزولاتور دارند [۳-۴].

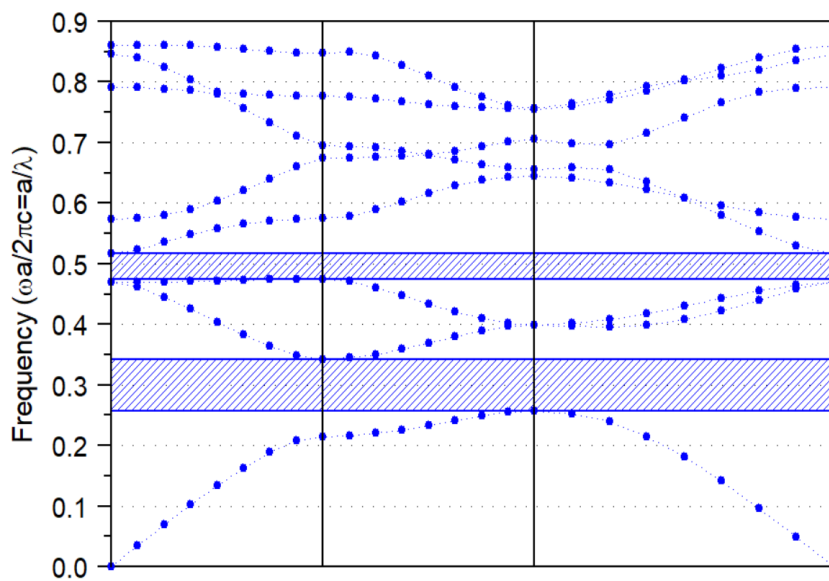
۲- روش شبیه سازی ایزولاتور نوری

همانطور که اشاره شد، در فرایند طراحی ایزولاتورهای نوری پارامترها و عوامل زیادی دخیل است. کنترل کردن تمام این مقادیر به صورت هم زمان و دانستن رابطه آن‌ها با یکدیگر در انجام هر چه صحیح تر طراحی بسیار حائز اهمیت است. از طرفی دست یافتن به چنین روابطی از طریق آزمایش و روش های آزمون و خطا بسیار سخت است. به علاوه دقت روش های شبیه سازی کامپیوتری تا حدی است که بتوان به آنها اطمینان داشت. بنابراین شبیه سازی های نرم افزاری برای چنین ساختارهایی فرایندی کاملاً منطقی و کم هزینه است. یک مدل خوب، می بایست تمام عوامل و پارامترهای درگیر را شناسایی کرده و روابط بین آنها را بتواند پیش بینی کند و همچنین ساختار می بایست قابل توسعه به منظور کارهای جدیدتر باشد. در فرایند طراحی و شبیه سازی ساختار ایزولاتورهای نوری همان طور که مورد انتظار است، مدل های بسیاری به منظور شبیه سازی ساختار از طرف محققان ارائه گردیده است. محاسبات و شبیه سازی ها برای طراحی ساختار ایزولاتور نوری انجام گرفته برای این پژوهش به وسیله نرم افزار RSOFT و روش های FULL WAVE و Band SOLVE برای به دست آوردن باند ممنوعه ساختار انجام گردیده است. در این مقاله از مدل ارائه شده توسط دو ساختار و شبیه سازی آنها انجام شده است، یک ساختار مطلوب و متفاوت با شبکه ای مربعی با بستری از جنس سیلیکون که در آن حفره‌های هوا با ثابت شبکه $a = 0.5 \text{ nm}$ و شعاع میله های $r/a = 0.5$ برای ایزولاتورهای نوری بر پایه بلورهای فوتونی شبیه سازی شد. ساختار ارائه شده از دو درگاه چپ و راست و یک موجبر که دو ناحیه کویتی (تله) برای به دام انداختن نور و یک ردیف حفره های مینای موجبر با اندازه های متفاوت و به صورت نامتقارن طراحی شده است. همان طور که قبل گفتیم سیلیکان دارای خاصیت غیر خطی است. در اثر خاصیت غیرخطی کر، ضریب شکست تابعی از شدت نور طبق رابطه $n = n_0 + n_2 |I|$ می باشد که در فصل قبل به آن اشاره شد، و پارامترهای آن را معرفی نمودیم. مقدار ضریب شکست خطی کر برای سیلیکان به کار برده در ساختار $n_0 = 3.4$ و برای $n_2 = 3 \times 10^{-18} (m^2/w)$ در نظر گرفته شده است. ساختار مربعی بسیار ساده، ابعاد کوچکتر، کاهش هزینه ساخت، و کاهش حداقلی اتلاف توان در موج ۱۵۵۰ نانومتر نسبت به ساختارهای دیگر ارائه شده است.



شکل ۱- ساختار ایزولاتور نوری با دو درگاه چپ و راست در بلور فوتونی سیلیکونی غیرخطی

شکل (۱) ساختار ایزولاتور را نشان می دهد که از آرایه 22×11 متشکل از حفره های هوا با ساختار شبکه مربعی در بستر سیلیکان است.



شکل ۲- ساختار باندهای فرکانسی

شکل (۲) ساختار باندهای ممنوعه این شبکه را بدون هیچ گونه نقصی با مشخصات گفته شده در قبل برای قطبیدگی با دو مود الکتریکی عرضی (TE و TM) نشان داده ایم. همان طور که مشاهده می گردد در طول محدوده $0.25 \leq a/\lambda \leq 0.35$ اولین ناحیه باندهای ممنوعه ساختار است.

برای ایجاد موجبری در ساختار بلور فوتونی، یک نقص خطی در مسیر طولی در وسط ساختار با برداشتن یک حفره از حفره ها ایجاد شده، با این تغییر در ساختار شکل (۲) درگاه چپ و راست ایجاد می شود که بسته به محل استقرار منبع نور، درگاه ورودی و خروجی ساختار است. این نقص خطی موجب می شود مودهایی که قبلاً در باندهای ممنوعه وجود دارند و اجازه ورود به ساختار را ندارند، امکان وارد شدن در ساختار را پیدا کنند. برای اینکه بتوانیم ایزولاتور نوری با استفاده از ساختار غیر خطی داشته باشیم، باید تقارن مکانی در مسیر انتشار شکسته شود. به عبارت دیگر اگر ساختار خطی است و مسیر رفت و برگشت ساختار یکسان نباشد نمی توان ایزولاتور طراحی کرد و بنابر قانون لورنز اگر ساختار غیرخطی باشد طیف خروجی از چپ به راست و از راست به چپ یکی خواهد بود. ولی اگر تقارن مسیر انتشار رفت و برگشت شکسته نشود باز طیف و شدت خروجی در هر دو طرف در ازای ورودی مشابه، یکسان خواهد شد. بنابر این هر دو پارامتر غیرخطی است و عدم تقارن مسیر انتشار رفت و برگشت جهت عملکرد افزاره به عنوان ایزولاتور نوری لازم است. لذا مسیر انتشار برای نور درون ساختار را طوری طراحی شده است که مسیر رفت با مسیر برگشت برای نور ورودی با توجه به غیرخطی بودن ساختار یکسان نگردد. از طرفی باید به این نکته توجه شود که شدت نور

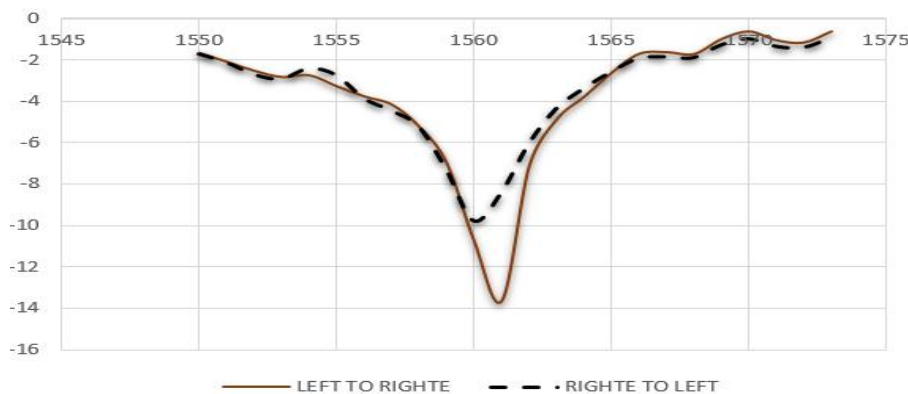
در مسیر رفت خیلی کاهش نیابد تا اثرات غیرخطی کر را تجربه نکند. در نتیجه، در مسیر موجبری نقص های نقطه‌ای با شعاع های متفاوت ایجاد شد.

از سمت چپ دو حفره اول، دوم، هشتم و نهم برابر با $R=72\text{nm}$ در نظر گرفته ایم. سپس شعاع حفره سوم و هفتم برابر با 82 nm $R=$ برای شعاع حفره چهارم برابر با $R=90\text{nm}$ ، حفره پنجم برابر با $R=194\text{nm}$ و حفره ششم برابر با $R=1\text{nm}$ در نظر گرفته شد. شعاع حفره‌ها در مسیر موجبر را بر اساس نتایج شبیه سازی‌های مختلف، انتخاب شده است. با این شرط که شدت نور وقتی از درگاه چپ و راست وارد ساختار می شود در گذر از آن ها افت توان زیادی نداشته باشیم، و همان طور که قبلا ذکر شد نتواند اثرات غیر خطی را ببیند. با این روش، نور مسیر انتشاری را که از درگاه چپ به راست وارد می شود متفاوت با هنگامی که از درگاه راست به چپ وارد ساختار می شود را تجربه می کند. ولی نتایج مطالعات و شبیه سازی ها نشان داد مقدار تغییر رفتار نور در این حالت بسیار کم و اختلاف گذردهی کمی خواهد داشت. بنابراین ناحیه‌های کویتی (تله) را در مسیر موجبر ایجاد نموده ایم.

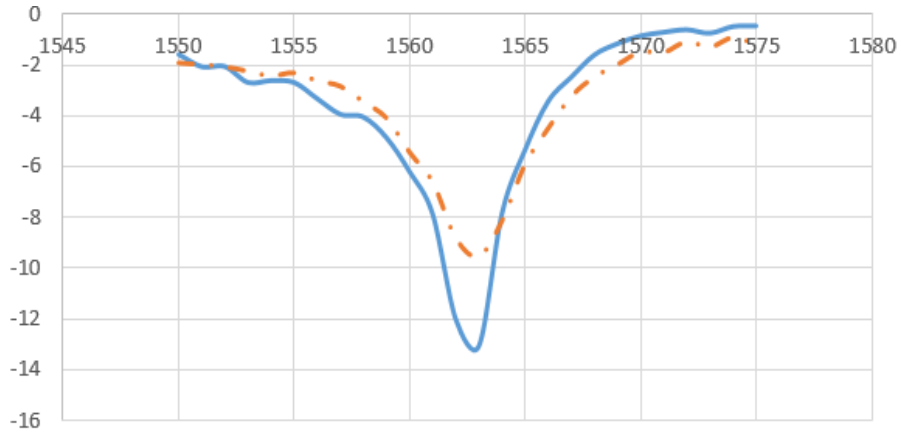
۳- نتایج شبیه سازی

در شکل نمودار (۳) میزان توان خروجی ساختار را وقتی نور را از طرف چپ به راست و همچنین جهت عکس آن، راست به چپ می تابانیم نشان داده است که با توجه به میزان ضریب غیر خطی و خطی ساختار در طول موج 1566 nm ، به میزان 16 dB رسیده است، و در طرف مقابل، از راست به چپ با همان توان طول موج 1568 nm ، به میزان 10 dB رسیده شده است. البته لازم به یاد آوری است که در این ساختار نیز در طول موج ابتدایی یعنی 1550 nm کمترین اتلاف توان را داشته ایم که میزان $1/5\text{ dB}$ بوده است، که این نتیجه به تنهایی قابل توجه و بهبود دهنده در زمینه ساختارهای ایزولاتور نوری است. همچنین ساختار ارائه شده را در توان های مختلف مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته شد، که نتایج زیر حاصل گردید که در شکل (۳) نمودار طیف توان و همچنین طول موج ایزوله را نشان داده شده است.

نمودار (۳) طیف توان عبوری از ساختار را با شدت توان $I=3/3 \times 10^{13} \frac{\text{kw}}{\mu\text{m}^2}$ نشان می دهد که در این توان از درگاه چپ به راست طول موج رزونانس 1563 nm را با توان $13/28\text{ dB}$ و در طرف مقابل از درگاه راست به چپ طول موج 1565 nm را با توان $8/95\text{ dB}$ فیلتر شده است. نمودار (۴) طیف توان عبوری از ساختار با شدت توان $I=6/6 \times 10^{14} \frac{\text{kw}}{\mu\text{m}^2}$ است از درگاه چپ به راست طول موج رزونانس 1564 nm را $14/35\text{ dB}$ فیلتر شده است. نمودار (۵) برای شدت توان $I=10^{13} \frac{\text{kw}}{\mu\text{m}^2}$ است، در این توان که بهترین حالت عملکرد ساختار می باشد، طول موج رزونانس 1566 nm را به میزان $15/9083\text{ dB}$ و در طرف مقابل از درگاه راست به چپ طول موج رزونانس 1568 nm را به میزان $9/59\text{ dB}$ فیلتر کرده است. نمودار (۶) برای توان ورودی با شدت $I=10^9 \frac{\text{kw}}{\mu\text{m}^2}$ است که در این توان طول موج رزونانس 1561 nm را به میزان $13/6261\text{ dB}$ از درگاه چپ به راست و طول موج 1560 nm را به میزان $9/76524\text{ dB}$ در طرف مقابل فیلتر نموده است. آخرین نمودار (۷) توان ورودی به ساختار با شدت $I=1/33 \times 10^{13} \frac{\text{kw}}{\mu\text{m}^2}$ ، طول موج رزونانس 1568 nm از درگاه چپ به راست را $15/4329\text{ dB}$ ، و در طرف مقابل طول موج رزونانس 1570 nm را به میزان $8/85975\text{ dB}$ فیلتر نموده است.



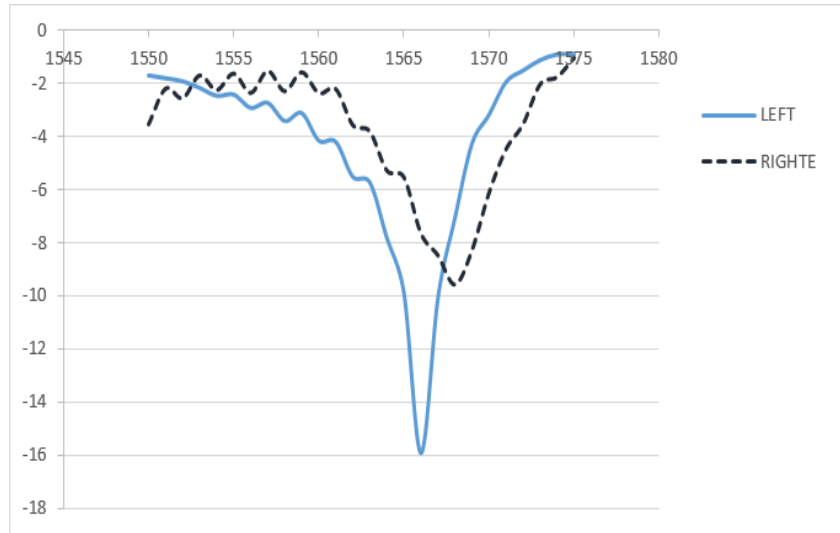
شکل ۳- نمودار طیف عبوری از ساختار با شدت $0.33\text{ KW}/\mu\text{m}^2$



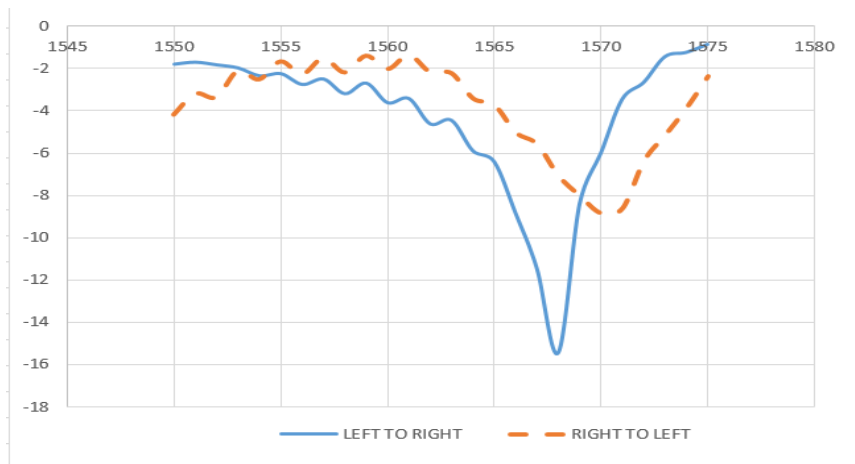
شکل ۴- نمودار طیف عبوری از ساختار با شدت $3/3 \text{ KW}/\mu\text{m}^2$



شکل ۵- نمودار طیف عبوری از ساختار با شدت $6/6 \text{ KW}/\mu\text{m}^2$ Error! No text of specified style in document.



شکل ۶- نمودار طیف عبوری از ساختار با شدت $9/9 \text{ KW}/\mu\text{m}^2$



شکل ۷- نمودار طیف عبوری از ساختار با شدت $13.2 \text{ KW}/\mu\text{m}^2$

جدول ۱ طول موج های ایزوله شده و همچنین توان انتقالی با شدت توان های ورودی مورد آزمایش را نشان می دهد. در اطلاعات جدول I شدت توان نور تابیده شده در ساختار با واحد $(\text{KW}/\mu\text{m}^2)$ است. λ_{rl} طول موج رزونانس مربوط به جهت انتشار نور از چپ به راست است. λ_{rr} طول موج رزونانس مربوط به جهت انتشار نور از راست به چپ است. T_l ضریب عبور مربوط به جهت انتشار از چپ به راست در طول موج های دور و T_r ضریب عبور مربوط به جهت انتشار از راست به چپ در طول موج های دور، T_{rl} ضریب عبور مربوط به جهت انتشار از چپ به راست در طول موج رزونانس، و T_{rr} ضریب عبور مربوط به جهت انتشار از راست به چپ است.

۱- جدول توان انتقالی بر حسب شدت توان ورودی و طول موج های ایزوله شده. Error! No text of specified style in document.

$I ((\text{KW}/\mu\text{m}^2))$	λ_{rl} nm	T_l dB	T_{rl} dB	λ_{rr} nm	T_r dB	T_{rr} dB
3.3×10^{-3}	۱۵۶۱	-۱.۶۷۸۷	-۱۳.۶۲۶۱	۱۵۶۰	-۱.۷۳۵۱۹	-۹.۷۶۵۲۹
۳.۳	۱۵۶۳	-۱.۵۶	-۱۳.۱۰	۱۵۶۳	-۱.۹۱	-۹.۵۴
۶.۶	۱۵۶۴	-۱.۶۲۸۱۸	-۱۳.۶۹۱۸	۱۵۶۵	-۲.۴۱۴۲۶	-۹.۶۷۳۴۱
۹.۹	۱۵۶۶	-۱.۶۷۷۵۲	-۱۵.۹۰۸۳	۱۵۶۸	-۳.۵۶۲۱۳	-۹.۵۹
۱۳.۲	۱۵۶۸	-۱.۷۹۴۴۴	-۱۵.۴۳۲۹	۱۵۷۰	-۴.۱۹	-۸.۸۶

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش یک ساختار مناسب برای ایزولاتورهای نوری بلور فوتونی با کمک مهندسی مسیر موج با نانو نقص های نقطه ای و تعبیه کاواک در ناحیه مناسب در ساختار بلور فوتونی سیلیکونی غیر خطی ارائه داده شده است. نور تابیده شده درون ساختار از طول موج رزونانس 1.55 nm تا 1.575 nm است. در این ایزولاتور تمام نوری اتلاف نرخ گذردهی مطلوب -16 dB در درگاه ورودی چپ، و -10 dB در طرف مقابل از درگاه راست، است که کاهش تلفات نرخ گذردهی مناسبی است. ساختار را با شدت توان های مختلف مورد برای طیف فرکانسی مورد آزمایش و بررسی قرار داده ایم، که با بالا بردن توان، تغییر توان نسبت به میزان توان نور تابیده شده در ساختار، طول موج رزونانس مختلف را در جهت راست به چپ و برعکس آن چپ به راست فیلتر نموده است. ساختار دارای ضریب غیر خطی کر از نوع سیلیسیوم با ضریب 3×10^{-18} متر مربع بر وات، و ضریب خطی 3.4 در نظر گرفته شد. ساختار پیشنهادی دارای ابعاد بسیار کوچک در اندازه 11×22 میکرو متر است. ساختاری پیشنهادی بسیار ساده و دارای نواحی کاواک متفاوت هم در جهت رفت و هم در جهت برگشت برای به تله انداختن طول موج خاص نسبت به ساختارهای قبلی است که این خود مزیتی نسبت به ساختارهای ارائه شده قبلی است. همچنین در طول مسیر موجبر شعاع میله های مسیر موجبر به

صورت نامتقارن است که باعث جا به جایی طول موج در مسیر رفت و برگشت شده است. همچنین در ساختار پیشنهادی به دلیل طراحی مهندسی بسیار ساده در مسیر موجبر می توان نواحی کاواک طراحی شده در جهت رفت و برگشت را، در جهت بهبود عملکرد ساختار در راستای ایزوله نمودن طول موج های رزونانس تغییر داد که این کار مستلزم آزمایشات جدیدی در این زمینه است.

در این ساختار کمترین اتلاف توان را در مسیر رفت و برگشت وجود دارد، که میزان آن -1.5 dB بوده است، و این خود نکته قابل توجه و بهبود دهنده در زمینه طراحی ساختارهای ایزولاتور نوری است. این ساختار چون در بلور فوتونی سیلیکونی طراحی شده است با توجه به ابعاد بسیار کوچک آن و نیز ساختار مهندسی بسیار ساده، قابلیت مجتمع شدن برای استفاده در مدارات مجتمع نوری را دارا است.

۵- مراجع

۱. محسن وحید. (۱۳۹۵). بررسی و شبیه سازی ساختارهای بلور فوتونی موجبری کاواک دار، اولین کنفرانس ملی رویکردهای نو در مهندسی برق و کامپیوتر.
۲. کامبیز عابدی. (۱۳۹۴). مقدمه ای بر ادوات نوری بلور فوتونی، مهرجرد.
3. D. Jalas et al. (2013). What is and what is not an optical isolator, Nature Photonics, vol. 7, p. 579, 07/30/online.
4. D. Vojna et al. (2018). Faraday effect measurements of holmium oxide (Ho_2O_3) ceramics-based magneto-optical materials, vol. 6.
5. L. J. N. Rayleigh. (1901). On the magnetic rotation of light and the second law of thermodynamics, vol. 64, pp. 577-578.
6. C. Mungan. (1999). Faraday Isolators and Kirchhoff's Law: A Puzzle, ed.