دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
گروه الکترونیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی برق- الکترونیک

عنوان

بررسی رفتارهای غیرخطی نوری در شبه‌کریستال‌های فوتونیک

استادان راهنما

دکتر علی رستمی

دکتر رضا یدی پور

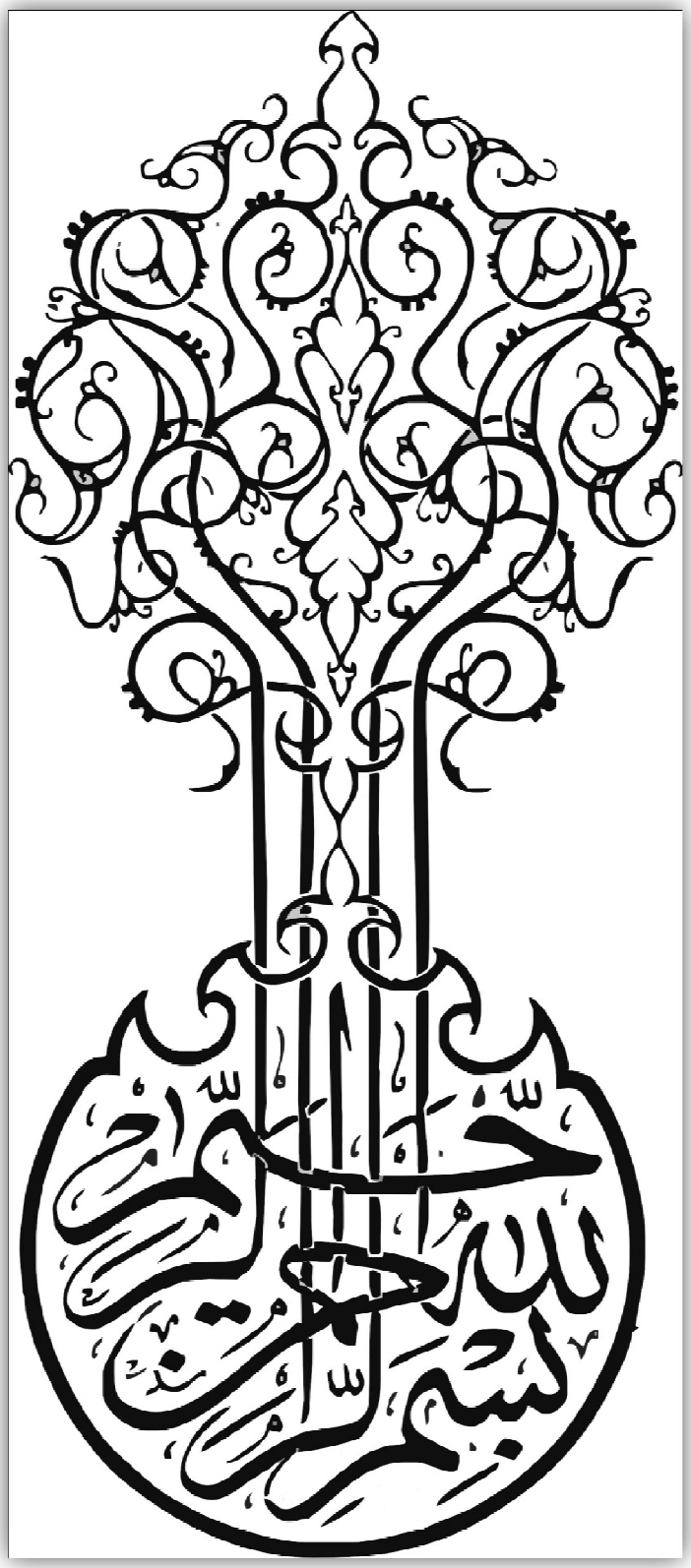
استاد مشاور

دکتر ضیائدین دایی کوزه کنانی

پژوهشگر

علی حدادپور

شهریور 90


بسم الله الرحمن الرحيم

نام خانوادگی: حدادپور **نام:** علی

عنوان پایان‌نامه: بررسی رفتارهای غیرخطی نوری در شبه کریستال های فوتونیک

استادان راهنما: دکتر علی رستمی ، دکتر رضا یدی پور

استاد مشاور: دکتر ضیائدین دایی کوزه کنانی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی برق الکترونیک **گرایش:** الکترونیک مدارات مجتمع نوری

دانشگاه: تبریز

دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر **تاریخ فارغ التحصیلی**: شهریور 1390 **تعداد صفحه:** 76

کلیدواژه‌ها: شبه کریستال های فوتونیکی ، سویچ نوری، فیلتر نوری ، کاواک

چکیده

در این پایان‌نامه ایده بکارگیری شبه کریستال های فوتونیکی در کریستال های فوتونیکی بمنظور ارائه ساختار جدیدی برای طراحی سویچ تمام نوری بر اساس ساختار های رینگ رزوناتورهای حلقوی پرداخت شده است. در این ساختار پیشنهادی از آرائه ای از شبه کریستال های فوتونیکی به عنوان کاواک استفاده شده است. ساختار رینگ رزوناتورهای حلقوی بر پایه کریستال های فوتونیکی کاربردهای اساسی در مدارات مجتمع نوری دارند.بکارگیری شبه کریستال های فوتونیکی به عنوان کاواک باعث انتشار نور در کمترین حالت تلفات میباشد.اعمال سیگنال کنترلی در طول موج رزونانس سیستم باعث افزایش میدان موثر در کاواک و همچنین افزایش خاصیت غیر خطی سیستم میشود. از دیگر مزیت ها میتوان به عدم تداخل انرژی سیکنال کنترلی با سیگنال اعمالی میباشد. دو ساختار متفاوتی از شبه کریستال های فوتونیکی به عنوان کاواک بررسی و مقایسه شده است. همچنین نشان داده شده است که این ساختار پیشنهادی قابلیت کار کردن در مینیمم توان $36.5W/\mu m^2$ و زمان سویچینگ $600\ fs$ را دارا میباشد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

فصل دوم: بررسی منابع

2-1- فوتونیک کریستال (PC) 4

2-1-1- ویژگی های فوتونیک کریستال وساختار های هم خانواده آن (شبه کریستال های فوتونیکی) 4

2-1-2- ادوات مبتنی برفوتونیک کریستال ها وساختار های هم خانواده آن 7

2-1-2-1 ادوات مبتنی برفوتونیک کریستال ها وساختار های هم خانواده آن 7

2-1-2-2 استفاده از نقص ها در ساختارهای فوتونیکی جهت اهداف خاص 11

2-1-2-3 فیلترهای حذف- اضافه تشدید پریودیک و شبه پریودیک 13

2-1-2-4 کوپلرهای نوری مبتنی بر کریستال های فوتونیکی 16

2-1-2-5 رزوناتورهای حلقوی نوری مبتنی بر کریستال های فوتونیکی 17

2-2- مروری بر پیشینه سوئیچینگ نوری 21

2-2-1- سوئیچ های نوری 22

2-2-2- سوئیچ های کنترلی غیر نوری 22

2-2-3- سوئیچ های تمام نوری 26

فصل سوم: مواد و روش‌ها

3-1- روش محاسبه ساختار باند در فوتونیک کریستال 37

3-1-1- روش عددی PWE 42

3-1-2- الگوریتم Yee 48

فصل چهارم: بحث و نتایج

4-1- کاواک بر مبنای شبه‌کریستال فوتونیکی 50

4-1-1- افزایش ضریب بهره 51

4-1-2- بهبود ضریب بهره 52

4-2- وابستگی ضریب بهره به شعاع و ضریب شکست ماده 55

4-3- طراحی سویچ تمام نوری 56
4-4- بررسی عملکرد سویچینگ 58
4-5- دوپایداری 59
4-6- جمع بندی فصل 60

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
5-1- نتیجه‌گیری 62
5-2- پیشنهادات 62

فصل ششم: مراجع

فهرست شکل‌ها

شکل 2-1: نمایش گرافیکی کریستال های فوتونیکی یک بعدی، دو بعدی وسه بعدی. 4

شکل 2-2: کاربردهایی از نقص در کریستال های فوتونیکی. 5

شکل 2-3: منحنی پاشندگی در مد TE (قرمز) و مد TM (آبی) در یک ساختار فوتونیکی با ثابت شبکه a. 6

شکل 2-4: شبه کریستال های فوتونیکی هشت تایی. 6

شکل 2-5: نمونه ای از موجبرهای کریستال فوتونیکی (الف) ساختار موجبر حاصل از حذف دی الکتریک های خاص (ب) نحوه انتشار نور در موجبر فوتونیکی[24]. 8

شکل 2-6 : کوپل موجبرهای نوری توسط فیبر نوری 8

شکل2-7 : موجبرنوری به شکل Y [28] 9

شکل 2-8 : موجبرY- Branch تحلیل شده به روش FDTD [28]. 9

شکل 2- 9: مشخصه عبور ساختار شکل 2-8 [28]. 10

شکل 2-10 : موجبرهای ساخته شده با شبه کریستال های فوتونیکی[31] 10

شکل 2- 11: نحوه ایجاد نقص هادر ساختارهای پریودیک a) نقص نقطه ای b) نقص خطی c) ترکیب نقص نقطه ای- خطی[32] 11

شکل 2-12 : نقص ها نقطه ای و خطی ساختار کریستالی پریودیک[33] 11

شکل 2-13 : نتایج حاصل از آنالیز ساختار شکل 2-12 a) = 2.66 b) = 2.58 c) = 2.72 [33] 12

شکل 2-14 : ساختارشبه پریودیک دارای نقص های نقطه ای، خطی ونقطه ای[31] 12

شکل 2-15: مولفه های عبوری به دست آمده از ساختارهای شبه پریودیک دو بعدی 13

شکل 2-16: شماتیک سیستم رزونانس نوری[35] 13

شکل 2-17: ساختار اولیه فیلتر حذف- اضافه تشدید با کاواک های مرکزی تک مد[35] 14

شکل 2- 18: (الف) نمایش خروجی هر یک از موجبرها (ب) نمایش گرافیکی ساختار فیلتر حذف- اضافه تشدید. 14

شکل 2-19: ساختار فیلتر حذف- اضافه تشدید با یک عدد کاواک مرکزی تک مد[35]. 15

شکل 2-20: نتایج مربوط به فیلتر حذف- اضافه تشدید با یک عدد کاواک مرکزی تک مد[35] 15

شکل 2-21: ساختار و نتایج مربوط به فیلتر حذف- اضافه تشدید با استفاده از شبه کریستال های فوتونیکی[35] 16

شکل 2-22: ساختار کوپلر دو بعدی کریستال فوتونیکی[35]. 16

شکل 2-23- نمایش کوپلینگ ما بین موجبر اصلی با هر یک از موجبرهای مورب[35] 17

شکل 2-24: مشخصه انتقالی خروجی / ورودی هر یک از کانال های ساختارشکل 2-22[35] 17

شکل 2-25- رزوناتورهای حلقوی طراحی شده با a) ساختارهای مربعی b) ساختارهای شش ضلعی c) شبه پریودیک 12 تایی 18

شکل 2-26- ساختار پایه ایجاد شده توسط چیدمان مربعی کریستال های فوتونیکی 18

شکل 2-27: باند ممنوعه و منحنی پاشندگی ساختار شکل 2-26. 19

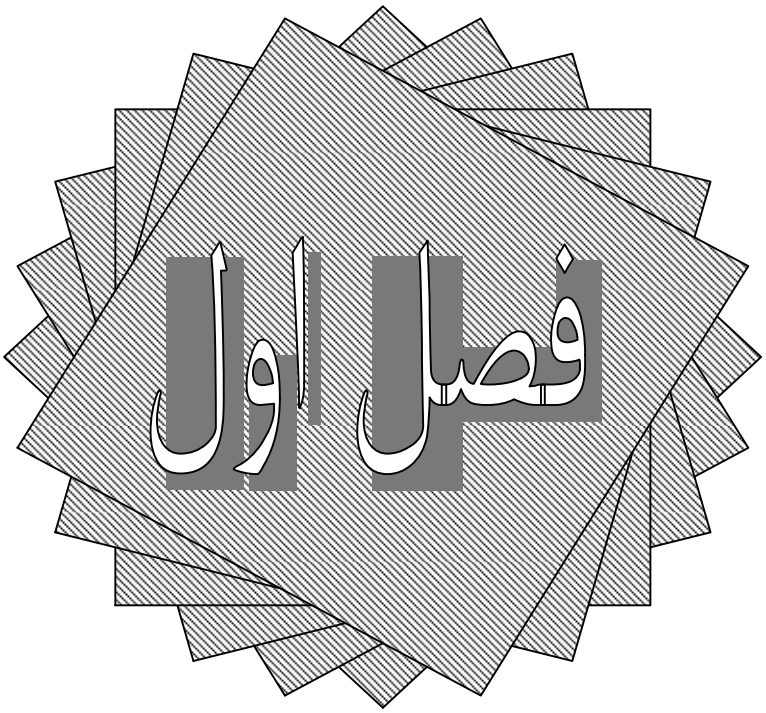
شکل 2-28: رزوناتور حلقوی فوتونیکی[32]. 19

شکل 2-29: مشخصه های عبوری رزوناتور حلقوی[32]..... 20
شکل 2-30: مشخصه عبوری بهبود یافته جهت حصول DWDM با رزوناتور حلقوی[32] 20
شکل 2-31: مشخصه عبوری بهبود یافته جهت حصول DWDM با دو رزوناتور حلقوی[32] 20
شکل2-32: جهت های مختلف کوپل نور از طریق رزوناتورهای حلقوی[32] 21
شکل2-33: نحوه تاثیر تغییرات ضریب شکست روی مولفه های فرکانسی[32]..... 21
شکل 2-34: سوئیچ واحد 2 × 2 با استفاده از ساختار MZI با کوپلر های MMI و شیفت دهنده فاز گرمایی [46]. 23
شکل 2-35- ساختار سوئیچ 4 × 4 غیربلوکی [46] 23
شکل 2-36: سوئیچ نوری اثر گرمایی مبتنی بر MMI با الکترود باریک شونده [47]. 24
شکل 2-37: پرتو نور خروجی در دو حالت سوئیچینگ ; الف) حالت off و ب) حالت on [47]. 24
شکل 2-38: سوئیچ نوری 2 × 1 با استفاده از یک موجبر MMI [49] 25
شکل 2-39- توزیع میدان نوری در دو حالت : (الف) حالت off و (ب) حالت on [49]..... 25
شکل 2-40: منحنی شدت میدان بحرانی بر حسب عرض پرتو برای مواد پلی دی استیلن [50]..... 27
شکل 2-41: (الف) ساختار شماتیکی سوئیچ تمام نوری, (ب) منحنی ایده آل انتقال بر حسب شدت[50]. 27
شکل 2-42: شدت میدان الکتریکی نرمالیزه برای شدت ورودی های مختلف [50]. 28
شکل 2-43: منحنی انتقال سوئیچ بر حسب شدت میدان ورودی [50]..... 29
شکل 2-44: ساختار سوئیچ با MZI به وسیله ناحیه مدولاتور فاز دو مد [52] 30
شکل 2-45: شبیه سازی عملکرد سوئیچ تمام نوری طراحی شده با MZI و TMI [52]. 31
شکل 2-46: منحنی توان خروجی نرمالیزه بر حسب توان سیگنال کنترل برای حالتی که سیگنال داده از : (الف) پورت 1 ، (ب) پورت 2 وارد شود [52]..... 32
شکل 2- 47: ساختار نهایی فیلتر باند باریک. 33
شکل 2- 48: طول موج های فیلتر شده ساختار شکل 2- 47 با $R_0 = R_1 = R_3 =$ 140 nm و R_2 متغیر. 34
شکل 2-49: طول موج های فیلتر شده ساختار شکل2- 47 با $R_0 = R_1 = R_3 =$ 120 nm و R_2 متغیر. 34
شکل 3-1: کریستال یک بعدی در راستای 39
شکل 3-2: سلول واحد در یک کریستال فوتونیکی بدون نقص. 41
شکل3-3: نوع مسیرهای موجود در درون سلول پایه برای محاسبه ساختار باند. 42
شکل 4-1: (الف) ساختار کلی شبه کریستال فوتونیکی، (ب) ساده ترین ساختار کاواک برمبنای شبه کریستال فوتونیکی 50
شکل 4-2: (الف) دو قسمت اصلی ساختار کلی شبه کریستال فوتونیکی، شامل مربع و مثلث (ب) دو قسمت اصلی ساختار کلی شبه کریستال فوتونیکی، شامل مربع و مثلث با مشخص کردن اضلاع 50
شکل 4-3: (الف) شعاع شش حفره نزدیکترین به کاواک، ردیف شعاعی دوم و ردیف شعاعی سوم با نامهای R_1، R_2 و R_3 بهمراه مکان شعاعی حفرههای ذکر شده به کاواک با نامهای D_1، D_2 و D_3 (ب) ساختار کاواک بهینه شبه کریستال فوتونیکی 51

شکل 4-4: (الف) طول موج رزونانس 1.55μm و فیلتر Guassian مربوطه (ب) طول موج رزونانس 1.31μm و فیلتر Guassian مربوطه 53
شکل 4-5: (الف) پوش سیگنال برای طول موج 1.55μm (ب) پوش سیگنال برای طول موج 1.31μm..... 54
شکل 4-6: (الف) پروفایل مد متناظر برای برای طول موج 1.55μm (ب) پروفایل مد متناظر برای برای طول موج 1.31μm . 54
شکل 4-7: ماکزیمم ضریب بهره و طول موج رزونانس برحسب ضریب شکست. 55
شکل 4-8: ساختار سویچ تمام نوری پیشنهاد شده. 57
شکل 4-9: محدوده طول موج انتقالی برای ساختار پیشنهادی. 58
شکل 4-10: توزیع میدان الکتریکی (الف) برای حالت خطی، پورت B روشن (ب) در حضور سیگنال کنترلی، پورت B خاموش. 59
شکل 4-11: نمودار P_{out} بر حسب P_{in} برای مقادیر مختلف Δ 60

فهرست جداول

جدول 2-1: مقادیر نرخ خاموشی و تلفات جاسازی سوئیچ MZI [52] 33
جدول 4-1: نتایج بهدست آمده از شبیهسازی در اثر اعمال تغییرات ذکر شده در ساختار پیشنهادی. 52
جدول 4-2: پارامترهای بهینه برای تحقق افزایش بهره در طول موجهای 1.55μm و 1.31μm..... 52
جدول 4-3: پارامترهای بهینه برای هریک از ضریب شکست ها..... 55
جدول 4-4: پارامترهای بهینه برای هر یک از سایزها و جابجاییهای متناظر. 56
جدول 4-5: مشخصات بهینه کاواک پیشنهادی. 57



مقدمه

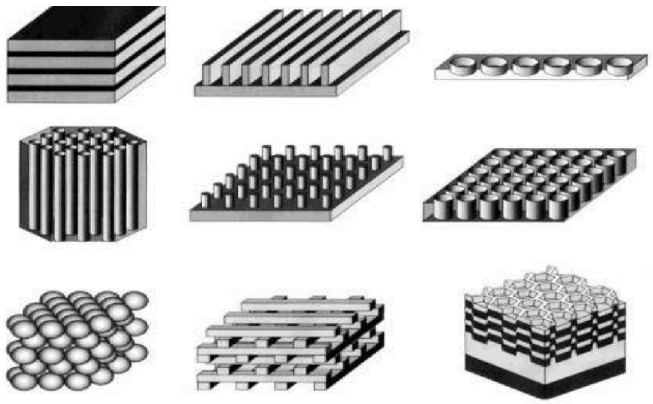
طی چندین دهه گذشته، الکترونیک در حوزه نور از اهمیت ویژه‌ای برای محققان برخوردار بوده است، بطوری که اکثر مطالعات پژوهشگران در دنیا به سوی آن معطوف شده است. الکترونیک نوری به دلیل سرعت بسیار بالای پردازش در حوزهٔ نور، انتقال و تبادل اطلاعات با سرعت بالا و امنیت بیشتر، رنج فرکانس کاری بسیار بالای آن نسبت به الکترونیک و نیز ذات پردازش موازی در حوزهٔ الکترونیک نوری که سرعت محاسبات را چندین برابر افزایش می‌دهد به شدت روی آن پژوهش و کار می شود. یکی از زمینه های مناسب و پر کاربرد در الکترونیک نوری، فتونیک کریستال ها نوری هستند. خواص بسیار جالب توجهی که فتونیک کریستالها دارند باعث شده تا ساختارهای پریودیک و شبه پریودیک از آنها ساخته شده و بتوان از خواص آنها برای طراحی المانهای نوری استفاده کرد. فتونیک کریستال ها به صورت خطی و غیرخطی درانواع ساختارهای یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی به کار می روند که با استفاده از هر کدام از این ساختارها می توان به اهداف مورد نظر رسید. یکی از مهمترین ویژگی فتونیک کریستالها وجود باند ممنوعه در آنها می باشد بدین معنی که به بعضی از فرکانس های امواج اجازه عبور ازساختار خود را نمی دهند و نسبت به آنها کدر هستند و بعضی دیگر را اجازه عبور می دهند به عبارتی شفاف هستند که با استفاده از این خاصیت ذاتی می‌توان به طراحی فیلترهای نوری، سوئیچ های نوری، سیرکولاتور های نوری و دیگر المانهای همانند دسترسی پیدا کرد. ساختارهای پریودیک بدست آمده از فتونیک کریستال ها نیز در انواع یک بعدی، دوبعدی و سه بعدی، هر کدام برای اهداف خاصی استفاده می شوند. با توجه به ویژگی‌های خاص شبه‌کریستال‌های فوتونیکی، ادوات کاربردی مختلفی با استفاده از شبه‌کریستال‌های فوتونیکی تحقق یافته‌اند. از آن جمله می‌توان به موجبرهای نوری، جداکنندهٔ Y، فیلتر حذف-اضافهٔ تشدید، موجبر نوری مبتنی بر تشدیدکنندهٔ کوپل شده(در مقایسه با کریستال‌های فوتونیکی، بیشترین مقدار سرعت گروه امواج الکترومغناطیسی انتشاری، می‌تواند تا حد زیادی کاهش یابد)، سوپرلنز برای اهداف تصویرسازی ومتمرکزسازی، پنکهٔ رنگی(شبه‌کریستال‌فوتونیکی غیرخطی که ورودی‌اش موج تکی در فرکانس ω وخروجی‌اش شامل هارمونیک‌های اول ودوم وسوم وچهارم از ω، در راستاهای فضائی مختلف می‌باشند) اشاره نمود. همچنین در شبه‌کریستال‌های فوتونیکی خاصیت شکت منفی وخاصیت لیزینگ نیز مشاهده شده است. در شبه‌کریستال‌های فوتونیکی به علت وجود شکست منفی، تصاویر زیرطول‌موج در ناحیهٔ حوزه-غیرنزدیک تشکیل می‌شوند. اخیراً، برای متمرکزسازی در ناحیهٔ حوزه-غیرنزدیک امواج آکوستیک نیز، شبه‌کریستال‌های فوتونیکی بکار رفته است. در حالت کلی، شبه‌کریستال‌های فوتونیکی با توجه به ویژگی‌های بارز ساختار باندی ایزوترپ‌تر، سطح اختلاف دی‌الکتریک پایین‌تر برای ایجاد شکاف باند ومدهای مقید غنی‌تر و با قابلیت انتخاب طول‌موج بیشتر، نسبت به کریستال‌های فوتونیکی در سال‌های اخیر مورد توجه محققان گرفته‌اند. با توجه به کارهای اخیر انجام شده، روش تحلیلی برای ارزیابی خصوصیات نوری و الکترونیکی شبه‌کریستال‌های فوتونیکی در دسترس نیست و روش‌های عددی مثل FDTD برای استخراج کمیت‌های مهم این ساختارها مورد استفاده قرار می-گیرد.در این پایان نامه ابتدا به ارائه و بخث در مورد کاواک بر پایه شبه کریستال های فوتونیکی با ضریب بهره بسیار بالا در خوزه طول موج های مخابراتی پرداخت میشود ، سپس ساختار تمام نوری جدید بر پایه ترکیبی از ساختار شبه کریستال های فوتونیکی و کریستال های فوتونیکی ارائه و مشخصات اساسی آن مورد بررسی قرار میگیرد. ساختار جدید پیشنهادی از نقطه نظر مشخصات سویچ های تمام نوری از قابلیت بالای برخوردار میباشد.

بررسی منابع

2-1- فوتونیک کریستال (PC)

2-1-1- ویژگی های فوتونیک کریستال وساختار های هم خانواده آن (شبه کریستال های فوتونیکی)

یکی از عرصه های فعال تحقیقاتی در دو دهه گذشته، کریستالهای فوتونیکی هستند طبق تعریف کریستال هـای فوتـونیکی آرایه های پریودیک از مواد دی الکتریک هستندکه با توجه به طول موج نور ورودی به آنها، انعکاس یا عبور مولفه نوری مشـخص می شود [1-3]. دلیل اهمیت کریستال های فوتونیکی از آنجا ناشی می شود که در این ساختارها، ساختار بانـدی بـرای فوتـون در بیش از یک جهت وجود دارد. این ساختار باندی، از تناوب فضایی پراکنده سازه هـای دی الکتریـک کـه سـازنده کریسـتال هـای فوتونیکی است ناشی می شود [4-5]. کریستال های فوتونیکی در انواع ساختارهای تک بعدی، دو بعدی و سه بعـدی سـاخته مـی شوند که در شکل (2-1) به عنوان نمونه معرفی شده اند [6-7]. هر یک از این ساختارها می توانند برای کاربردهای متفاوت مـورد استفاده قرار گیرند. به عنوان مثال از ساختارهای تک بعدی جهت طراحی فیلترهای تمام نوری مـی تـوان بهـره بـرد. روش آنـالیز ساختارهای تک بعدی در ساده ترین حالت، روش ماتریس انتقال1 (TMM) است [8]. همچنین به روش FDTD 2 نیز می توان به تحلیل اینگونه ساختارها پرداخت.



شکل 2-1: نمایش گرافیکی کریستال های فوتونیکی یک بعدی، دو بعدی وسه بعدی.

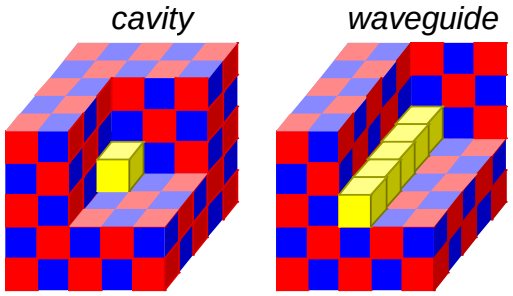
شکاف باندی چند جهتی[3] که به شکاف باند فوتونیکی کامل معروف می باشد، در این ساختار باندی ممکن است در بعضـی از ساختارها ظاهر شود. همانگونه که پر واضح است برای مواد نیمه هادی شکاف باندی[4] برای الکترون تعریف می شود، کـه در ایـن شکاف باندی الکترونی حق ندارد ظاهر شود به عبارتی دیگر هیچ الکترونی نمی تواند در این محدوده انرژی قرار گیـرد درکریسـتال های فوتونیکی نیز مشابه همین شکاف برای فوتون مشاهده می شود بدین صورت که یک یا چند حوزه فرکانسی ممکـن اسـت در این ساختارها به وجود بیاید که اجازه ورود نوری با این حوزه های فرکانسی را به داخل ساختار ندهد [9]. همانگونه کـه مـی دانـیم محدوده فرکانس کاری ادوات نوری برابر چندین ترا هرتز (THz) است. طراحان سیستم های نوری با استفاده از همین شکاف باند فوتونیکی، تکنولوژی جدیدی برای ایجاد نسل های بعدی ادوات نوری پیشنهاد می کننـد [10-11] . سـاختارهای کریسـتال هـای فوتونیکی دو بعدی در مقایسه با ساختارهای تک بعدی، دارای باند ممنوعه[5] کامل تر و وسیعتری هستند و از این جهت که پروسـه ساخت معینی برای آنها وجود دارد در طراحی ها بیشتر استفاده می شوند. به عنوان مثال در طراحی ادوات نوری مانند سوئیچ هـای

[1] Transfer Matrix Method
[2] Finite Domain Time Domain
[3] Omni Directional
[4] Band Gap
[5] PBG

نوری، مالتی پلکسر و دی مالتی پلکسرهای نوری از این نوع ساختارها بیشتر استفاده می شود [12-14]. روش آنالیز مناسب بـرای تحلیل این نوع ساختارها، روش FDTD است. درحالت کلی کریستال فوتونیکی با شکاف باند کامل(بدین معنی کـه اگـر نـوری در همه جهات به ساختار مذبور تابانده شود دارای شکاف متشابه ویکسان است)، ساختاری است که شامل اختلاف دی الکتریک بالا و تقارن انتقالی می باشند. در بسیاری از کاربردها با ایجاد نقص[1] باند ممنوعه در باند ساختاری را برای بعضی از مدها تعدیل می کننـد بدین معنا که اجازه عبور این مدها را در ساختار می دهدکه این نقص ها در کریستال های فوتونیکی به صورت های زیر قابل ایجاد است :

1) از بین بردن محلی از تناوب فضایی کریستال
2) حذف سطرهایی از ساختار کریستالی
3) معرفی سلول های دلخواهی که از لحاظ ضریب شکست یا شعاع سلولی، متفاوت از بقیه هستند.

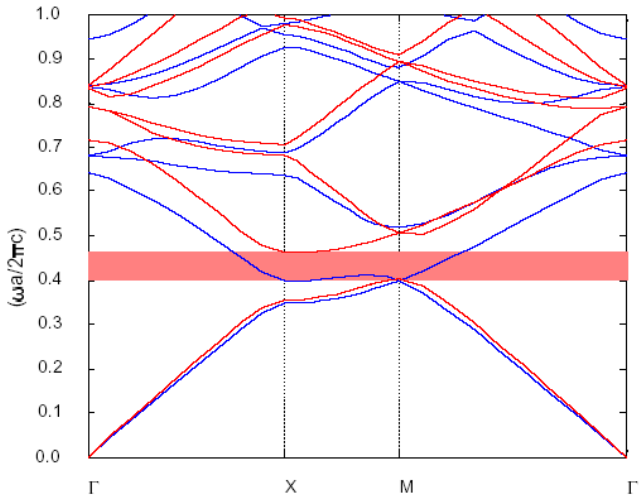
با ایجاد این نقص ها می توان به اهداف دیگری مانند طراحی موجبرهای نوری دسترسی پیدا کـرد. ، نمونـه ای از ایجـاد نقص جهت تحقق اهداف خاص در شکل (2-2) نشان داده شده است.



شکل2-2: کاربردهایی از نقص در کریستال های فوتونیکی.

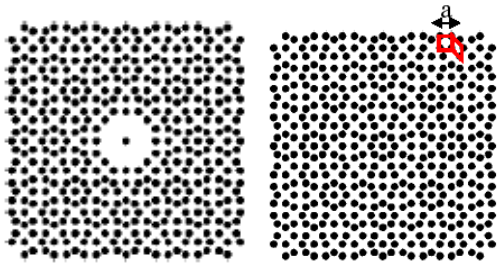
همانطور که ذکر شد این نقص ها باعث ایجاد مدهای مقید در ناحیه شکاف باند فوتونیکی مـی شـود. یکـی از مهمتـرین پارامترهای کریستال های فوتونیکی، ثابت شبکه[2] آنها است که مقدار عددی آن، کسری از طول موج نور ورودی به ایـن سـاختارها است که نزدیک به فرکانسهای مادون قرمز و برابر چندین میکرومتر می باشد. یکی از ویژگی های بسیار مهم ثابت شـبکه در ایـن است که اگر در یک ساختار معین با کریستال های فوتونیکی و ثابت شبکه معلوم، ابعاد ساختار با یک نرخ معـین تغییـر داده شـده[3] ولی ضرایب دی الکتریک بدون تغییر باقی بمانند، رفتار نوری ساختار ثابت باقی خواهد ماند و این بـرای طراحـی سـاختارها بسـیار مهم است. ساختارهای سه بعدی کریستال های فوتونیکی، در مقایسه با انواع دیگر، دارای باند ممنوعه کامل بـوده و از ایـن حیـث می توان از آنها برای حبس نور استفاده نمود [15-16] . البته باید بیان کرد که با ساختارهای دو بعدی و استفاده از خواص محفظـه نیز می توان به منظور حبس نور و طراحی حافظه های نوری بهره جست. اما امروزه ایراد اصـلی سـاختارهای سـه بعـدی دشـواری ساخت آنها می باشد. تحلیل ساختارهای فوتونیکی در حالت کلی در دو مد TE و TM انجام مـی گیـرد. در شـکل (2-3) منحنـی پاشندگی باند ممنوعه ساختار دلخواهی از کریستال فوتونیکی نشان داده شده است [17] . مدهای مجاز برای انتشار در مـد TE بـه رنگ قرمز و برای مد TM به رنگ آبی نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود برای مد TM مد مجاز برای انتشار در داخل ساختار وجود ندارد و این در حالیست که در مد TE در محدوده $0/46 \leq \quad /2 \quad \leq 0/4$ مدهای مجاز برای انتشـار در ساختاری با ثابت شبکه a برقرار است.

[1] Defect
[2] Periodicity
[3] Scaling Law



شکل 2-3: منحنی پاشندگی در مد TE (قرمز) و مد TM (آبی) در یک ساختار فوتونیکی با ثابت شبکه a.

از خانواده کریستال های فوتونیکی، شبه کریستال های فوتونیکی هستند که بستر جدیدی در ادوات تمام نوری می باشند، در شکل (2-4) نمونه ای از ساختارهای شبه پریودیک نشان داده شده است. یکی از مهمترین نکات در مورد شبه کریستال های فوتونیکی اینست که این ساختارها نیز مانند ساختارهای پریودیک دارای شکاف باند فوتونیکی می باشند. تحقیقاتی که منتشر شده نشان می دهند که شکاف های باند فوتونیکی برای ساختار دی الکتریک چند لایه مبتنی برسری فیبوناچی، شبه کریستال یک بعدی و آرایه ای شبه پریودیک از میله ها که به صورت دو بعدی قرار گرفته اند قابل مشاهده است. شکاف باند فوتونیکی کامل در انواع مختلف سیستم های شبه پریودیک پنج تایی(الگوی پنج ضلعی)، هشت تایی(الگوی هشت ضلعی)، ده تایی(الگوی ده ضلعی) و دوازده تایی(الگوی دوازده ضلعی)، با تقارن دورانی N تایی در مرکز الگو مشاهده شده است.



شکل 2-4: شبه کریستال های فوتونیکی هشت تایی.

امروزه از این ساختارها نیز استفاده های گسترده ای می شود، از جمله برای ساخت موجبرهای نوری مبتنی بر تشدید کننده کوپل شده CROW[1] استفاده می شود [18] . همچنین پدیده لنزینگ با استفاده از شبه کریستال های فوتونیکی به صورت تجربی و آزمایشگاهی، مشاهده شده است. به طور نوعی برای دستیابی به یک شکاف باند فوتونیکی کامل در ساختارهای پریودیک، موادی با ثابت دی الکتریک تقریبی بزرگتر از 4 بایستی به کار برده شود. در حالیکه در شبه کریستال های فوتونیکی، برای دستیابی به یک شکاف باند فوتونیکی کامل، نیازی به ثابت دی الکتریک بزرگ نیست. در مقایسه با کریستال های فوتونیکی پریودیک، شبه کریستال های فوتونیکی دارای حالت های نقصی، غنی تری بوده و قابلیت انتخاب طول موج درآنها بیشتر است. با توجه به نکات

[1] Coupled- resonator optical waveguide

اشاره شده، ادوات کاربردی مختلفی جهت طراحی با این نوع ساختارهای پریودیک قابل حصول است، از جمله موجبرهای نوری [19] ، جدا کننده به شکل Y[1]، فیلترهای حذف- اضافه تشدید[2]، سوپر لنز برای اهداف تصویر سازی و متمرکز سازی است.

2-1-2- ادوات مبتنی برفوتونیک کریستال ها وساختار های هم خانواده آن

با توجه به خواص منحصر بفرد کریستال ها و شبه کریستال های فوتونیکی، ادوات نوری مختلفی با استفاده از آنها ساخته می شوند. برای تحقق موضوع این پایان نامه یعنی دی مالتی پلکسر تمام نوری ساخته شده با کریستال های فوتونیکی، بلوک های مختلفی باید بررسی شوند که هر یک نقش خاص خود را در ساخت دی مالتی پلکسر ایفا خواهد کرد که از آن جمله، می توان به موارد زیر اشاره نمود:

1) موجبرهای نوری مبتنی بر کریستال ها و شبه کریستال های فوتونیکی
2) استفاده از نقص ها در ساختارهای فوتونیکی جهت اهداف خاص
3) فیلترهای حذف- اضافه تشدید پریودیک و شبه پریودیک
4) کوپلرهای نوری مبتنی بر کریستال های فوتونیکی
5) رزوناتورهای حلقوی نوری مبتنی بر کریستال های فوتونیکی
6) ساختارهای مبتنی بر پدیده Super Prism

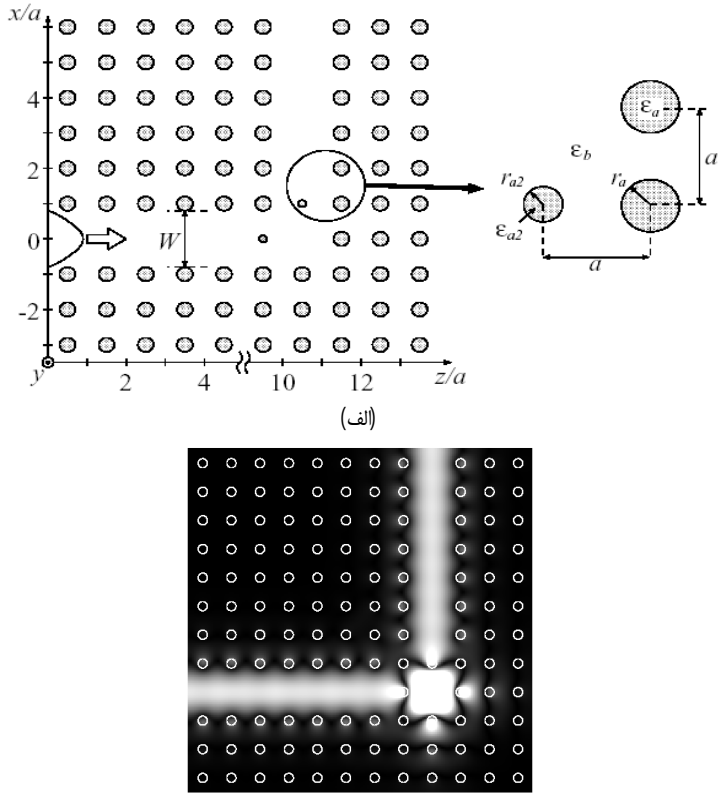
و نمونه های بسیار زیاد دیگری که با استفاده از کریستال ها و شبه کریستال ها قابل ساخت هستند.

2-1-2-1ادوات مبتنی برفوتونیک کریستال ها وساختار های هم خانواده آن

موجبرهای نوری[3] ساخته شده با کریستال های فوتونیکی، مانند موجبر مستطیلی شکل با حذف قسمتهایی از ساختار کریستال فوتونیکی، یا وارد نمودن نقصی به یک ساختار پریودیک یا شبه پریودیک ایجاد می شوند [20-21] . موجبرهای ایجاد شده در ساختارهای دو بعدی، نوعی موجبر دو بعدی هستند که ممکن است در ساختار موجود، هر راستای دلخواهی داشته باشند. به دلیل تقارن غیرانتقالی نمونه شبه کریستالی در ساختارهای شبه کریستال فوتونیکی، محل قرار گیری موجبر با توجه به مرکز ناحیه، یکی از پارامترهای مهم در طراحی است. بنابراین شکل، راستا و ثابت دی الکتریک موجبر و مکان قرارگیری آن در ساختار مورد نظر می تواند خواص هدایت نوری موجبر را تحت تاثیر قرار دهد. هر موجبری با توجه به پارامترهایی که در آن دخالت دارند دارای تعدادی مد مجاز برای انتشار است که اگر فقط یک مد خاص برای انتشار مجاز باشد آنرا تک مد[4] و اگر چندین مد مجاز وجود داشته باشد آنرا چند مد[5] می نامند [22-23]. موجبرهای نوری توسط کریستال ها و شبه کریستال های فوتونیکی قابل ساخت هستند. در ادوات نوری، موجبرهایی که دارای خم 90 درجه[6] هستند، کاربردهای فراوانی دارند. در شکل (2-5) نمونه ای از موجبر کریستال فوتونیکی نشان داده شده است. خاصیت موجبرهای با خم 90 درجه در این است که می توان با افزودن تعداد سلول های استوانه ای در محل خم، تلفات موجبر را به حد اقل مقدار ممکن رساند. همچنین به طور دقیق در محل خمش، می توان فرکانس تشدید[7] ایجاد کرد که این فرکانس برای انتخاب طول موج های خاصی از ورودی، می تواند ابزار مناسبی باشد [24-27].

---

[1] Y-Branch
[2] Add- Drop Filter
[3] Optical Waveguides
[4] Single Mode
[5] Multi Mode
[6] L- Shape Waveguide
[7] Resonant Frequency

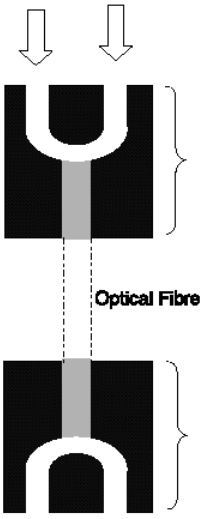


(الف)

(ب)

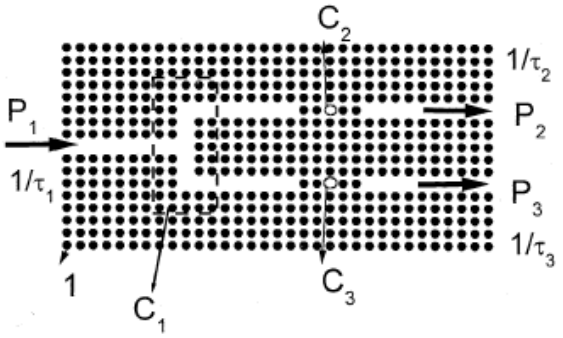
شکل 2-5: نمونه ای از موجبرهای کریستال فوتونیکی (الف) ساختار موجبر حاصل از حذف دی الکتریک های خاص (ب) نحوه انتشار نور در موجبر فوتونیکی[24].

موجبرهای نوری دارای این خاصیت هستند که می توان آنها را توسط فیبرهای نوری به یکدیگر کوپل نمود. شکل (2-6) دو موجبر نوری را نشان می دهد که توسط فیبر نوری به یکدیگر متصل شده اند.



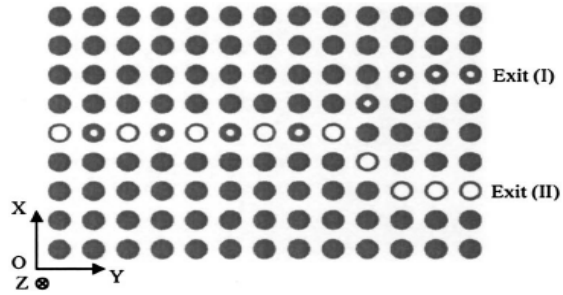
شکل 2-6 : کوپل موجبرهای نوری توسط فیبر نوری

موجبرهای نوری کاربردهای زیادی دارند، از جمله اینکه برای طراحی موجبرهای نوری به شکل Y[1] می تـوان از ترکیـب دو موجبر مطابق شکل (2-7) استفاده نمود. در این ساختار موج ورودی با مولفه های فرکانسی مختلف از پورت P_1 وارد ساختار شده و می توان طراحی را طوری انجام داد که در این ساختار نیز انتخاب طول موج های مطلوب در اندازه های مورد نظـر صـورت گیـرد. پورت های P_2 و P_3 نیز خروجی های این ساختار می باشند.



شکل2-7 : موجرنوری به شکل Y [28]

به عنوان نمونه موجبر شکل (2-8) را در نظر می گیریم، برای این موجبر به شکل Y ، تحلیل به روش FDTD انجـام شـده که نتایج آن نیز در شکل (2-9) نشان داده شده است[28].

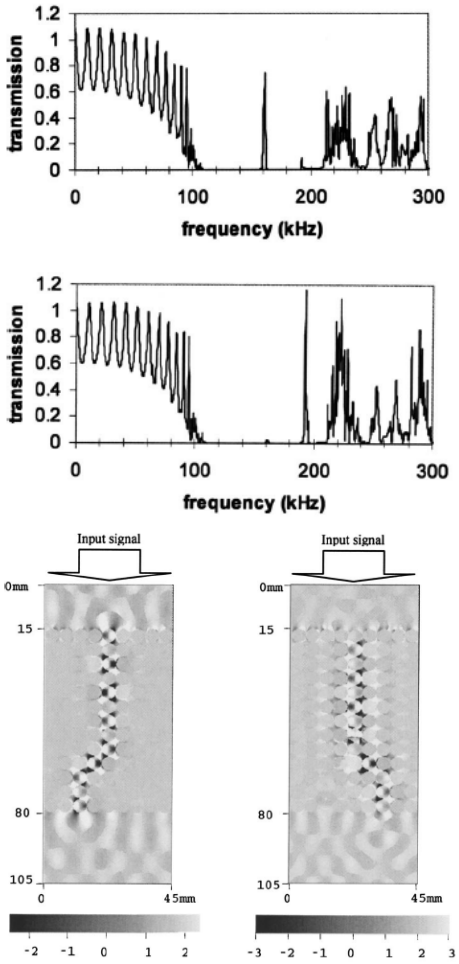


شکل 2-8 : موجبرY- Branch تحلیل شده به روش FDTD [28].

همانگونه که ملاحظه می شود ساختار طراحی شده دو بعدی بوده و راستای انتشار در جهت های x و y است. معادلات حاکم بر این ساختار معادلات ماکسول هستند که معادله موج با حل نمودن این معادلات حاصل شده و قابل تحلیل به روش های عـددی هستند. تحلیل در مد TE انجام شده است.

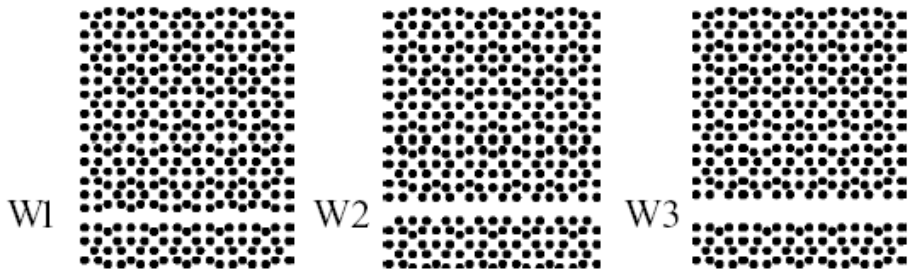
علاوه بر نقش کریستال های فوتونیکی پریودیک در طراحی موجبرها، شبه کریستال های فوتونیکی نیز بـرای طراحـی آنهـا امروزه به وفور به کار برده می شود. نمونه ای از این ساختارها در شکل (2-10) نشان داده شده است که روش آنالیز این سـاختارها نیز مانند ساختارهای پریودیک، روش FDTD است.

[1] Y- Branch



شکل 2- 9: مشخصه عبور ساختار شکل 2-8 [28].

موجبرها زمانی که با یک ایمپالس[1] به شکل گوسین تحریک می شوند و تبدیل فوریه آن به اندازه ای وسیع است که گستره فرکانسی مورد نظر ما را پوشش دهد. اختلالات دیواره های موجبر در صورت نا صاف بودن، طیف نور را مقید می نماید [29]. ایراد موجبرهای نوری طراحی شده با شبه کریستال های فوتونیکی، اینست که قرار دادن یک موجبر مستقیم با دیواره های صاف و منظم، کار ساده ای نیست. در انتخاب یک موجبر مناسب با شبه کریستال های فوتونیکی، تلاش می شود که دیواره های موجبر را تا جایی که ممکن باشد، صاف و منظم طراحی کنند تا وابستگی فرکانسی راندمان عبوری را کاهش دهند [31-30].



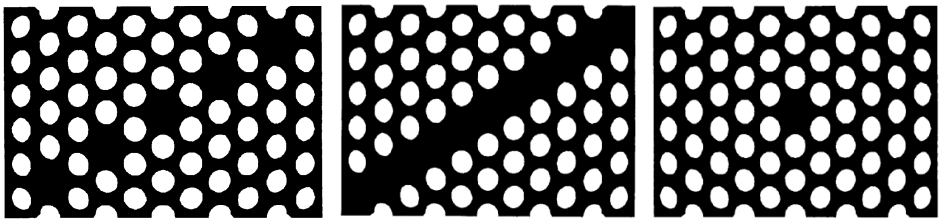
شکل 2-10 : موجبرهای ساخته شده با شبه کریستال های فوتونیکی[31]

[1] Impulse

2-1-2-2استفاده از نقص ها در ساختارهای فوتونیکی جهت اهداف خاص

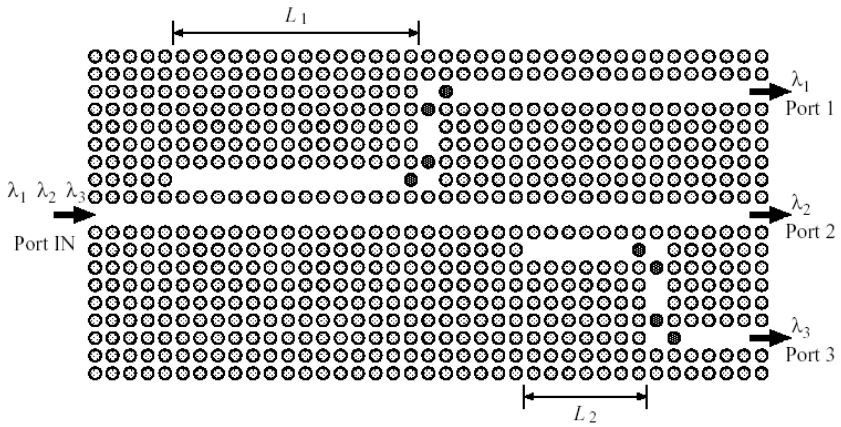
در این قسمت به منظور تحقق اهدافی مانند فیلترینگ و سوئیچینگ تمام نوری[1]، از نقص استفاده می شود. در تمامی این ساختارها، نقص ها مانند نقص های نقطه ای و نقص های خطی، موجب انحراف نور و ایجاد پدیده هایی مانند کوپلینگ نوری بین موجبرها می شود [32-34].نقص های ایجاد شده در ساختار کریستالی از نوع پریودیک یا شبه پریودیک، مدهای مقید را تحت تاثیر قرار داده و باعث ایجاد تغییراتی در ساختار باندی می شود. نقص های نقطه ای را به عنوان کاواک در ساختارها می نامند.

شکل (2-11) نحوه ایجاد نقص هارا توسط حذف نمودن بعضی ازسلول های کریستال فوتونیکی نشان می دهد.



شکل 2- 11: نحوه ایجاد نقص هادر ساختارهای پریودیک a) نقص نقطه ای b) نقص خطی c) ترکیب نقص نقطه ای- خطی[32]

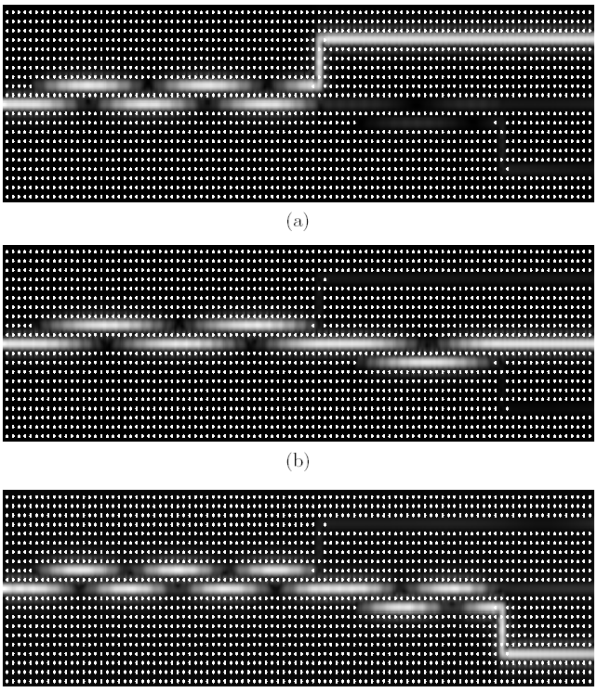
شکل (2-12) نمونه ای از کاربرد نقص هارا در موجبرهای نوری ساخته شده با کریستال های فوتونیکی را نشان می دهدکه توسط نقص ها ایجاد شده و نتایج آن درشکل (2-13) نشان داده شده است.



شکل 2-12 : نقص ها نقطه ای و خطی ساختار کریستالی پریودیک[33]

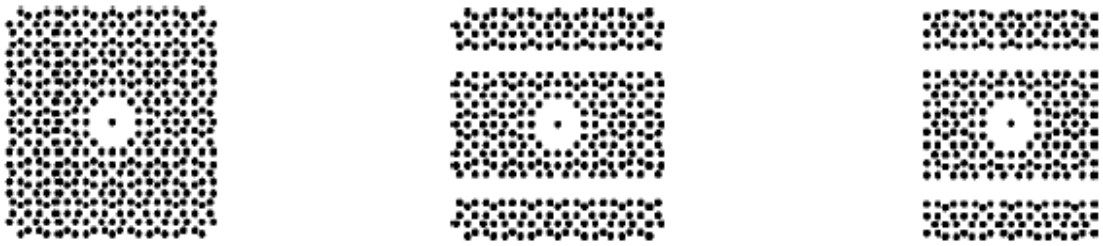
در این ساختار همانگونه که ملاحظه می شود نقص هایی ایجاد شده است که دارای ضرایب شکست و شعاع متفاوت با دیگر سلول های ساختار هستند.

[1] Full Optical Switching



شکل 2-13 : نتایج حاصل از آنالیز ساختار شکل 2-12 a) = – 2.66 b) = – 2.58 c) = – 2.72 – [33]

ایجاد نقص در ساختارهای شبه پریودیک نیز خاصیتی مشابه را دارا می باشد، با این تفاوت که تعداد مدهای مقید بیشـتری را تحت تاثیر قرار می دهد. روش آنالیز این ساختارهای دارای نقص، همان روش FDTD می باشد. شکل (2-14) نیـز سـاختار شـبه پریودیک دارای نقص های متفاوت را نشان می دهد.



شکل 2-14 : ساختارشبه پریودیک دارای نقص های نقطه ای، خطی ونقطه ای[31]

در شکل (2-15) ساختار شبه پریودیک کریستال فوتونیکی نشان داده شده است که نقص ها یی در نقاط d_1، d_2 و d_3 ایجاد شده است. این نقص ها مطابق شکل نشان داده شده باعث ایجاد مولفه های عبوری در نقاط ذکر شده فوق می شود.