پردیس بین المللی ارس

پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی

گروه فوتونیک

پایان نامه :

کارشناسی ارشد برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فوتونیک- مخابرات

عنوان :

بررسی نظری کنترل پاشندگی فیبرهای بلور فوتونی درمحدوده طول موج مخابراتی

اساتید راهنما :

دکتر سعید شجاعی

دکتر رضا خردمند

پژوهشگر:

سارا تقی لو

بهمن ۹۳

"هوالحق"

سپاس خدایی را که به هر انسانی سپری از تنهای بخشیده است تا هرگز فراموشش نکند.

با امتنان بیکران از مساعدت های استاد محترم جناب آقای دکترسعید شجاعی که از ابتدای راه و در طی انجام این تحقیق، با راهنمائی‌های خود مرا در نگارش این اثر یاری نمودند و همچنین آقای دکتر رضا خردمند که استاد راهنمای دوم اینجانب در تهیه و گردآوری این پایان نامه بودند.

با سپاس فراوان خدمت آقای دکتر علیایی فر که با حسن خلق و دقت نظر خاص در تمامی مراحل به خصوص به کارگیری نرم افزارها و معرفی منابع متعدد از هیچ کمکی دریغ ننموده و با راهنمایی های بجایشان نقش بسزایی در تهیه این مجموعه داشتند.

سپاس آخر را به مهربانترین همراهان زندگیم، پدر، مادر و همسر عزیزم تقدیم می کنم که حضورشان در فضای زندگیم مصداق بی ریای سخاوت بوده است.

و در خاتمه از تمامی دوستان ارجمندم که بر هر نحوی مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند، قدردانی وتشکر می نمایم.

تقدیم به :

روح آسمانی پدر بزرگوارم که همواره یادش نور امید به زندگی را می تاباند و آفتاب مهرش در آستانه قلبم، همچنان پابرجاست و هرگز غروب نخواهد کرد.

مادر مهربانم، دریای بی کران نور و هستی که همواره چراغ وجودش روشنگر راه من در سختی ها و مشکلات بوده است.

همسر عزیزم که در تمامی لحظات با همدلی و صمیمیت رفیق راه من بوده است.

نام خانوادگی دانشجو : تقی لو **نام:** سارا

عنوان پایان نامه: بررسی نظری کنترل پاشندگی فیبرهای بلور فوتونی درمحدوده طول موج مخابراتی

اساتید راهنما : دکتر سعید شجاعی، دکتر رضا خردمند

مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد **رشته** : فوتونیک **گرایش** : مخابرات

دانشگاه : تبریز (پردیس بین المللی ارس) پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی

تاریخ فارغ التحصیلی: بهمن ۱۳۹۳ تعداد صفحه: ۹۷

کلید واژه : بلور فوتونی ، فیبر بلور فوتونی ، پاشندگی.

چکیده:

فیبرهای نوری عادی مهمترین و کلیدی ترین جزء شبکه های مخابرات نوری می باشند که به دلیل اهمیت روزافزون انتقال اطلاعات در سراسر دنیا هنوز تحقیقات و مطالعات وسیعی روی بهبود طراحی و کارایی فیبرهای نوری در شبکه های مخابراتی صورت می گیرد که فیبرهای بلور فوتونی به علت خواص نوری فوق العاده شان می باشند و منجر به تحولات وسیعی درعرصه صنعت مخابرات و همچنین ساخت قطعات نوری در ابعاد نانو شده اند.

فیبرهای بلور فوتونی بر اساس خواص مواد بلور فوتونی ساخته می شوند و ترکیبی از خواص فیبرهای نوری عادی و بلورهای فوتونی را دارا می باشند که این خواص مهم منجر به گسترش کاربردهای فراوان این فیبرها در صنایع مختلف و به خصوص صنعت مخابرات شده است. این فیبرها مانند فیبرهای معمولی دارای هسته و غلاف هستند. برخی دارای هسته توپر از جنس سیلیکا و یا دارای هسته هوایی هستند و غلافشان از شبکه های بلور فوتونی تشکیل شده است .

در این تحقیق پس از معرفی فیبرهای بلور فوتونی و بررسی ویژگی آنها با استفاده از روش تفاضل متناهی در حوزه زمان و نرم افزار mode solution خواص پاشندگی بلور فوتونی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. از آنجاکه بررسی ما محدود به طول موجهای مخابراتی می باشد و فیبرهای هسته تهی با توجه به خواص ویژه شان بیشترین کاربرد را در عرصه مخابرات دارند، مطالعه خود را بر روی این نوع فیبرها برای شبکه شش ضلعی و شبکه مربعی متشکل از حفره های هوا در زمینه دی الکتریک انجام داده ایم و نشان داده شده است که با تغییر پارامترهای متعدد هندسی و غیره از جمله ثابت شبکه، شعاع هسته وحفره های ناحیه پوشش، شکل حفره های ناحیه پوشش و ضریب شکست ماده زمینه می توان پاشندگی فیبر را محدود کرده و به رفتار بسیار تخت آن حول طول موج مخابراتی ۱/۵۵ μm دست یافت.

فهرست مطالب

مقدمه کلی ۱

فصل اول: بررسی منابع ۳

۱-۱ مقدمه ۴

۱-۲مفاهیم اولیه ۸

۱-۲ ثابت شبکه ۸

۱-۲-۲ تباین ضریب شکست (δ) و مقیاس پذیری ۹

۱-۲-۳ ضریب شکست موثر (n_{eff}) و کسر پرشدگی(f) ۱۰

۱-۳ دسته بندی بلورهای فوتونی ۱۱

۱-۳-۱ بلورفوتونی یک بعدی ۱۱

۱-۳-۲ بلورفوتونی دوبعدی ۱۳

۱-۳-۴ بلورفوتونی سه بعدی ۱۸

۱-۳-۵ نقص دربلورهای فوتونی ۱۶

۱-۴ موجبرها ۲۰

۱-۴-۱ موجبرمعمولی ۲۰

۱-۴-۲ موجبرهای بلورفوتونی ۲۲

۱-۵ فیبرهای بلورفوتونی ۲۴

۱-۵-۱ تاریخچه ۲۴

۱-۵-۲ **معرفی** ۲۶

۱-۵-۳ ویژگی ها ۲۹

۱-۵-۴ غیر خطیت ۳۱

۱-۵-۵ پاشندگی ۳۱

۱-۵-۶ پاشندگی ماده ۳۳

۱-۵-۷ پاشندگی موجبری ۳۳

۱-۵-۸ پاشندگی سرعت گروه (GVD) ۳۵

۱-۵-۹ جبران سازی پاشندگی ۳۶

۱-۵-۱۰فیبرهای بلور فوتونی با پاشندگی تخت شده ۳۷

۱-۵-۱۱طراحی و ساخت ۳۷

۱-۵-۱۲ پارامترهای مهم در طراحی و ساخت ۳۸

فهرست مطالب

فصل دوم: مبانی و روشها

۲-۱ ساختار بلورفوتونی ۴۱

۲-۱-۱ تفرق براگ ۴۴

۲-۱-۲ مفهوم باند توقف ۴۶

۲-۱-۳ فضای مستقیم و معکوس ۴۷

۲-۱-۴ تقارن و قضیه بلاخ ۴۹

۲-۲ روشهای عددی محاسبه ساختارنواری ۵۱

۲-۲-۱ روشهای عددی درحوزه بسامد ۵۲

۲-۲-۲ روش بسط امواج تخت PWE ۵۴

۲-۲-۳ روشهای عددی درحوزه زمان ۶۰

۲-۲-۴ روش تفاضل متناهی FDTD ۶۱

۲-۳ روشهای نرم افزاری ۶۶

۲-۳-۱ نرم افزارComsol ۶۶

۲-۳-۲ نرم افزارRsoft CAD ۶۶

۲-۳-۳ نرم افزار Mode solution ۶۷

فصل سوم : بحث و نتیجه گیری

۳-۱ مقدمه ۷۰

۳-۲ طراحی فیبر بلور فوتونی ساختار شش ضلعی ۷۲

۳-۳ ارزیابی پاشندگی در فیبر بلور فوتونی ۷۴

۳-۳-۱ جاروب شعاع هسته ۷۴

۳-۳-۲جاروب ثابت شبکه شش ضلعی ۷۷

۳-۳-۳ جاروب شعاع حفره‌های ناحیه پوشش ۷۹

۳-۳-۴ تبدیل حفره های دایروی ناحیه هسته به بیضوی ۸۱

۳-۳-۵ جاروب ضریب شکست ماده زمینه ۸۴

۳-۳-۶ ساختار بهینه برای فیبر بلور فوتونی شش ضلعی ۸۷

۳-۳-۷ ساختار بهینه برای فیبر بلور فوتونی مربعی ۸۸

نتیجه گیری کلی ۹۲
پیشنهادات ۹۳
منابع ۹۵

فهرست شکل ها

فصل اول :

شکل(۱-۱): نمونه هایی از بلورهای فوتونی که در طبیعت یافت شده اند . ۴
شکل(۱-۲): بلور فوتونی یک بعدی و پاسخ آن به دو طول موج متفاوت ۵
شکل(۱-۳): نمایش طرح وار از بلورهای فوتونی یک، دو و سه بعدی، ۸
شکل(۱-۴): : ساختار باند فوتونی برای یک بلور فوتونی یک بعدی ۹
شکل(۱-۵): بلور فوتونی دو بعدی(2D) با شبکه مربعی و میله های دایروی ۱۰
شکل(۱-۶): ساختار باند فوتونی برای یک بلور فوتونی دو بعدی ۱۲
شکل(۱-۷): ساختار باند بلور فوتونی برای دو مد TEو TM ۱۴
شکل(۱-۸): یک نمونه بلور فوتونی سه بعدی ۱۵
شکل(۱-۹): نمایش طرح وار از انواع مختلف نقص در بلور فوتونی دو بعدی ۱۶
شکل(۱-۱۰): نحوه انتشار موج در داخل موجبر معمولی ۱۸
شکل(۱-۱۱): اتلاف نور در داخل انتهای خمیده موجبر ۱۸
شکل(۱-۱۲): موجبر بلور فوتونی ۱۹
شکل(۱-۱۳): موجبرهای خمیده ایجادشده در داخل بلور فوتونی ۲۰
شکل(۱-۱۴): دو نوع فیبر بلورفوتونی. الف) فیبر هسته سیلیکا ب) فیر هسته هوا ۲۳
شکل(۱-۱۵): فیبر براگ ۲۴
شکل(۱-۱۶): فیبر سوراخ دار ۲۴
شکل(۱-۱۷): فیبر هسته پر سوراخ دار ۲۵

فصل دوم :

شکل(۲-۱): نمایش دو هندسه پایه بلور فوتونی دو بعدی (مربعی و مثلثی) ۳۸
شکل(۲-۲): تقارن دورانی و سلول واحد در بلورهای فوتونی دوبعدی ۳۸
شکل(۲-۳): بلورهای فوتونی با ساختار گرافیت و براگ ۳۹
شکل(۲-۴): : : تداخل سازنده و غیر سازنده موج بازتاب شده از آرایه ای از بازتاب کننده های (غیر کامل) موج ۴۰
شکل(۲-۵): : بازتابش براگ یک موج تخت که به طور مایل با صفحات یک بلور برخورد می کند. ۴۱
شکل(۲-۶): سه بردار $\overrightarrow{a_1}$ و$\overrightarrow{a_2}$ و$\overrightarrow{a_3}$ نقاط شبکه بلور را می سازند. ۴۳

فهرست شکل ها

فصل سوم :

شکل(۳-۱): ساختار فیبر بلور فوتونی ساخته شده توسط شرکت NKT Photonics ۶۶

شکل(۳-۲): ساختار طراحی شده فیبر بلور فوتونی هسته تهی ۶۸

شکل(۳-۳): مد اصلی هدایتی در ساختار طراحی شده در طول موج ۱/۵۵ با شعاع هسته۳۰ و پوشش ۸ میکرومتر . ۶۸

شکل(۳-۴): ارزیابی پاشندگی فیبر توسط تغییر شعاع هسته ۷۰

شکل(۳-۵) : مد اصلی هدایتی به دست آمده از ارزیابی پاشندگی فیبر توسط تغییر شعاع هسته فیبر ۷۱

شکل(۳-۶) : ارزیابی پاشندگی فیبر توسط تغییر اندازه ثابت شبکه ۷۲

شکل(۳-۷): مد اصلی هدایتی به دست آمده از ارزیابی پاشندگی فیبر توسط تغییر اندازه ثابت شبکه ۷۳

شکل(۳-۸): ارزیابی پاشندگی فیبر توسط تغییر شعاع حفره های ناحیه پوشش ۷۴

شکل(۳-۹): مد اصلی هدایتی به دست آمده از ارزیابی پاشندگی فیبر توسط تغییر اندازه حفره های ناحیه پوشش ۷۵

شکل(۳-۱۰): ارزیابی پاشندگی فیبر توسط شعاع افقی حفره هسته.(Ra) ۷۷

شکل(۳-۱۱): ارزیابی پاشندگی فیبر توسط شعاع عمودی حفره هسته.(Rb) ۷۸

شکل(۳-۱۲): مد اصلی هدایتی به دست آمده از ارزیابی پاشندگی فیبر توسط تبدیل هندسه دایروی هسته به بیضوی ۷۹

شکل(۳-۱۳) : ارزیابی پاشندگی فیبر توسط تغییرات ضریب شکست ماده زمینه ۸۰

شکل(۳-۱۴): مد اصلی هدایتی به دست آمده از ارزیابی پاشندگی فیبر توسط تغییر ضریب شکست ماده زمینه ۸۱

شکل(۳-۱۵): ساختار بهینه شده فیبر بلور فوتونی هسته تهی شبکه شش ضلعی طی مراحل ۱ تا ۵ ۸۲

شکل(۳-۱۶): مد اصلی هدایتی به دست آمده برای ساختار بهینه شده شبکه شش ضلعی طی مراحل ۱ تا ۵. ۸۳

شکل(۳-۱۷): ساختار شبکه مربعی فیبر بلور فوتونی هسته تهی ۸۴

شکل(۳-۱۸): مد اصلی هدایتی به دست آمده برای ساختار بهینه شده شبکه مربعی فیبر بلور فوتونی هسته تهی ۸۵

مقدمه :

امروزه تجهیزات و فناوریهای نوری یکی از مهمترین پایه های پیشرفت صنعت مخابرات بشمار می روند و به عنوان عملی ترین راه برای حل مشکل محدودیتهای باند پهن فناوریهای الکترونیکی مطرح شده اند و شبکه های ارتباطی نوری به سرعت در حال رشد و جایگزینی شبکه های ارتباطی مسی می باشند.

فیبرهای نوری جزء اصلی و کلیدی شبکه های مخابرات نوری می باشند و به دلیل اهمیت روزافزون انتقال اطلاعات در سراسر دنیا هنوز تحقیقات و مطالعات وسیعی روی بهبود طراحی و کارایی فیبرهای نوری در شبکه های مخابراتی صورت می گیرد که یکی از مهمترین نتایج این تحقیقات ظهور بلورهای فوتونی و در نتیجه آن فیبرهای بلور فوتونی می باشند که موجب تحول وسیعی درعرصه صنعت مخابرات و همچنین ساخت قطعات نوری در ابعاد نانو شده اند.

بلورهای فوتونی طبقه خاصی از ساختارهای متناوب از دی الکتریک ها با ضریب شکستهای متفاوت هستند و مهمترین تاثیر این تناوب ایجاد محدوده هایی پیوسته و کران دار می باشد که در آنها امکان انتشار موج وجود ندارد و به این نواحی باند گاف فوتونی یا نوار ممنوع می گوییم. شکل هندسی بلور فوتونی و ثابت دی الکتریک های تشکیل دهنده آن خواص اپتیکی بلور را معین می کند. با تغییر این دو پارامتر می توان نواحی مجاز و ممنوع فرکانسی برای انتشار نور را به دست آورد. این نواحی فرکانسی وابسته به مقیاس نیز هستند. کاهش اندازه سلول اولیه بلور متناوب باعث می شود کل ناحیه فرکانسی به فرکانس های بالاتر منتقل گردد. نتیجه خاصیت اخیر در این است که امکان طراحی بلور فوتونی از ناحیه میکروویو به نواحی مرئی و مادون قرمز فراهم می شود و از جمله کاربرد های آن می توان به ساخت فیبرهای بلور فوتونی اشاره کرد.

فیبرهای بلور فوتونی بر اساس ترکیبی از خواص فیبرهای نوری عادی و بلورهای فوتونی ساخته شده اند که این خواص مهم منجر به گسترش کاربردهای فراوان این فیبرها در صنایع مختلف و به خصوص صنعت مخابرات شده است. در راستای اهمیت کاربردهای جالب و متفاوت فیبرهای بلور فوتونی که دارای خواص نوری فوق العاده ای هستند ، پیشرفتهای قابل ملاحظه ای برای طراحی و ساخت این دسته از فیبرها انجام یافته است . ازجمله مشخصه های جالب طراحی فیبرهای بلور فوتونی امکان کنترل پاشندگی این نوع فیبرها توسط ایجاد تغییراتی در شعاع حفره ها ، ثابت شبکه و ... می باشد.

این پایان نامه از سه فصل تشکیل شده است که در فصل اول مفاهیم پایه ای بلورهای فوتونی، نقص در بلور، فیبرهای بلور فوتونی و ویژگیهای آنها معرفی شده است. همچنین به علت اینکه هدف اصلی در این تحقیق کنترل پاشندگی فیبرهای بلور فوتونی می باشد به توصیف عوامل موثر در کنترل پاشندگی نیز پرداخته شده است. در فصل دوم برای آنالیز و بررسی پاشندگی در فیبرهای بلور فوتونی به معرفی برخی روش های تحلیل بلورهای فوتونی اعم از روش های عددی و نرم افزاری در حوزه زمان و فرکانس پرداخته ایم. در فصل سوم نیز با استفاده از نرم افزار mode solution که بر اساس روش عددی FDTD در حوزه فرکانس عمل می کند، عوامل موثر بر پاشندگی فیبرهای بلور فوتونی از جمله شعاع حفره ها، ثابت شبکه، شعاع حفره‌های ناحیه پوشش، تغییر شکل حفره ها و ضریب شکست ماده زمینه را برای دستیابی به یک ساختار بهینه با کمترین میزان پاشندگی در شبکه شش ضلعی را بررسی کرده و در انتها نتایج به دست آمده در شبکه مربعی نیز جایگزین و بررسی شده است.

فصل اول :
بررسی منابع

۱-۱ مقدمه

بسیاری از پیشرفت های غیرمنتظره در تکنولوژی ناشی از درک عمیق تر از خواص مواد است. پیشرفت اجداد ما از عصر سنگی به عصر آهن داستانی از افزایش قدرت تشخیص بشر در استفاده از مواد طبیعی است. فناوری دنیای امروز ما بیشتر با الکترونها و نیمه هادی ها ارتباط پیدا می کند. بیشتر دستگاه ها و ابزارهایی که هر روز از آنها استفاده می کنیم مانند کامپیوتر، موبایل، رادیو و غیره از نیمه هادی و فلزات ساخته شده اند که حامل های بار و اطلاعات در آنها، الکترون و حفره می باشند . الکترون ها برای انتقال اطلاعات دارای حداکثر سرعتی در حدود $۱۰^{۵}$ m/s در نیمه هادیها و یا فلزات هستند که این در مقایسه با سرعت نور در محیط های گوناگون که درحدود $۱۰^{۸}$ m/s است بسیار کمتر می باشد . اگر برای انتقال اطلاعات از نور به جای الکترون استفاده کنیم، می توان دستگاه هایی تا هزار برابر سریعتر ساخت. درقطعات الکترونیکی امروزی برای انتقال و کنترل الکترونها که همان حامل های اطلاعات هستند از بلورهای منظم نیمه هادی و فلزات استفاده می شود. بلورهای فوتونی مشابه اپتیکی نیمه هادی ها بوده و مانند قطعات الکترونیکی معمولی، بلورهایی با آرایش منظم از موادی هستند که با استفاده از آنها می توان عبور نور را تحت کنترل در آورد. بلورهای فوتونی از نظر فیزیک، ساختار و نحوه تاثیر آنها بر حامل های اطلاعات کاملا مشابه بلورهای الکترونی معمولی می باشند با این تفاوت که حامل اطلاعات دیگر الکترونها نبوده بلکه نور است و از طرفی دیگر عامل تکرار شونده در بلور به جای پتانسیل اتمها یا مولکولها، ثابت دی الکتریک مواد تشکیل دهنده بلور فوتونی است .

در بلور فوتونی ضریب دی الکتریک متناوب نقش پتانسیل متناوب در نیمه هادی ها را بازی می کند .چنانچه ثابت های دی الکتریک این مواد در بلور به اندازه کافی متفاوت و جذب نور در ماده حداقل مقدار را داشته باشد، بسیاری از پدیده هایی که پتانسیل اتمی برای الکترونها به علت پراکندگی از سطح مشترک به وجود می آورد، به طور مشابه ثابت دی الکتریک برای مدهای فوتونی ایجاد خواهد کرد و در نتیجه بلورهای فوتونی نیز همانند نیمه هادی ها (بلورهای الکترونی) دارای گاف فوتونی خواهند بود که در آنها امکان انتشار موج وجود ندارد و فوتونها بسته به طول موجشان می‌توانند از درون بلور فوتونی عبور کنند یا منعکس شوند . بنابراین یک پاسخ برای مسئله کنترل نور و دستکاری آن بلور فوتونی می باشد و بشر قادر است بلورهای فوتونی با گاف های نواری فوتونی بسازد و یا طراحی کند که از انتشار نور در انرژی های خاص و در راستاهای خاص جلوگیری کند و بدین وسیله به پیشرفتهای تکنولوژی جدیدی دست یابد و دامنه مطالعات در زمینه مهندسی گاف نواری فوتونی، بلورهای فوتونی تنظیم پذیر، بلورهای فوتونی فلزی ، موجبرها و فیبرهای بلور فوتونی افزایش یابد.

به عبارت ساده بلورهای فوتونی نانوساختارهایی متناوب و منظم از دی الکتریک‌ها با ضریب شکستهای متفاوت هستند و مهمترین تاثیر این تناوب ایجاد محدوده هایی پیوسته و کران دار می باشد که در آنها امکان انتشار موج وجود ندارد به این نواحی (محدوده ها) شکاف باند فوتونی یا نوار ممنوع می گوییم .

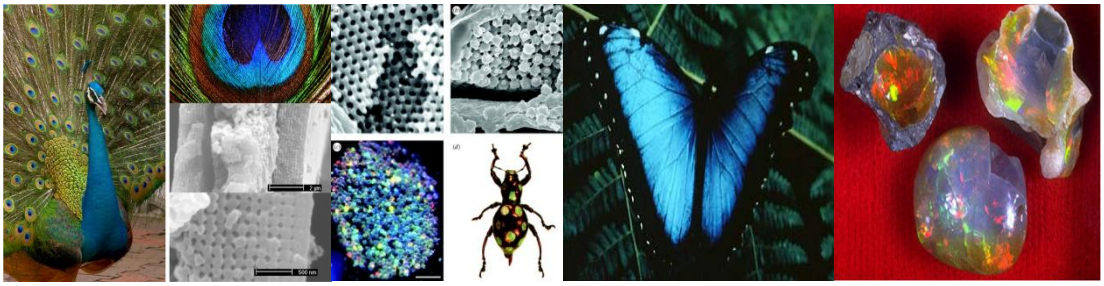
در سال ۱۹۸۷ دو مقاله مهم ، توسط یابلانوویچ[۱] [۱] (در مرکز تحقیقات مخابراتی بل- آمریکا) و جان[۲] [۲] (در دانشگاه پرینستون -آمریکا) چاپ شد . یابلونوویچ بیان کرد که این ساختارهای دی الکتریک متناوب سه بعدی می توانند دارای یک ناحیه ممنوعه فرکانسی (گاف نوار فوتونی) باشند . او همچنین در مقاله خود بیان کرد که توسط این ساختارها می توان از نشر خود بخودی ناخواسته موجود در نیمه هادی ها جلوگیری کرد. از آنجائیکه هیچ حالت فرکانسی در داخل گاف نوار فوتونی وجود ندارد با قرار گرفتن فرکانسهای نشر خود به خودی در داخل گاف نوار فوتونی ، می توان این نشر را بطور موثری کنترل کرد. در سال ۱۹۸۹ نام بلور فوتونی برای این نوع ساختارهای مصنوعی، که در آزمایشگاه ها توسط محققین ساخته می شدند، در نظر گرفته شد .یابلونوویچ نشان داد که می توان به وسیله ایجاد نقص[۳] در بلورهای فوتونی مدها را جایگزیده کرد . اما در تحقیق دیگری، جان جایگزیدگی قوی فوتون ها را در ابرشبکه های دی الکتریک بی نظم[۴] مورد بحث قرار داده بود . تحقیقات در زمینهٔ بلورهای فوتونی و شکاف نواری فوتونی به منظور کنترل نور در سراسر دنیا گسترش یافته و ادامه دارد.

مطالعه بر روی بلورهای فوتونی سه بعدی با سرعت بسیار پایین تری نسبت به بلورهای فوتونی دو بعدی در حال پیشرفت بوده است. بلورهای فوتونی سه بعدی، سادگی روشهای ساخت و تولید موجود در صنعت نیمه رساناها را به ارث نبرده اند . البته تلاش هایی در این زمینه برای تطابق در بعضی موارد انجام گرفته است که از جمله آنها توده چوبی که بر اساس یک ساختار لایه به لایه ساخته شده است می باشد .

[1]- Yablonovitch
[2]- John
[3] - Defect
[4] - Disordered dielectric superlattices

دسته دیگری از تلاش ها برای ساخت بلورهای فوتونی سه بعدی در زمینه بلورهای خود ساخته است. اساس کار این روش، غوطه ور سازی نوعی کره های دی الکتریک نانومتری در درون محلولی با ساختار تناوبی سه بعدی که دارای یک باند گاف کامل است، می باشد. اولین نمونه مشاهده شده این روش در سال ۲۰۰۰ در دانشگاه تورنتو کانادا انجام شد[۲].

از طرفی بررسی های انجام شده در طبیعت نشان می دهد که بلورهای فوتونی به صورت طبیعی نیز در اطراف ما وجود دارند و به طور خاص می توان از نوعی سنگ به نام اوپال[5] نام برد که در واقع یک بلور فوتونی است. مورد دیگری از بلورهای فوتونی در شکل (۱-۱) نشان داده شده است .



شکل ۱-۱ : نمونه هایی از بلورهای فوتونی که در طبیعت یافت شده اند .
به ترتیب از رست به چپ: سنگ اوپال - پروانه مورفو - سوسک برزیلی - پر طاووس [۳]

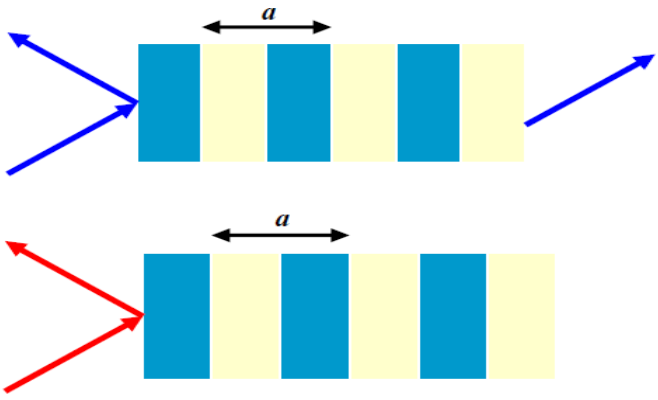
[5] - Opal

۱-۲ مفاهیم اولیه

۱-۲-۱ ثابت شبکه (a)

بلور فوتونی را می توان به صورت یک محیط با خواص اپتیکی متناوب تعریف کرد که میزان گذردهی و انعکاس آن به شدت وابسته به طول موج می باشد. شکل (۱-۲) یک محیط اپتیکی متناوب را نشان می دهد که در آن قسمتهای تیره دارای ضریب گذردهی الکتریکی ε و ضریب گذردهی مغناطیسی μ همگن و متفاوت نسبت به قسمتهای روشن هستند به این ترتیب که ضریب گذردهی برای نور آبی بزرگتر از صفر و برای نور قرمز تقریبا صفر می باشد. در این شکل a ثابت شبکه یا دوره تناوب نامیده می شود و نمایان گر حداقل فاصله طول فضایی است که ساختار شبکه در آن تکرار می شود و گستره طول موجهای طیف نوری که بلور فوتونی در آن کار می کند متناسب با ثابت شبکه خواهند بود[۴].

$$\varepsilon(x) = \varepsilon(x+a) \qquad (۱-۱)$$



شکل ۱-۲ : بلور فوتونی یک بعدی و پاسخ آن به دو طول موج متفاوت[۵].

۱-۲-۲ تباین ضریب شکست[۶] (δ)

این مقدار یک تصور کلی از قدرت پراکندگی یک بلور، که از دو نوع ماده دی الکتریک تشکیل شده است را ارائه می دهد. این پارامتر به صورت نسبت ضریب شکست ماده با ثابت دی الکتریک بالا(n_h) به ضریب شکست ماده با ثابت دی الکتریک پایین (n_l) ، $\delta = \frac{n_h}{n_l}$ تعریف شده است.

مقیاس پذیری[۷]

یکی از مشخصه های جالب بلورهای فوتونی این است که مقیاس های طول پایه با مقادیر ثابت دی الکتریک مطلق در معادلات وجود ندارند. جواب مسئله در یک مقیاس طولی معین، جواب هایی را در تمام مقیاس های طولی دیگر مشخص می کند. ناحیه طیفی که در آن خواص نوری بلورهای فوتونی مشاهده شده اند، تنها به مواد دی الکتریک تشکیل دهنده بلور و فاکتور پرشدگی آنها و به طور مستقیم به ثابت شبکه، وابسته می باشد. بنابراین فرکانس ω معمولا با ثابت شبکه نرمالیزه می شود و اگر بقیه ویژگی های بلور فوتونی تغییر نکند، کمیت ωa ثابت باقی می ماند. این بدین معناست که اگر ثابت شبکه دو برابر شود فرکانس مد، نصف خواهد شد.

[6]- Refractive index contrast
[7]- Scalability

۱-۲-۳ ضریب شکست موثر[8] (n_{eff})

به صورت میانگین ضریب شکست لایه های دی الکتریک تشکیل دهنده بلور می باشد. همانطور که برای پارامتر ثابت شبکه داشتیم، گستره طول موج های طیف نوری که بلور فوتونی در آن کار می کند n_{eff} خواهد بود و به صورت $\beta = n_{eff} \frac{2\pi}{\lambda}$ تعریف می گردد.

کسر پرشدگی[9] (f)

عبارت است از مقدار نسبی مواد ترکیبی، که واحدهای ساختاری شبکه را تشکیل می دهند. در واقع کسر پرشدگی برای یک سلول اولیه به صورت نسبت مساحت حفره ها به مساحت کل سلول تعریف می گردد که این نسبت در شبکه های گوناگون با هندسه های مختلف مقادیر متفاوتی خواهد داشت برای مثال در شبکه مربعی با حفره های دایروی توسط (Guo,2003) [۶] به شکل زیر تعریف شده است:

$$f = \frac{\pi {r_a}^2}{a^2} \qquad (۲-۱)$$

به منظور بررسی تاثیر کسر پرشدگی بر باند گاف فوتونی ، ساختار باند به صورت تابعی از ثابت شبکه و شعاع حفره ارزیابی می گردد.

[8]- Effective refractive index
[9]- Filling fraction