بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيمِ

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تربیت معلم آذربایجان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته فیزیک اتمی مولکولی(گرایش اپتیک- لیزر)

مطالعه خواص گاف نواری بلورهای فوتونی شامل لایه نقص ابررسانا

استاد راهنما:

دکتر کاظم جمشیدی

استاد مشاور:

دکتر عبدالرحمن نامدار

پژوهشگر:

حسین مهدی زاده

اسفند ۱۳۸۹

تبریز/ایران

تشکر و قدر دانی

اینک که به لطف و یاری خداوند متعال موفق به اتمام این کار شده ام، جادارد که از زحمات وتلاشهای استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر کاظم جمشیدی قلعه ونیز استاد مشاور گرامی، جناب آقای دکتر عبدالرحمن نامدار،کمال تشکر و قدردانی را به عمل آورده وهمچنین از تمامی اساتید گرامی که افتخار شاگردی آنها را داشته ام،ونیز مدیرمحترم گروه فیزیک جناب آقای دکتر یحیی اکبری صمیمانه سپاس گذاری می کنم.

از خداوند متعال برای تمام عزیزانی که مرا در تهیه وتنظیم این کار یاری نمودند آرزوی توفیق روز افزون وسعادت را دارم.

حسین مهدیزاده

اسفند۱۳۸۹

فهرست مطالب

چکیده.....الف

مقدمه.....۱

فصل اول:بلور فوتونی

۱-۱)بلور فوتونی چیست.....۵

۱-۲)شبکه بلور فوتونی.....۷

۱-۳)ساختار باند.....۸

۱-٤)فیبر های بلور فوتونی(موجبر ها) ۹

۱-۵)نقص ها در بلور فوتونی.....۱۲

۱-٦)آینه های کم اتلاف.....۱٤

۱-۷)مشدد های بلور فوتونی.....۱۵

فصل دوم:محاسبه ساختار باند

۲-۱)معادله موج بلور فوتونی.....۲۰

۲-۲)تئوری بلوخ.....۲۳

۲-۳)شبکه بلوری.....۲۵

۲-٤)شاخص گذاری صفحات بلور.....۲۷

۲-۵)شبکه وارون.....۲۸

۲-٦)بردارهای شبکه وارون.....۳۰

۲-۷)ناحیه بریلوئن.....۳۲

۲-۸)محاسبه ساختار باند بلور فوتونی یک بعدی.....۳٤

فصل سوم:فرمول بندی ماتریس انتقال

۳-۱)محاسبه ماتریس انتقال دامنه میدانهادر یک لایه دی الکتریک.....۴۲

۳-۲)ماتریس انتقال یک لایه دی الکتریک.....۴۳

۳-۳)ضریب شکست ابررسانا.....۵۰

فصل چهار:نتایج تحلیل عددی ساختار بلور فوتونی با لایه های نقص ابررسانا،نقره و هوا

۴-۱)نمودار گاف باند.....۵۵

۴-۲)تاثیر تغییر تعداد لایه ها.....۵۷

۴-۳)تاثیر زاویه فرودی.....۵۸

۴-۴)نمودار مد ناخالصی عناصر.....۵۸

۴-۵)نمودار مد ناخالصی ابررسانا.....۶۰

۴-۶)نمودار مد ناخالصی فلز نقره.....۶۵

۴-۷)نمودار مد ناخالصی فضای خالی(هوا) ۶۶

۴-۸)نمودار مد ناخالصی مواد eng.....۶۹

نتیجه گیری.....۷۲

پیوست ۱:سرعت گروه در بلور فوتونی.....۷۳

پیوست ۲:معادله ویژه مقداری ماتریسی.....۷۵

پیوست ۳:برنامهMatlab برای محاسبه ساختار باند یک بعدی.....۷۶

مراجع.....۷۹

Abstract

چکیده:

در سالهای اخیر مطالعه طیف تراگسیلی از بلورهای فوتونی بخاطر خواص الکترومغناطیسی منحصر بفرد آنها از اهمیت خاصی برخودار است. بلورهای فوتونی آرایه هایی از مواد دی الکتریک هستند که برای امواج الکترومغناطیسی دارای گاف نواری ممنوعه خاصی می باشند. به طوری که موج الکترومغناطیسی با فرکانسی در ناحیه گاف نمی تواند در ساختار منتشر شود. با وارد کردن یک لایه با خواص نوری متفاوت که لایه نقص نامیده می شود. بلور فوتونی ویژگی طیفی خاصی از خود نشان میدهد که به خواص نوری لایه نقص بستگی دارد. مواد مختلفی از جمله مواد با ضریب شکست منفی، مواد پاشنده، فلزات، مواد با ضریب شکست متغیر و .... به عنوان لایه نقص مورد استفاده شده اند.

در این پایان نامه، ویژگی های مختلف گاف نوار انرژی بلور فوتونی با لایه نقص ابررسانا را بررسی خواهیم کرد.

کلید واژه ها : بلور فوتونی، گاف نواری، مد نقص، لایه نقص ابررسانا

مقدمه:

موقع مطالعه در مورد مواد نوری متداول دو نوع ناحیه پراکندگی وجود دارد. در یک ناحیه محیط یکنواخت که تغییرات در ویژگی ماده آن در مقایسه با طول موج نور تابشی خیلی کوچک است(شکل ۱–الف)[۲]. در این محیط که از ذرات پراکننده مجزا مانند اتم ها ساخته شده، یک پاسخ نوری متوسط توسط اتمها ایجاد می شود. ویژگی نوری چنین موادی بسادگی توسط ثابت دی الکتریک ε بیان می شود. تابش الکترومغناطیسی در چنین محیط هایی به شکل موج تخت خواهد بود. در ناحیه پراکندگی معمول دیگر، تابش روی محیط توسط ویژگی ساختار که دارای اندازه های خیلی بزرگتر از طول موج نور است، بطور غیر همدوس پراکنده می شود شکل (۱–ب)[۲] این ناحیه پراکندگی مربوط به نور شناخت هندسی است که می تواند توسط شعاع های نوری مطالعه شود. ناحیه عملکرد بلورهای فوتونی میان این دو ناحیه می باشد. این بخاطر ویژگی ماکروسکوپی ساختار بلور فوتونی می باشد که قابل مقایسه با طول موج نور تابشی است شکل (۱–ج)[۲]. بعلاوه، بخاطر نظم آرایش پراکننده ها در بلورهای فوتونی، ترکیب همدوس از میدانهای پراکنده در سطوح مرزی، ممکن می شود. و این منجر به یک رابطه پراکندگی ویژه در بلورهای فوتونی می شود. ویژگی اساسی این ساختارها وجود باندهای مجاز و ممنوع در منحنی پراکندگی است. در این صورت سریعاً حدس زده می شود که رفتار نور در آرایشی از دی الکتریک های دوره ای، مشابه رفتار الکترونها در پتانسیل دوره ای از یک بلور حالت جامد است.

در ابتدا بلورهای فوتونی در ضمینه کنترل تابش خود به خودی معرفی شده بودند[۲۳]. بعد از آن کاربردهای جدیدی برای بلورهای فوتونی پیشنهاد شد. که مواردی چون فیبرهای بلور فوتونی[۲٤]، مدارهای نوری مجتمع بر مبنای بلور فوتونی[۲۵]، چینه های شفاف فلز – دی الکتریک[۲٦]، مبدل فرکانس غیر خطی[۲۷] و غیره را می توان نام برد.

از جمله کاربردهای مهم بلور فوتونی برای اعمال کنترل هایی بر انتشار نور در ابزارهایی مانند آینه های دی الکتریک، کاواک ها و موجبرها می باشد که در سالهای اخیر مطالعات گسترده ای در ارتباط با دانش نظری، روشهای ساخت و مشخصه های آزمایشگاهی آنها انجام گرفته است [۸].

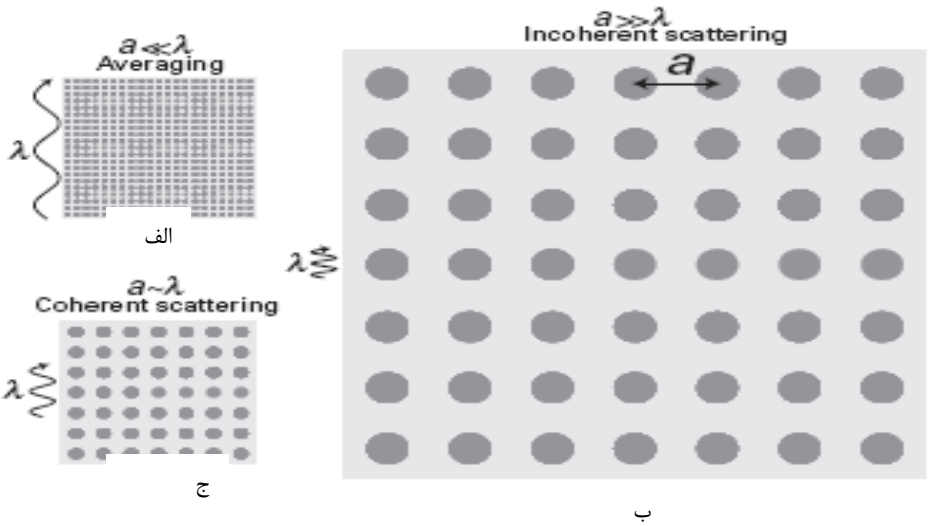
مواد مرسوم برای انعکاس و هدایت نور فلزها هستند. در ناحیه میکروموج $\lambda\sim 1cm$ اکثر فلزهای به عنوان بازتاب کننده قوی و کم جذب در هر انعکاس مطرح هستند. که آنها را برای محصور کردن و کنترل تابش الکترومغناطیسی ایده آل می سازد. به عنوان مثال آلومینیوم یکی از مواد متداول برای بازتاب موج الکترومغناطیسی است و در ناحیه میکروموج تقریباً آینه کامل است و در هر انعکاس کمتر از ۰/۰۱ درصد اتلاف دارد. ولی در ناحیه مرئی $\lambda\sim 400\text{nm}-800\text{nm}$ و مادون قرمز (IR) $\lambda\sim 80nm-20nm$ این ماده در هر بازتاب ۲۰-۱۰ درصد جذب دارد. در کاواکهای فلزی نیز این محدودیت وجود دارد. موجبرهای فلزی انتشار نور را فقط در جهت محورش مجاز می دارد وکاواک ها می تواند امواج الکترومغناطیسی با بسامدهای معین را در خود حفظ کنند.

بلورهای فوتونی هر دوی این خاصیت را دارند. بعلاوه با امکان طراحی موقعیت طیفی گاف باند فوتونی با تغییراتی در شکل و یا ایجاد ناخالصی، بلورهای فوتونی را محیطی کم اتلاف و بازتابنده قوی، برای کاربرد در گستره وسیعی از فرکانس از جمله نواحی مرئی و IR می سازد.

آینه های دی الکتریک با روی هم چیدن لایه های دی الکتریک مختلف بصورت متناوب، ساخته می شوند. از جمله آنها آینه دی الکتریک مشهور به « انباشت ربع- موج» است که می تواند امواج الکترومغناطیسی را در گستره معین کاملا بازتاب دهد. که از آن به عنوان یک پوشش در سطوح عدسی ها یا آینه ها جهت بالابردن کیفیت تصویر استفاده می شود. از جمله کاربردهای آینه های دی الکتریک در ابزارهایی مانند فیلترهای دی الکتریک فابری- پرو و لیزرهای پخش کننده بازتابی می باشند.

مباحث این پایان نامه در ٤ فصل تنظیم شده است. در فصل اول اطلاعات و مفاهیم بلور فوتونی بیان شده و در فصل دوم ساختار باند بلور فوتونی یک بعدی باروش(PWE[1]) محاسبه کرده ایم. در فصل سوم ماتریس انتقال را برای بلور بلور فوتونیبدست آورده ایم و معادلات مربوط به ضرائب شکست ابر رسانا بدست آمده است. در فصل ٤ نتایج مربوط به نمودار تراگسیل بر حسب بسامد با استفاده ازماتریس انتقال رسم شده است.

1-Plain Wave Extension



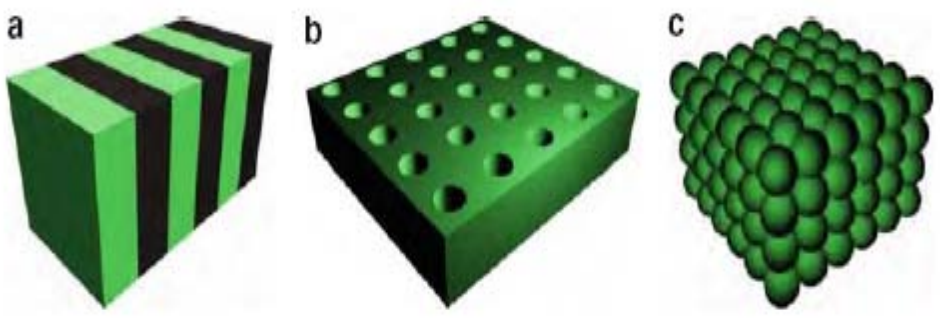
شکل۱: پراکندگی نور از ساختار ماده الف) محیط همگن دارای پاسخ میانگین به پراکننده های منفرد ب) پراکندگی ناهمدوس در نورشناخت هندسی ج) پراکندگی همدوس از ماده ای که مشخصه ساختاری آن قابل مقایسه با طول موج نور تابشی است.

فصل اول :

بلور فوتونی

۱-۱) بلور فوتونی چیست :

بلور فوتونی (PHC) محیط نوری جدیدی است که با ساختارهای طبیعی یا مصنوعی با یک ترکیب تناوبی از ضریب شکست ایجاد می شود. چنین محیط نوری دارای ویژگیهای خاصی است که کاربردهایی را ایجاد می کند. با توجه به ساختار هندسی بلور فوتونی به سه گروه وسیع با نامهای بلور فوتونی یک بعدی(1D) و دو بعدی (2D) و سه بعدی(3D) مطابق شکل (۱) تقسیم بندی می شود. مسلماً بلورهای فوتونی که دارای ثابت شبکه کوچک هستند و مخصوصاً 3D ها برای ساختن مشکل هستند با توسعه تکنولوژی های متفاوتی نظیر رشد هم بافته یا سونش(قلم زنی) یون ها(RIE)[۲۹] ساخت بلورهای فوتونی دقیق تر و راحتر شده است و بلورهای بسیار خوبی با ثابت شبکه کوچکتر از 1μm حالا در دسترس هستند.



شکل ۱: شمایی از بلورهای فوتونی یک بعدی (a) ودو بعدی(b) و سه بعدی(c)

در بلورهای فوتونی 1D یک ساختار دوره ای از مواد با گذردهی متفاوت در یک جهت ایجاد می شود (فیلم های بس لایه ای)، در حالی که در سایر جهت ها محیط یکنواخت است. به عنوان مثالی از چنین ساختاری یک شبکه براگی (آینه دی الکتریک) مشهور به «پالایه ربع- موج» است که با روی هم چیدن لایه های متناوب مواد دی الکتریک مختلف ساخته می شود. هنگامی که نوری با طول موج مناسب به چنین ماده لایه ای برخورد کند کاملاً بازتاب می یابد. در فیلترهای دی الکتریک فابری- پرو و لیزرهای پخش کننده بازتابی نیز از چنین ساختاری استفاده می کنند. چنین آینه هایی نور را وقتی عمود یا نزدیک به عمود بر مواد لایه ای فرود می آید، بازتاب می دهند. برای گستره ای از فرکانس، اگر یک بلور فوتونی نور

فرودی را با هر قطبشی و در هر زاویه ای بازتاب دهد گوییم که بلور دارای گاف نواری کامل است. از کاربردهای دیگر چند لایه های دی الکتریک استفاده از آنها به عنوان روکش پادبازتابش است که بازتاب از سطح را کاهش می دهند و برای بهبود کیفیت لنز یا منشور و سایر اجزاء نوری استفاده می شود.

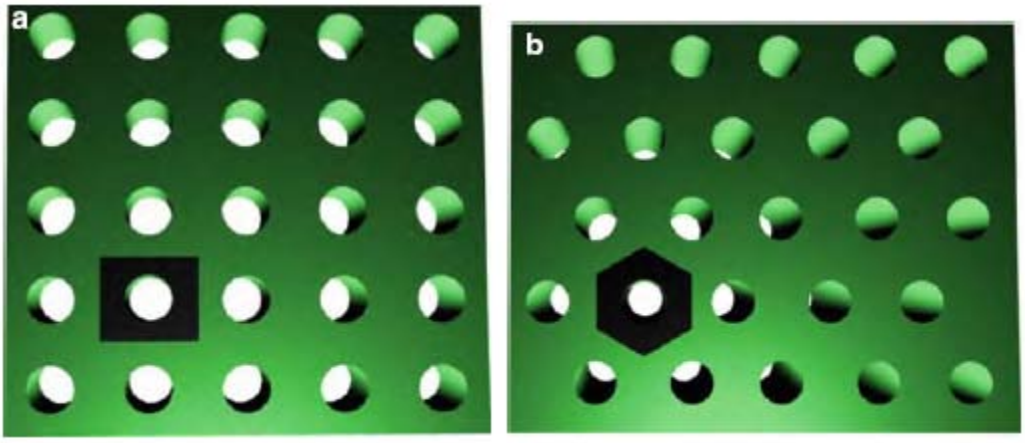
بلورهای فوتونی دو بعدی دارای ساختار دوره ای از گذردهی های متفاوت در دو جهت است در حالی که محیط در جهت سوم یکنواخت است. مثال خوبی از بلورهای فوتونی دوبعدی یک سیلیکون متخلخل با سوراخهای دوره ای منظم است که توسط سوراخ کاری روی یک لایه سیلیکون ایجاد می شود. مثال دیگری از بلورهای فوتونی 2D یک مجموعه منظم از میله های دی الکتریک در هوا است. بلورهای فوتونی دو بعدی در طبیعت هم یافت می شود. به عنوان نمونه الگوی روی بال پروانه و نمایش رنگین روی آن، بدلیل انعکاس نور از میکروساختارهای روی بال است. بلور فوتونی دوبعدی می تواند نور فرودی از هر جهت در صفحه را بازتاب دهد.

بلورهای فوتونی 3D دارای ساختار دوره ای در هر سه جهت است. در این صورت ساختارهای ممکن برای بلور فوتونی سه بعدی خیلی بیشتر از ۱بعدی و دوبعدی است. گونه طبیعی بلور فوتونی 3D سنگ شیشه ای (stone opal) است. این سنگ وقتی می چرخد رنگهای متنوعی نمایش می دهد. ساختاراین سنگ شامل تعدادی از میکروکره ها است که در نقاط شبکه مکعبی مرکز وار سطحی (FCC) قرار گرفته است. قابلیت بازتاب چنین ساختاری بطور قوی به زاویه پرتو تابشی بستگی دارد. لذا موقعی که بلور را می چرخانیم، طول موج های مختلف نور را در زوایای مختلف بازتاب می دهد.

ویژگی خیلی مهمی که اهمیت کاربردی بلورهای فوتونی را تعیین می کند، وجود گاف باند فوتونی (PBG) است. باند گاف فوتونی (PBG) اشاره به گستره فرکانس یا انرژی دارد که انتشار نور در آن ممنوع است. زمانی که تابشی با بسامد درون ناحیه PBG به ساختار برخورد می کند، بطور کامل از ساختار بازتاب می یابد. در این ساختار دوره ای اگر یک ناخالصی وارد کنیم، (مشابه وارد کردن ناخالصی نوع n یا p در یک بلور نیمه رسانا) ظهور ویژه – حالت جدیدی درون گاف باند، با انرژی متناظر با ویژه– فرکانس ناخالصی، خواهد شد. در اینصورت تابش با فرکانس ناخالصی درون ساختار انتشار می یابد و یا برای نمونه ای با چند ناخالصی، چند نمونه فرکانس در درون گاف باندمجاز به عبور خواهند بود که مشابه کار یک موجبر است. (شکل(٤) فصل٤)

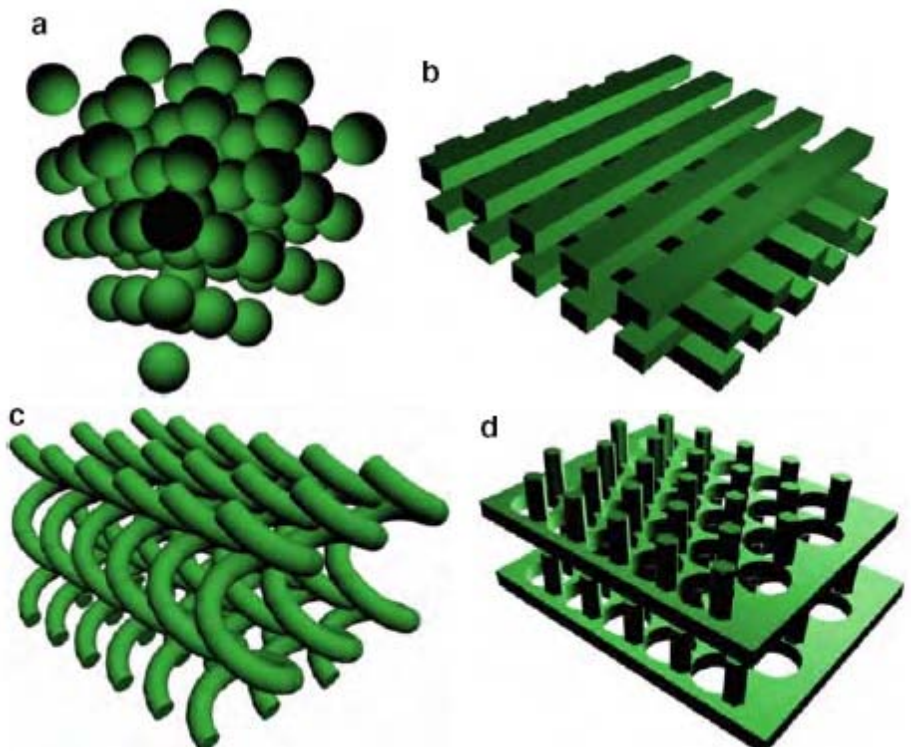
۲-۱) شبکه بلور فوتونی

بلورهای فوتونی یک بعدی دارای تنوع ساختاری خیلی کمی هستند. زیرا آنها توسط ساختار لایه ای ایجاد می شوند. بنابر این تنها ضریب شکست، ضخامت لایه ها و تعداد لایه های دوره می تواند تغییر کند. ولی در بلورهای فوتونی دوبعدی تغییرات در شکل اجزاء و جاگیری آنها تعداد خیلی زیادی از انواع شبکه ها را ایجاد می کند. با این حال، به دلایل تکنولوژیکی، دو نوع از شبکه های بلور فوتونی 2D متداول هستند. یکی شبکه مربعی و دیگری شبکه شش گوش سلول واحد در شبکه مربعی به شکل مربع می باشد. که اجزاء همسان آن در رئوس مربع قرار دارند در شبکه شش گوش سلول واحد به شکل یک شش گوشه منظم بوده و اجزاء شبکه در رأسهای آن قرار می گیرند. شکل های (a-۳)و(b-۳)



شکل۳: مثال هایی از انواع شبکه های بلور فوتونی (a) دو بعدی با شبکه مربعی با عناصر استوانه ای و(b) دو بعدی با شبکه شش گوشی وعناصر استوانه ای

شبکه بلورهای فوتونی سه بعدی نیز با تغییر اجزاء و چیدمان آنها در سه جهت اشکال بسیار متنوعی به خود می تواند بگیرد. به دلیل شباهت زیاد بین بلورهای فوتونی 3D و بلورهای حالت جامد، غالباً دارای شبکه هائی با ترکیب و نامهای همسان هستند. مطابق شکل (a-٤)و (b-٤)و(c-٤)و(d-٤) چهار نمونه از شبکه های بلور فوتونی سه بعدی نشان داده شده اند که در آنها شبکه های FCC و یا گوس- دایموند دارای مشابه حالت جامد هستند در صورتی که شبکه های حلزونی و میله چوبی منحصر به فرد بوده و مشابه حالت جامد ندارد [۲].



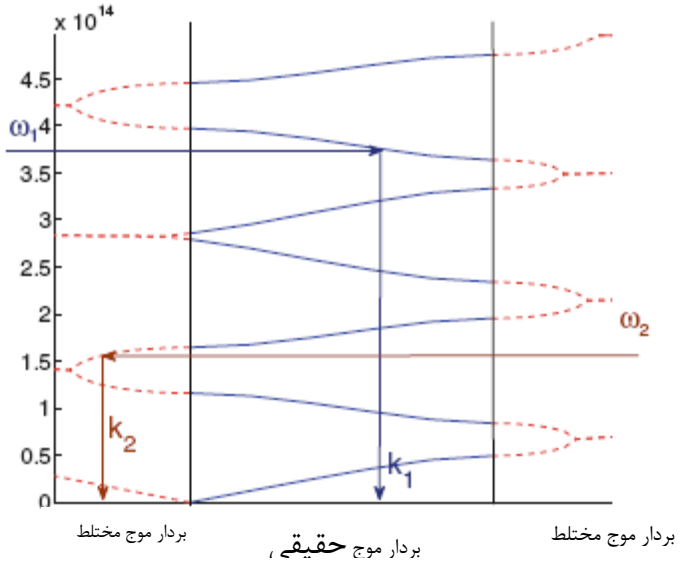
شکل ٤: مثال هایی از انواع شبکه بلور فوتونی سه بعدی (a)شبکه مکعبی مرکز دار (FCC) و(b)شبکه میله چوبی (c)شبکه حلزونی (d)شبکه گوس – دایموند

۱-۳)ساختار باند

ساختار باند فوتونی مشخصه ای است که اطلاعات کلی در مورد ویژگی بلور فوتونی میدهد. ساختار باند در واقع نمودار رابطه پاشندگی $\omega(k)$ می باشد. معنی ویژگی ساختار باند ارتباط ویژگی های تابش با ویژگی های محیط نوری است که نور در آن منتشر می شود. در شکل (۵) محور افقی متناظر با بردار موج تابشی و محور عمودی فرکانس تشدید محیط را نشان می دهد. نمونه ای را درنظر می گیریم که تابشی با فرکانس ω_1 در بلور فوتونی وارد می شود. در این حالت موج دارای بردار موج حقیقی است که توسط ساختار مجاز است و مقدار آن از روی ساختار باند پیدا می شود. در این صورت موج در ساختار منتشر میشود و یک مد مجاز ساختار نامیده می شود.

حال تابش دیگری با فرکانس ω_2 را در نظر می گیریم. از روی نمودار ساختار باند مشاهده می شود که برای این بسامد بردار موج حقیقی مجاز وجود ندارد و دارای مولفه موهومی می باشد. قسمت موهومی بردار موج متناظر با تابش میرا می باشد. و مفهوم آن این است که تابش با این بسامد ها از ساختار منعکس

خواهد شد. البته از آنجا که میرائی مقدار محدودی است، لذا این نوع تابش ها در فاصله کوچکی نفوذ خواهد کرد. این گستره بسامد معمولا به عنوان گاف باند فوتونی نامیده می شود.

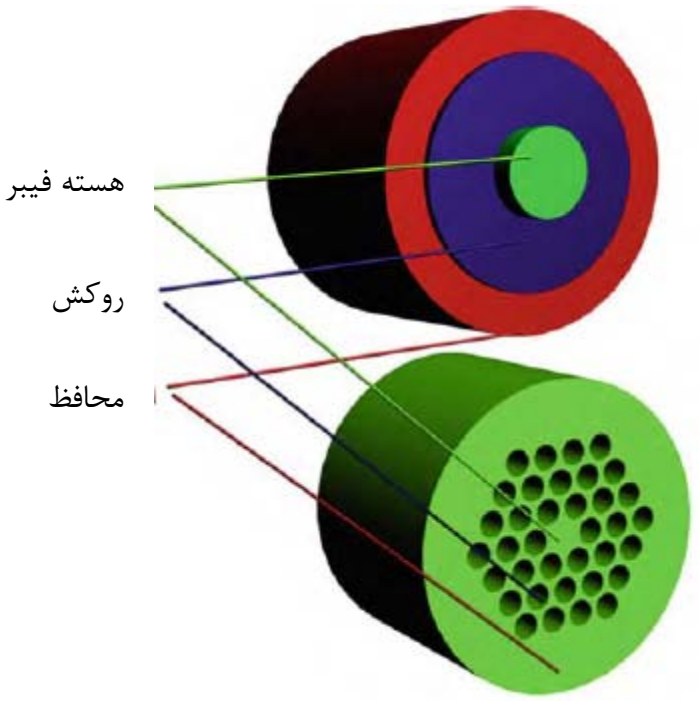


شکل ۵: ساختار باند بلور فوتونی یک بعدی

۱-۴)فیبرهای بلور فوتونی (موجبرها)

ویژگی هدایت فیبرهای نوری بر مبنای پدیده بازتاب داخلی است. چنین فیبرهایی متشکل از یک محیط شفاف می باشد که توسط ماده ای با ضریب شکست کمتر از آن احاطه شده است، شکل(٦). اگر پرتو نوری با زاویه تابش کوچکتر از زاویه بحرانی به وجه جلویی چنین ساختاری برخورد کند، در داخل ساختار به دام افتاده و توسط بازتابهای داخلی متوالی هدایت می شود. با توجه به خواص نور و استفاده از معادلات ماکسول می توان فهمید که فقط تعداد محدود و گسسته از پرتوهایی با زاویه کوچکتر از زاویه حد، می تواند درون ساختار هدایت شود. چنین پرتوهایی باید شرط هم فاز بودن در تداخل را داشته باشند. فقط در صورتی که پرتوها بعد از دو بازتاب متوالی شرط هم فازی داشته باشند می توانند شکل خود- پایداری بگیرند. در غیر این صورت تداخل ویرانگر موجها را حذف خواهد کرد. از محدودیت های دیگر فیبر نوری اینکه اگر دارای یک انحنای تند باشد زاویه فرودی برای بروز بازتاب داخلی بسیار بزرگ خواهد بود، و نور از لبه ها فرار می کند.

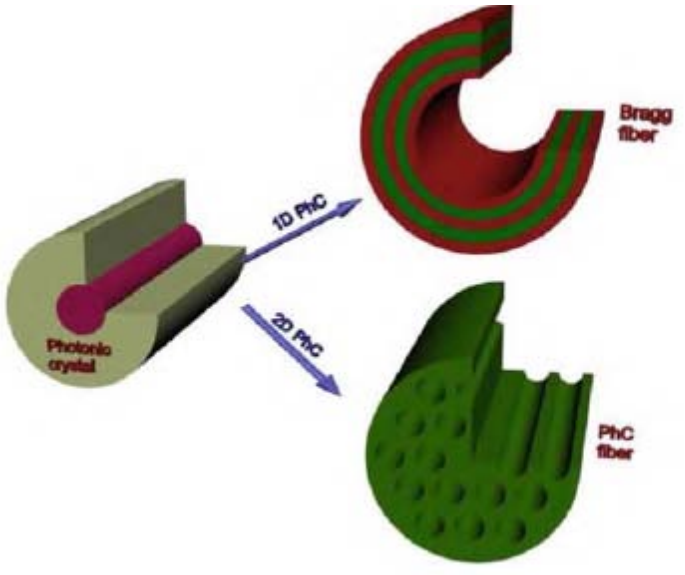
اولین موجبر دی الکتریک یک فیبر شیشه ای با پوششی از شیشه بود که می توانست طول موجهای معینی را انتقال دهد. با کشف لیزر و بدلیل امکان کاربرد نور همدوس در ارتباطات راه دور و در نواحی که قبلاً میکرو موجها بکار برده می شد، تحقیق در مورد موجبر نوری افزایش یافت و بعد از اینکه اتلاف در آن به کمتر از $20\,\frac{\mathrm{dB}}{\mathrm{km}}$ کاهش یافت، از فیبر نوری به عنوان موجبر در مخابرات نوری استفاده شد. با افزایش روز افزون تکنولوژی فیبر نوری در ارتباطات راه دور، استفاده از ساختارهایی مثل بلور فوتونی مطرح گردید که بدلیل داشتن گاف باند محدودیت استفاده از زاویه حد را از بین می برد (شکل۱۰). چنین فیبر های نوری که با ترکیب یک بلور فوتونی ساخته می شوند بنام فیبر های بلور فوتونی یا فیبرهای ریز ساختار مشهور هستند. از ویژگی های این فیبرها داشتن مد ناخالصی و همچنین امکان استفاده از هسته با سطح مقطع بزرگ است که باعث افزایش ظرفیت انتقال می شود.



شکل ٦: اجزاء اصلی فیبرهای نوری متداول و فیبرهای بلور فوتونی

فیبرهای بلور فوتونی (فیبرهای ریز ساختار) با اصول و تکنولوژی های متفاوت ساخته می شوند. در نتیجه می توانند دارای تنوع ساختار زیاد باشند. دو نوع از چنین فیبرهای ریز ساختار در شکل (۷) نشان داده شده اند[۱۰و۱۱]. فیبرهای ریز ساختار می توانند دارای هسته ای باشند که ضریب شکست ان کمتر از ضریب شکست روکش باشد (بر خلاف فیبرهای متداول). فیبرهای ریز ساختار که امروزه در دسترس هستند،

دارای روکش بازتابی ساخته شده از بلور فوتونی یک ودو بعدی هستند. فیبرهائی که روکش آنها از بلور فوتونی یک بعدی ساخته شده است، دارای بیشترین کاربرد برای انتشار نور در فاصله کوتاه هستند.

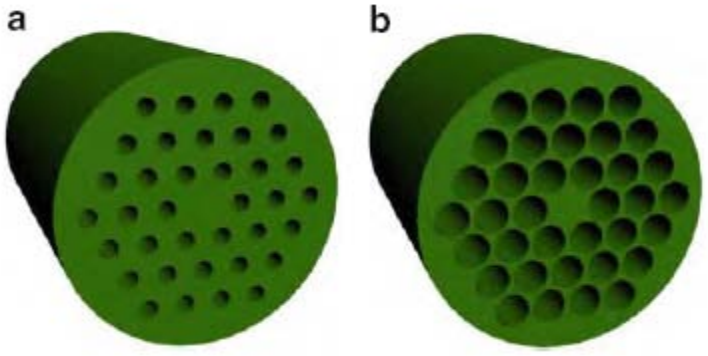


شکل ۷: نمودار طرح وار ساده ای از فیبره ای بلور فوتونی

بدلیل داشتن هسته ای از هوا، میرائی موج در این فیبرها قابل چشم پوشی است. پوشش بازتابی آنها دارای ساختاری مشابه به آینه براگ است. لذا این نوع از فیبرها به عنوان فیبرهای براگ شناخته می شوند.

از فیبر های نوری که بر مبنای بلور فوتونی دو بعدی ساخته می شوند در اهداف فناوری [۱۲و۱۳] و اهداف مخابرات دور برد برای انتقال اطلاعات و جبران پاشندگی نور در خطوط ارتباطی کوتاه می توان بهره جست.

فیبرهای بلور فوتونی دو بعدی خودشان با توجه به روش محدود کردن تابش به دو گروه می باشند شکل (۸). نوع اول از بازتاب کلی استفاده می کند. در این نمونه روکش بازتابی دارای ضریب شکست وابسته به طول موج و اندازه عناصر بلور فوتونی دارد.



شکل۸: بلور فوتونی دو بعدی بر مبنای بازتاب داخلی(a) وبر مبنای گاف باند(b)

اندازه این ضریب شکست از ضریب شکست هسته کمتر خواهد بود وباعث بهبود ویژگی موجبری فیبر خواهد شد. نوع دوم از بلورهای فوتونی از امکان باند ممنوع بلور فوتونی استفاده می کنند. در نتیجه هسته این بلورهای فوتونی می تواند موادی با ضریب شکست کم مثل هوا باشد شکل(b–۸).

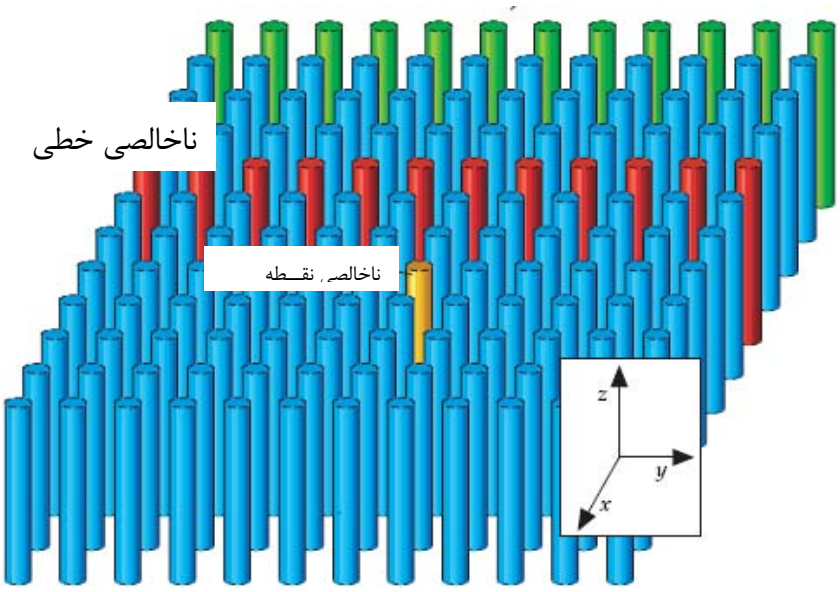
۱-۵)نقص ها در بلور فوتونی

با ایجاد اختلال در یک عنصر منفرد شبکه، می توانیم باعث بوجود آمدن مدهای جایگزیده با بسامد هائی درون گاف باند فوتونی شویم. اگر بسامد یک مد در گاف ممنوع قرار داشته باشد، به محض ورود در بلور، بطور نمائی میرا خواهد شد. در بلورهای فوتونی یک بعدی می توان با تغییر ضخامت و یا ضریب شکست و یا مکان یک عنصر یک نقص نقطه ای بوجودآورد. فیلم های بس لایه ای در دو طرف نقص، شبیه آینه هائی با بسامد مشخص عمل می کنند. اگر دو تا از چنین فیلم هائی موازی هم قرار گیرند، هر نور منتشر شده ای بین آنها قرار گیرد، بدلیل بازتابهای رفت و برگشت در بین آنها بدام می افتد.

در بلور فوتونی دو بعدی، چندین انتخاب داریم. همانند شکل (۹) می توانیم به عنوان نقص نقطه ای، یک تک ستون (یک نقطه شبکه) را از بلور برداریم یا ویژگی های آن مثل اندازه، شکل، یا ضریب شکست را تغییر دهیم. این حالت ممکن است قله ای را در چگالی حالتهای بلور ایجاد کند. اگر این قله در گاف باند فوتونی باشد، حالت نقص القاء شده گذرا خواهد بود زیرا نمی تواند در کل بلور نفوذ کند و در آن میرا خواهد شد. در نتیجه مدهای نقص که از نقص ها دور می گردند بطور نمایی میرا می شوند. در این صورت مطابق شکل آنها در صفحه xy جایگزیده و در جهت z گسترده هستند. یعنی در اینجا با حذف یک میله از

شبکه، یک مشدد درست می کنیم که بطور موثر با دیواره های بازتاب کننده احاطه شده است. اگر مشدد ابعاد مناسبی برای نگه داشتن یک مد در گاف نواری داشته باشد، نور نمی تواند فرار کند و مد را می توان در مکان نقص گیر انداخت. با حذف یا تغییر ویژگی های یک خط از ستونها می توان یک نقص خطی ایجاد کرد. این حالت معادل یک کانال موجبر خواهد بود. که میتواند نور را در جهت yهدایت کند شکل (۹)[۱].

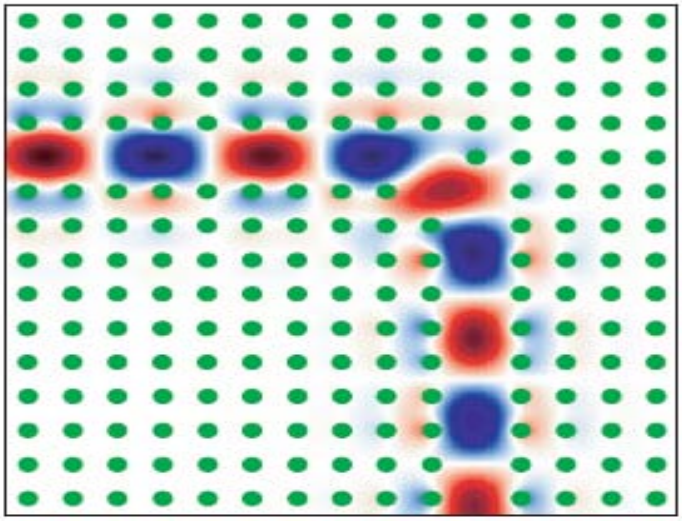
در بلورهای سه بعدی می توانیم یک تک نقطه شبکه را مختل کنیم و در نتیجه نور را در یک نقطه در بلور به دام بیاندازیم. نقص باعث می شود که یک قله از حالت های مجاز جدید درون نوار شکاف با بسامد مشخصه نقص ایجاد شود. با افزایش ابعاد بلور، پهنای این قله به صفر میل میکند و یک تک مد در نقص بلور به دام می افتد.



شکل۹: نمایش طرح وار ناخالصی در دو بعد .با آشفتگی در یک عنصر منفرد(ستون) می توان مد ناخالصی را در صفحه xy جایگزیده کرد.با آشفتگی در یک سطر از ستون ها (نا خالصی خطی) می توان مد ناخالصی را در یک جهت (x) جایگزیده

در اینجا نیز نقص، شبیه یک مشدد با دیواره های بازتاب کننده کامل است و حالت نقص یک مد گذرا در بلور خواهد بود و خارج از نقص بطور نمایی میرا خواهد شد.

همچنین می توانیم ستونی از نقص های خطی را ایجاد کنیم. با قرار دادن نقص خطی در یکی از بردارهای انتقال شبکه بلور، می توانیم از آن به عنوان موجبر استفاده کنیم.



شکل ۱۰: انتشار نور از یک خم ۹۰ درجه در بلورفوتونی دو بعدی

۱-٦) آینه های کم اتلاف

قبل از اختراع بلورهای فوتونی تمام دی الکتریک، ساخت مدارهای نوری متراکم در ناحیه فروسرخ(IR) بدلیل عدم وجود مواد کم اتلاف و بازتابنده قوی مشکل بود. با توجه به این که اغلب مواد دی الکتریک در ناحیه فرو سرخ و مرئی بسیار کم اتلاف تر ازفلـزها هستند، بلورهای فوتونی تمام دی الکتریک موادی مناسب برای ساخت بازتابگرهای کم اتلاف خواهند بود. بعلاوه با امکان طراحی موقعیت طیفی گاف باندفوتونی، با تغییراتی درشکل ویا ناخالصی، می توان از بلورهای فوتونی به عنوان ابزار مناسبی برای ساخت موجبرها و مشددها استفاده کرد.

به عنوان تعریف آینه تمام جهت متشکل از چند لایه دی الکتریک با ساختار دوره ای است که در نزدیکی یک طول موج قابل تنظیم، می تواند تابش را در همه زوایا و قطبش ها کاملا بازتاب دهد (شکل a- ۱۱). از چنین آینه ای می توان در یک موجبر یا مشدد استفاده کرد. که درآن هسته یک ماده بدون اتلاف است و توسط آینه های تمام جهت احاطه شده است.(شکل b-۱۱).