

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## معاونت پژوهش و فن آوری

### به نام خدا

#### منشور اخلاق پژوهش

با یاری از خداوند سبحان و اعتقاد به این که عالم محضر خداست و همواره ناظر بر اعمال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهمیت جایگاه دانشگاه در اعتلای فرهنگ و تمدن بشری، ما دانشجویان و اعضای هیئت علمی واحدهای دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تخطی نکنیم:

۱- اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هرگونه پنهان سازی حقیقت.

۲- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهیدگان (انسن، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.

۳- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه همکاران پژوهش.

۴- اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش.

۵- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هرگونه جانب داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار.

۶- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشور و کلیه افراد و نهادهای مرتبط با تحقیق.

۷- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت ها در انجام تحقیقات و رعایت جانب نقد و خودداری از هرگونه حرمت شکنی.

۸- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و اشاعه نتایج تحقیقات و انتقال آن به همکاران علمی و

دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.

۹- اصل برائت: التزام به برائت جویی از هرگونه رفتار غیرحرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به شائبه های غیرعلمی می آلاینند.



معاونت پژوهش و فن آوری

به نام خدا

تعهد اصالت رساله یا پایان نامه تحصیلی

اینجانب سیده زهره موسوی دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد در رشته فیزیک گرایش اتمی و مولکولی که در تاریخ از پایان نامه خود تحت عنوان " کنترل نوار عبوری در گاف نواری در بلور های فوتونیک یک بعدی ناخالص " با کسب نمره دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می شوم:

(۱) این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و ...) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آنرا در فهرست مربوطه ذکر و درج کرده ام.

(۲) این پایان نامه قبلاً برای هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

(۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و ... از پایان نامه داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

نام و نام خانوادگی: سیده زهره موسوی



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد مرودشت

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد «M. Sc»

رشته: فیزیک      گرایش: اتمی و مولکولی

عنوان:

کنترل نوار عبوری در گاف نواری در بلورهای فوتونیک یک بعدی ناخالص

استاد راهنما:

دکتر محمود براتی

استاد مشاور:

دکتر حبیب اله شهری

نگارش:

سیده زهره موسوی

سال تحصیلی: ۹۲-۹۳



صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد (M.Sc)

نام و نام خانوادگی دانشجو: سیده زهره موسوی در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۳ رشته: شیمی فیزیک از پایان نامه خود با عنوان: کنترل نوار عبوری در گاف نواری در بلورهای فوتونیک یک بعدی ناخالص با درجه و نمره دفاع نموده است.

نام و نام خانوادگی اعضای هیات داوری      سمت      امضاء اعضای هیات داوری

۱ - دکتر محمود براتی      استاد راهنما

۲ - دکتر حبیب الله شهری      استاد راهنما

۳ - دکتر رضا رئیس السادات      استاد داور

مدیر/معاونت پژوهشی

مهر و امضاء

مراتب فوق مورد تایید است.

## سپاسگناری

هر آنچه به آن رسیده‌ام، جز لطف خدا نیست و شکر او، جز تذکر این امر نیست. در مسیر زندگی، هرگز تنها نبوده‌ام و لطف حضرت حق، همواره از طریق بندگان نیک اش، راه گشای زندگیم بوده است. پس باز به خود یادآور می‌شوم که اگر موفقیتی داشته‌ام، مدیون الطاف یگانه خداوند هستی و یاری بندگان او هستم و امیدوارم که من نیز به لطف خدا بتوانم وسیله‌ای برای تعالی دیگر بندگان‌اش باشم.

بر خود فرض می‌دانم بدین وسیله از استاد عزیزم، جناب آقای دکتر براتی که با راهنمایی‌هایشان مرا در بهبود هر چه بیشتر این کار، یاری نمودند، تشکر نمایم و تشکر از استاد مشاور محترم جناب آقای دکتر شهری که در این راه مرا راهنمایی نمودند.

نیز از پدر و مادرم، که هر آنچه داشتند و نداشتند بی چشم داشت، پیش کشم کردند، از برادرانم که در هر سختی، مشفقانه و صبورانه کنارم بودند و از تمامی معلمانم که هر آنچه می‌دانم، از آنان آموخته‌ام، سپاسگزارم و از درگاه خداوند مهربان، سعادت و سلامت ایشان، تمنا دارم و امیدوارم که لیاقت این همه لطف و محبت را داشته باشم.

تقدیم به

پدر، مادر و برادران عزیزم

عنوان	صفحه
چکیده.....	۱
مقدمه.....	۲
<b>فصل اول: معرفی بلورهای فوتونیک، مختصری از تفاوت ها و شباهت ها با بلورهای فیزیک حالت جامد</b>	
۱-۱. اصول اولیه بلورهای فوتونیک.....	۵
۱-۱-۱. معرفی کلی بلورهای فوتونیک.....	۵
۲-۱-۱. بلورهای فوتونیک یک بعدی.....	۶
۳-۱-۱. بلورهای فوتونیک دو بعدی.....	۶
۴-۱-۱. بلورهای فوتونیک سه بعدی.....	۶
۵-۱-۱. بلورهای فوتونیک ، بلورهای نیمه رسانا در فیزیک حالت جامد، شباهت ها و تفاوت ها.....	۷
۲-۱. شبکه ی بلورهای فوتونیکی.....	۷
۱-۲-۱. شبکه ی بلور های فوتونیکی یک بعدی.....	۸
۲-۲-۱. شبکه ی بلورهای فوتونیکی دو بعدی.....	۸
۳-۲-۱. شبکه ی بلور های فوتونیکی سه بعدی.....	۸
۳-۱. گاف نوارهای فوتونی.....	۹
۴-۱. ساختار نوری بلور فوتونیکی یک بعدی.....	۱۰
۵-۱. روش های عددی شبیه سازی بلورهای گاف نوار فوتونی.....	۱۲
۶-۱. کاربردهایی از بلورهای فوتونی.....	۱۳
۷-۱. بیان تعدادی از کارهای محققان در زمینه بلور های فوتونیکی.....	۱۴

**فصل دوم: بررسی ویژگی مدهای نقص ظاهر شده در طیف تراگیسل بلور فوتونیک یک بعدی**

**در اثر لایه ی نقص**

۱-۲. مقدمه.....	۱۶
۲-۲. ساختار بلورهای فوتونیک یک بعدی ایده ال با سیستم دو لایه ای.....	۱۷
۳-۲. ساختار بلورهای فوتونیک یک بعدی با یک لایه نقص در یک سیستم دو لایه ای.....	۱۸



- ۴-۲. ضریب شکست سیلیکون (Si)، ژرمانیوم (Ge) و هوا (air) ..... ۱۹
- ۱-۴-۲. ضریب شکست سیلیکون (Si) ..... ۱۹
- ۲-۴-۲. ضریب شکست ژرمانیوم (Ge) ..... ۲۰
- ۵-۲. اثبات روش ماتریس انتقال ..... ۲۱
- ۶-۲. روش ماتریس انتقال و محاسبه ی طیف تراگسیل ..... ۲۹
- ۷-۲. محاسبات عددی مربوط به طیف تراگسیل بلورهای فوتونیک یک بعدی و رسم نمودار های آن ..... ۳۱
- ۱-۷-۲. محاسبات عددی مربوط به بلور فوتونیک یک بعدی ایده آل ..... ۳۱
- ۲-۷-۲. رسم نمودار بلور فوتونیک یک بعدی ایده آل ..... ۳۳
- ۳-۷-۲. محاسبات عددی مربوط به بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص در حالت متقارن ..... ۳۴
- ۴-۷-۲. رسم نمودار بلور فوتونیک یک بعدی با لایه ی نقص حالت متقارن ..... ۳۶
- ۵-۷-۲. محاسبات عددی مربوط به بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص در حالت پاد متقارن ..... ۳۸
- ۶-۷-۲. رسم نمودار بلور فوتونیک یک بعدی با لایه ی نقص ژرمانیوم (Ge) حالت پاد متقارن ..... ۴۱
- ۸-۲. اثر دما بر روی مدهای نقص ظاهر شده در طیف تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص در حالت متقارن ..... ۴۲
- ۱-۸-۲. اثر دما بر روی مدهای نقص ظاهر شده در طیف تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون (Si) در حالت متقارن ..... ۴۲
- ۲-۸-۲. اثر دما بر روی مدهای نقص ظاهر شده در طیف تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص ژرمانیوم (Ge) در حالت متقارن ..... ۴۳
- ۹-۲. اثر تعداد لایه های تناوبی بر روی طیف تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص ..... ۴۴
- ۱-۹-۲. حالت متقارن برای سه حالت زیر که در آن N تعداد لایه های تناوبی است ..... ۴۵
- ۲-۹-۲. حالت پاد متقارن برای سه حالت زیر که در آن N تعداد لایه های تناوبی است ..... ۴۶
- ۱۰-۲. اثر تغییرات ضخامت لایه ی نقص بر روی طیف تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص ..... ۴۸
- ۱-۱۰-۲. اثر تغییرات ضخامت لایه ی نقص بر بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون (Si) در حالت متقارن ..... ۴۸
- ۲-۱۰-۲. اثر تغییرات ضخامت لایه ی نقص بر بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص ژرمانیوم (Ge) در حالت متقارن ..... ۴۹

فصل سوم: کنترل گاف نواری در بلورهای فوتونیک یک بعدی ایده آل و تعیین موقعیت مد های نقص  
ظاهر شده در طیف تراگسیلشان در اثر لایه نقص

۱-۳	مقدمه	۵۲
۲-۳	محاسبات عددی مربوط به طیف تراگسیل بلورهای فوتونیک یک بعدی	۵۳
۳-۳	رسم نمودار بلورهای فوتونیک یک بعدی در اثر تغییر در ضخامت لایه های اصلی	۵۳
۱-۳-۳	رسم نمودار بلورهای فوتونیک یک بعدی ایده آل در اثر تغییر در ضخامت	
۵۴	لایه های اصلی	
۲-۳-۳	رسم نمودار بلورهای فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون در اثر تغییر	
۶۳	در ضخامت لایه های اصلی و تغییر در ضخامت لایه ی نقص	

فصل چهارم: نتیجه گیری

۱-۴	نتیجه گیری	۷۱
۲-۴	نتایج مربوط به فصل دوم	۷۱
۳-۴	نتایج مربوط به فصل سوم	۷۳
۷۴	فهرست منابع	

## فهرست جداول

عنوان

صفحه

۴۳	جدول ۱-۲. تغییرات طول موج مرکزی مد های نقص در طیف تراگیسیل یلور فوتونیک یک بعدی با لایه ی نقص سیلیکون (Si) در اثر افزایش دما.....
۴۴	جدول ۲-۲. تغییرات طول موج مرکزی مد های نقص در طیف تراگیسیل یلور فوتونیک یک بعدی با لایه ی نقص ژرمانیوم (Ge) در اثر افزایش دما.....
۴۹	جدول ۳-۲. تغییرات طول موج مرکزی مد های نقص در طیف تراگیسیل یلور فوتونیک یک بعدی با لایه ی نقص سیلیکون (Si) در اثر افزایش ضخامت لایه ی نقص.....
۵۰	جدول ۴-۲. تغییرات طول موج مرکزی مد های نقص در طیف تراگیسیل یلور فوتونیک یک بعدی با لایه ی نقص ژرمانیوم (Ge) در اثر افزایش ضخامت لایه ی نقص.....
۵۶	جدول ۱-۳. تعیین محدوده ی گاف نوار فوتونی برای بلورهای فوتونیک یک بعدی ایده ال زمانی که $d_2 = d_1$ است.....
۵۹	جدول ۲-۳. تعیین محدوده ی گاف نوار فوتونی برای بلورهای فوتونیک یک بعدی ایده ال زمانی که $d_2 = 2d_1$ است.....
۶۲	جدول ۳-۳. تعیین محدوده ی گاف نوار فوتونی برای بلورهای فوتونیک یک بعدی ایده ال زمانی که $d_2 = 3d_1$ است.....
۶۵	جدول ۴-۳. تعیین تعداد مدهای نقص و طول موج های آن برای بلورهای فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون در اثر تغییر در ضخامت لایه ی نقص، زمانی که $d_2 = d_1$ است.....
۶۷	جدول ۵-۳. تعیین تعداد مدهای نقص و طول موج های آن برای بلورهای فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون در اثر تغییر در ضخامت لایه ی نقص، زمانی که $d_2 = d_1$ است.....
۶۹	جدول ۶-۳. تعیین تعداد مدهای نقص و طول موج های آن برای بلورهای فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون در اثر تغییر در ضخامت لایه ی نقص، زمانی که $d_2 = d_1$ است.....

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۱. الف) بلور فوتونیکی یک بعدی ب) بلور فوتونیکی دو بعدی ج) بلور فوتونیکی سه بعدی ..... ۵
- شکل ۱-۲. مثال هایی از انواع شبکه های بلور فوتونیک دو بعدی الف) بلور فوتونیک دو بعدی با شبکه ی مربعی و عناصر اطرافش ب) بلور فوتونیک دو بعدی با شبکه ی هگزوگونال و عناصر اطرافش ..... ۸
- شکل ۱-۳. مثال هایی از انواع شبکه های بلور فوتونیک سه بعدی الف) FCC (شبکه مکعبی مرکز سطحی) ب) توده چوبی ج) شبکه ی مار پیچی د) شبکه ی شبه الماس ..... ۹
- شکل ۱-۴. ساختار نواری برای یک بلور فوتونیک یک بعدی ..... ۱۱
- شکل ۲-۱. شماتیکی از بلور فوتونیک یک بعدی ایده آل ..... ۱۸
- شکل ۲-۲. شماتیکی از بلور فوتونیک یک بعدی متقارن با یک لایه ی نقص ..... ۱۸
- شکل ۲-۳. شماتیکی از بلور فوتونیک یک بعدی نامتقارن با یک لایه ی نقص ..... ۱۸
- شکل ۲-۴. ضریب شکست سیلیکون (Si) به عنوان تابعی از طول موج و دما ..... ۲۰
- شکل ۲-۵. ضریب شکست ژرمانیوم (Ge) به عنوان تابعی از طول موج و دما ..... ۲۱
- شکل ۲-۶. نمودار تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی ایده آل  $(\text{Si}/\text{air})^{10}$  در دمای  $T = 300^\circ\text{K}$  ، محدوده ی گاف نوار فوتونی برای این بلور برابر است با  $[1/510-1/815] \mu\text{m}$  ..... ۳۴
- شکل ۲-۷. نمودار تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون (Si) حالت متقارن ..... ۳۷
- شکل ۲-۸. نمودار تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص ژرمانیوم (Ge) حالت متقارن ..... ۳۸
- شکل ۲-۹. نمودار تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص ژرمانیوم (Ge) حالت پاد متقارن ..... ۴۱
- شکل ۲-۱۰. نمودار تغییرات موقعیت مد نقص در طیف تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با لایه ی نقص سیلیکون (Si) در اثر افزایش دما ..... ۴۲
- شکل ۲-۱۱. نمودار تغییرات موقعیت مد نقص در طیف تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با لایه ی نقص ژرمانیوم (Ge) در اثر افزایش دما ..... ۴۳
- شکل ۲-۱۲. نمودار تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص ژرمانیوم (Ge) حالت متقارن  $(N=5)$  ..... ۴۵

- شکل ۲-۱۳. نمودار تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص ژرمانیوم (Ge) حالت متقارن  
 ۴۵.....(N= 10)
- شکل ۲-۱۴. نمودار تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص ژرمانیوم (Ge) حالت متقارن  
 ۴۶.....(N= 15)
- شکل ۲-۱۵. نمودار تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص ژرمانیوم (Ge) حالت پاد متقارن  
 ۴۶.....N=5
- شکل ۲-۱۶. نمودار تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص ژرمانیوم (Ge) حالت پاد  
 متقارن N=10..... ۴۷
- شکل ۲-۱۷. نمودار تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص ژرمانیوم (Ge) حالت پاد متقارن  
 ۴۷.....N=15
- شکل ۲-۱۸. نمودار تغییرات موقعیت مد نقص درطیف تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با لایه ی نقص  
 سیلیکون (Si) در اثر افزایش ضخامت لایه ی نقص..... ۴۸
- شکل ۲-۱۹. نمودار تغییرات موقعیت مد نقص درطیف تراگسیل بلور فوتونیک یک بعدی با لایه ی نقص  
 ژرمانیوم (Ge) در اثر افزایش ضخامت لایه ی نقص..... ۴۹
- شکل ۳-۱. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی ایده ال  $10 (si/air)$  برای  $d_2 = d_1 = 1 \mu m$  ..... ۵۴
- شکل ۳-۲. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی ایده ال  $10 (si/air)$  برای  $d_2 = d_1 = 1/5 \mu m$  ..... ۵۵
- شکل ۳-۳. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی ایده ال  $10 (si/air)$  برای  $d_2 = d_1 = 2 \mu m$  ..... ۵۵
- شکل ۳-۴. مقایسه ی سه نمودار بلور فوتونیک یک بعدی ایده ال  $10 (si/air)$  برای حالت الف) ..... ۵۶
- شکل ۳-۵. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی ایده ال  $10 \left(\frac{si}{air}\right)$  برای  
 $d_1 = 1 \mu m$  و  $d_2 = 2 \mu m$  ..... ۵۷
- شکل ۳-۶. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی ایده ال  $10 \left(\frac{si}{air}\right)$  برای و  
 $d_1 = \frac{1}{5} \mu m$  و  $d_2 = 3 \mu m$  ..... ۵۸
- شکل ۳-۷. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی ایده ال  $10 \left(\frac{si}{air}\right)$  برای  
 $d_1 = 2 \mu m$  و  $d_2 = 4 \mu m$  ..... ۵۸
- شکل ۳-۸. مقایسه ی سه نمودار بلور فوتونیک یک بعدی ایده ال  $10 (si/air)$  برای حالت ب) ..... ۵۹
- شکل ۳-۹. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی ایده ال  $10 \left(\frac{si}{air}\right)$  برای و  
 $d_1 = 1 \mu m$  و  $d_2 = 3 \mu m$  ..... ۶۰

شکل ۳-۱۰. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی ایده ال  $10 \left(\frac{si}{air}\right)$  برای و

۶۱.....  $d2 = \frac{4}{5}\mu m$      $1 = \frac{1}{5}\mu m$

شکل ۳-۱۱. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی ایده ال  $10 \left(\frac{si}{air}\right)$  برای

۶۱.....  $d2 = 6\mu m$  و  $d1 = 2\mu m$

شکل ۳-۱۲. مقایسه ی سه نمودار بلور فوتونیک یک بعدی ایده ال  $10 (si/air)$  برای حالت ج)..... ۶۱

شکل ۳-۱۳. مقایسه ی نه نمودار بلور فوتونیک یک بعدی ایده ال

۶۲.....  $10 (si/air)$  برای حالت الف)، ب) و ج).

شکل ۳-۱۴. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون  $d2 = d1 = 1\mu m$

۶۳..... Type equation here با ضخامت لایه ی نقص  $T=2\mu m$  و  $T=3\mu m$

شکل ۳-۱۵. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون  $d2 = d1 = 1\mu m$  با ضخامت

۶۴..... لایه ی نقص  $T=4\mu m$  و  $T=5\mu m$

شکل ۳-۱۶. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون  $d2 = d1 = 1\mu m$  با ضخامت

۶۴..... لایه ی نقص  $T=6\mu m$  و  $T=7\mu m$

شکل ۳-۱۷. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون  $d2 = d1 = 1/5\mu m$  با ضخامت

۶۶..... لایه ی نقص  $T=3\mu m$  و  $T=4/5\mu m$

شکل ۳-۱۸. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون  $d2 = d1 = 1/5\mu m$  با ضخامت

۶۶..... لایه ی نقص  $T=6\mu m$  و  $T=7/5\mu m$

شکل ۳-۱۹. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون  $d2 = d1 = 1/5\mu m$  با ضخامت

۶۷..... لایه ی نقص  $T=9\mu m$  و  $T=10/5\mu m$

شکل ۳-۲۰. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون  $d2 = d1 = 2\mu m$  با ضخامت

۶۸..... لایه ی نقص  $T=4\mu m$  و  $T=6\mu m$

شکل ۳-۲۱. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون  $d2 = d1 = 2\mu m$  با ضخامت

۶۸..... لایه ی نقص  $T=8\mu m$  و  $T=10\mu m$

شکل ۳-۲۲. نمودار بلور فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص سیلیکون  $d2 = d1 = 2\mu m$  با ضخامت

۶۹..... لایه ی نقص  $T=12\mu m$  و  $T=14\mu m$

## چکیده

در این تحقیق، ویژگی مدهای نقص ظاهر شده در طیف تراگسیل ساختار بلورهای فوتونیک یک بعدی با یک لایه ی نقص و همچنین موقعیت ناحیه گاف نوار فوتونی در ساختار بلورهای فوتونیک یک بعدی ایده ال مورد بررسی قرار گرفته است. ساختار بلورهای فوتونیک برای دو حالت متقارن و پاد متقارن بررسی می شود.

سیستمی که در این تحقیق در نظر گرفته می شود، سیستمی دو لایه ای از سیلیکون / هوا است، ضریب شکست سیلیکون به عنوان تابعی از طول موج و دما به طور هم زمان در نظر گرفته می شود، در حالی که ضریب شکست هوا مستقل از طول موج و دما است.

طول موج مرکزی مد نقص به پهنای لایه ی نقص وابسته است، بنابراین می توان طول موج مرکزی مد نقص را با تغییر در پهنای لایه ی نقص تغییر داد، از این خاصیت می توان برای جدا سازی و ایجاد طول موج های معین از خروجی یک دستگاه اپتیکی متشکل از بلورهای فوتونیک استفاده نمود.

## مقدمه

با نشان دادن گاف نواری در ساختارهای تناوبی یک بعدی توسط فیزیکدان انگلیسی، مطالعه بر روی بلورهای فوتونیک شروع شد (Rayleigh, 1887). کمتر از صد سال بعد، دانشمند اتحاد جماهیر شوروی مقاله ای منتشر کرد که در آن امکان استفاده از ساختارهای تناوبی برای کنترل انتشار خود بخودی را توضیح داده بود (Bykov, 1972).

کمتر از ده سال بعد، مفهوم بلورهای فوتونیک سه بعدی مورد بررسی قرار گرفت، کسی که یک روش برای محاسبه گاف نوار فوتونی پیشنهاد داده بود (Ohtaka, 1979).

ایده های فوق تا انتشار دو مقاله ی معروف در تاریخ بلورهای فوتونی اوج نگرفته بودند و هنوز لفظ بلور فوتونی و ساختار باند فوتونی ناشناخته بود، تا اینکه دو دانشمند با انتشار دو مقاله معروف خود، (این مقالات امکان مدیریت انتشار خود بخودی و همچنین امکان کنترل انتشار تابش با استفاده از ساختارهای های تناوبی را بررسی می کرد) توانستند عبارت بلور فوتونی را برای اولین بار در این ساختارها بکار برند (yablonovtich and john, 1987).

هرچند، اولین کارها برای شروع پیشرفت در مطالعه ی بلورهای فوتونیک، کارهایی بود که توسط الی یابلونوویچ و ساجیو جان انجام شد، اما پس از انتشار این مقالات، تعداد نشریات اختصاص داده شده به فیزیک و تکنولوژی بلور فوتونیک، هر ساله دو برابر شد. ه و علاقه محققان در زمینه مطالعات بر روی بلور های فوتونیک رشد چشمگیری پیدا کرده است (Guryev and Sukhoivanov, 2009 ch1)

بلورهای فوتونیک، به عنوان ساختارهای دی الکتریکی که ضریب شکستشان به طور تناوبی تغییر می کند، در برابر امواج الکترومغناطیس رفتار جالبی از خود نشان می دهند که این رفتار، مشابه رفتار الکترون ها در نیمه رساناها می باشد (Aghajamali et al., 2012).

یکی از خواص مهم بلور های فوتونیک، وجود یک گاف نواری نسبتاً پهن در طیف عبوری آنها می باشد. این بدین معنی است که از امواج تابیده شده به بلور، طول موج هائی که در ناحیه گاف قرار می گیرند در بلور جذب شده و در نتیجه از آن عبور نخواهند کرد. چنانچه لایه ای با خصوصیتی متفاوت با لایه های اصلی بلور فوتونیک بین لایه ها اضافه گردد، (لایه نقص) این لایه باعث ایجاد نوار مجاز فوق العاده باریکی در ناحیه گاف گردیده که سبب می شود، طول موج خاصی از طول موج های ناحیه ی گاف که قبل از قرار گرفتن لایه ی نقص اجازه عبور نداشت، اکنون بتواند به علت حضور لایه ی نقص از بلور عبور نماید (Joannopoulos, 1995).

هدف اصلی ما بررسی چگونگی تشکیل این نوار مجاز فوق العاده باریک است و همچنین بررسی عواملی که باعث تغییر موقعیت این نوار در ناحیه گاف می شود. دستیابی به این هدف، با تحقیق کردن بر روی اثر لایه نقص در موقعیت نوار جدید ایجاد شده در ناحیه گاف امکان پذیر است. (kumar et al., 2012).

## فصل اول

به خلاصه ای از معرفی اصول اولیه ی بلورهای فوتونیک می پردازد، این بلورها طبقه ای خاص از محیط های اپتیکی هستند



با قابلیت مدولاسیون تناوبی از گذرهی.

این فصل به ترتیب، ابتدا ایده ای کلی از آنچه که بلورهای فوتونیک می باشند را بیان می کند، سپس انواع مختلفی از شبکه های بلورهای فوتونیک را توصیف نموده، بعد از بیان انواع شبکه های بلور فوتونیک بخشی از فصل به معرفی گاف نوارهای فوتونی (PBGs) اختصاص داده می شود و از آنجا که تحقیق بر روی بلورهای فوتونیک یک بعدی انجام می شود لذا مفهوم ساختار نواری برای بلور فوتونیک یک بعدی بیان و نمودار آن هم رسم می شود. بعد از آن روش های عددی برای مطالعه خواص بلور فوتونی مورد بررسی قرار می گیرد و در پایان فصل تعدادی از کاربردهای این بلورها در صنایع اپتیکی و تعدادی از کارهای محققان در زمینه بلورهای فوتونیک ارائه داده می شود.

#### فصل دوم

شامل تحقیق در مورد اثرات لایه ی نقص بر روی گاف نواری بلورهای فوتونیک یک بعدی می باشد. موقعیت مدهای نقص ظاهر شده در طیف تراگیسیل بلور که در اثر لایه ی نقص ایجاد شده است توسط تغییر در چهار عامل (در فصل دوم در مورد این چهار عامل به طور کامل صحبت خواهد شد) مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

#### فصل سوم

مبحث ابتدای فصل، بررسی موقعیت ناحیه ی گاف نوار فوتونی در اثر تغییر ضخامت لایه های اصلی در بلور فوتونیک یک بعدی ایده ال است. مبحث پایانی فصل هم بررسی موقعیت مدهای نقص ظاهر شده در طیف تراگیسیل بلور فوتونیک یک بعدی در اثر تغییر در ضخامت لایه ی نقص می باشد.

#### فصل چهارم

نتایج هر آنچه در فصل دوم و سوم مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت، در فصل چهارم نشان داده می شود.

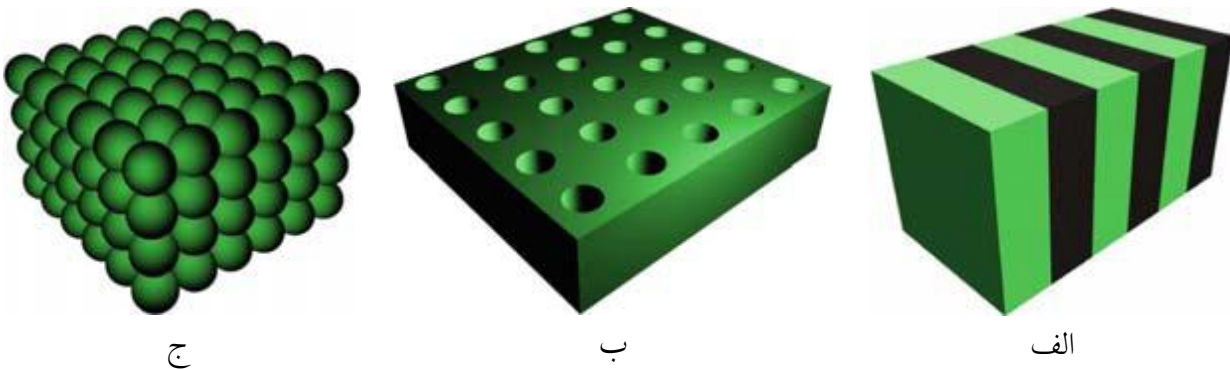
## فصل اول

معرفی بلورهای فوتونیک، مختصری از تفاوت ها  
و شباهت ها با بلورهای فیزیک حالت جامد

## ۱. اصول اولیه بلورهای فوتونیک

### ۱ + ۴. معرفی کلی بلورهای فوتونیک

بلورهای فوتونیک دسته جدیدی از محیط های اپتیکی ، دارای ساختارهای طبیعی یا مصنوعی با ضریب شکست تناوبی هستند. چنین محیط های اپتیکی ، خواص ویژه بسیاری دارند که به آنها این فرصت را می دهد که بر اساس این خواص ، کاربردهای بسیاری را دارا باشند. بسته به ساختار هندسی ، بلورهای فوتونیک می توانند به سه دسته کلی با نامهای ساختارهای یک بعدی (1D)، دو بعدی (2D) و ساختار سه بعدی (3D)، تقسیم بندی شوند. در شکل 1-1 این ساختارها را مشاهده می کنید.



شکل ۱. الف) بلور فوتونیک یک بعدی      ب) بلور فوتونیک دو بعدی      ج) بلور فوتونیک سه بعدی

بلورهای فوتونیک برای تحت تاثیر قرار دادن حرکت فوتونها، و بلورهای نیمه رسانا برای تحت تاثیر قرار دادن حرکت الکترون ها طراحی شده اند . بنابراین عملکرد بلور های فوتونیک در برابر فوتون ها، مشابه عملکرد بلورهای نیمه رسانا در برابر الکترون ها است . بلور های فوتونیک در طبیعت به صورت ساختارهای رنگی مشاهده می شوند. بال پروانه ها، سنگ معدنی عقیق که در ساخت جواهر آلات استفاده می شود و بال بعضی از حشرات که در نور به رنگ های مختلف مشاهده می شوند . چند نمونه از این موارد می باشند (Guryev and Sukhoivanov, 2009 ch1).

#### ۱ + ۴. بلورهای فوتونیک یک بعدی

در بلورهای فوتونیک یک بعدی<sup>۱</sup> مدولاسیون تناوبی از گذردهی تنها در یک جهت اتفاق می افتد. در حالی که در دو جهت دیگر ساختار یکسانی داریم. به عنوان یک مثال از چنین بلورهای فوتونیک، توری براگ را می توان مثال زد که به طور گسترده، در لیزرهای ساطع به عنوان یک بازتابنده توزیعی در سطح کاواک عمودی استفاده می شود. علاوه بر این، چنین ساختارهایی به عنوان پوشش های ضد انعکاس، به طور گسترده استفاده می شوند تا اجازه دهند به طور چشمگیری بازتاب از سطح افزایش یابد و استفاده می شوند تا کیفیت لنزها، منشورها و سایر اجزای اپتیکی را افزایش دهیم (Guryev and Sukhoivanov, 2009 ch1).

#### ۱ + ۳. بلورهای فوتونیک دو بعدی

بلورهای فوتونیک دو بعدی<sup>۲</sup> می توانند انواع نسبتاً زیادی از تنظیمات را داشته باشند، زیرا دارای تناوبی از گذردهی، در طول دو جهت هستند و در جهت سوم محیط یکسان است. یک مثال خوب از بلورهای فوتونیک دو بعدی، سیلیسیم متخلخل، با منافذ تناوبی مرتب است که بوسیله ی بستر سیلیسیم با سوراخ های خورده شده توسط اسید معرفی می شود. مثال دیگری از بلورهای فوتونیک دو بعدی، یک سیستم تناوبی مرتب از میله های دی الکتریک در هوا است. بلورهای فوتونیک دو بعدی را می توان در طبیعت نیز یافت. الگوی روی بال پروانه ها و نقش رنگین کمان روی آن، که بوسیله ی انعکاس نور از میکروساختار روی بال ایجاد می شود نمونه ای از این موارد است (Guryev and Sukhoivanov, 2009 ch1).

#### ۱ + ۴. بلورهای فوتونیک سه بعدی

بلورهای فوتونیک سه بعدی<sup>۳</sup> دارای مدولاسیون گذردهی، در طول هر سه جهت هستند. از این رو است که تعداد ساختارهای ممکن، برای بلورهای فوتونیک سه بعدی بسیار بیشتر از مورد تک بعدی و دو بعدی است. کارهای زیادی به طراحی ساختار جدید هندسی بلورهای فوتونیک سه بعدی اختصاص داده شده است، تا امکانات جدیدی از کاربرد هایشان کشف شود.

شناخته ترین شکل طبیعی از بلورهای فوتونیک سه بعدی در دسترس، سنگ عقیق سیلیسیم است. این سنگ توسط خواص نوری منحصر بفردش شناخته شده است. هنگامی که این سنگ را می چرخانیم به رنگ های مختلفی دیده می شود. از این رو مردم باستان اعتقاد داشتند این سنگ عقیق دارای قدرت جادویی است. به هر حال امروزه متوجه شده ایم این ویژگی ناشی از میکروساختار این سنگ است. این سنگ شامل تعدادی از

<sup>1</sup> one dimensional photonic crystal

<sup>2</sup> two dimensional photonic crystal

<sup>3</sup> three dimensional photonic crystal