بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فیزیک

گروه اتمی و مولکولی

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد فیزیک لیزر

عنوان:

بررسی خواص اپتیکی بلور فوتونی یک بعدی شامل گرافن تک لایه

استاد راهنما:

دکتر عبدالرحمن نامدار

استاد مشاور:

دکتر بابک عبدالهی پور

پژوهشگر:

جعفر لطفی

دی ۱۳۹۳

تقدیم به روح دامادعزیزمان که هرگز از خاطرمانخواهدرفت.

تقدیر و تشکر:

شکر شایان نثار ایزد منّان که توفیق رارفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم.

این پایان نامه راضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار، تقدیم به محضر ارزشمند خانواده دلسوز، اساتید فرزانه و دوستان عزیز می نمایم.

از اساتید فاضل و اندیشمند جناب آقایان دکتر عبدالرحمن نامدار به عنوان استاد راهنما و دکتر یابک عبدالهی پور به عنوان استاد مشاور، که همواره اینجانب را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند و هم چنین دکتر صدر روشن انتظار که داوری این پایان نامه را به عهده داشتند کمال تشکر را دارم.

با سپاس بی دریغ و ویژه خدمت دوستان گران مایه ام آقایان و خانم ها: سلیم ملاپور، مهدی حسن پور، فیروز واحدی و رعنا فیض الهی که مراصمیمانه و مشفقانه یاری داده اند.

و در پایان با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند.

نام خانوادگی دانشجو: لطفی **نام**: جعفر

عنوان پایان‌نامه: مطالعه‌ی خواص اپتیکی بلور فوتونی یک بعدی شامل لایه‌های گرافن تک لایه

استاد راهنما: دکتر عبدالرحمن نامدار

استاد مشاور: دکتر بابک عبدالهی پور

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته**: فیزیک **گرایش**: لیزر

دانشگاه: تبریز **دانشکده**: فیزیک **تاریخ فارغ التحصیلی**: دی ۹۳ **تعداد صفحه**: ۱۲۳

کلید واژه‌ها: بلور فوتونی، گرافن تک لایه، گرافن دولایه، ماتریس انتقال

چکیده:

گرافن ماده‌ی تک لایه‌ای تخت متشکل از اتم های کربن است که این اتم‌ها در یک شبکه دو بعدی لانه زنبوری به هم متصل شده‌اند، گرافن به علت داشتن خواص فوق العاده در رسانندگی الکترونیکی و رسانندگی گرمایی، چگالی بالا و تحرک پذیری حامل های بار رسانندگی اپتیکی و خواص مکانیکی به ماده ای منحصر به فرد تبدیل شده است. این ماده به خاطر خواص ویژه خود به عنوان کاندید بسیار مناسب برای جایگزینی سیلیکان در نسل بعدی قطعه های فوتونیکی و الکترونیکی در نظر گرفته شده است و از این رو توجه فراوانی را در تحقیقات بنیادی و کاربردی به خود جلب کرده است. رسانندگی الکترونیکی و گذردهی نوری بالای گرافن ، آن را به عنوان کاندیدی مناسب برای الکترودهای رسانای شفاف، ترانزیستورها، سلول های فوتوالکتریک، سنسورهای گازی و به دیود های آلی ساطع کننده نور(OLED) و سایر قطعات الکترونیکی معرفی می‌کند.

در این پایان نامه ابتدا خواص اپتیکی (بازتاب، تراگسیل و جذب) گرافن تک لایه و دو لایه را با استفاده از روش ماتریس انتقال مطالعه می کنیم. سپس یک بلور فوتونی یک بعدی متشکل از دو لایه‌ی دی‌الکتریک را در نظر می گیریم که در میان فصل مشترک آن‌ها لایه های مشابه گرافنی قرار گرافته است. با به کار گیری روش ماتریس انتقال خواص اپتیکی و ساختار

باند چنین بلوری را در حضور لایه‌های گرافنی(تک‌لایه و دولایه) تعیین می‌کنیم و وابستگی ویژگی‌های اپتیکی بلور فوتونی یک بعدی مذکور را به ضخامت لایه‌های دی الکتریک، زاویه‌ی فرود نور، فرکانس نور و پتانسیل شیمیایی را بررسی می‌کنیم. نتایج حاصل می‌تواند در طراحی ابزارآلات اپتیکی مورد استفاده قرار بگیرد.

فهرست

مقدمه..... ۱

۱فصل اول : بررسی منابع و پیشینه تحقیق..... ..... ۴

۱-۱ بلورهای فوتونی ۴

۱-۱-۱ تعریف بلورهای فوتونی و انواع آن ۴

۱-۱-۲ انواع بلورهای فوتونی ۵

۱-۱-۳ تاریخچه بلورهای فوتونی ۸

۱-۱-۴ کاربردهای بلورهای فوتونی..... ۹

۱-۲ کربن و دگرشکلهای آن ۱۰

۱-۲-۱ معرفی کربن ۱۰

۱-۲-۲ هیبریدهای اتم کربن و پیوند کووالانسی ۱۱

۱-۲-۳ معرفی انواع صورتهای کربنی..... ۱۴

۱-۳ گرافن..... ۱۵

۱-۳-۱ تاریخچه ی گرافن ۱۵

۱-۳-۲ روشهای ساخت گرافن ۱۹

۱-۳-۳ ساختار بلوری گرافن و گرافیت ۲۴

۱-۳-۴ خواص فیزیکی گرافن ۳۱

۱-۳-۵ کاربردهای گرافن ۴۱

۲فصل دوم : مواد و روش‌ها..... ۴۹
2-1 مقدمه ۴۹
۲-۲ ماتریس انتقال ۴۹
۲-۲-۱ ماتریس انتقالی ۴۹
2-2-2 ماتریس انتشار ۵۴
2-2-3 ماتریس انتقال کل ۵۵
2-2-4 محاسبه ی ویژگیهای اپتیکی ۵۶
۲-۳ موج بلوخ ۵۷
۲-۴ رسانندگی اپتیکی گرافن تک لایه و گرافن دولایه ۵۹
۲-۴-۱ رسانندگی اپتیکی گرافن تک لایه ۶۰
۳فصل سوم : نتایج و بحث..... ۸۵
۳-۱ مقدمه ۸۵
۳-۲ استفاده از یک لایه گرافن ۸۶
۳-۲-۱ خواص اپتیکی گرافن تک لایه ۸۶
۳-۲-۲ خواص اپتیکی گرافن دولایه ۹۱
۳-۳ استفاده از دو لایه گرافن ۹۴
۳-۴ چند لایه گرافن(بلور فوتونی گرافنی یک بعدی) ۹۶
۳-۴-۱ بلور فوتونی یک بعدی با لایه های گرافن تک لایه ۹۶

۳-۴-۲ بلور فوتونی یک بعدی با لایه های گرافن دولایه ۱۰۶

۳-۴-۳ بلور فوتونی یک بعدی در غیاب گرافن ۱۱۲

۳-۵ نتیجه گیری..... ۱۱۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: تصویر بالا به ترتیب از چپ به راست بلورهای فوتونی یک بعدی(1D)، دو بعدی (2D) و سه بعدی (3D) را نشان می دهد[۱]. ۴

شکل ۱-۲: نمونه های طبیعی ساختارهای فوتونیکی با رنگهای مختلف را نشان می دهد. A) تناوب یک بعدی موجود در فرم پرهای سبز و بنفش کبوتر B) برخی از تناوبهای طبیعی موجود در پروانه مورفو C) ساختار طبیعی پر طاووس نر D) ساختار طبیعی متناوب دوبعدی از کرمهای polychaete E) ساختار اپال سه بعدی ظاهر شده در پروانه F) ساختار بلور فوتونی سه بعدی مبتنی بر الماس در سوسک L.augustus [۱۷].....۵

شکل ۱-۳: بلور فوتونی دو بعدی (2D) باشبکه مربعی و میله های دایروی شکل[۱۸].....۷

شکل ۱-۴: نمونه هایی از کاربرد بلورهای فوتونی A)تغییر شکل فیلم بلور فوتونی قابل انعطاف، قبل از آزمایش(سبز) و بعد از آزمایش (آبی) B) اثر انگشت ظاهر شده با استفاده از بلور فوتونی منعطف بر روی تصویر خاکستری از انگشت سبابه قرار داده شده است[۱۷]. ۱۰

شکل ۱-۵: اوربیتال های مولکولی هیبریدی اتم های کربن در آلکان(sp3) ، آلکن (sp2) و آلکین(sp) [۴۰].....۱۲

شکل ۱-۶: ساختار صفحات گرافیتی، از چپ به راست: اوربیتال های p عمود بر صفحه، ابر π دربرگیرنده صفحات، شمای پیوندهای π درمیان صفحات[۴۱]. ۱۳

شکل ۱-۷: a) اتمهای کربن در یک پیکربندی چهار وجهی با پیوند های هیبریدی sp^3 مرتب شده اند. b)و تشکیل بلور الماس را داده اند. این پیوند قوی کووالانسی باعث شده تا الماس سخت ترین ماده شناخته شده، محسوب شود. به همین دلیل از جمله کاربرد های مهم تجاری الماس می توان به عنوان سنباده برای سایش و پرداخت فلزات و به عنوان یک پوشش برای ابزارهای برش نام برد[۴۰]. ۱۴

شکل ۱-۸: انواع فرم های کربنی، Aفولرن، Bنانولوله های کربنی، Cگرافن و D گرافیت[۴۲]. ۱۴

شکل ۱-۹: توده ی گرافیت، یک ترانزیستور گرافنی و نوار چسب، که در سال ۲۰۱۰ توسط آندره گایم و

کنستانتین نووسلف به موزه نوبل در استکهلم اهدا گردید[۴۱]. ۱۸

شکل ۱-۱۰:a) *تصویر AFM از چند لایه ی گرافنی بر روی زیر لا یه ی* SiO_2 . b) *تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری از گرافن معلق شده می باشد. هر دو شکل توسط گروه دانشگاه منچستر تهیه شده است*[۶۲]. ۲۱

شکل ۱-۱۱:*a)* نشان دهنده ی طرح شماتیک گرافن رونهشتی است. بر روی زیرلایه ی *SiC* یک لایه ی گرافیتی قرار دارد که مشتمل بر لایه های گرافن با ضخامت چندین اتم است. اولین لایه، لایه ی حائل *(Buffer)* است که به شدت به زیرلایه مقید بوده و در حالتی که اتمهای سطح زیرلایه *Si (C)* باشند، از آن فاصله ی *0.2 nm(0.17 nm)* دارد. لایه های گرافن، که فاصله های مساوی *0.39 nm* از یکدیگر دارند. در فاصله ی *0.38 nm (0.39 nm)* از این لایه ی حائل قرار گرفته اند. *b)* نشان دهنده ی گرافن رونهشتی بر روی زیرلایه ی *SiC* است که به اتمهای *C* ختم شده است، در این شکل لایه های ۵ تا ۱۰ تایی گرافن دارای تاخوردگی هستند که با رنگ سفید در شکل نمایان میباشند[۶۲]. ۲۲

شکل ۱-۱۲: تولید گرافن با استفاده از پودر گرافیت، مایع ظرفشویی و همزن آشپزخانه، که توسط گروه تحقیقاتی آقای کلمن صورت یافته است[۶۴]. ۲۴

شکل ۱-۱۳: - شکل سمت چپ نشان دهنده ی شبکه ی لانه زنبوری است. مولکولهای قرمز زیر شبکه های A و مولکولهای سیاه رنگ زیر شبکه های B را نشان می دهد. بردارهای a_1 و a_2 بردارهای پایه شبکه ی براوه ی مثلثی می باشند. شکل سمت راست شبکه ی وارون شبکه ی مثلثی را نشان می دهد. که در آن b_1 و b_2 بردارهای آن هستند. ناحیه ی هاشور خورده در این شکل، اولین ناحیه ی بریلوئن با مرکزیت Γ و دو گوشه ی غیر یکسان K^+ و K^- را نشان می دهد[۶۲]. ۲۵

شکل ۱-۱۴: ساختاربلوری گرافن دولایه را از دید بالا (a) و از پهلو(b) نشان می دهد. اتمهای A1 و B1 در لایه ی پایینی با دایره های سفید و سیاه نشان داده شده اند، و A2 و B2 در لایه ی بالایی به ترتیب سیاه و خاکستری رنگ می باشند[۶۲]. ۲۷

شکل ۱-۱۵: دو احتمال مختلف برای قرار گرفتن دو لایه ی گرافن روی هم به منظور تشکیل گرافن دولایه ی منظم، دایره ها و مثلثهای مشکی، به ترتیب، مکانهای A1 و B1 در لایه ی پایینی گرافن بوده و دایره ها و مثلثهای سفید نیز، به ترتیب، مکانهای A2 و B2 در گرافن لایه ی بالایی هستند. در شکل a، لایه ی بالایی نسبت به لایه ی پایینی با δ_1جابجا شده اند (در این حالت اتمهای A2 بر روی اتمهای B قرار گرفته اند). در شکل b لایه ی بالایی با بردارδ_1- نسبت به لایه ی پایینی جابجا شده است (در این حالت مکانهای B2 بر روی A قرار گرفته اند)[۶۲]..... ۲۸

شکل ۱-۱۶: الگوی موری که حاصل از دولایه ی گرافن روی هم چیده شده است، به طوری که لایه ی بالایی نسبت به لایه ی پایینی با زاویه ی φ دوران یافته است[۶۲]. ۳۰

شکل ۱-۱۷: انرژی E برای اکسایتونها در گرافن به عنوان تابعی از اعداد موج k_x و k_y که در جهات x و y است، می باشد. خط سیاه انرژی فرمی را برای بلور گرافن دوپ نشده ارائه می دهد. نزدیک این سطح فرمی، طیف انرژی توسط شش مخروط دوگانه مشخص می شود[۶۱]. ۳۲

شکل ۱-۱۸: *تبدیل صفحات گرافنی به نانو نوارهای گرافنی با محدود کردن عرض آن. شکل نانو نوارهای گرافنی با لبه ی آرمیچر و زیگزاگ را نشان می دهد*[۷۳]. ۳۴

شکل ۱-۱۹: رختخواب گرافنی مفروض که وزنی در حدود سیبیل های گربه را دارد، اما توانایی تحمل گربه ای به وزن ۴ کیلوگرم را بدون شکستن دارا می باشد[۷۶]. ۳۶

شکل ۱-۲۰: طرح شماتیک گرافن که بر روی SiO_2 قرار گرفته است. لایه ی آلاییده شده ی Si که در زیر قرار گرفته است، نقش اتصال پایین را خواهد داشت. این ساختار (Si-SiO_2-$Graphene$) را می توان به عنوان خازنی در نظر گرفت که چگال حاملینش با ولتاژ V_g کنترل می شود[۶۲]..... ۳۷

شکل ۱-۲۱: لایه های آبی رنگ نشان دهنده ی، لایه های گرافن می باشند، و لایه ی زرد رنگ نشان دهنده ی زیر لایه است، با افزایش تعداد لایه های گرافن برهم کنش قطره ی آب از زیر لایه به لایه های گرافن

جابجا می شود[۸۱]..... ۳۹

شکل ۱-۲۲: دیود ساخته شده با استفاده از الکترود گرافن[۸۳]..... ۴۰

شکل ۱-۲۳: - الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) و ب) پراش الکترونی (ED) و ج) میکروسکوپ الکترونی عبوری با قدرت تفکیک بالا (HRTEM) و د) میکروسکوپ تونل زنی روبشی (STM) و ه) میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) و و) میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) و ز) پراش اشعه ایکس (XRD)و ح) طیف سنجی فوتوالکترون اشعه ایکس (XPS) ط) طیف سنجی رامان و ی) تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) از گرافن[۷۰]..... ۴۱

شکل ۱-۲۴:a) طرح شماتیکی از سطح مقطع ترانزیستور گرافنی را نشان می دهد. b) نمای بالای میکروگراف تهیه شده از ترانزیستور اثر میدانی را نمایش می دهد[*۸۶*]. ۴۳

شکل ۱-۲۵: - *طرح شماتیکی از قرار دادن نانو صفحات گرافنی در معرض باکتری*[*۸۸*]. ۴۵

شکل ۲-۱: یک تک لایه ی گرافن محصور بین دو دی الکتریک با ثابتهای ε_1 و ε_2. لایه ی گرافن با رسانندگی σ، توسط رنگ قرمز و لایههای دیالکتریک به ترتیب با رنگهای آبی و زرد مشخص شده اند. ۵۰

شکل ۲-۲ :طرح شماتیکی از لایه های دی الکتریک که توسط لایه های گرافن از هم جدا شده اند... ۵۵

شکل ۲-۳: شبکه ی لانه زنبوری گرافن، تمام نقاط زیر شبکه A (دایره های سیاه رنگ) می تواند با استفاده از $n_1\vec{a}_1+n_2\vec{a}_2$ به دست آید. همچنین تمام زیر شبکه های B(دایره های توخالی) توسط $n_1\vec{a}_1+n_2\vec{a}_2+\vec{b}$ به دست می آیند. خط چین ها مرزهای سلول واحد را نشان می دهد. a ثابت شبکه است[۹۵]. ۵۹

شکل ۲-۴: منطقه بریلوئن گرافن، بردارهای پایه شبکه وارون G_1 و G_2 هستند. بردار $\vec{K}_{i,j}=1,2,...,6$ مربوط به گوشه های منطقه بریلوئن هستند(نقاط دیراک)[۹۵]. ۶۱

شکل ۲-۵: ساختار باند الکترونهای گرافن E_{lk} محاسبه شده با استفاده از تقریب تنگ بست[۹۵]. ۶۴

شکل ۲-۶: رسانندگی داخل نواری گرافن، در $\frac{\gamma}{\mu}=0.01$ برای سه دمای متفاوت در شکل نشان داده شده است. رسانندگی در واحد $\frac{e^2 g_s g_v}{16\hbar}$ محاسبه شده است[۹۵]. ۶۹

شکل ۲-۷: رسانندگی کل گرافن، در $\frac{\gamma}{\mu}=0.01$ برای سه دمای متفاوت در شکل نشان داده شده است. رسانندگی در واحد $\frac{e^2 g_s g_v}{16\hbar}$ محاسبه شده است. در فرکانسهای پایین $\hbar\omega \le |\mu|$ رسانندگی موهومی است و سهم مربوط به داخل نواری کلاسیکی غالب است. و در فرکانسهای بالا $\hbar\omega \ge |\mu|$ سهم داخل نواری کوانتومی غالب است[۹۵]. ۷۰

شکل ۲-۸ : در تصویر بالایی رسانندگی گرافن دولایه بر σ_0 برای سه مقدار متفاوت به ازای $\frac{\mu}{\gamma}$ برحسب وابستگی به $\frac{\Omega}{\gamma}$ رسم شده است. در تصاویر میانی و انتهایی، پاشندگی ε_1 (خطوط پر) و ε_2 (خط چینها) برای گرافن دولایه نزدیک نقاط K و گذارهای ممکن را برای $\mu = 0, 0.2\gamma, 1.2\gamma$ رسم شده است[۹۶]. ۸۰

شکل ۲-۹: بخش حقیقی(خط-نقطه های قرمز رنگ) و بخش موهومی(خطوط آبی رنگ)، رسانندگی گرافن دولایه به ازای $\mu = 0.4\gamma$ در قسمت *(a)* و $\mu = 0.9\gamma$ در قسمت *(b)* ترسم شده اند. محور عمودی رسانندگی بر $\sigma_0 = \frac{e^2}{2\hbar}$ و محور افقی فرکانس بر $\omega_0 = \frac{\gamma}{\hbar}$ است[۹۷]. ۸۳

شکل ۳-۱ a) بازتابندگی و تراگسیلندگی و b) جذب به ازای $\Omega = 4$ را برای زوایای فرود مختلف نشان می دهد($\mu = 0.15ev$). ۸۸

شکل ۳-۲: بازتابندگی و تراگسیلندگی را به ازای $\Omega = 0.5$ برای زوایای فرود مختلف نشان می دهد. ۸۹

شکل ۳-۳: a) رفتار بازتابندگی تراگسیلندگی b) جذب را به ازای $\Omega = 4$ برای زوایای فرود متفاوت نشان می دهد. ۹۰

شکل ۳-۴: رفتار بازتابندگی و تراگسیلندگی را با شرط $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ به ازای $\Omega = 0.5$ نشان می دهد. ۹۱

شکل ۳-۵: رسانندگی اپتیکی گرافن دولایه را به ازای فرکانسهای متفاوت را نشان می دهد

($\mu=1.2\gamma,\Omega=\hbar\omega/\mu,\sigma_0=e^2/2\hbar$) [۹۸]. ۹۱

شکل ۳-۶: a) رفتار بازتابندگی و تراگسیلندگی، b) جذب گرافن دولایه را با شرط $\varepsilon_1<\varepsilon_2$ c) بازتابندگی و تراگسیلندگی و d) جذب برای گرافن دولایه را به ازای $\Omega=4$ نشان می دهد. ۹۲

شکل ۳-۷: a) رفتار بازتابندگی و تراگسیلندگی، b) جذب گرافن دولایه را با شرط $\varepsilon_1<\varepsilon_2$ c) بازتابندگی و تراگسیلندگی و d) جذب برای گرافن دولایه را به ازای $\Omega=1.7$ نشان می دهد[۹۸]. ۹۳

شکل ۳-۸: دولایه گرافن توسط محیط دی الکتریک ε_2 با ضخامت d از همدیگر جدا شده اند. ۹۴

شکل ۳-۹: الف و ج تراگسیلندگی را برای ساختار مذکور در شکل۳-۸ را به ترتیب برای $d=0.04\hbar c/0.15ev$ و $d=4\hbar c/0.15ev$ نشان می دهد. ۹۵

شکل ۳-۱۰:طرح شماتیکی را نشان می دهد، که لایه های گرافن با رسانندگی σ توسط هوا از همدیگر جدا شده اند. ۹۶

شکل ۳-۱۱: ویژگیهای اپتیکی ساختار تشکیل یافته از گرافنهای تک لایه که توسط لایه ی هوا با ضخامتd از همدیگر جدا شده اند. (تعداد لایه ها=۳۰) خطوط پر آبی رنگ نشان دهنده ی بازتابندگی و خطوط نقطه چین قرمز رنگ نشان دهنده ی جذب می باشد. الف) به ازای $\mu=0.15ev$ d=0.04*$\hbar$ *c/μ و (ب) به ازای d=4*$\hbar$ *c/μ [۹۹]. ۹۸

شکل ۳-۱۲: رفتار بازتابندگی لایه های گرافن متناوب که توسط هوا از همدیگر جدا شده اند را به ازای فرکانس و ضخامت های متفاوت به صورت تابعی از زاویه ی فرود نشان می دهد. ۹۹

شکل ۳-۱۳: خطوط آبی رنگ نشانگر ساختار باند فوتونی و خط چین های قرمز رنگ مربوط به نمودار بازتابندگی است. نمودار بالا به ازای $d_0=4$ رسم شده است. ۹۹

شکل ۳-۱۴: باندگاف فوتونی به ازای فرکانس بی بعد شده Ω (محور افقی) و زاویه ی فرودی تقسیم بر $\pi/2$ (محور قائم)را نشان می دهد. (الف) و (ج) به ازای قطبش s به ترتیب برای $d_0=0.04$ و $d_0=4$. (ب) و (د) به ازای قطبشp به ترتیب برای $d_0=0.04$ و $d_0=4$. نشانگر رنگی مجاور نمودارها به صورتی است که

رنگ آبی سیر R=0 و رنگ قهوه ای سیر R=1 را نشان دهد، و به ازای مابقی مقادیر R رنگهایی مطابق نشانگر رنگی اختصاص داده شده است[۹۹]. ۱۰۱

شکل ۳-۱۵: جذب به ازای فرکانس بی بعد شده Ω (محور افقی) و زاویه ی فرودی تقسیم بر $\pi/2$ (محور قائم)را نشان می دهد. (الف) و (ج) به ازای قطبش s به ترتیب برای d_0=0.04 و d_0=4 . (ب) و (د) به ازای قطبشp به ترتیب برای d_0=0.04 و d_0=4 . نشانگر رنگی مجاور نمودارها به صورتی است که رنگ آبی سیر A=0 و رنگ قهوه ای سیر A=1 را نشان دهد، و به ازای مابقی مقادیر A رنگهایی مطابق نشانگر رنگی اختصاص داده شده است. ۱۰۲

شکل ۳-۱۶: طرح شماتیکی از یک بلور فوتونی یک بعدی متشکل از دولایه دی الکتریک که در میان فصل مشترک آنها لایه های مشابه گرافنی قرار گرفته است، را نشان می دهد. ۱۰۲

شکل ۳-۱۷: رفتار بازتابندگی و جذب بلور فوتونی یک بعدی شامل گرافن تک لایه را برای تابش قائم به ازای $d_0 = 0.04$ (تصویر بالایی) و $d_0 = 4$ (تصویر پایینی) به صورت تابعی از فرکانس نشان می دهد. ۱۰۳

شکل ۳-۱۸: رفتار بازتابندگی بلور فوتونی یک بعدی مذکور در شکل ۳-۱۵ را به ازای $d_0 = 0.04$ (تصویر سمت چپ) و $d_0 = 4$ (تصویر سمت راست) را برای $\Omega = 3$ به صورتی تابعی از زاویه ی فرود نشان می دهد. ۱۰۴

شکل ۳-۱۹: رفتار جذب بلور فوتونی یک بعدی مذکور در شکل ۳-۱۵ را به ازای $d_0 = 0.04$ (تصویر سمت چپ) و $d_0 = 4$ (تصویر سمت راست) را برای $\Omega = 3$ به صورتی تابعی از زاویه ی فرود نشان می دهد. ۱۰۴

شکل ۳-۲۰: باندگاف فوتونی بلور فوتونی یک بعدی حاوی لایه های گرافن تک لایه به همراه زیر لایه را به ازای فرکانس بی بعد شده Ω (محور افقی) و زاویه ی فرودی تقسیم بر $\pi/2$ (محور قائم)را نشان می دهد. (الف) و (ج) به ازای قطبش s به ترتیب برای d_0=0.04 و d_0=4 . (ب) و (د) به ازای قطبشp به ترتیب برای d_0=0.04 و d_0=4 . ..... ۱۰۵

شکل ۳-۲۱: جذب بلور فوتونی یک بعدی حاوی لایه های گرافن تک لایه به همراه زیر لایه را به ازای فرکانس بی بعد شده Ω (محور افقی) و زاویه ی فرودی تقسیم بر $\pi/2$ (محور قائم)را نشان می دهد. (الف) و (ج) به ازای قطبش s به ترتیب برای $d_0=0.04$ و $d_0=4$. (ب) و (د) به ازای قطبشp به ترتیب برای $d_0=0.04$ و $d_0=4$ ۱۰۶

شکل ۳-۲۲: ویژگیهای اپتیکی ساختار تشکیل یافته از گرافنهای دولایه که توسط لایه ی هوا با ضخامتd از همدیگر جدا شده اند. (تعداد لایه ها=۳۰) خطوط پر آبی رنگ نشان دهنده ی بازتابندگی و خطوط نقطه چین قرمز رنگ نشان دهنده ی جذب می باشد. $\mu=1.2\gamma$. به ازای $d_0=0.04$ (تصویر سمت چپی) و به ازای $d_0=4$ (تصویر سمت راستی). ۱۰۶

شکل ۳-۲۳: باندگاف فوتونی برای گرافن های دولایه که توسط هوا ازهم جدا شده اند را به ازای فرکانس بی بعد شده Ω (محور افقی) و زاویه ی فرودی تقسیم بر $\pi/2$ (محور قائم)را نشان می دهد ($\mu=1.2\gamma$). (الف) و (ج) به ازای قطبش s به ترتیب برای $d_0=0.04$ و $d_0=4$. (ب) و (د) به ازای قطبشp به ترتیب برای $d_0=0.04$ و $d_0=4$ ۱۰۷

شکل ۳-۲۴: رفتار جذب را برای گرافن های دولایه که توسط هوا ازهم جدا شده اند را به ازای فرکانس بی بعد شده Ω (محور افقی) و زاویهی فرودی تقسیم بر $\pi/2$ (محور قائم)را نشان می دهد($\mu=1.2\gamma$). (الف) و (ج) به ازای قطبش s به ترتیب برای $d_0=0.04$ و $d_0=4$. (ب) و (د) به ازای قطبشp به ترتیب برای $d_0=0.04$ و $d_0=4$ ۱۰۸

شکل ۳-۲۵: باندگاف فوتونی برای گرافن های دولایه که توسط هوا ازهم جدا شده اند را به ازای فرکانس بی بعد شده Ω (محور افقی) و زاویه ی فرودی تقسیم بر $\pi/2$ (محور قائم)را نشان می دهد ($\mu=0.2\gamma$). (الف) و (ج) به ازای قطبش s به ترتیب برای $d_0=0.04$ و $d_0=4$. (ب) و (د) به ازای قطبشp به ترتیب برای $d_0=0.04$ و $d_0=4$ ۱۰۹

شکل ۳-۲۶: : رفتار بازتابندگی و جذب بلور فوتونی یک بعدی شامل گرافن دولایه را برای تابش قائم به

ازای $d_0 = 0.04$ (تصویر بالایی) و $d_0 = 4$ (تصویر پایینی) به صورت تابعی از فرکانس نشان می دهد $(\mu = 1.2\gamma)$. ۱۱۰

شکل ۳-۲۷: باندگاف فوتونی بلور فوتونی یک بعدی حاوی لایه های گرافن دولایه به همراه زیر لایه را به ازای فرکانس بی بعد شده Ω (محور افقی) و زاویه ی فرودی تقسیم بر $\pi/2$ (محور قائم)را به ازای $\mu = 1.2\gamma$ را نشان می دهد. (الف) و (ج) به ازای قطبش s به ترتیب برای d_0=0.04 و d_0=4 . (ب) و (د) به ازای قطبشp به ترتیب برای d_0=0.04 و d_0=4 . ..... ۱۱۰

شکل ۳-۲۸: رفتار جذب را برای بلور فوتونی یک بعدی با گرافن های دولایه همراه با زیر لایه را به ازای فرکانس بی بعد شده Ω (محور افقی) و زاویه ی فرودی تقسیم بر $\pi/2$ (محور قائم)را نشان می دهد $(\mu = 1.2\gamma)$. (الف) و (ج) به ازای قطبش s به ترتیب برای d_0=0.04 و d_0=4 . (ب) و (د) به ازای قطبشp به ترتیب برای d_0=0.04 و d_0=4 . ..... ۱۱۱

شکل ۳-۲۹: باندگاف فوتونی بلور فوتونی یک بعدی حاوی لایه های گرافن دولایه به همراه زیر لایه را به ازای فرکانس بی بعد شده Ω (محور افقی) و زاویه ی فرودی تقسیم بر $\pi/2$ (محور قائم)را به ازای $\mu = 0.2\gamma$ را نشان می دهد. (الف) و (ج) به ازای قطبش s به ترتیب برای d_0=0.04 و d_0=4 . (ب) و (د) به ازای قطبشp به ترتیب برای d_0=0.04 و d_0=4 . ..... ۱۱۱

شکل ۳-۳۰: بازتاب بلور فوتونی یک بعدی را به ازای تابش قائم برای ضخامت های متفاوت دی الکتریک به صورت تابعی از $\Omega = \hbar\omega/0.15ev$ نشان می دهد ۱۱۲

شکل ۳-۳۱: باندگاف فوتونی بلور فوتونی یک بعدی در غیاب لایه های گرافن را به ازای فرکانس بی بعد شده $\Omega = \hbar\omega/0.15ev$ (محور افقی) و زاویه ی فرودی تقسیم بر $\pi/2$ (محور قائم)را نشان می دهد. (الف) و (ج) به ازای قطبش s به ترتیب برای d_0=0.04 و d_0=4 . (ب) و (د) به ازای قطبشpبه ترتیب برایd_0=0.04وd_0=4. ..... ۱۱۳

فهرست جدول‌ها

فهرستNo table of figures entries found.

نمودارها

No table of figures entries found.

مقدمه

امروزه از یک سو توانایی‌های سیلیکون به محدودیت‌های خود رسیده و از سوی دیگر بـه طـور همزمـان کشف گرافن با خواص منحصر بفرد خود در مقیاس نانو، مسیر موجود برای تولید جایگزین‌های ممکن برای نسل جدید قطعات الکترونیکی سریعتر و کوچکتر در قرن ۲۱ را هموار کرده است. ویژگی‌های جـذاب گـرافن، باعـث شده است که اعتبارات و حامیان مالی فراوانی برای تحقیقات در این زمینه پیدا شود و ما شاهد افزایش نمایی در تعداد مقالات مرتبط با گرافن باشیم.

بلورهای فوتونی ساختارهایی مصنوعی، با تغییرات متناوب در ضرایب شکستشان هستند و از ایـن رو بـا داشتن نواحی مجاز و ممنوعه‌ی فرکانسی، قابلیت کنترل انتشار نور را دارند. نتایج حاصل از بررسـی‌هـا بـر روی ساختار باند بلورهای فوتونی می‌تواند برای طراحی ابزارهای اپتیکی مورد استفاده قرار بگیرد.

با توجه به توضیحات مذکور، در این پایان‌نامه سعی می‌شود که خواص اپتیکی بلور فوتونی یک بعدی بر پایه‌ی گرافن بررسی شود. از عنوان پایان‌نامه واضح است که گرافن ماده‌ی اصلی چنین بلورهایی محسـوب مـی-شود. مطالب این پایان‌نامه در سه فصل به صورت زیر ارائه شده است.

در فصل اول اشاره‌ی مختصری به بلورهای فوتونی و کاربردهای آن در صنایع اپتوالکترونیک و فوتونیـک می‌شود. پس از آن به معرفی کربن به عنوان عنصر سازنده‌ی گرافن پرداخته می‌شـود. در ادامـه‌ی فصـل دو بـه روش‌های ساخت گرافن، خواص و کاربردهای گرافن می‌پردازیم.

در فصل دوم روش قدرتمند ماتریس انتقال برای محاسبه‌ی ویژگی‌های اپتیکی بلور فوتونی یـک بعـدی ارائه می‌شود. در ادامه‌ی فصل دوم رسانندگی نوری گرافن تک لایه و دولایه را بررسی می‌کنیم.