بسم الله الرحمن الرحيم

پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی

گروه فوتونیک

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فوتونیک-الکترونیک

عنوان

بررسی خواص غیرخطی نوری در نانونوارهای گرافینی

اساتید راهنما

دکتر اصغر عسگری

دکتر منوچهر کلافی

پژوهشگر

اسماعیل عسکرآبادی

شهریور ۱۳۹۱

تقدیم به:

با تمام احترام تقدیم به

پدر و مادر بزرگوارم

تقدیر و تشکر

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و بشکر اندرش مزید نعمت.

در ابتدا بر خود لازم می‌دانم از

پدر و مادر عزیزم که در تمامی مراحل زندگی، سختی ها و مشکلات مرا تحمل نموده اند تا شاهد رشد و بالندگی من باشند. همچنین از همه‌ی برادرها و خواهران عزیز و مهربانم که در این سردترین روزگاران همواره پشتیبان من بوده‌اند کمال تشکر را دارم و همسر مهربانم.

طی این راه فائق آمدن بر مشکلات ودشواری ها ممکن نبوده است مگر به لطف و یاری کسانی که از وجودشان بهره مند بوده ام

و به نوعی در پیشرفت و موفقیت من موثر بوده اند. از این رو بر خود لازم می دانم از این عزیزان کمال تقدیر و تشکر را نمایم:

اساتید گرانقدر جناب آقایان دکتر اصغر عسگری و دکتر منوچهر کلافی که در پیشبرد این پایانامه همواره از راهنمایی‌های بی دریغ ایشان بهره‌مند بوده ام.

نام خانوادگی: عسکرآبادی **نام:** اسماعیل

عنوان پایان‌نامه: بررسی خواص غیرخطی نوری در نانونوارهای گرافینی

اساتید راهنما: دکتر اصغر عسگری، دکتر منوچهر کلافی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** فوتونیک **گرایش:** الکترونیک **دانشگاه:** تبریز
دانشکده: پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره‌شناسی **تعداد صفحه:** ۹۹ **تاریخ فارغ‌التحصیلی:** شهریور ۱۳۹۱

کلید واژه: غیرخطیت نوری- گرافین – نانونوارهای گرافینی – روش بستگی قوی – پذیرفتاری مرتبه سوم

چکیده:

گرافین از اتم‌های کربنی تشکیل شده است که به صورت هگزاگونال در یک صفحه قرار گرفته‌اند که به خاطر سهولت ساخت و خواص منحصربفرد مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. گرافین در انواع مختلف تک‌لایه، دولایه و چندلایه وجود دارد ساختار باندی گرافین تک لایه فاقد گاف انرژی است. نانونوارهای گرافینی صفحات گرافینی با عرض محدود هستند و به دو نوع زیگزاگی و آرمچیر تقسیم می‌شوند. ما در این پایان نامه به بررسی خواص غیرخطی نوری در نانونوارهای گرافینی می‌پردازیم. این ساختارها با توجه به شرایط فیزیکی اعمالی خواص فلزی و نیم‌رسانایی از خود نشان می‌دهند. در ابتدا با تبدیل صفحه‌ی گرافینی به نانونوار گرافینی گاف انرژی در این سیستم ایجاد کرده‌ایم سپس پاسخ نوری صفحه‌ی گرافینی و نانونوار گرافینی را تحت میدان خارجی اعمالی مورد بررسی قرار داده‌ایم و در نهایت پاسخ نوری غیرخطی نانونوار گرافینی با لبه‌ی آرمچیر را مورد بررسی قرار داده‌ایم. به منظور بررسی اثرات غیرخطی نوری، پذیرفتاری غیرخطی نوری مرتبه سوم را با در نظر گرفتن تقریب دو باندی حساب کرده‌ایم نتایج نشان می‌دهد که نانونوارهای آرمچیر پذیرفتاری غیرخطی مرتبه سوم بسیار بالایی برای طول موج-های مادون قرمز نزدیک از خود نشان می‌دهند (از مرتبه‌ی $10^{-7}(esu)$) که 10^{8} بار بزرگتر از پذیرفتاری غیرخطی مرتبه سوم مواد عایق است این تفاوت فاحش بین پاسخ غیرخطی نانونوارهای گرافینی با لبه‌ی ($\mathrm{A-GNR}$) و مواد عایق به گذار بین باندی در $\mathrm{A-GNR}$ و تشدید در گاف‌های انرژی برمی‌گردد. همچنین پذیرفتاری مرتبه سوم بین باندی با افزایش عرض نانونوار(کاهش گاف نواری) افزایش می‌یابد.

فهرست مطالب

مقدمه..... ز

فصل اول.....۱

۱-۱ مقدمه.....۱

۲- ۱ گرافین، خواص الکترونی و نوری آن.....۱

۳- ۱ ایجاد گاف در گرافین.....۱۲

۴- ۱ روش‌های ساخت گرافین.....۱۵

۵- ۱ خواص الکترونی و نوری نانونوارهای گرافینی.....۱۸

۶- ۱ اپتیک غیرخطی.....۲۰

۱- ۶- ۱ طبیعت تانسوری پذیرفتاری مرتبه سوم.....۲۳

۲- ۶- ۱ پاسخ نوری غیرخطی مرتبه سوم.....۲۶

۷- ۱ غیرخطیت در گرافین.....۲۷

فصل دوم.....۳۱

۱- ۲ مقدمه.....۳۱

۲- ۲ ساختار نواری گرافین.....۳۱

۳- ۲ ساختار الکترونی نانونوار گرافینی.....۳۸

۱- ۳- ۲ ساختار الکترونی نانونوار گرافینی با لبه‌ی زیگزاگ.....۳۹

۲- ۳- ۲ ساختار الکترونی نانونوار گرافینی با لبه‌ی آرمچیر.....۴۰

۳- ۳- ۲ ساختار الکترونی نانونوار گرافینی با تغییر شکل لبه‌ها.....۴۵

۴- ۲ خواص نوری گرافین.....۴۸

۱- ۴- ۲ خواص نوری گرافین تک لایه.....۴۸

۲- ۴- ۲ خواص نوری نانونوارهای گرافینی.....۵۱

۱- ۲- ۴- ۲ خواص الکترونی نانونوار گرافینی با لبه‌ی زیگزاگ.....۵۲

۲- ۲- ۴- ۲ خواص الکترونی نانونوار گرافینی با لبه‌ی آرمچیر.....۵۳

۵- ۲ خواص غیرخطی در گرافین.....۵۵

۱- ۵- ۲ خواص غیرخطی نوری در نانونوارهای گرافینی.....۵۵

فصل سوم.....۶۱

۱- ۳ مقدمه.....۶۱

۲- ۳ نتایج محاسبات ساختار نواری گرافین.....۶۱

۳- ۳ محاسبات مربوط به گرافین تک لایه.....۶۳

۱- ۳- ۳ محاسبات مربوط به ایجاد گاف در گرافین تک لایه.....۶۳

۱- ۱- ۳- ۳ نتایج محاسبات مربوط به ساختار نواری نانونوار زیگزاگی.....۶۴

۲- ۱- ۳- ۳ نتایج محاسبات مربوط به ساختار نواری نانونوار آرمچیر.....۶۶

۳- ۱- ۳- ۳ نتایج محاسبات مربوط به ساختار نواری نانونوار آرمچیر با تغییر لبه.....۶۹

۴- ۳ محاسبات مربوط به رسانندگی نوری در مجاورت نقاط دیراک.....۷۳

۵- ۳ محاسبات مربوط به رسانندگی نوری در خارج از مجاورت نقاط دیراک.....۷۷

۶- ۳ محاسبات مربوط به رسانندگی نوری (جذب) در نانونوارهای آرمچیر.....۷۹

۷- ۳ خواص غیرخطی نوری.....۸۵

۱- ۷- ۳ محاسبات مربوط به خواص غیرخطی صفحه گرافینی.....۸۵

۲- ۷- ۳ نتایج محاسبات مربوط به خواص غیرخطی نوری در نانونوار با لبه آرمچیر ۸۶

نتیجه گیری..... ۹۱

پیشنهادات..... ۹۲

مراجع.....۹۴

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱- صفحه دو بعدی گرافینی که مادر ساختارهای بر پایه کربن به شمار می‌رود. با استفاده از آن می‌توان کره‌های کربنی، نانو لوله‌های کربنی و نانونوارهای کربنی را تولید کرد [5].....۳

شکل ۱-۲- شفافیت گرافین **a**) میکروگراف نوری از گرافین با ضخامت دولایه وسه‌لایه. گذر دهی نوری در **550 nm** به عنوان تابعی از مختصات افقی، به طور آشکار پله‌هایی را نشان می‌دهد که ارتفاع آنها با ثابت فوق ظریف متناسب است. **b**) شفافیت برحسب لایه نازک [29].....۱۰

شکل ۱-۳- روش‌های مختلف ساخت گرافین [13].....۱۷

شکل ۱-٤- تولید هماهنگ سوم (**a**) نمای شماتیک از فرود پرتو به محیط (**b**) توصیف با ترازهای انرژی [50].....۲۷

شکل۲-۱- شبکه گرافین. اتم‌های کربن در نقاط تقاطع قرار گرفته‌اند و خط‌ها پیوندهای شیمیایی را نشان می‌دهد که همان پیوندهای δ در آرایش sp^2 می‌باشد. هم‌چنین بردارهای اصلی شبکه a_1 ، a_2 و سلول واحد (قسمت هاشور خورده) نشان داده شده‌اند. دو اتم کربن در هر سلول واحد وجود دارند که با ۱ و ۲ نشان داده شده است [52].....۳۲

شکل ۲-۲- پاشندگی انرژی در شبکه لانه زنبوری. طیف انرژی برای مقادیر مشخصی از γ_1 (که انتگرال برهمکنشی نزدیکترین همسایه است). شکل سمت راست: باند انرژی در نزدیکی نقاط دیراک [32].....۳۷

شکل۲-۳- سلول واحد و ناحیه بریلوئن برای نانونوار گرافینی با لبه‌های زیگزاگ [55].....٤۰

شکل ۲-٤- طیف انرژی مربوط به نانونوار زیگزاگی در دو حالت $N_x = 5$ (a) و $\mathbf{N_x = 50}$ **(a)** [55].....٤۱

شکل ۲-۵- ساختار نانونوار گرافینی با لبه‌های آرمچیر، شامل دو زیر لایه $\boldsymbol{A}$ و $\boldsymbol{B}$ می‌باشد. عرض نانونوار $\boldsymbol{n}$ است هر سلول واحد شامل $\boldsymbol{n}$ عدد از اتم‌های $\boldsymbol{A}$ و $\boldsymbol{B}$ است. دو دیواره سخت $(\boldsymbol{j = 0}, \boldsymbol{n + 1})$ در لبه‌ها قرار گرفته‌اند راستای تناوب در راستای محور $\boldsymbol{x}$ قرار دارد[56] ٤۲

شکل۳-۱- ساختار نواری گرافین بر حسب بردار موج $\boldsymbol{k}$ که با استفاده از تقریب بستگی قوی محاسبه شده است. نوارهای ظرفیت ورسانش دقیقا در ٦ نقطه‌ی $\boldsymbol{k}$، مربوط به نقاط دیراک به همدیگر می-رسند.....٦۲

شکل ۳-۲- طیف انرژی مربوط به نانونوار گرافینی با لبه‌ی زیگزاگ که در آن $N_x = 5$ است.....٦۵

شکل ۳-۳- طیف انرژی مربوط به نانونوار گرافینی با لبه‌ی زیگزاگ که در آن $N_x = 50$ است.....۶۵

شکل ۳-٤- طیف انرژی مربوط به نانونوار گرافینی با لبه‌های آرمچیر که در آن اتم‌های کربن در لبه‌ها فعال هستند برای حالتی که در آن (الف) $N = 6$ و (ب) $N = 7$ و (ج) $N = 8$ است. N تعداد خطوط دیمر در راستای عرض نانونوار است.....۶۸

شکل ۳-۵- طیف انرژی مربوط به نانونوار گرافینی با لبه‌های آرمچیر که در آن اتم‌های کربن در لبه‌ها با اتم‌های هیدروژن غیرفعال شده‌اند برای حالتی که در آن الف) $N = 6$ و ب) $N = 7$ و ج) $N = 8$ است. N تعداد خطوط دیمر در راستای عرض نانونوار است.....۷۱

شکل ۳-٦- تغییرات گاف انرژی برحسب عرض نانونوار آرمچیر برای حالتی که اتم‌های کربن لبه‌ای بواسطه اتم‌های هیدروژن غیر فعال شده‌اند.....۷۲

شکل ۳-۷- قسمت موهومی رسانندگی نوری در $e^2/\hbar$ برای گرافین تک لایه در چگالی حامل $10^{10}\ \mathrm{cm}^{-2}$ بر حسب فرکانس پتانسیل شیمیایی در دماهای 3k ، 100k و 200k برابر است با 135k، 65k و 33k.....۷٤

شکل ۳-۸- قسمت حقیقی رسانندگی نوری در $e^2/\hbar$ برای گرافین تک لایه در چگالی حامل $10^{10}\ \mathrm{cm}^{-2}$ بر حسب فرکانس پتانسیل شیمیایی در دماهای 3k ، 100k و 200k برابر است با 135k، 65k و 33k.....۷٤

شکل ۳-۹- تغییرات پتانسیل شیمیایی بر حسب دما به ازای چگالی حاملین متفاوت **[58]**.....۷۵

شکل۳-۱۰- تغییرات ضریب شکست گرافین بر حسب فرکانس در دماهای متفاوت.....۷٦

شکل ۳-۱۱- رسانندگی نوری بر حسب فرکانس برای دو مقدار متفاوت از پتانسیل شیمیایی $= 0.2\ \mathrm{ev}$ و $\mu = 0$ و دماهای متفاوت $= 300\mathrm{k}$ و $\mathrm{T} = 10\mathrm{k}$ نمودار پایینی قسمتی از نمودار رسانندگی نوری در فرکانس‌های پایین را نشان می‌دهد **[59]**.....۷۸

شکل ۳-۱۲- تغییرات چگالی حالت مشترک، رسانندگی نوری و جذب بر حسب فرکانس پرتو فرودی برای $\mathrm{N} = 8$.که N تعداد خطوط دیمر در عرض نانونوار است.....۸۲

شکل ۳-۱۳- تغییرات چگالی حالت مشترک، رسانندگی نوری و جذب بر حسب فرکانس پرتو فرودی برای $\mathrm{N} = 9$.که N تعداد خطوط دیمر در عرض نانونوار است.....۸۳

شکل ۳-۱٤- تغییرات چگالی حالت مشترک، رسانندگی نوری و جذب بر حسب فرکانس پرتو فرودی برای $\mathrm{N} = 10$. که N تعداد خطوط دیمر در عرض نانونوار است.....۸٤

شکل ۳-۱۵- وابستگی قسمت موهومی $\chi^{(3)}$ به عرض نانونوار برای دو خانواده از نانونوارهای گرافینی با لبه‌ی آرمچیر.....۸۷

شکل ۳- ۱۶- قسمت حقیقی (A) و موهومی (B) پذیرفتاری مرتبه سوم بین باندی برای عرض‌های متفاوت $A-GNR$ در نزدیکی طول موجی NIR ۸۸

شکل ۳- ۱۷- قسمت حقیقی (A) و موهومی (B) پذیرفتاری تولید هماهنگ مرتبه سوم بین باندی برای عرض‌های متفاوت $A-GNR$ در نزدیکی طول موجی NIR.....۸۹

مقدمه

گرافین از اتم‌های کربنی تشکیل یافته است که در یک ساختار هگزاگونال در یک صفحه قرار گرفته-اند. ساختار باندی گرافین با استفاده از تقریب بستگی قوی قابل محاسبه است و نشان می‌دهد که گرافین هیچ گافی در ساختار باندی خود ندارد در حقیقت گرافین را یک شبه فلز می‌نامند چون باند رسانش و ظرفیت گرافین در ٦ نقطه موسوم به نقاط دیراک به هم می‌رسند و همچنین هیچ همپوشانی بین این دو نوار وجود ندارد. این ماده دارای ترابرد بالیستیکی بالا و از طرفی دارای کیفیت بلوری بالایی نیز هست. این ماده از لحاظ پایداری مکانیکی بسیار قوی بوده و دارای مقاومت الکتریکی کمی می‌باشد. حاملین بار گرافین فرمیون‌های دیراک بدون جرم هستند که با سرعتی در حد سرعت نور، حرکت می‌کنند و مقیاس‌های میکرومتری را بدون پراکندگی طی می‌کنند. ساختار باندی گرافین در نزدیکی نقاط دیراک خطی می‌باشد برخلاف دیگر نیم‌رساناها که ساختار باندی آن‌ها سهمی شکل است. طیف خطی ساختار باندی منجر به خواص غیرخطی قوی در ساختار گرافین می‌شود برای بررسی خواص غیرخطی نانونوارهای گرافینی ابتدا ما با تبدیل گرافین به نانونوار در این سیستم گاف ایجاد می‌کنیم سپس به بررسی پذیرفتاری مرتبه سوم در این ساختار می‌پردازیم و غیرخطیت را برای عرض‌های متفاوت و پرتوهای فرودی با طول موج‌های متفاوت به دست می‌آوریم

فصل اول

بررسی منابع

(مفاهیم اساسی و پیشینه پژوهش)

فصل اول

۱- ۱ مقدمه

در این فصل ابتدا به معرفی گرافین، خواص الکترونی و نوری آن خواهیم پرداخت. سپس روش-های ساخت آن و روش‌های ایجاد گاف نواری در گرافین را مورد بررسی قرار خواهیم داد، نانونوارهای گرافینی را معرفی و به خواص الکترونی و نوری این ساختارها خواهیم پرداخت و در نهایت به خواص غیرخطی اشاره خواهیم کرد.

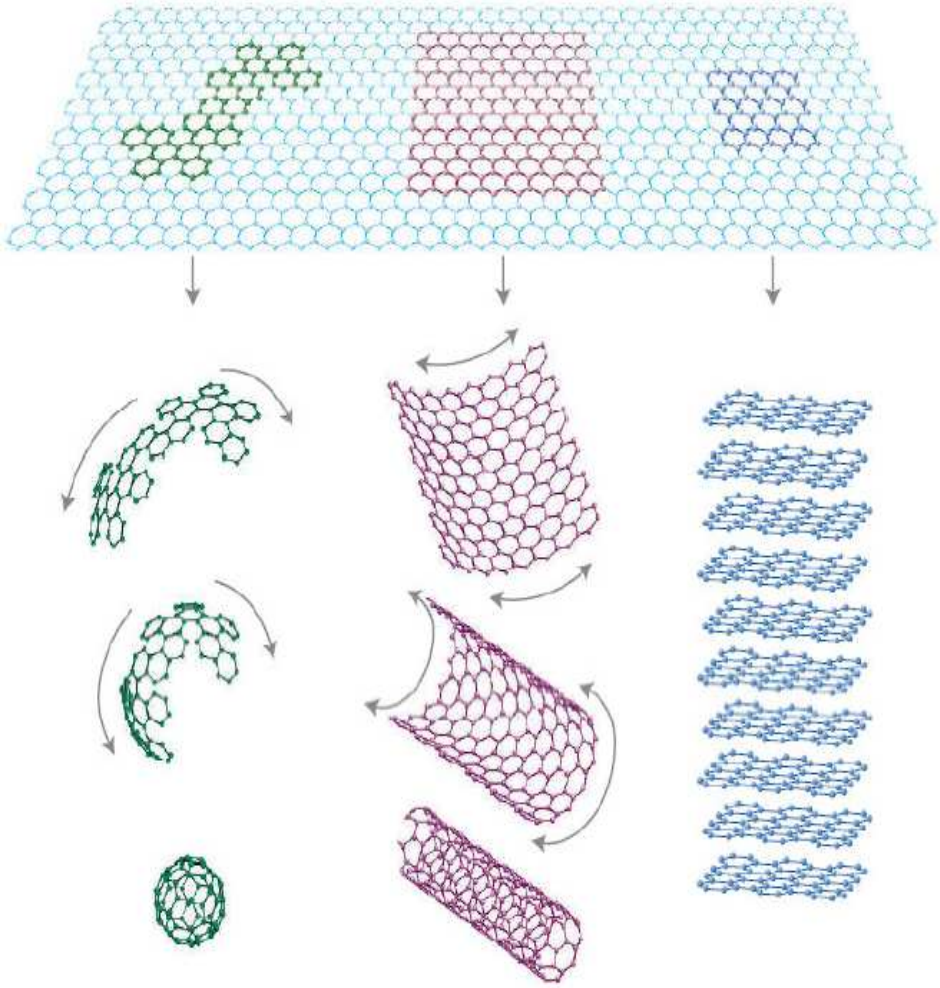
۱-۲ گرافین، خواص الکترونی و نوری آن

مواد تقریبا اساس همه کشفیات در علم هستند توسعه مواد جدید منجر به کشف زمینه‌های جدید در تحقیقات، همچون راه‌حل‌های جدید برای مسائلی که غیرقابل حل تصور می‌شوند خواهد شد. یکی از این مواد جدید گرافین می‌باشد.

گرافین آرایشی از اتم‌های کربنی است که در یک ساختار هگزاگونال (شش‌گوشی) در یک صفحه قرار گرفته‌اند و آن‌ها را می‌توان بصورت حلقه‌های بنزنی در نظر گرفت که هیدروژن‌هایش را از دست داده باشد. کربن دارای چهار الکترون ظرفیت است که برای تشکیل ساختاری همچون گرافین سه تا از این الکترون‌ها در پیوند سیگما شرکت می‌کنند و یکی از این الکترون‌ها که در اوربیتال p_z قرار دارد آزاد می‌ماند و به آسانی می‌تواند از پیوند شیمیایی آزاد شود. این الکترون‌های

آزاد دریایی ایجاد می‌کند و اجازه می‌دهد حامل‌ها، جریان را تقریبا بدون هیچ مقاومتی عبور دهند وجود دریای الکترونی بیان می‌دارد که گرافین هیچ گاف انرژی ندارد.

بخاطر انعطاف پیوندهای کربن تمامی سیستم‌هایی که بر پایه کربن ساخته می‌شوند دارای ساختارها و به تبع آن خواص متنوع و منحصر بفردی هستند. این خواص متنوع بخاطر تنوع زیاد ساختار این سیستم‌ها می‌باشد. از میان سیستم‌هایی که با استفاده از کربن ساخته می‌شود می‌توان به گرافیت (ساختار سه بعدی)، گرافین (ساختار دو بعدی)، نانولوله‌های کربنی(ساختار یک بعدی) و ساختارهای کروی(ساختار صفر بعدی) اشاره کرد که در شکل۱-۱ نشان داده شده است. گرافیت یک ساختار سه بعدی از اتم‌های کربن است و به طور گسترده پس از کشف مداد در سال ۱۹٤٦ مورد بررسی و توجه قرار گرفت. خاصیت مناسب گرافیت برای نوشتن به خاطر پیوندهای ضعیف بین لایه‌های آن تشخیص داده شده است در حقیقت وقتی شخص مدادی را روی کاغذ می‌کشد یک تکه گرافین روی آن ایجاد می‌شود. از آنجائیکه می‌توان از گرافین در سیستم‌های الکترونیکی استفاده کرد، این ماده توجهات بسیاری را به خود جلب کرده است [1]. ساختارهای کروی [2] مولکول-هایی هستند که در آن اتم‌های کربن به صورت کروی در فضا قرار گرفته‌اند و می‌توان آنها را ساختارهایی با ابعاد صفر در نظر گرفت به طوری که دارای حالت‌های انرژی گسسته هستند. ساختار این مولکول‌ها شبیه گرافین است به طوری که اتم‌های کربن در یک ساختار پنج ضلعی در کنار هم قرار گرفته‌اند. نانولوله‌های کربنی[3,4] با پیچاندن گرافین در یک جهت خاص و اتصال دوباره پیوندها به همدیگر حاصل می‌شود، و دارای ساختار شش‌گوشی شبیه ساختار گرافین است و ساختار یک‌بعدی را تشکیل می‌دهد.



شکل ۱-۱- صفحه دو بعدی گرافینی که مادر ساختارهای بر پایه کربن به شمار می‌رود. با استفاده از آن می‌توان کره‌های کربنی، نانو لوله‌های کربنی و نانونوارهای کربنی را تولید کرد [5].

با وجود اینکه گرافین اساس همه‌ی این مواد بود ولی تا ٤٠٠ سال بعد که زمان کشف این ماده به صورت تک لایه بود استفاده‌ای از این ماده نشد [6]. زیرا اولا کسی انتظار نداشت که بتوان این ماده را بصورت آزاد تهیه کرد و ثانیا اگر بتوان این کار را انجام داد وسیله تجربی مناسبی برای جستجوی اتم به اتم در این سطوح ماکروسکوپی وجود ندارد [7]. واژه گرافین اولین بار در سال ۱۹۸۷ به منظور معرفی تک لایه‌ای از گرافیت استفاده شد. هر چند که ساختار دو بعدی به طور

فیزیکی وجود ندارد و یک ماده‌ی صرفا نظری است، اما یک گروه به سرپرستی آندره گیم در سال ۲۰۰٤ توجه به گرافین را توسط خلق پاره‌های کوچکی از تک‌لایه‌های گرافینی تغییر دادند و به جداسازی لایه‌های منحصربفرد داخل یک کریستال گرافیت بواسطه‌ی یک روش نسبتا جدید دست یافتند. در این روش از نوار چسبنده به عنوان محیطی برای جدا کردن تدریجی لایه‌ها استفاده می-کنند تا زمانی که لایه‌های بسیار پراکنده‌ای را روی نوار چسب باقی گذارند و سپس لایه‌ها را به یک ویفر اکسید سیلیکون انتقال می‌دهند. در زیر میکروسکوپ ضخامت این لایه‌ها مستقیما با رنگ آن‌ها وابسته است. این روش به تقسیم میکرومکانیکی معروف است [8,5]. گرافین نهایتا پس از تهیه روی یک زیرلایه sio_2 منتقل می‌شود [6]، تا اینکه توسط میکروسکوپ‌های نوری معمول قابل مشاهده باشد [11]. بنابراین تهیه گرافین نسبتا ساده ولی مشاهده‌ی آن مشکل به نظر می‌رسد. در واقع ساخت گرافین با ضخامتی در حد یک اتم توجه زیادی را بدلیل خواص الکترونی و نوری منحصربفرد به خود جلب کرده است و موضوع پژوهش‌های گسترده در فیزیک ماده چگال است [12].

قبل از گروه گیم تصور می‌شد که مواد دو بعدی هرگز نمی‌توانند وجود داشته باشند چون هر تک لایه اتمی ممکن است به منظور رسیدن به پایین‌ترین انرژی‌اش تا شود. با استفاده از میکروسکوپ الکترونی مشاهده شده است که داخل تک‌لایه‌های گرافین موج‌های کوچکی وجود دارد که تصور می‌شد که این ناکاملی‌ها روی سطح گرافین آنرا از غلتش داخل نانولوله‌ها یا دیگر ساختارهای کربنی باز می‌دارد. در حال حاضر ورقه‌های اکسید گرافین بهترین روش برای استفاده در کاربردهای مکانیکی مختلف است. این ورقه از معلق کردن گرافیت ترکیب شده با اکسیژن در آب و سپس تصفیه کردن لایه‌های اکسید گرافین بعد از مجزا شدن آنها ساخته می‌شود. در این جا مثل

روش نوار چسب، آب نقش چسب را دارد و با تنظیم غلظت اکسید گرافیت می‌توان ضخامت کاغذ حاصل را تغییر داد [13,14].

همچون سطح گرافیت، گرافین هم می‌تواند اتم‌ها و مولکول‌های متفاوت را جذب و دفع کند. مواد جذب شده بطور ضعیف به آن می‌چسبند و اغلب همچون بخشنده‌ها و پذیرنده‌ها عمل کرده و عمدتا منجر به تغییراتی در غلظت حامل‌ها می‌شوند. برخلاف سطوح گرافیتی، گرافین دارای سطح صاف نیست و نوعا دارای شیارهایی در مقیاس نانو می‌باشد استقامت شکستی گرافین در حد $۴۰\ \frac{N}{m}$ است و می‌تواند بطور کشسان به اندازه‌ی ۲۰٪ بیشتر از هر بلور دیگر کشیده شود. این مقدار برای گرافین از مقدار مربوط به نانولوله‌های کربنی بیشتر است که به نبود نقص‌های بلوری در گرافین نسبت داده می‌شود [25].

دمای ذوب لایه‌های گرافینی با کاهش ضخامت به سرعت کاهش می‌یابد و برخلاف دیگر مواد، گرافین بدلیل فونون‌های پوسته‌ای که در ساختار دو بعدی خود را نشان می‌دهند با افزایش دما منقبض می‌شود.

بدلیل قوت پیوند δ، خیلی سخت است که اتم‌های خارجی جانشین اتم‌های کربن در شبکه‌ی لانه زنبوری شوند که این یکی از دلایل بزرگ بودن مسیر آزاد میانگین الکترونی در فواصل میکرومتری در گرافین است. با این وجود گرافین نسبت به اثرات بی‌نظمی ایمن نیست و خواص الکترونیکی آن توسط اثرات ذاتی و غیرذاتی منحصربفرد برای این سیستم کنترل می‌شود. در بین منابع ذاتی بی‌نظمی، موجک‌های سطحی و نقص‌های تپولوژیکی بارز هستند و بی‌نظمی غیر ذاتی می‌تواند در شکل‌های مختلف به صورت جاهای خالی، بارهای اضافی روی لبه‌های گرافین یا در

زیرلایه و نقص‌های گسترده‌ای چون ترک‌ها در ساختار لانه زنبوری دیده شود این نقص‌ها تغییر شکل‌های گسترده طولانی را ایجاد می‌کنند که مسیرهای الکترونی را کاهش می‌دهد [15].

گرافین که یک سیستم به ضخامت اتمی است، حالت فرین از یک پوسته‌ی نازک است و از اینرو همچون پوسته‌های نازک هم بدلیل نوسانات حرارتی و هم بدلیل برهم‌کنش با زیرلایه در معرض اعوجاج ساختاری است. در هر دو حالت بی‌نظمی بدلیل کاهش فاصله و زاویه بین اتم‌های کربنی ناشی از خمش ورقه‌های گرافینی اتفاق می‌افتد، که این نوع بی‌نظمی غیرقطری در جامدات سه بعدی یا حتی سیستم‌های شبه یک‌بعدی و یا دوبعدی وجود ندارد. در حقیقت گرافین متفاوت از دیگر پوسته‌های نازک است، چون گرافین شبه فلزی و پوسته‌ها عایق‌اند [15].

گرافین تنها ماده‌ای است که هم خواص مواد با پوسته‌های نرم را دارد و هم به طور همزمان مانند یک فلز رفتار می‌کند. بنابراین فرمیون‌های دیراک در یک فضای انحنادار حرکت می‌کنند. نرمی گرافین از این واقعیت سرچشمه می‌گیرد که مدهای ارتعاشی (فونون‌های) خارج از صفحه‌ای وجود دارد که در فلزات سه بعدی نمی‌توان آنها را پیدا کرد. مدهای مارپیچی مسئول خواص پیوندی گرافین هستند و در پوسته‌های نرم باعث بوجود آمدن پدیده‌ای به نام مچاله شدن می‌شود [16].

اگر چه وجود زیرلایه و یا چارچوبی که گرافین را نگه دارد باعث پایداری گرافین می‌شود ولی در عین حال باعث بوجود آمدن امواجی در سطح آن می‌شود (که می‌توانند به عنوان مدهای مارپیچی یخ زده دیده شوند).

همانطور که بیان شد گرافین گاف انرژی در ساختار نواری خود ندارد از طرفی گاف میزان انرژی است که یک الکترون را از باند ظرفیت به باند رسانش می‌برد و اجازه می‌دهد که جریان از ماده

بگذرد. چون الکترون‌های گرافین پیش از این در نوار رسانش هستند، نیازی به هیچ انرژی اضافی برای انتقال الکترون‌ها وجود ندارد و مجازند که به طور بالستیک شبیه ذرات با جرم کاهیده عمل کنند بنابراین مقاومت گرافین در دمای اتاق کمتر از مقاومت نقره است [13]. بنابراین گرافین یک شبه فلز بدون گاف نواری و ماده‌ای بی‌اندازه قوی با تحرک‌پذیری حامل بالاست که این تحرک پذیری بطور ضعیفی وابسته به دماست. گرافین قابلیت انعطاف‌پذیری و شکنندگی همزمان را دارد ساختار انعطاف‌پذیری گرافین به علت ساختار الکترونی آن است و این ماده غیر قابل نفوذ برای گازهایی مثل هلیوم است. اگر چه مفهوم نسبیت خاص درباره‌ی الکترون‌هایی که اطراف اتم‌های کربن حرکت می‌کنند وجود ندارد، برهم‌کنش آنها با پتانسیل پریودیک شبکه‌ی لانه زنبوری گرافین منجر به شبه ذرات جدیدی می‌شود که در انرژی‌های پایین E توسط معادله دیراک (۱+۲ بعدی) با یک سرعت در حد سرعت نور شرح داده می‌شوند. این شبه ذرات فرمیون‌های دیراک بدون جرم نامیده می‌شوند و در گرافین با سرعت ۳۰۰ بار کمتر از سرعت نور حرکت می‌کنند که می‌توانند به عنوان الکترون‌هایی که جرم سکونشان را از دست داده‌اند و یا به عنوان نوترینوهایی با بار e در نظر گرفته شود [13,5].

از آنجایی که گرافین دارای تقارن بلوری می‌باشد در مطالعه خواص آن از معادله دیراک استفاده می‌شود. شبکه لانه زنبوری آن از دو زیر شبکه‌های A و B ساخته شده است (اتم‌هایی که در یک زیر شبکه قرار می‌گیرند ساختار فضایی یکسان و زاویه‌ی پیوندی یکسانی با اتم‌های مجاور دارند) نوارهای انرژی شبه کسینوسی مربوط به زیر شبکه‌هایی است که در انرژی صفر نزدیک لبه‌های ناحیه‌ی بریلوئن به یکدیگر می‌رسند و منجر به مقاطع مخروطی طیف انرژی برای $|E| < 1ev$ می‌شوند. تایید شده است که طیف خطی $E = \hbar v_f k$ مشخصه‌ی اصلی ساختار باند نیست، در حقیقت