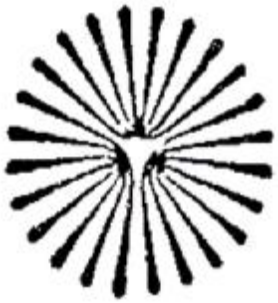


دانشگاه پیام نور

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته: فیزیک

گروه: فیزیک حالت جامد

عنوان پایان نامه:

مطالعه بازتاب آندریوف در نانوساختارهای گرافنی

طیبه صیدی

استاد راهنما:

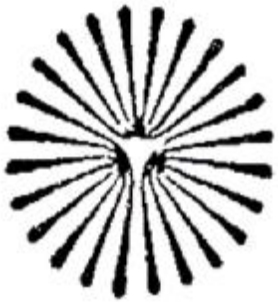
دکتر حمیدرضا امامی پور

استاد مشاور:

دکتر سیدعلی هاشمی زاده عقدا

آذرماه92

بسم الله الرحمن الرحیم



دانشگاه پیام نور

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته: فیزیک

گروه: فیزیک حالت جامد

عنوان پایان نامه:

مطالعه بازتاب آندریوف در نانوساختارهای گرافنی

طیبه صیدی

استاد راهنما:

دکتر حمیدرضا امامی پور

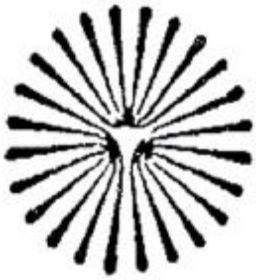
استاد مشاور:

دکتر سیدعلی هاشمی زاده عقدا

آذرماه92

تاریخ:.....

شماره:.....



دانشگاه پیام نور

بسمه تعالی

صورتجلسه دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد خانم/آقای..... دانشجوی رشته به شماره دانشجویی.....تحت

عنوان«.....» با حضور هیات داوران در

روز .....مورخ...../...../.....ساعت ..... در محل

ساختمان ..... برگزار شد و هیات داوران پس از بررسی، پایان نامه مذکور ر ا شایسته نمره به عدد..... به حروف .....با

درجه.....تشخیص داد.

ردیف	نام و نام خانوادگی	هیات داوران	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه/ موسسه	امضاء
1		استاد راهنما			
2		استاد مشاور			
3		استاد داور			
4		نماینده تحصیلات تکمیلی			

(گواهی اصالت، نشر و حقوق مادی و معنوی اثر)

اینجانب دانشجوی ورودی سال مقطع کارشناسی ارشد رشته

گواهی می نمایم چنانچه در پایان نامه خود از فکر، ایده و نوشته دیگری بهره گرفته ام با نقل قول مستقیم یا غیر مستقیم منبع و ماخذ آن را نیز در جای مناسب ذکر کرده ام .بدیهی است مسئولیت تمامی مطالبی که نقل قول دیگران نباشد بر عهده خویش می دانم و جوابگوی آن خواهم بود.

دانشجو تأیید می نماید که مطالب مندرج دراین پایان نامه (رساله) نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

نام و نام خانوادگی دانشجو

تاریخ و امضاء

اینجانب دانشجوی ورودی سال مقطع کارشناسی ارشدرشته

گواهی می نمایم چنانچه براساس مطالب پایان نامه خود اقدام به انتشارمقاله، کتاب، و ... نمایم ضمن مطلع نمودن استاد راهنما، با نظر ایشان نسبت به نشر مقاله، کتاب، و ... و به صورت مشترک و با ذکر نام استاد راهنما مبادرت نمایم.

نام و نام خانوادگی دانشجو

تاریخ و امضاء

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نو آوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه پیام نور می باشد.

ماه و سال

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که نعمتهایش را هیچ وقت از من دریغ نکرد و از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم . والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی و انسان بودن را معنا کردند حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان....

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم .

تقدیر و تشکر

از استاد راهنمای گرامی جناب آقای **دکتر حمیدرضا امامی پور**

و همچنین

از استاد مشاور گرامی جناب آقای **دکتر سید علی هاشمی زاده عقدا**

و همچنین از دیگر دوستان عزیزی که در طول مدت آماده شدن این پایان نامه همیشه از راهنمایی هایشان سود جستم کمال تقدیر و سپاسگذاری را دارم. و در آخر امیدوارم روزگار مرا به جبران زحمتهایی که برای این عزیزان فراهم آورده ام توفیق دهد.

چکیده:

در این پایان نامه با ترکیب معادله دیراک نسبیتی و معادلهٔ بوگلیبوف دژن بازتاب آندریف را در اتصال فلز- ابررسانا در یک سیستم گرافنی بررسی میکنیم . که بازتاب آندریف در گرافن چندین ویژگی غیر معقول دارد 1- الکترون و حفره در ساختار نواری دره های مختلفی را اشغال میکنند 2- در بازتاب نرمال علی رغم عدم تطابق طول موج فرمی در دو طرف اتصال بین فلز و ابررسانا، تبدیل الکترون به حفره با احتمال واحد رخ میدهد 3- زاویه بازتاب ممکن است همان زاویهٔ فرود الکترون باشد (بازتاب رتورفلکشن) یا ممکن است معکوس زاویهٔ فرود باشد (بازتاب اسپیکلار). بازتاب آندریف در گرافن ضعیف وقتی رخ میدهد که، طول موج فرمی در ناحیهٔ نرمال در مقایسه با طول همدوسی ابررسانا بزرگتر باشد. در تبدیل بازتاب رتورفلکشن به بازتاب اسپیکلار ، رسانش در رابط بین فلز و ابررسانا با کاهش دوپ شدگی و معکوس ولتاژ وابسته است.

کلمات کلیدی: بازتاب آندریف – نانو ساختارهای گرافنی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه 1

فصل اول: گرافن

1-1- مقدمه 3

1-2- کربن 4

1-3- گرافن(Graphene) 5

1-3-1- تاریخچه کشف گرافن 8

1-3-2- روشهای ساخت گرافن 12

1-3-3- گاف انرژی در گرافن 15

1-3-4- خواص گرافن 18

1-3-5- کاربردها 21

1-3-6- صفحه مختصات گرافنی 23

فصل دوم: ابررسانایی

2-1- مقدمه 29

2-2- تاریخچه ساخت ابررسانا 30

2-3- ابررساناهای دمای‌بالا 35

2-4- اثر مایسنر- اوشنفلد 38

2-5- بر همکنش‌الکترون - فونون 40

2-6- جفتهای کوپر 41

2-7- نظریه BCS 44

2-7-1- تابع موج BCS 46

2-7-2- چگالی حالت ها یBCS 54

2-8- کاربرد ابررسانا 56

فصل سوم: پدیده تونل زنی

3-1- مقدمه 59
3-2- تاریخچه 60
3-3- تونل زنی کوانتومی 61
3-3-1- تقریب WKB 61
3-4- تونل زنی در پیوندهای ابررسانا و اثر جوزفسون 65
3-4-1- تونل زنی در پیوند SIN 67
3-4-2- تونل زنی در پیوند SIS 68
3-5- معادله ی بوگلیبوف-دژن 70
3-6- تئوری BTK و ویژگی های $\Delta(x)$ و $v(x)$ 71
3-7- کاربردها: 72

فصل چهارم: بازتاب اسپیکلار آندریف در گرافن

4-1- مقدمه 74
4-2- بازتاب اسپیکلار آندریف در گرافن 74

فهرست جدولها

عنوان

صفحه

جدول شماره (2-1).....33
جدول شماره (2-2) 44

فهرست شکلها

عنوان **صفحه**

شکل شماره 1-1: ساختار اتمی صفحهٔ گرافن 6

شکل شماره 1-2: فرمهای مختلف صفحات گرافن 7

شکل شماره 1-3: برش دادن دیواره های نانولوله های کربنی در راستای طول نانولوله 7

شکل شماره 1-4: دسته بندی نانولوله ها بر اساس جهت لوله شدن صفحهٔ گرافن 8

شکل شماره 1-5: الف) سوسپانسیون ساخته شده به وسیله ی برودی و ب) تصویر از تکه ی خیلی نازکی از گرافیت اکسید کاهش یافته در سال 1962.....10

شکل شماره 1-6: ساخت گرافن با استفاده از روش الکترو استاتیکی.....13

شکل شماره 1-7: تولید گرافن با استفاده از روش لایه نشانی بخار شیمیایی.....14

شکل شماره 1-8: باز کردن یک نانو لوله برای تولید نانو نوار گرافنی با لبهٔ یکنواخت.....14

شکل شماره 1-9: نمودار گاف انرژی تولید شده در نانو نوار گرافن وابسته به تغییر پهنای نانو نوار.....15

شکل شماره 1-10: نمودار گاف انرژی و جرم مؤثر الکترون بر حسب پهنای نانو نوار گرافنی 16

شکل شماره 1-11: نمودار ایجاد گاف انرژی در گرافن رانشان میدهد.....16

شکل شماره 1-12: ایجاد گاف انرژی ناشی از ایجاد کشش در گرافن 17

شکل شماره 1-13: شبکهٔ الگوبرداری در چپ تصویر و نمودار باند انرژی آن در سمت راست 18

شکل شماره 1- 14: بردارهای یکهٔ i و j در صفحهٔ مختصات گرافنی.....24

شکل شماره 1-15: زاویهٔ کایرال بین بردار $C=4i+3j$ و محور مربوط به بردار یکهٔ I 24

شکل شماره 1-16: زاویهٔ بین بردارهای یکهٔ I و j در صفحه مختصات گرافنی برابر با 60 درجه است 25

شکل شماره 1-17: دو بردار C_1 , C_2 با یکدیگر هم ارز هستند.....25

شکل شماره 1-18: در ناحیهٔ حاشور خورده از صفحهٔ مختصات گرافنی شرط $m \geq n$ برقرار است 26

شکل شماره 1-19: کوتاهترین مسیرهای مربوط به بردارهای کایرال و واحدهای تکرار شوندهٔ آنها.....27

شکل شماره 2-1: تغییر مقاومت جیوه بر حسب دما.....31

شکل شماره 2-2: دسته بندی ابررسانا بر حسب دمای بحرانی و سال کشف آنها نشان میدهد 37

شکل شماره 2-3: نمودار M-H را برای انواع ابررسانا نشان میدهد.....38

شکل شماره 2-4: اثر مایسنر را در حالت عادی و ابررسانا نشان میدهد 39

شکل شماره2-5: بر هم کنش الکترون با فونون.....40

شکل شماره2-6: مدل کوپر: بر هم کنش دو الکترون خارج سطح فرمی در ناحیهٔ $f< \varepsilon k < \varepsilon f+ \hbar\omega$ ε 42
شکل شماره 2-7: گاف انرژی BCS،2Δ در ابررساناها 46
شکل شماره 2-8: پارامتر گاف ابررسانا بر حسب دما در نظریهBCS 53
شکل شماره 2-9: (a) انرژی برانگیختگی را به عنوان تابعی از k برای Δ=0 نشان میدهد و (b) و برای مقدار معین و محدود Δ 54
شکل شماره 2-10 :چگالی حالت شبه ذرات 55
شکل شماره 3-1: پدیدهٔ تونل زنی 56
شکل شماره 3-2: نمودار I-V و تونل زنی الکترونها را درپیوند SIS نشان میدهد 58
شکل شماره3-3: نمودار I-V در صورتی که تعدادی از جفتهای کوپر شکسته شوند 59
شکل شماره 4-1: این شکل ساختار نواری و اولین منطقه بریلوئن در گرافن 75
شکل شماره 4-2: دو پانل بالا نشان دهندهٔ فرآیند بازتاب اسپیکلار با رابط عایق و بازتاب آندریف رتورفلکشن با رابط ابررسانا در یک فلز معمولی است. 77
شکل شماره 4-3: طیف برانگیختگی گرافن را در ناحیه نرمال برای دو مقدار از انرژی فرمی$E_F=0$ ، $E_F=\hbar v k_F$ نشان میدهد 80
شکل شماره 4-4: این شکل رسانش دیفرانسیلی در رابط بین گرافن نرمال -ابررسانا برای $\lambda<<\zeta$ و $\lambda>>\zeta$ 86
شکل شماره4-5: شکل بالا نشان دهندهٔ رسانش دیفرانسیلی در رابط N-S برای مقادیر مختلف E_F/Δ_0 =0.01,0.1,0.5,1,10 87
شکل شماره4-6: این شکل رابطه پراکندگی را در حالت نرمال برای دو بردار موج عرضی $\hbar v|q| < E_F$ (پانل سمت راست) و $\hbar v|q| > E_F$ (پانل سمت چپ) نشان میدهد. 88
شکل شماره 4-7:رسانش دیفرانسیلی برای$T\neq0$ 89

مقدمه

امروزه از یک سو توانایی های سیلیکون به محدودیتهای خود رسیده و از سوی دیگر به طور هم زمان کشف گرافن با خواص منحصر به فرد خود در مقیاس نانو، مسیر موجود برای تولید جایگزینهای ممکن برای نسل جدید قطعات سریعتر و کوچکتر در قرن 21 را هموار کرده است. ویژگی های جذاب گرافن ، باعث شده است که اعتبارات و حامیان مالی فراوانی برای تحقیقات در این زمینه پیدا شود. و از آنجایی که دنیای امروز دنیای سرعت و ارتباطات است جهان میکوشد این دو مقوله را هر چه بهتر و سریعتر ارائه دهد. از طرف دیگر مواد ابررسانا امکان ارتباطات قوی با سرعت مناسب را فراهم می آورند این پدیده که حدود یک قرن پیش مطرح شد بشدت در حال گسترش میباشد و تقریبا هیچ شرکت معتبری در جهان ارتباطات نیست که این پدیده را نادیده بگیرد. من نیز در دو فصل اول این پژوهش به معرفی این دو مقوله پرداختم امید است بتوانم ذهن خواننده را به جذابیتهای این دو موضوع جلب نمایم. در فصل سوم و چهارم به ترتیب به بررسی پدیده تونل زنی که کاربرد مهمی در وسایل مدرن و جدید مانند دیودهای تونلی دارد و بازتاب آندریف در ساختارهای گرافنی پرداختم . سوالات اصلی در این پایان نامه بیشتر به بازتاب آندریف مربوط میشود زیرا نقش بازتاب آندریف در مطالعه رسانش در سایر اتصالات معمولی که تا کنون مطالعه شده است معلوم است. اما نقش این بازتاب در ساختارهای گرافنی معلوم نیست. در واقع ما با حل معادلات دیراک - بوگلیبوف – دژن ابتدا ضریب بازتاب آندریف را مورد مطالعه قرار داده سپس با استفاده از آن رسانش تونلی را محاسبه میکنیم. نتایج این مطالعه نظری میتواند در توجیه نتایج تجربی مربوط به رسانش در اتطالات ساخته شده شامل نانو ساختارهای گرافنی مورد استفاده قرار گیرد.

فصل اول

گرافن

1 - 1 - مقدمه

نانو تکنولوژی یعنی توسعهٔ فناوری و تحقیقات در سطوح اتمی، مولکولی و یا ماکرومولکولی در مقیاس 1 تا 100 نانومتر. ایدهٔ فناوری نانو توسط ریچارد فاینمن با بیان" فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد" مطرح شد. وی این نظریه را ارائه داد که، در آینده ای نزدیک میتوانیم مولکول ها و اتم ها را به صورت مستقیم دستکاری کنیم . مثلا میتوان 24 جلد «دایره المعارف بریتانیکا» را بر روی یک سنجاق نگارش کرد. یعنی ابعاد آن را 25 هزار مرتبه کوچکتر از ابعاد واقعیش کرد.

بطور خلاصه نانو تکنولوژی شامل دستکاری مواد در حوزه اتمها بوده، که شامل قرار دادن اتمها در جای خاص خود میباشد و اجازه میدهد تا موادی سبکتر،محکم تر،ارزان تر،تمیزتر و با دقت ابعادی بالاتر ساخته شوند. فناوری نانو در آینده ای نزدیک به یک کلمهٔ کاربردی مبدل خواهد شد. این فناوری یکی از جدیدترین فناوریها بوده که به طور حتم بسیاری از بخش های تولیدی و صنعتی را در بلند مدت تحت تأثیر خود قرار میدهد. و با فناوریهایی نظیر الکترونیک، زیست فناوری، شیمی، رباتیک و هوافضا ادغام میشود. نتیجه این فناوری ایجاد راههای جدید برای برطرف کردن مشکلات در محصولات، با استفاده از اجزای نانو ساختارها خواهد بود.طی چند سال، رشد چشم گیر فناوری نانو را در پوشش نانو ساختار، مواد شیمیایی خاص ، پارچه ها و...مشاهده کرده ایم. در هر حال، باورهای کاربردی در زمینهٔ پتانسیل کاربردهای فناوری نانو هنوز سالهای مدیدی را انتظار میکشد تا به عرصهٔ ظهور بپیوندد.

و امروزه از یک سو توانایی های سیلیکون به محدودیتهای خود رسیده و از سوی دیگر،به طور همزمان کشف گرافن با خواص منحصر به فرد خود در مقیاس نانو، مسیر موجود برای تولید

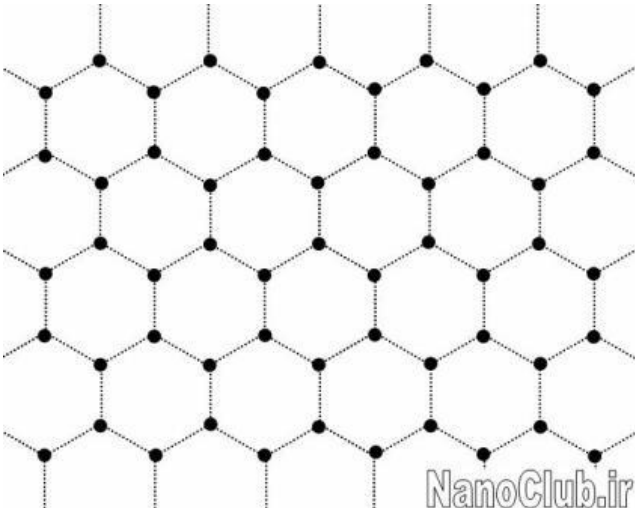
جایگزینهای ممکن برای نسل جدید قطعات الکترونیکی سریعتر و کوچکتر در قرن 21 را هموار کرده است. ویژگی های جذاب گرافن، باعث شده است که اعتبارات و حامیان مالی فراوانی برای تحقیقات در این زمینه پیدا شود و ما شاهد افزایش نمایی در تعداد مقالات مرتبط با گرافن باشیم. در این پژوهش نیز، به معرفی گرافن و روند تحقیقات در مورد آن پرداخته شده، امید است بتوان ذهن خواننده را به جذابیتهای این موضوع جلب نمایم.

1 - 2 - کربن

اتمهای کربن در ساخت ترکیبات مهم شیمیایی بسیاری شرکت دارند. از این رو پایه و اساس فناوری های مختلف میباشد. اتمهای این عنصر از نظر ترتیب پر شدن اوربیتالها، دارای ساختار الکترون $1S^2$ $2S^2$ $2P^2$هستند. بنابراین چهار الکترون آزاد دارند که امکان تشکیل چهار پیوند را برای این عنصر مهیا میسازد. بنابراین این اتمها علاوه بر ترکیب شدن با عناصر دیگر میتوانند با اتمهای کربن نیز پیوند دهند. پیوندهایی که این اتمها تشکیل میدهد، در ترکیبات گوناگون به شکلهای متفاوتی دیده میشود، بنابراین خواص متفاوتی ایجاد میکند. به عنوان مثال در ساختار الماس، این اتمها با چهار اتم کربن دیگر پیوند میدهند، بنابراین از تمام 4 ظرفیت خود برای برای تشکیل پیوند استفاده میکند ولی در گرافیت، نانولوله ها و فولرن 3 پیوند کوالانسی با اتمهای کربن برقرار میکند و یکی از ظرفیتهای خود را مصرف نمیکند، این ظرفیت خالی که در واقع یک الکترون اضافی است به شکل یک پیوند آزاد در خارج از صفحه ای که دیگر اتمها در آن قرار دارند، قرار میگیرد که میتواند در شرایطی با گروه های عاملی یا دیگر اتمهای موجود در محیط پیوند دهد. برای مثال کربن شبه الماسی است که میتواند بستر ایده آلی برای ترانزیستورهای گرافنی باشد[1].

1 - 3 - گرافن(Graphene)

گرافن نام یکی دیگر از آلوتوپهای کربن (دگر شکلهای کربن) است. که صفحات آن از کنار هم قرار گرفتن اتمهای کربن تشکیل میشوند. در یک صفحه گرافن هر اتم کربن با 3 اتم کربن دیگر پیوند کوالانسی داده است. که این 3 پیوند در یک صفحه قراردارند و زوایای بین آنها با یکدیگر مساوی و برابر با 120 درجه است. به دلیل وجود این پیوند است که گرافن از استحکام بالایی برخوردار است اما پیوند چهارم اتمهای کربن در خارج از این صفحه قرار دارد و از نوع واندروالسی است. این پیوند مکان مناسبی برای پیوند با برخی گروهای عاملی و همچنین اتمهای هیدروژن است. در ایده ال ترین حالت این اتمها، شبکه ای از یک شش ضلعی منتظم را ایجاد میکنند اما در برخی مواقع شکل قرارگیری اتمها به حالت پنج ظعی یا هفت ظلعی تغییر می یابد که خود در خواص آن تاثیر خواهد داشت. به عبارتی دیگر گرافن ساختار دو بعدی از یک لایه منفرد لانه زنبوری کربن است. طول پیوند کربن - کربن در گرفن در حدود 0.142 نانو متر و فاصله بین صفحات 0.335 میباشد. بطوریکه 3 میلیون ورقه کربن تنها ضخامت یک میلیمتر خواهند داشت.



شکل 1-1: ساختار اتمی صفحهٔ گرافن: در این شکل اتمهای کربن با نقاط سیاه و پیوندها با نقطه چین نمایش داده شده اند[2].

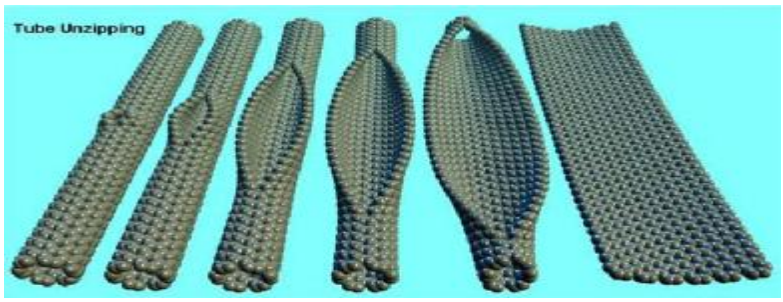
گرافیت نیزمادهٔ کربنی بسیار نرم و پرمصرف و شناخته شده است. که از روی هم قرار گرفتن لایه های گرافن تشکیل میشود. آنچه لایه های گرافیت را روی هم نگه میدارد پیوند واندروالس بین آنهاست. این پیوند بسیار ضعیف است. بنابراین لایه های گرفنی میتوانند به راحتی روی هم بلغزند و به همین دلیل گرافیت (نوک مداد سیاه) نرم است. به غیر از گرافن تک لایه و دولایه،لایه های گرافنی از 3 تا 10 لایه را گرافن کم لایه و بین 10 تا 30 لایه را به نام، گرافن ضخیم و یا نانو بلورهای نازک گرافنی مینامند.

اگر تک لایه گرافن حول محوری لوله شود نانو لوله های کربنی شبه یک بعدی و اگر به صورت کروی پیچانده شود فلورین شبه صفربعدی را شکل میدهد.

شکل 1-2: فرمهای مختلف صفحات گرافن[10] الماس وگرافیت سه بعدی(3D)، گرافن دوبعدی، نانولوله های دو بعدی(2D)، نانولوله های یک بعدی(1D)، فلورین صفر بعدی(0D) [3]

در ابعاد نانو متر، چند پارامتر وجود دارد که تأثیر بسیاری بر خواص مواد از جمله نانولوله ها میگذارد. اندازه و شکل فیزیکی نانو مواد و چگونگی پیوندهای بین اتمی آنها از قبیل این پارامترها هستند.

در مورد نانو لوله های کربنی، پارامترهایی مانند طول، قطر، نحوهٔ چینش اتمها در ساختار نانو لوله ها، تعداد دیواره ها، نقص ساختاری و گروه های عاملی موجود بر روی نانو لوله از جمله خواص فیزیکی و شیمیایی هستند که در تعیین این خواص نقش دارند. نانو لوله همانطور که از نامش بر میاید، یک استوانه تو خالی با قطری در حد نانو است. طول هر نانو لوله میتواند از چند نانومتر تا چند میکرومتر باشد. اگر یک نانو لولهٔ تک دیواره را در نظر بگیریم، با برش دادن دیواره های آن در راستای طول نانو لوله میتوان، یک صفحه از اتمهای کربن به نام گرافن به دست آورد.



شکل 1-3: برش دادن دیواره های نانولوله های کربنی در راستای طول نانولوله[4]