بسم الله الرحمن الرحیم

سمینار درس کوانتوم الکترونیک

موضوع :

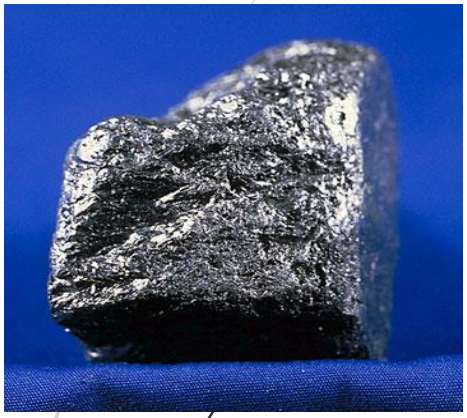
بررسی ترانزیستورهای مبتنی بر گرافن

استاد : پروفسور شهرام محمدنژاد

دی ۱۳۹۲

- تاریخچه
- ساختار گرافن و خواص آن
- روش های رشد
- نمونه هایی از ترانزیستورهای مبتنی بر گرافن

تاریخچه



- معدن گرافیت در قرن ۱۶ در منطقه ای در انگلیس کشف شد و سنگ معدنی گرافیت از آن استخراج شد.
- در قرن ۱۷ برای ساختن گلوله اسلحه به کار میرفت.
- در قرن ۱۸ برای ساختن مداد و بعد از آن در لاستیک سازی و مصالح ساختمانی نسوز در آن استفاده شد.

تاریخچه

نخستین بار در سال ۱۹۴۷ فیلیپ والاس مقاله ای در رابطه با گرافن نوشت.

قضیه ای به نام مرمین-واگنر در مکانیک آماری و نظریه میدان های کوانتومی وجود داشت که ساخت یک ماده دوبعدی را غیر ممکن و چنین ماده ای را ناپایدار می دانست

بررسی ترانزیستورهای مبتنی بر گرافن

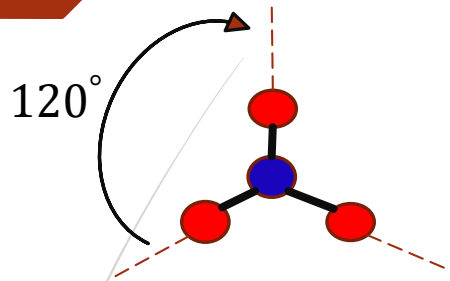
کنستانتین نووسلف

آندره گیم

در سال ۲۰۰۴کنستانتین نووسلف و آندره گیم، از دانشگاه منچستر موفق به ساخت این ماده شده و نشان دادند که قضیه ی مرمین-واگنر نمی‌تواند کاملاً درست باشد.

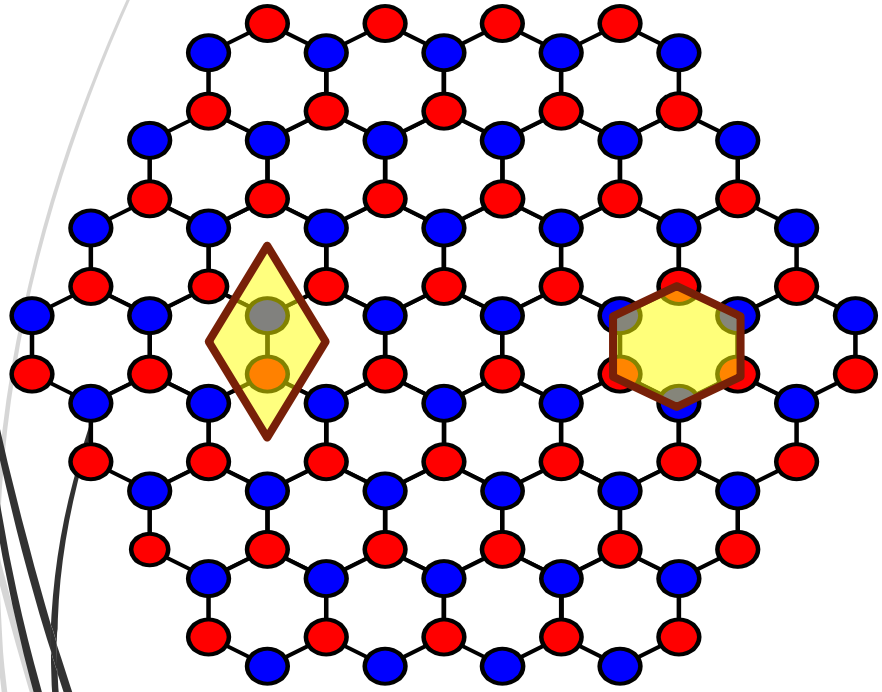
2010

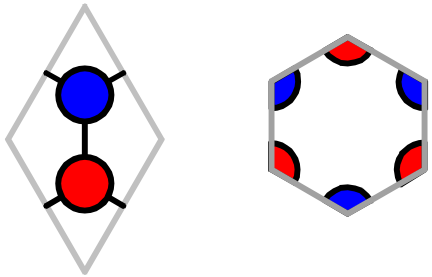
بررسی ترانزیستورهای مبتنی بر گرافن



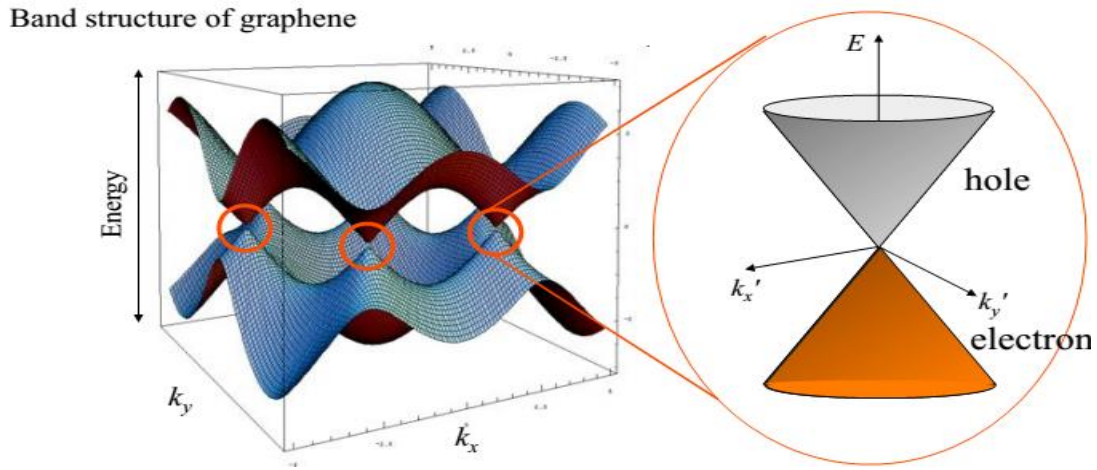
در ساختار گرافن بین یک اتم کربن با سه اتم کربن دیگر پیوند کووالانسی وجود دارد.

دو اتم یکسان در هر سلول واحد

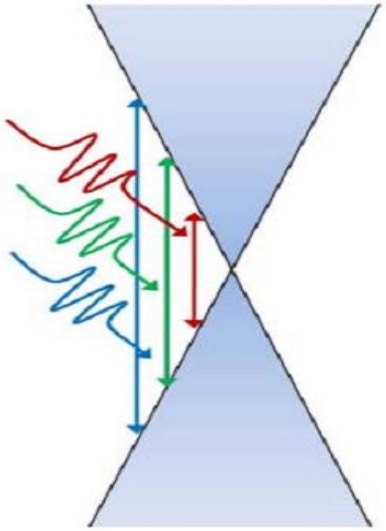




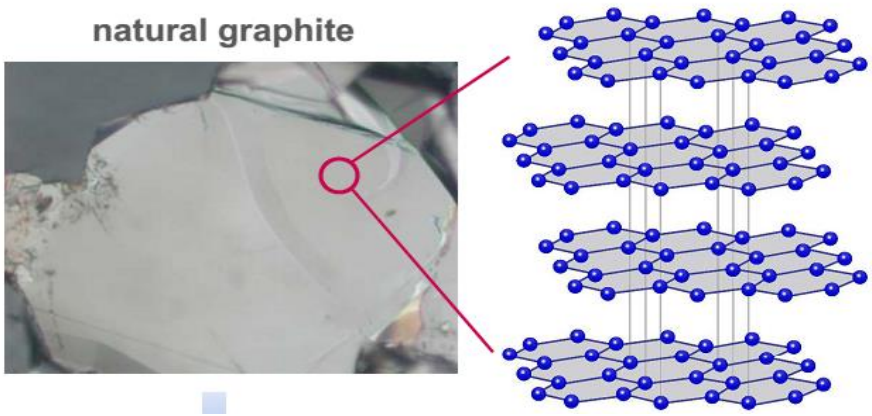
ساختار باند انرژی در گرافن



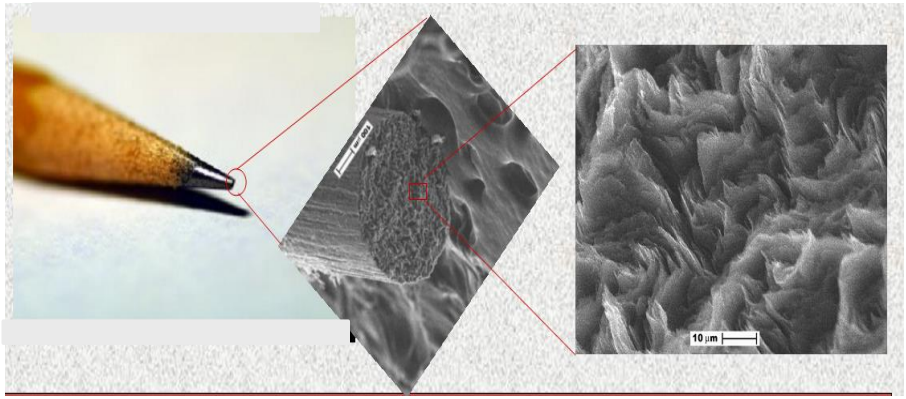
آشکارساز نور با طول موجهای مختلف



ساختار زیر بنایی برای ساخت نانو ساختارهای کربنی، تک لایه گرافن است که اگر بر روی هم قرار بگیرند توده سه بعدی گرافیت را تشکیل می‌دهند که بر هم کنش بین این صفحات از نوع واندروالسی با فاصله ی بین صفحه ای ۰.۳۳۵ نانومتر می‌باشد.



0.335n



ضعیف بودن پیوند واندروالسی
دلیل نرم بودن مداد سیاه

گرافن کم لایه

- لایه های گرافنی از ۵ تا ۱۰ لایه

گرافن ضخیم یا نانو بلورهای گرافیتی

- لایه های گرافنی از ۲۰ تا ۳۰ لایه

مزیت های گرافن

- ✓ بالا بودن رسانایی الکتریکی
- ✓ بالا بودن رسانایی گرمایی
- ✓ چگالی بالای حاملهای بار
- ✓ تحرک پذیری بالای حاملهای بار

گرافن به واسطه این خواص فوق العاده به عنوان کاندیدای مناسب برای جایگزینی سیلیکون در الکترونیک تبدیل شده است.

کاربردهای گرافن

- ✓تحرک بالای الکترون ها و قابلیت بالستیکی آن ها سبب شده تا در ترانزیستورهای اثر میدانی بالستیکی بکار برده شوند.
- ✓ استفاده در کاربردهای فرکانس بالا و آشکارسازهای 1THz و تولید لیزر.
- ✓ کاربرد در سنسورهای شیمیایی .
- ✓ گرافن می تواند به عنوان یک ورقه رسانا نقش کانال را در افزاره های تک الکترونی ایفا کند.
- ✓ ترانزیستورهای اثر میدانی ابر رسانا و افزاره های اسپینی از دیگر کاربردهای گرافن می باشد.

.

رشد زیر لایه گرافنی روی زیر لایه SiC

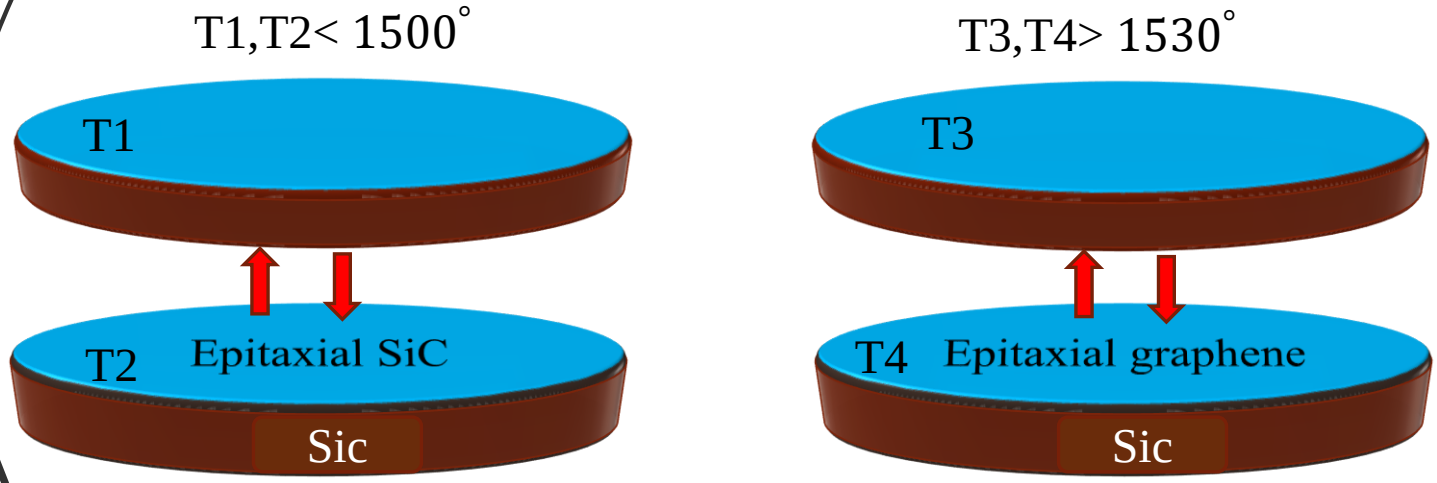
- رفتار حرارتی سیلیکون کاربید در دمای حدود ۱۳۰۰ درجه در خلاء سبب می شود تا اتم های سیلیکون سطح تصعید شوند در نتیجه در سطح یک لایه غنی از کربن شکل می گیرد که تحت حرارت بالای کافی و سازمان دهی مجدد سطح ، یک لایه گرافیتی شکل می یابد. کنترل مناسب تصعید اتم های سیلیکون تولید لایه های بسیار نازکی را از گرافن بر روی زیرلایه (SiC)سبب شده است.

- از طریق رابطه چگالی مولر می توان محاسبه کرد که حدود سه جفت لایه SiC جهت تولید اتم کربن آزاد برای تولید یک لایه گرافن لازم است.

- این روش برای تولید گرافن بسیار پیچیده است و نیاز به در نظر گرفتن پارامترهای بسیاری برای رشد می باشد

روش faco to face

- این روش بسیار ساده و مقرون به صرفه است و در عین حال لایه گرافنی با کیفیت مطلوبی در اختیار قرار می دهد.
- در این روش دو ویفر SiC یکی در بالا و دیگری در پایین به صورت چهره به چهره قرار می گیرند و یک شکاف کوچک در میان آن ها ایجاد می شود سپس به صورت همزمان حرارت داده می شود.
- یکی در دمای حرارت زیر ۱۵۰۰ درجه (قبل از آنکه گرافن شروع به رشد کند) هر دو ویفر به صورت یک منبع و سینک SiC در مقابل دیگری عمل می کند. در این فاز بدون استفاده از بازپخت هیدروژنی می توان به سطح مناسب، صاف و بزرگی جهت رشد گرافن دست یافت و در نتیجه به لایه های گرافنی با سایز بزرگ تر دست یافت.



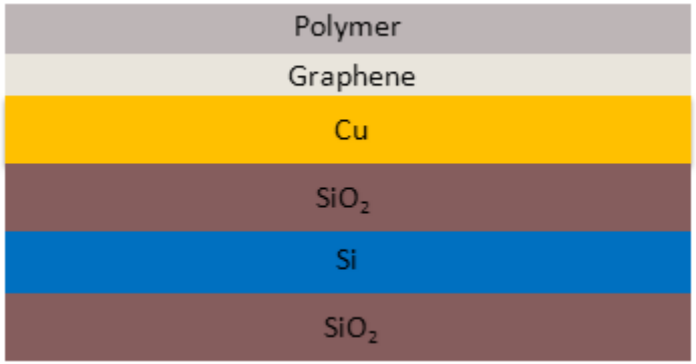
رشد گرافن به روش CVD

در روش CVDگرافن بر روی سطحی فلزی رشد می یابد و سپس به سطح نیمه هادی انتقال می یابد

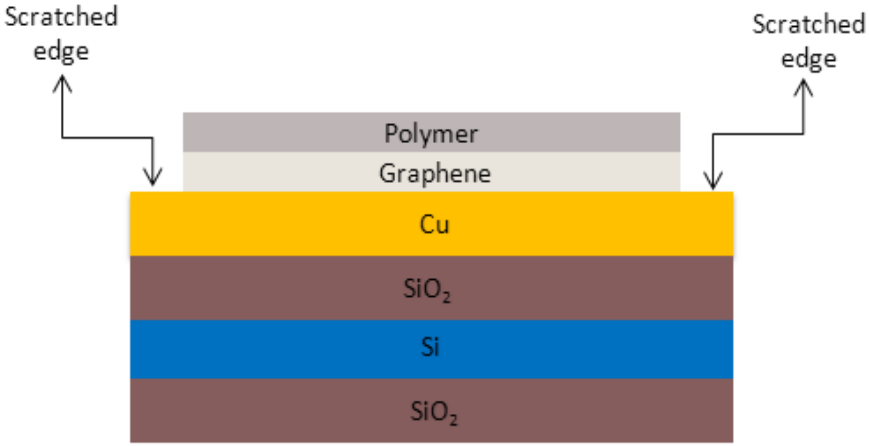
- فلز مس توانایی سرعت بخشیدن به رشد کربن را دارد اما اجازه رشد تک لایه های کربنی را بر روی خود می دهد.
- قابلیت حلالیت کربن در مس بسیار کم است. در نتیجه وقتی اتم های کربن با سطح مس برخورد می کنند تشکیل ساختار شش گوشه می دهند که گرافن نامیده می شود
- وقتی که سطح مس به طور کامل توسط کربن پوشانده شد رشد متوقف می شود.
- در این روش سایز رشد گرافن با سایز سطح مس در ارتباط است.

پس از رشد لایه های گرافن بر روی سطح مسی نیاز است تا گرافن بر روی سطح زیرلایه دیگری منتقل شود

بررسی ترانزیستورهای مبتنی بر گرافن



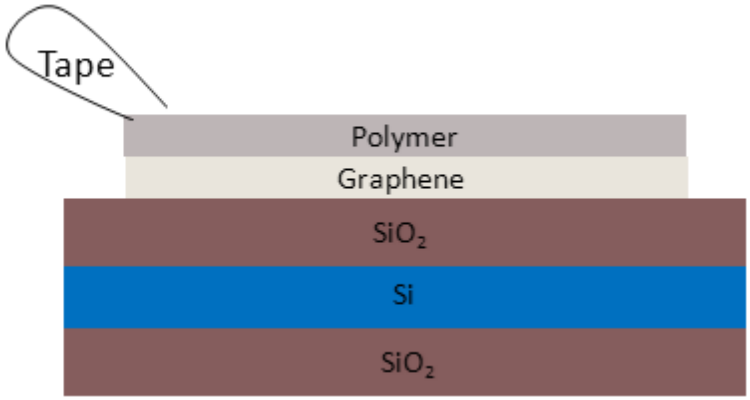
مرحله ۱)یک لایه پلیمری بر روی گرافن کشیده می شود که از نظر مکانیکی هنگام جدا شدن گرافن از روی مس تقویت می کند.



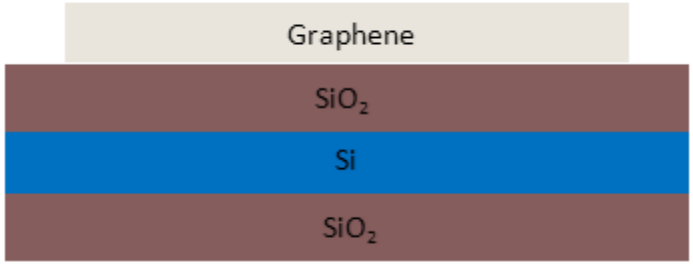
مرحله ۲)لبه ها به دقت خراشیده می شوند تا با استفاده از اسید جدا شدن گرافن از سطح مس راحت تر شود از ترکیب رقیق شده HCl و HF در آب با مقداری H_20_2 برای سرعت بخشیدن به روند جدا شدن گرافن از مس استفاده می شود.

بررسی ترانزیستورهای مبتنی بر گرافن

مرحله ۳)پس از مدت زمانی که مجموعه در محلول فوق قرار گرفت که مس خورده شده و لایه گرافنی به صورت معلق در می آید.

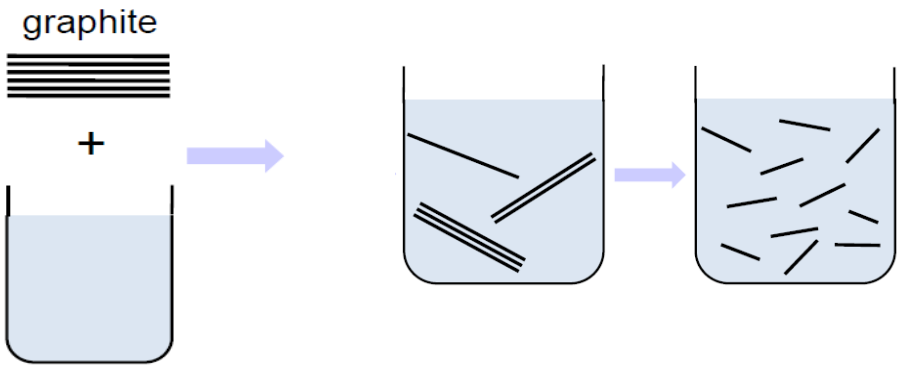


مرحله ۴)وقتی که مس بطور کامل خورده شد، گرافن به آرامی از روی آن برداشته می شود و زیر آن توسط آب تمیز می شود. لایه شامل گرافن و پلیمر بر روی سطح اکسید بر روی سیلیکون قرار داده می شود. لایه پلیمری توسط محلول استون و یا محلول الکلی دیگری حذف می شود.



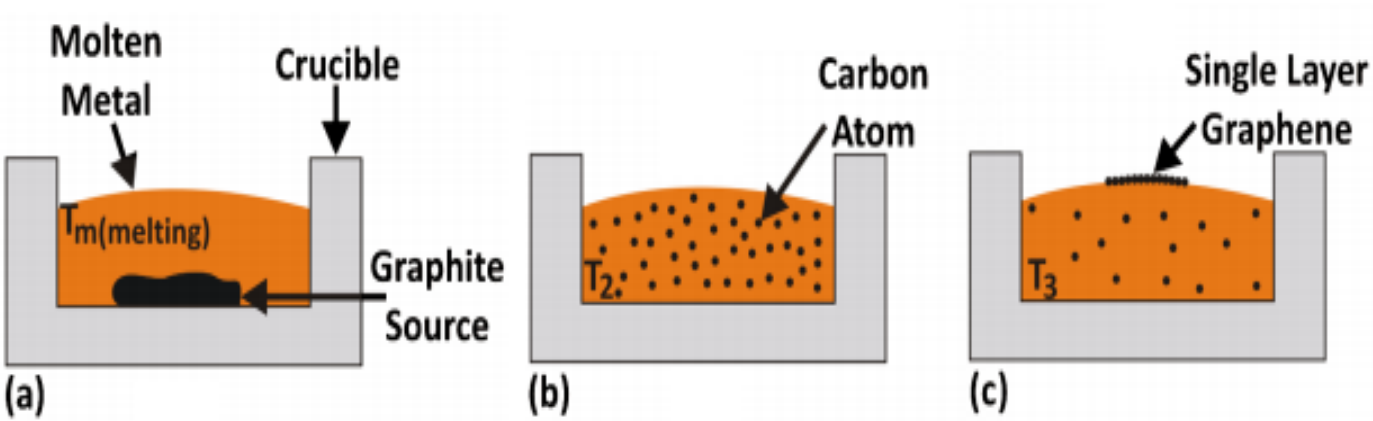
روش لایه برداری شیمیایی

- از نانولوله های کربنی و ساختارهای نانوکربنی مشابه گرافن در حلال های شیمیایی استفاده می شود. این مخلوط در دستگاه های سانتریفیوژ قرار داده می شود. این فرآیند سبب جدا شدن لایه های گرافیت از یکدیگر شده و تک لایه های گرافنی تولید می شود. این حلال سبب کاهش انرژی مورد نیاز برای شکستن اتم های گرافیت شده و پوسته های گرافنی ایجاد می کند.



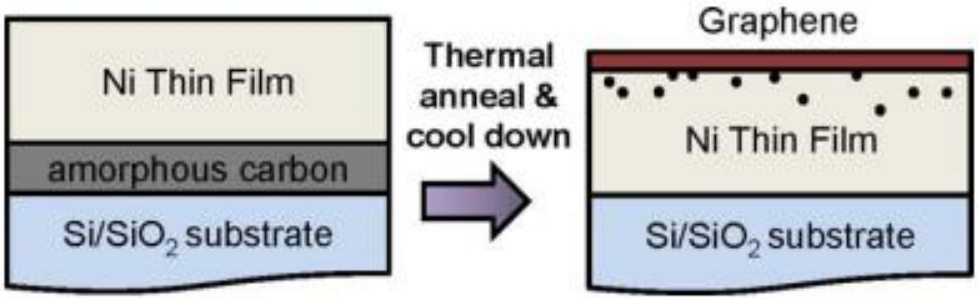
رشد ناشی از مذاب کربن – فلز

- کربن حل شده در فلز مذاب به آرامی سرد شده تا رسوبی از اتم های کربن به صورت تک لایه های گرافنی ایجاد شود.



تشکیل لایه گرافن با استفاده از کربن آمورف

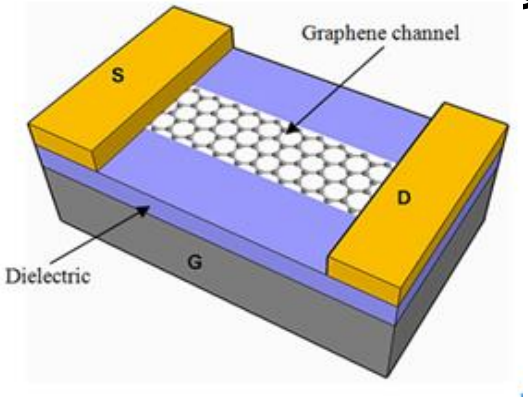
- ✓در این روش یک لایه از کربن آمورف بر روی سطح ویفر استاندارد Si / SiO_2 می نشانیم
- ✓سپس سطح آن را با لایه ای از فلز نیکل پوشش می دهیم
- ✓سپس آن را در فشار کم و دمای بین ۶۵۰ تا ۹۵۰ درجه گرم می کنیم تا اتم های کربن درون فلز انتشار یابند سپس آن را سرد می کنیم
- ✓در این حالت اتم های کربن در سطح به صورت لایه های گرافنی ایجاد می شوند.



نمونه هایی از ترانزیستورهای مبتنی بر گرافن

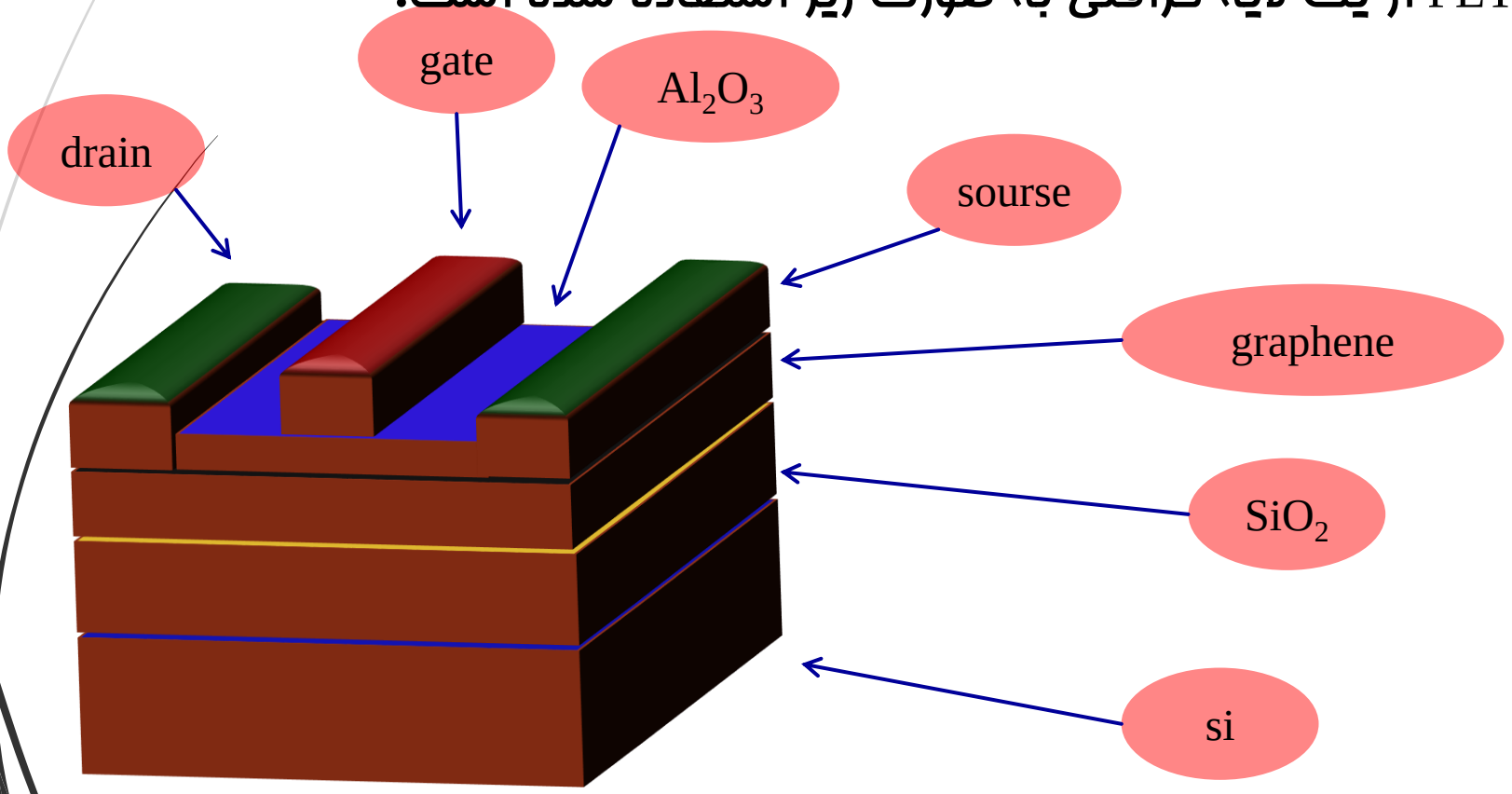
سرعت اشباع بالای گرافن آن را به عنوان یک کاندید مناسب برای کاربردهای فرکانس بالا معرفی می کند. علاوه بر این ضخامت بسیار کم لایه گرافن ویژگی های الکترواستاتیکی ایده آلی را برای افزاره فراهم می کند.اخیرا ترانزیستور هایی که از یک لایه گرافن در آنها به عنوان کانال استفاده شده است در فرکانس های قطع چند گیگا هرتزی معرفی شده اند .

ساده ترین ساختاری که برای ترانزیستورهای گرافنی معرفی شده



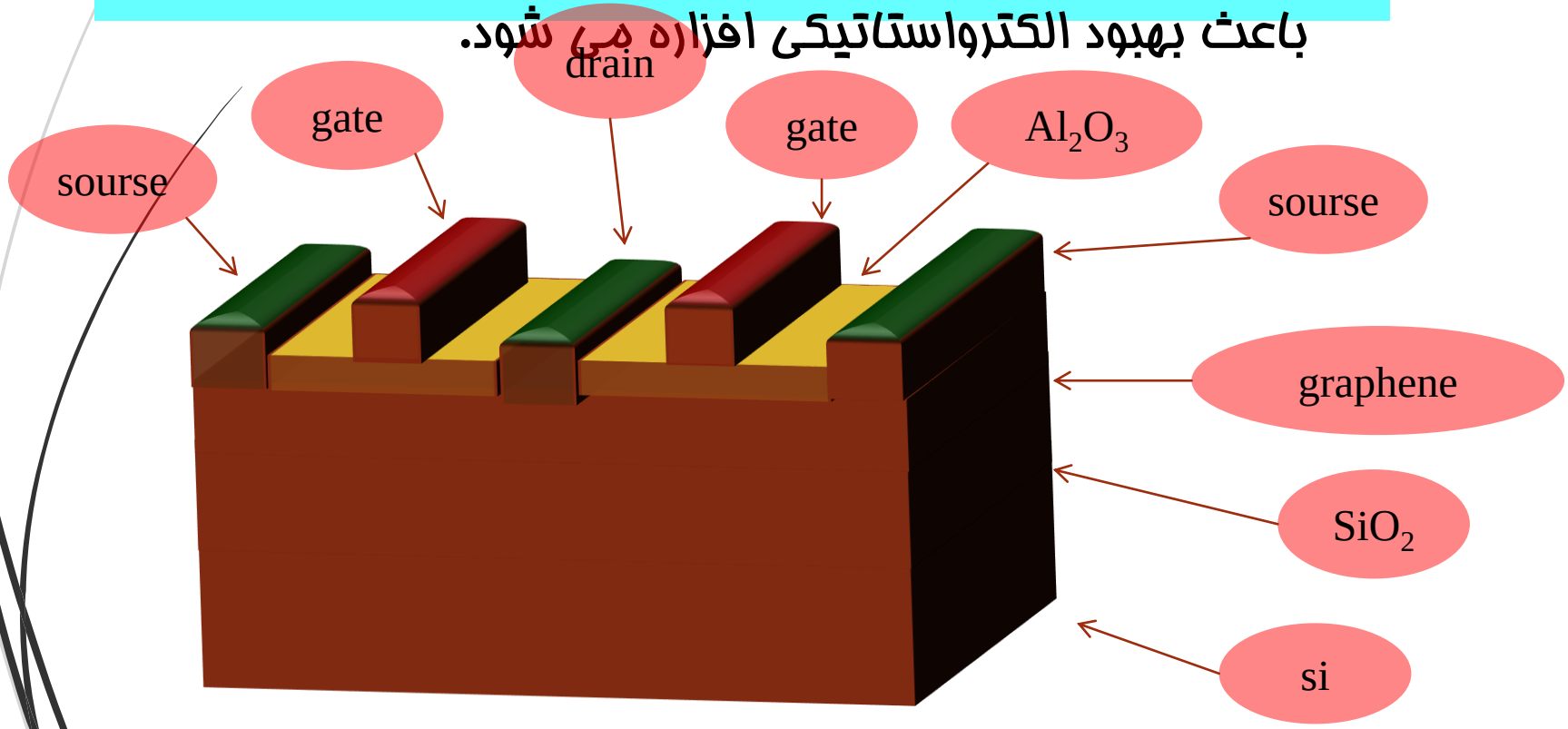
گرافن به عنوان کانال ماده منحصر به فردی است چرا که بر خلاف سایر نیمه هادی ها نیازی به تزریق ناخالصی برای هدایت الکتریکی ندارد..

امروزه تلاش های بسیاری بر روی ترانزیستورهای اثر میدانی بر پایه گرافن GFET انجام می شود. در این تحقیقات برای افزایش فرکانس افزاره های FET از یک لایه گرافنی به صورت زیر استفاده شده است.

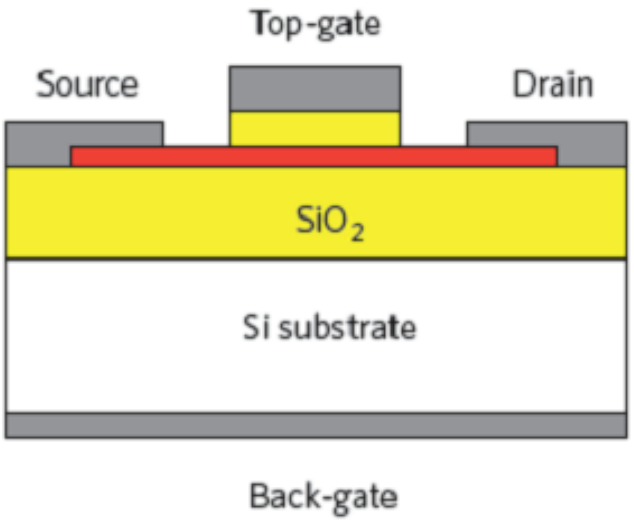


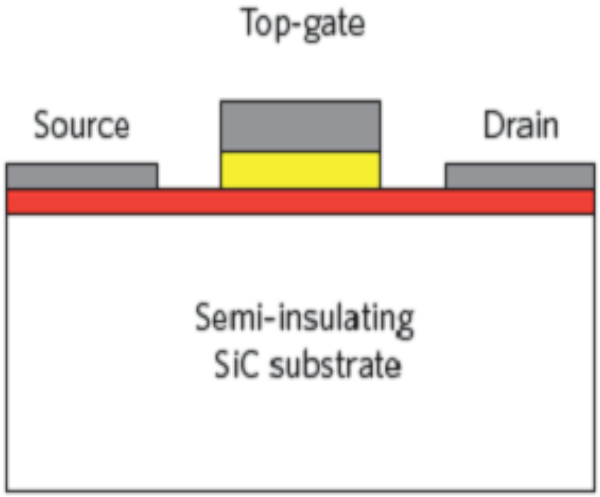
GFET با دو پایه گیت

- افزاره های فرکانس بالا معمولا از اثرات کانال کوتاه و مقاومت های سری بین درین، کانال و سورس رنج می برند. گرافن با ساختاری تک لایه باریکترین کانال را ارائه می دهد و باعث بهبود الکترواستاتیکی افزاره می شود.



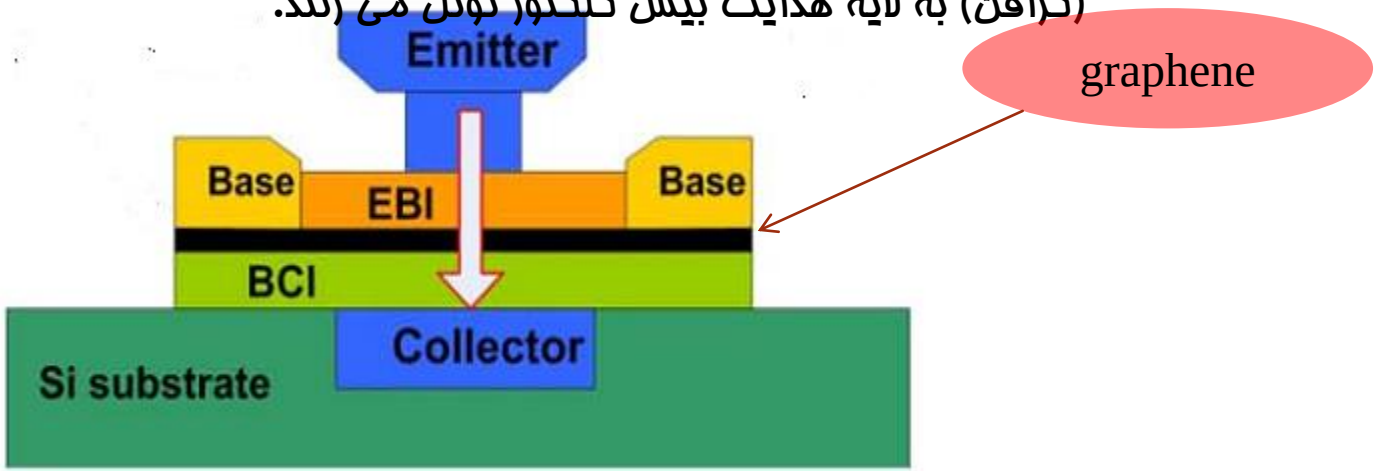
نمونه های دیگری از ترانزیستورهای گرافنی

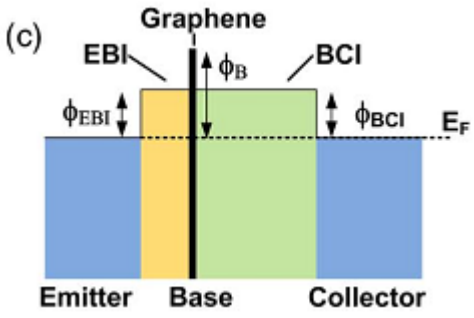


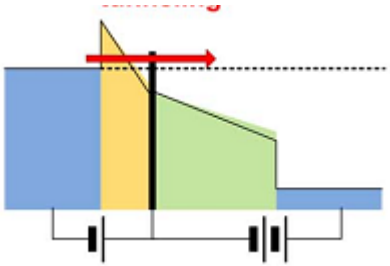


Vertical GBT

✓گرافن در مسیر عادی (طبیعی) به عنوان یک مانع بشمار می رود. در حالت روشن حامل ها از عایق امیتر-بیس و الکترود کلکتور بیس (گرافن) به لایه هدایت بیس کلکتور تونل می زنند.







نتیجه گیری

- ✓ گرافن ماده ای است که با توجه به خصوصیات ذکر شده میتواند جایگزین نیمه هادی های سیلیکونی در صنعت الکترونیک شود.

- ✓ استفاده از گرافن نوید دهنده ترانزیستورهای با سرعت بالا (در محدوده تراهرتز) در آینده میباشد

با تشکر