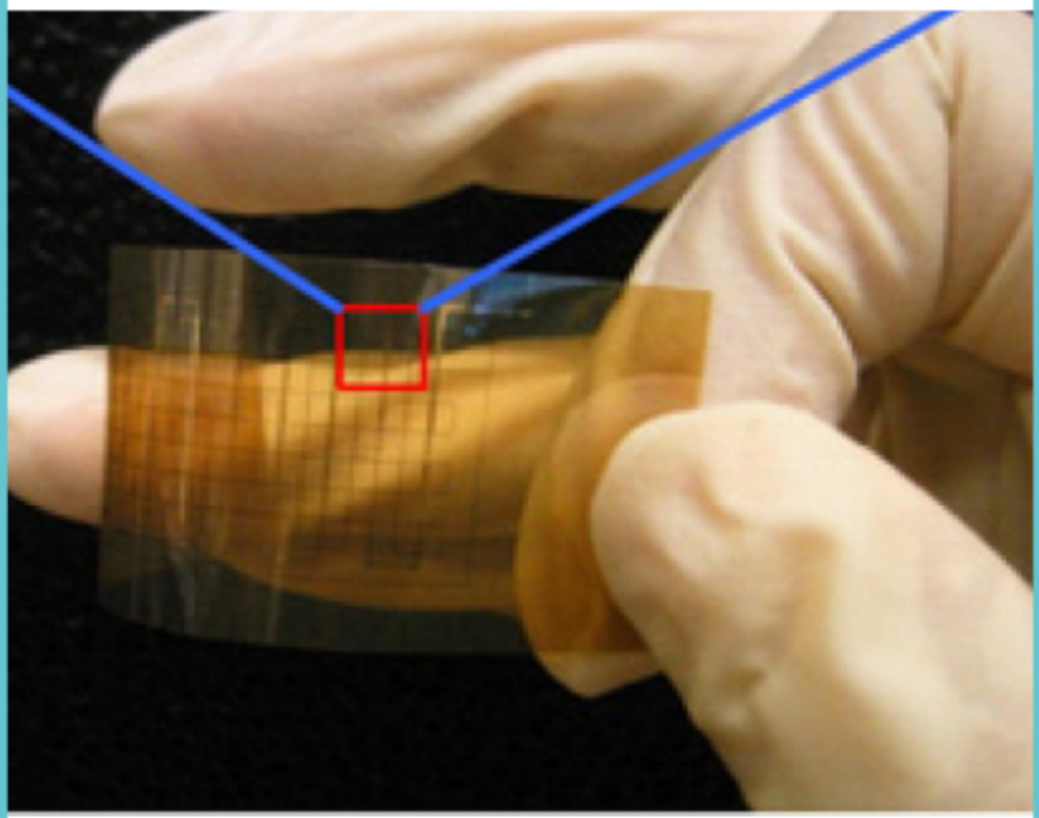
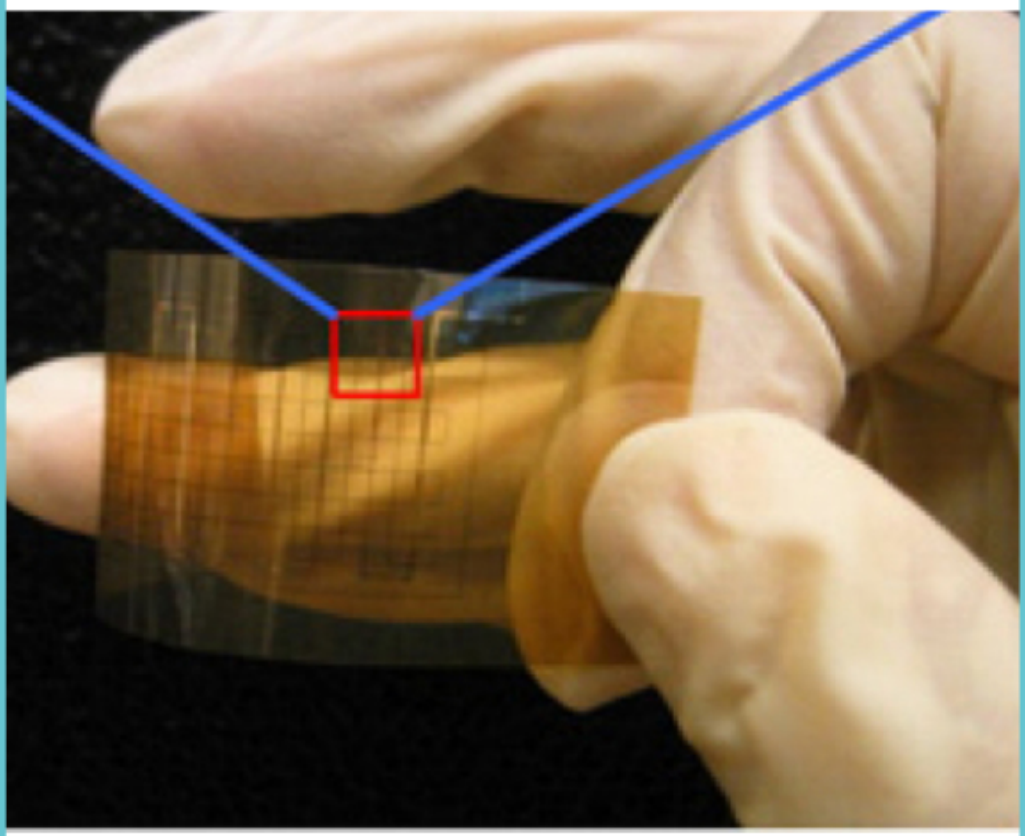
نانو ترانزیستورهای گرافنی ـ کربنی



نویسنده : دکتر افشین رشید

Nano Transistor Graghene _ Carbon



Author : DR . Afshin Rashid

درباره نویسنده کتاب

نویسنده : افشین رشید

سطح علمی نویسنده : دکترای نانو _ میکرو الکترونیک

تارنما : www.electronic-tarfand.blog.ir

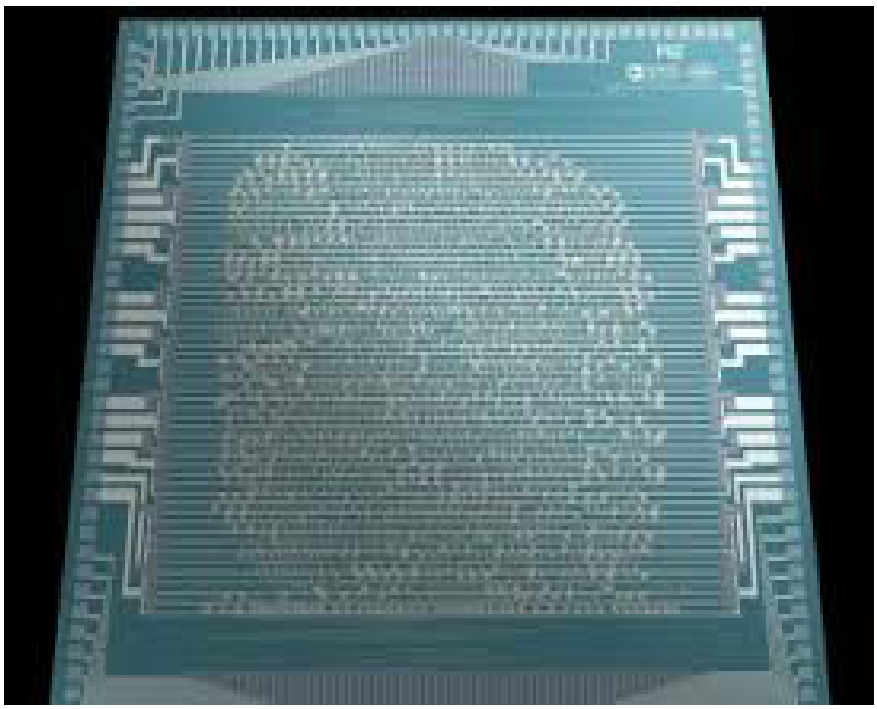
پست الکترونیک : afshinrashid342@gmail.com

به نام خدا

پیشگفتار از نویسنده کتاب:

در ستایش علم الکترونیک همین بس که کاربردی ترین علوم در جوامع میباشد . و از یاد نبریم نانو _میکرو الکترونیک برترین گرایش علوم الکترونیک و کلید دستیابی به یک فناوری برتر در نیمه ی سَده پیش رو میباشد. شاید باور کردنی نباشد اما تغییر در حجم و بازطراحی مدار ه‌ای الکترونیکی و مخابراتی بر پایه علوم نانو الکترونیک میتواند تا چند برابر کارایی و قدرت این عناصر الکترونیکی افزایش دهد . و دست با تر در صنایع دریایی ؛ نظامی ؛ پزشکی ؛ الکترونیکی ؛ مخابراتی _ارتباطی ؛ به ارمغان آورد .

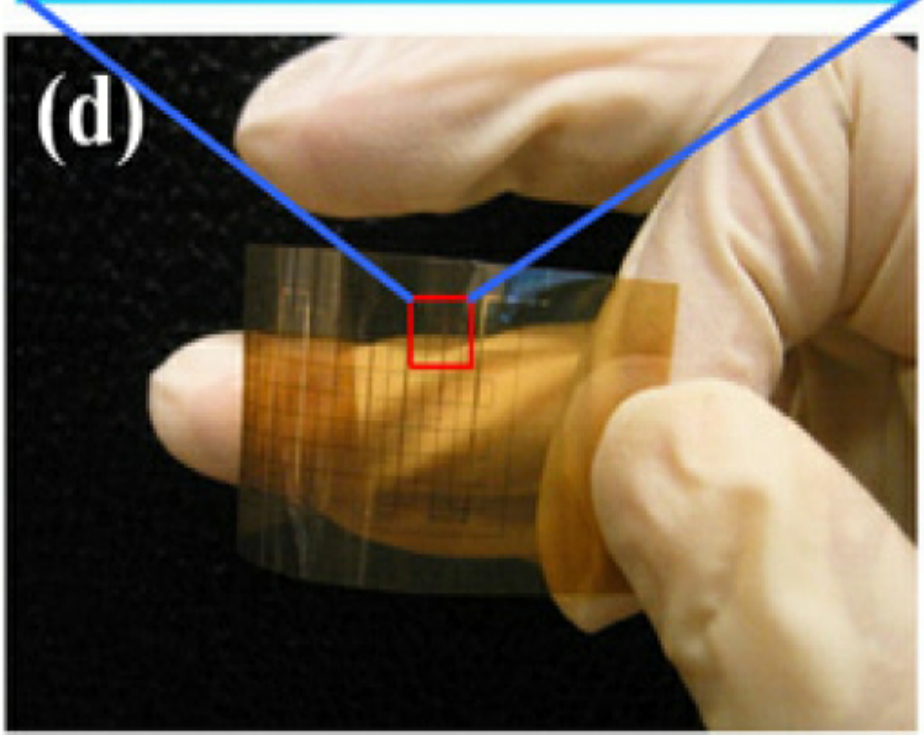
(دکتر افشین رشید)



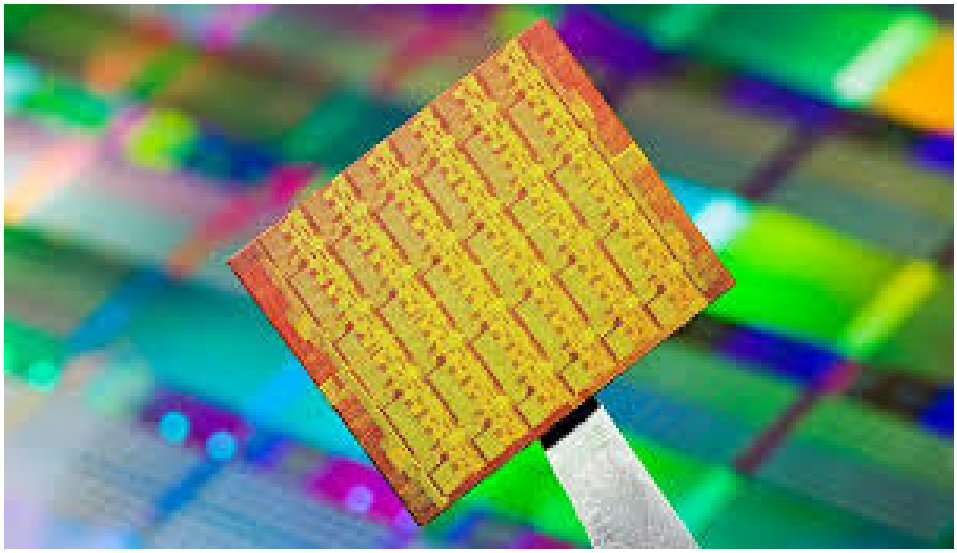
نانوترانزیستور یک ترانزیستور است -جزئی که به عنوان یک سوئیچ سیگنال الکترونیکی یا تقویت کننده عمل می کند - که اندازه آن تقریباً در مقیاس یک میلیاردم متر (یا نانومتر) است. (نانو از یونانی به معنای کوتوله است.) اگرچه در حال حاضر هیچ nanos ترانزیستوری از ای‌ن مقیاس در کاربردهای عملی وجود ندارد ، اما گزینه های component تعدادی از رویکردها برای دستیابی به چنین طراحی، .چشمگیری از فناوری نانو امیدوارکننده به نظر می رسد ساخت، توسعه و استفاده از محصو تی که اندازه آن ها دربازه nm 1تا 100 nm قرار دارند را نانو الکترونیک گویند. درحقیقت اینجا صحبت از ریز شدن است که این کار تماس بیشتر، فعالیت بیشتر و افزایش مساحت را ممکن می سازد. نانو یک مقیاس جدید در

فناوری ها و یک رویکرد جدید در تمام رشته ها است و این توانایی را به بشر می دهد تا دخالت خود را در ساختار مواد گسترش دهد و در ابعاد بسیار ریز به طراحی و ساخت دست بزند و در تمام فن آوری هایی که بشر در حال حاضر به آن دست یافته، اثر بگذارد. و این روند در تولید نانو فناوری الکترونیکی و بیولوژیکی مورد توجه قرار گرفته است . نانو چیپ های کاشتنی در بدن و صنایع نظامی در گرو پیشرفت در زمینه نانو ترانزیستور های لوله کربنی و گرافنی میباشد.

در تکثیر نانو ترانزیستورها و نانو چیپ ها خواص نانو الکترونیکی فوق العاده هر دانه نیز بطور موثر بکار میآید و این در حالی است که در اجزای تقویت شده نیز بطورچشمگیری افزایش پیدا میکند، زیرا هر جزء ریز نانو الکترون خود از صدها تا هزاران یه تشکیل شده است. در تکثیر نانو ترانزیستور ها و نانو چیپ ها خواص نانو الکترونیکی بهبود قابل توجهی می یابند، مانند: افزایش ضریب یانگ ، قدرت کشسانی ، مقاومت در برابر تغییر شکل بر اثر گرما ، مقاومت در برابر آتش ،مقاومت باریر (resistance barrier ، (هدایت یونی و شکل پذیری. امتیاز دیگرشان این است که تأثیر قابل توجهی بر خواص اپتیکی پلیمر ندارند. ضخامت نوری یک یه نانو الکترون منفرد ، بسیار کمتر از طول موج نور مرئی است. از نظر اپتیکی شفاف و تقریبا بی رنگ هستند.



در تکثیر نانو ترانزیستور ها و نانو چیپ ها بر پایه نانو تکنولوژی الکترونیک تغییر در فاصله بین اتم های ذرات و هندسه ذرات روی خواص الکترونیکی ماده هم تاثیر گذار است وقتی اندازه ذرات کاهش می یابد پیوند های الکتریکی در فلزات ظریف تر می شوند. در ساختار ریز نانو ها و مقاومت باریر (resistance barrier) کمیت الکترونیکی که راحت تر دردسترس می باشد پتانسیل یونیزاسیون است و در پتانسیل یونیزاسیون در اندازه دانه های کوچک نانو ساختار (ذرات ریزتر) بیشتر است یعنی با افزایش اندازه ذرات پتانسیل یونیزاسیون آنها کاهش می یابد افزایش نسبت سطح به حجم وتغیرات در هندسه و ساختار الکترونیکی تاثیر شدیدی روی فعل وانفعا ت شیمیایی ماده می گذارد و برای مثال فعالیت ذرات کوچک با تغییر در تعداد اتم ها (ودرنتیجه اندازه ذرات) تغییر می کند.



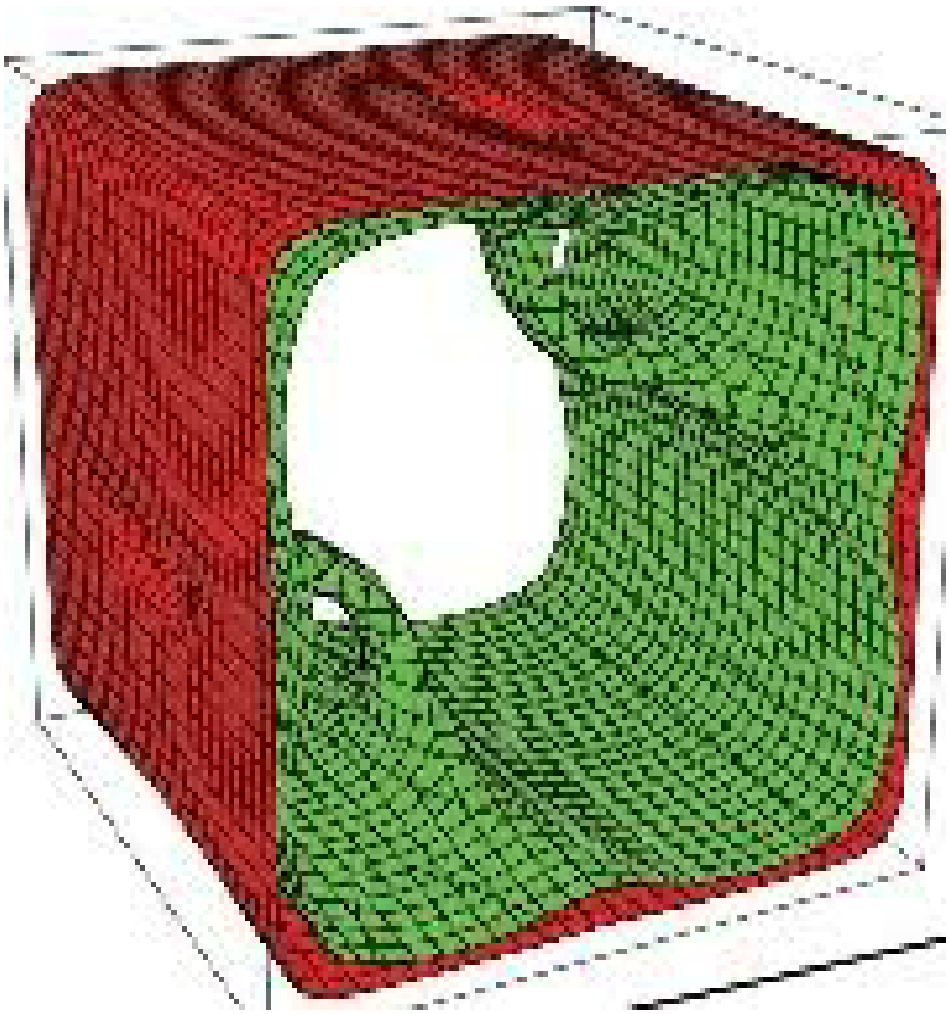
در تکثیر نانو ترانزیستور ها و نانو چیپ ها برای ساخت دو روش در نظر گرفته می شود: روش ساخت پایین به با و روش ساخت با به پایین. در روش ساخت پایین به با ، وسایل و مواد از سطح مولکولی بر اساس اصول شیمی مولکولی ساخته می شوند درست مانند یک دیوار که از روی هم گذاشتن آجر به آجر ساخته می شود. در روش ساخت با به پایین، اشیاء نانویی بدون کنترل اتمی در مقادیر بزرگتر ساخته می شوند

به سبب ضخامت بسیار اندک گرافین ، این امکان وجود دارد که طول گیت را در (نانو ترانزیستورهای دو قطبی بالستیک) اثر میدانی مبتنی بر آن بدون برخورد با مشک ت رایج در نانو ترانزیستورهای سه بعدی، بسیار کاهش داد.در نانو ترانزیستورهای لوله ای ۳ بعدی جنبش بسیار با ی الکترون در گرافین، نوید داشتن .فرکانس آستانه و همچنین تحرک پذیری بیشتر در مدار میباشد مزیت عمده ادوات ترانزیستور دوقطبی دوبعدی بالستیک در معیار پردازش توان-تأخیر بسیار کوچک و مطلوب آنها است که طبق میرسد. غیر از گرافین مواد دیگری نیز با fJمحاسبات به زیر 10 عدی کشف شده اند که از آن جمله میتوان به ساختار دوب سیلیسن، ژرمنن نیز اشاره کرد. ایده هایی نیز برای ساخت نانو ترانزیستور لوله ای ۳بعدی اثرمیدانی با استفاده فسفورن و گرافن نیز داده شده است . ولی نانو ترانزیستورهای ۲ بعدی بالستیک اثرمیدانی رایج که تاکنون ساخته شده اند خیلی کند هستند و زمان کلید زنی آنها از مرتبه چند دهم میلی ثانیه است که کاربرد آنها را به فرکانسهای چند کیلوهرتز محدود میکند.غیر از نانو ایده های ،ترانزیستورهای بالستیک دوقطبی و اثر میدانی متداول دیگری نیز برای استفاده از گرافین یا سایر مواد دوبعدی در ساخت ترانزیستور وجود دارد. یکی از این ایده ها، نانو ترانزیستور ۳ بعدی اثرمیدانی تونلی است که سرعت مطلوب تا چند گیگاهرتز، توان مصرفی کم و تغییرات بیشتر جریان درین از مزیتهای این

ترانزیستور است. همچنین نانو ادوات دیگری با ولتاژ گیت در ناحیه زیرآستانه مانند ترانزیستور دوقطبی بالیستیک، و نیز ادوات نوری هم بر پایه گرافین یا سایر مواد دو بعدی موجود طراحی و ساخته شده است.

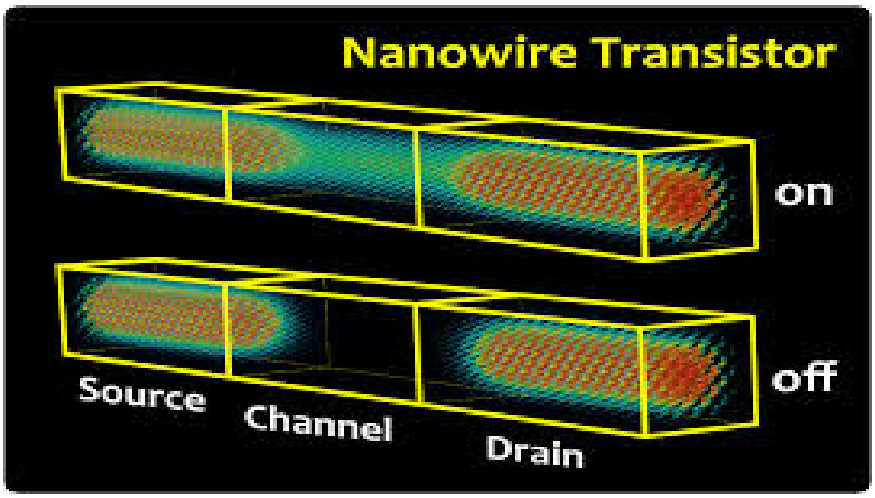
ترانزیستورهای نانو لوله ای ۳ بعدی لوله هایی هستن.د که دیواره آن گرافین است. این لوله ها همانطور که در ساختار میتوانند تک دیواره یا چند دیواره باشند. از طرفی بسته به نحوه پیچیدن و آرایش اتمهای کربن در لبه لوله، در سه صورت (دسته صندلی، زیگزاگ و کایرال لوله ای مانند) یافت میشوند. این سه شکل نانولوله کربنی خصوصیات بسیار متفاوتی دارند. مث ً ساختار دسته صندلی رفتار هادی فلزی دارد در حالیکه ساختار کایرال نانو لوله ای رفتار یک نیمه هادی دارد و این عملکرد را با تطبیق کوچک انرژی گاف بانانولوله های کربنی ۳بعدی هم‌اهنگ میسازد . وی‌ژگیهای

الکتریکی و مکانیکی منحصر به فردی نیز به نانو ترانزیستور لوله ای ۳ بعدی میدهد. مشکل اصلی در به کارگیری نانولوله ها در ساخت نانو ترانزیستور های ۲ بعدی بالستیک عمدتاً در آن است که باید به صورت خوابیده روی سطح استفاده شوند تا بتوان به آنها پیوند زد و اتصال فلزی برای حصول رفتار ترانزیستوری برقرار کرد. این در حالی است که نانو لوله های عمودی در تکثیر نانو ترانزیستور های ۲ بعدی بالستیک بیشتر رشد میکنند. چنانچه فرض شود نانولوله های نیمه هادی و فلزی به دقت دلخواه قابل رشد و افزایش سرعت جهت دهی روی سطح هستند، امکان فشرده سازی و هرچه بیشتر الکترونیک مجتمع را فراهم خواهند کرد.



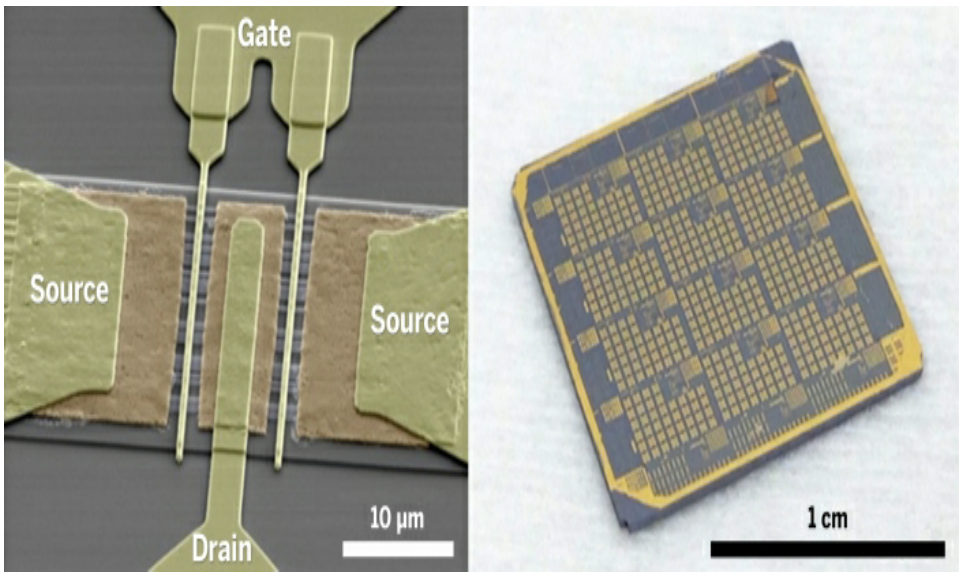
نانو ماده گرافن که ماده ای با ساختار نه زنبوری و ضخامتی به اندازه یک یه کربن میباشد به دلیل داشتن خصوصیاتی از قبیل تحرک با ی الکترونها و حفره ها و پایداری گرمایی و مکانیکی ،مورد استفاده در صنعت نانو الکترونیک و ساخت نانو ترانزیستور های گرافنی FET قرار گرفت.اگر چه گرافن یک ماده نیمه رسانا با گپ صفر و غیر مناسب برای مدارهای منطقی میباشد اما با استفاده از فناوری نانو الکترونیک اشکال مختلف از این ماده را برای تولید نانو ترانزیستور های گرافنیFET ایجاد میکنند که دارای گپ متفاوت (eV 2.1-0) میباشند . نانو نوارهای گرافنی، گرافن های چند یه و گرافن رشد داده شده بر روی SiC برای تکثیر نانو ترانزیستور های گرافنیFET از قبیل این اشکال میباشند که باعث تأثیر شگرفی بر صنعت طراحی ادوات جدید نانو الکترونیکی شده اند .از نانو یه های گرافنی بیشتر یک ترانزیستور اثر میدانی تونلی گرافنی FET را که در نواحی درین و سورس آن از گرافن بدون شکاف باند انرژی و در قسمت کاتالیز آن از گرافن با شکاف باند محدود (eV2/1) استفاده شده است . این ساختار خصوصیات الکترونیکی بهتری نسبت به دو ساختار دیگر که در آنها در هر سه ناحیه کانال سورس و درین به ترتیب در ساختار اول از گرافن بدون شکاف باند انرژی و در ساختار دوم گرافن با شکاف باند انرژی استفاده شده وجود دارد.

در ساختار پیشنهادی نرخ به میزان مناسب که یک نانو ترانزیستور گرافنیFET به مقدار مناسب برای ساختارهای دیجیتال می باشد می رسد و همچنین خصوصیات خروجی نیز یک حالت بسیار مناسب اشباع از خود نشان می دهد. پارامترهای اساسی مانند غلظت دوپینگ، ولتاژ درین، ضخامت دی الکتریک و تفاوت میان توابع کار الکترود گیت و گرافن در سه ساختار وجود دارد. که با بردن میزان دوپینگ تاثیر بر روی جریان on دارد و باعث افزایش آن می شود که باعث افزایش نرخ دوپینگ نانو ترانزیستورهای گرافنی FET می شود که این ساختارها را برای استفاده در ادوات توان پایین بسیار مناسب می باشد. مقایسه پارامترهای آنالوگ مانند ضریب رسانایی (gm)رسانایی خروجی(gd) و گین نشان می دهد که ساختار پیشنهادی برای تکثیر نانو ترانزیستورهای گرافنیFET یک مقدار با تری در gm نسبت به دو ساختار دیگر وجود دارد و با وجود اینکه ساختار با گرافن با باند شکاف انرژی به دلیل مقدار کم gd ،گین با تری از خود نشان می دهد ولی به دلیل gm پایین ، گرافن را گزینه مناسب تری برای کابردهای آنالوگ از جمله تکثیر نانو ترانزیستور های گرافنی FET معرفی می کند.



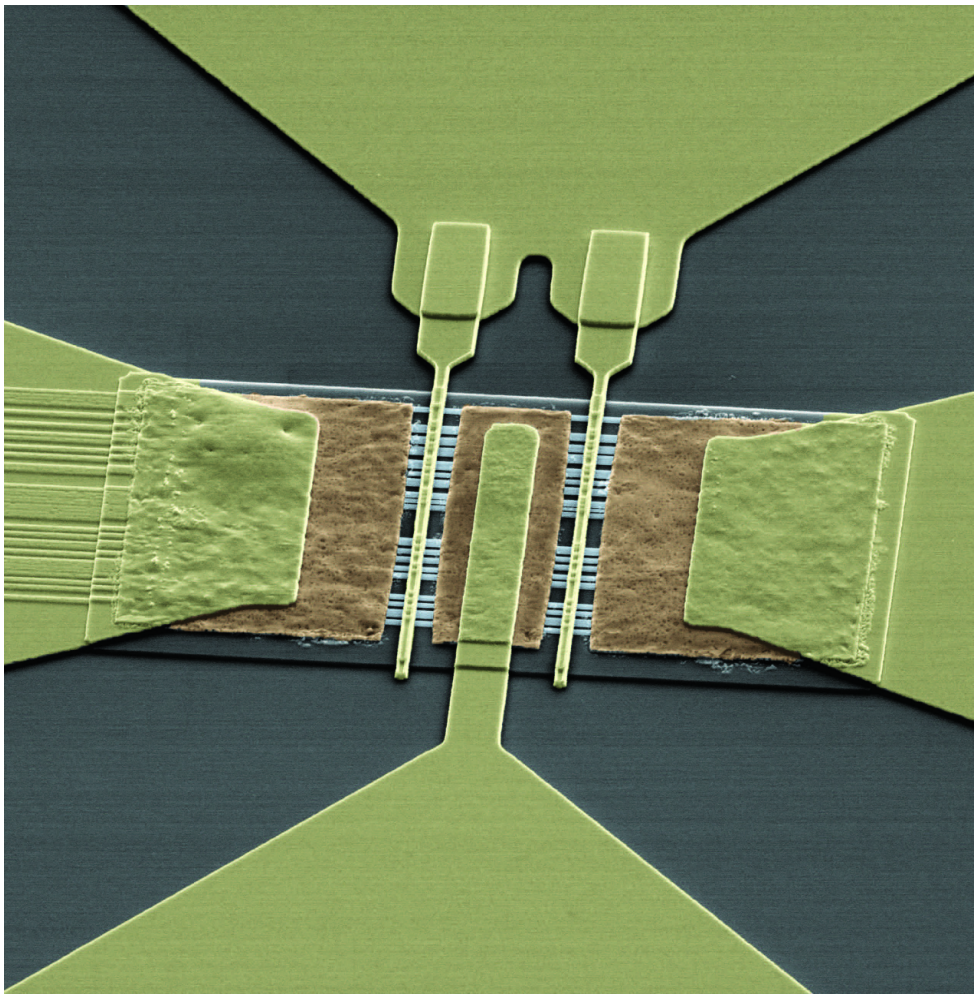
عبارت ترانزیستور از ترکیب دو واژه انتقال و مقاومت به وجود میآید. در یک نانو ترانزیستور گرافنی FET مقاومت بین دو الکترود میتواند توسط یک الکترود سوم منتقل و یا کنترل شود.اتصال سورس و اتصال درین از طریق یک نیمه هادی صورت (نانو یه گرافنی) میگیرد. نانو الکترود گیت از نیمه هادی به وسیله عایقبندی الکتریکی یه دی الکتریک گیت جدا میشود . بنابراین ، نانو الکترود گیت به صورت یه گرافنی به نیمه هادی متصل میشود و پتانسیل الکترواستاتیک رابط نیمه هادی/عایق را کنترل میکند.

ظهور آثار کوانتومی با کوچک شدن ابعاد ترانزیستور و ورود به محدوده ی زیر 100 نانومتر، رفتار تک تک اتم ها به تدریج قابل توجه و مهم میشود.با توجه به ابعاد اتم سیلیسیوم که حدود 1/46 آنگستروم (0/146 نانومتر) است و با در نظر گرفتن فاصله ی پیوندهای بین اتمی به این نتیجه میرسیم که هنگامی که در ابعاد زیر 100 نانومتر قرار داریم، تنها با چند ده اتم سیلیسیوم سر و کار داریم. کم شدن تعداد اتم های سیلیسیوم در ترانزیستور موجب میشود که مسئله ی نقص بلوری به یک چالش جدی تبدیل شود. چرا که اندکی نقص بلوری چه ناشی از اتم های سیلیسیوم و چه ناشی از اتم های ناخالصی که به سیلیسیوم افزوده شده، موجب تغییرات بسیار در رفتار الکتریکی ترانزیستور خواهد شد و ترانزیستور را از کاربری مورد نظر خارج میکند.



با کوچک کردن تمامی ابعاد افقی و عمودی ترانزیستور، چگالی بار

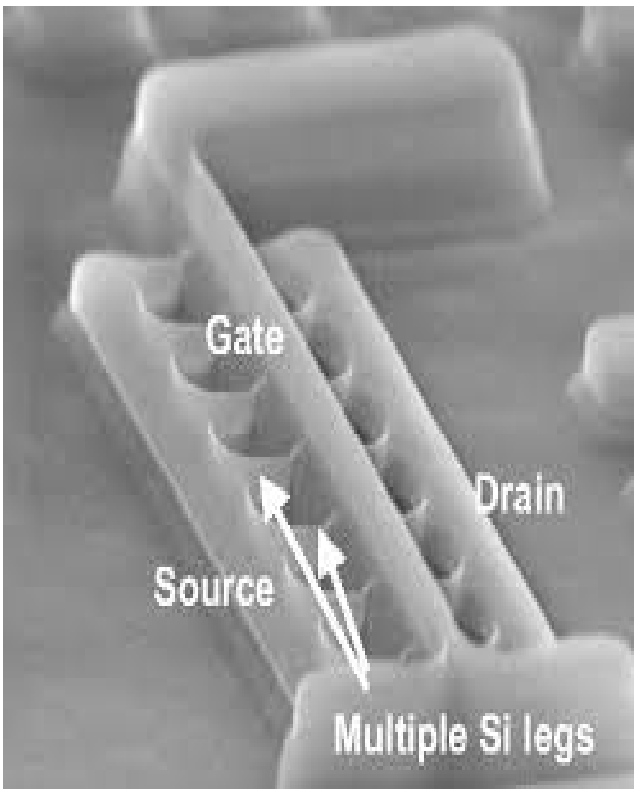
الکتریکی در نواحی گوناگون نانو ترانزیستور افزایش مییابد یا به بیان دیگر تعداد بار الکتریکی در یکای سطح نانو ترانزیستور زیاد میشود. این اتفاق دو پیامد منفی دارد: اول با افزایش چگالی بار الکتریکی امکان تخلیه ی بار الکتریکی از نواحی عایق ترانزیستور افزایش و این اتفاق موجب آسیب رسیدن به ترانزیستور و خرابی آن میشود. این اتفاق مشابه تخلیه ی بار الکتریکی اضافی بین ابر و زمین در پدیده ی آذرخش یا صاعقه است که موجب یونیزه شدن مولکول های هوا به یونهای منفی و مثبت میشود. ثانیاً با افزایش چگالی بار الکتریکی، ممکن است الکترونها تحت تاثیر نیروهای رانشی یا ربایشی که هم اکنون مقدار آن افزایش یافته، از محدودهی شعاع یک اتم خارج شوند و به محدوده ی شعاع اتم مجاور وارد شوند. این اتفاق را در فیزیک کوانتوم، تونل زدن میگویند. تونل زدن الکترون از یک اتم به اتم مجاور، پدیده ای است که در ابعاد کوچک بین الکترونها بسیار اتفاق میافتد. این پدیده اساس کار بعضی قطعات الکترونیکی و بعضی نانو سکوپ ها هم میباشد. اما در نانو ترانزیستور این پدیده، پدیده ی مفیدی نیست، چرا که تونل زدن الکترون از یک اتم به اتم مجاور ممکن است همچنان ادامه یابد و یک جریان الکتریکی را موجب شود. این جریان الکتریکی اگر چه ممکن است بسیار کوچک باشد اما چون ناخواسته و پیش بینی نشده میباشد، همچون یک مسیر نشتی برای جریان الکتریکی رفتار میکند و موجب تغییر رفتار الکتریکی نانو ترانزیستور میشود.



کوچک کردن ترانزیستور ها و ورود به ابعاد زیر 100 نانو متر در محدوده ی عملکرد فناوری نانو الکترونیک اگر چه مزایای بسیاری دارد اما با چالش های گوناگونی روبرو است.

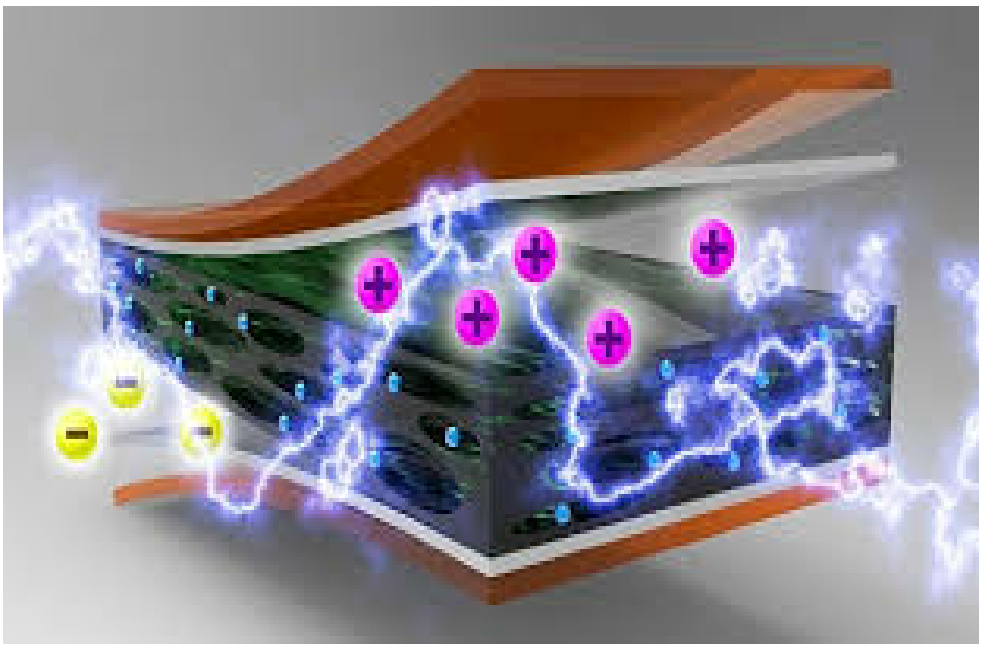
گرافن که تنها از یک اتم کربن تشکیل شده می تواند برای ایجاد نانو ترانزیستورهای اثر میدانی گرافنی چند یه که انرژی کمتری مصرف کرده و فضای کمی اشغال می کنند به کار رود.گرافن یک ماده نیمه رسانا با گپ صفر و غیر مناسب برای مدارهای منطقی میباشد اما با استفاده از فناوری نانو اشکال مختلف از این ماده را ایجاد میکنند که دارای گپ متفاوت میباشند . نانو نوارهای گرافنی، گرافن های چند یه و گرافن رشد داده شده بر روی Si از قبیل این اشکال میباشند. عبارت نانو ترانزیستور از ترکیب واژه مقیاس نانو در انتقال و مقاومت به وجود میآید. در یک نانو ترانزیستور اثر میدانی گرافنی Si مقاومت بین دو الکترود میتواند توسط یک الکترود سوم منتقل و یا کنترل شود.در یک نانو ترانزیستور اثر میدانی گرافنی چند یه Si ، جریان بین دو الکترود توسط میدان الکتریکی از الکترود سوم کنترل میشود. بر عکس ترانزیستور دو قطبی،در الکترود سوم به لحاظ خازنی متصل میشود و در تماس با نیمه هادی نیست. سه الکترود در ساختار نانو ترانزیستور اثر میدانی گرافنی چند یه Si به سورس ، درین و گیت متصل میشوند در دیاگرام مداری یک نانو ترانزیستور اثر میدان گرافنی Si چند یه، دو الکت‌رود سورس و درین به صورت مستقیم به نیمه هادی متصل هستند در حالیکه الکترود گیت به صورت خازنی و با استفاده از دی الکتریک گیت به نیمه هادی متصل است. میدان الکتریکی ایجاد شده توسط الکترود گیت جریان ایجاد شده توسط

دو الکترود سورس و درین را کنترل میکند. انتقال جریان درین با تغییر چگالی حامل های بار در کانال انتقال دو بعدی مدوله شده است. درنانو ترانزیستور اثر میدان گرافنی Si چند یه یک کانال انتقال 3 بعدی جریان درین با ضخامت کانال انتقال سه بعدی مدوله شده است.روش های متعدد شیمیایی و فیزیکی برای تولید انواع مختلف نانو گرافن چند یه مطرح شده است. اساس کار روش های فیزیکی به این صورت است که در این روش ها سعی می کنند، نیروهای بین صفحات گرافنی در گرافیت را از بین ببرند و با جدا کردن آنها به تک یه های گرافنی یا گرافن اکسید برسند که این همان روش با به پایین است. در روش های شیمیایی هم نانو گرافن چند یه، از کنار هم قرار گرفتن تک تک اتم های کربن ساخته می شود که به این روش ها نیز، روش پایین به با گفته می شود.



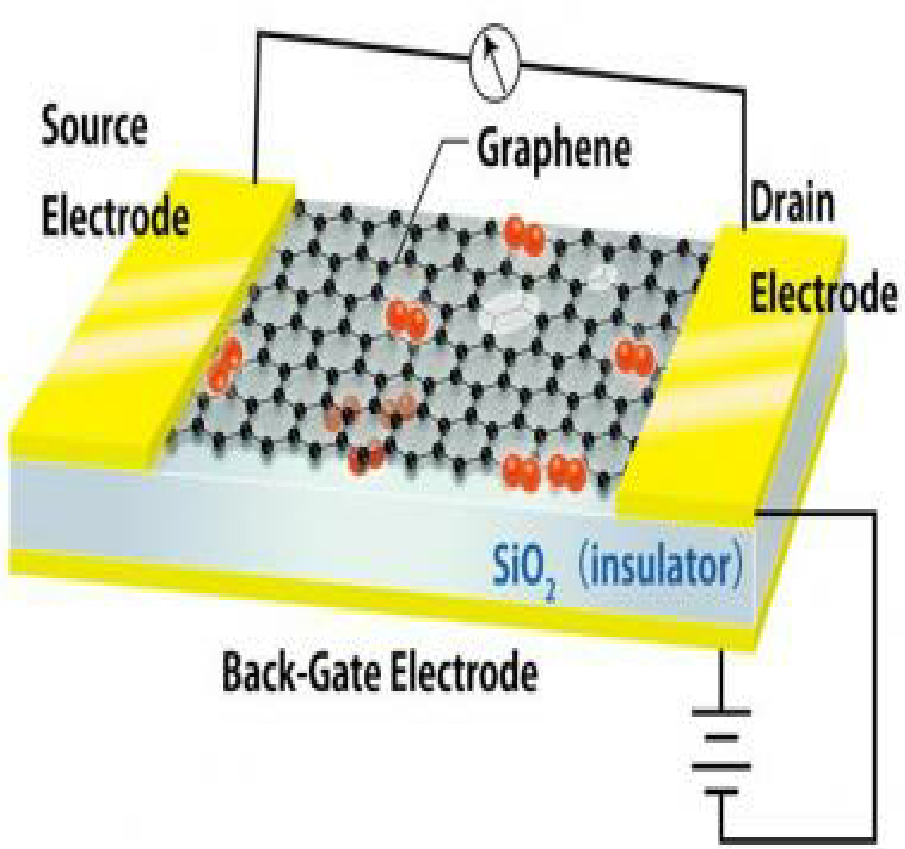
در روش یه برداری چند یه نانو گرافن کیفیت الکترونیکی یه ها با ست، هزینه ی تولید گرافن در این روش کم می باشد و به تجهیزات خاصی نیاز ندارد. در نانو ترانزیستورهای اثر میدانی با استفاده از گرافن (Si) تعداد یه های نانو گرافن تولید شده با این روش تک و چند یه است. از محدودیت های استفاده از این روش آن است که برای تولید عمده مناسب نمی باشد و یه های نازک تولیدی، غیر یکنواخت و ناصاف هستند و روشی زمان بر می باشد.

نانو ترانزیستورها از نانو سیم های (NWs) ساخته شده اند که اجازه می دهد تا ترانزیستورها به مقیاس نانو کوچک شوند. اما پایین آمدن به مقیاس نانو در واقع می تواند کار (Nano transistor) نانو ترانزیستور را دشوار کند. محبوب ترین ماده نیمه هادی برای ساخت نانو ترانزیستورهای اثر میدانی Nano FET نانو سیم (NWs) میباشد.نانو سیم ها(NWS) به تنهایی نمی توانند حرکت الکترون ها را کنترل کند ، بنابراین ناخالصی باید در فرآیندی به نام دوپینگ ، به طور معمول با بور ، فسفر ، سلنیوم یا ژرمانیوم اضافه شود. هنگامی که نانو سیم (nano wire) دوپ شده است، حرکت الکترون ها هم می تواند تبدیل شود و اجازه می دهد جریان الکترون، و یا خاموش (توقف جریان الکترون) ، با استفاده از ولتاژ میان یه نانو سیم های (NWs) روشن و خاموش میشود.



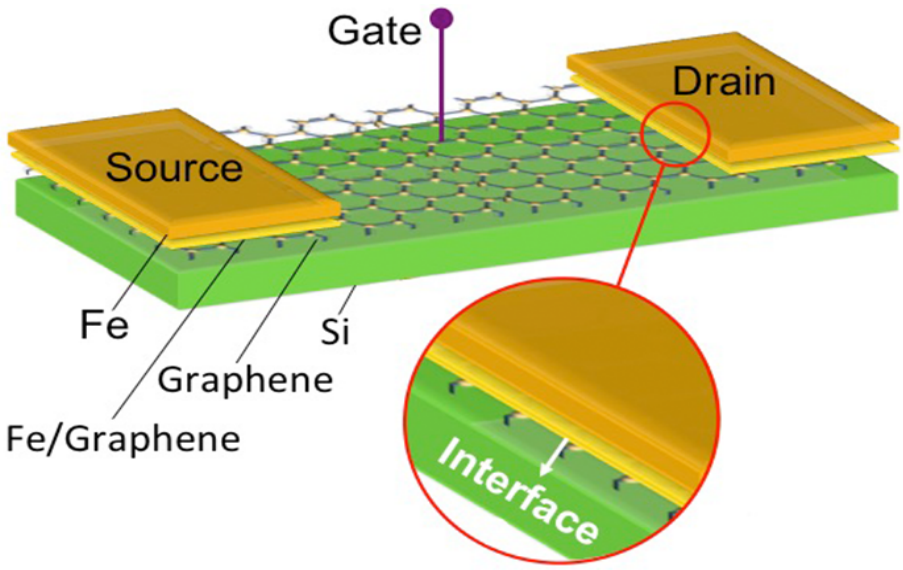
این نانو ترانزیستور ها ی اثر میدانی Nano FET از چند قسمت اصلی تشکیل شده است: دروازه ، منبع کانال ، تخلیه و بدنه. بدنه به طور معمول برای تسهیل در جریان الکترون ها از مواد نیمه هادی مانند نانو سیم های NWs تجمع یافته و ساخته شده است. الکترونها از طریق کانال به درون تخلیه جریان می یابند که توسط دروازه کنترل می شود. با اعمال ولتاژ ، می توانیم کانال را مسدود کنیم و جریان الکترون ها را داخل نانو ترانزیستور های اثر میدانی یا (Nano Fet) توسط نانو سیم های (NWs) روشن و خاموش کنیم. نانو ترانزیستورها از نانو سیم های (NWs) ساخته شده اند که اجازه می دهد تا ترانزیستورها به مقیاس نانو کوچک شوند. اما پایین آمدن به مقیاس نانو در واقع می تواند کار (Nano transistor) نانو ترانزیستور را دشوار کند. تمامی نانو ترانزیستورهای روی یک ویفر بطور همزمان خاموش و روشن می شوند چون دارای گیت یکسان هستند.ضخامت یه اکسید زیاد است واز طرفی فرآیند تولید به گونه ای است که سطح تماس نانو لوله کربنی با اکسید گیت کم بوده و برای خاموش روشن کردن قطعه با ولتاژ کم مشکل ایجاد می کند.

در ساختار نانو ترانزیستورهای گیت با یی برای بهره بیشتر ، نانو لوله های کربنی به طور کامل درون عایق گیت قرار داده می شود. بر خ ف ترانزیستور های اثر میدان نانو لوله کربنی گیت پشتی ، می توان تعداد زیادی از این نوع ترانزیستور را روی یک ویفر ساخت ، به دلیل اینکه گیت های هر یک به صورت مجزا می باشد . همچنین با توجه به ضخامت کم دی الکتریک گیت در نانو ترانزیستور، میدان الکتریکی بزرگتری را می توان با یک ولتاژ کم روی نانو لوله کربنی ایجاد کرد . با وجود روند ساخت پیچیده تر نسبت به ترانزیستور های اثر میدان نانو لوله کربنی گیت پشتی ، مزایا فوق باعث می شوند که این نوع ترجیح داده شوند.



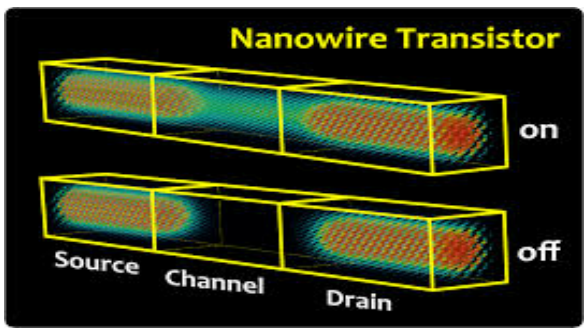
قرار دادن گیت در اطراف و در تمام نانولوله که باعث بهبود عملکرد می شود.ابتدا نانولوله کربنی که دارای پوشش عایق است روی ویفر قرار داده می شود که اتصال فلزی سورس و درین در دو طرف آن قرار داده می شود، سپس برای مشخص کردن و جدا کردن ناحیه سورس و درین ، si زیر نانولوله کربنی اضافه میگردد . این زدایش کردن تا رسیدن به عایق بستر ادامه پیدا می کند . سپس با استفاده از موادی که ضریب دی الکتریک با یی دارند ، عایق بین گیت و سورس و درین ایجاد شده و همچنین فلزی روی این عایق جهت اتصال بهتر فلز گیت به نانو لوله کربنی قرار داده می شود.پروسه ساخت نانو لوله ها باعث شده است که در قطر لوله ها تغییر پذیری وجود داشته باشد که معمو ً مقداری بین1 تا 2 نانومتر داراست. با تغییر قطر نانو لوله شکاف باند تغییر کرده و در نتیجه ولتاژ آستانه ترانزیستور و جریان ترانزیستور تغییر می کند.

عدم وجود کنترل دقیق بروی موقعیت یابی CNT ها در هنگام ساخت CNFET ،باعث ایجاد نامنظمی در نانو لوله ها میشود،کمتر از نیم درصد از نانولوله های ساخته شده روی بستر تک کریستال الماس نامنظم هستند .نانو لوله های نامنظم ممکن است باعث ایجاد اتصال کوتاه بین خروجی و تغذیه شوند.اتصال بین نانو لوله های کربنی و فلزی که برای اتصال سورس و درین استفاده شده، در یک CNTFET سد شاتکی(SB)را تشکیل میدهد. به وجود آمدن سدهای شاتکی در قسمت سورس و درین یک ترانزیستور باعث کاهش قابل م حظه ای در جریان ارسالی درین ترانزیستور میشوند. بنابراین، برای کارایی عملیاتی با تر قطعات CNFET ،فلزهای مناسبی نیاز است که بتوانند در محل اتصال سوری و درین استفاده شده و اتصال اهمی ایجاد کند.



زمانی که میدان الکتریکی به نانو نرانزیستور CNTFET اعمال شود ، نانو لوله کربنی که بین سورس_ Source و درین قرار دارد شامل بار متحرک می شود.چگالی این بارها برای سورس است و این چگالی را توسط برای (درین_Drain) احتمال توزیع فرمی دیراک تعیین میشود.قابلیت نانو لوله های کربن برای استفاده در حسگرهای گازی ناشی از تو خالی بودن و با بودن سطح تماس آنها است. این سطح تماس متشکل از دیواره خارجی نانو لوله و قسمت های خالی میانی آن می باشد. جذب فیزیک - شیمیایی گازها در نانو لوله ها باعث تغییر رسانش آنها می شود.با توجه به کاهش مقیاس قطعات نیمه هادی و مدارات مجتمع تا میزان محدوده نانومتر، صنعت نیمه هادی با چالش های زیادی روبرو خواهد بود.کاهش مقیاس موجب اثرات بیشتر کانال کوتاه، کنترل کمتر گیت، افزایش نمایی جریانهای نشتی، تغییرات شدید فرآیند و چگالی های توان غیر قابل مدیریت میشود.CNTFET یک گزینه برای ترانزیستور به منظور داشتن امکان ادامه کاهش ابعاد و برای توسعه ساختار های جدید، ترانزیستور اثر میدانی نانولوله کربن میباشد یکی از مطرحترین موضوع ها در نانو تکنولوژی نانو لوله های کربنی هستند.

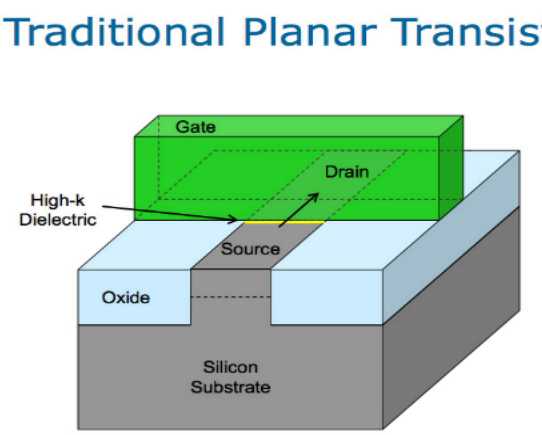
از آنجا که نانو ترانزیستور هایFinFEET در برای رسیدن به ، یک جریان تخلیه بزرگتر در نانو ترانزیستور ،عرض کانال با توجه به ارتفاع و همچنین ضخامت ، که یه های نانو CNTs آن را در محدوده کوچکتر نگه میدارد. نانو ترانزیستور های FinFEET یک نانو ترانزیستور اثر میدانی نیمه هادی فلزی-اکسید-نیمه هادی) که روی یک بستر ساخته شده است .که دروازه در دو ، سه یا چهار طرف کانال قرار دارد یا پیچیده شده است. کانال ، یک ساختار دروازه دوتایی را تشکیل می دهد. به این وسیله ها نام عمومی "finfets" داده شده است زیرا منطقه منبع / تخلیه باله هایی روی سطح سیلیکون تشکیل می دهد. دستگاه های FinFET نسبت به فناوری مسطح و با استفاده در ساختار از نانو سیم ها Nano wire و (مکمل فلزی اکسید و نیمه هادی) به طور قابل توجهی سریعتر سوئیچینگ و چگالی جریان بیشتری دارند .



با توجه به کاهش مقیاس قطعات نیمه هادی و مدارات مجتمع تا میزان محدوده نانومتر، در نانو ترانزیستور FinFET کاهش مقیاس موجب اثرات بیشتر کانال کوتاه، کنترل کمتر گیت، افزایش نمایی جریان های نشتی، تغییرات شدید فرآیند و چگالی های توان غیرقابل مدیریت میشود.اتصال بین نانو لوله های کربنی و فلزی که برای اتصال سورس و درین استفاده شده، در یک نانو ترانزیستور FinFET سد شاتکی (SB) را تشکیل میدهد. به وجود آمدن سدهای شاتکی در قسمت سورس و درین یک ترانزیستور باعث کاهش قابل م حظه ای در جریان درین نانو ترانزیستور های FinFET میشوند. بنابراین، برای کارایی عملیاتی با تر قطعات نانو ترانزیستور های Finfet ،فلزهای مناسبی نیاز است که بتوانند در محل اتصال سورس و درین نانو ترانزیستور استفاده شده و اتصال اهمی ایجاد کند. قابلیت نانو لوله های کربن برای استفاده در نانو ترانزیستورهای FinFET از توخالی بودن و با بودن سطح تماس آنها است. این سطح تماس متشکل از دیواره خارجی نانو لوله و قسمت های خالی میانی آن می باشد. در نانو ترانزیستورهای FinFET زمانی که میدان الکتریکی اعمال شود ، نانولوله کربنی که بین سورس و درین قرار دارد شامل بار متحرک می شود. چگالی این بار ها برای سورس است و این چگالی را توسط انتقال الکتریکی در نانو لوله های چند یه برای درین هم احتمال توزیع فرمی دیراک وجود دارد.

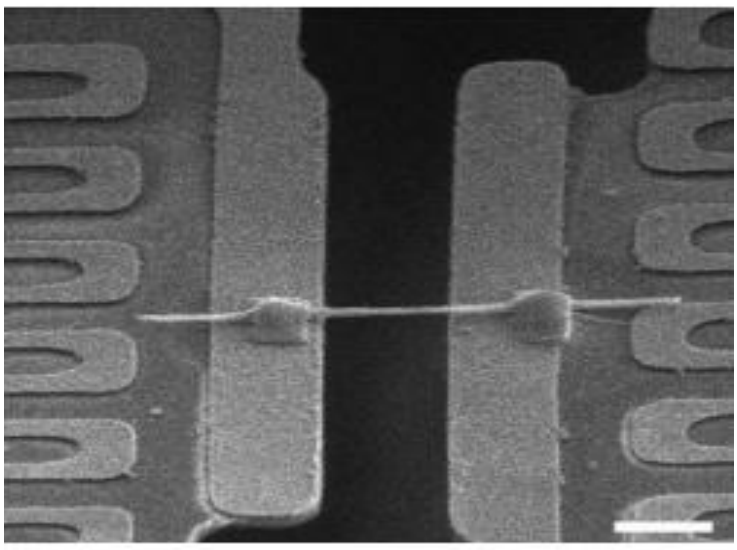
نانو ترانزیستور ها ی Planar FET ساختاری مسطح ، که از اساساً از

سه مؤلفه تشکیل شده است: گیت ، جمع کننده و پایه یا دروازه ، که کنترل جریان الکترون ها بین این دو را به وسیله نانو سیم ها کنترل می کند. نانو ترانزیستور های Planar FET در یک نانو یه نازک در زیر دروازه ، به نام یه وارونگی ، مسئول کل جریان الکترون ها است و یک نانو سیم ریز بین دو قطب یک پریز برق رفتار می کند. در زمانی که ترانزیستورها 180 نانومتر یا بیشتر اندازه گیری می کردند ، این مشکلی نبود ، اما با کوچک شدن ، نانو یه وارونه باریک تر و باریک تر می شد و کارایی کمتری پیدا می کرد. در نتیجه ، حتی در هنگام خاموش بودن ترانزیستور (نشت دروازه) انرژی و جریان بیشتری بین جریان دهنده و جمع کننده جریان می یابد و اخت ف ولتاژ بین دو حالت کوچکتر است.

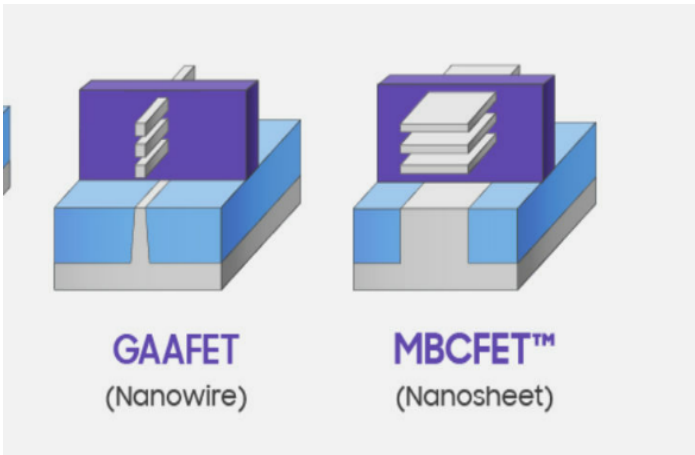


با کاهش نشت دروازه از طریق فناوری هایی مانند نانو سیم ها Nano wire موجب عبور ساده ولتاژ از گیت ، که الکترون های

بیشتری را مجبور به عبور از نانو یه وارونگی می کند ، مشکل اخت ف ولتاژ را در نانو ترانزیستور های Planar FET کاهش می دهد و در نتیجه یک منطقه تماس بسیار بزرگتر و کنترل بهتر جریان الکترون ها ایجاد می شود. از آنجا که اکنون سه نقطه وجود دارد که بین یه وارونگی نانو یه و دروازه تماس نانو ترانزیستور های Planar FET برقرار شود ، ترانزیستورهای مبتنی بر تکنولوژی نانوPlanar FET، حتی اگر عملکرد منطقی یکسان باشد ، با یک دروازه واحد در سه نقطه تماس برقرار می کند.نانو ترانزیستور ها ی Planar FET ساختاری مسطح ، که از اساساً از سه مؤلفه تشکیل شده است: امیتر ، جمع کننده و پایه یا دروازه ، که کنترل جریان الکترون ها بین این دو را به وسیله نانو سیم ها کنترل می کند.



نانو ترانزیستور های چند یه MBCFET بهتر و مقیاس پذیری ولتاژ با کاهش گره فرآیند ، به حداقل رساندن جنبه های منفی محدودیت های نانو ترانزیستور چند یه . MBCFET ها با افزایش سطح تماس بین کانال ترانزیستور و دروازه با مقیاس گذاری در جهت عمودی کار می کنند و امکان بارگذاری سریع تر و چگالی جریان با تر را در مقایسه با یک طرح مسطح فراهم می کنند.نانو ترانزیستور های چند یه MBCFET مانند ترانزیستورهای مسطح ، ترانزیستورهای FinFET در نهایت به نقطه‌ای می رسند که با کوچک شدن گرههای پردازش ، نمی توانند مقیاس کنند. به منظور مقیاس ، باید آن ناحیه تماس بین کانال و دروازه افزایش یابد و روش انجام این کار استفاده از نانو لوله های کربنی چند یه CNTs است. نانو یه ها ابعاد ترانزیستور را تنظیم می کند تا اطمینان حاصل شود که این دروازه نیز در زیر کانال قرار دارد ، نه تنها در قسمت با و طرفین. این به نانو ترانزیستور های چند یه MBCFET اجازه می دهد تا ترانزیستور ها را به صورت عمودی جمع کند.

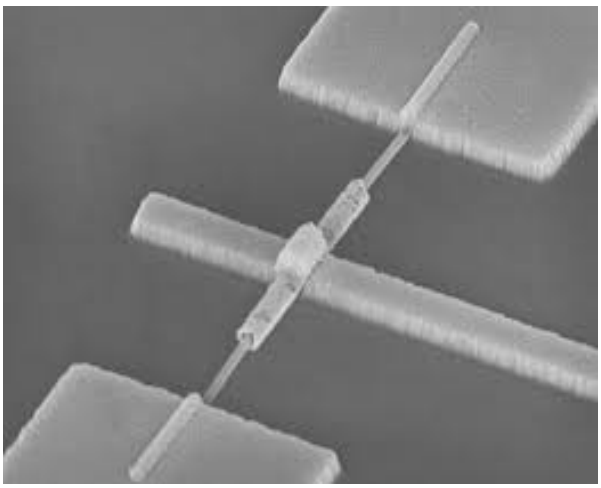


در ساختار نانو ترانزیستور های چند یه MBCFET نانو لوله های چند یه CNTs مورد استفاده قرار گرفته است. میزان افزایش نیروی گرمایی و مقاومت نانو لوله ها با ریشه سوم جرم اتمها و مولکول ها متناسب است. و همچنین حرارت دادن موجب افزایش استحکام نانو لوله شده و مقاومت کششی آن را شش برابر میکند و هدایت آن نیز افزایش مییابد. در اثر برخورد اتمها یا مولکولها با نانو لوله کربنی مقاومت الکتریکی آن تغییر میکند.و این تاثیرات در کارکرد و ساختار نانو ترانزیستور های چند یه MBCFET نیز وجود دارد.نانو ترانزیستور های چند یه MBCFET بهتر و مقیاس پذیری ولتاژ با کاهش گره فرآیند ، به حداقل رساندن جنبه های منفی محدودیت های نانو ترانزیستور چند یه . MBCFET ها با افزایش سطح تماس بین کانال ترانزیستور و دروازه با مقیاس گذاری در جهت عمودی کار می کنند و امکان بارگذاری سریع تر و چگالی جریان با تر را در مقایسه با یک طرح مسطح فراهم می کنند.

در دیاگرام مداری یک نانو ترانزیستور اثر میدان گرافنی Si چند یه، دو الکترود سورس و درین به صورت مستقیم به نیمه هادی متصل هستند در حالیکه الکترود گیت به صورت خازنی و با استفاده از دی الکتریک گیت به نیمه هادی متصل است.

میدان الکتریکی ایجاد شده توسط الکترود گیت جریان ایجاد شده توسط دو الکترود سورس و درین را کنترل میکند. انتقال جریان درین با تغییر چگالی حامل های بار در کانال انتقال دو بعدی مدوله شده است. درنانو ترانزیستور اثر میدان گرافنی Si چند یه یک کانال انتقال 3 بعدی جریان درین با ضخامت کانال انتقال سه بعدی مدوله شده است.روش های متعدد شیمیایی و فیزیکی برای تولید انواع مختلف نانو گرافن چند یه مطرح شده است. اساس کار روش های فیزیکی به این صورت است که در این روش ها سعی می کنند، نیرو های بین صفحات گرافنی در گرافیت را از بین ببرند و با جدا کردن آنها به تک یه های گرافنی یا گرافن اکسید برسند که این همان روش با به پایین است. در روش های شیمیایی هم نانو گرافن چند یه، از کنار هم قرار گرفتن تک تک اتم های کربن ساخته می شود که به این روش ها نیز، روش پایین به با گفته می شود. گرافن که تنها از یک اتم کربن تشکیل شده می تواند برای ایجاد نانو ترانزیستور های اثر میدانی گرافنی چند یه که انرژی کمتری مصرف کرده و فضای کمی اشغال می کنند به کار رود.گرافن یک ماده نیمه رسانا با گپ صفر و غیر مناسب برای مدارهای

منطقی میباشد اما با استفاده از فناوری نانو اشکال مختلف از این ماده را ایجاد میکنند که دارای گپ متفاوت میباشند . نانو نوارهای گرافنی، گرافن های چند یه و گرافن رشد داده شده بر روی Si از قبیل این اشکال میباشند. عبارت نانو ترانزیستور از ترکیب واژه مقیاس نانو در انتقال و مقاومت به وجود میآید. در یک نانو ترانزیستور اثر میدانی گرافنی Si مقاومت بین دو الکترود میتواند توسط یک الکترود سوم منتقل و یا کنترل شود.در یک نانو ترانزیستور اثر میدانی گرافنی چند یه Si ، جریان بین دو الکترود توسط میدان الکتریکی از الکترود سوم کنترل میشود. بر عکس ترانزیستور دو قطبی،در الکترود سوم به لحاظ خازنی متصل میشود و در تماس با نیمه هادی نیست. سه الکترود در ساختار نانو ترانزیستور اثر میدانی گرافنی چند یه Si به سورس ، درین و گیت متصل میشوند.

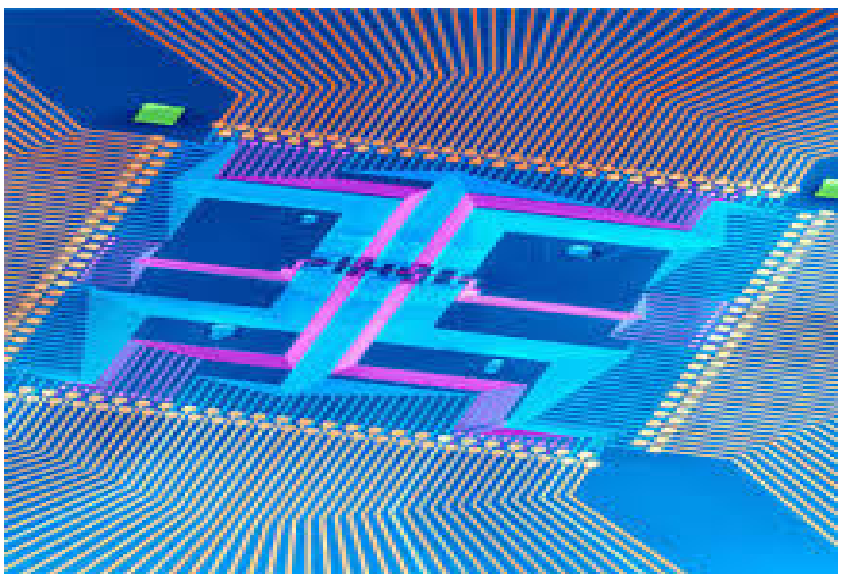


در دیاگرام مداری یک نانو ترانزیستور اثر میدان گرافنی Si چند یه، دو الکترود سورس و درین به صورت مستقیم به نیمه هادی

متصل هستند در حالیکه الکترود گیت به صورت خازنی و با استفاده از دی الکتریک گیت به نیمه هادی متصل است.

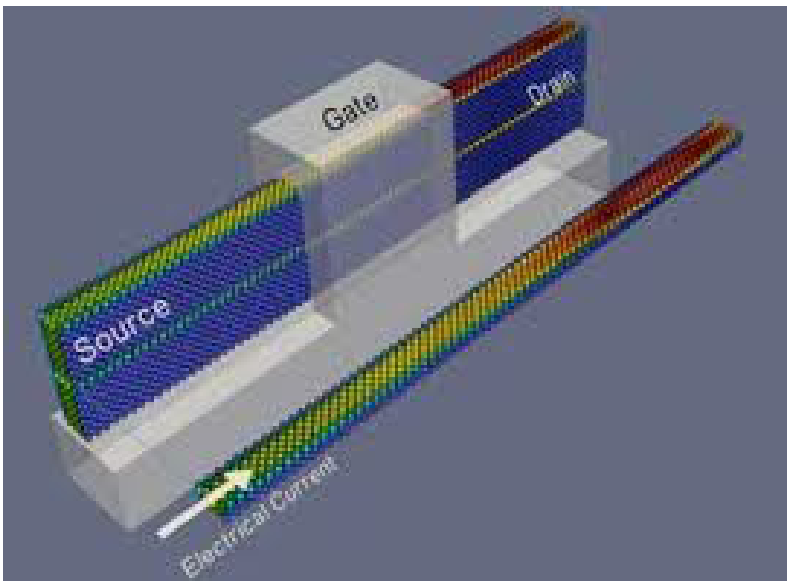
در ساختار نانو ترانزیستور های اثر میدان مبتنی بر نانو لوله های کربنی _ گرافنی با bulk MOSFET گیت با یی برای بهره بیشتر ، نانو لوله های کربنی به طور کامل درون عایق گیت قرار داده می شود. بر خ ف ترانزیستور های اثر میدان نانو لوله کربنی گیت پشتی ، می توان تعداد زیادی از این نوع نانو ترانزیستور لوله ای را روی یک ویفر ساخت ، به دلیل اینکه گیت های هر یک به صورت مجزا می باشد . همچنین با توجه به ضخامت کم دی الکتریک گیت در نانو ترانزیستور، میدان الکتریکی بزرگتری را می توان با یک ولتاژ کم روی نانو لوله کربنی ایجاد کرد . با وجود روند ساخت پیچیده تر نسبت به ترانزیستور های اثر میدان نانو لوله کربنی گیت پشتی ، مزایا فوق باعث می شوند که این نوع ترجیح داده شوند.در ساختار نانو ترانزیستور های اثر میدان مبتنی بر نانو لوله های کربنی _ گرافنی با bulk MOSFET تمامی نانو ترانزیستور های روی یک ویفر به طور همزمان خاموش و روشن می شوند ، چون دارای گیت یکسان هستند.ضخامت یه اکسید زیاد است واز طرفی فرآیند تولید به گونه ای است که سطح تماس نانو لوله کربنی با اکسید گیت کم بوده و برای خاموش روشن کردن قطعه با ولتاژ کم مشکل ایجاد می کند.

برای تولید نانو ترانزیستور و نانو چیپ ها یکی از مزایای این روش ها، سهولت تغییر پارامتر های فرآیند و دستیابی به شرایط بهینه تولید نانو لوله های کربنی می باشد. یک چالش عمده در ساخت نانو ترانزیستور های اثر میدان مبتنی بر نانو لوله های کربنی _ گرافنی با bulk MOSFET ، ناخالصی های موجود در محصو ت است. قرار دادن گیت در اطراف و در تمام نانو لوله که باعث بهبود عملکرد می شود.ابتدا نانو لوله کربنی که دارای پوشش عایق است روی ویفر قرار داده می شود که اتصال فلزی سورس و درین در دو طرف آن قرار داده می شود، سپس برای مشخص کردن و جدا کردن ناحیه سورس و درین ، si زیر نانو لوله کربنی اضافه میگردد . این زدایش کردن تا رسیدن به عایق بستر ادامه پیدا می کند . سپس با استفاده از موادی که ضریب دی الکتریک با یی دارند ، عایق بین گیت و سورس و درین ایجاد شده و همچنین فلزی روی این عایق جهت اتصال بهتر فلز گیت به نانو لوله های کربنی _ گرافنی با bulk MOSFET قرار داده می شود.



در ساختار نانو ترانزیستور های اثر میدان مبتنی بر نانو لوله های کربنی ـ گرافنی با bulk MOSFET گیت با یی برای بهره بیشتر ، نانو لوله های کربنی به طور کامل درون عایق گیت قرار داده می شود. بر خ ف ترانزیستور های اثر میدان نانو لوله کربنی گیت پشتی ، می توان تعداد زیادی از این نوع نانو ترانزیستور لوله ای را روی یک ویفر ساخت ، به دلیل اینکه گیت های هر یک به صورت مجزا می باشد .نانو ـ میکرو الکترونیک روشهای جدیدی برای ساختن نانو ترانزیستورها در مقیاسهای کوچک میپردازد که بعد آنها در حد چند ده نانومتر است که این برگرفته از علمی است که به آن نانو تکنولوژی میگویند.برخ ف نانو ترانزیستور های امروزی که بر پایه حرکت توده ای از الکترونها در ماده رفتار میکنند وسیله های جدید از پدیده های مکانیک کوانتومی در مقیاس نانو پیروی میکنند که دیگر طبیعت گسسته الکترون در آن قابل چشم پوشی نیست .با کوچک کردن تمامی ابعاد افقی و عمودی ترانزیستور، چگالی بار الکتریکی در نواحی گوناگون نانو ترانزیستور افزایش مییابد یا به بیان دیگر تعداد بار الکتریکی در یکای سطح نانو ترانزیستور زیاد میشود. این اتفاق دو پیامد منفی دارد: اول با افزایش چگالی بار الکتریکی امکان تخلیه ی بار الکتریکی از نواحی عایق ترانزیستور افزایش و این اتفاق موجب آسیب رسیدن به ترانزیستور و خرابی آن میشود. این اتفاق مشابه تخلیه ی بار الکتریکی اضافی بین ابر و زمین در پدیده ی آذرخش یا صاعقه است که موجب یونیزه شدن

مولکول های هوا به یونهای منفی و مثبت میشود. ثانیاً با افزایش چگالی بار الکتریکی، ممکن است الکترونها تحت تاثیر نیروهای رانشی یا ربایشی که هم اکنون مقدار آن افزایش یافته، از محدودهی شعاع یک اتم خارج شوند و به محدوده ی شعاع اتم مجاور وارد شوند. این اتفاق را در فیزیک کوانتوم، تونل زدن میگویند. تونل زدن الکترون از یک اتم به اتم مجاور، پدیده ای است که در ابعاد کوچک بین الکترونها بسیار اتفاق میافتد. این پدیده اساس کار بعضی قطعات الکترونیکی و بعضی نانو سکوپ ها هم میباشد. اما در نانو ترانزیستور این پدیده، پدیده ی مفیدی نیست، چرا که تونل زدن الکترون از یک اتم به اتم مجاور ممکن است همچنان ادامه یابد و یک جریان الکتریکی را موجب شود. این جریان الکتریکی اگر چه ممکن است بسیار کوچک باشد اما چون ناخواسته و پیش بینی نشده میباشد، همچون یک مسیر نشتی برای جریان الکتریکی رفتار میکند و موجب تغییر رفتار الکتریکی نانو ترانزیستور میشود.



این وسیله ها را به این سه قسمت تقسیم میکنیم :

۱) تزانزیستورهای نانو لوله ای کربنی

۲) وسیله های تک الکترونی

۳) وسیله های نانو الکترونیک مولکولی

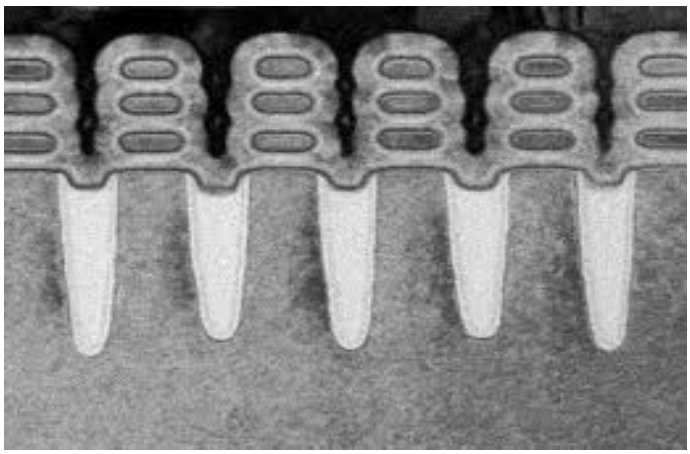
استفاده از نانو سیم به عنوان میدان نیمه هادی فلزی - اکسید - کانال ترانزیستور اثر نانو می تواند یک ساختار اطراف یک دروازه را قادر سازد که یک کنترل دروازه الکترواستاتیک عالی را بر روی کانال برای کاهش اثرات کانال کوتاه انجام دهد. که در ساختار نانو مدار ها و اساس و پایه ساختن نانو تراشه های الکترونیکی برای وسیله های محاسباتی بوده است.نانو _ میکرو الکترونیک روشهای جدیدی برای ساختن نانو ترانزیستورها در مقیاسهای کوچک میپردازد که بعد آنها در حد چند ده نانومتر است که این برگرفته از علمی است که به آن نانو تکنولوژی میگویند.

نقش نانو صفحات گرافن (GA) در ساخت نانو ترانزیستور (Nano Transistor) به صورت میدان الکتریکی ایجاد شده توسط الکترود گیت جریان ایجاد شده توسط دو الکترود سورس و درین را کنترل میکند. انتقال جریان درین با تغییر چگالی حامل های بار در کانال انتقال دو بعدی مدوله شده است. درنانو ترانزیستور اثر میدان گرافنی Si چند یه یک کانال انتقال 3 بعدی جریان درین با ضخامت کانال انتقال سه بعدی مدوله شده استدر دیاگرام مداری یک نانو ترانزیستور اثر میدان گرافنی GA چند یه، دو الکترود سورس و درین به صورت مستقیم به نیمه هادی متصل هستند در حالیکه الکترود گیت به صورت خازنی و با استفاده از دی الکتریک گیت به نیمه هادی متصل است. روش های متعدد شیمیایی و فیزیکی برای تولید انواع مختلف نانو گرافن چند یه مطرح شده است. اساس کار روش های فیزیکی به این صورت است که در این روش ها سعی می کنند، نیرو های بین صفحات گرافنی در گرافیت را از بین ببرند و با جدا کردن آنها به تک یه های گرافنی یا گرافن اکسید برسند که این همان روش با به پایین است. در روش های شیمیایی هم نانو گرافن چند یه، از کنار هم قرار گرفتن تک تک اتم های کربن ساخته می شود که به این روش ها نیز، روش پایین به با گفته می شود.

گرافن که تنها از یک اتم کربن تشکیل شده می تواند برای ایجاد نانو ترانزیستور های اثر میدانی گرافنی چند یه که انرژی کمتری مصرف کرده و فضای کمی اشغال می کنند به کار رود.گرافن یک ماده نیمه رسانا با گپ صفر و غیر مناسب برای مدارهای منطقی میباشد اما با استفاده از فناوری نانو اشکال مختلف از این ماده را ایجاد میکنند که دارای گپ متفاوت میباشند . نانو نوارهای گرافنی، گرافن های چند یه و گرافن رشد داده شده در ساختار نانو ترانزیستور ها از قبیل این اشکال میباشند. عبارت نانو ترانزیستور از ترکیب واژه مقیاس نانو در انتقال و مقاومت به وجود میآید. در یک نانو ترانزیستور اثر میدانی گرافنی Si مقاومت بین دو الکترود میتواند توسط یک الکترود سوم منتقل و یا کنترل شود.در یک نانو ترانزیستور اثر میدانی گرافنی چند یه ، جریان بین دو الکترود توسط میدان الکتریکی از الکترود سوم کنترل میشود.

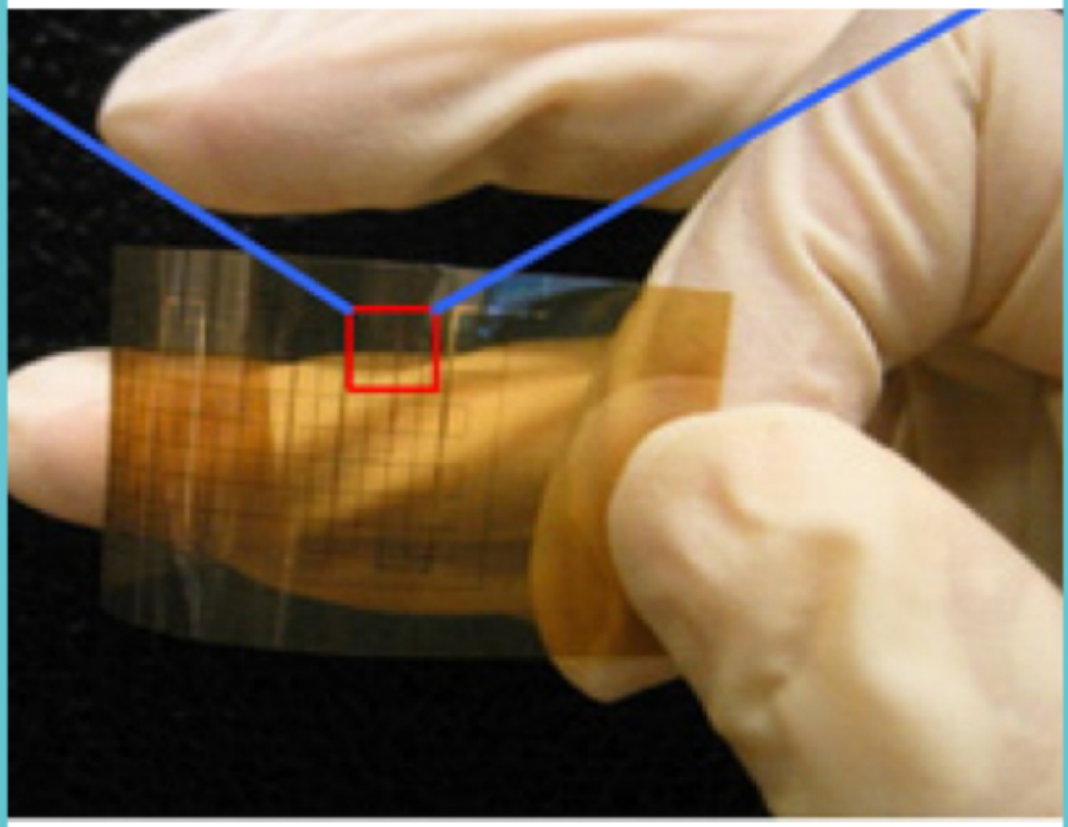
در دیاگرام مداری یک نانو ترانزیستور اثر میدان گرافنی GA چند یه، دو الکترود سورس و درین به صورت مستقیم به نیمه هادی متصل هستند در حالیکه الکترود گیت به صورت خازنی و با استفاده از دی الکتریک گیت به نیمه هادی متصل است. روش های متعدد شیمیایی و فیزیکی برای تولید انواع نانو ترانزیستور نانو گرافنی چند یه مطرح شده است. گرافن ، دارای خواص الکتریکی خاصی هستند که آنها را به کاندیداهای امیدوار کننده نانو الکترونیک آینده تبدیل می کند. در حالی که گرافن ، یک یه کربن تک بعدی ، یک ماده رسانا است ، اما می تواند به صورت نانو سیم به یک نیمه هادی تبدیل شود. این بدان معنی است که آن دارای یک انرژی کافی یا شکاف باند است که در آن هیچ حالت الکترونی وجود ندارد - می تواند روشن و خاموش شود ، و بنابراین ممکن است به یک جز اصلی ترانزیستورهای نانو تبدیل شود.نقش نانو صفحات گرافن (GA) در ساخت نانو ترانزیستور (Nano Transistor) به صورت میدان الکتریکی ایجاد شده توسط الکترود گیت جریان ایجاد شده توسط دو الکترود سورس و درین را کنترل میکند. انتقال جریان درین با تغییر چگالی حامل های بار در کانال انتقال دو بعدی مدوله شده است. درنانو ترانزیستور اثر میدان گرافنی Si چند یه یک کانال انتقال 3 بعدی جریان درین با ضخامت کانال انتقال سه بعدی مدوله شده است. در دیاگرام مداری یک نانو ترانزیستور اثر میدان گرافنی GA چند یه، دو الکترود

سورس و درین به صورت مستقیم به نیمه هادی متصل هستند در حالیکه الکترود گیت به صورت خازنی و با استفاده از دی الکتریک گیت به نیمه هادی متصل است.



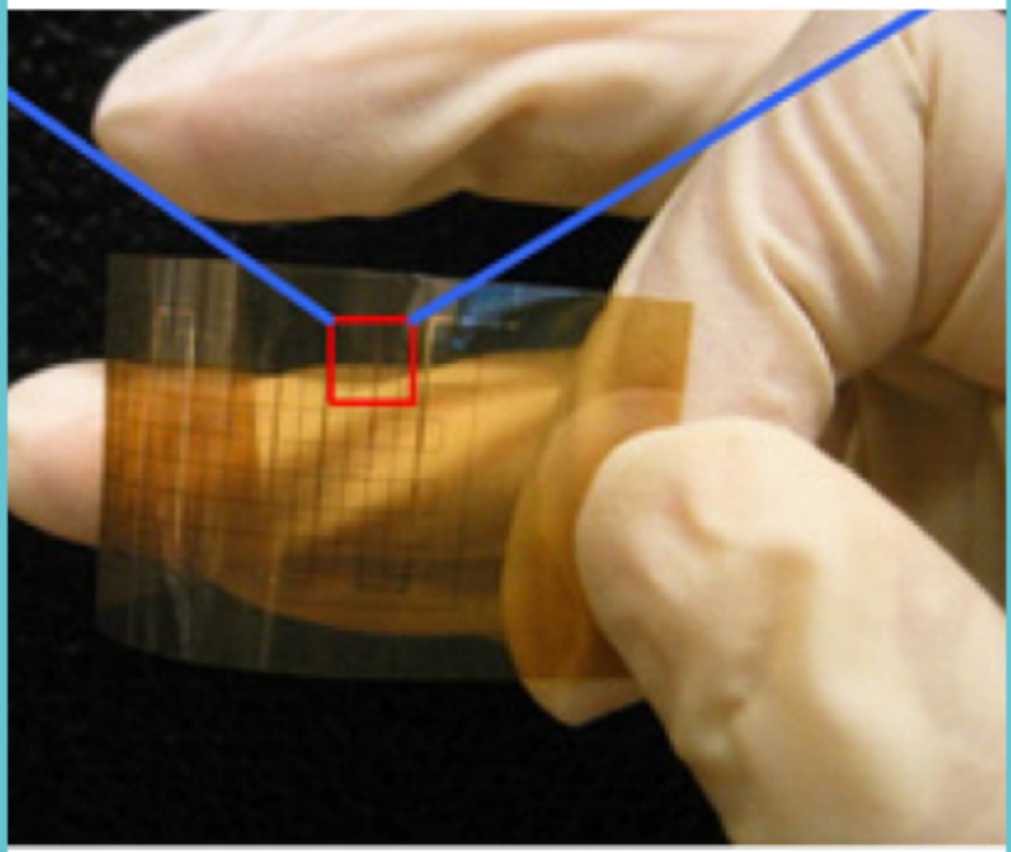
روش های متعدد شیمیایی و فیزیکی برای تولید انواع مختلف نانو گرافن چند یه مطرح شده است. اساس کار روش های فیزیکی به این صورت است که در این روش ها سعی می کنند، نیرو های بین صفحات گرافنی در گرافیت را از بین ببرند و با جدا کردن آنها به تک یه های گرافنی یا گرافن اکسید برسند که این همان روش با به پایین است. در روش های شیمیایی هم نانو گرافن چند یه، از کنار هم قرار گرفتن تک تک اتم های کربن ساخته می شود که به این روش ها نیز، روش پایین به با گفته می شود. گرافن ، یک یه کربن تک بعدی ، یک ماده رسانا است ، اما می تواند به صورت نانو سیم به یک نیمه هادی تبدیل شود. این بدان معنی است که آن دارای یک انرژی کافی یا شکاف باند است که در آن هیچ حالت الکترونی وجود ندارد - می تواند روشن و خاموش شود ، و بنابراین ممکن است به یک جز اصلی ترانزیستورهای نانو تبدیل شود.

نانو ترانزیستورهای گرافنی ـ کربنی



نویسنده : دکتر افشین رشید

Nano Transistor Graghene _ Carbon



Author : DR . Afshin Rashid