

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق

ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند

سمینار درس نانو الکترونیک

استاد :

آقای دکتر محمدنژاد

خردادماه ۱۳۹۵

آن چه در این سمینار خواهید دید:

مقدمه

ترانزیستورهای اثر میدان تونلی بدون پیوند (JL-FET)

ساختار ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند

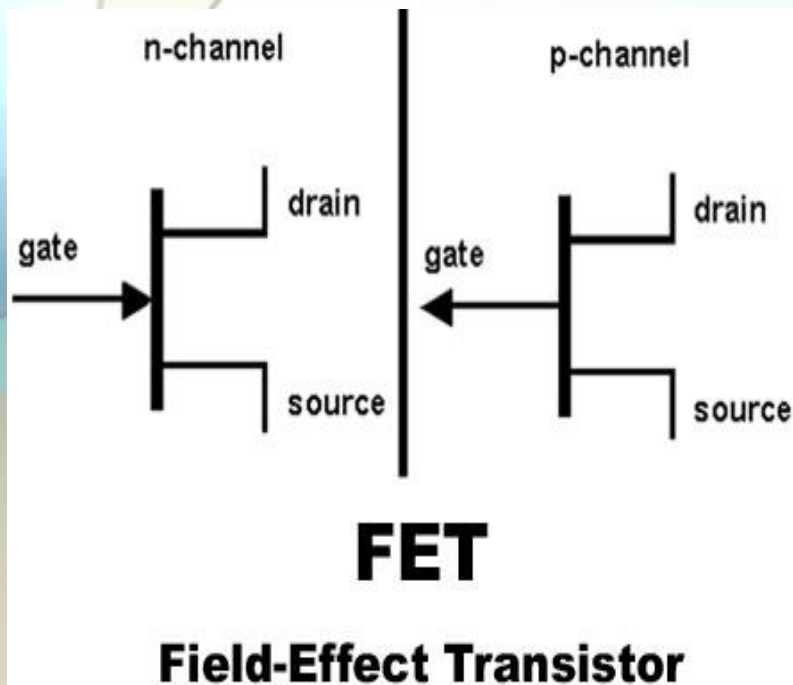
بررسی نموداری ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند

اصول عملکرد ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند

مقایسه بین n-TFET و JL-TFET

جمع بندی مطالب

ترانزیستور اثر میدان Field Effect Transistor

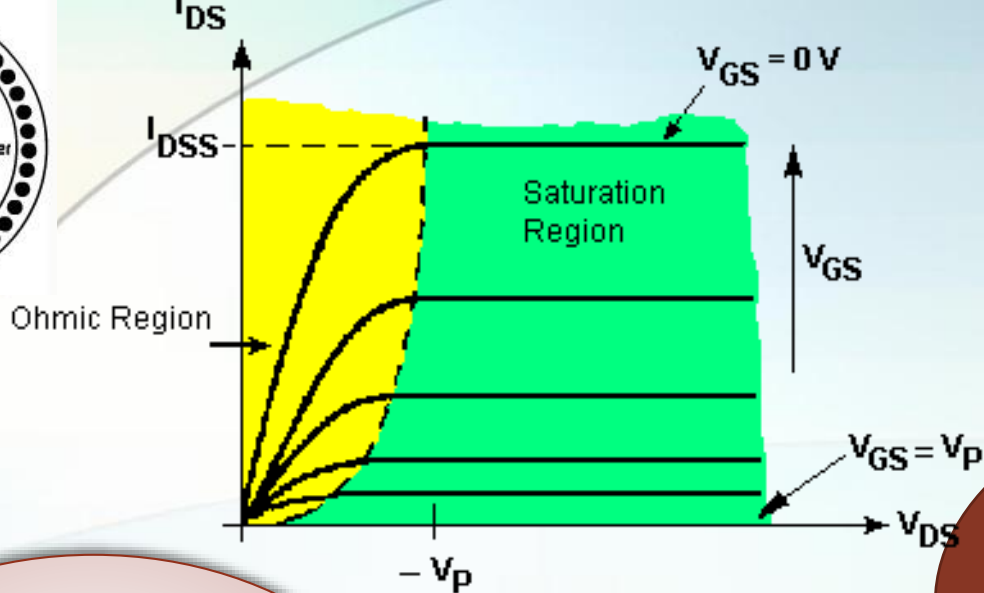


کلمه ترانزیستور از دو کلمه ترانس (انتقال) و رزیستور (مقاومت) تشکیل شده است و قطعه ای است که از طریق انتقال مقاومت به خروجی باعث تقویت می شود.

ترانزیستور اثر میدان، دسته ای از ترانزیستورها هستند که مبنای کار کنترل جریان در آنها توسط یک **میدان الکتریکی** صورت می گیرد. با توجه به اینکه در این ترانزیستورها تنها یک نوع حامل بار (الکترون آزاد یا حفره) در ایجاد جریان الکتریکی دخالت دارند، می توان آنها را جزو ترانزیستورهای **تک قطبی** محسوب کرد.

علامت اختصاری FET

اصول عملکرد	بررسی نموداری	ساختار ترانزیستورهای	ترانزیستورهای اثر میدان	2/15
مقایسه	ترانزیستورهای اثر میدان	اثر میدانی تونلی بدون پیوند	تونلی بدون پیوند	مقدمه
جمع بندی	میدانی تونلی بدون پیوند	تونلی بدون پیوند		



منحنی مشخصه
FET

ناحیه اشباع: در این ناحیه ترانزیستور مانند منبع جریان ثابت عمل می کند شرط حضور ترانزیستور در این ناحیه :

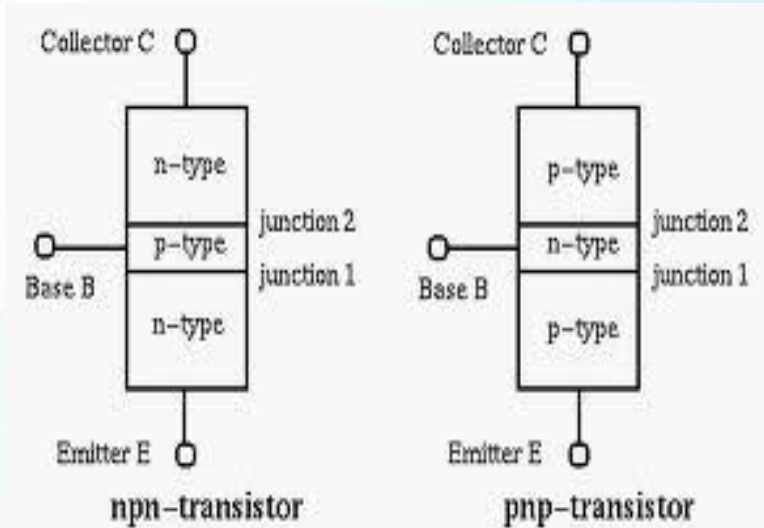
$$V_{DS} \geq V_P + V_{GS}$$

ناحیه قطع : رسیدن ولتاژ V_{GS} به ولتاژ آستانه و تسخیر کانال توسط ناحیه تخلیه هیچ جریانی از درین نمی گذرد

ناحیه خطی: در این ناحیه ترانزیستور مانند مقاومت خطی عمل می کند و مقدار آن با مقدار V_{GS} تغییر می کند.

در این ترانزیستور تغییرات جریان درین وابسته به تغییرات V_{DS} و V_{GS} می باشد.

ترانزیستور بلوک های ساختمان های اساسی دستگاه های الکترونیکی مدرن هستند .



BJT - دو پیوند P-N

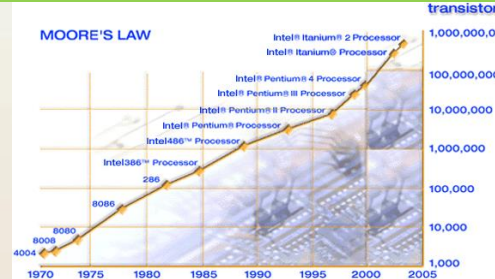
JFET - یک پیوند P-N

MESFET - اتصال شاکتی

انواع ترانزیستور با پیوند

کوچک سازی این ترانزیستورها کار بسیار مشکلی است.

ترانزیستورهای بدون پیوند می تواند به سازندگان تراشه ها برای کاهش بیشتر اندازه ترانزیستورها کمک کند .



قانون مور دیگر پاسخگو نیست

تحرك را کاهش می دهد
اتلاف حرارت ایجاد می کند
ساخت آن دشوار و گران قیمت است
باعث ایجاد جریان نشتی می شود

معایب اتصالات

4/15

مقدمه

ترانزیستورهای اثر میدان
تونلی بدون پیوند

ساختار ترانزیستورهای
اثر میدانی تونلی بدون
پیوند

بررسی نموداری
ترانزیستورهای اثر میدانی
تونلی بدون پیوند

اصول عملکرد
ترانزیستورهای اثر
میدانی تونلی بدون پیوند

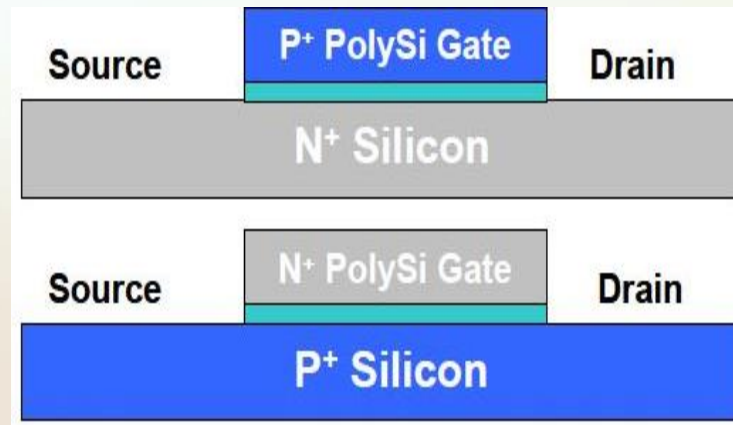
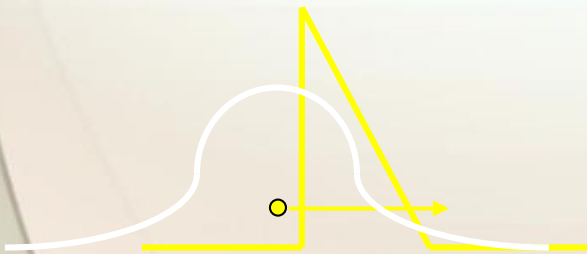
مقایسه

جمع بندی

ترانزیستور بدون پیوند توسط موسسه ملی تیندال ایرلند در سال ۲۰۱۰ اختراع شد.



ترانزیستور بدون پیوند یک FET چند گیت بدون اتصالات PN و N + N یا P + P است.



ترانزیستور بدون پیوند
با دوپینگ یکنواخت

5/15

مقدمه

ترانزیستورهای اثر میدان
تونلی بدون پیوند

ساختار ترانزیستورهای
اثر میدانی تونلی بدون
پیوند

بررسی نموداری
ترانزیستورهای اثر میدانی
تونلی بدون پیوند

اصول عملکرد
ترانزیستورهای اثر
میدانی تونلی بدون پیوند

مقایسه

جمع بندی

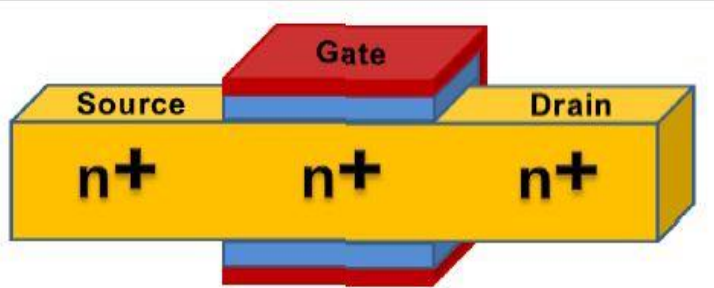
شرط های لازم برای ترانزیستورهای بدون پیوند

دوپینگ غلظت در سراسر دستگاه ثابت و یکنواخت است و به طور معمول دوپینگ بین 10^{19} و 10^{20} cm^{-3} است.

با توجه به شیب دوپینگ صفر (دوپینگ یکنواخت)، هیچ نفوذی از سورس به درین نداریم

ولتاژ گیت، ولتاژ سورس و درین را تعیین می کند

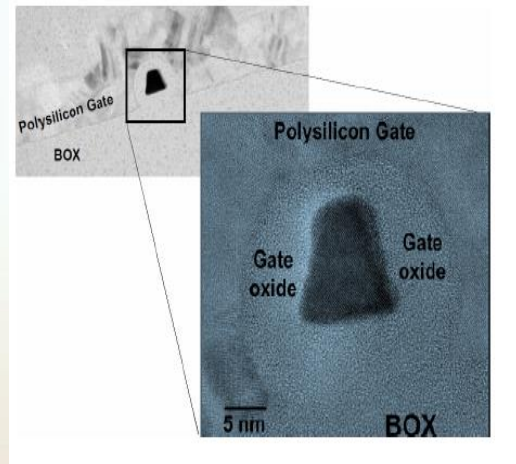
نیمه هادی با دوپ بالا داریم که این امر سبب می شود که باعث عبور جریان مناسبی باشد وقتی ترانزیستور روشن است



دوپینگ توسط پردازنده سریع حرارتی

عملکرد دستگاه

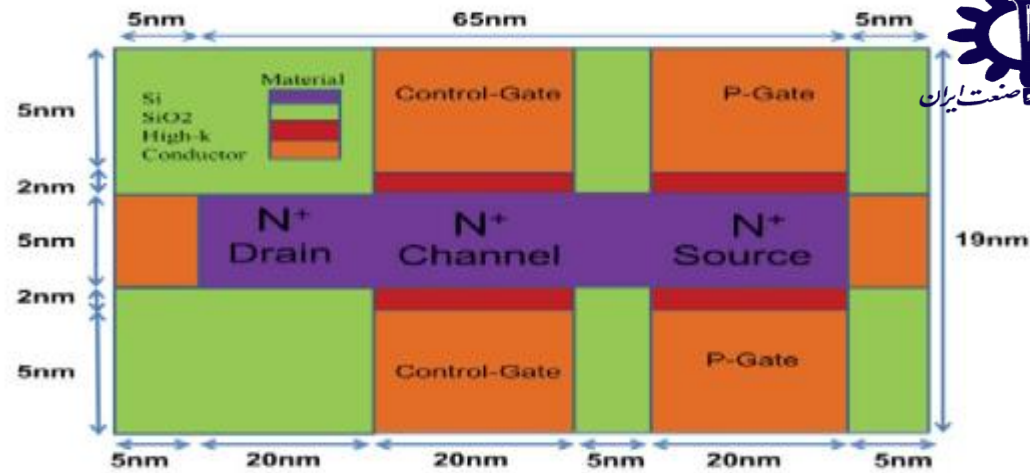
انتشار سریع گرمایی
چرخش در اسپین دیفیوژن
آماده سازی ویفر
فرآیندهای سازگاری IC-



ترانزیستور اثر میدان بدون پیوند تونلی

با محدود کردن مانع بین منبع و کانال دستگاه برای روشن و خاموش کردن افزاره از مفهوم تونل زنی استفاده می کند.

ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند دارای یک کانال با دوپ بالای N یا P می باشند ، که با استفاده از دو گیت ایزوله شده (کنترل - گیت و -p گیت) با دو فلز با توابع کار ناهمسان می باشند .

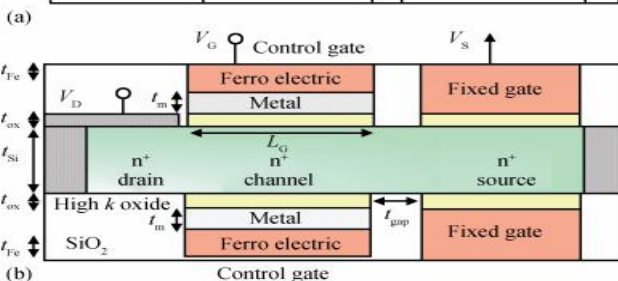
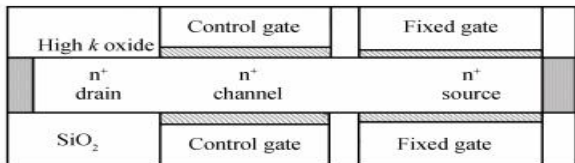


شکل JL-TFET طول و ضخامت

عرض کلی $1 \mu m$
تابع کار (CG = 4.3) الکترون ولت
تابع کار (PG = 5.93) الکترون ولت

این ترانزیستور هیچ اتصال متالورژیکی نیاز ندارد

ساخت آن آسان تر و همچنین خواص الکتریکی بهتر و تغییرپذیری کمتر از ماسفت دارد .



ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند با
تابع کار نزولی گیت (JL-LDWFET)

ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند با
تابع کار صعودی گیت (JL-LAWTFET)

ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند
با سه تابع کار مختلف گیت (JL-TMTFET)

ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند
ماده کانال نانوسیم نیمه هادی
با ساختار گیت فراگیر (JL-TNWFET)

ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند با
دو گیت مجزا DMG-JLTFET

ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند با
گیت مجزا SMG-JLTFET

انواع ترانزیستورهای
تونلی بدون پیوند

نرم افزار شبیه سازی
Silvaco Atlas

ترانزیستورهای اثر میدان تونلی
بدون پیوند (JL-FET)

ترانزیستور JL-TMTFET در مقایسه
با دیگر ترانزیستور بدون پیوند تانلینگ
پیشنهادی دارای جریان روشنایی بالاتر
، نسبت جریان روشنایی/خاموشی بیشتر،
مشخصه رفتار دو قطبی و تاخیر زمانی
بهتر می باشد.

ترانزیستور JL-TNWFET
کاندیدای مناسب برای
تکنولوژی نود کمتر از ۲۲ نانومتر
در پیاده سازی مدار
مجموع می باشد .

ساختار و ضخامت لایه‌های طراحی شده

Ge-Al_xGa_{1-x}As-Ge

استفاده از ماده کانال با شکاف انرژی کم
ساختار گیت فراگیر با استفاده از مواد مرکب گروه سه و پنج

به ترتیب در نواحی سورس، کانال
و درین استفاده می شوند .

(TiO₂)
(HfO₂)
(Al₂O₃)

دی الکتریک گیت متشکل از مواد high k است. k به
معنای قابلیت یک ماده برای نگه داشتن بار است.

هرچه k بیشتر باشد قابلیت نگه داشتن بار نیز بیشتر
خواهد بود.

این مواد خاصیت عایقی خوبی دارند و میتوانند خازن
خوبی بین گیت و کانال ایجاد کنند .

دی الکتریک های high k می توانند ساختار ضخیم تری
نسبت به اکسید سیلیسیوم داشته باشند .

از (SiO₂) به عنوان جدا کننده استفاده می شود

برای ترانزیستورهای اثر میدان تونلی به جای پیوند p- n
از یک کانال بادوپ بالای N یا P استفاده می کنند (این امر سبب
می شود که عبور جریان مناسبی وقتی ترانزیستور روشن است داشته
باشد) که رایج ترین مدل دارای دو گیت ایزوله شده (کنترل -
گیت و p- گیت) می باشد .

ترانزیستورهای اثر میدان تونلی دارای دو فلز با توابع کار مختلف
می باشد تا بتواند کنترل پذیری خوبی بر روی جریان ناشی داشته
باشد.

9/15

مقدمه

ترانزیستورهای اثر میدان
تونلی بدون پیوند

ساختار ترانزیستورهای
اثر میدانی تونلی بدون
پیوند

بررسی نموداری
ترانزیستورهای اثر میدانی
تونلی بدون پیوند

اصول عملکرد
ترانزیستورهای اثر
میدانی تونلی بدون پیوند

مقایسه

جمع بندی

مراحل ساخت



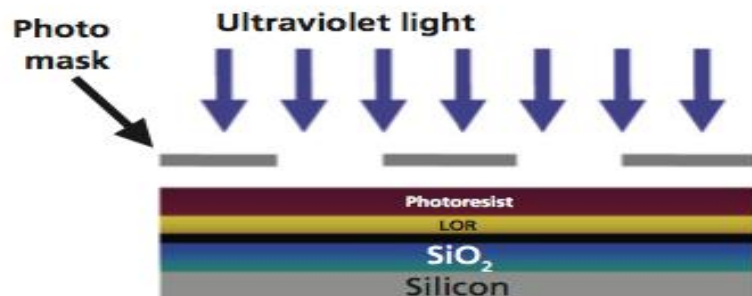
a) Plain substrate



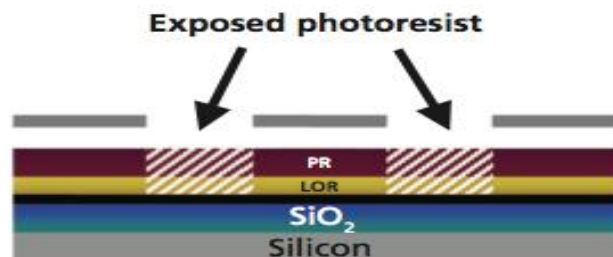
b) Spin coat



c) Deposit lift-off resist and photoresist



d) Align with device mask and expose to UV light



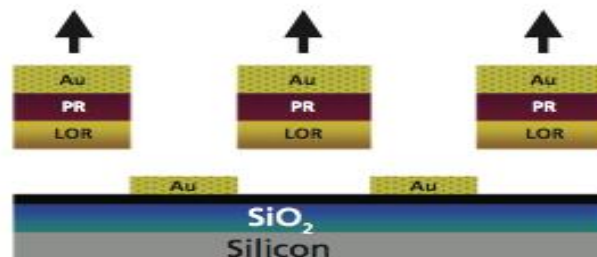
e) Unmasked resist becomes exposed



f) Develop exposed resist, dissolving it away



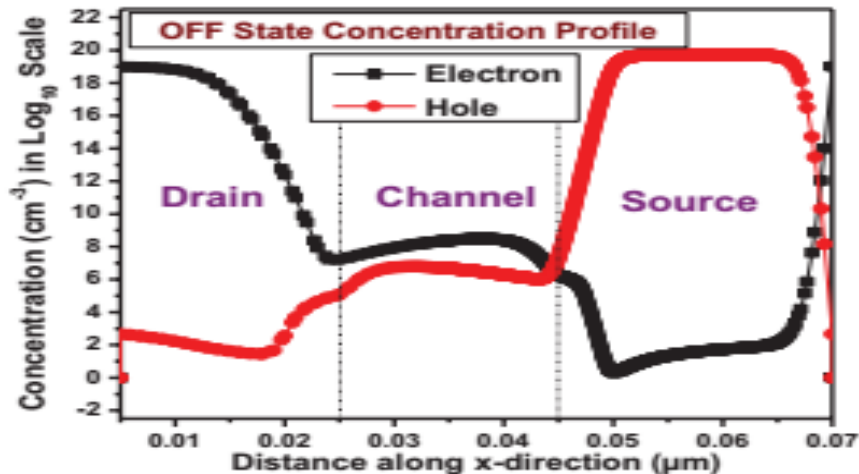
g) Evaporate gold onto substrate



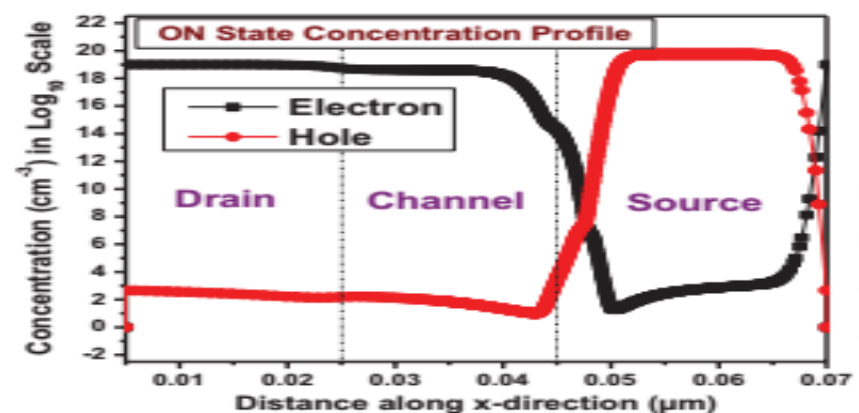
h) Perform lift-off; strip resist



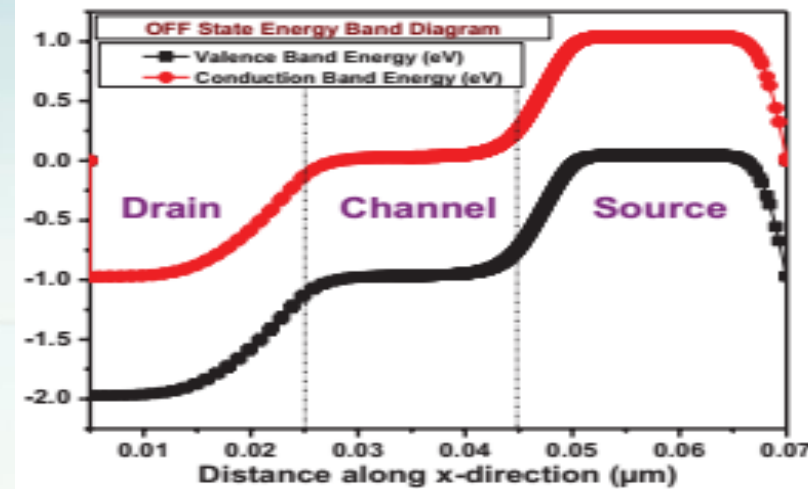
i) Gold electrodes are formed, devices are made



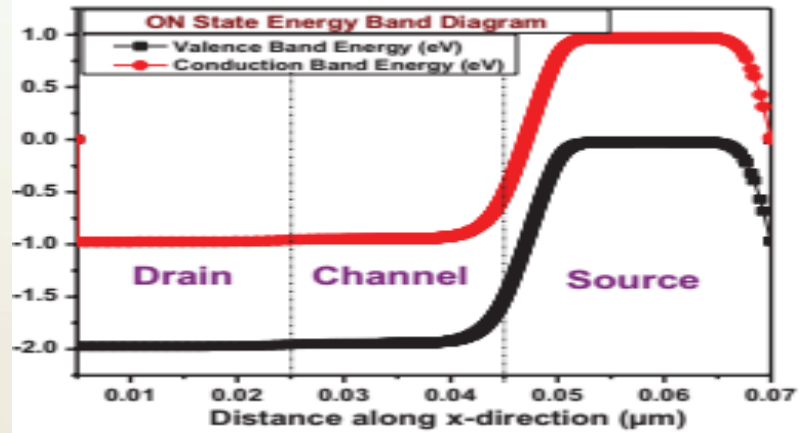
غلظت الکترون و حفره در حالت خاموش JL-TFET



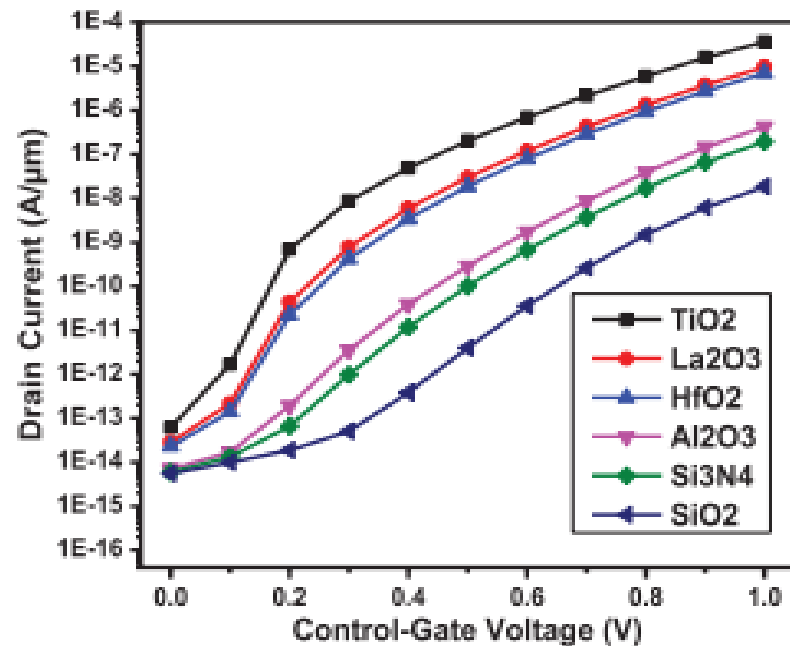
غلظت الکترون و حفره در حالت روشن JL-TFET



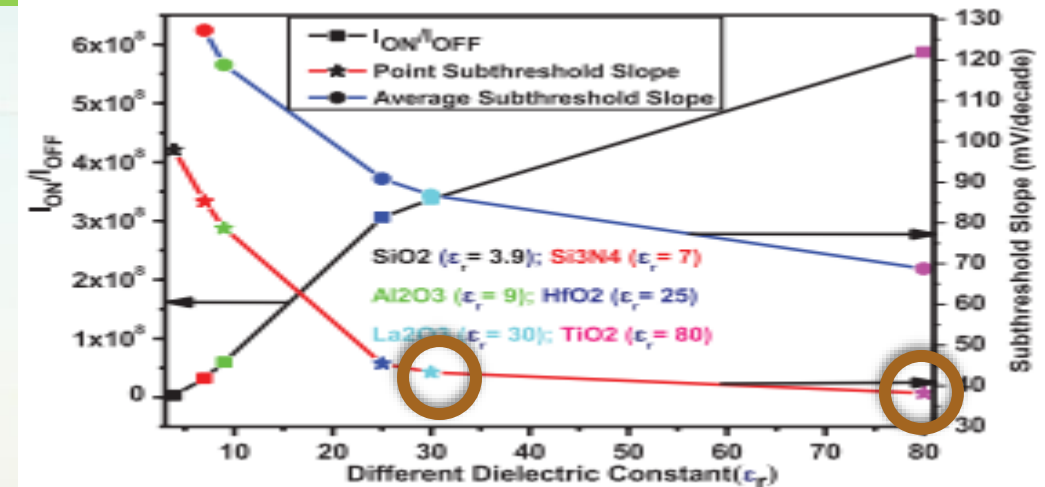
نمودار باند انرژی JL-TFET در حالت خاموش



نمودار باند انرژی JL-TFET در حالت روشن



همانطور که مشاهده می شود برای دی الکتریک های با ضریب دی الکتریک کمتر La_2O_3 , HfO_2 میزان I_{ON} به نسبت دی الکتریک های با ضریب دی الکتریک بیشتر کمتر است.



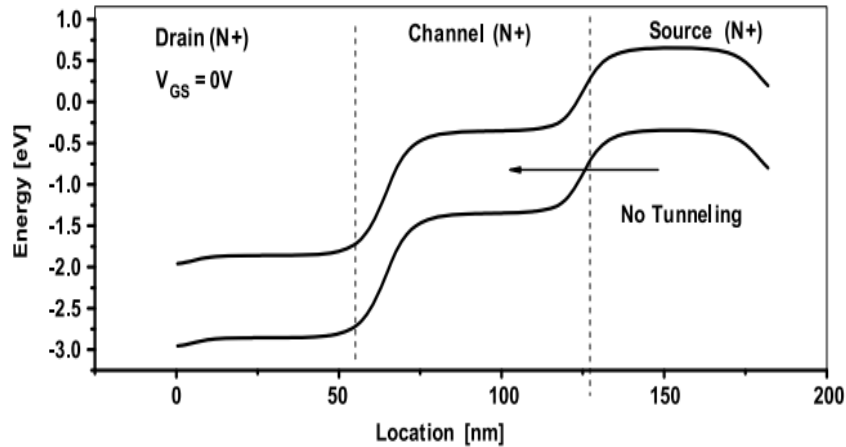
مشخصه زیرآستانه در L-TFET برای دی الکتریک های مختلف با ضریب دی الکتریک ۳,۹ تا ۸۰ در $V_{\text{DS}} = 1$

شیب زیرآستانه و نسبت $I_{\text{ON}} / I_{\text{OFF}}$ برای L-TFET برای ضرایب مختلف دی الکتریک بین ۳,۹-۸۰

شیب زیر آستانه برای مواد با ضریب دی الکتریک کمتر بهبود پیدا کرده است مثلاً برای TiO_2 ، 43 mV/decade La_2O_3 و برای 38 mV/decade

رویکرد پایه برای تبدیل (N + N + N +)
سورس و درین و کنا به (P-i-N)

اصول عملکرد



نمودار باند دیگرام حالت خاموش JLTFTFET

$V_{TSi} = 10 \text{ nm}$, $V_{GS}/V_{gate} = 0$
 $L_g = 50 \text{ nm}$, $TOX = 3 \text{ nm}$ and $V_{DS} = 2 \text{ V}$

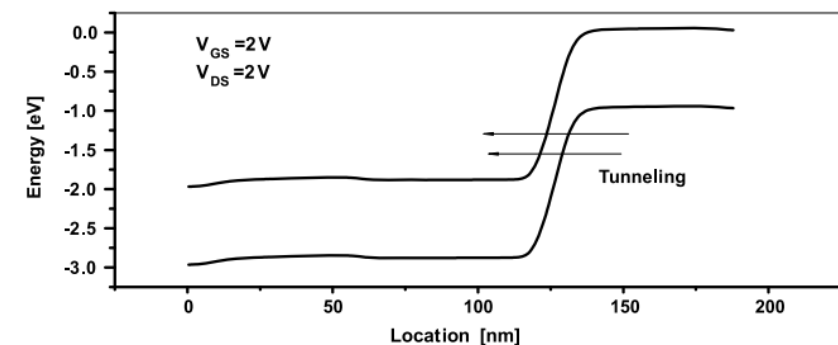
با تثبیت ولتاژ گیت جانبی و دادن یک ولتاژ
مثبت به درین عمل تونلینگ اتفاق می افتد

در این حالت می بینیم که هیچ تونلینگ اتفاق نمی افتد .

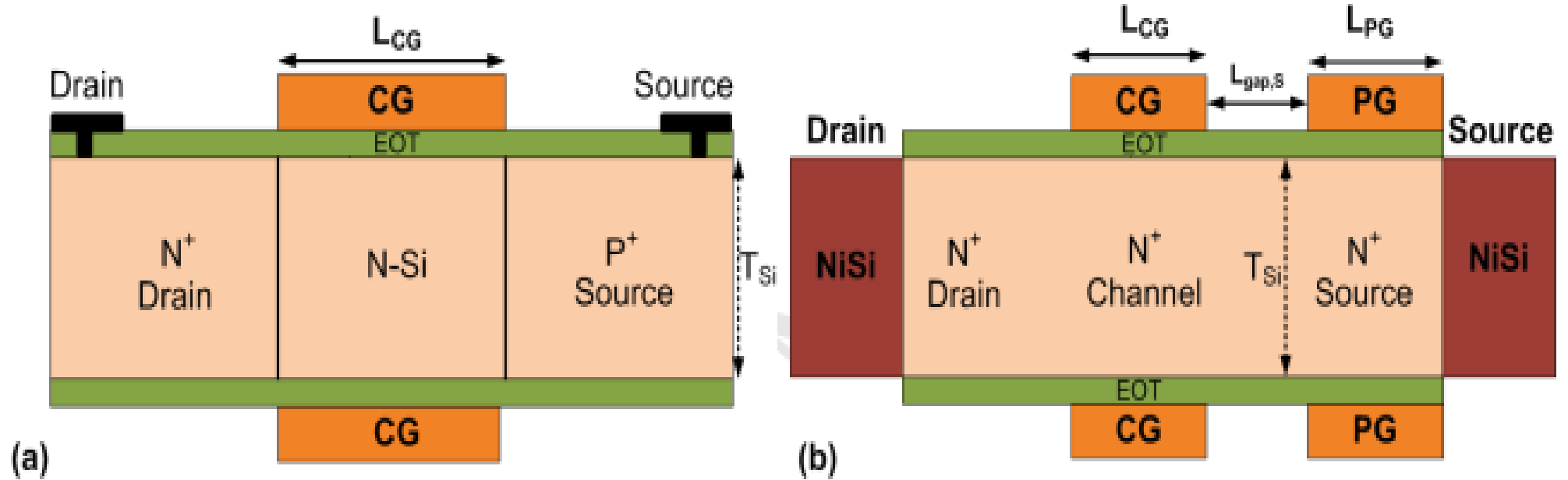
برای انجام عمل تونلینگ باید به گیت یک ولتاژ اعمال
کنیم تا دستگاه در حالت روشن باشد . ولتاژ اعمالی باید به
کنترل گیت ما اعمال شود.

برای ساختارهای چند گیت باید ولتاژ بقیه گیت ها
ثابت باشند.

با تثبیت ولتاژ گیت های جانبی سورس رفتاری مانند از P +
خود نشان می دهد و درین مانند N+ عمل می کند



مقایسه بین n-TFET و JL-TFET



n-TFET

JL-TFET

مقایسه بین n-TFET و JL-TFET

پارامترها	n-TFET	JL n-TFET
طول گیت (L_{ch})	50 nm	50 nm
دوپینگ	$1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$	$1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$
دوپینگ کانال	$1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$	$1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$
دوپینگ درین	$5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	$1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$
ضخامت اکسید (EOT)	0.8 nm	0.8 nm
طول ایزولاسیون بین CG و PG	—	5 nm
ضخامت سیلیکون	10 nm	10 nm
ولتاژ سورس	0V	0V
تابع کار کنترل - گیت	4.5eV	4.7eV
تابع کار p-گیت	—	4.7eV
بایاس گیت نوع p	—	1.2V

عدم نیاز به پیوند باعث می شود مراحل تزریق ناخالصی کمتر شود. از طرفی برای اینکه کنترل گیت بر کانال حفظ شود لازم است ابعاد ترانزیستور در حد چند نانومتر باشد.

هر چه تعداد ناخالصی اضافه در کانال بیشتر شود مقدار شیب زیر آستانه هم افزایش خواهد یافت .

تغییر تصادفی محل اتم های ناخالصی سبب تغییر در مشخصات ترانزیستور می شود که وجود دو گیت باعث مدوله شدن (کنترل بهتر) جریان درین و ولتاژ آستانه می شود .

مواد high-k برای بهبود Ion و همچنین بهبود شیب زیر آستانه (ss) به کار می روند .

به طور کلی تغییرات ولتاژ درین سورس تأثیر چندانی بر (subthreshold slope) شیب زیر آستانه ندارد .

ترانزیستور JL-TFET کاندیدای مناسبی برای تکنولوژی نود کمتر از ۲۲ نانومتر در پیاده سازی مدار مجتمع می باشد .

نتیجه گیری

با توجه به کاهش مقیاس قطعات نیمه هادی و مدارات مجتمع تا میزان محدوده نانومتر، صنعت نیمه هادی با چالشهای 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 غیرقابل مدیریت می شود. در طی سه دهه اخیر کاهش مقیاس تکنولوژی CMOS سرعت بالایی داشته است اما ممکن است به زودی به دلیل افزایش اثرات کانال کوتاه و محدودیتهای اتلاف توان به پایان برسد. بنابراین تکنولوژیهای **مهم** و **کار آمد** جایگزین برای ترانزیستورهای سیلیکون در حال کشف و بررسی می باشند. یک گزینه برای ترانزیستور به منظور داشتن امکان ادامه کاهش ابعاد و برای توسعه ساختارهای جدید، ترانزیستور اثر میدانی تونلی بدون پیوند است .

مقدمه	ترانزیستورهای اثر میدان تونلی بدون پیوند	ساختار ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند	ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند	بررسی نموداری ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند	اصول عملکرد ترانزیستورهای اثر میدانی تونلی بدون پیوند	مقایسه	جمع بندی
-------	---	--	--	---	---	--------	----------

THANK You
For Your
TIME

THANK YOU
I AM DEPART 5:00 PM
AM ARRIVE 10:00 AM
MEET DR. D.A. WILSON
MEET FED-EC
AM DEPART
LAX 11:00 AM
1-4-11

1-4-11
5,