



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

ترانزیستورهای اثر-میدانی تونل زنی نانوروبان گرافن با یک نیمه هادی و کانال نیمه فلزی

ناهمگون

چکیده

ما یک مطالعه محاسباتی از عملکرد دستگاه ترانزیستورهای اثر-میدانی تونل زنی نانوروبان گرافن (TFETs) را با یک کانال ناهمگن ارائه نموده ایم. با تغییر طول و باندگپ انرژی (E_G) از منطقه ناهمگن، جریان های حالت خاموش و روشن (I_{ON} و I_{OFF}) را می توان به طور موثر به طور مستقل بهینه سازی نمود. هر دوی مناطق نیمه هادی و نیمه فلزی ناهمگن برای درک اثرات مهندسی EG بر رفتارهای دستگاه مورد مطالعه قرار می گیرند. علاوه بر این، اثر پوشش گیت (GC) بر منطقه ناهمگن نیز بررسی شده است. ما دریافتیم که عملکرد دستگاه تا حد زیادی توسط موقعیت گیت برای تغییر منطقه ای که در آن تونل زنی باند به باند رخ می دهد تحت تاثیر قرار می گیرد. برای یک I_{ON}/I_{OFF} معین از هشت مرتبه، نتایج ما نشان می دهد که برای نیمه هادی ناهمگون، یک I_{ON} بالاتر را می توان با داشتن گیت پوشش دهنده جزئی منطقه ناهمگن به دست آورد. این ناشی از ترکیب طول تونل زنی کوتاه و حالات رزونانس است که برای مکانیسم تونل زنی منجر به افزایش در غلظت حامل می شود. از سوی دیگر، برای مورد نیمه فلزی، یک I_{ON}/I_{OFF} مشابه تنها زمانی قابل دسترسی است که منطقه ناهمگن توسط گیت پوشش داده نمی شود. یک I_{OFF} بزرگ برای GC حتی کوچک با توجه به الکترونهای ظرفیتی حرکت کننده از سورس به باندهای هدایت منطقه نیمه فلزی مشاهده می شود که انتقال حامل به سمت درین را افزایش می دهد. مطالعه ما ملاحظه طراحی دستگاه های مورد نیاز را در هنگام بهینه سازی عملکرد دستگاه TFETs ناهمگون برجسته می نماید.

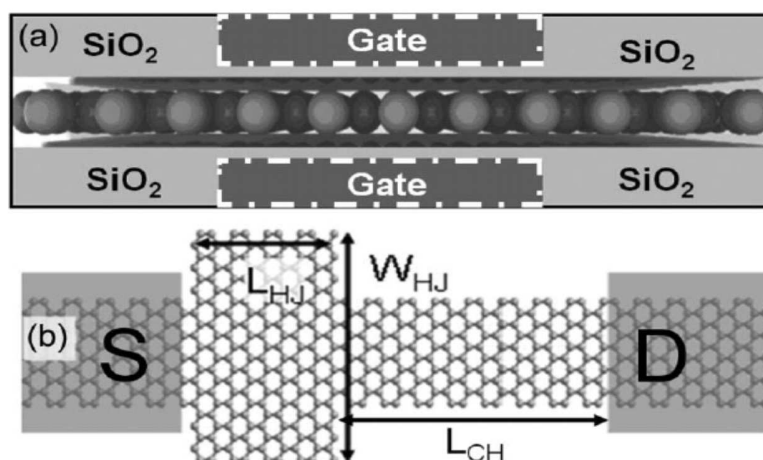
عبارات شاخص - گرافن، ناهمگون، ترانزیستورهای تونل زنی.

گرافن دوبعدی، یک ماده باند گپ انرژی صفر (E_G) است که حامل های آن به عنوان فرمیون های بدون جرم رفتار می کنند. پراکندگی انرژی آنها در نزدیکی سطح فرمی، خطی است و می تواند با معادله دیراک [1] تقریب زده شود. این ماده نمایشگر بسیاری از خواص جدید است که در مواد معمولی مانند پارادوکس کلاین در یک اتصال p-n و اثر هال اسپین کوانتومی [2]، [3] که می تواند دستگاه های کاربردی جدید را قادر سازد، مشاهده نمی شود. همانطور که هر دو الکترون ها و حفره ها دارای خواص الکترونیکی مشابه هستند، گرافن می تواند برای ترانزیستورهای اثر-میدانی نوع-n و نوع p (FETs) با عملکرد مشابه استفاده شود. این ویژگی های منحصر به فرد، گرافن را به یک جانشین بالقوه برای سیلیکون در دستگاه های نانوالکترونیک مبدل نموده است، زیرا سیلیکون محدودیت های اساسی خود را با کوچک سازی مداوم اندازه دستگاه دارد [4]. به طور خاص، با توجه به ساختار تک لایه و انطباق آن با فناوری اکسید فلز-نیمه هادی مکمل، کاربرد گرافن در FETs از نظر تجربی با استفاده از گرافن به دست آمده توسط برش ریز مکانیکی گرافیت پیرولیتی نشان داده شده است [5]. در حالی که عدم وجود یک E_G قابل توجه به طور جدی پتانسیل FET گرافن را در کاربردهای دیجیتال محدود می کند [6] - [10]، یک جفت از دستگاه های عملکردی جدید برای بهره برداری از خواص دیگر پیشنهاد شده است. به عنوان مثال، سوئیچ بازتاب کوانتومی [11] بر اساس پارادوکس کلاین و لنز Veselago در اتصالات P-N گرافن برای بهره برداری رفتارهای الکترونی نوری آن [12] علاقه زیادی را در جامعه دستگاه ها به دست آورد است.

با این حال، تلاش تحقیقاتی زیادی روی کاوش چگونگی باز کردن یک E_G قابل استفاده در گرافن، مانند شکستن تقارن زیرشبکه و عمل شیمیایی [13]، [14] متمرکز شده است. در میان این روش ها، کاهش در ابعاد نانوساختارهای گرافن، به عنوان مثال، مشخص شده است که نانولوله های کربنی (CNTs) و نانوروبان های گرافن (GNRs) یک راه موثر برای القای E_G [15]، [16] است. برای GNRs، مقدار E_G وابسته به عرض نوار است و بسیار حساس به محرک خارجی، مانند فشار و میدان الکتریکی است [19] - [15]. در نتیجه، GNRs طیف گسترده ای از دستگاه های موزون الکترونیکی را فعال می کند. از جامعه دستگاه ها، ویژگی های جریان ولتاژ (I-V) نانوساختارهای مختلف گرافن [20] - [22] با پتانسیل های امیدوار کننده در کاربردهای FET گزارش شده است. اگر چه عملکرد

دستگاه این FETS ساخته شده به طور منفی توسط زبری لبه تحت تاثیر قرار می گیرد [23]، [24]، GNR FETS (TFETs) [25] - [36] با توجه به جرم تونل زنی کم خود، باندگپ مستقیم، و سازگاری با پردازش مسطح هنوز هم به عنوان یکی از امیدوار کننده ترین FETS تونل زنی در نظر گرفته می شود.

یک اتصال ناهمگن (HJ) در یک GNR به عنوان وسیله ای به منظور افزایش عملکرد GNR FETS معرفی شده است. یک نوع از این HJ TFET با ترکیب GNRs از عرض های مختلف در منطقه کانال به دست می آید و توانایی آن برای بهبود جریان حالت-روشن (I_{ON}) و نسبت جریان حالت-روشن / حالت-خاموش (I_{ON}/I_{OFF}) با انتخاب موقعیت های HJ مناسب نسبت به سورس مورد بررسی قرار گرفته است [37]. نوع دیگری از HJ TFET مبتنی بر CNT نیمه استخراج شده است که در آن یک CNT نیمه فلزی به GNRs نیمه هادی متصل می شود. این به دستگاه هایی با سرعت بالا با اتلاف کم انرژی منجر می شود [38]، [39]. این تحقیقات نشان داد که ساختار HJ در بهبود عملکرد TFETs، با توجه به مشخصات بالقوه مدوله که ایجاد می کند مفید است و در طول حالت-ON، باعث افزایش (BTB) نرخ تونل زنی باند به باند در سراسر رابط سورس-کانال می شود. علاوه بر این، یک ساختار HJ، یک نقطه سوئیچینگ ناگهانی را فراهم می کند در حالی که I_{OFF} نسبتاً کم حفظ می کند. با این حال، عملکرد فیزیکی دقیق دستگاه GNR HJ TFET با مواد EG مختلف در منطقه HJ، و تفاوت بین مناطق نیمه هادی و نیمه فلزی HJ به صورت سیستماتیک بررسی نشده است.



شکل 1. (a) دید جانبی شماتیک GNR TFET شبیه سازی شده و (b) مدل اتمی HJ TFET. مناطق خاکستری تیره در (b) نشان دهنده مناطق سورس و درین و LHJ و WHJ به ترتیب طول و عرض برای منطقه HJ هستند، در حالی که LCH طول کانال است. طول گیت، $LG = LHJ + LCH$ هنگامی که گیت به طور کامل منطقه HJ، یعنی، $GC = 1$ را پوشش می دهد.

در این راستا، ما ویژگی های انتقال TFETs GNR با نیمه هادی ناهمگن و GNRs نیمه فلزی را با عرض های روبان مناسب (WHJ) بررسی نمودیم. برای مورد نیمه هادی، اثر طول های HJ مختلف (LHJ) بررسی شده است. علاوه بر این، تاثیر پوشش گیت (GC) بر منطقه HJ بر عملکرد دستگاه GNR TFETs بررسی می شود. ما نشان می دهیم که منطقه HJ به شکل یک ساختار کوانتومی-خوب در واسطه سورس-کانال است و حالت تدریجی حاصل (QS)، جریان های تونل زنی BTB را افزایش می دهد تنوع در هر دو WHJ یا LHJ، سطح انرژی QS و از این رو مشخصات I-V برای GNR HJ TFETs را تغییر می دهد. علاوه بر این، مشاهده می کنیم که تونل زنی BTB در لبه گیت رخ می دهد، و قرار دادن لبه گیت با تنظیم GC مختلف روی منطقه HJ دارای اثر زیادی بر مشخصات I-V برای GNR HJ TFETs است. ما مکانیزم فیزیکی در ساختارهای HJ TFET را با مناطق نیمه هادی و نیمه فلزی HJ را مشخص می نماییم و نتایج ما ملاحظات طراحی مورد نیاز، از نظر پارامترهای هندسی و قرار دادن گیت، را برای بهینه سازی عملکرد GNR HJ TFETs برجسته می نماید و این نتایج می توانند به عنوان دستورالعمل های طراحی کلی برای HJ TFETs استفاده شوند.

2. رویکردهای شبیه سازی

دید جانبی شماتیک شبیه سازی شده TFET GNR گیت-دو بل در شکل 1 (a) نشان داده شده است، که در آن عایق های دی اکسید سیلیکون بالا و پایین دارای ضخامت 1 نانومتر و ثابت دی الکتریک نسبی 4 هستند. این کانال برای همه ادوات ذاتی است، در حالی که سورس و درین، به ترتیب دوپ شده-p و دوپ شده-n هستند. دید بالا از پیکربندی دستگاه در شکل 1 (b)، نشان داده شده است که نشان دهنده عرض نوار (WHJ) 1.2 نانومتر ($EG =$)

1.22 ولت) [15] برای کل دستگاه، به جز منطقه ناهمگن است که دارای عرض و طول (WHJ و LHJ) مختلف، درج شده بین سورس و کانال است. در این مقاله، ما فرض کرده ایم که GNRS کانال از خانواده $N = 3M + 1$ هستند، که دارای EG بزرگ می باشند [15]. برای به حداقل رساندن تاثیر طول اسمی کانال ضخامت GNR (LCH)، در این مطالعه، این مقدار در 14 نانومتر ثابت می شود. طول گیت (LG) برای موارد مختلف متفاوت است و در گستره بین $LCH < LG < (LHJ + LCH)$ برای $0 < GC < 1$ قرار دارد. برای همه موارد، یک لبه از گیت با رابط کانال-درین برای به حداقل رساندن هر تنوع در اثر میدانی حاشیه ای در اتصال درین همراستا می شود. ویژگی های فیزیکی و عملکرد دستگاه بر اساس شبیه ساز انتقال کوانتومی بالستیک فضای-حالت با استفاده از تابع گرین عدم تعادل (NEGF) [43] [40] مورد بررسی قرار می گیرد. دستگاه هامیلتونی برای GNR یک ماتریس مربع ساخته شده از معادله دیراک [44]، با منطقه نیمه فلزی HJ مدلسازی شده پس از یک GNR با گپ انرژی بسیار کوچک، $EG = 0$ ولت ($WHJ = 200$ نانومتر) است. در عمل، منطقه منطقه نیمه فلزی HJ را می توان با $N = 3M + 2$ GNRS، ساخت که EG بسیار کوچکی دارد. به عنوان مثال، یک GNR با WHJ برابر با 3.9 نانومتر دارای یک EG از 0.06 ولت است. عناصر ماتریس به صورت زیر تعریف می شود

$$h_{m,n}(l, k_y) = \begin{cases} U(l), & \text{if } m = n \\ i\hbar v_F \left[-\frac{\partial}{\partial x} + (-1)^m \times k_y \right], & \text{if } m \neq n \end{cases} \quad (1)$$

که در آن m و n متناظر با موقعیت عنصر ماتریس در ماتریس 2×2 است. x و y ، به ترتیب جهت ها در طول و عمود بر کانال، هستند؛ $U(l)$ پتانسیل خود-منسجم در یک نقطه l مجزا در طول x است؛ v_F سرعت فرمی حامل ها در مجموعه گرافن در 10^6 m / s است؛ و k_y یک پارامتر فضای-حالت متناسب کنترل کننده ساختار باند الکترونیکی با توجه به عرض GNR است. خاطر نشان می کنیم که، در مدل فضای-حالت جریان، تزویج وجهی، در درک فرآیندهای پراکندگی بسیار مهم، در این تحقیق مبتنی بر بالستیک-انتقال وجود ندارد.

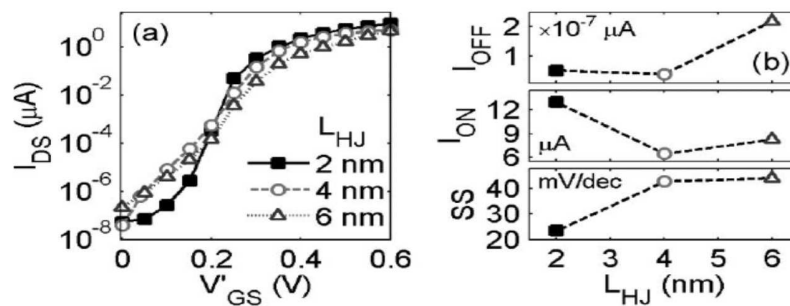
چگالی بار درون دستگاه از ماژول NEGF محاسبه می شود که پس از آن در معادله پواسون دوبعدی حل شده با استفاده از روش تفاضل محدود [45] در صفحه حاوی پشته گیت و جهت های انتقال جایگزین می شود. زمانی که

اتصالات سورس و درین بسیار دور در نظر گرفته می شوند، مرزهای دستگاه در شرایط مرزی نویمان تنظیم می شود، یعنی مجموعه خطوط جامد در شکل 1 (a)، به جز مناطق گیت، که در آن شرط مرزی دیریکله استفاده شده است، با خط فاصله نقطه سفید در شکل 1 (a) مقایسه کنید، و برای پتانسیل کاربردی گیت ثابت تثبیت می شود. منطقه GNR در ضخامت 3-آنگستروم با ثابت دی الکتریک 2.5 مدلسازی می شود که شبیه به گرافن تک لایه [46]، [47] است. سپس مشخصات بالقوه دوباره به حل کننده NEGF برای محاسبه دوباره چگالی بار تغذیه می شود و این فرآیند تکرار می شود تا اختلاف در پتانسیل بین تکرارها کمتر از 1٪ از انرژی حرارتی، به عنوان مثال، 0.26 meV در درجه حرارت اتاق از 300 K شود. در نهایت، چگالی محلی حالات (LDOS)، چگالی جریان، و کل جریان ها برای بایاس های مختلف گیت در شرایط بالستیک [41] محاسبه می شوند. مبدا محور-x است که در آغاز منطقه ناهمگن در نزدیکی سورس تنظیم می شود.

3. نتایج و بحث

A. اثر ابعاد منطقه HJ

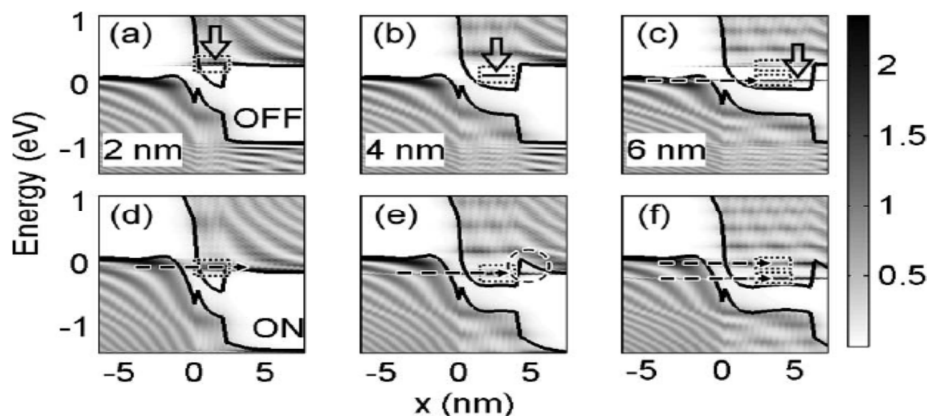
ابتدا، ما بر روی خواص انتقال GNR HJ TFETs با LHJ مختلف و WHJ در منطقه HJ تمرکز می کنیم. فرض می شود که منطقه HJ به طور کامل توسط گیت تحت پوشش قرار می گیرد، به عنوان مثال، $GC = 1$. اثر تغییر LHJ بر مشخصات I-V بررسی شده است و نتایج در شکل 2 (a) خلاصه شده است. WHJ در 2.5 نانومتر تثبیت می شود که منجر به GNR با $EG-HJ = 0.40$ ولت می شود. مشاهده شده است که، با افزایش LHJ از 2 تا 6 نانومتر، عملکرد دستگاه تنزل می یابد. I_{ON} ، I_{OFF} ، و شیب زیرآستانه (SS) به عنوان تابعی از LHJ در شکل 2 (b) با SS در همان ولتاژ گیت $V'_{GS} = V_{GS} - V_{DS} / 2 = 0.2$ V برای LHJ مختلف ارائه شده است، که در آن $V_{DS} / 2$ نقطه حداقل جریان مشخصات جریان غیردوقطبی برای TFETs GNR همگن است [35].



شکل 2. (a) مشخصات انتقال GNR HJ TFETs با طول های HJ مختلف، به ترتیب $L_{HJ} = 2, 4$ و 6 نانومتر، که در آن $V'_{GS} = V_{GS} - V_{DS} / 2$ [19]. بایاس درین اعمال شده $V_{DS} = 0.6$ V است (b) جریان حالت-خاموش استخراج شده (I_{OFF}), جریان حالت-روشن (I_{ON}), و SS در مقابل L_{HJ}. خطوط تیره، راهنماهای خط هستند.

به منظور درک جزئیات مکانیسم های انتقال در L_{HJ} مختلف، ما LDOS را در حالت خاموش ($V'_{GS} = 0$ V) و در حالت روشن ($V'_{GS} = 0.6$ V) محاسبه نمودیم، همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است. در TFET معمولی، مکانیزم غالب کمک کننده به I_{OFF} ، تونل زنی BTB است، که در آن الکترون ها در باند ظرفیت در تونل سورس در سراسر باند گپ انرژی کانال تا زنجیره حالات خالی بالا باند هدایت در درین قرار می گیرند. برای مورد HJ TFET، با توجه به حضور کوانتومی به خوبی تشکیل شده در منطقه HJ، انتقال حامل به یک فرآیند دو مرحله ای تبدیل می شود. الکترونها از سورس ابتدا به QS در کوانتوم به خوبی تونل می زند، با شکل 3 (c)، و پس از تونل زنی در سراسر منطقه کانال باقی مانده به سمت درین مقایسه کنید. بنابراین، روند I_{OFF} برای HJ TFETs از سطح انرژی QS تشکیل شده در منطقه HJ تحت تاثیر قرار می گیرد. از نمودارهای LDOS در شکل 3 (a) - (c)، مشاهده شده است که سطح انرژی اولین QS در منطقه HJ با افزایش L_{HJ} کاهش می یابد. برای $L_{HJ} = 6$ نانومتر، QS به همان سطح انرژی به عنوان حالت در منطقه سورس کاهش می یابد، و حامل ها با احتمال بسیار بزرگتر قادر به تونل زنی به منطقه HJ هستند. این حامل ها، طول تونل زنی موثر کوتاه تر را نسبت به درین تجربه می کنند و در نتیجه I_{OFF} دو مرتبه بزرگتر است. برای دو L_{HJ} دیگر، هیچ تونل زنی اولیه حامل ها از سورس به منطقه HJ وجود دارد و اندکی کاهش در I_{OFF} برای $L_{HJ} = 4$ نانومتر، نتیجه افزایش در طول تونل زنی است.

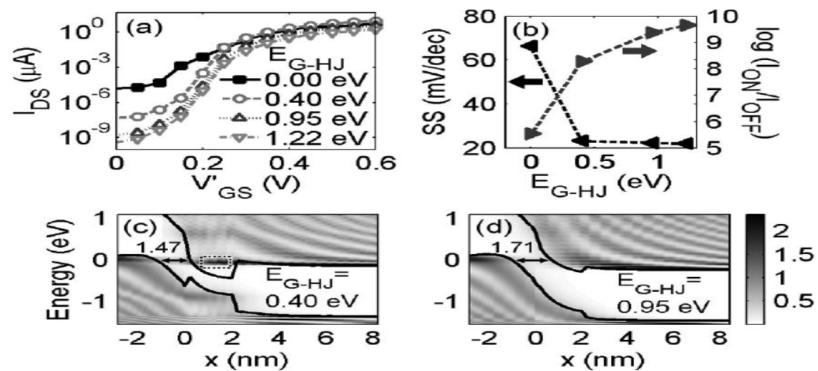
در TFETs متعارف در حالت روشن، سهم جریان اصلی از تونل زنی BTB در سراسر واسطه سورس-کانال می آید و پس از آن، حامل ها از کانال تا درین به طور مستقیم جریان می یابند. عرضه یک منطقه HJ، طول تونل زنی را در واسطه سورس-کانال کاهش می دهد و باعث افزایش I_{ON} می شود باشکل. 3 (D) مقایسه کنید [38]. متاسفانه، پایین ترین سطح انرژی QS در منطقه HJ با افزایش LHJ کاهش می یابد، و این حامل ها در منطقه HJ با مانع اضافی بین HJ و منطقه کانال مواجه می شود، دایره خط تیره را در شکل. 3 (E) ببینید. به منظور حرکت این حامل ها به سمت درین، تونل زنی در سراسر مانع شکل مثلثی در سمت راست QS در شکل 3 (E) لازم است و از این رو، I_{ON} تنزل می یابد. با این حال، افزایش بیشتر در LHJ منجر به گنجاندن QS دوم یا بالاتر برای فرایند تونل زنی اولیه در شکل. 3 (F) می شود که به افزایش اندکی در I_{ON} منجر می شود، حتی اگر این پدیده در شکل. 3 (E) نیز در اینجا رخ دهد. توجه داشته باشید که، برای مورد $LHJ = 2$ نانومتر، تنها تونل زنی BTB درگیر است، و برای LHJ بزرگتر، تونل زنی در سراسر مانع مثلثی نیز نقشی را در تعیین جریان بازی می کند که می تواند به SS بزرگتر مشاهده شده برای دستگاه های بزرگتر LHJ کمک نماید.



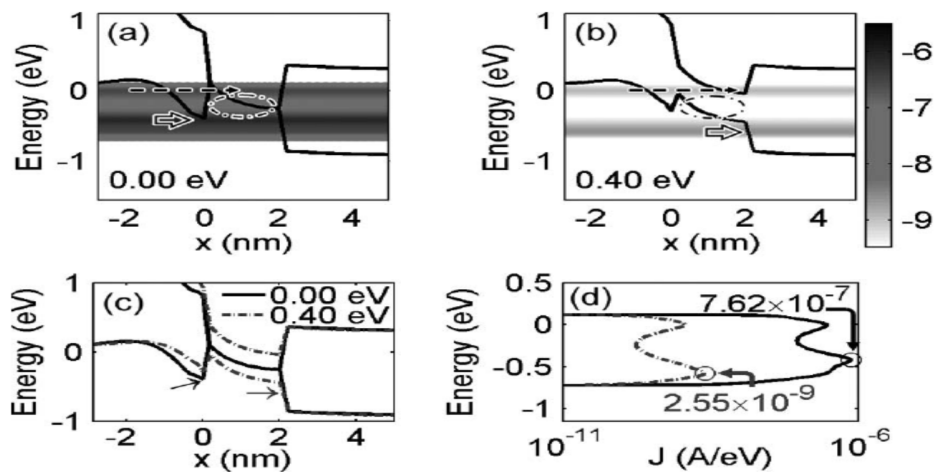
شکل. 3. (a) - (c) LDOS از TFETs HJ برای $LHJ = 2$ ، 4 و 6 نانومتر متفاوت در حالت-خاموش ($V'GS = 0$ V)، با حالات کوانتومی در داخل کادریهای نقطه چین در ساختار به خوبی برجسته شده است. (d) - (f) LDOS از دستگاه های مربوطه در حالت-روشن ($V'GS = 0.6$ V)، و فلش های خط تیره نشان می دهد که تونل زنی BTB در کجا رخ می دهد. نوار رنگی، مقادیر LDOS را با یک واحد از $[CM^{-2} \cdot EV^{-1} 1023 \times]$ نشان می دهد و برای تمام نمودارهای کاربرد دارد.

سپس، ما چگونگی تغییر مشخصات I-V با WHJ مختلف را در یک $LHJ = 2$ نانومتر ثابت با بهترین عملکرد از تجزیه و تحلیل بالا بررسی می نماییم. تغییر نتایج WHJ در یک تغییر در شکاف انرژی منطقه HJ (EG-HJ)، و برای $WHJ = 2.5$ و 1.5 نانومتر، GNRs به ترتیب دارای $EG-HJ = 0.40$ و 0.95 eV است [26]. مشخصات I-V از V GNR HJ TFETs با EG-HJ مختلف در شکل 4 (a) نشان داده شده است. علاوه بر مقادیر فوق الذکر، یک مورد نیمه فلزی ($WHJ = 200$ نانومتر، $EG-HJ \approx 0$ ولت) و یک مورد همگن ($WHJ = 1.2$ نانومتر، $EG-HJ = 1.22$ ولت) نیز در شکل 4 (a) برای مقایسه گنجانده شده است. برای موارد HJ نیمه هادی، مشاهده شده است که، با افزایش EG-HJ، جریان کلی، با کاهش بسیار برجسته تر I_{OFF} نسبت به I_{ON} کاهش می یابد. I_{ON} در محدود $1.83-9.40$ میکروآمپر کاهش می یابد، در حالی که I_{OFF} تا دو مرتبه کاهش می یابد. I_{ON}/I_{OFF} و SS به عنوان توابع EG-HJ در شکل 4 (b) رسم شده اند. در مقایسه با موارد همگن، I_{ON} کمی افزایش می یابد، اما I_{OFF} در HJ TFET نیمه فلزی بیشتر افزایش می یابد. مشاهده شده است که I_{ON}/I_{OFF} با EG-HJ افزایش می یابد و SS از HJs نیمه هادی (در بالای 20 میلی ولت / دسامبر) بسیار پایین تر از مورد نیمه فلزی است.

LDOS در حالت-روشن برای $EG-HJ = 0.40$ و 0.95 ولت در شکل 4 (c) و (d) رسم شده است. اثر فوری تغییر در EG-HJ در طول تونل زنی مشاهده می شود که تا 16 درصد افزایش می یابد، زمانی که EG-HJ در محدوده $0.40-0.95$ ولت تغییر می کند. علاوه بر این، ساختار کوانتومی به خوبی با افزایش EG-HJ کاهش می یابد، و افزایش I_{ON} با توجه به تراز دلخواه برای QS دیگر امکان پذیر نیست. ترکیبی از این دو تغییر به I_{ON} کاهش یافته تر EG-HJ کمک می کند. از سوی دیگر، برای EG-HJ مربوطه در حالت-خاموش، I_{OFF} عمدتاً توسط تونل زنی در سراسر کانال هدایت می شود، و مشاهده شده است که طول تونل زنی موثر برای EG-HJ بزرگتر طولانی تر است و از این رو I_{OFF} کاهش یافته برای $EG-HJ = 0.95$ eV.



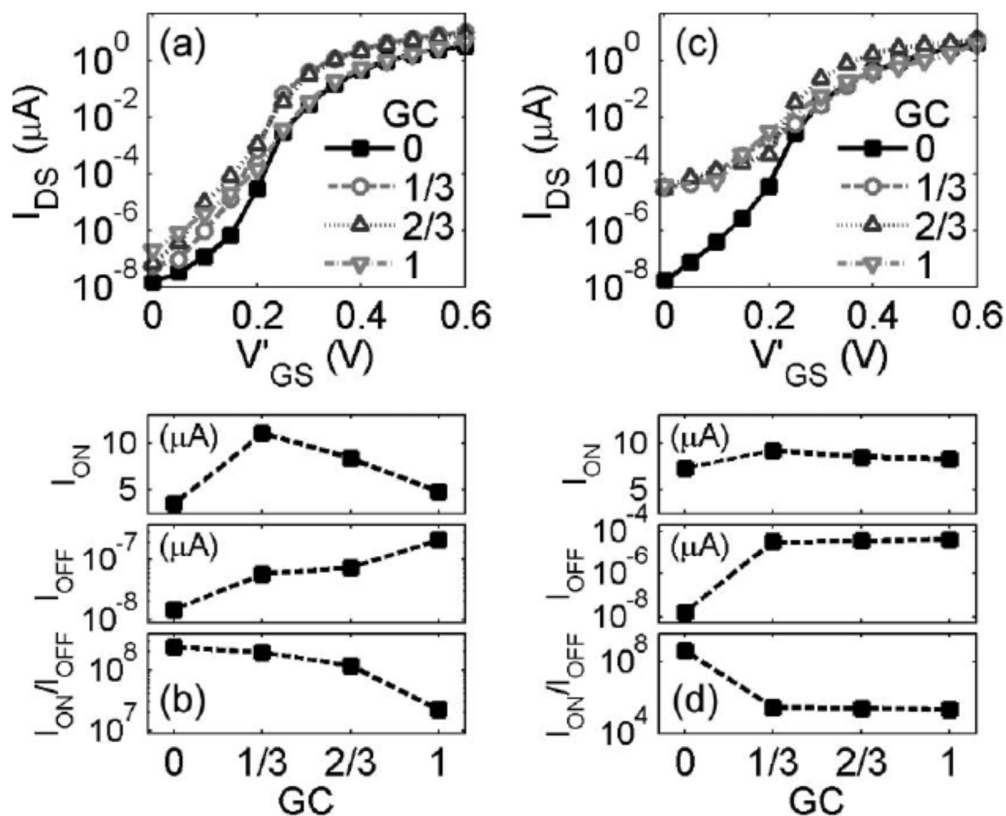
شکل 4. (a) ویژگی های جریان های GNR HJ TFETs برای عرض های مختلف HJ (200, 2.5, 1.5, و 1.2 نانومتر) و باند گپ مربوطه ($E_{G-HJ} = 0, 0.40, 0.95, 1.22$ ولت). (b) I_{ON}/I_{OFF} و SS از GNR HJ به عنوان یک تابع از LDOS از EG-HJ. LDOS از دستگاه های با $E_{G-HJ} = 0.40$ و 0.95 ولت در (c) و (d)، به ترتیب در $V'_{GS} = 0.6$ نشان داده شده است. جعبه نقطه چین در (c) نشان دهنده حالت کوانتومی شکل گرفته در ساختار چاه. میله رنگی نشان دهنده مقدار LDOS با یک واحد از $[CM^{-2} \cdot EV^{-1} 1023 \times]$ است و برای (c) و (d) استفاده می شود.



شکل 5. شار کنونی برای TFETs GNR با HJ نیمه فلزی ($E_{G-HJ} = 0$ ولت) و HJ نیمه هادی ($E_{G-HJ} = 0.40$ eV)، در $V'_{GS} = 0$ V. نوار رنگی برای (a) و (b) اعمال می شود و نشان دهنده چگالی جریان در هر محل در مقیاس لگاریتمی با واحد [A / EV] است. (c) نمودارهای باند موارد نیمه فلزی و نیمه هادی HJ، با

فلش‌ها نشان‌دهنده سطوح انرژی نشان داده شده از نوارهای تیره در (a) و (b) است. (d) چگالی جریان (J) در $x = 0$ نانومتر است. پتانسیل‌های شیمیایی سورس و درین به ترتیب در 0 و -0.6 ولت می‌باشند.

علاوه بر این، می‌توان دید که مورد نیمه فلزی ($EG-HJ = 0$ ولت) نمایشگر I_{OFF} به طور چشمگیری بزرگ، 1.57 $\times 10^{-5}$ میکروآمپر، در مقایسه با مورد نیمه هادی ($EG-HJ = 0.40$ EV) در شکل 4 (a) است. ما شار جریان را در $V'GS = 0$ V بررسی نمودیم، همانطور که در شکل 5 (a) و (b) برای دو مورد، به منظور درک تفاوت در I_{OFF} نشان داده شده است. مشاهده شده است که در موارد نیمه هادی و نیمه فلزی، کمک‌های جریان از حامل‌ها در دو گستره انرژی (باندهای تیره تر) می‌آید که تقریباً پتانسیل‌های شیمیایی سورس و درین می‌باشند. نزدیک پتانسیل شیمیایی سورس (0 ولت)، تونل زنی BTB از سورس به منطقه HJ وجود دارد [فلش خط تیره در شکل 5 (a) و (b) را ببینید] و طول تونل زنی در مورد نیمه فلزی در منطقه HJ کوتاه‌تر است، و از این رو، یک شار جریان بزرگتر در آن محدوده انرژی مشاهده می‌شود. نزدیک پتانسیل شیمیایی درین (-0.6 ولت)، سهم حامل برای مورد نیمه فلزی از یک انرژی بالاتر از حالت نیمه هادی می‌آید. برای بیشتر نشان دادن مکانیزم‌های مختلف جریان‌های تونل زنی بین موارد نیمه فلز و نیمه هادی، ما نمودارهای باند را در شکل 5 (a) و (b) قرار دادیم، همانطور که در شکل 5 (c) نشان داده شده است. در حالی که مانع شاتکی (فلش در $x = 0$ نانومتر) انرژی حامل‌ها را برای انتقال برای مورد نیمه فلزی تعیین می‌کند، حامل‌ها توسط پایین‌ترین نقطه باند ظرفیت منطقه HJ (فلش در $x = 2$ نانومتر) برای مورد نیمه هادی محدود می‌شوند. در راه‌اندازی شبیه‌سازی ما، مانع شاتکی در یک سطح انرژی بالاتر از پایین‌ترین باند ظرفیت قرار دارد، و از این رو، چگالی جریان حالت خاموش غالب برای نیمه فلزی، در نزدیکی پتانسیل شیمیایی درین، قس شکل 5 (D) نیز بالاتر از نیمه هادی است. در نهایت، چگالی جریان کلی بین سورس و خروجی برای مورد نیمه فلزی به دلیل عدم وجود یک باند گپ انرژی در منطقه HJ بالاتر است، دوایر فاصله-نقطه در شکل 5 (a) و (b)، و این سه عامل برای رسیدن به یک I_{OFF} بالاتر برای مورد نیمه فلزی ترکیب می‌شوند.

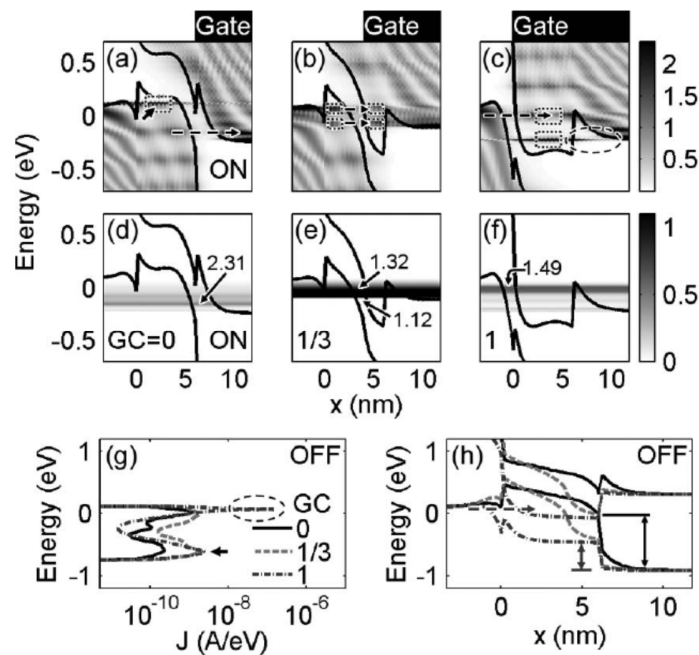


شکل 6. مشخصات انتقال GNR HJ TFETs با GC مختلف بر روی منطقه HJ، $GC = 0, 1/3, 2/3$ و 1 برای (a) HJ نیمه هادی ($EG-HJ = 0.40$ EV)، و I_{ON} استخراج شده، I_{OFF} و I_{ON}/I_{OFF} به عنوان یک تابع از GC در (b) نشان داده شده است. نمودارهای مربوطه برای HJ نیمه فلزی ($EG-HJ = 0$ EV) در (c) و (d) نشان داده شده است. $GC = 0$ به این معنیست که گیت منطقه HJ را پوشش نمی دهد، و بالعکس. $V_{DS} = 0.60$ V برای همه شبیه سازی.

B. اثر GC بر منطقه HJ

سپس، ما تاثیر GC در عملکرد GNR HJ TFETs را بررسی می کنیم. LHJ برابر با 6 نانومتر برای موارد نیمه هادی ($EG-HJ = 0.40$ ولت) و نیمه فلزی ($EG = 0$ ولت) انتخاب می شود. مشخصات I-V برای منطقه نیمه هادی HJ در شکل 6 (الف)، با I_{ON} ، I_{OFF} ، استخراج شده و I_{ON}/I_{OFF} رسم شده در شکل 6 (ب) نشان داده شده است. نمودارهای مربوطه برای منطقه نیمه فلزی HJ در شکل 6 (c) و (d) رسم شده است. برای مورد نیمه هادی، I_{ON} افزایش می یابد و پس از آن با افزایش GC از 0 به 1 به سطح اصلی افت می کند، همانطور که در شکل 6 (ب) نشان

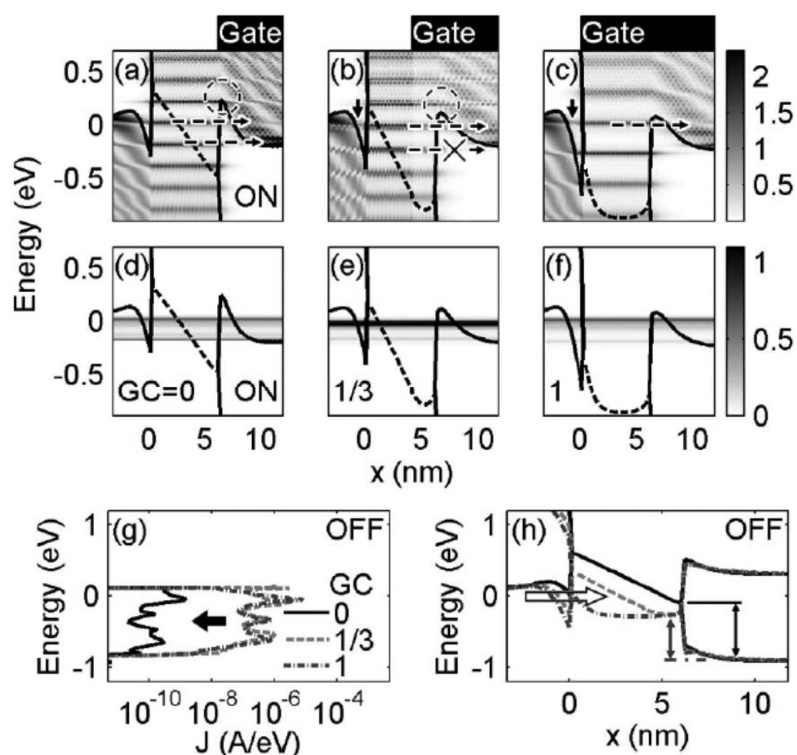
داده شده است. از سوی دیگر، I_{OFF} به طور یکنواخت با GC در حدود یک مرتبه از دامنه افزایش می یابد و به عنوان یک تابع از GC منجر به کاهش I_{ON}/I_{OFF} می شود. برای مورد نیمه فلزی، I_{ON} ، در مورد 8.3 میکروآمپر برای همه GC نسبتاً ثابت است، در حالی که I_{OFF} به اندازه سه مرتبه با تغییرات GC از 0 تا 3/1 و در محدوده 5/10 میکروآمپر برای $GC < 3/1$ افزایش می یابد. نتیجه نهایی، یک I_{ON}/I_{OFF} بزرگ (حدود 108) در $GC = 0$ است که با افزایش GC به حدود 105 قطره افت می کند، شکل 6 (D).



شکل 7. LDOS از GNR TFET با منطقه نیمه هادی HJ در $V'GS = 0.6$ V برای $GC = 0$ ، $1/3$ و 1 به ترتیب در (a) - (c) نشان داده شده است و نمودارهای شار جریان متناظر در (D) - (F) نمایش داده شده اند. کادرهای نقطه نقطه و فلش های خط تیره نشان دهنده حالات کوانتومی و فرآیندهای تونل زنی BTB است. موقعیت های گیت در بالای (a) - (c) برای وضوح نشان داده شده است و اعداد در (D) - (F) نشان دهنده طول تونل زنی بر حسب [نانومتر] است. نوار رنگی کناری (c) نشان دهنده مقادیر LDOS با یک واحد از $[CM^{-2} \cdot EV^{-1} 1023 \times]$ است و برای (a) - (c) اعمال می شود، در حالی که نوار رنگی کناری (F) نشان دهنده شار جریان در $[A/eV]$ است و برای (d) - (f) اعمال می شود. چگالی های جریان (j) و نمودارهای باند در $V'GS = 0$ V در (G) و (H)، به

ترتیب، برای GC های مختلف رسم شده اند. فهرست در (g) شامل هر دوی (G) و (H) می شود. رابط کانال-درین در $x = 20$ نانومتر در (H) نشان داده شده است.

ابتدا مورد نیمه هادی را بررسی می نماییم، و نمودارهای LDOS برای GC مختلف در حالت-روشن در شکل 7 (a) - (C) نشان داده شده است. نمودارهای شار جریان متناظر در شکل 7 (d) - (F) به ما در فهم تنوع مشاهده شده در I_{ON} کمک می کند، همانطور که در شکل 6 (a) و (b) نشان داده شده است. برای $GC = 0$ ، چرا که پتانسیل در منطقه HJ به طور مستقیم توسط گیت تحت تاثیر قرار نمی گیرد، در حالت روشن، تونل زنی BTB بین منطقه HJ و کانال گیت تحت پوشش قرار گرفته رخ می دهد، فلش خط تیره در شکل 7 (a) و نوار تیره در شکل 7 (D). جالب توجه است که اولین QS در منطقه HJ که توسط فلش توپر در شکل 7 (a) نشان داده است، به I_{ON} کمک نمی کند، زیرا هیچ حاملی در منطقه سورس برای جمع شدن وجود ندارد. در $GC = 1/3$ ، دو عامل وجود دارند که به I_{ON} بزرگتر کمک می کنند: اول، در حال حاضر دو QSS [که با فلش های تکه تکه در شکل 7 (b) نشان داده شده است] در منطقه HJ وجود دارند که به تونل زنی BTB کمک می کنند. دوم، طول های تونل زنی BTB آنها کوتاه تر هستند [به ترتیب، در 1.32 و 1.12 نانومتر، همانطور که در شکل 7 (E) نشان داده شده است]. در نهایت، در $GC = 1$ ، تونل زنی BTB بین سورس و منطقه HJ رخ می دهد و، شبیه به مورد $GC = 0$ ، اولین QS در منطقه HJ عامل عمده I_{ON} نیست، بلکه دلیل متفاوتی دارد: سطح انرژی از اولین QS زیر لبه نوار رسانش کانال در سمت راست قرار می گیرد و حامل ها باید در سراسر باندگپ کانال برای رسیدن به منطقه درین تونل زنی می نمایند، دایره های خط تیره در شکل 7 (C). جدا از تاثیر توسط تغییرات در QS با افزایش GC ، I_{ON} نیز توسط تغییرات در طول تونل زنی در فرآیند تونل زنی BTB تحت تاثیر قرار قرار می گیرد، همانطور که در شکل 7 (d) - (F) نشان داده شده است. به طور خاص، طول تونل زنی زمانی کوتاه ترین است که لبه گیت در منطقه HJ باشد [$GC = 1/3$ در شکل 7 (E)]، و این تنظیمات به نرخ تونل زنی بزرگتر و از این رو I_{ON} بزرگتر منجر می شود. خاطر نشان می کنیم که کوتاه شدن طول تونل زنی در منطقه HJ تحت گیت نیمه پوشیده به تنهایی توسط گیت الکترواستاتیک و مستقل از باندگپ ها تحریک می شود و از این رو انتظار می رود این مشاهده برای تمام HJ TFETs قابل اجرا باشد.



شکل 8. LDOS از یک GNR TFET با منطقه نیمه فلزی HJ در $V'GS = 0.6 \text{ V}$ برای $GC = 0$ و $1/3$ و 1 به ترتیب در (a) - (c) نشان داده شده است و نمودارهای شار جریان متناظر در (D) - (F) نشان داده شده است. فلش های خط تیره نشان دهنده فرآیندهای تونل زنی در سراسر مانع مثلثی است. موقعیت از گیت ها در بالای (a)-(c) برای وضوح نشان داده شده است. نوار رنگی کنار (c) نشان دهنده مقادیر LDOS با یک واحد از $1023 \times \text{CM}^{-2} \cdot \text{eV}^{-1}$ است و برای (a) - (c) به کار می رود، در حالی که نوار رنگی کنار (F) نشان دهنده شار جریان در $1 \text{ eV}^{-1} \cdot \text{A}$ است و برای (d) - (f) به کار می رود. خطوط تیره در منطقه نیمه فلزی HJ، مقدار تقریبی سطح فرمی در (a) - (f) را نشان می دهد. چگالی های جریان (J) و نمودارهای باند در $V'GS = 0 \text{ V}$ در (G) و (H)، به ترتیب، برای GC مختلف رسم شده است. فهرست در (g) شامل هر دوی (G) و (H) می شود. رابط کانال درین در $x = 20$ نانومتر در (H) نشان داده شده است.

ما در حال حاضر به اثرات GC در چگالی جریان حالت خاموش می پردازیم، همانطور که در شکل 7 (G) نشان داده شده است، و خم شدن باند متناظر، همانطور که در شکل 7 (H) نشان داده شده است. برای حالت خاموش، در چگالی جریان نزدیک به پتانسیل شیمیایی سورس برای $GC = 1$ ، یک اوج تیز وجود دارد که با دایره خط تیره در

شکل 7 (G) نشان داده شده است. این به خاطر تونل زنی BTB اولیه بین سورس و منطقه HJ [خط تیره فلش در شکل 7 (H) برای $GC = 1$] است که برای دیگر GC وجود ندارد و منجر به I_{OFF} بسیار بالاتر می شود. از سوی دیگر، چگالی جریان برای $GC = 0$ نمایشگر اوج بسیار کمتر در نزدیکی پتانسیل شیمیایی درین است که توسط فلش جامد در شکل 7 (G) نشان داده شده است. این مورد به افزایش ارتفاع مانع در رابط HJ-کانال ($X = 6$ نانومتر) مربوط می شود که توسط حامل های تونل زنی از منطقه HJ به درین در سراسر منطقه کانال تجربه می شود، همانطور که در شکل 7 (H) نشان داده شده است. این رخداد منحصر به فرد $GC = 0$ است، و از این رو، I_{OFF} بسیار کمتر از دیگر GC است. برای تمام GC دیگر، انتظار می رود که I_{OFF} مشابه موارد $GC = 0$ و 1 باشد.

سپس، ما مورد HJ نیمه فلزی را بررسی می کنیم و مشاهدات مربوطه را همانطور که در شکل 8 نشان داده شده است. با مشاهدات از مورد نیمه هادی مقایسه می کنیم. اگر چه به نظر می رسد تنوع کمی در I_{ON} برای GC مختلف وجود داشته باشد، همانطور که در شکل 6. (c) و (d) نشان داده شده است، مکانیسم های متنوعی از انتقال حامل برای GC مختلف در مورد نیمه فلزی نقش دارند. برای $GC = 0$ ، QS در منطقه HJ اکثراً به I_{ON} کمک می کند، در حالی که برای $GC = 1/3$ ، QS با انرژی پایین تر دارای سهم جزئی است، زیرا در شکاف انرژی کانال است، فلش های خط تیره در شکل 8 (a) و (b)، و نوارهای متناظر تیره در شکل 8 (d) و (e) را مقایسه کنید. بنابراین، باید انتظار داشت که I_{ON} برای $GC = 0$ بزرگتر از $GC = 1/3$ باشد که مغایر با مشاهده در شکل 6 (D) است. بررسی دقیق تر از نمودار باند در شکل 8 (a) و (b) نشان می دهد که ارتفاع سد مثلثی برای جریان تونل زنی با توجه به نفوذ بیشتر ولتاژ گیت با تغییرات GC از 0 تا $3/1$ کاهش می یابد، که توسط دوایر تیره هایلایت شده است، و نتیجه، نرخ بالاتر تونل زنی و I_{ON} ، مطابق با روند I_{ON} در شکل 6 (D) می باشد. با این حال، با افزایش بیشتر GC، افزایش در جریان تونل زنی از کاهش موانع مثلثی با افزایش در طول تونل زنی حامل های رونده از سورس به منطقه HJ جبران می شود، که با فلش جامد در شکل 8 (b) و (c) نشان داده شده است. با تغییرات GC، یک انطباق از این دو عامل منجر به تنوع حداقل در I_{ON} می شود. از سوی دیگر، I_{OFF} به طور غیر طبیعی برای $GC = 0$ کم است، و مشاهده می شود که چگالی جریان حالت خاموش آن چهار مرتبه پایین تر از دیگر GC است، همانطور

که در شکل 8 (G) نشان داده شده است. این مورد را می توان با این مشاهده توضیح داد که، به جز $GC = 0$ ، حامل ها از باند ظرفیت به سورس به باندهای هدایت در منطقه HJ حرکت می کنند، فلش خالی در شکل 8 (H)، قبل از تونل زنی در سراسر باندگپ کانال را ببینید. علاوه بر این، در موارد $GC > 0$ ، حامل ها در باند ظرفیت منطقه HJ یک مانع تونل زنی پایین را در رابط HJ-کانال ($X = 6$ نانومتر) نسبت به $GC = 0$ تجربه می کند، همانطور که در شکل 8 (H) نشان داده شده است. این مکانیسم ها به یک I_{OFF} بسیار پایین تر برای HJ نیمه فلزی منجر می شود، زمانی که $GC = 0$.

به طور کلی، مورد نیمه فلزی I_{ON} بزرگتر و سازگارتر از مورد نیمه هادی را برای همه GC فراهم می کند. در $GC = 0$ ، مورد نیمه فلزی با نسبت کمی بزرگتر I_{ON} و I_{ON}/I_{OFF} در مقایسه با مورد نیمه هادی، دارای عملکرد بهتری است. با این حال، برای $GC > 0$ ، مورد نیمه هادی با توجه به I_{OFF} پایین آن (در حدود سه مرتبه پایین تر) در مقایسه با مورد نیمه فلزی، دارای عملکرد بهتری در I_{ON}/I_{OFF} است و این مورد معمولاً در دستگاه های واقع بینانه به دلیل مشکل در داشتن همترازی دقیق لبه گیت با رابط سورس-HJ رخ می دهد.

در نهایت، خاطر نشان می کنیم، در حالی که تنها یک GNR خاص در اینجا برای منطقه کانال در نظر گرفته شده است، GNR گسترده تر را می توان برای افزایش جریان کل به علت EG کوچکتر، مشابه با مورد دستگاه های یکنواخت در نظر گرفتن [36]. علاوه بر این، در مطالعه حاضر از عملکرد های بالستیک GNR HJ TFETs، فرآیندهای پراکندگی مانند پراکندگی زبری خط-لبه و پراکندگی فونون گنجانده نشده است. مشخص شده است که زبری خط-لبه عملکرد دستگاه TFETs GNR با عرض-یکنواخت را تنزل می بخشد [23]، [24]، در حالی که پراکندگی فونون الاستیک، جریان های تونل زنی BTB را ارتقا می دهد [34]. تعاملات بین این فرآیندهای پراکندگی و منطقه HJ باید قبل از اجرای موفقیت آمیز GNR HJ TFETs مورد مطالعه قرار گیرد.

4. نتیجه گیری

در نتیجه، ما مشخصات I-V از GNR HJ TFETs با مناطق نیمه هادی و نیمه فلزی HJ جاسازی شده در کانال را با GC مختلف مورد مطالعه قرار دادیم. نشان داده شده است که مدولاسیون موثر باندها در منطقه HJ با تغییر طول و

عرض آن، بهینه سازی عملکرد دستگاه را میسر می سازد. زمانی که طول منطقه HJ افزایش می یابد، I_{OFF} با توجه به کاهش QS در یک منطقه در حال گسترش HJ به پتانسیل شیمیایی سورس افزایش می یابد و از این رو تونل زنی حالت خاموش را تسهیل می نماید. از سوی دیگر، I_{ON} با طول HJ به دلیل تشکیل یک مانع مسدود کننده یک منبع مستقیم به جریان کانال تونل زنی کاهش می یابد. نتیجه کلی، کاهش نسبت I_{ON}/I_{OFF} به عنوان تابعی از طول HJ است. از سوی دیگر، زمانی که عرض منطقه HJ کاهش می یابد EG-HJ افزایش می یابد و به کاهش کلی در جریان منجر می شود. در مقایسه با مورد نیمه فلزی، نیمه هادی HJ TFET در تغییر عملکرد دستگاه های GC و باند گپ انرژی در منطقه HJ مختلف، دارای انعطاف پذیری بیشتر است. این بینش های فیزیکی می تواند یک مسیر را برای ارتقای عملکرد دستگاه و تسهیل توسعه HJ TFETs فراهم کند.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی