プレーナー型グラフェン共鳴トンネル FET の第一原理解析

Analysis of a planar graphene resonant tunnel field effect transistor

[1] 北陸先端科学技術大学院大学, [2] 日立ケンブリッジ研究所
○(DC)鈴木俊英 [1], マノハラン・ムルガナタン [1], マレク・E・シュミット [1], 水田博 [1, 2]
[1]JAIST, [2] Hitachi Cambridge Laboratory
○(DC)Shun'ei Suzuki[1] , Manoharan Muruganathan[1] , Marek E Schmidt[1] , Hiroshi Mizuta[1,2]
E-mail: shun-suzuki@jaist.ac.jp

【背景】現在, MOSFET の代替となる新奇スイッチング素子として，低オフ電流, *SS* (Subthreshold Swing) < 60 mV/dec を実現できるトンネルトランジスタ(TFET)が注目されている．特に，グラフェンナノリボン(GNR)をベースとした TFET(GNR-TFET)は, GNR 幅によりバンドギャップを調整できることから，従来の TFET では達成が難しい高オン電流の実現が期待されている．これまで，我々は GNR-TFET の素子性能を解析し, *SS* < 30 mV/dec とオン電流 > 500 μA/μm 等の優れた素子特性を得た[1]．しかし，素子寸法が小さい場合に Drain Induced Barrier Thinning (DIBT)により *SS* が増大することが分かった．本研究では, DIBT の影響を無視できるグラフェン共鳴トンネル FET を新たに提案し，素子性能を解析した．

【解析方法】Self-consistent density function tight binding 法を用いた量子輸送計算を行い，デバイス構造による各ゲート電極領域下の局所状態密度(LDOS)の変化と伝達特性の解析を行った．

【解析結果】デバイス寸法を小さく保ったまま DIBT による *SS* の増大を回避するため, Fig. 1 のようなチャネル形状を有する p-i-p 構造の素子を検討した．この構造は全て Armchair GNR (AGNR)で構成されており，電極領域には細い金属的な AGNR を用いている. Gate 3 領域の GNR 幅は，バンドギャップを小さくし, Gate 1 と Gate 3 に同じ電圧を加えた際に二つの領域の価電子帯上端のエネルギーが一致するように設計した(Fig. 2)．この素子では, Gate 2 電圧 V_{G2} に正電圧を印加すると, Gate 2 領域に共鳴準位が形成され，前述の二つの領域における価電子帯上端のエネルギーと共鳴準位が一致したときに共鳴トンネリングが発生する. Gate 3 領域の GNR 幅を 4 nm に固定し，伝達特性の Gate 3 長依存性を計算すると，ドレイン電流が 3 桁変わるときの *SS* は，長さ 4 nm では 15.3 mV/dec (0.20 V < V_{G2} < 0.24 V)，長さ 5 nm では 15.8 mV/dec (0.20 V < V_{G2} < 0.26 V)となった(Fig. 3)．長さ 6 nm と 7 nm では，サブスレッショルド領域で複数の電流ピークが現れたが，局所的にはそれぞれ 12.7 mV/dec (0.24 V < V_{G2} < 0.26 V) と 11.6 mV/dec (0.24 V < V_{G2} < 0.28 V) の急峻な *SS* を示した．これらの電流ピークは Gate 2 領域下の量子状態を反映しており, Gate 3 領域の GNR のアスペクト比によって電流ピークの高さが変化した．当日は, *SS* 及び電流ピークと Gate 3 領域下の局所状態密度の関係について議論する．

【謝辞】本研究の一部は独立行政法人科学技術振興機構(JST)の研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーション(COI)プログラム」の支援によって行われた．

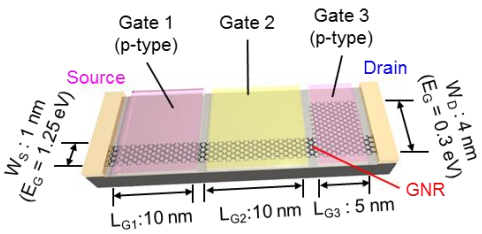

Fig 1. Schematic of the proposed planar graphene nanoribbon resonant TFET

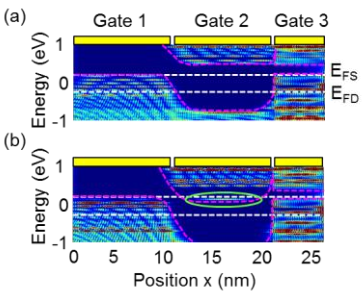

Fig.2 LDOS at (a) V_{G2} = 0 V and (b) 0.3 V. Green circle shows the 1st resonance level.

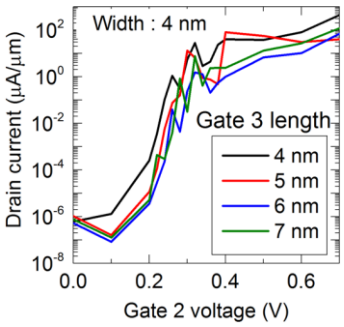

Fig 3. Transfer characteristics for various Gate 3 length.

【参考文献】[1] S. Suzuki et al., SISPAD, Kamakura, Japan (2017)