

グラフェントネル FET における急峻スイッチング特性の解析

Analysis of the abrupt switching in the graphene tunnel FETs

鈴木俊英¹, アーメド・ハマム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

Shun'ei Suzuki¹, Ahemed Hammam, Manoharan Muruganathan¹, Marek E Schmidt¹,
Hiroshi Mizuta^{1,2}, ¹JAIST, ²Hitachi Cambridge Laboratory

E-mail: shun-suzuki@jaist.ac.jp

【背景】 現在, トンネルトランジスタ(TFET)における低オン電流の問題を解決できる素子として, グラフェンナノリボン(GNR)をベースとした TFET(GTFET)が研究されている. GTFET は, GNR 幅によりバンドギャップ E_g を調整でき, 従来の TFET では達成が難しい高オン電流の実現が期待できる. これまで我々は, GNR 幅 9.4 nm ($E_g \sim 70$ meV)の素子を作製し, バンド間トンネリングによるスイッチングを実験的に観測した[1]. しかし, E_g が小さいためにオフ電流が高くなり, 室温下で $SS < 60$ mV/dec が得られなかった. 本研究では, 室温下で $SS < 60$ mVdec を達成するために必要な素子寸法について解析した. さらに, 小さい E_g でも急峻な SS が得られる Two-Band profile (TBP)構造を新たに考案・解析した.

【解析方法】 WKB 近似を基に SS の解析モデルを開発し, SS のソース・ドレイン電圧, チャネル長, GNR 幅依存性を解析した. GNR は, 水素終端した Armchair GNR (AGNR)を用いた. SLB 構造の解析では, Technical CAD (TCAD), WKB 近似と Landauer-Büttiker の式よりドレイン電流を算出した.

【解析結果】 GTFET のオフ電流はソース・ドレイン間直接トンネル(S-D トンネル)リーク電流と熱電子リーク電流からなる. 前者はチャネルが長くなるほど小さくなり, 後者は E_g が小さいほど高くなる. この二つのリーク電流の影響を反映した SS の解析モデルを開発し, $SS < 60$ mV/dec となる素子寸法を求めた(Fig. 1). 図中の β -GNR と γ -GNR では, GNR 幅と E_g の関係が異なっており, 炭素列数 p によって区別される. 結果として, GNR 幅 ≤ 8.6 nm, チャネル長 ≥ 43 nm で 60 mV/dec 以下の SS が期待できることが分かった. この GNR 幅の上限は熱電子リークによって決定されている. そこで, GNR 幅 8.6 nm 以上の GTFET で低い SS を達成するため, 新たに TBP 構造を考案した (Fig. 2(a)). この構造では, 二つの絶縁膜を用いて階段状のバンド構造を形成することで熱電子リーク電流を低減できる. この素子では, 熱電子リーク電流が $1.9 \mu\text{A}/\mu\text{m}$ となり, p-i-n 構造での熱電子リーク電流($9.4 \mu\text{A}/\mu\text{m}$)の約 1/5 にまで低減できた. また, SS は 53.6 mV/dec ($V_g = 0$ V と 0.1 V の間)となった. 当日は, TBP 構造を用いた場合に, ソース・ドレイン電圧や素子構造によって SS がどのように決定されているかを議論する.

【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.

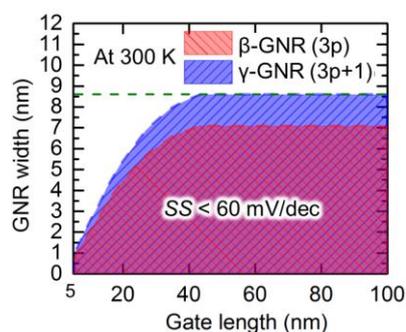


Fig 1. Requirement of the device dimension to achieve the $SS < 60$ mV/dec in conventional GTFETs.

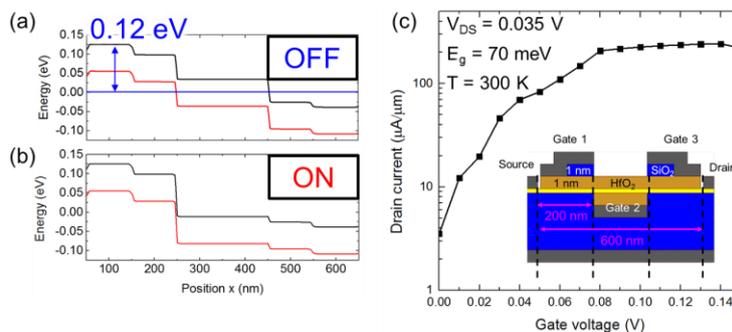


Fig 2. Band profile and transfer characteristic of the proposed structure. (a) Band profile at OFF state and (b) ON state. (c) Transfer characteristic.

【参考文献】 [1] A. M. M. Hammam et al, Carbon, 126, 2017.