

不規則な櫛歯型構造を設けたナノリボンにおける電界印加による電流スイッチング

Field-induced Current Switching in a Nanoribbon with Random Comb-like Structure

○ 田中 一, 森 伸也 (阪大院工)

○ Hajime Tanaka and Nobuya Mori (Osaka Univ.)

E-mail: tanaka@si.eei.eng.osaka-u.ac.jp

背景 通常の電界効果トランジスタが、電界を印加することでキャリア密度を変調するのとは異なり、電界の印加でキャリアの有効質量や移動度を変調するという原理による電流スイッチングがこれまでに提案されている [1, 2, 3]. 本研究では、不規則性を持つ櫛歯型構造を設けたナノリボンにおける、幅方向の電界の印加による導電性の変調について、非平衡グリーン関数 (NEGF) 法によるシミュレーションを行い、急峻なスイッチングの可能性を検討した。

計算モデル 幅 W のナノリボンの片側端部に櫛歯型構造を設けた、図 1 に示すような構造を考えた。ソース電極のフェルミ準位 E_F を 0 eV とした。長さ L のチャンネル部には、2次元系としての伝導帯下端 $E_C = 0.3\text{ eV}$ を基準として、櫛歯型の構造を定める $+1\text{ eV}$ の障壁 (斜線部) と、2つのゲート TG・BG による電位変化とを加えた。この際、櫛歯部分の各歯の長さを、図 1 に示すように不規則に変化させた。また、水色で示すナノリボン部の内、ゲート TG (BG) で覆われている幅 W_T (W_B) の領域内では、 $E_C = 0.3\text{ eV} - eV_{TG}$ (BG) とした。2つのゲートの間の領域には、電圧差 $V_{TG} - V_{BG}$ に由来する幅 (y) 方向の一定電界 F_y を印加した。系全体をメッシュサイズ 0.5 nm で離散化し、有効質量は $0.1 m_0$ 、温度は 300 K とした。

この系における、バリスティック電流 I_{bal} と、フォノン散乱を考慮した電流 I_{ph} とを、NEGF 法で計算した。 I_{ph} の計算の際には、弾性的な音響フォノン散乱と非弾性的な無極性光学フォノン散乱を、自己無撞着ボルン近似により導入した。散乱強度は、文献 [4] のパラメータを用い、幅 3 nm の量子井戸の基底サブバンドを仮定して求めた。

結果 $V_{TG} = 0\text{ V}$ を一定とし、 V_{BG} として負電圧を印加することで、電界 F_y による導電性の変化を調べた。得られた I_{bal} の F_y 依存性を図 2 に青丸で示す。 F_y の印加により、電流が 2 桁程度増加していることが分かる。これは、 $F_y \approx 0$ では、櫛歯型構造の各歯の領域がサイズの異なる量子ドットのように振る舞い、ドット間のエネルギー準位差により透過確率が低くなるが、 F_y を印加すると、TG 側に電子が引き寄せられてエネルギー準位差が小さくなり、共鳴的に電流が流れることにより説明できる。櫛歯型構造の歯の長さを一様とした場合 (黒), F_y の印加による電流の増加は見られない。

図 3 には、 $V_{BG} = 0\text{ V}$ とし、 V_{TG} に正電圧を印加した場合の、 I_{bal} の V_{TG} 依存性を青丸で示す。 V_{TG} がポテンシャルを変調することによる電子の増加と、 F_y による図 2 と同様の透過確率の増加とが合わさることで、サブスレッショルドスイング (SS) 値が 20 mV/dec 程度という、急峻な電流変化が生じる。さらに、フォノン散乱を考慮した I_{ph} を赤四角で示す。フォノン散乱を考慮すると SS 値は劣化するが、 60 mV/dec 未満の値が維持されている。

[1] H. Sakaki, JJP 21, L381 (1982). [2] Y. Tokura and N. Susa, JAP 67, 2171 (1990).

[3] Y. Ohno and H. Sakaki, SSE 40, 303 (1996). [4] S. Takagi et al., JAP 80, 1567 (1996).

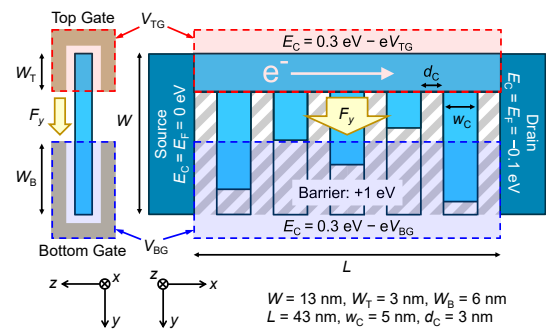


Fig. 1: The schematic picture of the assumed device with comb-like structure.

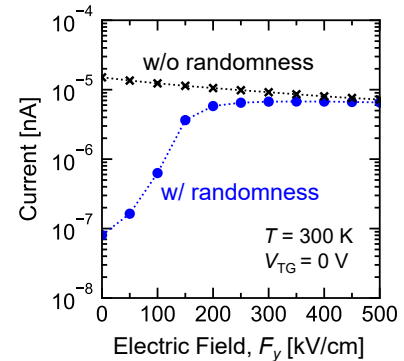


Fig. 2: F_y dependence of I_{bal} in devices with (blue) and without (black) the randomness of the comb-like structures.

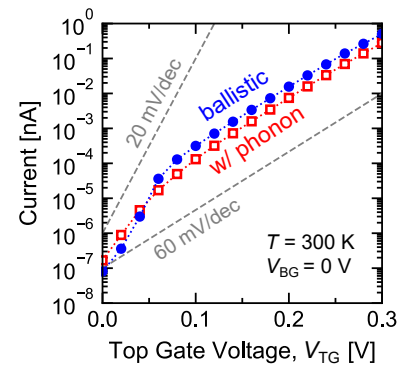


Fig. 3: V_{TG} dependence of I_{bal} (blue) and I_{ph} (red).