

バリスティックナノワイヤトランジスタ性能の太さ依存における 状態密度と静電容量のトレードオフ

Trade-off between Density of States and Electrical Capacitance
in Size-dependent Performance of Ballistic Nanowire Transistors

東工大フロンティア研¹, 東工大総理工², 筑波大数物³

李 映勲^{1,2}, 角嶋 邦之², 白石 賢二³, 名取 研二¹, 岩井 洋¹

FRC, Tokyo Tech.¹, IGSSE, Tokyo Tech.², GSPAS, Tsukuba Univ.³,

[°]Yeonghun Lee^{1,2}, Kuniyuki Kakushima², Kenji Shiraiishi³, Kenji Natori¹, Hiroshi Iwai¹

E-mail: lee.y.ac@m.titech.ac.jp

[はじめに] 次世代トランジスタとして短チャネル効果抑制が期待できる Si ナノワイヤトランジスタが注目されている。ナノワイヤの様な状態密度が小さく縮退しやすい電子状態を有するチャンネルではフェルミ準位の位置がその電気特性に大きく影響を与える[1]。その主な影響のひとつは、フェルミ準位が伝導帯の底からより高いところに位置するほど、高いエネルギーを持ったキャリアが増えることである。ナノワイヤの電子構造はサブバンド構造をなし、数 nm 程度にワイヤを細くすると、サブバンド間隔が広がり状態密度は小さくなる。この状態密度の小さくなったチャンネルに太いワイヤと同じ数の電子を含ませるには高いフェルミ準位を要するため、キャリアの平均速度が高くなる。しかし、チャンネルに含まれる電子の数は静電容量に比例し、ワイヤを細くするほどその静電容量は小さくなる。これはフェルミ準位を低くする働きをするため、平均速度を低くする。従って、状態密度と静電容量はキャリアの平均速度のワイヤ太さ依存においてトレードオフ関係である。本研究ではバリスティックナノワイヤトランジスタ性能(主に注入速度)の太さ依存に対する、このトレードオフ関係を調べた。なお、このトレードオフ関係に着目したのは本研究が最初である。

[方法] モデルとして長方形と円筒の[100]方向 Si ナノワイヤを採用した。そのサブバンド構造は有効質量近似を用いて再現した。半古典的なバリスティック伝導を仮定し、更に DIBL 効果を見捨てるならば、バリア頂上においてシュレディンガー方程式とポアソン方程式をセルフコンシステントに解く事でバリスティック伝導特性を近似的に求めることができる[2]。

[結果] Figure 1 は注入速度の太さ依存を示している。ワイヤ周囲長に比例するゲート容量を仮定し、ワイヤ単位表面積あたりのキャリア密度を固定した ($1.0 \times 10^{13} / \text{cm}^2$)。状態密度と静電容量のトレードオフによりその注入速度は約 2 nm 程度でピークを持ち、周囲長で規格化した電流も最大となる。そのトレードオフ関係の概念図を Fig. 2 に示す。状態密度の振る舞いは主に電子状態の急激な量子化と volume inversion から影響を受けた。なお、このトレードオフ関係により注入速度がある太さでピークを有することは、採用した Si ナノワイヤのみならずあらゆるナノワイヤトランジスタで表れる一般的な性質であることを示唆した。本研究は NEDO と日本学術振興会特別研究員奨励費の支援を受けたものである。参考文献 [1] Y. Lee et al., Journal of Applied Physics **107**, 113705 (2010). [2] K. Natori, Journal of Applied Physics **76**, 4879 (1994).

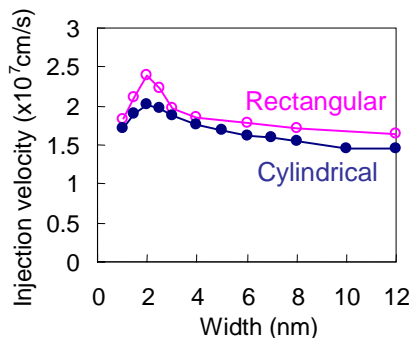


FIG. 1 Injection velocity as a function of width. Close and open circles correspond to rectangular and cylindrical nanowire transistors.

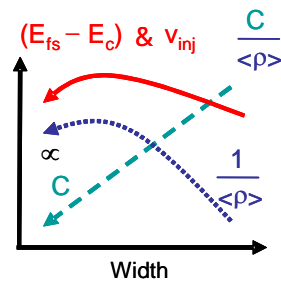


FIG. 2 Trade-off between average density of states, $\langle \rho \rangle$, and electrical capacitance, C . $(E_{fs} - E_c)$ and v_{inj} denotes source Fermi level measured from the conduction band edge and injection velocity, respectively. The $\langle \rho \rangle$ is a mean value over carrier-populated energy region at 0 K.