

ナノスケール・シリコンにおける電子・電子散乱を利用した エレクトロン・アスピレーター

Electron Aspirator using Electron-Electron Scattering in Nanoscale Silicon

静大電研¹, 静大院創造², 北大院情報³, NTT 物性基礎研⁴ ○小野 行徳^{1,2}, ヒンマ フィルダス²,
渡邊 時暢¹, 堀 匡寛^{1,2}, ダニエル モラル^{1,2}, 高橋 庸夫³, 藤原 聡⁴

RIE Shizuoka Univ.¹, GSST Shizuoka Univ.², Hokkaido Univ.³, NTT BRL⁴

○Y. Ono^{1,2}, H. Firdaus², T. Watanabe¹, M. Hori^{1,2}, D. Moraru^{1,2}, Y. Takahashi³, A. Fujiwara⁴

E-mail: ono.yukinori@shizuoka.ac.jp

ナノスケールの MOS トランジスタにおける電流量（駆動力）は、ソース端での電流注入量とソース近傍チャネルにおける反跳散乱の大きさによって決まる[1]。一方、ソース領域を通過した電子の運動量とエネルギーは、ドレイン端で不可避免的に散逸することになり、このことが MOS トランジスタの駆動力とエネルギー効率を律速する本質的な問題となっている。ここでは、このような MOS トランジスタの原理的限界を打破するために、付加的な電源電圧なしにトランジスタ電流を増幅できる（すなわち、トランジスタの駆動力を向上させることができる）ナノスケール MOS デバイス：エレクトロン・アスピレーターを提案し、その基本動作を実証した[2]。

図 1a, 1b にデバイス構造と SEM 像を示す。同デバイスは、エミッタ、コレクタ、ベースの三つの電流端子を有し、エミッタゲートは通常のトランジスタゲートとして機能し、コレクタゲートはコレクタ電流制御のために用いられる。図 1c に示すように、エミッタゲート下を通過した電子の運動量とエネルギーは、T 字型分岐領域（トランジスタのドレイン端に相当）において、格子系に散逸される前に電子・電子散乱によって他の多くの電子に移送される。これにより新たにベースから電子が引き込まれ、エミッタ電流が増幅される。この効果は、流体力学におけるベルヌーイのポンプ効果[3]に相当するものである。図 2 にコレクタ電流とベース電流のエミッタゲート依存性を示す（測定温度 8K）。アスピレーターモード（ベース接地）での動作（赤と青の実線）では、ベースから電子が逆流し、これによりコレクタ電流が、トランジスタモード（ベース電流をゼロにバイアス）での動作（赤の点線）に比して増加していることがわかる。この電流増幅には、通常のトランジスタ動作では不可避免的に格子系に散逸してしまう、入射電子のエネルギーが用いられており、このことは、同デバイスが従来型デバイスの原理的限界を超えて多くの「仕事」をしていることを意味している。

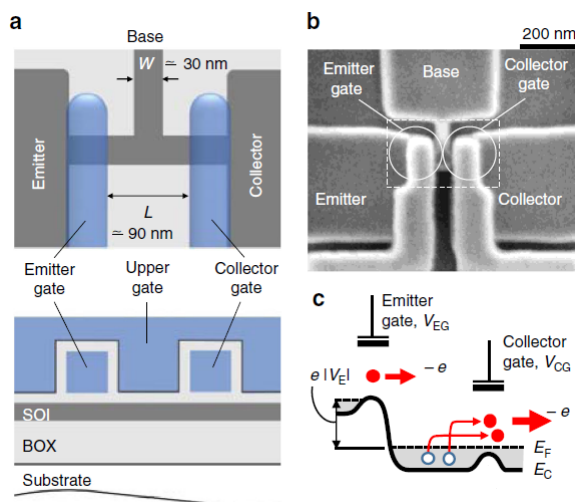


Figure 1. Schematic top and cross-sectional views **a**, SEM image **b**, and potential diagram **c** of the device, fabricated on an SOI substrate.

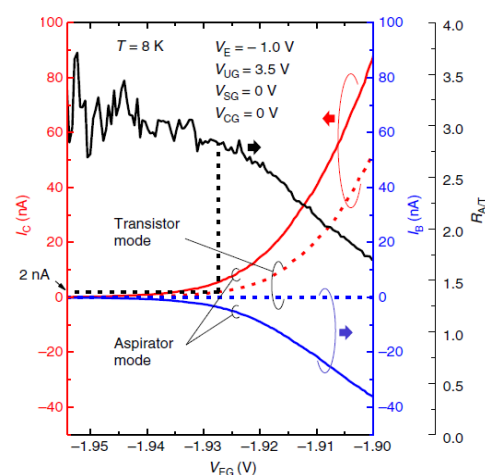


Figure 2. Collector and base currents, I_C , I_B as a function of the emitter-gate voltage V_{EG} for the aspirator mode (solid lines) and the transistor mode (dotted lines). Black line, $R_{A/T}$, shows the ratio of the collector currents of the two modes.

本研究は、科研費（JP15H01706, JP16H04339, JP16H02339, JP16H06087, JP17H06211, JP18H05258, JP18K13803）の支援を得て行われた。

参考文献

- [1] M. Lundstrom, *IEEE Electron. Dev. Lett.* **18**, 361 (1997). [2] H. Firdaus et al., *Nat. commun.* **9**, 4813 (2018).
[3] A. O. Govorov & J. J. Heremans, *Phys. Rev. Lett.* **92**, 026803 (2004).