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]，渡邉 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 BRL[4]
○Y. Ono[1,2], H. Firdaus[2], T. Watanabe[1], M. Hori[1,2], D. Moraru[1,2], Y. Takahashi[3], A. Fujiwara[4]
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、エミッター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。

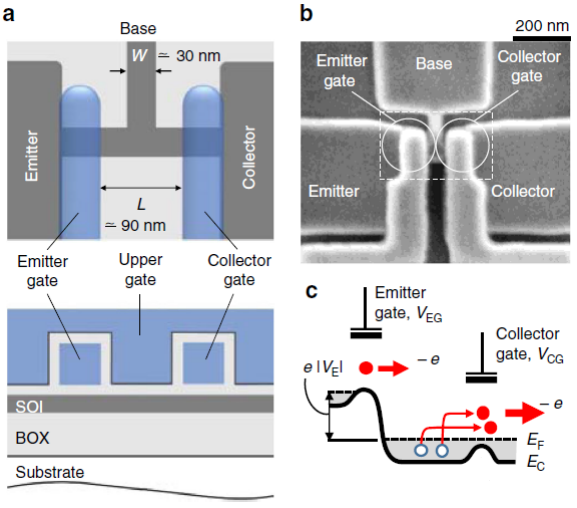


Figure 1. Schematic top and cross-sectional views **a**, SEM image **b**, and potential diagram **c** of the device, fabricated on an SOI substrate.

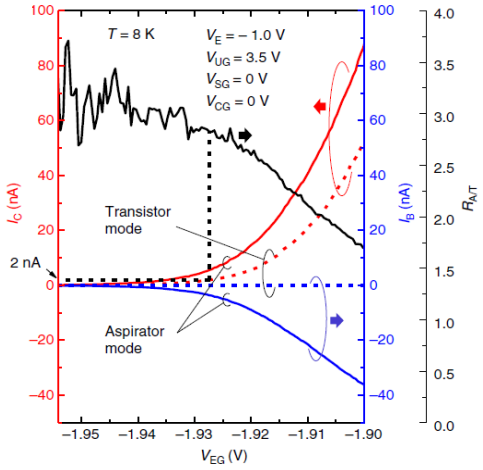


Figure 2. Collector and base currents, I_C, I_B as a function of the emitter-gate voltage V_{EG} for the aspirator mode (solid lines) and the transistor mode (dotted lines). Black line, $R_{A/T}$, shows the ratio of the collector currents of the two modes.

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).

© 2020年 応用物理学会