

## シリコン PN 単電荷ポンプによる電子正孔比較 Comparison of electron and hole by a silicon PN single-charge pump

NTT 物性基礎研 ○山端 元音、藤原 聡

NTT Basic Research Labs., ○Gento Yamahata and Akira Fujiwara

E-mail: gento.yamahata@ntt.com

クロック制御により電荷を一つずつ転送する単電荷ポンプは正確な電流生成が可能であるため電流標準への応用が期待される [1]。応用へ向け、歩留まり良く高精度動作が可能な素子設計条件を見出す必要がある [2]。一つの指針として、有効質量の重い正孔を使うことにより転送精度向上が期待され、これまで極低温での特性評価により単正孔ポンプの優れた特性を観測してきた [3,4]。一方、より正確にデバイス物理を理解するためには単一の素子での電子と正孔の比較が望ましい。今回、P 型と N 型の電極を持つ単電荷ポンプを利用し電子と正孔の特性を比較したので報告する。

素子の概略図を図 1(a) に示す。直径 10 nm オーダーのシリコン細線上に 3 つの微細ゲート電極 (GN, GC, GP) を持つ。細線及び細線と繋がる幅広部分はまだ 1 層のゲート電極 (UG) に覆われている。UG の外側領域をそれぞれ N 型 (リン)、P 型 (ボロン) に不純物ドーピングし、N 型ソース、P 型ドレインを形成した。動作原理を図 1(b), (c) のポテンシャル図で説明する。まず、ドレイン側 (b) もしくはソース側 (c) での再結合電流を十分大きくするためドレイン側にバイアス電圧  $V_b \sim 1$  V を印加した。UG の電圧により細線領域に存在する電荷を選択できる。単電荷転送では入口障壁の形状が重要となるため [4]、今回は GC に高周波電圧 (周波数  $f$ ) を印加しどちらの極性でも入口障壁となるようにして電子正孔比較を行った。この際、単電子 (単正孔) の場合は GP (GN) に負 (正) の DC 電圧を印加し出口側障壁を形成した。これにより単電子もしくは単正孔を転送し正確な電流  $I_p = ef$  ( $e$ : 電荷素量) を得ることができる。図 1(d) に電流電圧特性の一例を示す。単電子転送と単正孔転送を単一の素子で観測することに成功した。更に、温度依存性と周波数依存性を調べた結果、数百 MHz 程度までは正孔が優位な特性を持つことが分かった。単一の素子を利用した電子と正孔の初めての比較であり、今後の素子設計における重要な知見である。

参考文献: [1] G. Yamahata *et al.*, Appl. Phys. Lett. **109**, 013101 (2016). [2] A. Fujiwara *et al.*, ECS Trans. **112**, 119 (2023). [3] G. Yamahata *et al.*, Appl. Phys. Lett. **106**, 023112 (2015). [4] G. Yamahata *et al.*, J. Appl. Phys. **135**, 014502 (2024).

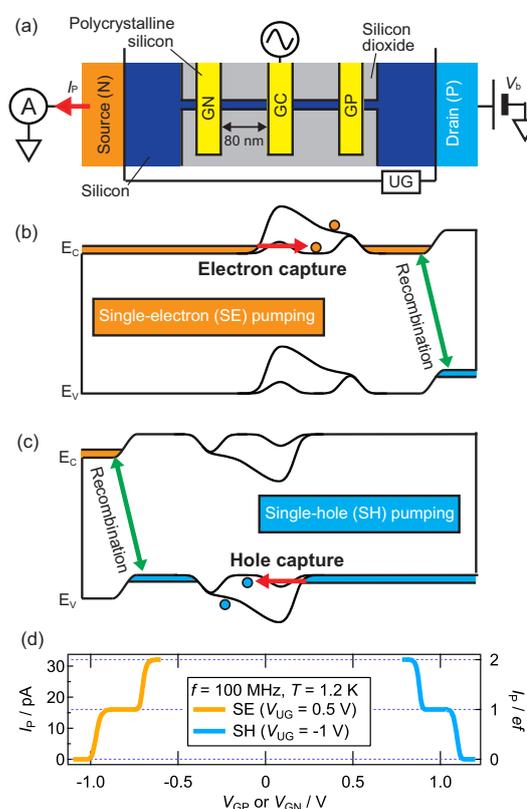


Fig. 1: (a) Schematic of the device with a part of the electrical connections. (b, c) Schematic potential diagrams for single-electron (SE) and single-hole (SH) pumping. (d)  $I_p$  and  $I_p/ef$  as a function of  $V_{GP}$  (SE pumping) or  $V_{GN}$  (SH pumping).