17p-A16-5

シリコン高速単正孔転送素子

Si high-speed single-hole transfer devices

NTT 物性基礎研　○山端　元音，藤原　聡

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

E-mail: yamahata.gento@lab.ntt.co.jp

【背景・目的】単電子転送は電子を一個ずつ正確に操作する技術であり、電流標準や単電子回路への応用が期待されている。応用へ向けて、ギガヘルツオーダーの高速動作と 10^{-8} 以下の極めて低いエラーレートが必要となるが、双方を同時に満たす素子は実現されていない。近年、可変バリア型の転送素子に関する転送機構の明確化に伴い[1]、正孔を利用することで高精度化が期待されることが示唆されている。しかし、これまで単一の正孔を高速に転送した例は無い。そこで、今回は単正孔のギガヘルツオーダーでの高速転送を報告する。

【素子構造・測定法】Fig. 1(a)に素子の概略図を示す。シリコン酸化膜上に形成したノンドープシリコン細線上に 2 層のゲート電極が積層された構造となっている。正孔を利用するため、上層ゲート(UG)をマスクにソース・ドレイン領域にアクセプタとしてボロンをドープした。下層ゲート(G1, G2)はシリコン細線中にポテンシャルバリアを電気的に形成するために、UG は G1-G2 間のアイランド領域のポテンシャル制御に利用される。正の電圧を G2 に印可し G2 直下の細線に固定ポテンシャルバリアを形成した状態で、G1 に高周波信号を印可すると、G1 直下の細線に可変ポテンシャルバリアが誘起され単正孔が転送される。その転送電流を温度 24 K で測定した。

【転送原理・結果】可変バリアとアイランドを利用した転送では、通常は G1 とアイランドの容量結合が存在するためバリア上昇中にアイランドも上昇する。そのため、G1 の ON 状態でアイランドに捕獲された電荷はバリア上昇中に電極 S に抜け出そうとするが、バリア上昇に伴い抜け出す速度が遅くなり、その速度がバリア上昇速度に対して十分遅くなる場合に電荷は捕獲され、その後電極 D に放出される。このバリア上昇中の電荷の捕獲が転送精度を決める最も重要な過程となる[1]。温度を下げると電荷の抜け出しは熱的ホッピングからトンネリングに変化し、その際の転送精度は 2 個目と 1 個目の電荷のトンネルレート比 Γ_2/Γ_1 で決まる(比が大きければ 1 個目は捕獲され、2 個目は抜けるので高精度となる)。具体的には、電荷の付加エネルギーを E_{add}、バリア幅を d、バリア高さを U、有効質量を m^*とすると、$\Gamma_2/\Gamma_1 \propto \exp\left(E_{\mathrm{add}} d\sqrt{m^*/U}\right)$となる[1]。ここで、シリコンの m^*に注目すると、例えば(001)面の<110>方向では正孔の m^*が電子よりも 2.8 倍程度重く、同じ構造を作った際に正孔を利用すると高精度動作が期待される。Fig. 1(b)に周波数 1.1 GHz で動作させた高速単正孔転送の測定結果を示す。理論的フィッティングから、E_{add} ~ 18 meV、転送エラーは 10^{-2} 程度であることが分かった。更に温度を下げることにより、同じ素子構造で単電子を転送する場合よりも転送精度が格段に向上することが期待される。

【謝辞】本研究の一部は、最先端・次世代研究開発支援プログラム（GR103）の助成を受け行われた。

【参考文献】[1] G. Yamahata *et al.*, Phys. Rev. B **89**, 165302 (2014), J. D. Fletcher *et al.*, Phys. Rev. B **86**, 155311 (2012).

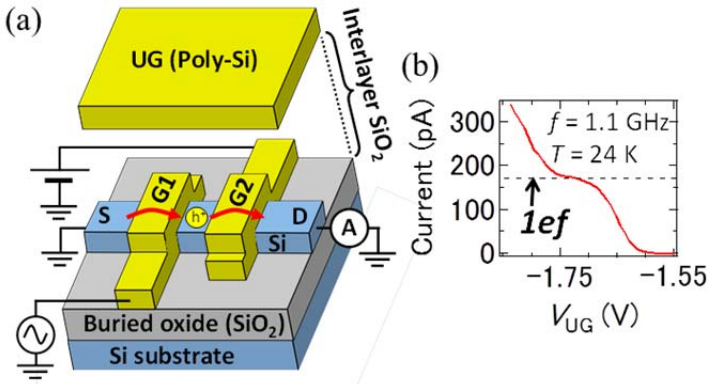

Fig. 1 (a) Schematic of the device. (b) Gigahertz operation of the single-hole transfer device. The current level at the 1ef plateau is ~ 176 pA.

© 2014 年　応用物理学会