

7.4 GHz における単一トラップ電子ポンプの高精度動作

High-accuracy operation of single-trap electron pump at 7.4 GHz

○山端 元音¹、Stephen P. Giblin²、片岡 真哉²、唐沢 毅¹、藤原 聡¹

(1. NTT 物性基礎研、2. National Physical Lab.)

○Gento Yamahata¹、Stephen P. Giblin²、Masaya Kataoka²、Takeshi Karasawa¹、Akira Fujiwara¹

(1. NTT Basic Research Lab., 2. National Physical Lab.)

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

単電子ポンプはクロック制御された単電子操作により正確な電流を生成することができ、量子電流標準や単電子回路、単電子量子光学実験など様々な応用が期待されている。特に電流標準応用では、高速（電流大）かつ高精度な動作が必要となる。これまで、我々はシリコン中にゲート電圧で形成した単電子島を利用した単電子ポンプにおいて、1 GHz で 9.2×10^{-7} 以下の精度を報告した[1,2]。しかし、周波数を更に上げると精度が大幅に劣化し、上記素子でも 6.5 GHz では 10^{-3} 程度の精度となってしまふ。一方、シリコン中の界面準位等に起因する単一トラップ準位を利用した単電子ポンプ（単一トラップ電子ポンプ）では 3.5 GHz の動作を報告しており[3]、高速高精度動作が期待される。今回は、単一トラップ電子ポンプの高精度測定を行い、7.4 GHz 動作において 2×10^{-5} 程度の高精度動作を達成したので報告する。

Fig.1(a)に素子の概略図を示す。シリコン細線上に2層のゲートを持つ構造である。上層ゲートへの正電圧印加により、シリコン細線中に電荷を誘起する。下層ゲート G1 と G2 への負電圧を印加により、細線中に2つの電子ポテンシャル障壁を形成する。更に、G1 に高周波信号を印加することで、G1 直下の障壁を調節する。素子の中で、G1 の下にトラップ準位が存在するものを探し、トラップ準位を介した単電子転送を行った。この転送では、G1 直下の障壁が低い時、トラップ準位に電荷が捕獲され、その後障壁が高くなった際に捕獲された電荷が G2 直下の障壁を越えてドレイン側に放出される。G2 に印加する電圧 (V_{EXIT}) はトラップ準位の調節にも利用する。1 周期あたりに1つの電子が転送されると出力電流が $1ef$ となる。この電流を1次標準で校正された $1 \text{ G}\Omega$ の高精度標準抵抗を利用した測定系[1,2,4]により測定した。

Fig.1(b)に転送電流の V_{EXIT} 依存性を示す。周波数 7.4 GHz において明瞭な $1ef$ プラトーを観測した。この周波数では電流値が 1 nA 以上となり、電流標準として望ましいレベルの値が得られた。更に、このプラトーの変曲点（最もフラットな部分）における精度を、高精度測定系を用いて評価したところ、 2×10^{-5} 程度の高精度特性を持つことが分かった。トラップ準位のポテンシャル形状は高周波信号による変調が弱いこと、トラップ準位の閉じ込めが強いことなどが高精度動作に繋がった可能性が考えられる。今回の高精度高速単電子操作は量子電流標準実現へ向けた重要な進展である。

[1] G. Yamahata *et al.*, to be published in Appl. Phys. Lett.

[2] 山端 他, 第 63 回春季応用物理学会 (2016).

[3] G. Yamahata *et al.*, Nat. Commun. **5**, 5038 (2014)

[4] S. P. Giblin *et al.*, Nat. Commun. **3**, 930 (2012)

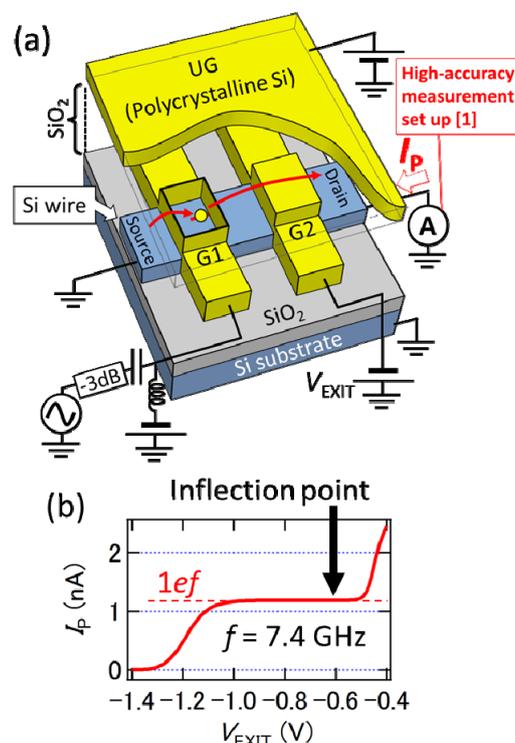


Fig.1 (a) Schematic of the device.

(b) Pumping current as a function of V_{EXIT} , where $f = 7.4 \text{ GHz}$ and $T \sim 1 \text{ K}$.