

# 微小な Al/AIO<sub>x</sub>/V 接合を用いた超伝導単一電子トランジスタ

## Superconducting single-electron transistors based on small Al/AIO<sub>x</sub>/V junctions

宮脇 健至, 水柿 義直, 島田 宏

Kenji Miyawaki, Yoshinao Mizugaki, Hiroshi Shimada

電気通信大学大学院 情報理工学研究科 先進理工学専攻

Department of Engineering Science, The University of Electro-Communications

E-mail: miy@inaho.pc.uec.ac.jp

### 1. 研究背景

超伝導単一電子トランジスタ(S-SET)は、基礎物理の観点から、また新技術への応用が期待される素子として注目されている。この素子には、従来 Al/AIO<sub>x</sub>/Al 接合が広く用いられてきた。一方、超伝導の特性を利用する S-SET の場合、熱的安定性の向上や Josephson 結合エネルギー  $E_J$  の増大等の利点から、より超伝導ギャップの大きな電極材料が望まれている。そこで Nb ( $\Delta_{\text{Nb(bulk)}} = 1.5 \text{ meV} \approx 7.5 \Delta_{\text{Al}}$ )を用いた素子が開発されているが、バルクと同程度の大きさの超伝導ギャップをもつ電極を作製するには特殊な作製プロセスが必要とされている[1][2]。これに対し、近年 Al 系のプロセスをそのまま用いて比較的大きな超伝導ギャップをもつ V ( $\Delta_{\text{V(bulk)}} = 0.8 \text{ meV} \approx 4 \Delta_{\text{Al}}$ )を電極とする、微小な弱結合型の Josephson 接合の作製が報告された[3]。そこで本研究では、同様に Al/AIO<sub>x</sub>/V 接合からなる S-SET を作製し、その特性を評価した。

### 2. 素子の作製方法

Al/AIO<sub>x</sub>/V 接合は、PMMA/P(MMA+MAA)の 2 層レジストを用いて電子線リソグラフィにより架橋構造を作り、電子ビームによる斜め蒸着法で作製した。1 層目に Al を 25 nm 蒸着し、酸素雰囲気中で酸化することで表面にトンネル障壁となる AIO<sub>x</sub> 絶縁膜を形成し、続いて 2 層目に V を 80 nm 堆積させた。また、Al/AIO<sub>x</sub>/V/AIO<sub>x</sub>/Al [図 1(a)]および V/AIO<sub>x</sub>/Al/AIO<sub>x</sub>/V の S-SET を同一基板上に作製した。

### 3. 測定結果

測定は簡易型希釈冷凍機を用いて約 80 mK の低温で行った。素子の Al 電極および V 電極の超伝導ギャップの値は  $\Delta_{\text{Al}} = 0.17\text{-}0.2 \text{ meV}$ 、 $\Delta_{\text{V}} = 0.56\text{-}0.65 \text{ meV}$  となり、 $\Delta_{\text{Al}}$  の 4 倍程度の  $\Delta_{\text{V}}$  が得られた。これにより接合の  $E_J$  は同じ抵抗値をもつ Al/AIO<sub>x</sub>/Al 接合の 1.7 倍程度になった。

SET 動作として、ここでは V/AIO<sub>x</sub>/Al/AIO<sub>x</sub>/V-SET の結果のみ紹介する。図 1(b)に電流-電圧特性を示す。Al 系の S-SET と比べて特徴的な点として、JQP ピークの電圧位置が低いことが挙げられる。また、Coulomb 振動に関しては、超伝導電流については  $2e$

周期、JQP 電圧付近のバイアス電圧では  $e$  周期であることが観測された[図 2(a),(b)]。さらに、ゲート電圧  $V_g$  をパラメータとして電流-電圧特性を測定することで、素子のスタビリティ・ダイアグラムを得た。多くの特徴は、V 電極の超伝導ギャップ内の準粒子状態密度を考慮することで理解され、この系がその意味で特徴的なものになっていることが明らかになった。

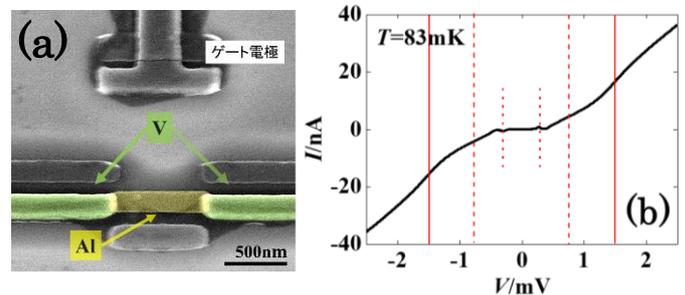


図 1. (a)V/AIO<sub>x</sub>/Al/AIO<sub>x</sub>/V S-SET の SEM 写真. (b)電流-電圧特性の一例[実線:  $2(\Delta_{\text{V}} + \Delta_{\text{Al}})$ , 破線: 理論より予測される JQP ピーク位置, 点線: 観測した JQP 位置]

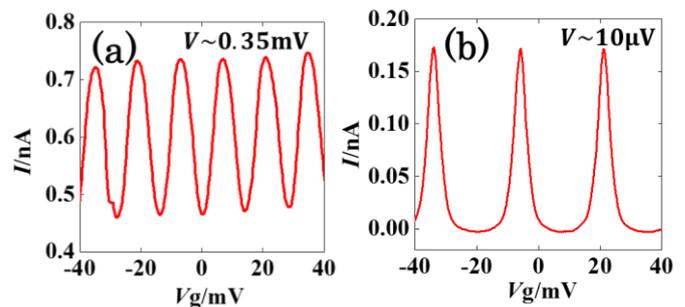


図 2. V/AIO<sub>x</sub>/Al/AIO<sub>x</sub>/V S-SET の Coulomb 振動の一例.

(a)1 周期:  $\Delta V_g \sim 14 \text{ mV}$  ( $e$  周期).

(b)1 周期:  $\Delta V_g \sim 28 \text{ mV}$  ( $2e$  周期).

### 参考文献

- [1] H. Im *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. B **25**, 448 (2007).
- [2] M. Watanabe *et al.*, Appl. Phys. Lett. **84**, 410 (2004).
- [3] C. P. Garcia and F. Giazottob, Appl. Phys. Lett. **94**, 132508 (2009).