

Co/Al/Co 単一電子トランジスタにおけるトンネル磁気抵抗の静電的制御

Electrostatic control of the tunnel-magnetoresistance in a Co/Al/Co-single-electron transistor

電通大先進理工 ○田中 歩, 小林 竜介, 辻道 尚貴, 島田 宏

Univ. of Electro-Cumunications, °Ayumu Tanaka, Ryusuke Kobayashi, Naoki Tsujimichi, Hiroshi Shimada

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

1. はじめに

強磁性(F)/超伝導(S)/強磁性(F)の電極構造をもつ比較的大きなプレーナ型の二重トンネル接合では、通常のスピン偏極トンネリングに加え、超伝導電極へのいわゆるスピン蓄積効果に伴うギャップ電圧直下での負のトンネル磁気抵抗効果(TMR)が明瞭に示された[1,2]。F/S/F 単一電子トランジスタ(SET)では、上記に加え更に帯電効果を合わせた3者の複合効果があると考えられる。我々はこの複合効果を見出すため、Ni/Al/Ni-SET を作製し、TMR 極性がゲート電圧 V_g により静電的に制御できることを初めて見出した[3]。

本研究では、これが原理的な効果であることを確かめるために、強磁性電極材料を Co に変更した素子を作製し、同じ効果を確認した。また、ゲート電圧 V_g によって、TMR が変調されることを直接確認した。

2. 素子の作製方法

Co/Al/Co-SET は、LOR/ZEP 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、斜め蒸着法で作製した。1層目に Co を 20 nm、その上に Al を 2.3nm 蒸着し、酸素雰囲気中で酸化することでトンネル障壁となる AlO_x 絶縁膜を形成し、続いて2層目に Al を 30 nm 堆積させることで作製した。[図 1(a)]

3. 測定結果

作製した素子は、単一電子トランジスタとして、また F/S/F 二重接合として典型的な動作を示した。Al 電極の超伝導ギャップは $290 \mu\text{eV}$ 、帯電エネルギー E_c は $45 \mu\text{eV}$ 、ゲート周期は $\Delta V_g = 11.6 \text{ mV}$ であり、Co 電極に平行な $H = 250\text{-}270 \text{ Oe}$ の磁場で電極の磁化が反平行になり TMR が観測された。

図 1(b)は、 $H = -270 \text{ Oe}$ の時の TMR 比を $V\text{-}Q_0$ ($= C_g V_g$, C_g はゲート容量, V_g はゲート電圧) 平面でカラー・プロットしたものである。図中の緑色実線が単一電子のシーケンシャル・トンネリングの閾電圧を表す。閾値より低電圧ではおよそ負の TMR 比が存在

する。図から、Ni/Al/Ni-SET の場合と同様に、ゲート電圧による TMR 比の周期的な変調を見て取れる。

図 2 は、バイアス電圧を $V = 0.6 \text{ mV}$ 付近 [図 1(b)の破線]に固定しゲート電圧を変化させた際の TMR 特性の変調を表している。印加したゲート電圧は、図 2(a)では $Q_0 = 0.0e$ 、図 2 (b)では $Q_0 = 0.5e$ に相当し、図 1(b)の A 点、B 点にそれぞれ対応する。図 1(b)の TMR 比に対応して、A 点で観測された負の TMR がゲート電圧によって、B 点では消失している。すなわち、ゲート電圧を変えることによって静電的に TMR が変調できることを直接確認した。

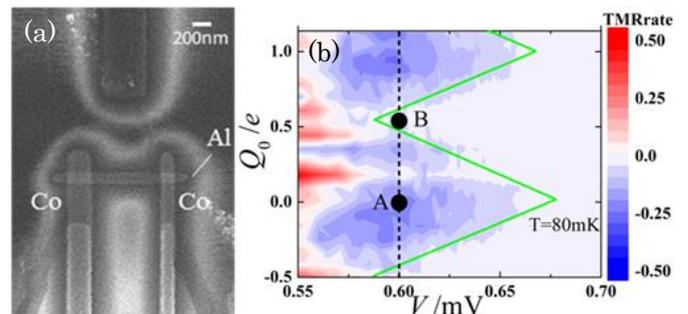


図 1.(a)Co/Al/Co-SET の SEM 写真.

(b)TMR 比の $V\text{-}Q_0$ 平面でのカラー・プロット

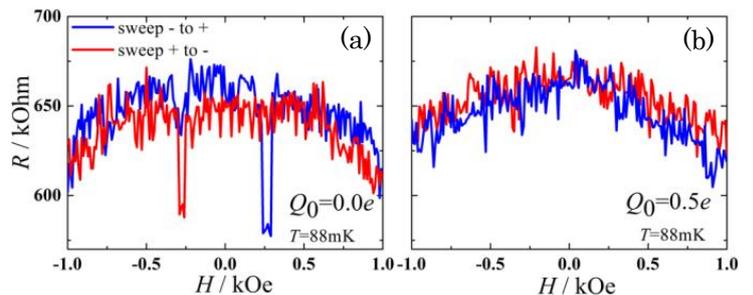


図 2. TMR のゲート変調

(a) $Q_0 = 0.0e$ ($V_g = 0.0 \text{ mV}$). (b) $Q_0 = 0.5e$ ($V_g = 5.8 \text{ mV}$).

参考文献

- [1] S. Takahashi, H. Imamura, and S. Maekawa, Phys. Rev. Lett. **82**, 3991 (1999).
- [2] H. Yang, S.-H. Yang, S. Takahashi, S. Maekawa, and S. S. P. Parkin, Nat. Mat. **9**, 586 (2010).
- [3] 小林竜介, 辻道尚貴, 島田宏, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-S2-11, 札幌, 2014 年 9 月.