

単層 Fe-MgF₂ グラニューラー薄膜単電子トランジスタにおける 等周期クーロン振動特性の解析

Analysis of periodic Coulomb oscillation characteristics of single-electron transistor
composed of Fe-MgF₂ single layered granular film

北大院情報 〇齋師 貴幸, 浅井 佑基, 福地 厚, 有田 正志, 高橋 庸夫

Graduate School of IST, Hokkaido Univ.

〇Takayuki Gyakushi, Yuki Asai, Atsushi Tsurumaki-Fukuchi, Masashi Arita, and Yasuo Takahashi

E-mail: gyakushi@eis.hokudai.ac.jp

単電子トランジスタ (Single-Electron Transistor: SET) は、低消費電力・高機能性が可能な将来の集積デバイスとして応用が期待されている。絶縁膜中に金属ナノドットが分散した構造を有するグラニューラー薄膜は、微小なトンネル接合を介してナノドットがネットワーク状に連結しており、自動的にドットアレイを作製でき、高機能性が期待できる。一連の測定結果から、我々はドットアレイが連続膜に変化するパーコレーション膜厚付近において、数百個以上のドットが連結しているにもかかわらず、等周期のクーロン振動が観測されることを見出した[1]。本報告では、Orthodox theory に基づいた解析[2]を行ったので、その詳細について議論する。

SiO₂(200 nm)/Si 基板上に長さ $L = 50 \sim 400$ nm のギャップをもつ Au/Cr 電極を作製し、その電極間に高真空 EB 蒸着を用いて、幅 $W = 600$ nm の MgF₂(45 nm)/Fe(Fe 膜厚: $t_{\text{Fe}} = 1.7 \sim 3.0$ nm) グラニューラー薄膜を成膜した。この上層に、SiO₂(300 nm)層を介して上層ゲート電極を形成し、 $T = 8$ K、ドレイン電圧 $V_D = 1$ mV として、ゲート電圧 V_G を変化させて電気特性を評価した。Fig. 1 に、パーコレーション膜厚付近($t_{\text{Fe}} = 2.4$ nm)にて観測したクーロン振動を示す。数百個以上のマルチドットが予測される中で、ほぼ等周期のクーロン振動が観測されている。

この現象は単一ドットを介した振動電流と、他の多数のドットを介した平均化されほぼ一定になった電流が流れていることで説明できる。すなわち、Fig. 2 の模式図に示すように、単電子島とほぼ連続金属で形成された SET が存在し、その周囲の多くのドットを介したトンネル電流も流れているという構図である。SET の振動電流部を、フェルミ分布関数を仮定した

$$I_D = I_0 + \sum_{i=1}^3 A_0 \cosh^{-2}(B_i(x - x_{ci}))$$

でフィッティングした結果を Fig. 1 に実線で示す。各振動ピークはよくフィットしており、単一の Fe ナノドットが振動電流を支配していることがわかる。単一ドットを仮定して帯電エネルギー E_C とドット粒径 d_{Fe} を見積もると、 $E_C = 10$ meV、 $d_{\text{Fe}} = 22$ nm となり、TEM 観察から得られた粒径と比べ妥当な値と考えられる。ここで、振動周期 T が一定であると仮定してフィッティングした結果を Fig. 1 に点線で示す。振動周期を詳細に解析すると、わずかに 10 % 程度、振動周期 T がずれていることがわかる。これは、Fig. 2 に示すように、単一ドットから離れたドットへの電子の帯電効果と考えられる。すなわち、他の電流パスの周辺にあるドットに、電子が 1 個トンネルしたことでシフトが生じたと考えられる。

[1] 浅井他、65 回応物秋季学術講演会#21a-221A-6(2018). [2] C. W. Beenakker, Phys. Rev. B 44, 1646 (1991).

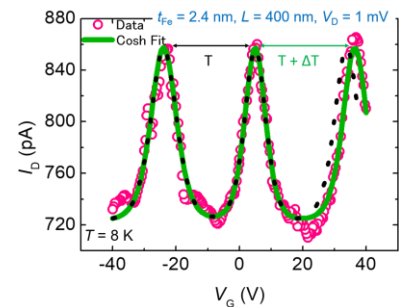


Fig. 1 Periodic oscillation fitted using the differential of Fermi-Dirac distribution function.

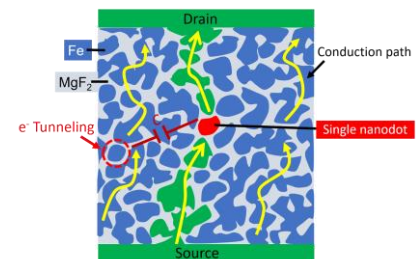


Fig. 2 Schematic of a sample where a periodic Coulomb oscillation was observed.