

サブミクロン Al 接合を用いた dc-SQUID の量子干渉パターンに見られる 古典的理論との差異

Quantum interference of dc-SQUID comprising submicron Al junction: Difference from classical theory

電通大院, °三浦晃司, 菊池健人, 島田宏, 水柿義直
Univ. of Electro-Comm., °K.Miura, K.Kikuchi, H.Shimada, Y.Mizugaki
E-mail: miura@w8-7f.ee.uec.ac.jp

はじめに: 微小ジョセフソン接合の臨界電流の大きさは量子ゆらぎの影響により $(E_J/E_C)^{1.5}$ に比例することが経験的に知られている[1]。我々の実験においてもサブミクロン Al 接合を用いた dc-SQUID の臨界電流の量子干渉パターンに古典的理論との差異が確認されている[2]。本研究では、ゼロ磁場での臨界電流の大きさに 1 桁程度の違いがある 3 つの素子 (Sample A~C) について量子干渉パターンを比較した。

実験方法: dc-SQUID の等価回路図を Fig.1(a)に示す。ループに直接的に制御電流を流すことで臨界電流の大きさを変調し、量子干渉パターンを測定する。素子の作製には電子線リソグラフィと斜め蒸着法を用いた。酸化条件、蒸着角度を変化させることで、臨界電流の最大値が異なる素子を作製した。Sample C の dc-SQUID 全体と接合部の電子顕微鏡像を Fig.1(b)に示す。測定には簡易型希釈冷凍機を使用し、素子を 100 mK 以下に冷却した。

結果: Fig.2 に Sample C の制御電流 I_{cont} に対する臨界電流の大きさ I_{Csq} の量子干渉パターンを示す。・印が実測値、実線が古典的理論より求めた量子干渉パターンである。古典的理論に比べ I_{Csq} が最大値から急速に減少している。

測定した量子干渉パターンより、縦軸を臨界電流の大きさ I_{Csq} 、横軸を式(1)より求めた古典的理論で得られる実効的な E_J (E_J^{eff})としたグラフを作成した(Fig.3)。

$$E_J^{\text{eff}} = E_{J\text{sq0}} \left| \cos \frac{\pi \phi}{\Phi_0} \right|, \quad \phi = 2LI_{\text{cont}} \quad (1)$$

ここで $E_{J\text{sq0}}$ は Ambegaokar-Baratoff の関係式を用いて算出した値である。実線が古典的理論から予測される結果であり、ゼロ磁場での臨界電流が大きい Sample A はこれに従う傾向が見られる。一方、Sample B と C については、古典的理論に比べ傾きが急であり、 E_J^{eff} の低下に対して I_{Csq} が急速に減少している。これらのことから、量子干渉パターンにも量子ゆらぎが影響している可能性がある。

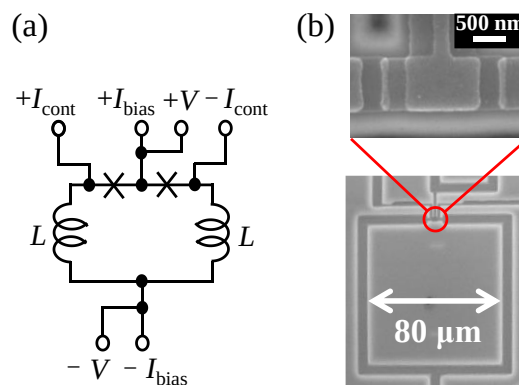


Fig.1 (a) Equivalent circuit of dc-SQUID used.
(b) SEM images of sample C.

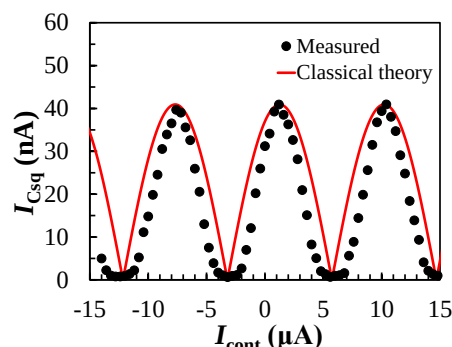


Fig.2 The quantum interference pattern of Sample C.

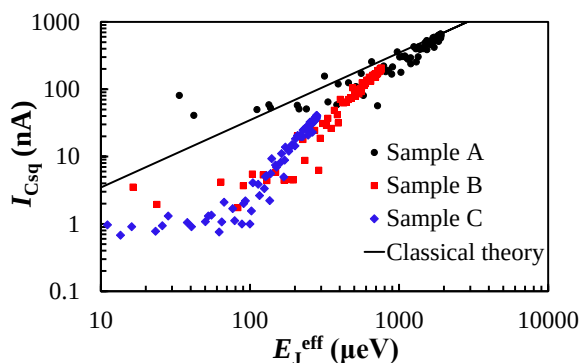


Fig.3 Dependence of the critical current I_{Csq} on the effective Josephson coupling energy E_J^{eff} .

参考文献

- [1] M. Tinkham, Josephson effect in low-capacitance tunnel junctions, in: H. Grabert, M.H. Devoret (Eds.), Single Charge Tunneling, Plenum Press, New York, 1992, pp. 139-166.
- [2] Y. Mizugaki *et al.*, Physica C 484 (2013) 206.