

微小 Josephson 接合における臨界電流の温度依存性

Temperature Dependence of Critical Current on Ultra-Small Josephson Junction

東理大¹, 筑波大², 物材機構 MANA³, [○]佐久間大輔¹, 須山聡大¹,

持永裕太¹, 田野佑典¹, 石黒亮輔¹, 野村晋太郎², 高柳英明^{1,3}

Tokyo Univ. of Science¹, Univ. of Tsukuba², NIMS-MANA³, [○]Daisuke Sakuma¹, Akihiro Suyama¹,

Mochinaga Yuta¹, Yusuke Tano¹, Ryosuke Ishiguro¹, Shintaro Nomura², Hideaki Takayanagi^{1,3}

E-mail: j1511614@ed.tus.ac.jp

Josephson 接合とは 2 つの超伝導体をごく薄い絶縁体等で結合させた接合で、Cooper 対が超伝導体間をトンネルする。この時流れる超伝導電流 I_s は超伝導体間の位相差 γ によって $I_s = I_c \sin \gamma$ という関係で表される。ここで I_c は Josephson 臨界電流で、その大きさはトンネル抵抗 R_n と超伝導ギャップ Δ によって $I_c R_n = (\pi \Delta / 2e) \tanh(\Delta / 2k_B T)$ という Ambegaokar-Baratoff の関係式で与えられる事が知られている。Josephson 接合のエネルギーは $E(\gamma) = -E_J \cos \gamma$ で与えられ、位相差 γ が 0 でエネルギー極小となる。 $E_J = (\hbar / 2e) I_c$ は Josephson 結合エネルギーと呼ばれる。

微小な Josephson 接合ではその電気容量 C に応じた帯電エネルギー $E_C = (2e)^2 / 2C$ が大きくなる。接合が小さくかつトンネル抵抗が大きい場合には $E_C > E_J$ となり、帯電エネルギーの影響が無視できなくなり Cooper 対のトンネルが抑制される。このような微小接合で、これまで Cooper 対箱、巨視的量子系における散逸の効果、超伝導量子ビット[1]や超伝導絶縁体転移[2]などの多彩な素子・現象が研究されてきた。我々は超伝導系と光系の量子的な結合を目論み、超伝導回路(SQUID)と光学的に活性な InAs 量子ドット中のスピンとの結合を目標とし研究を行っている。

今回は我々はこの目的の一環として、接合抵抗 R_n が $100\text{k}\Omega$ を超す超微小アルミトンネル型超伝導接合を作製し、この超微小接合で dc-SQUID を構成した。この超微小接合の容量は 3fF 程度で、 $E_J = 1\mu\text{eV}$, $E_C = 120\mu\text{eV}$ と見積もられ、 $E_C \gg E_J$ の条件を満たす。我々はこの dc-SQUID の電流電圧特性の磁場変化と温度変化を希釈冷凍機を用いて計測した。この SQUID ではゼロ磁場 20mK においても、超伝導-絶縁体転移を起こさず 600pA 程度の超伝導電流を観測した。臨界電流の大きさは磁場によって周期的な変調を受け、この周期は dc-SQUID のループを貫く量子化磁束に対応している。これは R_n が $100\text{k}\Omega$ という超微小接合においても超伝導のコヒーレンスが保たれていることを示している。電流電圧特性の温度変化からは超伝導ギャップは BCS に従う事が示されたが、臨界電流は Ambegaokar-Baratoff の関係と大きく異なったものになった。本発表ではこの特異な臨界電流の温度変化について、帯電エネルギー E_C による影響の観点から議論を行う。

[Reference]

[1] J. Clarke & F. K. Wilhelm, *Nature* **453**, 1031 (2008)

[2] R. Yagi, S. Kobayashi & Y. Ootuka, *JPSJ* **66**, 3722 (1997)

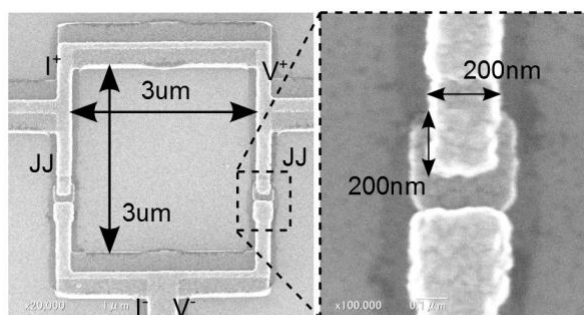


Figure: device design.

Left is a dc-SQUID. This loop size is $3\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$. Index of $I^\pm$ and $V^\pm$ are the measurement probe of current and voltage. And JJ is a Josephson junction. Right is the Josephson junction. The junction area is $200\text{nm} \times 200\text{nm}$.