

水柿研究室

電気通信大学 電気通信学部

電子工学科 マイクロエレクトロニクス講座

西8号館609室

Home Page: <http://fluxon.ee.uec.ac.jp/>

構成員: 水柿義直 (助教授)



量子1個を操る電子素子

研究の内容:

トンネリング現象、クーロン・ブロッケイド、超伝導現象、ジョセフソン効果などを利用して、「電子」や「磁束量子」を1個ずつ操作できる電子素子を実現します。

このパネルでは「単一磁束量子素子の研究」についてご紹介します。

超伝導現象

いくつかの金属や化合物は、ある温度以下に冷やすと「超伝導状態」となります。超伝導状態の特徴は、次の4点です。

- 永久電流 (電気抵抗ゼロ)
- マイスナー効果 (完全反磁性)
- 磁束の量子化
- ジョセフソン効果

材料	超伝導になる温度
アルミ (Al)	1.2 K (-272)
ニオブ (Nb)	9.2 K (-264)
窒化ニオブ (NbN)	16 K (-257)
二ほう化マグネシウム (MgB ₂)	39 K (-234)
Y系セラミック (YBaCuO)	90 K (-183)
Bi系セラミック (BiSrCaCuO)	107 K (-166)
Hg系セラミック (HgBaCaCuO)	135 K (-138)

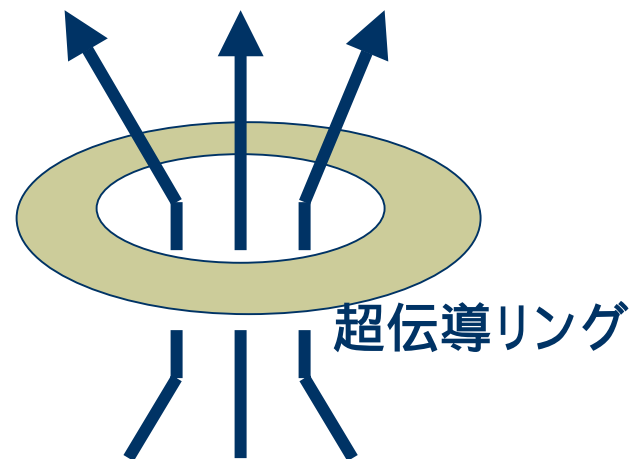
磁束の量子化

超伝導でリングを作ると、その中に入る磁束は磁束量子の整数倍に量子化されます。

永久電流と完全反磁性の効果により、リングに閉じ込められた磁束量子の数は、超伝導が壊れない限り変わることはありません。

$$n \times \Phi_0$$

(Φ_0 : 磁束量子
 $2.07 \times 10^{-15} \text{ Wb}$)



ジョセフソン効果

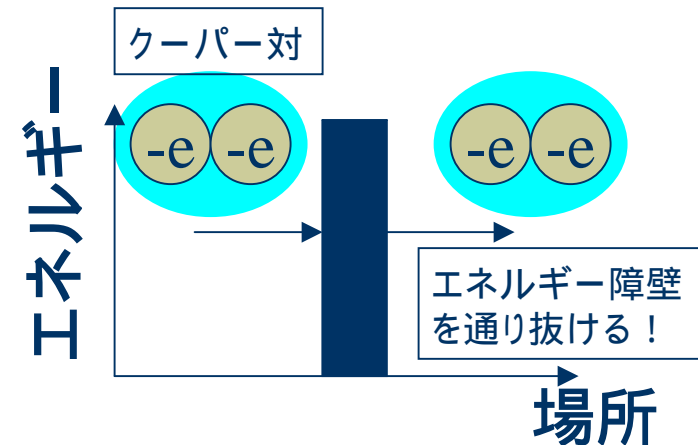
超伝導状態では、電子は「クーパー対」というペアを組んでいます。ジョセフソン効果はこのクーパー対のトンネリング現象です。

ジョセフソン接合においては

- DCジョセフソン効果
- ACジョセフソン効果

という2つの量子効果が発現します。

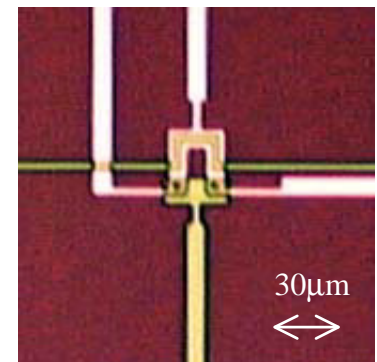
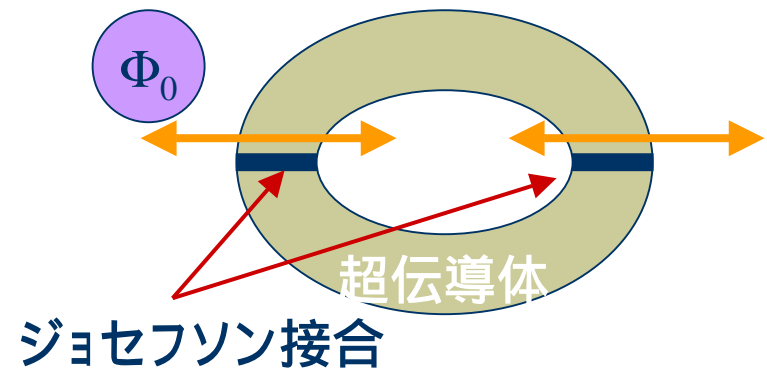
ジョセフソン接合



超伝導量子干渉素子 (SQUID)

超伝導リングにジョセフソン接合を挿入すると、そのジョセフソン接合を出入り口として磁束量子をリングに出し入れすることができます。このような素子を超伝導量子干渉素子(SQUID)と呼びます。

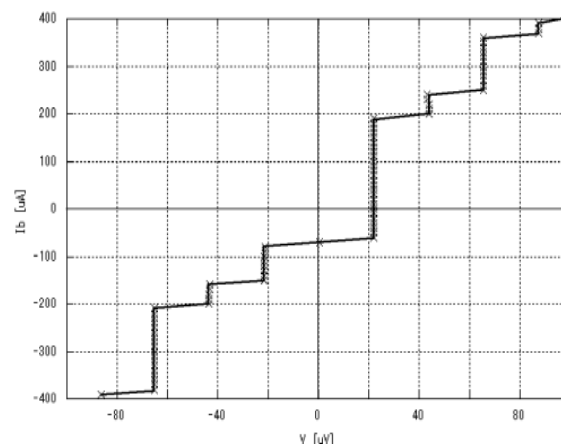
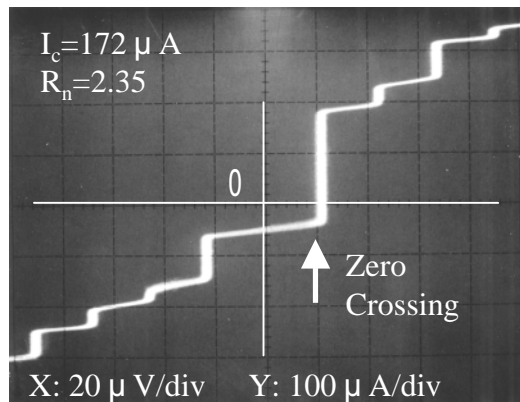
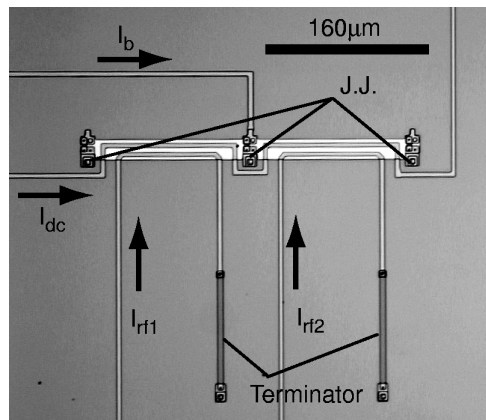
SQUIDは磁束量子の百万分の一の磁束を検出するほどの高感度な磁束センサとなります。



Nbで作製したSQUID
の顕微鏡写真

単一磁束量子ポンプ

SQUIDを組み合わせた単一磁束量子ポンプでは、零バイアス電流下においても外部信号に同期して磁束量子を1個ずつ伝搬させることができます。その結果、電流-電圧特性上に零バイアス電流軸を横切る定電圧のステップが発生します。



単一磁束量子ポンプの
顕微鏡写真

単一磁束量子ポンプの特性
(実験結果と数値計算結果)

単一磁束量子論理回路

超伝導ループ中の磁束量子の有無を“1”と“0”に対応させることで、デジタル演算を行うことができます。この方式は単一磁束量子論理回路と呼ばれ、小規模回路ではクロック周波数100GHz以上の動作が実現されています。

単一磁束量子論理回路
(2×2ビット乗算器)

