

学生番号	21676110	氏名	上田 天馬
論文題目	斜め磁場下のジョセフソン接合において形状が接合電流に与える影響		

1. 背景・研究目的

ジョセフソン接合において、接合電流の磁場依存性がフラウンホーファー型のパターンを示すことが広く知られている[1]。接合電流に関する研究として、平行磁場を印加する先行研究が数多く行われているが[2]、本研究では、平行・垂直磁場両方を印加する「斜め磁場」下でのジョセフソン接合の接合電流の振る舞いを調べる。ジョセフソン接合の中でも、十字型接合とオーバーラップ型接合の2つについて、任意の平行磁場、垂直磁場を印加し、臨界電流の磁場依存性と電流密度プロットを見ることで、ジョセフソン接合の形状が接合電流に与える影響を調べる。

2. 解析方法

十字型、オーバーラップ型の2つのジョセフソン接合についてゲージ不変な位相差 θ を導出し、 θ を含む式としてそれぞれの接合について電流密度と臨界電流の磁場依存性を導出し、可視化する。

3. 結果及び考察

接合面内の電流分布として Fig. 1 の密度プロットを得た。ここでは、一例としてオーバーラップ型接合のもののみを示している。電流密度は最大値で規格化されており、紫色が濃いほど1に、青色が濃いほど-1に近づく。なお、ここでは $L:W = 1:2$ で計算を行っている。

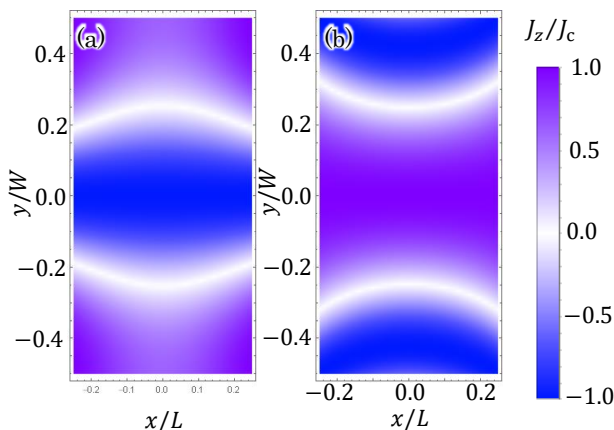


Fig. 1 Josephson current distribution for overlap-type junction for (a) $(\phi_x, \phi_z) = (0, 3)$ and (b) $(\phi_x, \phi_z) = (1, 3)$.

十字型接合とオーバーラップ型接合で、平行磁場の印加による効果に差異はないが、垂直磁場の印加

による効果が異なることがわかった。十字型接合では、垂直磁場が干渉を生じない一方、オーバーラップ型接合では電流分布より、正負の電流が打ち消し合うことで干渉が生じることがわかる。

次に、ジョセフソン電流の平行・垂直磁場依存性の等高線プロットを解析した。Fig. 2 はオーバーラップ型接合の例で、(a)重なり長さ $L = 0$ 、(b)重なり長さ $L = 1$ の場合である。ジョセフソン電流はその最大値により規格化されており、色が濃いほど値が小さい。

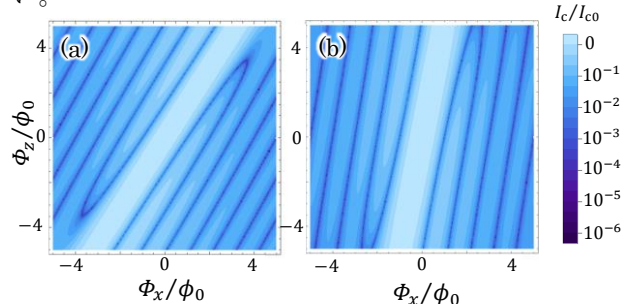


Fig.2 Magnetic field dependence of critical current for overlap-type junction for (a) $L = 0$ and (b) $L = 1$.

この結果は、重なり長さが増加すると、ジョセフソン電流の変化が垂直磁場の変化に鈍感になることを示している。なお、十字型接合については、 $|\phi_z|$ を増加すると干渉のない領域が広がっていくようなパターンが得られており、十字型接合では垂直磁場の印加によって干渉が現れないことと対応している。一方、オーバーラップ型接合では垂直磁場の印加により干渉が現れるといえ、このことは電流分布のプロットからも読み取ることができる。

研究業績

1. 上田天馬、小田部荘司、馬渡康則：第102回低温工学・超電導学会研究発表会 1B-a01
2. 上田天馬、小田部荘司、馬渡康則：第69回応用物理学会春季学術講演会 23p-D215-16
3. T. Ueda, E. S. Otabe, Y. Mawatari: The 35th International Symposium on Superconductivity (2022), ED5-3

参考文献

- [1] B. D. Josephson, Superconductors through Barriers, Ad. Phys. 14, 419 (1965).
- [2] A. Barone and G. Paterno, Physics and Applications of the Josephson Effect, Wiley, New York (1982).