



Title	Superconducting Proximity Effect in Cu Clad Nb Wires Doped with Magnetic Impurities
Author(s)	豊田, 晴久
Citation	大阪大学, 1992, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/37927">https://hdl.handle.net/11094/37927</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	とよ だ はる ひさ 豊 田 晴 久
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 0 2 8 7 号
学位授与年月日	平 成 4 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科 物理系専攻
学 位 論 文 名	Superconducting Proximity Effect in Cu Clad Nb Wires Doped with Magnetic Impurities (磁性不純物を含む銅クラッドニオブ線の超伝導近接効果)
論文審査委員	(主査) 教 授 朝山 邦輔 (副査) 教 授 天谷 喜一      教 授 冷水 佐壽      助教授 小野寺昭史

### 論 文 内 容 の 要 旨

超伝導にならない銅を電氣的に良好な状態で超伝導体ニオブと接触させるとニオブよりクーパー対が銅中に浸み出して銅が超伝導特性を示すという超伝導近接効果が知られている。またこれとは別に希薄な磁性不純物が金属中に含まれると近藤効果を示し超伝導体中に含まれるとクーパー対をこわして超伝導転移温度を下げるということが知られている。銅中に微量な磁性不純物を含む銅クラッドニオブ線の超伝導近接効果について近藤効果とのかねあいで最初に実験を試みた。

交流帯磁率法により銅クラッドニオブ線の銅中でマイスナー効果を示す領域の長さ ( $\rho$ ) を測定した。

近藤温度 ( $T_k$ ) が今回の測定温度領域より高い値を持つ Fe ( $T_k=10\text{ K}$ ), Co ( $T_k=10^3\text{ K}$ ), Ni ( $T_k=10^5\text{ K}$ ) を磁性不純物として含む銅については,  $\rho$  の温度依存性や磁場依存性はかって報告された純粋銅の結果とよく似た結果が得られた。このことから  $T_k$  より十分低温の領域では伝導電子と磁性不純物との間のスピン反転を伴う散乱の確率は温度の減少とともに比例して減少していき, 不純物は絶対零度で予想される非磁性の状態に近い状態であることがわかった。

近藤温度が 100 mK 以下と報告されている Mn を磁性不純物として含む銅については, Mn 不純物による伝導電子のスピン反転を伴う散乱の確率が Mn 不純物間の RKKY 相互作用により抑制されるといふ事を見つけた。この RKKY 相互作用は電子の平均自由行程に左右される。

Mn を磁性不純物として含む銅の電気抵抗を四端子法により測定した。近藤効果の典型的な抵抗最小値だけでなくより低温で抵抗最大値をも観測した。温度を減少させていった時の抵抗の増加の割合や抵抗最小値と最大値との差は Fe を磁性不純物として含む銅の場合の結果と比べると非常に小さくなっている。抵抗の温度依存性は Mn 不純物間の RKKY 相互作用と希薄な系の近藤効果との両者の競合の結果

果で理解できる。

Mn を磁性不純物として含む銅の試料について  $\rho$  の磁場依存性を測定すると、Fe, Co, Ni を磁性不純物として含む銅や純粋銅とは異なる結果が得られた。この結果から弱い磁場ではあるが、磁場が R K K Y 相互作用を弱めるように働くことがわかった。

## 論文審査の結果の要旨

超伝導体と電氣的に良好な状態で接触した常伝導体が超伝導性を示すことは超伝導近接効果として知られている。一方、常伝導体中に含まれる磁性不純物は Kondo 効果を示す。ここでは、銅とニオブの近接系を作り、銅に磁性不純物として、Mn, Fe, Co, Ni を混入して、Kondo 効果（伝導電子の散乱）によって、銅中でのクーパー対が破壊される効果について、初めての研究を行っている。実験では交流帯磁率を 40 mk まで測定して、マイスナー領域  $\rho$  の温度変化と磁場変化を測定した。

Kondo 温度  $T_k$  が、測定温度領域より高い Fe, Co, Ni 不純物については、クーパー対の破壊効果がほぼ温度  $T$  に比例している事が判った。この結果は、近藤効果を取り入れた Narikiyo と Fukuyama の理論計算と定性的に一致する。Kondo 温度  $T_k$  が低い Mn 不純物の場合は、クーパー対の対破壊効果がより顕著にあらわれた。しかも、この効果は試料の熱処理条件に敏感であることが判った。この結果は、Mn 不純物間の相互作用を取り入れることによって理解できると考えられる。すなわち、伝導電子の平均自由行路  $\ell$  に依存する Mn 不純物相互の R K K Y 相互作用によって、伝導電子の散乱がサプレスされるものと考えられる。

ニオブを近接しない微量の Mn を含む銅の電気抵抗も測定している。通常の Kondo 効果による抵抗極小の他に 100—500 mk の辺りで、抵抗極大が現れることを見出した。しかも、極大になる温度、抵抗の増加量が試料の熱処理条件に強く依存している。この結果も、 $\ell$  に依存する R K K Y 相互作用によって理解できると考えられる。

更に、マイスナー領域  $\rho$  の磁場変化についても測定し、Fe, Co, Ni では、異常は観測されないが、 $T_k$  の低い Mn 不純物を含む場合は、弱い磁場による、 $\rho$  の異常な減少があることを見出した。

以上の研究結果は、本来超伝導にならない、或いは転移温度の低い物質中での磁性不純物によるクーパー対の破壊効果についての初めての研究であり、基礎物性について新しい情報を得ただけでなく、新しい実験手段を確立したものであって、この分野の研究に貢献するところ大である。また、超伝導多芯細線の交流損失を解決する手段として、工学的応用面でも重要な結果を得ている。よって、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。