

氏 名	はね だ ひで き 羽 田 英 樹
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 1984 号
学位授与の日付	平 成 10 年 5 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	超 音 波 ・ 電 磁 波 変 換 に よ る 層 状 高 温 超 伝 導 体 の 磁 束 ピ ン ニ ン グ の 研 究

(主査)

論文調査委員 教授 石黒武彦 教授 水崎隆雄 助教授 池田隆介

論 文 内 容 の 要 旨

高温超伝導体等の第Ⅱ種超伝導体に磁場を加えた場合、磁束は量子化された形で超伝導体内部に侵入するが、結晶中の超伝導性の弱い部分に束縛（ピンニング）される。層状超伝導体では、超伝導面内におけるピンニングと共に超伝導層と非超伝導層が積層した層状構造に起因するピンニング（イントリンシックピンニングという）が重要となる。本研究では、高周波の磁束密度変動により誘起された磁束歪がピンニングを介して超伝導体に超音波を励起すること、およびこの逆現象が生じることを見出し、これに基づく新しい実験法、即ち超音波・電磁波相互変換法を開発して層状超伝導体に特徴的な異方的な磁束ピンニングについて調べている。本手法は、結晶方位に対する超音波の偏波方向と波数ベクトルを選ぶことで、結晶方位に関する特定のピンニングに着目してその性質を明らかにできることを特徴としている。又、ピンニングの強さが超音波と電磁波との間の変換強度に直接的に反映されることも長所となっている。

測定対象としては、バルク試料が得られるc軸配向 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 超伝導体（YBCO超伝導体）と、異方性の顕著な $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ 超伝導体（BSCCO超伝導体）を取り上げている。まず、層状構造に対する磁束密度の配置と音波モードの関係に着目してカットした3種類のYBCO超伝導体試料を用意し、磁束の結晶方向に対する向きと運動方向を変化させた場合の変換強度の磁束密度・温度依存性を系統的に明らかにしている。即ち、磁束構造を決定する磁束と超伝導面の間の方位関係と、超伝導面に対する磁束の運動方向によって、ピンニング特性は大きく異なることが期待されるが、これを実験により確かめている。また、磁束と結晶格子の結合についての基本方程式をもとに変換強度を実験データの解析に適した形で導いている。更に、変換強度のピンニング力の変化を評価し、層状構造に基づいた計算との比較を通してピンニングの異方的な性質を考察している。

BSCCO超伝導体の単結晶は薄板でしか手にできないが、本研究では本手法の特徴を活かして方位を特定し層状超伝導体特有のイントリンシックピンニングをとらえることに成功している。即ち、磁束が超伝導面にほぼ平行になる場合、Josephson磁束が形成されるが、超伝導面を横切る方向には強い拘束を受けることが基となって変換強度に中央にディップを持つ双峰ピーク構造が現れることを見出している。磁束が超伝導面と平行に近く、磁束が面間に強く束縛される場合、短い高周波侵入長のため変換が抑制されることがディップの原因となる。一方、磁場方向を層面に対して傾けることによりJosephson磁束は短く区切られるが、ピークの角度幅は、Josephson磁束が存在する角度限界に対応していることを示している。以上によりイントリンシックピンニングを直接的にとらえその性質を明らかにすることに成功している。

本論文ではイントリンシックピンニングの温度依存性についても明らかにしている。即ち、高温ではAbrikosov磁束芯の大きさが増大し、Josephson磁束の生じる角度範囲が減少するためピーク角度幅が減少すること、また、Josephson芯の重なり合う高磁束密度領域においては、イントリンシックピンニングは弱まることを明らかにしている。ドーピング量に変化しそれにつれて、試料の異方性が変化するが、それに伴うイントリンシックピンニング特性についても明らかにしている。

論文審査の結果の要旨

銅酸化物による高温超伝導体の実現は低温でしか手にすることが出来ないと考えられていた量子現象をより身近なものとし、物質科学の研究とそれをめぐる技術開発に新しい潮流を導くものとなった。その機構と特性をめぐる研究は物性物理学分野の重要な一分野を形成するに至っている。即ち、従来の金属電子論においては無視することが出来ていた電子間の相互作用を顕わに取り扱う理論体系の構築を求めるものとなっている。一方、層状構造を有し、低次元性が強調される銅酸化物超伝導体が磁場中におかれ磁束が導入されたとき、従来の超伝導体ではみられなかった磁束と超伝導体の係わりがみられる。本研究はこのような磁束と超伝導体の結合を調べる新しい手法として超音波・電磁波変換法を開発し、それを $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 超伝導体に適用し系統的研究によりその特徴を明らかにすると共に $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_7$ におけるJosephson磁束のイントリンシックピンニングを実験的にとらえその性質を明らかにしている。

従来、磁束と超伝導体の結晶格子の間の相互作用を調べるために超音波を用いた音速およびその減衰を測定する方法が用いられていた。しかし、この手法は測定値が磁束とその運動によってどのように変化するかを調べる手法であり、変化分からその特性を知るものであるため、良質の大型結晶を得るのが困難な銅酸化物超伝導体に適用するのは容易ではなかった。特に近年磁束状態について精力的な研究が進められているBi系超伝導体では単結晶は薄板状でしか得られない。これに対し超音波・電磁波相互変換法は変換信号の強度が直接的に変換強度を反映し、薄板状の結晶でその目的を達することができる。2次元性の著しいBi系超伝導体におけるイントリンシックピンニングがこのような本手法の特徴を活かして明らかにされている。

本研究で得られる磁束に関する知見は磁化率に関するものに関連づけられる。しかし、本研究でとりあげた手法は磁束と結晶格子の結合モードを特定しつつその特徴を明らかにできる点においてその物理的描像をよりの確に明らかに出来るという特長をもつ。これがJosephson磁束のイントリンシックピンニングの特性を明らかに出来たことにつながっている。

以上のように本研究は高温超伝導体における磁束と結晶格子の結合を明らかにするための独創的な手法を開発し、系統的研究によりその特徴を明らかにすると共に、磁束状態について高い関心を呼んでいるBi系超伝導体について手法の特徴を活かし重要な知見を得ている。よって本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。

なお、主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心としこれに関連した研究分野について試問した結果、合格と判定した。