

氏名(本籍)	山本和貴(山口県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博乙第832号
学位授与年月日	平成5年1月31日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
審査研究科	物理学研究科
学位論文題目	MAGNETIC RESPONSE OF SUPERCONDUCTORS IN TERMS OF HARMONIC SUSCEPTIBILITIES (交流帯磁率による超伝導体の磁氣的応答)
主査	筑波大学教授 理学博士 楢原良正
副査	筑波大学教授 理学博士 阿部聖仁
副査	筑波大学教授 理学博士 高山一
副査	筑波大学助教授 理学博士 小野田雅重

## 論文の要旨

超伝導体の磁氣的挙動は、超伝導現象の本質的な問題であり、基礎、応用両面で最も注目されている課題の一つである。本研究は、物理的形態の異なる同一超伝導物質の磁氣的応答を体系的に研究し、その起源を解明しようとしたものである。Y-Ba-Cu-O系酸化物超伝導体のバルク単結晶、焼結体及び単結晶薄膜という三種類の物理的形態の磁氣的応答を高調波成分を含めた交流帯磁率の温度変化を測定し、その実験結果を磁化ヒステリシスを記述するモデルに基づいた計算結果と比較解析する事により、各形態の磁氣的応答の起源について考察した。ここで、交流帯磁率の高調波成分は印加交流磁場による応答磁化をフーリエ級数展開したときのフーリエ係数であると定義している。

磁化ヒステリシスを記述するモデルはいくつか提案されているが、それらの代表的なものについて磁化を与える式を導出し、それをもとに交流帯磁率を計算した。

試料はバルク単結晶をフラックス法、焼結体を固相反応法、単結晶薄膜を活性化反応性同時蒸着法で作成し、X線回析で単相である事を確認した。

交流帯磁率の測定にはHartshorn bridgeを用いた。臨界温度以下でブリッジの2次コイルに誘起された電圧を2相ロックインアンプで検出することによりn次の高調波成分の実部、虚部を独立に測定した。

バルク単結晶の基本周波数成分は実部、虚部とも臨界温度で立ち上がり、実部は急激に減少してある一定値に漸近し、虚部は一つのシャープなピークを形成した。そのピークの温度領域で2次、

3次の高調波成分が観測された。これらの実験結果は  $B_0(0K) = 5 \text{ mT}$  とおいた Kim-Anderson モデルで説明できた。ここで  $B_0$  は一本の磁束量子の平均的な磁束密度と考えることが出来、これから London 侵入長を計算すると  $3600 \text{ \AA}$  になり、別の実験から求めた値と一致する。これらの結果よりバルク単結晶ではバルクピンングが超伝導体内部の磁束密度の分布を決定していることがわかった。

焼結体試料の基本成分の実部には二段階の転移がみられ、虚部は、その低温側の立ち上がり温度以下でピークを形成した。これは定性的には弱結合モデルで説明できると報告されている。しかし、高調波成分の測定結果は弱結合モデルで予想されるものとはまったく異なっていた。他のモデルで検討した結果、Kim-Anderson モデルにおいて  $B_0 \sim 1 \text{ mT}$  とした場合に、測定結果とよい一致を見た。この値はバルク単結晶の場合より小さく、焼結体では磁束量子のサイズが大きいことを示唆している。これは、磁束量子が粒界弱結部にピンングされているとすると説明でき、このことから焼結体においては粒界弱結合部におけるピンングが重要な役割を演じていると考えられる。弱結合モデルは、試料全体が弱結合を含む一つのループとして振舞うと仮定しており、磁束密度の分布を考慮していないため、測定結果を説明できないと考えられる。

単結晶薄膜の膜面に垂直に磁場を加えた場合の交流帯磁率の挙動は上のいずれとも大きく異なっていた。各成分は臨界温度で立ち上がり、温度が下がると共に、1次の実部はある一定値に、他の成分は複雑な温度変化を示しながら 0 に漸近した。表面バリアとバルクピンングを取り入れた modified Bean モデルに基づく計算結果が実験結果とよく一致した。バルク単結晶と大きく異なるのは表面バリアが重要な役割を演じている点である。この相違点は薄膜サンプルの場合、反磁場効果が無視できないことによるものであると考えられる。

以上の結果により同一材料においても物理的形態により磁氣的応答は大きく異なり、それはピンング機構の違いによるものであることが明らかになった。又、これらの一連の研究から交流帯磁率の高調波成分の測定が超伝導体の磁氣的挙動を調べる上で非常に有効な手段であることを示した。

## 審 査 の 要 旨

超伝導体の磁氣的挙動は超伝導現象の本質的問題であるにもかかわらず、未だ解決されていない課題も多い。試料の物理的形態の違いによる磁氣的応答もその一つである。本研究はこれを交流帯磁率の高調波成分を調べることによって体系的に研究しようとした新しい試みである。典型的な三種類の試料について磁氣的応答の違いを実験的に明らかにすると共に、その結果をモデル計算と比較検討することにより磁氣的応答の起源を考察している。本研究の結果より、これらの試料における磁氣的応答が基本的な点で解明されたと言える。解析に用いたモデルはすでに知られているものであるが、それらに基づいて、あらゆる場合にわたって磁化を記述する式を初めて導出した事は意義がある。又高調波成分を測定する事が超伝導体の磁氣的応答を研究する上ですぐれた方法である事を示した論文としても高く評価できる。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。