

審査の結果の要旨

論文提出者氏名

小川 亮

超伝導体は電気抵抗ゼロ，完全反磁性，ジョセフソン効果などの特異な性質から，量子ビット，超低消費電力高速コンピューターなどの次世代新技術の旗頭として，注目を集めている。特にごく最近では，超高压下ではあるが，ほぼ室温で超伝導性を示す物質が知られるようになり，その注目度はますます上がっている。これらの応用を考えるとときに重要な役割を果たすのが量子化された磁束（磁束量子）の挙動，特にそのダイナミクスである。ところが，その運動については，長きにわたり，多くの実験家・理論家が研究対象として激論を戦わせてきたにも関わらず，基本的なレベルでもよく理解されていない難問である。中でも，磁束量子が動いているときに受ける散逸は，磁束量子の中心部の電子状態と密接に関連しているはずなのであるが，これまでの実験からは，理論で理解されていない，余分の散逸があるのではないかという深刻な問題が提起されていた。

小川氏は，この謎の解明をすることを目的として，磁束量子が動いたときのホール効果（磁束フロー・ホール効果）を高周波で測定することをテーマとして研究を行い，論文を提出した。高周波での測定が必要な理由は，磁束量子のフロー効果を正しく測定するためには，磁束量子が受けるピン止めの影響除外する必要があるためである。

論文は，5章から構成されている。

第1章は序論であり，研究の背景（超伝導，磁束量子とその散逸に関するこれまでの実験的・理論的研究のレビュー），それに基づく，研究の目的が述べられている。

第2章は実験方法の記述である。本研究では，電気伝導度の高い物質に対して，マイクロ波を用いて，ホール効果を測定する必要があるが，そのような研究は前例がなく，解析手法そのものから開発しなければならなかった。それらについての記述，並びに，実験に用いた結晶作製，実験装置の作製とその詳細な紹介等が記述されている。具体的には，解析手法の構築に続き，実験装置の詳細が述べられている。低温（寒剤中）での測定を広い温度・磁場に対して行うために，従来，半導体を中心に主に室温で行われてきたマイクロ波ホール効果測定装置に備えられていた，各種の調整ネジ・ピン等の設置をあきらめ，代わりに，十字型の空洞共振器を用いるという基本方針のもと，実際の装置が製作された。解析式もこの装置に対して，導出されている。

第3章は実験結果の記述である。大きく分けて、2部に分かれ、第1部では、作製した装置で電気伝導度の高い物質のホール効果が正しく測定できるということを確かめるために、金属 Bi（ビスマス）のホール効果を本装置で測定し、あらかじめ測定しておいた同物質の直流でのホール効果の結果と比較した。結果として、0.1 程度のホール角の正接（tangent）の測定は正しくできていることが確かめられた。第2部が本研究の本題の、超伝導体の磁束フロー・ホール効果の実験結果である。物質としては、温度域が広くとれる銅酸化物高温超伝導体を選び、特に、実験パラメーター範囲の大部分が磁束液体状態である BSCCO 系（ビスマス系）と、対照的に、大部分が磁束固体状態である YBCO 系（イットリウム系）の2物質に対して測定を行った。結果は驚くべきものであり、ホール角の正接にして2～3という値が得られ、これは、これまで報告されてきた、同じくマイクロ波表面インピーダンス測定による実効粘性係数測定から得られていた、0.1-0.3 程度という値よりも一ケタ大きい値であった。また、BSCCO と YBCO では、磁束液体状態、磁束固体状態で非常に対照的なホール角の磁場依存性が得られた。

以上の結果を説明すべく、第4章では、簡単な現象論的モデルによる解釈とその限界などについての議論が行われている。結果的に、得られた結果をすっきり解釈できたわけではないが、このことは、同時に、従来の磁束フローに対する理論的理解に根源的な問題がある可能性を示唆するものである。

第5章は結論、全体の総括、並びに今後の展望が記述されている。

以上のように本論文は、これまで前例のない、電気伝導度の高い物質における寒剤中でのマイクロ波でのホール効果測定という、極めて挑戦的かつ困難な課題に対して、手法開発も含めて取り組みながら、超伝導体の磁束量子フローによるホール効果の低温における測定に初めて成功し、磁束量子フローに対する従前の理解に根本的な問題がある可能性を提起する、極めて重要な結果を得ることに成功した。

本論文における研究成果は、本研究科前田研究室に行われたものであるが、研究の主要な部分は申請者がほぼ独力で行ったものである。したがって、本論文は博士（学術）の学位請求論文として合格と認められる。