

審査の結果の要旨

氏名 渡辺 忠孝

本論文は、「超音波による超伝導ギャップ異方性の研究」と題し、超伝導ギャップ異方性の研究を行うための超音波測定技術の開発と、実際の異方的超伝導体への応用をまとめたものであり、全7章から構成されている。

第1章および第2章では研究の背景が述べられている。第1章ではまず、超伝導ギャップ異方性に伴って現れる特徴的な物性を紹介し、本研究で対象物質としたホウ炭化物超伝導体におけるギャップ異方性を裏付ける実験事実を紹介している。第2章では、超伝導体における超音波吸収の特徴および過去に行われた実験を紹介し、また本研究での実験結果の考察のために第6章で適用される理論モデルが紹介されている。また、第3章では本研究の目的が述べられている。

第4章、第5章、および第6章において、本研究において得られた3つの成果が述べられている。

第4章は、1つめの成果である高分解能超音波測定装置の開発に関する記述である。本研究では、超伝導ギャップ異方性の研究を行うために、パルスエコー法を用いた高分解能の超音波測定装置を設計、製作している。具体的には、高周波技術を駆使した超音波測定系の確立、および測定に用いるソフトウェアの作成を行っている。この測定装置では、パルスエコー法を用いてギャップ異方性の研究に要求される高い分解能での超音波吸収測定が可能となっている。また本研究の主旨とは異なるが、本測定装置では音速、すなわち弾性定数を位相比較法によって非常に高い分解能で測定することも可能となっている。本測定装置の温度および磁場制御は市販のクライオスタットによって精確に制御されている。温度は2Kまで冷却でき、9Tまでの磁場を発生することによって超伝導体を超伝導、常伝導いずれの状態でも測定することが可能である。

第5章では、2つめの成果である単結晶試料の育成、評価について述べられている。超音波吸収測定、とりわけ角度分解の超音波吸収測定では、大型の単結晶試料が必要である。本研究では対象物質であるホウ炭化物超伝導体 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の大型単結晶試料をフローティングゾーン法で育成している。 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ は、比熱の温度、磁場依存性および非磁性不純物効果から非常に異方的な超伝導ギャップをもつ s 波超伝導体であることが示唆されている。本研究で育成した単結晶試料は、超音波吸収以外の実験にも用いられた。東大物性研究所辛研究室との共同研究で行った光電子分光の実験では、比熱の実験結果から指摘されている非常に異方的な s 波の超伝導を示唆する実験結果が得られている。さらに、東大物性研究所松田研究室との共同研究で行った磁場下での熱伝導率の測定から、 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ における超伝導ギャップが[100]および[010]方向にポイントノードもつことを示唆する実験結果が得られている。

第6章では、本研究の3つめの成果、 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ における角度分解の超音波吸収の実験結果に

ついて述べられている。本研究では $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ について超音波吸収の温度依存性を縦波および横波のすべての弾性モードについて測定している。各々の弾性モードにおける超音波吸収の測定は、超伝導状態および磁場をかけて超伝導を壊した常伝導状態の両状態で行われ、その結果、等方的な超伝導ギャップに期待される指数関数的な温度依存性ではなく、異方的ギャップに期待される温度 T のべき乗に比例する温度依存性が観測された。さらに、測定した弾性モードがそれぞれ異方的なべき乗の温度依存性を示すことも確認され、 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ が非常に異方的な超伝導ギャップをもつことが実証された。特に縦波の弾性モードは顕著な異方性を示し、[100]方向の縦波モードにおいて、[110]および[001]方向の縦波モードに比べて顕著な準粒子励起が観測された。縦波および横波のすべての弾性モードについて、第2章で述べられた理論モデルとの比較考察を行った結果、第6章における超音波吸収の実験結果は、 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ において[100]および[010]方向にゼロギャップ、すなわちノードが存在することを示唆するものであることが確認された。これは熱伝導率から指摘されている[100]および[010]方向のポイントノードという超伝導ギャップ構造を支持するものである。この事実は、本研究で確立した超音波測定技術が超伝導ギャップ異方性の研究に有力な実験手法であることを実証したことを意味する。第5章における成果は、ホウ炭化物が s 波対称性をもちながら非常に異方的な超伝導ギャップをもつという新しいタイプの超伝導体であることを示唆しており、ホウ炭化物における超伝導とその周辺物性の理解という面でも大きく貢献するものである。

第7章では、以上の第4章、第5章、および第6章において述べられた研究成果についてのまとめが述べられている。

以上の本論文における研究成果から、超音波吸収が超伝導ギャップ構造の決定に非常に有効な実験手法であることが実証された。今後、本研究で確立された測定手法を適用することによって、多くの強相関電子系における超伝導ギャップ構造が決定され、異方的超伝導における超伝導発現のメカニズム解明に光明をもたらすことが期待できる。本論文は新たな超伝導ギャップ異方性の研究手法を提供するものであり、高く評価される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。