

氏名	中 井 宣 之		
授与した学位	博 士		
専攻分野の名称	理 学		
学位授与番号	博甲第2542号		
学位授与の日付	平成15年 3月25日		
学位授与の要件	自然科学研究科基盤生産システム科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)		
学位論文の題目	異方的超伝導体と多ギャップ超伝導体における渦糸格子構造の 理論研究		
論文審査委員	教授 町田 一成	教授 山崎 比登志	教授 原田 勲

#### 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では異方的超伝導体と多ギャップ超伝導体の渦糸格子構造について微視的理論に基づいて研究を行った。最初に異方的超伝導体の渦糸格子構造についての研究は次のことに注目して研究を行った。一般に超伝導体は結晶構造を反映したバンド構造の異方性をもつ。この場合、Fermi速度は等方的ではない。また銅酸化物高温超伝導体で $d$ 波の超伝導が実現していると考えられるように様々な超伝導体で異方的な超伝導ギャップ構造が示唆されている。このことをふまえて、本研究では渦糸格子構造を通じて、超伝導ギャップの異方性の有無を決められないか。また異方性が存在する場合、その異方性の構造はどのようになっているのか。超伝導の対称性は決められないか。これらに重点をおいて研究を行った。四回対称性の異方性をもつ超伝導体について注目した。四回対称性をもったFermi速度の異方性と超伝導ギャップの異方性を考慮し、準古典理論に基づいてEilenberger方程式を解いた。実験で観測される四種類の渦糸格子について自由エネルギーの比較を行い、安定性を調べて温度と磁場による渦糸格子相図を示した。この結果、超伝導ギャップの異方性とFermi速度の異方性は渦糸格子を通じて調べることが可能であることを示した。また、渦糸格子の形とFermi速度の異方性はゼロエネルギー状態の空間平均に殆ど影響しないことを示した。ゼロエネルギー状態の空間平均における磁場依存性に対して、超伝導ギャップの異方性だけが大きな影響を及ぼすことを示した。

多ギャップ超伝導体についての研究は $MgB_2$ を念頭において行った。2種類のバンドを考え、それぞれのFermi面で大きさの異なる超伝導ギャップが存在した場合の渦糸格子構造を調べた。

二次元拡張Hubbardモデルを用い、バンド間にクーパ対の跳び移りを仮定してBogoliubov-de Gennes方程式を解いた。電子比熱係数の磁場依存性の異常を説明し、熱伝導度の磁場依存性、走査トンネル顕微鏡で観測された渦糸像を説明できることを示した。

## 論文審査結果の要旨

申請論文は二つの部分からなる。前半は異方的超伝導体の渦糸格子構造について、後半は多ギャップ超伝導体のそれである。

超伝導体に磁場を印可すると渦糸が物体に侵入し、整列する。この渦糸格子構造を当論文では微視的な準古典理論に基づき、準粒子描像から理解しようと試みたものである。準古典理論における基礎方程式である Eilenberger 方程式を、数値計算を交えていろいろな物理的状況で解いた。超伝導ギャップに異方性がある場合、フェルミ速度に異方性がある場合、両者が同時に存在する場合の三者について各々の異方性が渦の周囲に誘起する準粒子構造に与える影響、その結果生じる安定な渦糸格子の配列について詳細に議論した。その結果、磁場と温度の平面で興味ある相図を導くことに成功した。そして格子配置の相図中での再帰的相転移の物理的原因を初めて明らかにした。上に掲げた二つの異方性の競合として豊富な相図が生み出されると結論し、最近の  $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$  の実験で観測された再帰的相転移の説明を与えた。

$\text{MgB}_2$  において典型的に見られる多ギャップ超伝導体の磁場中での振舞いを Bogoliubov-de Gennes 方程式解くことで明らかにした。超伝導を主として担っているバンドに形成されるギャップとマイナーバンドのギャップとは大きさが異なることは十分にあり得る。それに伴い渦糸格子構造も特異な振舞いを見せる。特に、電子比熱係数の磁場依存性の罫をこの描像に従って計算し、 $\text{MgB}_2$  の比熱と渦糸を直接観察した STM の実験結果をととも矛盾なく説明した。

以上のように、申請論文はこの分野に新たな知見を与えるものであり、博士論文としてふさわしいものであると判定する。