

論文審査の結果の要旨

氏名 劉 亮

本論文は鉄系高温超伝導体単結晶の電子輸送現象及び光電子分光スペクトルを詳細に測定し、磁気秩序状態においてのみ観測される特異な電子異方性を明らかにしたもので、全8章からなる。

第1章では本論文の構成が記述されている。

第2章の序論では、多岐にわたる鉄系超伝導体の物質群に共通する性質として、 $\text{FeAs}(\text{Se,Te})$ 面を基本とする層状の結晶構造、多重フェルミ面、反強磁性相と超伝導相の隣接、があげられる。本研究では、隣接する反強磁性金属相の理解を機構解明の最も重要なポイントと捉える。時に反強磁性 $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$ に観測された異常な異方的不純物散乱に注目し、これが鉄系超伝導体に普遍的な現象であるか、磁気秩序パターンとどのような関係にあるのか、などの問いを具体的問題意識とする。

第3章の実験方法では、普遍性を確認するため舞台として選択した $\text{Fe}(\text{Se,Te})$ および BaFe_2As_2 単結晶の育成方法と輸送現象の測定方法の詳細が述べられている。双晶を除くために、一軸性の圧力を印可する試料ホルダーが作製された。

第4章では $\text{Fe}(\text{Se,Te})$ 系の過剰 Fe, Se 置換, Cu 置換の試料について、X線回折、化学分析を行い、不純物の量が制御できていること、相図上の位置付けを確認された。

第5章では $\text{Fe}(\text{Se,Te})$ 系及びその不純物置換系の抵抗率の面内異方性の測定結果が述べられている。 $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$ と同様に、磁気秩序相において、低温の残留抵抗の部分に極めて大きな面内異方性が観測される。対照的に、温度に依存する非弾性散乱部分については顕著な異方性は観測されない。このことから、残留抵抗にのみ観測される異方性は、鉄系超伝導体の反強磁性相に普遍的に観測されることが強く示唆された。異方性の観測される軸は $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$ と比べると 45° ずれており、反強磁性ベクトルが 45° 回転していることと対応している。

第6章では Ru を不純物とする $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x)_2\text{As}_2$ の電気抵抗率の異方性測定結果が述べられている。残留抵抗のみに観測される異方性が同じように観測され、現象の普遍性が示された。不純物当たりの残量抵抗の大きさは、Ru の d 電子数が Fe と同じであることを反映して、Co 不純物に比べると小さい。一方で異方性の大きさそのものは、不純物の量、種類によらず一定であることが示された。この結果は、母体の電子状態の異方性決定への関与を強く示唆する。これら結果から、母体に内在する異方性を反映して、不純物周囲に空間的異方性を有する電子状態の異なる領域が形成され、異方的な散乱を引き起こす、と提案した。不純物誘起の局所的異方性が残留抵抗の強い異方性の起源との主張である。

第7章では双晶を除いた $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x)_2\text{As}_2$ の角度分解光電子分光の結果が提示されてい

る。反強磁性秩序相において、バンド分散に顕著な異方性は観測されず、不純物誘起の局所的異方性に起因する散乱の異方性が現象の本質であることと符合すると議論されている。

第 8 章では、 $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x)_2\text{As}_2$ の超伝導ギャップの異方性の測定結果が提示されている。鉄系超伝導体では多重フェルミ面の形状に応じて、ギャップの異方性は大きく変わる。 $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Ru}_x)_2\text{As}_2$ の場合は k_x - k_y 面内には顕著なギャップの異方性は観測されないが、 k_z 方向に大きな異方性が観測される。この結果から、Z 点付近に k_x - k_y 面に平行な円環状ノードが存在することが示唆された。

第 9 章では、以上の議論がまとめられている。

本論文は、鉄系高温超伝導体の反強磁性金属相に観測される顕著な異方性について、信頼性の高い電子輸送現象、角度分解光電子分光のデータを供し、その詳細な解析から不純物誘起の局所的異方性とも呼ぶ概念を提案した。超伝導相に隣接する秩序相に内在する異方性（一次元性）は、超伝導発現と密接に関連するとされている。異方性を体現する現象を見出しその微視的イメージを構築した本研究は、物性物理、とくに超伝導の物理、電子相関物理の発展に資するところ大である。

なお、本論文は内田慎一教授、永崎洋博士らとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究したものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断される。したがって、審査員全員により、博士（理学）を授与できると認める。