

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 石田 浩祐

本論文「Electronic nematicity and its quantum criticality in iron-based superconductors (鉄系超伝導体におけるネマティシティとその量子臨界性)」では、2種類の鉄系超伝導体において、結晶構造の4回回転対称性を破る量子液晶状態である電子ネマティック状態について、主にピエゾ素子を用いて歪みを制御した時の弾性抵抗測定という手法を用いて、その電子状態の異方性に関するネマティック感受率が、化学置換によりどのように変化するかについて論じている。

論文は8つの章から構成されており、第1章で序論として本論文の背景である非従来型超伝導体、量子臨界点、および電子ネマティック状態の説明と本論文の構成が簡単に述べられた後、第2章で本研究の対象である2種類の鉄系超伝導体、 BaFe_2As_2 系および FeSe 系についての基礎的物性、特に電子構造、超伝導状態、および先行研究で得られている電子相図について解説されている。第3章では実験手法として本研究で用いた研究手法である、ピエゾ素子を用いて歪みを導入した際の抵抗変化率の測定（弾性抵抗測定）からネマティック感受率を定量化する方法について詳細が記述されている。 FeSe 超伝導体の Se サイトを Te で一部置換した試料に関する測定結果については第4章および第5章で、 BaFe_2As_2 系の Ba サイトを Rb で置換した試料に関する測定結果については第6章および第7章で以下のように述べられている。

第4章では、ごく最近作製された鉄系超伝導体 $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$ の純良単結晶試料を用いた弾性抵抗測定から、ネマティック感受率の温度依存性を決定し、電子相図との比較を論じている。ネマティック感受率のキュリーワイス解析から、そのキュリーワイス温度が Te 置換とともに系統的に変化することを見出し、置換量40%付近で符号が反転することを明らかにした。キュリーワイス温度がゼロとなることは、感受率が絶対零度に向かって発散することを意味し、電子ネマティック量子臨界点の存在を実験的に明らかにしたものである。さらに、その量子臨界点付近を中心として、超伝導転移温度がドーム状に変化することから、量子臨界点付近で増大した量子液晶揺らぎが超伝導発現に寄与していることを示唆するものである。非従来型超伝導の発現機構は、スピン揺らぎをはじめ様々なものが提案されているが、量子液晶揺らぎを媒介とした超伝導の理論提案はあったものの、その実験的な証拠が得られたのは、これが初めてのことである。

第5章では、鉄系超伝導体 $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$ において、超伝導をパルス強磁場で破壊して、常伝導状態の物性を系統的に調べた結果について報告している。その結果、低温における電気抵抗率の温度依存性が、通常のフェルミ液体論で期待される温度の2乗に比例する振る舞いから逸脱する振る舞いを観測した。これは、量子液晶揺らぎと非フェルミ液体的な異常物性との関連について、新しい知見を得るものであると考えられる。

第6章では、今まで単結晶育成の報告がない $\text{Ba}_{1-x}\text{Rb}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ 系鉄系超伝導体の単結晶作製とその基礎物性測定について報告している。特に電気抵抗率の温度依存性の解析から、電子の有効質量が Rb 置換とともに大きく変化し、 Rb 全置換近傍で非常に重くなることを示唆する結果を得ており、この結果は置換とともにホールドープにより鉄の電子状態がハーフフィルドの $3d^5$ に近づき、モット絶縁体相に近づくことを裏付けるものである。

第7章では、 $\text{Ba}_{1-x}\text{Rb}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ 単結晶におけるネマティック感受率を $[100]$ 方向と $[110]$ 方向の

2種類の測定から、Rb 過剰置換領域で今までの Fe-Fe 方向とは 45 度異なる Fe-As 方向に向いた電子ネマティック状態が実現していることを報告している。さらに、電子相図を完成し、Fe-Fe 方向のネマティシティと Fe-As 方向のネマティシティが切り替わる領域では、等方的に量子液晶揺らぎが発達するという新しい現象を観測し、通常 Ising 型の量子液晶が現れる鉄系超伝導体において、今までにはない XY 型の量子液晶が実現可能であることを提案している。

第 8 章では、以上の結果をまとめ、今後の研究展開について述べている。

以上のように、本論文は、鉄系超伝導体のネマティック感受率測定から、非従来型超伝導の発現に電子ネマティック量子臨界点が寄与することを初めて実験的に示すとともに、新しい量子液晶状態の存在を報告するものである。なお、本研究は、東京大学の大西由吾元学部生、辻井優哉元大学院生、細井優元大学院生、邱明璋元大学院生、松浦康平元大学院生、向笠清隆大学院生、斎藤三樹彦大学院生、水上雄太助教、橋本颯一郎准教授、芝内孝禎教授、物性研究所の小濱芳允准教授のグループ、産業技術総合研究所の永崎洋首席研究員のグループ、カールスルーエ工科大学の Hilbert von Löhneysen 元ディレクタのグループ、ミネソタ大学の Rafael Fernandes 准教授らとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験、解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 1981 字