

鉄系超伝導体母物質の電子状態の研究

物性物理学およびその関連分野



研究者所属・職名：国際ナノアーキテククス拠点・グループリーダー

ふりがな てらしま たいち
氏名：寺嶋 太一

主な採択課題：

- [基盤研究\(C\)「鉄系超伝導体の相図と電子状態、超伝導状態」\(2017-2020\)](#)

分野：物性物理学、超伝導

キーワード：鉄系超伝導体、電子状態、量子振動、フェルミ面、ディラック電子

課題

●なぜこの研究をおこなったのか？（研究の背景・目的）

2008年に東工大細野教授らが発見した鉄系超伝導体は、銅酸化物超伝導体に次ぐ高温超伝導体として注目を集めている。これまでにいくつかの「母物質」が発見され、母物質の元素を一部置換することで超伝導が発現する。そのため超伝導機構の解明には、母物質の電子状態の理解が重要である。そこで、1111型母物質CaFeAsFの電子状態を量子振動測定により実験的に研究し、世界で初めてそのフェルミ面を決定した。

●研究するにあたっての苦労や工夫（研究の手法）

細野教授らが当初発見した1111型母物質LaFeAsOは測定に必要な高品質結晶作製が難しい。そのため、中国の共同研究グループの作成した別の種類の1111型母物質CaFeAsFを測定に用いた。量子振動の測定には強磁場と超低温が必要であるが、物質・材料研究機構の20テスラ超伝導磁石・希釈冷凍機を主として用いた（図1）。米国の国立強磁場研究所においても追加的な測定を行った。理論計算は立命館大学の共同研究グループが行った。

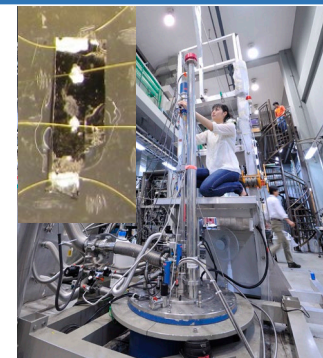


図1 20テスラ超伝導磁石・希釈冷凍機（左上）電気抵抗測定用にリード線を取り付けた試料。全長約1ミリ。

鉄系超伝導体母物質の電子状態の研究

物性物理学およびその関連分野

研究成果

●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

フェルミ面は、金属の電子状態の最も基礎となるものであり、金属の顔とも呼ばれる。フェルミ面は運動量空間において、電子がいる場所といない場所を分ける面と定義され、極めて抽象的であるが、実験で観測できる。本研究で用いた実験手法は量子振動測定である。これは金属の電気抵抗、磁化などが超低温、強磁場中で磁場の関数として振動する現象である（図2）。この振動を解析することにより、磁場に垂直なフェルミ面の断面の大きさがわかる。様々な方向に磁場をかけて測定を行い、バンド計算と呼ばれる理論計算と比較することによりフェルミ面が決定できる。そのようにして決定したCaFeAsFのフェルミ面を図3に示す。フェルミ面はホール的なフェルミ面（赤）と電子的なフェルミ面（緑）からなり、いずれも筒状の形状である。フェルミ面の体積から電気伝導を担うキャリアの数が求められる。通常の金属では金属原子1ヶにつき1ヶ程度のキャリアが存在するが、CaFeAsFの場合、鉄原子1ヶにつき0.001ヶのキャリアしか存在しない。更に、量子振動の位相の解析から電子的なフェルミ面は、ディラック電子と呼ばれる特殊なタイプの電子によるものであることがわかった。これらの発見は、鉄系超伝導体の電子状態のトポロジカルな性質のため、母物質の低温での状態がノーダルスピ密度波と呼ばれる特異な状態であるとする理論的予想と整合する。

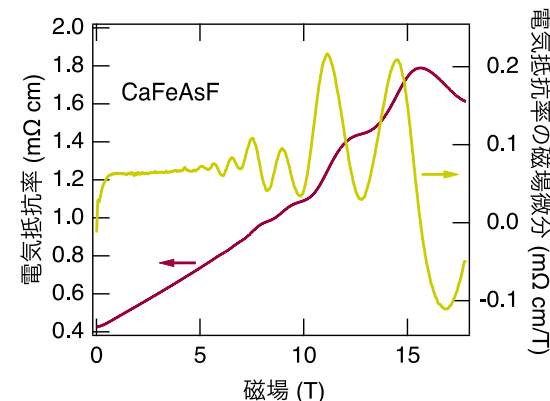


図2 CaFeAsFの磁場中での電気抵抗とその磁場微分。電気抵抗が約5 Tより高磁場で上下にうねっているのが量子振動（赤色のライン）。微分では振動がよりはっきりと見える（黄色のライン）。測定温度は絶対温度0.03 K。

今後の展望

●今後の展望・期待される効果

量子振動は1930年にビスマスの電気抵抗、磁化において始めて観測された。理論的な理解が進み、フェルミ面の決定に使えるようになったのは1950年代である。発見からそろそろ1世紀が経とうとしている実験手法だが、未だに最先端の物質の電子状態の研究に不可欠である。今回発見したディラック電子のような特殊な電子を有する物質をトポロジカル物質といい、近年非常に盛んに研究されている。今後も、量子振動測定により様々なトポロジカル物質の電子状態を明らかにしていきたい。

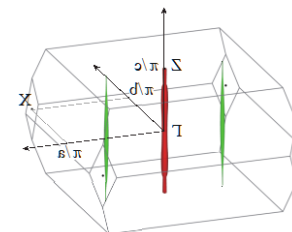


図3 CaFeAsFのフェルミ面。赤色のホール面と緑色の電子面からなる。