

鉄系超伝導体 FeSe が示す特異な高圧下電子状態相図

東京大学大学院新領域創成科学研究科 物質系専攻 松浦 康平、芝内 孝禎
中国科学院 物理研究所 程 金光
物性研究所 物質設計評価施設 上床 美也

はじめに

鉄系高温超伝導体が発見されて以来、その超伝導発現機構の解明に向けて様々な研究がおこなわれてきた[1]。特に、超伝導相近傍に反強磁性相および直方晶歪を伴う電子ネマティック相が存在することから、磁気揺らぎや軌道揺らぎなどの複数の発現機構が提唱されており、それらの量子揺らぎの協奏の効果など新しい物理が模索されている。

鉄系超伝導体の中でも最も単純な結晶構造を有する FeSe は $T_c = 9$ K の転移温度を持つ超伝導体であり[2]、非磁性のネマティック秩序を持つことや薄膜化での高温超伝導出現、さらには BCS-BEC クロスオーバーの可能性など様々な特異な物性を持つことから、最近非常に注目されている[3]。この FeSe は、高圧力下において超伝導転移温度が 4 倍以上上昇し、38 K に達するという異常な振る舞い示すことが早くから知られていたが[4]、その起源については大きな謎となっていた。その後、 μ SR 測定により圧力誘起の磁気秩序が存在することが明らかとなった[5]。さらに、最近の単結晶の純良化により電気抵抗測定による磁気転移温度 T_m の測定が可能になった[6]。我々は、キュービックアンビルセルを用いた 10 GPa 級の高圧下輸送現象特性の測定を行い、その圧力下電子相図の詳細を明らかにした[7,8]。その結果、圧力誘起磁性相がドーム状の特殊な形状をしており、6 GPa 以上で磁性相が抑制されるとともに超伝導転移温度が急激に上昇することを明らかにした。さらにホール係数および磁気抵抗測定により、高温超伝導相では反強磁性揺らぎが増大していることを示唆する結果を得ている。これらの結果は、銅酸化物高温超伝導体の電子相図との共通性が見られ、高温超伝導の起源の解明への、重要な糸口になると考えられる。

実験結果

FeSe の純良単結晶試料を用いた電気抵抗率の圧力下温度依存性測定から電子ネマティック転移に相当する正方晶-直方晶構造転移温度 T_s 、超伝導転移温度 T_c 、磁気相転移温度 T_m を観測し、それらの圧力依存性を調べた結果より、

図 1 の圧力下電子相図を完成させた。低圧側の測定についてはピストンシリンダー型圧力セルを用い、高圧側では定荷重式キュービックアンビルセルおよびクランプ式キュービックアンビルセルを用いたが、すべての測定で定量的にコンシステントな結果を得ている。常圧で 90 K 程度であった T_s は圧力により急激に減少し、消失する前に磁気秩序相が出現する。圧力上昇とともに磁気相転移温度 T_m は上昇し、4 GPa 程度でブロードなピークを示した後減少に転じ、6 GP 以上で磁気秩序が抑制されるとともに超伝導転移温度 T_c が急激に増大するという結果が得られた。

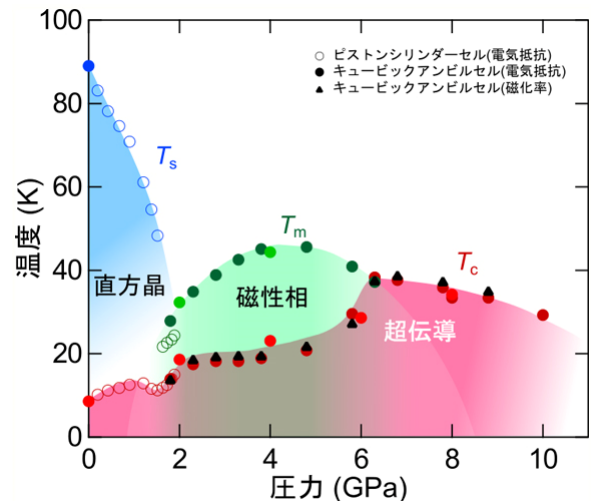


図 1 本研究により決定した FeSe の圧力下電子相図[7]。構造相転移温度 T_s 以下では直方晶で面内異方性が大きな電子ネマティック相が実現していると考えられている。圧力誘起の磁気秩序が T_m 以下で現れ、高圧で磁性相が抑制される場所で高温超伝導が実現している。

ドーム状の磁気秩序相の最高 $T_m \sim 45$ K は高温超伝導相の $T_c \sim 38$ K と同程度であり、エネルギースケールの近い磁気秩序と超伝導が競合しているという非常に特徴的な電子相図となっている。このような電子相図は、電荷秩序(電荷密度波)相と超伝導相が同程度のエネルギースケールで競合している銅酸化物高温超伝導体の電子相図との一種の共通性があると考えられる。さらに、FeSe の高圧下高温超伝導相では、電気抵抗率の温度依存性が温度にほぼ比例

