

最も単純な構造の鉄系超伝導体の超伝導相図の全体像を解明

-FeSe_{0.5}Te_{0.5}における圧力誘起超伝導-金属転移-

<概要>

東北大学原子分子材料科学高等研究機構の堀金和正助手と山田和芳教授、産業総合研究所の李哲虎主任研究員、竹下直主任研究員らの研究グループは、最もシンプルな鉄系高温超伝導体において初めて圧力印加により超伝導相から金属相への全体像を明らかにしました。

本研究成果は日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の2009年6月号に、Editors' Choice の論文として掲載されます。

<背景>

東工大、細野グループによる LaFeAs(O_{1-x}F_x)における高温超伝導の発見以来、多くの関連物質が合成され、現在その転移温度 T_c は SmFeAs(O_{1-x}F_x)などで 55K まで達しています。鉄系超伝導体は銅酸化物超伝導体に次ぐ高い T_c を示す系となり、その超伝導メカニズムが注目されてきました。メカニズムを解明するには様々な手法がありますが、よりシンプルな構造をもつ物質で研究を行うことにより問題を明確かつ単純化できると期待されます。鉄系超伝導体では FeSe 系と呼ばれる物質群が最もシンプルな結晶構造を持つものです。図 1-(a)に示すようにその結晶構造は Fe と Se が 2 次元的なネットワークを組んで、それが積層しただけの非常に単純な構造です(RFeAsO系では各 FeSe 層の間に RO 層が挟まれます; R=La, Sm など)。また、FeSe 系は鉄系超伝導体の中で最も圧力に敏感に反応し、超伝導転移温度 (T_c) が圧力に対して劇的に変化することがわかっており、このことから、『より高い T_c をもつ物質の開発』や『超伝導メカニズム (特に構造と超伝導との関係) を解明』する候補物質として注目されはじめています。しかし、FeSe は純良な試料を作成することが難しい点や、圧力を印加することにより結晶構造自体が変化してしまう点、さらに、超伝導現象で最も重要である電気抵抗が完全にゼロになることをこれまでの高圧力下の実験で観測できていないという問題点がありました。

<研究の内容>

東北大学グループは鉄系超伝導体 FeSe の Se を Te で 50%置き換えた FeSe_{0.5}Te_{0.5}を用いることにより結晶構造変化を抑え、FeSe 系で初めて圧力印加により超伝導相から金属相への全体像を明らかにしました。さらに、キュービクアンビル高圧装置^{注1)}を用いた測定により圧力をより高精度に制御し、ゼロ抵抗が確認できるデータを得ることに成功しました。本研究で得られた圧力下における電気抵抗率の温度依存性を図 1-(b)に示します。圧力印加に伴い T_c は上昇し、 $P=2\text{GPa}$ において T_c (より正確には高温から温度を下げてきたとき電気抵抗が急激に減少し始める温度 T_c^{onset}) が 26K の超伝導体であることが分かりました。また、バルクな超伝導が発現しゼロ抵抗を示し始める温度 T_c^{offset} も 21.5K と観測され、現在のところ

る最も高い T_c^{offset} が実現しています。 T_c^{offset} は 10GPa 程度で消失し、14GPa では通常の金属的な振舞いが観測されますが、超伝導の転移幅($=T_c^{\text{onset}} - T_c^{\text{offset}}$)が一定に推移することから、圧力印加に伴う構造転移を抑えていることが分かります。この結果を FeSe における圧力-温度相図と比較した図 2 から、FeSe と FeSe_{0.5}Te_{0.5} の T_c はドーム型の実線に非常に良い一致を示すことが分かりました。このことから、今回の FeSe_{0.5}Te_{0.5} の結果は FeSe で明らかにされてこなかった高圧力側の振舞いを上手く補間しており、最もシンプルな鉄系超伝導体において初めて超伝導相の全体像が明らかになりました。

<今後の展望>

本研究は、最もシンプルな構造をもつ鉄系超伝導物質系で超伝導相の全体像を明らかにし、かつ超伝導の前駆状態を知る上で重要である金属相までを高圧下でカバーするなど、FeSe 系で系統的な研究ができる場を初めて提供したのものとして多くの研究者から注目を集めています。今後、銅酸化物超伝導体と鉄系超伝導体の金属相の相違点や超伝導転移温度と様々なパラメータとの関係を系統的に調べることで鉄系超伝導体の発現メカニズムが明らかになっていくものと期待されます。

本成果は、「新規材料による高温超伝導基盤技術(TRIP)」(研究総括:福山秀敏)、新学術領域研究(20102005) 重い電子系の形成と秩序化 (研究代表者: 上田和夫)、**基盤研究 B (19340090)** 量子ビーム分光の相補利用による強相関電子系の低エネルギー電荷応答の研究(研究代表: 山田和芳)、**特別推進研究(17001001)** 4次元空間中間子探査装置の開発と酸化物高温超伝導機構の解明 (研究代表: 新井正敏 (原子力機構))によって得られました。

<用語解説>

注1) キュービックアンビル高圧装置

立方体ガスケットの 6 面を等方的に加圧することによって、超高压の静水圧を発生させることのできる装置です。広い試料空間と高い静水圧性を持つため、質の高い測定データを得ることができる。

<お問い合わせ>

堀金 和正 助手

東北大学 原子分子材料科学高等研究機構

Tel: 022-215-2037

E-mail:khorigane@imr.tohoku.ac.jp

山田 和芳 教授

東北大学 原子分子材料科学高等研究機構

Tel:022-215-2037

E-mail: kyamada@imr.tohoku.ac.jp

<参考図>

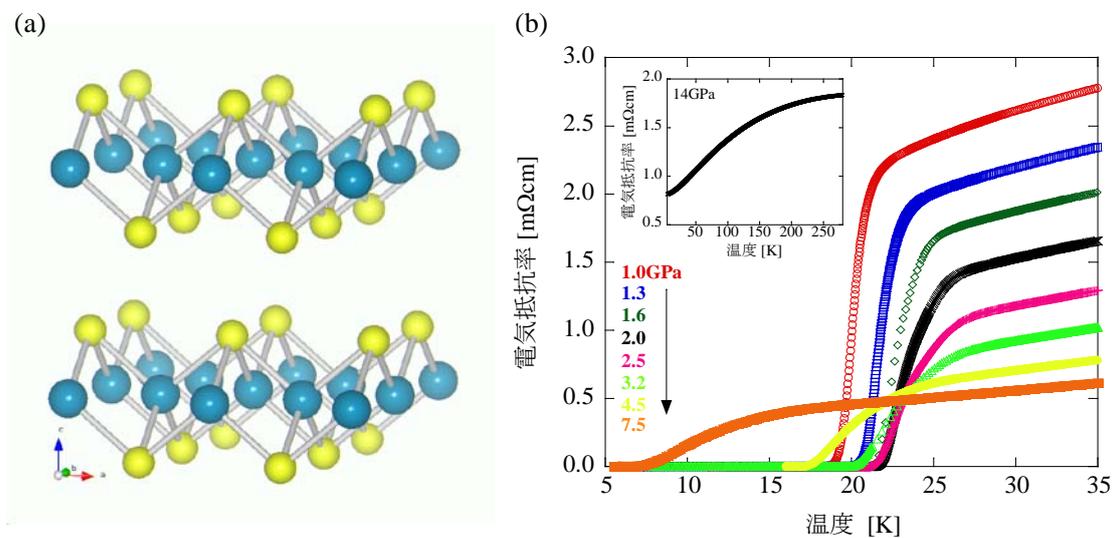


図 1 : (a)FeSe の結晶構造。青色が Fe 原子、黄色が Se 原子に対応する。超伝導を担う FeSe 層が積層した最も単純な構造をもつ。(b)圧力下における FeSe_{0.5}Te_{0.5} の電気抵抗率の温度依存性。圧力 $P=2\text{GPa}$ (1GPa は約 1 万気圧) において超伝導転移温度 T_c が 26K まで上昇する。挿入図は $P=14\text{GPa}$ における金属相。

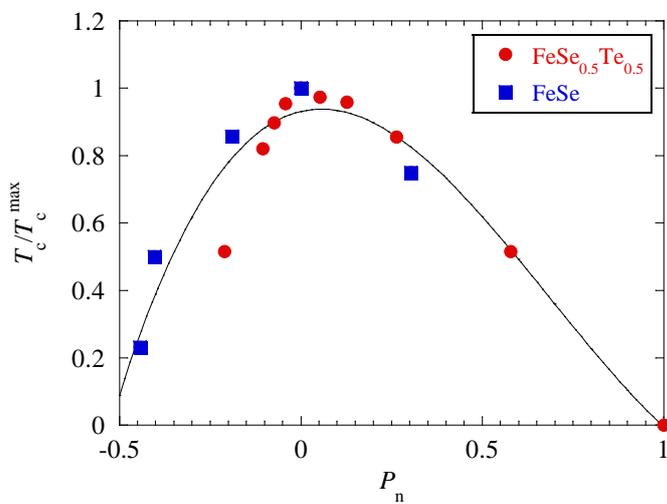


図 2 : FeSe_{0.5}Te_{0.5} および FeSe の圧力-温度相図。規格化した圧力 P_n は 0 および 1 でそれぞれ T_c が最大値をとる圧力と消失する圧力に対応する。