

論文審査の結果の要旨

氏名 中西剛司

本研究は、新たに開発した低温用圧力発生装置を用いて、2本足梯子（スピン）系物質 $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ ($x=12$) において発現する圧力誘起超伝導状態について、詳細な磁氣的・電氣的測定を行い、その特徴的な物性を明らかにしたものである。

本論文は全体で6章からなり、まず第1章序論では2本足梯子系の超伝導研究の意義として、スピン相関によって超伝導が引き起こされること、構造的に梯子の本数を無限にしたものが2次元的な CuO_2 面を持つ高温超伝導体に対応すること、スピンギャップ程度の超伝導転移点（室温）を持つ可能性が示唆されていることが挙げられている。しかし、この物質の超伝導状態は低温高圧力下でのみで発現するため、これまで主として実験技術的問題により詳細な物性測定が行われていなかった。

第2章では、これらの実験技術的問題を克服するために開発した低温用高圧力装置について述べてある。到達目標を圧力3 GPa以上、温度1 K程度とし、さらに既存の希釈冷凍機や20 T超伝導マグネットに装着可能な小型で、このような三重極限状態で帯磁率・電気抵抗が測定できる装置とした。そのために、従来のピストン・シリンダー型ではなく、ブリッジマン・アンビル型を採用し、最適設計を行い、CuBe製の高圧力セルを作製するとともに、圧力較正を行った。また、四端子法によるリード線の導入にも各種の工夫をこらして、圧力6 GPa、温度120 mK、磁場20 Tという多重極限での実験を可能にしたのみでなく、常圧条件下と変わらない質の高いデータを取ることに成功している。これは世界的にも極めてユニークで、汎用性のある低温高圧力装置である。

第3章では、開発した低温用高圧力装置を、既存の各種クライオスタットやマグネットに挿入して実験する際の手順、制御法について記述しており、各々の場合の到達領域を実験的に求めている。さらに、本研究で使用した試料につ

いて述べてある。試料は他のグループによって作製された $x=12$ の $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ 単結晶であるが、それを本研究目的に応じて加工し、極めて高い技術を要する微小領域での電極接着やコイル装着などを行っている。なお、この 2 本足梯子系 $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ においては、 $x=10$ 以上の組成のものが、3 GPa 以上で超伝導を示すが、その圧力-温度相図上で $dT_c/dP > 0, = 0, < 0$ の 3 つの領域があること、すなわち超伝導転移温度 T_c が圧力に対してベル型に変化する特徴を示す。これは高温超伝導体のアンダードープ、最適領域、オーバードープ領域に類似しているため、 $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ では純粋に圧力のみで電子状態を制御できる可能性を強調している。

第 4 章では、交流帯磁率測定による上部臨界磁場の予備的な測定結果を紹介している。まず反強磁性シグナルの観測から、圧力 $P=4.0$ GPa のとき $T_c=5$ K で超伝導転移すること、そして最適領域では $T_c=6.4$ K, $P=4.8$ GPa であることを見出した。その後、磁場を a, b, c 軸それぞれの方向に印加し、上部臨界磁場 H_{c2} を測定したが、大きな異方性を示すこと、温度に対して非線形に変化する (BCS 的でない) ことをこのような予備的測定から見出した。

しかし、これらの実験条件では $T/T_c > 0.3$ 程度であるため、より低温での測定を希釈冷凍機を用いて行い、その結果を第 5 章に述べてある。ここでは到達温度 120 mK、圧力 5.7 GPa まで、磁場 20 T (a 軸)、7 T (b, c 軸) の条件下で、四端子法による電気抵抗の精密測定を行った。その結果、3.0 GPa では約 200 mK まで絶縁体的であり、3.5 GPa では $T_c=5$ K の超伝導転移を示すことから、圧力誘起絶縁体-超伝導転移が起こっていることを直接観測する一方、3.5 GPa において T_c の梯子格子面に垂直方向の磁場依存性を測定し、磁場誘起超伝導-絶縁体転移を観測した。また、電気抵抗の磁場依存性から求めた上部臨界磁場 H_{c2} は、通常の BCS 超伝導体と異なり、 $T/T_c \approx 0.03$ の低温まで飽和することなく下に凸の曲線を描いて上昇することを見出した。この観測結果は、 CuO_2 面を持つ高温超伝導体のそれと類似しているため、共通の起源であろうと推測している。また、電気抵抗の著しい結晶方位依存性が観測され、ある特定方向の強い超伝導相関を示唆する結果を得ている。

最終の第6章は、全体のまとめに当てられ、本研究で明らかになった事項と、今後の発展の見通しが述べられている。

以上、本論文は、新たに開発した低温用圧力発生装置を用いて、2本足梯子（スピン）系物質 $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ ($x=12$) において発現する圧力誘起超伝導状態について、三重極限（高圧、低温、強磁場）条件下での詳細な磁氣的・電氣的測定を初めて行い、その特徴的な物性を明らかにした。

なお、本論文の第2，5章の一部は、毛利信男、竹下直、三田村裕幸、高橋博樹4氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験及び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。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。