

153K でゼロ抵抗をともなう超伝導状態を達成

ライデン大学の Kamerlingh Onnes が自らの手で作った液体ヘリウムを使って水銀の電気抵抗率測定を行い、超伝導現象を発見したのは 1911 年のことである。以来 100 年間以上、物性物理の世界において最も劇的な現象の一つとして多くの研究者の興味を惹きつけてきた。また、超伝導はゼロ抵抗や完全反磁性、ジョセフソン効果に代表されるユニークな性質を示すことから、基礎的な研究だけではなく、エネルギー、輸送、医療、情報通信等、幅広い分野で応用にむけた研究が行われている。この中で、超伝導転移温度 T_c の向上は、その応用範囲を広げることに直結するため、研究上の大きな目標とされている。銅酸化物高温超伝導体は 1986 年に発見され、それまでの T_c を一気に窒素温度以上にまで引き上げ、社会に大きなインパクトを与えた。一方、現在常圧において最も高い T_c を持つ物質は 1993 年に Schilling らによって発見された水銀系銅酸化物高温超伝導体の $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ (Hg-1223) の $\sim 135\text{K}$ であり、以来 20 年近くこの記録は未だ破られていない。

銅酸化物高温超伝導体の超伝導は CuO_2 面で起きていると考えられるが、それでは CuO_2 面を舞台として起きる超伝導現象の T_c はいったいどこまで引き上げることができるのだろうか？ 圧力下で銅酸化物高温超伝導体の T_c が上昇する例はこれまで多数の報告がある。水銀系もこれに当てはまり、過去に Hg-1223 に関する電気抵抗測定で、超高压力下 31GPa において $T_c=164\text{K}$ という報告がなされたことがある。そして、この数字が一人歩きして史上最も高い超伝導転移として、一部で認知されている状況にあった。だが、この測定の詳細を見てみると、非常に転移がブロードであり、そもそも超伝導現象の基本的性質である電気抵抗の消失（ゼロ抵抗状態）が 100K 以下にまで冷却しても達成されていない。圧力下の T_c は電気抵抗率の僅かな落ち始め（オンセット）温度をもって定義されており、同じ試料が常圧ではゼロ抵抗が達成された温度で $T_c=134\text{K}$ と決定されていることに対しても妥当性に欠ける。

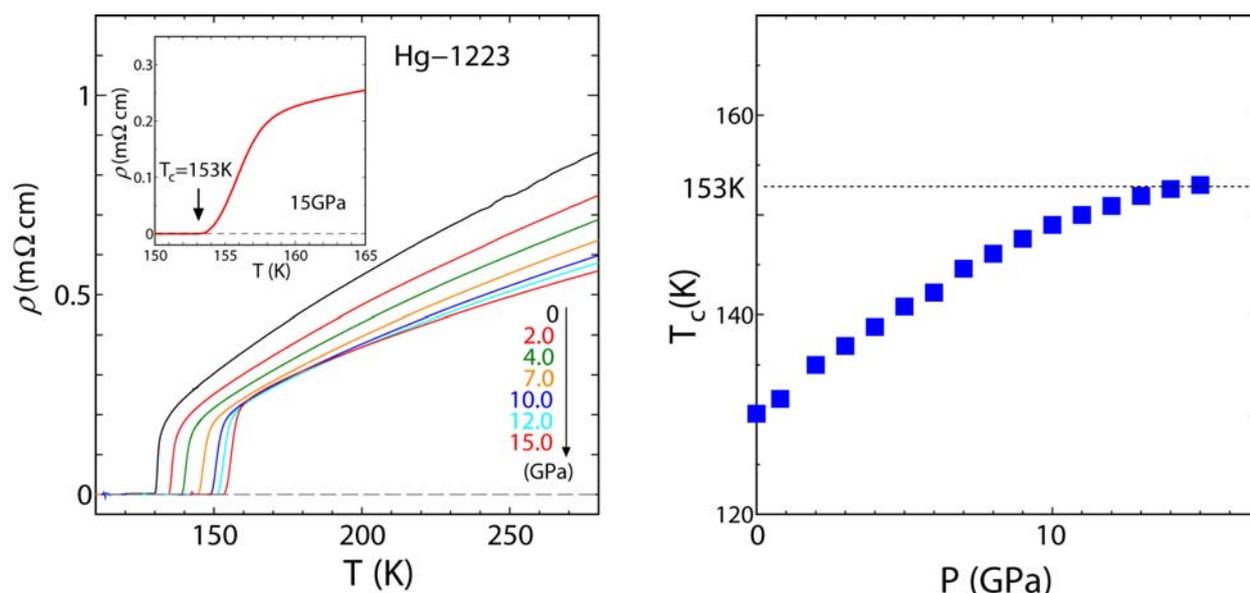


図 Hg-1223 の圧力下の電気抵抗率（左図）、左図中の挿入図は最高圧力の 15GPa における超伝導状態への転移の様子。 $T_c=153\text{K}$ において電気抵抗が消失した。右図は得られた T_c - P 相図。15GPa においても T_c はまだ上昇を続けている。

圧力下測定においてこのような不完全な結果しか得られなかった要因としては、測定に使用する試料の質（均一性と稠密性）の問題と圧力下測定の圧力の質（静水圧性）の問題の二つが挙げられる。最近、（独）産業技術総合研究所と（独）理化学研究所との共同研究チームは、この二つの問題に対して、それぞれに高い高圧力技術（高圧合成技術と圧力下物性測定技術）を適用することで解決することを試みた。試料には高圧合成によって得られた Hg-1223 の多結晶試料が用いられ、キュービックアンビル型高圧力装置を用いて 15GPa までの圧力下において電気抵抗率測定が行われた。その結果、図に示すように測定のための圧力においてゼロ抵抗をともなう超伝導転移が観測され、 T_c および電気抵抗率の圧力下の詳細な振る舞いが明らかにされた。また、最高圧力 15GPa において、ゼロ抵抗状態が 153K において確認された。これは史上最も高い温度でのゼロ抵抗をともなう超伝導状態の観測である。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ) の 2013 年 2 月号に掲載された。

試料の均一性を反映し超伝導転移は非常にシャープであり、かつ、圧力下においても常圧と変わらない急峻な転移が保たれている。この事は、試料が非常に良質であり、さらに、圧力下の測定においてもその質が保たれ、試料に対して均一な圧力が加わっていることを示している。 T_c の圧力に対する上昇率(dT_c/dP)は常圧付近では+2.5K/GPa 程度の大きな値を持つが、加圧に従って緩やかになっていく。しかしながら最高圧力の 15GPa においても依然+1.0K/GPa 程度の正の値をもっており、更に高い圧力においてより高い T_c が実現することを示唆している。

正確な圧力下の T_c の評価を行い、圧力 P との関係(T_c - P 相図)を得ることで、結晶を縮めたときに T_c がなぜ上がる/下がるのか、ということに対し定量的な考察が可能となる。さらに T_c - P 相図を様々な系に対して決定することで、理論、実験の双方からより高い超伝導転移温度を持った新物質の提案・発見がなされることが今後期待される。

原論文

Zero Resistivity above 150 K in HgBa₂Ca₂Cu₃O_{8+δ} at High Pressure

[N. Takeshita, A. Yamamoto, A. Iyo, and H. Eisaki, J. Phys. Soc. Jpn. 82 \(2013\) 023711](#)

問合せ先：竹下直（産業技術総合研究所 電子光技術研究部門）

山本文子（理化学研究所 基幹研究所）