

プロジェクト名：有機導体の基板接着法を用いた負の圧力効果の研究

プロジェクト代表者：谷口弘三（理工学研究科・准教授）

1. 本研究の目的

ここ20年あまりの基礎研究を通じて、非従来型超伝導（銅酸化物超伝導、有機物超伝導など）の出現条件が絞られつつあるが、そこでは不思議なことに、超伝導は、磁気秩序や電荷秩序を持つしばしば“絶縁体”である物質を、何らかの手法で“金属化”したときに出現するとされている。したがって、これまでこのような絶縁体をなんらかの方法で金属化し、超伝導を出現させようとする研究が頻繁に行われてきた。そこでは、キャリアドープや圧力印加の手法を行われてきた。この後者の圧力効果の手法は有機物質には特に有効である。しかし、これまで行われてきた圧力効果の手法は当然ながら、「正」の圧力効果であった。そこで、本研究では、熱収縮率の大きな有機物質の超薄型結晶を、熱収縮率の小さなガラス基板に貼り付け、冷却することにより「引っ張り環境」を実現し、超伝導の負の圧力効果の研究を行うものである。

2. 研究対象と研究手法

分子が井桁型に配列した κ -型有機超伝導体は、超伝導相と磁性絶縁相が隣接した相図、擬二次元性、有機超伝導体としては比較的高い転移温度などを持つ理由により、有機超伝導体の中では最も研究が進んでいる。この物質は有機分子BEDT-TTF分子からなる系が一般的であるが、同じ κ -型の配列を持つ常圧超伝導体である κ -(MDT-TTF) 2AuI_2 という物質が存在する。この物質の研究は、同じ分子配列で分子が異なるときにどのような物性の違いが生じるかといった重要問題の議論につながることを期待される。しかしながら、MDT-TTF分子からなる κ -型物質は、ほとんどこの物質のみであり、さらに、この物質が常圧超伝導体であることから、通常の方法では、温度圧力相図を構築することが不可能であった。そこで、ガラス基板にこの物質の薄い結晶を貼り付け、冷却することにより、有効的に引っ張り環境下で物性研究を行った。これは、ガラスと有機結晶の熱収縮率の違いにより、貼り付けて冷却すると有機結晶の熱収縮が大幅に抑制されるという効果を用いたものである。

3. 成果

実験の結果、引っ張り環境下では、この物質が半導体的な振る舞いを示すことが判明した。このことは、この物質の超伝導が、絶縁相に隣接している可能性を示唆している。さらに、ガラス基板に貼り付けた試料にピストンシリンダー型圧力セルを用いて圧力を印加して電気抵抗測定を行った。その結果、半導体的な振る舞いは抑制され、オンセットが6.5Kを持つ超伝導が出現した。このことは、絶縁相と超伝導相がまさに近接していることを意味する。さらに、この物質の常圧での転移温度が4.5Kであるのに対して、明らかに高い転移温度を持つ超伝導を出現させたことを有意義な結果である。しかしながら、この超伝導の最高転移温度は、相図の形から、この6.5K程度であると判断されるため、 κ -(BEDT-TTF) 2X 系とは明らかに低いものとなっている。この事実は、同じような分子配列を持ち、同じようなフェルミ面を持つ物質間で、明らかな転移温度の違いを見出したことを意味し、超伝導転移温度の理論的考察の助けとなるものである。現在のところ、MDT-TTF系は、BEDT-TTF系と比べ、二次元性が低いことが判明しており、この事実が超伝導転移温度の低下をもたらしていると考えている。

以上のように、本研究成果は、通常の方法では不可能である、MDT-TTF系物質の温度圧力相図の構築に成

功しており、さらに、転移温度を上昇させるという成果、絶縁相と超伝導相の近接状態の発見など多くの知見を含んでいる。したがって、得られた成果は、k-型有機超伝導体の超伝導発現機構に重要な知見を与えているものであると考えられる。

3. 外部資金獲得状況

- 科学研究費補助金(挑戦的萌芽研究)、高圧下電解法による有機導体の研究、総額 3,900 千円