

強磁場で誘起される新しい超伝導現象の発見

独立行政法人 物質・材料研究機構

独立行政法人 物質・材料研究機構（理事長：岸輝雄）、ナノマテリアル研究所（所長：吉原一紘）のナノ物性研究グループ宇治進也サブグループリーダーの研究グループは、岡崎国立共同研究機構分子科学研究所（所長：茅幸二）の小林速男教授のグループ、東京大学の小林昭子教授、独立行政法人産業技術総合研究所（理事長：吉川弘之）ナノテクノロジー研究部門（部門長：横山浩）の徳本圓グループリーダーとの共同研究で、有機物において“強磁場で誘起される新しい超伝導現象”を発見した。

この結果は4月19日付けの英国科学誌「ネイチャー」で発表される。

1. 概要

一般的に電気抵抗がゼロ状態である「超伝導状態」は、磁場をかけることによりエネルギー的に不安定になり、通常の金属状態（電気抵抗が有限な状態）に戻ってしまう。超伝導が磁場中で不安定化するのには、超伝導状態を引き起こす“2つの電子がお互いに束縛しあっている状態”（クーパー対）が、磁場をかけることにより、ばらばらにされてしまうというのがその原因となっている。

物質・材料研究機構では、有機物の中で電気を非常に流しやすい一連の伝導体の電子状態を調べてきており、この度、ラムダ型（注1）の有機伝導体 λ -(BETS)FeCl₄ 物質において、極低温領域で 18 T（テスラ、注2）以上の強磁場中においてのみ超伝導状態が発現するという、いままでとは全く異なった新しい現象（磁場誘起超伝導現象）を発見した。

2. 研究成果

物質・材料研究機構では、有機物の中で電気を非常に流しやすい一連の伝導体の電子状態を調べてきており、この度、ラムダ型の有機伝導体 λ -(BETS)FeCl₄ 物質において、極低温領域で 18 T（テスラ）以上の強磁場中においてのみ超伝導状態が発現するという、いままでとは全く異なった新しい現象（磁場誘起超伝導現象）を発見した。なお、磁場誘起超伝導現象が発見された物質（ラムダ型の有機伝導体 λ -(BETS)FeCl₄）は、分子科学研究所の小林速男教授と東京大学の小林昭子教授のグループが8年前に合成に成功しているものである。

この物質の中の BETS 分子は、図1に示す様に平らな構造をしている。結晶は、2次元 BETS 分子配列と FeCl₄ 分子配列が交互に積み重なった層状構造を持つ（図2）。電荷を運ぶ電子は BETS 分子配列面上にあり（結晶の ac 面）、この面内で電気が流れやすく、この面に垂直な方向では電気は流れにくい構造となっている。この物質は、磁場がないときには低温で絶縁体（電気を全く流さない状態）であるが、10 T以上の磁場中では通常の金属状態にもどる（図3上）。さらに磁場を BETS 分子配列面内にかけて、16 T付近から抵抗は急激に減少しはじめ 18 Tで超伝導状態（ゼロ抵抗状態）へと転移する。温度を上

げていくと、この転移は抑制される。通常の超伝導状態は、磁場中で壊される（図3下）のに対して、この物質は、超伝導状態が分子配列面内の磁場中でのみ安定化するという特異な現象を示す。温度－磁気相図は図4に示した。超伝導転移温度は磁場の増加とともに高くなる様子がわかる。この特異な相図は、この超伝導発現のメカニズムが、いままでの知られている超伝導体のメカニズム（格子振動との相互作用を通して2つの電子が束縛しあうもの）とは異なる可能性を示唆している。

この現象は、強磁場、極低温領域という複合極限場での精密測定により初めて明らかとなったものであり、実験は物質・材料研究機構の強磁場ステーションで行われた。

3. 今後の展開

結晶中に含まれている磁性イオンである Fe イオンが超伝導発現に重要な役割を持っているということが示唆されているが、この新しい磁場誘起超伝導現象のメカニズムは未だに解明されておらず、現在研究は進行中である。今後、このメカニズムが解明されれば、そのメカニズムを利用した新しい超伝導材料の開発へと研究が発展する。高磁場中でも安定して存在する超伝導材料が実現すれば、それを利用した非常に強い磁場を発生できる超伝導マグネットへの応用等が期待される。

用語説明：

注1) ラムダ型：結晶中での有機分子の重なり方いくつかの型があり、それぞれギリシヤ文字を使って表記する。この物質の分子の重なり型がラムダ型であることを示す。

注2) テスラ：磁場の単位。1テスラは10000ガウス。ホワイトボードなどで使用する小さなマグネットの磁場は数十ガウス。

問い合わせ先

独立行政法人 物質・材料研究機構

総務部総務課広報係

〒305-0047 茨城県つくば市千現1 - 2 - 1

TEL: 0298-59-2045

独立行政法人 物質・材料研究機構 ナノマテリアル研究所

ナノ物性研究グループサブグループリーダー 宇治進也

〒305-0003 茨城県つくば市桜3 - 1 3

TEL: 0298-59-5078

説明資料

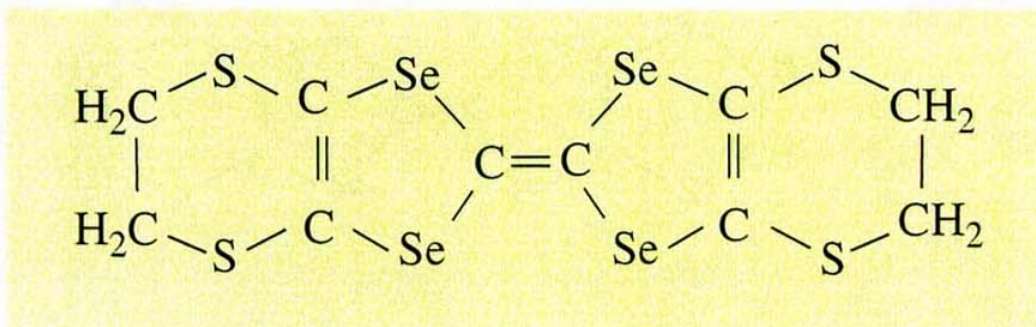


図1 BETS (ベツツ：ビスエチレンジチオテトラセレナフルバレン) 分子の構造。この分子軌道は平面分子の上下に広がっており、この軌道が λ -(BETS)₂FeCl₄ 結晶中でお互いに重なり合うために、電気伝導がよくなっている。

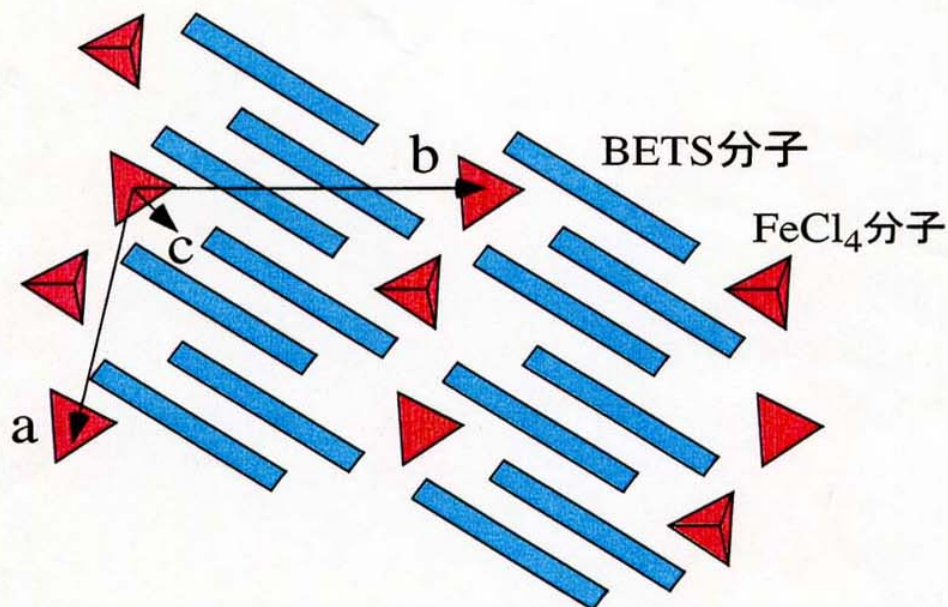


図2 有機伝導体 λ -(BETS)₂FeCl₄ の結晶構造の模式図。BETS 分子、FeCl₄ 分子それぞれが、c 軸方向 (紙面にほぼ垂直方向) に積み重なっているため、BETS 分子配列面と FeCl₄ 分子配列面が交互に並んだ層状構造を持つ。電気は BETS 分子配列上をよく流れる。

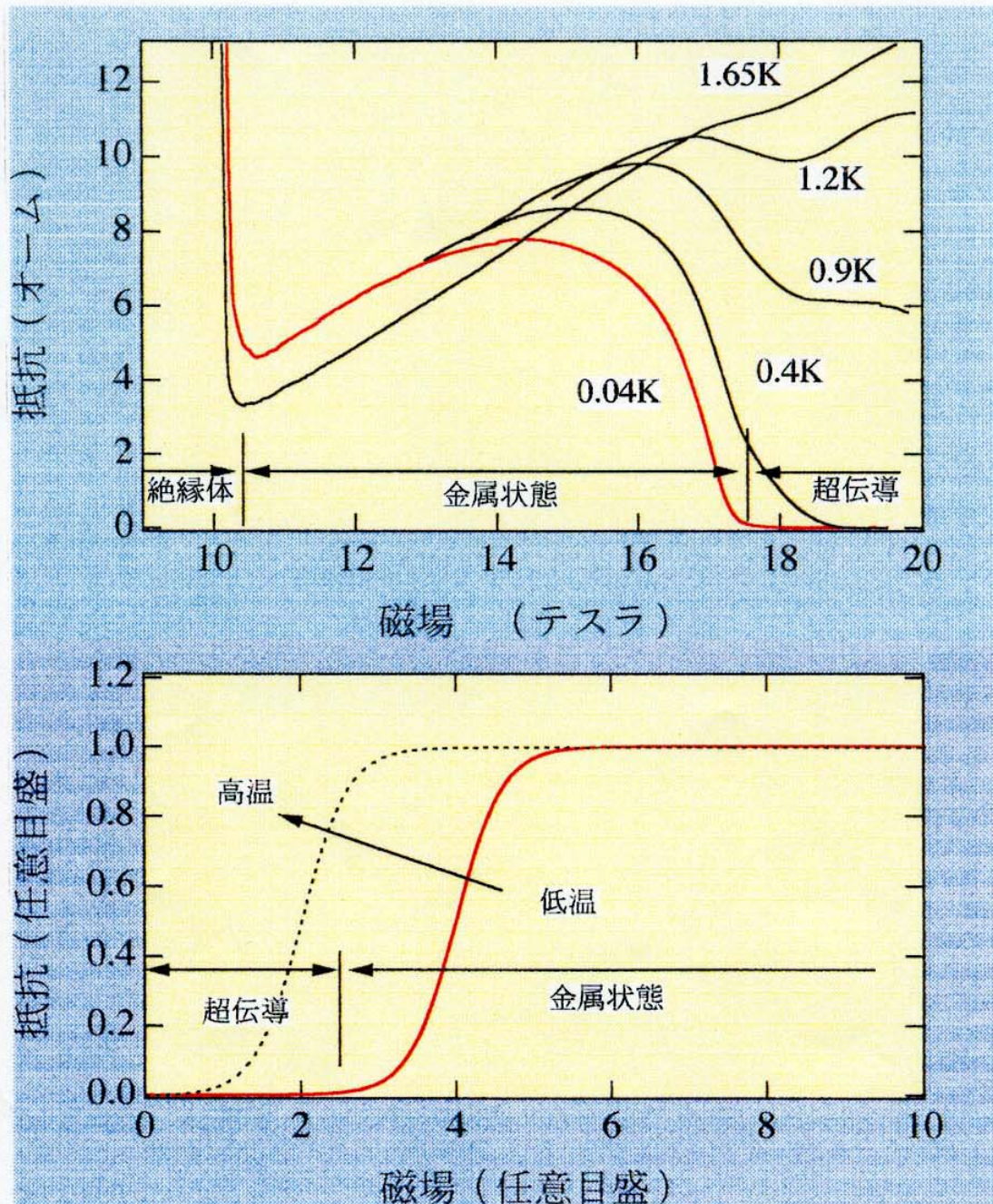


図3 (上) 有機伝導体 λ -(BETS) $_2$ FeCl $_4$ の電気抵抗の磁場変化の様子。磁場を増加していくにつれ、この物質は、絶縁体、金属状態、超伝導へと転移していく。磁場は結晶のc軸に平行である。

(下) 通常の超伝導体の電気抵抗の磁場変化の様子。磁場で超伝導状態が壊されて、金属へと転移する。

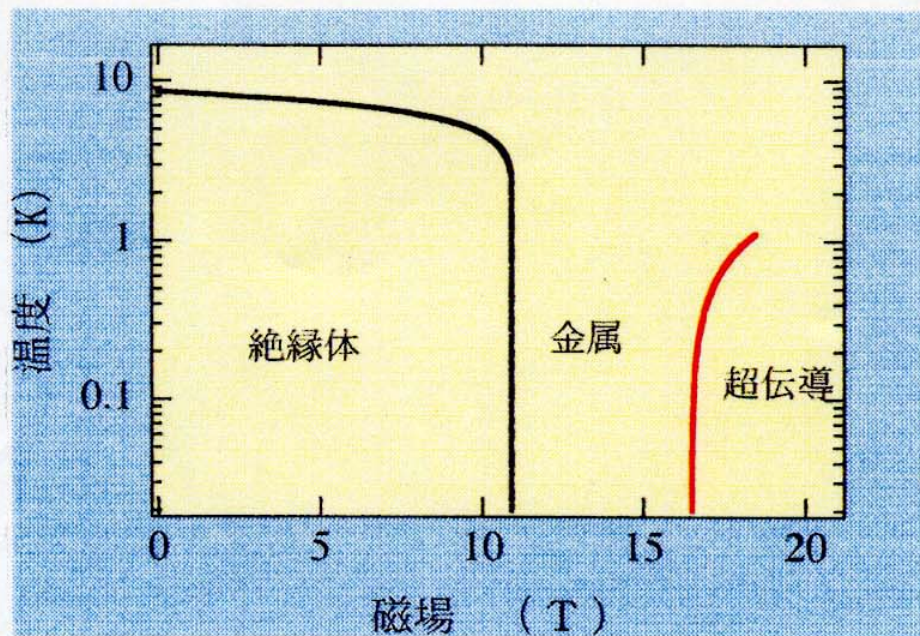


図4 有機伝導体 λ -(BETS) $_2$ FeCl $_4$ の温度—磁場相図 (磁場はc軸に平行)。
高磁場で超伝導状態が現れる。その超伝導転移温度は磁場とともに増加する傾向をもつ。