

ナローギャップ半導体の発見

東邦大学理学部、東邦大学複合物性研究センター

梶田晃示

高圧力下にある α - ET_2I_3 が、超ナローギャップの半導体であるという主張にたどり着いた経緯と、現在我々が持っているこの物質の描像について話す。常圧におけるこの物質は、高温では金属的伝導性を示すが、電荷再配列をおこして低温では絶縁体になる。圧力印加によって、全温度域で金属化する。しかし、抵抗の温度依存性は非常に小さい。我々は、この現象の裏には、室温から低温(1K)の間で、 10^6 倍程度になる伝導担体の移動度と、 $1/10^6$ 程度になる担体濃度の温度変化が隠れていることを示し、新しいタイプの伝導体であることを主張した。担体濃度の温度依存性から、超ナローギャップ(1meV以下)の半導体であることも示した。

その後、名古屋大グループのバンド計算によって、この系がゼロギャップのエネルギー構造を持った伝導体であることが示された。そこで、我々は、その描像に立って、実験結果の再検討を行った。まず、伝導担体の濃度である。実験によれば、濃度は温度の2乗に比例する。これは、フェルミエネルギーが上下バンドの接点の位置にある二次元ゼロギャップ伝導体の特徴である。温度依存性のない電気抵抗も二次元ゼロギャップ伝導体とすれば無理なく理解できる。その値は、二次元伝導面1枚当たり、いわゆる量子化抵抗の値である。実験結果は極低温を除いてこれを支持している。

一方、層間抵抗に対する縦磁場効果に見られる大きな負の磁気抵抗が、 $N=0$ のランダウ準位に起因することを示した長田の研究をきっかけにして、磁場中の伝導特性の謎も解けつつある。二次元面内抵抗に対する面に垂直な磁場の効果は、次のようにまとめられる。1) 温度一定で、磁場を印加すると、抵抗は2ステップの変化をする。弱磁場で増大した抵抗は次第に飽和して、抵抗の磁場依存性が弱い領域が現れる。高磁場では同じような現象がもう一度おこる。2) 磁場強度一定で温度を下げた場合も抵抗は、2ステップの上昇をする。3) 抵抗が磁場にも温度にもあまり依存しない領域が存在する。この領域では、ホール抵抗も磁場、温度に依存しない。4) この領域ではホール角(電流方向と電場方向のなす角)がほぼ45度となり、実験的に見積もった担体移動度は、磁場強度 B のみに依存し、その絶対値は $1/B$ にほぼ等しい。

こうした現象にも、ディラックコーンのコンタクトポイントの位置にできる $N=0$ のランダウ準位が大きく関与しているらしいことが分かってきた。