

理研 田嶋尚也

 Transport property of zero gap semiconductor α -(BEDT-TTF)₂I₃
 with massless Dirac particles.

RIKEN N.Tajima

有機導体には電気抵抗の温度変化性が非常に小さい物質が数多く存在する。我々は一見試料の純度が低いように示す温度に依存しない電気伝導性に興味を持ち研究を続けてきた。

温度に依存しない電気伝導性を示す有機導体の一つに α -(BEDT-TTF)₂I₃ がある。

室温におけるバンド計算によると、この物質は電子と正孔のポケットをもつ半金属である。温度を下げると約 135K で電荷の不均化による金属-絶縁体転移を起こす。この絶縁体転移は、圧力の印加で低温にシフトし、15kbar 以上の圧力でほぼ押さえられる。

高圧下にあるこの物質の電気伝導性は極めて特異である。電気伝導度の温度変化が殆どないにもかかわらず、キャリア濃度は室温から 1K まで約 6 桁減少するのである。一方、易動度は同じ温度域で 6 桁増大する。図 1 にキャリア濃度と易動度の温度依存性を示す。低温のキャリア系は極低濃度 (10^{15}cm^{-3})、極高易動度 ($10^6 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$) の状態にある。このような振る舞いはいわゆるナローギャップ半導体で見られる現象ではあるが、今まで知られていたその種の物質の場合、変化はせいぜい 2 桁程度である。6 桁にも及ぶ変化が相殺してフラットな伝導度を示すような物質は、無機物、有機物を問わず今までに無い全く新しい物質である。

最近、鈴木先生(名大)のグループの計算により、高圧下(一軸圧)にあるこの物質はフェルミエネルギー近傍に線形分散型のバンド構造を持つゼロギャップ半導体であることが判明した。

この系が確かにゼロギャップ半導体であることはキャリア濃度の温度依存性が強く示唆する。ゼロギャップ半導体では、フェルミエネルギー近傍のエネルギーは $E = \pm \hbar v_F k$ と書ける(この系は正確には $E = A k_y \pm \hbar v'_F k$ である)。これからキャリア濃度の温度変化は $n \propto v_F^{-2} T^2$ と計算できる。驚いたことに、50K 以下の温度域でだがキャリア濃度 n が温度 T の関数 $n \propto T^2$ に従うのである。従って、高圧下にあるこの物質はフェルミエネルギー近傍に線形分散型のバンド構造(Dirac cone)をもつゼロギャップ半導体なのである。さらにキャリア濃度の温度変化の傾きから有効フェルミ速度 v_F (線形分散の度合い)は $v_F \sim 10^7 \text{cm/s}$ と見積もられる。

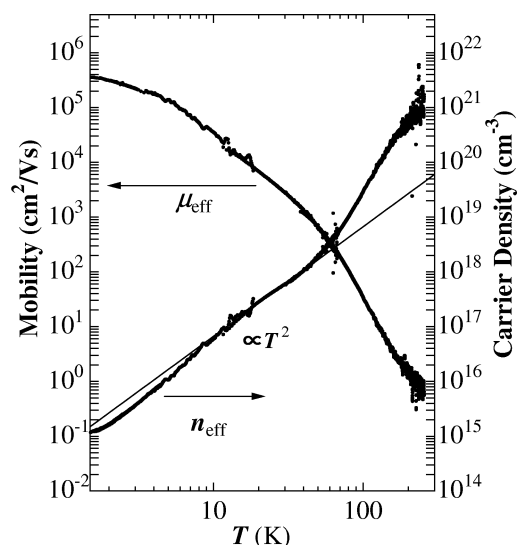


図 1: キャリア濃度と易動度の温度依存性

同じ現象が幾つかの類縁物質でも見られる。面白いことに、常圧下では典型的な擬二次元金属である θ -(BEDT-TTF)₂I₃ は 5kbar 以上の圧力下でゼロギャップ半導体に転移するのである。従って、この現象が偶然に起こっているとは考えにくい。この手の有機伝導体はゼロギャップ半導体になるべき何らかの機構があるように見受けられる。

ゼロギャップ半導体に対する興味の 1 つは、線形分散型のバンド構造 (Dirac cone) をもつことが電気伝導性にどのような影響を及ぼすのかである。最近、温度に依存しない電気抵抗を 1 層あたりの抵抗に見積もると、量子抵抗 h/e^2 付近に量子化されていることがわかった。このようなゼロギャップ状態 (Dirac cone) の励起では、ゼロモードの励起が磁場中でも残ることが推察される。つまり、 $n=0$ のランダウレベルがエネルギーゼロの状態にあることが期待でき、高磁場下での磁気抵抗・ホール効果に興味に向かう。

実際に我々は、量子ホール効果等は観測していないが、低温で異常な磁気抵抗とホール効果を見出している。図 2、図 3 に低温における磁気抵抗とホール電圧の磁場依存性を示す。まず磁気抵抗は、ゼロ磁場から非常に大きく増大し、階段状に増大する。例えば 2K では、約 0.2T 近傍に 1 つ目の肩が現れ、10T 近傍に 2 つ目の肩が現れる。温度の低下に伴いどちらの肩も低磁場側へシフトし、1K 以下ではゼロ磁場から 1 つ目の肩の状態にあるように見える。さらに面白いのは、ホール電圧が磁気抵抗とよく似た磁場依存性を示すという事実である。ゼロ磁場から急激に増大し、磁気抵抗と同じように階段状に増大するのである。これらの異常な磁気抵抗とホール効果が Dirac cone 型のバンド構造とどのような関連性があるのかについては現在検討中である。

本講演では α -(BEDT-TTF)₂I₃ のゼロギャップ半導体状態における電氣的性質について議論する。

以上は、菅原滋晴氏、西尾豊先生、梶田晃示先生 (東邦大理)、田村雅史先生、加藤礼三先生 (理研) との共同研究である。

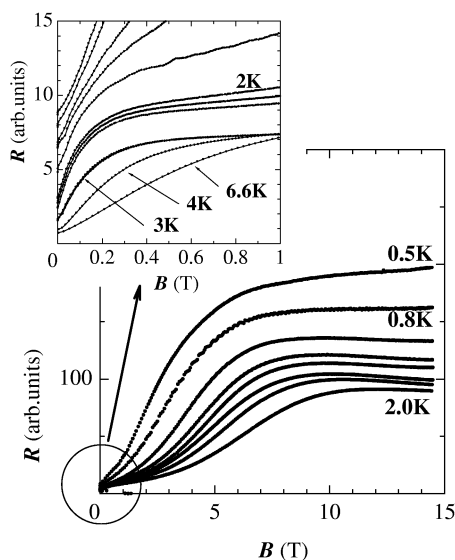


図 2: 抵抗の磁場依存性

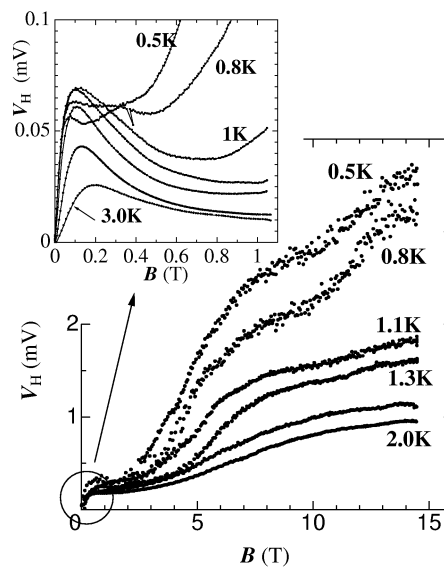


図 3: ホール電圧の磁場依存性