層状有機導体におけるディラック電子の磁場中電気伝導

長田　俊人
東京大学物性研究所

2005 年以降爆発的に研究が進展しているグラフェンの電子系は、典型的な質量ゼロの 2 次元 Dirac 粒子系と見なせ、正 6 角形の Brillouin 領域の頂点（独立なものは２つ）で伝導帯と価電子帯が直線状に交差する Dirac コーン分散を持つ。一方、2006 年に層状有機導体α-(BEDT-TTF)$_2$I$_3$の電子系も質量ゼロの 2 次元 Dirac 粒子系が積層した系と見なせることが指摘された。この系では電荷整列による絶縁体転移を抑制するため圧力印加が必要である。各伝導層の電子系は 2 つの傾斜した Dirac コーンを Brillouin 領域内の非対称点に持つ点でグラフェンとは若干異なっている。またバルク結晶であるため Fermi 準位は Dirac 点近傍に固定されている。

この物質系は磁場中で従来の物質系と異なる種々の特徴的な電気伝導特性を示す。本講演ではそれらの起因を多層 Dirac 粒子系の磁場中電気伝導特性という観点から考察する。特に、磁場強度に依存しない層間 Hall 効果と強磁場極限での層間磁気抵抗の飽和現象に焦点を絞る。

質量ゼロの 2 次元 Dirac 粒子系は磁場中で Landau 準位に量子化されるが、スピン分裂を考えない場合、n=0 の Landau 準位が磁場によらず必ず Dirac 点（E=0）に現れることと、Dirac 点近傍での準位間隔がゼロ質量を反映して磁場に対し急激に増大することが著しい特徴である。その結果、比較的弱い磁場で Fermi 準位が n=0 の Landau 準位のみに存在する量子極限が実現される。異常な層間 Hall 効果などの伝導現象は、量子極限で n=0 の Landau 準位が関与する伝導特性として説明される。

強磁場極限では n=0 の Landau 準位のスピン分裂が起こり、Fermi 準位が分裂した準位間の移動度ギャップ内に位置するν=0 量子 Hall 状態が実現すると考えられる。このとき各伝導層の端近傍にはスピン上向きの電子的エッジ状態とスピン下向きの正孔的エッジ状態が形成され、Fermi 準位には伝導層を逆向きに周回する逆スピンの一対のエッジチャネルが現れる。これらが層間結合したヘリカル表面状態による層間表面伝導が層間磁気抵抗の飽和をもたらすと考えられる。