

多層 Dirac 電子系の層間磁気抵抗

長田俊人 今村大樹
東京大学物性研究所

準位交差点を持つ2次元電子系（2次元 massless Dirac 電子系）を層状に積層した「多層 Dirac 電子系」における磁場中の層間電気伝導を、隣接2層間のトンネル過程のみを考えるトンネル描像によって考察し、田嶋・梶田らによる有機ゼロギャップ伝導体 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ についての実験と比較した。

2次元 Dirac 電子系において、ゼロ磁場の円錐型エネルギー分散（Dirac コーン）の準位交差点における状態密度はゼロである。面に垂直に磁場が加わると Dirac コーンは Landau 準位に量子化されるが、準位交差点を周回する軌道が Berry 位相 π を持つため、必ず準位交差点に Landau 準位 ($n=0$) が現れる（ゼロモード）。Landau 準位の縮重度は磁場に比例して増大するので、準位交差点における状態密度はゼロから磁場に比例して増大することになる。

一般に層間トンネル結合が十分に弱いときの多層系の磁場中層間伝導度は、これを電子散乱ではなく層間トランスファー積分で展開したときの最低次の項、すなわち隣接2層間のトンネル過程の寄与で近似できる。隣接層間のトンネル確率は、磁場中でトンネル許容な隣接2層の状態の重なり積分の自乗に比例する。これが多層系の磁場中層間伝導のトンネル描像である。

弱い層間結合を持つ多層 Dirac 電子系の層間磁気伝導をトンネル描像で考察した。ゼロ磁場において、系は Fermi 準位が準位交差点に位置するゼロギャップ伝導体になっている。すると有限磁場下では Fermi 準位が常にゼロモード Landau 準位に位置することになり、Landau 準位間の重なりがなくなれば、系は弱磁場領域でもいきなり強磁場量子極限に入ることになる。量子極限における層間伝導度をトンネル描像で評価すると、以下の振舞いが導かれる。

- (1) 垂直磁場下では、ゼロモード Landau 準位の縮重度の増大を反映して、層間抵抗は磁場に反比例して減少する負の磁気抵抗を示す。
- (2) 磁場方位を傾けると、ゼロモード Landau 準位波動関数の波形を反映して層間抵抗は単調に増大し2次元面に平行な磁場方位で鋭いピークを示す。

準位交差点に微小なギャップが開く場合（massive Dirac 電子系）はゼロモード Landau 準位がバレー分裂を示すが、ギャップが温度または散乱による Landau 準位幅より小さければ上の振舞いは変わらない。

田嶋・梶田らにより報告されている α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の層間磁気抵抗の実験結果は、磁場強度や磁場方位の定量的な値を含め、本モデルで良く再現される。これは逆に有機伝導体 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ において Dirac 電子系が実現していることを強く支持する結果でもある。