

# 多層ディラック電子系 $\text{EuMnBi}_2$ における 磁気秩序とカップルし電気・熱輸送現象

酒井英明

大阪大学大学院理学研究科

JST さきがけ

エネルギーが波数に比例する特殊なバンド分散関係を有するディラック電子系物質は、グラフェンを筆頭に、昨今ではその三次元版のディラック・ワイル半金属を含め、精力的に研究がなされている。ディラック電子系の特徴の一つは、超高移動度とそれに付随する特異な磁気伝導特性である。例えばグラフェンでは、ベリー位相を反映した半整数量子ホール効果が生じ、さらにそれが室温でも観測され得る。もしこれらの優れた量子伝導が、固体中のスピンの制御可能となれば、その物理や応用の範囲を著しく拡張できる。実際、最近では磁性トポロジカル絶縁体の表面状態において、ゼロ磁場でも量子異常ホール効果が観測され[1]、大きな注目を集めている。しかし、未だこのような磁性ディラック電子系の例は限られているため、我々は多彩な磁気秩序を実現できるバルク磁性体を対象に新物質開発を進めている。本講演では、近年見出した層状反強磁性体  $\text{EuMnBi}_2$  における、磁気秩序とカップルしたディラック電子の量子伝導現象やランダウ準位形成について紹介する。

$\text{EuMnBi}_2$  は、Mn の周りに  $\text{Bi}^{3-}$  が四面体配位したモット絶縁体層と、 $\text{Bi}^{1-}$  の正方格子からなるディラック電子伝導層が、Eu 磁性層 ( $S=7/2$ ) を挟んで積層した多層ディラック電子系である (図 1)。Eu 層は低温で図 1 のような反強磁性秩序を示し、伝導に大きな影響を与える。実際、面直方向の磁場により Eu スピンの向きを面内方向へフロップさせると、層間抵抗率が約 10 倍増加する。このようにディラック電子が“磁氣的に”二次元面内に閉じ込められた状態では、面内抵抗率の顕著な量子振動 (SdH 振動) に加え、ホール抵抗率ではプラトー構造が見られ、多層量子ホール効果の発現が強く示唆された[2]。さらに SdH 振動の詳細な解析から、ランダウ準位構造に微細構造が存在することが明らかとなった。そこで、傾斜磁場下で面内・面間抵抗率を測定したところ、ゼーマン分裂とサイクロトロン分裂の比が変化することに対応して、SdH 振動の振幅や位相が傾斜角度に依存して大きく変化することがわかった。これよりランダウ準位がスピン分裂していることが実証され、角度依存性から見積もられる g 因子は 10 程度となり、Bi の強いスピン軌道相互作用を反映する結果を得た。

また電気抵抗率に加え、ゼーベック・ネルンスト係数の測定を行ったところ、さらに明瞭な量子振動が観測された。この結果、ゼーベック係数とネルンスト係数の量子振動には  $\pi/4$  の位相のずれがあることが明らかとなり、積層物質にも関わらず、グラフェンなどの理想的な二次元系で予想される振る舞いと一致している[3]。以上のように、磁気秩序により非常に二次元的な電子状態が形成されてことが熱輸送特性からも明らかとなった。

本研究は、増田英俊、石渡晋太郎 (東大工)、秋葉和人、三宅厚志、徳永将史 (東大物性研)、鶴田圭吾、村川寛、花咲徳亮、中野岳仁、野末泰夫 (阪大理) 各氏との共同研究です。

[1] A. F. May *et al.*, Phys. Rev. B **90**, 075109 (2014).

[2] H. Masuda *et al.*, Sci. Adv. **2**, e1501117 (2016).

[3] Z. Zhu *et al.*, Nat. Phys. **6**, 26 (2010).

E-mail: sakai@phys.sci.osaka-u.ac.jp

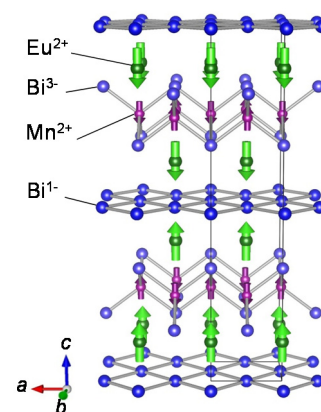


図 1:  $\text{EuMnBi}_2$  の結晶構造と反強磁性状態の模式図。各イオンの価数は形式価数である。