

Bi/Sb 正方格子を有するディラック電子系磁性体における 交換相互作用とスピン軌道相互作用

酒井英明

阪大理, JST さきがけ

近年、トポロジカルなディラック・ワイル電子状態を有する新しい磁性体が注目を集めている。ベリー位相による巨大な異常ホール・ネルンスト効果や、カイラル異常による磁気抵抗効果などの新奇輸送現象が発現するため、革新的なスピントロニクス応用も期待される[1]。しかし、トポロジカル電子状態を実現するためには、非自明な磁気構造と結晶対称性が要請されるため、ディラック・ワイル磁性体のバラエティーは未だ限られている。これに対し、近年、我々は層状磁性体 $AMnX_2$ に着目し、多彩なディラック磁性体を開拓している。本物質系は、 $A^{2+}-Mn^{2+}-X^{3-}$ からなる磁性ブロック層と Bi^{-1}/Sb^{-1} 正方格子からなるディラック電子伝導層が交互に積層した構造を有するため（下図）、ブロック層の元素置換により、磁性とディラック電子状態の制御が可能である。この好例として、本講演では局在スピンと強く結合した量子伝導を示す $EuMnBi_2$ と、スピン軌道相互作用を制御できる $BaMnX_2$ ($X=Sb, Bi$) において、最近見出した特異な強相関ディラック電子状態について発表する。

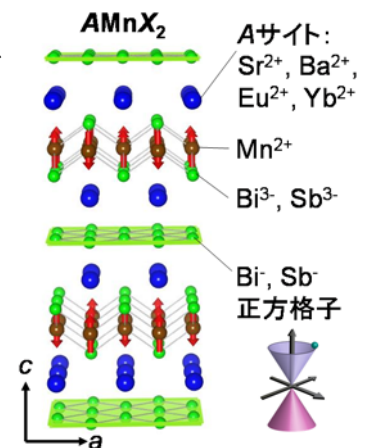
$EuMnBi_2$ では、ディラック電子を担う Bi 層に隣接する A サイトを磁性イオン Eu^{2+} ($S=7/2$) が占有するため、 Eu 層の反強磁性秩序がディラック電子の輸送現象に影響を及ぼす[2]。しかし、これまでディラックバンドが、 Eu スピンによりどのように変調されるは未解明であった。そこで本研究では、ゼーマンエネルギーとサイクロトロンエネルギーの比を制御できる傾斜磁場下において、ランダウ準位の分裂構造を高磁場まで測定し、傾斜角依存性を詳細に解析した。この結果、ディラック電子の有効 g 因子が Eu 層の反強磁性秩序に依存して大きく変化することを発見した。第一原理計算との比較により、このような g 因子の依存性は、ディラック電子と Eu スピンの交換相互作用により説明できることが明らかとなり、ゼーマン分裂を超える交換分裂がディラックバンドに生じていることを実証した[3]。

上記の交換相互作用に加え、本物質系ではディラック電子状態が Bi/Sb 正方格子に由来するため、スピン軌道相互作用も顕著となり得る。この効果を解明するために、同一の結晶構造でスピン軌道結合の強さのみが異なる $BaMnX_2$ ($X=Bi, Sb$) において強磁場下の量子振動測定を行い、ランダウ準位構造を比較した。この結果、両者ともランダウ指数 $N=1$ までは、グラフェンと同様にベリー位相を持つランダウ準位を形成しているが、 $N=0$ 近傍の振る舞いは、スピン軌道結合に依存して大きく異なることを見出した。これは、グラフェンでは不可能なスピン軌道相互作用によるディラック電子の状態制御を実証する結果である[4]。

本研究は、増田英俊、高橋英史、石渡晋太郎、秋葉和人、三宅厚志、栗原綾佑、徳永将史、藤村飛雄吾、鶴田圭吾、中川賢人、越智正之、黒木和彦、木田孝則、萩原政幸、村川寛、花咲徳亮、各氏との共同研究です。

参考文献

- [1] L. Šmejkal, T. Jungwirth, J. Sinova, Phys. Status Solidi RRL **11**, (2017) 1700044. (レビューとして)
- [2] H. Masuda *et al.*, Science Adv. **2** (2016) e1501117.
- [3] H. Masuda *et al.*, Phys. Rev. B **98**, (2018) 161108(R).
- [4] H. Fujimura *et al.*, (to be submitted)



図：層状ディラック電子系磁性体 $AMnX_2$ の結晶構造。各イオンの価数は形式価数。