

物質のトポロジをバルク測定で決めるには

伏屋雄紀

電通大基盤理工

スピン軌道結合 (SOC) は現代固体物理学における中心的課題の一つである。SOC の効果を多様な物質間で統一的に理解することは、一体問題にも関わらず、今なお難しい問題である。例えば、SOC が生む顕著な効果として磁気モーメントの大きな変化が挙げられるが、磁気モーメントを理論的に計算するのは特別の場合 (ディラック電子近似が成り立つ) を除いて困難であった [1-3]。

一方実験的には、様々な物質において磁気モーメント (ゼーマン分裂) が測定されてきた。特に、ゼーマンエネルギーとサイクロトロンエネルギーの比 $M = \Delta E_z / \hbar \omega_c$ は、スピンと軌道それぞれに対する SOC の効果の比に相当するため、重要な指標として注目されてきた (図 1)。(M はサイクロトロン質量 m_c と g 因子を用いて $M = m_c g / 2m$ と表せる) M はスピン分解量子振動測定によって正確に決めることができ、**多様な物質間で統一的に用いることができる指標**である。

ビスマスの M については、過去 50 年間で多くの実験により、高い精度で決定されてきた [3-5]。従来の理論—2 バンドディラック模型—によると、強い SOC を持つ系の M は磁場に対して**等方的**で $M=1$ になる [1,2]。しかし Bi の正孔については、M は非常に**異方的**で trigonal 軸方向では $M > 2$ に及ぶ。この実験と理論の大きな食い違いは、半世紀以上にわたり謎であった。我々は、相対論的マルチバンド $k \cdot p$ 理論を多バンド系に適用することで、この問題を完全解明することに成功した [3,6]。M の大きな値と異方性は、SOC の多バンド間効果によるものであることが明らかになった。特に、M の大小と波動関数の対称性には密接な関係があることも分かった。

講演では、Bi 表面状態の厳密解 [7] および M の測定を通して物質のトポロジを決める方途についても議論する。

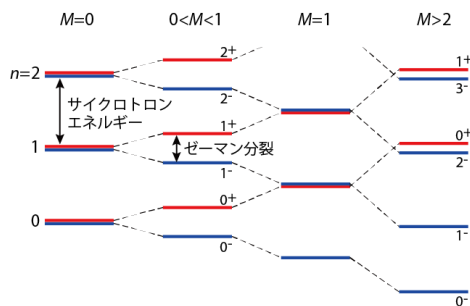


図 1 SOC が大きい場合のランダウ準位の模式図。SOC の効果が大きくなるにつれ M ($M = \Delta E_z / \hbar \omega_c = m_c g / 2m$) が大きくなる

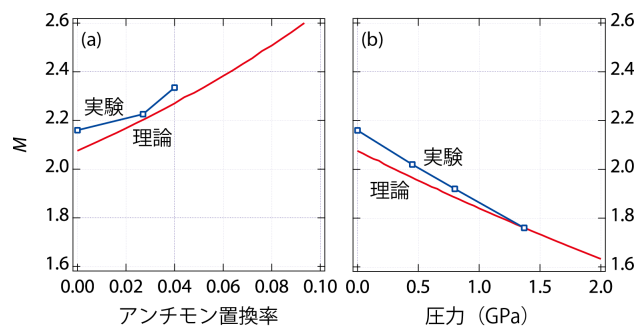


図 2 Bi をアンチモンで置換した場合 (左) と Bi に圧力を加えた場合の M の変化。理論と実験がよく一致する [5]。

参考文献

- [1] P. A. Wolff, J. Phys. Chem. Solids **25**, 1057 (1964)
- [2] Y. Fuseya, M. Ogata, and H. Fukuyama, J. Phys. Soc. Jpn. **84**, 012001 (2015) (review)
- [3] Z. Zhu, B. Fauqué, K. Behnia, Y. Fuseya, J. Phys.: Cond. Mat. **30**, 313001 (2018) (review)
- [4] G. E. Smith, G. A. Baraff, and J. M. Rowell, Phys. Rev. **135**, A1118 (1964).
- [5] Z. Zhu, B. Fauqué, Y. Fuseya, and K. Behnia, Phys. Rev. B **84**, 115137 (2011)
- [6] Y. Fuseya et al., Phys. Rev. Lett. **115**, 216401 (2015)
- [7] Y. Fuseya and H. Fukuyama, J. Phys. Soc. Jpn. **87**, 044710 (2018)