

Bi のスピン軌道相互作用 — 弱局在と表面スピン分裂バンド

小森文夫

東京大学物性研究所

大学院生であったころ、ビスマスはスピン軌道相互作用が強いので弱反局在が観測できるだろうと考えて、薄膜を作製して実験した。[1]この薄膜は、現在多くの研究が行われている単結晶薄膜ではなく、酸素や炭素などを不純物として含む薄膜であった。そして、そのような薄膜では、確かに弱反局在が観測された。しかし、薄膜作製制御が不十分であり、その試料を使ってスピン軌道相互作用に関連する詳しい研究を行うことはできなかった。

21 世紀になって、スピン軌道相互作用の強い系でのスピン分裂表面状態の研究が行われるようになった。そのような研究の流れの中で、ビスマス単結晶劈開面の表面状態も、強いスピン軌道相互作用のためにスピン分裂していることが報告された。[2] そして、現在までに、十分に制御された高品質な単結晶薄膜を用いた研究も含めて、表面スピン偏極電子状態だけでなく電気伝導など多くの研究がなされてきた。我々は、直線偏光レーザー光を用いたスピン角度分解光電子分によって、Bi(111)単結晶薄膜の表面状態を調べた。検出されるスピン偏極光電子のスピン方向と入射光の直線偏光角との関係を測定することにより、この表面状態の波動関数は、異なるスピン向きをもつ状態の重ね合わせになっていることを実験的に明らかにした。[3] このことは、同じようにスピン軌道相互作用が強く、スピン偏極した表面状態をもつ三次元トポロジカル絶縁体 $\text{Bi}_2\text{Se}_3(111)$ の表面でも同様であり、表面バンドのスピン偏極度は異なるスピン向きをもつ状態の重ね合わせの重みの違いに依存している。

従来、ビスマスはトポロジカル物質ではなくアンチモンと合金化するとトポロジカル物質へと転移するということがあった。現在、単結晶薄膜を用いた研究により、それがゆらいでいる。この研究会でも話題となるように、ビスマスがトポロジカル物質であるかどうかという議論は、表面状態の起源に関する本質的な問題で興味深いものである。一方、金銀銅のようなありふれた金属も三次元トポロジカル物質であるので、ビスマスがトポロジカル物質であったとしてそれ自体が珍しいということではない。むしろ、そしてより一般的に、スピン軌道相互作用が強い系での表面・界面スピン物性の理解には、電子運動量とスピン方向とがどのように結合した量子状態がその表面あるいは異なる物質との界面に現れるか、が重要である。

参考文献

- [1] F. Komori, S. Kobayashi and W. Sasaki, J. Phys. Soc. Jpn. **52** (1983) 368.
- [2] P. Hofmann, Prog. Surf. Sci. **81** (2006) 191.
- [3] 矢治光一郎ら、固体物理 **52** (2017) 559.

図 Bi(111)面と $\text{Bi}_2\text{Se}_3(111)$ 面の表面状態から放出される光電子スピン方向および強度の入射直線偏光角依存性。

