

スピン機能材料の内殻吸収磁気円二色性分光

X-ray magnetic circular dichroism spectroscopy study of spintronic materials

叶 茂¹⁾, 黒田健太¹⁾, 岡本和晃¹⁾, 竹田幸治²⁾, 斎藤祐児²⁾, 木村昭夫¹⁾

Ye Mao¹⁾, Kenta Kuroda¹⁾, Kazuaki Okamoto¹⁾, Yukiharu Takeda²⁾, Yuji Saitoh²⁾, Akio Kimura¹⁾

¹⁾広島大学、²⁾日本原子力機構

¹⁾Hiroshima Univ., ³⁾JAEA

(概要) 3次元トポロジカル絶縁体 Bi₂Se₃ の表面上に磁性原子であるコバルト (Co) 原子を微量吸着し、内殻吸収磁気円二色性 (XMCD) 分光によりその磁性を調べた。その結果、Bi₂Se₃ 表面に吸着した Co 原子の軌道磁気モーメントはバルクの値より大きく、常磁性的になっていることがわかった。この結果は、我々が別途行った ARPES や STM の結果と矛盾せず、Co 原子吸着に対して Bi₂Se₃ トポロジカル表面状態はロバストであることが結論される。

キーワード：トポロジカル絶縁体、時間反転対称性、ディラックコーン、磁性原子吸着、XMCD

1. 目的 3次元トポロジカル絶縁体は、理想的にはバンドギャップ中にマスレスなトポロジカル表面状態を持つ。またトポロジカル表面状態の電子スピン (有効磁場) の方向が波数ベクトルに対して固定されているため波数空間で helical spin texture を構成する。その結果、欠陥や非磁性不純物による表面電子の散乱が大きく抑制され、エネルギー損失の少ない表面スピン流が得られることが期待され、量子電磁気効果、それに関わる磁気单極子の発生、さらにはマヨラナフェルミオンの出現など様々な新奇量子現象が期待される [1,2]。一方、トポロジカル絶縁体に磁性原子をドープした系や、表面に磁性原子を吸着させた場合には、トポロジカル表面状態のディラック点においてエネルギーギャップが生じることが報告され注目を浴びている [3,4]。ただし、その表面における磁性について直接的な知見が得られておらず、そのエネルギーギャップと磁性との関係が不明なままである。我々は、Bi₂Se₃ 単結晶表面に磁性原子としては典型的な Co 原子を微量吸着し、内殻吸収端における磁気円二色性 (XMCD) 分光を用いて表面における磁性の解明を試みた。

2. 方法 Co L_{2,3} 吸収端における XAS, XMCD 分光は SPring-8 の日本原子力研究開発機構の BL23SU にて行った。超伝導電磁石により 0 から 8 テスラまでの外部磁場を試料表面に対して垂直および 45° 方向に引加することにより、元素選択的な磁化測定を行った。また測定温度は 5 ケルビンに設定した。ここで重要なことは、ツインヘリカルアンジュレータを用いて、1 ヘルツのスイッチングパルスで円偏光の極性が可変であることから、微量吸着した磁性元素についても高い精度で XMCD スペクトルを得ることができる。

3. 研究成果 Co L₃ および L₂ 吸收端での XMCD シグナルは Co 吸着量にともなって大きくなつた。さらに磁気光学総和則を用いると、Co 3d 電子のスピン磁気モーメントに対する軌道磁気モーメントの比 ($m_{\text{orb}}/m_{\text{spin}}$) が 0.3–0.5 とバルクの Co の値 ($m_{\text{orb}}/m_{\text{spin}} \sim 0.1$) と比べて大きくなっていることが分かった。

次に、外部磁場を -8 と 8 テスラの間で変化させ、元素選択的な M-H 曲線を得たところ、8 テスラのような大きな磁場でも値が飽和することはなく、さらにはヒステリシスも観測されなかつた。すなわち、測定温度 5 ケルビンでは、キュリーワイス常磁性の振る舞いが観測された。この M-H 曲線の様子は Co の吸着量を 0.45ML に増加させた場合、また試料面内成分についても同様の結果が得られた。このように Bi₂Se₃ 表面に吸着した Co 原子は常磁性的になっていることが明らかとなつた。以上の実験結果は、我々が別途行った ARPES や STM の結果と矛盾せず、Co 原子吸着に対して Bi₂Se₃ トポロジカル表面状態はロバストであることが結論される [6]。

4. 引用(参照)文献等

- [1] M. Z. Hasan and C. L. Kane, Rev. Mod. Phys. **82**, 3045 (2010).
- [2] 村上修一他、日本物理学会誌 **65**巻, 840 (2010).
- [3] Y. L. Chen et al., Science **329**, 659 (2010).
- [4] L. A. Wray, Nat. Phys. **7**, 32 (2010).
- [5] M. Ye et al., Phys. Rev. B **85**, 205317 (2012).