

巨大なファラデー効果を示す FeCo-BaF₂ グラニューラー膜の 軌道磁気モーメントの評価

Evaluation of orbital magnetic moments of FeCo-BaF₂ granular films with large Faraday effect

伊藤啓太¹, 小林伸聖², 木村昭夫³, 高梨弘毅^{1,4}

¹東北大学 金属材料研究所, 〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

²公益社団法人 電磁材料研究所, 〒981-3341 宮城県富谷市成田 9-5-1

³広島大学 大学院先進理工系科学研究科, 〒739-8526 広島県東広島市鏡山 1-3-1

⁴日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター, 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方 2-4

Keita ITO^{1,*}, Nobukiyo KOBAYASHI², Akio KIMURA³, and Koki TAKANASHI^{1,4}

¹Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan

²Research Institute for Electromagnetic Materials, Tomiya, Miyagi 981-3341, Japan

³Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8526, Japan

⁴Advanced Science and Research Center, Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki 319-1195, Japan

1 はじめに

磁気光学材料であるガーネット(YIG)を利用した光アイソレータは、光通信システムなどに用いられ、現代および近未来における高度な情報化社会をサポートする重要なツールである。しかしながら、1972年にビスマスガーネット(Bi-YIG)が発見されて以来、Bi-YIGを超えるファラデー効果を有する新しい材料は見つかっていない。特に大きなファラデー効果を有する薄膜材料の実現は、光デバイスの小型化のために必須であるが、Bi-YIGの薄膜化を含め多くの薄膜材料が検討されているものの、その特性はバルクBi-YIGに比べて大きく劣る。このように、ファラデー効果を有する材料系は限られ、このことが光デバイスの設計や新しいデバイスの提案に大きな制限を課している。我々の研究グループでは、強磁性金属ナノグラニューラー材料の機能性について注目しており、特にFeCo-絶縁体フッ化物ナノグラニューラー膜において光通信波長帯域(1310~1550 nm)で従来材料の数倍もの巨大なファラデー効果を実現している[1]。巨大ファラデー効果の起源として、グラニューラー化によるFeおよびCoとフッ化物マトリクス界面における軌道磁気モーメントの増大が、パーネット効果による実験と第一原理計算による理論予測により示唆されている[2]。このような軌道磁気モーメントの増大が、理論計算が示唆するようにフッ化物との界面で起こっているのか、それともグラニューラー化による次元の低下によるものなのかを追求することは大変重要な課題である。さらに、FeとCoのどちらか一方が軌道磁気モーメントの増大に寄与しているのか、もしくは両方が寄与しているのか見極めることも必要である。その一方で、FeCo-絶縁体フッ化

物ナノグラニューラー膜における、軌道磁気モーメントの定量評価の実施例は皆無である。そこで、本研究ではFeCo-BaF₂グラニューラー膜について、軟X線内殻吸収磁気円二色性(XMCD)分光を用いて、磁気状態、磁性元素の3d局所電子状態、軌道磁気モーメントの大きさを調べ、巨大なファラデー効果の発現メカニズムの起源を解明することを目的とした。

2 実験

ガラス基板上にスパッタリング法により膜厚が20 nm程度の(Fe₆₀Co₄₀)_x-(BaF₂)_{100-x}グラニューラー膜を作製した。 x の値は100, 92, 81, 73, 70, 60, 57で変えた。作製した試料に対し、KEK PF BL-16AにおいてXMCD測定を実施した。蛍光収量法を用いて、Fe $L_{2,3}$ およびCo $L_{2,3}$ 吸収端について、室温においてX線吸収(XAS)およびXMCDスペクトルを測定した。膜面垂直方向からX線円偏光を入射し、それと平行に30 kOeの外部磁場を印加して測定した。

3 結果および考察

$x = 100, 92, 81$ の試料については、1回の測定で明瞭なXMCDスペクトルを取得できたが、FeCoの割合が多いため、自己吸収効果の影響が大きく、磁気モーメントの定量評価は困難であった。それらの試料よりも自己吸収効果の影響が小さいと考えられる $x \leq 73$ の試料については、1回の測定だけでは明瞭なスペクトルが得られなかったため、積算測定を行った。図1に $x = 57$ の試料のFe $L_{2,3}$ およびCo $L_{2,3}$ 吸収端におけるXASスペクトルと、 L_2 ピークで規格化したXMCDスペクトルを示す。XASスペクトルにはBaF₂由来のFKおよびBa $M_{4,5}$ 吸収端のピークが現れ

た。Fe $L_{2,3}$ 吸収端のピークは分裂しており、Co $L_{2,3}$ 吸収端のピークには肩構造が現れていることから、Fe と Co の一部が酸化もしくはフッ化していると考えられる。XMCD スペクトルに着目すると、 L_2 に対する L_3 ピークの強度が、グラニューラー膜ではない Fe 薄膜および Co 薄膜[3]よりも明らかに大きいことから、グラニューラー膜において、スピン磁気モーメントに対する軌道磁気モーメントの割合(m_{orb}/m_{spin})が増大していることが示唆される。磁気光学総和側を適用して[3]、この試料の m_{orb}/m_{spin} の値を算出した結果、Fe が 0.47、Co が 0.24 となり、グラニューラー膜ではない $Fe_{60}Co_{40}$ 薄膜の Fe および Co の m_{orb}/m_{spin} の報告値(それぞれ 0.04 および 0.10)[4]を大きく上回り、FeCo-MgF₂ グラニューラー膜に対するバーネット効果による測定結果(Fe と Co の平均値で 0.31)[2]と近い値が得られた。今回の実験により、XMCD 測定の元素選択性によって、Fe の方が Co よりも軌道磁気モーメントの増大割合が大きいことが初めて明らかとなった。スピンおよび軌道磁気モーメントの定量評価も試みたが、XAS スペクトルへの F K および Ba $M_{4,5}$ 吸収端ピークの重畳や、FeCo の酸化もしくはフッ化の影響により、困難であった。

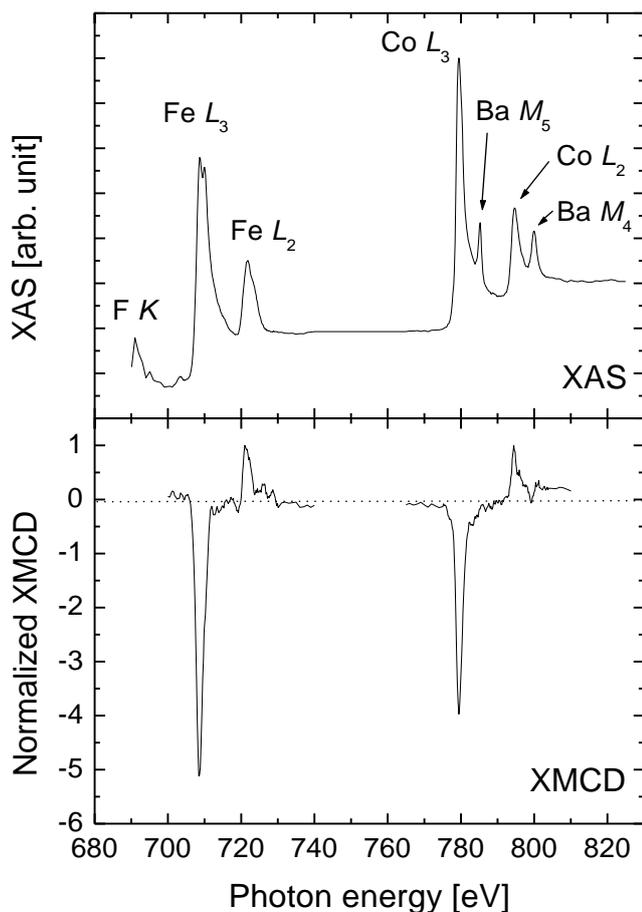


図 1 : $(Fe_{60}Co_{40})_{57}-(BaF_2)_{43}$ グラニューラー膜の Fe $L_{2,3}$ および Co $L_{2,3}$ 吸収端における XAS スペクトルと L_2 ピークで規格化した XMCD スペクトル

4 まとめ

$(Fe_{60}Co_{40})_x-(BaF_2)_{100-x}$ グラニューラー膜について、XMCD 測定を実施した。 $(Fe_{60}Co_{40})_{57}-(BaF_2)_{43}$ グラニューラー膜について m_{orb}/m_{spin} の増大が確認され、特に Fe における増大が Co よりも大きいことが初めて明らかとなった。

謝辞

XMCD 測定では、市村匠氏、松木充弘氏、窪田崇秀准教授、雨宮健太教授から多大なご協力を賜った。

参考文献

- [1] N. Kobayashi, K. Ikeda, B. Gu, S. Takahashi, H. Masumoto, and S. Maekawa, *Sci. Rep.* **8**, 4978 (2018).
- [2] Y. Ogata, H. Chudo, B. Gu, N. Kobayashi, M. Ono, K. Harii, M. Matsuo, E. Saitoh, and S. Maekawa, *J. Magn. Mater.* **442**, 329 (2017).
- [3] C. T. Chen, Y. U. Idzerda, H. J. Lin, N. V. Smith, G. Meigs, E. Chaban, G. H. Ho, E. Pellegrin, and F. Sette, *Phys. Rev. Lett.* **75**, 152 (1995).
- [4] 高橋宏和, 角田匡清, 児玉謙司, 中村哲也, 高橋研, 第 32 回日本磁気学会学術講演会概要集 12pD-3 (2008).

* keita.ito.e3@tohoku.ac.jp