

垂直磁化膜の X 線磁気線二色性と四極子モーメントの導出

岡林潤¹、飯田裕希^{2,3}、Qingyi Xiang²、介川裕章²、三谷誠司^{2,3} (¹東大理, ²NIMS, ³筑波大)

X-ray magnetic linear dichroism in perpendicular magnetized films and estimation of quadrupole moments

Jun Okabayashi¹, Yuki Iida^{2,3}, Qingyi Xiang², Hiroaki Sukegawa², and Seiji Mitani^{2,3}

¹The University of Tokyo, ²NIMS, ³University of Tsukuba

Introduction

X 線磁気円二色性(XMCD)は、放射光の左右円偏光の差分として定義され、総和則を用いた解析からスピンと軌道磁気モーメントを導出できる有力な手法である。入射角度 θ 依存性から軌道磁気モーメントの異方性を議論できる。また、スピン磁気モーメントを正確に求めることは難しく、磁気双極子項 m_T (四極子成分) が消失する $3\cos^2\theta - 1 = 0$ となる 54.7° 傾けた配置にてスピン磁気モーメントのみが求められる。一方、放射光の水平・垂直の直線偏光を用いた X 線磁気線二色性(XMLD)は、スペクトル解析から磁気異方性定数 K 及び四極子モーメント Q_{zz} を算出できる手法である。具体的には、以下の総和則により算出される[1,2]。

$$K = \frac{\xi n_h \Delta I_{L3} - 2\Delta I_{L2}}{2A \frac{I_{L3} + I_{L2}}{I_{L3} + I_{L2}}}$$

$$\langle Q_{zz} \rangle = \frac{l(2l-1)n_h \Delta I_{L3} + \Delta I_{L2}}{2 \frac{I_{L3} + I_{L2}}{I_{L3} + I_{L2}}}$$

ここで、 I と ΔI はそれぞれ XAS, XMLD 強度を表す。 ξ はスピン軌道結合定数、 n_h は 3d 空準位数、 l は軌道角運動量を表す。 A は幾何学的配置による係数である。面内磁気異方性を有する試料であれば、面内磁化と縦横直線偏光の電場ベクトルとの相互作用の有無により、XMLD シグナルが得られる。一方、垂直磁気異方性を有する場合の XMLD は今までに行われていない。そこで今回、残留磁化状態での垂直磁化試料の XMLD の計測手法を開発した。これにより、XMLD から算出した垂直磁気異方性エネルギーを評価し、四極子モーメントについて XMCD から算出される値と比較検討することを目的とする。

Results

垂直磁気異方性を示す試料にて、ゼロ磁場にて残留磁化がおおよそ飽和磁化と同じ場合には、残留磁化状態にて 60° の斜入射配置にて放射光の水平方向、垂直方向の電場ベクトルでのスペクトルを測定することで XMLD シグナルが得られることが判った。これは試料と放射光の入射角を変えことなく異方性エネルギーを算出できることになる。一例として、 1.2 MJ/m^3 の垂直磁気異方性エネルギーを有する Fe/MgO 界面において XMLD スペクトルを計測し、総和則を用いることで異方性エネルギーを評価した。上式を用いた解析では、異方性エネルギーは $500 \text{ } \mu\text{eV}$ となり、これは Fe/MgO 界面の垂直磁気異方性に相当する。光と磁気が結合する正確な配置にはならないが、 $\sqrt{3}/2$ 倍により補正される。これは角度依存 XMCD から求めた値とおおよそ一致し[3]、XMLD の有用性が示された。

磁気双極子モーメント m_T は、 $m_T = -Q_{zz} S$ の関係により四極子成分 Q_{zz} と関連する。XMCD の角度依存性からも m_T を導出し、 Q_{zz} について議論できる。一方、XMLD と総和則から Q_{zz} を算出し比較した。Fe/MgO 界面では、 Q_{zz} は有限ではあるが値は極めて小さく、磁気異方性の起源に m_T の寄与は極めて小さく、軌道磁気モーメントの異方性から説明できることも判った。

References

- [1] P. Carra et al., Physica B **192**, 182 (1993).
- [2] S.S. Dhesi et al, Appl. Phys. Lett. **80**, 1613 (2002).
- [3] J. Okabayashi et al., Appl. Phys. Lett. **105**, 122408 (2014).