

コバルトフェライトの磁気異方性と磁気弾性効果

井上順一郎, 柳原英人, 喜多英治
(筑波大学, 物理工学)

Magnetic anisotropy and magnetoelasticity of Cobalt-ferrites

Jun-ichiro Inoue, Hideto Yanagihara, and Eiji Kita

(Faculty of Pure and Applied Physics, University of Tsukuba)

はじめに

スピネルコバルトフェライト $\text{Fe}(\text{Co-Fe})_2\text{O}_4$ (以下 CFO と略記) はマグネタイトや他のフェライトと比較して際立って大きな結晶磁気異方性と磁気弾性効果を示すことが古くから知られている[1]。ごく最近, スパッタリング法により作製された MgO 基板上的 CFO 薄膜において, 大きな垂直磁気異方性が見出された[2]。従来 Co フェライトの結晶磁気異方性は, 単一 Co イオンに対するスピン模型により説明されていた[3]。CFO 薄膜の垂直磁気異方性のミクロな機構を明らかにするため, 我々は Co イオンの電子模型に基づき, CFO 結晶が元来持っている trigonal 対称性の結晶場, CFO 薄膜と MgO 基板との格子不整合による tetragonal 対称性の結晶場およびスピン軌道相互作用を取り入れ, CFO 薄膜の磁気異方性の発現機構を明らかにした[4]。

他方, 磁気弾性効果の理解は現象論の範囲にとどまっている。それによれば, 磁気弾性効果によって生じる磁気異方性は, 結晶歪みに比例して増大する[5]。一方, 上述した電子模型による垂直磁気異方性の計算結果では, 磁気異方性は格子不整合に対して非線型に増大する。現象論とミクロ理論との差異をさらに明らかにするため, 本研究では, Co イオンの電子模型に基づき, 任意の大きさの tetragonal 結晶歪みと trigonal 結晶歪みと, それらにより誘起される磁気異方性との関係を調べる (なお一部の結果は文献[6]においてすでに公表されている)。さらに, 結晶歪みが小さい極限の計算値から, 磁気弾性定数 B_1 および B_2 を見積もる。

モデルと計算方法

CFO の Co ($+2$ 価, $3d^7$) イオンに対し, t_{2g} 軌道のみを取り扱う電子模型を採用する。電子状態を表わすハミルトニアンは, スピン軌道相互作用, trigonal および tetragonal 結晶場からなる。結晶歪みによって生じる結晶場は, 電子に対する自己エネルギーとして tight-binding 模型から見積もる。結晶歪みが小さい極限に対して得られた計算結果と, 現象論によって得られる結果を比較することにより, 磁気弾性定数を見積もる。

計算結果

- ① 磁気異方性は, 結晶の一樣歪みに対し, 非線形・非対称依存性を示す。
- ② 一樣な trigonal 歪みに対しては, 有効的に tetragonal 結晶場が生じ, 磁気弾性定数に対し無視できない効果を及ぼす。
- ③ 見積もられた磁気弾性定数 B_1 および B_2 の値は, 実験値の 5 倍程度であり, 半定量的に実験結果を説明する。特に, B_2 に対しては有効的 tetragonal 結晶場の効果が重要であることが明らかになった。

謝辞: 本研究は, 文部科学省元素戦略プロジェクトの助成を受けて行われた。

参考文献

- 1) R. M. Bozorth, E. F. Tilden, and A. J. Williams, Phys. Rev. 99, 1788 (1955).
- 2) T. Niizeki, Y. Utsumi, R. Aoyama, H. Yanagihara, J. Inoue, Y. Yamasaki, H. Nakao, K. Koike, and E. Kita, Appl. Phys. Lett. 103, 162407 (2013).
- 3) J. C. Slonczewski, Phys. Rev. 110, 1341 (1959), M. Tachiki, Prog. Theor. Phys. 23, 1055 (1960).
- 4) J. Inoue, T. Niizeki, H. Yanagihara, H. Itoh, and E. Kita, AIP Advances 4, 027111 (2014).
- 5) J. Inoue, et al., IEEE Trans. Mag. 49, 3269 (2013).
- 6) M. A. Tanaka, K. Harada, M. Takemura, K. Mibu, and J. Inoue, J. Appl. Phys. 115, 17C101 (2014).