

CoFeB 薄膜における 4 回対称磁気異方性とスピン波共鳴特性

秋光果奈, 牙暁瑞, 福園舞桜, 田中輝光, 松山公秀
(九州大学 大学院システム情報科学府)

Experimental study on four-fold anisotropy and spin wave resonance property of CoFeB thin films

R. Akimitsu, X. Ya, M. Fukuzono, T. Tanaka, and K. Matsuyama
(ISEE, Kyushu University)

はじめに

スピン波をより効率的に伝搬するためには、ダンピング定数が小さい強磁性材料が必要になる。また、面内 4 回対称磁気異方性の導入により面内 2 方向が磁化安定状態となるため、スピン波伝播の ON・OFF 機能や、素子設計の自由度向上が可能となる。本研究では、ダンピング定数の小さな $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ 薄膜に着目し、4 回対称磁気異方性の発現条件を調べると共に、同薄膜パターンを配したコプレーナ伝送線路によりスピン波共鳴特性を評価した。さらにマイクロマグネティクスシミュレーションにより測定結果の数値解析を行った。

実験方法

RF マグネトロンスパッタリングにより、MgO(100)基板上に 200°C, 300°C, 400°C の成膜温度 (T_s) で CoFeB 薄膜 (膜厚 40 nm) を作製した。成膜条件は、Ar ガス圧: 5 mTorr, 投入電力: 85 W, 成膜レート: 0.17 Å/sec とした。光学露光、及びイオンミリングにより CoFeB 薄膜を細線状 (幅 $L_x = 18 \mu\text{m}$, 細線長 $L_y = 1 \text{mm}$) に微細加工し、80 nm の SiO_2 スペーサ層を介してコプレーナ伝送線路を形成した。シグナルジェネレータからのマイクロ波を入力とし、スペクトルアナライザにより通過特性を評価した (Fig. 2(a))。マイクロマグネティクスシミュレーションは、磁性細線幅方向に計算要素分割し、LLG 方程式を有限差分法で数値的に解くことにより行った。

実験結果

Fig. 1 は VSM により測定した残留磁化比の磁界印加角依存性を示している。同図で 0° 方向は、MgO 基板の [100] 方向を示している。Fig. 1 より、 $T_s \geq 300^\circ\text{C}$ では、MgO <100> (100) 方向を容易方向とする面内 4 回対称磁気異方性が誘導されていることが分かる。XRD 解析結果からは、300°C 以上の成膜において、微結晶化した CoFe の形成が示唆されており、これが 4 回対称磁気異方性の発現要因と考えられる。 $T_s = 200^\circ\text{C}$ の場合、MgO [100] 方向を容易方向とする一軸磁気異方性が生じている。これは、 $T_s \geq 300^\circ\text{C}$ での成膜に比べ、より微細な結晶粒が形成されており、十分な結晶磁気異方性が誘導されていないためと推察している。

Fig. 2(b) はマイクロ波通過出力の吸収ディップから評価した共鳴周波数のバイアス磁界依存性を示している。実験と同一の素子設計及び CoFeB 薄膜の材料磁気定数を仮定して行ったシミュレーション結果の一例を Fig. 3 に示す。同図は細線幅方向に沿った磁化の歳差運動振幅の変化を表しており、励起周波数に応じて 1 次モードと 3 次モードの定在スピン波が励起されることが分かる。Fig. 2(b) には、各モードの定在スピン波共鳴周波数を実験結果と比較して示している。シミュレーションにおける 1 次モードと 3 次モードの共鳴周波数差が小さいため ($f_{\text{res,3rd}}/f_{\text{res,1st}} = 1.03 \sim 1.13$)、実験結果における励起モードの特定は困難であるが、共鳴周波数及びそのバイアス磁界依存性についてはシミュレーション結果と実験値とは概ね一致している。

参考文献

- 1) X. Ya, et al, *IEEE Trans. Magn.*, **51** (2015)

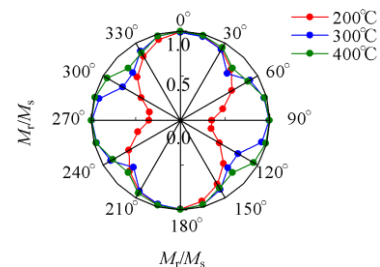


Fig. 1. Angular dependence of remanent magnetization ratio measured for CoFeB films fabricated with different sputtering temperature.

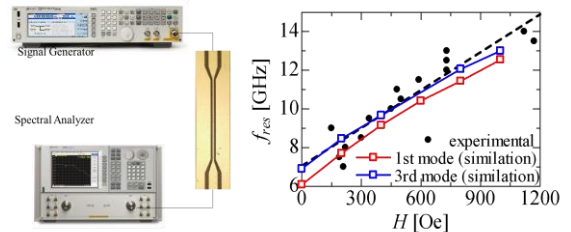


Fig. 2. (a) The schematic of designed measurement system. (b) The dependence of resonance frequency f_{res} on bias field H .

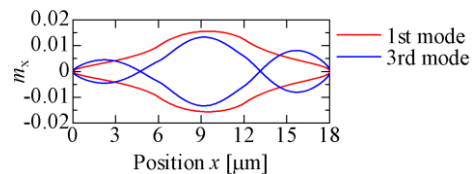


Fig. 3. The magnetization configuration of 1st and 3rd standing spin wave modes