

## 傾斜配向磁性膜の本質的な一軸異方性の定量解析

°宮崎 大輝, 田河 育也, 本多 直樹 (東北工大) 齊藤 伸 (東北大)

Quantitative analysis of intrinsic uniaxial anisotropy of tilt-oriented magnetic film

°Daiki Miyazaki, Ikuya Tagawa, Naoki Honda (Tohoku Inst. of Tech.) and Shin Saito (Tohoku Univ.)

**はじめに** 磁気記録のトリレンマにおける高熱擾乱耐性と書き込み容易性の両立の解決方法として、磁気エネルギーを高く保ったまま反転磁界を低減できる ECC (Exchange-Continuous Coupled) 構造が提案されている[1]。さらに、ECC の磁気異方性軸に 10°程度の傾斜を与えることで、より大きな反転磁界低減効果が得られることが報告されている[2]。また、磁気異方性軸(容易軸)を傾斜させるため、スパッタ粒子入射角度が斜めになるよう基板を配置することにより結晶配向軸が傾斜した磁性膜の作製が試みられている[3]。

傾斜配向膜では、異方性軸も容易軸が傾斜した分だけ傾くが、反磁界は膜面に対して法線方向に働くので、異方性磁界と反磁界に角度差が生じる。従来は、この角度差を考慮しないまま、磁気異方性エネルギーが導出されていた。これに対して我々は、反磁界成分を含む実効的な結晶磁気異方性エネルギー  $K_u^{\text{eff}}$  と、反磁界を補正した磁性結晶粒の本質的な異方性エネルギー  $K_u^{\text{grain}}$  を分離する方法を提案した[4]。本論文では、3次元極座標 X 線回折(XRD)によるロッキングカーブ測定、および、極 Kerr による反転磁界の角度依存性測定[5]なども含め、斜め配向膜と垂直配向膜との定量的な比較を行う。

**実験結果** 斜め配向膜は、基板を傾斜させてスパッタ粒子の入射角を 30°とする特殊なコリメータを用いて Pt(10 nm)/Ta(5 nm)傾斜下地層を形成した後、通常のコリメータを用いて Co/Pt 多層磁性膜を形成した。単原子 3 層の Co と単原子 2 層の Pt の組成で (Co/Pt=3L/2L)、総厚 20nm である。3次元 XRD による構造解析の結果、Co/Pt 磁性層が、Pt 下地層の結晶配向軸の傾斜角を保ったままヘテロエピタキシャル成長していること、そして、結晶配向軸は垂直からスパッタ入射方向へ約 8°傾いていることがわかった。

Fig.1 は、斜め配向 Co/Pt 多層膜と通常の垂直 Co/Pt 多層膜のトルク曲線である。斜め配向膜では、位相が容易軸から 14.4°、困難軸から 16.2°シフトしていることがわかる。結晶軸傾きが約 8°であるにもかかわらず、垂直反磁界の影響により、実効的な異方性軸は約 15°傾いていることを示す。このような斜め配向磁性膜において、実効的な結晶磁気異方性エネルギー  $K_u^{\text{eff}}$ 、および、磁性結晶粒の磁気異方性エネルギー  $K_u^{\text{grain}}$  を導出するため、以下の方法を考案した。まず、結晶軸傾斜配向膜のエネルギーは、

$$E = K_{u1}\sin^2(\theta - \alpha) + K_{u2}\sin^4(\theta - \alpha) - M_s H \cos(\varphi - \theta) + 2\pi M_s^2 \cos^2\theta$$

で与えられる。ここで、 $\theta$ 、 $\varphi$ 、および  $\alpha$  は、それぞれ膜面垂直方向からの磁化、磁場、および結晶軸の傾斜角度である。これより、トルク  $L$  は、

$$L = K_u^{\text{eff}}\sin 2(\theta - \beta) + 1/2K_{u2}\sin 4(\theta - \alpha)$$

となる。 $K_u^{\text{eff}}$  と  $K_{u2}$  は、測定されたトルク曲線のフーリエ解析によって得られる。ここで、 $\beta$  は実効的な容易軸の角度である。また、 $K_{u1}$  は、

$$K_{u1} = [-(2K_{u2} - 4\pi M_s^2 \cos 2\alpha) + \sqrt{16\pi^2 M_s^4 (\cos^2 2\alpha - 1) + 4K_u^{\text{eff}2}}]/2$$

となり、 $K_u^{\text{grain}} = K_{u1} + K_{u2}$  である。したがって、磁気異方性軸の傾斜を考慮した  $K_u^{\text{eff}}$  と  $K_u^{\text{grain}}$  の両方が導出される。

Fig.2 に、極 Kerr 装置によって測定した垂直方向の残留保持力、すなわちスイッチング磁界  $H_{\text{sw}}$  の印加磁場角度依存性を示す。グラフの形状より、磁壁移動型ではなく微粒子型に近い磁化反転であることがわかる。また、結晶軸が 8°傾いていることに対応して、磁場角度 8°において  $H_{\text{sw}}$  が極大となっていることから、垂直方向のスイッチング磁界が低減できていることがわかる。ただし、低減率は 2.6%であり、さらなるスイッチング磁界の低減のため、ECC 構造と組合せるなどの工夫が必要である。

**参考文献** [1] R. Victora, et al., *IEEE Trans. Magn.*, 41(2), pp.537-542 (2005). [2] N. Honda, et al., *IEEE Trans. Magn.*, 53(2), 3200207 (2017). [3] N. Honda, et al., *IEICE Technical Report*, 116, 348, MR2016-38, pp.51-56 (2016). [4] D. Miyazaki, et al., *IEEE Intermag 2020 Digests*, CS-02 (2020). [5] D. Hasegawa, et al., *J. Magn. Magn. Mat.*, 320, pp.3027-3031 (2008).

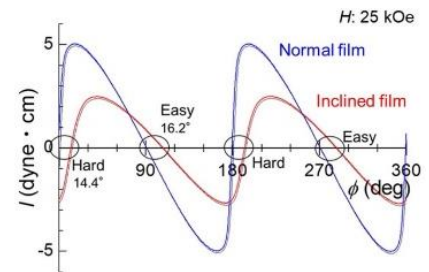


Fig. 1 Torque curves of a normal perpendicular and an inclined anisotropy Co/Pt films.

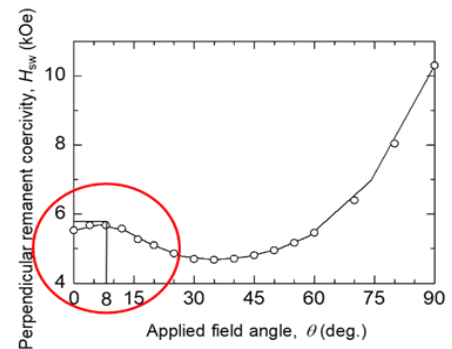


Fig. 2 Angle dependence of  $H_{\text{sw}}$  of an inclined anisotropy Co/Pt film obtained with polar Kerr measurement.