

(001)単結晶基板上に形成した エピタキシャル FePt 合金膜の構造と磁気特性

Structure and Magnetic Properties of FePt Alloy Epitaxial Thin Films

Formed on (001) Single-Crystal Substrates

中央大理工¹, 東京藝大² °沼田 裕介¹, 板橋 明¹, 大竹 充¹, 桐野 文良², 二本 正昭¹

Chuo Univ.¹, Tokyo Univ. Arts.², °Yusuke Numata¹, Akira Itabashi¹,

Mitsuru Ohtake¹, Fumiyoshi Kirino², Masaaki Futamoto¹

E-mail: y-numata@futamoto.elect.chuo-u.ac.jp

$L1_0$ -FePt 規則合金薄膜のデバイス応用では, FePt 膜の高規則度化と, 磁化容易軸 (c 軸) の面直方向制御が必要である. FePt 合金の規則化もしくは結晶核生成過程に依存して, c 軸が面直方向の $L1_0(001)$ 結晶だけではなく, 面内方向の $L1_0(100)$ 結晶が膜中に存在することが報告されている^{1,2)}. 本研究では規則合金の結晶方向制御を目的に, 種々の(001)単結晶基板および下地層上に FePt 膜を形成し, 膜構造と磁気特性の関係を調べた.

試料作製には, RHEED 装置付きの超高真空スパッタリング装置を用いた. 単結晶基板として $\text{SrTiO}_3(001)_{E21}$ および $\text{MgO}(001)_{B1}$ を, 更に $\text{MgO}(001)_{B1}$ 基板上にエピタキシャル成長させた 2 nm 厚の $\text{FePd}(001)_{L10}$ および $\text{Pd}(001)_{A1}$ 下地層上に, 基板温度 600 °C で 40 nm 厚の FePt 膜を形成した. AFM により測定した基板および下地層表面の算術平均粗さは 0.2 nm 以下であり, 下地層が層状成長していることが確認した.

膜の成長過程の RHEED 観察により, これらの単結晶基板および下地層上では, いずれも (001)もしくは(100)配向したエピタキシャル $L1_0$ -FePt 膜が得られることが分かった. $L1_0$ -FePt 膜の詳細構造を決定するために, XRD 測定を行った. Fig. 1(a-1)–(d-1)に面外 XRD スペクトルを示す. いずれの試料に対しても, (001)超格子反射が観察されており, $L1_0(001)$ 結晶が形成されていることが分かる. Fig. 2(a-2)–(d-2)に示した面内 XRD スペクトルにも超格子反射が観察されており, この膜中には $L1_0(100)$ 結晶も含まれていることが分かる. $L1_0$ 規則構造の対称性を考慮すると, c 軸が面内に存在する $L1_0$ 結晶は互いに直交した双結晶で構成されているものと解釈される. Table 1 に XRD 反射から評価した c 軸が垂直な $L1_0(001)$ 結晶の規則度, c 軸が面内に存在する $L1_0(100)$ 結晶の規則度, および, 膜全体の規則度 (S_{\perp} , $S_{//}$, S_{total}) を示す. 基板や下地層材料によって FePt 膜の規則度が変化していることが明らかになった. また, c 軸が面直もしくは面内と平行な結晶間で, 規則度が異なることも分かった. 本研究により各種基板, 下地層の中で $\text{Pd}(001)_{A1}$ 下地層を用いた場合に比較的高い規則度が実現されていることが明らかになった.

Fig. 2 に MgO 基板および Pd 下地層上に形成した膜の磁化曲線を比較して示す. MgO 基板上に形成した膜に比べ, Pd 下地層上に形成した膜は S_{\perp} が大きいので, より強い垂直磁気異方性を示していることが分かる.

- 1) Y. K. Takahashi *et al.*: JMMM, **267**, 248 (2003).
- 2) M. Ohtake *et al.*: JAP, **109**, 07B757 (2011).

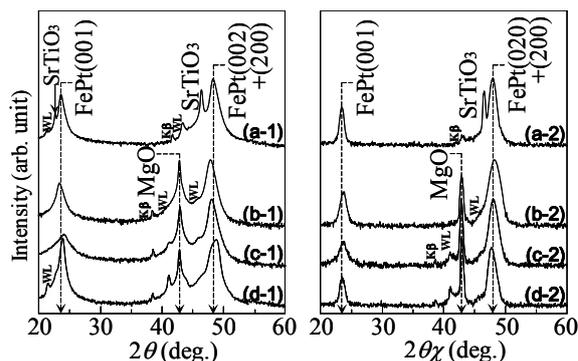


Fig. 1 (a-1)–(d-1) Out-of-plane and (a-2)–(d-2) in-plane XRD spectra of (a) FePt/SrTiO₃, (b) FePt/MgO, (c) FePt/FePd/MgO, and (d) FePt/Pd/MgO specimens.

Table 1 Long-range order degrees.

Substrate or underlayer	SrTiO ₃	MgO	FePd	Pd
S_{\perp} ^{*1}	0.22	0.18	0.21	0.29
$S_{//}$ ^{*2}	0.34	0.31	0.34	0.32
S_{total} ^{*3}	0.56	0.49	0.55	0.61

$$^*1 S_{\perp} = \sqrt{\frac{I_{s(OP)}}{I_{r(OP)}} \times \left(\frac{f_{Fe} + f_{Pt}}{f_{Fe} - f_{Pt}} \right)^2} \times \frac{(L \times A \times D)_{r(OP)}}{(L \times A \times D)_{s(OP)}}$$

$$^*2 S_{//} = 2 \sqrt{\frac{I_{s(IP)}}{I_{r(IP)}} \times \left(\frac{f_{Fe} + f_{Pt}}{f_{Fe} - f_{Pt}} \right)^2} \times \frac{(L \times A \times D)_{r(IP)}}{(L \times A \times D)_{s(IP)}}$$

$$^*3 S_{\text{total}} = S_{\perp} + S_{//}$$

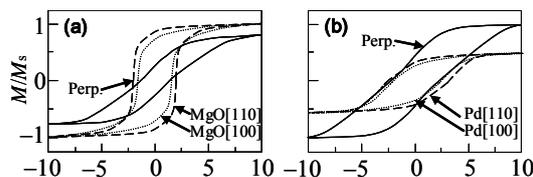


Fig. 2 Magnetization curves of (a) FePt/MgO and (b) FePt/Pd/MgO specimens.