

VN 下地層上に形成した FeCo(001)単結晶膜の磁歪特性

大竹 充¹・芹澤 伽那^{1,2}・川井 哲郎¹・二本 正昭²・桐野 文良³・稲葉 信幸⁴

(¹横浜国大, ²中央大, ³東京藝大, ⁴山形大)

Magnetostrictive Property of FeCo(001) Single-Crystal Film Formed on VN Underlayer

Mitsuru Ohtake¹, Kana Serizawa^{1,2}, Tetsuroh Kawai¹, Masaaki Futamoto², Fumiyoshi Kirino³, Nobuyuki Inaba⁴

(¹Yokohama Nat. Univ., ²Chuo Univ., ³Tokyo Univ. Arts, ⁴Yamagata Univ.)

はじめに 大きな磁歪を示す軟磁性材料は、センサやアクチュエーター、振動発電デバイス等への応用に向けて研究されている。bcc 構造を持つ Fe-Co 合金は代表的な軟磁性材料であり、組成や形成条件により 10^{-4} オーダーの大きな磁歪を示すことから¹⁻³⁾、これらの応用に向けて注目されつつある。最近、我々は、材料基礎物性を調べることを目的に、MgO(001)基板上に bcc-Fe_{100-x}Co_x(001)単結晶膜 ($x = 0 \sim 50$ at. %) を基板温度 300 °C で形成し、Co 組成 x を 0 から 50 at. % に増加させると、 λ_{100} は $+274 \times 10^{-6}$ 、 λ_{111} は $+78 \times 10^{-6}$ まで増加することを報告した⁴⁾。形成基板温度や熱処理後の冷却過程によっても、結晶特性が変化し、磁歪も増加する可能性がある。しかしながら、高基板温度で膜形成を行うと、一般に基板上での薄膜材料原子の表面拡散が促進され、起伏の大きな膜が形成され、磁歪特性を評価することができない。本研究では、MgO と同じ結晶構造と同程度の格子定数を持ち、MgO に比べて表面エネルギーの大きな VN を下地層材料として用いることにより、高基板温度においても、平坦な表面を持つ Fe₅₀Co₅₀ 合金膜の形成を実現した。そして、基板温度および基板加熱後の冷却過程が磁歪特性に及ぼす影響について調べた。

実験方法 膜形成には超高真空 RF マグネトロン・スパッタリング装置を用いた。MgO(001)基板上に 600 °C の基板温度で 10 nm 厚の VN(001)単結晶下地層を形成し、その後、室温から 600 °C の間の一定基板温度で 100 nm 厚の Fe₅₀Co₅₀ 膜を形成した。構造評価には RHEED および XRD、表面形態観察には AFM、磁化曲線測定には VSM を用いた。磁歪は、0 から 1.2 kOe の回転磁界中に片持ち梁の状態を試料を配置し、そのそりをレーザー変位計で測定し、 $\Delta l/l = \Delta S t_s^2 E_s (1 + \nu_s) / 3 L^2 t_f E_f (1 - \nu_s)$ の関係式を用いることにより算出した。ここで、 $\Delta l/l$ は歪、 ΔS は片持ち梁のそり量、 L は 2 つのレーザーポイント間の距離、 t は厚さ、 E はヤング率、 ν はポアソン比、添え字の s および f はそれぞれ基板および膜のパラメータであることを表している。

実験結果 室温から 600 °C の全ての基板温度において、FeCo(001)[110]_{bcc} || VN(001)[100] の結晶方位関係で FeCo(001)単結晶膜がエピタキシャル成長した。また、いずれの膜においても、平坦な表面が得られた。Fig. 1(a)および(b)に、それぞれ、 λ_{100} および λ_{111} の基板温度依存性を示す。基板温度を室温から 600 °C に上昇させると、 λ_{100} は $+261 \times 10^{-6}$ から $+299 \times 10^{-6}$ 、 λ_{111} は -16×10^{-6} から $+117 \times 10^{-6}$ まで増加しており、高基板温度を用いることにより、磁歪を増加させられることが分かった。当日は、基板加熱後の冷却過程が磁歪特性に及ぼす影響についても報告する。

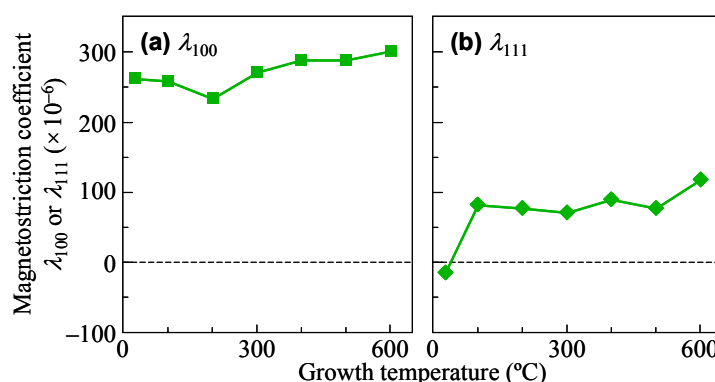


Fig. 1 Substrate temperature dependences of magnetostriction coefficients, (a) λ_{100} and (b) λ_{111} , of FeCo(001) single-crystal film formed on VN underlayer.

- 1) H. M. A. Urquhart, K. Azumi, and J. E. Goldman: *DTIC Tech. Rep.*, no. AD0018771 (1953).
- 2) R. C. Hall: *J. Appl. Phys.*, **30**, 816 (1959).
- 3) D. Hunter, W. Osborn, K. Wang, N. Kazantseva, J. Hattrick-Simpers, R. Suchoski, R. Takahashi, M. L. Young, A. Mehta, L. A. Bendersky, S. E. Lofland, M. Wuttig, and I. Takeuchi: *Nat. Commun.*, **2**, 518 (2011).
- 4) K. Serizawa, M. Ohtake, T. Kawai, M. Futamoto, F. Kirino, and N. Inaba: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **43**, 50 (2019).