

bcc 構造を持つ Fe-Co 合金単結晶膜の 磁歪特性に及ぼす熱処理の影響

秋田谷耀¹・芹澤伽那^{1,2}・大竹充¹・川井哲郎¹・二本正昭¹・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)

Influence of Heat Treatment on the Magnetostrictive Property of Fe-Co Alloy Single-Crystal Films with bcc Structure

Teru Akitaya¹, Kana Serizawa^{1,2}, Mitsuru Ohtake¹, Tetsuroh Kawai¹, Masaaki Futamoto¹, 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、振動エネルギー・ハーベスタや力センサなどへの応用に向けて研究されている。逆磁歪効果による磁化回転には、磁歪定数 (λ) が大きいだけでなく、磁気異方性エネルギーも小さいことが必要である。また、コイル等で磁化回転を高感度に検出するためには、飽和磁束密度 (B_s) が高いことが望ましい。これらの要求を満たす材料として、近年、Co リッチ組成の Fe-Co 合金が注目されている¹⁻³。Fe-Co 合金は、35 at. % Co 付近で B_s が最大であり、40 at. % Co 付近で結晶磁気異方性エネルギーはほぼゼロとなる。そのため、Fe リッチ組成の Fe-Co 合金において大きな磁歪が得られれば、応用デバイスの特性向上が見込まれる。最近、我々は、VN(001)下地層上に 600 °C の高い成長温度で Fe₅₀Co₅₀(001)単結晶膜を形成し、 $\lambda_{100} = +300 \times 10^{-6}$ の飽和磁歪定数が得られることを報告した⁴。組成や熱処理法によっても、磁気異方性や磁歪が変化することが考えられる。本研究では、Co 組成を $x = 0 \sim 50$ at. % で変化させて Fe_{100-x}Co_x(001)単結晶膜を形成し、高温成長後の冷却速度を -600 °C/1.5~72 h ($\simeq -400 \sim -8.3$ °C/h) で変化させた。そして、組成および冷却速度が構造、磁気異方性、磁歪に及ぼす影響を系統的に調べた。

実験方法 膜形成には、超高真空高周波マグネトロン・スパッタリング装置を用いた。MgO(001)単結晶基板の上に 600 °C の基板温度で 10 nm 厚の VN 下地層および 100 nm 厚の Fe_{100-x}Co_x膜を形成した。その後、製膜装置内で、速度を制御して室温まで冷却させた。構造解析には RHEED および XRD、表面起伏観察には AFM、磁化曲線測定には VSM を用いた。磁歪特性は、片持ち梁状の試料の面内方向に回転磁界を印加し、そり量をレーザー変位計で測定することにより評価した。

実験結果 Fig. 1 に高温成長後に異なる速度で冷却した Fe_{100-x}Co_x膜の λ_{100} を示す。いずれの冷却速度に対しても、Co 組成の増加に伴い、 λ_{100} は増大しており、例えば、 -600 °C/1.5 h で冷却した Fe, Fe₇₀Co₃₀, Fe₅₀Co₅₀膜の λ_{100} は、それぞれ、 $+20 \times 10^{-6}$, $+210 \times 10^{-6}$, $+300 \times 10^{-6}$ であった。また、Fe および Fe₇₀Co₃₀膜では、冷却速度を低下させても、 λ_{100} に大きな変化は見られなかったが、Fe₅₀Co₅₀膜では、冷却速度の低下に伴い λ_{100} が増加し、 -600 °C/72 h まで減速させると λ_{100} は $+360 \times 10^{-6}$ にまで向上した。当日は、組成と冷却速度の変化に伴う構造の変化と、磁気異方性と磁歪特性との対応関係についても議論する。

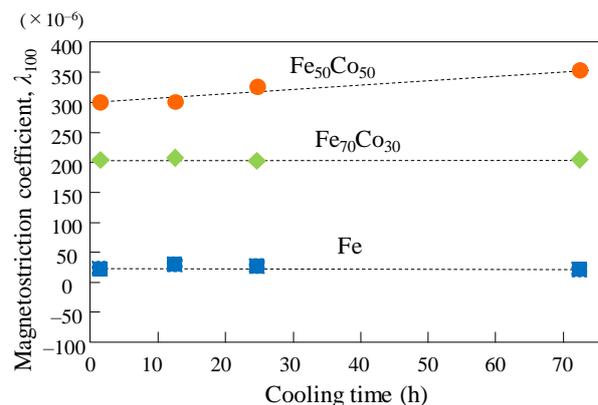


Fig. 1 Cooling time dependences of λ_{100} estimated for Fe_{100-x}Co_x films with different compositions.

1) D. Hunter *et al.*: *Nat. Commun.*, **2**, 518 (2011).

2) T. Yamazaki, T. Yamamoto, Y. Furuya, and W. Nakao: *Mech. Eng. J.*, **5**, 17-00569 (2018).

3) F. Narita: *Adv. Eng. Mater.*, **19**, 1600586 (2017).

4) 大竹充, 芹澤伽那, 川井哲郎, 二本正昭, 桐野文良, 稲葉信幸: 第43回日本磁気学会学術講演会概要集, p. 165 (2019).