

# GaAs(111)単結晶基板上に形成した bcc 構造を持つ Fe, Co および Ni 薄膜の構造解析

曾田卓裕・皆川成行・大竹充・二本正昭・稲葉信幸\*  
(中央大, \*山形大)

Structure Analysis of Fe, Co, and Ni Thin Films with bcc Structure Formed on GaAs(111) Substrates  
Takahiro Soda, Shigeyuki Minakawa, Mitsuru Ohtake, Masaaki Futamoto, and Nobuyuki Inaba\*  
(Chuo Univ., \*Yamagata Univ.)

**はじめに** Fe, Co および Ni は代表的な軟磁性材料であり, 磁気応用デバイスとして広く用いられている. これらの材料はバルク状態では安定構造としてそれぞれ bcc, hcp および fcc 構造をとるが, 薄膜状態では状態図に存在しない準安定な構造を持つ結晶の形成が可能であることが報告されている<sup>1-3</sup>. 結晶構造が異なると磁気特性が変化するため, 準安定構造を持つ 3d 強磁性遷移金属は新磁性材料として注目されている<sup>4</sup>. これまで我々は GaAs(100)基板上での膜形成初期過程で bcc 構造をもつ Co および Ni 膜が形成されることを報告した<sup>5,6</sup>. 本研究では, GaAs(111)基板上に Fe, Co および Ni 膜を形成し, 膜の結晶構造に及ぼす膜厚の影響を系統的に調べた.

**実験方法** 試料の作製には RHEED 装置付きの超高真空 RF マグネトロンスパッタリング機構を用いた. GaAs(111)基板を 600 °C の加熱処理により表面清浄化処理を行った後, 室温で膜厚を 1 から 40 nm の範囲で変化させた Fe, Co および Ni 膜を形成した. 膜の形成過程と形成後の構造解析に RHEED および XRD をそれぞれ用い, 磁化曲線測定には VSM を使用した.

**実験結果** Fig. 1(a-1)-(c-1)に 1 nm 厚の Fe, Co および Ni 膜に対して観察した RHEED パターンを示す. すべての材料において, bcc 単結晶の形成を示す (Fig. 1(d)) 回折パターンが観察された. したがって GaAs(111)基板上に準安定 bcc-Co および bcc-Ni 結晶がヘテロエピタキシャル成長していることが分かる. RHEED パターンから決定したエピタキシャル方位関係は

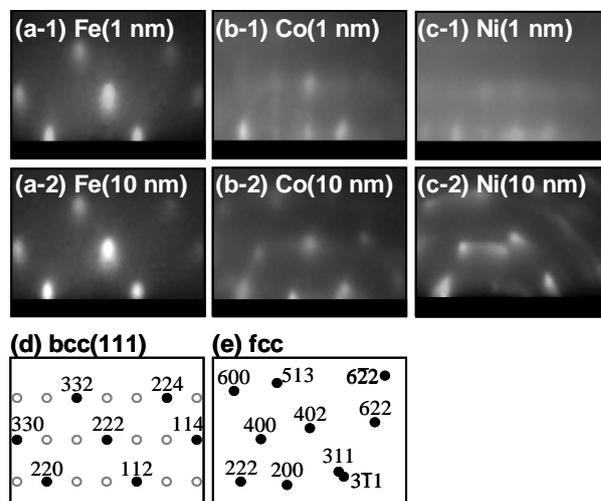
$$\text{bcc}(111)[1\bar{1}0] \parallel \text{GaAs}(111)[1\bar{1}0]$$

であった. Fig. 1(a-2)-(c-2)に 10 nm 厚の Fe, Co および Ni 膜に対して観察した回折パターンを示す. Fe 膜においては 1 nm 厚の場合と同様に bcc 構造の反射が観察されたが, Co および Ni 膜においては fcc 結晶の形成を示す (Fig. 1(e)) 回折パターンが得られた. この結果は準安定な bcc 結晶がより安定な fcc 結晶へと, バルクにおける bcc 構造の相変態として知られている Nishiyama-Wasserman (NW)<sup>7</sup>の結晶方位関係によって変態している可能性が示唆される. したがって, 膜表面では膜厚の増加に伴い, NW の関係に従い, 最密充填面である bcc{110}面と fcc(111)面が平行になった方位関係で相変態が生じたものと解釈される. RHEED パターンから決定した方位関係は

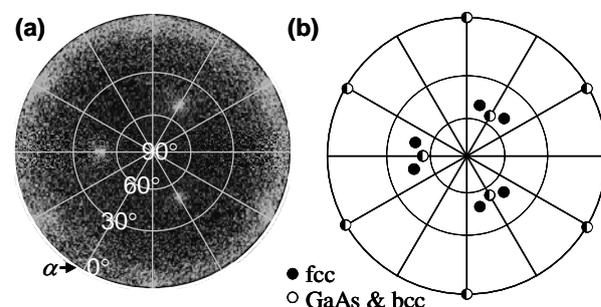
$$\text{fcc}\{111\}\langle 110 \rangle \parallel \text{bcc}\{110\}\langle 001 \rangle$$

であった. Fig. 2(a) に 40 nm 膜厚の Co 膜で測定した XRD 極点図形を示す. GaAs 基板反射の他に fcc-Co 結晶に対応する反射 (Fig. 2(b)) が確認され, 膜内においても NW の関係で結晶の相変態が進行したことが推定される. 当日は磁気特性解析についても報告する.

**参考文献** 1) J. C. A. Huang *et al.*: *J. App. Phys.*, **83**, 7046 (1998). 2) Y. U. Idzerda *et al.*: *Phys. Rev. Lett.*, **62**, 2480 (1989). 3) C. S. Tian *et al.*: *Phys. Rev. Lett.*, **94**, 137210 (2005). 4) X. -G. Zhang *et al.*: *Phys. Rev. B*, **70**, 172407 (2004). 5) M. Ohtake *et al.*: *Key Eng. Mat.*, **605**, 478 (2014). 6) M. Ohtake *et al.*: *Eur. Phys. J. B*, **86**, 1 (2013). 7) Z. Nishiyama: *Sci. Tohoku Univ.*, **23**, 638 (1934).



**Fig. 1** (a)-(c) RHEED patterns observed for (a) Fe, (b) Co, and (c) Ni films of (a-1)-(c-1) 1 and (a-2)-(c-2) 10 nm thicknesses deposited on GaAs(111) substrates at RT. (d, e) Schematic diagrams of RHEED patterns simulated for (d) bcc(111) and (e) fcc crystals. The incident electron beam is parallel to GaAs[1 $\bar{1}$ 0].



**Fig. 2** (a) Pole-figure XRD pattern of a 40-nm-thick Co film deposited on GaAs(111) substrate at RT measured by fixing the diffraction angle of  $2\theta_B$  at  $44^\circ$ . (b) Schematic diagrams of diffraction pattern simulated for GaAs, bcc-Co(111), and fcc-Co crystals.