

# Co(11 $\bar{2}$ 0)<sub>hcp</sub> および Fe-Co(100)<sub>bcc</sub> 下地層上に形成した エピタキシャル SmCo<sub>5</sub> 合金薄膜の構造と磁気特性

大竹充・堀田裕介・鈴木中・山田真・二本正昭・桐野文良\*・稲葉信幸\*\*  
(中央大, \*東京藝大, \*\*山形大)

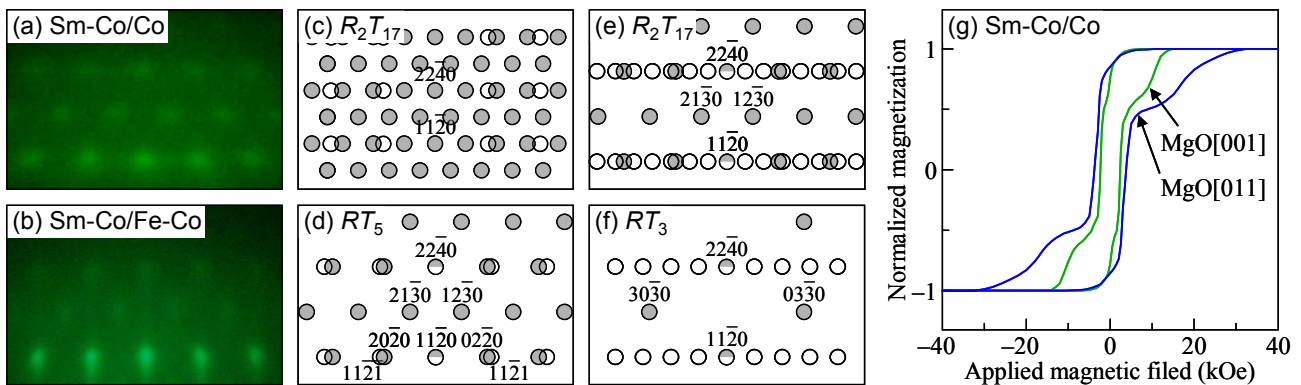
Structure and Magnetic Properties of SmCo<sub>5</sub> Alloy Epitaxial Thin Films  
Formed on Co(11 $\bar{2}$ 0)<sub>hcp</sub> and Fe-Co(100)<sub>bcc</sub> Underlayers

Mitsuru Ohtake, Yusuke Hotta, Ataru Suzuki, Makoto Yamada, Masaaki Futamoto,  
Fumiyoshi Kirino\*, and Nobuyuki Inaba\*\*  
(Chuo Univ., \*Tokyo Univ. Arts, \*\*Yamagata Univ.)

**はじめに** SmCo<sub>5</sub> 規則合金は 10<sup>8</sup> erg/cm<sup>3</sup> オーダーの高い一軸磁気異方性エネルギーと 700 °C 程度の高いキュリー温度を持つ。そのため、膜面内に磁化容易軸を持つ SmCo<sub>5</sub> 層と高い飽和磁化を持つ磁性層を積層させた膜は異方性ナノコンポジット磁石の基礎検討に用いられている<sup>1,2)</sup>。しかしながら、薄膜の場合、SmCo<sub>5</sub> 相と類似した六方晶構造を持つ Sm<sub>2</sub>Co<sub>7</sub> 相などが混在する場合は報告されている<sup>3)</sup>。六方晶系 Sm-Co 相の格子間隔は互いに類似しているため、面内もしくは面外の面間隔を測定する X 線回折 (2 $\theta$ / $\omega$ , 2 $\theta$ / $\phi$  スキャン XRD) では識別が容易でない。このような結晶構造解析には逆格子マップ測定が有効である<sup>4)</sup>。本研究では、膜形成中の逆格子マップ測定が可能である反射高速電子回折 (RHEED) 機構付きの MBE 装置を用いることにより、Co(11 $\bar{2}$ 0)<sub>hcp</sub> もしくは Fe<sub>65</sub>Co<sub>35</sub>(211)<sub>bcc</sub> 下地層上に Sm<sub>17</sub>Co<sub>83</sub> (at. %) 膜を形成し、構造と磁気特性を調べた。

**実験方法** MgO(100)単結晶基板の上に 20 nm 厚の Co(11 $\bar{2}$ 0)<sub>hcp</sub> および Fe<sub>65</sub>Co<sub>35</sub>(100)<sub>bcc</sub> 下地層をヘテロエピタキシャル成長させた。そして、これらの下地層上に 20 nm 厚の Sm<sub>17</sub>Co<sub>83</sub> 膜を形成した。膜形成時の基板温度は 500 °C とした。構造評価には RHEED, XRD, 磁気特性評価には VSM, SQUID 磁力計を用いた。

**実験結果** Fig. 1(a)–(b)に Co および Fe-Co 下地層上に形成した Sm-Co 膜に対して観察を行った RHEED パターンを示す。鮮明な回折パターンが観察されており、エピタキシャル Sm-Co 膜が得られていることが分かる。Fig. 1(c)–(f)に R<sub>2</sub>T<sub>17</sub>, RT<sub>5</sub>, R<sub>2</sub>T<sub>7</sub>, RT<sub>3</sub> 構造の Sm-Co(11 $\bar{2}$ 0)双結晶に対して回折パターンのシミュレーションを行った結果を示す<sup>4)</sup>。観察された RHEED パターンは、いずれも、RT<sub>5</sub> 構造の場合のシミュレーション結果 (Fig. 1(d)) と一致している。したがって、RT<sub>5</sub> 構造を持つ Sm-Co 膜が Sm-Co(11 $\bar{2}$ 0)[0001]<sub>RT<sub>5</sub></sub> + (11 $\bar{2}$ 0)[1 $\bar{1}$ 00]<sub>RT<sub>5</sub></sub> || Co(11 $\bar{2}$ 0)[0001]<sub>hcp</sub> + (11 $\bar{2}$ 0)[1 $\bar{1}$ 00]<sub>hcp</sub>, Fe-Co(100)[011]<sub>bcc</sub> || MgO(100)[001] の方位関係で形成されており、c 軸が膜面内において直交した関係を持つ双結晶から構成されていることが分かった。Fig. 1(g)に Co 下地層上に形成した Sm-Co 膜の磁化曲線を示す。膜面内において双結晶の互いの c 軸から 45° 回転した方向 (MgO[011]) に磁界を印加した際、より大きな飽和磁界が観察されている。



**Fig. 1** [(a), (b)] RHEED patterns observed for Sm-Co films deposited on (a) Co(11 $\bar{2}$ 0)<sub>hcp</sub> and (b) Fe-Co(100)<sub>bcc</sub> underlayers. (c)–(f) Schematic diagrams of diffraction patterns simulated for Sm-Co(11 $\bar{2}$ 0) bi-crystals with (c) R<sub>2</sub>T<sub>17</sub>, (d) RT<sub>5</sub>, (e) R<sub>2</sub>T<sub>7</sub>, and (f) RT<sub>3</sub> structures. (g) Magnetization curves measured for the Sm-Co film deposited on Co underlayer.

**謝辞** SQUID 磁力計による磁化曲線測定では中央大学物理学科の佐藤博彦教授のご協力を頂きました。

- 参考文献**
- 1) J. Zhang, Y. K. Takahashi, R. Gopalan, and K. Hono: *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 122509 (2005).
  - 2) V. Neu, S. Sawatzki, M. Kopte, Ch. Mickel, and L. Schultz: *IEEE Trans. Magn.*, **48**, 3599 (2012).
  - 3) M. Benaissa, K. M. Krishnan, E. E. Fullerton, and J. S. Jiang: *IEEE Trans. Magn.*, **34**, 1204 (1998).
  - 4) M. Ohtake and M. Futamoto: IcAUMS 2014, A5-28, Haikou, China, 31 October 2014.