

## (001)単結晶金属下地層上における エピタキシャル Nd-Fe-B 合金薄膜の形成

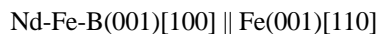
野口陽平・鈴木中・大竹充・二本正昭・桐野文良\*・稲葉信幸\*\*  
(中央大, \*東京藝大, \*\*山形大)

Preparation of Nd-Fe-B Alloy Epitaxial Thin Films on (001) Single-Crystal Metal Underlayers  
Youhei Noguchi, Ataru Suzuki, Mitsuru Ohtake, Masaaki Futamoto, Fumiyoshi Kirino\*, and Nobuyuki Inaba\*\*  
(Chuo Univ., \*Tokyo Univ. Arts, \*\*Yamagata Univ.)

**はじめに** Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 合金は、現在、最も(BH)<sub>max</sub>が高い磁性材料であり、その薄膜はマイクロセンサーやマイクロモーターなどへの応用に向けて研究されている。薄膜基本特性を把握するためには、膜の結晶方位が基板方位により制御されたエピタキシャル膜を用いることが有効である。これまで、エピタキシャル Nd-Fe-B 膜の形成が試みられ、磁気特性などが調べられている<sup>1-4)</sup>。エピタキシャル薄膜成長は下地層材料によって変化することが考えられる。本研究では、同様な条件下で、bcc もしくは fcc 構造を持つ種々の(001)単結晶金属下地層上に Nd-Fe-B 膜を形成し、構造解析を行った。

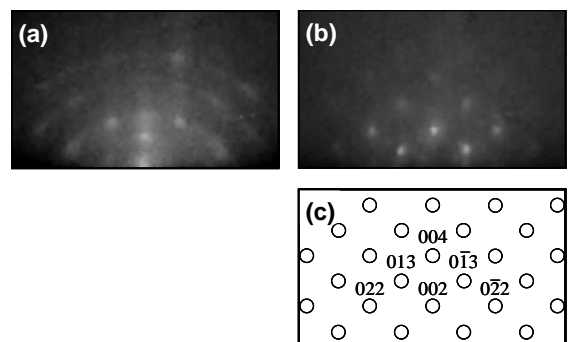
**実験方法** 膜形成には、反射高速電子回折 (RHEED) 装置付きの超高真空 RF マグネトロンスパッタリング装置を用いた。基板として MgO(001)を用い、その上にヘテロエピタキシャル成長させることにより bcc もしくは fcc 構造を持つ(001)単結晶下地層 (Cr, Fe, Au, など)を形成した。下地層上に基板温度 600 °C で 20 nm 厚の Nd-Fe-B 膜を形成した。ターゲットとして、直径 3 インチの Nd<sub>12</sub>Fe<sub>82</sub>B<sub>6</sub> (at. %) 合金を用い、ターゲット-基板間距離を 150 mm, Ar ガス圧を 0.67 Pa, RF 電力を 40 W とした。このとき、製膜速度は 0.02 nm/s であった。構造評価には RHEED および XRD を用いた。

**実験結果** Fig. 1(a)および(b)に、それぞれ、bcc-Cr(001)および bcc-Fe(001)下地層上に形成した Nd-Fe-B 膜の RHEED パターンを示す。Cr 下地層上に形成した膜に対しては、リング状の回折パターンが観察されており、多結晶膜が形成されていることが分かる。一方、Fe 下地層上に形成した膜に対しては、規則的な鮮明な回折パターンが観察されており、膜がエピタキシャル成長していることが分かる。RHEED 解析から決定したエピタキシャル方位関係は以下の通りである。

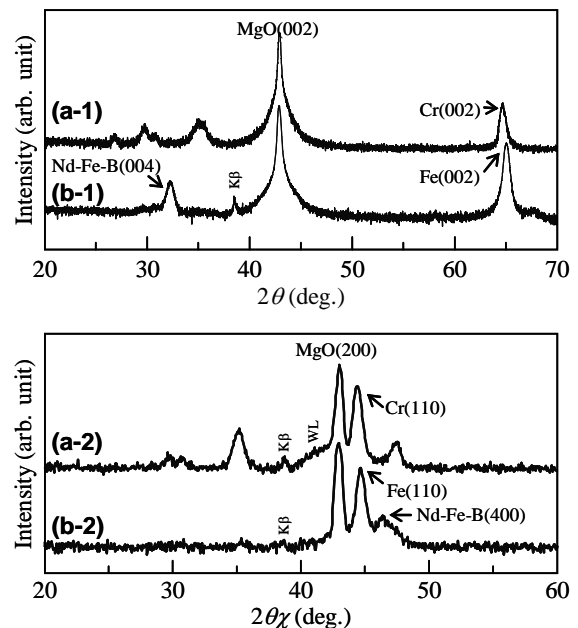


(001)格子が Fe 下地層に対して 45 度回転した方位関係で、単結晶 Nd-Fe-B 膜が形成されていることが分かる。Fig. 2 に面外および面内 XRD パターンを示す。ここで、面内パターンは、散乱ベクトルが MgO[100] (∥ Fe[110]方位)と平行になるように測定を行っている。Cr 下地層上に形成した膜に対しては、多結晶 Nd-Fe-B 膜からの複数の反射を確認できる。一方、Fe 下地層上に形成した膜に対しては、面外パターンで Nd-Fe-B(400)反射が観察されており、RHEED 解析により決定した方位関係を確認できる。当日は、fcc(001)単結晶基板上に形成した Nd-Fe-B 膜の結果についても報告する。

**参考文献** 1) U. Hannemann, S. Fahler, V. Neu, B. Holzapfel, and L. Schultz: *Appl. Phys. Lett.*, **82**, 3710 (2003). 2) A. R. Kwon, V. Neu, L. Schultz, and S. Fahler: *J. Appl. Phys.*, **101**, 09K506 (2007). 3) T. Sato, H. Kato, T. Shima, Y. K. Takahashi, and K. Hono: *J. Magn. Mater.*, **323**, 163 (2011). 4) D. Ogawa, K. Koike, S. Mizukami, M. Oogane, Y. Ando, T. Miyazaki, and H. Kato: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **36**, 5 (2012).



**Fig. 1** RHEED patterns observed for Nd-Fe-B films deposited on (a) Cr(100) and (b) Fe(100) underlayers at 600 °C. (c) Schematic diagram of RHEED pattern simulated for an Nd-Fe-B(001) single-crystal. The incident electron beam is parallel to (a) Cr[110], (b) Fe[110], or (c) Nd-Fe-B[100].



**Fig. 2** [(a-1), (b-1)] Out-of-plane and [(a-2), (b-2)] in-plane XRD patterns measured for Nd-Fe-B films deposited on Cr(001) and Fe(001) underlayers at 600 °C. The scattering vector of in-plane XRD is parallel to MgO[100]. The intensity is shown in a logarithmic scale.