

## 水素アニールによる保磁力 15 kOe の Si 基板上 $L1_0$ -CoPt の作製

遠山諒<sup>1</sup>、河智史朗<sup>2,3</sup>、山浦淳一<sup>2,3</sup>、村上洋一<sup>2,3</sup>、細野秀雄<sup>2</sup>、真島豊<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>東工大フロンティア材料研究所、<sup>2</sup>東工大元素戦略研究センター、<sup>3</sup>KEK 物質構造科学研究所)

Fabrication of  $L1_0$ -ordered CoPt with high coercivity of 15 kOe on Si substrates by hydrogen annealing

R. Toyama<sup>1</sup>, S. Kawachi<sup>2,3</sup>, J. Yamaura<sup>2,3</sup>, Y. Murakami<sup>2,3</sup>, H. Hosono<sup>2</sup>, Y. Majima<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>MSL, Tokyo Tech, <sup>2</sup>MCES, Tokyo Tech, <sup>3</sup>IMSS, KEK)

### はじめに

CoPt 合金は、アニール処理によって  $A1$  不規則相から  $L1_0$  規則相に構造変態すると、強い垂直結晶磁気異方性や高い保磁力を示すことが知られており、MRAM や超高密度 HDD などの次世代スピントロニクスデバイスへの応用を見据えた研究がなされている<sup>[1,2]</sup>。我々はこれまでに、Si 基板上に作製した CoPt 薄膜の結晶構造、磁気特性、表面形態の解析を行い、真空アニール後に  $L1_0$ -CoPt が形成されることを報告してきた<sup>[3,4]</sup>。Pt/Co 二層蒸着薄膜においては、急速加熱 (RTA) 装置を用いたアニールによる相互拡散により、 $L1_2$ -CoPt<sub>3</sub>、 $L1_0$ -CoPt、 $L1_2$ -Co<sub>3</sub>Pt を含む傾斜薄膜が形成され、2.1 kOe の保磁力を示した<sup>[3]</sup>。さらに、二層膜と総膜厚のほぼ等しい(Co/Pt)<sub>4</sub> 八層薄膜においては、真空アニール後に球状の  $L1_0$ -CoPt が形成され、2.7 kOe の保磁力を示すことを報告した<sup>[4]</sup>。本研究では、さらなる保磁力の向上に向けて、保磁力の増大が報告されている水素アニール<sup>[5]</sup>を導入し、Si 基板上 CoPt 薄膜の磁気特性、結晶構造、表面形態の解析を行ったので報告する。

### 実験方法

電子線蒸着により、熱酸化膜付き Si 基板 [Si (525 μm)/SiO<sub>2</sub> (50 nm)] 上に、[Co (1.2 nm)/Pt (1.6 nm)]<sub>4</sub> 多積層薄膜を作製した。その後、Ar/H<sub>2</sub> 混合ガス雰囲気下において、RTA 装置を用いたアニール処理を行い、 $L1_0$  規則化を試みた。作製した試料の磁気特性、結晶構造、表面形態は、それぞれ SQUID VSM (MPMS3)、放射光 XRD (KEK BL-8B)、SEM により評価した。

### 実験結果

VSM 測定結果より、800 °C で 60 分のアニール処理を行った試料において、約 15 kOe の高い保磁力を示すことが分かった。また、放射光 XRD の結果より、 $L1_0$ -CoPt  $001$ ,  $110$  に起因する超格子反射を確認したことから、 $L1_0$  規則相の形成を確認した。これらの結果から、水素雰囲気中のアニール処理によって、高い保磁力を持つ  $L1_0$ -CoPt の Si 基板上への作製が確認された。

### 謝辞

本研究の一部は、文部科学省「元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>」、東京大学物性研究所共同利用の支援により行われた。

### 参考文献

- [1] S. Bhatti, R. Sbiaa, A. Hirohata, H. Ohno, S. Fukami, and S. N. Piramanayagam, *Mater. Today* **20**, 530 (2017).
- [2] D. Weller and A. Moser, *IEEE Trans. Magn.*, **35**, 4423 (1999).
- [3] R. Toyama, S. Kawachi, S. Iimura, J. Yamaura, Y. Murakami, H. Hosono, and Y. Majima, *Mater. Res. Express* **7**, 066101 (2020).
- [4] R. Toyama, S. Kawachi, J. Yamaura, Y. Murakami, H. Hosono, and Y. Majima, *Jpn. J. Appl. Phys.* **59**, 075504 (2020).
- [5] F. Yang, H. Wang, H. Wang, J. Zhang, J. Zhu, Q. Li, and Y. Jiang, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **42**, 115001 (2009).

# パルスレーザー蒸着(PLD)法による Cu 下地層の最適化および $L1_0$ -FeNi 磁性薄膜の作製

中尾 太一<sup>1</sup>, 宮下 拓也<sup>1</sup>, 熊谷 卓也<sup>1</sup>, 齋藤 彪我<sup>1</sup>, 古矢 大悟<sup>1</sup>, 小嗣 真人<sup>1</sup>  
(東京理科大学<sup>1</sup>)

## Fabrication of Cu under layer and $L1_0$ -FeNi by using Pulsed Laser Deposition system

T. Nakao<sup>1</sup>, T. Miyashita<sup>1</sup>, T. Kumagai<sup>1</sup>, H. Saito<sup>1</sup>, D. Furuya<sup>1</sup>, M. Kotsugi<sup>1</sup>  
(Tokyo Univ. of Sci.<sup>1</sup>)

### 緒言

近年、レアアースの価格高騰と供給不足への懸念から、ありふれた元素のみで構成されるレアアースフリー磁性材料に注目が集まっている。そこで我々は、Fe と Ni が c 軸方向に交互に積層した構造を持つことで面直方向に磁化用意軸を持ち、非常に高い磁気異方性( $K_u$ )を発現すると期待されている  $L1_0$ -FeNi に着目し研究を進めてきた<sup>1)</sup>。そして、パルスレーザー蒸着(PLD)法を用いて  $L1_0$ -FeNi の作製を試みた結果、蒸着時基板温度 300°Cにて作製試料中で最大の  $K_u$ を観測した<sup>2)</sup>が垂直磁化の実現には至らず、表面状態や結晶構造のさらなる最適化が必要であると考えられる。本研究では下地層の構成の簡便化と各条件の最適化を行い、異種元素の添加などから下地層の格子定数を制御し FeNi へ結晶歪みを導入し  $K_u$ を向上させることを目的としている。本報告では PLD 法により作製した下地層の Cu を蒸着後加熱により最適化し、今回作製した新下地層と従来の下地層を用いて作製した FeNi 薄膜の比較を行った。また、新下地上に作製した FeNi の蒸着時基板温度ごとの各物性の調査を行なった。

### 実験方法

PLD 法により MgO(100)基板上に Cu を室温で 25 nm 蒸着し、その後 300°Cで 30 分間加熱し新下地層 Cu(25 nm)/MgO-sub を作製した。FeNi 層は Fe と Ni を交互に 50ML 積層し、従来の下地層 Cu(50 nm)/Au(10 nm)/Fe(1 nm)/MgO-sub 上に作製した FeNi との比較を行なった。また、新下地での FeNi の蒸着時基板温度( $T_s$ )を室温(RT)~400°Cの間で変化させながら試料を作製し物性の調査を行なった。表面の平坦性の評価には反射高速電子線回折(RHEED)・原子間力顕微鏡(AFM)、結晶構造の評価には X 線回折(XRD)、磁気特性の評価には超伝導量子干渉磁力計(SQUID)を用いた。

### 実験結果

Fig.1 に従来 Cu/Au/Fe/MgO-sub 下地上に  $T_s = 300^\circ\text{C}$ で積層した FeNi と、今回新たに作製した Cu/MgO-sub 新下地上に同条件で作製した FeNi について SQUID により測定した磁化曲線を示す。Cu/MgO-sub 新下地を用いた FeNi の飽和磁化  $M_s$ は 660 emu/cc、 $K_u$ は  $6.78 \times 10^5$  erg/cc と従来の下地を用いた試料と同程度の値となることを確認できた。当日は Cu/MgO-sub 新下地の平坦性や結晶性の評価、 $T_s$ を変えて作製した試料の表面形状、結晶構造、磁気特性の詳細についても報告する。

### 参考文献

- [1] M. Kotsugi *et al.*, Appl. Phys. Express 3, 013001, (2010)  
[2] M. Saito *et al.*, Appl. Phys. Letters 114, 072404, (2019)

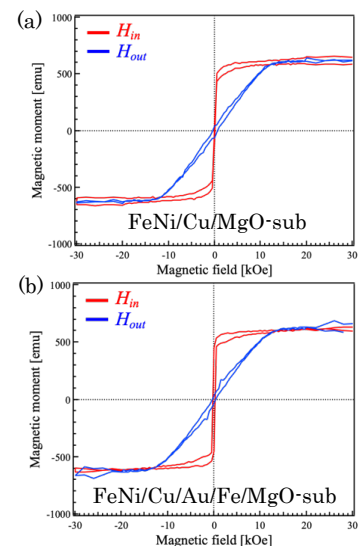


Fig.1 Magnetization curve of (a)new under layer, (b)previous under layer FeNi deposition at 300°C

## 六方晶系 FeNi 多層膜の作製と磁気特性調査

宮下拓也<sup>1</sup>、齋藤彪我<sup>1</sup>、中尾太一<sup>1</sup>、熊谷卓也<sup>1</sup>、古矢大悟<sup>1</sup>、小嗣真人<sup>1</sup>  
(東京理科大<sup>1</sup>)

### Investigation of fabrication and magnetic property of hexagonal-FeNi multilayer films

Takuya Miyashita<sup>1</sup>, Hyuga Saito<sup>1</sup>, Taichi Nakao<sup>1</sup>, Takuya Kumagai<sup>1</sup>, Daigo Furuya<sup>1</sup> and Masato Kotsugi<sup>1</sup>  
(Tokyo Univ. of Sci.<sup>1</sup>)

#### 緒言

近年の急速な情報化社会の発展や環境・エネルギー問題に対する解決策の一つとして、我々のグループでは  $L1_0$ -FeNi を代表とする規則合金薄膜の開発を行ってきた<sup>[1][2]</sup>。特に FeNi 合金はレアアースフリーであり、高い飽和磁化( $M_s$ )を有し、構造を適切に制御することで高い磁気異方性( $K_u$ )を有することから、垂直磁化膜やスピントロニクス材料の候補として注目を集めている<sup>[3][4]</sup>。そこで今回この正方晶系(fct)の規則合金の構造を、理論予測からも高い磁気特性を有すると予測されている六方晶系(hex)に拡張し高い磁気異方性を誘起することに着目した。しかし hex-FeNi は熱的に平衡相でなく、作製が非常に困難であるとされてきた。本研究では一般的に酸化物薄膜の作製に使用されるパルスレーザー蒸着(PLD)法を金属薄膜の作製に応用することで非平衡相の作製に取り組んだ。

#### 方法

基板として六方晶構造を有する  $Al_2O_3(0001)$ 基板を使用し、基板上に Cu を PLD 法により蒸着した。この時の蒸着時基板温度( $T_s$ )、蒸着後熱処理温度( $T_p$ )、蒸着後熱処理時間( $t_p$ )を変化させ系統的に調査し平坦かつ結晶性の高い下地層を作製した。FeNi 層は最適化した Cu 下地層上に積層し、同様に  $T_s$  を変化させ調査した。表面平坦性及び表面形状の評価を反射高速電子線回折(RHEED)と原子間力顕微鏡(AFM)、結晶構造の評価を X 線回折(XRD)、磁気特性の評価を超伝導量子干渉磁力計(SQUID)を用いて行った。

#### 結果考察

Fig.1 に磁気特性調査から算出された  $M_s$ 、 $K_u$  をまとめた結果を示す。まず  $T_s$  と  $M_s$ 、 $K_u$  の関係であるが、どちらも 300 °C にて最大値をとったことを確認した。平坦性、結晶性の評価も含め、低温領域では結晶性が低いこと、高温域ではインターミキシングにより界面構造が崩壊したことにより、磁気特性が  $T_s = 300$  °C にて最大となったと考えられる。またこの時点で本研究にて作成された FeNi 薄膜が、同 PLD によって作製された  $L1_0$ -FeNi よりも高い磁気特性を有することが確認できた。当日は下地層に関する調査結果や FeNi 薄膜の表面状態、結晶状態に関する詳細な結果も報告する。

#### 参考文献

- 1) M. Saito et al., Appl. Phys. Letters **114**, 072404, (2019)
- 2) H. Ito et al., AIP Advances **9**, 045307, (2019)
- 3) M. Kotsugi et al., Appl. Phys. Express **3**, 013001, (2010)
- 4) M. Kotsugi et al., Journal of Magnetism and Magnetic Materials **326**, 235-239 (2013)

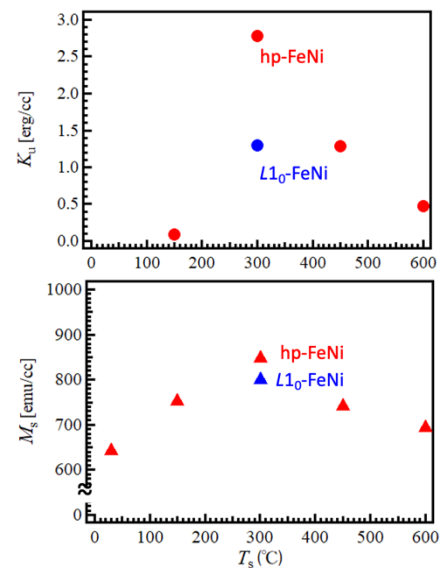


Fig.1 Relationship of  $T_s$  vs  $M_s$  and  $K_u$  for hex-FeNi.  $L1_0$ -FeNi for comparison is fabricated by our group<sup>[1]</sup>.

## Cr(001)下地層上に形成したエピタキシャル Mn-Ge 合金薄膜の構造解析

野呂翔太<sup>1</sup>・中野光太郎<sup>1</sup>・大竹充<sup>1</sup>・二本正昭<sup>1</sup>・川井哲郎<sup>1</sup>・桐野文良<sup>2</sup>・稲葉信幸<sup>3</sup>  
 (<sup>1</sup>横浜国大, <sup>2</sup>東京藝大, <sup>3</sup>山形大)

## Structure Analysis of Epitaxial Mn-Ge Alloy Thin Films Formed on Cr(001) Underlayers

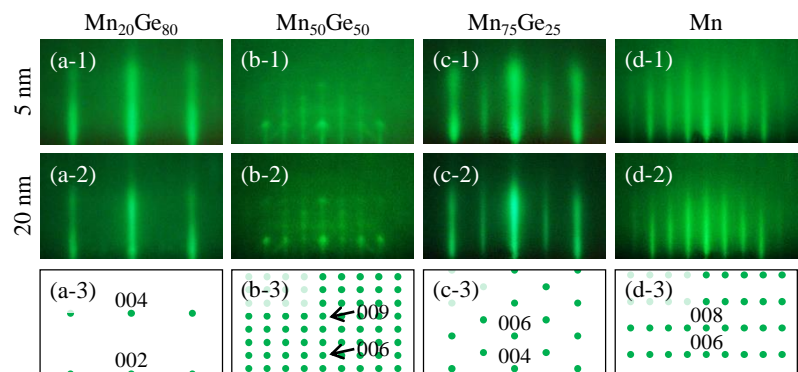
Shota Noro<sup>1</sup>, Kotaro Nakano<sup>1</sup>, Mitsuru Ohtake<sup>1</sup>, Masaaki Futamoto<sup>1</sup>, Tetsuroh Kawai<sup>1</sup>, Fumiyoshi Kirino<sup>2</sup>, Nobuyuki Inaba<sup>3</sup>  
 (<sup>1</sup>Yokohama Nat. Univ., <sup>2</sup>Tokyo Univ. Arts., <sup>3</sup>Yamagata Univ.)

**はじめに** 大きな一軸磁気異方性エネルギー ( $K_u$ ), 小さな飽和磁化 ( $M_s$ ), 小さなダンピング定数 ( $\alpha$ ) をもつ硬磁性規則合金材料は, スピン注入型磁気抵抗メモリの磁気トンネル接合素子への応用に向けて研究されている.  $L1_0$  (CuAu 型,  $tP4$ ),  $D0_{22}$  ( $Al_3Ti$  型,  $tI8$ ) 構造を持つ Mn 系合金はこれらの特性を満たす材料として注目されている.  $D0_{22}$  構造を持つ  $Mn_3Ge$  合金は,  $M_s$  が  $100 \text{ emu/cm}^3$  程度と Mn 系磁性合金の中でも特に小さく,  $K_u$  も  $10^7 \text{ erg/cm}^3$  オーダーと大きい<sup>1)</sup>. これまでスパッタ法を用いて製膜を行い, 100 nm 厚程度の  $Mn_3Ge$  薄膜が  $D0_{22}$  構造を持ち, 垂直磁気異方性を有することが調べられてきた<sup>1)</sup>. しかしながら, デバイス応用について考えるためには数~数十 nm オーダーの膜厚における構造と磁気特性を把握する必要がある. 本研究では, RHEED による結晶成長のその場観察が可能な分子線エピタキシー (MBE) 法を用いて Cr(001)単結晶下地層上に Mn-Ge 薄膜を作製し, 組成が成長, 構造, 磁気特性に及ぼす影響について系統的に調べた.

**実験方法** MgO(001)基板上に  $300^\circ\text{C}$  の基板温度で 5 nm 厚の Cr(001)下地層を形成し, その後, 20 nm 厚の  $Mn_xGe_{100-x}$  (at. %) 膜を作製した. 組成は  $x=0\sim 100$  の全範囲で変化させた. その場観察による結晶構造評価には RHEED, 格子定数や規則度の評価には XRD, 表面形態観察には AFM, 磁化曲線測定には VSM を用いた.

**実験結果** 異なる組成の Mn-Ge 薄膜に対して観察を行った RHEED パターンを Fig. 1 に示す.  $Mn_{75}Ge_{25}$  周辺において, Fig. 1(c-1), (c-2)のように成長初期段階から, Fig. 1(c-3)に示す  $D0_{22}$  構造に対応するパターンが得られ, Mn-Ge(001)[100] $_{D0_{22}}$  || Cr(001)[1 $\bar{1}$ 0]の結晶方位関係で  $D0_{22}$  構造を持つ Mn-Ge(001)単結晶膜が得られていることが分かった.  $D0_{22}$  構造の化学量論組成から Mn の割合を減らしていくと,  $Mn_{50}Ge_{50}$  周辺においては, Fig. 1(b-3)に示す格子定数が 0.94 nm 程度の単純立方格子 ( $cP$ , 原子数不明) を有する結晶表面のパターンが Fig. 1(b-1), (b-2)のように見られ, Mn-Ge(001)[1 $\bar{1}$ 0] $_{cP}$  || Cr(001)[1 $\bar{1}$ 0]の方位関係で単結晶膜が成長していることが分かった. これはバルクでは報告のない相であり, 薄膜特有の相であると考えられる. さらに Mn の割合の小さい  $Mn_{20}Ge_{80}$  の組成周辺においては,

Fig. 1(a-3)に示す  $A1$  (fcc) 構造のパターンが, Fig. 1(a-1), (a-2)のように見られ, Mn-Ge(001)[100] $_{A1}$  || Cr(001)[1 $\bar{1}$ 0]の方位関係で単結晶膜が成長していることが分かった. Mn リッチの組成域においては, Fig. 1(d-1), (d-2)のように, Fig. 1(d-3)に示す  $A12$  ( $\alpha$ -Mn 型,  $cI58$ ) 相に対応するパターンが見られ, Mn-Ge(001)[1 $\bar{1}$ 0] $_{A12}$  || Cr(001)[1 $\bar{1}$ 0]の方位関係で単結晶膜が成長していることが分かった. このように,  $300^\circ\text{C}$  の基板温度での Cr(001)下地層上の  $Mn_xGe_{100-x}$  薄膜の結晶構造は,  $x$  を 100 から小さくしていくと,  $A12 \rightarrow D0_{22} \rightarrow cP \rightarrow A1$  と変化することが分かった. 当日は, 組成が合金規則度や磁気特性に及ぼす影響についても報告する.



**Fig. 1** (a-1)–(d-2) RHEED patterns observed for  $Mn_xGe_{100-x}$  films formed on Cr(001) underlayers. The incident electron beam is parallel to MgO[100]. (a-3)–(d-3) Schematic diagrams of RHEED patterns simulated for (001) single-crystal surfaces with (a-3)  $A1$ , (b-3)  $cP$ , (c-3)  $D0_{22}$ , and (d-3)  $A12$  structure.

1) A. Sugihara, K. Suzuki, T. Miyazaki, and S. Mizukami: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **54**, 083001 (2015).

# Mn<sub>x</sub>Fe<sub>y</sub>Ga 薄膜における磁気特性の作製手法依存性

片山靖和、渡邊彩恵、峯田陸、嶋敏之、土井正晶  
(東北学院大)

Dependence of fabrication method on magnetic properties of Mn<sub>x</sub>Fe<sub>y</sub>Ga thin films

S.Katayama, S.Watanabe, R.Mineta, T.Shima, M.Do

(Tohoku Gakuin Univ.)

## はじめに

Mn-Ga 薄膜はバルク調整可能な飽和磁化( $M_s \sim 200-600 \text{ emu/cm}^3$ )<sup>1)</sup>、高い垂直磁気異方性( $K_u \sim 10 - 20 \text{ Merg/cm}^3$ )<sup>1)</sup>、高スピン分極率( $\sim 88\%$ )<sup>2)</sup>を示すことが知られている。そのため、貴金属や希土類元素を含まない新規永久磁石材料やスピエレクトロニクスデバイスの次世代材料としての幅広い可能性を有している。現在、Mn-Ga 薄膜は盛んな研究が行われているが蒸着法を用いた報告はわずかしかない<sup>1)3)</sup>。そのため、当研究室では蒸着法を用いた Mn-Ga 薄膜の研究を行ってきたが、先行研究より膜厚の減少に伴う垂直磁気異方性の減少が報告されている。従って、本研究では Mn-Ga に Fe を添加した Mn<sub>x</sub>Fe<sub>y</sub>Ga 薄膜を作製し、組成変化に伴う磁気異方性および諸磁気特性の関係を明らかにし、膜厚を薄くした際の磁気特性の変化を調べることを目的とした。また、蒸着法およびスパッタリング法を用いて試料を作製することにより、作製手法による磁気特性への影響を検討した。

## 実験方法

試料は超高真空電子ビーム蒸着装置および超高真空マグネトロンスパッタリング装置を用いて作製した。膜構成は MgO (100) sub. / Mn-Fe-Ga / Cr (10 nm) である。主層の Mn-Fe-Ga の膜厚は  $t_{\text{Mn-Fe-Ga}} = 1, 2, 3, 5, 10, 20 \text{ nm}$  と変化させた。はじめに、基板処理を  $700^\circ\text{C}$  で 30 分間行った後、Mn<sub>x</sub>Fe<sub>y</sub>Ga を基板温度  $T_s = 200^\circ\text{C}$  で Mn-Ga と Fe を交互積層させることにより成膜を行った。その後、 $T_a = 300^\circ\text{C}$  で 30 分間熱処理し、キャップ層として Cr を室温で成膜した。作製した試料の組成はエネルギー分散型 X 線回折装置(EDX)、結晶構造は X 線回折装置(XRD)、磁気特性は超伝導量子干渉時束計(SQUID)で評価し、表面荒さは原子間力顕微鏡(AFM)で観察した。また、超高真空電子ビーム蒸着法を用いた試料作製では結晶成長は反射高速電子回折装置(RHEED)によりその場観察を行った。

## 実験結果

蒸着法を用いて作製した Mn<sub>x</sub>Fe<sub>y</sub>Ga 薄膜では全組成の試料において、膜厚の減少に伴い  $t_{\text{Mn-Fe-Ga}} = 5 \text{ nm}$  近傍で面内容易軸から垂直容易軸へと変化し、飽和磁化( $M_s$ )および垂直磁気異方性( $K_u$ )の上昇が確認され、 $x = 0.5$ 、 $y = 2.5$  で最大の飽和磁化  $M_s = 878 \text{ emu/cm}^3$ 、 $x = 1.5$ 、 $y = 1.5$  で非常に大きな垂直磁気異方性  $K_u = 20.1 \text{ (Merg/cm}^3)$  が得られた。XRD パターンより、膜厚の減少に伴う c 軸の格子定数が減少する傾向および RHEED 構造解析により a 軸を算出した結果、膜厚の減少に伴う格子定数の増加が確認された。また、蒸着法とスパッタ法の両手法を用いて作製した Mn<sub>0.5</sub>Fe<sub>2.5</sub>Ga において、飽和磁化は作製手法による大きな差は確認されなかった。然しながら、蒸着法を用いた試料においては  $t_{\text{Mn-Fe-Ga}} = 1 \text{ nm}$  で垂直磁気異方性の発現が確認されたが、スパッタ法を用いて作製した試料においては全ての膜厚において面内容易軸を示すことが確認された。従って、蒸着法を用いて作製した場合、スパッタ法と比較して面内容易軸から垂直容易軸へと変化しやすいことが考えられる。講演では、磁気特性の膜厚依存性および作製手法依存性について格子歪の観点から考察する。

## 参考文献

- 1) Y. Takahashi, H. Makuta, T. Shima and M. Doi, T. Magn. Soc. Jpn., 1, 30-33(2017).
- 2) B. Balke, G. H. Fecher, J. Winterik, and C. Felser, Appl. Phys. Lett., 90, 152504 (2007).
- 3) K. Sato, Y. Takahashi, H. Makuta, T. Shima and M. Doi, T. Magn. Soc. Jpn., 2, 48-51 (2018)

## C11<sub>b</sub>構造を有する Cr<sub>2</sub>Al(001)薄膜の作製

濱口 峻佑, 豊木 研太郎, 白土 優, 中谷 亮一  
大阪大学大学院工学研究科

Fabrication of C11<sub>b</sub>-type Cr<sub>2</sub>Al(001) thin film

Shunsuke Hamaguchi, Kentaro Toyoki, Yu Shiratsuchi and Ryoichi Nakatani  
Graduate School of Engineering, Osaka University

### 【はじめに】

近年、強磁性トンネル接合(MTJ)素子を使用することで、ハードディスクの磁気ヘッドや不揮発性磁気抵抗メモリの性能が大幅に向上している。中でもトンネル障壁絶縁層材料に MgO(001)層を用いた積層膜において、高い TMR 比が報告されている<sup>1)</sup>。MTJ 素子の動作を容易にするために、一方の強磁性層の磁化は反強磁性体や Synthetic フェリ磁性体を用いて磁氣的に固定される。強磁性層に Co-Fe(B)を用いる場合、MTJ 素子では MgO 層と Co-Fe(B)層を(001)配向させることが重要である。一方、従来のスピバルブ薄膜に用いられてきた反強磁性体は Mn-Ir(111)層が用いられており、上記 MTJ 素子膜の各層との格子整合性の観点から(001)配向した反強磁性層を用いた高い交換バイアス膜の実現が望まれる。

Cr<sub>2</sub>Al<sup>2)</sup>は C11<sub>b</sub>構造を有する反強磁性体であり、Cr<sub>2</sub>Al(001)配向させた場合の MgO(001)との格子ミスフィット 0.84%と小さくなることが期待できる。しかしながら、これまでに C11<sub>b</sub> Cr<sub>2</sub>Al 薄膜に関する研究はほとんど行われておらず、C11<sub>b</sub>Cr<sub>2</sub>Al の成長条件を始め、C11<sub>b</sub>Cr<sub>2</sub>Al を用いた交換バイアスに関する研究も行われていない。本研究では、分子線エピタキシー(MBE)法を用いて MgO(001)基板上での C11<sub>b</sub>Cr<sub>2</sub>Al(001)薄膜の形成について検討した。

### 【実験方法】

試料作製には、分子線エピタキシー(MBE)法を用いた。MgO(001)単結晶基板を大気雰囲気下 1273 K で 3 h 熱処理した後、超高真空中で Ar イオンミリング、および、1073 K で 1 h アニールすることで基板表面の水和物などの除去と基板表面の平坦化を行った。Cr<sub>2</sub>Al の成長温度を 323, 373, 473, 573, 673, 773, 873, 973, 1073 K、膜厚を 50 nm として製膜した。製膜前に水晶振動子を用いて両元素の成長速度を測定・制御し、Cr : Al = 2:1 の組成比となるように成長速度を調整した。作製した試料の構造を、X 線回折(XRD)測定を用いて評価した。

### 【実験結果】

Figure 1 に代表的な XRD プロファイルとして、成長温度を 473, 673, 873, 1073 K として作製した試料に対する測定結果を示す。成長温度を 473 K とした場合、C11<sub>b</sub>Cr<sub>2</sub>Al(200)と考えられる回折ピークが観測された。成長温度の上昇とともに、C11<sub>b</sub>Cr<sub>2</sub>Al(200)に起因すると考えられる回折ピーク強度は低下し、一方、C11<sub>b</sub>Cr<sub>2</sub>Al(006)および C11<sub>b</sub>Cr<sub>2</sub>Al(002)に起因すると考えられる回折ピークが観測された。この結果は、成長温度の上昇とともに *a* 面配向から *c* 面配向に変化することを示唆するが、成長温度を 873, 1073 K とした場合でも、C11<sub>b</sub>Cr<sub>2</sub>Al(200), (006)に起因する回折ピークが観測され、完全な *c* 面配向製の実現には、成長温度のみでなく、適切なバッファー層の選定など、更なる検討が必要であることがわかった。

#### 参考文献

- 1) S. Yuasa, T. Nagahama, A. Fukushima, Y. Suzuki, K. Ando, Nat. Mater. **3** (2004) 868–871.
- 2) A. Kallel, Comptes Rendus Acad. Sci. B **268** (1969) 455-458.

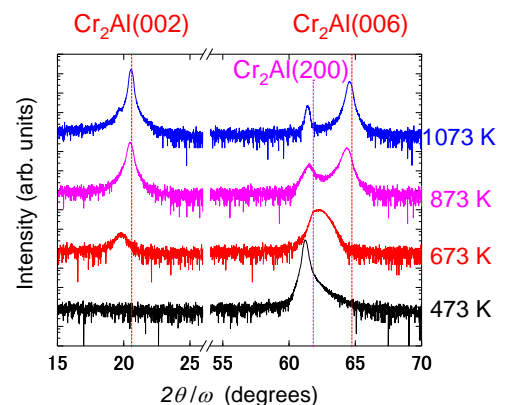


Fig. 1 473, 673, 873, 1073 K で作製した薄膜の XRD プロファイル。