

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

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

Shota Noro¹, Kotaro Nakano¹, Mitsuru Ohtake¹, Masaaki Futamoto¹, Tetsuroh Kawai¹, Fumiyoshi Kirino², Nobuyuki Inaba³
 (¹Yokohama Nat. Univ., ²Tokyo Univ. Arts., ³Yamagata 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 (α) 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 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 erg/cm^3 オーダーと大きい¹⁾. 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¹⁾. 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 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 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)[$\bar{1}$ 10] _{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 $A12$ (α -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, $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 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.

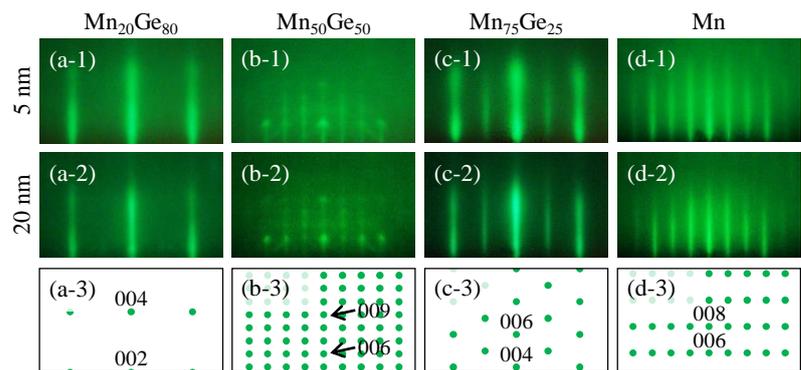


Fig. 1 (a-1)–(d-2) RHEED patterns observed for Mn_xGe_{100-x} films formed on Cr(001) underlayers. The incident electron beam is parallel to MgO[100]. (a-3)–(d-3) Schematic diagrams of RHEED patterns simulated for (001) single-crystal surfaces with (a-3) $A1$, (b-3) cP , (c-3) $D0_{22}$, and (d-3) $A12$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

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