垂直磁化磁気抵抗素子形成のための Mn₃Ge エピタキシャル薄膜の表面平坦化

Fabrication of Mn₃Ge epitaxial films with a flat surface for magnetic tunnel junctions

東北大 WPI-AIMR ^O杉原 敦, 鈴木 和也, 宮崎 照宣, 水上 成美

WPI-AIMR Tohoku Univ. [°]A. Sugihara, K. Suzuki, T. Miyazaki, and S. Mizukami

E-mail: a.sugihara@wpi-aimr.tohoku.ac.jp

磁気抵抗ランダムアクセスメモリ(MRAM)の大容量化の観点から,低磁化,高一軸磁気異方性を有する垂直磁化薄膜材料が注目されている. 正方晶 $D0_{22}$ 型の Mn_3 Ge は, c 軸方向に完全スピン分極した Δ_1 バンドを有し¹, Fe/MgO トンネル磁気抵抗素子と同等の巨大なトンネル磁気抵抗を発現することが理論的に予測されている²⁾. しかしながら, $D0_{22}$ 相は形成速度が低く³⁾,また薄膜形態においては下地起因のひずみ等の影響により特有の準安定相を複数呈する⁴⁾ことなどから,良質の $D0_{22}$ 型 Mn_3 Ge 薄膜結晶成長は容易ではない. これまで我々は, Mn ならびに Ge ターゲットを用いた二元同時スパッタ法を用いて, Cr(001)バッファ層上に 300°C 以上の基板温度(T_s)において $D0_{22}$ 型 Mn_3 Ge 単相を形成することに成功し,低飽和磁化(110 emu/cm³),高垂直磁気異方性(11.8 Merg/cm³),ならびに高角型性といった優れた磁気特性を報告した⁵⁻⁷⁾.また,極薄膜化は可能であるものの,膜表面粗さが Mn-Ga 系と比較すると数倍大きい(膜厚 30 nm, T_s =400°C において Ra = 1.9 nm)ことを報告した. したがって,磁気抵抗素子のための原子的に平坦な表面を形成するためには,結晶成長機構を考察しつつ平坦な薄膜の作製プロセスを検討することが重要である.

本研究では、いくつかの下地材料、加熱プロセス、製膜法等をさまざまに変え、結晶構造・磁気特 性・表面平坦性について調べた結果を報告する. ここではその代表的な結果のみを示す. 試料構造は MgO(001)基板/Cr(40 nm)/Mn₃Ge(30 nm)/MgO(3 nm)とし, Mn₃Geの製膜は従来用いてきた二元同時スパ ッタ法に加え, 合金ターゲットを用いた単元スパッタ法により行った. Fig. 1(a)に, T₅=400 ℃におい て二元同時スパッタ法により作製した試料(Sample 1)ならびに単元スパッタ法により T_s=400°C および T_s= 300 °C において作製した試料(それぞれ Sample 2 および Sample 3)の磁気光学 Kerr 効果 M-H ループ を示す.いずれの試料も高い角型性を有しており、良質な単相 D022型 Mn3Ge が形成されていることを 示唆している. Fig.2(a),および(b)に,二元同時スパッタにより作製した試料群(Series 1)ならびに単元ス パッタにより作製した試料群(Series 2)の保磁力 H_c および表面粗さ Ra の T_s 依存性を示す. Series 2 の H_cは Series 1 と比較して低く,これは Series 2 の結晶性が Series 1 と比較して高いことを示唆している ^{5,6}. また, Ra に関しては Series 2 の方が Series 1 よりも低い. 特に Sample 3 においては Ra = 0.5 nm と、比較的平坦な表面が得られた.以上のように、単元スパッタにより作製した D022-Mn3Ge は二元同 時スパッタにより作製したものと比較して高い結晶性を有しつつ低い表面粗さを有する傾向があるこ とが分かった.発表では、表面粗さのプロセス等依存性の起源について考察する.本研究の一部は、 日独共同研究(ASPIMATT, JST), 旭硝子財団研究助成,ならびに NEDO ノーマリーオフコンピューティ ング基盤技術開発(再委託)の支援で行われた.

1) S. Mizukami et al., Appl. Phys. Express **6**, 123002 (2013). 2) Y. Miura and M. Shirai, IEEE Trans. Mag. **50**, 1400504 (2014). 3) T. Ohoyama, J. Phys. Soc. Jpn. **16**, 1995 (1961), 4) D. D. Dung et al., J. Appl. Phys. **109**, 07C310 (2011), 5) A. Sugihara et al., Appl. Phys. Lett. **104**, 132404 (2014). 6) A. Sugihara et al., J. Phys. D (in-press, 2015). 7) A. Sugihara et al., J. Appl. Phys. (in-press, 2015).

