## Co<sub>2</sub>MnSi を用いた電流面直型スピンバルブ素子の磁気抵抗特性に 及ぼす Co<sub>2</sub>MnSi 薄膜の Mn 組成の影響

犬伏和海<sup>1</sup>, 井上将希<sup>2</sup>, Hu Bing<sup>2</sup>, Moges Kidist<sup>2</sup>, 中田勝之<sup>1</sup>, 山本眞史<sup>2</sup>, 植村哲也<sup>2</sup> (<sup>1</sup>TDK 株式会社, <sup>2</sup>北海道大学)

Influence of Mn composition in Co<sub>2</sub>MnSi films on magnetoresistance characteristics of Co<sub>2</sub>MnSi-based current-perpendicular-to-plane spin valves

K. Inubushi<sup>1</sup>, M. Inoue<sup>2</sup>, Bing Hu<sup>2</sup>, Kidist Moges<sup>2</sup>, K. Nakada<sup>1</sup>, M. Yamamoto<sup>2</sup>, and T. Uemura<sup>2</sup> (<sup>1</sup>TDK Corporation, <sup>2</sup>Hokkaido University)

## 1. はじめに

スピントロニクスデバイスに必須のスピン源として、ハーフメタル系の Co 基ホイスラー合金薄膜が注目 されており、磁気トンネル接合 (MTJ)<sup>14)</sup>、電流面直型スピンバルブ (CPP-GMR) 素子<sup>5.6)</sup>、スピン注入素子<sup>7.8)</sup> などに応用され、広く研究されている.最近、著者の何人かは Co<sub>2</sub>MnSi (CMS)、Co<sub>2</sub>(Mn, Fe)Si (CMFS)及び Co<sub>2</sub>MnGe ホイスラー合金薄膜において、ハーフメタル特性を低下させる Co<sub>Mn</sub> アンチサイトが、Mn を化学量 論組成よりも過剰に添加することで抑制されることを実証した<sup>14)</sup>.本研究の目的は、CMS を用いた CPP-GMR 素子の磁気抵抗 (MR)特性に対する非化学量論組成の影響を明らかにすることである.

2. 実験方法

CMS 電極と Ag スペーサを用いた交換バイアス型の CPP-GMR 素子において, CMS 電極における Mn 組成 を系統的に変化させ、その MR 特性を調べた. CPP-GMR 層構造は、各層を超高真空チャンバー中で連続的 に成膜することにより作製した. 作製した層構造は MgO(001) 単結晶基板側から, MgO buffer (10 nm)/Co<sub>50</sub>Fe<sub>50</sub> (CoFe) seed (10)/Ag buffer (100)/CoFe buffer (10)/CMS lower electrode (3)/CoFe (1.1)/Ag spacer (5)/CoFe (1.1)/CMS upper electrode (3)/CoFe (1.1)/IrMn (10)/Ru cap (5) である. なお、MR 比の向上を図るため、Ag spacer と上下 CMS 電極との間の両界面に厚さ 1.1 nm の極薄 CoFe 層を挿入した. CMS 電極は CMS ターゲット及び Mn ターゲットを用いた同時スパッタ法により堆積し、その薄膜組成を Co<sub>2</sub>Mn<sub>a</sub>Si<sub>0.82</sub>と表記した時に  $\alpha$  = 0.62 か ら  $\alpha$  = 1.45 まで変化させた. また、CMS 薄膜の結晶性向上のため、上部 CMS 電極を室温にて堆積後、in-situ で 550°C のアニールを行った. 上記の層構造に対して、EB リソグラフィ、Ar イオンミリングにより微細加 工を行い、CPP-GMR 素子を作製した. 素子の MR 特性を室温において直流 4 端子法により測定した. MR 比 は( $R_{AP}-R_P$ )/( $R_P-R_C$ ) により定義した. ここに  $R_{AP}(P)$ は磁化反平行(平行)時の抵抗,  $R_C$ は接合面積に依存しな い寄生抵抗成分である.

## 3. 結果および考察

図1に作製した CMS/CoFe/Ag/CoFe/CMS CPP-GMR 素子の室温での MR 比の Co<sub>2</sub>Mn<sub>a</sub>Si<sub>0.82</sub> 電極における Mn 組成  $\alpha$  に対する依存性を示す.  $\alpha$ の増加に伴い, MR 特性が Mn-deficient な  $\alpha$  = 0.62 に対する 11.1%か ら Mn-rich の  $\alpha$  = 1.45 に対する 20.4%まで系統的に増加する事がわかっ た. この結果は, CMS あるいは CMFS を用いた MTJ に対する結果<sup>14</sup> と同様であり, Mn-deficient な組成から Mn-rich の組成に変化させると 共に,系統的に, Co<sub>Mn</sub> アンチサイトが低減することによって説明でき る.以上,本研究の結果は,CMS の組成を Mn リッチにするアプロー チが, CPP-GMR 素子におけ CMS スピン源のハーフメタル性の向上に, MTJ の場合と同様に非常に有効であることを示している.

- 1) H.-x. Liu et al., Appl. Phys. Lett. **101**, 132418 (2012).
- 2) H.-x. Liu et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 48, 164001 (2015).
- 3) G-f. Li et al., Phys. Rev. B **81**, 134432 (2014).
- 4) K. Moges et al., Phys. Rev. B 93, 134403 (2016).
- 5) J. W. Jung et al., Appl. Phys. Lett. **108**, 102408 (2016).
- 6) S. Li et al., Appl. Phys. Lett. **108**, 122404 (2016).
- 7) Y. Ebina et al., Appl. Phys. Lett. **104**, 172405 (2014).
- 8) T. Uemura et al., Phys. Rev. B **91**, 140410 (R) (2015).



Fig. 1. MR ratios at 290 K for

CMS/CoFe/Ag/CoFe/CMS CPP-GMR devices as a function of Mn composition  $\alpha$  in Co<sub>2</sub>Mn<sub> $\alpha$ </sub>Si<sub>0.82</sub> electrodes.