

対向ターゲット式スパッタ法を用いた垂直磁気異方性を有する

Co₂FeSi/MgO 及び MgO/Co₂FeSi 構造の作製と評価

鈴木 隆寛, 篠原 光貴, 高村 陽太, 中川 茂樹
(東京工業大学 理工学研究科 電子物理工学専攻)

Co₂FeSi/MgO and MgO/Co₂FeSi structures with perpendicular magnetic anisotropy formed by facing targets sputtering method

T. Suzuki, K. Shinohara, Y. Takamura, and S. Nakagawa
(Dept. of Physical Electronics, Tokyo Institute of Technology)

はじめに

垂直磁気異方性を有するハーフメタル強磁性体(HMF)は, 垂直磁化型磁気トンネル接合(MTJ)に適用可能な高スピン分極材料として重要である. Co₂FeSi(CFS)や Co₂FeSi_{1-x}Al_xなどの Co₂Fe 系フルホイスター合金は MTJ のトンネル磁気抵抗(TMR)比の温度依存性が小さな HMF 材料として期待されている. また, CoFe 系合金は MgO との界面において界面磁気異方性が誘起され, 垂直磁気異方性を持つことが報告されている. ¹⁾これまで我々は, 対向ターゲット式スパッタ法により CFS と MgO 薄膜の積層構造を作製し, HMF として期待される CFS においても垂直磁気異方性が発現することを示してきた. ²⁾本研究では, CFS の MTJ 構造への適用可能性について検討を行った.

試料作製と評価方法

試料は対向ターゲット式スパッタ法を用いて作製した. 試料の構造は, MTJ の下部電極を想定した MgO(001)単結晶基板/Pd バッファ(20 nm)/CFS(1 nm)/MgO(2 or 0 nm)/Ta と, 上部電極を想定した MgO 基板/Pd(20 nm)/MgO(2 nm)/CFS(1 nm)/Ta とした. 全ての層は基板温度 300°C で成膜した. CFS 層の成膜条件は, Ar 雰囲気(分圧 0.13 Pa), 成膜レート:0.05 nm/s とした. MgO 層は Mg ターゲットと酸素による反応性スパッタにより作製した. 結晶構造評価には X 線回折(XRD)を, 磁気特性評価には試料振動型磁力計(VSM)を用いた.

実験結果

Fig. 1 に CFS 層が MgO 層の下部に位置する下部電極型構造試料の面直磁場に対する磁化曲線を示す. 明瞭な角型比を持ったループが得られ, 作製した試料が垂直磁気異方性を有していることが分かった. 一方, MgO 層を堆積しない試料では困難軸の様なループを確認した. これは, 垂直磁気異方性の起源が CFS 層と MgO 層の界面によるものであることを示している. Fig. 2 に CFS 層が MgO 層の上部に位置する上部電極型構造試料の磁化曲線を示す. MgO 上に CFS を形成した場合, 垂直磁気異方性は確認できなかった. これは CFS の膜質の違いによるものと考えられる. 講演では, バッファ層や CFS 層, MgO 層の作製条件を調節し, MgO と CFS の積層構造において垂直磁気異方性が得られる条件について議論したい.

参考文献

- 1) Z. C. Wen, H. Sukegawa, S. Mitani, and K. Inomata, J. Appl. Phys. **98**, 242507 (2011).
- 2) Y. Takamura, T. Suzuki, Y. Fujino, and S. Nakagawa, J. Appl. Phys. **115**, 17C732 (2014).

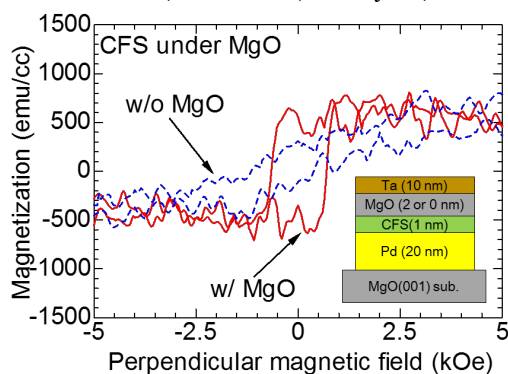


Fig. 1. M-H loops of CFS films under an MgO film and w/o an MgO film

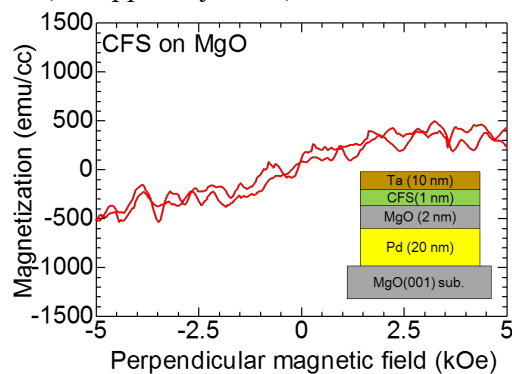


Fig. 2. An M-H loop of a CFS film on an MgO film

遠赤外円偏光を用いたホイスラー合金薄膜のバンドギャップ測定

タリク・アルフウェイメル¹、ランジダー・アブドラ¹、オリバー・ウィアー¹、テオ・ヒュミニウク¹、
ロバート・カーペンター¹、モハメッド・エル・ゴマティ¹、廣畑貴文^{1,2}
(¹ヨーク大、²JST さきがけ)

Band-gap measurements of Heusler alloy films using circularly-polarised infrared light

T. F. Alhuwaymel¹, R. M. Abdullah¹, O. Whear¹, T. Huminiuc¹, R. Carpenter¹, M. El-Gomati¹
and A. Hirohata^{1,2}

(¹ Univ. of York and ² JST-PRESTO)

はじめに

スピントロニクス素子の効率を向上させるために、スピン分極率が 100%となるハーフメタル強磁性体薄膜の開発が急務である。特に室温ハーフメタルとして期待されているホイスラー合金薄膜においては、その規則度とスピン分極率の実験的な関連づけが望まれる。そこで、本研究では遠赤外線を用いたバンドギャップ測定手法を提案し、室温ハーフメタルの実現に向けたフィードバックを確立する。

実験方法

図 1 に示すように遠赤外円偏光を用いて、ホイスラー合金薄膜中の電子スピンを励起し測定した¹⁾。まず円偏光をチョッパーにより 17 Hz のパルスとして、薄膜表面に 45°の角度で入射した。薄膜底面に永久磁石を固定し、その磁場の向きを N 極(S 極)上向きに反転させることで、マジョリティーもしくはマイノリティー電子スピンのみを励起した。この際マイノリティースピンのみがフェルミ面近傍にバンドギャップを有するため、バンドギャップの大きさに応じた遠赤外線の吸収が起きると期待される。従って磁場の向きに依存した反射光強度の差を測定することで、バンドギャップの大きさを見積もることが可能となる。なお反射光は遠赤外光用に設計した検出器を用いて、ロックイン増幅器を介して測定した。

実験結果

2 nm 厚 Ru 層で保護された 23 nm 厚の多結晶 Co₂FeSi 薄膜を室温測定した結果を図 2 に示す。成膜直後の試料及び 400°C で 3~6 時間熱処理した試料共に、13.2 μm の波長で約 200 mV の反射強度の低減(遠赤外光の吸収)が測定された。これは約 0.094 eV のバンドギャップに対応する。このように室温でもバンドギャップを測定することが可能であることがわかり、今後のハーフメタル合金評価に非常に有用であると期待される。

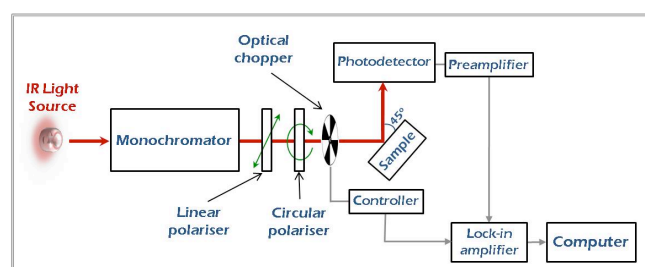


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup.

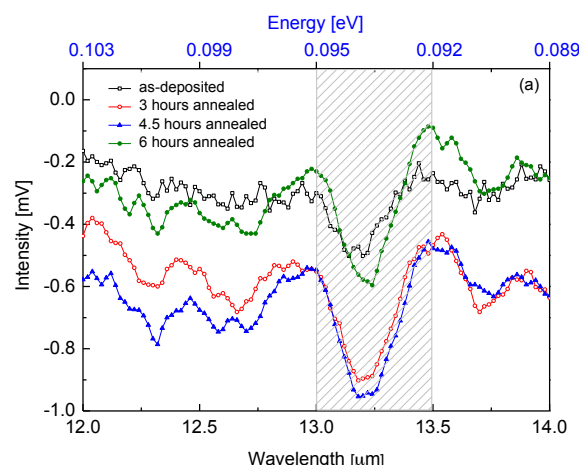


Fig. 2 Difference in intensity between the fields with the N-/S-pole upwards for Co₂FeSi/MgO as-deposited and after annealing at 400°C for < 6 h.

参考文献

- 1) A. Hirohata *et al.*, *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.* **10**, 93 (2006).
- 2) T. F. Alhuwaymel *et al.*, *IEEE Trans. Magn.* (in press).

ホイスラー合金 Mn-Co-V-Ga 薄膜の磁気特性

土屋朋生, 杉山知子, 窪田崇秀, 成田一生, 水口将輝, 上野哲朗*, 井波暢人**, 小野寛太**, 高梨弘毅
(東北大金研, *NIMS, **KEK)

Magnetic properties of Mn-Co-V-Ga Heusler alloy thin film

T. Tsuchiya, T. Sugiyama, T. Kubota, I. Narita, M. Mizuguchi, T. Ueno*, N. Inami**,
K. Ono**, and K. Takashi
(IMR, Tohoku Univ., *NIMS, **KEK)

はじめに

Mn 基のフルホイスラー合金は、一部の組成がフェリ磁性であり、また、伝導電子スピンの完全に偏極したハーフメタル材料であるとされている。¹⁾ Mn_2VAl , Mn_2VGa はその代表的な組成であり、バルク試料、薄膜試料それぞれの分野でこれまでに数多くの研究結果が報告されている。²⁻⁵⁾

フェリ磁性ハーフメタルホイスラー合金は強磁性ホイスラー合金と比較して磁化が小さいため、スピントルクを利用した磁化反転における電流密度の低減に有効であると考えられる。更に、Galanakis らの理論計算に依れば、 Mn_2VZ (Z=Al 等) ホイスラー合金の Mn サイトを Co で置換することで、Mn の磁気モーメントが Co のモーメントによって補償され、ある組成で磁化ゼロのハーフメタル材料となるとされており⁶⁾、自在に磁化の大きさを制御できるハーフメタル材料として興味深い組成である。

本研究では、 $(\text{Mn-Co})_2\text{VGa}$ 薄膜の Co 組成を系統的に変化させたエピタキシャル薄膜を作製し、その磁気特性を明らかにすることを目的とした。

実験方法

試料は超高真空マグネトロンスパッタ装置を用いて作製した。基板は MgO (100) 単結晶基板を用いた。成膜前に Ar イオンで基板表面をミリングし基板表面の不純物を除去したのちに薄膜試料を下地層を用いずに成膜した。成膜時には基板温度を室温から 700°C の間で変化させた。試料の成膜は Mn, Co, V-Ga の 3 種の金属ターゲットを用いた同時スパッタにより行い、薄膜組成は各々のターゲットへの投入電力を変化させることで調整した。薄膜の組成分析は電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) を用い、結晶構造、磁気特性をそれぞれ、X 線回折装置 (XRD)、振動型磁力計 (VSM) を用いて評価した。

実験結果

XRD による結晶構造解析の結果、基板温度を 700°C とすることで Co 組成 0–35at.% の範囲で $L2_1$ 規則構造を有するエピタキシャル薄膜が得られた。Fig. 1 に室温で測定した飽和磁化の Co 組成依存性を示す。Co 組成の増大に伴い磁化は線型的に減少を示し、Co 25at.% 以上の組成ではほぼゼロとなる。磁化がゼロとなる組成は文献 6) の計算結果と一致するものの、磁化が理論予測通り補償しているかどうかについてはさらなる調査が必要である。講演では、低温での磁化測定、磁気円二色性による磁気モーメントの測定結果についても議論する予定である。

謝辞：本研究の一部は JST 国際科学技術共同研究推進事業 (SICORP-EU, HARFIR) の助成により行われた。

参考文献

- 1) I. Galanakis, *et al.*: Phys. Rev. B **66**, 174429 (2002).
- 2) Y. Yoshida, *et al.*: J. Phys. Soc. Jpn. **50**, 2003 (1981).
- 3) K. Ramesh, *et al.*: J. Mag. Mag. Mater. **320**, 2737 (2008).
- 4) T. Kubota, *et al.*: Appl. Phys. Lett. **95**, 22503 (2009).
- 5) C. Klewe, *et al.*: J. Phys. Cond. Matt. **25**, 076001 (2013).
- 6) I. Galanakis, *et al.*, Phys. Rev. B **75**, 092407 (2007).

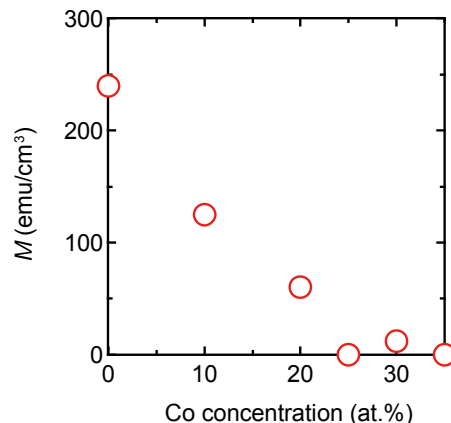


Fig. 1 Co-concentration dependence of saturation magnetization (M) for the Mn-Co-V-Ga films

MnCoGa 合金薄膜における異常ネルンスト効果

水口将輝、井上政己、杉山知子、窪田崇秀、高梨弘毅
(東北大金研)

Anomalous Nernst effect in MnCoGa alloy thin films
M. Mizuguchi, M. Inoue, T. Sugiyama, T. Kubota, K. Takanashi
(IMR, Tohoku Univ.)

はじめに

MnGa 合金には、組成の異なるいくつかの規則合金が存在する。L1₀型 MnGa および D0₂₂型 Mn₃Ga 規則合金は、比較的大きな結晶磁気異方性を示す一方、そのギルバート緩和定数が他の垂直磁化材料と比較して小さいため、様々なスピントロニクスデバイスへの応用が期待されている。特に、D0₂₂型 Mn₃Ga 規則合金は、Co 原子を添加することにより、磁気異方性の大きさを容易に変化させられることが知られており、この系の様々な磁気効果を調べることは興味深い^[1]。我々は、これまでに L1₀型 FePt 合金薄膜を中心として、その異常ネルンスト効果の測定を行い、磁気異方性との関連などを明らかにしてきた^[2]。そこで、本研究では MnCoGa 合金薄膜の熱磁気効果を明らかにすることを目的として、その異常ネルンスト効果を調べた。Co の添加量を調整することにより磁気異方性を变化させた試料について、異常ネルンスト効果の温度依存性などを詳細に調べた。

実験方法

超高真空マグネトロンスパッタリングにより試料を成膜した。MnGa ターゲットおよび Co ターゲットを用いて、MgO(001)基板上に基板温度 500°C で MnCoGa 薄膜を同時蒸着した。試料の膜厚は 30 nm とした。作製した薄膜の磁気特性の評価を超伝導量子干渉計 (SQUID) を用いて行った。異常ネルンスト効果の測定は、薄膜面内方向に温度勾配を付与した状態で、物理特性測定装置 (PPMS) により試料面直方向の磁場を掃引し、薄膜面内で温度勾配と垂直方向に発生する異常ネルンスト電圧を測定することにより行った。

実験結果

XRD による結晶構造解析の結果、Co 原子の添加にともない、Mn₃Ga ピーク強度は減少し、Mn₂CoGa ピーク強度が増加することが分かった。これは、添加された Co 原子が Mn 原子を置換していることを示す結果である。これらの試料について、異常ネルンスト効果の測定を行った。図 1 に Co を添加していない Mn₃Ga 薄膜および Co を 18% 添加した MnCoGa 薄膜について、異常ネルンスト電圧の外部磁場依存性を室温で測定した結果を示す。双方の試料ともに明確な電圧のヒステリシスが観測されたが、その形状は異なるものであった。それぞれについて磁化曲線と良く一致する形状が観測されており、これらが異常ネルンスト効果を反映したヒステリシスであることが示唆された。発表では、磁気異方性と異常ネルンスト効果の関係や、温度依存性についても詳細に議論する。

本研究の一部は、科学研究費補助金・基盤(S) (25220910)の支援を受けた。

[1] T. Kubota *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **113**, 17C723 (2013).

[2] M. Mizuguchi *et al.*, *Appl. Phys. Express*, **5**, 093002 (2012).

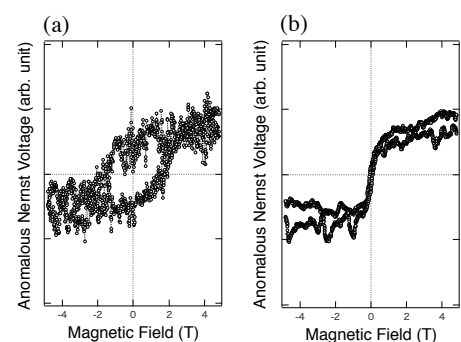


Fig. 1 Anomalous Nernst voltage measured at room temperature for (a) Mn₃Ga thin film and (b) MnCoGa (Co = 18%) thin film.