

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05255

研究課題名(和文) 湿式プロセスにより作製した磁性絶縁体薄膜を用いたスピンの熱電現象の物性解明

研究課題名(英文) Elucidation of physical properties of spin current thermoelectric phenomena using magnetic insulator thin films fabricated by wet process

研究代表者

山田 啓介 (Yamada, Keisuke)

岐阜大学・工学部・助教

研究者番号：50721792

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、化学的作製法を用いて作製したナノ粒子から成る磁性体膜を作製し、スピンのゼーベック効果(SSE)の観測と構造、磁気特性、SSE起電力の各物性の相関解明を目的に研究を実施した。(1)共沈法により作製したYIGの膜では、試料の微細構造とSSEの相関を明らかにすることができた。(2)ゾルゲル法により作製したBi-YIGの膜においては、Bi置換により試料のスピンの変換効率が増加し、SSE起電力が増加した。(3)共沈法とポリオール法により多結晶YIG-Ptグラニューラー膜を作製し、Pt微粒子の割合増加により熱電変換性能が向上した。エネルギーハーベスト技術に貢献できる技術を示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果の学術的意義は、様々な化学的プロセスを用いて磁性ナノ粒子を作製、薄膜化し、結晶構造、微細構造、磁気特性、スピンの熱電現象の相関を明らかにしたことである。このことは簡易かつ大量生産が化学プロセスを用いた試料作製によっても、十分にスピンの熱電現象が得られることを示した結果で、応用展開や開発の指針となる。また世界で先駆けて化学プロセスによって作製した試料でスピンの熱電現象の観測に成功したことは今後の研究展開にも大きな期待をもてる。

研究成果の概要(英文)：We have fabricated a magnetic thin film composed of nanoparticles by using a chemical fabrication method, and measured the spin Seebeck effect (SSE) and correlated the physical properties of the structure, magnetic properties, and SSE voltage. The purpose of our study is the elucidation of each correlation. (1) In the YIG films prepared by the coprecipitation method, the correlation between the fine structure of the sample and the SSE electromotive force was clarified. (2) In the Bi-YIG films fabricated by the sol-gel method, the spin current conversion efficiency for the Bi-YIG samples increased due to Bi substitution, and the SSE voltage also increased. (3) YIG-Pt granular films were prepared by coprecipitation method and polyol method, and the thermoelectric conversion performance was improved by increasing the ratio of Pt fine particles. We could not only clarify the physical properties of SSE, but also show a technology that can contribute to energy harvesting technology.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：スピンのゼーベック効果 磁性ナノ粒子 微細構造 共沈法 ゾルゲル法 グラニューラー 化学合成プロセス 熱電変換効率

1. 研究開始当初の背景

現在、周りの環境から微小なエネルギーを収穫 (ハーベスト) し電力として変換して、それらを有効的に活用する「エネルギーハーベスティング技術」に注目が集まっている。これらの技術は、充電・取り替え・燃料補給なしで長期間エネルギー供給が可能な電源として、どこでもネットワークにつながるユビキタスネットワーク社会や、モノのインターネット (Internet of things: IoT) の実現に必須の技術であるため、性能・機能性向上に向けた研究を行うことは大きな意義をもつ。スピントロニクス分野では、2008 年に発見された“スピンゼーベック効果 (SSE)” [1] が新規の熱電効果として注目され研究が盛んに行われている。この効果は、磁性絶縁体/金属薄膜の接合界面を介して金属薄膜に生じるスピンの流れによって起電力が生じる効果であり [2] (図 1-b: 縦型の SSE と呼ばれる)、微小エネルギーである熱を有効に活用できる技術として期待されている [温度勾配 (= 数 K) で数 ~ 数十 μV 発生することができる]。この技術がデバイス化への期待が高い理由として、素子構造が 2 層構造と単純であり、磁性絶縁体は低コスト製造プロセスが実現可能だからである。また、磁性絶縁体は溶液を利用した湿式プロセスである有機金属分解 (MOD) 法やめっき法を用いても作製でき [3,4]、曲面・凹凸面などのさまざまな形状や材料へのコーティングが容易に可能であることから、ウェアラブル可能な熱電素子や温度センサーへの活用が期待できる (図 1-a)。しかしながら、既存の熱電材料 (BiTe 系半導体など) と比べた場合の熱電効率は 1/1000 程度であり、また湿式プロセスで作製した試料のスピンゼーベック熱電効率もバルク材や単結晶材料と比べると一桁程度以上小さいことから、今後も熱電効率 (= 起電力の大きさ) 向上に向けた研究は必須課題である。

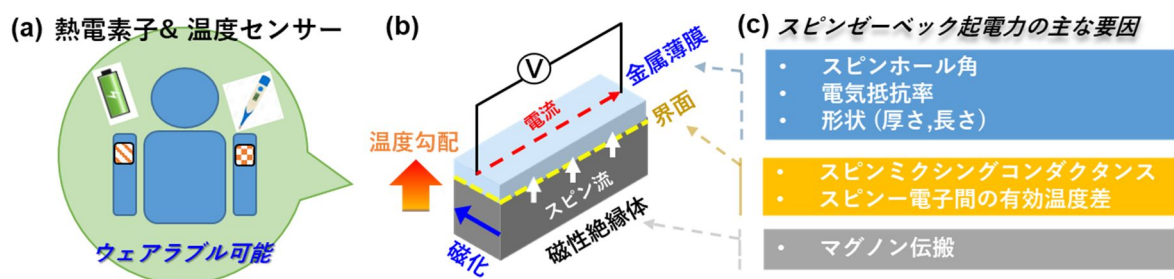


Fig. 1 (a) スピンゼーベック効果の応用例, (b) 縦型スピンゼーベック効果の概念図, (c) 主な要因

2. 研究の目的

起電力の大きさ向上を目指すためには、“SSE による起電力の大きさは、何によって決まるのか？”という課題を明らかにしていくことが重要な鍵となる。今までに理解されている起電力の大きさを決める要因は、大きく分けて三つの部分に分類できる (図 1-c)。(i) 金属薄膜が有する特性 (スピンホール角、電気抵抗率、形状 (厚さ、長さ))、(ii) 金属薄膜と磁性絶縁体における界面特性 (スピンミクシングコンダクタンス、マグノン-電子間の有効温度差)、(iii) 磁性絶縁体の磁気特性 (マグノン伝搬) に分かれる。これらの各特性や相関を明らかにしていくことは、起電力の大きさ向上を目指す研究に欠かせない課題である。

本研究の目的は、従来には取り組みが少ない湿式プロセスで作製した磁性絶縁体薄膜を作製し、SSE の各特性の相関を明らかにすることであった。特に、金属薄膜と磁性絶縁体の界面特性 (ii) と磁気特性 (iii) の解明を目指し、結晶構造、表面微細構造、磁気特性変化に伴う各物性変化の相関を調べた。SSE に寄与する要因を明らかにし、起電力の向上を目指して研究を行った。

3. 研究の方法

本研究の研究手法として、磁性絶縁体膜は、微粒子の製法である共沈法と呼ばれる化学合成法 (沈殿法の一つ) とスピコート法を組み合わせた手法を用いて作製した (= 湿式プロセスの一種である: 図 2) [5]。共沈法は、1) 所定の組成の材料を得られる、2) 均一性の高い材料が得られる、3) 原料溶液の仕込みや操作が容易である、などの利点がある。図 2 に示すように、共沈法により合成したイットリウム・鉄ガーネット (YIG) 前駆体を基板面に塗布できるように懸濁液の生成条件を調整し、スピコート法と組み合わせ Si 基板に塗布する。最適アニール処理条件により YIG 膜を作製できる。膜表面は、緻密に並んだ磁性ナノ粒子から形成されている (多結晶ナノ粒子: 粒径 50 nm 以上)。YIG 膜の上に非

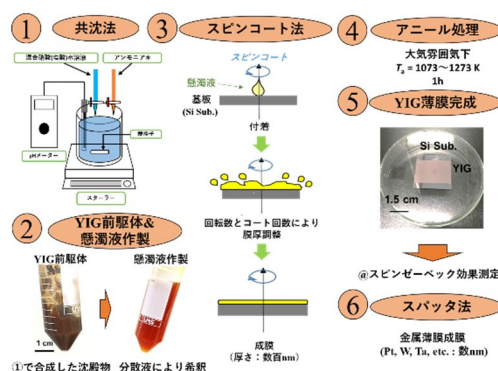


Fig. 2 YIG 薄膜試料の作製プロセス

磁性金属薄膜(Pt など)をスパッタにより成膜し、試料に熱勾配と磁場を印加できる SSE 観測用装置により SSE 起電力が観測できる。YIG 前駆体は、共沈法に加え、ゾルゲル法を用いても合成を行った。またポリオール法と呼ばれる貴金属ナノ粒子を作製できる手法を用いて、Pt 微粒子を作製し、共沈法で作製した YIG 前駆体と混合し、グラニューラ構造を作製するための前駆体も作製した。作製した膜の評価方法は、結晶構造を X 線回折装置(XRD)、微細構造観察を走査型電子顕微鏡(SEM)、磁気特性を振動試料型磁力計(VSM)、膜内の化学結合状態分析を X 線光電子分光法(XPS)で行った。

4. 研究成果

(A) 共沈法により作製した YIG 膜の構造と SSE 起電力の相関説明【6】

試料は、共沈法による前駆体の合成とスピコート法を合わせ膜化し、熱処理により YIG 膜を作製した。熱処理は、大気中、温度 $T_a = 1023 \sim 1273$ K で 30 min アニールを行った。

YIG 薄膜試料の X 線回折法(XRD)スペクトルを図 3(a)に示す。試料アニール温度(T_a)が、 $1073 \leq T_a \leq 1273$ K の試料において、多結晶 YIG の純粋なガーネット結晶構造に起因するピークが観測できた。 $T_a = 1023$ K の試料では、YIG 膜は形成されなかった。

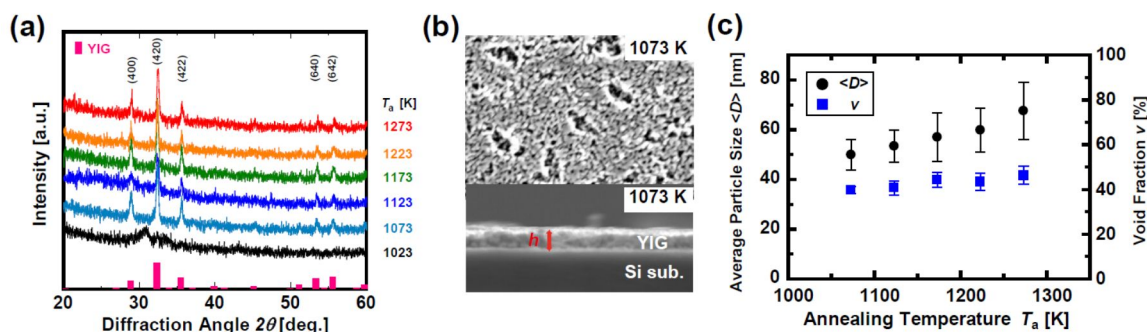


Fig. 3 (a) XRD 結果, (b)SEM による表面と断面観察結果, (c) (左軸)平均粒子径, (右軸)空隙率

走査型電子顕微鏡(SEM)による $T_a = 1073$ K 試料の表面と断面の観察結果を図 3(b)に示す。アニール温度の範囲に係わらず粒子が構成されていないクラックが見られたものの、すべての試料において、ナノ粒子から構成された膜ができていた。SEM 画像から平均粒子径 $\langle D \rangle$ を求めた結果と、表面の空隙率 v の結果を図 3(c)に示す。平均粒子径の値は 49 nm から 58 nm とアニール温度に対して単調に増加していた。空隙率は、 $37 \leq v \leq 44\%$ の範囲で得られ、わずかに増加していた。また、走査型プローブ顕微鏡(SPM)を用いて、薄膜の表面を観測したところ、平均面粗さ R_a は、 $10.7 \leq R_a \leq 14.3$ nm となり、各アニール温度試料に対して依存性は小さかった。これらの結果は、クラック部分を除く、ナノ粒子表面の凹凸は平坦性が高い試料が得られているが、ナノ粒子の粒径や空隙は、アニール温度により増加している膜が形成されたことを示している。

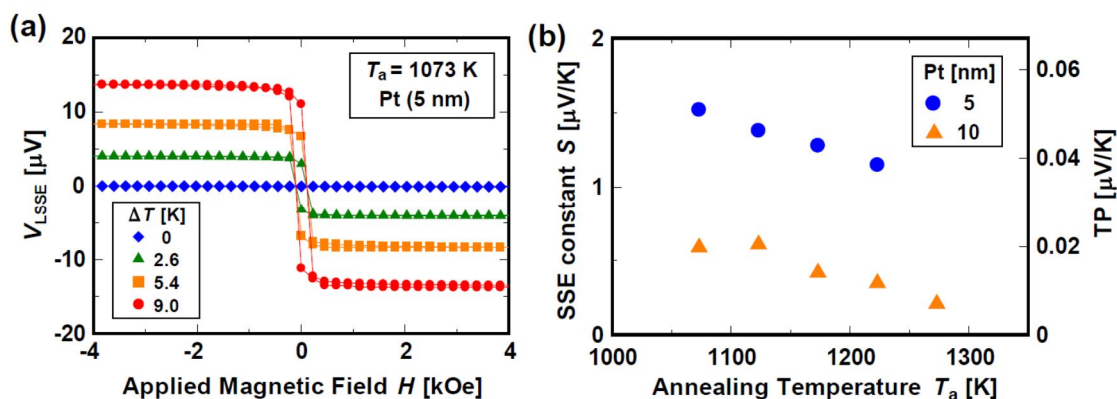


Fig. 4 (a) $T_a = 1073$ K における LSSE 測定結果, (b) (左軸)SSE 定数, (右軸)TP 値の T_a 依存性

アニール温度 1073 K 試料の YIG/Pt (5nm)における LSSE 測定結果について図 4(a)に示す。印加磁場方向により起電力の符号が変化しており、温度差 ΔT が増加すると起電力が単調に増加している。印加磁場が 4.0 kOe で印加されたときの LSSE 電圧を飽和 LSSE 電圧 (V_{LSSE}^{Sat}) と定義し、各アニール温度試料における飽和 LSSE 電圧 (V_{LSSE}^{Sat}) に対する温度差 ΔT 依存性を Pt 膜厚が 5 nm と 10 nm の場合の結果を求めた。線形フィッティング線の傾きから求めた SSE 定数 ($V_{LSSE}^{Sat} / \Delta T$) の値を図 4(b)(左軸)に示す。各 SSE 定数と基板を含めた試料の厚さ ($L_z = 0.5$ mm) とプローブ間距離 ($L_x = 15$ mm) から、熱電性能 ($TP = |V_{LSSE}^{Sat} \cdot L_z / (L_x \cdot \Delta T)|$) の値を図 4(b)(右軸)にまとめた。アニール温度が上昇すると熱電性能値 TP が単調に減少しており、Pt = 5(10) nm の時は、最大で約 24% (64%)減少していた。また Pt の膜厚が厚くなると、熱電性能値は最

大で約 70%減少した。試料において、アニール温度に対して TP の減少率を抑えることが出来る理由は、YIG の膜厚が厚いとナノ粒子からなる膜のためアニール時における熱の拡散が高いため、比較的熱耐性が高い試料が作製できている可能性が考えられる。

アニール温度試料に対して LSSE 起電力が単調に減少する理由を考察した。SSE 起電力 (V_{LSSE})には、 $V_{LSSE} = (\rho \cdot g_r \cdot L_x \cdot \Delta T) / M_s$ の関係がある。ここで、 ρ , g_r , M_s は、それぞれ、電気抵抗率、スピニングコンダクタンス、飽和磁化を示している。電気抵抗率に関しては、アニール温度に対して単調に増加したが、スピニングコンダクタンスに関してはアニール温度依存性が見られなかった。また飽和磁化に関しては、SEM 画像の解析と室温で測定した振動試料型磁化測定 (VSM) から求めた磁化の大きさは、アニール温度に対する依存性は、ほぼ無かった。しかしながら、強磁性共鳴法で測定した磁化ダイナミクスに係る磁化の量は、アニール温度に対して減少する傾向が見られた。このことから、LSSE 起電力のアニール温度に対する減少の傾向は、アニール温度が高くなると膜を形成する膜の表面の空隙が大きくなり、微細構造が変化したことにより、膜内のマグノン励起の不均一性が寄与していると示唆できる。

本研究では、アニール温度により表面を形成する粒子の微細構造を制御することにより、SSE 起電力を変化させることができることを示した。本研究で得られた成果は、化学的に作製された磁性ガーネット膜において、スピンゼーベック効果の基礎となる材料の特性や磁気物性を明らかにするだけでなく、エネルギーハーベスト技術に貢献できる技術を示すことができた [6]。

(B) ゾルゲル法より作製した Bi-YIG 膜の構造と SSE 起電力相関説明【7】

本研究では、大面積化に適した試料作製プロセスの一種であるゾルゲル法、スピコート法を用いて、Si 基板上に多結晶 $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (Bi-YIG) 薄膜 ($0 < x < 1.2$) を作製し、薄膜の結晶構造、微細構造、磁気特性および縦型 SSE 電圧 V_{LSSE} について調べた。特に、Bi 組成 x 、試料膜厚、アニール温度に対する V_{LSSE} の変化を調べた。各物性や構造変化における相関を明らかにし、大きな V_{LSSE} を観測することを目的とした。

XRD 測定結果から、多結晶のガーネット相に由来するピークが確認された。Bi 組成の増加とともに格子定数が直線的に増大したことから、YIG への Bi 置換を確認した。図 5(a) の SEM 観察結果から、Bi-YIG 薄膜はナノ粒子の集合体で、その膜厚は約 50 nm であることを確認した。SPM を用いた表面トポグラフィ測定から、試料の表面粗さは約 4 nm であった。Pt/Bi-YIG 薄膜 ($x=0.8$) の SSE 電圧測定結果を図 5(b) に、SSE 係数 S の Bi 組成依存性を図 5(c) に各々示す。 $0 < x < 0.8$ の組成域で、Bi 組成増加に伴い S 値が増大する傾向が確認された。 $x=0.8$ では $x=0$ と比較して 1.7 倍の S 値を得た。これは Bi 置換により磁性体/非磁性金属界面のスピン流変換効率が向上したことが理由と考えられる。次に、Pt/Bi-YIG 薄膜 ($x=0, 0.8$) の SSE 係数 S の Bi-YIG 膜厚 d 依存性の結果を図 5(d) に示す。膜厚 d の増加に伴い S 値が増大する傾向が確認された。マグノンの波長は 0.1~数 μm 程度と報告されており [8]、それ以下の膜厚では S 値が増大することが考えられる。Bi を置換した $x=0.8$ 、アニール温度 $T_a=973\text{ K}$ の時に最大の増加傾向を示した。これらは Bi 置換による影響とアニール温度が低いことで薄膜表面の粒子径が小さく、表面クラックが減少することから、Bi-YIG 層から Pt 層への良好なスピン流伝搬が起こったと考えられる。

Bi を置換した試料では、アニール温度を YIG より 100 K ほど低い温度でも結晶を形成することから、形成されたナノ粒子が小さく緻密に詰まった膜を作製することができ、 V_{LSSE} が向上することを示すことができた。本研究を通じ、多結晶 YIG への Bi 置換が SSE 電圧に及ぼす影響を明らかにすることができた [7]。

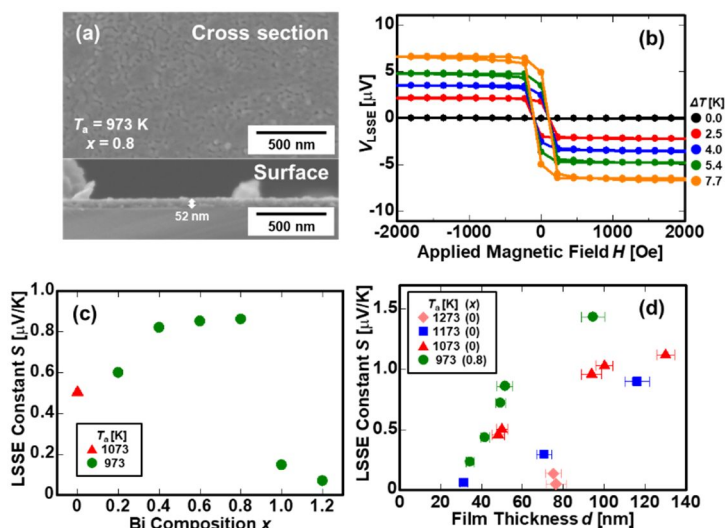


Fig.5 Bi-YIG ($x=0.8$)の(a)SEM 表面および断面観察結果、(b)SSE 電圧測定結果、(c)SSE 係数の Bi 組成依存性、(d)Bi-YIG 膜厚依存性。

(C) YIG-Pt グラニューラ膜の構造と SSE 起電力の相関説明【7】

本研究では、化学合成法である共沈法 [5,6]、ポリオール法と大面積化に適したスピコート法を用いて、Si 基板上に多結晶 $\text{YIG}_{100-x}\text{Pt}_x$ グラニューラ膜 ($0 < X [\text{Pt}\%] < 6.8$) を作製し、膜の結晶構造、微細構造、磁気特性、表面電気伝導率 (σ_{Pt}) および SSE 電圧 (V_{SSE}) について調べ、グラニューラ構造と SSE 起電力の相関説明を行った。また、 σ_{Pt} と V_{SSE} から SSE 電力 [$W_{\text{SSE}} = S^2_{\text{SSE}} \cdot \rho_{\text{Pt}}$ (S_{SSE} : SSE 係数)] を算出し、素子としての熱電変換性能を評価した。

図 6(a)に YIG-Pt における SEM 観察と EDX による組成分析の結果を示す。図の赤色にマッピングされた物質は Pt であり、Pt の割合が 6.8%であることがわかった。YIG-Pt 膜は、0.3 X 6.8 の範囲でグラニューラ構造を確認でき、膜厚は約 100 nm であることが観察できた。XRD の結果から、YIG-Pt 膜は多結晶 YIG と Pt が互いに非固溶である膜を同定できた。SPM を用いた表面観察から、X の増加に伴い隆起した Pt 粒径が増加した(0.3%: 80 nm 6.8%: 220 nm)。Pt/YIG-Pt 膜で V_{LSSE} 測定を行ったところ、YIG-Pt の S 値は、0 X 6.8 の組成域で X 増加により、 S 値が減少する傾向が確認された。これは、YIG 中の Pt 微粒子の割合が多い場合、YIG 中を伝搬するスピン波の挙動が不均一であることが原因であると考えられる。図 6(b)に Pt/YIG-Pt 膜の σ_{Pt} の結果を示す。X の増加に伴い、 σ_{Pt} が増大する傾向が確認された。これは、Pt 微粒子が凝集して表面に隆起することで、非磁性体層の断面積が増加し、 σ_{Pt} が増加したと考えられる。 S_{SSE} と σ_{Pt} から W_{SSE} を算出した結果を図 6(c)に示す。1.1 X 6.8 の範囲で W_{SSE} が増加し、X=6.8 で W_{SSE} が X=0 と比べて、1.6 倍増加した結果が得られた。

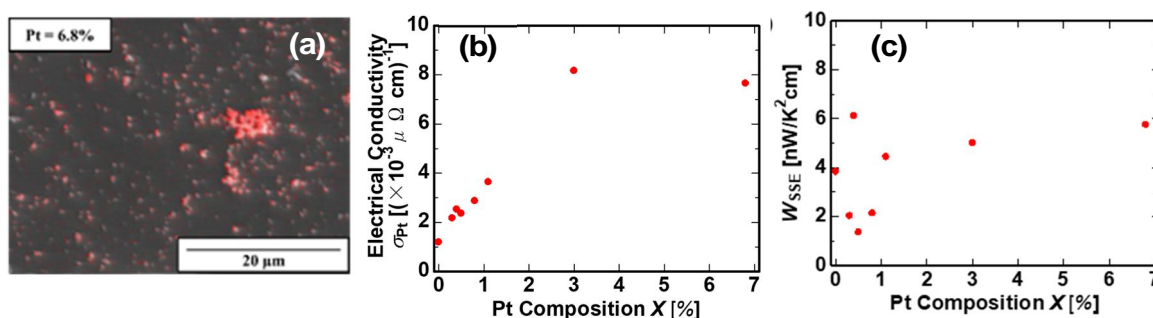


Fig.6 (a)YIG-Pt (X = 6.8)の表面の SEM-EDX 結果. (b)表面電気伝導率(σ_{Pt})と(c) SSE 電力(W_{SSE})の Pt 含有率依存性.

グラニューラ構造において凝集した Pt 粒子の影響により、YIG 中のスピン波伝搬に不均一性が生じ、 S_{SSE} 値は減少したものの、 σ_{Pt} が増加したため、1.1 X 6.8 の組成域で X=0 と比べて W_{SSE} は増加した。この結果は、非磁性 Pt 粒子の割合が希薄な YIG-Pt グラニューラ膜では、素子としての熱電変換性能が向上できたことを示している。本研究を通じ、YIG-Pt グラニューラ膜の構造と SSE 起電力の相関を明らかにすることができた。

<引用文献>

- [1] K. Uchida, et al., *Nature* **455**, 778 (2008).
- [2] K. Uchida, et al., *Nat. Mater.* **9**, 898 (2010).
- [3] A. Kirihara, et al., *Nat. Mater.* **11**, 686 (2012).
- [4] A. Kirihara, et al., *Sci. Rep.* **6**, 23114 (2016).
- [5] K. Yamada, et al., *IEEE Trans. Magn. Magn.* **55**, 4500104 (2019).
- [6] K. Yamada, et al., *J. Magn. Mater. Mater.* **535**, 168093 (2021).
- [7] M. Yamamoto, K. Yamada, et al., *J. Magn. Mater. Mater.* **556**, 169416 (2022).
- [8] F.-J. Chang, et al., *Phys. Rev. Materials* **1**, 031401 (2017).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ito Masayoshi, Ono Shota, Fukui Hayato, Kogirima Keiichi, Maki Natsumi, Hikage Tatsuo, Kato Takeshi, Ohkochi Takuo, Yamaguchi Akinobu, Shima Mutsuhiro, Yamada Keisuke	4. 巻 564
2. 論文標題 Uniaxial in-plane magnetic anisotropy mechanism in Ni, Fe, and Ni-Fe alloy films deposited on single crystal Y-cut 128° LiNbO3 using magnetron sputtering	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 170177 ~ 170177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2022.170177	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kurokawa Yuichiro, Yamada Keisuke, Taniguchi Tomohiro, Horiike Shu, Tanaka Terumitsu, Yuasa Hiromi	4. 巻 12
2. 論文標題 Ultra-wide-band millimeter-wave generator using spin torque oscillator with strong interlayer exchange couplings	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10849 ~ 10849
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-15014-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yamamoto Mikiya, Masaki Shinya, Shiota Yoichi, Moriyama Takahiro, Kato Takeshi, Ono Teruo, Shima Mutsuhiro, Yamada Keisuke	4. 巻 556
2. 論文標題 Bismuth composition, thickness, and annealing temperature dependence of the spin Seebeck voltage in Bi-YIG films prepared using sol-gel solution and spin-coating method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 169416 ~ 169416
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2022.169416	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ito Masayoshi, Yamaguchi Akinobu, Oshima Daiki, Kato Takeshi, Shima Mutsuhiro, Yamada Keisuke	4. 巻 119
2. 論文標題 Enhancement of spin-orbit torques by change in uniaxial in-plane magnetic anisotropy of Py/Pt bilayers on single crystal 128° Y-Cut LiNbO ₃ substrate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 152407 ~ 152407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0063207	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohno Yuta, Hayashi Kensuke, Yamada Keisuke, Shima Mutsuhiro	4. 巻 302
2. 論文標題 Textured growth of Co-Fe-Ga alloy films via topotactic transformation from highly oriented precursor and spinel oxide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 130306 ~ 130306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matlet.2021.130306	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamada Keisuke, Masaki Shinya, Yamamoto Mikiya, Kondo Keita, Kurokawa Yuichiro, Shiota Yoichi, Moriyama Takahiro, Ono Teruo, Yuasa Hiromi, Shima Mutsuhiro	4. 巻 535
2. 論文標題 Change of longitudinal spin Seebeck voltage with annealing in Y3Fe5012 films formed by densely packed nanocrystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 168093 ~ 168093
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2021.168093	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakatani Yoshinobu, Yamada Keisuke, Hirohata Atsufumi	4. 巻 11
2. 論文標題 Discrimination of skyrmion chirality via spin-orbit and -transfer torques for logic operation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8415 ~ 8415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-87742-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamada Keisuke, Kogiso Kazuma, Shiota Yoichi, Yamamoto Mikiya, Yamaguchi Akinobu, Moriyama Takahiro, Ono Teruo, Shima Mutsuhiro	4. 巻 513
2. 論文標題 Dependence of Gilbert damping constant on microstructure in nanocrystalline YIG coatings prepared by co-precipitation and spin-coating on a Si substrate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 167253 ~ 167253
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2020.167253	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamaguchi Riki, Yamada Keisuke, Nakatani Yoshinobu	4. 巻 60
2. 論文標題 Control of current-induced skyrmion motion in ratchet-type skyrmion-based racetrack memory with a loop structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 010904 ~ 010904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abd115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Migita Koudai, Yamada Keisuke, Nakatani Yoshinobu	4. 巻 13
2. 論文標題 Controlling skyrmion motion in an angelfish-type racetrack memory by an AC magnetic field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 073003 ~ 073003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ab9efb	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 K. Yamada, S. Masaki, M. Yamamoto, H. Matsui, and M. Shima
2. 発表標題 Annealing temperature dependence of longitudinal spin Seebeck voltage in YIG films prepared by sol-gel spin coating method
3. 学会等名 IEEE International Magnetism (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Yamada, A. Hirohata, and Y. Nakatani
2. 発表標題 Discrimination of skyrmion chirality via spin-orbit and -transfer torques for logic operation
3. 学会等名 CRIM 2021: Magnetic Skyrmions (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田啓介, 廣畑貴文, 仲谷栄伸
2. 発表標題 スピン軌道トルクおよびスピン移行トルクによる磁気スキルミオンのカイラリティの識別
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田啓介, 廣畑貴文, 仲谷栄伸
2. 発表標題 スピン軌道およびスピン移行トルクによる磁気スキルミオンの電気的なカイラリティの識別
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野悠太, 山田啓介, 嶋睦宏
2. 発表標題 高配向前駆体を用いたトポクティック変態によるCo-Fe-Ga合金膜の配向制御
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤将慶, 山口明啓, 大島大輝, 加藤剛志, 嶋睦宏, 山田啓介
2. 発表標題 LiNbO ₃ 単結晶基板上的2層構造Py/Ptにおける面内一軸磁気異方性によるスピン軌道トルクの変化
3. 学会等名 第45回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 M. Yamamoto, S. Masaki, H. Matsui, Y. Shiota, T. Moriyama, T. Kato, T. Ono, M. Shima, and K. Yamada
2 . 発表標題 Change in longitudinal spin Seebeck voltage with microstructure in YIG films prepared by sol-gel method
3 . 学会等名 2022 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Yamada, A. Hirohata, and Y. Nakatani
2 . 発表標題 Electrical discrimination of magnetic-skyrmion chirality via spin-orbit and -transfer torques in a branched nanowire
3 . 学会等名 2022 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Ito, N. Maki, A. Yamaguchi, M. Shima, and K. Yamada
2 . 発表標題 Composition dependence of in-plane uniaxial magnetic anisotropy and magnetization reversal behavior in Ni-Fe alloy thin films on a single crystal 128° Y-Cut LiNbO ₃ substrate
3 . 学会等名 2022 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Y. Ohno, K. Yamada, and M. Shima
2 . 発表標題 Textured growth of Co-Fe-Ga alloy films via topotactic transformation from highly oriented precursor and spinel oxide
3 . 学会等名 2022 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 正木信也, 山本幹也, 近藤慶太, 山田啓介, 黒川雄一郎, 塩田陽一, 森山貴広, 小野輝男, 湯浅裕美, 嶋睦宏
2. 発表標題 YIG ナノ結晶体から形成された薄膜における微細構造とスピントラッキング起電力の相関解明
3. 学会等名 第44回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大野悠太, 山田啓介, 嶋睦宏
2. 発表標題 ナノ結晶体から形成されたCo ₂ FeGa 合金薄膜の配向制御と磁性
3. 学会等名 第44回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤 将慶, 近藤 慶太, 山口 明啓, 大島 大輝, 加藤 剛志, 嶋 睦宏, 山田 啓介
2. 発表標題 LiNbO ₃ 単結晶基板上の2層構造Py/Ptにおけるスピン軌道トルクの評価
3. 学会等名 第68回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松居 秀樹, 嶋 睦宏, 山田 啓介
2. 発表標題 共沈法とポリオール法で作製したYIG-Ptグラニュー膜の構造とスピントラッキング起電力の相関解明
3. 学会等名 IEEE Magnetics Society 名古屋支部 若手研究会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 edited by Akinobu Yamaguchi, Atsufumi Hirohata, Bethanie J.H. Stadler	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 23
3. 書名 Nanomagnetic materials : fabrication, characterization and application	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------