

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03787

研究課題名（和文）高異方性垂直磁化膜の創製と磁化反転制御

研究課題名（英文）Development of high perpendicular anisotropy thin film and its magnetization control

研究代表者

高橋 有紀子（TAKAHASHI, Yukiko）

国立研究開発法人物質・材料研究機構・磁性・スピントロニクス材料研究拠点・グループリーダー

研究者番号：50421392

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 31,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、1～10 nmの垂直磁化膜において外部からのアシストエネルギーを効率よく磁化反転に結び付けることを目的に、高垂直異方性を持つ実用的に重要な材料における動的磁化過程の理解と光及び熱エネルギーによる高効率磁化反転に関する研究を行った。主な成果として、強磁場高温中で磁化ダイナミクス測定が可能な世界で唯一の装置を立ち上げ、FePt媒体の高温ダンピングを評価したこと、交換結合を利用することによりシングルパルスでの磁化反転確率が大きく増加したことが挙げられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高垂直異方性薄膜は、爆発的に増加するデジタル情報を保存する役割を持つ。これらの薄膜の磁化反転方式としてエネルギーアシスト磁気記録が提案されているが、高い垂直異方性材料の磁化ダイナミクスの評価が困難であったため、過剰のエネルギーアシストにより素子を破壊してしまうことが問題であった。本研究でこれらの材料の磁化ダイナミクス測定が可能になったことは、必要最低限のエネルギーアシストを実現するための材料設計ができるようになったことを意味し学術的に意義のあることである。また必要最低限のエネルギーで磁化反転ができるようになれば、更なる磁気デバイスの高密度化が可能になり社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to elucidate magnetization dynamics in perpendicularly magnetized films with thicknesses of 1-10 nm, which are important for practical applications, and to study highly efficient magnetization reversal. Major results include the establishment of the world's unique system capable of measuring magnetization dynamics at high magnetic fields of 7 T and high temperatures up to 700 K, evaluation of high-temperature damping in FePt media, and significant improvement of the probability of magnetization reversal in a single pulse of circularly polarized light using exchange coupling.

研究分野：磁気記録材料

キーワード：垂直異方性薄膜 磁化反転制御

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

IoT 社会の到来により、世界中で取り扱われるデジタル情報は爆発的に増加している。大容量のデジタル情報を保存するために超高密度情報記憶デバイスが必要とされており、その代表としてハードディスクドライブ(HDD)と磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)が挙げられる。記憶密度の増加によりデバイスサイズは縮小しており、熱安定性を確保するために高い垂直異方性を持つ磁性薄膜(垂直磁化膜)が用いられている。この垂直磁化膜はその高い異方性ゆえに高い熱安定性を示し、記録情報を不揮発に保存することができる。一方で、情報を書き換えるためには磁化反転を頻繁に行う必要があるが、磁化反転に要するエネルギーが極めて大きいためストレージ・メモリに消費される電力が問題となっている。

垂直磁化膜の磁化反転エネルギーを低減する方法はいくつか提案されている。例えば、熱・マイクロ波・円偏光・電流・電圧などの外部エネルギーを与えることにより磁化反転磁界の低減を図るエネルギーアシスト磁化反転が挙げられる。いずれの手法においても反転磁界の低減は認められているが、アシストするエネルギー条件やデバイス構造が最適化されていないため、デバイスの信頼性にかかわる問題を引き起こしている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、HDD や MRAM などの情報記憶デバイスで使われる垂直磁化膜において、外部からのアシストエネルギーを効率よく磁化反転に結び付けることである。そのために、超高速分光技術を用いた磁化の動的評価手法を駆使して各種エネルギーアシストによる磁化の動的挙動を明らかにする。

3. 研究の方法

磁気記憶デバイスで重要な垂直磁化膜の厚さは 1~10 nm である。このような薄い膜厚で垂直磁気異方性を発現する材料は、バルク磁気異方性材料、界面誘導磁気異方性材料、新規材料、の 3 つに分類される。この 3 種類の物質は、その異方性の大きさ、膜厚、材料によって磁化反転をアシストするのに有効な外部エネルギーがそれぞれ異なる。そこで、本研究ではこれら 3 種類の垂直磁化膜に対して、以下のような検討を行う。

- (1) **バルク磁気異方性**の高い材料とは、FePt や CoCrPt のように大きなスピン軌道相互作用のために巨大な磁気異方性を発現しているものを指す。材料本来の性質として巨大な磁気異方性を持つので、CoCrPt は現行の HDD の媒体として使われ、FePt は次世代の熱アシスト磁気記録媒体材料として検討されている。バルク磁気異方性の大きな材料は、数 nm のナノ粒子でも十分な熱安定性を示す一方で、5 T を超える非常に大きな反転磁界を示し、外部磁場による磁化反転が容易でない。本研究では、熱または円偏光の照射により、1.5 T の外部磁場下で磁化反転できるような材料設計を行う。1.5 T は現行 HDD の書込みヘッドが生成できる磁場であり、ここでは HDD 技術に貢献するような磁化反転を目指す。円偏光照射による磁化反転では複数パルスが必要であることが我々の最近の研究より明らかとなっているので、人工的に反平行スピン状態を作ることにより交換結合を利用した単パルスでの磁化反転を実現する。
- (2) **界面誘導磁気異方性**は、酸化物層 / 強磁性層の界面での酸素原子と遷移金属原子の軌道混成や界面の格子ひずみにより発現すると考えられており、強磁性層の厚さが 1 nm 程度の極薄膜領域で発現する。このような極薄垂直磁化膜は MRAM の磁性層として使われている。本研究では、CoPt などの低い垂直異方性を持つ磁性膜あるいは W や Ta などのスピン軌道相互作用の大きい非磁性膜と強磁性層を積層し、ヘテロ接合を形成する。交換結合またはスピンプンピングを利用したマイクロ波アシストにより磁化反転磁界の低減を目指す。
- (3) **新規垂直異方性材料**とは、反平行のスピン副格子を持つフェリ磁性体などこれまでに垂直膜として注目されていなかった材料系である。MnGa などのフェリ磁性体は、低磁化・高異方性を両立するため、MRAM の強磁性層材料として有望視されている。フェリ磁性薄膜においては、反平行のスピン副格子による交換相互作用を利用した熱・円偏光による磁化反転、あるいは低磁化・低ダンピングという特徴を利用した電流アシスト磁化反転により磁化反転磁界の低減を目指す。

4. 研究成果

研究期間前半は垂直磁化膜の磁化ダイナミクス測定装置の立ち上げを行った。磁化ダイナミクスは時間分解磁気光学カー効果(TRMOKE)を用いて行った。実用デバイスで使用される垂直磁化膜の異方性磁界は 2T を超えるものが多く、通常の電磁石で発生させる磁場では磁化を飽和させることができない。そこで超電導マグネットを測定光路に組み込み最大 7T の強磁場を印加しながら TRMOKE 測定を可能にした。垂直磁化膜は使われる環境がデバイスによって異なる。例えば、ハードディスクドライブの磁気記録媒体として最近実用化された FePt 磁気記録媒体では、キュリー点付近まで温度を上げた環境で磁化反転を行う。磁気ランダムアクセスメモリへの応

用が期待されている 1 nm の膜厚の垂直磁化膜では動作温度約 100°Cでの磁化反転となる。実用デバイスでは比較的高温で動作するデバイスが多いことに着目し、高温環境での磁化ダイナミクスを理解する必要がある。そのために超電導マグネットのサンプルステージにセラミックヒーターを取り付け、熱エネルギーの導入を可能にした。磁場は最大 7 T、温度は 1.6 ~ 700 K の範囲で変化させられる。図 1 に強磁場・温度可変 TRMOKE 装置を示す。このような強磁場・高温 TRMOKE 装置は世界唯一の装置である。このほかに、電磁石を用いた 2T-TRMOKE 装置およびスピントロニクスデバイス測定のために顕微 TRMOKE も立ち上げた。

TRMOKE 装置を用いて行った磁化ダイナミクス測定において、主要 3 成果(1) FePt 磁気記録媒体の高温ダンピング評価、(2) 面誘導磁気異方性を有する Fe 超薄膜のダンピング評価、(3) 疑似的 2 次元スピン構造を持つ(Mn-Cr)AlGe 超薄膜のダンピング評価)を報告する。

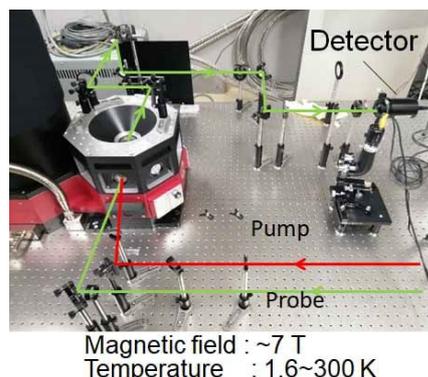


図 1 強磁場・温度可変 TRMOKE

(1) FePt 磁気記録媒体の高温ダンピング評価

FePt は 7 MJ/m³ もの高い異方性をもち、4 nm の微粒子でも磁化を一方に保つことができる。そのため、4 Tbit/in² を超えるハードディスクドライブ(HDD)の磁気記録媒体の材料として注目されている。このように高い異方性を持つ材料を微粒化すると、磁化反転に必要な磁場が 4 T を超える。現在使われている HDD の書き込み素子が発生できる磁場は最大 1.5 T なので、現行の書き込み方式では FePt 媒体に書き込みができない。この問題を解決するために、外部からエネルギーを照射して、FePt 磁気記録媒体の磁化反転をアシストするエネルギーアシスト磁気記録が提案されている。FePt 媒体では、外部から熱エネルギーを照射する「熱アシスト磁気記録」方式が応用されている。FePt 磁気記録媒体を用いた熱アシスト磁気記録で実用上問題になっているのが、過剰な熱エネルギーを与えることによる媒体ダメージである。過剰な熱エネルギーを与えてしまう原因の 1 つは、FePt 媒体の磁化ダイナミクスを適切に制御できないので、磁化反転に必要な最低限のエネルギーが明らかでない事である。磁化反転を理解するのに重要なパラメータの 1 つにダンピングが挙げられる。FePt 媒体の場合、高温の磁化反転過程をシミュレーションするためのダンピングが評価されていないので、磁化反転過程すら明らかになっていなかった。我々は自分たちで立ち上げた強磁場・温度可変 TRMOKE を用いて FePt 媒体の磁化ダイナミクス測定に成功し、高温ダンピングを評価した。平均粒子径が約 8 nm、保磁力が約 4 T の垂直異方性を持つ FePt 媒体のキュリー点付近(620K)のダンピングは 0.064 と見積もられた。

(2) 界面誘導磁気異方性を有する Fe 超薄膜のダンピング評価

スピントランスファトルクを用いた磁気ランダムアクセスメモリ(STT-MRAM)では、低いダンピングと大きな垂直異方性を持つ強磁性材料は高速でエネルギー効率の高い磁化反転を実現するための鍵である。ダンピングを垂直異方性のスピン分解の寄与を明らかにするために Fe(0.7nm)/MgAl₂O₄(3nm)の二層膜を用いた。MgAl₂O₄ の酸化度に応じて垂直異方性を制御した。Fe と MgAl₂O₄ の界面は原子レベルで平坦である。最適な条件で酸化することにより 0.013 と非常に低いダンピングと 0.8 MK/m³ と大きな垂直異方性を実現することに成功した(図 2 と図 3)。詳細な理論解析の結果、界面の酸化状態の違いが K_{eff} と α に大きな影響を与えていることがわかった。低いダンピングの起源は少数スピン状態の非スピンフリップ項の寄与であり、高い異方性は界面 Fe 原子の軌道磁気モーメントに依存している。少数スピン状態では、界面 Fe 原子の d(yz)軌道と d(zx)軌道が軌道モーメントとその異方性を支配的に変化させることがわかった。したがって、界面状態は熱処理温度によって変化し、材料の開発とスピントロニクス応用に適した性能の達成に関わる主要な要因であると結論づけられる。

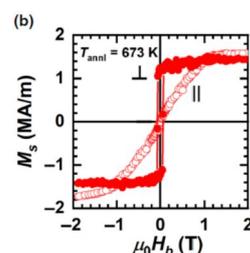


図 2 673K で熱処理した後の Fe/MgAl₂O₄ 薄膜の磁化曲線。

(3) 疑似的 2 次元スピン構造を持つ(Mn-Cr)AlGe 超薄膜のダンピング評価

大きな垂直磁気異方性、小さな飽和磁化、小さな磁気ダンピング定数を持つ強磁性金属超薄膜は、高速スピントロニクスデバイスの重要な要件である。また、これらのデバイスを熱酸化 Si 基板のアモルファス上に多結晶構造で作製することが、量産化に向けて強く望まれている。ここでは、新たに開発した Cu₂Sb 型 MnAlGe 膜と(Mn-Cr)AlGe 膜からなる材料系において、サブ

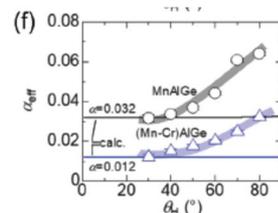


図 3 MnAlGe 薄膜および (Mn-Cr)AlGe 薄膜のダンピングの磁場角度依存性

テラヘルツの磁化歳差運動を TRMOKE により検討した。これらの材料は、数ナノメートルサイズの領域で大きな垂直磁気異方性を示す。熱酸化シリコン基板上に作製した薄膜試料では、高分解能透過型電子顕微鏡(TEM)像において擬2次元結晶構造が明瞭に観察された。また、MnAlGe の Mn サイトの一部が Cr 原子に置き換わっていることも TEM 像から確認された。(Mn-Cr)AlGe の磁化歳差周波数は 0.164THz で、実効磁気ダンピング定数は 0.012 と比較的小さいことが判明した。理論計算の結果、Cr 置換による全状態密度の変化が(Mn-Cr)AlGe の固有磁気ダンピング定数を減少させることが推察された。

磁化ダイナミクス測定以外に、円偏光誘起磁化反転についても進展があった。FePt 媒体などの強磁性薄膜では、円偏光照射により極性に応じた磁化が誘起できることから次世代の磁気記録方式として注目されている。しかし、極性による磁化反転には数百回ものパルス照射が必要な積算的な磁化反転である。この技術を実用化するにはシングルパルスで 100% の磁化反転が必要である。本研究ではシングルパルスでの磁化反転が可能な GdFeCo を Ru で挟んで CoPt 上に積層することにより GdFeCo と CoPt の反強磁性的な結合を利用したシングルパルスでの磁化反転を検討した。その結果、GdFeCo を積層しない場合には磁化反転確率が 16%であったが、GdFeCo と CoPt を反強磁性的に結合させることにより 62%まで磁化反転確率が増加させることに成功した(図 4)。

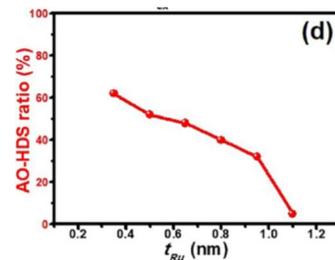


図 4 円偏光照射による磁化反転確率の Ru 膜厚依存性。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Wang Jian, Sugimoto Satoshi, Kasai Shinya, Takahashi Yukiko K	4. 巻 53
2. 論文標題 Interlayer exchange coupling modulated all-optical magnetic switching in synthetic ferrimagnetic heterostructures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 475002 ~ 475002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/ababd0	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 Wang Jian, Takahashi Yukiko K., Uchida Ken-ichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Magneto-optical painting of heat current	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-13799-7	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 Mandal Ruma, Xiang Qingyi, Masuda Keisuke, Miura Yoshio, Sukegawa Hiroaki, Mitani Seiji, Takahashi Yukiko K.	4. 巻 14
2. 論文標題 Spin-Resolved Contribution to Perpendicular Magnetic Anisotropy and Gilbert Damping in Interface-Engineered Fe/MgAl ₂ O ₄ Heterostructures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 064027 ~ 064027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.14.064027	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 Suzuki Ippei, Kubo Shoichi, Sepehri-Amin Hosein, Takahashi Yukiko K.	4. 巻 16620
2. 論文標題 Dependence of the Growth Mode in Epitaxial FePt Films on Surface Free Energy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 16627
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaami.0c22510	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 Suzuki Ippei, Wang Jian, Takahashi Yukiko K., Hono Kazuhiro	4. 巻 500
2. 論文標題 Control of grain density in FePt-C granular thin films during initial growth	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 166418 ~ 166418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2020.166418	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 Sasaki Yuta, Takahashi Yukiko, Kasai Shinya	4. 巻 13
2. 論文標題 Laser-induced terahertz emission in Co ₂ MnSi/Pt structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 093003 ~ 093003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abb1c9	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 Wang J., Sepehri-Amin H., Takahashi Y.K., Ohkubo T., Hono K.	4. 巻 177
2. 論文標題 Magnetic in-plane components of FePt nanogranular film on polycrystalline MgO underlayer for heat-assisted magnetic recording media	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2019.07.017	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 J. Wang, H. Sepehri-amin, H. Tajiri, T. Nakamura, K. Masuda, Y.K. Takahashi, T. Ina, T. Urga, I. Suzuki, Y. Miura, K. Hono	4. 巻 166
2. 論文標題 Impact of carbon segregant on microstructure and magnetic properties of FePt-C nanogranular films on MgO (001) substrate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Mater	6. 最初と最後の頁 413 ~ 423
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2019.01.001	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 J. Wang, D. Liu, I. Suzuki, Y.K. Takahashi, M. Yan and K. Hono	4. 巻 12
2. 論文標題 High melting point metal (Pt, W) seed layer for grain size refinement of FePt-based heat-assisted magnetic recording media	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 23007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/aafca3	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 Bernard Dieny, Mair Chshiev, Brian Charles, Nikita Strelkov, Alain Truong, Olivier Fruchart, Ali Hallal, Jian Wang, Yukiko K. Takahashi, Tomohito Mizuno, and Kazuhiro Hono,	4. 巻 54
2. 論文標題 Impact of Intergrain Spin-Transfer Torques Due to Huge Thermal Gradients in Heat-Assisted Magnetic Recording	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Magn.	6. 最初と最後の頁 800111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2018.2863225	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 R. Mandal, J.W. Jung, K. Masuda, Y.K. Takahashi, Y. Sakuraba, S. Kasai, Y. Miura, T. Ohkubo and K. Hono	4. 巻 113
2. 論文標題 Investigation of Gilbert damping of a tetragonally distorted ultrathin Fe _{0.5} Co _{0.5} epitaxial film with high magnetic anisotropy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett	6. 最初と最後の頁 232406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5052721	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 Daniel Richardson, Sidney Katz, J. Wang, Y. K. Takahashi, Kumar Srinivasan, Alan Kalitsov, K. Hono, Antony Ajan, and Mingzhong Wu	4. 巻 10
2. 論文標題 Near-Tc Ferromagnetic Resonance and Damping in FePt-Based Heat-Assisted Magnetic Recording Media	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Applied	6. 最初と最後の頁 54046
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.10.054046	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 R. Mandal, D. Ogawa, Y. Tamazawa, K. Ishioka, T. Shima, T. Kato, S. Iwata, Y.K. Takahashi, S. Hirose and K. Hono	4. 巻 468
2. 論文標題 Time domain magnetization dynamics study to estimate interlayer exchange coupling constant in Nd-Fe-B/Ni80Fe20 films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Magn. Magn. Mater	6. 最初と最後の頁 273, 278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2018.08.010	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23件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 R. Mandal, Q. Xiang, K. Masuda, Y. Miura, H. Sukegawa, S. Mitani and Y. K. Takahashi
2. 発表標題 Interface-Engineered Magnetic Gilbert Damping : AN experimental and Theoretical Study in Perpendicularly Magnetized Fe/MgAl2O4 Heterostructures
3. 学会等名 The 4th Symposium for The Core Research Cluster for Materials Science and the 3rd Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Mandal, Q. Xiang, K. Masuda, Y. Miura, H. Sukegawa, S. Mitani and Y. K. Takahashi
2. 発表標題 Spin-Resolved Contribution to Perpendicular Magnetic Anisotropy and Gilbert Damping in Interface-Engineered Fe/MgAl2O4 Heterostructures
3. 学会等名 The 4th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木一平, 高橋有紀子, 宝野和博
2. 発表標題 FePtグラニューラー薄膜の微細組織に及ぼす格子不整合の影響
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 鈴木一平, 高橋有紀子, 宝野和博
2. 発表標題 FePtグラニューラー薄膜の高密度化
3. 学会等名 日本電子材料技術協会 第57回秋季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Sasaki, Y. K. Takahashi, and S. Kasai
2. 発表標題 Terahertz emission in epitaxially grown Co ₂ MnSi/Pt bilayer thin films
3. 学会等名 The 2020 Around-the-clock Around-the-Globe Magnetism Conference- IEEE Magnetism Society
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木悠太, 高橋有紀子, 葛西伸哉
2. 発表標題 Co _x Fe _{100-x} /Pt における超高速スピンの強磁性層膜厚依存性
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋季 第167回講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木悠太, 高橋有紀子, 葛西伸哉
2. 発表標題 Co _x Fe _{100-x} /Ptヘテロ構造を有するテラヘルツエミッターにおける放射強度の強磁性金属層膜厚依存性
3. 学会等名 日本電子材料技術協会 第57回秋季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木悠太, 高橋有紀子, 葛西伸哉
2. 発表標題 CoxFe100-x/Pt 薄膜におけるテラヘルツ時間領域分光法を用いたパルスレーザー励起スピンの強磁性層膜厚依存性
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 I. Suzuki, J. Wang, Y. K. Takahashi, and K. Hono
2. 発表標題 Control of Nucleation and Coarsening at Initial Stage during Film Growth of FePt-C Granular Films
3. 学会等名 the 2019 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木一平, H. Sepehri-Amin, 高橋有紀子, 宝野和博
2. 発表標題 FePt-Cr2O3グラニューラー薄膜の微細組織変化と磁気特性
3. 学会等名 第43回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木一平
2. 発表標題 FePtグラニューラー膜の初期成長制御による高密度化
3. 学会等名 電気学会研究会 磁気記録技術の研究最前線 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Mandal, Z. Wen, T. Kubota, K. Takanashi and Y. K. Takahashi
2. 発表標題 Magnetic Damping of NiMnSb Half-Heusler Alloy Film with Varying Annealing Temperature
3. 学会等名 JSAP Autumn Meeting
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Mandal, Z. Wen, T. Kubota, K. Takanashi and Y. K. Takahashi
2. 発表標題 Magnetic Damping of NiMnSb Half-Heusler Alloy Film with Varying Annealing Temperature
3. 学会等名 MMM 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋有紀子
2. 発表標題 磁性スピントロニクス材料の新展開
3. 学会等名 千葉大学 物質科学セミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋有紀子
2. 発表標題 Microstructure control of FePt-based HAMR media
3. 学会等名 The Magnetic Recording Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wang J., Sepehri-Amin H., Takahashi Y.K., Ohkubo T., Hono K.
2. 発表標題 Magnetic in-plane components of FePt nanogranular film on polycrystalline MgO underlayer for heat-assisted magnetic recording media
3. 学会等名 MMM 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y.K. Takahashi, R. Mandal, J.W. Jung, Z.C. Wen, K. Masuda, H. Sukegawa, Y. Sakuraba, Y. Miura, S. Kasai, T. Ohkubo, S. Mitani, K. Hono
2. 発表標題 Gilbert damping on the ultra-thin PMA films
3. 学会等名 ICMFS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Mandal, J. W. Jung, K. Masuda, Y. K. Takahashi, Y. Sakuraba, S. Kasai, Y. Miura, T. Ohkubo and K. Hono
2. 発表標題 Tetragonally Distorted Ultrathin Fe ₅₀ Co ₅₀ Epitaxial Film with High Magnetic Anisotropy and Gilbert Damping
3. 学会等名 Intermag2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Qingyi Xiang, Ruma Mandal, Hiroaki Sukegawa, Yukiko K. Takahashi and Seiji Mitani
2. 発表標題 Large perpendicular magnetic anisotropy in Fe/MgAl ₂ O ₄ heterostructure
3. 学会等名 MSJ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Isogami, M. Ruma, and Y.K. Takahashi, A. Anzai, T. Gushi, T. Komori, and T. Suemasu
2. 発表標題 Enhanced effective damping constant in Mn based nitride compounds
3. 学会等名 応用物理学会春季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Wang, Y.K. Takahashi and K. Hono
2. 発表標題 In-plane components of FePt nanogranular films on MgO underlayer with and without carbon segregant
3. 学会等名 Intermag2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋有紀子
2. 発表標題 超高密度磁気ストレージのための材料開発
3. 学会等名 秋田大学セミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ippei Suzuki, Jian Wang, Yukiko K. Takahashi and Kazuhiro Hono
2. 発表標題 Control of The Grain Density of in FePt-C Granular Thin Films
3. 学会等名 TMRC (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 垂直型熱発電素子及びこれを用いた電子機器	発明者 内田健一、王健、高橋有紀子	権利者 物質・材料研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-096025	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究分担者	磯上 慎二 (ISOGAMI Shinji) (10586853)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・磁性・スピントロニクス材料研究拠点・主任研究員 (82108)	
研究分担者	葛西 伸哉 (KASAI Shinya) (20378855)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・磁性・スピントロニクス材料研究拠点・グループリーダー (82108)	
研究分担者	山路 俊樹 (YMAJI Toshiki) (30432355)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・主任研究員 (82626)	
研究分担者	杉本 聡志 (SUGIMOTO Satoshi) (90812610)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・磁性・スピントロニクス材料研究拠点・研究員 (82108)	
研究分担者	王 建 (WANG Jian) (80792069)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・若手国際研究センター・ICYS研究員 (82108)	

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
---------	---------