

令和元年6月12日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05978

研究課題名(和文) 垂直磁気異方性を有する磁気トンネル接合膜の磁気スイッチングに寄与する電子状態

研究課題名(英文) Electronic states for magnetization switching behavior of magnetic tunneling junction with perpendicular magnetic anisotropy

研究代表者

櫻井 浩 (Sakurai, Hiroshi)

群馬大学・大学院理工学府・教授

研究者番号：80251122

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、垂直磁気異方性を有するCoFeB/MgO/CoFeB/Ta磁気トンネル接合に着目し、CoFeB/MgO多層膜あるいはCoFeB/Ta多層膜の界面における磁気スイッチングに寄与する電子状態を明らかにした。その結果、スピン磁気モーメントと軌道磁気モーメントの磁化反転挙動は異なっており、軌道磁気モーメントが垂直磁気異方性的挙動を示すことがわかった。さらに、軌道磁気モーメントの磁化反転挙動を支配しているのは、CoFeB/MgO界面では磁気量子数 $|m|=2$ の対称性CoFeB/Ta界面では磁気量子数 $|m|=1$ の対称性を有する電子軌道であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

磁気ランダムアクセスメモリー(MRAM)は不揮発性・高速性・耐久性・低消費電力などから、スピントロニクスデバイスとして研究が進められている。一方、微細化に伴いセルサイズが小さくなると反磁化効果による書き込み電流の増大、熱擾乱など問題が指摘されている。一方、その反転プロセスにおける電子状態の研究は多くない。

本研究によって、スピン磁気モーメントと軌道磁気モーメント磁化反転挙動、磁化反転挙動に寄与する特定の対称性を有する電子状態が明らかにされた。これらは学術的に新しい進展である。さらに、本研究の進展によりスピントロニクスデバイスの駆動電流低減が図れると期待される。

研究成果の概要(英文)：Recently, a CoFeB/MgO magnetic tunneling junction with Ta underlayer possessing perpendicular magnetic anisotropy are attracted. Therefore, electronic states in magnetization switching behavior at CoFeB/MgO and CoFeB/Ta interfaces were studied. A spin magnetic moment and orbital magnetic moment showed different magnetization switching behavior. The magnetization switching behavior of the orbital magnetic moment showed as if it had a perpendicular magnetic anisotropy. The magnetization switching behavior of the orbital magnetic moment was dominated by the states with magnetic quantum number  $|m|=2$  for the CoFeB/MgO interface and  $|m|=1$  for the CoFeB/Ta interface.

研究分野：電気電子材料学

キーワード：スピントロニクス スピン磁気モーメント 軌道磁気モーメント 磁気コンプトン散乱 CoFeB MgO T

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

磁気ランダムアクセスメモリー(MRAM)は不揮発性・高速性・耐久性・低消費電力などから、スピントロニクスデバイスとして研究が進められている。一方、微細化に伴いセルサイズが小さくなると反磁化効果による書き込み電流の増大、熱擾乱など問題が指摘されている。そこでデバイスの駆動電流を低減するため、電場誘起磁化反転、電流駆動磁化反転、熱アシスト・マイクロ波アシスト磁化反転などが提案されている。一方、その反転プロセスにおける電子状態の研究は多くない。

最近磁気コンプトン散乱がスピン磁気モーメントのみを観測することを利用し、SQUID 磁力計などの全磁化測定と組み合わせてスピン選択磁化曲線 (Spin Specific Magnetic Hysteresis curve: SSMH 曲線) 軌道選択磁化曲線 (Orbital Specific Magnetic Hysteresis curve: OSMH 曲線) を求める研究手法が開発され[1, 2]、例えば希土類-遷移金属合金膜においてはスピン磁気モーメントと軌道磁気モーメントの磁化反転プロセスは異なっており、その起源が元素別の磁化反転プロセスの違いであることが報告されている[3, 4]。しかし、スピン磁気モーメントと軌道磁気モーメントの磁化反転プロセスが異なる理由について、波動関数の対称性 (磁気量子数 $m_l$ ) の違いなど詳細な電子状態からの解明が求められている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は垂直磁気異方性を有すると報告されている Ta/CoFeB/MgO/CoFeB 磁気トンネル磁気トンネル接合膜に着目し、CoFeB/MgO あるいは CoFeB/Ta 界面における磁気スイッチングに寄与する電子状態 (磁気スイッチングに寄与する波動関数の対称性) を明らかにすることである。具体的には

磁気スイッチングにおけるスピン磁気モーメントと軌道磁気モーメント寄与の解明

スピン磁気モーメント・軌道磁気モーメントの磁気スイッチングとそれに寄与する波動関数の対称性との関連の解明  
について研究を行う。

### 3. 研究の方法

群馬大学研究・産学連携推進機構 C 棟クリーンルーム 1 に設置されている多元高周波スパッタ装置を用いて、CoFeB 単層膜(1500nm)、(CoFeB(4 nm)/MgO(1 nm))150/MgO(10 nm)/CoFeB(10 nm)CoFeB/MgO 多層膜、(CoFeB(4 nm)/Ta(1 nm))200/Ta(10 nm)/CoFeB(10 nm)多層膜を Si 基板あるいは Al フォイル基板上に作製した。CoFeB 単層膜および CoFeB/MgO 多層膜については真空中で 360°C 2 時間熱処理した。CoFeB/Ta 多層膜については、400°C で 4 時間熱処理した。熱処理なしの試料とあわせて、6 種類の薄膜を準備した。Si 基板は X 線回折測定、Al フォイル基板は磁化測定および磁気コンプトン散乱測定で用いた。

X 線回折では CuK $\alpha$ 1 線を用いて測定した。磁化測定は群馬大学研究・産学連携推進機構 C 棟の SQUID 磁力計あるいは群馬大学研究・産学連携推進機構 A 棟の振動試料型磁力計 (VSM) を用いた。磁気コンプトン散乱の測定は SPring-8-BL08W で行った。入射エネルギーは 182.6keV、散乱角は 178 度であった。検出器は 10 素子 Ge 半導体検出器であった。印加磁場は -2.5T から 2.5T で膜面垂直に印加した。磁気コンプトン散乱の磁気効果の磁場依存性からスピン選択磁化曲線を求めた。SQUID 磁力計あるいは振動試料型磁力計から求めた全磁化曲線とスピン選択磁化曲線の差から軌道選択磁化曲線を求めた。さらに、磁気コンプトン散乱 X 線のエネルギースペクトルからもとめたスピン運動量密度分布 (磁気コンプトンプロファイル) を解析し、磁気量子数別スピン選択磁化曲線を求めた。

### 4. 研究成果

Fig.1 に作製した試料の X 線回折パターンをしめす。多層膜では 20 度以下に人工周期に起因する小角ピークが観測される。また、20 度以上の中角のピークの解析から、熱処理していない場合、CoFeB 単層膜(Fig. 1(a))、CoFeB/MgO 多層膜(Fig. 1(c))、CoFeB/Ta 多層膜(Fig. 1(e))いずれも CoFeB 層はアモルファス相であることがわかる。一方、熱処理した場合、CoFeB 単層膜(Fig. 1(b))は(110)配向、(d)CoFeB/MgO 多層膜(Fig. 1(d))は固体エピタキシーにより CoFeB(002)/MgO(002)に結晶成長制御、CoFeB/Ta 多層膜(Fig. 1(f))では CoFeB 層が(110)配向となっている。

Fig. 2 に SQUID 磁力計および振動試料型磁力計(VSM) を用いて測定した磁化測定の結果を

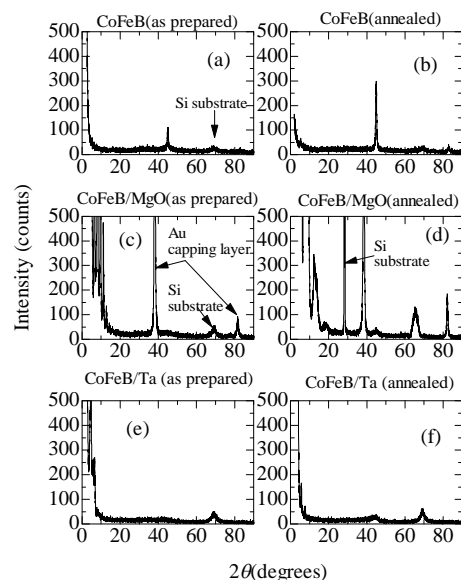


Figure 1 X 線回折測定

示す。いずれの試料も面内が磁化容易軸で、垂直磁気異方性をしめしていない。熱処理していないCoFeB単層膜(Fig. 2(a))では、Fig.1(a)で示されたアモルファス相を反映し、保磁力の小さな軟磁磁気特性を示している。CoFeB/MgO、CoFeB/Ta いずれの多層膜においても、熱処理する前後を比較すると (CoFeB/MgO では Fig. 2 (c)と (d)、CoFeB/Ta では Fig. 2 (e)と(f))熱処理後は面内磁場印加した場合と面直磁場印加した場合の磁化曲線が近づいており、垂直磁気異方性に近づくことがわかる。

Fig.3 は磁気コンプトン散乱および SQUID 磁力計を用いて測定したスピン選択磁化曲線・軌道選択曲線を示す。印加磁場は膜面面直である。すべての試料において、スピン選択磁化曲線  $\mu_S(H)$ は反磁場係数  $N=1$  を反映して直線的な磁化曲線  $\mu_S(H)=aH$  を示す。軌道選択磁化曲線  $\mu_L(H)$ は、熱処理していないCoFeB 単層膜では(Fig. 3(a))スピン選択磁化曲線と同様の挙動を示す。一方、CoFeB 単層膜(熱処理あり)(Fig. 3(b))およびCoFeB/MgO、CoFeB/Ta 多層膜(熱処理あり・なし)(Fig. 3(c)-(f))の軌道選択磁化曲線はステップ関数的挙動  $\mu_L(H)=c$  を示し、垂直磁気異方性に対応するような挙動を示す。以上から、スピン磁気モーメントと軌道磁気モーメントは異なる磁化反転挙動を示す。また、CoFeB/MgO、CoFeB/Ta 多層膜においては、熱処理の有無にかかわらずこのような挙動が観測されることから、CoFeB/MgO、CoFeB/Ta 多層膜においては界面の寄与が主要であると考えられる。

Fig.4 に Fig.3 に示すスピン選択磁化曲線  $\mu_S(H)$  に対する軌道選択磁化曲線  $\mu_L(H)$ の比  $R(H)=\mu_L(H)/\mu_S(H)$ を示す。なお、Fig.3 において、磁化曲線のヒステリシスが小さいため、同じ大きさの磁場に対して平均値を示した。熱処理していないCoFeB 単層膜(Fig.4(a))では軌道選択磁化曲線もスピン選択磁化曲線と同様の挙動を示すため、 $R(H)$ は一定である。一方、Fig.4 (b)-(f)では磁場の大きさが小さくなるほど比  $R(H)$ が増大し、比  $R(H)$ は磁場に依存する。これは、Fig.3 で説明した通り、スピン選択磁化曲線は反磁場係数  $N=1$  を反映し  $\mu_S(H)=aH$ 、軌道選択磁化曲線はステップ関数的挙動  $\mu_L(H)=c$  となるので、 $R(H)=\mu_L(H)/\mu_S(H)=c/aH \sim 1/H$  となるためである。

Fig.5 は磁気コンプトンプロファイルの形状を解析して得た磁気量子数別スピン選択磁化曲線  $\mu_{S,m}(H)$ である。Fig.3 と比較すると、磁気量子数  $|m|=0$  のスピン選択磁化曲線の挙動がスピン選択磁化曲線に対応していそうである。また、FeCoB/MgO 多層膜では (Fig.5(c),(d))  $|m|=2$  のスピン選択磁化曲線の挙動が軌道選択磁化曲線 (Fig.3(c),(d)) に対応していそうである。FeCoB/Ta 多層膜では (Fig.5(e),(f))  $|m|=1$  のスピン選択磁化曲線の挙動が軌道選択磁化曲線 (Fig.3(e),(f)) に対応していそうである。

Fig.6 は磁気量子数別スピン選択磁化曲線  $\mu_{S,m}(H)$ のスピン選択磁化曲線  $\mu_S(H)$ に対するの比  $R_m(H)=\mu_{S,m}(H)/\mu_S(H)$ である。ただし、比の値を磁場の大きさ 2.5T で規格化している。Fig. 4 と Fig. 6 を比較すると、FeCoB/MgO 多層膜(Fig. 4(c),(d)とFig. 6(c),(d))では磁気量子数  $|m|=2$  のス

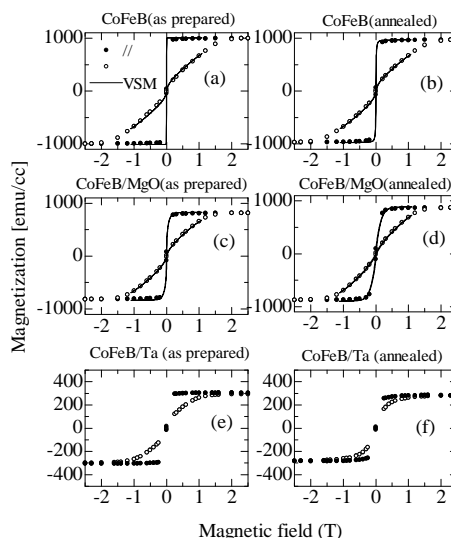


Figure 2 磁化測定

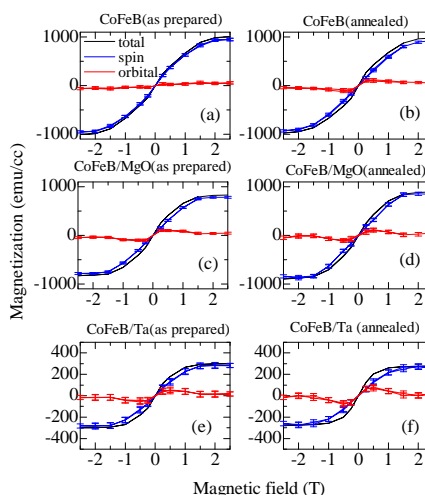


Figure 3 スピン選択磁化曲線と軌道選択磁化曲線

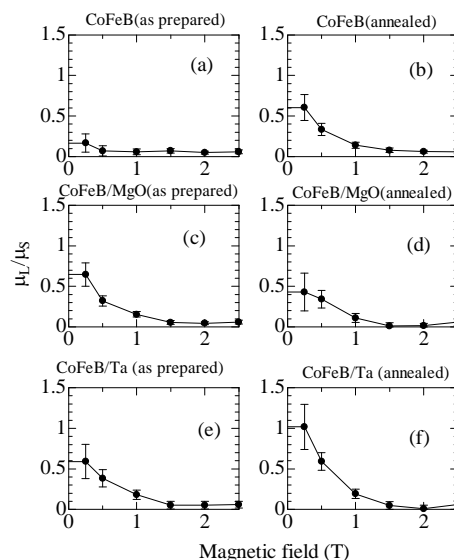


Figure 4 スピン選択磁化曲線に対する軌道選択磁化曲線の比

ピン選択磁化曲線に対応する比  $R_2(H)$  が  $R(H)$  に対応し、FeCoB/Ta 多層膜 (Fig. 4(e),(f) と Fig. 6(e),(f) では磁気量子数  $|m|=1$  のピン選択磁化曲線に対応する比  $R_1(H)$  が  $R(H)$  に対応している。

以上から、CoFeB/MgO 界面あるいは CoFeB/Ta 界面においてスピン磁気モーメントと軌道磁気モーメントの磁化反転挙動は異なっており、軌道磁気モーメントが垂直磁気異方性的挙動を示すことがわかった。さらに、軌道磁気モーメントの磁化反転挙動を支配しているのは、CoFeB/MgO 界面では磁気量子数  $|m|=2$  の対称性 CoFeB/Ta 界面では磁気量子数  $|m|=1$  の対称性を有する電子軌道であることがわかった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 14 件)

[1] A. Agui, A. Harako, A. Shibayama, K. Haishi, N. Tsuji, X. Liu, C. Ma and H. Sakurai, J. Magn. Magn. Mater. 484, 207-211 (2019). (査読あり)

[2] Akane Agui, Chuang Ma, Xiaoxi Liu, Naruki Tsuji, Misaki Adachi, Akane Shibayama, Kosuke Suzuki and Hiroshi Sakurai, Magnetic Compton profile evaluation of magnetization process of TbxCo100x films, Mater. Res. Express 4 (2017) 106108. (査読あり)

[3] M. Yamazoe, T. kato, K. Suzuki, M. Adachi, A. Shibayama, K. Hoshi, M. Ito, N. Tsuji, Y. Sakurai and H. Sakurai, Spin/orbital and magnetic quantum number selective magnetization measurements for CoFeB/MgO multilayer films, J. Phys. Condens. Matter 28, 436001(2016). (査読あり)

[4] H. Shimoyama, T. Osawa, H. Watanabe, K. Suzuki, H. Sakurai, and M. Ito, First Observation of Non-resonant X-ray Magnetic Diffraction for Multilayers, Key. Eng. Mater., 698 (2016) 3-7. (査読あり)

[5] 磁気コンプトン散乱を用いた垂直磁化膜の磁化過程の研究, 安居院あかね, 櫻井浩, 放射光 29, pp64-73 (2016). (査読あり)

他 9 編 (全て査読あり)

〔学会発表〕(計 62 件)

[1] K. Haishi, A. Shibayama, M. Adachi, K. Suzuki, M. Yamazoe, K. Hoshi, M. Ito, N. Tsuji, Y. Sakurai and H. Sakurai, Magnetization Switching Behavior for CoFeB/MgO and CoFeB/Ta Multilayer Films, 5th International Symposium of Gunma University Medical Innovation and 9th International Conference on Advanced Micro-Device Engineering, Gunma (Japan), December 2018.

[2] A. Harako, H. Sakurai, K. Haishi, K. Suzuki, K. Hoshi, X. Liu, C. Ma, N. Tsuji, Y. Sakurai and A. Agui, Temperature Dependence of the Magnetization Switching Behavior of a Tb<sub>12</sub>Co<sub>88</sub> Amorphous Perpendicular Magnetic Anisotropy Film, 5th International Symposium of Gunma University Medical Innovation and 9th International Conference on Advanced Micro-Device Engineering, Gunma (Japan), December 2018.

[3] T. Fukasawa, K. Akutsu, M. Takashima, K. Kato, K. Suzuki, H. Sakurai, M. Ito and K. Hirano, X-ray Magnetic Diffraction Experiment of Fe/MgO Multilayer and Its Simulation, 5th International Symposium of Gunma University Medical Innovation and 9th International Conference on Advanced Micro-Device Engineering, Gunma (Japan), December 2018.

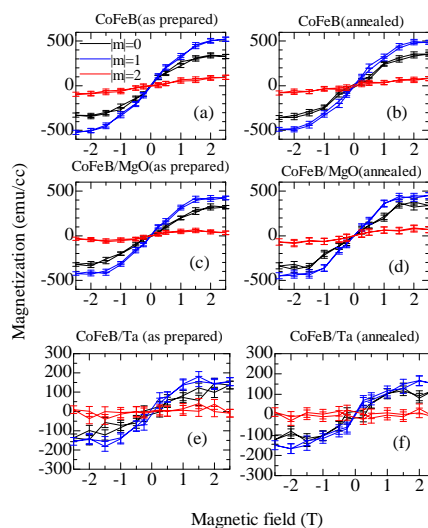


Figure 5 磁気量子数別スピン選択磁化曲線

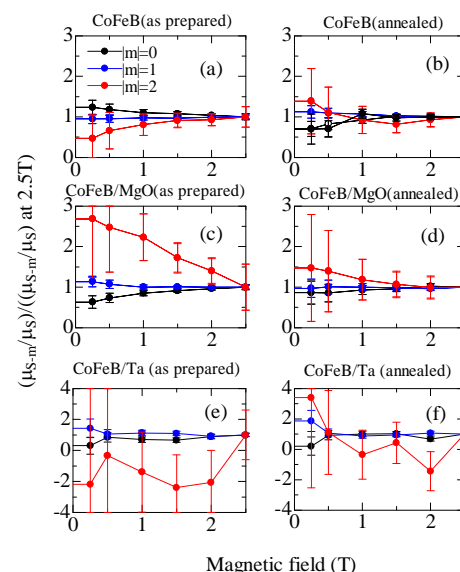


Figure 6 磁気量子数別スピン選択磁化曲線に対する軌道選択磁化曲線の比

[4] 安居院あかね, 原子秋乃, 拝詞健人, 辻成希, 劉小晰, 馬闌, 櫻井浩, 磁気コンプトン散乱を用いた Tb<sub>12</sub>Co<sub>13</sub> の磁化過程の研究、日本物理学会第 74 回年次大会、九州大学 (伊都キャンパス) 2019 年 3 月

[5] 櫻井浩、TbCo 系垂直磁化膜の磁化反転挙動の温度変化と GdFeCo 系垂直磁化膜のゼロ角運動量測定の可能性、第 8 回実用スピントロニクス新分野創成研究会、京都大学 化学研究所、2019 年 3 月

[6] 櫻井浩, 拝詞健人, 鈴木宏輔, 星和志, 辻成希, 櫻井吉晴, CoFeB/MgO および CoFeB/Ta 多層膜におけるスピン・軌道選択磁化曲線の温度変化, 第 32 回日本放射光学会年会・放射光合同シンポジウム, 福岡(日本), 2019 年 1 月

[7] 安居院あかね, 原子秋乃, 拝詞健人, 鈴木宏輔, 櫻井浩, 辻成希, 馬闌, 劉小晰, コンプトン散乱による Tb<sub>12</sub>Co<sub>88</sub> 垂直磁化膜の磁化過程の観察, 第 32 回日本放射光学会年会・放射光合同シンポジウム, 福岡(日本), 2019 年 1 月

[8] 原子秋乃, 櫻井浩, 拝詞健人, 劉小晰, 馬闌, 星和志, 辻成希, 櫻井吉晴, 安居院あかね, Tb<sub>12</sub>Co<sub>88</sub> アモルファス垂直磁化膜の磁化反転挙動の温度変化, 第 42 回日本磁気学会学術講演会, 東京(日本), 2018 年 9 月

[9] 櫻井浩、CoFeB/MgO および CoFeB/Ta 多層膜における磁化反転挙動の温度変化、第 7 回実用スピントロニクス新分野創成研究会、関西学院大学 東京丸の内キャンパス、2018 年 9 月

[10] H.Sakurai, A. Shibayama, M. Adachi, K. Haishi, K.Suzuki, K. Hoshi, M. Yamazoe, M.Itou, N. Tsuji and Y.Sakurai, Spin/Orbital magnetization switching behavior at FeCoB/MgO magnetic tunneling junction interface (invited), The 7th Annual World Congress of Nano Science & Techonology-2017, Fukuoka, Oct. 24-26, 2017.

[11] H. Sakurai, A. Shibayama, M. Adachi, K. Haiji, T.Kato, K.Suzuki, K. Hoshi, M. Yamazoe, M.Itou, N. Tsuji and Y.Sakurai, Magnetization switching behavior for CoFeB/MgO and CoFeB/Ta multilayer films, the 24th Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography (IUCr 2017), Hyderabad, India, Aug. 21-28, 2017.

[12] Akane Agui, Naruki Tsuji, Xiaoxi Liu, Kosuke Suzuki, Hiroshi Sakurai, Measurement of spin selective magnetization curve by magnetic Compton scattering, the 24th Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography (IUCr 2017), Hyderabad, India, Aug. 21-28, 2017.

[13] 安居院あかね, 柴山茜, 拝詞健人, 櫻井浩, 辻成希, 馬闌, 劉小晰, Tb-Co 垂直磁化膜の磁化過程の温度変化, 日本物理学会第 73 回年次大会, 東京理科大学 (野田キャンパス), 2018 年 3 月 22 日-25 日

[14] 柴山茜, 安達美咲, 拝詞健人, 辻成希, 馬闌, 劉小晰, 櫻井浩, 安居院あかね, 磁気補償近傍の Tb-Co アモルファス膜の磁気構造, 第 31 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば国際会議場, 2018 年 1 月 19-21 日

[15] 深澤大地, 高島雅仁, 加藤康平, 大沢冬樹子, 阿久津和音, 鈴木宏輔, 櫻井浩, 平野馨一, 伊藤正久, Co/Pd および Fe/MgO 多層膜の X 線磁気回折実験, 第 31 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば国際会議場, 2018 年 1 月 19-21 日

[16] 拝詞健人, 柴山茜, 安達美咲, 山添誠敏, 鈴木宏輔, 辻成希, 伊藤真義, 櫻井吉晴, 櫻井浩, CoFeB/Ta 及び CoFeB/MgO 界面における磁化反転挙動, 第 31 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば国際会議場, 2018 年 1 月 19-21 日

[17] 安居院あかね, 安達美咲, 柴山茜, 拝詞健人, 櫻井浩, 辻成希, 馬闌, 劉小晰, Co 優勢な Tb-Co アモルファス膜のミクロスコピックな磁化過程, 日本物理学会 2017 年秋季大会, 岩手大学上田キャンパス, 2017 年 9 月 21 日-24 日

[18] Akane Shibayama, Masatoshi Yamazoe, Tadashi Kato, Kousuke Suzuki, Misaki Adachi, Kazushi Hoshi, Masayoshi Itou, Yoshiharu Sakurai and Hiroshi Sakurai, Spin/Orbital Magnetic Switching Behavior of the Ta/CoFeB/MgO MTJ Interface, GUMI&AMDE2016, Dec. 9, 2016, Kiyu City Performing Arts Center, Kiryu

[19] H.Sakurai, A. Shibayama, M. Adachi, T.Kato, K.Suzuki, K. Hoshi, M. Yamazoe, M.Itou, N. Tsuji and Y.Sakurai, Spin/orbital and magnetic quantum number selective magnetization measurements for CoFeB/MgO multilayer films (invited), EMN meeting on ultrafast 2016, Oct. 10-14, 2016, Melbourne.

[20] A. Agui, H. Sakurai, M. Adachi, A. Shibayama, K. Suzuki, and X. Liu, Study of spin, orbital, and element selective magnetization processes of Tb-Co film by magnetic Compton scattering, the 39th International conference on Vacuum Ultraviolet and X-ray Physics (VUVX2016), 3-8 July 2016, ETH, Zurich.

[21] 櫻井浩, 磁気コンプトン散乱でみる垂直磁化膜と磁化反転挙動 (Invited), 基盤S 第3回研究会: Fe化合物・MgO 界面の軌道状態について(代表 三谷誠司) 2017年3月24日、東京大学理学部 化学本館2階 講義室

[22] 櫻井浩、柴山茜、安達美咲、加藤忠、鈴木宏輔、星和志、山添誠敏 辻成希、伊藤真義、櫻井吉晴, CoFeB/MgO 多層膜のスピン/軌道・磁気量子数選択的磁化曲線, 第30回日本放射光学学会年会、2017.01.08-09、神戸芸術センター

[23] 安達美咲、柴山茜、鈴木宏輔、櫻井浩、安居院あかね、劉小晰, 軌道磁気モーメントが支配する TbCo 系垂直磁化膜の磁化特性と磁化反転挙動, 第40回日本磁気学会学術講演会、2016.09.05-08、金沢大学角間キャンパス

[24] 柴山茜、山添誠敏、加藤忠、鈴木宏輔、安達美咲、星和志、伊藤真義、櫻井吉晴、櫻井浩, CoFeB/MgO 多層膜におけるスピン・軌道選択磁化測定, 第40回日本磁気学会学術講演会、2016.09.05-08、金沢大学角間キャンパス

他 38 件

〔図書〕(計2件)

櫻井浩、安居院 あかね、鈴木 宏輔 著、東北放射光施設推進会議推進室 編集、「放射光利用の手引き- 農水産・医療、エネルギー、環境、材料開発分野などへの応用-」第4部 30 「磁性薄膜のスピン・軌道選択磁化曲線測定法の開発: 磁気コンプトン散乱の応用」, pp.229-235、アグネ技術センター、2019年2月

他 1 件

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

[http://researchers-info.st.gunma-u.ac.jp/ei\\_sakurai\\_hiroshi/](http://researchers-info.st.gunma-u.ac.jp/ei_sakurai_hiroshi/)

## 6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 鈴木 宏輔 (群馬大学大学院理工学府)

ローマ字氏名: SUZUKI Kosuke

研究協力者氏名: 櫻井 吉晴 (高輝度光科学研究センター)

ローマ字氏名: SAKURAI Yoshiharu

研究協力者氏名: 伊藤 真義 (高輝度光科学研究センター)

ローマ字氏名: ITOU Masayoshi

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。