

硬 X 線 MCD による Co/Pt ドットの磁化ダイナミクスの時間分解測定

菊池伸明¹, 蓬田貴裕¹, 金原大樹¹, 岡本聡¹, 北上修¹, 島津武仁¹, 大沢仁志², 鈴木基寛²
(¹東北大, ²JASRI/SPring-8)

Time-resolved hard X-ray MCD measurement on magnetization dynamics of a Co/Pt multilayer dot
N. Kikuchi¹, T. Yomogita¹, D. Kanahara¹, S. Okamoto¹, O. Kitakami¹, T. Shimatsu¹, H. Osawa², M. Suzuki²
(¹Tohoku Univ., ²JASRI/Spring-8)

はじめに

磁性金属である Co と非磁性金属である Pt を積層した界面においては、大きな磁気異方性が発現することや Pt 原子に大きな磁気モーメントが誘起されることが知られている[1]. また、磁性層と Pt 層が接した界面を有する構造においてはダンピングが著しく増大するなど、動的な磁化の挙動にも影響を及ぼすことが報告されている. これらの現象の理解は、物理的な興味のみならずデバイスの高速動作という観点からも重要であり、分極した Pt 原子の磁気状態・動的挙動の測定が重要となる. 本研究においては元素選択性を持つ X 線磁気円二色性 (X-ray Magnetic Circular Dichroism : XMCD) を用いて、rf 磁場により励起された Co/Pt 多層膜ドット中の分極した Pt 原子の挙動についてナノ秒領域での時間分解測定を行ったので報告する.

実験方法・結果

MgO(100)基板上に rf 磁場印加用の幅 5 μm のコプレーナ型伝送線路を厚さ 100nm の Au 層を用いて作製した. 厚さ 100nm の SiO_x 絶縁層を製膜したのち、Co/Pt 多層膜を Ta(0.5)/Pt(1)/Ru(24)/Pt(0.5)/[Co(1.3)/Pt(0.5)]₄/Ru(2) の構成で DC マグネトロンスパッタリングにより成膜した. 数字は各層の膜厚で単位は nm である. Co/Pt 多層膜を電子線リソグラフィ・Ar イオンエッチングにより直径 5 μm のディスク状に加工し、下地層を異常 Hall 効果(AHE)検出用の十字型電極に加工した. 伝送線路を用いて GHz 帯の高周波磁場を発生させると、強磁性共鳴条件において磁化の歳差運動が誘起されることで膜面に垂直な磁化成分が変化し、この変化を AHE および XMCD により検出できる. なお、XMCD の測定は SPring-8 のビームライン BL39XU にて実施し、Pt の L₃ 吸収端を用いた. また、X 線は半値幅が約 300 nm 程度のスポット状にした. Fig. 1 に $f_{\text{rf}}=3$ GHz の連続波の rf 磁場を印加時した際の XMCD の dc 磁場 H_{dc} に対する変化を示す. $H_{\text{dc}}=2.2\text{kOe}$ 付近を極小とする強磁性共鳴に起因するディップが観測され、AHE の結果とも一致した. 非対称のディップ形状は大振幅の歳差運動による foldover 効果によるものである. 次に、高周波磁場を幅 100 ns, 振幅立ち上がり時間約 3 ns, 繰り返し周波数 208kHz のパルス状とし、rf 磁場の印加開始に対する X 線パルス (幅 80ps) 入射の遅延時間 Δt を変化させることで、磁化の時間変化を測定した. なお、X 線の照射位置はドット中心から 1 μm 外側とした. Fig. 2 に $H_{\text{dc}}=2.2$ および 2.3kOe の場合の磁化の時間依存性を示す. いずれも Fig. 1 に示したディップの極小値近傍の条件であるものの、その時間依存性には大きな違いが見られた. 特に、 $H_{\text{dc}}=2.2\text{kOe}$ の場合は飽和値に達するまでに rf 磁場の立ち上がり時間に比べて一ケタ程度長い 30ns を要しており、大振幅の歳差運動の励起速度が強い磁場依存性を持つことを示唆している.

参考文献 [1] M. Suzuki *et al.*, PRB 72, 054430 (2005)

謝辞 本研究の一部は、文科省「物質・デバイス領域研究アライアンス」および科研費、JST「戦略的イノベーション創出推進プログラム(S・イノベ)」ならびに SRC からの援助の下行われた.

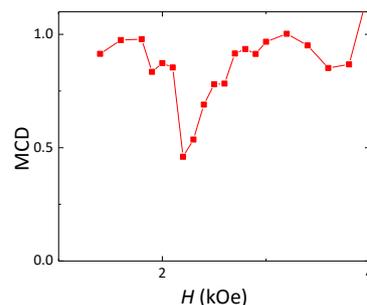


Fig. 1 Pt-L₃ edge XMCD signal of a single Co/Pt multilayer dot as a function of dc field measured under application rf fields ($f_{\text{rf}}=3$ GHz).

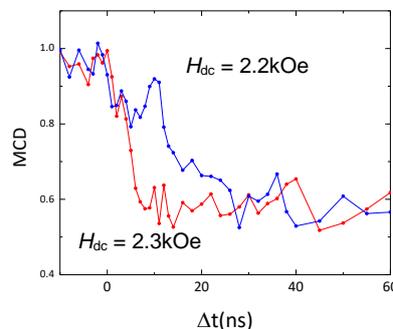


Fig. 2 MCD signals of a Co/Pt multilayer dot after application of rf field as a function of delay time Δt under dc field $H_{\text{dc}}=2.2$ and 2.3 kOe.

Kr⁺イオンを照射した L1₀-MnGa 膜の時間分解磁気光学 Kerr 効果

加納秀紀, 加藤剛志, 大島大輝, 高橋茂樹*, 園部義明*, 岩田聡

(名大, *サムスン日本研究所)

Time-resolved magneto-optical Kerr effect of L1₀-MnGa films irradiated with 30 keV Kr⁺ ions

H. Kano, T. Kato, D. Oshima, S. Takahashi, Y. Sonobe, S. Iwata

(Nagoya Univ., *Samsung R&D Institute Japan)

はじめに

我々はこれまでに Kr⁺イオンを照射することで MnGa 膜の構造を L1₀ 相から A1 相に相変化させ、強磁性から非磁性に遷移できること、および局所的にイオン照射することで表面平坦性を変化させずに微細な磁気パターンを形成できることを報告してきた¹⁾。今回はイオン照射により強磁性から非磁性に遷移する過程の MnGa 膜の磁化歳差運動を時間分解磁気光学 Kerr 効果 (TRMOKE) により調べたので報告する。

実験方法

マグネトロンスパッタ法により, SiN (40 nm) / MnGa (50 nm) / Cr (10 nm) / MgO(001) を作製した。MnGa 層は Mn₆₀Ga₄₀ と Mn₄₀Ga₆₀ ターゲットを同時スパッタすることで作製した。成長温度は 200°C であり, 成長後, 400°C, 30 min の熱処理をすることで, L1₀ 規則化を行った。イオン注入装置により, 30 keV に加速した Kr⁺ イオンを 0.5~2.0 × 10¹³ ions/cm² の範囲で照射した。TRMOKE はパルス幅 500 fsec の高パワーファイバーレーザーを用いたポンプ-プローブ光学系により測定した。波長 1040 nm のポンプ光と第二高調波 (520 nm) のプローブ光をサンプル上に集光することで TRMOKE 測定を行った。なお, 測定中に印加した最大磁場は 14 kOe である。

実験結果および考察

MnGa 膜の TRMOKE 信号には磁化の歳差運動に起因する減衰振動が観測された。外部磁界を 8~14 kOe と変化させた際の減衰振動を関数 $e^{-t/\tau} \sin \omega t$ でフィッティングすることで角周波数 ω と緩和時間 τ の印加磁界依存性を見積もった。 ω の印加磁界依存性を文献 2) の式でフィッティングし, 異方性磁界 H_k と g 係数を導出した。また, $\tau - \omega$ 直線の傾きから Gilbert ダンピング定数 α を見積もった。見積もった H_k , α のイオン照射両依存性を Fig. 1 に示す。なお, ここで g 係数は $g = 2.0 \sim 2.1$ となった。イオン照射前の MnGa は異方性磁界 $H_k = 21$ kOe となり, L1₀-MnGa の磁化曲線より見積もった値と良く一致している。ダンピング定数 α は, $\alpha = 0.011$ となり, 文献 3) の値に比べ若干大きな値となった。イオン照射した MnGa では, H_k は照射量によらず 20 kOe 程度の値となった。一方, ダンピング定数は 0.5×10^{13} ions/cm² の照射で $\alpha = 0.06$ 程度まで増加し, 更にイオン照射量を増加してもほぼ一定の値となった。我々はイオン照射した MnGa 膜は強磁性の L1₀ 相と非磁性の A1 相が共存した構造となっていると考えており, このような微細構造の不均一性により, イオン照射後の MnGa のダンピング定数が増加したと考えている。

本研究は Samsung Global MRAM Innovation Program の支援を受けて行われた。

参考文献

- 1) D. Oshima *et al.*, IEEE Trans. Magn., **49**, 3608 (2013).
- 2) H. Suhl. Phys. Rev., **97**, 555 (1955).
- 3) S. Mizukami *et al.*, Phys. Rev. Lett., **106**, 117201 (2011).

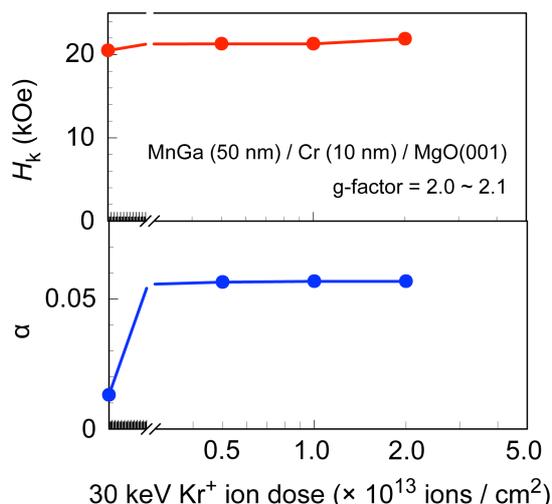


Fig. 1 Kr⁺ ion dose dependences of anisotropy field H_k and effective damping constant α of irradiated MnGa films.

Fe_{1-x}Co_x 薄膜における磁化ダイナミクスの Co 組成依存性

遠藤 恭, 大野 慎也, 宮崎 孝道, 島田 寛 (東北大工)

Change in Magnetization Dynamics of Fe_{1-x}Co_x Thin films with Co Concentrations

Yasushi Endo, Shinya Oono, Takamichi Miyazaki, Yutaka Shimada (Tohoku Univ.)

はじめに 磁性薄膜における磁化の高周波磁界応答 (磁化ダイナミクス) は磁化の歳差運動をともなう磁化反転過程を表し, 磁気物性からスピントロニクスデバイス応用まで幅広い分野において盛んに研究されている. この磁化ダイナミクスを理解する上で, そのダンピング定数 (α) は主要なパラメータのひとつである. しかしながら, α の性質については未だ不明確な点が多く, 磁気異方性や磁気ひずみなどの他の磁気パラメータとの相関関係を実験的に詳細な検討をした例は少ない¹⁻³⁾. 我々のグループでは, これまでの研究において Ni_xFe_{1-x} 薄膜の α と磁気ひずみとの相関関係を明確にしてきた³⁾. 本研究では, 磁性薄膜として新たに高飽和磁化を有する Fe_{1-x}Co_x 膜を選択し, 磁界掃引型 CPW-FMR 測定法により Fe_{1-x}Co_x 薄膜における α の Co 組成 (x) 依存性について検討した.

実験方法 Fe_{1-x}Co_x 薄膜に関しては, DC マグネトロンスパッタを用いて作製した. その膜構成は, 熱酸化 Si 基板上に製膜した 3-10 nm 厚の Fe_{1-x}Co_x ($0.30 \leq x \leq 0.50$) 薄膜である. CPW に関しては, フォトリソグラフィ, DC マグネトロンスパッタおよびリフトオフ法を用いて作製した. その膜構成はガラス基板 (厚さ: 550 μm , 比誘電率 ϵ_r : 7.0) 上に製膜させた Cr (5 nm)/Cu (300 nm)/Cr (5 nm) 積層膜であり, その形状は一端が終端された 1 ポート型形状である. また, CPW の線路長, 信号線幅, グラウンド線幅および信号線とグラウンド線間のギャップ幅は 500, 50, 88 および 12 μm とした.

作製した Fe_{1-x}Co_x 薄膜の結晶構造解析には透過型電子顕微鏡 (TEM) を, その組成分析にはエネルギー分散型 X 線分光法 (EDX) を用いた. なお, Co 組成の異なる Fe_{1-x}Co_x 薄膜の結晶構造に関しては, Co 組成に関係なく (110) 配向した bcc 多結晶膜である. また, 磁気特性に関しては, 試料振動型磁力計 (VSM) と磁界掃引型 CPW-FMR 測定法⁴⁾を用いた.

結果 10 nm 厚の Fe_{1-x}Co_x 薄膜における飽和磁化 ($4\pi M_s$) と飽和磁界 (H_s) の Co 組成 (x) による変化を図 1 に示す. 飽和磁化は Co 組成の増加にともない緩やかに増加し, $x > 0.45$ で減少する. この挙動はバルクの Co 組成による変化と類似している. また, 飽和磁界は $x \leq 0.40$ ではほぼ一定であり, $x > 0.40$ では増加する.

図 2 は磁界掃引型 CPW-FMR 測定により求めた 10 nm 厚の Fe_{1-x}Co_x 薄膜における α の Co 組成 (x) 依存性である. α は Co 組成に依存している. すなわち, $x \leq 0.40$ の Co 組成では, α はほぼ一定でそれらの値はおよそ 0.012–0.015 である. 一方, $x > 0.40$ の Co 組成では, α は大幅に増加後に減少し, それらの値は 0.035–0.038 である. この挙動は磁気エネルギーの Co 組成による変化と類似していて, $x=0.40$ 付近の Co 組成を境にして双極子相互作用の強さが変化することに由来すると考えられる.

謝辞 本研究は科研費基盤研究 (B) (No. 26289082), 情報ストレージ研究推進機構 (SRC) の協力のもとで行われた.

参考文献 1) S. E. Russek *et al.*, J. Appl. Phys. 91, 8659 (2002)., 2) R. Bonin *et al.*, J. Appl. Phys. 98, 123904 (2005)., 3) Y. Endo *et al.*, J. Appl. Phys. 109, 07D336 (2011)他., 4) 遠藤他, 第 39 回日本磁気学会学術講演概要集, 124 (2015).

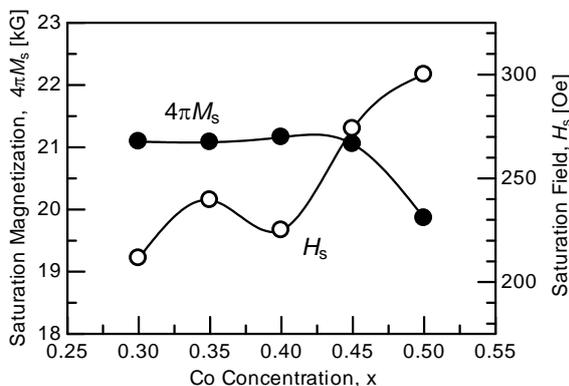


FIG.1. Change in $4\pi M_s$ and H_s of 10-nm thick Fe_{1-x}Co_x thin film with Co concentration (x).

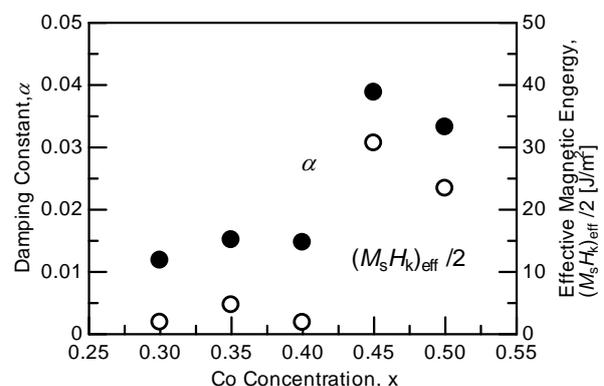


FIG.2. Dependence of α and effective magnetic energy of 10-nm thick Fe_{1-x}Co_x thin film as a function of Co concentration (x).

Influence of the transition metal sublattice in $\text{Gd}_{23}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{77}$ amorphous alloys for the laser induced magnetization reversal

S. El Moussaoui¹, H. Yoshikawa², T. Sato³, A. Tsukamoto¹

(¹College of Science and Technology, Nihon Univ., ²Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ., ³College of Industrial Technology, Nihon Univ.)

For about two decades, several research projects have demonstrated that it is possible to tune the magnetic order in Rare Earth-Transition Metal (RE-TM) amorphous alloys using a femtosecond laser radiation^{1,2}. This novelty has excited the magnetic recording industry as it gives the possibility to write information at unprecedented speeds. Furthermore, the RE-TM amorphous alloys are ferrimagnetic and exhibit an out-of-plane magnetic anisotropy and their magneto-optical properties can be controlled during the fabrication process. However, if the obtainment of the magnetization reversal is now well established, its fundamental mechanisms are still not clear.

In this paper, we will focus on the influence of the TM sublattice during the magnetization reversal process. In particular we would like to address the importance of the exchange interaction in the GdFeCo amorphous alloys and how it influences the magnetization dynamics within these materials.

In order to do that, $\text{Gd}_{23}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{77}$ thin films, where the composition x was varied, have been fabricated by magnetron sputtering technique. Their magnetic properties have been investigated using SQUID-VSM, MOKE and pump probe techniques. The measurements showed that, when changing the TM composition while keeping the Gd composition fixed at 23 atomic percent, the properties of the sample are gradually modified. For instance, the variation of the compensation point in function of the TM composition is a direct signature of the relative changes between the RE and the TM magnetic moments therefrom the change of the exchange interaction between the two sublattices. As a consequence, the laser induced demagnetization has revealed a different demagnetization dynamics between the thin films (fig. 1) and a large difference of the oscillation frequency and the damping parameter during the recovery time as represented in the graph of figure 2. These findings, which will be developed during the talk, are important towards the understanding of the interaction between the two sublattices and the laser induced demagnetization in RE-TM alloys.

Reference

- 1) C. D. Stanciu et al., Phys. Rev. Lett. **99**, 047601 (2007).
- 2) T.A. Ostler et al., Nature comm. **3**, 666 (2012).

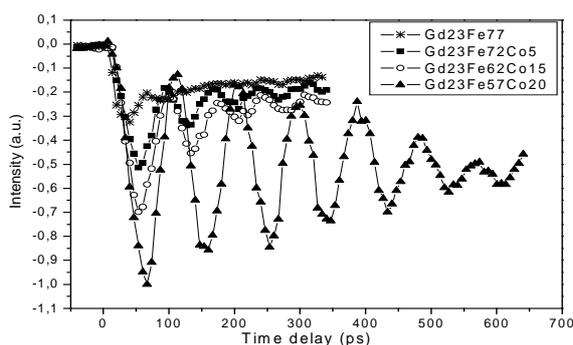


Fig.1. Magnetization dynamics after an ultrashort laser radiation in various GdFeCo thin films measured at RT under an external applied magnetic field of 280 mT.

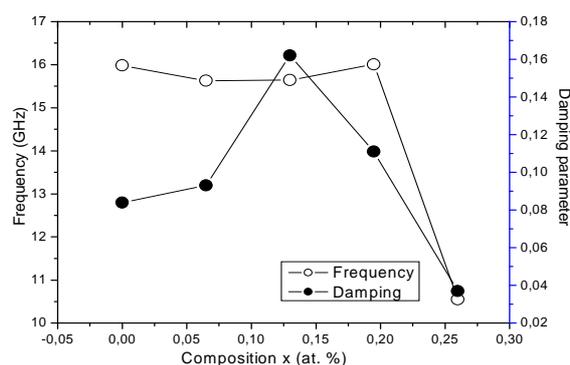


Fig.2 Gilbert damping parameter and oscillation frequency in $\text{Gd}_{23}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{77}$ with the variation of x as deduced from RT pump-probe measurements.

Acknowledgement This work is partially supported by MEXT-Supported Program for the Strategic Research Foundation at Private Universities 2013-2017 and Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Area, “Nano-Spin Conversion Science” (Grant No. 26103004).

高密度ナノ磁性微粒子上連続磁性膜磁気緩和特性の増大検討

二川康宏¹, 吉川大貴¹, 塚本新²

(¹ 日本大学大学院理工学研究科, ² 日本大学理工学部)

Enhancement of magnetic relaxation in nano grain/continuous magnetic structure

Yasuhiro Futakawa¹, Hiroki Yoshikawa¹, Arata Tsukamoto²

(¹ Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ.,

² College of Science and Technology, Nihon Univ.)

はじめに

磁場印可で誘起される歳差運動を伴う磁化反転は、不揮発で書き換え可能な磁気記録を律則する物理現象である。本現象には反転の高速化を妨げる物理的限界(強磁性共鳴限界)が存在する。そこで現在、歳差運動の減衰を示す Gilbert 減衰定数 α が大きい磁性材料の探索が検討されている。しかし、磁気記録に要求される物性値は α だけではなく、記録材料を変えずに α を大きく変えることが望まれる。

α が大きいとは、歳差運動の減衰が大きいことを意味し、磁気的エネルギーの空間的な緩和が大きいことを示す。基本となる磁性膜に対し付加的磁気構造による磁気緩和特性制御を図る。高密度、高 K_u な磁気記録材料として研究されている高い一軸磁気異方性を持った $L1_0$ -FePt では、ナノ微粒子上にて高い磁気異方性、磁化を保磁可能であり、 $\alpha \cong 0.2$ という大きな値を持つことが報告されている。^[1] 本報告では、微細な磁気的不均一による磁気緩和特性増大を図り、GdFeCo 連続薄膜を対象とし、高密度な磁気特性の大きく異なるナノ磁性微粒子上との交換結合を用いた連続/微粒子上交換結合膜につき検討する。高い一軸磁気異方性 K_u を有し、平均粒径約 8nm、面積占有率約 10% の高密度 FeCuPt ナノ孤立磁性微粒子を下地層として用い、磁化補償点近傍において Gilbert 減衰定数 α の急峻な増大が報告されている GdFeCo フェリ磁性合金薄膜^[2] の作製を行い、その磁気的特性について検討を行った。

実験方法

測定試料には、熱酸化 Si 基板上にマグネトロンスパッタ法により、Fe, Cu, Pt を総積層膜厚 $t = 1.25\text{nm}$ 成膜後、急速昇温熱処理を行い作製した FeCuPt ナノ孤立磁性微粒子上に、同じくマグネトロンスパッタ法を用いて GdFeCo 磁性薄膜を成膜した SiN(60nm) / GdFeCo(20nm) / FeCuPt ナノ孤立磁性微粒子 / SiO_x / Si sub. を用いた。試料に対し、試料振動型磁力計を用いて試料全体の磁化を測定、磁気異方性の評価を行った。また、磁気光学 Kerr 効果を用いて、Fe 元素の磁化状態の測定を行った。

実験結果

Fig.1 に $\pm 1\text{T}$ の磁場印可時の磁気光学応答曲線を、Fig.2 に膜面垂直方向、膜面水平方向へ $\pm 7\text{T}$ の磁場を印可した際の磁化曲線を示す。Fig.1 より、単層膜において角形比の良い垂直磁気特性を有するが、FeCuPt 下地を導入することで面内磁気的特性に変わることが分かる。Fig.2 より、FeCuPt 下地を有する膜に対する、膜面垂直及び面内磁化特性の比較から、角形比の良い面内磁化膜となっていることが確認された。GdFeCo 単層膜においては比較的広い合金組成範囲においても、このような面内磁化特性は得られておらず、結合界面面積が 10% 程度にも関わらず下地ナノ微粒子群との磁気結合により磁気特性を変えることが可能である事を示している。当日は、動特性についても報告する。

謝辞

本研究の一部は平成 25~29 年度文部科学省私立大学戦略的基盤形成事業(S1311020), 平成 26~30 年度文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究(研究領域提案型)」ナノスピン変換科学、情報ストレージ研究推進機構の助成により行った。

参考文献

1. J. W. Kim, H. S. Song, H. W. Jeong, K. D. Lee, J. W. Sohn, T. Shima, and S. C. Shin: Appl. Phys. Lett. 98 (2011) 092509.
2. C. D. Stanciu, A. V. Kimel, F. Hansteen, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, and Th. Rasing, Phys. Rev. B 73, 220402, (2006).

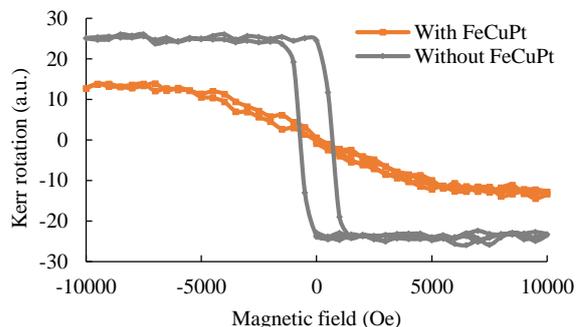


Fig.1 Magnetic hysteresis loop measured by MOKE

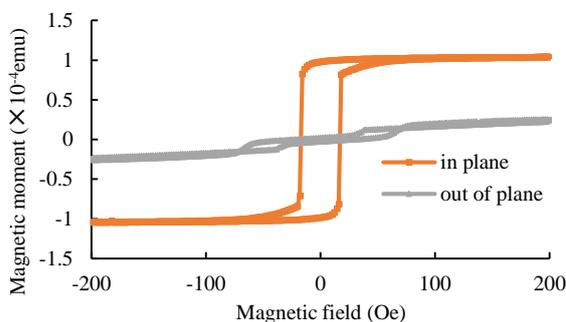


Fig.2 Magnetic hysteresis loop measured by VSM

全光型磁化反転の GdFeCo 層隣接 3d 遷移金属依存性

吉川大貴¹, Souliman El Moussaoui², 寺下進之佑¹, 植田涼平¹, 塚本新²
 (¹ 日本大学大学院理工学研究科, ² 日本大学理工学部)

All - optical magnetization switching in GdFeCo on the different metallic layers
 Hiroki Yoshikawa¹, Souliman El Moussaoui², Shinnosuke Terashita¹, Ryohei Ueda¹, Arata Tsukamoto²
 (¹ Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ., ² College of Science and Technology, Nihon Univ.,)

序論: 数十フェムト秒の超短パルス光をフェリ磁性薄膜に照射することで全光型磁化反転現象(All - Optical magnetization Switching: AOS)を誘起することができる。AOS は各副格子のスピンダイナミクスの差異に起源を有し、従来型の磁場駆動による磁化反転とは誘起原理が異なり、外部磁場を要せず複雑な初期磁区構造に対しても反転できることを特徴としている¹⁾。また、同磁性層を有しながらも隣接層構成の異なる試料群、磁性層膜厚の異なる試料群において、電子・スピン・格子の各系・系間の非断熱的エネルギー散逸過程が顕在化する fs ~ 数十 ps の時間領域での磁気光学応答および AOS による形成磁区評価による検討から、金属薄膜における AOS はサブ ps での電子系の膜厚方向へのエネルギー散逸が重要であることを明らかにした²⁾。本稿では更に電子系のエネルギー散逸と AOS の関係を検討するために、3d 遷移金属系隣接層の異なる GdFeCo フェリ磁性薄膜の試料群に対し、同様に超短パルス光照射による形成磁区サイズの照射光強度依存性を評価し、AOS と電子系内での空間的エネルギー散逸に関する検討を行った。

実験方法: Magnetron Sputtering 方式により作製した SiN(60 nm) / Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4} (10 nm) / { Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4}, Al₉₀Ti₁₀, Cu } (5 nm) / SiN (5 nm) / glass sub. 薄膜に中心波長 800 nm パルス幅 90 fs(半値全幅)のガウシアンレーザー光を膜面側より照射することにより室温にて磁化反転を誘起し、形成磁区を偏光顕微鏡の磁気光学像にて観察する。

実験結果: Fig.1 に上記超短単一パルス光を各試料(横軸)に照射し形成される磁区サイズ(円面積)を各照射光強度毎(縦軸)に示す。いずれの試料でも AOS 形成磁区サイズは照射光強度に一意に対応し、隣接層が GdFeCo, AlTi, Cu の順に反転エネルギー密度閾値が小さくなる。磁性層の主成分であり、3d 遷移電子系である Fe の電子比熱は 5 mJ / mol K Co は 4.7, Al は 1.35, Ti は 3.5, Cu は 0.688 である³⁾。AOS は非平衡なエネルギー散逸過程に起因する現象であるが、サブ ps での電子系による極短時間でのエネルギーの過渡的平衡化を仮定するならば、本結果は先の電子比熱の大小に対応する。電子比熱が小さい金属(Cu)では大きい金属に比べ同温度に到達するために消費するエネルギーが小さい。すなわち、磁性層に与えられるエネルギーが大きくなることになる。以上より、AOS により金属層内で電子比熱に準ずる様なサブ ps という極短時間の電子系によるエネルギー分配・散逸が示唆された。

謝辞: 本研究は平成 25~29 年度文部科学省私立大学戦略的基盤形成支援事業(S1311020) および平成 26~30 年度文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究 (研究領域提案型) ナノスピン変換科学(Grant No. 26103004)の助成を受けて行った。

参考文献

- 1) T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, U. Atxitia, O. Chubykalo-Feseko, S. El. Moussaoui, L. Le Guyader, E. Mengotti, L. J. Heyderman, F. Nolting, A. Tsukamoto, A. Itoh, D. Afanasiev, B.A. Ivanov, A.M.Kalashnikova, K. Vahaplar, A. Kirilyuk, Th. Rasing and A. V. Kimel: *Nature Comm* **1666**, 3:666 (2012).
- 2) H. Yoshikawa, S. El. Moussaoui, S. Terashita, R.Ueda, and A. Tsukamoto: *Jpn. J. Appl. Phys.* (2016) accepted.
- 3) 日本金属学会編: “改訂 4 版 金属データブック”, (丸善出版, Japan, 2004) p 17. [in Japanese]

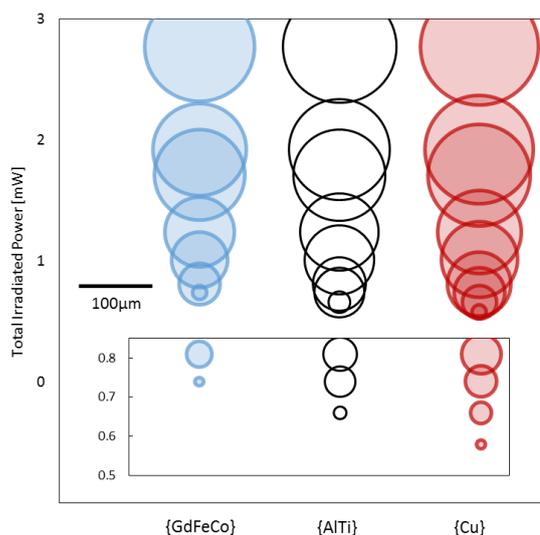


Fig. 1 The layer dependence of created domains sizes by AOS in the films SiN(60 nm) / Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4} (10 nm) / { Gd₂₅Fe_{65.6}Co_{9.4}, Al₉₀Ti₁₀, Cu } (5 nm) / SiN (5 nm) / glass sub.