

Poster presentation | 10 Spintronics and Magnetics : 10 Spintronics and Magnetics (Poster)

📅 Sat. Mar 15, 2025 4:00 PM - 6:00 PM JST | Sat. Mar 15, 2025 7:00 AM - 9:00 AM UTC 🏢 P07
(Gymnasium)**[15p-P07-1~60] 10 Spintronics and Magnetics (Poster)**

[15p-P07-1]

Substrate orientation dependence of anomalous FMR linewidth in Fe thin films

○(D)Seungkeun Baek¹, Touma Izumi¹, Sachio Komori¹, Keiichiro Imura², Tomoyasu Taniyama¹
(1.Nagoya Univ., 2.ILAS, Nagoya Univ.)

[15p-P07-2]

Water memory effects and changes in calcium carbonate precipitation phases due to magnetic field application

○MohamedSayed AlyAhmed¹, Keito Inagawa¹, Hideyuki Okumura¹ (1.Kyoto Univ)

[15p-P07-3]

Development of a magnetic levitation device that can be realized with two permanent magnets

○(B)Hikaru Goto¹, Yasuhiro Ikezoe¹ (1.NIT)

[15p-P07-4]

Development of a magnetic levitation device with an in-situ magnetic force control system

○Hayato Toeda¹, Hayato Nitta¹, Yasuhiro Ikezoe¹ (1.NIT)

[15p-P07-5]

Anomalous Hall effect in thin films of altermagnet α -MnTe grown by MBE○Keito Shoji¹, Shinji Kuroda¹ (1.Univ.tsukuba)

📌 English Presentation

[15p-P07-6]

Temperature Dependence of Magnetic Switching and Spin Valve Behaviors in MnAs/InAs/MnAs Double Heterostructure on GaAs (111) B

○(D)Tauhidul Islam¹, Van Thuan Pham¹, Soh Komatsu¹, Masashi Akabori¹ (1.JAIST)

📌 English Presentation

[15p-P07-7]

Rectification effect and spontaneous voltage generation in superconductor MoGe/ferromagnet NiFe bilayer

○(M1)Koyomi Oshigane¹, Hiroki Arisawa^{1,2}, Eiji Saitoh^{1,2,3,4} (1.Dept. Appl. Phys. Univ. Tokyo, 2.CEMS RIKEN, 3.Inst. AI and Beyond, Univ. Tokyo, 4.AIMR Tohoku Univ.)

[15p-P07-8]

Coexistence of multiple T_c modulation effects in high- T_c superconducting spin valves○(D)Tomohiro Kikuta¹, Sachio Komori¹, Keiichiro Imura¹, Tomoyasu Taniyama¹ (1.Nagoya Univ.)

📌 English Presentation

[15p-P07-9]

Comparative study of gate-modulated quantum interference effects in (001) and (113) GaAs/AlGaAs quantum wells

○Taisei Usubuchi¹, Taizo Kawano², Michael Prager³, Daisuke Izasa², Michael Kammermeier⁴, Jun Ishihara², Sota Yamamoto², Dieter Schuh³, Dominique Bougerd³, Makoto Kohda^{2,5,6,7}
(1.Sch.of Eng., Tohoku Univ., 2.Grad. Sch. of Eng., Tohoku Univ., 3.Regensburg Univ., 4.Wellington Univ., 5.CSIS, Tohoku Univ., 6.DEFS, Tohoku Univ., 7.QUARC,QST)

◆ English Presentation

[15p-P07-10]

Thickness dependence of current-induced effective magnetic field acting on domain wall in SrRuO₃

○Kanata Nakamura¹, Tomoki Shibata¹, Takaya Koyama¹, Tetsuya Uemura¹, Michihiko Yamanouchi¹ (1.IST. Hokkaido Univ.)

[15p-P07-11]

Estimating parameters from magnetic domain images with different imaging scales using machine learning

○(B)Shu Hashimoto¹, Yoshinobu Nakatani², Hiroyuki Awano¹, Kenji Tanabe¹ (1.Toyota Tech. Inst., 2.Univ. of Electro-Comm.)

[15p-P07-12]

Separation of spin Seebeck and anomalous Nernst effects in two metallic layers

○(B)Daichi Oda¹, Hiroyuki Awano¹, Kenji Tanabe¹ (1.Toyota Tech. Inst.)

◆ English Presentation

[15p-P07-13]

Temperature dependence of negative anomalous Nernst effect in Mn-Ga ordered alloys

○Satoki Tazawa^{1,2,3}, Koichi Oyanagi^{2,3}, Akhilesh Kumar Patel², Ryo Toyama², Keisuke Masuda², Satoru Kobayashi³, Yuya Sakuraba^{1,2} (1.Univ. of Tsukuba, 2.NIMS, 3.Iwate Univ.)

[15p-P07-14]

Preparation of BaFe₁₂O₁₉/Pt films with perpendicular magnetization and evaluation of tunneling conduction properties

○(M2)Ryota Adachi¹, Masaaki Tanaka¹, Haruka Komiyama², Teruo Ono², Takehiko Hihara¹, Ko Mibu¹ (1.Nagoya Inst. Tech., 2.Kyoto Univ.)

[15p-P07-15]

Structural and Magnetic Properties of Mn-doped NiAs-type CrTe fabricated by MBE

Hiroto Akiyoshi¹, ○Ken Kanazawa¹, Shinji Kuroda¹ (1.Univ. of Tsukuba)

[15p-P07-16]

Induced magnetic anisotropy of NiFeMo films fabricated on polyimide substrates

○(M1)Shungo Awaya¹, Yoshito Ashizawa¹ (1.Nihon Univ.)

[15p-P07-17]

Crystal structure analysis of Co thin films deposited on 64° Y-cut single-crystal LaNbO₃ substrate

○Kazutoshi Shimamura¹, Saki Shikano², Hironobu Sugiyama¹, Keisuke Yamada² (1.Kanazawa Univ., 2.Gifu Univ.)

[15p-P07-18]

Variations of crystal structure and magnetic properties due to annealing in a layered magnetic material C_{1-δ}Te thin films

OJunya Kobayashi¹, Hiroaki Nitani², Daiki Kido², Taisuke Sasaki³, Shinji Kuroda¹ (1.Univ. tsukuba, 2.KEK, 3.NIMS)

[15p-P07-19]

Electric field effect on perpendicular magnetic anisotropy in [Cu/Ni]/PMN-PT(011)

OYosuke Shimizu¹, Sachio Komori¹, Keiichiro Imura¹, Tomoyasu Taniyama¹ (1.Nagoya Univ.)

[15p-P07-20]

Analysis method of spin transport subjected to the momentum relaxation due to electron-hole scattering

OMasamichi Sakai¹, Yukihiro Koinuma², Shigehiko HGasegawa³ (1.Saitama Univ., 2.ITC of Tochigi Pref., 3.Osaka Univ.)

[15p-P07-21]

Trial to detect spatial distribution of small magnetic moment induced in nonmagnetic materials by XMCD-PEEM

O(B)Yusuke Fukui¹, Tsukasa Imura¹, Yushi Sumida¹, Takuo Ohkochi² (1.Dep. Eng., U. Hyogo, 2.LASTI, U. Hyogo)

[15p-P07-22]

Observation of the motion of magnetic skyrmions with the interfacial improvement by a pulsed current

OHiroyuki Koizumi¹, Ryo Ishikawa², Yoshishige Suzuki³, Atsufumi Hirohata^{1,4} (1.Tohoku Univ., 2.ULVAC, Inc., 3.Osaka Univ., 4.Max Planck Inst.)

[15p-P07-23]

Magnetic Response to Phase Transition in Iron-Based Chalcogenide Fe₃GaTe₂ Thin Films

O(B)Kosaku Takashima¹, Takahiro Yamazaki¹, Chih-Yu Lee², Alexandre Lira Foggiatto¹, Ichiro Takeuchi², Masato Kotsugi¹ (1.Tokyo Univ. of Sci., 2.Maryland Univ.)

[15p-P07-24]

Hydrogen-induced modulation of magnetization compensation temperature in ferrimagnets

OTomohiro Koyama^{1,2,3,4}, Takumi Tsuji¹, Kenji Tanabe⁵, Daichi Chiba^{1,3,4,6} (1.SANKEN, Osaka Univ., 2.JST PRESTO, 3.CSRN, Osaka Univ., 4.OTRI, Osaka Univ., 5.Toyota Tech. Inst., 6.SRIS, Tohoku Univ.)

[15p-P07-25]

GPU implementation of quasiparticle self-consistent *GW* calculations: Application to the modulated martensite phase of magnetic shape memory alloy Ni₂MnGa

OMasao Obata¹, Takumi Katsuta¹, Takao Kotani², Tatsuki Oda¹ (1.Kanazawa Univ., 2.Tottori Univ.)

[15p-P07-26]

First principles calculation of magnetic anisotropy using the Force Theorem

O(M1)Takumi Katsuta¹, Masao Obata¹, Tatsuki Oda¹ (1.Kanazawa Univ.)

[15p-P07-27]

Angle-dependent XMCD analysis of electric-field-driven orbital modification at interfaces by first principles calculations

ORikuto Takai¹, Kenji Nawa^{1,2}, Kohji Nakamura¹ (1.Mie Univ., 2.NIMS)

🎤 English Presentation

[15p-P07-28]

Bending characteristics of emergent magneto-inductance effect in flexible magnetic thin films

○Tsunagu Hatakeyama¹, Zijing Zhang¹, Mizuki Matsuzaka¹, Riko Iimori¹, Yu Matsushima¹, Hideo Kaiju^{1,2} (1.Keio Univ., 2.CSRN, Keio Univ.)

◆ English Presentation

[15p-P07-29]

Bending characteristics of anisotropic magnetoresistance in permalloy thin films on ultra-smooth polyimide substrates

○Riko Iimori¹, Zijing Zhang¹, Tsunagu Hatakeyama¹, Mizuki Matsuzaka¹, Hideo Kaiju^{1,2} (1.Keio Univ., 2.CSRN, Keio Univ.)

◆ English Presentation

[15p-P07-30]

Emergent magneto-inductance effect in Au/NiFe thin films on flexible substrates at room temperature

○(DC)Zijing Zhang¹, Tsunagu Hatakeyama¹, Mizuki Matsuzaka¹, Riko Iimori¹, Yu Matsushima¹, Hideo Kaiju^{1,2} (1.Keio Univ., 2.CSRN, Keio Univ.)

[15p-P07-31]

Numerical analysis of physical reservoir by utilizing vortex spin torque oscillator with modified free layer

○(D)Kota Horizumi¹, Takahiro Chiba^{2,3}, Takashi Komine¹ (1.Ibaraki Univ., 2.Tohoku Univ., 3.FRIS)

◆ English Presentation

[15p-P07-32]

Control of the emergent magnetization process in artificial spin ice

○Hitoshi Kubota¹, Sumito Tsunegi¹, Kay Yakushiji¹, Tomohiro Taniguchi¹, Shingo Tamaru¹, Tatsuya Yamamoto¹, Atsushi Sugihara¹, Taiga Wakabayashi², Ryo Matsuura², Hikaru Nomura^{2,3,4}, Teijiro Isokawa⁵, Yoshishige Suzuki^{1,2,3} (1.AIST, 2.Osaka Univ., 3.CSRN-Osaka, 4.Tohoku Univ. SRIS, 5.Hyogo Pref. Univ)

[15p-P07-33]

Nonlinear Magnetization Dynamics and Physical Reservoir Computing using Synthetic Antiferromagnets

○Takumu Shinkai¹, Satoshi Iihama¹, Kensuke Hayashi¹, Takahiro Moriyama¹ (1.Nagoya Univ.)

[15p-P07-34]

Nonlinear FMR linewidth broadening due to interlayer coupling in Co/Ru/Co structures

○(D)Yuichi Hisada¹, Sachio Komori¹, Tomoyasu Taniyama¹ (1.Nagoya Univ.)

[15p-P07-35]

Anomalous increase of Gilbert damping in La_{0.5}Sr_{0.5}MnO₃ thin films induced by the emergence of antiferromagnetic phase

○(M1)Ryotaro Arakawa¹, Takuma Onogi¹, Sachio Komori¹, Tomoyasu Taniyama¹ (1.Nagoya Univ.)

[15p-P07-36]

Electric field effect on spin-wave propagation in STO/LSMO/STO/PMN-PT(011)

○Yuki Ohashi¹, Sachio Komori¹, Keiichiro Imura¹, Tomoyasu Taniyama¹ (1.Nagoya Univ.)

[15p-P07-37]

Magnetic domain structure of antiferromagnetic NiO thin films with different crystal orientations

○(B)Fuga Ikeda¹, Satoshi Ihama¹, Keigo Tada¹, Kensuke Hayashi¹, Takahiro Moriyama¹
(1.Nagoya Univ.)

◆ English Presentation

[15p-P07-38]

Ab-initio study of magnon in $L1_0$ Mn-based antiferromagnets

○(M1)Koki Kobayashi¹, Andi Gumarilang¹, Kenji Nawa¹, Kohji Nakamura¹ (1.Mie Univ)

[15p-P07-39]

Transport properties of angular momentum in an insulative orbital ferrimagnet

○Tatsuki Onuma¹, Hideto Yanagihara¹ (1.Univ. of Tsukuba)

[15p-P07-40]

Effect of interfacial roughness on spin/orbital Hall conductivities of Co/Pt: first principles study

○(M1)Tomoki Ishihara¹, Yushi Tsujide¹, Kenji Nawa¹, Kohji Nakamura¹ (1.Mie Univ.)

[15p-P07-41]

Modulation effect of Rashba effect on metastable heavy metal interface by interfacial distortion

○(DC)Taishiro YAMAZAKI¹, Riku Iimori¹, Kazumasa Yamada², Takashi Kimura¹ (1.Kyushu Univ., 2.Center for Semiconductor and Device Ecosystem KYUSHU UNIVERSITY)

◆ English Presentation

[15p-P07-42]

FEM analysis of induced stress in the piezoelectric ring structure of piezoelectronic MTJ 2

○Kaishu Yamada¹, Yota Takamura¹, Shigeki Nakagawa¹ (1.Science Tokyo)

[15p-P07-43]

Development of High-sensitive ST-FMR with Amplitude Modulated Magnetic Field

○(B)Ayaka Kamiryo¹, Taisuke Horaguchi¹, Takashi Manago¹ (1.Fukuoka Univ.)

◆ English Presentation

[15p-P07-44]

Angular momentum current probed via THz emission in Ni/Cr bilayer

○Soma Miki^{1,2}, Kazuaki Ishibashi^{1,3}, Koki Nukui^{1,3}, Mio Ishibashi¹, Wang Luding^{4,1}, Hiroki Morishita^{4,1}, Shigemi Mizukami^{1,4} (1.WPI-AIMR, Tohoku Univ., 2.Grad. Sch. Eng. Sci., Osaka Univ, 3.Grad. Sch. Eng., Tohoku Univ, 4.CSIS, Tohoku Univ.)

[15p-P07-45]

【Absent】 Observation of Spin Seebeck Effect in YIG/Pt-Rh

○(B)Shuto Sahara¹, Hiromi Yuasa¹, Yuichiro Kurokawa¹ (1.Kyushu Univ.)

◆ English Presentation

[15p-P07-46]

Mapping in-plane magnetization in Co thin film using laser-induced anomalous Nernst effect

○Soichiro Mochizuki¹, Itaru Sugiura², Teruo Ono², Takuya Satoh¹, Kihiro Yamada¹ (1.Science Tokyo, 2.ICR, Kyoto Univ.)

[15p-P07-47]

Fabrication and evaluation of heavily-doped *p*-type Si layer for semiconductor-based spin devices

○(M1C)Yixi Li¹, Shu Taniguchi¹, Tomoaki Abe¹, Mizue Ishikawa¹ (1.Nihon Univ.)

◆ English Presentation

[15p-P07-48]

Perpendicular magnetic tunnel junctions with cubic GaN barrier

○(P)Deepak Kumar¹, Kenya Suzuki^{2,1}, Hyeokjin Kwon^{2,1}, Naoki Kamata^{2,1}, Shigemi Mizukami^{1,3} (1.WPI-AIMR, Tohoku Univ., 2.Grad. Sch. Eng., Tohoku Univ., 3.CSIS, Tohoku Univ.)

◆ English Presentation

[15p-P07-49]

Fabrication and evaluation of molecular nanojunctions utilizing Ni₇₈Fe₂₂ thin-film edges

○Chika Hashimoto¹, Mizuki Matsuzaka¹, Ryunosuke Miyamoto¹, Takumi Ueda¹, Hideo Kaiju^{1,2} (1.Keio Univ., 2.CSRN, Keio Univ.)

[15p-P07-50]

Synthesis of few-layer hexagonal boron nitride for magnetic tunnel junction application

○Satoru Emoro¹, Hiroki Kusunose¹, Shunsuke Masuda¹, Satoru Fukamachi¹, Yung-Chang Lin², Haiming Sun³, Kazu Suenaga³, Takashi Kimura^{4,5}, Hiroki Ago^{1,5} (1.Kyushu Univ., 2.AIST, 3.Osaka Univ., 4.Kyushu Univ. Sci., 5.Kyushu Univ. Semicon.)

◆ English Presentation

[15p-P07-51]

First-principles calculations of tunnel magnetoresistance effect in lattice-matched magnetic tunnel junctions

○(M2)Koki Horigane¹, Yuto Shibata¹, Mizuki Matsuzaka¹, Hideo Kaiju^{1,2} (1.Keio Univ., 2.CSRN, Keio Univ.)

◆ English Presentation

[15p-P07-52]

Efficient Optimization of Interfacial Structures in Lattice-Mismatched Fe/MgO Interfaces Using Machine Learning and DFT Integration

○(D)Andi MuhNurFitrah Syamsul¹, Kohji Nakamura¹ (1.Mie Univ.)

[15p-P07-53]

Flux concentrator effect in magnetic tunnel junctions of orthogonal magnetic configuration

Ziad Ali¹, ○(DC)Hiroshi Naganuma^{2,3}, Shan Wang¹, Ada Poon¹ (1.Stanford Univ., 2.Nagoya Univ., 3.Tohoku Univ.)

◆ English Presentation

[15p-P07-54]

Observation of all-optical switching in Gd/Co ferrimagnetic multilayers by a femtosecond laser pulse

○Songtian Li¹, Ryunosuke Takahashi², Hiroki Wadati², Ye Du¹, Seiji Sakai¹ (1.QST, 2.University of Hyogo)

[15p-P07-55]

Wavelength dependence of optical absorption properties of GdFeCo thin films with optical interference layer

○(M1C)Tatsuya Wakabayashi¹, Yuichi Kasatani², Hiroki Yoshikawa², Arata Tsukamoto² (1.Graduate School of Sci. and Tech., Nihon Univ., 2.CST, Nihon Univ.)

[15p-P07-56]

Measurement of SOT magnetization switching in Co/Gd multilayers

○(M1)Shoko Yoshida¹, Yoichi Shiota^{1,2}, Hideki Narita¹, Ryusuke Hisatomi^{1,2}, Shutaro Karube^{1,2}, Teruo Ono^{1,2} (1.Kyoto Univ., 2.CSRN Kyoto Univ.)

◆ English Presentation

[15p-P07-57]

Attachable spin orbit torque device on thin polyimide sheet

○Yuichiro Kurokawa¹, Naoto Yamashita¹, Seiya Oishi¹, Kazuhiko Tokunaga¹, Hiromi Yuasa¹ (1.Kyushu Univ.)

◆ English Presentation

[15p-P07-58]

All-Optical Magnetization Switching in Ferromagnet-Ferrimagnet Coupled Films with Perpendicular Magnetic Anisotropy

○Luding WANG^{1,2}, Soma Miki^{2,3}, Satoshi Iihama⁴, Kazuaki Ishibashi^{5,2}, Kouki Nukui^{5,2}, Deepak Kumar², Mio Ishibashi², Hiroki Morishita^{1,2}, Shigemi Mizukami^{2,1} (1.CSIS, Tohoku Univ., 2.WPI-AIMR, Tohoku Univ., 3.Osaka Univ., 4.Dept. of Mater. Phys., Nagoya Univ., 5.Grad. Sch. Eng., Tohoku Univ.)

[15p-P07-59]

Reversible response of anomalous Hall voltage via mechanical deformation of stuck on flexible substrate GdFeCo ferrimagnetic thin film

○(M1C)Yuki Fujii¹, Yuki Kobayashi¹, Yuichi Kasatani², Hiroki Yoshikawa², Arata Tsukamoto² (1.Graduate School of Sci. and Tech., Nihon Univ., 2.CST Nihon Univ.)

[15p-P07-60]

Magnetic Controllability and Nonvolatility of CoFeB Using a Ferroelectric Capacitor

○Yan Wu^{1,2}, K. Onimura^{1,2}, H. Kobayashi², K. Kakushima^{1,2} (1.Eng. of Science Tokyo, 2.Sumitomo Chemical Next-Generation Eco-Friendly Devices Collaborative Research Cluster, of Science Tokyo)

Fe 薄膜における異常な強磁性共鳴線幅の基板方位依存性

Substrate orientation dependence of anomalous FMR linewidth in Fe thin films

名大理¹, 名大教養教育院²

◦ (D1)白 承根¹, 泉 統真¹, 小森 祥央¹, 井村 敬一郎², 谷山 智康¹

Dept. Phys., Nagoya Univ.¹, ILAS, Nagoya Univ.²

◦S. Baek¹, T. Izumi¹, S. Komori¹, K. Imura², T. Taniyama¹

E-mail: baek.seungkeun.j6@s.mail.nagoya-u.ac.jp

一般的に強磁性体の Gilbert damping constant α は、強磁性共鳴 (FMR) の線幅 ΔH と共鳴周波数 f との関係: $\Delta H = \Delta H_0 + 4\pi\alpha f / \gamma\mu_0$ ¹⁾⁻³⁾により求められるが、 ΔH は内因性機構による ΔH_{int} 以外にも、two-magnon scattering に起因する ΔH_{TMS} ¹⁾、rare earth impurities に起因する ΔH_{RE} ²⁾、magnetic drag effect に起因する ΔH_{drag} ³⁾ などを含むため、 ΔH から α を正確に算出するのは困難な場合も多い。実際、 ΔH_{TMS} 、 ΔH_{RE} 、 ΔH_{drag} などによる ΔH の異常な共鳴周波数依存性については、Fe のように広く知られた強磁性体においても十分に理解されていない。今回我々は、MgO 基板上的 Fe 薄膜が ΔH の異常な共鳴周波数依存性を示し、それが基板方位および磁場の印加方位に強く依存することを見出したのでこれを報告する。

基板温度 300°C で MgO(100), MgO(111) 基板上に Fe 薄膜 (30 nm) を成長し、その上にキャップ層 Pt (10 nm) を成膜した。FMR 測定には、coplanar waveguide を使用し、8-44 GHz の周波数範囲で S_{21} 吸収スペクトルを測定した。Figs. 1, 2 はそれぞれ MgO(100), MgO(111) 上の Fe 薄膜の ΔH の共鳴周波数 f 依存性を表している。MgO(100) では、線形な ΔH の f 依存性が観察されたが、MgO(111) では磁場方位に依存する異常な (非線形な) ΔH の f 依存性が観察された。MgO(100) では、Fe と基板との格子ミスマッチが 3.5% と小さいのに対して、MgO(111) では、21.3% と大きいため、それによって誘起される不均一性が ΔH_{int} 以外の寄与を生み出し、磁場方位に依存する異常な ΔH の f 依存性をもたらしたと考えられる。詳細は発表当日に議論する。

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP24H00380, JP24K21732, JP23KK0086, JP21H04614, JST FOREST JPMJFR212V, JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2125 の支援を受けたものです。

- 1) W. K. Peria et al., Phys. Rev. B 101, 134430 (2020).
- 2) G. Woltersdorf et al., Phys. Rev. Lett., 102, 257602 (2009).
- 3) Y. Li et al., J. Phys.: Condens. Matter 33, 175801 (2021).

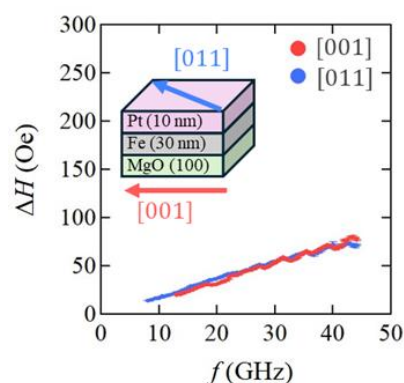


Fig. 1. ΔH vs f for Pt/Fe/MgO (100)

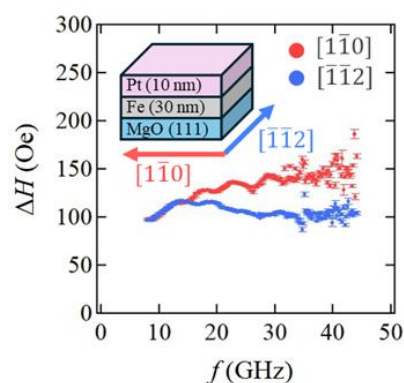


Fig. 2. ΔH vs f for Pt/Fe/MgO (111)

磁場印可による水のメモリー効果と炭酸カルシウム析出相の変化

Water memory effects and changes in calcium carbonate precipitation phases due to magnetic field application

京大院エネ科¹ °Aly Ahmed Mohamed Sayed¹, 稲川 奎登¹, 奥村 英之¹

Graduate School of Energy Science, Kyoto Univ.¹,

°Aly Ahmed Mohamed Sayed¹, Keito Inagawa¹, Hideyuki Okumura¹

E-mail: aly.sayed.72h@st.kyoto-u.ac.jp

配管内のスケールは金属よりも熱伝導率が著しく低いため、熱交換器やボイラーなどの装置に蓄積すると熱伝達が妨げられ、熱効率が低下する。そのため環境にやさしく安価な方法として磁気処理が注目されており、水の磁気処理が検討されている¹⁾。しかし、その効果の定量化の難しさ、再現性の課題、複雑なパラメータや作用機構の関与に加え、磁場印加照射後に効果が一定時間持続する"メモリー効果"が存在することなど、磁場効果は説明が困難であるため、この現象を説明し実用化するためには、さらなる研究が必要である²⁾。本研究では、メモリー効果を含む磁場効果の解明を目的とし、スケールの主要成分である炭酸カルシウムを用いて、磁気処理を施した水と施していない水の両方で析出させ、比較分析を行った。

本研究では、24 時間以上大気暴露した超純水を 2 つのガラス容器に用意し、流速 3m/s で循環させた。循環経路は 2 種類準備し、一方に 700mT の永久磁石を設置して磁気処理を施した。一定温度 (5~45°C) で 3 時間保持後、磁気処理水 (MTW) と未処理水 (NW) を用いて塩化カルシウムと炭酸水素ナトリウムを反応させ、炭酸カルシウムを析出させた。表 1 は、X 線回折法で得た炭酸カルシウム析出相の割合を示す。5°C では変化が見られなかったが、15°C 以上でバテライト相が増加し、25°C で最大となった。磁気処理によりバテライト相が安定化し、カルサイト相への転移が抑制される可能性が示唆された。また、粒径測定では、すべての試料で MTW の平均粒子径が NW より小さくなり、磁気処理が粒子成長を抑制する効果が確認された。当日は水溶液磁気処理の結果についても報告し、磁気処理が及ぼす影響について議論する。

Table 1. Percentage of calcium carbonate precipitated phase in NW and MTW

		NW			MTW		
		calcite	vaterite	aragonite	calcite	vaterite	aragonite
5°C	average(%)	97.1	1.3	0.4	97.9	1.1	1
	standard error	1.2	0.9	0.4	0.7	0.6	0.1
15°C	average(%)	94.8	4.0	0.4	89.7	9.5	0.9
	standard error	3.3	3.4	0.3	0.9	0.8	0.2
25°C	average(%)	73.2	26.0	0.8	48.1	50.9	0.9
	standard error	1.5	1.6	0.2	2.2	2.2	0.2
35°C	average(%)	70	29.4	0.6	64.4	35.0	0.6
	standard error	3.3	3.4	0.1	3.3	3.3	0.1
45°C	average(%)	77.6	22.9	0.4	58.9	40.6	0.5
	standard error	3.5	3.9	0.2	4.7	4.6	0.2

1) Bayoumi, S., Moharram, N. A., Fayed, M. & El-Maghlany, W. M, Desalination Water Treat 318, 100369(2024).

2) Chibowski, E. & Szcześ, A. Chemosphere 203, 54–67 (2018).

永久磁石 2 個で実現できる磁気浮上装置の開発

Development of a magnetic levitation device that can be realized with two permanent magnets

日本工基幹工応化, °後藤 輝、池添 泰弘

Hikaru Goto and Yasuhiro Ikezoe

Department of applied chemistry, Nippon Institute of Technology

°E-mail: y.ikezoe@nit.ac.jp

液体表面（気液界面）や液液界面は、物性がナノスケールの厚みで劇的に変化する場であり、バルクでは見られないような現象が観察されることが良く知られているが、近年の光化学や分析化学、レーザー技術の発展により、水面で起こる触媒反応の研究が進められてきている。例えば、液体表面では光化学反応速度が増大する¹⁾ことが見いだされているが、地球の大気中のエアロゾルが地球規模の気候変化やオゾン層破壊などに関連していることも示唆されている。空中に浮上した液体は理想的な球形をしており、液体の振動を光散乱によって計測すれば液体の表面張力が求められ²⁾、液体表面での様々な物理化学的現象を解析出来ると期待される。これまで、我々は4つの永久磁石を用いた水の磁気浮上技術³⁾を開発しており、ここでは、0.1 mm 程度の直径の水滴を浮かすことが出来る。我々は、磁気浮上のための磁石配置を考察する中で、たった2個の磁石でも水の磁気浮上が可能であることを見出したので報告する。

使用した磁石は(Fig. 1)、奥行き 15 mm、幅 10 mm、高さ 3 mm で M3 のねじを取り付けるための穴が開いたネオジウム磁石 1 対である。それぞれの磁石の磁化方向は鉛直上向きまたは下向きで反平行となっているので、2つの磁石は磁気的な引力によってお互いに引き合い、構造を保っている。物体を非接触で浮上させるには、重力とそれに反する力（ここでは磁気力）が釣り合う点において、全方向に対してポテンシャルが極小値とならなければならない。直方体磁石 1 対では、接触面に平行な方向（Fig. 1 の y 方向）に対して極大値になってしまうので、極小値を作るために穴の開いた磁石を用いたところ、予想通り、y 方向にも極小値を持つような磁場分布を得ることが出来た。Fig. 2 は、Fig. 1 の磁石構成で浮上させた水の写真である。通常は、反磁性磁気浮上には数千万円から数億円の超電導磁石を使う必要があるが、たった2個の永久磁石だけで磁気浮上を実現できることを見出し、今後、磁気浮上研究の発展に大きく寄与できるものと期待される。

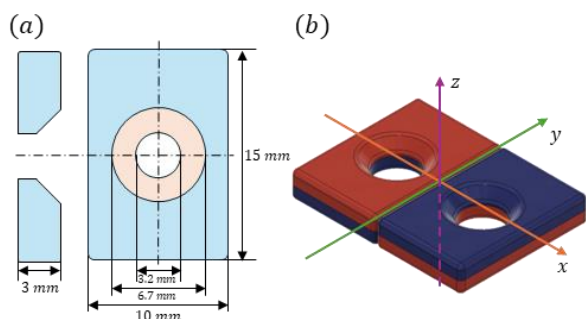


Fig. 1 (a)Shape of magnet. (b) Magnets arrangement.

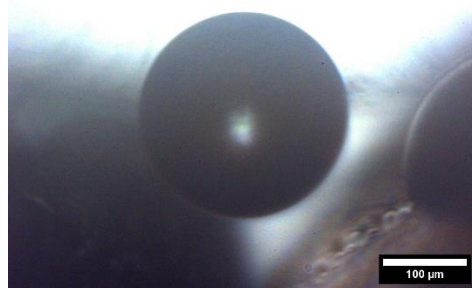


Fig. 2 Water droplet levitating between two magnets

- [1] R. Kusaka, *et al.*, *Nat. Chem.*, **13**, 306-312 (2021)
 [2] M. Gen, *et al.*, *J. Phys. Chem. A*, **127** (29), 6100-6108 (2023)
 [3] T. Naito, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **125**, 264102 (2024)

In-situ 磁気力制御系を有する磁気浮上装置の開発

Development of a magnetic levitation device with an in-situ magnetic force control system

日工大基幹工応化 °戸枝 隼人、新田 捷人、池添 泰弘

Hayato Toeda, Hayato Nitta, and Yasuhiro Ikezoe

Department of Applied Chemistry, Nippon Institute of Technology

°E-mail: y.ikezoe@nit.ac.jp

宇宙ステーション内部の微小重力空間では、液体内部の密度差による対流が抑制され、良質なタンパク質結晶が得られることが知られている¹⁾。したがって、浮上状態の実験は医学や生物学への応用も期待される。しかし、宇宙で実験を行うには莫大な費用が必要で、人材・時間・実験器具などにおいて様々な制限がある。一方、地上で宇宙の微小重力のような環境を再現する技術も研究されており、その一つとして反磁性磁気浮上技術が挙げられるが、巨大な超伝導磁石やハイブリット磁石を必要とするので汎用性に乏しい。最近我々は、小さな永久磁石を組み合わせるだけで水などの反磁性物質の磁気浮上を実現できることを見出し²⁾、浮上させた過飽和の水溶液から水溶性の塩を再結晶させることにも成功している。一般には、水溶液と析出物の磁気浮上に必要な磁気力場は異なるので、両者を同時に満たす磁石配置を探し当てるのは困難である。そこで、本研究では、その場で磁気力を制御しながら磁気浮上した水溶液から再結晶の実験が出来るような装置の開発に取り組んだので報告する。

使用した磁石は(Fig. 1)、幅 2 mm、奥行き 18 mm、高さ 8 mm の角型ネオジム磁石 1 対と、直径 3 mm、長さ 10 mm の円柱磁石 1 対で、前者を内側に、後者を外側に配置したような磁石配列となっている。外側の円柱磁石と内側の磁石との距離を D (mm) とする。円柱磁石は内側の磁石が生み出す磁場を局所的に弱め、磁気力を調節するとともに、非接触浮上の条件（全方向においてポテンシャルが極小）を満たすために用いられる。Fig. 2 は、円柱磁石と角型磁石の距離 D と磁気力場の最大値と最小値の関係を示しており（磁場解析ソフト：Simcenter Magnet, Siemens）、 D を 0 mm から大きくしていくと磁気力場も大きくなり、黄色で表された非接触浮上実現領域も徐々磁気力場が大きい方にシフトしてくる。例えば、酒石酸固体と酒石酸水溶液の浮上条件（それぞれ緑と紫の直線）を両方満たすことは難しいが、 D を短くすれば、酒石酸水溶液が浮上し、 D を大きくすれば酒石酸固体が浮上することがわかる。このように、その場で D を制御しながら磁気力を制御すると、自在に浮上条件を制御できるので、今後、様々な結晶成長実験に活用できると期待される。

[1] T. Nakamura *et al.*, *Int. J. Microgravity Sci. Appl.*, 36 (1), 360103 (2019)

[2] T. Naito, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **125**, 264102 (2024)

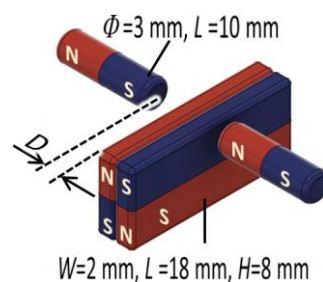


Fig. 1 Magnets arrangement.

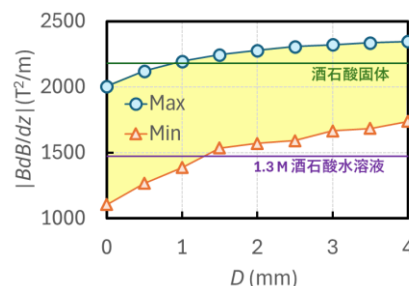


Fig. 2 Range of magnetic force field that satisfies the conditions for non-contact magnetic levitation

Anomalous Hall effect in thin films of altermagnet α -MnTe grown by MBE

Univ. Tsukuba, °K. Shoji, and S. Kuroda

E-mail: s2420361@u.tsukuba.ac.jp

α -MnTe (NiAs structure) has been known as an antiferromagnetic material with zero net magnetization. However, it has recently been suggested that the magnetism of α -MnTe should be classified as altermagnetism due to the breaking of the inversion symmetry with respect to the positions non-magnetic Te atoms in the NiAs structure[1]. The peculiar properties of α -MnTe as an altermagnet have been experimentally demonstrated by the emergence of a finite spin splitting[2] and the anomalous Hall effect[3], even with zero net magnetization. In this study, we performed Hall measurement on α -MnTe thin films in order to clarify the origin of anomalous Hall effect. We successfully grew α -MnTe thin films by MBE by optimizing the growth conditions such as the Mn and Te fluxes ratio and substrate temperature.

MnTe films were grown using MBE by supplying Mn and Te flux onto InP substrates. The substrate temperature T_S was varied in the range of 260 ~ 400°C, and the Mn and Te flux ratio was varied in the range of Te/Mn = 2 ~ 10. The crystal structure was examined by X-ray diffraction (XRD). The electric transport properties were characterized using Physical Property Measurement System (PPMS).

Figure 1 shows the XRD θ - 2θ scan of the α -MnTe films grown with different Te/Mn flux ratios at a fixed substrate temperature $T_S = 400^\circ\text{C}$. As shown in the figure, the mixed phases of γ -MnTe, α -MnTe and MnTe_2 were formed at a low flux ratio of Te/Mn = 2 while only α -MnTe was formed at higher flux ratios of Te/Mn = 8-10. We performed the Hall measurement on the film of pure α -MnTe phase grown with the flux ratio Te/Mn = 10. Figure 2 shows the results of Hall measurements at 2K and 300K with the application of magnetic field perpendicular to the film plane. As shown in the figure, the Hall resistivity was almost linear with the applied magnetic field, but hysteretic behavior, which is considered to originate from the spontaneous anomalous Hall effect, was observed only at 2K. The emergence of the anomalous Hall effect is similar to the previous report[3], but the shape of the hysteretic curve looks different. The origin of the observed hysteretic curve will be discussed at the presentation.

- [1] L. Šmejkal *et al.*, Phys. Rev. X **12**, 031042 (2022). [2] J. Krempaský *et al.*, Nature **626**, 517 (2024).
 [3] R. D. Gonzalez Betancourt, *et al.* Phys. Rev. Lett. **130**,036702 (2023).

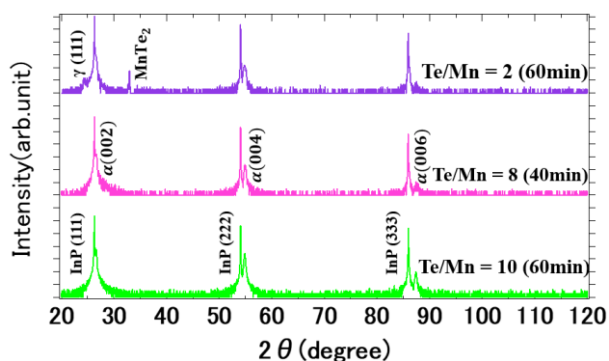


Fig. 1 XRD patterns of the MnTe films grown with flux ratios Te/Mn = 2-10 at $T_S = 400^\circ\text{C}$

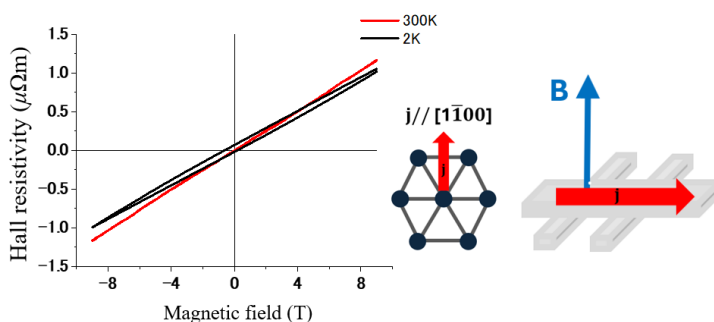


Fig. 2 Hall measurement of α -MnTe on InP(111) at 2K and 300K

Temperature Dependence of Magnetic Switching and Spin Valve Behaviors in MnAs/InAs/MnAs Double Heterostructure on GaAs (111) B

◦Md Tauhidul Islam^{1,*}, Van Thuan Pham¹, Soh Komatsu¹, Masashi Akabori¹

¹Japan Advanced Institute of Science and Technology

*Email: s2220008@jaist.ac.jp

Ferromagnetic (FM)/semiconductor (SC) hybrid structures have gained significant interest in semiconductor spintronics due to their potential use in spin field-effect transistors (spin-FETs). In our work, we have developed MnAs/InAs-based hybrid systems, which have demonstrated promising performance in lateral device applications [1]. However, the channel length in such configurations is constrained by the limitations of lithographic techniques. To address this challenge, we prepared vertical MnAs/InAs/MnAs double heterostructures (DH) on GaAs (111) B using molecular beam epitaxy (MBE) [2], where the InAs channel, positioned between MnAs source and drain layers, allows its length to be precisely controlled by adjusting the thickness of the InAs layer during growth. For MBE, the standard growth temperature for InAs is approximately 480°C. To fabricate DHs using MBE, the whole growth process was performed at low temperature (LT) (~250°C) to align with the optimal conditions for MnAs growth. There have been some previous works related to similar tri-layer system [3], and non-local spin valve measurement using MnAs/InAs systems [4,5], but no report on vertical spin valve fabrication (VSV) and measurement using this DH structure. Thus, we fabricated VSV device from the DH to examine the spin transportation potential of this novel structure.

The MBE grown DH consisted of approximately 400 nm InAs channel with about 75 nm top and 150 nm bottom MnAs layers. From the magnetization measurement of the DH, we confirmed distinct magnetic switching behavior of top and bottom MnAs layers (Figure 1a), required for VSV operation. Different magnetization switching can be recognized by the double steps in the hysteresis curves and easier switching was observed at higher measurement temperatures. We fabricated VSV device using the DH with the help of electron beam lithography (EBL) and Ar⁺ ion dry etching, which we presented in the past meeting [6]. We measured the device with AC lock-in technique at various excitation current and temperatures. Clearer spin valve signal was observed, and a significant influence of temperature was found (Figure 1b). Lower magnetization switching field (ΔB) at higher temperature aligned well with the DH's behavior. Increasing signal amplitude ($2\Delta R$) with temperature emphasized on the impedance mismatch effect between the FM and SC. A strong correspondence between the DH and VSV therefore highlighted the integrity of both device fabrication and measurement processes. A maximum spin injection efficiency of ~1.6% was extracted from the SV measurements, showing promising potential of this unique structure and device for vertical spin-FET realization.

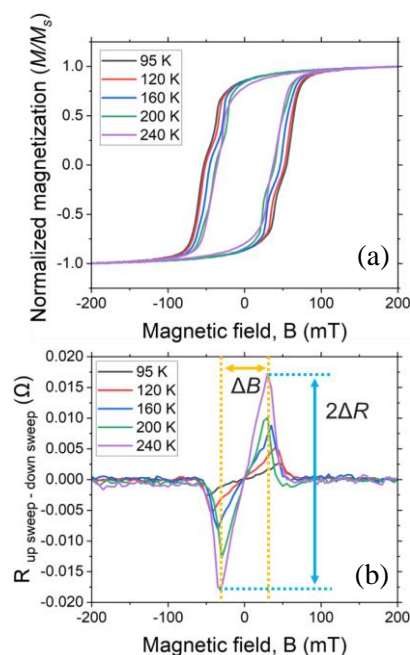


Figure 1: (a) Magnetic switching behavior and (b) SV behavior.

- [1] M. E. Islam *et al.*, AIP Advances 9, 115215 (2019).
- [2] M. T. Islam *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. 63, 01SP40 (2024).
- [3] M. Tanaka *et al.*, J. Crystal Growth 227, 847 (2001).
- [4] R. Adari *et al.*, Appl. Phys. Lett., 97, 112505 (2010).
- [5] D. Saha *et al.*, Appl. Phys. Lett. 89, 142504 (2006).
- [6] V.T. Pham *et al.*, The 71st JSAP Spring Meeting, 25a-P01-49 (2024).

**Rectification effect and spontaneous voltage generation
in superconductor MoGe/ferromagnet NiFe bilayer**
超伝導体 MoGe/磁性体 NiFe における整流効果と自発電圧生成

Dept. Appl. Phys., Univ. Tokyo¹, RIKEN CEMS²,

Inst. AI and Beyond, Univ. Tokyo³, AIMR Tohoku Univ.⁴,

Koyomi Oshigane¹, Hiroki Arisawa^{1,2}, Eiji Saitoh^{1,2,3,4}

東大工¹, 理研 CEMS², 東大 BAI³, 東北大 AIMR⁴

押金こよみ¹, 有沢洋希^{1,2}, 齊藤英治^{1,2,3,4}

E-mail: oshigane-koyomi628@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

The rectification effect, where the resistance differs depending on the forward or backward direction of the applied current, enables the conversion of a.c. electric fluctuations into d.c. voltage. In conductors without junctions, the rectification effect typically requires the breaking of spatial inversion symmetry in the atomic scale due to the short coherence length of electrons in solids.

In a type-II superconductor, topologically protected superconducting vortex strings are generated and annihilated only at the surface of the superconductor, and the broken spatial inversion symmetry at the superconductor's surface affects the transport properties of vortex strings, which does not require the breaking of spatial inversion symmetry inside the superconductor. In particular, it has been reported that a MoGe thin film fabricated on a ferrimagnetic insulator $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (YIG) exhibits nonreciprocal vortex motion due to the broken spatial inversion symmetry at the MoGe/YIG interface, resulting in the nonreciprocal resistance [1].

In this study, we demonstrated the rectification effect in a MoGe thin film on a ferromagnetic metal NiFe. By applying an in-plane magnetic field to the MoGe/NiFe bilayer and measuring the resistance of the MoGe layer (Fig.1), we found that finite nonreciprocal resistance appears in a magnetic field where vortex strings are mobile (Fig.2). We also demonstrated that d.c. voltage is spontaneously generated in the MoGe layer even without an input current (Fig.2), and revealed that the voltage originates from the vortex motion reflecting the asymmetric magnetic environment at the MoGe surfaces. Furthermore, by measuring the spontaneous d.c. voltage generation and nonreciprocal electrical response in three bilayer systems, MoGe/NiFe, MoGe/YIG, and MoGe/SiO₂, we revealed that the spontaneous d.c. voltage generation is correlated to the nonreciprocal electrical response [2].

Fig.1. Schematic illustration of measurement

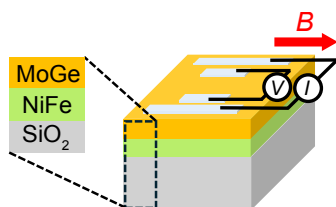
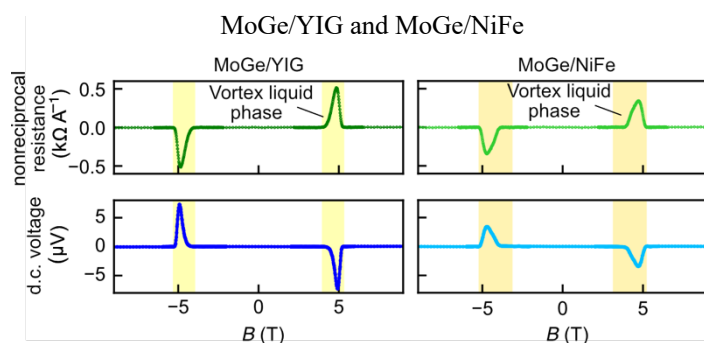


Fig.2. Nonreciprocal resistance and d.c. voltage in



[1] J. Lustikova et al., *Nature Communications* **9**, 4922 (2018).

[2] K. Oshigane et al., *Applied Physics Letters* (accepted, 2024).

高温超伝導スピバルブにおける異なる T_c 変調効果の共存

Coexistence of multiple T_c modulation effects in high- T_c superconducting spin valves

名大理 (D)菊田 智弘, 小森 祥央, 井村 敬一郎, 谷山 智康

Nagoya Univ. (D)Tomohiro Kikuta, Sachio Komori, Keiichiro Imura, and Tomoyasu Taniyama

E-mail: kikuta.tomohiro.e8@s.mail.nagoya-u.ac.jp

強磁性体/超伝導体/強磁性体の 3 層構造超伝導スピバルブでは、2 層の強磁性体の磁化配向 (平行、反平行) を制御することで超伝導転移温度 (T_c) を制御することが可能である。磁化配向による T_c の変調幅 ($\Delta T_c = T_c^{AP} - T_c^P$) の大きさや符号は T_c 変調効果の起源や超伝導層の膜厚に強く依存することが知られているが、高温超伝導体を用いた超伝導スピバルブではコヒーレンス長を超える長距離スケールでも T_c 変調が観測されるなど従来型の超伝導スピバルブとは異なる振る舞いを示す。これらの高温超伝導スピバルブにおける特異な振る舞いは高温超伝導の d 波対称性によってもたらされると考えられているが、 ΔT_c の大きさや符号を決定する因子の理解は完全にはなされていない。今回、我々は 2 つの異なる強磁性体からなる高温超伝導スピバルブにおいて、 ΔT_c の符号が異なる 2 つの T_c 変調効果が共存することを明らかにしたのでこれを報告する。

強磁性体として $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ (LCMO : 導電性) と $\text{Pr}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_3$ (PCMO : 絶縁性)、高温超伝導体として $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ を用いて 3 種類の異なる超伝導スピバルブをパルスレーザー堆積法によって作製した。図 1 (a)-(c) は異なる 3 種類の超伝導スピバルブの T_c 付近における電気抵抗の外部磁場依存性を示したものであり、抵抗の増大と減少はそれぞれ超伝導の抑制と回復を表している。図 1 (a)と(b)はそれぞれ、絶縁体 PCMO と導電体 LCMO のみからなる試料の測定結果であり、導電性の異なる強磁性層を持つ超伝導スピバルブでは異なる T_c 変調効果が見られる。しかし、LCMO と PCMO を組み合わせた超伝導スピバルブではピークとディップが共存した特異な振る舞いを示しており[図 1 (c)]、これは 1 つの超伝導スピバルブ内に異なる T_c 変調効果が混在していることを示唆している。

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP24H00380, JP24K21732, JP23KK0086, JST FOREST JPMJFR212V, JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2125, 池谷科学技術振興財団 0361214-A, 加藤科学振興会 KS-3626 の支援を受けたものです。

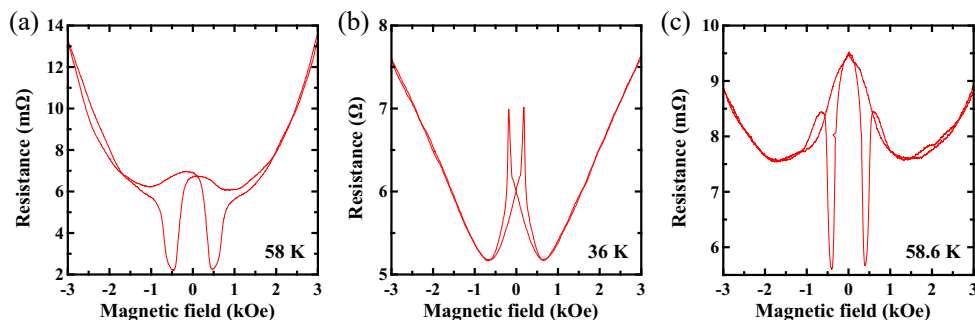


Figure 1 : In-plane magnetoresistance measured around T_c for (a) PCMO(50 nm)/YBCO(25 nm)/PCMO(100 nm), (b) LCMO(100 nm)/YBCO(15 nm)/LCMO(50 nm) and (c) LCMO(50 nm)/YBCO(25 nm)/PCMO(50 nm).

Comparative study of gate-modulated quantum interference effects in (001) and (113) GaAs/AlGaAs quantum wells

Sch. of Eng., Tohoku University¹, Grad. Sch. of Eng., Tohoku Univ.²,

Dept of Phys., Univ. Regensburg,³ Dept of Phys., Univ. Wellington,⁴,

CSIS, Tohoku Univ.⁴, DEFS, Tohoku Univ.⁵, QUARC, QST⁶

○ T. Usubuchi¹, T. Kawano², M. Prager³, D. Iizasa², M. Kammermeier⁴,

J. Ishihara², S. Yamamoto², D. Schuh³, D. Bougeard³, and M. Kohda^{2,5-7}

E-mail: Usubuchi.Taisei.r3@dc.tohoku.ac.jp

Persistent spin helix (PSH) state [1] induced by Dresselhaus [2] and Rashba [3] spin-orbit interactions (SOIs) in III-V compound semiconductor quantum wells (QWs) is one of the most important states, because the PSH state provides spin manipulation and long spin lifetime simultaneously. Recently, it has been predicted that such PSH states also emerge in QW planes where at least two of the Miller indices agree in the modulus [3]. In particular, the PSH state in a (113)-oriented QW is attractive because it is expected to be a more stable spin state than that in a conventional (001)-oriented QW [4]. However, the observation of the PSH state has been mainly focused on (001)- and (110)-oriented QWs [5,6]. Here we compare the gate-modulated quantum interference effects in (001) and (113) oriented GaAs/AlGaAs QWs.

Two GaAs/AlGaAs QW structures have been grown by molecular beam epitaxy onto the GaAs substrate with two different crystal orientations; (113) and (001) planes. These GaAs QWs have identical structures except for the crystal orientation and were designed to be the PSH state in the case of a (113)-oriented QW.

We have measured quantum interference effects in (001) and (113) oriented GaAs QWs at 200 mK. Weak anti-localization effects in (001) and (113) oriented GaAs QWs at different carrier densities (gate voltages) are shown in Fig. 1. Despite having the same carrier density, WAL was consistently observed in a (001)-oriented QW, whereas transition from WAL to WL was observed in a (113)-oriented QW. This indicates that the PSH state is realized in a (113)-oriented QW. Then we will discuss the analysis results in (001) and (113) oriented QWs.

[1] J. D. Koralek *et al.*, Nature (London) **458**, 610 (2009).

[2] G. Dresselhaus, Phys. Rev. **100**, 580 (1955).

[3] E. I. Rashba *et al.*, Sov. Phys. Solid State **2**, 1109 (1960).

[4] M. Kammermeier *et al.*, Phys. Rev. Lett. **117**, 236801 (2016).

[5] D. Iizasa *et al.*, Phys. Rev. B **101**, 245417 (2020).

[6] Y. Ohno *et al.*, Phys. Rev. Lett. **83**, 4196 (1999).

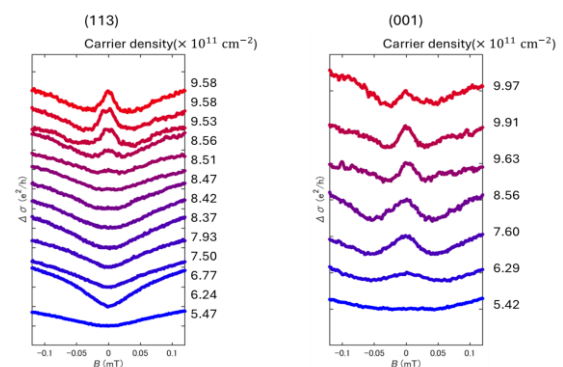


Fig.1: Magneto-conductance with different carrier densities in the (001) and (113)-oriented GaAs/AlGaAs quantum well.

Thickness dependence of current-induced effective magnetic field acting on domain wall in SrRuO₃

○Kanata Nakamura, Tomoki Shibata, Takaya Koyama, Tetsuya Uemura, Michihiko Yamanouchi

Grad. School of Information Science and Technology, Hokkaido Univ.

E-mail: kanyagon258@eis.hokudai.ac.jp

Spintronics devices using current-induced domain wall (DW) motion have been attracting much attention for next-generation memory and logic. Topological Hall torque (THT) is a candidate of the driving mechanism because it can reduce the current density required to drive DW [1]. The THT originates from the Weyl points, and current-induced effective magnetic field H_{eff} acting on a DW is explained well by the THT in ferromagnetic oxide SrRuO₃ (SRO) [2]. However, the relationship between the Weyl points and THT remains to be experimentally elucidated. A previous study shows thick SRO films exhibit positive magnetoresistance (MR) reflecting existence of the Weyl points, whereas MR turns to negative with decreasing SRO thickness [3]. In this work, we investigated H_{eff} and MR in SRO with various thicknesses to clarify it.

15, 22, and 30-nm thick SRO films were grown on miscut ($\sim 2^\circ$) SrTiO₃ (001) substrates by using pulsed laser deposition. The films were patterned into Hall bar devices with 200-nm wide channels and a pair of Hall probes. A 200-nm wide Au/Cr line (Oersted line), which is orthogonal to the SRO channel direction, was defined on the channel. After preparing a DW in the channel by applying a current pulse to the Oersted line, we measured modulation of the propagation field H_p of the DW by H_{eff} under various current densities J_s (-3.2×10^9 A/m² - 3.2×10^9 A/m²) and at various temperatures (115 K - 135 K). The H_p decreased almost linearly with increasing J_s at each temperature, from which we determined generation efficiency η_J of H_{eff} per J . The device having the thicker SRO film shows the larger η_J at a given temperature, and η_J had the maximum at 125 K with respect to temperature for all the devices. Similar temperature dependence of η_J is observed in SRO, and it is described well by a model based on the THT [2]. We also measured MR under a perpendicular magnetic field of up to 7 T at 1.8 K for the Hall bar devices in the same wafers. Although all the devices show negative MR, magnitude of MR decreases with increasing thickness of SRO, which is consistent with the previously reported thickness dependence of MR reflecting contribution of the Weyl points in SRO [4]. These results suggest the thickness dependence of H_{eff} is related to blurring of the contribution from Weyl point in the thinner SRO film.

This work was supported in part by JSPS KAKENHI (22K18961), MEXT X-NICS (JPJ011438), MEXT ARIM (JPMXP1224HK0020), and JST CREST (JPMJCR22C2).

References

- [1] Y. Araki, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **127**, 277205 (2021).
- [2] M. Yamanouchi, *et al.*, Sci. Adv. **8**, eabl6192 (2022).
- [3] S Kaneta-Takada, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **118**, 092408 (2021).
- [4] K. Takiguchi, *et al.*, Nat. Commun., **11**,4969 (2020).

機械学習を用いた撮像スケールの異なる磁区画像からのパラメータ推定

Estimating parameters from magnetic domain images with different imaging scales using machine learning

豊田工大¹, 電気通信大² ◯(B)橋本 周¹, 仲谷 栄伸², 粟野 博之¹, 田辺 賢士¹

TTI¹, Univ. of Electro-Comm.², ◯(B) S. Hashimoto¹, Y. Nakatani², H. Awano¹, and K. Tanabe¹

E-mail: sd21069@toyota-ti.ac.jp

磁性分野では、成膜した薄膜の磁気特性を評価するために、磁気パラメータの測定実験が行われる。それらのパラメータの中には、ジャロシンスキー守谷相互作用 (DMI) 定数のような、測定が困難であったり、測定に時間がかかったりするものがある。そこで、我々はより簡便なパラメータ測定法を確立するために、薄膜に現れる迷路状の磁区構造に着目した[1,2]。先行研究では、機械学習を用いて磁区画像から DMI 定数や飽和磁化などの磁気パラメータを推定できると報告されている[1-3]。我々は、撮像スケールの違いが推定に与える影響について研究し、ある条件下で撮像スケールの異なる画像から磁気パラメータを推定できることを明らかにしてきた[4]。本研究では、どのような条件でパラメータが推定できるかを詳細に調べたので報告する。

マイクロマグ計算を用いて、DMI 定数を $0.1 \sim 1.0 \text{ mJ/m}^2$ まで 0.1 mJ/m^2 刻みで変化させながら、1,000 枚ずつ合計 10,000 枚の磁区画像を作成した。その後、 $0.5, 1.0, 1.5 \mu\text{m}$ 角となるように切り抜いた画像群を用意した (Fig. 1)。 $2.0 \mu\text{m}$ 角の画像群で学習したモデル A と、4つのスケールをまとめた画像群で学習したモデル B に対し、4つのスケールの画像群をテストデータとして DMI 定数の推定を行った。その結果、モデル A では $2.0 \mu\text{m}$ を除くすべてのスケールで推定がうまくいかなかった (Fig. 2(a))。この結果は、先行研究[4]にて報告された「 $1.5 \mu\text{m}$ 角の画像群で学習した際、 $2.0 \mu\text{m}$ 角の画像群における推定がうまくいく」という実験結果からは予期しないものである。またモデル B では、すべてのスケールにてうまく推定できた (Fig. 2(b))。このことから、磁区画像からのパラメータ推定には、撮像スケールの異なる画像群を学習させることが重要であることが示唆される。

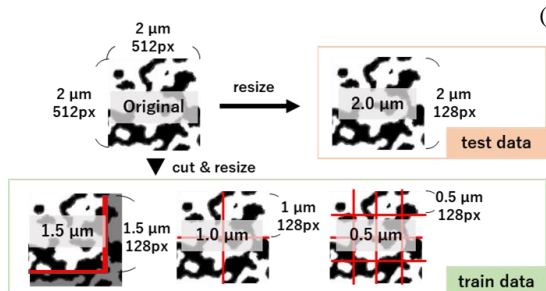


Fig. 1 Process of producing training and test data from original magnetic domain images.

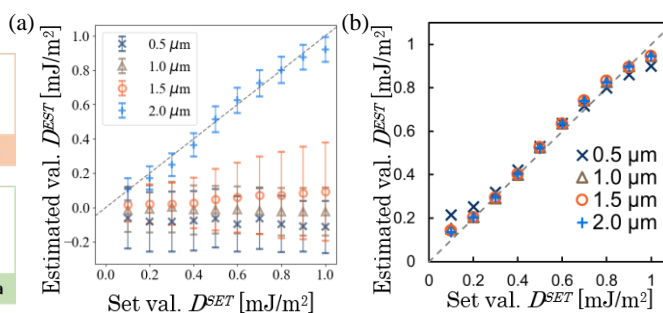


Fig. 2 Trained on a group of $2.0 \mu\text{m}$ square images and estimated each of the four respective scales (a). A group of images of the four scales was trained together and each of the four scales was estimated (b).

- [1] M. Kawaguchi et al., npj Computational Materials **7**, 20 (2021).
 [2] S. Kuno et al., APL Machine Learning **1**, 046111 (2023).
 [3] H. Y. Kwon et al., Science Advances **6**, eabb0872 (2020).
 [4] A. Watanabe et al., arXiv: 2408.12181 (2024).

金属 2 層膜におけるスピナーベック効果と異常ネルンスト効果の分離

Separation of spin Seebeck and anomalous Nernst effects in two metallic layers

豊田工大, °(B)小田 大地, 栗野 博之, 田辺 賢士

Toyota Tech. Inst., °D. Oda, H. Awano, and K. Tanabe

E-mail: sd21024@toyota-ti.ac.jp

スピナーベック効果 (SSE) [1]は、強磁性層と重金属層の 2 層構造に対し、温度勾配を加えることで起電力が発現する熱電変換現象の 1 つである。この起電力は、強磁性層内の温度勾配に比例し、重金属層内で誘起される。一方、類似の現象として、異常ネルンスト効果 (ANE) がある。この効果は、強磁性層内の温度勾配に比例し、強磁性層内で起電力が発生する現象である。この 2 つの効果は起源が異なるものの、起電力信号が重畳して検出されることが多い。しかし SSE の研究を進めるためには、SSE 単体の起電力を明確に抽出する必要がある。これまでの先行研究において、Kikkawa らは強磁性絶縁層 ($\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$: YIG) と強磁性金属層である NiFe 層の 2 層構造において、熱伝導率に注目することで SSE と ANE の分離に成功している[2]。しかし、金属 2 層膜において分離した研究例はない。そこで我々は、Kikkawa らの研究に基づいて、薄膜に対し垂直方向と水平方向に熱流を加え、ANE 単体における起電力と、ANE と SSE の複合型における起電力を計測することで、SSE 単体の起電力を抽出する手法を提案する。そして本手法を GdCo/Pt の 2 層金属膜に適用した結果について報告する。

作製した試料構造は、① $\text{Si}_3\text{N}_4(10 \text{ nm})/\text{Amo-Gd}_x\text{Co}_{1-x}(30 \text{ nm})/\text{Si}_3\text{N}_4(3 \text{ nm})/\text{SiO}_2 \text{ glass sub.}$ および② $\text{Pt}(10 \text{ nm})/\text{Amo-Gd}_x\text{Co}_{1-x}(30 \text{ nm})/\text{Si}_3\text{N}_4(3 \text{ nm})/\text{SiO}_2 \text{ glass sub.}$ である。Amo-GdCo 層は、コスパッタ法により成膜した。組成比はエネルギー分散型 X 線分析装置により測定した。各試料において、面内に熱流を印加することで横ゼーベック係数($E_{//}/\nabla T$)を、面直に熱流を印加することで熱流密度(j_Q)あたりの起電力 (E_{\perp}/j_Q)を測定した (Fig. 1)。この 4 つの測定結果に対して、並列回路モデルおよび、面直、面内方向の材料の等方性を仮定することで (Fig. 2)、 $x=28 \text{ at\%}$ のとき、SSE による横ゼーベック係数は $E_{\text{Pt}}/(\nabla T)_{\text{GdCo}} = 0.23 \mu\text{V/K}$ であると算出することができた。GdCo の組成依存性などの詳細は、当日報告する予定である。

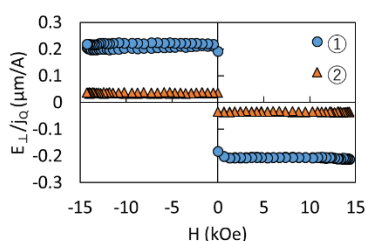


Fig. 1 E_{\perp}/j_Q as a function of magnetic field. The circle and triangle indicate $\text{Gd}_{28}\text{Co}_{72}$ and $\text{Gd}_{28}\text{Co}_{72}/\text{Pt}$, respectively.

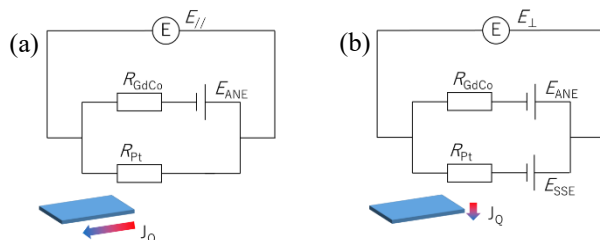


Fig. 2 (a-b) Equivalent circuits of measurement setup for heat flow in in-plane and perpendicular directions, respectively.

[1] K. Uchida *et al.*, Nature **455**, 778 (2008).

[2] T. Kikkawa *et al.*, Physical Review B **88**, 214403 (2013).

Mn-Ga 規則合金における負の異常ネルンスト効果の温度依存性

Temperature dependence of negative anomalous Nernst effect in Mn-Ga ordered alloys

筑波大¹, NIMS², 岩手大³

○田澤 慧樹¹⁻³, 大柳 洗一^{2,3}, Patel Akhilesh Kumar², 遠山 諒², 増田 啓介²,

小林 悟³, 桜庭 裕弥^{1,2}

Univ. of Tsukuba¹, NIMS², Iwate Univ.³ ○Satoki Tazawa¹⁻³, Koichi Oyanagi^{2,3}, Akhilesh Kumar

Patel², Ryo Toyama², Keisuke Masuda², Satoru Kobayashi³, Yuya Sakuraba^{1,2}

E-mail: TAZAWA.Satoki@nims.go.jp

Thermoelectric conversion technology has attracted significant interest for the electric power generation from waste heat and heat flux sensing applications. The anomalous Nernst effect (ANE) is one of the representative magneto-thermoelectric phenomena, generating an electric field perpendicular to an applied temperature gradient and magnetization in magnetic materials. The ANE enables much simpler thermoelectric module structures compared to conventional one based on the Seebeck effect; a lateral thermopile structure connecting two magnetic materials with the positive and negative anomalous Nernst thermopower (S_{ANE}) increases the serial voltage [1]. However, a critical issue remains for realizing ANE-based practical applications; only a few materials with negative S_{ANE} have been reported. Moreover, a material with large magnetic anisotropy is also important to stabilize the residual magnetization.

The sign and magnitude of S_{ANE} are determined by the sum of $\rho_{xx}\alpha_{xy}^A$ and $-S_{SE}\rho_{yx}/\rho_{xx}$, where, α_{xy}^A , ρ_{yx} , ρ_{xx} , and S_{SE} are the anomalous Nernst conductivity, anomalous Hall resistivity, longitudinal resistivity, and Seebeck coefficient, respectively. Zhou *et al.* reported that a Mn-Ga binary alloy exhibits negative S_{ANE} and large magnetic anisotropy and revealed that α_{xy}^A is a key parameter that determines the sign and magnitude of S_{ANE} in the Mn-Ga alloy [2]. The study also suggested that an intrinsic mechanism originating from an electronic band structure dominates α_{xy}^A . However, the detailed analysis of the origin of ANE-based on the low temperature measurement for the Mn-Ga system has not been reported.

In this study, we investigated the temperature dependence of α_{xy}^A for the Mn-Ga epitaxial thin film to deepen our understanding of the mechanism of the ANE experimentally. The composition of the Mn-Ga alloy was adjusted to be Mn₆₅Ga₃₅ as it showed large negative S_{ANE} in the previous study [2]. A 50-nm-thick Mn-Ga film was grown on a MgO substrate using a magnetron sputtering system. We measured S_{ANE} , S_{SE} , ρ_{yx} , and ρ_{xx} at the varied temperature from 90 K to 300 K and evaluated the temperature dependence of α_{xy}^A . By decreasing temperature, the α_{xy}^A decreased, but sharply increased at around 150 K. Scaling analysis of ρ_{yx} revealed the intrinsic mechanism was dominant. This analysis paves the way for further enhancement of negative S_{ANE} in the Mn-Ga systems.

References

- [1] Y. Sakuraba *et al.*, Appl. Phys. Express **6**, 033003 (2013). [2] W. Zhou *et al.*, Appl. Phys. Lett. **118**, 152406 (2021).

白金電極上のバリウムフェライト垂直磁化膜の作製と トンネル伝導特性の評価

Preparation of BaFe₁₂O₁₉/Pt films with perpendicular magnetization and evaluation of tunneling conduction properties

○(M2) 足立 亮太¹, 田中 雅章¹, 小見山 遥²,

小野 輝男², 日原 岳彦¹, 壬生 攻¹ (名工大工¹, 京大化研²)

○R. Adachi¹, M. A. Tanaka¹, H. Komiya²,

T. Ono², T. Hihara¹, and K. Mibu¹ (Nagoya Inst. Tech.¹, Kyoto Univ.²)

研究背景・目的

厚さが数 nm の強磁性絶縁体薄膜を伝導電子がトンネル効果で透過する際、電子が持つスピンのによりバリア高さが異なり透過確率が異なるため、透過した電子のスピンの偏極が生じる。この現象はトンネル型スピンフィルター効果と呼ばれ、スピンの偏極した電子流の生成源として利用できる¹⁾。バリウムフェライト(BaFe₁₂O₁₉, BaM)はキュリー温度が高く c 軸方向に結晶磁気異方性を示す。また Pt(111)上で c 軸方向に成膜させると、大きな垂直磁気異方性を示すことが報告されている²⁻³⁾。本研究では、垂直磁化のトンネル型スピンフィルター効果の観測に向けて、Pt 薄膜上の結晶性、垂直磁化、表面平坦性の良い BaM 超薄膜の作製と BaM 薄膜によるトンネル伝導の観測を目的に研究を行った。

実験方法

α -Al₂O₃(0001)基板上に電子ビーム蒸着法で Pt(111)薄膜を成膜した後、パルスレーザー堆積(PLD)法で BaM 薄膜を 300°C で製膜して Pt (20 nm)/BaM (7 nm)薄膜を作製した。製膜後に 900°C で 90 分間の赤外線アニール処理を用いて BaM の結晶成長を行った。X 線回折装置による結晶配向性の評価、SQUID 磁束計による垂直磁気異方性の評価、及び原子間力顕微鏡(AFM)による表面平坦性の評価を行った。また Pt (20 nm)/BaM (10 nm)/Cr(5 nm)/Pt (3 nm)構造の多層膜トンネル接合素子を成膜し、フォトリソグラフィ及び Ar イオンミリングで直径 15 μ m のトンネル接合素子を作製して、伝導特性の評価を行った。

実験結果

Pt (20 nm)/BaM (7 nm)薄膜の BaM 薄膜は膜厚方向に c 軸配向することがわかった。また Fig. 1 に示す膜面直および面内方向の磁化曲線のように、BaM 層は垂直磁気異方性を示し、その異方性エネルギーは 1.7 MJ/m³を示した。Fig. 2 の AFM 観察像から、薄膜の平均表面粗さは 0.5 nm 程度と良好で、ピンホールはほとんど見られなかった。これらのことから磁気特性と表面平坦性が良い薄膜であることがわかった。

Fig. 3 にトンネル接合素子の電圧電流測定の結果を示す。トンネル伝導を示す 3 次曲線的な変化が観測された。バリア高さを 1.2 eV と仮定し、Simmons の式を用いた解析より、トンネルバリア厚さは 5.2 nm と推定された。BaM 薄膜の設計膜厚 10 nm を踏まえると比較的良好なバリアが形成されていることがわかった。発表では、トンネル伝導の測定温度依存性(100~300 K)の結果についても報告する。

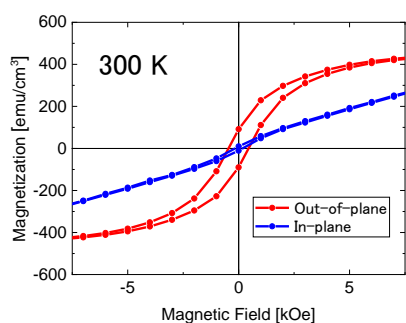


Fig. 1 Hysteresis loops of the Pt/BaM film.

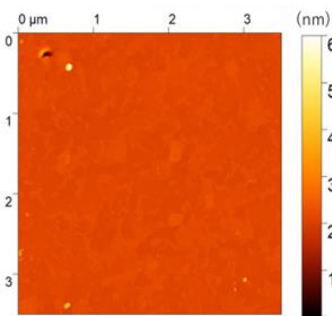


Fig. 2 AFM image of the Pt/BaM film.

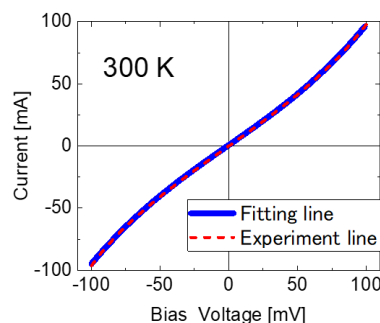


Fig. 3 Current-voltage curve of the tunneling junction.

参考文献

- 1) J. S. Moodera *et al.*, Phys. Rev. Lett. **61**, 637 (1988).
- 2) M. Ichinose *et al.*, J. Magn. Soc. Jpn. **23**, 1205 (1999).
- 3) A. Morisako *et al.*, J. Magn. Soc. Jpn. **23**, 1217 (1999).

MBE 法により作製した Mn 添加 NiAs 型 CrTe の構造及び磁化特性 Structural and Magnetic Properties of Mn-doped NiAs-type CrTe fabricated by MBE

筑波大院数物 秋吉 広翔, [○]金澤 研, 黒田 眞司

Grad. School of Pure & Appl. Sci., Univ. of Tsukuba, Hiroto Akiyoshi, [○]Ken Kanazawa, Shinji Kuroda

E-mail: kanazawa@ims.tsukuba.ac.jp

我々は、半導体スピントロニクスデバイスの実現に向けて、複数種の磁性元素を含む新規な遷移金属化合物の物質探索を行っている。本研究では強磁性遷移金属化合物である CrTe に Mn を添加した試料を作製し、結晶構造と磁化特性を調べている。今回は NiAs 型 CrTe を母体として、様々な Mn 組成を有する NiAs 型(Cr,Mn)Te 薄膜を作製し、その磁化特性および伝導特性を調べた。

CrMnTe 薄膜の作製は分子線エピタキシー (MBE) 法によって行った。GaAs 基板上に下地層である CdTe を約 600 nm 積層させた後、成長温度 (T_s) = 250 °C で CrMnTe 層を Cr と Te の分子線供給量比[Cr]:[Te]=1:30 で一定という条件で、Mn と Cr との分子線供給量比[Mn]:([Mn]+[Cr]) ~ 0 – 15 % の間で Mn を添加した CrMnTe 薄膜を作製した。その後、アニールの影響を調べるため、作製した試料の一部を切り出し、MBE チャンバーの超高真空内で 500 °C、30 分間のアニール処理を行った。結晶性の評価には反射高速電子線回折(RHEED)と X 線回折(XRD)を、磁化特性の評価には超伝導量子干渉デバイス (SQUID) を用いた。

Figure 1 は、本研究で作製した Mn11.2% CrMnTe 薄膜に対しアニール前後で測定した XRD の結果である。図中緑破線で示した角度は NiAs 型 CrTe の(000n)面からのピーク位置を表しており、アニールによってピーク形状が鋭くなっていることから、NiAs 型(Cr,Mn)Te の結晶性が向上したと考えられる。Figure 2 は同様の試料に対し、磁化の温度依存性 (M - T 曲線) を測定した結果である。なお、磁場は薄膜成長面に対し垂直に 500 Oe 印加している。アニールによって低温での磁化は減少する一方で、強磁性転移温度 (T_c) は約 180 K から約 260 K に上昇するという結果が得られた。以上の結果から、強磁性遷移金属化合物 NiAs 型 CrTe に異種の磁性元素 Mn が結晶性良く添加されることで、新たな磁気秩序が形成され強磁性転移温度が上昇したことが示唆される。当日は磁化の磁場依存性 (M - H 曲線) や 他の Mn 組成の結果も示し、より詳細について議論する。

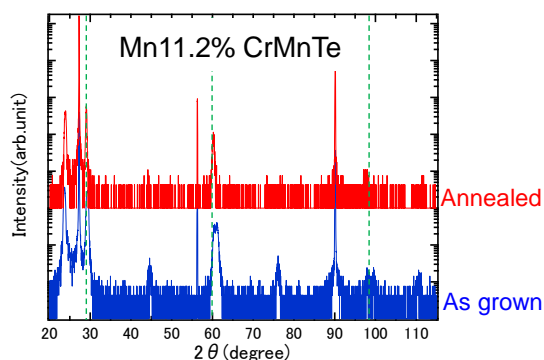


Fig.1 The profiles of XRD $\theta/2\theta$ scans of as-grown and 500°C-annealed CrMnTe films containing 11.2% Mn. Green dotted lines indicate peak positions from the (000n) planes of the NiAs-type CrTe.

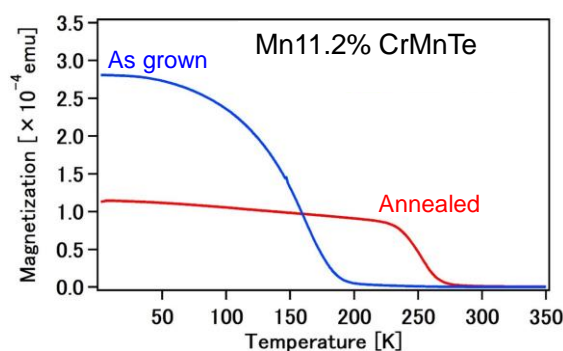


Fig.2 The result of temperature dependence of magnetization measurements (M - T) for the CrMnTe films. The direction of the magnetic field was perpendicular to the film plane.

ポリイミド基板の上に作製した NiFeMo 薄膜の誘導磁気異方性

Induced magnetic anisotropy of NiFeMo films fabricated on polyimide substrates

日大院理工¹, 日大理工² ○(M1) 淡谷 峻伍¹, 芦澤 好人²

Nihon Univ.^{1,2}, °Shungo Awaya¹, Yoshito Ashizawa²

E-mail: cssh24003@g.nihon-u.ac.jp

はじめに 近年, フレキシブル基板の上に作製した磁気センサによる歪み検出など, 素子の柔軟性を活用する研究が活発化している^[1-4]. しかし, フレキシブル基板の上に作製した薄膜においては, 磁界中熱処理時に印加した磁界の直交方向に誘導磁気異方性が付与されるなど, 硬質性基板の薄膜と異なる特性を示すことが多い. そこで我々は, 磁性薄膜の磁気特性に影響を与える因子としてフレキシブル基板固有のロールによる製造方法に着目した. フレキシブル基板のロール方向(MD)とその直交方向(TD)に熱膨張率やヤング率等の機械物性値に異方性が生じていることで, 磁性薄膜に磁気ひずみの逆効果が発生している可能性がある. そこで, フレキシブル基板の製造プロセス時の方向が磁性薄膜の磁気特性に及ぼす影響を検討した.

実験方法 試料には軟磁気特性に優れる Ni₈₆Fe₁₂Mo₂ 薄膜を用い, RF マグネトロンスパッタ法を用いて, フレキシブル基板の上に 50 nm 成膜した. 基板には, ヤング率の特性が方向によって異なっているポリイミド (東レ・デュポン社製: Kapton EN) を用いた. 作製した試料には, 基板からの異方的な応力による誘導磁気異方性発現の検討として, 種々の磁界印加条件において, 温度 450 °C で 30 分間熱処理を施した. 薄膜の磁気特性は, 振動試料型磁力計を用いて MD 及び TD の薄膜面内 2 方向を測定した.

結果と考察 無磁場中にて 450 °C, 30 分の熱処理を施したポリイミド基板上 NiFeMo 薄膜について, 基板の各方向に対する磁気特性を Fig1 に示す. 試料には TD が容易軸となる磁気異方性が確認され, 熱処理時の磁界印加以外の起源により磁気異方性が付与された. 原因として基板による異方的な応力による影響の可能性が大きいと考えられる.

参考文献

- [1] R. Asai, et al., J. Appl. Phys., 120, 083906 (2016)
- [2] H. Matsumoto, et al., Appl. Phys. Lett., 114, 132401, (2019).
- [3] 望月航介 他, 2023 年第 73 回応用物理学会春季学術講演会, 16p-PA09-9, (2023).

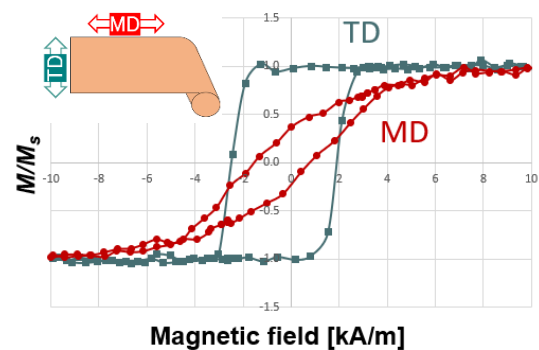


Fig. 1 Magnetic properties of an annealed NiFeMo thin film fabricated on a polyimide substrate with a magnetic field to parallel to MD and TD, respectively.

64° Y-cut LaNbO₃ 基板に成膜した Co 薄膜の結晶構造解析

Crystal structure analysis of Co thin films deposited on

64° Y-cut single-crystal LaNbO₃ substrate金沢大¹, 岐阜大院², ◯島村 一利¹, 鹿野 早希², 杉山 博則¹, 山田 啓介²Kanazawa Univ.¹, Gifu Univ.² Kazutoshi Shimamura¹, Saki Shikano², Hironobu Sugiyama¹,Keisuke Yamada²

E-mail: shimamura@se.kanazawa-u.ac.jp

強磁性体が有する磁化の制御・変調には、電界や熱、光、歪などを外部から強磁性体に作用させる必要がある。これまで歪の印加する手法は、元素置換や外部からの機械的な作用が主流であった。近年、基板と強磁性薄膜界面で誘起される歪を用いることでも、磁性の制御が実現されている。既に、発表者らは結晶構造として正方晶系を取る Fe や Ni、Fe₇₁Ni₂₉ 合金を 128° Y-cut 単結晶 LaNbO₃ (128° Y-cut LNO) 基板の上にスパッタ成膜した場合に、基板面内方向に一軸磁気異方性が誘起されることを報告している[1]。この誘起された磁気異方性の起源や結晶構造と基板の歪の関係は、未だ理解されていない。本発表では、結晶構造として六方最密構造(hcp)を取る Co を用いて、64° Y-cut 単結晶 LNO 基板の上にスパッタ成膜した Co 薄膜の結晶構造と磁気特性について調べた。得られた結果より、各特性の相関について議論を行う。

マグネトロンスパッタリング法 (成膜条件; ベース真空度 4.7×10^{-4} Pa、室温) を用いて 64° Y-cut LNO 基板の上に成膜をした膜厚 5.0~20.0 nm (成膜レート 2.2 Å/sec) の Co 薄膜を評価に用いた。VSM 法を用いた磁化測定の結果から、オリフラ平行方向に磁化容易軸、垂直方向に磁化困難軸が存在し、基板面内に一軸磁気異方性を有していることがわかった。薄膜 X 線構造解析の結果から、hcp Co (002) 面と一致する鋭いピーク (回折位置 $2\theta = 44.6652^\circ$) が得られことから、高配向性の hcp 構造を有していることが確かめられた。この Co のピークと 64° Y-cut LNO 単結晶基板の関係を明らかにする目的で、Fig. 1 に示す 2 次元広域逆格子マップの測定を行った。Co に対する 64° Y-cut LNO のピークの関係が確かめられた。発表当日は、64° Y-cut LNO 基板のみと、Co を成膜した試料の二次元広域逆格子マップの測定結果の比較から結晶性の評価や、Co の回折点に対して極点図を示すことで結晶の配向性の評価に関して報告し、一軸磁気異方性との相関について議論する予定である。

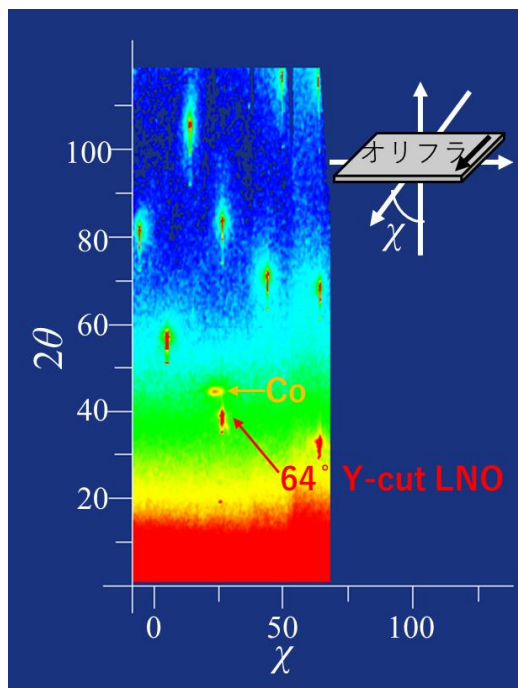


Fig. 1 2D reciprocal space map of Co film deposited on 64° Y-cut LNO substrate.

[1] M. Ito, *et al.*, J. Magn. Magn. Mater. **564**, 170177 (2022).

層状磁性体 $\text{Cr}_{1-\delta}\text{Te}$ 薄膜のアニールによる結晶構造および磁化特性の変化Variations of crystal structure and magnetic properties due to annealing in a layered magnetic material $\text{Cr}_{1-\delta}\text{Te}$ thin films筑波大数理物質¹, 高エネ研², NIMS²○小林 純也¹, 仁谷 浩明², 城戸 大貴², 佐々木 泰祐³, 黒田 眞司¹Univ. Tsukuba¹, KEK², NIMS², °J. Kobayashi¹, H. Nitani², D. Kido², T. Sasaki³, S. Kuroda¹

E-mail: s2320345@u.tsukuba.ac.jp

1. Introduction 近年、2次元の磁性体が注目を集めている。遷移金属化合物の $\text{Cr}_{1-\delta}\text{Te}$ は、Cr 欠損量 δ により結晶構造が3次元から2次元的に変化し、それに伴い磁性も様々に変化することが知られている[1]。我々は、分子線エピタキシー(MBE)による CrTe 薄膜の成長を行い、その構造、磁化特性を調べている。前回の発表[2]では、薄膜成長時の基板温度による構造、磁化特性の変化を調べ、基板からの格子歪が大きな影響を与えることを見出した。今回は、薄膜成長後に薄膜結晶に熱アニールを施し、構造と磁化特性の変化を調べたので報告する。

2. Experimental InP(111)A 基板上に Cr, Te の分子線を供給量比 Cr:Te=1:30 の Te 過剰雰囲気 (Te-rich) の条件で供給し、 CrTe 薄膜を成長した。成長中の基板温度は $T_S=300^\circ\text{C}$ とし、成長後に Te 分子線照下で基板温度を $T_A=350\sim 400^\circ\text{C}$ に加熱してアニールを施した。アニール後の薄膜試料に対し、XRD, XAFS, TEM により構造を評価し、また SQUID により磁化測定を行った。

3. Results XRD 測定により得られたアニール試料の格子定数を Fig. 1 に示す。六方晶構造の c 軸、 a 軸の格子定数および単位胞体積のアニール温度による変化を、前回報告の as-grown 試料における成長温度依存性[2]と併せてプロットしている。アニールに伴い c 軸方向の格子定数および単位胞の体積が増加し、Cr 欠損量 δ の減少を示唆する結果となっている。Fig. 2 にアニール試料の X線吸収端近傍構造(XANES)スペクトルを示す。スペクトルはアニールにより変化し、 400°C のアニールではスペクトルは Cr_2Te_3 に似た形状となり[3]、Cr 価数が3価に近づくことを示唆している。また磁化測定の結果では、アニールに伴う保磁力、磁気異方性の変化が見られ、アニールによる Cr 欠損量の減少という以前の報告[4]と一致する結果となった。

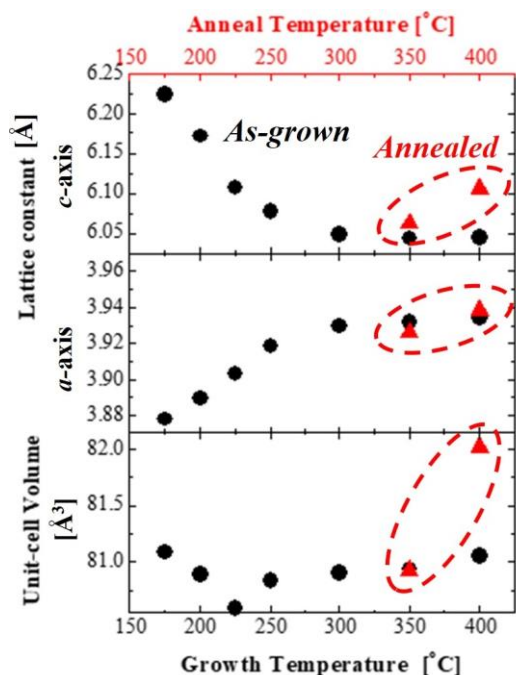


Fig. 1 Variations of the lattice constants in the c - and a -axes and the unit-cell volume with the anneal temperature.

Reference [1] J. Dijkstra *et al.* J. Phys.: Condens. Matter **1**, 9141 (1989). [2] 小林他, 2024 年応用物理学会秋季講演会 19p-P06-34. [3] H. Ofuchi *et al.*, AIP Conf. Proc. **882**, 517 (2007). [4] Y. Fujisawa *et al.*, Phys. Rev. Mater. **4**, 114001 (2020).

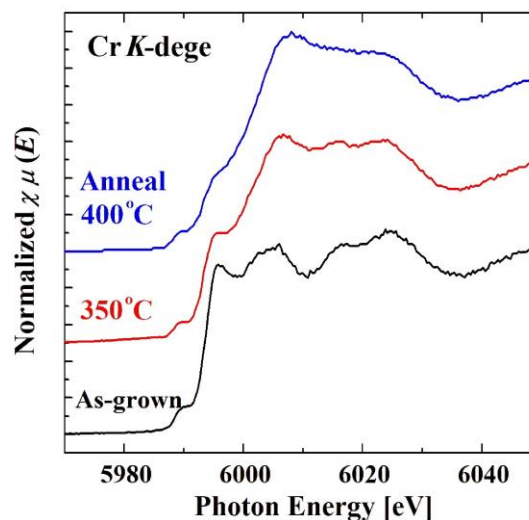


Fig. 2 XANES spectra at Cr K -edge of as-grown and annealed CrTe films.

[Cu/Ni]/PMN-PT (011) における垂直磁気異方性の電界効果

Electric field effect on perpendicular magnetic anisotropy in [Cu/Ni]/PMN-PT(011)

名大理¹, [○]清水 要介¹, 小森 祥央¹, 井村 敬一郎¹, 谷山 智康¹

Nagoya Univ.¹, [○]Yosuke Shimizu¹, Sachio Komori¹, Keiichiro Imura¹, Tomoyasu Taniyama¹

E-mail: shimizu.yosuke.y3@s.mail.nagoya-u.ac.jp

垂直磁気異方性を有する強磁性体と強誘電体からなる界面マルチフェロイクスは、磁気抵抗メモリ等のスピントロニクスデバイスの高密度化、低消費電力化に適しており、近年注目を集めている。[Cu/Ni]多層膜では、Cu と Ni の格子不整合による界面引張歪みによって垂直磁気異方性が発現し、これまでに、[Cu/Ni]多層膜/BaTiO₃(001)ヘテロ構造において、電界印加による磁気異方性の面直から面内へのスイッチング動作が報告されている[1]。今回我々は、大きな圧電定数を有するPb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃(PMN-PT)(011)基板上への[Cu/Ni]多層膜のエピタキシャル成長と垂直磁気異方性の電界効果について調査したので報告する。

膜厚 9 nm の Cu、膜厚 2 nm の Ni、積層回数 8 回の[Cu/Ni]₈多層膜を分子線エピタキシー法により PMN-PT(011)上に成膜した。作製した試料は、Cu 層と Ni 層ともに(022)方向にエピタキシャル成長していることが確認された。試料振動型磁力計を用いた[Cu/Ni]₈多層膜/PMN-PT(011)の磁化測定の結果を Fig. 1 に示す。面直方向が磁化容易軸であり、垂直磁気異方性を有することが確認される。同一の[Cu/Ni]₈多層膜/PMN-PT(011)に対して、磁気光学 Kerr 効果による垂直磁気異方性の電界効果を評価した結果を Fig. 2 に示す。電界印加によって[Cu/Ni]多層膜の垂直磁気異方性の減少が確認される。この結果は、PMN-PT 基板の歪みによって Ni 層の引張歪みが緩和されたことによるものであると考えられる。当日は[Cu/Ni]多層膜の電界効果についてより詳細に議論する。

本研究の一部は、JST CREST JPMJCR18J1, JST FOREST JPMJFR212V, JSPS 科研費 JP24H00380, JP24K21732, JP23KK0086, JP21H04614 の支援を受けたものです。

[1] Y. Shirahata, T. Taniyama et al., NPG Asia Mater. **7**, e198 (2015).

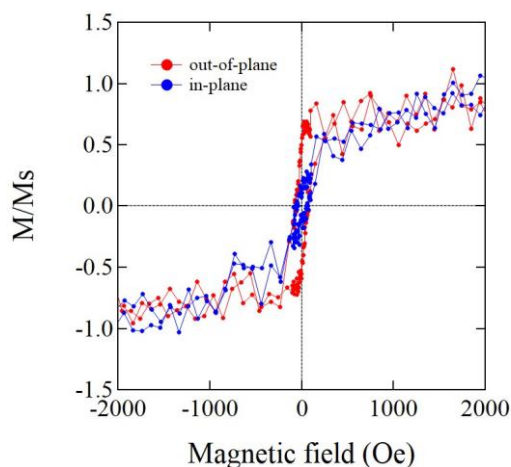


Fig. 1 In-plane and out-of-plane magnetization curves.

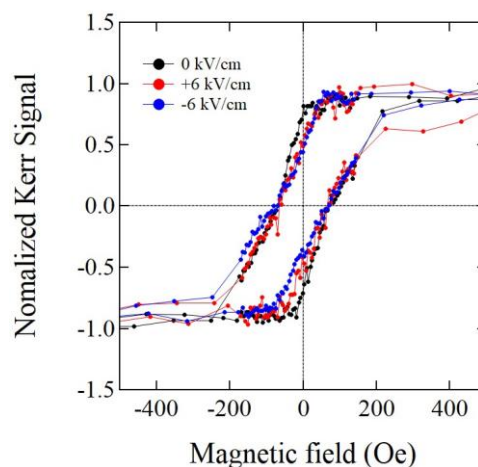


Fig. 2 Electric field effect on out-of-plane magnetization curves.

電子-正孔散乱による運動量緩和下におけるスピン輸送の解析方法

Analysis method of spin transport subjected to the momentum relaxation due to Baber-type electron-hole scattering

○酒井 政道¹, 鯉沼 将大², 長谷川 繁彦³,埼玉大院理工¹, 栃木県産業技術センター², 阪大産研³○M. Sakai¹, Y. Koinuma², S. Hasegawa³Saitama Univ.¹, ITC of Tochigi Pref.², Osaka Univ.³

E-mail: sakai@fms.saitama-u.ac.jp

緒言 補償金属や半金属に代表される縮退したアンビポーラ性伝導体では、フェルミ気体モデルでは説明できない現象が電荷輸送や熱輸送にしばしば観測され、電子-正孔散乱（以下 Baber 散乱）によって説明されている[1-4]。最近では、補償金属 YH₂において、約 40 μm と云うグラフェン並みの室温スピン拡散長が報告された[5, 6]。本研究では、Baber 散乱による運動量緩和がスピン輸送に与える影響を解析的に扱う手法を開発している。

方法 平行スピンのキャリア同士の衝突に限定する。計算は Boltzmann 輸送方程式にもとづく。Baber 散乱による衝突項のため、複雑な連立積分方程式となり、スピン輸送の解析計算が困難である。本手法では、Baber 衝突項を電子と正孔（正確には正孔バンドに属する電子）の 2 種類の分布関数から構成する緩和近似モデルを使う。モデルの設定では、Baber 衝突項の波数積分量が電子と正孔（正孔バンドに属する電子）の入替えに対して不変と云う性質に整合させた。緩和時間モデルの適性の評価は、変分法と運動学モデルによって計算された電気抵抗の表式[2]との比較による。

結果 上記方法によって、次の連立ドリフト-拡散方程式が導出された：

$$-\frac{1}{e}\sigma_v^{(1)}\nabla^2\phi + D_v^{(1)}\nabla^2n_v^{(1)} + \text{div}\mathbf{j}_v^{(1)} - \Theta_1\text{div}\mathbf{j}_v^{(2)} = 0 \quad (v=\uparrow,\downarrow),$$

$$\frac{1}{e}\sigma_v^{(2)}\nabla^2\phi + D_v^{(2)}\nabla^2n_v^{(1)} + \Theta_2\text{div}\mathbf{j}_v^{(1)} - \text{div}\mathbf{j}_v^{(2)} = 0 \quad (v=\uparrow,\downarrow),$$

ここで e は素電荷、 $n_v^{(i)}$ と $\mathbf{j}_v^{(i)}$ はそれぞれスピンに依存したキャリア ($i=1$: 電子、 $i=2$: 正孔) の数密度および粒子流密度、 ϕ はポアソン方程式を満たすスカラーポテンシャル、 $\sigma_v^{(i)}$ と $D_v^{(i)}$ はそれぞれ各キャリアの電気伝導度および拡散係数であり、Baber 散乱をはじめそれ以外の運動量緩和機構を含めることができる。 Θ_1 と Θ_2 は、運動量緩和が Baber 散乱だけの場合は 1 であり、それ以外の機構があると 1 からずれる無次元量である ($|\Theta_1| \leq 1$ 、 $|\Theta_2| \geq 1$)。 $\text{div}\mathbf{j}_v^{(i)}$ は、各キャリアの Boltzmann 方程式を単純に波数で積分して得られる粒子数密度に関する連続条件から決まる量であり、ここに各種スピン緩和機構を緩和時間近似して代入する。上記方程式から、2 種類のスピンモードと 2 種類の電荷モードが得られ、特に $\Theta_1\Theta_2 \cong 1$ では、2 種類のスピンモードのうち、1 つは著しく大きな拡散長を示す。

[1] Baber W G 1937 *Proc. Royal Soc. London A* **158** 383

[2] Maldague P F and Kukkonen C A 1979 *Phys. Rev. B* **19** 6172

[3] Li S and Maslov D L 2018 *Phys. Rev. B* **98** 245134.

[4] Takahashi K et al 2023 *Phys. Rev. B* **107** 115158

[5] Sato K et al. 2023 *Phys. Scr.* **98** 045912.

[6] Yamazaki I et al 2025 *J. Phys.: Condens. Matter* **37** 065804

XMCD - PEEM による非磁性体に誘起される微小な磁気モーメントの 空間分布検出の試み

**Trial to detect spatial distribution of small magnetic moment induced in nonmagnetic
materials by XMCD-PEEM**

兵県大工¹, 兵県大高度研² ◦(B)福井 悠介¹, (B)井村 翔¹, (B)炭田 侑士¹, 大河内 拓雄²

Dep. Eng., U. Hyogo¹, LASTI, U. Hyogo²,

◦Yusuke Fukui¹, Tsukasa Imura¹, Yushi Sumida¹, Takuo Ohkochi²

E-mail: qdesign_10@icloud.com

近年の複数の材料からなる複雑な電子デバイスの開発において、元素選択的かつ空間分解的に電子物性を明らかにする手法が確立されることは重要な課題である。特にスピントロニクスデバイスでは非磁性原子を通しての磁気相互作用やスピン輸送が重要な役割を果たしている。

過去にCo/Cu多層膜におけるCuに誘起される磁気分極をX線磁気円二色性(XMCD)分光で検出した報告例¹⁾などがあるが、空間分布として可視化した例はこれまでのところほとんどない。

そこで、我々は非磁性体に誘起される微小な磁気モーメントをX線磁気円二色性光電子顕微鏡(XMCD-PEEM)によって空間分解的に検出する試みを行った。

へき開したNiO(001)上にFe(約5nm)/Ti(約3nm)(膜厚評価中)を成膜した試料を用いて、SPring-8のBL17SU軟X線ビームラインにて行った。

Fig.1にFe L_{2,3}吸収端およびTi L_{2,3}吸収端におけるX線吸収スペクトル(XAS)と、Fe L_{2,3}吸収端におけるXMCD-PEEM像を示す。そこでFig.1(b)のTi XASスペクトルからは不導体表面と金属Tiによる複数のピークが見られたが、Feに接しているであろう金属Ti由来のピークエネルギーにおいてXMCD-PEEMでの観察を試みた。

講演ではその結果とともに、我々が試みた他の磁性/非磁性接合系における結果なども報告する。

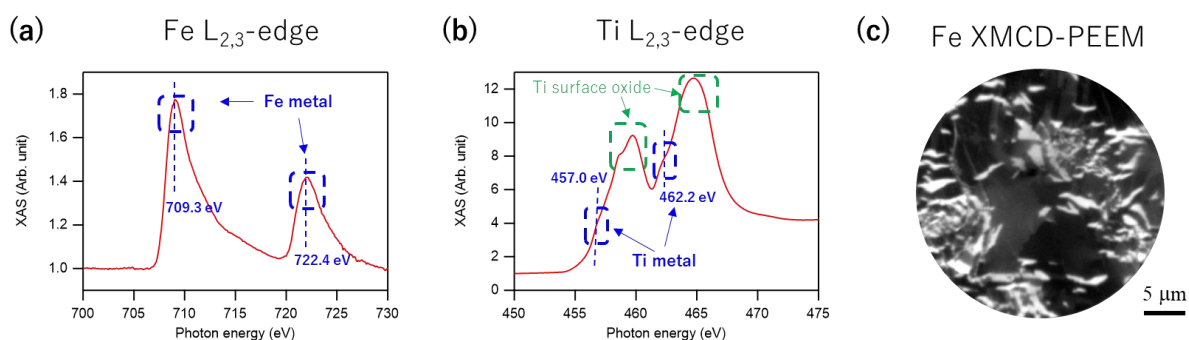


Fig. 1 XAS spectra at (a) Fe L_{2,3}- and (b) Ti L_{2,3} absorption edges. (c) XMCD-PEEM image at Fe L_{2,3}-edge.

参考文献 : [1] M. G. Samant *et al.*, Phys. Rev. Lett. **72**, 1112 (1994).

パルス電流による界面制御と磁気スキルミオン駆動観察

Observation of the motion of magnetic skyrmions with the interfacial improvement by a pulsed current

東北大 CSIS¹, アルバック協働研², 大阪大基礎工³, マックスプランク研⁴

○小泉 洸生¹, 石川 諒², 鈴木 義茂³, 廣畑 貴文^{1,4}

Tohoku Univ.¹, ULVAC, Inc.², Osaka Univ.³, Max Planck Inst.⁴

○Hiroki Koizumi¹, Ryo Ishikawa², Yoshishige Suzuki³, Atsufumi Hirohata^{1,4}

E-mail: hiroki.koizumi.d7@tohoku.ac.jp

磁気スキルミオンは磁壁に代わる情報担体としてメモリや演算回路としての幅広い応用が見込まれる^{1), 2)}。その直径は 10 nm 以下とすることができ、電氣的のみならず熱的にも駆動可能である³⁾。しかしながらその処理速度は磁気スキルミオン媒体における Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用 (DMI) に大きく依存するため、さらなる高速化に向けた媒体界面における DMI の制御が極めて重要となる。

そこで本研究では、MgO/Ta/CoFeB/Ta を媒体として超高真空スパッタにより成膜し、熱処理による規則化・界面平滑化に加えてパルス電流印加によるさらなる界面清浄化を行った⁴⁾。パルス電流は 0.5 mA で 25000 回印加し、磁気スキルミオン駆動には 0.1 mA の直流電流を用いた。駆動過程を磁気光学カー効果(MOKE)顕微鏡により動画撮影を行い(図 1 参照)、各スキルミオンの軌跡を 2 次元ベクトルとして解析することで界面清浄化による磁気スキルミオン駆動への影響について調査したので、これらの結果について報告する。

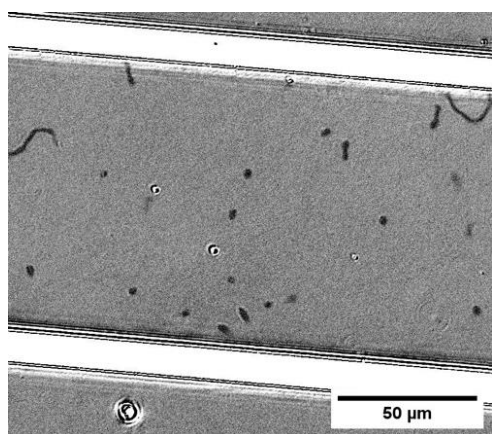


図 1 電流駆動用電極(上下の白色部分)間に生成された磁気スキルミオン。

参考文献

- 1) J. Iwasaki et al., Nat. Nanotech. **8**, 742 (2013).
- 2) J. Sampaio et al., Nat. Nanotech. **8**, 839 (2013).
- 3) Y. Nakatani et al., Sci. Rep. **9**, 13475 (2019);
ibid. **11**, 8415 (2021).
- 4) W. Frost et al., Sci. Rep. **11**, 17382 (2021).

謝辞

本研究は JSPS 科研費 22K21362 の助成を受けたものです。

鉄系カルコゲナイド磁性体 Fe_3GaTe_2 薄膜の相変化に伴う磁気応答特性

Magnetic Response to Phase Transition in Iron-Based Chalcogenide Fe_3GaTe_2 Thin Films

東京理科大学¹, メリーランド大学²

○(B)高嶋 幸作¹, 山崎 貴大¹, Chih-Yu Lee², Alexandre Lira Foggatto¹, Ichiro Takeuchi², 小嗣 真人¹

Tokyo University of Science¹, The University of Maryland², ○(B)Kosaku Takashima¹, Takahiro Yamazaki¹,

Chih- Yu Lee², Alexandre Lira Foggatto¹, Ichiro Takeuchi², Masato Kotsugi¹

Email: 8221053@ed.tus.ac.jp

近年、情報化社会の急速な進展により、大量のデータを効率的に収集・保存する次世代電子デバイスの開発が急務となっている。特に、外場刺激による相変化に伴い顕著な物性変化を示す相変化材料は、不揮発性メモリ素子として大きく注目を集めている^[1]。従来の相変化材料では、電気抵抗や光学的透過率の変化が情報記録担体として利用されてきたが、近年注目される Fe_3GeTe_2 や Fe_3GaTe_2 は、室温で強磁性と大きな垂直磁気異方性を示すことから、アモルファス-結晶相変化に伴う磁気特性の大幅な変化が期待される^[2]。これらの材料は、 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ に代表されるカルコゲナイド系相変化材料と類似した構成元素を有するため、室温付近（約 400 K）での相変化特性が期待される一方で、その相変化過程や磁気応答メカニズムは十分に解明されていない。本研究では、鉄系カルコゲナイド磁性体 Fe_3GaTe_2 に着目し、マグネトロンスパッタ法を用いて Fe-Ga-Te 薄膜を作製した。さらに、結晶およびアモルファス状態における構造解析と磁気特性評価を行い、相変化に伴う磁気応答の基礎特性の解明を目指した。

RF スパッタリング装置（Comet 社製）を用いて、Si 基板上に 100 nm の Fe-Ga-Te 薄膜と酸化防止膜として 2 nm-Ta 層を成膜した。これらの試料に対し、高温 X 線回折による in situ 測定を行った。また、熱処理なしおよび 250 °C 熱処理を施した試料について、SPRING-8 の BL25SU ビームラインに設置された磁気円二色性（MCD）装置を用い、Fe の L 吸収端における X 線吸収分光（XAS）スペクトルを室温で取得した。さらに、外部磁場を変化させながら Fe の $L_{2,3}$ 吸収端における XMCD 信号を記録することで Fe の元素選択的 M-H 曲線を測定した。

高温 XRD による in-situ 測定結果を Fig. 1 に示す。熱処理なしサンプル（30 °C）はアモルファス相を示していたが、200 °C 以上で結晶化が進行し、 $2\theta = 32^\circ, 33^\circ$ 付近にピークが現れたこと、 Fe_3GaTe_2 が形成されたと考えられる。さらに、Fig. 2 に示す M-H 曲線では、熱処理 250 °C 試料の Fe-MCD 強度が熱処理前と比較して増大し、明確なヒステリシスループが確認された。これらの結果から、Fe-Ga-Te 薄膜はアモルファス相から結晶相への相変化に伴い磁気特性が変化することが示された。

本研究では、アモルファス-結晶相間の磁気特性の違いを利用した相変化材料として Fe-Ga-Te 薄膜を提案し、その構造解析および磁気特性評価を行った。環境温度によりアモルファス相から結晶相への変化が観察され、特定の温度域で Fe_3GaTe_2 の形成が示唆された。また、相変化に伴い磁気特性の変化が確認され、新たな磁性相変化材料としての可能性が示された。

Ref. [1] W. D. Song et al. *Advanced Materials* **20**.12 (2008), [2] G. Zhang et al. *Nature Communications* **13**.1 (2022).

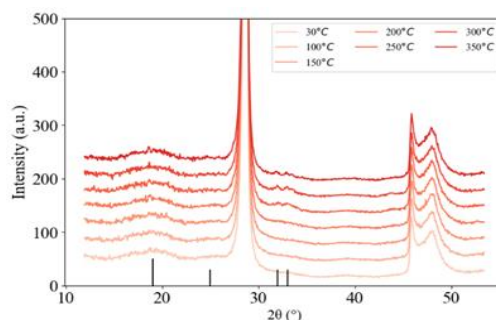


Fig. 1 Temperature-dependent in situ XRD of Fe-Ga-Te thin film.

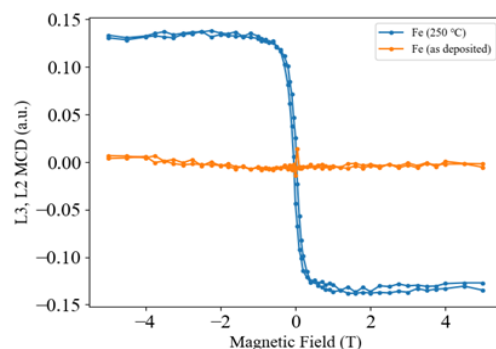


Fig. 2 Element-specific Fe $L_{2,3}$ -edge MH loop.

フェリ磁性体における磁化補償温度の水素誘起変調

Hydrogen-induced modulation of magnetization compensation temperature in ferrimagnets

阪大産研¹, JST さきがけ², 阪大 GSRN³, 阪大 OTRI⁴, 豊田工大⁵, 東北大 SRIS⁶

○小山 知弘^{1,2,3,4}, 辻 匠¹, 田辺 賢士⁵, 千葉 大地^{1,3,4,6}

SANKEN, Osaka Univ.¹, JST PRESTO², CSRN, Osaka Univ.³, OTRI, Osaka Univ.⁴ Toyota Tech.
Inst.⁵, SRIS, Tohoku Univ.⁶

○Tomohiro Koyama^{1,2,3,4}, Takumi Tsuji¹, Kenji Tanabe⁵, Daichi Chiba^{1,3,4,6}

E-mail: tkoyama@sanken.osaka-u.ac.jp

Rare earth(RE)-transition metal (TM) alloy ferrimagnets are attracted attention because they exhibit fast magnetization dynamics near the magnetization or angular momentum compensation temperature. On the other hand, bulk RE-TM alloys have long been studied as hydrogen storage materials [1]. The reason of this is that the RE elements are easily hydride. Therefore, it is expected that the magnetic properties of the RE-TM thin films are also modulated by hydrogenation and they are applied to new magnetic devices driven by hydrogen. In this study, we have investigated the hydrogen-induced modulation of magnetic properties in RE-Co (RE=Gd, Tb) alloy thin films.

Pt(2 nm)/RE-Co(5)/Pt(2) films were deposited on a Si substrate using sputtering and fabricated into Hall bar structure. The devices were exposed to pure H₂ gas with the pressure of 5.0×10⁴ Pa for 1h at room temperature. Figure 1 shows the results of measurements of the anomalous Hall effect (AHE) at 300 K for the Gd₄₈Co₅₂ device before and after H₂ exposure. The sign reversal of AHE, as well as the change in AHE magnitude, can be observed after the H₂ exposure. We have investigated temperature dependence of AHE and found that the magnetic compensation temperature of the Gd₄₈Co₅₂ thin film largely decreases along with the hydrogenation, resulting in the sign reversal of AHE. Since the observed H₂ effect in the single Gd film has been negligibly small, the modulation of Gd-Co coupling caused by the hydrogenation is expected to be the origin of the present results.

This work is supported by JSPS KAKENHI, the PRESTO from JST, X-NICS and the Spintronics Research Network of Japan.

[1] K. Buschow *et al.*, *J. Appl. Phys.* **49**, 1480 (1978).

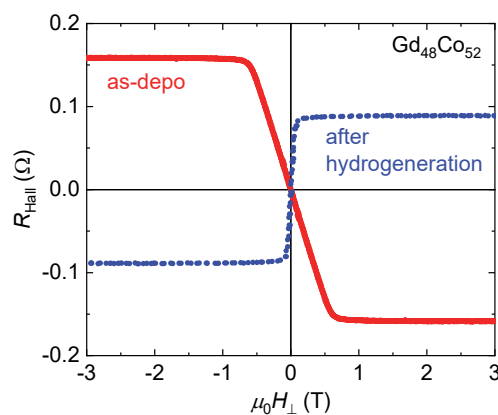


Figure 1: Results of the AHE measurement before and after H₂ exposure in Gd₄₈Co₅₂ Hall bar device.

準粒子自己無撞着 GW 計算の GPU 実装: 磁性形状記憶合金 Ni_2MnGa 変調マルテンサイト相への応用

GPU implementation of quasiparticle self-consistent GW calculations: Application to the modulated martensite phase of magnetic shape memory alloy Ni_2MnGa

金沢大自然¹, 鳥取大工², ^o小幡 正雄¹, 勝田 匠¹, 小谷 岳生², 小田 竜樹¹

Kanazawa Univ.¹, Tottori Univ.², ^oMasao Obata¹, Takumi Katsuta¹, Takao Kotani², Tatsuki Oda¹

E-mail: obata@cphys.s.kanazawa-u.ac.jp

Ni_2MnGa 合金はマルテンサイト変態を示す強磁性ホイスラー合金である。高温相である $L2_1$ 構造から、 $L1_0$ 構造のマルテンサイト相へマルテンサイト変態する際に原子スケールで(110)に垂直な方向に剪断した長周期構造(変調マルテンサイト相)が出現する。変調マルテンサイト相は巨大磁場誘起歪み(MFIS)が発生し、外部磁場誘起アクチュエータへの材料応用が期待されている。変調マルテンサイト相には、その周期により 10M(5 周期)構造や 14M(7 周期)構造があるが、このような変調マルテンサイト構造の電子状態や、その安定性機構は十分には理解されておらず、その理由の一つに通常の電子状態計算に使用される一般化勾配近似(GGA)では、Mn の電子局在効果が十分に考慮できないことがある[1]。そこで我々は、電子相関効果を高精度に取り入れられる第一原理計算手法である準粒子自己無撞着 GW (QSGW)法を用いて Ni_2MnGa の電子状態を調査した。高温相では QSGW による電子状態から 10M 構造に対応する 5 周期のフェルミ面ネスティングベクトルが存在するが、GGA で得られるネスティングベクトルは 2.5 周期に対応した[2,3]。

一方で 10M や 14M 構造の QSGW 計算は、その計算コストの高さにより、これまで実施が困難であった。そこで、QSGW 計算の主要部分の GPU 実装を QSGW 計算コード ecalj[4]に行った結果、1GPU ノード(4GPU)で 40CPU ノード程度の計算が可能となった。GPU を用いることで、10M および 14M 構造における QSGW 計算を実施したところ、GGA 計算ではフェルミ準位が状態密度の山の頂上近傍に表れるが、一方、QSGW 計算ではフェルミ準位近傍で、状態密度が小さくなる谷構造を形成した。このような谷構造は変調構造が電子状態を安定化させることを示唆し、GGA 計算では低温での安定構造とされる 10M 構造が準安定構造となることと整合する[1,5]。本講演では、QSGW 計算の GPU 実装方法及び得られた変調マルテンサイト構造の電子状態について紹介する。

参考文献

- [1] M. Zelený, P. Sedláč, O. Heczko, H. Seiner, P. Veřtát, M. Obata, T. Kotani, T. Oda, and L. Straka, *Mater. Design* **209**, 109917 (2021)
- [2] M. Obata, T. Kotani, T. Oda, *Phys. Rev. Matt.* **7**, 024413 (2023)
- [3] M. Obata, L. Straka, O. Heczko, T. Kotani, T. Oda, submitted to Proceedings of CCP2023
- [4] <https://github.com/tkotani/ecalj>
- [5] R. Majumder, M. Obata, C. Pardede, J. Lustinec, L. Kalvoda, T. Oda, accepted to Proceedings of CCP2023

Force Theorem 法を用いた磁気異方性の第一原理計算

First principles calculation of magnetic anisotropy using the Force Theorem

金沢大自然 [○](M1)勝田 匠, 小幡正雄, 小田竜樹

Kanazawa Univ. [○]Takumi Katsuta, Masao Obata, Tatsuki Oda

E-mail: katsutatakumi@stu.kanazawa-u.ac.jp

磁気異方性は、強磁性体の自発磁化が磁性体を形成する結晶の特定の軸方向に向きたがる性質のことをいう。磁性体における基本的物性もさることながら、デバイスへの応用上重要な性質である。近年の磁気記録技術の研究開発においては、磁性の熱安定性の担保と記録密度向上のために、垂直磁気異方性(PMA)を持つ垂直磁化膜が必要とされている。一方で、垂直磁化型記録層を用いた磁気記録メディアにおける、スパイクノイズ等の課題解決のために面内磁気異方性(IMA)を持つ軟磁性体基板の重要性を示唆する研究[1]もあり、多種多様な磁性材料デザインに向けて、第一原理計算を用いた理論研究もこれまでに数多くなされてきた。

磁気異方性エネルギー(MAE)の理論計算では、スピン軌道相互作用(SOC)を起源とする結晶磁気異方性エネルギー(MCAE)と、磁性体のスピン密度形状が磁気双極子相互作用を誘起させることで磁化容易方向を与える形状磁気異方性エネルギー(SMAE)[2]の和として計算される。MCAE の理論解析では、スピン密度汎関数法に基づく自己無撞着計算で得られた電子密度を固定し、Kohn-Sham 方程式を解くことで得られた固有値から MCAE を見積もる Force Theorem(FT)法[3]が汎用的に用いられてきた。この方法を用いることで、MCAE の各原子サイトからの寄与や \mathbf{k} 空間分解など多くの情報を得ることができ、磁性材料デザインのための有用な手法となる。3d 電子が主に磁性を担う、Co/Ni 多層薄膜[4]や Cr/Fe/MgO 界面の電界効果[5]における第一原理的解析で成功を収めてきた。しかしながら、白金(Pt)などを含み、大きな SOC を持つ系において、全エネルギー計算法(TE 法)との差が大きく FT 法の MCAE 計算精度が悪いことが問題点であった。原因としては、大きな SOC による電子密度変調を与える固有値の不正確性が挙げられる。

そこで本研究では、電子に働くポテンシャルを相対論が考慮された自己無撞着計算で作成し、方向による平均を取った電子ポテンシャルで MCAE を見積もる新しい計算手法を開発した。新手法を用いることで、大きな SOC を持つ系においても TE 法とほぼ同じ MCAE が得られ、FT 法の利点を活かした MAE の解析が可能となった。本講演では、5つの遷移金属(TM)強磁性合金薄膜系 TM/Fe/TM (5ML)[TM = Pt, Pd, Au, Ni, Ir] における磁気異方性の計算結果について議論する。

[1] A. Hashimoto *et al.*, Journal of Applied Physics, **99** (2006) 8

[2] T. Oda and M. Obata, Journal of the Physical Society of Japan, **87** (2018) 6

[3] X. Wang *et al.*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, **159** (1996) 337

[4] I. Pardede *et al.*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, **500** (2020) 166357

[5] I. Pardede *et al.*, Crystals, **10** (2020) 1118

第一原理計算による電界誘起界面軌道変調の角度依存 XMCD 解析

Angle-dependent XMCD analysis of electric-field-driven orbital modification at interfaces by first principles calculations

三重大院工¹, 物材機構² (M1)高井 陸斗¹, 名和 憲嗣^{1,2}, 中村 浩次¹

Mie Univ.¹, NIMS² Rikuto Takai¹, Kenji Nawa^{1,2}, Kohji Nakamura¹

E-mail: 424M222@m.mie-u.ac.jp

超薄膜磁性体界面への電界印加は界面電荷の蓄積・欠乏や電界誘起による界面軌道変調を供するものと考えられ、これは、例えば、角度依存 X 線磁気円二色性 (XMCD) 実験においても示唆されてきた[1]。理論的な観点からも、角度依存 XMCD スペクトルの電界依存性の理解が望まれている。この背景のもと、我々は角度依存 XMCD の第一原理計算手法開発を進め、[2]本報告では電界下における Co/Pt (111)と Fe/MgO(001)に適用した結果を報告する。計算には全電子フルポテンシャル線形化補強平面波(FLAPW)法[3]を用い、X 線入射線方向と磁化方向を界面に対して垂直方向 ($\theta = 0^\circ$) 及び面内方向 ($\theta = 90^\circ$) に変化させて L_2 及び L_3 端の XMCD スペクトルの角度依存性を求めた。計算の結果、Co/Pt の界面 Co において、 L_2 と L_3 端とも $\theta = 0^\circ$ で正電界におけるピーク高さ ($|I_{XMCD}|$) が負電界のものよりも高くなる一方、 $\theta = 90^\circ$ では正電界におけるピーク高さ ($|I_{XMCD}|$) が負電界のものよりも低くなり、電界印加によるピーク高さの変化量が $\theta = 0^\circ$ の場合と比べて小さくなる傾向が確認できた。また、それぞれの角度 θ において、 L_2 と L_3 端のピーク高さの比が電界にはほぼ依存しないことも確認できた。定性的ではあるが、これらの結果は実験の傾向を再現するに至っている。総和則から、前者は Co 磁気ダイポールモーメントが電界に依存すること、後者は Co 軌道磁気モーメントが電界には依存しないことが示唆される。Fe/MgO の界面 Fe においても前述の界面 Co の結果と同様の傾向にあった。これらの計算結果に基づき、発表では、角度依存 XMCD スペクトルに対する価電子軌道(終状態)の磁気量子数依存性や、角度依存 XMCD スペクトルの観点からみた電界誘起界面軌道変調の機構について考察する。

[1] K. T. Yamada, *et al.*, Phys. Rev. B **102**, 100407(R) (2020)

[2] H. Nomachi, *et al.*, The 71th JSAP Spring Meeting, 25a-P01-7, Tokyo, Mar. 2024.

[3] K. Nakamura, *et al.*, Phys. Rev. B **67**, 014420 (2003)

Bending characteristics of emergent magneto-inductance effect in flexible magnetic thin films

°Tsunagu Hatakeyama¹, Zijing Zhang¹, Mizuki Matsuzaka¹, Riko Iimori¹,

Yu Matsushima¹ and Hideo Kaiju^{1,2}

¹Keio Univ. and ²CSRN, Keio Univ.

E-mail: htkym.279@keio.jp

Flexible magnetic sensors have attracted much attention for various device applications. It has been reported that the magnetic properties such as magnetic anisotropy and magnetoresistance can change in magnetic thin films by bending [1]. A concept of emergent magneto-inductance (EML) has also attracted attention as a new principle for detecting magnetic fields with high sensitivity. The EML effect is a phenomenon that the inductance changes with magnetic field, originating from the spin electromotive force (SMF) generated from non-collinear spin dynamics [2]. Recently, the magnetic domain wall (DW) motion has been modulated in permalloy (Py) thin films on polycarbonate (PC) substrates by a stepwise magnetic field, leading to the observation of a novel EML effect at room temperature [3]. In this study, we investigate the bending characteristics of EML effect in Py/PC at room temperature.

Fig. 1 shows the schematic of sample structures and measurement setup. Au electrodes were patterned onto both sides of PC substrates using magnetron sputtering. Then, Py thin films (45 nm thickness) were deposited on Au electrodes and PC substrates using thermal evaporation. The atomic ratio of Py is Ni₈₄Fe₁₆. To induce the magnetic anisotropy in Py thin films, an external magnetic field was applied in the transverse direction of Py thin films during the evaporation. The EML curves were measured by AC two-probe method with a 4 Oe stepwise magnetic field. The magnetic field was applied up to ± 100 Oe and the AC measurement frequency was 4–48 kHz. As shown in Fig. 1, when Py/PC is bent in the positive direction of the z-axis, the strain ε is defined as positive.

Fig. 2 shows the magnetization curves under convex bending for Py/PC. The anisotropic field H_k decreases from 6.8 to 2.7 Oe with increasing the strain ε from 0% to 0.399%. The anisotropic field reduction can be explained by the inverse magnetostrictive effect. Fig. 3 shows the strain dependence of emergent inductance ΔL . The ΔL increases from 983 to 1429 nH with increasing ε from 0% to 0.24%, and then it decreases to 809 nH with increasing ε to 0.399% at 4 kHz. The enhancement of ΔL is attributed to the increase of the number of DWs, which is caused by the anisotropic field reduction under convex bending. The decrease of ΔL is due to the decrease of the number of DWs as a result of the rotation of magnetic easy axis to the longitudinal direction (y-axis). Thus, the bending dependence of EML can be explained by SMF from the transient DW motion and inverse magnetostrictive effect. Our study may benefit the EML research and flexible magnetic sensing.

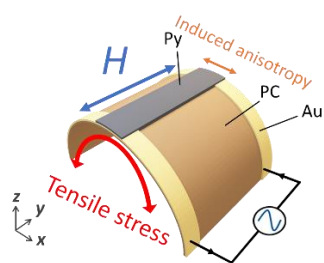


Fig. 1 Schematic of Py/PC.

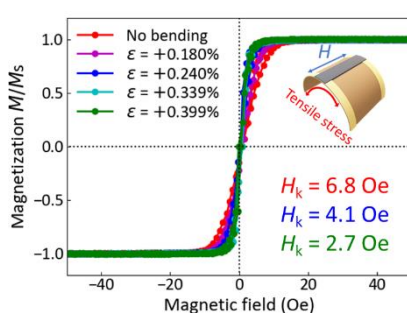


Fig. 2 Magnetization curves of Py/PC under convex bending.

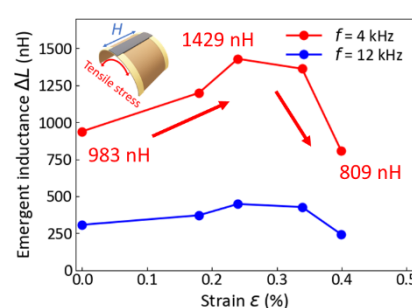


Fig. 3 Strain dependence of EML under convex bending.

[1] Y. Ohashi, Y. Matsushima, and H. Kaiju: *J. Magn. Magn. Mater.* **570**, 170497 (2023).

[2] T. Yokouchi *et al.*: *Nature* **586**, 232 (2020).

[3] Y. Matsushima *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **124**, 022404 (2024).

Bending characteristics of anisotropic magnetoresistance in permalloy thin films on ultra-smooth polyimide substrates

°Riko Iimori¹, Zijing Zhang¹, Tsunagu Hatakeyama¹, Mizuki Matsuzaka¹ and Hideo Kaiju^{1,2}

¹Keio Univ. and ²CSRN, Keio Univ.

E-mail: riko2248iimori@keio.jp

Flexible magnetic sensors have attracted much attention for various device applications due to the advantages of lightweight nature, excellent durability, and compatibility to curved surfaces^[1]. Recent studies have demonstrated the modulation in magnetic properties on magnetic thin films by bending^[2,3]. The anisotropic magnetoresistance (AMR) effect has also been investigated in magnetic thin films on various organic substrates such as polyethylene naphthalate (PEN) and polycarbonate (PC)^[3]. In this study, we focus on ultra-smooth polyimide (us-PI) substrates (XENOMAX®; TOYOBO Co., Ltd.) as flexible substrates. The us-PI, with a surface roughness of less than 0.5 nm, is beneficial to form single magnetic domain structures when applied as the substrate for magnetic thin films. The us-PI substrates also provide a high thermal and mechanical durability. Therefore, magnetic thin films on us-PI substrates are expected to show high AMR ratio, and it could be suitable for flexible magnetic sensors. In this study, we fabricate permalloy (Py) thin films on us-PI flexible substrates and investigate surface morphologies and magnetic/electrical properties, including the bending characteristics of AMR effect.

Py thin films were thermally evaporated on us-PI substrates with in-plane magnetic field in a high vacuum chamber. Au thin films electrodes were deposited on both ends of Py/us-PI by magnetron sputtering. The dimensions of us-PI substrates are 9 mm in length, 2 mm in width, and 38.6 μm in thickness. The atomic ratio of Py is $\text{Ni}_x\text{Fe}_{100-x}$ ($x = 83\text{--}85$). The surface morphology of Py/us-PI thin films was analyzed by atomic force microscopy (AFM). The AMR curves were measured by DC four-probe method. The magnetic properties were investigated by using a focused magneto-optical Kerr effect (MOKE) magnetometer.

Fig. 1 shows the surface AFM image of Py/us-PI. The surface roughness is small at 0.44 nm, which indicates the formation of an ultra-smooth surface of Py/us-PI. Fig. 2 demonstrates the AMR curves of Py/us-PI. The AMR ratio improves with increasing Py thickness d , and it exhibits a high AMR ratio of 0.72% for $d = 83$ nm. Fig. 3 shows the strain dependence of AMR ratio in Py/us-PI. The AMR ratios of both samples decrease with increasing the strain in convex shape, whereas it increases or shows almost the same value with increasing the strain in concave shape. The change in AMR ratio can be attributed to the inverse magnetostrictive effect, in which the easy-axis direction of magnetization rotates by bending. The modulation of AMR ratio is consistent with magnetization curves obtained by MOKE measurements.

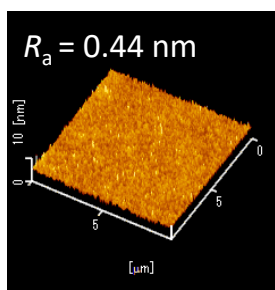


Fig. 1 AFM image of Py/us-PI.

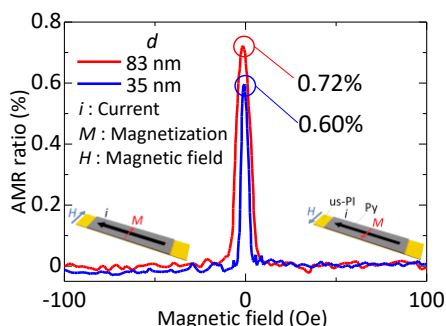


Fig. 2 AMR curves of Py/us-PI.

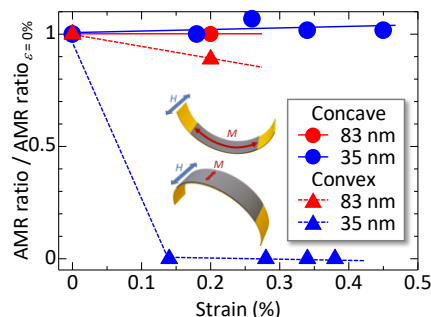


Fig. 3 Strain dependence of AMR ratio.

[1] D. Makarov *et al.*, Appl. Phys. **3**, 011101 (2016).

[2] Z. Wang *et al.*, Adv. Mater. **28**, 9370 (2016).

[3] Y. Ohashi, Y. Matsushima, and H. Kaiju, J. Magn. Magn. Mater. **570**, 170497 (2023).

Emergent magneto-inductance effect in Au/NiFe thin films on flexible substrates at room temperature

°Zijing Zhang¹, Tsunagu Hatakeyama¹, Mizuki Matsuzaka¹, Riko Iimori¹,

Yu Matsushima¹, and Hideo Kaiju^{1,2}

¹ Keio Univ. and ² CSRN, Keio Univ.

E-mail: zijing.zhang@keio.jp

Emergent inductance, a quantum phenomenon in spintronics arising from the interaction between spin dynamics and charge transport in magnetic materials, has garnered significant attention due to its unique properties. The concept is developed and practically achieved based on theoretical studies on Berry phase dynamics and emergent electromagnetic fields induced by current driven motion of non-collinear spin structures [1–4]. Unlike classical inductance, the magnitude depends inversely on the cross-sectional area of devices, which inspires the advancements in the inductor miniaturization and flexible magnetic sensors for spintronic applications [2–6]. In this study, we present an emergent magneto-inductance (EML) effect in Au/NiFe thin films on flexible ultra-smooth Polyimide (us-PI) substrates (XENOMAX®; TOYOBO Co., Ltd.), demonstrating a large inductance variation under a small magnetic field.

Au and Ni₈₁Fe₁₉ (permalloy, Py) thin films were sequentially deposited onto us-PI substrates using thermal evaporation under a base pressure below 2×10^{-5} Pa. During deposition, a magnetic field of 360 Oe was applied along the transverse direction (y-axis, as illustrated in Fig. 1) to induce magnetic anisotropy in Py layer. The EML effect was investigated across various frequencies through AC 2-probe measurement, using an LCR meter with an external magnetic field of up to ± 250 Oe.

The EML result presented in Fig. 2 reveals a clear inductance variation in the Au/Py/us-PI under the magnetic fields below 10 Oe at room temperature. The magnitude of EML variation, ΔL , in Au/Py/us-PI reaches 809 nH when the thickness of Au/Py is 48 nm and the film width is 1.5 mm. As shown in Fig. 3, the ΔL exhibits a clear increase with decreasing the film width, which is consistent with our previous study [5,6]. The EML effect is attributed to the spin motive force which results from the transient domain-wall motion driven by an AC current under a stepwise external magnetic field. Our study may offer the potential for the research of unconventional inductors and the integration of planar inductors into micro-devices in spin electronics.

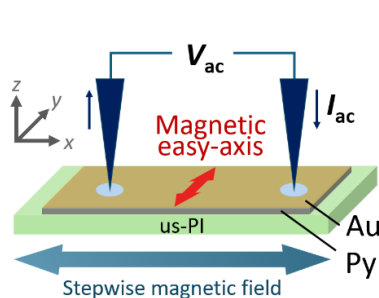


Fig. 1 Schematic illustration of the EML measurement.

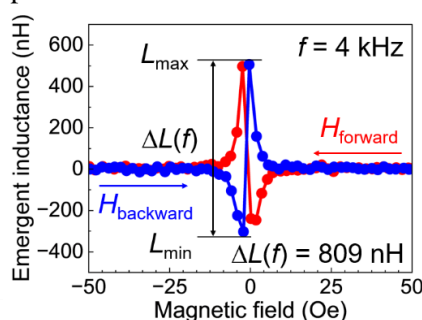


Fig. 2 EML curves of Au/Py/us-PI at 4 kHz.

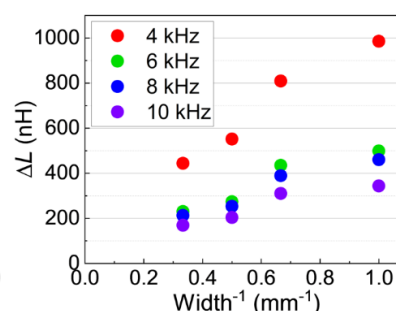


Fig. 3 Film width dependence of EML in Au/Py/us-PI.

- [1] N. Nagaosa, *Jpn. J. Appl. Phys.* **58**, 120909 (2019).
- [2] T. Yokouchi et al., *Nature* **586**, 232 (2020).
- [3] A. Kitaori et al., *PNAS*. **118**, e2105422118 (2021).
- [4] J. Ieda et al., *Phys. Rev. B* **103**, L100402 (2021).
- [5] Y. Matsushima et al., *Appl. Phys. Lett.* **124**, 022404 (2024).
- [6] Z. Zhang et al., *J. Magn. Magn. Mater.* **610**, 172500 (2024).

変形自由層を有する磁気渦スピントルク発振器を用いた物理リザーバーの数値解析

Numerical analysis of physical reservoir by utilizing vortex spin torque oscillator with modified free layer

○堀住 耕太¹, 千葉 貴裕^{2,3}, 小峰 啓史¹ (1. 茨城大院, 2. 東北大工, 3. 東北大学際研)

○Kota Horizumi¹, Takahiro Chiba^{2,3}, and Takashi Komine¹

(1. Ibaraki Univ., 2. Tohoku Univ., 3. FRIS)

E-mail: 24nd253n@vc.ibaraki.ac.jp

スピントロニクスデバイスはリカレントニューラルネットワークを物理系で行う物理リザーバーを実現する候補として注目されている [1]. 物理リザーバーはダイナミクスが周期的になるパラメータ領域と非周期的 (カオス) になるパラメータ領域の境界付近 (カオスの縁) で学習性能が向上すると報告がある [2]. 通常の磁気渦スピントルク発振器 (VSTO) に直流電流と, 入力信号としてランダム磁場を加えた場合においてはカオスの縁で学習性能の向上は確認されなかった [3]. 一方, 我々は自由層に追加層を加えた変形自由層を有する VSTO において交流磁場印加に対して従来の VSTO では見られないカオスの縁が現れることを見出し [4], 学習性能の向上が期待される. 本研究では, 変形自由層を持つ VSTO において, カオスの縁で学習性能が向上するか数値計算により調べた.

図 1(a) のように変形自由層を持つ VSTO を直流電流により発振させ, 入力信号として図 1(b) のようなランダム磁場 $\mathbf{H} = (h_x r(t), 0, 0)$ を印加した. ここで h_x は入力信号の強さ, $r(t)$ は $[-1, 1]$ を値域とする一様乱数である. このとき, 磁気渦コアの運動は次の Thiele 方程式で記述される [3–5].

$$-\mathbf{G} \times \dot{\mathbf{X}} - D(s)\dot{\mathbf{X}} - \frac{\partial W}{\partial \mathbf{X}} + a_J J p_z \mathbf{e}_z \times \mathbf{X} + c a_J J R_0 p_x \mathbf{e}_x + c \mu^* \mathbf{e}_z \times \mathbf{H} = \mathbf{0}$$

ここで, \mathbf{X} は磁気渦コアの位置, $s = |\mathbf{X}|$ は原点からの距離, R_0 は磁気渦コアの半径, \mathbf{G} はジャイロベクトル, $D(s)$ は非線形効果を含むダンピング係数, $W(s)$ はポテンシャル関数, a_J はスピントルクの強さ, J は電流密度, $\mathbf{p} = (p_x, 0, p_z)$ は参照層の磁化ベクトルの向き, c は磁気渦のカイラリティ, μ^* は外部磁場の係数である. 自由層は半径 187.5 nm, 厚さ 5 nm, 追加層は半径 20 nm, 及び 40 nm, 厚さ 5/3 nm とした.

図 2 は追加層がない場合と追加層の半径が 20 nm, 40 nm の場合に直流電流 1 mA を印加し, 入力信号であるランダム磁場の大きさ h_x を 0–16 Oe まで変え, リャプノフ指数をプロットしたものである. リャプノフ指数はその符号がカオスの場合に正, カオスでない場合に負になる指数である. 図 2 より, 追加層がある場合のみリャプノフ指数が正の領域が存在し, カオスの縁が確認できる. さらに, 低磁場領域でリャプノフ指数が正になることが分かる. 講演では, 変形自由層を持つ VSTO の学習性能と入力信号との関係についても論じる.

【謝辞】本研究の一部は, 科学研究費補助金 (基盤研究 (S), 基盤研究 (B), 若手研究) の支援により行なわれました. ここに深謝致します.

[1] S. Tsunegi, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **114**, 164101, (2019).

[2] J. Boedecker, *et al.*, *Theory Biosci.*, **131**, 205, (2012).

[3] Y. Imai, *et al.*, *Sci. Rep.*, **12**, 21651, (2022). [4] K. Horizumi, *et al.*, *J. Magn. Soc. Jpn.*, in review.

[5] A. Thiele, *Phys. Rev. Lett.*, **30**, 230, (1973).

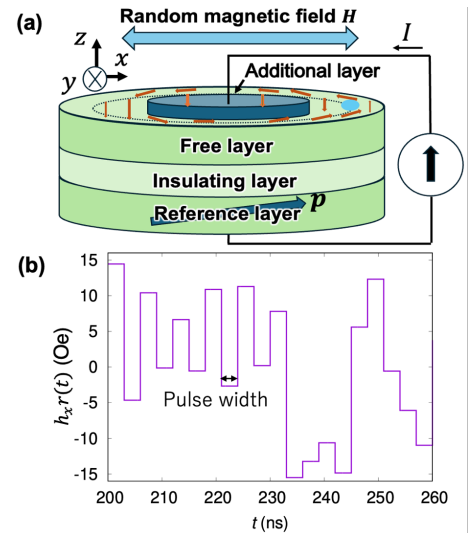


Fig.1 (a) Schematic image of VSTO with modified free layer. (b) Random magnetic field with a pulse width of 3 ns and the input signal strength h_x of 16 Oe.

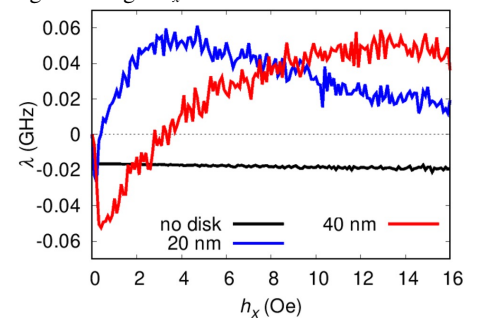


Fig.2 Dependence of Lyapunov exponent λ on the input signal strength h_x for VSTO: without additional layer and with 20 nm or 40 nm radius additional layer.

Control of the emergent magnetization process in artificial spin iceAIST¹, Osaka Univ.², CSRN-Osaka³, Tohoku Univ. SRIS⁴, Hyogo Prefecture Univ.⁵°H. Kubota¹, S. Tsunegi¹, K. Yakushiji¹, T. Taniguchi¹, S. Tamaru¹, T. Yamamoto¹, A. Sugihara¹,
T. Wakabayashi², R. Matsuura², H. Nomura^{2,3,4}, T. Isokawa⁵, Y. Suzuki^{1,2,3}

E-mail: hit-kubota@aist.go.jp

In artificial spin ice (ASI)^{1,2)}, nano-sized magnetic cells were arranged closely in, for example, square lattices or honeycomb lattices. The cells were magnetically coupled, causing collective magnetization processes such as emergent monopoles and Dirac strings that do not occur when the cells were magnetically isolated. Recently, research on the application of the emergent magnetization process of ASI to devices has attracted attention.^{3,4,5)} We have experimentally fabricated ASI samples based on magnetic tunnel junction (MTJ) array and observed the magnetization process of individual cells by tunnel magnetoresistance effect. This method is suitable for device implementation because the magnetization process can be detected electrically. In many previous experiments, the emergent monopoles and Dirac strings were observed spectroscopically in the process of sweeping magnetic fields in one direction. Toward device implementation, it is essential to develop a method to control the emergent magnetization process.

In this study, MTJ thin films with a magnetic free layer of 15-nm-thick FeB was patterned into a stadium-shaped cell with a width of 150 nm and a length of 800 nm, and a honeycomb ASI consisting of a total of 72 cells was formed by changing the lattice constant a in the range of 0.98 μm to 2 μm . The honeycomb lattice consists of three kinds of cells, one of which the longitudinal direction of the cell is parallel to the x direction, and the other two are tilted $\pm 60^\circ$ with respect to the x direction. By comparing minor loops measured after saturating the FeB magnetizations to $-x$ or $+x$, the magnitude of the magnetic coupling between two adjacent cells was evaluated. The magnitude increased with decreasing a , which was about 2 mT at $a = 0.98 \mu\text{m}$. After saturating the ASI ($a = 0.98 \mu\text{m}$) in the $-x$ direction, the magnetic field of the same magnitude was applied alternately multiple times at two angles 0° and 60° , and then the magnetic field strength was gradually increased. In this sequence the magnetization of the neighboring cells was reversed one by one. This corresponds to the extension of the Dirac string one by one, which means that the movement of the monopole or extension of Dirac string can be controlled.

This research and development work was partly supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP20H05655 and ARIM of MEXT Grant Number JPMXP 1224AT0126 and JPMXP1223AT0091.

1) R. F. Wang, et al., Nature 439, 303 (2006). 2) S. H. Skjærvø, et al., Nat. Rev. Phys. 2, 13 (2020). 3) J. H. Jensen, et al., Proc. The 2018 Conf. Artificial Life, 15 (2018). 4) K. Hon, et al., APEX 14, 033001 (2021). 5) J. C. Gartside, et al., Nat Nanotechnol. 17, 460 (2022).

積層反強磁性体における非線形磁化ダイナミクスとリザーバー計算 Nonlinear Magnetization Dynamics and Physical Reservoir Computing using Synthetic Antiferromagnets

名古屋大工¹ ○(B)新海拓夢¹, 飯浜賢志¹, 林兼輔¹, 森山貴広¹

Nagoya Univ.¹, Takumu Shinkai¹, Satoshi Iihama¹, Kensuke Hayashi¹, Takahiro Moriyama¹

E-mail: shinkai.takumu.b6@s.mail.nagoya-u.ac.jp

Artificial intelligence (AI) using neural networks has become an indispensable part in modern society. However, these AIs use a large number of conventional CPUs and GPUs, leading to huge energy consumption. In this respect, physical implementation of neural networks such as physical reservoir computing (PRC) has attracted much attention. The PRC based on non-local magnetization dynamics, i.e. spin-wave, is promising towards high-performance reservoir computing at nano-scale with low energy consumption [1]. Synthetic antiferromagnets (SAF), where ferromagnetic layers coupled antiferromagnetically separated by a nonmagnetic layer, have complicated magnetization dynamics and rich physics, which are essential properties for PRC. In this study, we investigated nonlinear and complicated non-local magnetization dynamics in SAF based on micromagnetic simulation.

Mumax³ was used to perform micromagnetic simulations. Figure 1(a) shows a schematic illustration of the setup used in this study. Physical nodes were arranged in a lattice pattern on the SAF and a current-induced spin-transfer torque was applied on the top ferromagnetic layer to excite spin-waves. Figure 1(b) shows the heatmap of maximum signals of fast Fourier transform (FFT) spectra of magnetization dynamics plotted against the out-of-plane magnetic field and the current density. Spin-torque auto-oscillation in SAF was observed at the red region. We will discuss the nonlinear current-induced magnetization dynamics in SAF and their performance for PRC.

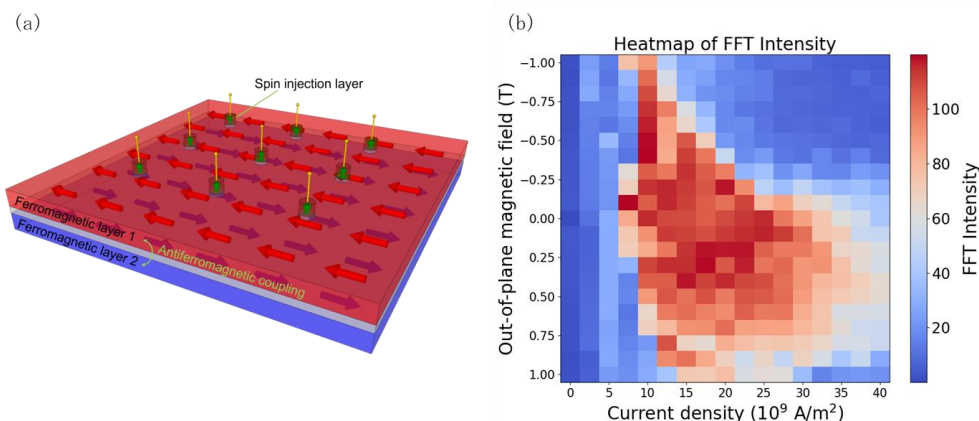


Figure 1 (a) Schematic illustration of the setup for current-induced magnetization dynamics in SAF, (b) Heat map of the FFT intensity of magnetization dynamics against the out-of-plane magnetic field and the current density.

Reference: [1] Iihama *et al.*, npj Spintronics 2, 5 (2024).

Co/Ru/Co 構造の層間結合に依存した強磁性共鳴線幅の非線形性

Nonlinear FMR linewidth broadening due to interlayer coupling in Co/Ru/Co structures

名大理 ○(D)久田 優一, 小森 祥央, 谷山 智康

Nagoya Univ., °Yuichi Hisada, Sachio Komori, Tomoyasu Taniyama

E-mail: hisada.yuichi.t1@s.mail.nagoya-u.ac.jp

二つの強磁性層間に非磁性層を媒介した反強磁性層間磁気結合 (IEC) がはたらく人工反強磁性体 (SAF) では、磁化の歳差運動が互いに逆位相である光学モード (OM) -強磁性共鳴 (FMR) と同位相の音響モード (AM) -FMR が生じ、特に OM-FMR はその高周波特性から高周波スピントロニクスデバイスへの応用が期待されている[1]。一方で、SAF の IEC 強度が磁化ダイナミクスに与える影響の詳細については、その理解は進んでいない。本研究では、Co/Ru/Co SAF において、FMR 吸収線幅 (ΔH) の共鳴周波数 (f_{res}) 依存性が、OM でのみ非線形性を示し、さらにそれが IEC 強度に依存する特異な現象を見出したので報告する。

Ru (3 nm) / Co (12 nm) / Ru (t_{Ru}) / Co (9 nm) / Ru (20 nm) を Nb-doped SrTiO₃(110) 基板上に分子線エピタキシー法により作製した[Fig. 1 (a)]. 各 t_{Ru} の試料で FMR 測定を行い、 ΔH の f_{res} 依存性を調査した。Figure 1 (b), (c) に反強磁性結合を示す試料 ($t_{\text{Ru}} = 1.25$ nm) と IEC を示さない試料 ($t_{\text{Ru}} = 10$ nm) の ΔH の f_{res} 依存性を示す。反強磁性結合を示す試料では、AM と OM の二つの共鳴モードが観測される一方で、IEC を示さない試料では、二つの Co 層がそれぞれ独立して磁気共鳴を起こすことが確認された。興味深いことに、反強磁性結合を示す試料の OM における ΔH の f_{res} 依存性のみが非線形的なふるまいを示すことが確認された。一般に、 ΔH の非線形性は 2 マグノン散乱 [2] 等外的要因によって説明されているが、本研究における OM のみが非線形性を示す挙動は、上記の外的要因では簡単には説明できない。我々は、この OM の非線形性が IEC 強度と密接に関連していると考えており、講演当日はより詳細なメカニズムについて議論する。

本研究の一部は、JST CREST JPMJCR18J1, JST FOREST JPMJFR212V, JSPS 科研費 JP24H00380, JP24K21732, JP23KK0086, JP21H04614, JP24KJ1306 の支援を受けたものです。

[1] H. J. Waring *et al.*, Phys. Rev. Appl. **13**, 034035 (2020). [2] P. Landeros *et al.*, Phys. Rev. B **77**, 214405 (2008).

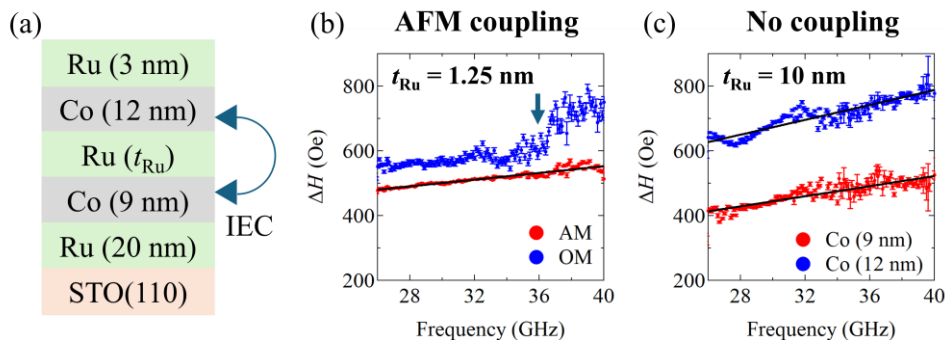


Figure 1 (a) Schematic illustration of Co/Ru/Co SAFs. (b), (c) ΔH vs f_{res} of the samples with antiferromagnetic (AFM) coupling and no coupling, respectively.

La_{0.5}Sr_{0.5}MnO₃ 薄膜内に出現した反強磁性相によって誘起されるギルバートダンピング定数の異常な増加

Anomalous increase of Gilbert damping in La_{0.5}Sr_{0.5}MnO₃ thin films induced by the emergence of antiferromagnetic phase

○(M1)荒川 椋大朗¹, 小野木拓麻¹, 小森 祥央¹, 谷山 智康¹

Nagoya Univ.¹

E-mail: arakawa.ryotaro.u3@s.mail.nagoya-u.ac.jp

La_{1-x}Sr_xMnO₃ (LSMO) は、3d 電子の強い電子相関に起因する金属-絶縁体転移や強磁性(FM)-反強磁性(AFM)相転移など、多彩な物性を有する酸化物である。特に、Sr ドープ量 $x=0.3$ の LSMO は高いスピン分極を示し、その磁気特性が広く研究されてきた。一方で、 $x=0.5$ の LSMO は温度の低下とともに FM から AFM への相転移を示すが、薄膜における格子歪みやサイズ効果が磁化ダイナミクスに与える影響については未解明な点が多い。本研究では、強相関電子系における新たな物理現象の解明を目指し、La_{0.5}Sr_{0.5}MnO₃ 薄膜の磁化ダイナミクス、特にギルバートダンピング定数 α の温度依存性を強磁性共鳴(FMR)を用いて調査した結果について報告する。

パルスレーザー堆積法により、膜厚 10-28 nm の LSMO ($x=0.5$) エピタキシャル薄膜を Nb-ドープ STO (100) 基板上に作製し、2-300 K、10-44 GHz の温度・周波数範囲でベクトルネットワークアナライザを用いた FMR 測定を実施した。Fig. 1 は、FMR 共鳴線幅 (ΔH) と共鳴周波数 (f_{res}) を $\Delta H = \Delta H_0 + 2\pi f_{\text{res}}\alpha/\gamma$ でフィッティングして評価した α の温度依存性を示す。 α は温度の低下とともに減少し、100 K 付近で最小値をとり、その後 2 K まで冷却すると増大する異常な挙動を示した。Fig. 2 は、 f_{res} と共鳴磁場(H_{res})との関係を Kittel の式 $f_{\text{res}} = \gamma/2\pi \{(H_{\text{res}} + 4\pi M_s + 2K_1 / M_s)(H_{\text{res}} + 2K_1 / M_s)\}^{1/2}$ を用いてフィッティングして推定した飽和磁化 M_s の温度依存性を示す。 M_s は 75 K 付近でピークを示し、温度の低下とともに減少した。この M_s の減少は、LSMO 内の FM 相が 75 K 以下で AFM 相に転移したことを示唆している。これらの傾向は全ての試料で観測され、特に膜厚 10 nm の薄膜で顕著であった。以上より、100 K 以下での α の増大が AFM 相の出現による磁化の歳差運動の散逸に起因しており、その影響は膜厚の減少とともに顕著になることを示された。

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP24H00380, JP24K21732, JP23KK0086, JP21H04614, JST CREST JPMJCR18J1, JST FOREST JPMJFR212V の支援を受けたものです

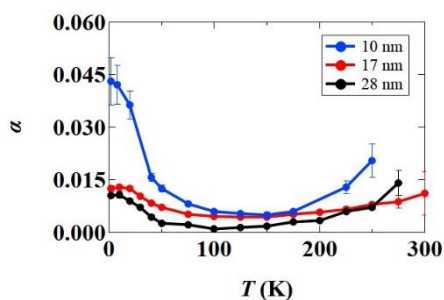


Fig. 1 Temperature dependence of the damping constant α in La_{0.5}Sr_{0.5}MnO₃/Nb-STO(100).

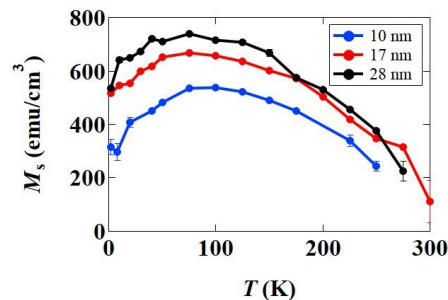


Fig. 2 Temperature dependence of magnetization in La_{0.5}Sr_{0.5}MnO₃/Nb-STO(100).

STO/LSMO/STO/PMN-PT(011)におけるスピン波伝播特性の電界変調

Electric field effect on spin-wave propagation in STO/LSMO/STO/PMN-PT(011)

名大理¹, °大橋 裕生¹, 小森 祥央¹, 井村 敬一郎¹, 谷山 智康¹Nagoya Univ.¹, °Yuki Ohashi¹, Sachio Komori¹, Keiichiro Imura¹, Tomoyasu Taniyama¹

E-mail: ohashi.yuki.h2@s.mail.nagoya-u.ac.jp

強磁性体/強誘電体からなる界面マルチフェロイク構造では、電界を印加した際の強誘電体の逆圧電効果によって生じる歪みにより磁性の電界変調効果が生じることから近年注目されている。La_{1-x}Sr_xMnO₃ (LSMO)を強磁性層にもつ界面マルチフェロイク構造では、これまでに残留磁化の電界制御[1]などが報告されているが、今回我々はSrTiO₃/LSMO/SrTiO₃/[Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃]_{1-x}[PbTiO₃]_x (PMN-PT) ヘテロ構造におけるスピン波伝播特性の電界効果を調査した結果について報告する。

PMN-PT(011)基板の上にパルスレーザー堆積法を用いて SrTiO₃ buffer 層(100 nm), LSMO(50 nm), SrTiO₃ cap 層(50 nm)を成膜した。作製した薄膜を幅 400 μm の細線状に加工した後スピン波励起、検出用アンテナを設置しスピン波デバイスを作製した。測定セットアップの模式図を Fig. 1 に示す。Fig. 2 は Fig. 1 における Port1 から Port2 へ伝播したスピン波と逆方向へ伝播したスピン波の信号強度比の電界依存性を示している。赤、青線はそれぞれ-4.2 kV/cm から+4.2 kV/cm までの範囲で電界を増加させた場合と減少させた場合に対応しており、PMN-PT の分極反転近傍でスピン波の伝播強度についての非相反性が変化していることが確認できる。スピン波(静磁表面波)は伝播方向によって膜の上面または下面を伝播するため、この結果は PMN-PT 基板の歪みによってスピン波の減衰に変化が生じ、基板に近い面がより強く歪みの効果を反映していることを示している。LSMO は面内の引張、圧縮歪みによって状態密度に変化が生じ、それに対応して異なるギルバート・ダンピング定数をもつことが報告されている[2]。また、PMN-PT(011)は面直方向に分極することで面内[011̄]に引張歪みが生じる。このことから、PMN-PT の引張歪みが低ダンピングを実現している状態から、分極反転で歪みが小さくなることでダンピング定数が増大し、スピン波が強く減衰される結果となったと考えられる。以上から本調査は電界を用いて信号制御を行うスピン波デバイスの開発に繋がる可能性がある。当日は実験の詳細に加え、強磁性共鳴測定から得られたギルバート・ダンピング定数の電界依存性についても議論する。

本研究の一部は、JST CREST JPMJCR18J1, JST FOREST JPMJFR212V, JSPS 科研費 JP24H00380, JP24K21732, JP23KK0086, JP21H04614 の支援を受けたものです。

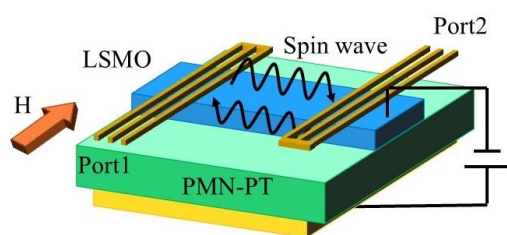


Fig. 1 Schematic diagram of spin-wave measurement setup.

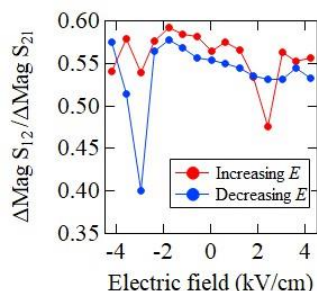


Fig. 2 Electric field dependence of spin-wave amplitude nonreciprocity.

- [1] Y. Yang et al., Appl. Phys. Lett. **100**, 043506 (2012).
 [2] Q. Qin et al., Appl. Phys. Lett. **110**, 112401 (2017).

反強磁性体 NiO 薄膜の磁区構造の結晶方位依存性 Magnetic domain structure of antiferromagnetic NiO thin films with different crystal orientations

名古屋大工¹ ○(B)池田 楓我¹, 飯浜 賢志¹, 夢田 圭吾¹, 林 兼輔¹, 森山 貴広¹

Nagoya Univ.¹ °Fuga Ikeda¹, Satoshi Iihama¹, Keigo Tada¹, Kensuke Hayashi¹, Takahiro Moriyama¹

E-mail: ikeda.fuga.u6@s.mail.nagoya-u.ac.jp

Antiferromagnetic thin films have potential to be used for future robust and high-density magnetic memory devices because of the small magnetic susceptibility. One of the issues towards the development of the antiferromagnetic memory device is that it is difficult to detect and manipulate antiferromagnetic domains. Recently, it has been reported that magnetic domain imaging in antiferromagnetic NiO thin films by using a table-top polarization microscopy [1], which is more convenient experimental technique for magnetic domain manipulation in antiferromagnetic thin films, comparing with a technique using a high energy light source such as the X-ray magnetic linear dichroism. In this work, we report imaging of antiferromagnetic domain structure of NiO thin films with different crystal orientations using a table-top polarization microscopy.

40-nm-thick NiO thin films were deposited, by using magnetron sputtering method, on a single crystalline MgO substrate with different crystal orientations. The magneto-optical birefringence effect was used to detect the antiferromagnetic domain structure in the NiO. Figure 1(a) shows a schematic illustration of the optical setup for detecting the antiferromagnetic domain structure of the NiO thin films. We used a light-emitting diode (LED) with wavelength of 625 nm as a light source. The light through a linear polarizer was illuminated on the sample. Then, the sample surface was imaged through a half-wave plate (HWP) and an analyzer. The Kerr rotation angle at each pixel of the image was evaluated by rotating HWP. Figure 1(b) shows the Kerr rotation angle distribution of a NiO (100) thin film grown on MgO (100), which corresponds to a magnetic domain structure. We observed that the Kerr rotation angle distribution varies depending on crystal orientations of the NiO thin film, which will be discussed in the presentation.

[1] J. Xu *et al.*, Phys. Rev. B **100**, 134413 (2019)

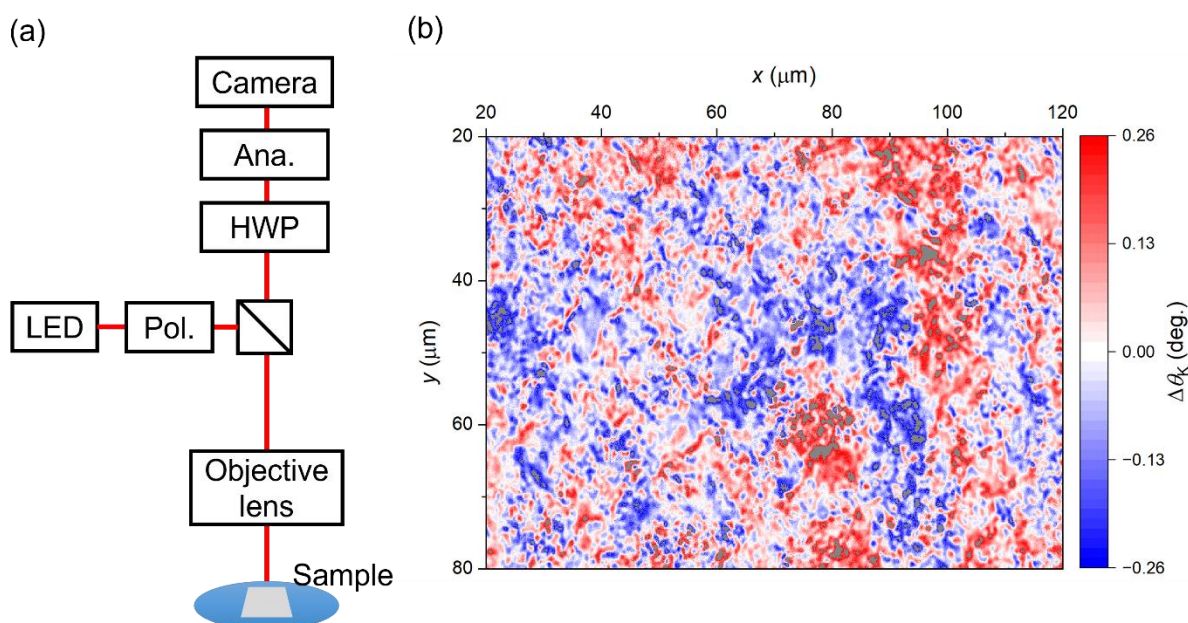


Figure 1 (a) A table-top optical setup for measuring a magnetic domain structure. (b) The Kerr rotation angle distribution for the 40-nm-thick NiO thin film grown on a MgO(100) substrate.

Ab-initio study of magnon in $L1_0$ Mn-based antiferromagnets

Mie Univ., °Koki Kobayashi, Andi Gumarilang, Kenji Nawa, Kohji Nakamura

E-mail: 424M214@m.mie-u.ac.jp

Ultra-fast spin operations in terahertz (THz) frequency range have been demand for future communication technologies. Antiferromagnets are promising candidates to convey this frequency due to no-net magnetization while exhibiting antiferromagnetic resonance in THz range [1], and magnon in antiferromagnets may offer new energy-efficient spin memory technique via their multiple precession modes [2]. Among the antiferromagnetic (AFM) materials, $L1_0$ Mn-based antiferromagnets, such as MnNi, MnPd, and MnPt, have particular attention. Its unique magnetic properties, including the high exchange fields as manifested in high Curie temperature [3], make it suitable for spintronics devices. However, to fully utilize them for spintronics devices, it is essential to understand its fundamental magnetic characteristics related to magnon dispersion. Here, we carry out ab-initio calculations of magnons in $L1_0$ Mn-based antiferromagnets of MnNi, MnPd, and MnPt. Ab-initio calculations were performed using full-potential linearized augmented plane-wave (FLAPW) method [4] with generalized gradient approximation (GGA). The spin-exchange constants are evaluated by applying the generalized Bloch theorem in spin spiral calculations, while the magnetic anisotropy constants are obtained by the force theorem to spin-orbit coupling (SOC) and magnetic dipole-dipole interaction (MDI) approximation. The magnon dispersions are obtained by using second-quantization formalism based on the linear spin wave theory (LSWT) [5]. The first five nearest-neighbors spin-exchange constants, labeled as J_1 , J_2 , J_3 , J_4 , and J_5 , are calculated for Mn-based antiferromagnets. For MnNi, the values are -86.367 , 42.870 , 14.412 , -3.093 , -0.122 meV, respectively. For MnPd these are -50.900 , 41.670 , 8.766 , -4.216 , -3.460 meV, and for MnPt, -61.812 , 41.606 , 6.754 , -7.061 , -10.509 meV, respectively. The magnon frequency of α mode at Γ are found to be 11.831 THz, 9.732 THz, and 10.416 THz for MnNi, MnPd, and MnPt, respectively, while that of β mode is 1.965 THz, 1.438 THz, and 1.548 THz for MnNi, MnPd, and MnPt, respectively. Based on the density of states, the trend of spin-exchange constants from MnNi to MnPt originates from the energy gap between the highest occupied d-orbital of Mn and the lowest unoccupied d-orbital of Mn, where MnNi has the lowest gap which allows electrons to excite easily than that in MnPd and MnPt.

[1] T. Moriyama *et al.*, Phys. Rev. Mater. **3**, 051402 (2019)

[2] Y. Shiota, *et al.*, Nat Commun **15**, 9750 (2024).

[3] E. Krén, et al. Phys. Rev. **171**, 574 (1968).

[4] K. Nakamura, *et al.*, Phys. Rev. B **67**, 014420 (2003).

[5] A. Gumarilang, *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn, **92**, 084703 (2023).

絶縁性軌道フェリ磁性体における角運動量輸送現象

Transport properties of angular momentum in an insulative orbital ferrimagnet

筑波大¹ ○大沼 樹生¹, 柳原 英人¹

Univ. of Tsukuba¹, °Tatsuki Onuma¹, and Hideto Yanagihara¹

E-mail: s2420273@u.tsukuba.ac.jp

[背景]

近年、軌道ホール効果 (OHE) の発見を契機に、スピンに加えて角運動量を担う軌道角運動量の伝搬現象 (軌道流) への関心が高まっている。軌道流を利用したスピン軌道トルクの高効率化が確認され [1]、研究が盛んになる一方で、特に絶縁体中での軌道角運動量の伝搬については未解明な部分が多い。本研究では、軌道角運動量に正味の磁化の起源を持つ絶縁性軌道フェリ磁性体 CoMnO_3 [2] に着目し、熱駆動による軌道角運動量伝搬現象を検証した。

[実験方法 / 結果]

反応性スパッタリング法を用いて、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 基板の上に $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{CoMnO}_3/\text{NM}$ (非磁性体 NM: Pt, Ru) の多層膜試料を作製した。これらの試料は RHEED および XRD による構造評価、ならびに VSM を用いた磁気特性評価を行った。さらに微細加工でホールパターンを作製した試料に対し、薄膜面内方向に磁場を印加した状態で、横起電力の二次高調波測定を実施した (Fig.1)。

二次高調波信号はジュール熱により生じる温度勾配 ΔT に比例して生じ、Fig.1 に示す測定セットアップではスピンゼーベック効果やネルンスト効果などに起因した信号を捉えることが可能である [3]。NM 層: Pt における二次高調波測定の結果、磁場依存性からヒステリシスが観測された。このヒステリシスの飽和値の電流依存性を Fig.2 に示す。この結果は、ヒステリシス成分が温度勾配に比例した起電力であり、熱勾配によって生じる軌道角運動量の伝搬を示唆している。発表では、得られた二次高調波のヒステリシスの起源について、NM 層依存性や温度依存性の評価を行うことで議論する。

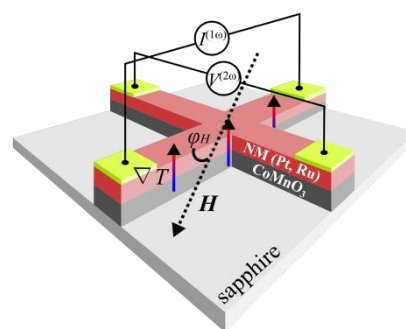


Fig.1 面内印加磁場下での二次高調波横起電力の測定セットアップ

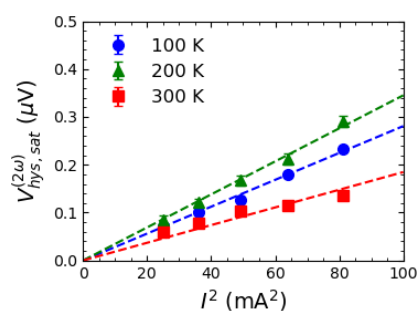


Fig.2 二次高調波ヒステリシス成分の飽和値の電流依存性 (NM: Pt)

参考文献

- [1] Hiroki Hayashi, *et al.* Communications Physics **6**, 32 (2023)
- [2] Hiroki Koizumi, *et al.* Phys. Rev. Materials **3**, 024404 (2019)
- [3] Can Onur Avci, *et al.* Phys. Rev. B **90**, 224427 (2014)

Co/Pt 界面におけるスピン・軌道ホール伝導度と界面ラフネスの効果： 第一原理計算による考察

Effect of interfacial roughness on spin/orbital Hall conductivities of Co/Pt: first principles study

三重大院工 °(M1)石原 智規, (M2)辻出 裕至, 名和 憲嗣, 中村 浩次

Mie Univ. °Tomoki Ishihara, Yushi Tsujide, Kenji Nawa, Kohji Nakamura

E-mail: 424M203@m.mie-u.ac.jp

強磁性金属／重金属薄膜におけるスピンホール効果の解析・予測は、スピン軌道トルク磁気ランダムアクセスメモリ (SOT-MRAM) の開発など、高速且つ低消費電力の磁化反転技術を高めるうえで重要な知見である。また、近年では、軌道ホール効果による磁化反転機構の提案がなされている[1]。この背景のもと、我々は Co/Pt 界面におけるスピンホール伝導度 (SHC) および軌道ホール伝導度 (OHC) の第一原理計算を進め、特に、SHC が界面近傍の Pt 層で顕著に減衰することがわかってきた[2]。一方で、界面における OHC の理解は十分に至っていない。

本報告では、i) Co/Pt 界面における SHC と OHC の第一原理計算、ii) 界面近傍での SHC の減衰を抑えるための界面構造（ここでは原子配列の乱れによる界面ラフネスの導入）について検討する。第一原理計算には一般化勾配近似に基づく全電子フルポテンシャル線形化補強平面波法[3]を用い、内因性 SHC と OHC は久保公式から評価した。界面ラフネスが無い理想界面構造として、8 原子層 Pt(111)と単原子層 Co からなる Co_1/Pt_8 を仮定した。SHC と OHC はそれぞれ、1,730 および $5,660(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ となり、また、界面近傍の Pt 層で SHC が著しく減衰することを確認した。界面ラフネスとして、界面に単原子層合金 $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}$ を挿入した $\text{Co}_1/\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}/\text{Pt}_7$ モデルを用いた。計算の結果、SHC は $1,900(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ 、OHC は $7,120(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ となり、それぞれ約 10%、約 25% 増加することがわかった。次に原子配列の乱れによる界面ラフネスの効果を考察するために、バルク固溶体 $\text{Co}_{1-x}\text{Pt}_x$ における SHC と OHC を計算した。SHC と OHC とともに組成比 x に対してほぼ線形に変化し、これは界面ラフネスの導入による界面近傍の著しい SHC 減衰を抑える効果を示唆する。

[1] R. Gupta, *et al.*, Nat. Commun. **16**, 130 (2025)

[2] K. Nawa, *et al.*, Phys. Rev. Mater. **8**, 014405 (2024)

[3] K. Nakamura, *et al.*, Phys. Rev. B **67**, 014420 (2023)

界面歪みによる準安定重金属界面のラシュバ効果の変調効果

Modulation effect of Rashba effect on metastable heavy metal interface by interfacial distortion



九大院理¹, 九州大学 半導体・デバイスエコシステム研究教育センター²

○(DC)山崎 太志郎¹, 飯森 陸¹, 山田 和正², 木村 崇¹

Kyushu Univ.¹, Center for Semiconductor and Device Ecosystem KYUSHU UNIVERSITY²

○(DC)Taishiro Yamazaki¹, Riku Iimori¹, Kazumasa Yamada², Takashi Kimura¹

E-mail: taishiro.590@s.kyushu-u.ac.jp

異種金属で構成される界面におけるコヒーレントなラシュバ型スピン軌道相互作用は、スピン流の生成手法として精力的に研究されている。特に、重金属と非磁性金属で構成される界面は界面の有効電場が大きいため、ラシュバ型スピン軌道相互作用も大きくなることが知られている。一方で、最近我々グループでは、重金属層の結晶性を準安定構造にした場合、界面電場が顕著に変化し、ラシュバ型スピン軌道相互作用が増大することが分かった[1]。このことから、ラシュバ型スピン軌道相互作用は界面歪みに敏感であることが予想され、界面歪みの調整によりスピン軌道相互作用強度を増大させ、スピン変換効率に代表されるスピン流物性を制御することが期待される。そこで本研究では、重金属および非磁性金属で構成される界面構造におけるラシュバ型スピン軌道相互作用の、結晶構造および格子歪み依存性を詳細に評価した。

評価方法は、第一原理計算に基づき、各種 NM(Cu, Al, Ag)/重金属構造において、ラシュバ型スピン軌道相互作用の強さを特徴づけるラシュバ係数 α_R を次式[2]により評価した。

$$\alpha_R = \left(\frac{2}{c^2}\right) \int (\partial V / \partial z) |\psi|^2 dz$$

ここで、 c :光速、 $\partial V / \partial z$:ポテンシャルの勾配、 $|\psi|^2$:電子密度分布である。圧力を加えた各種非磁性金属(Cu, Al, Ag)/重金属構造に対して、第一原理計算によって格子歪みを評価した後、界面のポテンシャル、電子密度の評価を行った。歪みを印加しない系においては、重金属が α 相よりも β 相の場合の方が大きなラシュバ係数を得る結果となった(Fig. 2)。講演では、ラシュバ型スピン軌道相互作用に対する界面歪み依存についても詳細に議論する。

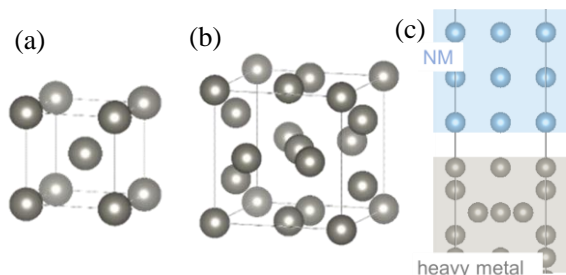


Fig. 1. Crystal structure of (a) α -phase and (b) β -phase. (c) NM/heavy metal interface structure.

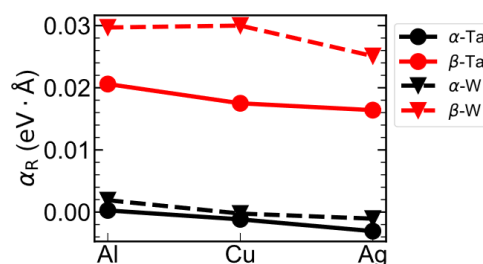


Fig. 2. Rashba coefficient at the NM/ heavy metal interface as a function of the nonmagnetic metal.

[1] T. Yamazaki *et al.*, (submit). [2] *J. Phys.: Condens. Matter* **21**, 064239 (2009).

piezoelectronic magnetic tunnel junction (PE-MTJ)における円環型圧電印加構造が誘起する応力の有限要素法解析 2

FEM analysis of induced stress in the piezoelectric ring structure of piezoelectronic MTJ 2

Science Tokyo [○](M2) 山田 海衆, 高村 陽太, 中川 茂樹

Science Tokyo, [○]Kaishu Yamada, Yota Takamura, Shigeki Nakagawa

E-mail : yamada.k.1d1d@m.isct.ac.jp

Stress-assist magnetization reversal (SAMR) using magnetostrictive (MS) materials is an attractive method to reduce magnetization switching energy in spintronics-based memories [1]. We have been proposed the piezo-electronic magnetic tunnel junction (PE-MTJ) as an integrated memory element capable of realizing SAMR [2]. This device consists of an MTJ pillar with a MS free layer surrounded by a piezoelectric (PE) ring. Previously, we introduced finite element method (FEM) to analyze induced stress in a PE-MTJ [3]. The FEM calculation gave different stress from the firstly proposed analytical method [4]. In this study, we analyze the stress distribution in the MS pillar calculated by FEM and found that the effect of deformation like beam bending significantly contributes to the stress distribution, which is not included in the analytical model. The thicknesses dependence of stress is clearly explained by the effect of deformation like beam bending and distribution of electric field vector.

Figure 1 shows schematics of a simplified model structure consisting of a MS plain pillar surrounded by a PE ring. The standard dimensions, materials, voltage V_{PE} applying to the PE ring for both calculations are described in Fig. 1. Figure 2 shows stress distribution when $V_{PE} = 0.1$ V. Overall, compressive stress is induced, which can be explained by the conventional model [4]. On the other hand, the stress in the MS region is non-uniform. The stress distribution in the MS, i.e., high compressive stress at the top and bottom of the MS pillar and low compressive stress at 2-3 nm from the MS/PE interface is mainly caused by tensile stress near the interface caused by the piezoelectric ring stretching (Deformation like beam bending).

Figure 3 shows induced compressive stress at the center of the pillar as a function of the thickness of PE. From $w_0 = 7$ nm to 30 nm, the stress decreases because of the increase of tensile stress by the beam-bending effect due to the increasing aspect ratio (w_0/R), and the decrease in electric field in the PE ring. Above $w_0 = 30$ nm, the stress for FEM calculation increases because the contribution of electric field from the top/bottom of PE-ring to the MS pillar becomes larger.

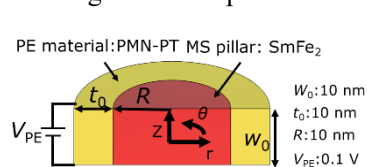


Fig. 1 Schematic structure of a simplified model.

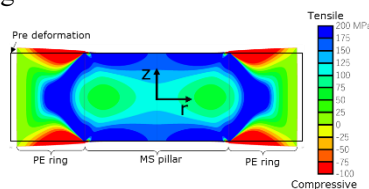


Fig. 2 Stress distribution in the cross section of the simplified model

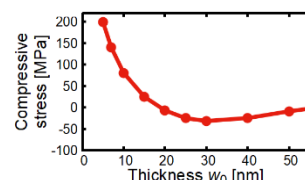


Fig. 3 w_0 dependence of stress in the SmFe₂ pillar.

Refs: [1] N. Saito, et al., J. Appl. Phys. **103**, 07A706 (2008). [2] Y. Takamura, et al., Solid-State Electron. **128**, 194 (2017). [3] K. Yamada, et al., JSAP Autumn Meeting, 16a-D61-4 (2024). [4] Y. Shiotsu, et al., IEEE Trans. on Electron Devices. **67**, 3852 (2020).

磁場変調スピントルク FMR による高精度スピントルク評価

Development of High-sensitive ST-FMR with Amplitude Modulated Magnetic Field

福岡大理 〇(B4)上領彩華, 洞口泰輔, 眞砂卓史

Fukuoka Univ. 〇A. Kamiryō, T. Horaguchi, and T. Manago

E-mail: sp211208@cis.fukuoka-u.ac.jp

【研究背景】

スピントルク強磁性共鳴(ST-FMR)法は、非磁性体(NM)/強磁性体(FM)二層膜においてスピントルク生成効率を電気的に検出する優れた測定手法である。二層膜に高周波電流を印加すると、非磁性体中のスピントルク効果を通じてスピントルクが生成される。このスピントルクは隣接する強磁性層に注入されることで強磁性体の磁化にスピントルクを与え、磁化の歳差運動を励起する。ST-FMR 法では磁化と電流の相対角に依存した抵抗変化(異方性磁気抵抗効果)と印加高周波電流の整流効果を利用して強磁性共鳴スペクトルを直流電圧信号として検出する。このとき得られる共鳴スペクトルの対称・反対称ローレンツ関数振幅や線幅の解析により、スピントルク生成効率評価が可能となる。しかし、直流電圧を測定する従来手法では、熱起電力やオフセット電圧の長時間ドリフトなどの外乱の影響を受けやすいという難点があった。そこで本研究では、磁場変調を利用した微分信号検出[1]を ST-FMR 法に適用し、スピントルク角の小さな材料の評価やスピントルクの微小変化検出にも利用可能な高精度スピントルク生成効率評価手法を開発した。

【実験方法】

<試料作製> まず幅 $5\ \mu\text{m}$ 、長さ $100\ \mu\text{m}$ の NiFe(15)/Pt(10) (膜厚:nm)細線を電子線リソグラフィ、電子線蒸着を用いて作製した。その後、高周波印加用の電極パターンとして Cr(5)/Au(100)を蒸着し、ST-FMR 測定用デバイスとした(図 1)。Pt はスピントルク効果を示す代表的な重金属材料であり、NiFe は結晶磁気異方性が小さいことからスピントルク検出 FM 層として広く利用される強磁性体である。このデバイスを用いて新たに開発する磁場変調 ST-FMR 法の検証を行った。

<測定手法> 従来の ST-FMR 法ではシグナルジェネレーターから高周波電流を試料に印加し、外部静磁場 B_{ext} を掃引しながら試料両端電圧を測定することで共鳴スペクトルを得ていた。本研究では静磁場 B_{ext} に重畳させる形で磁化の歳差運動に比べて十分小さい周波数 f_m の交流磁場を印加し、共鳴スペクトルの微分電圧信号をロックイン検出する手法を導入した。これにより信号検出感度やスピントルクの評価精度向上が期待される。

【実験結果】

図 2 は磁場変調 ST-FMR 測定で得られたスペクトルの一例である。青丸プロットは測定データ、赤点線は解析式によるフィッティング結果であり、良い一致を示している。また、オフセット電圧や背景ノイズも小さい。当日はスピントルク効率の評価値や S/N 比について従来手法と新手法を定量的に比較した結果、および磁場変調の振幅や周波数を系統的に変化させることで測定条件の最適化を図った結果の詳細を報告する。

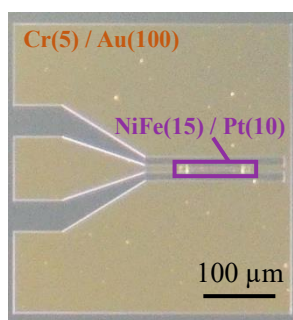


図 1 ST-FMR 測定デバイス

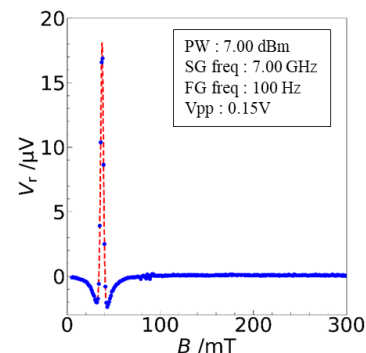


図 2 磁場変調 ST-FMR 測定における共鳴スペクトル

[1] S.Tamaru et al., Rev. Sci. Instrum. 89, 053901 (2018)

Angular momentum current probed via THz emission in Ni/Cr bilayer

WPI-AIMR, Tohoku Univ.¹, Grad. Sch. Eng. Sci., Osaka Univ.², Grad. Sch. Eng.,

Tohoku Univ.³, CSIS, Tohoku Univ.⁴

○S. Miki^{1,2}, K. Ishibashi^{1,3}, K. Nukui^{1,3}, M. Ishibashi¹,

L. Wang^{4,1}, H. Morishita^{4,1}, S. Mizukami^{1,4}

E-mail: soma.miki.d8@tohoku.ac.jp

Laser-pulse induced THz emission in ferromagnetic metal (FM)/normal-metal (NM) bilayer film is widely studied from both scientific and technological points of view [1]. The THz emission is caused by the transient transverse charge current which is generated via the inverse spin-Hall effect for photo-induced transient spin current across FM/NM interface. Recently, several groups discussed the effect of not only spin but also orbital angular momentum current in the THz emission in FM/NM bilayers [2] (Fig. 1), whereas many issues remain to be addressed. Here we report THz emission in Ni/Cr bilayers with various Cr thickness t_{Cr} and discuss the effect of angular momentum current in this system. We deposited films with the following stacking structure using ultrahigh vacuum magnetron sputtering: fused silica glass sub. | Ni(5) | Cr(t_{Cr}) | Al(3) (thickness in nm). THz emission was measured via a THz time-domain spectroscopy (THz-TDS) with a Ti: Sapphire fs laser [3]. A pump laser pulse was linearly polarized, and emitted THz was detected via electro-optic sampling with a ZnTe crystal. Fig. 2 shows the THz emissions for $t_{Cr} = 3$ nm applying the magnetic field H of about ± 10 mT. The THz signal was flipped with the sign of magnetic field, indicating the magnetic origin. The THz signal exhibited the maximum at $t_{Cr} = 3$ nm and decreased with increasing t_{Cr} , which means that the THz emission originates from the conversions of spin and/or orbital angular momentum current induced by the pulse laser into transverse charge current [1]. We will discuss physics in detail in this presentation.

This work is partially supported by KAKENHI (21H05000, 24K21234), X-NICS (JPJ011438), and Spin-RNJ. K. I. acknowledges Grant-in-Aid for JSPS Fellow (22J22178). K.I. and K.N. thank to GP-Spin at Tohoku Univ.

[1] T. Seifert, *et al.* Nature Photon **10**, 483–488 (2016). [2] Y. Xu, *et al.* Nat Commun **15**, 2043 (2024).

[3] K. Ishibashi, *et al.*, Phys. Rev. B **107**, 144413(2023).

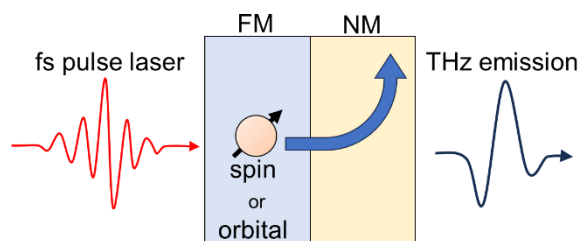


Fig. 1 schematics of the mechanism of THz emissions via the spin and orbital Hall effect.

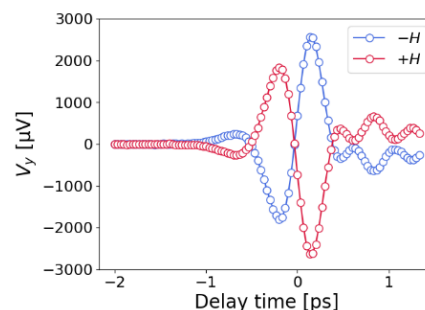


Fig. 2 THz emissions for a Cr thickness $t_{Cr} = 3$ nm applied with positive (red) and negative (blue) magnetic fields of about 10 mT.

YIG/Pt-Rh におけるスピンゼーベック効果の観測

Observation of Spin Seebeck Effect in YIG/Pt-Rh

九大シス情¹, 佐原 脩飛¹, 黒川 雄一郎¹, 湯浅 裕美¹Kyushu Univ.¹, S. Sahara¹, Y. Kurokawa¹, H. Yuasa¹

E-mail: sahara@mag.ed.kyushu-u.ac.jp

[Introduction]

Thermoelectric power generated from spin Seebeck effect (SSE) can be enhanced by using the heavy metal with high spin Hall conductivity. In this study, to fabricate binary alloy with high spin Hall conductivity, we use Rh and investigate SSE using YIG/Pt-Rh film, where Rh has an fcc crystal structure similar to Pt, and their lattice mismatch is only less than 2.7%.

[Experiment]

Figure 1 shows sample structure images. YIG (50 nm)/ Pt_xRh_{100-x} (3 nm) bilayer films were deposited by using sputtering method. The Pt composition x was varied from 0 to 100. The YIG layer was annealed at 1023 K in air to obtain garnet crystalline structure. The spin Seebeck voltage V_{SSE} was measured under various temperature difference ΔT while a in-plane magnetic field H is swept from -0.3 T to $+0.3$ T. The ΔT was applied on the sample by using a pair of Peltier devices. We also measured resistance of the samples with probes distance 10 mm.

[Result]

Figure 2 shows the dependences of $\frac{V_{SSE}}{\Delta T}$ and R on the Rh composition x . While the $\frac{V_{SSE}}{\Delta T}$ shows the maximum value around $x=60$ in similar to SSE using the other binary alloys [1][2], the resistance shows a simple increase with increasing x unlike most binary alloys. To obtain the power from SSE devices, it is needed to realize not only $\frac{V_{SSE}}{\Delta T}$ high but also R . However, in general, there is a positive correlation between $\frac{V_{SSE}}{\Delta T}$ and R . The mismatch between trends of $\frac{V_{SSE}}{\Delta T}$ and R in YIG/ Pt-Rh suggests that we get the composition with the high $\frac{V_{SSE}}{\Delta T}$ and the low resistance simultaneously.

[Acknowledgement] This study was supported by KAKENHI (No. JP23K22827, JP22KK0056, JP24H00030, JP24H02235, and JP24H02235), the Center for Spintronics Research Network (Osaka), and the X-NICS (No. JJP011438).

[Reference]

- [1] H. Li et al., Jpn. J. Appl. Phys., 59, 073001(2020) .
 [2] H. Yuasa et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 51 134002 (2018).

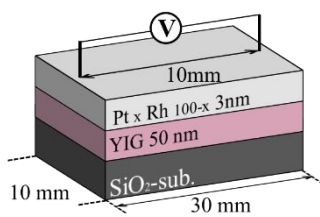
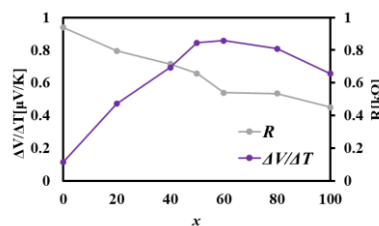


Fig. 1 Sample structure

Fig. 2 Resistance and $\frac{V_{SSE}}{\Delta T}$ as functions of Rh composition

Mapping in-plane magnetization in Co thin film using laser-induced anomalous Nernst effect

Soichiro Mochizuki¹, Itaru Sugiura², Teruo Ono²,
Takuya Satoh¹, and Kihiro T. Yamada¹

¹ Department of Physics, Institute of Science Tokyo, Tokyo 152-8551, Japan

²Institute for Chemical Research, Kyoto University, Uji, Kyoto 611-0011, Japan

The anomalous Nernst effect (ANE) generates the electromotive force in the direction of a cross-product of magnetization and temperature gradient. The ANE can be studied using not only homogeneous temperature gradients formed by heaters but also localized temperature gradients generated by laser irradiations. Because a large localized temperature gradient can be created via the laser irradiation method, we can obtain information on the in-plane magnetization component in the transverse direction of a magnetic wire as previously reported [1, 2]. However, a complete determination of the in-plane magnetization vector requires simultaneously detecting the ANE voltages in two orthogonal directions in the film plane.

Here, we report a vector imaging of the in-plane magnetization using the laser-induced ANE. We fabricated a magnetic thin film with the composition of Ru(5 nm)/Co(10 nm) on a sapphire (0001) substrate at room temperature by DC sputtering. The thin film was processed to Hall devices with a cross size of 0.4 mm × 0.4 mm by standard lithography techniques. We modulated the intensity of green laser beams at a frequency of 84 kHz; then, the laser beams were focused on the surface of the device with a diameter of 6 μm by an objective lens. Here, the average laser power was set at 57 mW. After magnetic domain walls were formed by an external magnetic field, we simultaneously measured ANE voltages along the two orthogonal directions while scanning the device inside a 100 μm × 100 μm area. As a result, we succeeded in visualizing the magnetization directions in the magnetic domains. In the presentation, we would like to show more experimental details and discuss the results.

References

- [1] M. Weiler et al., Phys. Rev. Lett. **108**, 106602 (2012).
- [2] R. Iguchi et al., Sci. Rep. **9**, 18443 (2019).



半導体スピントロニクスのための高濃度 p 型 Si 層の作製・評価

Fabrication and evaluation of heavily-doped p -type Si layer for semiconductor-based spin devices

日大工 〇(M1C) 李 奕禧, (B) 谷口 柊, (B) 阿部 智瑛, 石川 瑞恵

Nihon Univ. College of Engineering, 〇Yixi Li, Shu Taniguchi, Tomoaki Abe, Mizue Ishikawa

E-mail: ceeek24016@g.nihon-u.ac.jp

半導体エレクトロニクスにおいて、更なる高性能化を実現するためスピントロニクスが注目されている。そのスピントロニクスを利用したスピントロニクスを実現するためには、スピン信号の観測が不可欠である。スピン信号を観測するためには、強磁性体からスピン偏極した電子をシリコン(Si)のような半導体へ効率良く注入する必要がある。これまでの研究より、高濃度 Si 層の表面粗さがスピン信号に影響することを明らかにしてきた。^[1]そこで本研究では、高濃度 p 型 Si 層(p^+ -Si)に着目し、その作製条件と表面粗さの関係を評価することを目的とした。

p^+ -Si 層の作製には、基板洗浄した Silicon on Insulator(SOI)基板(117 nm)上に、PBF 液を塗布し拡散アニールによって不純物ドーピングを行った。次に、Spin on Glass(SOG)膜を剥離し、窒素雰囲気中で活性化アニール(980°C)を行った。作製した p^+ -Si 層の電気抵抗率を四探針法により測定し不純物濃度 n を算出した。また Atomic Force Microscope(AFM)を用いて、 p^+ -Si 層の表面形状評価を行った。

Fig. 1 に作製した p^+ -Si 層における n のアニール温度(T_a)依存性を示す。これまで作製してきた高濃度 n 型 Si 層(n^+ -Si)は T_a を 750°C から 950°C まで大きくすると n が高くなっていく傾向がみられていたが、今回作製した p^+ -Si 層も T_a が上昇するとともに、 n が高くなっている(Fig. 1 参照)。よって、 p^+ -Si 層と n^+ -Si 層の n は T_a に対して同じ傾向を持っていることがわかる。

Table. 1 に作製した p^+ -Si 層における n と表面粗さ(R_a)の T_a 依存性を示す。Table. 1 より、 T_a が高くなるにつれ n が高くなっていき、 R_a も大きくなっていくことがわかる。よって、スピン散乱を抑制するための平坦な p^+ -Si 層の作製には、低 T_a で作製する必要がある。一方、 T_a が 600°C と 750°C の場合を比較すると、 R_a はいずれも同じであるが、 n は 750°C のほうが大きいことがわかる。 p^+ -Si 層を作製するためには、 R_a を抑制しつつ高純度な Si 層を作製しなければならない。そこで、高濃度かつ平坦な Si 層を作製するため、 T_a を 750°C に固定して 2 回アニールを行うことにした。Fig. 2 は T_a を 750°C で 1 回アニールした場合[Fig. 2(a)]と 2 回アニールした場合[Fig. 2(b)]の p^+ -Si 層の表面 AFM 像を示す。1 回アニールした場合と 2 回アニールした場合の n は、それぞれ 1.54×10^{18} [cm^{-3}] と 2.78×10^{18} [cm^{-3}] であった。よって、2 回アニールした n は 1 回アニールした場合に比べて約 2 倍の値となっていることがわかる。また、2 回アニールした場合の R_a はほぼ変化していない。以上より、平坦な p^+ -Si 層を作製するためには、 T_a を抑制しつつ複数回アニールする方法が利用できると考えられる。

本研究の一部は、科学研究費補助金(24K17326)の支援を受けて行われた。

[1] M. Ishikawa *et al.*, MMM2014(2014)

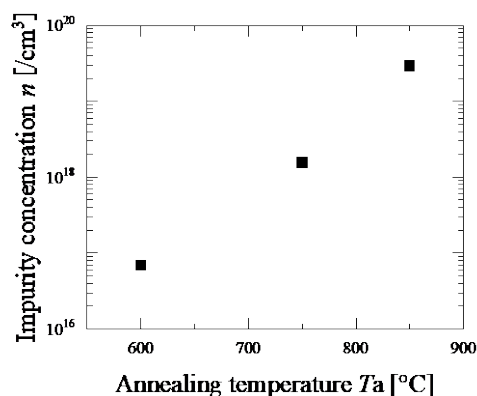


Fig. 1 Annealing temperature (T_a) dependence of impurity concentration (n) in the fabricated p^+ -Si layer.

Table. 1 Annealing temperature (T_a) dependence of impurity concentration (n) and surface roughness (R_a) in the fabricated p^+ -Si layer.

T_a [°C]	n [cm^{-3}]	R_a [nm]
non-dope	—	0.055
600	6.87×10^{16}	0.093
750	1.54×10^{18}	0.093
850	2.91×10^{19}	0.113

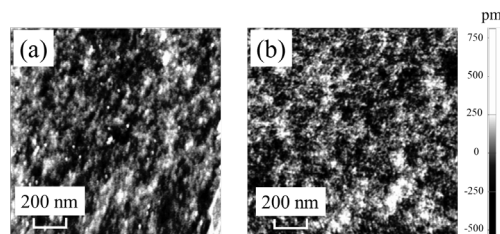


Fig. 2 AFM image after annealing at 750°C. [(a) Si annealed once (b) Si annealed twice]

Perpendicular magnetic tunnel junctions with cubic GaN barrier

D. Kumar¹, K. Suzuki^{2,1}, H. Kwon^{2,1}, N. Kamata^{2,1}, and S. Mizukami^{1,3}

¹WPI Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan.

²Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai 980-8579, Japan.

³Center for Science and Innovation in Spintronics, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan.

E-mail: kumar.deepak.e3@tohoku.ac.jp

Magnetic tunnel junctions (MTJs) exhibit tunneling magnetoresistance (TMR) effects, which are applied for HDD reading head, memory, sensors, etc. Current standard materials are FeCoB and MgO, whereas various materials are being explored for advanced technology of MTJ devices [1-4]. One of the demands is new barrier material exhibiting both large TMR and low resistance [3,4], and a good candidate would be cubic wide-bandgap oxide semiconductors crystallizing on (001) planes of magnetic films [3-5]. In this study, we explore metastable cubic nitride widegap semiconductor c-GaN (001) with a bandgap of approximately 3 eV as a tunnel barrier for out-of-plane magnetized MTJs.

The MTJ stacks were deposited on single crystal MgO(100) substrate using an ultrahigh-vacuum magnetron sputtering system with a base pressure below 5×10^{-7} Pa. The stacking structures was substrate/Cr(40)/MnGa(50)/Mg(0.4)/CoMnFe(1.2)/Mg(0.4)/MgO(0.6)/GaN(1)/MgO(0.6)/CoFeB(1.2)/Ta(3)/Ru(5) (thickness is in nm). We also prepared a similar stack with a single 2.0-nm-thick MgO barrier instead of MgO/GaN/MgO for comparison, as already reported elsewhere [6]. The MTJ device fabrication was performed using standard optical lithography with Ar ion etching. The MTJs were annealed in a vacuum furnace with different annealing temperatures (T_a). Transport measurements were carried out using the standard four-probe method at 300K.

Figure 1 shows hysteresis loops for the TMR effect in p-MTJ, which were measured after the annealing at $T_a = 300^\circ\text{C}$. We observed perpendicular magnetization for the top CoFeB layer, indicating that large perpendicular magnetic anisotropy is maintained even in the presence of the GaN layer. The maximum TMR ratio of $\sim 47\%$ and $\sim 110\%$ were observed with and without the GaN layer, respectively. We also observed that the resistance area product (R_pA) of $8.2 \times 10^3 \Omega\mu\text{m}^2$ and $1.3 \times 10^4 \Omega\mu\text{m}^2$ of p-MTJ at $T_a = 300^\circ\text{C}$ with and without GaN layer, respectively, possibly due to a reduced barrier height. In the presentation, we will discuss more details with a comparison of the data obtained in-plane magnetized MTJs with GaN layers having different thicknesses

This work is partially supported by KAKENHI (21H05000), CREST(JPMJCR17J5), and X-NICS of MEXT (JPJ011438). H. K. thanks to GP-spin at Tohoku University

References

1. T. Ichinose et al., J. Alloy. Compound. **960**, 170757 (2023).
2. D. Kumar et al., STAM, **25**(1), 2421746, (2024)
3. H. Sukegawa et al., Appl. Phys. Lett. **110**, 122404 (2017).
4. S. Mertens et al., Appl. Phys. Lett. **118**, 172402 (2021).
5. Y. Xie et al., Appl. Phys. Lett. **69**, 334 (1996).
6. D. Kumar et al., AIP Advances (accepted).

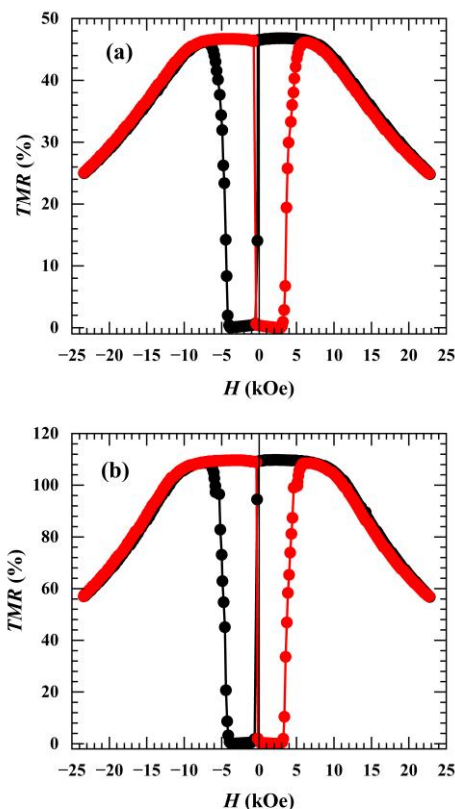


Fig. 1 TMR hysteresis loops in p-MTJ as the function of magnetic field for (a) with and (b) without GaN barrier at $T_a = 300^\circ\text{C}$.

Fabrication and evaluation of molecular nanojunctions utilizing Ni₇₈Fe₂₂ thin-film edges

°Chika Hashimoto¹, Mizuki Matsuzaka¹, Ryunosuke Miyamoto¹, Takumi Ueda¹ and Hideo Kaiju^{1,2}

Keio Univ.¹ and CSRN, Keio Univ.²

E-mail: jjax2@keio.jp

Molecular spintronics has been attracted much attention because of the unique possibilities. Especially, a large magnetoresistance (MR) effect has been observed in nanosized molecular spintronic devices, in which a high spin polarization is realized due to the effective orbital hybridization between molecules and magnetic materials [1]. Recently, the positive MR effect was observed in Ni₇₈Fe₂₂ (Py)/2,7-dioctyl[1]benzothieno[3,2-*b*][1]benzothiophene (C8-BTBT)/Py nanojunction with a junction area of 42 × 42 nm² at room temperature [2]. However, the properties of nanojunctions with junction areas larger than 42 × 42 nm² have not been clarified. In this study, we fabricate Py/C8-BTBT/Py nanojunctions with junction areas larger than 42 × 42 nm², and investigate spin transport properties.

Fig. 1 shows a schematic of Py/C8-BTBT/Py nanojunctions utilizing Py thin-film edges. The fabrication procedure of nanojunctions includes sputtering, thermal pressing, mechanical cutting, polishing, and off-center spin coating. The magnetic properties were measured by focused magneto-optical Kerr effect. The MR properties of the fabricated nanojunctions were evaluated by DC four-probe method under a magnetic field at room temperature.

Fig. 2 shows the magnetic properties of glass/Py (186 nm)/glass. The coercivity of Py thin films increases from 4.2 to 13.0 Oe with increasing the pressure from 0.25 to 1.0 MPa during the thermal pressing. The difference of coercivity can produce the parallel and anti-parallel magnetization configurations in Py/C8-BTBT/Py nanojunctions. As shown in Fig. 3, we have successfully observed a positive MR effect at room temperature in Py/C8-BTBT/Py nanojunctions with a junction area of 186 × 186 nm². The positive MR effect is also observed in nanojunctions with junction areas of 85 × 85 and 131 × 131 nm². The junction area of 186 × 186 nm² is the largest one in our proposed nanojunctions. The present study may pave a new avenue to reveal spin transport mechanism in molecular nano-devices.

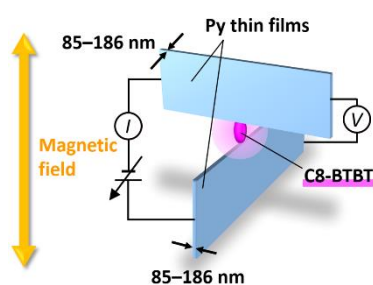


Fig. 1 Schematic illustration of Py/C8-BTBT/Py nanojunctions.

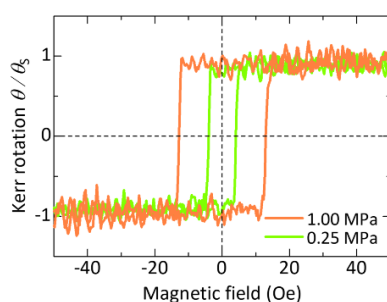


Fig. 2 Magnetization curves of glass/Py (186 nm)/glass.

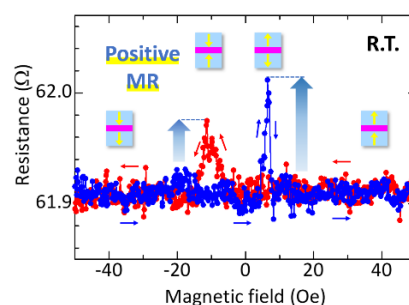


Fig. 3 MR effect in Py/C8-BTBT/Py nanojunctions with a junction area of 186 × 186 nm².

[1] C. Barraud *et al.*, *Nat. Phys.* **6**, 615 (2010).

[2] M. Matsuzaka *et al.*, *Nanoscale Adv.* **4**, 4739 (2022).

数層六方晶窒化ホウ素の化学気相成長と磁気トンネル接合素子への応用 Synthesis of few-layer hexagonal boron nitride for magnetic tunnel junction application

九大院総理工¹, 産総研², 阪大産研³, 九大院理⁴, 九大半導体セ⁵ ○江本 暁¹, 楠瀬 宏樹¹,
益田 純奨¹, 深町 悟¹, Yung-Chang Lin², Haiming Sun³,
末永 和知³, 木村 崇^{4,5}, 吾郷 浩樹^{1,5}
Kyushu Univ.^a, AIST^b, Osaka Univ.^c ○Satoru Emoto^a, Hiroki Kusunose^a,
Shunsuke Masuda^a, Satoru Fukamachi^a, Yung-Chang Lin^b, Haiming Sun^c,
Kazu Suenaga^c, Takashi Kimura^a, Hiroki Ago^a
E-mail: ago.hiroki.974@m.kyushu-u.ac.jp

高感度磁気センサや MRAM などに用いられている磁気トンネル接合(MTJ)素子は、高集積化や低消費電力の観点から界面磁気異方性や高いトンネル磁気抵抗(TMR)比を実現可能なトンネル層の材料選択が必要である。近年では、二次元材料である六方晶窒化ホウ素(hBN)を絶縁層として用いることで、三回対称性をもつ hBN に fcc(111)構造をもつ強磁性金属電極を用いると、対称性の整合性によってコヒーレントなスピントンネリングが起こり、非常に高い TMR 比を示すと理論的に予測されている [1]。しかし、hBN-MTJ の研究などに広く利用されている単結晶 hBN からの剥離片は、層数のばらつきやデバイス作製過程の強磁性金属の酸化などによって TMR 比は~1%にとどまっておき [2]、理論計算のような高い TMR 比は得られていない。これまで我々は、サファイア上に堆積した Ni-Fe 薄膜を用いると、化学気相成長 (CVD) 法によって、大面積に数層 hBN が合成できる [3,4] ことを見出している。本研究では、下部強磁性電極として Ni-Fe 触媒をそのまま利用し、転写による不純物の混入や電極の酸化を抑制することで hBN-MTJ 素子の TMR 特性を評価したので報告する [5]。

数層 hBN は、サファイア基板上に成膜した Ni₇₀Fe₃₀ 薄膜を、ボラジンガス (B₃N₃H₆) と 1200 °C で 30 分間反応することにより合成した。TEM グリッドに転写した hBN の走査型透過電子顕微鏡 (STEM) 測定から、約 65%程度が二層 hBN でそれ以外は単層 hBN と三層 hBN であることが分かった。AFM 測定による hBN の厚さは 1~2 nm で、STEM の結果と一致していた。as-grown の数層 hBN の上部に、リソグラフィとメタルマスクを組み合わせ、直径が 10~40 μm の Au/Co 電極パターンを作製した。図 1(a)に示すように断面 STEM 像から 3 層 hBN が Co と Ni-Fe によって挟み込まれた MTJ 構造を確認できた。hBN の絶縁破壊電圧を測定したところ、5~10 MV/cm の高い耐圧性が得られ、CVD 成長した数層 hBN の高い結晶性を示した。次に、低温プローブにより、この素子の磁気特性を測定したところ、図 1(b)に示すように 10 K で約 10%の高い TMR 値が得られた。素子の抵抗値から hBN のおよその層数を見積もり、TMR 値を層数に対してプロットした結果、三層 hBN が最も高い TMR 値を示すことが明らかになった。今後、三層以上の hBN を選択的に合成し、上部電極を結晶化することなどで、TMR 値のさらなる向上が期待できると考えている。

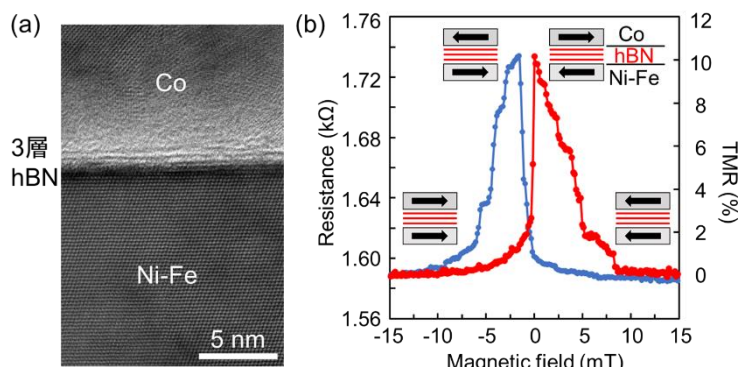


Fig. 1. (a) Cross-sectional STEM image of the hBN-MTJ device, (b) TMR behavior of Co/hBN/Ni-Fe with a 10 μm channel size.

- [1] H. Lu *et al.*, *Appl. Phys. Rev.*, **8**, 031307 (2021).
[2] P. U. Asshoff *et al.*, *2D Mater.*, **4**, 031004 (2017).
[3] Y. Uchida *et al.*, *ACS Nano*, **12**, 6236 (2018).
[4] Y. Uchida *et al.*, *ACS Appl. Electron. Mater.*, **2**, 3270 (2020).
[5] S. Emoto *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **16** 31457 (2024).

First-principles calculations of tunnel magnetoresistance effect in lattice-matched magnetic tunnel junctions

Keio Univ.¹ and CSRN, Keio Univ.²

◦Koki Horigane¹, Yuto Shibata¹, Mizuki Matsuzaka¹ and Hideo Kaiju^{1,2}

E-mail: horigane.univ@keio.jp

Magnetic tunnel junctions (MTJs) exhibit a large tunnel magnetoresistance (TMR) effect [1,2]. The TMR effect strongly depends on the lattice matching between magnetic and insulating layers. In a recent study, a significant TMR ratio of 631% was achieved in lattice-matched FeCo/MgO/FeCo MTJs at room temperature [3]. In this study, we investigate the tunneling transmittance and conductance of electrons, and TMR ratio in good lattice-matched MTJs using first-principles calculations.

We used Quantum ESPRESSO for first-principles calculations. The calculated structures are Fe-based MTJs, consisting of Fe/MgO/Fe, Fe/SrTiO₃/Fe, and Fe/InP/Fe, and FeCo-based MTJs, consisting of FeCo/MgO/FeCo, FeCo/SrTiO₃/FeCo, and FeCo/InP/FeCo. First, we performed structural relaxation for each MTJ in parallel magnetization. Then, we calculated the tunneling transmittance and conductance in parallel and antiparallel magnetizations using the Landauer-Büttiker method. Finally, we calculated the TMR ratio for each MTJ from the obtained conductance.

Table 1 shows the conductances G_P and G_{AP} in parallel and antiparallel magnetizations, respectively, and TMR ratio for MTJs. We obtain large TMR ratios of 8920% and 6420% in Fe/MgO/Fe and FeCo/MgO/FeCo MTJs, respectively. Figure 1 shows the $k_{||}$ -resolved conduction spectra of majority spins in parallel magnetization. The suppression of the conduction through the Δ_1 band of majority spins as well as the enhancement of the conduction through other bands leads to the decrease of TMR ratio in SrTiO₃-based and InP-based MTJs, whereas the robust conduction through the Δ_1 band of majority spins contributes to large TMR ratio in MgO-based MTJs.

Table 1: Conductance in parallel and antiparallel magnetizations, respectively, and TMR ratio for MTJs.

MTJs	G_P ($\Omega^{-1}\mu\text{m}^{-2}$)	G_{AP} ($\Omega^{-1}\mu\text{m}^{-2}$)	TMR ratio
Fe-MgO	0.508	0.00564	8920%
Fe-SrTiO ₃	51.4	15.7	229%
Fe-InP	64.9	32.6	100%
FeCo-MgO	0.673	0.0103	6420%
FeCo-SrTiO ₃	20.8	4.92	324%
FeCo-InP	41.5	8.03	416%

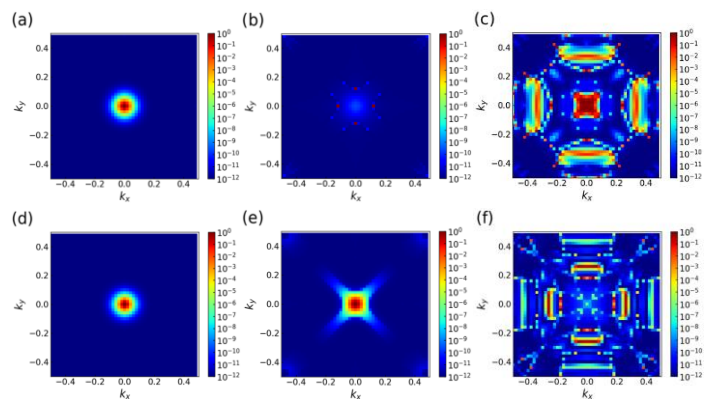


Figure 1: $k_{||}$ -resolved conduction spectra (in units of Ω^{-1}) of majority spins in parallel magnetization for (a) Fe/MgO/Fe, (b) Fe/SrTiO₃/Fe, (c) Fe/InP/Fe, (d) FeCo/MgO/FeCo, (e) FeCo/SrTiO₃/FeCo, and (f) FeCo/InP/FeCo MTJs.

[1] S. S. P. Parkin *et al.*, *Nat. Mater.* **3**, 862 (2004). [2] S. Yuasa *et al.*, *Nat. Mater.* **3**, 868 (2004).

[3] T. Scheike *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **112**, 112404 (2023).

Efficient Optimization of Interfacial Structures in Lattice-Mismatched Fe/MgO Interfaces Using Machine Learning and DFT Integration

Mie Univ.¹, °Andi MuhNurFitrah Syamsul¹, Kohji Nakamura¹

E-mail: 424de01@m.mie-u.ac.jp

Magnetic Tunnel Junctions (MTJs) with Perpendicular Magnetic Anisotropy (PMA) are crucial for advanced memory technologies, particularly STT-MRAM [1]. The Fe/MgO interface is of significant interest due to its strong PMA and voltage-controlled magnetic anisotropy (VCMA) properties [2]. However, interfacial defects, exacerbated by the inherent lattice mismatch between Fe and MgO crystal structures, substantially impact device performance by altering magnetic properties and degrading crystal quality [3]. Recent studies have revealed that the Fe deposition method on MgO (001) significantly impacts crystal quality, with DC magnetron sputtering producing lower-quality crystals compared to other substrates [3]. Over-oxidation and under-oxidation in Fe₄N/MgO systems create various defects, while Density Functional Theory (DFT) calculations show that Frenkel and Schottky defects preferentially form at the MgO surface, affecting its structural properties [4], [5]. To address these challenges, this study employs the Global Optimization with First-principles Energy Expressions (GOFEE) method to explore interfacial defect structures in Fe/MgO (001) heterostructures [6]. DFT calculations are performed using the linear combination of atomic orbitals (LCAO) mode with the Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) exchange-correlation functional, k-point sampling density of 2.0 points per Å⁻¹ with gamma-point inclusion, and a double-zeta polarized (dzp) basis set. After 100 GOFEE iterations, two optimized Fe/MgO structures emerge with distinct characteristics. The first structure exhibits well-ordered body-centered cubic (bcc) Fe arrangement despite noticeable oxygen atom displacement in the MgO layer, while the second structure shows compromised bcc Fe crystallinity but maintains minimal oxygen shifts in the MgO layer. The correlation between oxygen atom positions and Fe crystal quality suggests that interfacial oxygen dynamics play a crucial role in determining the structural integrity of the Fe layer. These atomic-scale insights uncover subtle interfacial defect mechanisms that conventional methods might overlook, particularly the role of oxygen displacement in determining interface quality.

[1] Scheike, T., et al., *Appl. Phys. Lett.*, **122** (2023), 112404.

[2] Nozaki, T., et al., *APL Mater.*, **6** (2018), 026101.

[3] Ravensburg, A. L., et al., *Thin Solid Films*, **761** (2022), 139494.

[4] Huma, T., et al., *Nanomaterials*, **12** (2022), 2668.

[5] Van Gog, H., and Van Huis, M. A., *J. Phys. Chem. C*, **123** (2019), 14408.

[6] Bisbo, M. K., and Hammer, B., *Phys. Rev. B*, **105** (2022), 245404.

超高感度磁気センサ用の直行磁化型強磁性トンネル接合素子のFlux効果 Flux concentrator effect in magnetic tunnel junctions of orthogonal magnetic configuration for ultrasensitive magnetic sensors

スタンフォード大学¹, NAIAS, IMASS 名古屋大², CSIS, CIES 東北大学³

Ziad. Ali¹, 永沼 博^{2,3}, Shan Wang¹, Ada Poon¹

Stanford University¹, NAIAS, IMASS, Nagoya Univ.², CSIS, CIES Tohoku Univ.³

Ziad. Ali¹, Hiroshi Naganuma^{2,3}, Shan Wang¹, Ada Poon¹

E-mails: naganuma.hiroshi.j2@f.mail.nagoya-u.ac.jp, hiroshi.naganuma.c3@tohoku.ac.jp

The sensitivity of magnetic sensors has significantly increased than that of reading heads in hard disk drives (HDD), and research efforts are currently being used for biomedical applications. In the future, bio-magnetic sensors may also potentially contribute to the research and development of brain chip technology that directly connects the human brain to a computer. The advantage of magnetic sensors over conventional electrode detection is that the stray magnetic field of bio-signal is not influenced by dielectric constant distribution. However, the sensitivity and noise level of the magnetic sensor using magnetic tunnel junction (MTJ) is under development. Our aim in this study is to detect neurons firing signals using orthogonal-type MTJ with flux concentrators placed above and below orthogonal-MTJ. The orthogonal-MTJ has a perpendicular reference layer and in-plane sensing layer, the magnetic configuration is orthogonal. [Fig.1] We investigated the optimal structure of each size of junction and flux concentrator using an electromagnetic simulator and micromagnetics simulation. As a result, we found that orthogonal-MTJ with a flux concentrator can improve the sensitivity by about 1,000 times compared with orthogonal-MTJ without a flux concentrator.

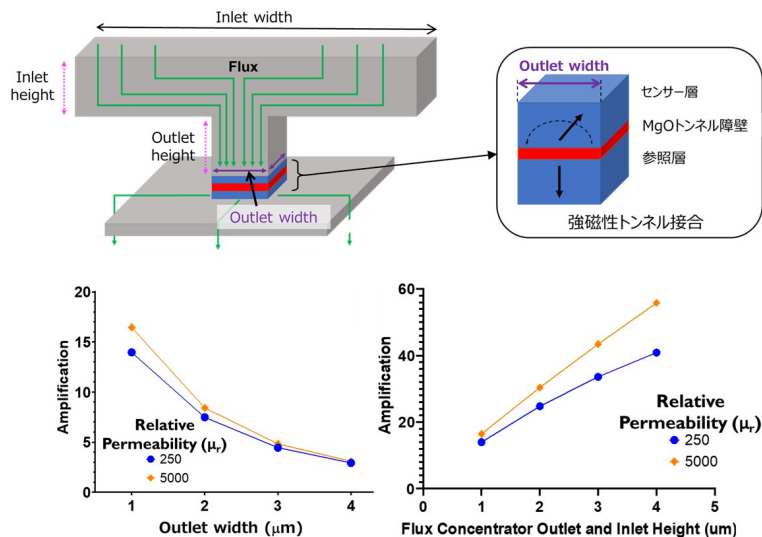


Fig.1 Structure of orthogonal-MTJ with top and bottom flux concentrator, and their amplification by design of top-flux concentrator

This work was partly supported by JSPS core-to-core project No. JPJSCCA20230005, KAKENHI (No.23H03803, and No. 24K01346), and by the Nagoya University Program for Research Enhancement.

Observation of all-optical switching in Gd/Co ferrimagnetic multilayers by a femtosecond laser pulse

¹National Institutes for Quantum Science and Technology, Takasaki, 370-1292, Japan

² University of Hyogo, Ako, 678-1297, Japan

*Songtian Li¹, Ryunosuke Takahashi², Hiroki Wadati², Ye Du¹, Seiji Sakai¹

E-mail: li.songtian@gst.go.jp

Development of new high-speed magnetization reversal technology is essential for further increasing the speed and energy efficiency of nonvolatile magnetic memories. In recent years, all-optical switching (AOS) using ultrashort pulse laser has attracted extensive attention due to its potential for realizing ultrafast magnetic memory with speed order of picoseconds and low energy consumption¹). Until now, research on AOS has been focused on the ferrimagnetic GdFeCo alloy²), but this alloy has problems such as difficulty in controlling the composition-dependent AOS properties and low spin polarization, which harm its application to AOS memory. The development of novel materials capable of AOS is thus anticipated. In this study, we report our recent research activities on achieving AOS in an artificial ferrimagnetic Gd/Co multilayers as novel candidate material for AOS memory applications.

Multilayer thin films consisting of Ta(3 nm)/Pt(3 nm)/Co(0.8 nm)/Gd(3 nm)/Pt(3 nm) with perpendicular magnetic anisotropy were prepared on a thermally oxidized silicon substrates (Fig. 1a) by magnetron sputtering. The AOS experiment was performed using an ultrashort pulse laser with pulse width of 280 fs and wavelength of 1050 nm. The change of the magnetic state before and after the irradiation of the pulse laser was taken by magneto-optical Kerr effect (MOKE) microscope. Fig. 1b shows the differential MOKE image which presents the difference on magnetic state before and after the 1st pulse irradiation, where a bright contrast indicates that magnetic state changes by the single pulse irradiation. Fig. 1c shows the differential MOKE image which presents the difference on magnetic state of the irradiated area after the 1st pulse and 2nd pulse irradiation, where a dark contrast indicates the magnetization changed again after the 2nd pulse irradiation. If we process the differential MOKE image by subtracting the original state from the state after the 2nd pulse irradiation which was shown in Fig. 1d, we found no contrast in the differential image, which confirms the magnetization of the irradiated area was completely recovered after the 2nd pulse irradiation. Those results demonstrate a perfect AOS was achieved in Gd/Co ferrimagnetic multilayers. The energy density dependence of AOS and possible application to AOS magnetic memory will be discussed in detail.

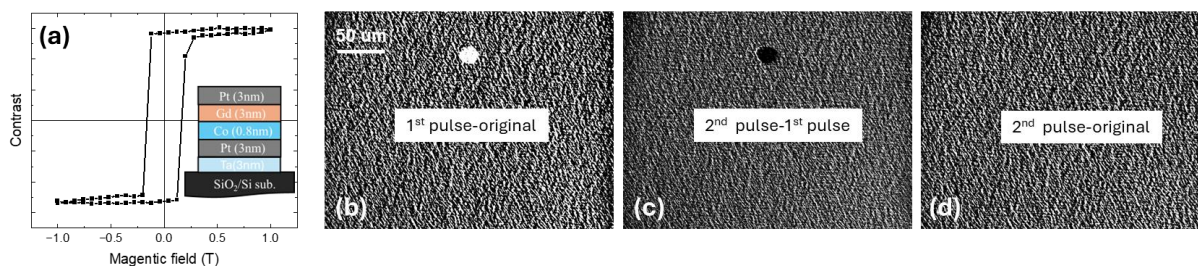


Fig. 1 a) Out-of-plane hysteresis loop taken by MOKE; b)-d) Differential MOKE images.

Reference:

- 1) A. V. Kimel and Mo Li, Nat. Rev. Mater. **4**, 189 (2019)
- 2) C. D. Stanciu, F. Hansteen, A. V. Kimel, A. Kirilyuk, A. Tsukamoto, A. Itoh, and Th. Rasing, Phys. Rev. Lett. **99**, 047601 (2007)

光学干渉層を有する GdFeCo 薄膜の光吸収率 および円偏光吸収特性の波長依存性

Wavelength dependence of optical absorption properties of GdFeCo thin films with optical interference layer

日大院理工¹, 日大理工² ◯(M1C)若林 達也¹, 笠谷雄一², 吉川 大貴², 塚本 新²

Graduate School of Sci. and Tech., Nihon Univ.¹, CST, Nihon Univ.², ◯(M1C)Tatsuya Wakabayashi¹

Yuichi Kasatani², Hiroki Yoshikawa², Arata Tsukamoto²

E-mail: tsukamoto.arata@nihon-u.ac.jp

磁性薄膜への数十 fs 程度の左右円偏光パルス照射のみでカイラリティに一意に対応した磁区形成が可能である偏光依存全光型磁化反転 (HD-AOS) 現象が高速な新規磁気記録手法として応用が期待されている。HD-AOS 現象は超短パルス光吸収に起因する決定論的磁化反転を起源とし、磁気円二色性 (MCD) に基づく左右円偏光の光吸収量差で HD-AOS の双対性が発現する^[1]。そこで、一般に多層構造を有する磁性薄膜における無偏光入射時の実効的光吸収率 A_{eff} (磁化反転誘起可能な光源光強度に寄与) および左右円偏光の実効的光吸収率差 $\Delta A_{\pm\sigma}$ (HD-AOS における双対性に寄与) の 2 つの指標の増大, 特に $\Delta A_{\pm\sigma}$ の増大が HD-AOS の感受特性向上のために求められている。我々はこれまでに、光学干渉構造を用いた多重干渉効果によって $\Delta A_{\pm\sigma}$ の実効的变化, さらに符号反転が可能であることを報告してきた^[2]。本研究では、種々の SiN 光学干渉層厚 t_{SiN} 及び光源波長 λ の組み合わせにて、実計測評価により、 $\Delta A_{\pm\sigma}$, A_{eff} の t_{SiN} , λ の依存性検討を行った。具体的には、 $\Delta A_{\pm\sigma}$, A_{eff} は連続光で主たる特性が評価可能であり^[2], 連続光源 ($\lambda = 532, 633, 670, 780, 808$ nm) にて SiN (t_{SiN} nm) / Gd_{24.0}Fe_{66.5}Co_{9.5} (20 nm) / SiN (5 nm) / glass sub. ($t_{SiN} = 20, 40, 60, 100, 200$) を用いた。光学特性評価には分光計測を用い、実効的 MCD 計測には円偏光変調法を用いた。

Fig. 1 に A_{eff} および算出した $\Delta A_{\pm\sigma}$ を示す。 $\Delta A_{\pm\sigma}$ の大きさ並びに符号関係が変化することを確認した。指標である A_{eff} および $\Delta A_{\pm\sigma}$ の組み合わせは、 t_{SiN} , λ に対し非線形な挙動を示し、特に $\Delta A_{\pm\sigma}$ 成分の変動が大きいことを確認した。その変動の中で $\Delta A_{\pm\sigma}$, A_{eff} ともに大きな値を示す条件が存在することを確認した。

[1] A. R. Khorsand et al. : Phys. Rev. Lett. 108, 127205 (2012).

[2] H. Yoshikawa et al. : Jpn. J. Appl. Phys. 62 SB1009 (2023).

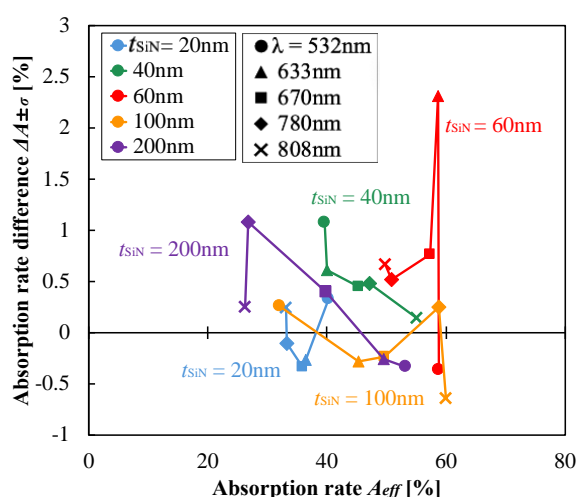


Fig. 1 Relationship between A_{eff} and $\Delta A_{\pm\sigma}$ when changing t_{SiN} and λ .

Measurement of spin-orbit torque magnetization switching in Co/Gd multilayers

ICR, Kyoto Univ.¹, CSRN, Kyoto Univ.², °Shoko Yoshida¹, Yoichi Shiota^{1,2}, Hideki Narita¹, Ryusuke

Hisatomi^{1,2}, Shutaro Karube^{1,2}, Teruo Ono^{1,2}

E-mail: yoshida.shoko.72n@st.kyoto-u.ac.jp

Domain wall motion memory is a candidate for the next generation memory due to its excellent features such as high-density and non-volatility. In this memory, domains separated by domain walls (DWs) in ferromagnetic nanowires correspond to logic bits, and the DWs can be controlled by spin-transfer torque generated from an application of charge current, allowing the logic bits to be transported to any storage position. The vertical domain wall motion memory that we have recently proposed [1] has shown that low critical current density and high thermal stability can be achieved by tuning the parameters of each layer. In this study, we aim to achieve faster operation, suppression of dipolar interactions, and increased writing efficiency due to spin-orbit torque (SOT) by replacing the ferromagnetic material in the layer with high perpendicular magnetic anisotropy with the ferrimagnetic material of Co/Gd multilayers.

Multilayer films with Si-SiO₂/Ta(5)/Pt(10)/Co(0.6)[Gd(1.2)Co(0.6)]_n/Cu(5)/Pt(2) ($n = 1\sim 4$) structures were fabricated by sputtering, where the unit in parentheses is nm. The films were fabricated into the Hall device. The anomalous Hall effect (AHE) measurements show that the multilayers exhibit perpendicular magnetization. Then, SOT switching experiments were performed to investigate the critical current density. The switching current density in ferrimagnetic Co/Gd multilayers was estimated to be smaller than that in the Si-SiO₂/Ta(5)/Pt(10)/Co(1.2)/Cu(5)/Pt(2) film measured as a reference experiment. From this result, it can be expected that our approach will be effective in creating energy-saving memories that can be written at smaller current densities by using ferrimagnetic materials instead of ferromagnetic materials.

[1] Y.M. Hung et al., J. Magn. Soc. Jpn., 45, 6-11 (2021)

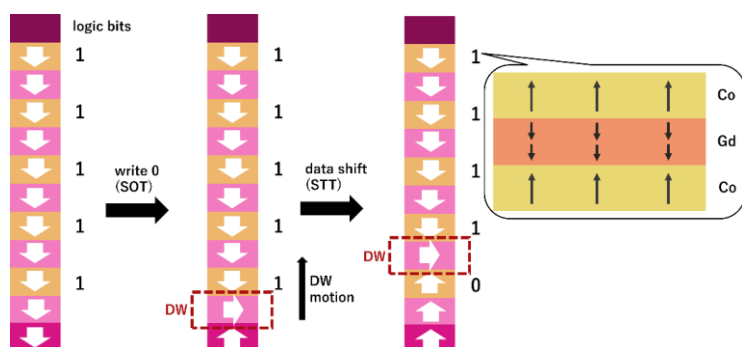


Fig. 1. The left figure illustrates the principle of operation of vertical domain wall motion memory. From the bottom write layer, the magnetization information is transferred to the pink layer with low magnetic anisotropy, and by driving the domain wall, the magnetization information is written to the orange layer with high magnetic anisotropy (the layer corresponding to the logic bits). In this research, a Gd/Co multilayer structure is used for the orange layer (right figure); at the Co/Gd interface, the direction of magnetization is opposite, resulting in a multilayer ferrimagnet.

貼り付けられる薄型ポリイミドフィルム上 スピンオービットトルクデバイス

Attachable spin orbit torque device on thin polyimide sheet

九大シス情¹ 〇黒川 雄一郎¹, 山下 尚人¹, 大石 晟矢¹, 徳永 和彦¹, 湯浅 裕美¹
Kyushu Univ.¹, ^〇Yuichiro Kurokawa¹, Naoto Yamashita¹, Seiya Oishi¹, Kazuhiko Tokunaga¹,
Hiromi Yuasa¹

E-mail: ykurokawa@ed.kyushu-u.ac.jp

[Introduction]

Magnetic thin film is one of candidates for flexible memory because a magnetic material has a sufficient resistance against bending [1]. Although various plastic sheets can be used as substrate for a magnetic device, the substrate should have sufficient heat resistance because magnetic thin film for the memory device needs annealing process. In this study, we fabricated magnetic thin film patterns on the polyimide (PI) sheet, which have sufficient heat resistance, and observed magnetization switching by spin orbit torque (SOT) induced by electric current. Additionally, we bonded PI sheet and polydimethylsiloxane (PDMS), and observed magnetization switching by SOT.

[Experiment]

10 μm -thick PI sheets was fabricated by spin coating method using PI varnish on Si substrate. The Ta(5)/CoFeB(1)/MgO(2) (units are nm) multilayered films were deposited on the flexible PI sheet on Si substrate using a DC magnetron sputtering method. The 10 μm -width Hall cross and electrode patterns were obtained by using a photolithography. The magnetic properties of the samples were measured by vibrating sample magnetometer (VSM). The magnetization switching was measured by applying electric current under in-plane magnetic field H_x .

[Results]

Magnetization curves showed the CoFeB film on PI sheet has perpendicular magnetic anisotropy. The SOT-induced magnetization switching in the CoFeB wire on PI sheet was successfully obtained by applying current. We bonded PI sheet and PDMS, shown in Fig. 1. The SOT-induced magnetization switching in the CoFeB wire on PI sheet with PDMS was also successfully obtained by applying current.

[Acknowledgements] This study was supported in part by the JST, ACT-X Grant Number JPMJAX21K5 and Murata Science and Education Foundation.

[1] S. Ota et. al, Appl. Phys. Express 9, 043004 (2016).

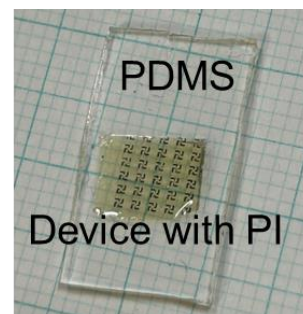


Fig. 1 Photograph of device with PI sheet bonded on PDMS.

All-Optical Magnetization Switching in Ferromagnet-Ferrimagnet Coupled Films with Perpendicular Magnetic Anisotropy

○L. Wang^{1,2}, S. Miki^{2,3}, S. Iihama⁴, K. Ishibashi^{5,2}, K. Nukui^{5,2}, D. Kumar², M. Ishibashi²,
H. Morishita^{1,2}, and S. Mizukami^{2,1}

CSIS, Tohoku Univ.¹, WPI-AIMR, Tohoku Univ.², Osaka Univ.³,

Dept. of Mater. Phys., Nagoya Univ.⁴, Grad. Sch. Eng., Tohoku Univ.⁵

E-mail: wang.luding.d1@tohoku.ac.jp

All-optical switching (AOS) of magnetization presents a promising pathway for realizing opto-spintronic applications. Recent studies highlight the potential of integrating AOS with magnetic tunnel junctions (MTJs) for optically-accessible MRAM, in which the data is recorded via AOS in ferrimagnets [1-4]. However, to realize practical memory application, enhanced device performance including tunnel magnetoresistance for data reading, as well as high magnetic anisotropy for data retention, are required. Here, we investigated AOS in ferromagnetic-ferrimagnetic coupled nanostructure MgO(2)/CoFeB(1.2)/Ta(0.6)/Co(1)/Gd(3)/Pt(2) deposited on Si/SiO₂ substrates via a magnetron sputtering [4], where the 0.6-nm-thick Ta spacer is used for the interlayer exchange coupling in the present study. Figure 1 shows the polar magneto-optical Kerr effect (MOKE) loop of the stack at different annealing temperatures. Decent perpendicular magnetic anisotropy (PMA) is achieved at annealing 200°C and 300°C, compatible with MTJ process. Using femtosecond laser pulses, we investigated AOS via Kerr microscopy, as shown in Fig. 2. A signature of complete magnetization reversal under zero magnetic field at a laser fluence of 1.7 mJ/cm² is clearly shown. We will present the detailed experimental data in the presentation. This work was supported by KAKENHI (24K21234, 21H05000), MEXT X-NICS (JPJ011438), and Spin-RNJ. K.N and K.I thank to the GP-Spin at Tohoku Univ. K.I thanks to the JSPS fellow.

References

1. V. Kimel, M. Li, Nat. Rev. Mater. **4**, 189 (2019).
2. M. L. M. Laliu, et al., Nat. Commun. **10**, 110 (2019).
3. H. Becker, et al., IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, **26**, 1, (2020).
4. L. Wang, et al., PNAS, **119**, e2204732119 (2022).

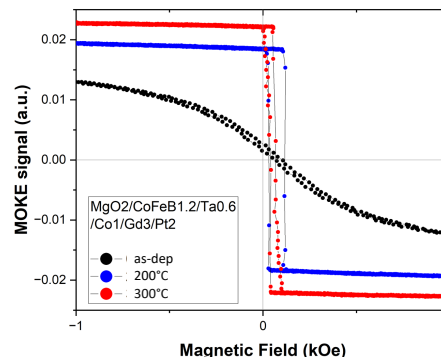


Fig. 1 The polar MOKE loops of the sample annealed at different temperatures. Decent PMA is observed at annealing 200°C and 300°C.

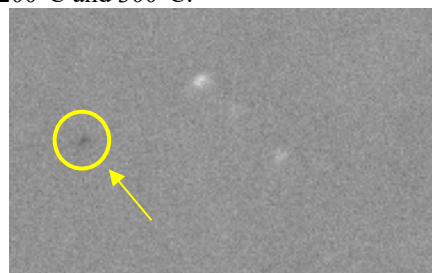


Fig. 2 Demonstration of AOS, observed via the magneto-optical Kerr Microscopy.

フレキシブル基板上 GdFeCo フェリ磁性薄膜の 機械的変形に対する異常ホール電圧の可逆応答

Reversible response of anomalous Hall voltage via mechanical deformation of stuck on flexible substrate GdFeCo ferrimagnetic thin film

日大院理工¹, 日大理工² (MIC) 藤井 優樹¹, 小林 祐希¹, 笠谷 雄一², 吉川 大貴², 塚本 新²

Graduate School of Sci. and Tech., Nihon Univ.¹, CST, Nihon Univ.², (MIC) Yuki Fujii¹

Yuki Kobayashi¹, Yuichi Kasatani², Hiroki Yoshikawa², Arata Tsukamoto²

E-mail: tsukamoto.arata@nihon-u.ac.jp

近年注目されているフレキシブルエレクトロニクスと、ひずみによる磁性体が持つ磁気特性の操作^[1](逆磁歪効果)を組み合わせることで磁気デバイスにひずみ検出等の機能搭載が期待される。機械的変形の電氣的が検出可能な素子形成を目的とし、①ひずみ誘導磁気異方性の寄与により実効的磁気異方性軸が膜面垂直/面内方向へと可逆的に変化する磁性薄膜を形成し、②膜面垂直磁化膜を基本とした異常ホール効果による横電圧出力値が、ひずみにより大きく変化させることを考えた。作製試料として異常ホール効果を発現し、かつ組成比により磁気異方性軸を膜面垂直/面内へ制御可能、また結晶性の半導体材料に比べ靱性に富む希土類遷移金属磁性合金材料を用いた。本検討では Magnetron Sputtering 法により SiN (5 nm)/ Gd_{28.0}Fe_{63.0}Co_{9.0} (20 nm)/ SiN (5 nm)/ Polyimide Sheet (125 μm) を作製し、試料に機械的変形を加えた際における異常ホール電圧特性を計測・評価した。扁平状態 (Flat) の試料に対して膜面垂直方向 (z) に ± 2.0 kOe の範囲で外部磁場を掃引しつつ、膜面内方向 (x) に直流電流 0.1 mA を印加し、膜面内で x 方向に直交する方向 (y) に誘起される異常ホール電圧 (V_y) を測定した。また、試料に対し曲率半径 ± 3.0 mm の機械的変形により引張応力 (+σ) および圧縮応力 (-σ) を与えた各状態にて同様の測定を行った。

Fig.1 に各状態における V_y の外部磁場依存性を示す。まず扁平状態の V_y 特性は高い角型比を示した。対して+σ では ± 0.5 kOe の低磁場領域で電圧値が低下し、特に残留磁化状態においては機械的変形のみで約 60 % の電圧変化を生じた。一方、-σ では機械的変形による V_y 特性の変化はほとんど見られなかった。さらにいずれの機械的変形を加えた後にも扁平状態にすることで、元の V_y 特性に回復することを確認した。以上から残留磁化状態において可逆的かつひずみの符号に対し非対称な異常ホール電圧応答が生じる事を明らかにし、外部磁場を要せず曲率半径数 mm オーダーの機械的変形に対して約 60 % の電圧変化を伴うフレキシブル磁性薄膜素子形成の可能性を示した。

[1] G. Dai *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*

100, 122407 (2012).

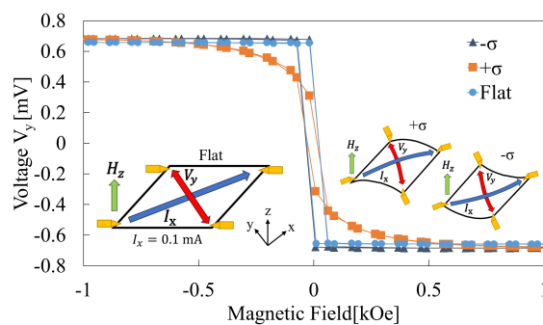


Fig. 1 Anomalous Hall voltage response due to mechanical deformation.

強誘電体キャパシタを用いた CoFeB の磁氣的制御及び不揮発性

Magnetic Controllability and Nonvolatility of CoFeB Using a Ferroelectric Capacitor

科学大工¹, 科学大住友化学協働研究拠点² ○呉研^{1,2}, 鬼村和志^{1,2}, 小林宏之², 角嶋邦之^{1,2}

Eng. of Science Tokyo¹, Sumitomo Chemical Next-Generation Eco-Friendly Devices Collaborative

Research Cluster, of Science Tokyo², °Yan Wu¹, K. Onimura^{1,2}, H. Kobayashi², K. Kakushima^{1,2}

E-mail: yan.w.ab@m.titech.ac.jp

概要 $\text{Al}_{0.88}\text{Sc}_{0.12}\text{N}$ 強誘電膜の分極反転を用いて MgO 上の $\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.6}\text{B}_{0.2}$ 薄膜に対して磁氣的制御性及び不揮発性を確認した。CoFeB 層が垂直磁気光学効果(MOKE)観測において強誘電層の正及び負電界印加で保磁力が変化し、その効果が持続されることを確認した。

はじめに MgO 層上の薄い CoFeB 層の界面垂直磁化 (PMA) は、STT-MRAM の pMTJ で重要な役割を果たします。従来の電圧制御磁気異方性 (VCMA) 効果を用いた磁化スイッチングは、スイッチングエネルギーの削減が可能であるが、高電界による MgO 膜の劣化が課題である。本研究では、強誘電体 $\text{Al}_{0.88}\text{Sc}_{0.12}\text{N}$ を用いて、CoFeB 層(1, 1.3, 2 nm)の磁気特性を変化させ、その不揮発性を評価した。

実験 図 1(a)に構造図を示します。SiO₂ 基板上に Ta (1 nm)/Co_{0.2}Fe_{0.6}B_{0.2} (1.3, 2 nm)/MgO (2 nm)の積層構造を製膜し、その後メサ型に形成し、SiO₂ を堆積し強誘電キャパシタ領域のエッチングを行った後に誘電体 $\text{Al}_{0.88}\text{Sc}_{0.12}\text{N}$ 層(50nm)と TiN (30 nm)を製膜し、TiN のパターンニングを行った。(b)に強誘電性を示すバタフライ型 C-V 特性を確認した。

結果・考察 図 2(a)に正及び負電圧をかけたのちに、垂直 MOKE の観測結果を示します。正電界印加後のデバイスでは保磁力が 91 (Oe)のに対して、負電界印加後のデバイスでは、221 (Oe)であった。図 2(b)に同時に測定した電界印加に対して保磁力のまとめを示す。負印加時では正印加に対して 2 倍程度大きいことがわかった。なお、この実験は電界印加後 3 日後まで効果があることも確認した。

謝辞 本研究は、文部科学省次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業 JP J011438 と住友化学株式会社の助成を受けたものです。

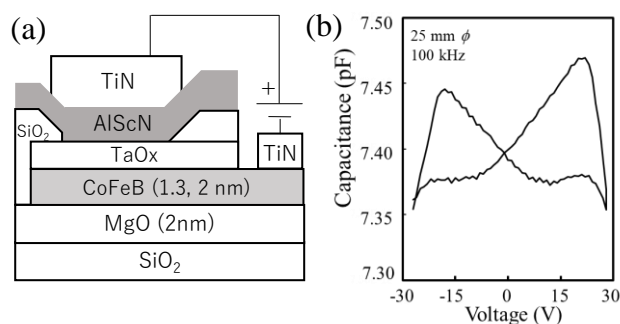


図 1 (a)AlScN 強誘電キャパシタ及び下部電極に CoFeB を用いた構造図 (b)強誘電性を示す C-V 特性

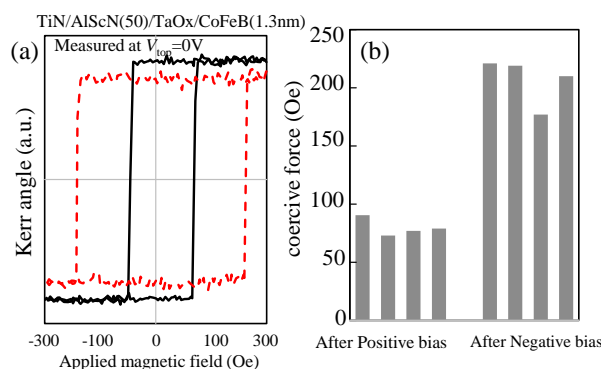


図 2 (a)正電界印加後(実線)及び負電界印加後(点線)の MOKE 効果 (b)電界印加後の保磁力のまとめ