

# 磁性ガーネット微粒子を用いた フレキシブル磁気光学薄膜の作製と評価

嶋田拓馬、玉村拓也、高野巧光、後藤太一\*、橋本良介  
(鈴鹿高専、\*東北大)

Faraday rotation angle of flexible magneto-optical thin films with magnetic garnet fine particles  
Takuma Shimada, Takuya Tamamura, Takumi Takano, Taichi Goto, Ryosuke Hashimoto  
(NIT Suzuka College, \*Tohoku Univ.)

## はじめに

磁性ガーネット薄膜は巨大な磁気光学効果を発現する代表的な磁気光学材料として知られている<sup>1)</sup>。従来、成膜にはスパッタ法や金属有機化合物分解法などが用いられてきたが、成膜後に 700 度程度で結晶化熱処理を施す必要がある<sup>2)</sup>。従って基板には耐熱性の高い単結晶基板やガラス基板が用いられており、アクリル素材のようなフレキシブル基板上への成膜は困難であった。そこで我々は、予め熱処理を施して結晶化した磁性ガーネット粒子を液中に分散させて、スピコート法を用いることで自在に湾曲する基板上への成膜を行った<sup>3)</sup>。しかし、光散乱の影響により測定に必要な透光性が得られず、磁気光学効果の評価には至っていなかった。本研究は、ビスマス置換イットリウム鉄ガーネット(Bi:YIG)粉体を粉砕して光散乱を抑制し、自在に湾曲する基板上へ塗布した際のファラデー回転角の大きさを評価した結果について報告する。

## 実験方法

Bi:YIG 粒子 1.0 g と純水 18 mL、有効成分を 10% に調整した界面活性剤 1.0 mL (花王 (株)、poise520)、および粉砕するためのジルコニアビーズ 70 g をジルコニア容器に入れ、遊星ボールミリングを用いて Bi:YIG 粒子を粉砕した。ミリング条件は、回転数 300 rpm、処理時間 10 h、ビーズ径 0.1 mm とした。粉砕後に水性ウレタンニスと有機バインダとして混ぜ合わせ、アクリル基板上にスピコート法を用いて成膜した。成膜条件は、回転数 2000 rpm、加速時間 5 s、回転時間 20 s とした。同条件で 10 回塗布を繰り返し、重ね塗りを行うことで、厚膜化した。この試料の粒径分布、ファラデー回転角を評価した。

## 実験結果

ミリング後の Bi:YIG 粒子の粒径分布を、ミリング処理時間ごとにレーザ散乱解析法により計測した結果を Fig. 1 に示す。10 時間ミリング処理した結果から、光散乱の抑制が期待できる 200 nm 程度の粒径の微粒子が得られていることが確認できた。作製したフレキシブル磁気光学薄膜のファラデー回転角ループを波長 532 nm にて測定した結果を Fig. 2 に示す。10 層の重ね塗りを施した薄膜のファラデー回転角は約 0.16 度であり、飽和磁界は 2 kOe 程度であった。発表では試料を湾曲させた際の様子についても報告する。

## 参考文献

- 1) Y. Yoshihara, et.al., Applied Physics Letters, **123**, 112404, (2023).
- 2) R. Hashimoto, et. al., Journal of Applied Physics, **115**, 17A931, (2014)
- 3) R. Hashimoto, et. al., Materials, **15**, 3, 1241, (2022)

## 謝辞

本研究の一部は東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究により実施されたものである。

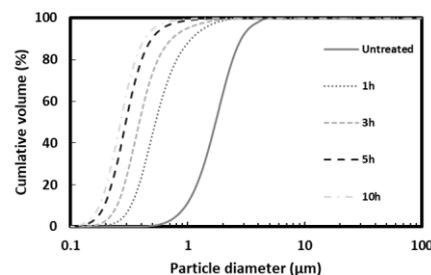


Fig.1 Particle size distribution.

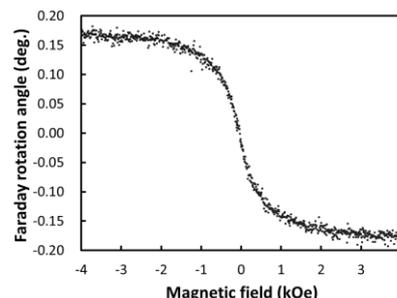


Fig. 2 Faraday rotation loop.

## FeCo-BaF/ITO 複合多層薄膜の磁気光学効果

池田 賢司<sup>1</sup>, 刘 天際<sup>2</sup>, 太田 泰友<sup>3</sup>, 岩本 敏<sup>4,5</sup>, 小林 伸聖<sup>1</sup>  
 (電磁研<sup>1</sup>, 中科院長春光機所<sup>2</sup>, 慶応大学<sup>3</sup>, 東大先端研<sup>4</sup>, 東大生研<sup>5</sup>)

Magneto-optical effect in FeCo-BaF/ITO multilayer films

Kenji Ikeda<sup>1</sup>, Tianji Liu<sup>2</sup>, Yasutomo Ota<sup>3</sup>, Satoshi Iwamoto<sup>2,4</sup>, Nobukiyo Kobayashi<sup>1</sup>  
 (Denjiken<sup>1</sup>, CIOMP<sup>2</sup>, Keio Univ.<sup>3</sup>, RCAST, Univ. of Tokyo<sup>4</sup>, IIS, Univ. of Tokyo<sup>5</sup>)

### はじめに

ナノグラニューラー磁性薄膜は、絶縁体等のマトリックス中に磁性金属ナノ粒子を分散させた構造を有しており、多様な物性を示すことで知られている。一方、誘電率がほぼゼロとなるイブシロンニアゼロ (ENZ) 特性は、金属や半導体材料が特定の波長で示す特性として知られており、誘電率変化に伴う非線形光学応答などの興味深い物性を示すことが確認されている。我々のグループでは、ENZ 特性による誘電率対角成分の減少が、磁気光学効果を増強させ<sup>1)</sup>、一方向性光導波路などのトポロジカル光デバイスの実現に有効であることを見出した<sup>2)</sup>。ナノグラニューラー薄膜が有する大きい磁気光学効果を、ENZ 効果によって増強することが可能となれば、より大きい磁気光学効果を得ることが可能となり、光デバイスへの応用を加速することが期待される。本報告では、高い磁気光学効果を有する薄膜の作製を目的として、ナノグラニューラー薄膜と赤外波長帯域に ENZ 特性を示す ITO 薄膜を交互に積層した薄膜を作製し、FeCo-BaF/ITO 複合多層薄膜の磁気光学効果および光学特性を解析した結果について報告する。

### 実験方法

ナノグラニューラー薄膜は、BaF<sub>2</sub> 焼結ターゲットと Fe<sub>60</sub>Co<sub>40</sub> 合金ターゲットを Ar ガス雰囲気において成膜、ENZ 層は ITO(Sn 10wt.%)ターゲットを Ar-O<sub>2</sub>(1%)の混合ガス雰囲気において成膜し、シャッター開閉時間により各層の膜厚を制御した。成膜は 400°C の加熱雰囲気で行い、膜厚約 300 nm の薄膜を作製した。ITO 層の ENZ 波長を制御するため、成膜後に真空雰囲気中で熱処理(400°C, 1hour)を行った。ファラデー効果の波長依存性は、分光式ファラデー効果測定装置 (NEOARK, BH-501F-SVD)を用いて評価した。薄膜の光透過率は、分光光度計(Shimadzu, UV-3150)を用いて測定した。誘電率は分光エリプソメータ(Horiba, UVISEL-Plus)によって解析した。

### 実験結果

ENZ 波長を変えて成膜した FeCo-BaF(20nm)/ITO(20nm)複合積層薄膜のファラデー回転スペクトルを Fig.1、ITO 層の誘電率(実数)を Fig.2 に示す。複合積層薄膜の赤外帯域のファラデー回転角は、単一層のナノグラニューラー薄膜に対して大きい値となっており、ITO 層の ENZ 波長の増加に応じてピーク波長が長波長側にシフトしている。ファラデー回転角の増加比率は、ENZ 波長が長くなるほど大きくなり、ENZ 波長が 1270nm の試料において最大の約 2.5 倍となる。ファラデー回転角のピーク波長が ITO 層の ENZ 波長に応じて変化する結果は、ENZ 効果が磁気光学効果の増強に強く関与していることを示唆する。また、複合積層薄膜において磁気光学効果に直接的に寄与するのはナノグラニューラー層のみと考えられることから、ナノグラニューラー層の比率が半分となっていることを考慮すると、ENZ 効果による磁気光学効果の増強は実測結果よりも大きいものと推測される。

**謝辞** 本研究は JST-CREST, JPMJCR19T1 および JSPS 科研費 23K26371 の助成を受けたものです。

### 参考文献

- 1) K. Ikeda, T. Liu, Y. Ota, N. Kobayashi, and S. Iwamoto, *Adv. Opt. Mater.*, 12, 2301320 (2024).
- 2) T. Liu, N. Kobayashi, K. Ikeda, Y. Ota, and S. Iwamoto, *ACS Photonics*, 9 (5), 1621-1626 (2022).

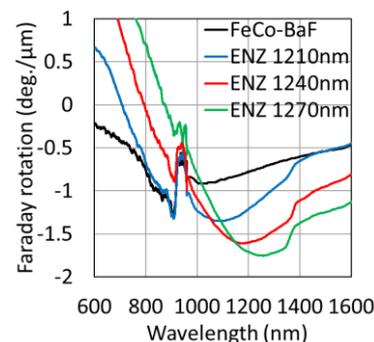


Fig. 1 Faraday spectra of FeCo-BaF/ITO multilayer films

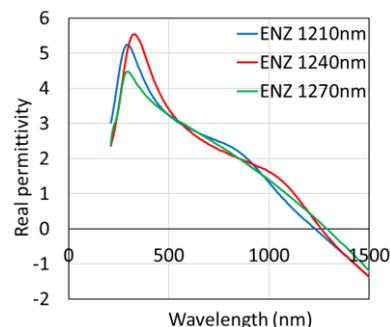


Fig. 2 Real permittivity of ITO layers

# 種々の光学干渉層厚を有する GdFeCo 薄膜における 磁気円二色性および双対性符号の波長依存性

若林達也<sup>1</sup>, 吉川大貴<sup>2</sup>, 塚本新<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 日本大学大学院理工学研究科, <sup>2</sup> 日本大学理工学部)

Wavelength Dependence of Magnetic Circular Dichroism and Duality Sign  
in GdFeCo Thin Films with Various Optical Interference Layer Thicknesses

Tatsuya Wakabayashi<sup>1</sup>, Hiroki Yoshikawa<sup>2</sup>, Arata Tsukamoto<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ., <sup>2</sup> College of Science and Technology, Nihon Univ.)

**はじめに** 数十フェムト秒程度の円偏光パルスレーザーを照射することで初期磁化状態および入射光のキラリティに対応した磁化状態遷移が可能である偏光依存全光型磁化反転 (Helicity Dependent All-Optical Magnetization Switching : HD-AOS) 現象が発見され, 応用が期待されている. 希土類遷移金属合金系における, HD-AOS 現象の偏光依存性は磁気円二色性 (Magnetic Circular Dichroism : MCD) に由来する<sup>1)</sup>. 本材料の内因的 MCD に基づく左右円偏光に対する吸収エネルギー差は小さいと考えられ, 応用実現のために外的要因により実効的 MCD の増強が必要と考えられる. 本報告では, 実効的な MCD の増大を目的に, 楕円率計測に基づき種々の光学干渉層厚を有する GdFeCo 薄膜における磁気円二色性および双対性符号の波長依存性につき検討を行った.

**実験方法** 測定試料として, DC・RF Magnetron Sputtering により作製した SiN ( $t$  nm) / Gd<sub>24.0</sub>Fe<sub>66.5</sub>Co<sub>9.5</sub> (20 nm) / SiN (5 nm) / glass sub. ( $t = 20, 40, 60, 100, 200$ ) を用いた. また, 既報告の HD-AOS 現象と光学干渉層厚の検討で用いた波長 800 nm<sup>2)</sup>と波長の近い LASER Diode ( $\lambda = 780$  nm), He-Ne LASER ( $\lambda = 633$  nm) を光源に用いた. 本報告では, 光弾性変調器 (Photo-Elastic Modulator : PEM) による磁気光学 Kerr, Faraday 計測を行った.

**結果** 光源波長  $\lambda = 633$  nm, 780 nm で磁気光学 Kerr 効果, Faraday 効果により測定した旋光角  $\theta$  および楕円率  $\eta$  の光学干渉層厚依存性を, Fig. 1, Fig. 2 に示す. 磁気光学 Kerr, Faraday 計測のいずれも  $\lambda = 633$  nm, 780 nm で大きく異なる膜厚依存性を示した. 干渉層膜厚 100 nm 以下では, 反射特性は透過特性に比して強く干渉効果が現れており, 特に Fig. 2 における  $\lambda = 780$  nm の  $\eta_K$  は光学干渉層膜厚  $t = 60 \sim 100$  nm で双対性の符号が反転することを確認した. これは, 既報告の HD-AOS 現象と光学干渉層厚の検討における結果と対応しており<sup>2)</sup>, 実効的な MCD に由来する吸収率差と  $\eta$  の相関を示唆する結果を得た. 一方,  $t = 200$  nm では  $\lambda = 780$  nm のとき,  $\eta_K$  が再び双対性の符号反転するとともに,  $\eta_F$  は他膜厚と比べて大きく増大することを確認した. これにより, SiN 誘電体層膜厚の増加により光学干渉を用いて実効的な MCD の更なる増大が示唆される.

## 参考文献

- 1) A. R. Khorsand et al. : *Phys. Rev. Lett.* 108, 127205 (2012).
- 2) H. Yoshikawa et al. : *Jpn. J. Appl. Phys.* 62 SB1009 (2023).

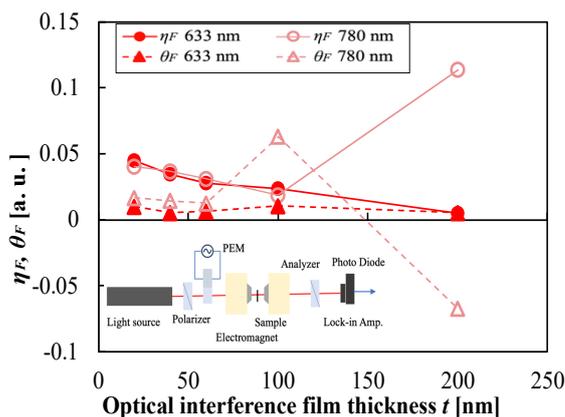


Fig. 1 Optical interference layer thickness dependence of  $\theta$  and  $\eta$  measured by Faraday effect

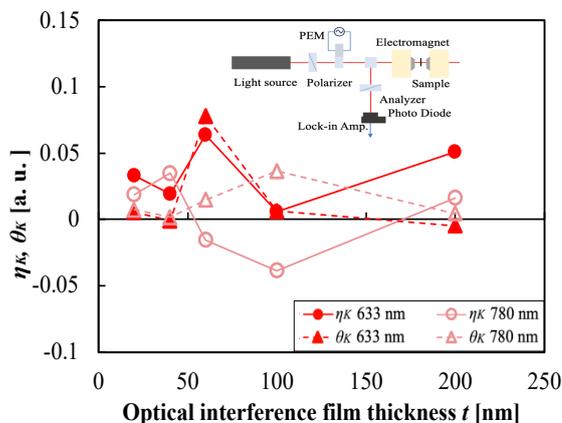


Fig. 2 Optical interference layer thickness dependence of  $\theta$  and  $\eta$  measured by magneto-optical Kerr effect

# Yafet-Kittel 構造による Planar ホール効果と X 線磁気線二色性

小泉 洸生<sup>1</sup>、山崎 裕一<sup>2</sup>、柳原 英人<sup>3</sup>

(1 東北大学, 2 NIMS, 3 筑波大学,)

Planar Hall effect and X-ray magnetic linear dichroism by Yafet-Kittel Structure

Hiroki Koizumi, Yamasaki Yuichi, and Hideto Yanagihara

(1 Tohoku Univ., 2NIMS, 3 Univ. of Tsukuba)

## 【背景】

NiCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(NCO)は、逆スピネル構造を有したフェリ磁性体で、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(001) (MAO)基板上に作製することで正方歪が導入され、室温では垂直磁気異方性、低温では円錐型の磁気異方性を示す[1]。この円錐型の磁気異方性のために、スピネル構造の副格子の1つであるパイロクロア格子において磁気トロイダル四極子秩序が実現しており、これによる磁場に反対称な四極子異常ホール効果が報告されている[2]。さらに intrinsic な Planar ホール効果と考えられる磁場に対称なホール効果も見出されており、もう一つの副格子であるダイヤモンド格子において Yafet-Kittel(YK)構造が実現している可能性が示唆されていた。YK 構造は非共線的なスピン構造の一種で、ダイヤモンド格子においては図 1 のように青色と紫色のイオンが反強磁性的に結合したスピン構造となる [3]。一般的に YK 構造は交換相互作用の競合に起因して実現している。一方で円錐型の磁気異方性では円錐面が磁化容易面となるため、反強磁性的な結合が存在すると図 1 のように円錐面内で反対方向を向いた配置となり YK 構造が安定化すると考えられる。図 1 に示すような YK 構造が実現している場合、(001)面内では反強磁性的な結合となるため、X 線磁気線二色性(XMLD)により検出が可能である。そこで本研究では、NCO 薄膜に対して XMLD 測定を行い、YK 構造が実現しているかを調べた。

## 【実験】

NCO 薄膜は、MAO(001) 基板上に NiCo(1:2)合金をターゲットとした反応性 RF マグネトロンスパッタリング法により作製した。作製した試料は、高エネルギー加速器研究機構 フォトンファクトリーの BL16A にて磁場中冷却を行い、5K にて XMLD スペクトルの磁場依存性を調べることで、YK 構造が実現しているかを調べた。XMLD 測定は、直線偏光した放射光を膜面垂直方向(NCO[001])から入射し、さらに放射光と平行な方向に磁場を印加しながら行いその磁場依存性を調べた。直線偏光の方向は  $\mathbf{E} \parallel \text{NCO}[110]$ ,  $[\bar{1}10]$  とした。

## 【結果】

図 2 に、Co の L<sub>3</sub> 端における XMLD スペクトルの磁場依存性を示す。XMLD スペクトルが現れていることから、NCO(001)面内に低磁場で反強磁性構造が生じていることを示唆している。加えてこの結果は、電気伝導特性で観測された磁場に対称なホール効果とよく一致していた。NCO 薄膜において Co は、ダイヤモンド格子を占有していることから、この結果は NCO 薄膜において低磁場で円錐型の磁気異方性に起因して YK 構造がダイヤモンド格子で実現していることを示唆している。

## 参考文献

[1] H. Koizumi, *et al.*, *Phys. Rev. B* **104** 014422 (2021).

[2] H. Koizumi, *et al.*, *Nat. Commun.* **14** 8074 (2023).

[3] Y. Yafet and C. Kittel, *Phys. Rev.* **87** 290 (1952).

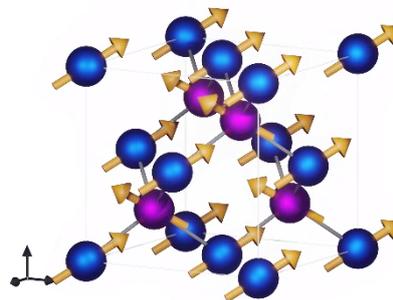


図 1: ダイヤモンド格子と Yafet-Kittel 構造

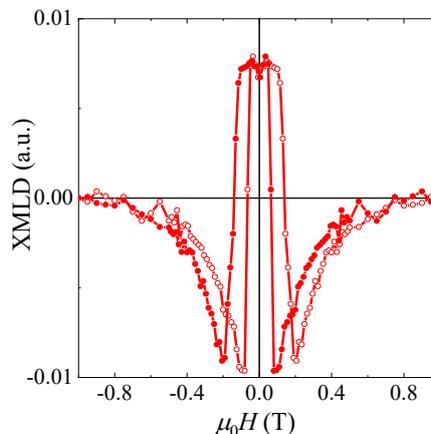


図 2: XMLD の磁場依存性

# 磁気およびキラル光学応答を示すナノ構造体の円偏光による作製

石田拓也\*、澤田直樹、伊藤拓哉、イ スンヒョク、立間 徹\*  
(東大生研)

Nanostructures Exhibiting Magneto-optical and Chiroptical Responses Prepared  
by Circularly Polarized Light

T. Ishida, N. Sawada, T. Ito, S.-H. Lee, T. Tatsuma  
(IIS, the Univ. of Tokyo)

## はじめに

空間と時間の反転対称性を同時に破ることで、無偏光に対して非相対な光学応答を示す磁気キラルメタマテリアル<sup>1</sup>の開発が進めば、超小型単一素子で光伝搬特性を制御可能な光アイソレータや光サーキュレータ、また非相対性ホログラフィによる高度なデータストレージなど従来の技術とは異なる原理で作動する革新的な光学素子への展開が期待できる。しかし、可視光域で非相対光学効果を示すようなナノスケールの磁気キラル構造体は作製難度が高い。本研究では、無偏光に対する非対称な透過を示す磁気キラルプラズモニックナノ構造体を、我々が報告してきた円偏光によるキラル形状化<sup>2,4</sup>によりボトムアップ的に作製することを目的とした。

## 実験方法

ポリエチレンイミンを吸着させたガラス基板上で、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ナノ粒子 (~40 nm) を化学的に成長させた。そこに円偏光を照射し、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  の部位選択的な光触媒反応による  $\text{Ag}^+$  の還元反応<sup>4</sup> と、還元析出した  $\text{Ag}$  自体の局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) を介したキラル形状化<sup>3</sup> を組み合わせることで、 $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag}$  磁気キラル構造体 (Fig. 1a) を作製した。

## 実験結果

得られた  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ナノ粒子は、SEM 像から平均粒径  $40 \pm 8$  nm であった。また、磁気円偏光二色性 (MCD) を示した。この粒子に円偏光を照射すると、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ナノ粒子上にのみ  $\text{Ag}$  が還元析出し、 $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag}$  ナノ複合体が得られた。 $\text{Ag}$  の析出に伴い、LSPR に由来する吸収の増大が見られ、また円偏光二色性 (CD) が観測されるようになり、ナノ構造体がキラリティを有することがわかった

(Fig. 1b,c)。この CD の正負は、照射する円偏光の左右に応じて反転したことから、円偏光がキラル源であることもわかった。また、 $\text{Ag}$  の析出後も MCD の強度が概ね保たれた (Fig. 1b,c)。 $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag}$  ナノ構造体は、キラリティに起因した CD と、磁性に起因した MCD を示したことから、原理的には非相対光学応答の観測が期待できる。

## 参考文献

- 1) S. Tomita, K. Sawada, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **51** 083001 (2018).
- 2) K. Saito, T. Tatsuma, *Nano Lett.* **18**, 3209–3212 (2018).
- 3) T. Ishida, A. Isawa, S. Kuroki, Y. Kameoka, T. Tatsuma, *Appl. Phys. Lett.* **123**, 061111 (2023).
- 4) Y. Oba, S. H. Lee, T. Tatsuma, *J. Phys. Chem. C* **128**, 827–831 (2024).

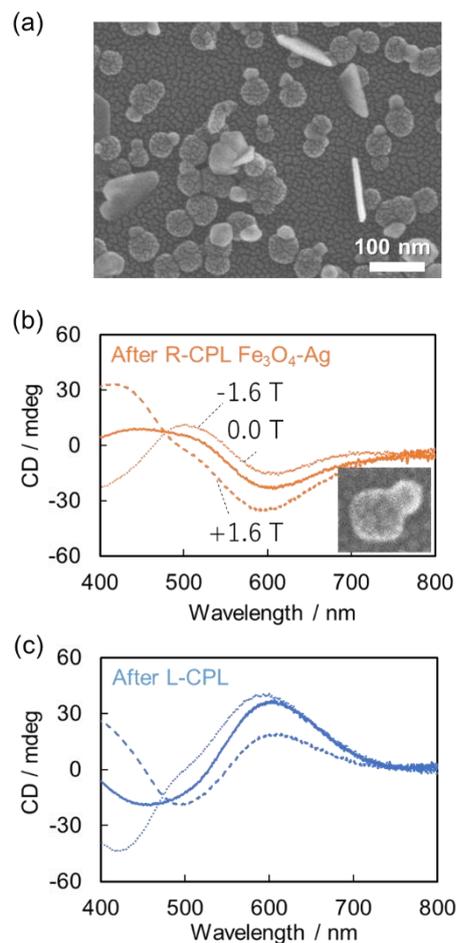


Fig. 1 (a) SEM image and (b, c) CD and MCD spectra of  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Ag}$  nanocomposites fabricated by right- or left-CPL.

# 磁性ナノ構造を導入した磁気光学キャビティの磁気光学特性

劉家祥、安川雪子、\*長谷川崇、\*\*山根治起  
(千葉工大、\*秋田大、\*\*秋田産技センター)

Magneto-optical properties of magneto-optical cavities incorporating magnetic nanostructures

J.Liu, Y.Yasukawa, \*T.Hasegawa, \*\*H.Yamane

(Chiba inst. Tech., \*Akita Univ., \*\*Akita Ind. Tech. Center)

**はじめに** 磁気光学 (MO) 効果とプラズモンの相互作用は盛んに研究されている。我々は、CoPt 垂直磁化積層膜で構成された光学干渉 (キャビティ) 素子の理論計算において、MO 効果の上限「Kerr 回転角( $\theta_K$ ) =  $\pm 90^\circ$ 」が実現できることを報告している<sup>(1)</sup>。また、貴金属微粒子に CoPt 膜を成膜した試料では、局在プラズモンに起因する、特異な MO 特性についても報告している<sup>(2)</sup>。本研究では、キャビティと貴金属微粒子とを組み合わせた、磁性ナノ構造体の磁気光学物性について調査した。

**実験方法** 試料は[磁性ナノ構造層/光学干渉層/全反射層]積層膜を基本構造として、マグネトロンスパッタ法によって作製した(Fig. 1)。積層膜は、ガラス基板上にシード層として Al 添加 ZnO (AZO)を 5 nm、全反射層として Ag を 100 nm、光干渉層として AZO を成膜した。キャビティにおけるハーフミラーとして機能する磁性ナノ構造層は、Ag (5.2 nm)を加熱成膜することで粒子化した後、その上に[CoPt (5 nm)/AZO (2 nm)]を成膜することで作製した。光学干渉層の厚さを 0~80 nm まで変化させ、Ag の成膜温度を室温(rt)および 200~500°C まで変化させて試料作製を行った。表面形態は走査電子顕微鏡 (SEM)で観察し、磁気特性は振動試料型磁力計(VSM)で、MO 特性は分光式極 Kerr 装置で測定した。

**結果及び考察** Fig. 2 に、60 nm の光学干渉層を持ち、Ag を 200°C で加熱成膜した試料の SEM 像を示す。膜構造は[CoPt (5 nm)/AZO (2 nm)/Ag (5.2 nm)/AZO (60 nm)/Ag (100 nm)]である。SEM 像から、Ag が凝縮し、粒子状となっていることがわかる。Fig. 3 に Ag を rt および 200°C で加熱成膜した試料の磁気特性を示す。CoPt を Ag 微粒子上に成膜することで、保磁力が大きくなっている。Fig. 4 に、Ag を 200°C で加熱成膜した試料の、測定波長 506 nm および 540 nm における、規格化した極 Kerr ループを示す。波長 540 nm では VSM と同様のヒステリシス曲線が観測されるのに対して、506 nm では特異な結果となっている。これは、試料が、MO 極性と保磁力が異なる 2 つの領域で構成されていることを示唆している。ここで、磁気キャビティ素子の MO スペクトルは、共鳴波長において極性反転をともなった増大を示し、ハーフミラー層の厚さに敏感である<sup>(1)</sup>。Fig. 2 で示した試料では、磁性ナノ構造層は、Ag 微粒子の有無によって厚さが異なる 2 種類のハーフミラー層として機能すると推測される。この時さらに、2 つの領域では保磁力も異なっており、結果として Fig. 4 で示した特異な Kerr ループが観測されたと考えられる。

## 参考文献

- (1) 劉 他, 応用物理 2024 春季, 24p-12H-4
- (2) H. Yamane et al., J.Appl.Phys. **124**, 083901 (2018)

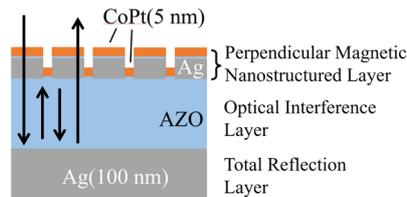


Fig. 1. Schematic diagram of sample structure.

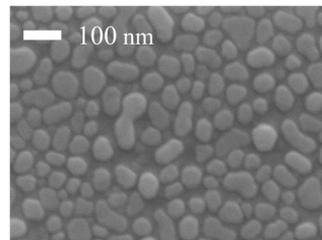


Fig. 2. Surface morphology for MO cavities with nanostructures.

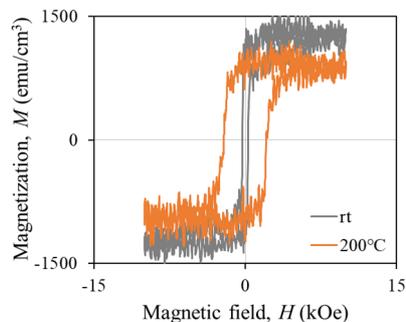


Fig. 3. Measured magnetic properties for rt and 200°C sputtering.

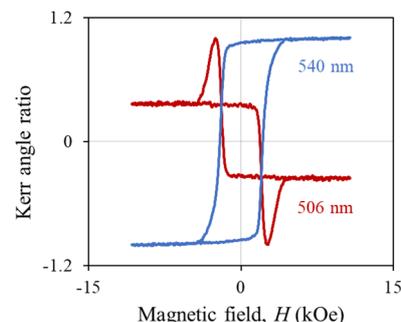


Fig. 4. Measured polar Kerr loops for MO cavities with nanostructures.

# 回折限界領域に励起した表面プラズモンを用いた 磁気光学応答の顕微計測

松林大揮, 山根治起\*, 加野裕

(室蘭工業大学大学院 工学専攻, \*秋田県産業技術センター)

Observation of magnetic domains in the diffraction-limited region using focused surface plasmon

Daiki Matsubayashi, Haruki Yamane\*, Hiroshi Kano

(Division of Engineering Muroran Institute of Technology, \*Akita Industrial Technology Center)

## はじめに

金属表面における自由電子の集団的振動運動の量子である表面プラズモン (SP) を, 磁性層と金属層で構成された積層膜上に励起すると, 磁性層の磁気光学特性を増強することができ, これを利用して磁性層近傍の屈折率を高感度に測定する手法が提案されている<sup>1</sup>. 本研究では, 光の回折限界領域に SP を局在させた集束表面プラズモン (FSP) を励起し, 顕微領域における磁気光学特性の測定を試みた. 提案する手法により, 基板表面近傍の極めて微弱な屈折率分布を高い空間分解能で可視化する顕微鏡の実現が期待できる.

## 実験方法と実験結果

Fig.1 (a)に, FSP を励起し, 磁気光学応答を測定する光学系を示す. この光学系では, 磁性層と金属層の積層基板に集束光を照射するが, 対物レンズの入射瞳の1点を通る光は, 集束光を構成する一つの平面波成分として基板を照明する. 平面波成分の中で, p 偏光し, 空間周波数が SP の空間周波数 ( $k_{sp}$ ) と一致する成分によって, クレッチマン配置を構成する金属層の表面に, 平面波成分の波動ベクトルに沿った方向へ伝搬する SP が励起される. 入射瞳に, Fig. 1(b)に示す, ラジアル偏光を与えると, さまざまな方向へ伝搬する SP が, 焦点で強め合うように干渉するため, 回折限界に相当するスポットが形成される. Fig. 1(c)には, 射出瞳における電場の偏光状態を示す. 表面プラズモンを励起できない平面波成分は入射瞳に与えた偏光状態が維持されるが, 表面プラズモンの励起効率が高まるにつれ, 基板からの反射光の p 偏光成分は顕著な減少を示すと同時に, 磁気カー効果による s 偏光成分の増大が生じる. Fig. 1(d)は, 射出瞳の電場分布に検光子を作用させた状態を表している. SP の励起条件を満たす平面波成分によって, 射出瞳に半径が  $k_{sp}$  の円環状の吸収パターンが形成され, この円環に沿った光強度には, 偏光の回転角 ( $\theta_K$ ) と楕円率 ( $\eta_K$ ) に応じた変化が現れるため, 磁気光学応答  $\phi_K = \sqrt{\theta_K^2 + \eta_K^2}$  を求めることができる. Fig. 2 は coverglass/ZnO(30nm)/Ag(21.3nm)/ZnO(2nm)/CoPt(1.0nm)/Pt(1.5nm)/SiO<sub>x</sub>(5nm) の順に成膜し, 波長 632.8nm の光を用いて測定した結果である. 検光子の偏光方向は 90° に調整してあり,  $\theta_K$  は 83°,  $\eta_K$  は 7° であった.

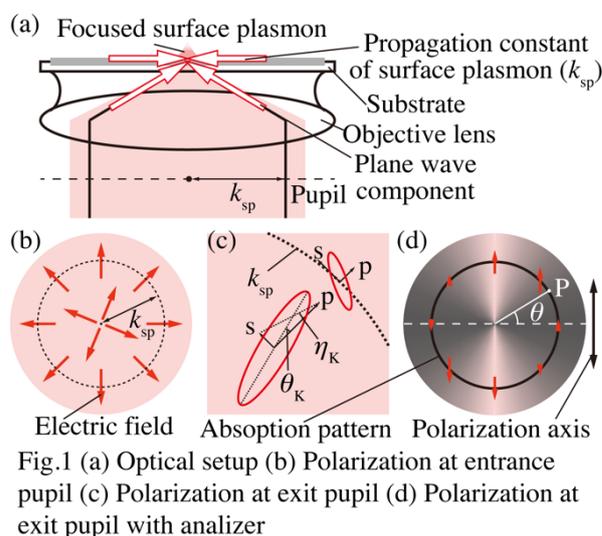


Fig.1 (a) Optical setup (b) Polarization at entrance pupil (c) Polarization at exit pupil (d) Polarization at exit pupil with analyzer

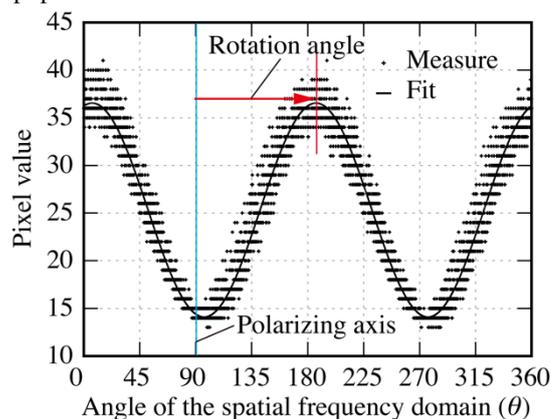


Fig.2 Azimuthal variation of reflected light

## 参考文献

- 1) H. Yamane, Optics & Photonics Japan, 28pP1 (2023).