

Au / Zn フェライト薄膜における表面プラズモンの磁気応答性

成嶋和樹, 芦澤好人, K. Brachwitz*, H. Hochmuth*, M. Lorenz*, M. Grundmann*, 中川活二
(日本大学, *Univ. Leipzig)

Surface plasmon responding on magnetic field for Au / ZnFe₂O₄ film

K. Narushima, Y. Ashizawa, K. Brachwitz*, H. Hochmuth*, M. Lorenz*, M. Grundmann*, and K. Nakagawa
(Nihon University, *Univ. Leipzig)

はじめに

近年、表面プラズモンの磁気応答性が報告され、誘電率変化に対する応答感度が高い特徴から、高感度磁気センサへの応用が期待される。これまでに我々は、表面プラズモンを効率的に生成する非磁性金属および磁気応答性を担う磁性金属に機能を分離した薄膜を用いることで、表面プラズモンに磁気応答性を付与した²⁾。磁気応答性増大には磁界に依存した大きな誘電率変化が重要である。本報告では新たに、磁気応答層として非金属磁性体で、室温でフェリ磁性を示す ZnFe₂O₄ 薄膜³⁾を用い、磁界による誘電率変化を期待して、表面プラズモンの磁気応答性を検討した。

実験方法

表面プラズモンの励起には Au を用いた。試料は SrTiO₃ (111) / ZnFe₂O₄ / Au とした。ZnFe₂O₄ 層はパルスレーザー堆積 (PLD) 法、Au 層はスパッタリング法により、それぞれ 50 nm 成膜した。試料の結晶構造解析は X 線回折 (XRD) 法にて行った。表面プラズモンの励起および検出にはクレッチマン配置を利用した全反射減衰 (Attenuated Total Reflection: ATR) 法を用いた。p 偏光の光をプリズムを通して試料に入射し、反射率の角度依存性を測定した。試料面に対して垂直方向に磁場を印加し、磁場の有無の反射率差から表面プラズモンの磁気応答性を評価した。測定時の入射光の波長は 600 nm とした。

実験結果

SrTiO₃ (111) / ZnFe₂O₄ / Au 薄膜の XRD プロファイルを図 1 に示す。2θ = 36.9°、38.3° に ZnFe₂O₄ (222) 面および Au (111) 面に起因する回折線が観測され、いずれの結晶相も (111) 面向向していることがわかる。

本試料において ATR 法で表面プラズモンの磁気応答性を評価した結果を図 2 に示す。反射率は、42.4° 付近の臨界角から急激に減少して 44.7° 付近で最小値 19.8% を示し、さらに高角側で増加した。磁気応答性は最大で $\Delta R = (R(400) - R(0)) / R(0) = 0.18$ を示した。金属非磁性材料と非金属磁性材料において表面プラズモンに磁気応答性を付与が可能であることを示した。

謝辞

本研究の一部は、科研費若手研究(B) No. 24760324, 文科省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (平成 25 ~ 29 年) の助成を受けた

参考文献

- 1) J. B. Gonzalez-Diaz *et al.*, *Phys. Rev. B*, **76**, 153402 (2007).
- 2) Toru Tachikawa, Yoshito Ashizawa, and Katsuji Nakagawa, *J. Magn. Soc. Jpn.*, **38**, 135-138 (2014).
- 3) M. Bohra *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **88**, 262506 (2006).

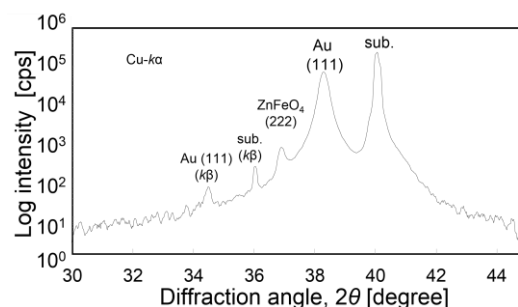


Fig. 1 XRD profile of SrTiO₃(111) / ZnFe₂O₄ / Au film.

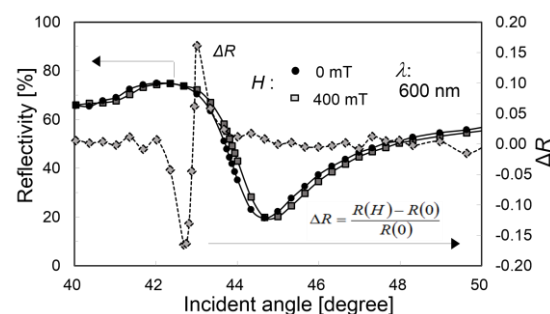


Fig. 2 Reflectivity curve and ΔR of SrTiO₃(111) / ZnFe₂O₄ / Au film as a function of incident angle.

アモルファス基板の上に成膜したビスマス鉄ガーネットの緩衝層依存性

安達信泰、林一成、木場勇作、藤内紗恵子、太田敏孝
(名古屋工業大学・先進セラミックス研究センター)

Buffer Layer Dependence of Bismuth Iron Garnet Prepared on Amorphous Substrates

N. Adachi, K. Hayashi, Y. Kiba, S. Fujiuchi and T. Ota

(Advanced Ceramics Research Laboratory, Nagoya Institute of Technology)

はじめに

可視光領域で磁気光学効果の極めて大きな物質としてビスマス鉄磁性ガーネット $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (BIG)があるが、我々は、気相法以外に有機金属分解法 (MOD法) により単結晶基板にも合成し、磁界センサーとして活用できることを示してきた¹⁾。最近、バッファー層と導入することでガラス基板への高濃度ビスマス置換鉄ガーネットが作製できることが示された²⁾。BIG についても、様々な基板への成長が可能となれば、その応用性は広がると考えられる。そこで、ガーネット組成の異なるバッファー層上に BIG を成長させ、その磁気光学特性の比較と行った。

実験方法

緩衝層として、有機金属溶媒を用いて $\text{BiY}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (BiYIG)、 $\text{BiNd}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (BiNdIG)、 $\text{NdY}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (NdYIG)をガラス基板の上にスピンドコーティングし、熱処理結晶化させた後、BIG 層の結晶化を試みた。緩衝層は、 600°C から 800°C の範囲で結晶化させ、BIG 層は 480°C で結晶化させた。評価はXRD、SEM、ファラデー回転測定により行った。

実験結果

XRD の結果より、BiYIG および BiNdIG の結晶化最適温度は 650°C 、NdYIG の最適温度は 750°C と判断した。緩衝層と BIG 膜の格子定数マッチングに関しては、BiNdIG と NdYIG とが回折ピークの分離ができない結果となった。その上に、BIG を作製したところ、Fig. 1 に示すように大きなファラデー回転を示した。NdY₂IG を緩衝層として用いた BIG 薄膜が、大きな磁気光学特性を示し、単結晶ガーネット基板上に作製した BIG に近い値を示した。Fig.2 に緩衝層の表面微構造を示す。NdY₂IG の表面がクラックはあるものの、滑らかな構造を示した。また、断面観察を行ったところ Bi が含まれている緩衝層は 40nm 程度の結晶粒が観察できた。これらの結果から、NdY₂IG の場合は、緩衝層が 2 次的に結晶成長し、Bi を含む緩衝層は 3 次的に島状成長していると思われる。これらのことから、表面がなめらかで格子定数が BIG に近い緩衝層を用いることで、単結晶と同等の特性を持つ BIG をガラス基板上へも作製可能であることが示された。

References

- 1) N. Adachi, T. Ota, Journal of the Ceramic Society of Japan 122(1), 40-43 (2014)
- 2) T. Ishibashi, T. Yoshida, T. Kobayashi, S. Ikehara and T. Nishi, J. Appl. Phys 113, 17A926 (2013)

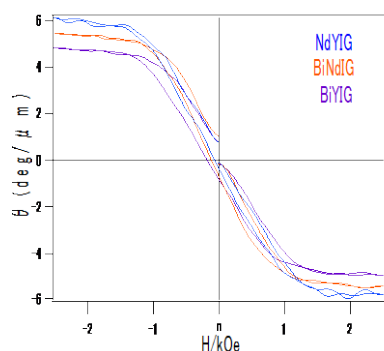


Fig.1. Faraday hysteresis curves at 635 nm of BIG/buffer on glass substrates

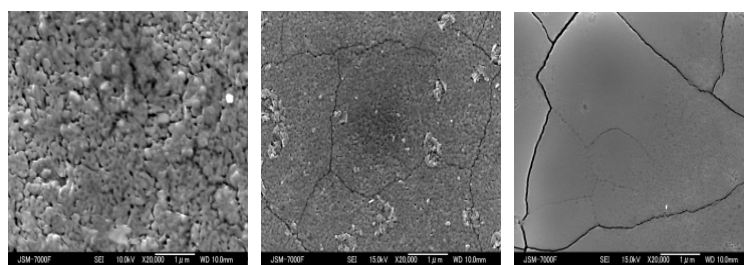


Fig.2. SEM micrograph of buffer layers (a: BiY₂IG, b: BiNd₂IG, c: NdY₂IG)

フェライトと銅カイラル構造を組み合わせた メタ分子による磁気カイラル効果

富田知志、澤田桂*、ポロフニユク・アンドレイ**、上田哲也**
(奈良先端大物質、*理研 SPring-8、**京都工繊大工芸)

Magneto-chiral effects by a meta-molecule consisting of a ferrite rod and copper chiral structure
Satoshi Tomita, Kei Sawada*, Andrey Porokhnyuk**, Tetsuya Ueda**
(GSMS-NAIST, *RIKEN SPring-8 Center, **Kyoto Inst. Tech.)

はじめに

磁性とカイラリティが共存する物質では、偏光には依存せず、光の進行方向に依存する光学異方性としての磁気カイラル効果の存在が理論的に予言されている¹⁾。これまではマルチフェロイックス材料などで、物質が持つ磁性とカイラリティの内因的な相互作用を用いる研究が行われてきた²⁾。それにも関わらず実験的に磁気カイラル効果を直接観測した報告はない。しかし今回我々は、メタマテリアル³⁾の概念を応用し、フェライトと銅カイラル構造を組み合わせたメタ分子を作製して、マイクロ波には磁性とカイラリティがあたかも相互作用しているかのように見える状況を作り出したところ、磁気カイラル効果の直接観測に成功した。

実験方法

磁気カイラルメタ分子は、フェライトロッドと銅のカイラル構造を組み合わせて作製した[図(a)]。メタ分子をマイクロ波導波管(WR-90)に挿入し、電磁石で直流磁場をかけた。 X バンドのベクトルネットワークアナライザを用いて、図(a)の左から、もしくは右から伝搬するマイクロ波の透過率に対応する S パラメータ (S_{21} と S_{12}) の強度と位相を測定した。

結果と考察

図(b)に S_{21} の位相から S_{12} の位相を差し引いた差分スペクトルを示す。無磁場下では S_{21} と S_{12} は等しく、スペクトルに構造は見られない。しかしここに直流磁場を加えると、10GHz 辺りにローレンツ分散形状の構造が現れた。これは銅カイラル構造が示す 10GHz 辺りの共鳴の光学活性によって増強された磁気カイラル効果によるものと考えられる。直流磁場の方向を反転させると分散形状も反転した。位相の差分から、+200mT の直流磁場での屈折率実部の差は 5.4×10^{-3} 程度であると見積もられた⁴⁾。外部磁場を強くすると、この屈折率差は大きくなった。この磁気カイラルメタ分子は、新しいタイプのマイクロ波一方素子や電磁波にとっての実効的ゲージ場⁵⁾を実現すると期待される。

参考文献

- 1) L. D. Barron and J. Vrbancich, *Molecular Physics* **51**, 715 (1984).
- 2) M. Mochizuki and S. Seki, *Phys. Rev. B* **87**, 0134403 (2013).
- 3) D. R. Smith, J. B. Pendry, and M. C. K. Wiltshire, *Science* **305**, 788 (2004).
- 4) S. Tomita, K. Sawada, A. Porokhnyuk, and T. Ueda, submitted.
- 5) K. Sawada and N. Nagaosa, *Phys. Rev. Lett.* **95**, 237402 (2005).

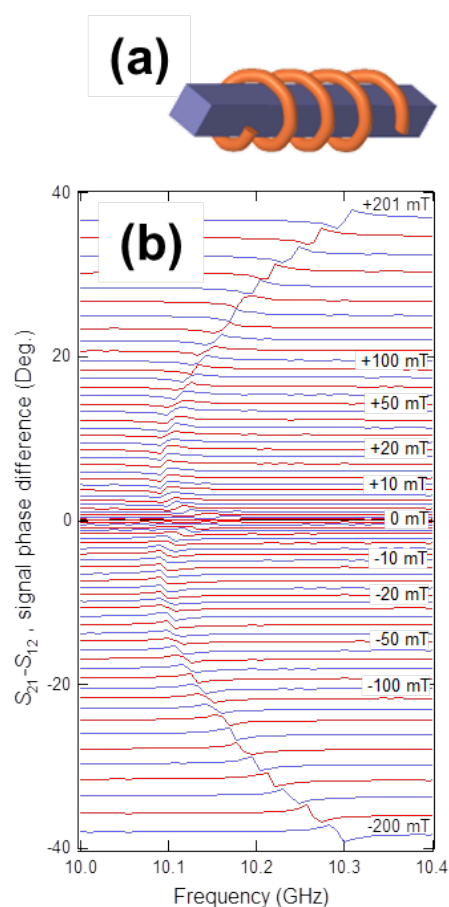


図 (a)磁気カイラルメタ分子と(b) X バンドでの磁気カイラル効果

有機金属分解法による $\text{Nd}_{0.5}\text{Bi}_{2.5}\text{Fe}_{5-y}\text{Ga}_y\text{O}_{12}$ ($y = 0, 0.5, 1$) 薄膜の ガラス基板上への作製と評価

妻 庚健、佐々木 教真、箸中 貴大、目黒 燎、二宮 南、石橋 隆幸
(長岡技科大)

Characterization of $\text{Nd}_{0.5}\text{Bi}_{2.5}\text{Fe}_{5-y}\text{Ga}_y\text{O}_{12}$ ($y = 0, 0.5, 1$) films on glass substrates
prepared by Metal Organic Decomposition (MOD) method

G. Lou, M. Sasaki, T. Hashinaka, A. Meguro, M. Ninomiya, T. Ishibashi
(Nagaoka Univ. of Tech.)

はじめに

我々は、これまでに Bi とイオン半径の近い Nd を用いた $\text{Nd}_{0.5}\text{Bi}_{2.5}\text{Fe}_4\text{GaO}_{12}$ をガラス基板上に作製することに成功し、大きな磁気光学効果と垂直磁気異方性を同時に得ることに成功したことを報告した[1]。しかし、Bi 置換量の大きな Bi 置換希土類鉄ガーネットにおける磁気異方性の制御に関する報告はこれまでほとんどない。今回は、Nd 系ガーネットの磁気異方性の制御のため、Fe サイトを置換する Ga の量を変化させた $\text{Nd}_{0.5}\text{Bi}_{2.5}\text{Fe}_{5-y}\text{Ga}_y\text{O}_{12}$ ($y = 0, 0.5, 1$) 薄膜をガラス基板上に作製し評価を行った結果について報告する。

実験方法

ガラス基板上に、MOD 法によりバッファー層として厚さ $d = 0.12 \mu\text{m}$ の $\text{Nd}_2\text{BiFe}_4\text{GaO}_{12}$ (Bi1:NIGG) を作製し、その上に厚さ $d = 0.2 \mu\text{m}$ の Ga の置換量を変えた $\text{Nd}_{0.5}\text{Bi}_{2.5}\text{Fe}_{5-y}\text{Ga}_y\text{O}_{12}$ ($y = 0, 0.5, 1$) 薄膜を作製した。バッファー層は、MOD 溶液 (高純度化学研究所製) の塗布 (3000rpm, 60 秒), 乾燥 (100°C , 10 分), 仮焼成 (450°C , 10 分) を 3 回繰り返した後、本焼成 (700°C , 3 時間) により結晶化を行った。 $\text{Nd}_{0.5}\text{Bi}_{2.5}\text{Fe}_{5-y}\text{Ga}_y\text{O}_{12}$ ($y = 0, 0.5, 1$) 薄膜はバッファー層上に塗布から仮焼成の行程を 5 回繰り返した後、本焼成 (700°C , 3 時間) によって結晶化を行った。

結果及び考察

Fig.1 に波長 550 nm における $\text{Nd}_{0.5}\text{Bi}_{2.5}\text{Fe}_{5-y}\text{Ga}_y\text{O}_{12}$ ($y = 0, 0.5, 1$) 薄膜のファラデーヒステリシスを示す。Ga 置換量の増加に伴ってヒステリシスの形状が変化し、磁気異方性が面内から垂直に変化していることがわかる。Mr/Ms の値は、 $y = 0, 0.5, 1$ についてそれぞれ、0.11、0.23、0.83 であった。以上のことから、我々が開発した $\text{Nd}_{0.5}\text{Bi}_{2.5}\text{Fe}_{5-y}\text{Ga}_y\text{O}_{12}$ ($y = 0, 0.5, 1$) 薄膜は、大きなファラデー効果を維持したまま、磁気異方性を制御することが可能であることがわかった。詳細については、当日報告する。

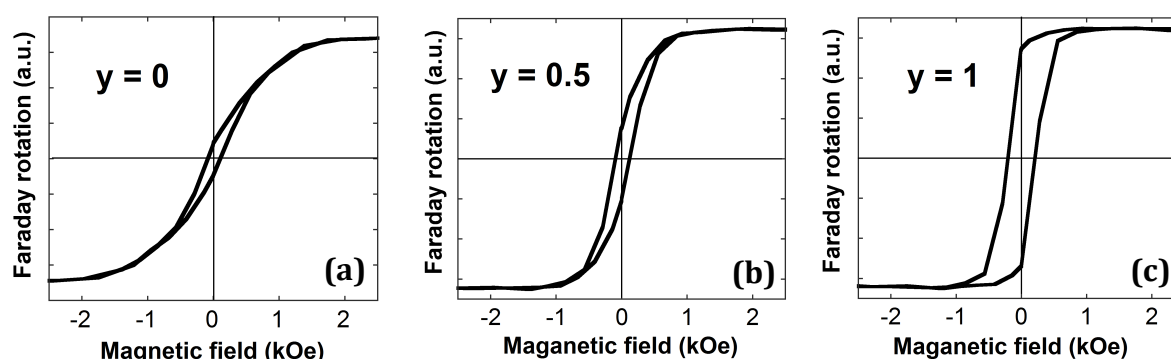


Fig.1 Faraday hysteresis of $\text{Nd}_{0.5}\text{Bi}_{2.5}\text{Fe}_{5-y}\text{Ga}_y\text{O}_{12}$ films; (a) $y = 0$, (b) 0.5 and (c) 1.

謝辞

本研究の一部は、独立行政法人情報通信研究機構の委託研究「革新的な三次元映像技術による超臨場感コミュニケーション技術の開発」により行った。

参考文献

[1] T. Yoshida, et al., European Phys. J. Web of Conf. (in press)

Co/Ru 多層膜の光学応答に現れるスピン依存散乱の効果

○斉藤伸¹, 水野翔太², 赤羽浩一¹, 佐藤春彦², 内田裕久² (¹ 東北大学, ² 東北工業大学)

Effect of Spin-dependent Scattering on Optical Properties for Co/Ru Multilayer Film

S. Saito¹, S. Mizuno², K. Akahane¹, H. Sato², and H. Uchida² (¹ Tohoku Univ., ² Tohoku Inst. Tech.)

1. はじめに 磁気センサは、空間の「磁界の大きさや方向」を検出するデバイスである。所望の周波数帯において高い検出感度や必要なダイナミックレンジを達成するために、様々な磁界効果を測定原理とするデバイスが提案され、実用化される。中でも光をプローブとしたセンサは、検出部を小型にでき、真空中、液中、あるいは狭空間中での磁界のセンシングが可能となるため注目されている。偏光子を用いない簡素な光学系でこれを実現するためには、材料の反射率や透過率が磁界によって変化する現象の活用が有効であり、材料開発が待望されている。著者らは、強磁性材料では磁化状態を印加磁界に対応させて変化させられることを鑑み、伝導電子のスピン依存散乱現象の光学特性に表れる効果に注目した。特に巨大磁気抵抗 (GMR) 効果、すなわち、強磁性/非磁性金属多層膜において、隣接する強磁性層のスピン向きが平行/反平行配列した際に現れる直流抵抗変化は非常に大きく¹⁾、この現象が近赤外から可視光領域の周波数でどの程度光学特性に現れるか興味を持たれる。このような観点での先行研究は、理論報告は 1999 年以降²⁾、実験報告は 2002 年以降³⁾ にみられ始めている。しかしながら、実験報告に注目すると、GMR 効果が確認された Co/Cu 多層膜⁴⁾ を基本として磁性層材料を CoFe 合金とした論文²⁾ が散見される程度で、材料検討は十分とはいえない。そこで著者らは、まず、非磁性層材料として Ru を選択し、強い反強磁性的層間結合を有する Co/Ru 多層膜を作製した。続いて透過率の磁化状態に対する変化を評価したので報告する。

2. 実験結果 Fig. 1 に今回構築した光学系の模式図を示す。ハロゲンランプ光源から出射した白色光を集光して試料に照射し、試料を透過した光を分光検出した。検出光の波長範囲は 900 nm~1650 nm である。磁界は試料面内方向に印加した。Fig. 2 に一例として反強磁性的層間結合を有する [Co(4 nm)/Ru(0.7 nm)]₁₀ 多層膜の (a) 磁化 M および (b) 波長 1550 nm での透過率の印加磁界に対する変化を示す。透過率は最大印加磁界 14 kOe 時の値で規格化した。(a)によると、最大印加磁界では磁界方向に飽和していた M は印加磁界を減少させると 10 kOe 付近から減少し始め、零磁界状態では、ほぼ零となり反平行配列することがわかる。これに対応して透過率 (b) は、10 kOe から減少し始め、零磁界状態では飽和時から 1%強度が低くなる。このことより透過率変化は、光ファイバが使用できる近赤外領域でも十分検出可能であることがわかった。Fig. 3 には規格化透過率の磁界ヒステリシスを波長毎に分光測定した結果をカラーマップとして示す。図中の白線が Fig. 2 (b) に対応する。この図によると、長波長ほどスピン依存散乱による透過光量変化が大きくなることが見てとれる。

参考文献 1) M. N. Baibich et al., *PRL*, **61**, 2472 (1988). 2) A. B. Granovskii et al., *JETP*, **89**, 955 (1999). 3) V. G. Kravets et al., *PRB*, **65**, 054415 (2002). 4) M. Vopsaroiu et al., *Rev. Sci. Instrum.*, **75**, 3127 (2004).

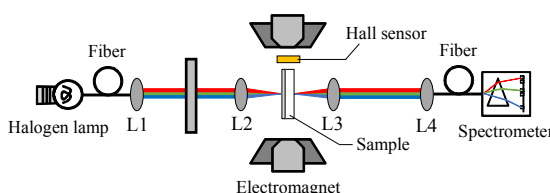


Fig. 1 Sketch of the spectroscopic magneto-refractive measurement system. L1-L4 are condensing and collimation lens

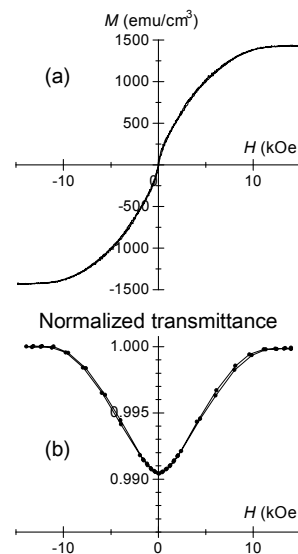


Fig. 2 (a) Hysteresis loop and (b) normalized transmittance at $\lambda = 1550$ nm for a [Co(4)/Ru(0.7)]₁₀/SiN(10) film.

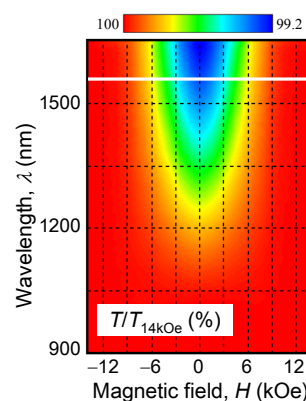


Fig. 3 Normalized transmittance plotted against wavelength and magnetic field. The white line corresponds to Fig. 2 (b).