磁気アシストによる磁気ホログラムの回折効率向上に関する研究

白樫　善*，後藤 太一*,**，高木 宏幸*，中村 雄一*，林 攀梅*，内田 裕久*, 井上 光輝*
（*豊橋技術科学大学，**JST さきがけ）

Improvement of diffraction efficiency of volumetric magnetic hologram with magnetic assist recording

Zen Shirakashi*, Taichi Goto*,**, Hiroyuki Takagi*, Yuichi Nakamura*,
Pang Boey Lim*, Hironaga Uchida, Mitsuteru Inoue*
(*Toyohashi University of Technology, **JST PRESTO)

はじめに

ホログラムメモリは高転送レート・高記録密度が実現できることから，次世代のストレージデバイスとして期待されている [1]．我々は，書き換えが可能で長期安定性に優れたビスマス置換型イットリウム鉄ガーネット膜を用いた磁気ホログラムを提案し，その記録・再生に成功している [2]．しかし磁気メディアの回折効率は低く，データストレージとして用いるためにはさらなる回折効率の向上が必要である．磁気ホログラムの回折効率は，磁性膜のファラデー回転角θ_Fに依存するが，従来の熱磁気記録では十分な磁化反転が得られず，磁化に比例するファラデー回転角が小さい可能性がある．この改善方法の一つとして熱磁気記録時の浮遊磁界に加え，外部から磁界を印加し磁化反転を補助する磁気アシストがある．本研究では，磁気ホログラムの回折効率向上を目的に，磁気アシストによる熱磁気記録が回折効率に及ぼす影響について検討した．

実験方法

記録材料として RF マグネトロンスパッタリング法で成膜した BiDyAl:YIG 膜（膜厚 0.7, 1.2, 2.7 μm）を用いた．パルス幅 50 psec，波長 532 nm のレーザを用いて，二光束干渉法により記録を行った．アシスト磁界は，記録材料付近に設置した電磁石により印加した．実験では，磁気アシストしない（H=0）場合と，磁性膜の初期磁化方向と逆方向に 10~60 Oe の磁界を印加した熱磁気記録を行った．また，周期間隔が 0.67 μm の磁気格子で各膜厚における消磁領域中心の浮遊磁界を有限要素法（COMSOL Multiphysics）により評価した．

実験結果及び考察

Table 1 にシミュレーションにより求めた，膜厚 t_{YIG} と浮遊磁界 H_{stray} の大きさの関係を示す．膜厚が薄いほど消磁領域の浮遊磁界が小さいことがわかった．Fig. 1 に実験により求めた，各試料におけるアシスト磁界と回折効率の関係を示す．回折効率は磁気アシストしない（H=0）場合の各膜厚における回折効率η_{0Oe}で規格化している．磁気アシストにより回折効率は向上し，今回使用した膜では，膜厚 0.7 μm の向上率が最も大きかった．しかし，印加磁界を大きくすると回折効率はピーク値を取り，その後，低下することがわかった．これは，アシスト磁界により反転磁化は大きくできても，初期磁化方向の磁化が小さくなるためである考えられる．これより，0.7μm の膜では，元々の浮遊磁界が小さく，アシスト磁界による初期磁化方向のファラデー回転角の減少も小さかったことから，磁気アシストの効果がより有効であったと考えられる．発表では，磁界中でのファラデー回転角の基礎的な温度特性や，二光束干渉パターンでの磁界計算について調査した結果の詳細についても報告する．

Table 1 Calculated stray magnetic field on interference pattern

Garnet film thickness t_{YIG} (μm)	0.7	1.2	2.7
Stray magnetic field H_{stray} (Oe)	53.8	59.2	60.9

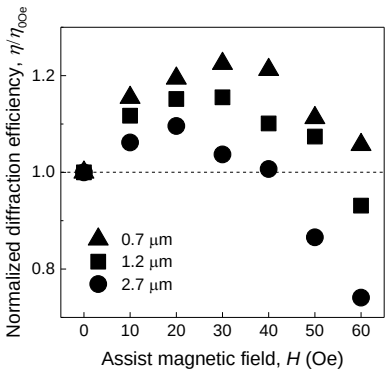


Fig. 1 Normalized diffraction efficiency of magnetic assist for Bi:YIG films.

本研究の一部は科研費基盤研究(S) 26220902 および(A) 15H02240 の援助を受けて行ったものである．

参考文献

1) H.J. Coufal, D. Psaltis, et al.,“Holographic Data Storage”, Springer, New York (2000).
2) Y. Nakamura, et al., *Opt. Express* **22** (2014) 16439.

a-TbFe/BiDyAl:YIG 積層構造を用いた 磁気光学 3 次元ディスプレイの高効率化

中村和樹*，後藤 太一*,**，高木 宏幸*，中村 雄一*，林 攀梅*，内田 裕久*，井上 光輝*
（*豊橋技術科学大学，**JST さきがけ）

Enhancement of efficiency of magneto-optic three dimensional displays with *a*-TbFe/BiDyAl:YIG multilayer structure

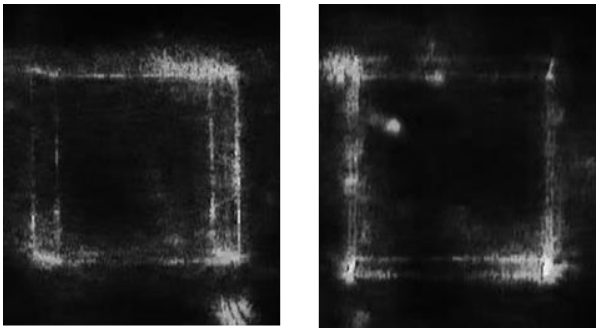
Kazuki Nakamura*, Taichi Goto*,**, Hiroyuki Takagi*, Yuichi Nakamura*, Pang Boey Lim*, Hironaga Uchida, Mitsuteru Inoue*
(*Toyohashi University of Technology, **JST PRESTO)

はじめに

自然な立体像を表示することができる 3 次元表示技術として電子ホログラフィがある．我々は，希土類置換型イットリウム鉄ガーネット(BiDyAl:YIG)を用いた広視野角の磁気光学 3 次元ディスプレイについて研究を行ってきた [1]．本ディスプレイのピクセル形成には，光吸収・キュリー温度を利用した熱磁気記録方式を用いている．再生される 3D 像の明るさは，参照光の強度と磁気光学効果による回折効率に依存しており，ISO13406 では，ディスプレイの輝度は 100 cd/m^2 以上が推奨されている．光吸収を利用する書き込みエネルギーと光学的な応答に依存する回折効率はトレードオフの関係にある．そこで，熱磁気記録に必要なエネルギーが低く大きな残留磁化(1614 G)を持つアモルファステルビウム鉄(*a*-TbFe)をホログラムの記録層，回折効率が高く小さな保磁力(200 Oe)をもつ多結晶 BiDyAl:YIG をホログラムの再生層とする積層膜構造を形成し，記録層から生じる磁界で再生層の磁化を制御することで，上述のトレードオフを解決できると考えた．

実験方法、結果および考察

a-TbFe と BiDyAl:YIG の積層構造は SiN (50 nm) / *a*-TbFe (100 nm) /Al (20 nm) /BiDyAl:YIG (576 nm)(以下，積層構造と略す)とし，イオンビームスパッタ法で作製した．Al 層は反射膜の役割を有し，各磁性層を光学的に分離する．比較のために，*a*-TbFe 膜(SiN (50 nm) /*a*-TbFe (100 nm) /SiN (20 nm))，BiDyAl:YIG 膜(576 nm)(以下, 単層膜と略す)も作製した. 各試料の波長 532 nm における磁気光学特性および光学特性の評価を行った．この時，積層膜は BiDyAl:YIG 層からの反射光，*a*-TbFe 膜は反射光，単層膜は透過光での評価を行った．残留回転角を単層膜と積層構造で比較したところ，積層構造は 1.5 deg.であり単層膜の 1.5 倍であった．残留回転角の大きさを使って理想的な回折効率 η を $\eta=(4/\pi^2)T\sin^2(\theta)$でもとめた．ここで，$T$ は透過率，θ は透過回転角である．反射膜に対してはそれぞれ反射率と反射回転角を用いた．積層膜および単層膜の回折効率は，7.0 $\times10^{-3}$%, 8.2$\times10^{-3}$%となった. 次に記録条件を露光時間 2 msec, レーザパワー2.7～26 mW の範囲で変化させ，最小の書込みエネルギーを調査した．積層膜は *a*-TbFe 層に熱磁気記録を行い，BiDyAl:YIG 層から磁区を観察したところ磁気ピクセルの転写が確認された．各試料の最小の書き込みエネルギーを評価した結果，積層膜は 4.8 mJ/cm^2 と得られた．これは単層膜の約 1/4 であり，*a*-TbFe 層を用いることで記録エネルギーの低減を行うことが出来た．ワイヤーフレームの立方体を再生するホログラムを *a*-TbFe 層に記録した後，BiDyAl:YIG 側から反射再生を行うことで再生像が得られた(図 1)．ノイズの原因は BiDyAl:YIG 層の膜厚に起因する磁界の不均一性によるものと考えられる．今後，磁性フォトニック結晶構造等の導入によって，BiDyAl:YIG の膜厚を低減することでノイズの低減が期待できる．



(a) 左面図　　(b)正面図
図 1 積層構造膜による反射再生像

本研究の一部は科研費基盤研究(S) 26220902 および JSPS 科研費 15J05710 の援助を受けて行ったものである．

参考文献

K. Nakamura, H. Takagi, T. Goto, P. B. Lim, H. Horimai, H. Yoshikawa, V. M. Bove and M. Inoue, Appl. Phys. Lett., 108, 2, 022404

高耐熱ブラッグミラーを用いた 近赤外波長域用磁性フォトニック結晶の作製

吉本拓矢*，後藤太一*,**，高木宏幸*，中村雄一*，内田裕久*，井上光輝*
（*豊橋技術科学大学，**JST さきがけ）

Fabrication of magnetophotonic crystals working at near-infrared region using high thermal resistant Bragg mirrors

Takuya Yoshimoto*, Taichi Goto*,**, Hiroyuki Takagi*, Yuichi Nakamura*, Hironaga Uchida*, Mitsuteru Inoue*
(*Toyohashi University of Technology, **JST, PRESTO)

はじめに

磁性フォトニック結晶（MPC）は，イットリウム鉄ガーネット（YIG）などの透明磁性材料をブラッグミラー（BM）で挟んだ構造体であり，特定波長の光の磁気光学（MO）効果を増大する．透明磁性材料であるYIGの，Yサイトを Ceイオンで置換したセリウム置換YIG（CeYIG）は，近赤外波長域において，光吸収が小さく，大きなMO効果を有する[1]．このため，CeYIGを用いたMPCは近赤外波長域で非常に大きなMO効果を生ずる．しかし，これまでに作製されたCeYIGを含むMPCは，波長 1570 nmにおいてファラデー回転角は 3.0 度と大きかったが，透過率が 2.3%と低かった[2]．これは，BM中のTa_2O_5が結晶化し，光散乱が生じたためであると考えられる．そこで，本研究ではTa_2O_5の結晶化温度をCeYIGの結晶化温度以上に上昇可能な，Ta_2O_5にY_2O_3を添加したY-Ta-O[3]を用いることで，結晶化による光散乱を抑制したMPCを作製した．

実験方法

合成石英基板上に，イオンビームスパッタ法を用いてY-Ta-OとSiO_2を交互に 16 層，積層したBMを形成した．各層の膜厚は，共振波長においてBraggの回折条件を満たすように設計した．Y-Ta-Oの成膜ターゲットには，Ta_2O_5にY_2O_3を 14 at.%添加した焼結体を使用した．このBM上に，高周波マグネトロンスパッタ法と真空熱処理を用いて多結晶CeYIGを形成した後，下部と同様にBMを形成した．

実験結果

形成したMPCは，Fig. 1 に示すように，波長 1470 nmにおいて 5.4 度のファラデー回転角を示し，CeYIG単層膜と比較すると，約 50 倍回転角が増大した．また，Yを含まないTa_2O_5を使用して形成したMPCと比較すると，ファラデー回転角が 1.8 倍，透過率が 15 倍に向上した．講演会では，詳細な試料形成方法と，Y-Ta-Oの特性評価の結果，およびマトリクスアプローチ法を用いたMPCのMO特性の理論計算との結果について報告する．

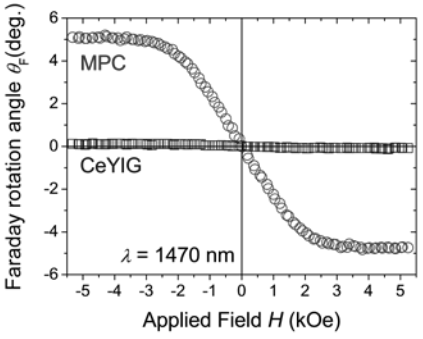


Fig.1 Faraday rotation loops of MPC comprising fused a silica substrate/(Y-Ta-O/SiO_2)^8/CeYIG/(SiO_2/Y-Ta-O)^8 and CeYIG film at a wavelength of 1470 nm.

謝辞

本研究の一部は，JSPS 科研費 26706009, 26600043, 26220902, 15H02240 の助成を受けて行われた．

参考文献

1) M. Gomi et al., J. Magn. Soc. Jpn. 13(2), 163-166 (1989).
2) T. Yoshimoto et al., Opt. Express, 24, 8, 8746-8753 (2016).
3) H. Fujikawa et al., R&D review of TOYOTA CRDL., 30, 4 (1995).

偏光制御型軟 X 線光源による鉄ナノ薄膜の磁気光学効果の研究

久保田雄也[A, B]、田口宗孝[C]、平田靖透[A, B]、保原麗[B]、山本真吾[A, B]、染谷隆史[A, B]、横山優一[A, B]、山本航平[A, B]、田久保耕[A]、荒木実穂子[A]、山本達[A, B]、宮脇淳[A]、藤澤正美[A]、原田慈久[A]、角田匡清[D]、和達大樹[A, B]、辛埴[A]、松田巌[A, B]
([A]東大物性研、[B]東大理、[C]奈良先端大、[D]東北大工)

Magneto-optic effect of Fe nanofilm using polarization-controlled soft X-ray source

Y. Kubota[A, B], M. Taguchi[C], Y. Hirata[A, B], R. Hobara[B], Sh. Yamamoto[A, B], T. Someya[A, B], Y. Yokoyama[A, B], K. Yamamoto[A, B], K. Takubo[A], M. Araki[A], S. Yamamoto[A, B], J. Miyawaki[A], M. Fujisawa[A], Y. Harada[A], M. Tsunoda[D], H. Wadati[A, B], S. Shin[A], I. Matsuda[A, B]
([A]ISSP, the Univ. of Tokyo, [B]Department of physics, the Univ. of Tokyo, [C]NAIST, [D]Department of Electronic Engineering, Tohoku Univ.)

はじめに

磁気光学カー効果（MOKE）の測定には可視光領域の波長の光が一般的に用いられるが、その波長を VUV~X 線領域の磁性元素の吸収端に合わせることで、元素選択的測定が可能であるとともに、可視光を用いるよりも巨大なカー回転角を観測できることが知られている[1, 2]。本講演では、SPring-8 BL07LSU にて実現した偏光制御型軟 X 線光源を用いて測定した、鉄ナノ薄膜の MOKE について報告する。

実験方法

我々のグループでは SPring-8 BL07LSU にて世界唯一の分割型クロスアンジュレータを整備し、偏光制御された高エネルギー分解能・高輝度の軟 X 線光源を実現した。その光源を用いて、Fig. 1 (a) に示すような鉄ナノ薄膜の L 殻吸収端における共鳴 MOKE 測定を行った。

実験結果

鉄ナノ薄膜の L 殻吸収端におけるカー回転角を Fig. 1 (b)に示す。L_2 と L_3 の吸収端においてカー回転角がピークを持ち、さらにその符号が反転していることを観測した。また、鉄の光学定数から[3]、古典電磁気学に基づくカー回転角スペクトルの計算を行い、実験結果を再現する結果が得られた。さらに、共鳴 X 線散乱理論を用いたクラスター計算結果[1]との比較も行った。この量子論に基づく計算から L_3 吸収端におけるディップ構造も再現することに成功した。本講演ではミクロとマクロ両視点からの磁気光学効果の考察に加え、SPring-8 BL07LSU の偏光制御型光源を活かした、MOKE の偏光依存性についても報告する予定である。

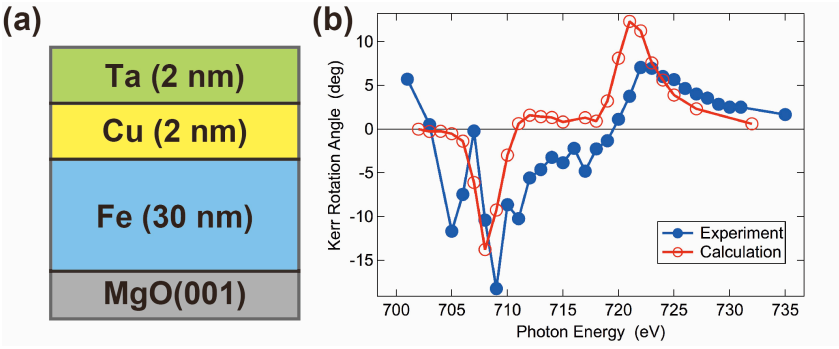


Fig. 1 (a) A schematic drawing of the 30-nm-thick Fe nanofilm on the MgO(001) substrate. Ta (2 nm) and Cu (2 nm) are capping layers. (b) Kerr rotation angle spectra of the Fe nanofilm at Fe $L_{2,3}$-edges obtained by the measurement (filled circles) and the classic calculation with the empirical constants (open circles).

参考文献

1) Sh. Yamamoto *et al.*, Phys. Rev. B **89**, 064423 (2014).
2) S. Valencia *et al.*, Physica B **345**, 189-192 (2004).
3) H.-Ch. Mertins *et al.*, J. Magn. Magn. Mater. **240**, 451-453 (2002).