



斜め入射光による面内磁化 Bi-YIG 薄膜の読み出し特性

Magneto-Optical Properties of In-Plane Bi-YIG Films with Oblique-Incident Light

河合紀和・平野輝美*・小室栄樹・並河 建・山崎陽太郎

東京工業大学総合理工学研究科, 横浜市緑区長津田町 4259 (☎227)

*凸版印刷(株)総合研究所, 埼玉県北葛飾郡杉戸町高野台南 4-2-5 (☎345)

N. Kawai, T. Hirano*, E. Komuro, T. Namikawa and Y. Yamazaki

The Graduate School at Nagatsuta, Tokyo Institute of Technology, 4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 227

*Technical Research Institute., Toppan Printing Co., Ltd., 4-2-3 Taknodai-minami, Sugito-machi, Kitakatsushika-gun, Saitama 345

Since in-plane garnet films have no components of magnetization with respect to vertically incident lights, no magneto-optical effects on the light are observed. We supposed that when a Bi-YIG film was positioned obliquely to the incident light, the plane of polarization was rotated owing to the magneto-optical effect, because some component of magnetization with respect to the light path appeared. An in-plane Bi-YIG film was prepared on a Corning # 0317 glass substrate by rf sputtering, and was then magnetized in a magnetic field of 2 KOe. The apparatus for detecting Faraday rotation consisted of a polarization microscope and a light source. On the stage of the polarization microscope, the plane of the Bi-YIG film was tilted at 45° to the stage plane. The apparatus was used to obtain contrast images caused by the remanent magnetization of the in-plane Bi-YIG film. This result indicates that in-plane magneto-optical films can be applied to display devices.

Key words: Bi-YIG, in-plane, garnet film, magneto-optical effect, Faraday rotation, obliquely incident, display device

1. はじめに

光磁気ディスクや光サーキュレータなどの磁気光学効果を利用した情報処理デバイスが開発され、一部実用化されている。光透過量を制御することが可能な磁気光学効果は、磁性体の持つ記憶特性と合わせて、記憶機能を必要とする表示装置に応用が可能であると考えられる。従来、これらに使われている磁性薄膜は、磁化の方向が膜面に垂直に向いているいわゆる垂直磁化膜が主であり、面内磁化膜の応用^{1),2)}は光通信デバイスの一部に限られていた。一方優れた磁気光学材料である Bi-YIG 系薄膜は面内異方性を持つ場合が多く、優れた磁気光学特性を持つにもかかわらず、表示デバイスなどへの応用が

閉ざされているものが少なくない。本報告では、通常の光磁気ディスクや表示デバイスのように、膜面に垂直に光を入射せず、膜面に斜め方向から光を入射し、面内磁化の光路方向成分を利用して偏光面を回転し、面内磁化の差によるコントラストの観察を試みた。

2. 斜め入射による偏光面の回転

面内方向に磁化した薄膜に垂直に光を通しても、光路の方向と磁化方向が直交するため磁気光学効果による偏光面の回転は起こらない。しかし、光路方向に対して傾いて置かれた面内磁化薄膜では、磁化の光路方向成分が発生し偏光面が回転する。Fig. 1 に面内磁化と光路および磁化の光路方向成分との位置関係を示す。入射方向と面の法線とのなす角度を ω とすると、磁化の光路方向成分の大きさは $\sin \omega$ 倍になり、この光路方向成分により磁気光学効果が現れる。Fig. 2 に偏光面の回転角 θ と ω との関係³⁾を示す。図中に、光の入射方向と試料の磁化方向との関係 i から iv を示した。なお、図中の各点は実測値である。 ω の増加に伴って、面内磁化の光路方向成分と試料中の光路長が増加する。磁化の向きと入射方向との関係は、i と iv および ii と iii は同じ方向を向き、ま

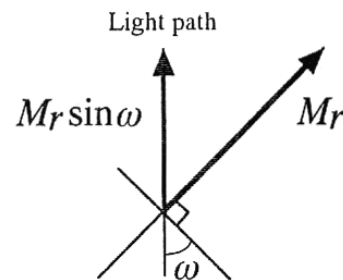


Fig. 1 Component of magnetization with respect to the light path in an in-plane magnetized film with obliquely incident light.

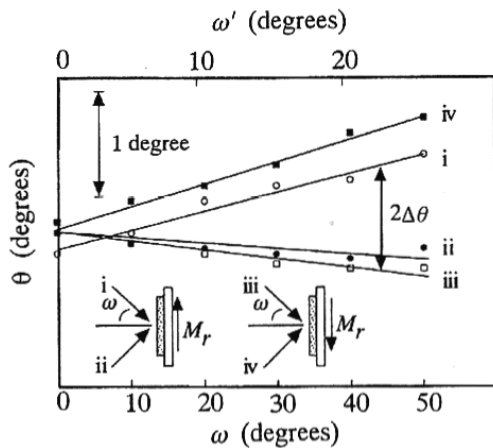


Fig. 2 Rotation of the polarization plane (θ) by an in-plane Bi-YIG film as a function of ω and ω' .

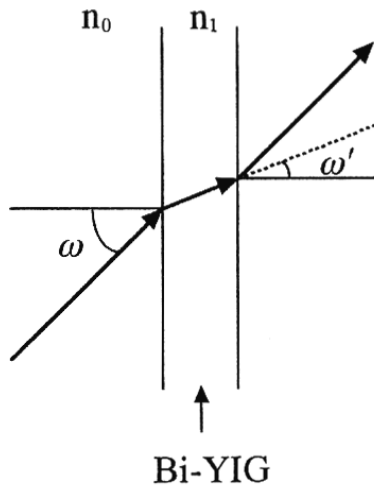


Fig. 3 Light path in a Bi-YIG film.

た、i と iii および ii と iv はこれらが逆方向を向いている。i と iii および ii と iv における差が磁化を反転させたときの偏光面の回転 $2\Delta\theta$ である。ここで Bi-YIG 薄膜中の光経路を考える。Fig. 3 に Bi-YIG 薄膜中を通過する光の経路を示す。このときの光経路の角度 ω' と入射角 ω は空気および Bi-YIG 薄膜の屈折率を n_0, n_1 とし次式が成り立つ。

$$\omega' = \sin^{-1} \{ (n_0/n_1) \sin \omega \}$$

Fig. 2 中に光透過スペクトルの多重反射から求めた概略屈折率 1.8 を代入し計算した ω' を示した。 $2\Delta\theta$ は残留磁化 (M_r) の光路方向成分 $M_r \sin \omega'$ と Bi-YIG 薄膜中の光路長 (L) に比例する。 L は膜厚を L_0 とすると $L_0(1/\cos \omega')$ と表されるので

$$2\Delta\theta = M_r L_0 \sin \omega' (1/\cos \omega') = M_r L_0 \tan \omega'$$

となり、 $2\Delta\theta$ は $\tan \omega'$ 比例し、 ω' すなわち ω の増加に

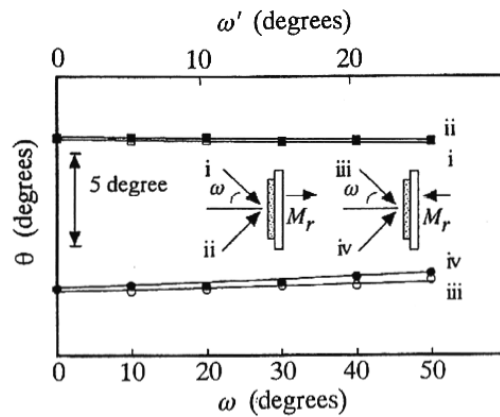


Fig. 4 Rotation of the polarization plane (θ) by a perpendicular Bi-YIG film as a function of ω and ω' .

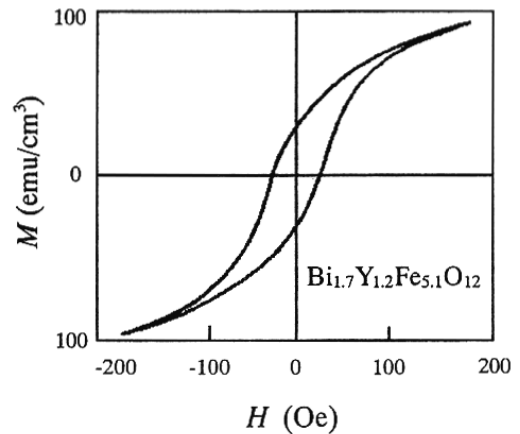


Fig. 5 Hysteresis loop of the in-plane Bi-YIG film used for the experiment.

したがって増大する。

Fig. 4 に垂直磁化膜の θ と ω および ω' との関係³⁾を示す。測定結果は Fig. 2 と異なり、 $2\Delta\theta$ は ω' 関係なくほぼ一定の大きさを示している。これについては以下のように考えられる。垂直方向に残留磁化 (M_r) を持つ場合、光路方向成分は $M_r \cos \omega'$ となる。よって $2\Delta\theta$ は

$$2\Delta\theta = M_r \cos \omega' L_0 (1/\cos \omega') = M_r L_0$$

より一定値となる。

以上に述べた面内および垂直磁化膜に関する測定結果から、面内磁化 Bi-YIG 薄膜に対して斜め方向から光を入射させることにより磁化パターンが読み出せることが推定される。

3. 試料

実験に使用した Bi-YIG 薄は、rf スパッタ法により作

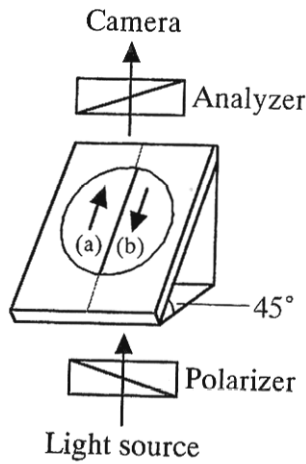


Fig. 6 Schematic diagram of an in-plane Bi-YIG film in a polarization microscope for detecting magneto-optical contrast.

製した。陽イオン組成を Bi:Y:Fe=2:1:4 に混合した酸化粉末を 800°C で 4 時間焼結し、ボールミルで 4 時間粉碎、混合した後、直径 10 cm のディスク状にプレス成形しターゲットとした。スパッタガスは Ar(6.7 Pa) を用い、rf 電力密度 2.5 W/cm²、基板温度 400°C にてスパッタを行った。堆積したアモルファス状薄膜を大気中、650°C、4 時間熱処理を行いガーネット多結晶膜を作製した。なお、膜厚は 1.7 μm であった。X 線回析法によりガーネット単相であることを確認した。Fig. 5 に VSM で測定した試料の磁化曲線を示す。面内磁化膜であり、保磁力約 25 Oe である。図中に ICP 発光分光分析法で測定した試料の組成を示す。

4. 結果および考察

Fig. 6 に本実験の光学系を示す。2 枚の面内磁気異方性を持つ Bi-YIG 薄膜に面内方向へ 2 kOe の均一磁界を印加し、これを反平行に並べて置いた。それぞれの磁化部分を (a)、(b) とする。この薄膜試料を偏光顕微鏡のステージにのせ、試料ホルダを使って光路方向に対して 45° に固定した。検光子を回転させたときのコントラストの変化を観察し、写真撮影した。このとき、入射する直線偏光の偏光面と Bi-YIG 薄膜の膜面とが垂直になるように試料ホルダを調節した。この角度が 90° からわずかもずれると明瞭なコントラストを観察することはできなかった。これは入射点で入射光が直線偏光からずれた楕円偏光となったためであると思われる。

Fig. 7 に残留磁化による光透過量の差、すなわち磁気光学効果による明暗のコントラストを観察した写真を示

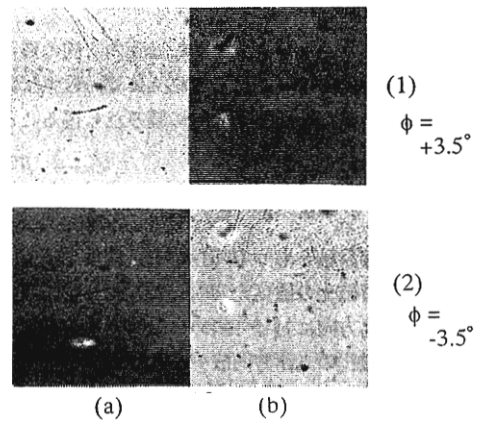


Fig. 7 Images obtained with in-plane Bi-YIG films having opposite remanent magnetizations.

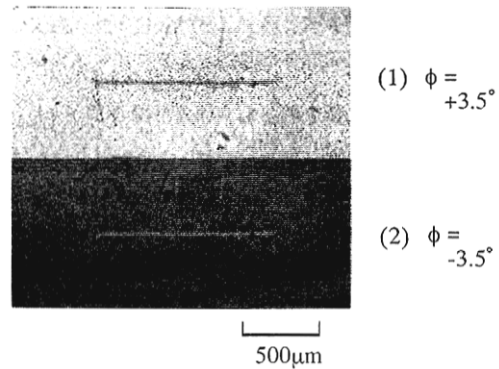


Fig. 8 Readout of an in-plane magnetization image written with a ring head.

す。(1) は (a) 部分が最も明るくなるように検光子を回転させた状態の観察写真であり、(2) は同様に (b) 部分が最も明るくなった状態での観察写真である。偏光子と検光子が直交する状態では光の透過量は等しくなった。その状態を基準として、(1) および (2) それぞれの状態での検光子のずれ ϕ を図中に示した。

さらに、ドットパターンを任意に記録することを目標として、均一に磁化した Bi-YIG 薄膜にリングヘッドを用いて磁気記録を試みた。Fig. 8 にこの試料薄膜を用いた場合の磁気光学効果の観察写真を示す。検光子を回転し、コントラストの逆転を確認した。

なお、試料を偏光顕微鏡のステージ上で倒し、薄膜とステージのなす角を 0° とし、試料面に垂直に光が入射するように配置すると、明暗のコントラストは消失した。これは、面内磁化膜の磁化方向と光路方向が垂直になり、光路方向の磁化成分が消失したためと考えられ



る。

今回得られたコントラストの逆転は面内方向の残留磁化の磁化方向の差によりもたらされており、磁気記録された面内方向の磁化を磁気光学的に読みだし得ることを示している。

5. ま と め

面内に磁化容易軸をもつ Bi 置換 YIG 薄膜を使って、面内方向の残留磁化の磁気光学的な読みだしを試みた。試料薄膜を光路方向に対して斜めに設置することにより発生する残留磁化の光路方向成分を利用し、コントラ

スを観察した。本報告で示した、残留磁化によるコントラストを利用して、面内磁化 Bi 置換 YIG 薄膜を表示デバイスとして利用することが可能であると考えられる。

文 献

- 1) R. Wolf, J. Hegarty, J. F. Dillon, Jr., L. C. Luther, G. K. Celler and L. E. Trimble: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-21**, 1647 (1985).
- 2) K. Tsushima and N. Koshizuka: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-23**, 3473 (1987).
- 3) 平野輝美, 並河 建, 山崎陽太郎: 電子情報通信学会誌, 投稿中.

1992年11月17日受理, 1993年2月2日採録