

平成21年 4月24日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19760223

研究課題名(和文) 多階調評価装置の開発と多階調デバイスの基礎特性解明

研究課題名(英文) Development of Multi Step Evaluation Device and Basic Characteristic Clarification of Multi Step Device

研究代表者

高木 宏幸 (TAKAGI HIROYUKI)

豊田工業高等専門学校・電気・電子システム工学科・助教

研究者番号：40390463

研究成果の概要：

圧電体によって発生する応力と磁気光学膜の逆磁歪効果で駆動する多階調変調光マイクロデバイスの研究を行った。本デバイスは定常状態ではリーク電流以外の電流を必要としないため低消費電力駆動ができる。従来は2階調変調であったが、本方式を用いれば低消費電力で中間の階調を保持でき、容易に中間の階調を得ることが出来る。本研究の成果として、上記多階調磁気光学デバイスの特性を測定出来る装置を開発し、理論計算を用いたデバイスの構造設計を行った。この結果、多階調磁気光学デバイスの開発指針が得られた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	180,000	2,580,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・ 電子・電気材料工学

キーワード：磁性，誘電体物性，電子・電気材料

1. 研究開始当初の背景

空間光の振幅や位相を変調するマイクロデバイスとして、空間光変調デバイス(Spatial Light Modulator : SLM)がある。最近、高速データ転送を要求する光ITシステムの開発に伴い、高速駆動できる新しいSLMが求められている。我々はピクセルあたり約十ナノ秒前後で光を制御できる磁

気光学効果を用いたSLM(Magneto-Optic SLM: MOSLM)の研究を行っている。特に最近では、従来の白黒の2値変調ではなく、グレースケールを表示できる多値変調型MOSLMの研究が行なわれている。近年、申請者らによって電気磁気効果によって駆動する光マイクロデバイスが実現され

ている。

電気磁気効果で駆動するデバイスは従来のMOSLMの駆動電流と比較し1/1000倍を達成している。その結果、本来、途中階調を保持するには特定のエネルギーを保持時間分加えなくてはならないが、新デバイスは消費電力が少ないため容易に途中階調を保持出来るようになる。しかし、現在新デバイスは研究段階であり実現には基礎データを取得することが重要である。特に、多階調変調は目的の部分のみ目的のエネルギーを均一に加えなくてはならないため、クロストークや変調量の分布が重要になっている。

本研究目的は、偏光分光顕微鏡をベースにしてファラデー回転角・コントラストを2次元データとして取得出来る装置の開発を行う。この多階調評価装置を用いて、デバイス実現に必要な基礎データを得る事を目的とする。

2. 研究の目的

本研究は多階調評価装置の開発と多階調磁気光学デバイスの基礎特性解明を行った。最初に(1)多階調評価装置の作製を行い、多階調磁気光学デバイスの特性を評価出来るようにした。続いて(2)多階調磁気光学デバイスの基礎特性を(1)の評価装置を用いて評価し、多階調駆動時の基礎特性を解明した。最後に(3)多階調デバイスの理論設計によって将来デバイスを開発する際に必要な構造の導出を行った。

3. 研究の方法

(1) 多階調評価装置の作製

光波が磁性体を透過するとき、磁性体の磁化の向き、強さによって、光の偏光面が回転する効果を磁気光学効果(ファラデー効果)という。

$$\text{ファラデー回転角 } \theta_F = FIM/M_s \quad (1)$$

F はファラデー定数、 I は試料の厚さ、 M_s は飽和磁化、 M は光の進行方向に対する磁化の強さである。 M と θ_F は比例関係にあり、 M の磁化の強さを連続的に変化させることができれば、 θ_F も連続的に変化する。

θ_F は図1の光学系の場合、以下の式で表される。

$$I = I_0 \cos^2(\theta_F + \theta_p - \theta_A) \quad (2)$$

I は出力光、 I_0 は入力光、 θ_p はポラライザ回転角、 θ_A はアナライザ回転角である。 θ_F が変化することにより、出力光 I で表されるデバイスの輝度の値も連続的に変化し、白黒のみならず、グレースケールが表示出来る。

θ_F を測定する際は、 θ_p を固定し、 θ_A を回転させて、Charge Coupled Device(CCD)を用いて試料から反射してくる光強度を取得する。(2)式から光強度が最小になる θ_A の角度からファラデー回転角 θ_F を求められる。

本装置は CCD カメラを使用するので、磁性体の磁気光学特性を2次元状に評価することが出来る。

(2) 多階調デバイスの基礎特性

2値駆動のMOSLMは、磁化方向を正もしくは負の2値のみで動作させてきた。多階調デバイスの駆動方法としては以下の二通りが考えられる。

- ① 磁化の向きに対して垂直方向の外部磁界等を印加し磁化を回転させる。
- ② 画素内は多磁区構造とし、外部磁界当によって光の進行方向と同一方向の磁化を持つ磁区面積を制御する。

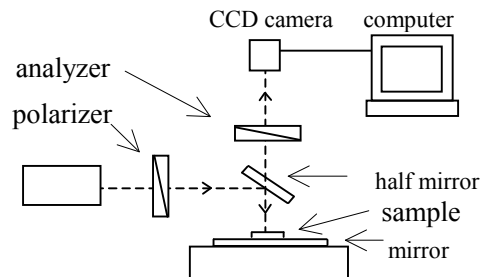
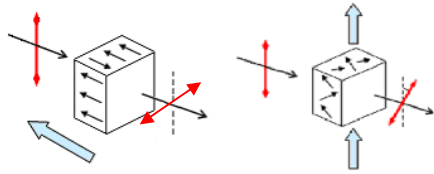


図1 多階調デバイス評価装置

それぞれの駆動原理を図 2, 3 に示す。



(a) 初期状態 (b) 面内方向磁界印加

図 2 多階調磁気光学デバイス原理(方法①)

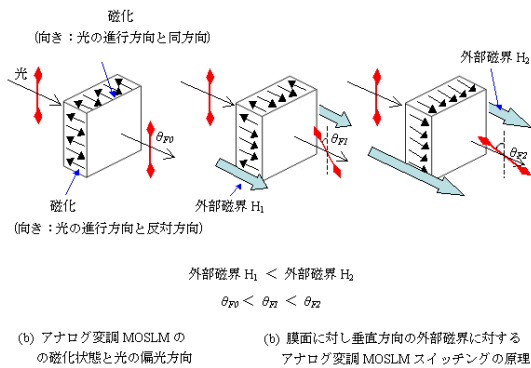


図 3 多階調磁気光学デバイス原理(方法②)

本研究は、外部磁界に対する θ_F の変化量を確認した。外部磁界に対して θ_F が連続的に変化すればアナログ駆動出来るといえる。

これら測定は(1)で作製した偏光分光顕微鏡を用いて測定した。その結果を元に多階調駆動させる際に必要な磁界の大きさと方向を定量的に評価した。

(3) 多階調デバイスの理論設計

応力に対する実効磁界の大きさは、 $H_{eff}=3 \times \text{磁歪定数} \lambda \times \text{応力} \sigma / \text{飽和磁化} Ms$ である。応力が大きいほど、実効磁界が大きいことが分かる。

有限要素法計算ソフト(ANSYS)を用いることにより理論的に磁気光学膜に働く応力の 3 次元分布を求め、磁気光学膜に与えられる応力分布の理論的な基礎データ取得を行った。計算モデルはこれまで研究開発されてきた電圧駆動型 MOSLM をベースにしている。

4. 研究成果

(1) 多階調評価装置の作製

図 1 と同様に測定試料の入出力側にポラライザ、アナライザを設置し、入力光は白色

光源で 480~600 nm のバンドパスフィルタを用いた。CCD カメラから試料の情報を画像として取得し、得られたデータを元に各ポイントごとの出力光強度 I 、ファラデー回転角 θ_F の計算を行なった。ポラライザの回転角度分解能は 3.6×10^{-2} 度とした。

装置の校正のため、金属ミラー ($\theta_F=0$) をサンプルとして、偏光面の回転の代わりにアナライザを回転させ、偏光面の回転角度を測定した。小数点 1 桁以内において誤差 0 度の角度精度で偏光面の回転角度を測定出来た。

(2) 多階調デバイスの基礎特性

2×2 ピクセルの多階調磁気光学デバイスの特性評価を行った。磁気光学膜は垂直磁化膜の多磁区構造を有する。図 3 の原理に基づき、垂直方向の外部磁界に応じて光の進行方向と同方向の磁区の面積が変化し、多階調変調を実現出来る。

磁気光学デバイスに垂直方向に外部磁界を印加した場合の画素内の任意のエリア(図 4)の平均 θ_F を図 5 に示す。この結果から外部磁界に応じて θ_F が連続的に変化しており、多階調磁気光学デバイスの特性を定量的に測定出来ている事がわかる。また、多階調駆動を図 3 の方法で行えることを実証できた。

(3) 多階調デバイスの理論設計

本研究では、磁性体に伝えられる応力を物理シミュレータ ANSYS を用いて応力計算を行った。

初めにこれまで試作してきた電圧駆動型磁気光学空間光変調器の構造を元に応力計算を行った(図 6)。本デバイスは図 2 の駆動原理を元に駆動しており、垂直を向いている磁化が面内方向の実効磁界(圧縮応力)によって膜面方向に回転させ θ_F の変調を行う。磁気光学膜(YIG)の断面での面内方向の応力を図 6(b)に示す。符号が正の場合引っ張り応力であり、負が圧縮応力である。圧電体(PZT)からの距離が離れるほど(上面から下面に向けて)

応力の強さが場所によって不均一になっていることが分かる。特に圧電体から最も離れた場所では、引っ張り応力が働いており、駆動を妨げている。この場合、画素内の場所によって応力強さが変わるので、 θ_F の大きさが不均一になる。

膜厚を低減させれば応力を均一に出来るが、(1)式より θ_F が低減してしまう。磁気光学膜が薄膜状で θ_F が大きい構造として磁性フォトニック結晶(Magnetophotonic-crystal: MPC)に注目した。本構造は磁気光学膜を誘電体ミラーで挟み込むため、磁気光学膜の実効的膜厚を増加させることが出来る。今回は新たに提案した図7の反射型 MPC 構造で応力計算を行った。圧電体からの距離が重要なため、誘電体ミラー層のTa₂O₅はSiO₂に置き換えて計算した。磁気光学膜の断面での面内方向の応力を図7(b)に示す。この結果、今回新たに提案した反射型 MPC 構造は圧電体からの距離が従来のものと同程度であり、磁気光

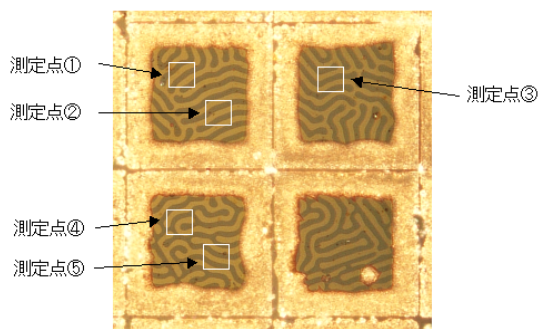


図4 垂直磁化膜の多磁区構造

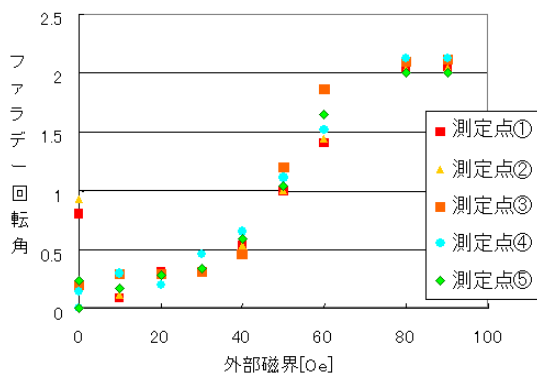


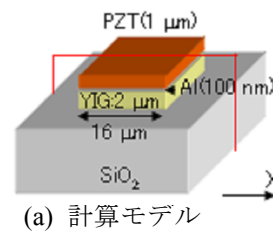
図5 外部磁界に対する各エリアの平均 θ_F

学膜の膜厚を低減できることから、応力がさらに均一になることが分かった。

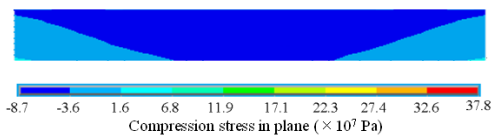
磁気光学膜の体積に対して面内方向の圧縮応力が加わっている体積の割合を求めた。従来の構造が69%に対して、反射型 MPC 構造は80%であった。

反射型 MPC 構造の磁気光学膜周辺の基板(誘電体ミラー)に溝を2 μm 幅、0.5 μm 掘り込むことによって、面内方向の圧縮応力が働く体積割合が99%まで特性向上できている。

今後、本構造を元に多階調磁気光学デバイスを開発し、多階調駆動特性の評価を行っていく予定である。

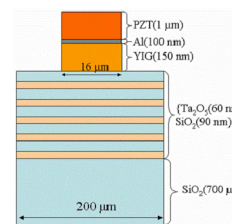


(a) 計算モデル

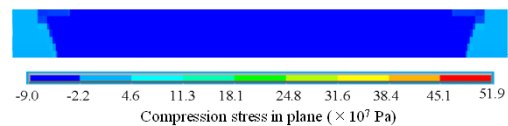


(b) 磁気光学膜断面の応力分布図

図6 これまで開発されてきた磁気光学デバイス



(a) 計算モデル



(b) 磁気光学膜断面の応力分布図

図7 反射型 MPC 構造

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① H. Takagi, K. Takahashi, S. Mito, F. Kawanishi, K. H. Chung, J. Heo, J. Kim, P. B. Lim, M. Inoue, Theoretical Analysis of Voltage-Driven MOSLM with 1-D Magneto Photonic Crystal, Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 32, No. 2_2, pp.120-123 (2008).

[学会発表] (計 5 件)

- ① 高木宏幸, 高橋一義, 水戸慎一郎, 川西史晃, K. H. Chung, J. Heo, J. Kim, P. B. Lim, K. H. Shin, 井上光輝, MPC 構造による電圧駆動型 MOSLM の構造解析, 第 68 回応用物理学会学術講演会, 7p-ZD-8, 2007 年 9 月 7 日, 北海道工業大学.
- ② 高木宏幸, 高橋一義, 水戸慎一郎, 川西史晃, K. H. Chung, J. Heo, J. Kim, P. B. Lim, K. H. Shin, 井上光輝, 磁性フォトニック結晶ベース MOSLM の構造設計, 第 31 回日本応用磁気学会学術講演会, 11aB-3, 2007 年 9 月 11 日, 学習院大学.
- ③ H. Takagi, K. Takahashi, S. Mito, F. Kawanishi, K. H. Chung, J. Heo, J. Kim, P. B. Lim, M. Inoue, Theoretical Analysis of Voltage-driven MOSLM with 1D Magnetophotonic Crystal, Workshop on Thermal and Optical Magnetic Materials and Devices 2007, PB4, 25, September, 2007, Carnegie Mellon University (United States of America).
- ④ 山下将央, 杉浦藤虎, 塚本武彦, 高木宏幸, 金周映, Alexander Baryshev, 井上光輝, 磁気光学効果を用いたアナログ変調デバイスの評価装置の作製, 電気関連学会東海支部連合大会, P-080, 2008 年 9 月 19 日, 愛知県立大学.
- ⑤ H. Takagi, K. H. Chung, S. Mito, F. Kawanishi, T. Mano, P. B. Lim, J. Kim, M. Inoue, Design of structure for Magneto-Photonic Crystals based Magneto-Optic SLMs, International Workshop on Holographic Memories 2008, 21PD5, 21 October 2008, Irigo garden hotel Resort & Spa. (Japan).

6. 研究組織

(1)研究代表者

高木宏幸 (TAKAGI HIROYUKI)

豊田工業高等専門学校・電気電子システム

工学科・助教

研究者番号 : 40390463

(2)研究分担者

(3)連携研究者