

感温磁性薄膜を用いた光センサの構成

Construction of Photosensor Utilizing Temperature-sensitive Magnetic Thin Film

○小原 豊直, 高橋 司, 長田 洋, 千葉 茂樹, 徳田 春男, 吉田 豊彦, 関 享士郎

○Toyonao OBARA, Tsukasa TAKAHASHI, Hiroshi OSADA, Shigeki CHIBA,

Haruo TOKUTA, Toyohiko YOSHIDA, Kyoshiro SEKI

岩手大学

Iwate University

キーワード：感温磁性薄膜(temperature-sensitive magnetic thin film), 温度依存性(temperature dependence), スパッタ法(sputtering method), 光センサ(photosensor), 赤外線(infrared rays)

連絡先：〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学工学部電気電子工学科
電子システム工学講座

関享士郎, TEL:019(621)6380 Fax:019(621)6380, E-mail: seki@iwate-u.ac.jp

1. まえがき

感温磁性薄膜光センサ TTP (Temperature-sensitive Magnetic Thin Film Photosensor) は, 照射された光エネルギーを, 熱エネルギーを介して磁気特性の変化として出力するセンサである.

従来使われてきた光センサには, 光導電効果, 光起電力効果, 光電子放射効果及び焦電効果を利用したものがあるが^{1)~4)}, これらはいずれも受光部の電気的特性が光によって変化する性質を利用している.

TTP は, 室温付近で二次相転移を示す強磁性体であり, キュリー温度を任意設定できることから, レラクタンス変化量を大きくとることができ, 任意の温度範囲において高感度

のセンサを構成できる.

本論文では, まず TTP の作製方法を述べ,

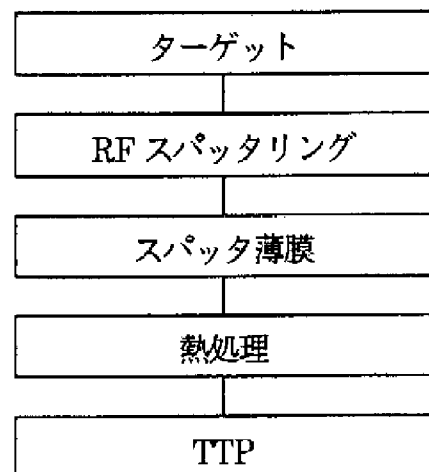


図1 TTP の作製工程

Fig. 1 Preparation profile of TTP.

次いで可視光及び赤外線による応答特性について報告する。

2. TTP の作製方法

図1に感温磁性薄膜光センサ TTP の作製工程を示す。バルクフェライトをターゲットにしたスパッタリングにより薄膜を形成し、熱処理を施すことによって TTP が得られる。ターゲットとして、室温付近にキュリー温度 T_c を有する Mn-Zn 系フェライト ($T_c=50^\circ\text{C}$, 金属重量成分比=Fe : 65wt%, Mn : 14wt%,

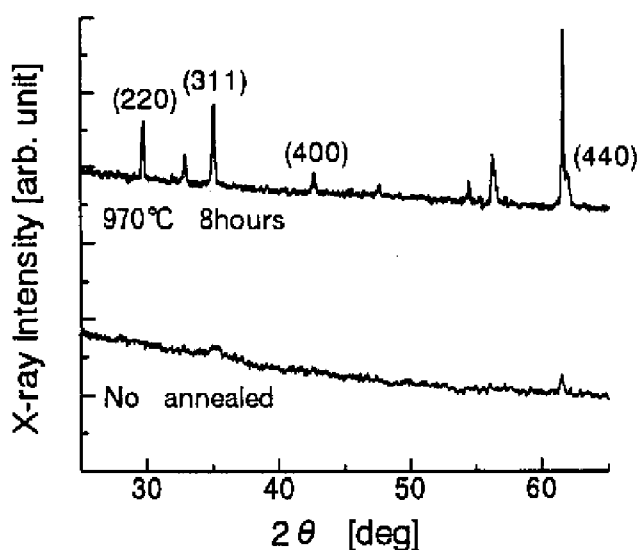


図2 TTP の XRD パターン

Fig.2 XRD pattern of TTP.

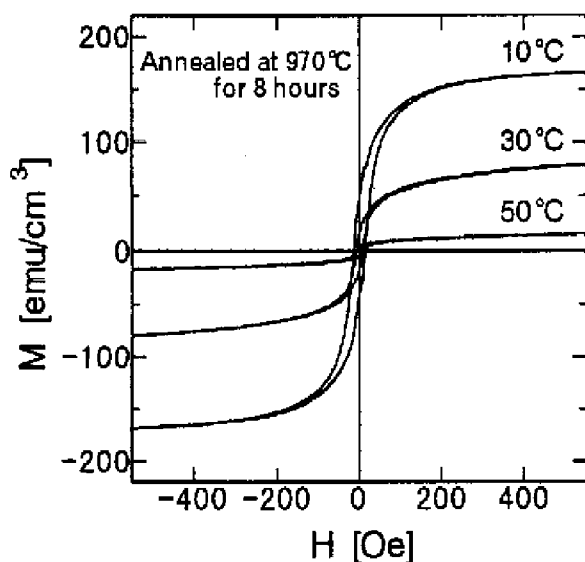


図3 TTP の磁化ループの温度変化

Fig.3 Magnetization loops of TTP with temperature change.

Zn : 21%) を使用した。このターゲットにより、60mTorr の Ar ガス雰囲気中、RF 電力 200W の条件下で、4 時間スパッタリングすると、シリコン単結晶基板上(長さ 7.5mm, 幅 4.5mm, 厚さ 1.0mm) の片面に厚さ $1\ \mu\text{m}$ の薄膜が得られる。

このスパッタリングで得られた薄膜は、アモルファス状態で成膜されているため、ほとんど磁気特性を持たない。従って、バルク状態と同様の結晶構造(スピネル構造)を再現させるために何らかの処理を行う必要がある。一般に、バルクフェライトの固相反応温度は $800^\circ\text{C}\sim 1050^\circ\text{C}$ であることが知られている⁵⁾。そこで、作製されたアモルファス状態の薄膜に対して前述の範囲での熱処理を施すことによって、スピネル構造の再結晶化が期待できる。

図2に熱処理前後の薄膜の X 線回折図を示す。同図より、熱処理以前の薄膜ではピークが見られないアモルファス状態であるが、熱処理によりスピネル構造を示す (220), (311), (400) 及び (440) 面で回折ピークが表れており結晶化していることがわかる。なお熱処理条件として、Ar ガス雰囲気中において熱処理温度及び時間をそれぞれ $970^\circ\text{C}\cdot 8$ 時間とし、その後クラックの発生を避けるため室温まで $100^\circ\text{C}/\text{時間}$ の冷却を行った⁶⁾。

図3は TTP の磁化ループの温度特性である。同図より、磁気特性を示すパラメータである飽和磁化、保持力、ヒステリシス損などが TTP の温度の上昇に伴ってそれぞれ減少していく傾向が見られる。試料温度 10°C で $170\text{emu}/\text{cm}^3$ の飽和磁化は、 30°C では $80\text{emu}/\text{cm}^3$ へと低下し、 50°C になると $10\text{emu}/\text{cm}^3$ となり、ほとんど磁化は消失する。この傾向はターゲットである Mn-Zn 系フェライトの磁化特性と類似しており、顕著な温度依存性を示している。

3. 光センサの構成及び動作

3.1 構成

図4はTTPを用いた光センサシステムの構成を示す。TTPにMR素子MRを接着し、その下部に永久磁石MGを接着した構造となっている。光照射Lによる温度上昇があった場合、磁性薄膜中の飽和磁化が低下し、その結果磁気ループ中のレクタンスが増大する。このレクタンスの増加は磁気ループ中の磁束の低下をもたらすので、MR素子で抵抗の変化として検出され、次いでICにより信号増幅され、 V_0 として出力される。なお、TTP方式のセンサ部にはMR素子の感知幅を超えることを防ぐため、受光面 S_0 （直径3mmの円面積 7.06mm^2 ）なるカバーを施した。

3.2 光センサの動作

図5はTTPにタングステンランプによる白色光を照射した場合の、センサの出力の過渡応答過程である。ステップ状の光の照射に対して出力電圧波形は急峻に立ち上がった後、ややゆっくりとした減衰特性を持つ応答特性を示す。照度Eが8000lxの時、50%振幅値で15秒間のパルス上の出力電圧が得られた。また、この時の出力電圧のピーク値は47mV（白

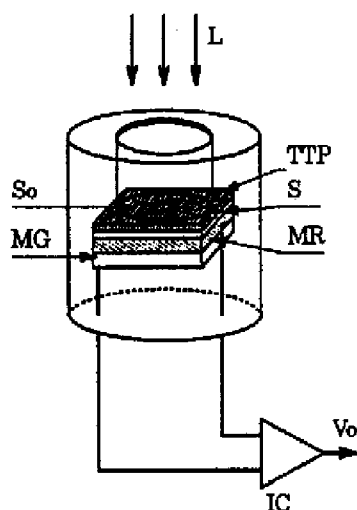


図4 光センサシステムの構成
Fig4. Constitution of photosensor system.

色光照射約9秒後)であった。4000lxの照度では、ピーク値は22mVとなり、2000lxでは12mVへと低下する。即ち、入射光の強度が高いほど、出力電圧のピーク値が大きくなる傾向を示す。

図6は照度と出力電圧の立ち上がり時間 t_r との関係を示す。同図より、照度の増加につれて応答時間は短くなる傾向を有している。なお、同一照度では、周囲温度が高い方が t_r を長くなる傾向が見られる。

図7は照度と出力電圧のピーク値との関係を示すが、同図より、両者の間にはほぼ直線的

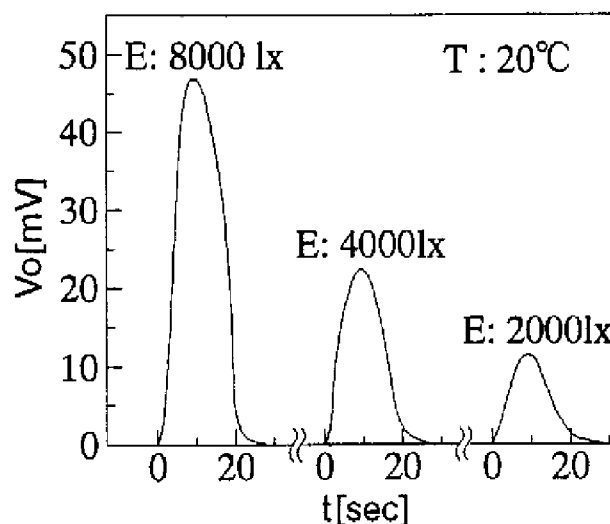


図5 TTPの過渡応答特性
Fig.5 Transient response of TTP.

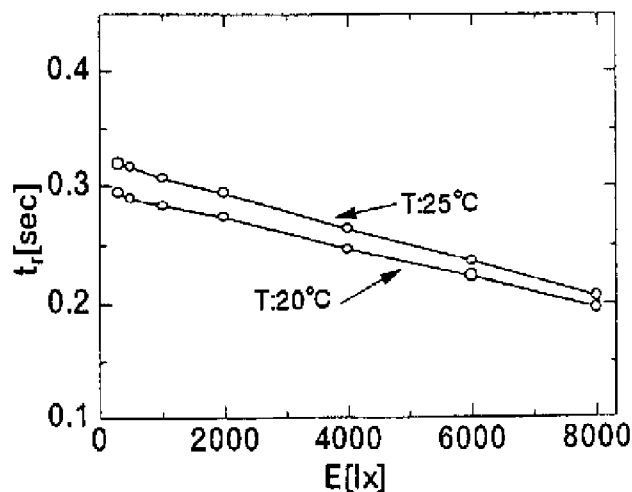


図6 立ち上がり時間と照度の特性
Fig.6 Rising time versus illuminance.

な関係が見られる。周囲温度が 20°C の場合、 300lx から 8000lx の照度に対し V_0 は 3mV から 45mV へと増加しており、周囲温度が 25°C の場合には 2.5mV から 40mV まで変化する。また、同一照度では、周囲温度が低いほど V_0 が大きくなる傾向が見られる。このように、TTP は低照度から高照度までの光に应答するため、光センサとして十分な機能を有しているものと考えられる。

光の照射で、このようにパルス状の応答波形が得られる理由としては次のように考えられる。TTP はステップ状の光に対して1次遅

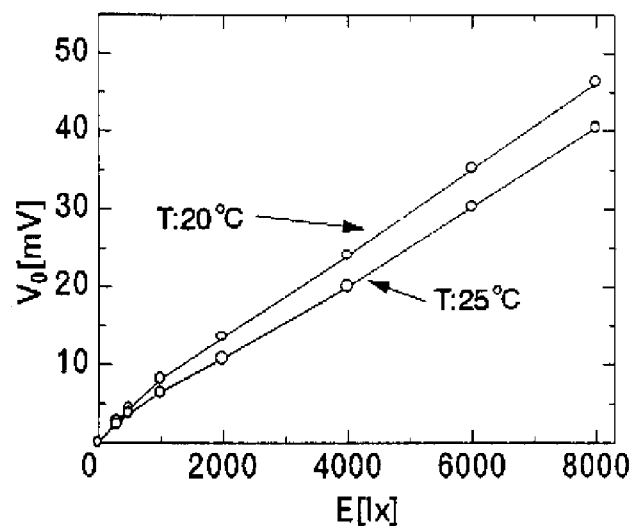


図7 照度と出力電圧の関係

Fig.7 Photo conversion characteristic of TTP.

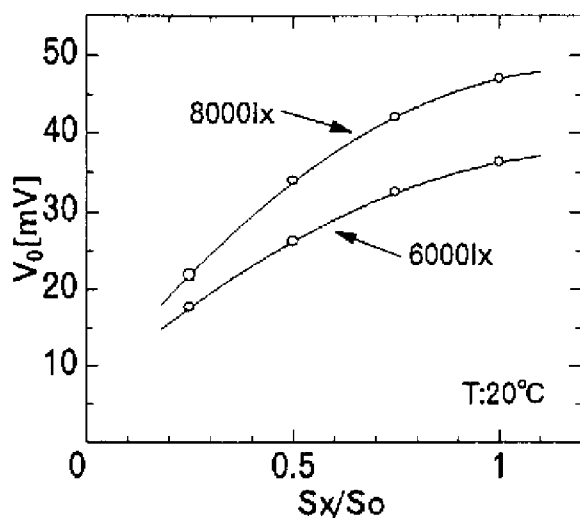


図8 受光面積と出力電圧の関係

Fig.8 Relation between radiated area and output voltage.

れで熱が伝達するが、このとき TTP の磁束は TTP の温度変化に比例して変化する。TTP の温度は急峻なパルスとして伝達するので、磁束の変化もパルスとなる。MR における抵抗の変化は磁束の変化に比例するため、出力はステップ状の光を微分した波形として得られる。

図8は照度をパラメータとした場合の V_0 と TTP の受光面積との関係を示す。同図は受光面積 S_x を $S_0/4$ から S_0 へと変化させた場合の出力電圧のピーク値を求めたものである。照度が 8000lx の場合、 S_x/S_0 が 0.25 のとき V_0 は 22mV であるが、 0.5 では 33mV となり、 1.0 では 47mV へと増加して受光面積による影響が明らかである。照度が 6000lx の場合でも同様の傾向が見られ、面積に対し、照度が高い方が出力電圧も高くなる。受光面積と出力電圧との関係は必ずしも直線的ではないが、 V_0 が受光面積や照度によって制御される特性を活用して簡単な一次元の機械的あるいは光学的な操作と組み合わせることによってパターン認識や光源の大小の判定に利用できるものと考えられる。なお、受光面積と出力電圧の関係が直線的な関係とならない理由として、受光面積の中心と円周近傍で MR 素子の検出感度が異なるためと思われる。

3.3 赤外線センサへの応用

図9は TTP 上にフィルタがない場合、赤外線透過フィルタ ITF を設置した場合、及び熱吸収フィルタ HAF を設置した場合についての応答特性である。表1に ITF, HAF 両フィルタの特性を示す。フィルタの有無に関わらず照射光に比例した出力が得られている。

ITF を設置した場合、フィルタがない場合に比べて約7割程度の出力が得られたが、HAF を設置した場合は2割前後の出力しか得られなかった。このことから TTP は赤外線に対し

て鋭敏に応答することが分かる。

4. あとがき

以上、RF スパッタ法により感温磁性薄膜光センサ TTP を作製し、可視光及び赤外線照射時における諸特性について報告した。

TTP は従来用いられてきた光導電効果、光起電力効果、光電子効果及び焦電効果等の電気的特性を利用したものとは異なり、光による磁化の変化という新しい原理に基づいており、TTP を用いることによって構成が簡略で、小型、計量、かつ高感度なセンサシステムを実現することが出来た。

ここで報告した TTP は物理的にも化学的にも極めて安定な素子であり、耐環境性に優れており、また赤外線に対しての応答も顕著に現れており、赤外線センサとしての応用も考えられる。

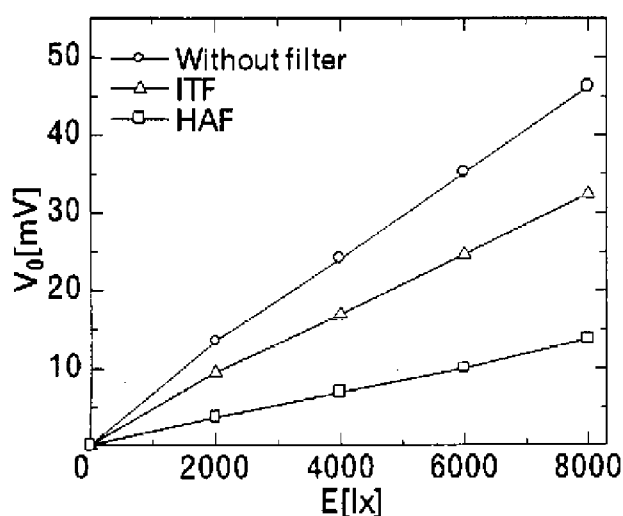


図9 TTP の赤外線特性

Fig.9 Infrared characteristic of TTP.

表I フィルタの透過率

Table I Transmittance of filter.

フィルタ	[nm]	近赤外線透過率					
		400	500	600	700	800	900
ITF		0	0	0	0	86	91
HAF		89	88	86	62	29	5

5. 参考文献

- 1)高木, 山田:半導体物性, 産報 (1967)
- 2)伊吹, 吉沢:半導体素子, 日刊工業新聞社 (1965)
- 3)高木:応用計測通論, 啓学出版 (1972)
- 4)高見, 須田, 古閑:焦電効果を利用した赤外線検出器, 応用物理学会論文誌, Vol.37, No. 2, pp.147-156 (1968)
- 5)安宍善史, 長田 洋, 石井 修, 島津誠一, 千葉茂樹, 関享士郎, 高橋 強, 吉田豊彦:スパッタ法による感温磁性薄膜の作製と特性評価, 電気学会マグネティクス研究会資料, MAG-96-153 (1996)
- 6)安宍善史, 石井 修, 小原豊直, 千葉茂樹, 高橋強, 長田 洋, 吉田豊彦, 関享士郎:熱処理による感温磁性薄膜の磁気特性改善, 平成9年度電気関係学会東北支部連合大会, [2A11] (1997)