

焦性磁気光センサの作製と光応答特性

Preparation and Light Response of Pyro Magnetic Photosensor

○高橋 司, 木村智彦, 吉田豊彦, 安宍善史, 千葉茂樹, 長田 洋, 関 享士郎
○Tsukasa TAKAHASHI, Tomohiko KIMURA, Toyohiko YOSHIDA, Yoshifumi AJISHI,
Shigeki CHIBA, Hiroshi OSADA and Kyoshiro SEKI

岩手大学

Iwate University

キーワード：感温磁性薄膜 (temperature-sensitive magnetic thin-film), スパッタ法
(sputtering method), 光センサ (photosensor), 赤外線 (infrared rays),
エッチング (etching)

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. はじめに

焦性磁気光センサ (Pyro magnetic Photosensor: PMP) は, 感温磁性薄膜 (Temperature-sensitive Magnetic Thin-film: TMT)により, 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, 光導電放射効果, および焦電効果を利用したものがあるが, 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.^{1)~2)}

これに対し, PMP は光による磁気の変化という従来とは異なる原理に基づいている.

TMT は, 室温付近で二次相転移を示す強磁性体であり, キュリー温度を適宜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も高感度なセンサを構成できる.

本論文では, まず TMT の作製方法を述べ, ついで PMP の構成, 光照射による応答特性および応答時間の改善について報告する.

2. TMT の作製方法

図1は感温磁性薄膜 TMT の作製工程を示す。Mn-Zn 系バルクフェライト（キュリー温度 $T_c=50^\circ\text{C}$ ，金属重量成分比=Fe:65%，Mn:14%，Zn=21%）をターゲットとして，Si 基板（長さ 7.5 mm，幅 4.5 mm）上に 60 mTorr の Ar ガス雰囲気中，RF 電力 200 W の条件下で 4 時間スパッタリングして 1.8 μm 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³⁾。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は熱処理前後の薄膜 X 線回折を示す。熱処理以前にはピークが見られず非晶質であるが，熱処理によりスピネル構造を示す(200)，(311)，(400)および(440)面で回折ピークが現れる。なお，熱処理条件として，熱処理温度および時間を，それぞれ 970°C ，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 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ の冷却を行った⁴⁾。

図3は TMT の磁化ループの温度依存性を示す。同図より，飽和磁化，保磁力，ヒステリシス損などが温度の上昇に伴ってそれぞれ減少していく状況が見られる。 10°C で $170\text{ emu}/\text{cm}^3$ を示した飽和磁化は， 30°C では $80\text{ emu}/\text{cm}^3$ へと低下し，さらに 50°C

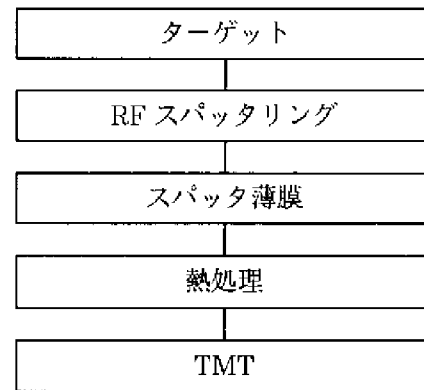


図1 TMT の作製工程

Fig. 1 Preparation profile of TMT.

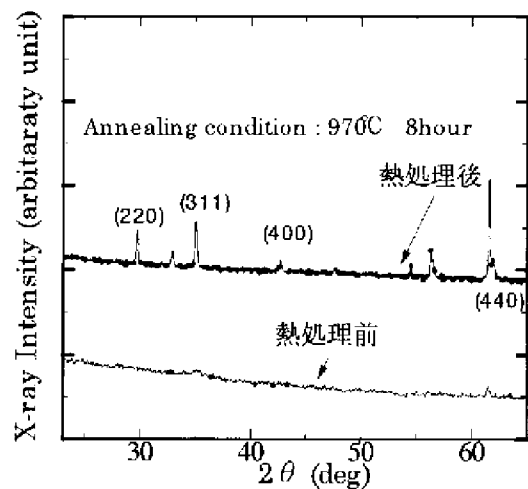


図2 TMT の XRD パターン

Fig. 2 XRD pattern of TMT.

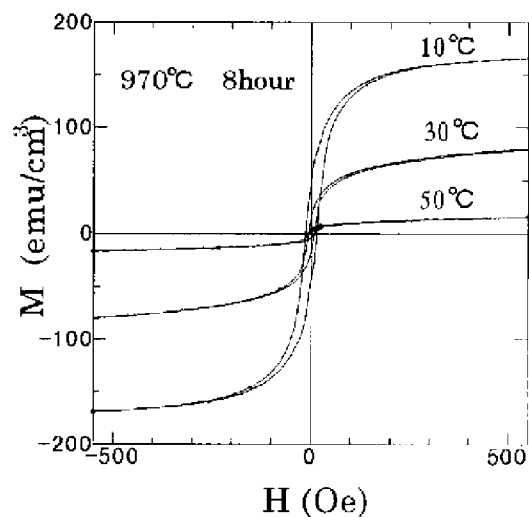


図3 TMT の磁化ループの温度変化

Fig. 3 Magnetization loops of TMT with temperature change.

になると 10 emu/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. PMP の構成および応答特性

3.1 PMP の構成

図4は PMP の構成を示す。Si 基板 S 上に作製された TMT の下部に磁気抵抗素子 MR とマグネット MG を固着した構造となっている。TMT に光 L が照射されると、TMT の温度が上昇するためレラクタンスが増加し、MG によるバイアス磁束が変動するため、MR の抵抗が変わる。この変化を信号増幅回路 IC で増幅して出力電圧 V_o を得る。

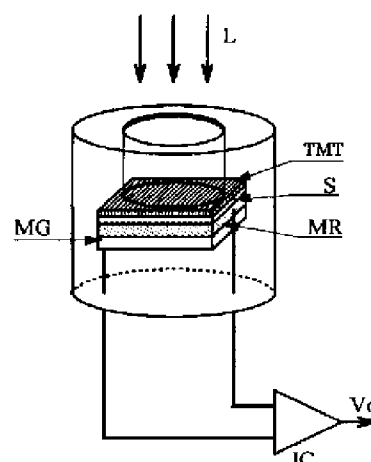


図4 PMP の構成

Fig. 4 Construction of PMP.

3.2 PMP の動作

図5は、PMP に 100 V の一定電圧を加えたタングステンランプによるステップ状の白色光を TMT 面に対して垂直方向に照射し、タングステンランプと TMT との距離 l_0 を変化させた場合の出力 V_o の過渡応答特性である。測定は周囲温度を保った暗室で行った。 V_o は光照射開始から約 10 秒前後でピークに達した後、ゆっくりとした減衰特性を持つ応答を示す。 V_o のピーク値は、 l_0 が 20 cm の場合で 131 mV を示し、30 cm では 60 mV、40 cm では 36 mV となり、 l_0 が小さいほど大きな値を示す。

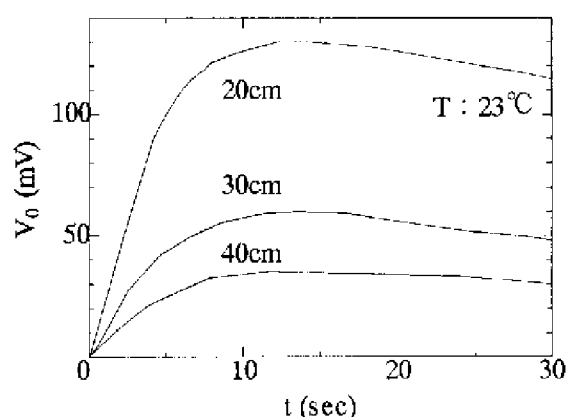


図5 タングステンランプによる過渡応答特性

Fig. 5 Transient response by tungsten lamp.

図6は TMT 上にフィルタがない場合と赤外線透過フィルタ ITF (シグマ光機製: ITF-50S-76IR, ITF-50S-85IR) および熱吸収フィルタ HAF (シグマ光機製: HAF-50S-30H, HAF-50S-50H) を設置した場合

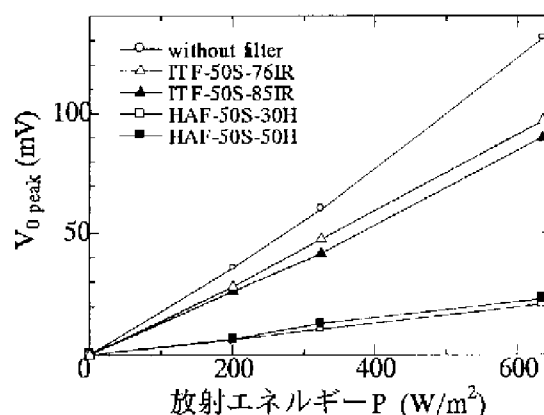


図6 PMP の放射エネルギー特性

Fig. 6 Radiation energy characteristic of PMP.

のピーク値 V_{0peak} の応答特性である。同図より、いずれの場合においても V_{0peak} は放射エネルギー P の増加に伴いほぼ直線的に上昇する傾向を示す。なお、放射エネルギーの測定は熱電放射計を使用した。距離 l_0 が 20 cm, 30 cm, 40 cm のときの放射エネルギー P はそれぞれ 636 W/m^2 , 325 W/m^2 , 201 W/m^2 であった。また、ITF を設置した場合は、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 割弱の出力しか得られなかった。このことから、PMP は赤外線に対して鋭敏に応答することが分かった。

図 7 は 100 V の一定電圧を加えた赤外線ランプに対して、赤外線ランプと TMT との距離 l_0 を変化させた場合の放射エネルギー P と PMP の出力のピーク値 V_{0peak} との関係を示す。同図の放射エネルギー P の測定点 734 W/m^2 , 401 W/m^2 , 229 W/m^2 は、それぞれ距離 l_0 が 20 cm, 30 cm, 40 cm での値である。 734 W/m^2 の放射エネルギーに対しては 83 mV のピーク値が得られ、 401 W/m^2 では 52 mV, 229 W/m^2 では 29 mV となり、赤外線ランプでも P の増加に伴いほぼ直線的に上昇する傾向を示す。

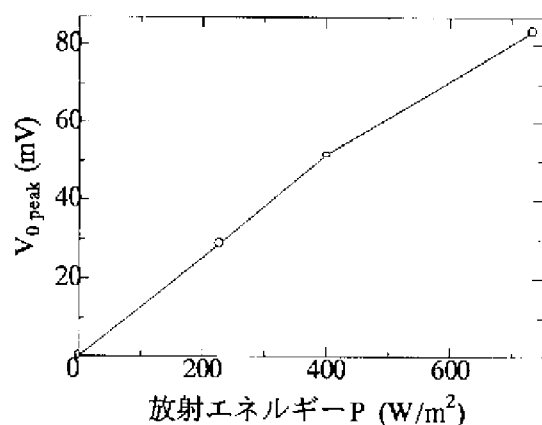


図 7 赤外線による放射エネルギー特性
Fig. 7 Radiation energy characteristic by the infrared rays.

4. PMP の特性改善

PMP は熱エネルギーを利用したセンサであるため、その感度および応答速度は装置の熱容量および熱抵抗が大きく影響していると考えられ、それらが小さいほど感度、応答速度が向上すると思われる。なかでも感温部である TMT に接している Si 基板は TMT の数百倍の厚さであるためこれらへの影響は大きいと思われる。そこで、エッチングにより Si 基板の体積を減少させる方法を試みた。

エッチング液にフッ酸：硝酸=1：3 の混合液を用い⁹⁾、図 8 に示すように TMT にアピエゾンワックスによるコーティングを

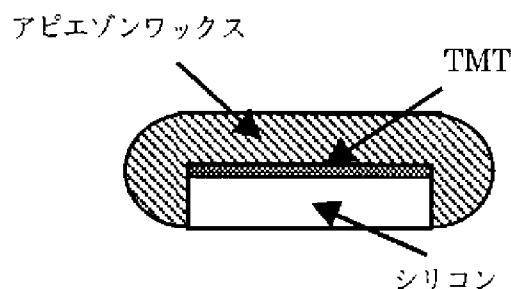


図 8 マスキング処理

Fig. 8 Masking processing.

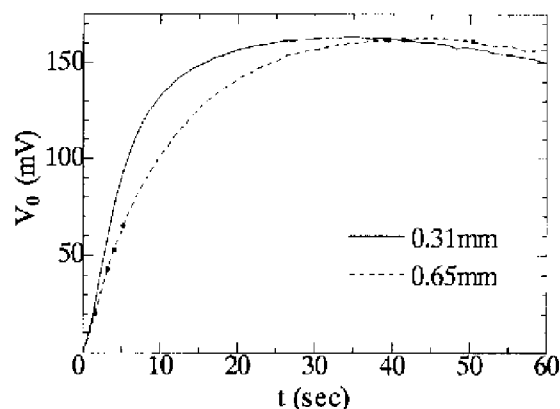


図 9 $P=636 \text{ W/m}^2$ での応答特性

Fig. 9 Transient response in $P=636 \text{ W/m}^2$.

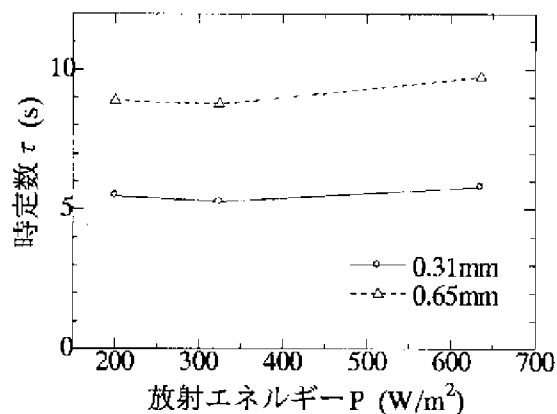


図 10 時定数 τ の比較

Fig. 10 Effect of the thickness of the substrate to the time constant τ .

施し、Si 基板の厚さ 0.65 mm の TMT を 20 分間浸す。これにより Si 基板の厚さを 0.65 mm から 0.31 mm まで薄くすることができた。

図 9 は、図 5 と同様にタングステンランプを照射し、 $P=636 \text{ W/m}^2$ に対するエッチング前後の PMP の応答特性を示す。MR を断熱材で覆うことによりエッチングを施した TMT が早い応答特性を示していることが分かる。この傾向は、 $P=325 \text{ W/m}^2$, 201 W/m^2 のときにも同様に見られる。

図 10 は、エッチング前後での出力の時定数 τ (最大値の 63% になるまでの時間)¹⁾ を比較して示す。同図から、Si 基板を薄くすることにより、すべての放射エネルギーにおいて時定数 τ が平均で 3~4 秒ほど短縮されていることが分かる。

5. あとがき

以上、焦性磁気光センサの作製と光応答特性について報告した。PMP は照射光の強度に対応した出力が得られ、特に、赤外

線に対しての応答が顕著である。また、エッチングにより、感光部の Si 基板を薄くすることで熱容量を小さくすると応答時間が短縮されることが分かった。

参考文献

- 1) 宮尾, 中川, 白水: 光センシング工学, 26/47, 日本理工出版会 (1995)
- 2) 大森: センサ工学, 126/171, テクノ (1981)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 檜岡, 二瓶: フォトエッチングと微細加工, 101/105, 総合電子出版社 (1968)