

## 磁性薄膜赤外線センサの構成と応答特性

### Construction and Response of Magnetic Film Infrared Sensor

藤原 良一, 吉田 耕平, 千葉 茂樹, 長田 洋, 田山 典男

Ryoichi FUJIWARA, Kohei YOSHIDA, Shigeki CHIBA, Hiroshi OSADA,  
and Norio TAYAMA

岩手大学

Iwate University

キーワード: 感温磁性膜 (temperature-sensitive magnetic film), 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  
電子システム工学講座

長田 洋, Tel./Fax.: 019(621)6381, E-mail: osada@doragon.elc.iwate-u.ac.jp

#### 1. 序論

近年, フェリ磁性体の応用分野は多岐にわたっており, 通常の磁気デバイスとしての利用ばかりでなく, 電磁氣的測温素子としての活用が検討されている。

感温磁性材料 (感温フェライト) は,  $-50 \sim 200$  の範囲に磁気変態温度, すなわちキュリー温度  $T_C$  をもっており, この  $T_C$  における飽和磁束密度, 初透磁率, 保磁力の急変現象を用いて, 特定温度の検出, 制御をする研究が行われ, その中のいくつかは温度センサとして広く実用されている<sup>(1)</sup>。しかし, これらの報告例は, バルクや厚膜についてのみであり, 薄膜の報告例はほとんど見当たらない。そこで筆者等は感温磁性材料の薄膜化を検討し, 性能向上を試みてきた。

本研究では, 感温磁性膜 (Temperature-

sensitive Magnetic Film: TMF) の応用の一つとして, 照射された赤外線の放射エネルギーを, 熱エネルギーを介して磁気特性の変化として出力する磁性薄膜赤外線センサ (Magnetic Film Infrared Sensor: MIS) について検討した。

従来の赤外線センサは, 熱型と量子型に大別されるが, これらはいずれも赤外線によって感光部の電気的特性が変化する性質を利用している<sup>(1),(2)</sup>。これに対し, MIS は赤外線による磁気的熱的变化という従来とは異なる原理に基づいている。

ここでは, まず TMF の作製方法を述べ, 次いで MIS の構成, および MIS の赤外線に対する応答特性について報告する。

## 2. TMF の作製方法

図 1 に感温磁性膜 TMF 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  $T_c=50$  , 金属構成比=Fe:65 wt% ,Mn:14 wt% , Zn:21 wt% ) をターゲットとして, Si 基板上に 30 mTorr の Ar ガス雰囲気中, RF 電力 100 W の条件下で 12 時間スパッタリングすると, 膜厚 1.0  $\mu\text{m}$  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熱処理を行う必要がある。そこで, 熱処理温度および時間を適宜調節して試料を作製したところ, 図 2 に示すような 970  $^{\circ}\text{C}$  8 時間(その後クラックの発生を避けるため室温まで 100  $^{\circ}\text{C}/\text{h}$  の条件で冷却)という熱処理条件で最大の飽和磁化を示す TMF が得られた<sup>(4)</sup>。焼成時, 酸素濃度は 0~0.1% 程度が望ましいため, 熱処理雰囲気は Ar ガス(流量: 100 ml/min, 酸素濃度 0%)とした。

図 3 は, 熱処理前後の薄膜の X 線回折を示す。熱処理以前にはピークが見られず非結晶であるが, 熱処理により TMF にスピネル構造を示す(220), (311), (400)および(440)面で回折ピークが現れる。

図 4 は TMF の磁化曲線の温度特性を示す。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。この傾向は, 室温付近において TMF が顕著な温度依存性を持つことを示している。

## 3. MIS の構成と応答特性

図 5 は MIS の構成を示す。MIS は, Si 基板上に作製された TMF (4 mm  $\times$  8 mm) の下部に磁気抵抗素子 MR とマグネットを固着させた構造であり, TMF - MR - マグネットからなる磁気ループが構成されている。TMF に赤

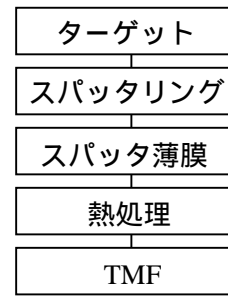


図 1 TMF の作製工程

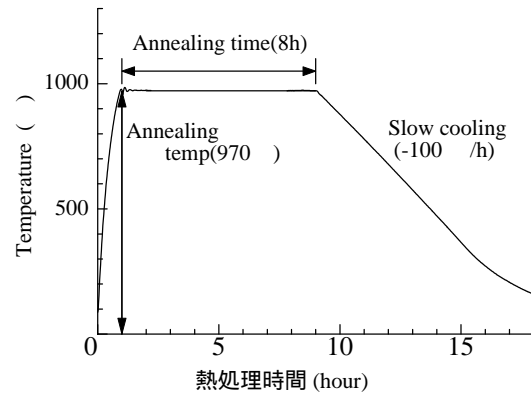


図 2 TMF の熱処理工程

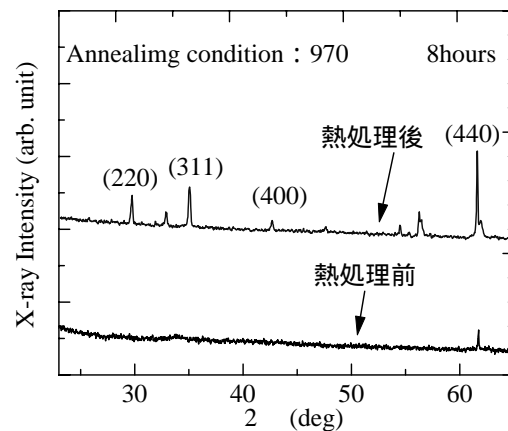


図 3 TMF の XRD パターン

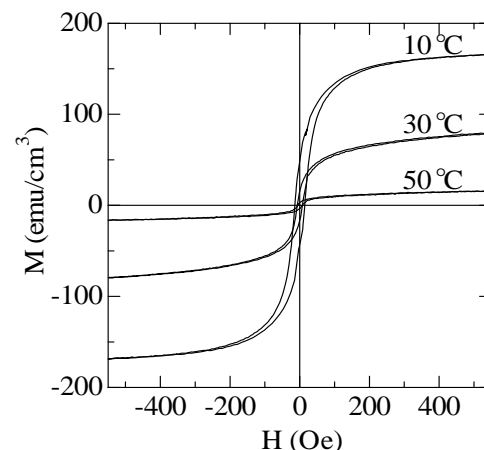


図 4 TMF の磁化曲線の温度変化

外線が照射されると, TMF の温度がわずかに上昇する. この温度上昇により TMF の飽和磁化が減少すると, 磁気ループ中のレクタンスが増加するためループの磁束が減少する. その変化は MR 素子で抵抗の変化として検知され, この変化を微分要素を含む信号処理回路 SA で検出, 増幅して出力電圧  $V_0$  を得る<sup>(3),(4)</sup>.

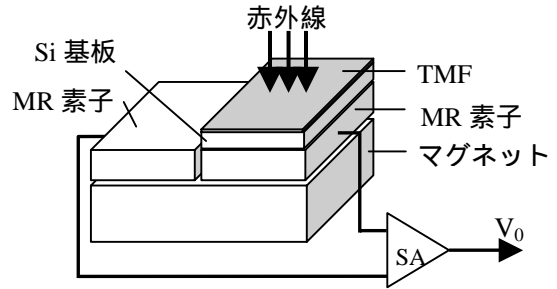


図5 MISの構成

図6は, MIS に赤外線を照射した場合の MIS の出力電圧  $V_0$  を示す. なお, 赤外線は 100 V の一定電圧を加えた赤外線ランプにより, TMF 面に対して垂直方向から照射した. TMF への放射エネルギーは, 赤外線ランプとの距離により変化させ測定した. 放射エネルギー 229, 402, 727  $W/m^2$  は, それぞれ照射距離 40, 30, 20 cm に相当する. また, 赤外線は 30 秒間照射して, 30 秒間遮断した. なお, 測定は周囲温度を一定に保った暗室内で行った. 同図から, 赤外線を照射した場合,  $V_0$  はパルス状に立ち上がってピークに達し, その後緩やかに減少する特性を示す. また, 赤外線の放射エネルギーを大きくすると, それに伴い出力電圧のピーク値は増加する. 一方, 赤外線を遮断した場合, 出力は負方向となるが, 照射時と類似した波形を示す.

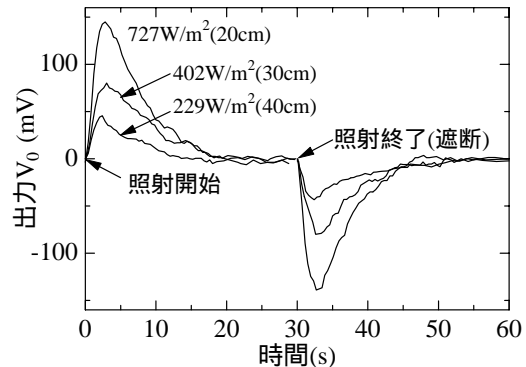


図6 MISの出力特性

図7は, 放射エネルギーによる出力ピークの絶対値  $|V_{0peak}|$  特性を示す. 同図より,  $|V_{0peak}|$  は放射エネルギーの増加に伴いほぼ直線的に上昇する傾向を示す.

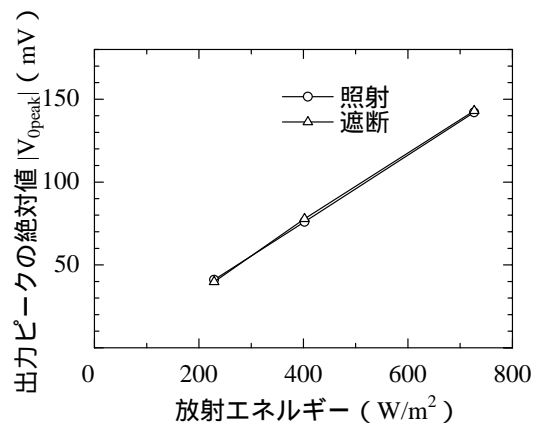


図7 MISの出力ピーク対放射エネルギー特性

図8は MIS の出力電圧の時定数を示す. なお, 時定数は MIS の出力電圧が最大値の 63 % に達する時間である<sup>(1)</sup>. MIS の出力の時定数は放射エネルギーには依存せずに 1.0 s 前後であり, 市販の焦電型センサ ( $10^{-2}$  s 程度) に比べると応答が遅い<sup>(1)</sup>. そこで, 応答時間改善のため信号処理回路 SA についての検討を行った.

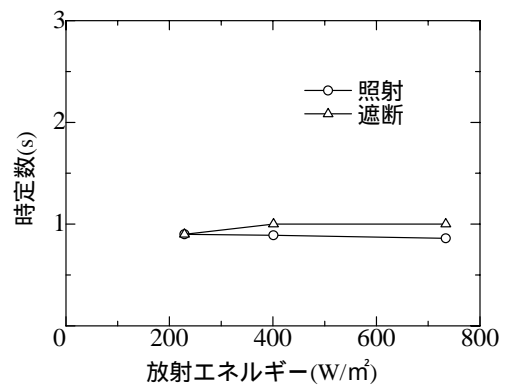


図8 MISの時定数対放射エネルギー特性

図9は信号処理回路 SA の回路図を示す. SA は微分機能を含む信号処理回路である.

従来の SA は 1 段の回路であったが、本研究では処理回路を 2 段にすることにより、立ち上がりを鋭敏にさせ、応答時間の短縮を試みた。図 10 に信号処理回路改善後の MIS の出力特性を示す。同図より、従来の信号処理で検出した図 6 の特性に比べて、照射開始、遮断時での立ち上がりが改善されていることがわかる。

図 11 は、信号処理回路改善前後における MIS の時定数対放射エネルギー特性を示す。MIS の出力の時定数は、信号処理回路改善前は 1.0 s 程度であったが、改善後は 0.5 s 程度となった。

MIS の出力は放射エネルギーによらず時定数が一定であるため、出力電圧の立ち上がり時の変化率は放射エネルギーに依存すると言える。そこで、MIS の出力にコンパレータ回路を付加し、その変化率を測定することにより応答時間の改善を検討した。

図 12 は MIS に付加したコンパレータ回路とその動作の概要を示す。(a) 図は、しきい値の異なる 2 つのコンパレータ (COMP1, 2) を使用した回路を示す。MIS の出力がそれぞれのしきい値 ( $V_{ref1}$ ,  $V_{ref2}$ ) に達すると、(b) 図に示すように、COMP1, COMP2 がそれぞれ時間  $t_1$ ,  $t_2$  で出力を反転 (LOW → HIGH) する。さらに、その出力を IC1 (EX-OR) に入力すると、 $t_1 - t_2$  間 ( $t_c$ ) でのみ出力  $V_c$  が HIGH となる。この動作時間  $t_c$  は MIS の出力の勾配により変化することから、 $t_c$  を測定することにより照射された放射エネルギーの判別が可能である。

図 13 は、動作時間  $t_c$  対放射エネルギー特性を示す。なお、 $V_{ref1}$  と  $V_{ref2}$  は MIS の出力の S/N 比等を考慮して、それぞれ 770 mV と 1.4 V とした。同図より、 $t_c$  は放射エネルギーが大きくなるに従い小さくなることわかる。また、 $t_c$  を測定することにより、照射される赤外線放射エネルギーを同図から求めるこ

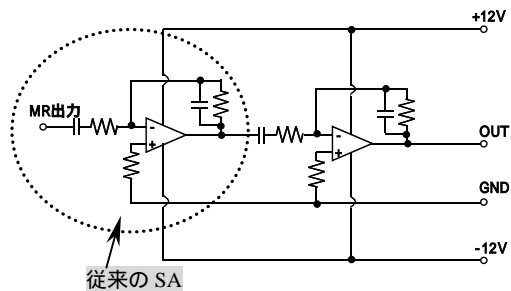


図 9 信号処理回路図

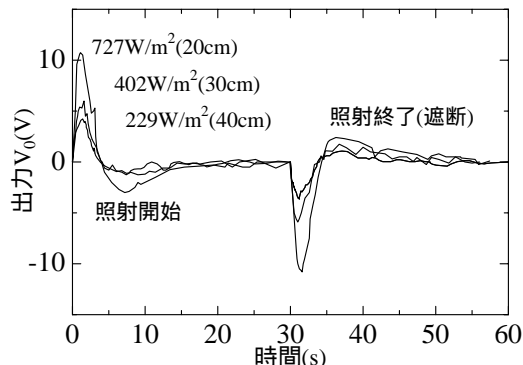


図 10 信号処理回路改善後の MIS の出力特性

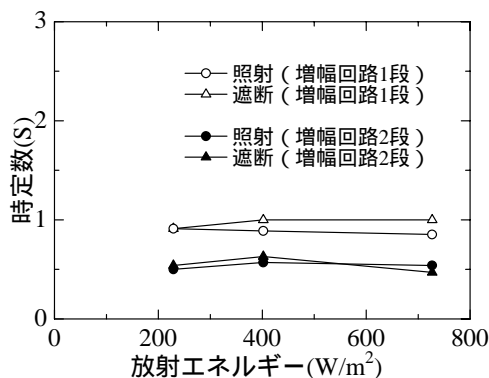


図 11 MIS の時定数対放射エネルギー特性

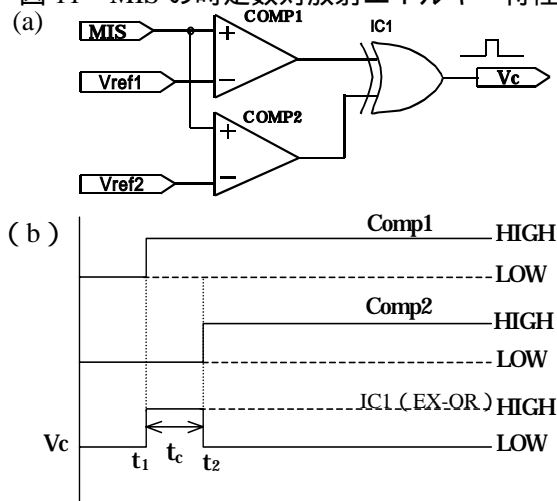


図 12 コンパレータ回路および動作概要

とができる。上記のしきい値を用いた場合、赤外線検知に要する時間は 100 ~ 200 ms で、応答時間を一層短縮することができた。

#### 4. 磁気信号検出素子についての検討

これまで磁気信号の検出に用いていた磁気-抵抗素子 (MR 素子) に対し、極めて高い分解能をもつ磁気-インピーダンス素子 (MI 素子) を用いた MIS を検討した。

図 14 は、MI 素子を用いた MIS の構成を示す。TMF、MI 素子、電磁石を図のように配置し、励磁すると、磁気ループが構成される。TMF への赤外線照射による、ループの磁束の減少を MI 素子でインピーダンスの変化として取り出し、信号処理回路で検出・増幅して出力する。

図 15 は、MI 素子 (愛知製鋼株式会社製) を用いた MIS の出力特性を示す。放射エネルギーは TMF と赤外線ランプとの距離により変化させた。同図より、 $V_o$  は赤外線照射時間に伴って赤外線ランプとの距離に応じた変化率で上昇することが確認できた。また、TMF と MI 素子は約 4 mm 程度離して設置し、赤外線の感光部と検出部の非接触測定を行うことができた。

今後は、極めて微小な変化を安定して検知するための回路構成、ノイズの除去、磁気遮へいなど、MI 素子の性能を十分に生かす構成を検討する必要がある。

#### 5. 結論

以上、MIS の作製と応答特性について報告した。MIS は照射された赤外線の放射エネルギーに応じた出力が得られ、焦性型の赤外線センサとして利用できる。また、信号処理回路の改善やコンパレータ回路の付加により、応答時間を短縮することができた。また、MI 素子を用いた MIS を構成し、赤外線の放射エネルギーに応じた出力を得ることができた。

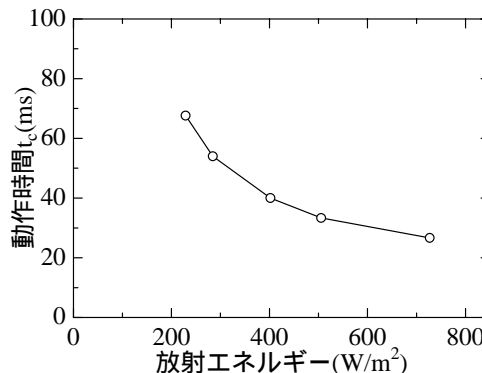


図 13 動作時間対放射エネルギー特性

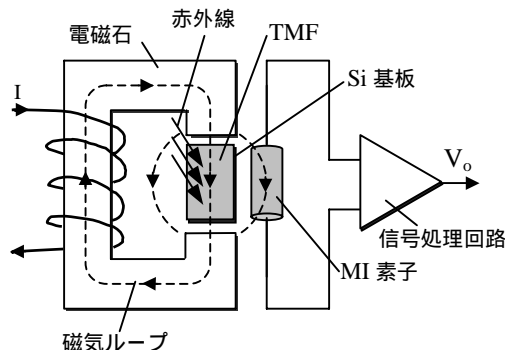


図 14 MI 素子を用いた MIS の構成

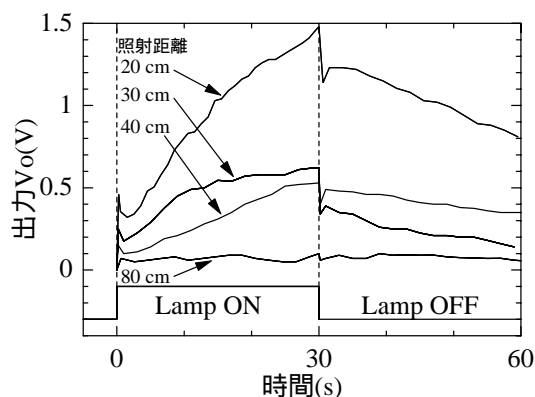


図 15 MI 素子を用いた MIS の出力特性

#### 参考文献

- (1) 大森：センサ工学，テクノ，(1981)
- (2) 宮尾，中川，白水：光センシング工学，日本理工出版会，(1995)
- (3) 藤原，小田桐，谷地，千葉，長田，高橋，関：平成 13 年度計測自動制御学会東北支部第 198 回研究集会，[198-3]，(2001)
- (4) 小田桐：岩手大学大学院工学研究科修士論文，(2002)