

磁性薄膜赤外線センサの作製と応答特性

Preparation and Response of Magnetic Thin Film Infrared Sensor

○ 藤原 良一, 小田桐 功征, 谷地 善光, 千葉 茂樹,
長田 洋, 高橋 政雄, 関 享士郎,

Ryoichi FUJIWARA, Kosei ODAGIRI, Yoshimitsu YACHI, Shigeki CHIBA,
Hiroshi OSADA, Masao TAKAHASHI, Kyoshiro SEKI

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. 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, $-50 \sim 200$ °C 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⁽²⁾. 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 Thin 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^{(1),(2)}. これに対し, MIS は赤外線による磁気の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 $T_c=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，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 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 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、薄膜の結晶構造の再現は熱処理を施すことにより成される場合が多い。TMF の場合もスパッタ薄膜に適切な熱処理を施すことで結晶構造を再現することができる。熱処理を施された試料の結晶構造は、その処理における各種のパラメータに敏感であるため、熱処理の最適化が良好な結晶構造の再現の鍵となる。フェライトの固相反応温度は $800\sim 1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ であることが知られている。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 $970\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，8 時間（その後クラックの発生を避けるため室温まで $100\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 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^{(3),(5)}。焼成時、酸素濃度は $0\sim 0.1\text{ }\%$ 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 $0\text{ }\%$ ）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

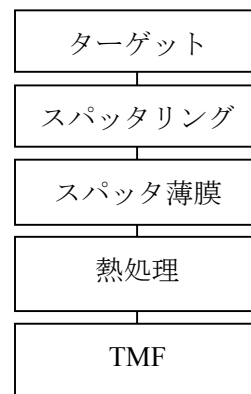


図 1 TMF の作製工程

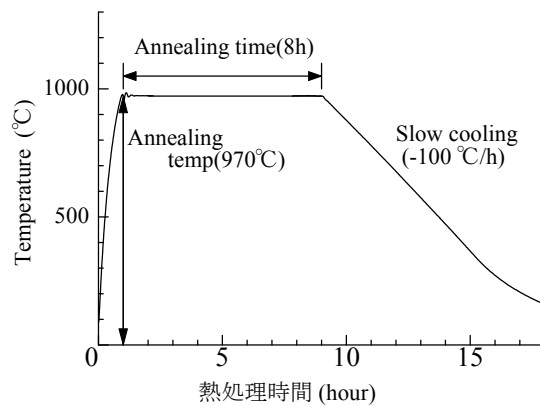


図 2 TMF の熱処理工程

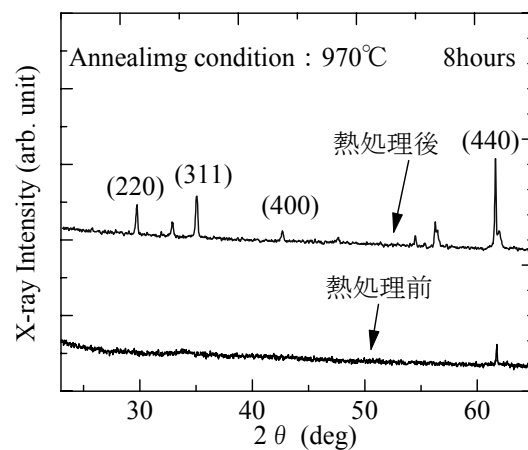


図 3 TMF の XRD パターン

ル構造を示す (200)，(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×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^{(4),(5)}．

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/m² は，それぞれ照射距離 40, 30, 20 cm に相当する．また，Fig. 6 は赤外線を 30 秒間照射して，30 秒間遮断した場合の特性である．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ことがわかる．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 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

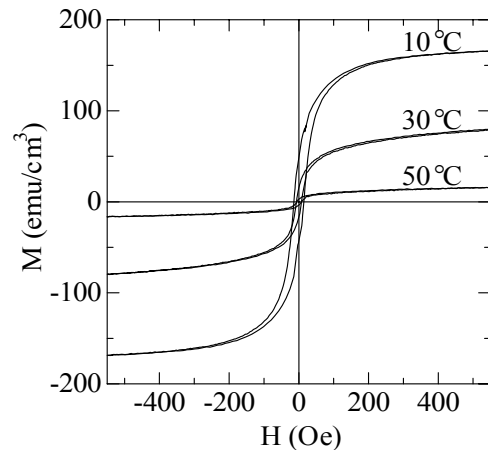


図 4 TMF の磁化曲線の温度変化

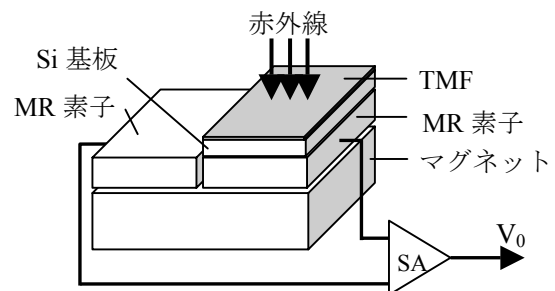


図 5 MIS の構成

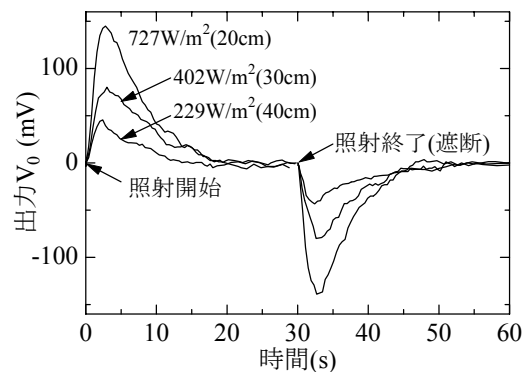


図 6 MIS の出力特性

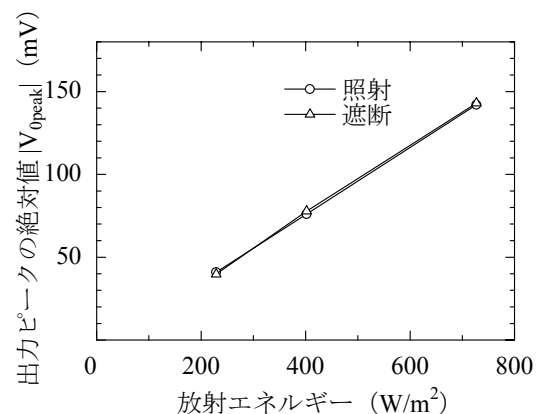


図 7 MIS の出力ピーク対放射エネルギー特性

ほぼ直線的に上昇する傾向を示す。

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⁽¹⁾。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⁽¹⁾。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 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て、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、(c) 図のタイミングチャートのような特性が得られる。出

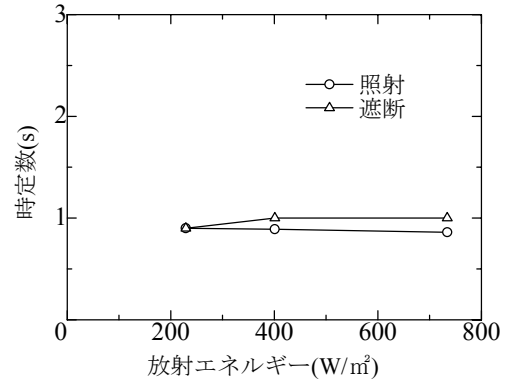


図 8 MIS の時定数対放射エネルギー特性

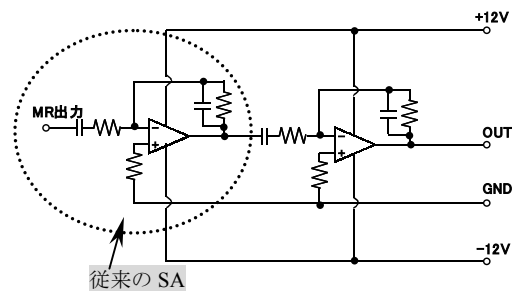


図 9 信号処理回路図

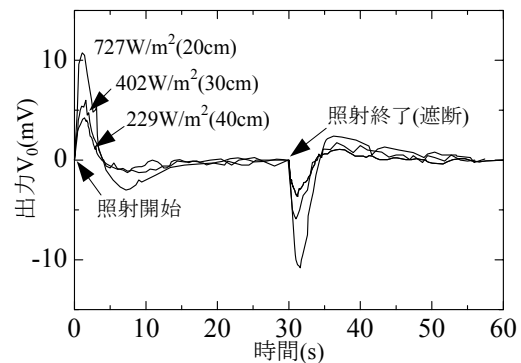


図 10 信号処理回路改善後の MIS の出力特性

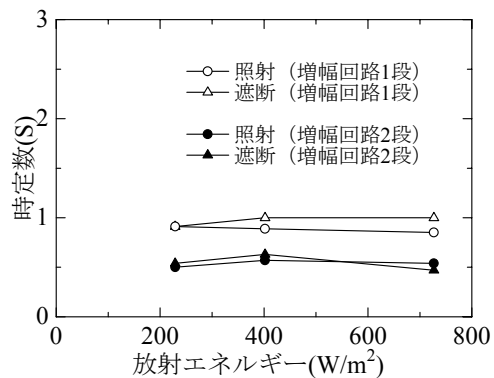


図 11 MIS の時定数対放射エネルギー特性

力 V_c が HIGH となる動作時間 t_c は $t_1 - t_2$ である．ここで 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がわかる．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 なので，応答時間を一層短縮することができた．

4. 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，信号処理回路を改善して，応答時間を短縮することができた．さらに，MIS は出力電圧の変化率が放射エネルギーに依存することに着目し，コンパレータ回路を用いてその変化率を検出する回路を付加して，一層応答時間を改善することができた．

参考文献

- (1) 宮尾，中川，白水：光センシング工学，日本理工出版会，(1995)
- (2) 大森：センサ工学，テクノ，(1981)
- (3) 木村，小田桐，沼澤，佐々木，高橋，久保田，千葉，長田，関：フェリ磁性薄膜赤外線センサの作製と特性評価，マグネティックス研究会，[1G10]，(2000)

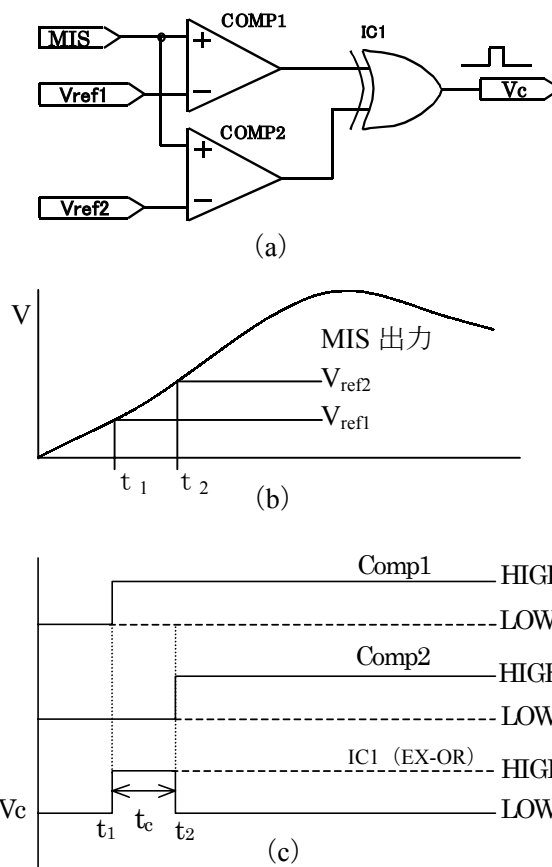


図 12 コンパレータ回路および動作概要

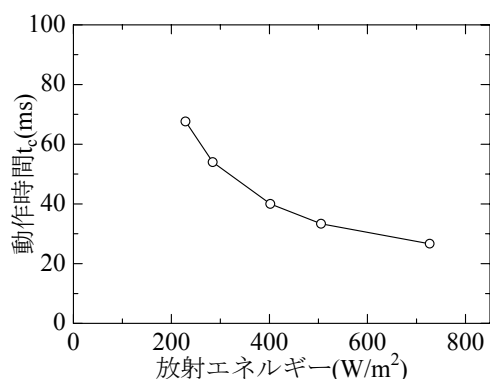


図 13 動作時間対放射エネルギー特性