研 究

配向性 M-型バリウムフェライト $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x\text{Zn}_x\text{Fe}_{12-x-y}(\text{Me}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_y\text{O}_{19}$ における
金属元素 La, Mn, Sn, Zn 置換による高マイクロ波吸収特性への効果籠谷登志夫^{☆1}, 藤原 大輔^{☆1}, 杉本 諭^{☆1}, 猪俣浩一郎^{☆1}, 本間 基文^{☆2}^{☆1} 東北大学大学院工学研究科材料物性学専攻, 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 02.^{☆2} 東北職業能力開発大学校, 〒987-2223 宮城県栗原郡築館町.Enhancement of Microwave Absorption Characteristics in Aligned M-type Barium Ferrite
 $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x\text{Zn}_x\text{Fe}_{12-x-y}(\text{Me}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_y\text{O}_{19}$ ($x=0.0\sim0.5$, Me: Sn, Zr, $y=1.0\sim3.0$) by Metal SubstitutionToshio Kagotani^{☆1}, Daisuke Fujiwara^{☆1}, Satoshi Sugimoto^{☆1}, Koichiro Inomata^{☆1}
and Motofumi Homma^{☆2}^{☆1} Department of Material Science, Graduate School of Eng., Tohoku University, Aramaki Aza-Aoba 02 Aoba-ward, Sendai 980-8579.^{☆2} Tohoku Polytechnic College, Tsukidate-cho, Kurihara-gun, Miyagi 987-2223.

Received September 2, 2002

SYNOPSIS

Microwave radiation in the GHz band is increasingly being used in many various communication devices. However, this has brought about the problems of electromagnetic interference (EMI). Now M-type Ba ferrite is expected to be used as a powerful countermeasure to EMI. Our recent works have shown that M-type Ba ferrite is promising material for microwave absorber in the GHz range. The electromagnetic resonance absorption properties depend on the complex permeability $\mu = \mu' - j\mu''$, particularly the imaginary part $\mu'' = M_s/2H_A\alpha$ (M_s : saturation magnetization, H_A : anisotropy field, α : extinction coefficient). We investigated the effects of substitution composition (x) of Me for Ba (Me: La) and substitution composition (y) of Me ion (Me: Zn, Zr, Sn) for Fe^{3+} on the electromagnetic absorption properties of the $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x\text{Zn}_x\text{Fe}_{12-x-y}(\text{Me}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_y\text{O}_{19}$ compound. The c-axis aligned samples were formed into toroidal shapes. The magnetic properties (M_s , H_A) and the resonance absorption properties (μ' , μ'' etc) were measured using a VSM and a network analyzer. The aligned Zr-substituted samples ($x=0.0$, $y=1.4$) showed values of $H_A=0.21\text{ MA m}^{-1}$, and $\mu'=7.5$ and $\mu''=7.1$ that were higher than those of (TiMn) substituted samples³⁾. The matching thickness d_m decreased to 0.8 mm at the matching frequency of 7.6 GHz. In the sample of $x=0.0$ and $y=1.5$, $\mu'=7.7$ and $\mu''=6.7$ were obtained, and the matching thickness d_m was 0.98 mm at 5.95 GHz. Also, Sn-substituted samples showed high μ' and μ'' values of 6.3 and 6.3, respectively, and d_m of 1.02 mm. It is therefore concluded that Sn or Zr substitution is effective in enhancing the electromagnetic wave absorption characteristics of M-type Ba ferrite absorber.

KEY WORDS

electromagnetic absorber, M-type Ba ferrite, magnetic resonance, complex permeability, EMC

1 結 言

高速大容量情報伝送時代の到来と共にGHz帯域の電磁波の利用が急激に拡大し、電子機器のデジタル化、高性能化によりクロック周波数が飛躍的に高くなった。これらの機器からの不要ノイズが大量に輻射され、電磁環境は悪化の一途を辿り、GHz帯域の電磁波環境が急変し EMC, EMI等の問題を引起している。これらに対処する有力な手段としては、従来はスピネルフェライトをベースにした電磁波吸収体が開発されてきた。しかしスピネルフェライトは透磁率 μ が1GHz近傍に Snoek の限界を有し、GHz帯域以上では透磁率が激減する。電磁波吸収特性はその物質の複素透磁率 μ' , μ'' 及び複素誘電率 ϵ' , ϵ'' に依存し左右されるので、GHz帯域以上ではスピネ

ルフェライト単体では電波吸収体としては機能しない。

さて六方晶マグネトプランバイト構造を有する M 型 Ba フェライト $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ は一軸磁気異方性を示し、数十年来磁石材料として利用されてきた。M 型 Ba フェライトの異方性磁界 H_A は 1.36 MA/m を有し、自然共鳴周波数 f_r は 47.6 GHz の高い周波数に達する。著者らはこの大きな異方性磁界に着目し、M 型フェライトの Fe^{3+} イオンを幾つかの元素で置換して異方性磁界 H_A あるいは共鳴周波数 f_r を減殺、調整できることを報告してきた¹⁻⁵⁾。また M 型 Ba フェライト中の Fe^{3+} イオンを種々の元素 Me で置換し、 $\text{BaFe}_{12-x}(\text{Ti}_{0.5}\text{Me}_{0.5})_y\text{O}_{19}$ (Me = Co, Ni, Zn, Mn, Cu, Mg) の種々のフェライトを合成し、複素透磁率 μ' , μ'' 、複素誘電率 ϵ' , ϵ'' の測定から $1\sim20\text{ GHz}$ 帯域で共鳴吸収現象を観

察してきた²⁻⁵⁾。さらに Ti, Sc, Zr, $(Zr_{0.5}Me_{0.5})$, $(Sn_{0.5}Me_{0.5})$ (Me = Co, Ni, Zn, Mn, Mg, Cu) の各種置換元素の自然共鳴周波数への効果を検討した結果, 異方性磁界 H_A は置換元素量増大と共に減少し, 共鳴周波数および整合周波数の低下をもたらすことが明らかになった^{1,2)}。特に Zr および Sn による置換は $(Ti_{0.5}Me_{0.5})$ 置換試料より少ない置換量で H_A の減少効果が大きいことが知られる^{5,6)}。また複素透磁率 μ'' は飽和磁化 M_s および異方性磁界 H_A

$$\mu'' = M_s / (2H_A \alpha) \quad (\alpha: \text{減衰係数}) \quad (1)$$

の関係があり, さらに M_s , H_A は容易磁化方向, 粒径, 粒界, 電気抵抗, 磁歪等にも依存する。我々のこれまでの結果はすべて磁氣的等方性の試料からのもので, 磁氣的にはランダムで, 配向されていない。それ故 c-軸に一軸異方性を有する M 型 Ba フェライトでは, 磁氣的に配向すれば, マイクロ波吸収特性がさらに向上することが期待される。一方 M 型 Sr フェライトにおいて, Ba^{2+} イオンに La^{3+} イオンを, 電気中性条件の補償として Fe^{3+} イオンに Zn^{2+} イオンを置換させた実験では, 飽和磁化 M_s の増大が報告されている⁷⁾。この添加効果は同じ六方晶 M 型構造の Ba フェライトにおいても同様に期待できるものと考えられる。GHz 帯域の電波吸収体としての六方晶フェライトの研究開発の一端として, 本研究では c-軸配向させた M 型 Ba フェライトにおいて, Fe^{3+} に $(Zr_{0.5}Mn_{0.5})$, $(Sn_{0.5}Mn_{0.5})$, Zn を, Ba^{2+} に La^{3+} を置換して, これら置換元素の電磁波吸収特性への効果を検討する。吸収特性は反射ロス R.L. によって評価され, R.L. は

$$R.L. = -20 \log |\Gamma| \quad (2)$$

で定義される。反射係数 Γ は

$$\Gamma = (Z_{in} - Z_0) / (Z_{in} + Z_0) \quad (3)$$

$$Z_{in} = Z_0 (\mu_r / \epsilon_r)^{1/2} \tanh \left[j \left\{ 2\pi f d / c (\mu_r \epsilon_r)^{1/2} \right\} \right] \quad (4)$$

$\mu_r = \mu'_r - j\mu''_r$: 共鳴複素透磁率, $\epsilon_r = \epsilon'_r - j\epsilon''_r$: 共鳴複素誘電率, Z_0 : 自由空間のインピーダンス, f : 周波数, d : 吸収体の厚さ, c : 光速であり, $R.L. \leq -20$ (dB) の値を ($R.L. = 20$: 吸収率 99%) 尺度として評価する。吸収体に要求されることは d を小さく, 電媒定数 γ

$$\gamma = 2\pi f / c (\mu_r \epsilon_r)^{1/2} \quad (5)$$

を大きくすること, すなわち共鳴吸収する周波数における物質の共鳴複素透磁率 μ_r 及び共鳴複素誘電率 ϵ_r を増大させることである。

本報はマイクロ波の吸収特性の改善の為に, Fe^{3+} を Mn の外に新たに Sn^{2+} , Zr^{2+} , Zn^{2+} で, Ba^{2+} イオンを La^{3+} で置換し, 特に共鳴複素透磁率 $\mu_r = \mu'_r - j\mu''_r$ (共鳴複素誘電率 $\epsilon_r = \epsilon'_r - j\epsilon''_r$ は 10 GHz 以上では略一定) の増大, A 整合厚さ d_m の減殺等の高マイクロ波吸収特性への金属元素置換効果を調べる。

2 試料および実験方法

フェライト原料には公称純度 99.9 wt% の α - Fe_2O_3 , 試薬特級 $BaCO_3$, 置換元素として 99.9 wt% の $MnCO_3$, La_2O_3 , ZnO , SnO , ZrO_2 が用意された。フェライト化合物 $Ba_{1-x}La_xZn_xFe_{12-x-y}(Me_{0.5}Mn_{0.5})_yO_{19}$ (Me: Zr, Sn, $x=0.0 \sim 0.5$, $y=1.0 \sim 3.0$) の置換元素 Me, 置換量 x 及び y を適宜定めて, このフェライトの成分組成比に秤量し, 96% のエチルアルコールと共に混合, スラリーとした。これをペレット状に成形し 1300°C で仮焼後, 粉碎さらにミルで 1 μm の粒径に微粉碎した。この粉末をスラリー状にし, 印加磁場 1.2 T で c-軸方向に配向させて 250 kg/cm² で加圧成形した。1200 ~ 1300°C で焼成後, 10×10×20 mm³ の焼結体を得た。この試料は外径 7.00 mm, 内径 3.04 mm, 厚さ 0.5 ~ 2 mm のトロイダル状に成形加工された。磁気測定は VSM (1.2 MA/m) により行い, 異方性磁界 H_A は, 磁化容易方向とこれに垂直な磁化困難方向の磁化曲線の交点から定めた。相の同定は XRD ($Fe-K\alpha$) により行われた。トロイダル試料は同軸ケーブルに装着され, ネットワークアナライザー (HP 社製 HP8510c 型) により, 1 ~ 20 GHz の周波数帯域における電磁波の透過波と反射波各々の電界強度比, S パラメーターを測定した。この S パラメーターから複素透磁率 μ' , μ'' , 複素誘電率 ϵ' , ϵ'' が算定され, これらの値から反射損失 R.L. が決定された。Fig.1 はこの一連の試料作製と実験工程の概略図を示す。

Experimental Procedure

Fig.1 Schematic chart of experimental process.

3 実験結果および考察

まず最初に作製したすべての試料でXRD測定を行い, 10時間1573Kでの焼結試料は殆どがM型単相であることを確認した。

Fig.2は異方性磁界 H_A の元素($Zr_{0.5}Mn_{0.5}$)および($Sn_{0.5}Mn_{0.5}$)の置換量 y による依存性を示す。($Zr_{0.5}Mn_{0.5}$)置換試料および($Sn_{0.5}Mn_{0.5}$)置換試料の何れの場合でも, 異方性磁界 H_A は置換量 $y=0.0\sim 1.8$ の範囲で y と共に単調に急減し, $y>1.8$ で再び上昇傾向を示した。この $y=0.0\sim 0.8$ での H_A の減少はフェライト中の Fe^{3+} が置換され, c -軸方向の Fe^{3+} スピンの減少によると考えられる。図中に既報の(TiMn)置換試料の異方性 H_A の置換量依存性³⁾を示した。本実験の($ZrMn$), ($SnMn$)置換試料の方がより少量の置換量で H_A の低減効果が大きく, より効果的にBaフェライトの自然共鳴周波数(47.6GHz)の漸減制御を可能にする。

Fig.3はM型フェライト $BaFe_{12-y}(Zr_{0.5}Mn_{0.5})_yO_{19}$ ($x=0$)の複素透磁率 μ' および μ'' の周波数分散を示す。 μ' および μ'' のピーク値はいずれも $y=1.1\sim 1.5$ の範囲で, 周波数低下と共に漸増した。しかし $y>1.5$ では減少傾向を示した。これは置換元素がフェライト中の Fe^{3+} に置換せず, 介在物として混在しているものと考えられる。ピークの μ'' 値に対応する周波数はフェライト $BaFe_{12-y}(Zr_{0.5}Mn_{0.5})_yO_{19}$ ($x=0$)の共鳴周波数 f_r に相当し, 反射ロスR.L.の極小値を与える。このフェライトの複素透磁率 μ' (real part)は $y=1.5, y=1.4$ で各々7.7, 7.5の高い値を示した。この μ' に対応して μ'' (imag. part)も各々6.7, 7.1の高値を示し, c 軸配向させた(TiMn)置換試料⁶⁾($\mu'=6.3, \mu''=6.0$)よりかなり高い。

Fig.4は $BaFe_{12-y}(Sn_{0.5}Mn_{0.5})_yO_{19}$ ($x=0$)の複素透磁率 μ' and μ'' の周波数分散を示す。この($Sn_{0.5}Mn_{0.5}$)置換試料も, ($Zr_{0.5}Mn_{0.5}$)置換の場合と同様の挙動を示し, μ' は $y=1.7, y=1.6$ で各々6.4, 6.3であり, μ'' は6.1, 6.3であった。

Fig.5は整合厚さ d_m と整合周波数 f_m の関係を示す。前述の

Fig.2 Dependence of anisotropy field H_A of $BaFe_{12-y}(Me_{0.5}Mn_{0.5})_yO_{19}$ (Me: Zr, Sn) on substitution content y ($x=0$).

Fig.3, Fig.4に示した複素透磁率 μ' および μ'' の周波数分散を, μ' と μ'' を同一周波数帯域で表示すると, μ' と μ'' のカーブがある周波数で交差する。この時の周波数が整合周波数 f_m であり, この周波数 f_m で反射ロスR.L.が極大値を示す。整合厚さ d_m は

$$d_m = \lambda / 2\pi\mu_r'' = c / (2\pi f_m \mu_r'') \quad (6)$$

(c : 光速, λ : 電磁波の波長)の関係式から算定される。

Fig.5(a)は($Zr_{0.5}Mn_{0.5}$)置換試料, Fig.5(b)は($Sn_{0.5}Mn_{0.5}$)置換試料各々の d_m 対 f_m の関係を示す。これらのカーブは4~18GHzの測定周波数帯全域で(TiMn)置換試料³⁾より d_m 値が小さい。本実験の試料は c -軸配向されているが, 図中ref. (3)の(TiMn)置換試料は磁氣的に等方性である。上述の d_m と f_m の関係式から(TiMn)試料より μ_r'' 値の改善の効果が認められ, c -軸配向の効果は明らかである。(TiMn)試料よりも($ZrMn$)試料では0.1~0.3mm, ($SnMn$)試料では0.15~0.4mmの整合厚さ d_m の改善が得られた。

Fig.6は複素透磁率 μ' と μ'' の周波数分散カーブから得た反射ロスR.L.の周波数依存性を示す。Fig.6は($ZrMn$)置換フェライト, $BaFe_{12-y}(Zr_{0.5}Mn_{0.5})_yO_{19}$ ($x=0$)の反射ロスR.L.即ち電波

Fig.3 Frequency dispersions of the real part μ' and the imaginary part μ'' of complex permeability in M-type ferrite $BaFe_{12-y}(Zr_{0.5}Mn_{0.5})_yO_{19}$ ($x=0$).

Fig.4 Frequency dispersions of the real part μ' and the imaginary part μ'' of complex permeability in M-type ferrite $\text{BaFe}_{12-y}(\text{Sn}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_y\text{O}_{19}$ ($x=0$).

吸収量の周波数分散で、前述の式(2),(3),(4)から算定されたものである。 $y=1.1 \sim 2.0$ で R.L. が -20 dB 以下の周波数帯域があり、図中の R.L. のピーク位置が共鳴周波数あるいは整合周波数 f_m に相当する。ピーク位置は組成 y 、即ち (ZrMn) 置換量と共に低周波数側へ移行し整合厚さ d_m は増加する。例えば $y=1.5$ の場合、 $f_m=5.7\text{ GHz}$ 、 $d_m=0.98\text{ mm}$ で、 $y=2.0$ では $f_m=4\text{ GHz}$ 、 $d_m=1.64\text{ mm}$ である。整合厚さ d_m は図中のピーク位置近傍に組成 y と共に示されている。 $y=1.1 \sim 2.0$ の置換量では $d_m=0.5 \sim 1.64\text{ mm}$ の値を得た。

Fig.7 は (SnMn) 置換フェライト $\text{BaFe}_{12-y}(\text{Sn}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_y\text{O}_{19}$ ($x=0$) の周波数依存性を示す。 $y=1.1 \sim 1.8$ では、Fig.6(a) の (ZrMn) 試料と同様の挙動を示し、 y の増大と共に R.L. のピーク位置は低周波数側へ移行する。 $y \geq 1.9$ では逆に高周波数帯域への移行が認められ、 $d_m=0.58 \sim 1.38$ が得られた。

Fig.8 はフェライト $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x\text{Zn}_x\text{Fe}_{12-x-y}(\text{Zr}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_y\text{O}_{19}$ の反射ロス R.L. の周波数分散を示す。この試料は Ba^{2+} を La^{3+} で部分置換し、 Fe^{3+} を $(\text{Zr}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})$ 、および電気中性条件の補償として Fe^{3+} に Zn^{+2} を置換した試料 (1523 K 焼結) である。この試料は (ZrMn) や (SnMn) 置換試料より飽和磁化 M_s は高い値を示したが、異

Fig.5 Relationship between the matching frequency f_m and the matching thickness d_m in M-type ferrite $\text{BaFe}_{12-y}(\text{Me}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_y\text{O}_{19}$ ($x=0$) (Me: Zr, Sn).

Fig.6 Frequency dispersion of the reflection loss, R.L. of $\text{BaFe}_{12-y}(\text{Me}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_y\text{O}_{19}$ (Me: Zr, $x=0.0$, $y=1.0 \sim 2.0$).

方性磁界 H_k の減少は小さく、共鳴周波数 f_r は所期の予想とは逆に高周波数帯域への移行を示した。この4元素置換のフェライトでは、六方晶 M 型フェライトの成分元素 Ba^{2+} イオン、

Fig.7 Frequency dispersion of the reflection loss, R.L. of $\text{BaFe}_{12-x}(\text{Me}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_y\text{O}_{19}$ (Me: Sn, $x=0.0$, $y=1.0\sim 2.0$).

Fe^{3+} イオンおよび O^{2-} イオンと置換元素間にイオン半径, 原子価等の相対差違があつて, 結晶構造中の相対位置や荷電状態が不均一であつたと考えられる. 1523 K 焼結では置換フェライトが単一組成の相として生成されていなかったと考えられる. この組成のフェライトの1623 K 焼結試料では, (ZrMn)置換の場合と同様にR.L.のピーク周波数は低周波数域へ移行したが, R.L.のピーク値は減小傾向を示した.

以上のように本実験ではc-軸配向させた六方晶Baフェライトにおいて4~16GHzの周波数帯域に共鳴周波数を有し, 整合厚さ0.5~1.5mmのマイクロ波特性が達成された. 実用化されている3GHz帯域の電波吸収材の厚さが5.1~7.3mm ($15\sim 20\text{kg/m}^2$), 5.5GHzバンドで4.2~7.0mm ($8\sim 11\text{kg/m}^2$), 9.5GHzバンドで3.1~3.5mm ($5.5\sim 10\text{kg/m}^2$)であり, これに比較して本実験で得られた数値はその数分の1の厚さである. 因みに電波吸収体の厚さを1mm薄くすると 3kg/m^2 の重量の軽減に相当する. この厚さの減少はサブミリ波の電磁波を媒介するデバイスを内蔵した機器のサイズを小さくするのに有効である. また本実験で得た0.1~0.4mmの整合厚さ d_m の減少は, さらに数十GHzまで共鳴周波数帯の拡幅を可能にする.

4 ま と め

磁界中c-軸配向させた六方晶M型フェライトにおいて(ZrMn), (SnMn), LaおよびZn置換した $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x\text{Zn}_x\text{Fe}_{12-x-y}(\text{Me}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_y\text{O}_{19}$ (Me: Zr, Sn) ($x=0.0\sim 0.5$, $y=1.0\sim 3.0$) フェライトにおいて磁気特性, マイクロ波吸収特性を測定, 検討し, 以下の結論を得た.

- (1) (ZrMn)置換では最大複素透磁率は $\mu' = 7.18$, および $\mu'' = 7.1$ を示し, (TiMn)置換試料²⁾の値($\mu' = 5.2$, $\mu'' = 5.1$)より大きく, 4~16GHzの共鳴吸収帯域では整合厚さ $d_m = 0.5\sim 1.64$ であった特に $\text{BaFe}_{12-y}(\text{Zr}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_y\text{O}_{19}$ ($x=0$)のフェライトの $y=1.5$ の組成では, 整合周波数 $f_r = 5.95\text{GHz}$, 整合厚さ $d_m = 0.98\text{mm}$ であり, 10GHz以下の現用あるいは近未来のデバイス機器の利用周波数帯域近傍に, 薄い整合厚さの吸収材

Fig.8 Frequency dispersion of the reflection loss R.L. of $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x\text{Zn}_x\text{Fe}_{12-x-y}(\text{Zr}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_y\text{O}_{19}$ ($x=0.0\sim 0.5$, $y=1.4$).

が可能となった.

- (2) (SnMn)置換試料では複素透磁率は $\mu' = 6.4$ および $\mu'' = 6.1$ で, $d_m = 0.59\sim 1.38$ であった.
- (3) Fe^{3+} の置換元素(ZrMn)に加え, Zn^{2+} および Ba^{2+} に La^{3+} を置換した試料では(TiMn)単独置換, あるいは(SnMn)単独置換の試料に比べ, 顕著な吸収特性の向上は認められなかった.
- (4) c-軸配向した(ZrMn), あるいは(SnMn)置換した六方晶M型BaフェライトはGHz帯域のマイクロ波吸収体として今後有望な材料である.

文 献

- 1) K.Okayama et al.: "Electromagnetic Wave Absorption Properties Microstructures of $\text{BaFe}_{12-x}(\text{TiMn})_x\text{O}_{19}$ ", Proceedings of The Third Pacific Rim International Conference, M.A.Imam, R.Renale, S.Hanada, Z.Zhong and D.N.Lee ed., The Minerals Metals & Materials Society, Warrendale, PA, (1998)941-61.
- 2) S.Sugimoto et al.: "Effect of Substitutional Elements on the natural Resonance Frequency of Barium M-type Ferrite", 日本応用磁気学会誌, 23(1999)611-613.
- 3) 岡山克巳ほか: "BaFe_{12-x}(Ti_{0.5}Mn_{0.5})_xO₁₉ (M=Co, Zn, Mn, Cu)の電磁波吸収特性", 日本応用磁気学会誌, 22(1998)297-300.
- 4) 前田與志亮ほか: "Zn₂-W型フェライトの電磁波吸収特性", 日本応用磁気学会誌, 24(2000)895-898.
- 5) S.Sugimoto et al.: "M-TYPE FERRITE COMPOSITE as a MICROWAVE ABSORBER with WIDE BAND", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 35(1999)3154-3156.
- 6) H.Takabayashi et al.: "Effect of Crystal Orientation on the Magnetic Resonance of M-type Hexagonal Ferrites", Materials Transactions JIM, 41(2000)567-570.
- 7) 田口仁ほか: "高飽和磁化LaZn置換M型フェライト磁石", 日本応用磁気学会誌, 21(5)(1997)901-906.