

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4183190号  
(P4183190)

(45) 発行日 平成20年11月19日(2008.11.19)

(24) 登録日 平成20年9月12日(2008.9.12)

(51) Int.Cl.		F I			
HO 1 P	1/383	(2006.01)	HO 1 P	1/383	A
HO 1 P	1/36	(2006.01)	HO 1 P	1/36	A

請求項の数 8 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2004-198826 (P2004-198826)	(73) 特許権者	000003067
(22) 出願日	平成16年7月6日(2004.7.6)		T D K株式会社
(65) 公開番号	特開2006-24980 (P2006-24980A)		東京都中央区日本橋一丁目13番1号
(43) 公開日	平成18年1月26日(2006.1.26)	(74) 代理人	100100077
審査請求日	平成17年7月11日(2005.7.11)		弁理士 大場 充
		(72) 発明者	遠藤 謙二
			東京都中央区日本橋一丁目13番1号 T D K株式会社内
		(72) 発明者	倉橋 孝秀
			東京都中央区日本橋一丁目13番1号 T D K株式会社内
		(72) 発明者	辺見 栄
			東京都中央区日本橋一丁目13番1号 T D K株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非可逆回路素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

一般式(1) :  $(Y_w G d_x C a_q) (F e_{8-w-x-y-3z} I n_y V_z) O_{12}$  (ただし、w, x, y, zが、それぞれ、 $3.01 \leq w+x+q \leq 3.03$ 、 $0.25 \leq x \leq 0.55$ 、 $0.02 \leq y \leq 0.12$ 、 $0 \leq z \leq 0.15$ 、 $1.8 < q/z \leq 2.0$ )で表される組成を有するガーネット型フェライト材料と、

前記ガーネット型フェライト材料に対して直流磁界を印加する、一般式(2) :  $(S r_{1-x} L a_x) (F e_{12-y} C o_y) O_{19}$  (ただし、 $0.1 \leq x \leq 0.4$ 、 $0.1 \leq y \leq 0.4$ 、 $0.8 \leq 1-y \leq 1.1$ )で表される組成を有する永久磁石と、を備え、

前記ガーネット型フェライト材料の温度T1における飽和磁化をS11、温度T2における飽和磁化をS12、温度T3における飽和磁化をS13とし、

前記永久磁石の温度T1における飽和磁化をS21、温度T2における飽和磁化をS22、温度T3における飽和磁化をS23とすると(ただし、 $T1 < T2 < T3$ 、飽和磁化S11、S12、S13、S21、S22、S23は、温度T2における飽和磁化を1としたときの相対値)、

$|(S12 - S11) / (T2 - T1)| < |(S22 - S21) / (T2 - T1)|$ 、  
 $|(S13 - S12) / (T3 - T2)| > |(S23 - S22) / (T3 - T2)|$ の関係を有することを特徴とする非可逆回路素子。

【請求項2】

T1 = -35、T2 = 25、T3 = 85であることを特徴とする請求項1に記載

の非可逆回路素子。

【請求項 3】

温度  $T_1 \sim T_3$  における中心周波数の温度特性が  $0.01\%$  / 以下であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の非可逆回路素子。

【請求項 4】

温度  $T_3$  における中心周波数を基準として、当該基準よりも高い周波数を正の数とし、当該基準よりも低い周波数を負の数とすると、温度  $T_2$  における中心周波数及び温度  $T_1$  における中心周波数は一方が正の数、他方が負の数であることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の非可逆回路素子。

【請求項 5】

前記一般式 (1) の  $x$  が、 $0.3 \sim 0.5$  であることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の非可逆回路素子。

【請求項 6】

前記一般式 (1) の  $x$  が、 $0.32 \sim 0.48$  であることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の非可逆回路素子。

【請求項 7】

一般式 (1) :  $(Y_w G d_x C a_q) (Fe_{8-w-x-y-z} In_y V_z) O_{12}$  (ただし、 $w, x, y, z$  が、それぞれ、 $3.01 \leq w+x+q \leq 3.03$ 、 $0.25 \leq x \leq 0.55$ 、 $0.02 \leq y \leq 0.12$ 、 $0 \leq z \leq 0.15$ 、 $1.8 < q/z \leq 2.0$ ) で表される組成を有するガーネット型フェライト材料と、

前記ガーネット型フェライト材料に対して直流磁界を印加する、一般式 (2) :  $(Sr_{1-x} La_x) (Fe_{12-y} Co_y) O_{19}$  (ただし、 $0.1 \leq x \leq 0.4$ 、 $0.1 \leq y \leq 0.4$ 、 $0.8 \leq 1.1$ ) で表される組成を有する永久磁石と、を備え、

前記永久磁石の飽和磁化の温度特性曲線の傾きが、前記ガーネット型フェライト材料の飽和磁化の温度特性曲線の傾きよりも大きい第 1 の領域と、

前記永久磁石の飽和磁化の温度特性曲線の傾きが、前記ガーネット型フェライト材料の飽和磁化の温度特性曲線の傾きよりも小さい第 2 の領域と、を含み、

前記第 2 の領域は前記第 1 の領域よりも高温側に存在することを特徴とする非可逆回路素子。

【請求項 8】

前記第 1 の領域と前記第 2 の領域とが常温近傍で連続することを特徴とする請求項 7 に記載の非可逆回路素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高周波回路等に用いられる集中定数型アイソレータ、サーキュレータ等の非可逆回路素子に関する。

【背景技術】

【0002】

現在使用されている携帯電話の多くは、デジタル式携帯電話である。国内で使用されているデジタル式携帯電話の多くは、PSK (位相変調) 方式を採用している。PSK 方式のデジタル携帯電話では、送信回路の後段に線形の電力増幅回路が備えられ、電力増幅回路の後段に送信アンテナが備えられている。

【0003】

携帯電話に備えられた送信アンテナは、手や頭部との位置関係、その他使用状況によりそのインピーダンスが大きく変化するので、送信アンテナの前段に備えられた電力増幅回路との間に、インピーダンスの不整合を生じる。このため、電力増幅回路から送信アンテナ側に出力された信号の一部は反射波になり、電力増幅回路の信号を歪ませる。線形の電力増幅回路は、信号の歪みに弱いので、信号が大きく歪んだ場合には、信号復調が困難になる。

10

20

30

40

50

## 【0004】

この問題点を回避する手段として、従来の携帯電話は、送信アンテナと電力増幅回路との間にアイソレータを備える。アイソレータは、非可逆回路素子であり、電力増幅回路側から入力された信号は、送信アンテナ側へ出力するが、送信アンテナ側から入力された信号は、電力増幅回路側へ出力しない。そのため、送信アンテナからの反射波による電力増幅回路の信号の歪みが抑制される。

## 【0005】

この種のアイソレータは、一般的に、非可逆性をもたらす磁気回転子と、この磁気回転子に直流磁界を印加するための永久磁石と、磁気回転子及び永久磁石の間に配置される中心導体と、並列共振容量のための容量基板と、磁気回転子に対する直流磁場の効率を上げるためのヨークを少なくとも含んでいる。通常、磁気回転子としてはYIG（イットリウム-鉄-ガーネット）系のフェライト、具体的には $Y_3Fe_5O_{12}$ を基本組成とし、これに各種元素を添加したガーネット型フェライト材料が用いられる。また、直流磁界印加用の永久磁石としてはフェライト磁石が、容量基板としては誘電率温度特性が0近傍の高周波用セラミックス又はガラスエポキシ樹脂或いは高周波用に開発されたその他の樹脂等を用いたコンデンサが用いられている。

## 【0006】

サーキュレータやアイソレータ等の高周波回路部品にYIGが用いられているのは、回路に適した飽和磁化（4 Ms）とその温度特性を設定することが可能で、磁気損失を表す磁気共鳴吸収半値幅（H）と電気損失を表す誘電損失（tan）が小さいためである。もっとも、磁気共鳴吸収半値幅（H）及び誘電損失（tan）の大きさは、サーキュレータやアイソレータのデバイス特性に大きな影響を及ぼすので、より小さな磁気共鳴吸収半値幅（H）及び誘電損失（tan）を得るため、その組成、添加元素、置換元素が検討されてきた（例えば、特公平4-74842号公報（特許文献1）、特開平11-273928号公報（特許文献2））。

## 【0007】

【特許文献1】特公平4-74842号公報

【特許文献2】特開平11-273928号公報

## 【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

## 【0008】

しかしながら、従来のガーネット型フェライト材料は、磁気共鳴吸収半値幅（H）及び誘電損失（tan）の良好な組成領域が非常に狭く、わずかな組成変動で磁気共鳴吸収半値幅（H）及び誘電損失（tan）が大きく劣化するため、実用化の面で問題があり、挿入損失、温度特性共に優れたアイソレータ等の非可逆回路素子を実現することは困難であった。

また、ガーネット型フェライト材料の特性を調整したのみでは、アイソレータ等の非可逆回路素子としての特性を満足することができない場合がある。特に、ガーネット型フェライト材料自体の温度特性を向上させたとしても、非可逆回路素子としての温度特性は必ずしも向上しない。

そこで本発明は、非可逆回路素子としての温度特性を向上する技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

## 【0009】

本発明者らは、飽和磁化の温度特性が所定の関係にあるガーネット型フェライト材料と永久磁石とを組み合わせることにより非可逆回路素子としての温度特性を改善できることを知るに至った。すなわち本発明の非可逆回路素子は、一般式(1)： $(Y_w G d_x C a_q) (Fe_{8-w-x-y-3z} In_y V_z) O_{12}$ （ただし、 $w, x, y, z$ が、それぞれ、 $3.01 \leq w+x+q \leq 3.03$ 、 $0.25 \leq x \leq 0.55$ 、 $0.02 \leq y \leq 0.12$ 、 $0 \leq z \leq 0.15$ 、 $1.8 < q/z \leq 2.0$ ）で表される組成を有するガーネット型フ

10

20

30

40

50

エライト材料と、ガーネット型フェライト材料に対して直流磁界を印加する、一般式(2)： $(Sr_{1-x}La_x)(Fe_{1-2y}Co_y)O_{19}$ （ただし、 $0.1 \leq x \leq 0.4$ 、 $0.1 \leq y \leq 0.4$ 、 $0.8 \leq 1-y \leq 1.1$ ）で表される組成を有する永久磁石と、を備え、ガーネット型フェライト材料の温度 $T_1$ における飽和磁化を $S_{11}$ 、温度 $T_2$ における飽和磁化を $S_{12}$ 、温度 $T_3$ における飽和磁化を $S_{13}$ とし、永久磁石の温度 $T_1$ における飽和磁化を $S_{21}$ 、温度 $T_2$ における飽和磁化を $S_{22}$ 、温度 $T_3$ における飽和磁化を $S_{23}$ とすると（ただし、 $T_1 < T_2 < T_3$ 、飽和磁化 $S_{11}$ 、 $S_{12}$ 、 $S_{13}$ 、 $S_{21}$ 、 $S_{22}$ 、 $S_{23}$ は、温度 $T_2$ における飽和磁化を1としたときの相対値）、 $|S_{12} - S_{11}| / (T_2 - T_1) < |S_{22} - S_{21}| / (T_2 - T_1)$ 、 $|S_{13} - S_{12}| / (T_3 - T_2) > |S_{23} - S_{22}| / (T_3 - T_2)$ の関係有することを特徴としている。

10

## 【0010】

本発明の非可逆回路素子において、 $T_1$ 、 $T_2$ 及び $T_3$ は、 $T_1 = -35$ 、 $T_2 = 25$ 、 $T_3 = 85$ とすることができる。また、本発明の非可逆回路素子によれば、 $-35 \sim 85$ における中心周波数の温度特性を $0.01\% /$ 以下とすることができる。さらに、本発明の非可逆回路素子によれば、温度 $T_3$ における中心周波数を基準として、当該基準よりも高い周波数を正の数とし、当該基準よりも低い周波数を負の数とすると、温度 $T_2$ における中心周波数及び温度 $T_1$ における中心周波数は一方が正の数、他方が負の数であることが望ましい。

更に望ましくは本発明の非可逆回路素子は温度 $T_1$ における中心周波数を $F_1$ として、温度 $T_2$ における中心周波数を $F_2$ 、温度 $T_3$ における中心周波数を $F_3$ としたときに、 $|F_3 - F_2| > |F_2 - F_1|$ とする。

20

## 【0011】

本発明に用いる永久磁石は、 $(Sr_{1-x}La_x)(Fe_{1-2y}Co_y)O_{19}$ （ただし、 $0.1 \leq x \leq 0.4$ 、 $0.1 \leq y \leq 0.4$ 、 $0.8 \leq 1-y \leq 1.1$ ）で表される組成を有することが好ましい。この組成を有する永久磁石は磁気特性が高いために、非可逆回路素子を小型化することが可能となる。

以上の永久磁石に対応するガーネット型フェライト材料は、 $(Y_wGd_xCa_q)(Fe_{8-w-x-y-3z}In_yV_z)O_{12}$ （ただし、 $w, x, y, z$ が、それぞれ、 $3.01 \leq w+x+q \leq 3.03$ 、 $0.25 \leq x \leq 0.55$ 、 $0.02 \leq y \leq 0.12$ 、 $0 \leq z \leq 0.15$ 、 $1.8 < q/z \leq 2.0$ ）で表される組成を有することが好ましい。この組成を有するガーネット型フェライト材料は、上記組成を有する永久磁石に対して、上述した飽和磁化の温度特性の関係を満足させることができる。

30

## 【0012】

ガーネット型フェライト材料と、ガーネット型フェライト材料に対して直流磁界を印加する永久磁石とを備える上述した非可逆回路素子は、温度 $T_1 \sim$ 温度 $T_2$ において、永久磁石の飽和磁化の温度特性曲線の傾きが、ガーネット型フェライト材料の飽和磁化の温度特性曲線の傾きよりも大きい。同様に、上述した非可逆回路素子は、温度 $T_2 \sim$ 温度 $T_3$ において、永久磁石の飽和磁化の温度特性曲線の傾きが、ガーネット型フェライト材料の飽和磁化の温度特性曲線の傾きよりも小さい。したがって本発明では、一般式(1)： $(Y_wGd_xCa_q)(Fe_{8-w-x-y-3z}In_yV_z)O_{12}$ （ただし、 $w, x, y, z$ が、それぞれ、 $3.01 \leq w+x+q \leq 3.03$ 、 $0.25 \leq x \leq 0.55$ 、 $0.02 \leq y \leq 0.12$ 、 $0 \leq z \leq 0.15$ 、 $1.8 < q/z \leq 2.0$ ）で表される組成を有するガーネット型フェライト材料と、ガーネット型フェライト材料に対して直流磁界を印加する、一般式(2)： $(Sr_{1-x}La_x)(Fe_{1-2y}Co_y)O_{19}$ （ただし、 $0.1 \leq x \leq 0.4$ 、 $0.1 \leq y \leq 0.4$ 、 $0.8 \leq 1-y \leq 1.1$ ）で表される組成を有する永久磁石と、を備え、永久磁石の飽和磁化の温度特性曲線の傾きが、ガーネット型フェライト材料の飽和磁化の温度特性曲線の傾きよりも大きい第1の領域と、永久磁石の飽和磁化の温度特性曲線の傾きが、ガーネット型フェライト材料の飽和磁化の温度特性曲線の傾きよりも小さい第2の領域とを含む非可逆回路素子も提供する。なお第2の領域は、第1の

40

50

領域よりも高温側に存在する。

この非可逆回路素子において、第1の領域と第2の領域とが常温近傍で連続させることができる。なお、本発明における常温近傍とは10～30を少なくとも含む。

【発明の効果】

【0014】

以上説明したように、本発明によれば、飽和磁化の温度特性が所定の関係にあるガーネット型フェライト材料と永久磁石とを組み合わせることにより、非可逆回路素子の温度特性を向上することができる。さらに本発明によれば、特定組成を有し磁気特性の高い永久磁石を用いることにより、非可逆回路素子の小型化に寄与することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、本発明の非可逆回路素子について集中定数型のアイソレータ（以下、アイソレータ）を例にして説明する。

<アイソレータ全体構成>

図1は本発明に係るアイソレータ10の全体構成及び組立順序を概略的に示す分解斜視図、図2は本発明に係る集中定数型のアイソレータ10の外観を示す斜視図である。

図1、図2において、アイソレータ10は、後述するガーネット型フェライト材料1と、ガーネット型フェライト材料1に装着されている中心導体2と、円柱状の永久磁石3と、容量基板4a、4bと、ダミーロード8とを含んでいる。後述する焼結体から構成される永久磁石3はガーネット型フェライト材料1に直流磁場を印加する。中心導体2は、ストリップライン21、22、23を備え、ガーネット型フェライト材料1及び永久磁石3の間に配置される。中心導体2は、例えば銅箔から構成される。

【0016】

また、アイソレータ10は、ケース5及びカバー6を有している。ケース5は、ガーネット型フェライト材料1、中心導体2、永久磁石3、容量基板4a、4bを収納する。ケース5の外周には、入出力端子9が設けてある。カバー6はガーネット型フェライト材料1等が収納されたケース5の開口上部を塞ぐ。ケース5及びカバー6は、鉄等の軟磁性金属を含んでおり、ヨークとして機能する。このヨークは永久磁石3からガーネット型フェライト材料1に印加される直流磁場の効率を上げる機能を果たす。

スペーサ7は、ガーネット型フェライト材料1等がケース5内に収納された状態で、ガーネット型フェライト材料1、中心導体2及び永久磁石3を所定の位置に配置する。スペーサ7は、例えば液晶ポリマーから構成することができる。

【0017】

容量基板4a、4bは、無機又は有機系の誘電体材料から構成されている。容量基板4aの上面にはストリップライン21、22が、また容量基板4bの上面にはストリップライン23が載置され、ハンダ付け等の手段によってそれぞれ接続される。容量基板4a、4bは、導体パターンが形成された誘電体セラミックスから構成される。

ダミーロード8は、酸化ルテニウム系の抵抗膜を有し、両端に電極が形成され、一方がストリップライン23に、他方がケース5のGND端子11に電氣的に接続されている。

【0018】

<ガーネット型フェライト材料>

次に、ガーネット型フェライト材料1について説明する。

ガーネット型フェライト材料1は、一般式(1)： $(Y_w G d_x C a_q) (F e_{8-w-x-y-3z} I n_y V_z) O_{12}$ （ただし、 $w, x, y, z$ が、それぞれ、 $3.01 < w+x+q < 3.03$ 、 $0.25 < x < 0.55$ 、 $0.02 < y < 0.12$ 、 $0 < z < 0.15$ 、 $1.8 < q/z < 2.0$ ）で表されるガーネット型フェライト材料から構成される。このガーネット型フェライト材料は、 $YIG (Y_3 F e_5 O_{12})$ の $Y$ を $Gd$ 、 $Ca$ で置換し、また $Fe$ を $In$ 、 $V$ で置換した材料である。 $Y$ を置換する $Gd$ は、飽和磁化の温度特性を向上する効果を有する。また、 $Fe$ を置換する $In$ は磁氣的損失を低減する効果を有する。更に $Ca$ 、 $V$ は結晶粒界の空隙を減少させ、結晶を成長させる効果を有する。このガーネット型

10

20

30

40

50

ェライト材料は、例えば、飽和磁化 ( $4 Ms$ ) を  $1400 \sim 1800 G$  の範囲で、また飽和磁化の温度特性を  $-0.10 \sim -0.25\%$  の範囲でそれぞれ任意に設定でき、かつ磁気共鳴吸収半値幅 ( $H$ ) 及び誘電損失 ( $\tan$ ) を小さくできる。なお、以上の元素の他にも例えば、 $Zr$ 、 $Sc$  等の元素も  $In$  と類似の効果をj確認している。これらの元素は、 $0.01 Atm/mol$  程度以内の範囲で含有することができる。また組成比は変わるが、 $In$  に替えて  $Zr$  により磁氣的損失を低減させ、ある程度温度特性や損失を改善した材料を得ることもできる。

#### 【0019】

上記一般式 (1) において、 $x (Gd)$  が  $0.25$  未満では温度特性改善効果が現れず、また  $x$  が  $0.55$  を超えると非可逆回路素子の温度依存性が逆転し、結果として通過損失が劣化する。したがって、本発明では  $0.25 < x < 0.55$  とする。好ましい  $x$  は  $0.3 < x < 0.5$ 、さらに好ましい  $x$  は  $0.32 < x < 0.48$  である。

10

上記一般式 (1) において、 $y (In)$  が  $0.02$  未満では磁氣的損失を低減する効果が現れず、また  $y$  が  $0.12$  を超えると磁氣的改善効果が飽和し、更に  $Gd$  による温度特性改善効果を低減させる。したがって、本発明では  $0.02 < y < 0.12$  とする。好ましい  $y$  は  $0.03 < y < 0.10$ 、さらに好ましい  $y$  は  $0.04 < y < 0.09$  である。

#### 【0020】

本発明において、電荷補償のため  $Ca : V = 2 : 1$  とすることが最も望ましいが、 $1.8 < Ca(q) / V(z) < 2.0$  の範囲を本発明は許容する。前記一般式 (1) に於いて  $Ca$  が  $0.3 (V$  が  $0.15)$  を超えると飽和磁化が低下して非可逆回路素子の損失が劣化させる。したがって、本発明では  $0 < z < 0.15$  とする。好ましい  $z$  は  $0.02 < z < 0.12$  であり、さらに好ましい  $z$  は  $0.04 < z < 0.10$  である。

20

#### 【0021】

本発明において、ガーネット型フェライト材料 1 の主として  $Y$  で構成される副格子、 $c$  サイトの量を示す  $w + x + q$  は、 $3.01 < w + x + q < 3.03$  とする。 $w + x + q$  は、 $3.01 < w + x + q < 3.03$  とする。 $w + x + q$  が  $3.01$  未満では飽和磁化が低下する。更に極端に  $w + x + q < 3$  とすると液相が発生し正常な焼結体が得られない。また、 $3.03$  を超えると異相が発生し飽和磁化が低下、保磁力が増大し、非可逆回路素子の損失が増大する。好ましい  $w + x + q$  は  $3.015 \sim 3.025$  である。

#### 【0022】

本発明にかかるガーネット型フェライト材料 1 は以下のようにして製造することができる。

30

例えば、 $Y_2O_3$  粉末、 $Gd_2O_3$  粉末、 $CaCO_3$  粉末、 $Fe_2O_3$  粉末、 $In_2O_3$  粉末、 $V_2O_5$  粉末を原料に用い、これらの粉末を上記一般式 (1) の範囲となるように秤量し、混合する。原料には、焼成により酸化物に変わりうる化合物、例えば、炭酸塩、水酸化物、シュウ酸塩等を用いてもかまわない。原料粉末の平均粒径は  $0.5 \sim 10 \mu m$  程度が好ましい。次いで、この混合粉末を  $1100 \sim 1300$  で  $1 \sim 10$  時間仮焼する。この仮焼粉末をボールミル等で粉碎し、好ましくは平均粒径  $1 \sim 10 \mu m$  程度にする。得られた仮焼粉末を例えば  $PVA$  (ポリビニルアルコール) 等を用いて造粒した後に所定形状に成形し、次いで  $1400 \sim 1600$  で  $1 \sim 10$  時間焼成することにより本発明にかかるガーネット型フェライト材料を得ることができる。

40

#### 【0023】

< 永久磁石 >

次に、永久磁石 3 について説明する。

本発明に用いる永久磁石 3 は、一般式 (2) :  $(Sr_{1-x}La_x)(Fe_{12-y}Co_y)O_{19}$  (ただし、 $0.1 < x < 0.4$ 、 $0.1 < y < 0.4$ 、 $0.8 < z < 1.1$ ) で表される組成を有し、かつ六方晶フェライト、好ましくは六方晶マグネトプランバイト型 (M型) フェライトを主相とする焼結体から構成される。

上記一般式 (2) において、 $x$  が小さすぎると、すなわち  $La$  の量が少なすぎると、六方晶フェライトに対する  $Co$  の固溶量を多くできなくなり、飽和磁化向上効果及び  $\tan$  / 又は

50

異方性磁場向上効果が不十分となる。  $\alpha$  が大きすぎると六方晶フェライト中に La が置換固溶できなくなり、例えば La を含むオルソフェライトが生成して飽和磁化が低くなってしまふ。

上記一般式 (2) において、  $\alpha$  が小さすぎると飽和磁化向上効果及び  $\beta$  /  $\gamma$  又は異方性磁場向上効果が不十分となる。  $\alpha$  が大きすぎると六方晶フェライト中に Co が置換固溶できなくなる。また、Co が置換固溶できる範囲であっても、異方性定数 ( $K_1$ ) や異方性磁場 ( $H_A$ ) の劣化が大きくなってしまふ。

上記一般式 (2) において、  $\alpha$  が小さすぎると Sr 及び La を含む非磁性相が増えるため、飽和磁化が低くなってしまふ。  $\alpha$  が大きすぎると  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 相又は Co を含む非磁性スピネルフェライト相が増えるため、飽和磁化が低くなってしまふ。

10

#### 【0024】

永久磁石 3 は、以下のようにして製造することができる。

原料粉末として、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉末、SrCo<sub>3</sub> 粉末、Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 粉末、CoO 粉末及び La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉末を上記一般式 (2) となるように秤量し、混合した混合物を仮焼する。仮焼は、空气中において例えば 1000 ~ 1350 で 1 秒間 ~ 10 時間、特に 1 秒間 ~ 3 時間程度行えばよい。

仮焼体は一般に顆粒状なので、これを粉砕ないし解砕するために、まず、乾式粗粉砕を行うことが好ましい。乾式粗粉砕には、フェライト粒子に結晶歪を導入して保磁力を小さくする効果もある。保磁力の低下により粒子の凝集が抑制され、分散性が向上する。また、粒子の凝集を抑制することにより、配向度が向上する。粒子に導入された結晶歪は、後の焼結工程において解放され、保磁力が回復することによって永久磁石とすることができる。なお、乾式粗粉砕の際には、通常、SiO<sub>2</sub> と、焼成により CaO となる CaCO<sub>3</sub> とが添加される。SiO<sub>2</sub> 及び CaCO<sub>3</sub> は、一部を仮焼前に添加してもよい。不純物及び添加された Si や Ca は、大部分粒界や三重点部分に偏析するが、一部は粒内のフェライト部分 (主相) にも取り込まれる。特に Ca は、Sr サイトに入る可能性が高い。

20

#### 【0025】

乾式粗粉砕の後、フェライト粒子と水とを含む粉砕用スラリーを調製し、これを用いて湿式粉砕を行うことが好ましい。

湿式粉砕後、粉砕用スラリーを濃縮して成形用スラリーを調製する。濃縮は、遠心分離やフィルタープレス等によって行えばよい。

30

成形は、乾式で行っても湿式で行ってもよいが、配向度を高くするためには、湿式成形を行うことが好ましい。

#### 【0026】

湿式成形工程では、成形用スラリーを用いて磁場中成形を行う。成形圧力は 0.1 ~ 0.5 t on / cm<sup>2</sup> 程度、印加磁場は 5 ~ 15 k O e 程度とすればよい。湿式成形では、非水系の分散媒を用いてもよく、水系の分散媒を用いてもよい。非水系の分散媒を用いる場合には、トルエンやキシレンのような有機溶媒に、例えばオレイン酸のような界面活性剤を添加して、分散媒とする。このような分散媒を用いることにより、分散しにくいサブミクロンサイズのフェライト粒子を用いた場合でも最高で 98 % 程度の高い磁氣的配向度を得ることが可能である。一方、水系の分散媒としては、水に各種界面活性剤を添加したものをいれればよい。

40

#### 【0027】

成形工程後、成形体を大気中又は窒素中において 100 ~ 500 の温度で熱処理して、添加した分散剤を十分に分解除去する。次いで焼結工程において、成形体を例えば大気中で好ましくは 1150 ~ 1270 、より好ましくは 1160 ~ 1240 の温度で 0.5 ~ 3 時間程度焼結して、異方性フェライト焼結磁石を得る。

#### 【0028】

以上により得られる永久磁石 3 は、残留磁束密度 ( $B_r$ ) が 4.2 k G 以上、保磁力 ( $H_c J$ ) が 4.1 k O e 以上、最大エネルギー積 ( $BH$ ) max が 4.7 M G O e 以上という特性を得ることができる。

50

## 【 0 0 2 9 】

## &lt; 温度特性 &gt;

本発明は、以上説明したガーネット型フェライト材料 1 の飽和磁化の温度特性と永久磁石 3 の飽和磁化の温度特性（以下、単に温度特性ということがある）の関係を最適化している。最適化の具体的内容を図 3 に基づいて説明する。図 3 はアイソレータ 1 0 に直流磁界を与える本発明に用いる永久磁石 3、従来のガーネット型フェライト材料（従来材）及び本発明に用いられるガーネット型フェライト材料 1 の飽和磁化の温度特性を、25 における飽和磁化を 1 とした相対値で示したグラフである。

永久磁石 3 の温度特性に対し、従来のガーネット型フェライト材料の温度特性曲線の方が全温度域にて傾きが大きい。それに対し本発明に用いられるガーネット型フェライト材料 1 は、低温から常温にかけてはフェライト磁石の温度特性曲線の傾きより小さいが、常温から高温にかけては傾きが大きくなっている。つまり、ガーネット型フェライト材料 1 の低温における飽和磁化を  $S_{11}$ 、常温における飽和磁化を  $S_{12}$ 、高温における飽和磁化を  $S_{13}$  とし、永久磁石 3 の低温における飽和磁化を  $S_{21}$ 、常温における飽和磁化を  $S_{22}$ 、高温における飽和磁化を  $S_{23}$  とすると、 $| (S_{12} - S_{11}) / (T_2 - T_1) | < | (S_{22} - S_{21}) / (T_2 - T_1) |$ 、 $| (S_{13} - S_{12}) / (T_3 - T_2) | > | (S_{23} - S_{22}) / (T_3 - T_2) |$  の関係を有する。

このように、本発明によれば、永久磁石 3 の温度特性曲線の傾きがガーネット型フェライト材料 1 の温度特性曲線の傾きよりも大きい第 1 の領域と、永久磁石 3 の温度特性曲線の傾きがガーネット型フェライト材料 1 の温度特性曲線の傾きよりも小さい第 2 の領域とを含む。なお、第 2 の領域は、第 1 の領域よりも高温側に存在し、さらに、第 1 の領域と第 2 の領域とが常温近傍で連続している。

## 【 0 0 3 0 】

図 3 より、従来のガーネット型フェライト材料では低温（-35）から高温（85）にかけて温度の上昇とともに永久磁石 3 よりも大きな割合で飽和磁化が減少する。したがって、この温度範囲であればどの領域であっても温度の上昇と共にアイソレータ 1 0 の中心周波数は上方へシフトする（図 4 参照）。

ところが本発明によるガーネット型フェライト材料 1 では全ての温度域に於いて従来のガーネット型フェライト材料より永久磁石 3 の特性に近い割合で飽和磁化が減少しているが更に詳細に観察すると低温（-35）から常温（25）にかけての飽和磁化減少の傾きは永久磁石 3 のそれより小さい。このためこの温度域においてはアイソレータ 1 0 の中心周波数は温度の上昇と共に下方にシフトする（図 5 参照）。しかし、常温（25）から高温（85）にかけては本発明によるガーネット型フェライト材料 1 の飽和磁化はフェライト磁石のそれよりも徐々に大きな傾きで低下しはじめる。このため常温（25）以上の温度域に於いては逆に温度の上昇と共にアイソレータ 1 0 の中心周波数は徐々に上方にシフトしはじめる（図 5 参照）。したがって、本発明のアイソレータ 1 0 の温度変化による中心周波数の変動範囲は全使用温度域に於いて例えば 1 / 4 以下に低減することが可能となる。なお、本発明によるガーネット型フェライト材料 1 は、元々使用温度域に於ける温度特性の傾きが永久磁石 3 の温度特性の傾きに近いので 1 辺りの周波数変動が従来のガーネット型フェライト材料 1 より小さい。また、本発明によるガーネット型フェライト材料 1 は、常温（25）付近で温度特性の傾きが永久磁石 3 の傾きと逆転しているために、常温（25）から高温（85）、常温（25）から低温（-35）とともに、常温（25）を基準として同じ方向に中心周波数が変動する（図 5 参照）。

## 【 0 0 3 1 】

以上のようにガーネット型フェライト材料及び永久磁石を選択することにより、-35 ~ 85 における中心周波数の温度変位が 0.01% / 以下という優れた温度特性の非可逆回路素子を得ることができる。しかもこの非可逆回路素子は、ガーネット型フェライト材料を上述した組成とすることにより、磁気共鳴吸収半値幅（ $H$ ）及び誘電損失（ $\tan$ ）の値を小さくすることができる。

## 【 実施例 1 】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 2 】

以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。

出発原料として、純度99.9%以上の $Y_2O_3$ 粉末、 $Fe_2O_3$ 粉末、 $Gd_2O_3$ 粉末、 $In_2O_3$ 粉末、 $V_2O_5$ 粉末、 $CaCO_3$ 粉末を用いた。これらの粉末を焼結体の最終組成が、表1、表2に示した組成となるよう秤量し、ボールミルにて湿式混合し乾燥した。この混合物を1100で4時間仮焼した後、再度ボールミルで湿式粉碎し乾燥した。得られた仮焼粉末を造粒して各材料特性を測定するための試料形状に成形し、1450~1500で6時間焼成して、ガーネット型フェライト材料を得た。

## 【 0 0 3 3 】

次に、本実施例による永久磁石を以下の要領で作成した。

出発原料として $Fe_2O_3$ 粉末、 $SrCO_3$ 粉末、 $Co_3O_4$ 粉末と $CoO$ 粉末との混合物、 $La_2O_3$ 粉末を用意し、組成が $(Sr_{0.81}La_{0.19})(Fe_{11.82}Co_{0.18})_1O_{19}$ となるように配合した。さらに、 $SiO_2$ 粉末及び $CaCO_3$ 粉末を上記原料に対してそれぞれ0.2重量%及び0.15重量%添加、混合した。得られた混合物を湿式アトライターで2時間粉碎し、乾燥して整粒した後、空気中において1200で3時間仮焼して、顆粒状の仮焼体を得た。

## 【 0 0 3 4 】

この仮焼体に対し、 $SiO_2$ 粉末を0.4重量%及び $CaCO_3$ 粉末を1.25重量%添加し、乾式ロッドミルにより、仮焼体の比表面積が $7\text{ m}^2/\text{g}$ となるまで粉碎を行なった。

次いで、非水系溶媒としてキシレンを用い、界面活性剤としてオレイン酸を用いて、ボールミル中で仮焼体粉末を湿式粉碎した。オレイン酸は、仮焼体粉末に対して1.3重量%添加した。スラリー中の仮焼体粉末は、33重量%とした。粉碎は、比表面積が $8\sim 9\text{ m}^2/\text{g}$ となるまで行なった。

## 【 0 0 3 5 】

次に、粉碎スラリーを遠心分離器によりスラリー中の仮焼体粉末の濃度が約85重量%になるように調整した。このスラリーから溶媒を除去しつつ、約13kGの高さ方向磁場中で直径30mm、高さ15mmの円柱状に成形した。成形圧力は $0.4\text{ t o n}/\text{c m}^2$ とした。

次に、得られた成形体を100~300で熱処理してオレイン酸を十分に除去した後、空気中において、昇温速度を5/分間とし、1200に1時間保持することにより焼結を行い、フェライト永久磁石を得た。

## 【 0 0 3 6 】

以上で得られたガーネット型フェライト材料の誘電損失( $\tan \delta$ )及び磁気共鳴吸収半値幅( $\Delta H$ )を測定した。誘電損失( $\tan \delta$ )の測定は、直径1mm、長さ30mmの円柱試料について $TM_{010}$ 空洞共振器による摂動法を用いておよそ10GHzにて測定した。磁気共鳴吸収半値幅( $\Delta H$ )の測定は、直径1mmの球状試料について $TE_{104}$ 空洞共振器を用いておよそ10GHzにて測定した。

また、以上のガーネット型フェライト材料と、以上のフェライト永久磁石を用いて実施の形態で示したアイソレータを作製し、挿入損失及び温度変化による中心周波数の変動を測定した。作製したアイソレータは4mm角であり、900MHz帯での使用を前提としている。また、温度変化による中心周波数の変動は、常温(25)、高温(85)及び低温(-35)におけるVSWR(Voltage Standing Wave Ratio:電圧定在波比)を測定し、温度変化による中心周波数の変動( $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ )を求めた。その結果を表1及び表2に示す。また、試料No.21(比較例)、試料No.7(本発明)のガーネット型フェライト材料を用いたアイソレータの温度変化による中心周波数の変動の測定結果を各々図4、図5に示す。

## 【 0 0 3 7 】

10

20

30

40

【表 1】

試料No.	組成 (atm/mol)						tan δ	ΔH (Oe)	挿入損失 (dB)	Δf1 (低-常温) (MHz)	Δf2 (常-高温) (MHz)	Δf (低-高温) (MHz)
	Y (w)	Ca (2z)	Gd (x)	Fe	In (z)	V (y)						
1	2.55	0.12	0.35	4.9	0.02	0.06	-	0.45	-6.5	2	6.5	
2	2.55		0.35	4.89	0.03		-	0.43	-7	2	7	
3	2.55		0.35	4.88	0.04		-	0.47	-8.5	0.5	8.5	
4	2.55		0.35	4.87	0.05		-	0.44	-3.5	5.5	5.5	
5	2.5	0.12	0.4	4.9	0.02		-	0.47	-6.5	0.5	6.5	
6	2.5		0.4	4.89	0.03		-	0.47	-6.5	3	6.5	
7	2.5		0.4	4.88	0.04		0.0008	0.39	-5	4	5	
8	2.5		0.4	4.84	0.08		-	0.4	-0.5	10	10	
9	2.45	0.12	0.45	4.88	0.04		-	0.49	-10.5	0.5	10.5	
10	2.45		0.45	4.87	0.05		-	0.47	-8.5	1	8.5	
11	2.4		0.5	4.84	0.08		-	0.4	-4.3	6.5	6.5	
12	2.4		0.5	4.8	0.12		-	0.42	-2	9.5	9.5	

【表 2】

試料No.	組成						tan δ	ΔH (Oe)	挿入損失 (dB)	Δf1 (低-常温) (MHz)	Δf2 (常-高温) (MHz)	Δf (低-高温) (MHz)
	Y (w)	Ca (2z)	Gd (x)	Fe —	In (y)	V (z)						
13	2.62	0	0.4	4.94	0.04	0	-	0.42	-5.5	5	5.5	
14	2.62	0		4.9	0.08	0	-	0.44	-1.5	10.5	10.5	
15	2.54	0.08		4.9	0.04	0.04	-	0.43	-6	3	6	
16	2.54	0.08		4.86	0.08	0.04	-	0.41	-0.5	10.5	10.5	
7	2.5	0.12		4.88	0.04	0.06	0.0008	0.39	-5	4	5	
17	2.5	0.12		4.84	0.08	0.06	-	0.40	-0.5	10	10	
18	2.46	0.16	4.86	0.04	0.08	-	0.42	-6.5	1.5	6.5		
19	2.46	0.16	4.82	0.08	0.08	-	0.43	-7.5	7	7.5		
20	2.49	0.13	4.87	0.04	0.07	-	0.40	-4	5	5		
21*	2.82	0.2	4.88	0	0.1	0.0006	0.37	12	12	12	24	

表 1、表 2 より、本発明による実施例の磁性材料では、比較例（\*）と同等の誘電損失（ $\tan \delta$ ）及び磁気共鳴吸収半値幅（ $\Delta H$ ）を有していることがわかる。

次に、中心周波数の変動について言及する。ここで、表 1 及び表 2 において、 $f_1$  は低温（ $-35^\circ\text{C}$ ）から常温（ $25^\circ\text{C}$ ）に温度が変動したことに伴う中心周波数の変動値であり、 $f_2$  は常温（ $25^\circ\text{C}$ ）から高温（ $85^\circ\text{C}$ ）に温度が変動したことに伴う周波数の変動値である。また、 $f_1$  及び  $f_2$  の正・負は、低温（ $-35^\circ\text{C}$ ）における中心周波数を基準として、常温（ $25^\circ\text{C}$ ）又は常温（ $25^\circ\text{C}$ ）における中心周波数を基準として高温（ $85^\circ\text{C}$ ）の中心周波数が増大したときは正の数と、減少したときは負の数として表している。

#### 【0040】

表 2 及び図 4 を参照すると、試料 No. 21 に係るアイソレータは、 $f_1$  が  $12\text{MHz}$ 、 $f_2$  が  $12\text{MHz}$  であり、低温（ $-35^\circ\text{C}$ ）から高温（ $85^\circ\text{C}$ ）に温度が変動する過程で、中心周波数が  $24\text{MHz}$ （ $f$ ）変動する。これに対して、表 1 及び図 5 を参照すると、試料 No. 7 に係るアイソレータは、 $f_1$  が  $-5\text{MHz}$ 、 $f_2$  が  $4\text{MHz}$  となり、 $f_1$  と  $f_2$  が異なる符号となることがわかる。このことは、中心周波数が、低温（ $-35^\circ\text{C}$ ）から常温（ $25^\circ\text{C}$ ）にかけて周波数が低くなる側にシフトした後に、常温（ $25^\circ\text{C}$ ）から高温（ $85^\circ\text{C}$ ）にかけては周波数が高くなる側にシフトしており、その結果、低温（ $-35^\circ\text{C}$ ）から高温（ $85^\circ\text{C}$ ）に温度が変動する過程の中心周波数の変動幅は  $5\text{MHz}$  と低い値に規制される。なお、表 1、表 2 において、 $f$  は絶対値で示している。

#### 【0041】

試料 No. 7、試料 No. 21 以外の表 1 及び表 2 の試料 No. に係るアイソレータにおいても、試料 No. 7 と同様に中心周波数が、低温（ $-35^\circ\text{C}$ ）から常温（ $25^\circ\text{C}$ ）にかけて周波数が低くなる側にシフトした後に、常温（ $25^\circ\text{C}$ ）から高温（ $85^\circ\text{C}$ ）にかけては周波数が高くなる側にシフトしている。そして、これらアイソレータの  $f$  は最大で  $10.5\text{MHz}$  であり、試料 No. 20 に係るアイソレータの  $1/2$  以下となっている。

また、試料 No. 21 に係るアイソレータの中心周波数の温度特性は約  $0.02\%/^\circ\text{C}$  であるのに対して、試料 No. 7 に係るアイソレータの中心周波数の温度特性が約  $0.004\%/^\circ\text{C}$ 、試料 No. 9 に係るアイソレータの中心周波数の温度特性が約  $0.01\%/^\circ\text{C}$  と、本発明によりアイソレータの中心周波数の温度特性が向上することがわかる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0042】

【図 1】本発明に係る集中定数型のアイソレータの全体構成及び組立順序を概略的に示す分解斜視図である。

【図 2】本発明に係る集中定数型のアイソレータの組立状態を示す斜視図である。

【図 3】本発明に用いる永久磁石、従来のガーネット型フェライト材料及び本発明に用いられるガーネット型フェライト材料の飽和磁化の温度特性を、 $25^\circ\text{C}$  における飽和磁化を 1 とした相対値で示したグラフである。

【図 4】試料 No. 20 のガーネット型フェライト材料を用いたアイソレータの温度変化による中心周波数の変動の測定結果を示すグラフである。

【図 5】試料 No. 7 のガーネット型フェライト材料を用いたアイソレータの温度変化による中心周波数の変動の測定結果を示すグラフである。

#### 【符号の説明】

#### 【0043】

1 ... ガーネット型フェライト材料、2 ... 中心導体、3 ... 永久磁石、4 a, 4 b ... 容量基板、5 ... ケース、6 ... カバー、7 ... スペーサ、8 ... ダミーロード、9 ... 入出力端子、10 ... アイソレータ、11 ... GND 端子

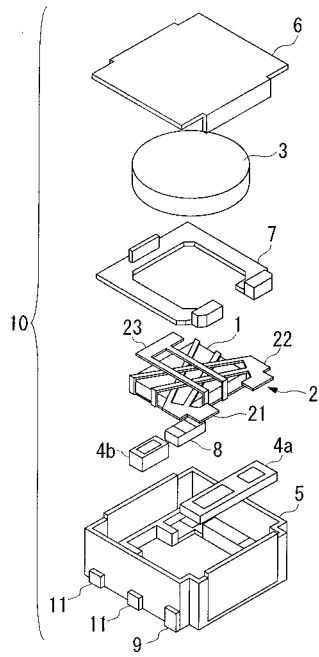
10

20

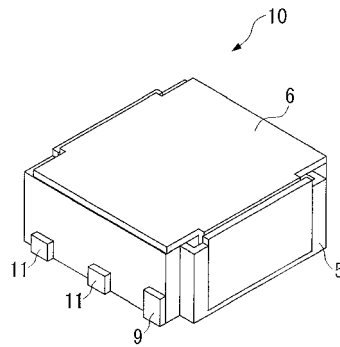
30

40

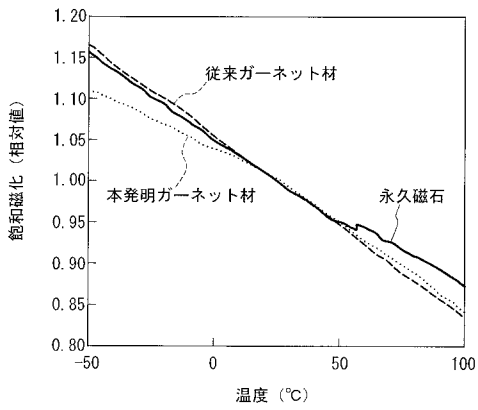
【図1】



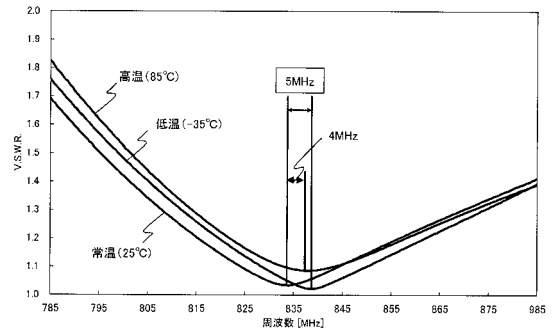
【図2】



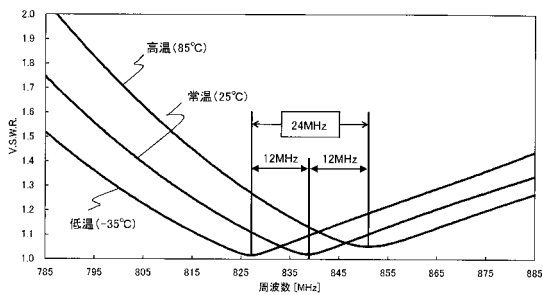
【図3】



【図5】



【図4】



---

フロントページの続き

(72)発明者 大波多 秀典  
東京都中央区日本橋一丁目13番1号 TDK株式会社内

審査官 儀同 孝信

(56)参考文献 特開平11-214212(JP,A)  
特開平11-273928(JP,A)  
特開昭51-111697(JP,A)  
特開2002-330003(JP,A)  
特開2001-358504(JP,A)  
特公平04-074842(JP,B2)  
特開平11-283821(JP,A)  
特開平10-149910(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
C01G 49/00 - 49/08、  
H01F 1/00 - 1/117、 1/40、  
H01P 1/22 - 1/397