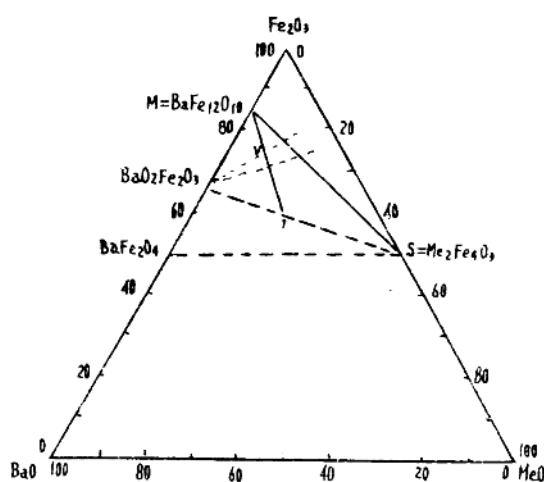


国外近期专利及论文

铁氧体译文集

下 册



国营北京第七九八厂情报室

微波、毫米波用磁性材料

IP 平2-164009(1990) 材 用

本发明的铁氧体材料主要成分化学组成式为 $\text{Li}_x\text{Fe}_y\text{Ti}_z\text{O}_{0.5(x+y+z)+1.5z}$ ，添加物为 PbO 。当 x 、 y 、 z 和添加物含量在本发明确定的范围内时，该材料具有良好的微波和毫米波特性，因而可用在微波和毫米波器件中。

以前在高频领域使用的磁性材料主要有： Mn-Mg 铁氧体、 Ni-Zn 铁氧体、 YIG (钇-铁石榴石)铁氧体、 Li 铁氧体等。其中 Li 铁氧体具有较高的饱和磁化强度($4\pi M_s \approx 3700\text{Gs}$)，较高的居里温度($T_c \approx 650^\circ\text{C}$)，并且 $4\pi M_s$ 在室温附近的温度变化率也较小，因此有可能用在高稳定的隔离器、环形器等微波和毫米波器件中。

但是，纯 Li 铁氧体的铁磁谐振线宽 ΔH 较宽，介质损耗 $\tan \delta_e$ 较大。例如纯 Li 铁氧体($\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}_2$)在 10GHz 下 $\Delta H > 500\text{Oe}$ ， $\tan \delta_e > 0.01$ 。因此在大多数场合下，不能用于微波和毫米波器件。

为克服上述缺点，本发明把 $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}_2$ 中的部分组成物用 Ti 置换，使 $4\pi M_s$ 在一定范围内任意选定。同时加入适量的 PbO ，以改善材料的线宽 ΔH 和损耗 $\tan \delta_e$ 。说具体些，本发明的材料主要成分化学组成式为 $\text{Li}_x\text{Fe}_y\text{Ti}_z\text{O}_{0.5(x+y+z)+1.5z}$ ，其中 $0.15 \leq x \leq 0.30$ 、 $0.55 \leq y \leq 0.85$ 、 $0 \leq z \leq 0.30$ ，并且 $x+y+z=1$ 。添加物 PbO 的含量范围为 $0.01 \sim 0.5\text{mol}\%$ 。只要主成分和添加物在上述范围内，则材料表现出良好的微波和毫米波特性， ΔH 和 $\tan \delta_e$ 很小， $4\pi M_s$ 在一定范围内任意选择。同时因为居里温度较高，使 $4\pi M_s$ 在室温附近的温度变化率较小。下面用实例对本发明的目的、特征、优越性等详细说明。

实 例

首先准备高纯度的原材料 Li_2CO_3 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 和 PbO ，并按附表中所列的成分进行称量。用乙醇作分散剂在球磨机中湿混 16h ，干燥后在 850°C 预烧 2h 。预烧料、乙醇和有机粘合剂一起放入球磨机中，湿磨 16h ，干燥后过 50 目筛(造粒)。然后用 2000kg/cm^2 的压力压成 $3 \times 3 \times 20$ (mm)方柱，压坯在 $1050 \sim 1200^\circ\text{C}$ 烧结 2h ，最后通过机械加工制成直径为 $\phi 1.3\text{mm}$ 的球形样品(试样)和直径为 $\phi 1.3\text{mm}$ 长为 16mm 的圆柱形样品。

用振动磁强计测量球形样品的 $4\pi M_s$ 和 T_c ，在 TM_{010} 空腔谐振器中测量该样品在 10GHz 下的 ΔH 值。

用扰动法在 TM_{010} 空腔谐振器中测量圆柱形样品在 10GHz 下的介电常数 ϵ 和介质损耗 $\tan \delta_e$ 。

上述测量结果列于附表。表中有*符号的不在本发明确定的成分范围之内。

把实验结果(表中的测试数据)画在三元组成(成分)图中，即成本专利中的图。图中的数字(1-5, 5-10, ...)表示样品的编号。本发明材料的组成比(成分范围)用四边形 ABCD 表示。

试样1、6、11、16、21和26中的 PbO 含量 $< 0.01\text{mol}\%$ ，从表中可知它们的 ΔH 和 $\tan \delta_e$ 相

试样 编号	Li _x Fe _y Ti _z 00.5+y+1.5z			PbO mol%	4πMs Gs	ΔH Oe	tan δ e	Tc °C
	x	y	z					
1 号	0.15	0.85	0	0	3700	420	0.012	650
2	0.15	0.85	0	0.01	3720	220	0.0032	660
3	0.15	0.85	0	0.1	3720	160	0.0006	660
4	0.15	0.85	0	0.5	3600	200	0.0010	650
5 号	0.15	0.85	0	1.0	3540	240	0.0096	650
6 号	0.15	0.55	0.30	0	620	750	0.018	320
7	0.15	0.55	0.30	0.01	650	420	0.0065	320
8	0.15	0.55	0.30	0.1	680	380	0.0032	330
9	0.15	0.55	0.30	0.5	680	400	0.0041	310
10 号	0.15	0.55	0.30	1.0	640	450	0.0045	310
11 号	0.30	0.55	0.15	0	850	440	0.014	330
12	0.30	0.55	0.15	0.01	850	300	0.0022	340
13	0.30	0.55	0.15	0.1	880	190	0.0006	360
14	0.30	0.55	0.15	0.5	860	200	0.0009	360
15 号	0.30	0.55	0.15	1.0	820	320	0.0033	360
16 号	0.30	0.70	0	0	2520	720	0.022	370
17	0.30	0.70	0	0.01	2540	580	0.0034	390
18	0.30	0.70	0	0.1	2540	260	0.0025	390
19	0.30	0.70	0	0.5	2490	280	0.0028	390
20 号	0.30	0.70	0	1.0	2480	280	0.0050	390
21 号	0.20	0.725	0.075	0	2780	510	0.0092	540
22	0.20	0.725	0.075	0.01	2800	290	0.0012	540
23	0.20	0.725	0.075	0.1	2840	150	0.0006	560
24	0.20	0.725	0.075	0.5	2840	190	0.0022	560
25 号	0.20	0.725	0.075	1.0	2800	320	0.0028	560
26 号	0.25	0.625	0.125	0	1800	460	0.0083	520
27	0.25	0.625	0.125	0.01	1820	280	0.0009	520
28	0.25	0.625	0.125	0.1	1780	180	0.0005	520
29	0.25	0.625	0.125	0.5	1780	180	0.0020	530
30 号	0.25	0.625	0.125	1.0	1750	220	0.0032	540
31 号	0.10	0.75	0.15	0	1860	920	0.025	470
32 号	0.10	0.75	0.15	0.1	1900	560	0.0068	450
33 号	0.25	0.50	0.25	0	680	480	0.018	80
34 号	0.25	0.50	0.25	0.1	690	320	0.0038	100
35 号	0.35	0.60	0.05	0	1920	880	0.020	280
36 号	0.35	0.60	0.05	0.1	1980	610	0.0072	290

微波、毫米波用磁性材料

JP 平2-302008(1990) 村 田

本发明提供的铁氧体材料主要成分的化学组成式为 $\text{Li}_x\text{Fe}_y\text{Ti}_z\text{O}_{0.5+y+1.5z}$ ，添加物为 V_2O_5 。当 x 、 y 、 z 和 V_2O_5 的含量在本专利确定的范围之内时，该材料具有良好的微波和毫米波特性，因此可用在微波和毫米波器件中。

为了克服纯Li铁氧体 $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{1.5}\text{O}_4$ 的缺点，本发明把Li铁氧体中的部分组分用Ti置换，调整置换量，可使材料的饱和磁化强度 $4\pi\text{Ms}$ 在一定范围内任意选定（视工作频率而定）。添加适量的 V_2O_5 是为了改善材料的铁磁谐振线宽 ΔH 和介质损耗 $\tan\delta_e$ 。

实 例

首先准备高纯度的原材料 Li_2CO_3 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 和 V_2O_5 ，并按附表中所列的成分进行称量。然后按照公开特许平2-164009实例中所述的工艺方法制成直径为 $\phi 1.3\text{mm}$ 的球形样品（试样）和 $\phi 1.3\text{mm} \times 16\text{mm}$ 的圆柱形样品。并用平2-164009的测量仪器和方法，测试这些样品在10GHz下的 ΔH 、 $\tan\delta_e$ 和介电常数 ϵ 。测量结果列于下表。表中有※符号的样品，其成分不在本发明的范围之内。

表中的样品编号标在该材料的三元成分图中，即为本专利的图。本发明的材料成分范围在该图中用四边形ABCD表示。

本发明的材料主要成分化学组成式为 $\text{Li}_x\text{Fe}_y\text{Ti}_z\text{O}_{0.5+y+1.5z}$ ，根据表中所列的测量数据可知各组成物的含量范围应为： $0.15 \leq x \leq 0.30$ 、 $0.55 \leq y \leq 0.85$ 、 $0 \leq z \leq 0.30$ ，并且 $x+y+z=1$ 。添加物 V_2O_5 的含量范围应为0.01~1.0mol%。只要材料中各组分的含量在上述范围之内，则材料的 ΔH 和 $\tan\delta_e$ 很小，居里温度 T_c 较高，因此 $4\pi\text{Ms}$ 在室温附近的温度变化率较小。并且通过调整 x 、 y 、 z 的数值，使 $4\pi\text{Ms}$ 在700~3700Gs范围内任意选择。（图见P.7）

当大，材料不能使用。

试样5、10、15、20、25和30中的 PbO 含量 $>0.5\text{mol}\%$ ， $\tan\delta_e$ 变大也不好。

测量试样31和32的数据表明，当 $x < 0.15$ 时， ΔH 和 $\tan\delta_e$ 变大。

同样根据试样33和34的测量数据可知，当 $y < 0.55$ 时， ΔH 、 $\tan\delta_e$ 变大，而且 T_c 变低，因而 $4\pi\text{Ms}$ 的温度变化率将变大。

从试样35和36可知，当 $x > 0.3$ 时， ΔH 和 $\tan\delta_e$ 变大，也不好。

综上所述，化学组成式为 $\text{Li}_x\text{Fe}_y\text{Ti}_z\text{O}_{0.5+y+1.5z}$ 铁氧体材料， x 、 y 、 z 的范围应为： $0.15 \leq x \leq 0.30$ 、 $0.55 \leq y \leq 0.85$ 、 $0 \leq z \leq 0.30$ ，并且 $x+y+z=1$ 。添加物 PbO 的含量范围应为0.01~0.5mol%。当 x 、 y 、 z 及 PbO 含量都在上述范围之内时，材料的 ΔH 和 $\tan\delta_e$ 很小， T_c 较高， $4\pi\text{Ms}$ 在室温附近的温度变化率较小。并且可根据使用频率，调整 x 、 y 、 z 的数值，使 $4\pi\text{Ms}$ 在700~3700Gs范围内任意选择。（图见P.5）

试样	Li _x Fe _y Ti _z O _{0.5+y+1.5z}			V2O5	4πMs	ΔH	tanδ _e	T _c
编号	x	y	z	mol%	Gs	Oe		°C
1 ※	0.15	0.85	0	0	3700	420	0.012	650
2	0.15	0.85	0	0.01	3710	310	0.0039	640
3	0.15	0.85	0	0.2	3680	200	0.0008	640
4	0.15	0.85	0	1.0	3560	240	0.0012	640
5 ※	0.15	0.85	0	2.0	3380	300	0.011	630
6 ※	0.15	0.55	0.30	0	620	750	0.018	320
7	0.15	0.55	0.30	0.01	630	430	0.0072	330
8	0.15	0.55	0.30	0.2	650	370	0.0031	320
9	0.15	0.55	0.30	1.0	650	390	0.0045	320
10 ※	0.15	0.55	0.30	2.0	640	460	0.0059	310
11 ※	0.30	0.55	0.15	0	850	440	0.014	330
12	0.30	0.55	0.15	0.01	860	330	0.0030	330
13	0.30	0.55	0.15	0.2	880	200	0.0009	330
14	0.30	0.55	0.15	1.0	870	220	0.0015	350
15 ※	0.30	0.55	0.15	2.0	810	340	0.0044	360
16 ※	0.30	0.70	0	0	2520	720	0.022	370
17	0.30	0.70	0	0.01	2530	350	0.0030	380
18	0.30	0.70	0	0.2	2560	260	0.0023	380
19	0.30	0.70	0	1.0	2580	260	0.0025	370
20 ※	0.30	0.70	0	2.0	2460	310	0.0046	370
21 ※	0.20	0.725	0.075	0	2780	510	0.0092	540
22	0.20	0.725	0.075	0.01	2810	320	0.0014	560
23	0.20	0.725	0.075	0.2	2820	180	0.0008	560
24	0.20	0.725	0.075	1.0	2840	210	0.0026	540
25 ※	0.20	0.725	0.075	2.0	2780	350	0.0040	540
26 ※	0.25	0.625	0.125	0	1800	460	0.0088	520
27	0.25	0.625	0.125	0.01	1830	260	0.0014	520
28	0.25	0.625	0.125	0.2	1830	190	0.0008	520
29	0.25	0.625	0.125	1.0	1810	220	0.0018	500
30 ※	0.25	0.625	0.125	2.0	1720	250	0.0036	490
31 ※	0.10	0.75	0.15	0	1860	920	0.025	470
32 ※	0.10	0.75	0.15	0.2	1880	620	0.0088	460
33 ※	0.25	0.50	0.25	0	680	480	0.018	80
34 ※	0.25	0.50	0.25	0.2	750	420	0.011	110
35 ※	0.35	0.60	0.05	0	1920	880	0.020	280
36 ※	0.35	0.60	0.05	0.2	2020	710	0.010	280

微波、毫米波用磁性材料

JP 平3-19203(1991) 村 田

本发明提供的铁氧体材料主要成分的化学组成为 $\text{Li} \cdot \text{Fe}_x\text{Ti}_z\text{O}_{0.5+y+1.5z}$ ，添加物为 B_2O_3 和/或 SiO_2 。当 x 、 y 、 z 和添加物总含量在本专利确定的范围之内时，该材料具有良好的微波和毫米波特性和，因此可以用在微波和毫米波器件中。

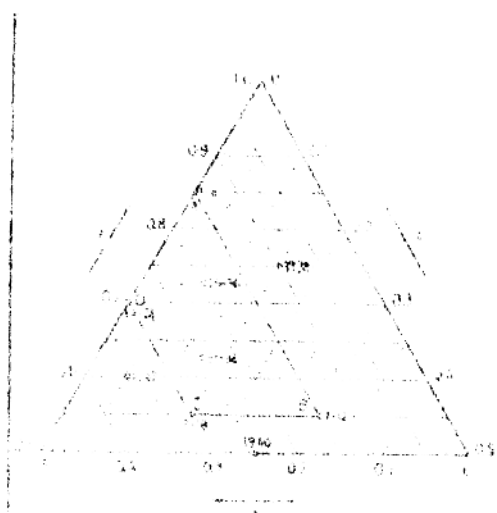
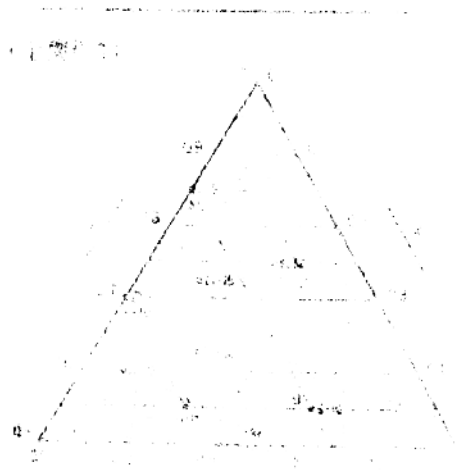
为了克服纯Li铁氧体铁磁谐振吸收线宽 ΔH 和介质损耗 $\tan \delta_e$ 较大的缺点，本发明把Li铁氧体中的部分组成物用Ti置换，根据材料的工作频率，适当调整置换量，可使材料的饱和磁化强度 $4\pi M_s$ 在一定范围内任意选定。添加适量的 B_2O_3 和/或 SiO_2 是为了改善材料的铁磁谐振线宽 ΔH 和介质损耗 $\tan \delta_e$ 。

实 例

按平2-164009实例中所述的工艺方法制成直径为1.3mm的球形样品和直径1.3mm长为16mm的圆柱形样品。并用平2-164009的测量仪器和方法，测试这些样品在106Hz下的 ΔH 、 $\tan \delta_e$ 和介电常数 ϵ ，测量结果列于下表：表中有※符号的样品，其成分不在本发明的范围之内。

表中的样品编号标在该材料的三元成分图中，即为本专利的图。本发明的材料成分范围在该图中用四边形ABCD表示。

本发明材料的主要成分化学组成为 $\text{Li} \cdot \text{Fe}_x\text{Ti}_z\text{O}_{0.5+y+1.5z}$ ，根据表中所列的测量数据可知各组成物的含量范围应为： $0.15 \leq x \leq 0.30$ 、 $0.55 \leq y \leq 0.85$ 、 $0 \leq z \leq 0.30$ ，并且 $x+y+z=1$ 。添加物 B_2O_3 和/或 SiO_2 的含量范围为0.02~1.0mol%。只要材料中各组分的含量都在上述范围之内，则材料的 ΔH 和 $\tan \delta_e$ 很小， T_c 较高，因此 $4\pi M_s$ 在室温附近的温度变化率较小。并且根据材料的工作频率，适当调整 x 、 y 、 z 的数值，使 $4\pi M_s$ 在600~3700Gs之间随意选择。



试样 编号	Li _x FeyTi _z O _{0.5+y+1.5z}			B ₂ O ₃ mol%	SiO ₂ mol%	4πMs Gs	ΔH Oe	tan δ _e	T _c ℃
	x	y	z						
1 ※	0.15	0.85	0	0	0	3700	420	0.012	650
2	0.15	0.85	0	0.01	0.01	3690	250	0.0027	650
3	0.15	0.85	0	0.1	0.1	3670	180	0.0008	640
4	0.15	0.85	0	1.0	0	3640	280	0.0034	650
5	0.15	0.85	0	0	1.0	3550	260	0.0032	640
6 ※	0.15	0.85	0	1.0	1.0	3430	370	0.010	630
7 ※	0.15	0.55	0.30	0	0	620	750	0.018	320
8	0.15	0.55	0.30	0.01	0.01	620	380	0.0045	320
9	0.15	0.55	0.30	0.1	0.1	620	340	0.0015	310
10	0.15	0.55	0.30	1.0	0	600	410	0.0035	310
11	0.15	0.55	0.30	0	1.0	630	390	0.0032	320
12 ※	0.15	0.55	0.30	1.0	1.0	610	520	0.0072	320
13 ※	0.30	0.55	0.15	0	0	850	440	0.014	330
14	0.30	0.55	0.15	0.01	0.01	840	260	0.0025	340
15	0.30	0.55	0.15	0.1	0.1	840	190	0.0008	330
16	0.30	0.55	0.15	1.0	0	830	300	0.0022	310
17	0.30	0.55	0.15	0	1.0	850	280	0.0018	330
18 ※	0.30	0.55	0.15	1.0	1.0	800	400	0.0042	340
19 ※	0.30	0.70	0	0	0	2520	720	0.022	370
20	0.30	0.70	0	0.01	0.01	2540	320	0.0022	380
21	0.30	0.70	0	0.1	0.1	2540	250	0.0014	350
22	0.30	0.70	0	1.0	0	2510	340	0.0032	350
23	0.30	0.70	0	0	1.0	2540	310	0.0025	370
24 ※	0.30	0.70	0	1.0	1.0	2490	420	0.0044	380
25 ※	0.20	0.725	0.075	0	0	2780	510	0.0092	540
26	0.20	0.725	0.075	0.01	0.01	2800	280	0.0009	540
27	0.20	0.725	0.075	0.1	0.1	2760	200	0.0006	540
28	0.20	0.725	0.075	1.0	0	2750	240	0.0025	520
29	0.20	0.725	0.075	0	1.0	2760	250	0.0021	530
30 ※	0.20	0.725	0.075	1.0	1.0	2720	380	0.0068	520
31 ※	0.25	0.625	0.125	0	0	1800	460	0.0088	520
32	0.25	0.625	0.125	0.01	0.01	1780	240	0.0011	520
33	0.25	0.625	0.125	0.1	0.1	1780	170	0.0008	520
34	0.25	0.625	0.125	1.0	0	1750	260	0.0014	510
35	0.25	0.625	0.125	0	1.0	1790	230	0.0014	510
36 ※	0.25	0.625	0.125	1.0	1.0	1730	300	0.0035	500
37 ※	0.10	0.75	0.15	0	0	1860	920	0.025	470
38 ※	0.10	0.75	0.15	0.1	0.1	1900	710	0.0072	450
39 ※	0.25	0.50	0.25	0	0	680	480	0.018	80
40 ※	0.25	0.50	0.25	0.1	0.1	780	400	0.0095	90
41 ※	0.35	0.60	0.05	0	0	1920	880	0.020	280
42 ※	0.35	0.60	0.05	0.1	0.1	1980	670	0.012	260

微波、毫米波用磁性材料

JP 平3-19204(1991) 村 田

本发明提供的铁氧体材料主要成分表达式为 $\text{Li}_x\text{Fe}_y\text{Ti}_{0.5+y+1.5z}$ ，添加物为 PbO 。当 x 、 y 、 z 和添加物含量在本专利确定的范围之内时，该材料具有良好的微波和毫米波特性和因而可以用在微波和毫米波器件中。

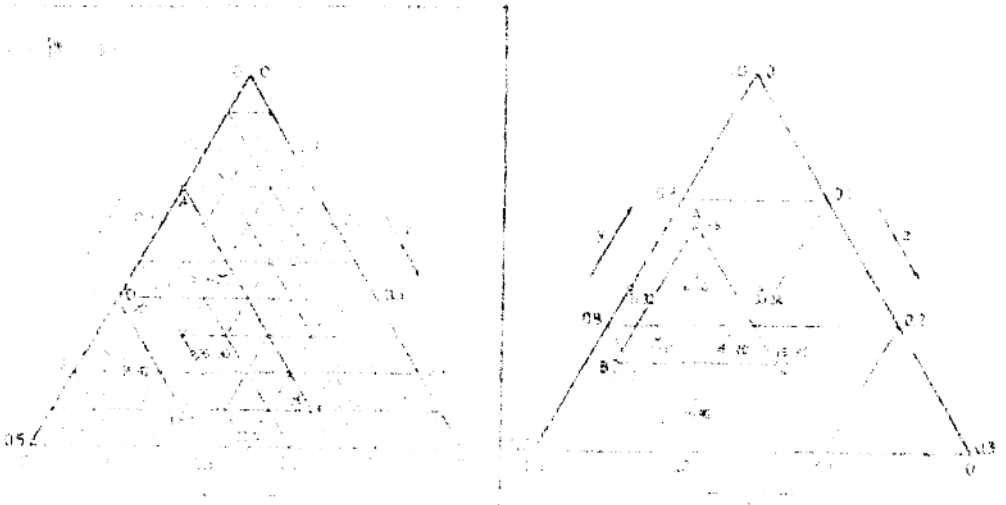
为了克服纯 $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$ 的缺点，本发明把 $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$ 中的部分组分用 Zn 置换，以提高材料的饱和磁化强度 $4\pi\text{Ms}$ ，使该材料可用于更高的频段，并且通过适当的改变含 Zn 量，可任意选定适合的 $4\pi\text{Ms}$ 值。在本发明材料中还添加了适量的 PbO ，以改善材料的铁磁谐振线宽 ΔH 和介质损耗 $\tan\delta_e$ 。

实 例

首先准备高纯度的原材料 Li_2CO_3 、 Fe_2O_3 、 ZnO 和 PbO ，并按下表所列的成分进行称量。然后按平2-164009实例中所述的工艺方法制成直径为1.3mm的球形样品和直径1.3mm长为16mm的圆柱形样品。并用平2-164009的测量仪器和方法，测试这些样品在10GHz下的 ΔH 、 $\tan\delta_e$ 和介电常数 ϵ ，测量结果列于下表。表中有☆符号的样品，其成分不在本发明的范围之内。

表中的样品编号标在三元成分图中，即为本专利的图。本发明的材料成分范围在该图中用三角形ABC表示。

根据图中的实验数据可知，本发明材料的主要成分化学组成式为 $\text{Li}_x\text{Fe}_y\text{Zn}_{0.5+y+1.5z}$ ，成分范围应为： $0.16 \leq x \leq 0.21$ 、 $0.77 \leq y \leq 0.86$ 、 $0.02 \leq z \leq 1.30$ ，并且 $x+y+z=1$ 。添加物 PbO 的含量范围为0.01~0.5mol%。只要主成分和添加物在上述范围内，则材料的 ΔH 和 $\tan\delta_e$ 很小， T_c 较高，并且 $4\pi\text{Ms}$ 可以根据使用频率的不同，通过 x 、 y 、 z 的适当调整在3900~5100Gs之间任意选定。



试样 编号	Li _x Fe _y Zn _z 00.5+y+1.5z			PbO	4πMs	ΔH	tan δ e	Tc
	x	y	z	mol%	Gs	Oe		°C
1 *	0.10	0.88	0.02	0	4200	340	0.019	510
2	0.10	0.88	0.02	0.01	4240	160	0.0041	500
3	0.10	0.88	0.02	0.2	4250	130	0.0016	510
4	0.10	0.88	0.02	1.0	4210	170	0.0042	510
5 *	0.10	0.88	0.02	2.0	4120	270	0.013	500
6 *	0.12	0.84	0.04	0	3880	350	0.014	520
7	0.12	0.84	0.04	0.01	3900	140	0.0034	520
8	0.12	0.84	0.04	0.2	3910	120	0.0009	500
9	0.12	0.84	0.04	1.0	3920	140	0.0021	500
10 *	0.12	0.84	0.04	2.0	3856	240	0.0086	490
11 *	0.17	0.79	0.04	0	4590	350	0.011	540
12	0.17	0.79	0.04	0.01	4610	160	0.0032	540
13	0.17	0.79	0.04	0.2	4610	110	0.0008	530
14	0.17	0.79	0.04	1.0	4590	150	0.0019	530
15 *	0.17	0.79	0.04	2.0	4530	250	0.0072	530
16 *	0.12	0.79	0.09	0	5050	360	0.013	440
17	0.12	0.79	0.09	0.01	5070	130	0.0035	450
18	0.12	0.79	0.09	0.2	5100	100	0.0012	450
19	0.12	0.79	0.09	1.0	5100	140	0.0029	450
20 *	0.12	0.79	0.09	2.0	4970	250	0.0085	450
21 *	0.21	0.77	0.02	0	4160	530	0.0082	520
22	0.21	0.77	0.02	0.01	4180	270	0.0013	520
23	0.21	0.77	0.02	0.2	4220	150	0.0006	530
24	0.21	0.77	0.02	1.0	4220	210	0.0024	540
25 *	0.21	0.77	0.02	2.0	4050	320	0.0066	530
26 *	0.10	0.77	0.13	0	4020	680	0.010	350
27	0.10	0.77	0.13	0.01	4040	350	0.0029	350
28	0.10	0.77	0.13	0.2	4110	230	0.0009	360
29	0.10	0.77	0.13	1.0	4060	270	0.0027	360
30 *	0.10	0.77	0.13	2.0	3930	330	0.0071	360
31 *	0.17	0.83	0	0	3540	510	0.014	610
32 *	0.17	0.83	0	0.2	3560	260	0.0032	610
33 *	0.08	0.83	0.09	0	2910	1220	0.0085	220
34 *	0.08	0.83	0.09	0.2	2950	680	0.0033	220
35 *	0.17	0.74	0.09	0	3110	860	0.018	340
36 *	0.17	0.74	0.09	0.2	3140	410	0.0085	330

微波铁氧体

JF 昭60-19126(1985) 日本电气

本发明是关于微波电路元器件用Ca-V石榴石铁氧体材料,其饱和磁化强度($4\pi Ms$)为1400—1900Gs。

对于在非互易元器件中所使用磁性材料最基本的要求是, $4\pi Ms$ 值适当(希望值),磁损耗小, $4\pi Ms$ 随温度的变化小。现在在非互易元器件中一般最常用的微波铁氧体是Y-Fe系石榴石(YIG),和以前的Ni-Zn、Mn-Mg等尖晶石型铁氧体材料相比,其 $4\pi Ms$ 低,居里温度高且损耗小。可是现在用于人造卫星和地面站的微波放大器中的非互易元件,要求其损耗很低。所以必须在材料上下功夫。本发明的铁氧体材料可用于X波段以上的频段。

YIG材料的铁磁谱振吸收线宽(以下记为 ΔH)一般为400e左右。这对于用于卫星通讯的元器件来说,损耗太大,因而使用有困难。本发明提供的材料没有上述缺点,其 ΔH 值小,且居里温度高。这种材料的化学组成式为 $Ca_{3-x}Y_xFe_{3.5-0.5x+0.5y}Sn_{1.5-0.5x-0.5y}O_{12}$ 其中x、y分别在下列范围内: $0.01 \leq x \leq 0.5$, $2.5 \leq y \leq 2.99$ 。

按组成式 $Ca_{3-x}Y_xFe_{3.5-0.5x+0.5y}Sn_{1.5-0.5x-0.5y}O_{12}$ 分别称料 $CaCO_3$ 、 Fe_2O_3 、 V_2O_5 、 Y_2O_3 、 SnO_2 。在钢制球磨机中混合,于950℃预烧4h,压制成型后在1300—1450℃烧结10h(使 ΔH 最小),最后测量材料的性能 $4\pi Ms$ 、 ΔH (在9.3GHz下测量)及居里温度。

实例1 材料成分按上述组成式,其中 $x=0.1$, y 在一定范围内改变,在不同 y 值下的材料性能示于表1。

从表1可知,表中各组分的 ΔH 都非常小,都可做出损耗很小的非互易元器件。但是 $y < 2.5$ 时 $4\pi Ms < 1400Gs$, 不符合本发明的目的,因此 y 的有效范围应 > 2.5 。

实例2 材料的组成式为 $Ca_{3-x}Y_xFe_{3.5-0.5x+0.5y}Sn_{1.5-0.5x-0.5y}O_{12}$, 改变 Y 和 Sn 的含量,不同成分的材料性能示于表2。

从表2可知,由于 Sn 的置换,使材料的 ΔH 显著变小。当 $x=0$ 即不加 Sn 时,材料的 $\Delta H=380e$; 当 $x=0.2$ 时, $\Delta H=6.00e$ (约为前者的1/6),而当 $x=0.4$ 时, $\Delta H=3.10e$ (约为 $x=0$ 时的1/10)。

表 1

y	烧 结 条 件	$4\pi Ms$ Gs	ΔH Oe	T_c °C
2.90	1450°C 5h O2中	1840	16	267
2.80	1450°C 5h O2中	1760	13	265
2.70	1430°C 5h O2中	1660	12	263
2.60	1410°C 5h O2中	1560	13	263
2.50	1380°C 5h O2中	1470	14	261
2.40	1380°C 10h O2中	1390	14	261
2.30	1380°C 10h O2中	1320	11	261

显然, 对于低损耗的非互易元器件来说, 这是一种非常优异的材料。当 $x < 0.01$ 时其效果不明显, 当 $x > 0.6$ 时, 居里温度降低, $4\pi Ms$ 的温度变化也增大, 因此Sn的有效范围应为 $0.01 \leq x \leq 0.05$ 。本发明所提供的材料的介质损耗 $\tan \delta \leq 8 \times 10^{-4}$ 。

综上所述, 本发明的微波铁氧体材料—Y-Sn置换的Ca-V系石榴石材料, 其化学组成式为 $\text{Ca}_{3-y}\text{Y}_y\text{Fe}_{2.5-0.5x+0.5y}\text{Sn}_x\text{V}_{1.5-0.5x-0.5y}\text{O}_{12}$, 其中x、y的有效范围为 $0.01 \leq x \leq 0.5$, $2.5 < y \leq 2.99$ 。和以前使用的微波铁氧体材料—Y-Fe-Al系石榴石材料相比, 其 ΔH 显著降低。可用于X波段以上的卫星通讯用的低损耗非互易器件之中, 是一种性能优异的石榴石材料。

表 2

y	x	烧 结 条 件	$4\pi Ms$ Gs	ΔH Oe	T_c °C
2.5	0	1380°C 5h O ₂ 中	1385	38	284
2.5	0.01	1380°C 5h O ₂ 中	1410	30	280
2.5	0.1	1380°C 5h O ₂ 中	1500	14	261
2.6	0.2	1400°C 5h O ₂ 中	1620	6.0	245
2.6	0.3	1385°C 5h O ₂ 中	1710	3.5	220
2.6	0.4	1385°C 5h O ₂ 中	1900	3.1	198
2.6	0.5	1400°C 5h O ₂ 中	1847	2.8	172
2.7	0.6	1450°C 5h O ₂ 中	1790	2.5	150
2.7	0.3	1420°C 5h O ₂ 中	1860	3.3	222
2.7	0.2	1440°C 5h O ₂ 中	1810	4.5	250
2.65	0.3	1460°C 10h O ₂ 中	1900	4.2	224
2.8	0.05	1460°C 20h O ₂ 中	1690	15	274
2.3	0.7	1430°C 20h O ₂ 中	1610	11	135
2.9	0.15	1460°C 8h O ₂ 中	1750	9.5	280

(上接P. 11)

实例2 材料的组成式为 $(\text{Cd}_{2.4}\text{Y}_{0.4}\text{Ca}_{0.2})(\text{Fe}_{1.5}\text{In}_{0.5})(\text{Fe}_{2.9}\text{V}_{0.1})\text{O}_{12}$, 按此组成式称取原料 Cd_2O_3 、 Y_2O_3 、 CaCO_3 、 Fe_2O_3 、 In_2O_3 、 V_2O_5 , 在混合、粉碎时分别采用纯水、丙酮、正丙醇(丙醇-1)做分散剂, 制造工艺和实例1相同。

对材料性能测量结果示于表2。

从表2可知, 对于这种成分的石榴石材料, 在混合和粉碎时用丙酮或正丙醇(丙醇-1)做分散剂, 也可使材料的密度提高, 使 ΔH 值显著减小。

在本发明中, 采用正丙醇(丙醇-1)做分散剂比采用丙酮更好, 因为它对人体的影响较小。

综上所述, 本发明提出的制造方法, 可使微波用多晶石榴石材料实现高密度化, 使谐振线宽 ΔH 显著减小, 从而使微波铁氧体器件的损耗减小, 这在工业上有很大意义。

微波用多晶石榴石制造方法

JP 昭62-17365(1987) 日立金属

本发明是关于微波用亚铁磁性石榴石材料的制造方法。这种材料用于工作在VHF、UHF、SHF段的环形器、隔离器等微波铁氧体元器件，或者用来做微波集成电路基片。

对于微波元器件用磁性材料，一般的要求是谐振线宽 ΔH 值小，饱和磁化强度 $4\pi Ms$ 适当，并可随意选择，居里温度 T_c 高， $4\pi Ms$ 的温度系数小。在上述特性中，因为 ΔH 直接影响器件的损耗，所以通常都要求 ΔH 值很小。众所周知， ΔH 随烧结体的密度、粒径、是否有其他相(第二相)而改变，通常取决于 $4\pi Ms$ ，磁晶各向异性常数 K_1 和多晶体的气孔率 ρ 。 $4\pi Ms$ 和 K_1 取决于石榴石的成分，气孔率 ρ 取决于制造方法。因此，为使 ΔH 值小，就需要制造没有其他相且气孔很少的材料。

可是在制造多晶石榴石时，常常由于制造工艺掌握不好，而生成异相(第二相)或出现很多气孔，结果使 ΔH 增大。

特别是在混合、粉碎工艺中，一般都用纯水做分散剂，结果往往使 ΔH 很大。

本发明的特点是在各种原料混合、粉碎时不用水做分散剂，而采用的是丙酮或正丙醇(丙醇-1)。

实例1 材料的组成式为 $(Y_{2.5}Ca_{0.7})(Fe_{1.45}In_{0.55})(Fe_{2.55}V_{0.05})O_{12}$ 。按此组成式称取 Y_2O_3 、 $CaCO_3$ 、 Fe_2O_3 、 In_2O_3 、 V_2O_5 ，放入钢制球磨机中，然后分别放入纯水、丙酮、正丙醇(丙醇-1)做分散剂进行混合，原料和分散剂之比为1:0.5~10，混合均匀后，除去分散剂，在900~1200℃预烧。接着在球磨机中进行粉碎，粉碎时加入和混合时同样的分散剂，预烧料粉和分散剂之比为1:0.5~10，压制成型后，在1250~1500℃下烧结0.5~40h。测量材料的性能，结果示于表1。

从表1可知，在混合和粉碎时采用丙酮或正丙醇(丙醇-1)做分散剂，可使材料的密度提高，使 ΔH 值显著减小。(下接P.10)

表 1

分散剂	$4\pi Ms$ Gs	T_c ℃	ΔH Oe	d g/cc
纯 水	1390	170	5.2	4.95
丙 酮	1395	170	2.2	5.05
正丙醇	1390	172	2.0	5.06

表 2

分散剂	$4\pi Ms$ Gs	T_c ℃	ΔH Oe	d g/cc
纯 水	780	186	88	6.14
丙 酮	779	189	24	6.27
正丙醇	783	192	25	6.27

微波元器件用石榴石铁氧体

JP 昭61-3082(1986) 日立金属

本发明提供的石榴石磁性材料组成式为 $(\text{Gd}_{1.5}\text{Y}_{3-2x-y-z}\text{Ca}_{2x+y})(\text{Fe}_{2-y}\text{Sn}_y)(\text{Fe}_{3-x}\text{V}_x)\text{O}_{12}$ ，式中： $0 < x \leq 0.2$ ， $0.3 \leq y \leq 0.6$ ， $1.5 \leq z \leq 2.4$ 。该材料的温度系数极小，谐振线宽 ΔH 也很小，即磁损耗也很小，适用于微波元器件。

图1示出了组成式为 $(\text{Gd}_{1.5}\text{Y}_{3-2x-y-z}\text{Ca}_{2x+y})(\text{Fe}_{1.5}\text{Sn}_{0.5})(\text{Fe}_{3-x}\text{V}_x)\text{O}_{12}$ 的石榴石材料，其钒(V)的置换量 x 和饱和磁化强度 $4\pi M_s$ 、谐振线宽 ΔH 、 $-20 \sim +60^\circ\text{C}$ 的 $4\pi M_s$ 的温度系数 α 之间关系的实测结果。

图中 $4\pi M_s$ 是各组分的 $4\pi M_s$ 的极大值。使 $x=0$ 、 0.1 和 0.2 三组分的 $4\pi M_s$ 成为极大值的对应温度 $T_{\max}$ 分别为 -39 、 -32 和 -24°C 。由图可知，随着V置换量的增加， $4\pi M_s$ 呈直线减小，因此V的置换量主要是用来控制 $4\pi M_s$ 的。从图还可看出，随着置换量 x 的增加，温度系数 α 稍稍减小。如果 $x > 0.2$ ， ΔH 急剧增大。因此，置换量应在以下范围： $0 < x \leq 0.2$ 。

图2示出了组成式为 $(\text{Gd}_{2.5}\text{Y}_{0.9-y}\text{Ca}_{0.1+y})(\text{Fe}_{2-y}\text{Sn}_y)(\text{Fe}_{2.95}\text{V}_{0.05})\text{O}_{12}$ 的石榴石材料，其Sn的置换量 y 和 $4\pi M_s$ 、 ΔH 、 $-20 \sim +60^\circ\text{C}$ 的 $4\pi M_s$ 的温度系数 α 之间关系的实测结果。在图中 $4\pi M_s$ 用各组分的极大值表示。在 $y=0.2$ 、 0.3 、 0.4 、 0.5 和 0.6 的各组分的 $4\pi M_s$ 极大值的对应温度 $T_{\max}$ 分别为 41 、 20 、 0 、 -20 和 -30°C 。由图2所示，当 $y=0.5$ 时 $4\pi M_s$ 最大。当 y 在 $0.2 \sim 0.6$ 的范围内时， α 较小。当 y 小于 0.3 时， ΔH 变大，因此，置换量 y 应大于 0.3 。综合上述，置换量 y 应在下述范围之内即 $0.3 \leq y \leq 0.6$ 。

图3示出了组成式为 $(\text{Gd}_2\text{Y}_{2.1-z}\text{Ca}_{0.9})(\text{Fe}_{1.5}\text{Sn}_{0.5})(\text{Fe}_{2.6}\text{V}_{0.2})\text{O}_{12}$ 的石榴石材料，其Gd的置换量 z 和 $4\pi M_s$ 、 ΔH 、 α 之间关系的实测结果。图中 $4\pi M_s$ 用各组分的极大值表示。在 $z=0.8$ 、 1.2 和 1.6 的各组分的 $4\pi M_s$ 极大值的对应温度 $T_{\max}$ 分别为 -71 、 -56 和 -40°C 。由图3可知，随着置换量 z 的增加， $4\pi M_s$ 呈直线减小。随着 z 的增加， α 单调减少。而 ΔH 随着 z 的增加，缓慢地增加，为使 ΔH 值较小， z 应 < 2.4 。

图4示出了组成式 $(\text{Gd}_2\text{Y}_{3-2x-y-z}\text{Ca}_{2x+y})(\text{Fe}_{2-y}\text{Sn}_y)(\text{Fe}_{3-x}\text{V}_x)\text{O}_{12}$ 的石榴石材料，其中 $4\pi M_s$ 的温度系数 α ($-20 \sim +60^\circ\text{C}$)和使 $4\pi M_s$ 为极大值的相应温度 $T_{\max}$ 之间关系的实测结果。在图中，使 $T_{\max}$ 约为 0°C 的成分是： $x=0.05$ ， $y=0.4$ ， $z=2.0$ ，在 $T_{\max}$ 为 -10°C 到 $+35^\circ\text{C}$ ， $\alpha < 0.1\%$ ，比以前的石榴石材料的 α 值都小。

如前所述，用组成式 $(\text{Gd}_2\text{Y}_{3-2x-y-z}\text{Ca}_{2x+y})(\text{Fe}_{2-y}\text{Sn}_y)(\text{Fe}_{3-x}\text{V}_x)\text{O}_{12}$ 表示石榴石材料，使 $4\pi M_s$ 成为极大值的温度 $T_{\max}$ 和置换量 x 、 y 、 z 的关系大约为： x 增加 0.1 ， $T_{\max}$ 增加约 8°C ， y 变化 0.1 ， $T_{\max}$ 变化约 -20°C ， z 变化 0.1 ， $T_{\max}$ 变化约 $+8^\circ\text{C}$ ，它们之间的关系式为：

$$80x - 200y + 80z = T_{\max} + K$$

因为 $x=0.05$ ， $y=0.4$ ， $z=2.0$ 时， $T_{\max}=0$ ，因此上式中，常数 $K=84$ 。因此，置换量 x 、 y 、 z 和 $T_{\max}$ 之间的关系也可用下式表示：

$$80x - 200y + 80z - 84 = T_{\max} \dots \dots \dots (1)$$

为使 α 小, $T_{\max}$ 应在 -10°C 到 $+35^{\circ}\text{C}$ 的范围, 因此置换量 x 、 y 、 z 应在下式确定的范围内
 $-10 \leq 80x - 200y + 80z - 84 \leq 35$ (2)

在满足上述条件的各成分中, 要 ΔH 减小, y 必须 ≥ 0.3 , ≤ 0.6 (即 $0.3 \leq y \leq 0.6$), 而 x 应在 $0 \sim 0.2$ 的范围 (即 $0 \leq x \leq 0.2$), 根据关系式 (2), 即可求出置换量 z 的范围。

如上所述, 在本发明中 z 如大于 2.4, 则 ΔH 变大, 因此 z 应在 1.5 到 2.4 的范围内, 即 $1.5 \leq z \leq 2.4$ 。

实 例 1

组成式为 $(\text{Gd}_{2.6}\text{Y}_{0.2-2x}\text{Ca}_{0.2+2x})(\text{Fe}_{1.5}\text{Sn}_{0.4})(\text{Fe}_{3-x}\text{V}_x)\text{O}_{12}$, 其中 x 分别为 0.05 和 0.1。按此组成式称取 Gd_2O_3 、 Y_2O_3 、 CaCO_3 、 Fe_2O_3 、 SnO_2 和 V_2O_5 , 球磨混合后, 在 $900-1200^{\circ}\text{C}$ 预烧 0.5-10h。预烧料再用球磨机粉碎, 压制成型后, 于 $1250-1450^{\circ}\text{C}$ 在氧气中烧结 1-20h。把这样制成的试样进行 X-光衍射分析, 业已确认试样全为单相石榴石结构。用磁天平测量试样 $4\pi M_s$ 的温度变化 (从液氮到居里点) 及谐振线宽 ΔH 。测量结果示于表 1。

实 例 2

材料组成式为 $(\text{Gd}_{2.6}\text{Y}_{1.6-y}\text{Ca}_{0.2+y})(\text{Fe}_{2-y}\text{Sn}_y)(\text{Fe}_{2.9}\text{V}_{0.1})\text{O}_{12}$, 其中 $y=0.45$ 。按上述成分称量后, 用和实例 1 相同的方法制出试样, 并测量其多种性能。测量结果示于表 2。

实 例 3

材料组成式为 $(\text{Gd}_2\text{Y}_{2.6-y-z}\text{Ca}_{0.2+z})(\text{Fe}_{2-y}\text{Sn}_y)(\text{Fe}_{2.9}\text{V}_{0.1})\text{O}_{12}$, 其中一组成分为 $y=0.45$ $z=2.2$, 另一组分为 $y=0.5$, $z=2.3$ 。按上述成分称量后, 用和实例 1 相同的方法制造试样, 测量试样的有关性能。测量结果示于表 3。

如上所述, 本发明的石榴石材料谐振线宽 ΔH 小, 温度系数 α 极小, 因此不需要用恒温槽来控制温度, 这对器件的生产和应用意义很大。

表 1				表 2			
x	$4\pi M_s$	ΔH	α	y	$4\pi M_s$	ΔH	α
0.05	1000	1.2	0.01	0.45	1000	1.2	0.01
0.1	1000	1.2	0.01	0.45	1000	1.2	0.01

y	$4\pi M_s$	ΔH	α	z	$4\pi M_s$	ΔH	α
0.45	1000	1.2	0.01	2.2	1000	1.2	0.01
0.5	1000	1.2	0.01	2.3	1000	1.2	0.01

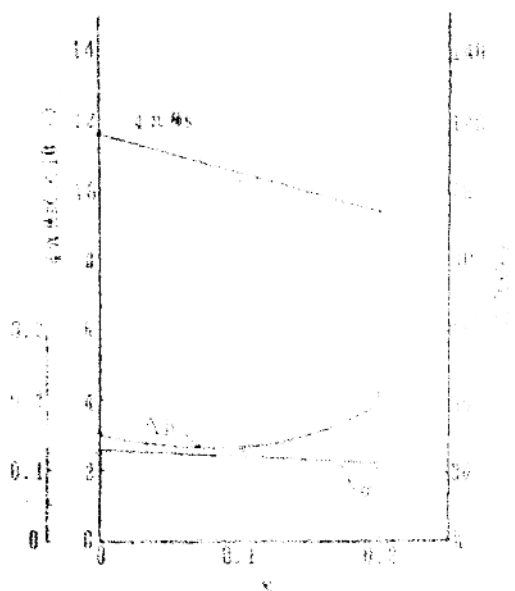


图 1

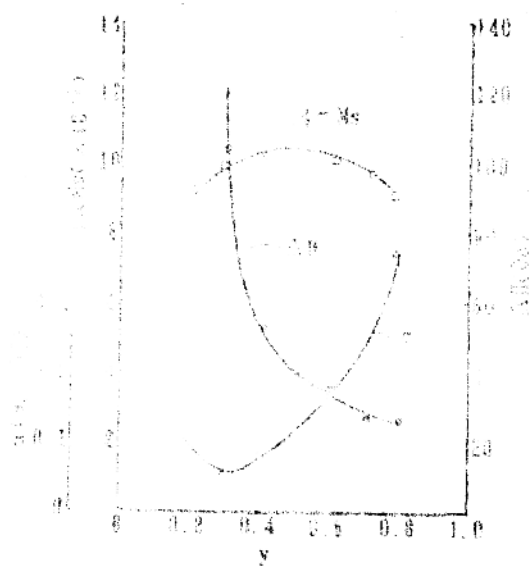


图 2

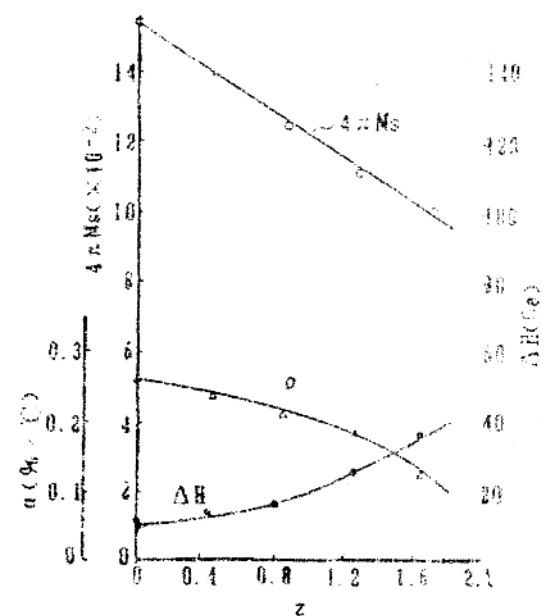


图 4

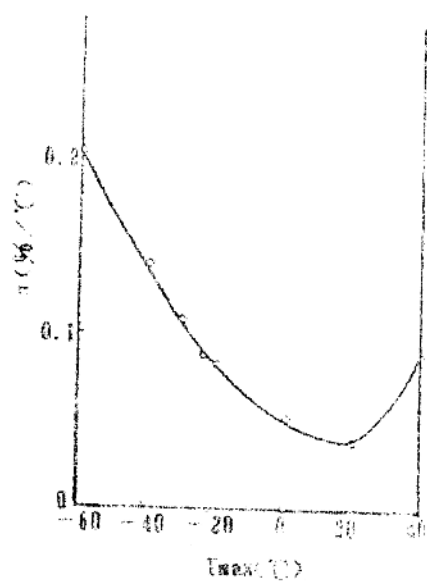


图 3

微波用亚铁磁性石榴石铁氧体

JP 平2-113503(1990) 富士电气

本发明是将Gd-Y-Ca-In-V系石榴石材料的部分组成物用Al和Mn置换,制成一种新型的微波环形器和隔离器用的亚铁磁性石榴石铁氧体。

A·S·Hudson于1969年曾在IEEE Transaction on Magnetics (Vol.5 No.3 P610-613)上发表过有关含Gd的Ca-V系石榴石的文章。这种石榴石材料的化学组成式为: $(Y_{3-2x-3}Ca_{2x}Gd_3)(Fe_{2-z}In_z)(Fe_{3-y-z}V_zAl_y)O_{12}$, 其中, $0.5 \leq x \leq 0.9$, $0 \leq a \leq 1.1$, $0 \leq y \leq 0.8$, $z = 0, 0.5$ 。其饱和磁化强度 $4\pi M_s$ 的温度系数约为 $0.24\% / ^\circ C$, 显然较大。

本发明对以前的制造技术进行了改进,研制出的石榴石材料具有谐振线宽 ΔH 较小,介质损耗 $\tan \delta_e$ 很小,饱和磁化强度 $4\pi M_s$ 的温度系数极小 ($< 0.08\% / ^\circ C$) 等优点。

实例

按组成式 $Gd_{1.6}Y_{1.4-2z}Ca_{2z}Fe_{4.45-z}In_{0.35}V_zAl_{0.17}Mn_{0.05}O_{12}$ 称取原材料,用球磨机混合24h。接着进行预烧 ($1100-1200^\circ C$, 5h), 预烧料块在球磨机中粉碎24h,干燥后加粘合剂造粒,然后过筛,压制成所需的形状,接着把压坯加热以便使粘合剂等挥发掉,最后在 $1300-1450^\circ C$, 烧结5h。

本发明对该材料几种组成物及其含量对材料性能的影响做了大量的实验,并将实验结果示于图1-图7。图1是组成式为 $Gd_{1.6}Y_{1.4-2z}Ca_{2z}Fe_{4.45}In_{0.35}V_{0.3}Al_{0.17}Mn_{0.05}O_{12}$ 的材料,使Gd含量 x 改变,测量 $4\pi M_s$ 随温度变化关系。从图1可知,在 $-20 \sim +80^\circ C$ 范围内,为使 $4\pi M_s$ 的温度系数较小,Gd含量 x 应在以下范围内即 $0 \leq x \leq 3.0$ 。

图2是组成式为 $Gd_{1.6}Y_{0.6}Ca_{0.6}Fe_{4.5-y}In_yV_{0.3}Al_{0.17}Mn_{0.05}O_{12}$ 的材料,In含量 y 和居里温度 T_c 的变化关系。从图2可知如果In含量过多,居里温度将大幅度地下降,使材料不能使用,In含量的合适范围是: $0 < y \leq 0.5$ 。

图3是组成式为 $Gd_{1.6}Y_{1.4-2z}Ca_{2z}Fe_{4.45-z}In_{0.35}V_zAl_{0.17}Mn_{0.05}O_{12}$ 的材料,其 $4\pi M_s$ 和V含量 z 的变化关系,从图3可知,欲使 $4\pi M_s$ 值适当,V含量的合适范围是: $0 < z \leq 0.5$ 。

图4是组成式为 $Gd_{1.6}Y_{0.6}Ca_{0.6}Fe_{4.17}In_{0.35}V_{0.3}Al_{0.17}Mn_{0.05}O_{12}$ 的材料,其 $4\pi M_s$ 的温度特性。从图可知在 $-20 \sim +80^\circ C$ 范围内,该材料的温度系数极小 ($< 0.08\% / ^\circ C$)。

图5是组成式为 $Gd_{1.6}Y_{0.6}Ca_{0.6}Fe_{4.32-0.6}In_{0.35}V_{0.3}Al_uMn_{0.05}O_{12}$ 的材料,其 $4\pi M_s$ 和Al含量 u 的变化关系。从图可知随着Al含量 u 的增加, $4\pi M_s$ 减小,要使 $4\pi M_s$ 在400以上,则应 $u \leq 1.0$ 。

图6是组成式为 $Gd_{1.6}Y_{0.6}Ca_{0.6}Fe_{4.13-0.7}In_{0.35}V_{0.3}Al_{0.17}Mn_vO_{12}$ 的材料,其 $4\pi M_s$ 和Mn含量 v 的变化关系。随着Mn含量的增加, $4\pi M_s$ 先是提高,然后下降,这是因为Mn含量较少时, Mn离子进入(占据)石榴石晶格中的a位,含量较多时, Mn离子进入d位。

图7和图6相同,但是其中的曲线表示介质损耗 $\tan \delta_e$ 和Mn含量 v 的变化关系。随着Mn含量的增加, $\tan \delta_e$ 先是减少,然后增加。作为微波用铁氧体材料,应 $\tan \delta_e \leq 1 \times 10^{-3}$, 所以Mn含量 v 的范围应为: $0 < v \leq 0.1$ 。

测量了组成式和图6、图7相同的材料的介质损耗 $\tan \delta_e$ 、谐振线宽 ΔH 和温度系数 α 三者与 Mn 含量 v 的变化关系，结果示于下表。

综上所述，把 Gd-Y-Ca-In-V 系石榴石材料的部分组成物用 Al 和 Mn 置换后制成的材料，可以获得令人满意的磁性能： ΔH 较小， $\tan \delta_e$ 很小 ($< 2 \times 10^{-4}$)，4 π Ms 的 α 极小 ($< 0.08\% / ^\circ\text{C}$)。

因此，将该材料用于微波环形器和隔离器等器件时，器件的温度稳定性很高，在工作温度范围内，不需采取温度补偿措施。



Mn 含量 v	$\tan \delta_e \times 10^{-4}$	$\Delta H (Oe)$	$\alpha (\% / ^\circ\text{C})$
0.01	7.0	54	0.080
0.02	3.5	50	0.074
0.03	2.0	48	0.055
0.04	1.9	46	0.050

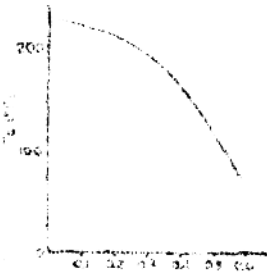


图 2

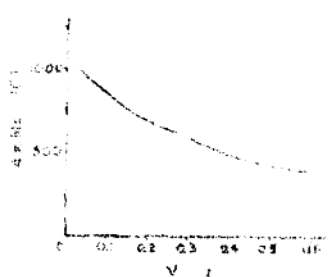


图 3

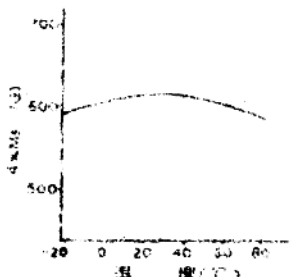


图 4

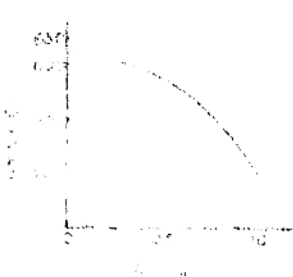


图 5

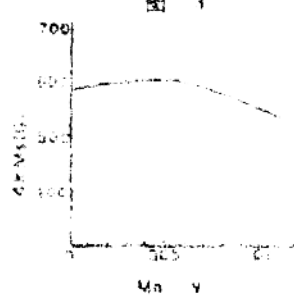


图 6

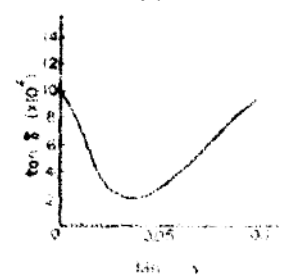


图 7