



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101511751 B

(45) 授权公告日 2012. 11. 21

(21) 申请号 200780033100. 2

C04B 35/38 (2006. 01)

(22) 申请日 2007. 10. 18

H01F 1/34 (2006. 01)

H05K 9/00 (2006. 01)

(30) 优先权数据

285225/2006 2006. 10. 19 JP

346591/2006 2006. 12. 22 JP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 03. 06

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2007/070319 2007. 10. 18

(87) PCT申请的公布数据

W02008/047854 JA 2008. 04. 24

(73) 专利权人 日立金属株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 伊藤进朗 三吉康晴

(74) 专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理

有限责任公司 11204

代理人 王达佐 洪欣

(51) Int. Cl.

H01F 1/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1259499 A, 2000. 07. 12,

US 2001/0017363 A1, 2001. 08. 30,

JP 特开 2004-247603 A, 2004. 09. 02,

JP 特开 2001-151565 A, 2001. 06. 05,

审查员 李慧

权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 9 页

(54) 发明名称

电波吸收材料和电波吸收体

(57) 摘要

本发明提供电波吸收材料,其通过焙烧铁氧体材料而获得,所述铁氧体材料通过向包含 30 摩尔%至 49.5 摩尔%的 Fe_2O_3 、0.5 摩尔%至 20 摩尔%的 Mn_2O_3 、5 摩尔%至 35 摩尔%的 ZnO 、0.2 摩尔%至 1.5 摩尔%的 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$ 和作为剩余部分的 MnO 在内的氧化物磁性材料中加入 0.1 重量%至 2 重量%的 CoO 而形成。在上述组成中,部分 ZnO 可被 20 摩尔%以下的 CuO 置换。该电波吸收材料具有高强度和高湿度稳定性,尽管成本低,但具有优异的电波吸收性能。

	组成(摩尔%)						CoO (重量%)	反射系数 (dB)
	Fe_2O_3 (除土L)	Mn_2O_3	MnO	ZnO	$(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$	CuO		
实施例1	38.3	11.7	24.1	19.7	2.7	3.5	0.67	-21
实施例2	40.0	10.0	24.1	19.7	2.7	3.5	0.60	-27
实施例3	41.5	8.5	24.1	19.7	2.7	3.5	0.67	-24
实施例4	43.0	7.0	24.1	19.7	2.7	3.5	0.84	-23
实施例5	45.2	4.8	20.9	22.7	2.9	3.5	0.67	-23
实施例6	45.4	4.6	28.3	21.2	0.5	0.0	0.6	-23
实施例7	47.5	2.5	28.1	21.0	0.9	0.0	0.67	-21
比较例1	26.0	24.0	24.1	19.7	2.7	3.5	0.20	$T_0 < R, T$
比较例2	51.0	0	23.1	19.7	2.7	3.5	0.85	-16

1. 电波吸收材料,其特征在于,所述电波吸收材料通过焙烧铁氧体材料而获得,所述铁氧体材料通过向包含 30 摩尔%至 49.5 摩尔%的 Fe_2O_3 、0.5 摩尔%至 20 摩尔%的 Mn_2O_3 、5 摩尔%至 35 摩尔%的 ZnO 、0.2 摩尔%至 15 摩尔%的 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$ 和作为剩余部分的 MnO 在内的氧化物磁性材料中加入 0.1 重量%至 2 重量%的 CoO 而形成。

2. 根据权利要求 1 所述的电波吸收材料,其特征在于,所述氧化物磁性材料包含 20 摩尔%以下的 CuO 。

3. 根据权利要求 1 所述的电波吸收材料,其特征在于,所述电波吸收材料包含 0.001 重量%至 0.5 重量%的 Al_2O_3 、0.005 重量%至 1.0 重量%的 NiO 、0.005 重量%至 0.4 重量%的 Cr_2O_3 中的至少一种。

4. 根据权利要求 1 所述的电波吸收材料,其特征在于,所述电波吸收材料包含以 SO_3 换算的 0.002 重量%至 0.095 重量%的硫化物、以 Cl 换算的 0.002 重量%至 0.08 重量%的氯化物中的至少一种。

5. 根据权利要求 1 所述的电波吸收材料,其特征在于,所述电波吸收材料包含 0.002 重量%至 0.3 重量%的 SiO_2 、0.003 重量%至 0.3 重量%的 CaO 中的至少一种。

6. 根据权利要求 5 所述的电波吸收材料,其特征在于,所述电波吸收材料在包含 SiO_2 和 CaO 两者的情况下,两者的总量为 0.5 重量%以下。

7. 根据权利要求 1 所述的电波吸收材料,其特征在于,所述电波吸收材料包含以 P_2O_5 换算的 0.001 重量%至 0.08 重量%的磷化合物。

8. 电波吸收体,其特征在于,所述电波吸收体由权利要求 1-7 中的任一权利要求所述的电波吸收材料形成。

9. 根据权利要求 8 所述的电波吸收体,其特征在于,所述电波吸收体在 8mm 以下的厚度下对 30MHz 电波的反射系数为 -20dB 以下。

电波吸收材料和电波吸收体

技术领域

[0001] 本发明涉及由吸收不必要电波的烧结铁氧体材料形成的电波吸收材料以及由该电波吸收材料形成的电波吸收体。

[0002] 随着通信技术、飞机等的电波制导技术的发展,或诸如电视、收音机、手机的各种电器/电子设备的普及,为了切断可引起不必要信号的高频噪声,亟需与各频带匹配的用于防止控制装置的故障、用于各种电器/电子设备的噪声滤波器、用于电波吸收壁或用于电波暗室的电波吸收体。

[0003] 作为以往的电波吸收体,通常使用由具有导电性并以橡胶、塑料等保持的金属板或薄膜、碳等形成的电波吸收体。另外,使用已知作为磁性吸收体的羰基铁制成的吸收体、与橡胶等复合的吸收体以及通过利用介电损耗而由泡沫聚苯乙烯等制成的吸收体也是众所周知的。此外,还提出了由复合材料制成的吸收体、由其中混合了诸如铝箔片的金属箔片的塑料材料制成的吸收体、由导电性纤维制成的吸收体等,所述复合材料是通过将诸如 Ni-Zn 系和 Ni-Cu-Zn 系铁氧体粉末的铁氧体粉末与诸如橡胶系、硅、环氧的高分子化合物复合而获得的。

[0004] 近年来,利用磁共振现象的铁氧体烧结体,即安装有金属板衬里的 Ni-Cu-Zn 系烧结铁氧体板的构造具有优异的电波吸收能力,并且能够用作较薄板,因此开始被实际使用。此外,还提出了通过将上述各种材料组合或层压而获得的复合材料。

[0005] 这些现有的电波吸收材料具有固有的匹配频带,例如,用于各种实验和测定的电波暗室被要求使室内产生的电波在壁上不反射,并能够切断来自外部的电波,并且需要在宽频带中具有优异的电波吸收能力的材料。

[0006] 因此,提出了各种技术,其中使用在较宽频带中具有低反射系数、能够被制成薄板或小片并且适于大规模生产的 Ni-Cu-Zn 系铁氧体烧结材料作为理想地适用于各种电器/电子设备或电波暗室的电波吸收材料(参照专利文献 1~5)。

[0007] 由于在这种 Ni-Cu-Zn 系烧结体材料中所用的铁氧体的主要原料中使用昂贵的 NiO,因此存在作为电波吸收体而制备的 Ni-Cu-Zn 系铁氧体瓦成本高的问题。

[0008] 因此,作为具有与 Ni-Cu-Zn 系铁氧体烧结材料同等性能但不采用诸如 NiO 的昂贵主要原料的电波吸收材料,提出了 Mn-Zn 系铁氧体烧结材料(参照专利文献 6、7)。

[0009] 专利文献 1:特许第 2794293 号

[0010] 专利文献 2:特许第 2898343 号

[0011] 专利文献 3:特许第 3178885 号

[0012] 专利文献 4:特许第 3278373 号

[0013] 专利文献 5:特许第 3422709 号

[0014] 专利文献 6:特开 2004-247602 号公报

[0015] 专利文献 7:特开 2004-247603 号公报

发明内容

[0016] 发明所要解决的问题

[0017] 然而,在采用专利文献6、7中记载的 Mn-Zn 系铁氧体烧结材料的电波吸收体中,晶界上具有由 CaO 等形成的绝缘相,因而容易引起晶界破坏而使铁氧体材料的强度降低。在铁氧体材料强度低的情况下,烧结体在被切削加工或安装时容易断裂,不仅造成低收率,而且存在难以用作用于电波暗室的电波吸收体的问题。此外,存在由于由 CaO 形成的晶界相的吸水而造成的介电常数对湿度的变化显著的问题。

[0018] 本发明是鉴于上述问题而提出的,目的在于提供具有高强度和高湿度稳定性,且具有与 Ni-Cu-Zn 系铁氧体烧结材料等同或更佳的性能的电波吸收材料,以及提供由该电波吸收材料形成的电波吸收体。

[0019] 解决问题的手段

[0020] 本发明的电波吸收材料的特征在于由焙烧铁氧体材料而获得,所述铁氧体材料是在包含 30 摩尔%至 49.5 摩尔%的 Fe_2O_3 、0.5 摩尔%至 20 摩尔%的 Mn_2O_3 、5 摩尔%至 35 摩尔%的 ZnO、0.2 摩尔%至 15 摩尔%的 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$ 和作为剩余部分的 MnO 在内的氧化物磁性材料中加入 0.1 重量%至 2 重量%的 CoO 而形成。

[0021] 本发明的电波吸收材料由焙烧材料而获得,所述材料是在包含作为主成分的 Fe_2O_3 :30 摩尔%至 49.5 摩尔%、 Mn_2O_3 :0.5 摩尔%至 20 摩尔%、ZnO :5 摩尔%至 35 摩尔%、 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$:0.2 摩尔%至 15 摩尔%、MnO :剩余部分的氧化物磁性材料中加入作为副成分的 CoO :0.1 重量%至 2 重量%而形成。本发明的电波吸收材料不含 NiO,因而成本低廉。另外,与专利文献6或7中记载的 Mn-Zn 系铁氧体烧结材料比较,本发明的电波吸收材料强度优异,且没有观察到由水份吸收引起的介电常数的变化。另外,其电波吸收性能与 Ni-Cu-Zn 系铁氧体烧结材料的电波吸收性能等同或更佳。

[0022] 本发明的电波吸收材料的特征在于包含 20 摩尔%以下的 CuO。

[0023] 在本发明的电波吸收材料中,部分 ZnO 被 20 摩尔%以下的 CuO 置换。通过用 CuO 置换可以进行低温烧结。

[0024] 本发明的电波吸收材料的特征在于包含 0.001 重量%至 0.5 重量%的 Al_2O_3 、0.005 重量%至 1.0 重量%的 NiO、0.005 重量%至 0.4 重量%的 Cr_2O_3 中的至少一种。

[0025] 在本发明的电波吸收材料中,包含 Al_2O_3 :0.001 重量%至 0.5 重量%、NiO :0.005 重量%至 1.0 重量%、 Cr_2O_3 :0.005 重量%至 0.4 重量%中的至少一种作为副成分,因而在 18°C 至 30°C 的宽温度范围中可以得到 -20dB 以下的良好反射系数。

[0026] 本发明的电波吸收材料的特征在于包含以 SO_3 换算的 0.002 重量%至 0.095 重量%的硫化物、以 Cl 换算的 0.002 重量%至 0.08 重量%的氯化物中的至少一种。

[0027] 在本发明的电波吸收材料中,包含硫化物 :以 SO_3 换算的 0.002 重量%至 0.095 重量%、氯化物 :以 Cl 换算的 0.002 重量%至 0.08 重量%中的至少一种作为副成分,因而可以提供在高水平的电波吸收性能具有小的离散度的烧结体。

[0028] 本发明的电波吸收材料的特征在于包含 0.002 重量%至 0.3 重量%的 SiO_2 、0.003 重量%至 0.3 重量%的 CaO 中的至少一种。

[0029] 在本发明的电波吸收材料中,包含 SiO_2 :0.002 重量%至 0.3 重量%、CaO :0.003 重量%至 0.3 重量%中的至少一种作为副成分。在电波吸收材料的烧结体的切削加工时发生缺损 (チップイング) 的情况下,电波吸收性能发生局部离散,因而优选少发生缺损。通过

包含 SiO_2 和 / 或 CaO , 能够抑制切削加工过程中缺损的发生。

[0030] 本发明的电波吸收材料的特征在于, 在包含 SiO_2 和 CaO 两者的情况下, 两者的总量为 0.5 重量%以下。

[0031] 在本发明的电波吸收材料中, 通过将 SiO_2 和 CaO 的总量设定为 0.5 重量%以下, 能够抑制切削加工过程中缺损的发生。

[0032] 本发明的电波吸收材料的特征在于包含以 P_2O_5 换算的 0.001 重量%至 0.08 重量%的磷化合物。

[0033] 在本发明的电波吸收材料中, 包含磷化合物: 以 P_2O_5 换算的 0.001 重量%至 0.08 重量%作为副成分, 因而能够提高烧结性, 并且即使在烧结大型成型体的情况下也可以进行稳定的烧结。

[0034] 本发明的电波吸收体的特征在于, 其由上述电波吸收材料形成。

[0035] 本发明的电波吸收体采用具有上述组成的电波吸收材料来制备。因此, 得到成本低、可靠性优异并具有高的电波吸收性能的电波吸收体。

[0036] 本发明的电波吸收体的特征在于, 其在 8mm 以下的厚度下对 30MHz 电波的反射系数为 -20dB 以下。

[0037] 在本发明的电波吸收体中, 在 8mm 以下的厚度下对 30MHz 电波的反射系数为 -20dB 以下。因此, 即使其厚度薄也可以得到低的反射系数 (高的吸收性能)。

[0038] 发明的效果

[0039] 根据本发明可以获得具有高强度和高湿度稳定性, 且电波吸收性能与 Ni-Cu-Zn 系铁氧体烧结体等同或更佳的便宜的电波吸收材料。因此, 通过使用采用该电波吸收材料制备的电波吸收体, 可以以低成本建造具有与现有的暗室等同或更佳的性能的电波暗室。

附图说明

[0040] [图 1] 是示出实施例 1 ~ 7 以及比较例 1 和 2 的电波吸收材料中的组成比和反射系数的表。

[0041] [图 2] 是示出实施例 8 ~ 11 以及比较例 3 和 4 的电波吸收材料中的组成比和反射系数的表。

[0042] [图 3] 是示出实施例 12 ~ 14 以及比较例 5 和 6 的电波吸收材料中的组成比和反射系数的表。

[0043] [图 4] 是示出实验例 A、B 和 C 的电波吸收材料的组成比的表。

[0044] [图 5] 是示出实验例 A、B 和 C 中的 CoO 的重量%和反射系数的关系的图。

[0045] [图 6] 是示出实施例 15 ~ 29 和比较例 7 ~ 15 的电波吸收材料中的组成比、反射系数和烧结体晶体的平均粒径的表。

[0046] [图 7] 是示出实施例 30 ~ 37 和比较例 16 ~ 21 的电波吸收材料中的组成比、反射系数、电波吸收性能的离散度和烧结体晶体的平均粒径的表。

[0047] [图 8] 是示出实施例 38 ~ 46 和比较例 22 ~ 29 的电波吸收材料中的组成比、反射系数、抗弯强度和缺损程度的表。

[0048] [图 9] 是示出实施例 47 ~ 50 和比较例 30 ~ 32 的电波吸收材料中的组成比、反射系数、烧结体的相对密度、级间特征离散度和抗弯强度的表。

[0049] [图 10] 是示出实施例的电波吸收材料中的温度和反射系数的关系的图。

[0050] 本发明的最佳实施方式

[0051] 本发明的电波吸收材料由焙烧铁氧体成型体而获得,所述铁氧体成型体通过调节作为主成分的 Fe、Mn、Zn、Li 各成分使其为以各自的氧化物换算的 Fe_2O_3 :30 摩尔%至 49.5 摩尔%、 Mn_2O_3 :0.5 摩尔%至 20 摩尔%、 ZnO :5 摩尔%至 35 摩尔%、 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$:0.2 摩尔%至 15 摩尔%、 MnO :剩余部分的比率,再加入 CoO :0.1 重量%至 2 重量%而形成。

[0052] 另外,在上述主成分的组成中,部分 ZnO 可以被 20 摩尔%以下的 CuO 置换。

[0053] 下文将说明各氧化物组成的数值限定的理由。

[0054] (Fe_2O_3 :30 摩尔%至 49.5 摩尔%)

[0055] 在 Fe_2O_3 低于 30 摩尔%的情况下,由于 Tc(居里温度)变低而不实用。另一方面,在 Fe_2O_3 超过 49.5 摩尔%的情况下,材料的电阻率降低,随着电阻率的降低介电常数增加,因而电波吸收性能变差。

[0056] (Mn_2O_3 :0.5 摩尔%至 20 摩尔%)

[0057] 在由金属氧化物构成的尖晶石型铁氧体材料中,通常使三价金属氧化物与二价金属氧化物的比例相同。因此,由于在本发明的组成中,将三价金属氧化物 Fe_2O_3 和 Mn_2O_3 混合,使得其总量为 50 摩尔%,因此根据 Fe_2O_3 量来确定 Mn_2O_3 的量。由于 Fe_2O_3 的量如前所述为 30 摩尔%至 49.5 摩尔%,基于此, Mn_2O_3 的量为 0.5 摩尔%至 20 摩尔%。

[0058] (ZnO :5 摩尔%至 35 摩尔%)

[0059] 在 ZnO 低于 5 摩尔%的情况下,随着 Tc 升高, μ' (复数相对磁导率的实部)升高,因而电波吸收性能变差。另一方面,在 ZnO 超过 35 摩尔%的情况下, μ'' (复数相对磁导率的虚部)降低,因而不能得到充分的电波吸收效果。

[0060] ($(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$:0.2 摩尔%至 15 摩尔%)

[0061] 在 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$ 低于 0.2 摩尔%的情况下, μ'' 降低,因而不能得到充分的电波吸收性能。另一方面,在 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$ 超过 1.5 摩尔%的情况下,随着 Tc 的升高, μ' 升高,因而电波吸收性能变差。

[0062] (CuO :20 摩尔%以下)

[0063] 为了进行低温烧结,可以用 CuO 置换 ZnO 。但是,在超过 20 摩尔%置换的情况下,不能得到充分的电波吸收效果,因而置换量的上限为 20 摩尔%。

[0064] (MnO :剩余部分)

[0065] 对应于前述的 Fe_2O_3 、 Mn_2O_3 、 ZnO 、 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$ 、 CuO 的各确定量来包含 MnO 作为剩余部分,以使 Fe_2O_3 、 Mn_2O_3 、 ZnO 、 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$ 、 CuO 和 MnO 的总量为 100 摩尔%。

[0066] (CoO :0.1 重量%至 2 重量%)

[0067] 在 CoO 低于 0.1 重量%的情况下,不能得到高的 μ'' ,因而不能得到充分的电波吸收效果。另一方面,在 CoO 超过 2 重量%的情况下, μ' 升高,而使电波吸收性能变差。

[0068] 具有上述组成的电波吸收材料中包含:0.001 重量%至 0.5 重量%的 Al_2O_3 、0.005 重量%至 1.0 重量%的 NiO 、0.005 重量%至 0.4 重量%的 Cr_2O_3 中的至少一种;以 SO_3 换算的 0.002 重量%至 0.095 重量%的硫化物,以 Cl 换算的 0.002 重量%至 0.08 重量%的氯化物中的至少一种;0.002 重量%至 0.3 重量%的 SiO_2 、0.003 重量%至 0.3 重量%的 CaO 中的至少一种;以及以 P_2O_5 换算的 0.001 重量%至 0.08 重量%的磷化合物。下文将说

明所添加的这些副成分的数值（重量%）限定的理由。

[0069] (Al_2O_3 :0.001 重量%至 0.5 重量%、 NiO :0.005 重量%至 1.0 重量%、 Cr_2O_3 :0.005 重量%至 0.4 重量%)

[0070] 通过包含上述数值范围的各副成分,能够在 18℃至 30℃的宽温度范围内得到 -20dB 以下的良好的反射系数。在任何这些副成分的含量低于上述下限值的情况下,不能得到该效果。另一方面,在任何这些副成分的含量超过上述上限值的情况下,材料的晶体粒径变微细,从而其磁性特性变差。

[0071] (硫化物:以 SO_3 换算的 0.002 重量%至 0.095 重量%、氯化物:以 Cl 换算的 0.002 重量%至 0.08 重量%)

[0072] 通过包含上述数值范围的各副成分能够得到在高水平的电波吸收特性具有小的离散度的烧结体。在任何这些副成分的含量低于上述下限值的情况下,得不到该效果。另一方面,在任何这些副成分的含量超过上述上限值的情况下,材料的晶体粒径变微细,并且随着 μ' 的升高,其电波吸收特性变差。

[0073] (SiO_2 :0.002 重量%至 0.3 重量%、 CaO :0.003 重量%至 0.3 重量%)

[0074] 通过包含上述数值范围的副成分能够抑制烧结体的切削加工时缺损的发生。在任何这些副成分的含量低于上述下限值的情况下,得不到该效果。另一方面,在任何这些副成分的含量超过上述上限值的情况下,晶界相的厚度增加并且晶体粒径变微细,因而所述材料最终形成显著发生晶界破坏的结构,从而电波吸收材料的强度降低。

[0075] (SiO_2+CaO :0.5 重量%以下)

[0076] 通过将 SiO_2 和 CaO 的总量设定为上述数值范围能够抑制缺损的发生。在总量超过上述上限值的情况下,晶界相的厚度增加并且晶体粒径变微细,因而所述材料最终形成显著发生晶界破坏的结构,从而电波吸收材料的强度降低。

[0077] (磷化合物:以 P_2O_5 换算的 0.001 重量%至 0.08 重量%)

[0078] 通过包含上述数值范围的磷化合物能够提高材料的烧结性。在磷化合物的含量低于上述下限值的情况下,不能得到该效果。另一方面,在磷化合物的含量超过上述上限值的情况下,晶体粒径的生长是不均匀的并且过度进行,即发生异常晶粒生长,因而引起软磁性特性变差和机械强度降低。

[0079] 然而,由于本发明的上述各副成分的含量较少,因而不存在如专利文献 6、7 中记载的强度和湿度稳定性的问题,从而得到具有高强度和高湿度稳定性的电波吸收材料。

[0080] 下面将制备使各金属氧化物的组成比变化的各种实施例、比较例的电波吸收材料,并说明由所制备的电波吸收材料形成的电波吸收体的性能(反射系数)的测定结果。下文描述了这些实施例、比较例中的电波吸收材料的制备条件和性能(反射系数)测定条件。

[0081] 将原料粉末混合以便最终得到下文所述的组成比,将粉末于 850℃在空气中煅烧 3 小时。所得的煅烧粉用球磨机进行湿磨,然后使其干燥。向干燥后所得的粉末中添加 7 重量%聚乙烯醇溶液使其占 14 重量%,并得到造粒粉,该造粒粉以 1.5ton/cm² 成型为直径 62mm× 厚度 10mm 的圆板状。将所得成型体在空气中以 150℃/ 小时以下的速率升温到 1300℃并保持该温度 3 小时。然后,将空气转换为氮气气氛,并以 200℃/ 小时以下的速率降温到室温。从所得的板状烧结体切出外径约 39mm× 内径约 17mm× 厚度 6.7mm 的环状试

验片,用网络分析仪测定试验片的阻抗。

[0082] 在以厚度 6.7mm 进行阻抗匹配的试验片的情况下,将该试验片直接插入同轴管中,用网络分析仪测定对 30MHz 电波的反射系数的大小。在未以厚度 6.7mm 进行阻抗匹配的试验片中,将匹配厚度超过 6.7mm 的试验片直接插入同轴管中,将能够以小于 6.7mm 的厚度被匹配的试验片进一步进行磨削加工使其具有匹配厚度后,将该试验片插入同轴管中,用网络分析仪测定对 30MHz 电波的反射系数的大小

[0083] 图 1 是示出实施例 1 ~ 7 以及比较例 1 和 2 的电波吸收材料中的各金属氧化物的组成比和测定的对 30MHz 电波的反射系数的表。在这些实施例 1 ~ 7 以及比较例 1 和 2 的组合中,使 Fe_2O_3 的组成比不同。

[0084] 在满足 Fe_2O_3 :30 摩尔%至 49.5 摩尔%的条件的全部实施例 1 ~ 7 中,都能够达到 -20dB 以下的反射系数。与此相反,在 Fe_2O_3 的组成比为 26 摩尔%的比较例 1 中, T_c (居里温度) 低于 R. T. (室温)。此外,在 Fe_2O_3 的组成比为 51 摩尔%的比较例 2 中,反射系数为 -16dB,电波吸收性能低。认为这是由于材料的电阻率降低,介电常数增加引起的。

[0085] 图 2 是示出实施例 8 ~ 11 以及比较例 3 和 4 的电波吸收材料中的各金属氧化物的组成比和测定的对 30MHz 电波的反射系数的表。在这些实施例 8 ~ 11 以及比较例 3 和 4 的组合中,使 ZnO 的组成比不同。

[0086] 在满足 ZnO:5 摩尔%至 35 摩尔%的条件的全部实施例 8 ~ 11 中,都能够达到 -20dB 以下的反射系数。与此相反,在 ZnO 的组成比为 2 摩尔%的比较例 3 中,反射系数为 -14dB,电波吸收性能低。认为这是由于 T_c 升高, μ' 升高引起的。此外,在 ZnO 的组成比为 37 摩尔%的比较例 4 中, T_c 低于 R. T.。

[0087] 图 3 是示出实施例 12 ~ 14 以及比较例 5 和 6 的电波吸收材料中的各金属氧化物的组成比和测定的对 30MHz 电波的反射系数的表。在这些实施例 12 ~ 14 以及比较例 5 和 6 的组合中,使 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$ 的组成比不同。

[0088] 在满足 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$:0.2 摩尔%至 15 摩尔%的条件的全部实施例 12 ~ 14 中,都能够达到 -20dB 以下的反射系数。与此相反,在 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$ 的组成比为 0 摩尔%的比较例 5 中, T_c 低于 R. T.。此外,在 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$ 的组成比为 17 摩尔%的比较例 6 中,反射系数为 -16dB,从而仅得到低的电波吸收性能。认为这是由于 T_c 升高且 μ' 升高引起的。

[0089] 图 4 是示出实验例 A、B 和 C 的电波吸收材料中的各金属氧化物的组成比的表。此外,图 5 是示出在使实验例 A、B 和 C 中的 CoO 的重量%变化的情况下 CoO 的重量%与测定的对 30MHz 电波的反射系数的关系的图。

[0090] 在主成分的组成不同的实验例 A、B 和 C 中,反射系数对 CoO 重量%的依赖性倾向于不同,但是在本发明的主成分的组成范围内,发现当 CoO 的重量%为 0.1 重量%至 2 重量%时得到最低的反射系数 (最良好的电波吸收性能)。

[0091] 如上所述,在满足本发明的组成比的条件的实施例 1 ~ 14 中,所有电波吸收材料的反射系数均为 -20dB 以下,并且发现通过本发明得到了具有优异电波吸收性能的铁氧体烧结材料。此外,虽然描述了对 30MHz 电波的反射系数,但是得到了对用于电波暗室所要求的例如 30MHz 至几百 MHz 的频带的电波的优异电波吸收性能 (-20dB 以下的反射系数)。

[0092] 因此,在上述实施例 1 ~ 14 的全部电波吸收材料中,能够确定 μ' (复数相对磁导率的实部) 为 50 以下并且 μ'' (复数相对磁导率的虚部) 为 200 以上,从而所述材料具有

作为良好电波吸收材料的特性。

[0093] 下面将制备使副成分的含量重量%变化的各种实施例和比较例的电波吸收材料,并说明由所制备的电波吸收材料形成的各种电波吸收体的特性的测定结果。这些实施例和比较例中的电波吸收材料的制备条件和反射系数的测定条件与上述条件相同。

[0094] 图6是示出实施例15~29和比较例7~15的电波吸收材料中的组成比、在18℃至30℃下对30MHz电波的反射系数和烧结体晶体的平均粒径的表。在这些实施例15~29和比较例7~15的组合中,使 Al_2O_3 、NiO、 Cr_2O_3 中至少一种的含量(重量%)不同。

[0095] 在满足 Al_2O_3 :0.001重量%至0.5重量%、NiO:0.005重量%至1.0重量%、 Cr_2O_3 :0.005重量%至0.4重量%的条件的全部实施例中,发现当电波暗室内的平均温度设置为25℃时,在18℃至30℃的宽温度范围内维持-20dB以下的良好反射系数。与此相反,在各比较例中,存在不能得到-20dB以下的反射系数的温度范围。

[0096] 图7是示出实施例30~37和比较例16~21的电波吸收材料中的组成比、对30MHz电波的反射系数、电波吸收性能的离散度和烧结体晶体的平均粒径的表。在这些实施例30~37和比较例16~21的组合中,使硫化物、氯化物中的至少一种的含量(以 SO_3 换算的重量%、以Cl换算的重量%)不同。

[0097] 如下文所述测量电波吸收性能的离散度。基于同时烧结的30个烧结体中的反射系数的最高值和最低值的差来评价烧结体间的电波吸收性能的离散度的大小。具体地,在反射系数的最高值和最低值的差为2dB以下的情况下,电波吸收性能的离散度被评价为小(图7中的○),并且在差超过2dB的情况下,电波吸收性能的离散度被评价为大(图7中的×)。

[0098] 在满足硫化物:以 SO_3 换算的0.002重量%至0.095重量%、氯化物:以Cl换算的0.002重量%至0.08重量%的条件的全部实施例中,均能够达到-20dB以下的良好反射系数,并且发现电波吸收性能(反射系数)的离散度也小。与此相反,在比较例中,不能得到-20dB以下的反射系数,或即使得到了这样的反射系数,但电波吸收性能(反射系数)的离散度变大。

[0099] 图8是示出实施例38~46和比较例22~29的电波吸收材料中的组成比、对30MHz电波的反射系数、抗弯强度和缺损程度的表。在这些实施例38~46和比较例22~29的组合中,使 SiO_2 、CaO中的至少一种的含量(重量%)不同。

[0100] 抗弯强度是按照JIS-R1601的三点弯曲试验的测量的结果。另外,关于缺损程度,用带有#120磨石的双面磨削机在试验片的厚度方向进行加工时,在试验片端部产生的缺损的大小为低于5mm的情况下,将缺损评价为小(图8中的○),在该大小为5mm以上的情况下,将缺损评价为大(图8中的×)。

[0101] 在包含 SiO_2 或CaO中的任何一种并且满足 SiO_2 :0.002重量%至0.3重量%、CaO:0.003重量%至0.3重量%的条件的全部实施例38~44中,发现能够达到-20dB以下的良好反射系数,并且在具有约140MPa至约160MPa的高抗弯强度的同时,在磨削加工过程中时也几乎观察不到缺损。与此相反,在包含上述范围外的 SiO_2 或CaO中的任何一种的各比较例22~25中,不能得到-20dB以下的反射系数,或即使得到该反射系数但在磨削加工时也产生大的缺损。

[0102] 此外,在包含 SiO_2 和CaO两者并且满足其总量为0.5重量%以下的条件的实施例

45 和 46 中,能够达到 -20dB 以下的良好的反射系数,并且在具有约 140MPa 至约 160MPa 的高抗弯强度的同时,在磨削加工过程中时几乎观察不到缺损。与此相反,在 SiO_2 和 CaO 的总量超过 0.5 重量%的比较例 27 ~ 29 中,不能得到 -20dB 以下的反射系数。此外,即使 SiO_2 和 CaO 的总量为 0.5 重量%以下,在 SiO_2 、 CaO 的含量在上述范围之外的比较例 26 中,磨削加工过程中也会发生大的缺损。

[0103] 图 9 是示出实施例 47 ~ 50 和比较例 30 ~ 32 的电波吸收材料中的组成比、对 30MHz 的电波的反射系数、烧结体的相对密度、级间特征离散度和抗弯强度的表。在这些实施例 47 ~ 50 和比较例 30 ~ 32 的组合中,使磷化合物的含量(以 P_2O_5 换算的重量%)不同。

[0104] 通过比较所得烧结体的相对密度能够评价烧结性。更具体地,在相对密度为 98% 以上的情况下,烧结性能够被评价为良好,在相对密度低于 98% 的情况下,烧结性能够被评价为差。

[0105] 根据下文所述方法评价级间特征离散度(烧结体的性能离散度)。通过将均由耐火物制成的尺寸为 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times$ 厚度 5mm 的板和尺寸为 $15\text{mm} \times 15\text{mm} \times 15\text{mm}$ 的隔板组合而在炉内形成五级烧结架,将以 $1.5\text{ton}/\text{cm}^2$ 成型为直径 $62\text{mm} \times$ 厚度 10mm 的圆板状而得到的成型体置于每一级上,并将成型体在前述条件下焙烧。然后,用与前述同样的方法切出环状试验片并测量其阻抗。此外,在前述测量条件下测量对 30MHz 电波的反射系数的大小,并且比较和评价在各级得到的烧结体的反射系数的离散度。在试验片的匹配厚度超过 6.7mm 的情况下,将 6.7mm 处的测定值用于进行比较;在试验片的匹配厚度低于 6.7mm 的情况下,将其进行磨削加工使得其具有匹配厚度,并且将该厚度下的测定值用于进行比较。更具体地,基于在五级烧结架中同时焙烧得到的 5 个烧结体中反射系数的最高值和最低值的差来评价测定值(反射系数)的离散度,在该差低于 2dB 的情况下,将离散度评价为小,在该差为 2dB 以上的情况下,将离散度评价为大。

[0106] 与前述实例同样,抗弯强度是按照 JIS-R1601 的三点弯曲试验的测量结果。

[0107] 在满足包含磷化合物:以 P_2O_5 换算的 0.001 重量%至 0.08 重量%的条件的全部实施例中,均能够达到 -20dB 以下的良好的反射系数。此外,由于包含适量的磷化合物,因而达到了相对密度为 98% 以上的优异的烧结性。此外,级间的反射系数的离散度也低于 2dB ,因而离散度小。此外,抗弯强度能够得到 150MPa 以上的高值。与此相反,在各比较例中,烧结性差,抗弯强度低,并且级间的反射系数的离散度大。

[0108] 作为本发明的另一实施例,含有 Fe_2O_3 :41.5 摩尔%、 Mn_2O_3 :8.5 摩尔%、 MnO :24.1 摩尔%、 ZnO :19.7 摩尔%、 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$:2.7 摩尔%和 CuO :3.5 摩尔%的主成分,还含有 CoO :0.67 重量%、 Cr_2O_3 :0.028 重量%、硫化物:以 SO_3 换算的 0.065 重量%、 SiO_2 :0.013 重量%、磷化合物:以 P_2O_5 换算的 0.026 重量%的副成分的电波吸收材料在 18°C 至 30°C 的宽温度范围内具有 -20dB 以下的良好的反射系数,烧结稳定性良好,不存在性能离散以及切削加工时发生缺损的问题,从而能够达到优异的电波吸收性能和优异的制备稳定性。

[0109] 另外,包含上述预定范围内的 Al_2O_3 、 NiO 、 Cr_2O_3 、硫化物、氯化物、 SiO_2 、 CaO 、磷化合物中的全部化合物作为副成分的电波吸收材料能够达到下列全部效果:在 18°C 至 30°C 的宽温度范围内具有 -20dB 以下的良好的反射系数;高水平电波吸收特性下的小的离散度;抑制缺损发生;以及大型成型体的稳定煅烧。

[0110] 作为本发明的另一实施例,制备了含有 Fe_2O_3 :45.2 摩尔%、 Mn_2O_3 : 4.8 摩尔%、 MnO :29.8 摩尔%、 ZnO :19.1 摩尔%、 $(\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$:1.1 摩尔%的主成分,还含有 CoO :0.55 重量%、 Al_2O_3 :0.006 重量%、 NiO :0.012 重量%、 Cr_2O_3 :0.013 重量%的副成分,并且平均粒径 $13\ \mu\text{m}$ 的电波吸收材料,并在 10°C 至 40°C 的温度范围内测量由所制备的电波吸收材料形成的电波吸收体对 30MHz 电波的反射系数。其测定结果如图 10 所示。如图 10 所示,该实施例在 10°C 至 40°C 的宽温度范围内具有 -20dB 以下的良好的反射系数。

	组成 (摩尔%)						CoO (重量%)	反射系数 (dB)
	Fe ₂ O ₃ (除去Li)	Mn ₂ O ₃	MnO	ZnO	(Li _{0.5} Fe _{0.5})O	CuO		
实施例1	38.3	11.7	24.1	19.7	2.7	3.5	0.67	-21
实施例2	40.0	10.0	24.1	19.7	2.7	3.5	0.60	-27
实施例3	41.5	8.5	24.1	19.7	2.7	3.5	0.67	-24
实施例4	43.0	7.0	24.1	19.7	2.7	3.5	0.84	-23
实施例5	45.2	4.8	20.9	22.7	2.9	3.5	0.67	-23
实施例6	45.4	4.6	28.3	21.2	0.5	0.0	0.5	-23
实施例7	47.5	2.5	28.1	21.0	0.9	0.0	0.57	-21
比较例1	26.0	24.0	24.1	19.7	2.7	3.5	0.20	T _c <R. T.
比较例2	51.0	0	23.1	19.7	2.7	3.5	0.85	-16

图 1

	组成(摩尔%)						CoO (重量%)	反射系数 (dB)
	Fe ₂ O ₃ (除去Li)	Mn ₂ O ₃	MnO	ZnO	(Li _{0.5} Fe _{0.5})O	CuO		
实施例8	41.5	8.5	27.2	17.9	1.4	3.5	0.64	-23
实施例9	41.5	8.5	25.0	20.1	1.4	3.5	0.54	-22
实施例10	43.0	7.0	24.1	20.9	1.4	3.5	0.67	-25
实施例11	45.2	4.8	20.9	22.7	2.9	3.5	0.67	-23
比较例3	30.0	20.0	43.1	2.0	1.4	3.5	0.20	-14
比较例4	49.5	0.5	8.1	37	1.4	3.5	0.80	Tc<R. T.

图 2

	组成(摩尔%)						CoO (重量%)	反射系数 (dB)
	Fe ₂ O ₃ (除去Li)	Mn ₂ O ₃	MnO	ZnO	(Li _{0.5} Fe _{0.5})O	CuO		
实施例12	41.5	8.5	25.0	20.1	1.4	3.5	0.54	-22
实施例13	41.5	8.5	24.1	19.7	2.7	3.5	0.60	-24
实施例14	41.5	8.5	20.0	21.2	5.3	3.5	0.80	-22
比较例5	41.5	8.5	17.6	29.0	0.0	3.5	0.67	Tc<R. T.
比较例6	38.3	11.7	5.2	24.3	17.0	3.5	0.45	-16

图 3

	组成(摩尔%)						CoO (重量%)
	Fe ₂ O ₃ (除去Li)	Mn ₂ O ₃	MnO	ZnO	(Li _{0.5} Fe _{0.5})O	CuO	
实验例A	41.5	8.5	25.0	20.1	1.4	3.5	0~1
实验例B	45.2	4.8	20.9	22.7	2.9	3.5	0~1.5
实验例C	45.4	4.6	31.3	18.2	0.5	0	0.3~1.3

图 4

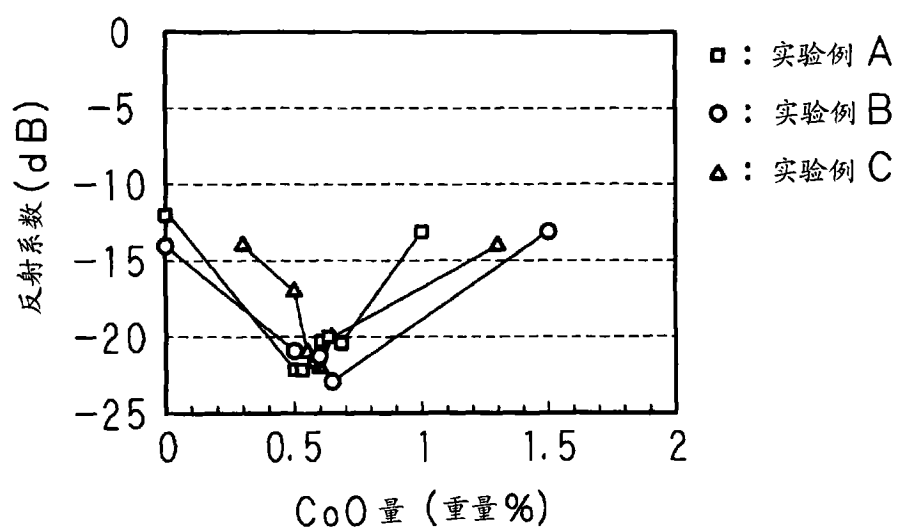


图 5

	组成(摩尔%)							CoO (重量%)	Al ₂ O ₃ (重量%)	NiO (重量%)	Cr ₂ O ₃ (重量%)	反射系数(dB)			平均 粒径 (μm)
	Fe ₂ O ₃ (除去Li)	Mn ₂ O ₃	MnO	ZnO	(Li _{0.5} Fe _{0.5})O	CuO	18℃					25℃	30℃		
实施例15	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0.0015	0	0	0	-21	-24	-23	13
实施例16	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0.0521	0	0	0	-21	-23	-23	13
实施例17	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0.1830	0	0	0	-22	-23	-22	13
实施例18	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0.4722	0	0	0	-22	-22	-23	12
比较例 7	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0.0008	0	0	0	-16	-24	-22	15
比较例 8	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0.5277	0	0	0	-16	-18	-16	7
实施例19	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0	0.0052	0	0	-21	-23	-23	13
实施例20	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0	0.1199	0	0	-21	-23	-23	13
实施例21	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0	0.7261	0	0	-22	-23	-22	13
实施例22	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0	0.9880	0	0	-20	-22	-20	12
比较例 9	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0	0.0041	0	0	-16	-23	-22	14
比较例10	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0	1.2210	0	0	-14	-17	-16	7
实施例23	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0	0	0.0057	0	-22	-24	-23	13
实施例24	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0	0	0.0950	0	-22	-23	-22	13
实施例25	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0	0	0.3550	0	-21	-21	-20	11
比较例11	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0	0	0.0044	0	-17	-23	-23	14
比较例12	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0	0	0.4105	0	-16	-16	-17	6
实施例26	48.5	1.5	20.1	23.7	2.7	3.5	1.20	0.0612	0.0100	0.0420	0	-20	-23	-22	13
实施例27	41.5	8.5	24.1	19.7	2.7	3.5	0.67	0	0.0107	0.0282	0	-21	-25	-23	14
实施例28	41.5	8.5	24.1	19.7	2.7	3.5	0.67	0.4155	0	0.3782	0	-22	-24	-23	12
实施例29	41.5	8.5	24.1	19.7	2.7	3.5	0.67	0.0351	0.9652	0	0	-20	-23	-21	14
比较例13	41.5	8.5	24.1	19.7	2.7	3.5	0.67	0	0.0030	0.0010	0	-17	-25	-23	15
比较例14	41.5	8.5	24.1	19.7	2.7	3.5	0.67	0.4820	0	0.9500	0	-15	-16	-12	4
比较例15	41.5	8.5	24.1	19.7	2.7	3.5	0.67	0	1.0330	0.5120	0	-17	-15	-14	5

图 6

	组成(摩尔%)						CoO (重量%)	SO ₃ (重量%)	Cl (重量%)	反射系数 (dB)	性能离散度 O: 小(≤ 2 dB) x: 大(> 2 dB)	平均 粒径 (μm)
	Fe ₂ O ₃ (除去Li)	Mn ₂ O ₃	MnO	ZnO	(Li _{0.5} Fe _{0.5})O	CuO						
实施例30	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0.0020	0	-21	O	17
实施例31	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0.0223	0	-21	O	17
实施例32	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0.0920	0	-20	O	15
比较例16	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0.0016	0	-21	x	18
比较例17	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0.1022	0	-18	O	11
实施例33	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0	0.0023	-22	O	17
实施例34	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0	0.0455	-21	O	16
实施例35	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0	0.0789	-20	O	16
比较例18	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0	0.0012	-21	x	17
比较例19	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0	0.0930	-16	O	10
实施例36	41.5	8.5	24.1	19.7	2.7	3.5	0.67	0.0366	0.0080	-24	O	16
实施例37	41.5	8.5	24.1	19.7	2.7	3.5	0.67	0.0891	0.0776	-22	O	15
比较例20	41.5	8.5	24.1	19.7	2.7	3.5	0.67	0.0010	0.0011	-21	x	17
比较例21	41.5	8.5	24.1	19.7	2.7	3.5	0.67	0.0992	0.0817	-14	O	8

图 7

	组成(摩尔%)						CoO (重量%)	SiO ₂ (重量%)	CaO (重量%)	反射 系数 (dB)	抗弯 强度 (MPa)	缺损 O: 小(缺口<5mm) x: 大(缺口≥5mm)
	Fe ₂ O ₃ (除去Li)	Mn ₂ O ₃	MnO	ZnO	(Li _{0.5} Fe _{0.5})O	CuO						
实施例38	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0.0020	0	-22	159	○
实施例39	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0.0421	0	-21	157	○
实施例40	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0.1050	0	-20	150	○
实施例41	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0.2933	0	-20	146	○
比较例22	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0.0010	0	-22	191	x
比较例23	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0.3300	0	-18	114	○
实施例42	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0	0.0032	-22	157	○
实施例43	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0	0.1777	-21	148	○
实施例44	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0	0.2820	-20	144	○
比较例24	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0	0.0017	-21	189	x
比较例25	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0	0.3202	-17	109	○
实施例45	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0.0145	0.0116	-21	154	○
实施例46	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0.2218	0.2692	-20	140	○
比较例26	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0.0015	0.0012	-21	182	x
比较例27	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0.2850	0.2520	-17	121	○
比较例28	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	0.4300	0.5200	-16	100	○
比较例29	41.5	8.5	20.0	19.3	7.2	3.5	1.05	2.0100	0.2000	-13	91	○

图 8

	组成(摩尔%)						CoO (重量%)	P ₂ O ₅ (重量%)	反射 系数 (dB)	相对密度(%)	级间特征 离散度 (dB)	抗弯强度 (MPa)
	Fe ₂ O ₃ (除去Li)	Mn ₂ O ₃	MnO	ZnO	(Li _{0.5} Fe _{0.5})O	CuO						
实施例47	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0.0012	-21	98.2	1.7	169
实施例48	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0.0101	-22	98.1	1.5	166
实施例49	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0.0359	-21	98.6	1.5	170
实施例50	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0.0780	-20	98.6	1.2	155
比较例30	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0.0003	-20	95.5	2.9	132
比较例31	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0.0831	-18	94.1(异常晶粒)	2.6	126
比较例32	41.5	8.5	22.4	20.5	3.6	3.5	0.75	0.1280	-15	92.3(异常晶粒)	2.9	102

图 9

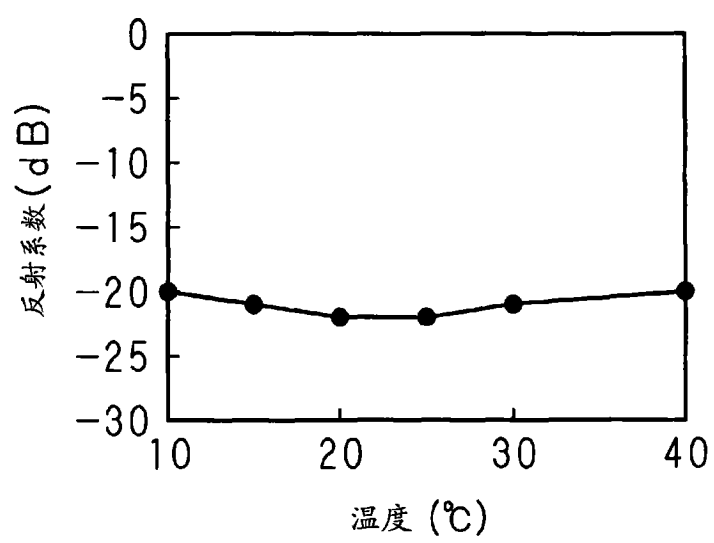


图 10