(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 117476332 A
(43)申请公布日 2024.01.30

(21)申请号 202310928103.3

(22)申请日 2023.07.26

(30)优先权数据
2022-119673 2022.07.27 JP

(71)申请人 TDK株式会社
地址 日本东京都

(72)发明人 吉留和宏 荒健辅

(74)专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322
专利代理师 杨琦 池兵

(51)Int.Cl.
H01F 27/255(2006.01)
H01F 27/34(2006.01)

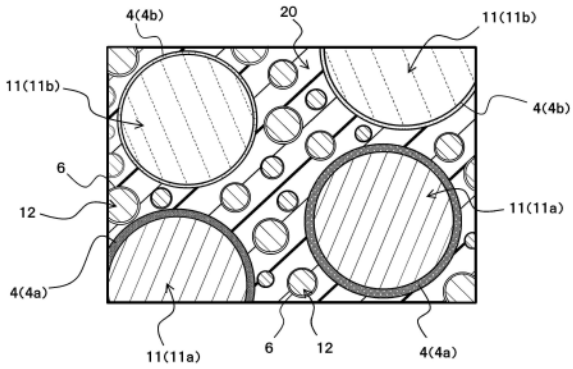
权利要求书1页 说明书40页 附图8页

(54)发明名称

磁芯和磁性部件

(57)摘要

本发明提供能够使低磁芯损耗和良好的直流叠加特性兼得的磁芯和磁性部件。磁芯中，金属磁性颗粒占截面的75％以上90％以下的面积。金属磁性颗粒包含：在磁芯的截面中的海伍德直径为3μm以上的、含有结晶质金属材料的第一大颗粒；和在磁芯的截面中的海伍德直径为3μm以上的、具有纳米结晶结构或非晶结构的第二大颗粒，第一大颗粒的绝缘覆膜比第二大颗粒的绝缘覆膜厚。



CN 117476332 A

1.一种磁芯,其为包含金属磁性颗粒的磁芯,其中,

所述金属磁性颗粒在所述磁芯的截面中所占的合计面积比例为75%以上90%以下,

所述金属磁性颗粒包含:

在所述磁芯的截面中的海伍德直径为3μm以上的、含有结晶质金属材料的第一大颗粒;和

在所述磁芯的截面中的海伍德直径为3μm以上的、具有纳米结晶结构或非晶结构的第二大颗粒,

所述第一大颗粒的绝缘覆膜比所述第二大颗粒的绝缘覆膜厚。

2.根据权利要求1所述的磁芯,其中,

当设所述第一大颗粒的所述绝缘覆膜的平均厚度为T1,设所述第二大颗粒的所述绝缘覆膜的平均厚度为T2时,T1/T2为1.3以上50以下。

3.根据权利要求1或2所述的磁芯,其中,

所述第二大颗粒的所述绝缘覆膜的平均厚度T2为5nm以上50nm以下。

4.根据权利要求1或2所述的磁芯,其中,

所述金属磁性颗粒包含在所述磁芯的截面中的海伍德直径小于3μm的颗粒组,

海伍德直径小于3μm的所述颗粒组包含覆膜的组成不同的2种以上的小颗粒。

5.一种磁性部件,其具有权利要求1或2所述的磁芯。

磁芯和磁性部件

技术领域

[0001] 本发明涉及包含金属磁性粉末的磁芯、和具有该磁芯的磁性部件。

背景技术

[0002] 已知有具有包含金属磁性粉末和树脂的磁芯(压粉磁芯)的、电感器、变压器、扼流线圈等磁性部件。对于这样的磁性部件,为了提高磁导率等各种特性,进行了各种尝试。

[0003] 例如,在专利文献1和2中公开了如下内容:通过使用将结晶质的合金粉末和非晶质的合金粉末混合而得到的金属磁性粉末,磁芯中的金属磁性粉末的填充率提高,能够改善磁导率和磁芯损耗(磁损耗)。

[0004] 另外,在专利文献3中公开了如下内容:通过使用粒径不同的两种金属磁性粉末,并将两种金属磁性粉末的粒径比调整到规定的范围,能够得到以高密度填充有金属磁性粉末的磁芯,磁导率提高。

[0005] 近年来,磁性部件的小型化、高效率化和节能化的要求变高,需要使磁芯损耗和直流叠加特性兼得并使它们提高。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1:日本特开2004-197218号公报

[0009] 专利文献2:日本特开2004-363466号公报

[0010] 专利文献3:日本特开2011-192729号公报

发明内容

[0011] 发明要解决的技术问题

[0012] 本发明是鉴于上述的实际情况而做出的,本发明的例示性的实施方式的目的在于,提供能够使低磁芯损耗和良好的直流叠加特性兼得的磁芯、和具有该磁芯的磁性部件。

[0013] 用于解决技术问题的手段

[0014] 为了实现上述目的,本发明提供一种磁芯,其为包含金属磁性颗粒的磁芯,其中,

[0015] 所述金属磁性颗粒在所述磁芯的截面中所占的合计面积比例为75%以上90%以下,

[0016] 所述金属磁性颗粒包含:

[0017] 在所述磁芯的截面中的海伍德直径为3μm以上的、含有结晶质金属材料的第一大颗粒;和

[0018] 在所述磁芯的截面中的海伍德直径为3μm以上的、具有纳米结晶结构或非晶结构的第二大颗粒,

[0019] 所述第一大颗粒的绝缘覆膜比所述第二大颗粒的绝缘覆膜厚。

[0020] 通过磁芯具有上述特征,能够使低磁芯损耗和良好的直流叠加特性兼得。

[0021] 当设所述第一大颗粒的所述绝缘覆膜的平均厚度为T1,设所述第二大颗粒的所述

绝缘覆膜的平均厚度为T2时，优选T1/T2为1.3以上50以下。

[0022] 优选所述第二大颗粒的所述绝缘覆膜的平均厚度T2为5nm以上50nm以下。

[0023] 优选所述金属磁性颗粒包含在所述磁芯的截面中的海伍德直径小于3μm的颗粒组，海伍德直径小于3μm的所述颗粒组包含覆膜的组成不同的2种以上的小颗粒。

[0024] 本发明的磁芯能够应用于电感器、变压器、扼流线圈等各种磁性部件。

附图说明

[0025] 图1是表示一个实施方式的磁芯的截面的示意图。

[0026] 图2A是表示金属磁性粉的粒度分布的一个例子的图。

[0027] 图2B是表示金属磁性粉的粒度分布的一个例子的图。

[0028] 图2C是表示金属磁性粉的粒度分布的一个例子的图。

[0029] 图3A是将图1所示的磁芯的截面放大的示意图。

[0030] 图3B是将第二实施方式的磁芯的截面放大的示意图。

[0031] 图4是表示在小颗粒上形成绝缘覆膜时使用的粉末处理装置的一个例子的截面示意图。

[0032] 图5是表示本发明的磁性部件的一个例子的截面图。

[0033] 附图标记说明

[0034] 2…磁芯，10…金属磁性颗粒，10a…第一颗粒组，11…大颗粒，11a…第一大颗粒，11b…第二大颗粒，4…大颗粒的绝缘覆膜，4a…第一大颗粒的绝缘覆膜，4b…第二大颗粒的绝缘覆膜，10b…第二颗粒组，12…小颗粒，12a…第一小颗粒，12b…第二小颗粒，6…小颗粒的绝缘覆膜，6a…第一绝缘覆膜，6b…第二绝缘覆膜，13…中颗粒，20…树脂，100…磁性部件，5…线圈，5a…端部，5b…端部，7、9…外部电极。

具体实施方式

[0035] 下面，基于附图所示的实施方式对本发明进行详细说明。

[0036] 第一实施方式

[0037] 本实施方式的磁芯2只要保持规定的形状即可，其外形尺寸和形状没有特别限定。如图1的截面图所示，磁芯2至少包含金属磁性颗粒10和树脂20，金属磁性颗粒10分散在树脂20中。即，通过金属磁性颗粒10经由树脂20粘结，磁芯2形成规定的形状。

[0038] 金属磁性颗粒10在磁芯2的截面中所占的合计面积比例A0为75％以上90％以下。该金属磁性颗粒10的合计面积比例A0相当于磁芯2中的金属磁性颗粒10的填充率，可以通过使用SEM(扫描型电子显微镜)或STEM(扫描透射型电子显微镜)等电子显微镜对磁芯2的截面进行解析来计算。

[0039] 例如，将磁芯2的任意截面分割成连续的多个视场进行观察，测量各视场中包含的各金属磁性颗粒10的面积。然后，通过将金属磁性颗粒10的面积的合计除以所观察的视场的合计面积，来计算金属磁性颗粒10的合计面积比例A0(％)。在该截面解析中，优选视场的合计面积至少为1000000μm^2。另外，在截面解析中，在观察试样的切断面(将磁芯2切断并研磨后的面)不满足上述的视场的合计面积的情况下，可以在对规定的切断面进行解析之后，对该切断面再次进行100μm以上的研磨等，再次进行截面解析，由此使视场的合计面积为

1000000μm^{2}以上。

[0040] 磁芯2中包含的金属磁性颗粒10均由软磁性金属构成，但是能够基于粒径、组成、物质状态等分类成多个颗粒组。优选金属磁性颗粒10包含海伍德直径(Heywood diameter)为3μm以上的第一颗粒组10a，还包含海伍德直径小于3μm的第二颗粒组10b。在此，本实施方式中的“海伍德直径”是指在磁芯2的截面中观测到的各金属磁性颗粒10的圆当量直径。具体而言，当设磁芯2的截面中的各金属磁性颗粒10的面积为S时，各金属磁性颗粒10的海伍德直径可以用$(4S/\pi)^{1/2}$表示。

[0041] 在金属磁性颗粒10包含第一颗粒组10a和第二颗粒组10b的情况下，在磁芯2中，优选第一颗粒组10a的含有率多于第二颗粒组10b的含有率。即，优选当设第一颗粒组10a在磁芯2的截面中所占的合计面积比例为A1，设第二颗粒组10b在磁芯2的截面中所占的合计面积比例为A2时，金属磁性颗粒10的面积比例满足A1＞A2。通过使第一颗粒组10a的含有率多于第二颗粒组10b的含有率，能够提高磁芯2的磁导率。此外，A1与A2的合计为金属磁性颗粒10的合计面积比例A0(A1+A2＝A0)，A1和A2也可以利用与A0同样的方法测量。

[0042] 另外，优选金属磁性颗粒10包含平均粒径不同的2个以上的颗粒组。例如，金属磁性颗粒10只要至少包含相当于第一颗粒组10a的大颗粒11即可，但是优选包含大颗粒11和小颗粒12，也可以除此以外还包含中颗粒13。大颗粒11、小颗粒12和中颗粒13能够基于金属磁性颗粒10的粒度分布进行区分。金属磁性颗粒10的粒度分布可以通过在磁芯2的任意截面中测量至少1000个金属磁性颗粒10的海伍德直径来确定。

[0043] 例如，图2A～图2C中例示的图是金属磁性颗粒10的粒度分布。在图2A～图2C的各图中，纵轴为面积基准的频率(％)，横轴为表示海伍德直径换算的粒径(μm)的对数轴。此外，图2A～图2C所示的粒度分布为例示，金属磁性颗粒10的粒度分布并不限于图2A～图2C。

[0044] 在金属磁性颗粒10由平均粒径不同的2个颗粒组(大颗粒和小颗粒)构成的情况下，如图2A所示，金属磁性颗粒10的粒度分布具有2个峰。另外，在金属磁性颗粒10由平均粒径不同的3个颗粒组(大颗粒、中颗粒和小颗粒)构成的情况下，如图2B所示，金属磁性颗粒10的粒度分布具有3个峰。

[0045] 在如图2A和图2B所示的那样，用一系列的分布曲线表示金属磁性颗粒10的粒度分布的情况下，将属于位于最大直径侧的峰(位于横轴的最右侧的峰)且D20为3μm以上的颗粒组设为大颗粒11，将属于位于最小直径侧的峰(位于横轴的最左侧的峰)且D80小于3μm的颗粒组设为小颗粒12。另外，将大颗粒11和小颗粒12以外的颗粒设为中颗粒13。

[0046] 在此，“属于位于最大直径侧的峰的颗粒组”是指从大直径侧(图中的右侧)沿着分布曲线看时，从分布曲线的下摆部(最右端)起经由峰顶到达局部极小点的范围中包含的颗粒组。即，在图2A所示的粒度分布的情况下，从EP1起经由峰1(Peak1)到达LP的范围中包含的颗粒组相当于“属于位于最大直径侧的峰的颗粒组”。在图2B所示的粒度分布的情况下，从EP1起经由峰1(Peak1)到达LP1的范围中包含的颗粒组相当于“属于位于最大直径侧的峰的颗粒组”。

[0047] 另外，D20是指面积基准的累积频率为20％的海伍德直径。在图2A和图2B的粒度分布中，属于峰1(Peak1)的颗粒组的D20为3μm以上，属于该峰1(Peak1)的颗粒组为大颗粒11。

[0048] “属于位于最小直径侧的峰的颗粒组”是指在从小直径侧(图中的左侧)沿着分布曲线看时，从分布曲线的下摆部(最左端)起经由峰顶到达局部极小点的范围中包含的颗粒

组。即，在图2A所示的粒度分布的情况下，从EP2起经由峰2(Peak2)到达LP的范围中包含的颗粒组相当于“属于位于最小直径侧的峰的颗粒组”。另外，在图2B所示的粒度分布的情况下，从EP2起经由峰2(Peak2)到达LP2的范围中包含的颗粒组相当于“属于位于最小直径侧的峰的颗粒组”。

[0049] 另外，D80是指面积基准的累积频率为80％的海伍德直径。在图2A和图2B的粒度分布中，属于峰2(Peak2)的颗粒组的D80小于3μm，属于该峰2(Peak2)的颗粒组为小颗粒12。

[0050] 此外，在图2B所示的粒度分布中，从LP1起经由峰3(Peak3)到达LP2的颗粒组是属于峰3(Peak3)的颗粒组。在该属于峰3(Peak3)的颗粒组中，D20小于3μm，D80为3μm以上。即，属于峰3(Peak3)的颗粒组是不相当于大颗粒11和小颗粒12中的任一者的中颗粒13。

[0051] 在金属磁性颗粒10包含平均粒径不同的2个以上的颗粒组的情况下，小颗粒12或/和中颗粒13可以具有与大颗粒11相同的颗粒组成，也可以具有与大颗粒11不同的颗粒组成。此外，“颗粒组成不同”是指颗粒主体中包含的构成元素的种类不同的情况，或者即使构成元素的种类一致，各构成元素的含有比率也不同的情况。构成元素是指在颗粒主体中含有1at％以上的元素。即，将颗粒主体中包含的元素中的、杂质元素以外的元素称为构成元素。

[0052] 在小颗粒12或/和中颗粒13具有与大颗粒11不同的颗粒组成的情况下，可以将组成分析和粒度解析并用，来对金属磁性颗粒10进行分类。具体而言，在利用电子显微镜进行磁芯2的截面观察时，使用EDX装置(能量色散型X射线分析装置)或EPMA(电子探针显微分析仪)，分析观察视场中包含的各金属磁性颗粒10的组成，基于组成对金属磁性颗粒10进行分类。然后，通过测量属于各组成的金属磁性颗粒10的海伍德直径，得到多个分布曲线。

[0053] 例如，在金属磁性颗粒10由颗粒组成不同的4个颗粒组构成的情况下，如图2C所示，得到4个分布曲线。在图2C的粒度分布中，用实线表示具有组成A的颗粒组的分布曲线，用虚线表示具有组成B的颗粒组的分布曲线，用单点划线表示具有组成C的颗粒组的分布曲线，用双点划线表示具有组成D的颗粒组的分布曲线。

[0054] 在如图2C所示的那样，用与组成相应的多个分布曲线来表示金属磁性颗粒10的粒度分布的情况下，将D20为3μm以上的颗粒组设为大颗粒11，将D80小于3μm的颗粒组设为小颗粒12，将大颗粒11和小颗粒12以外的颗粒组设为中颗粒13。即，在图2C中，具有组成A的颗粒组和具有组成B的颗粒组为大颗粒11，具有组成C的颗粒组为小颗粒12，具有组成D的颗粒组为中颗粒13。

[0055] 如上所述，大颗粒11的D20为3μm以上，优选大颗粒11的海伍德直径均为3μm以上。另外，大颗粒11的海伍德直径的平均值(算术平均直径)没有特别限定，例如，优选为5μm以上40μm以下，优选为5μm以上35μm以下。小颗粒12的D80小于3μm，优选小颗粒12的海伍德直径均小于3μm。另外，小颗粒12的海伍德直径的平均值(算术平均直径)没有特别限定，例如，优选为2μm以下，更优选为0.2μm以上且小于2μm。

[0056] 当设大颗粒11在磁芯2的截面中所占的合计面积比例为AL，设小颗粒12在磁芯2的截面中所占的合计面积比例为AS时，优选AL大于AS(AL＞AS)。具体而言，大颗粒11的合计面积相对于金属磁性颗粒10的合计面积的比率(AL/A0)优选超过50％且为90％以下，更优选为60％以上82％以下。另外，小颗粒12的合计面积相对于金属磁性颗粒10的合计面积的比率(AS/A0)优选为8％以上且小于50％，更优选为10％以上40％以下。通过磁芯2以上述的比

率包含大颗粒11和小颗粒12,能够提高磁导率。此外,上述的AL和AS可以利用与A0同样的方法测量。

[0057] 在金属磁性颗粒10包含中颗粒13的情况下,中颗粒13的海伍德直径的平均值(算术平均直径)没有特别限定,例如,优选为3μm以上5μm以下。另外,中颗粒13的合计面积相对于金属磁性颗粒10的合计面积的比率(AM/A0)优选为5%以上30%以下。

[0058] 另外,磁芯2的截面中的大颗粒11的平均圆形度优选为0.70以上,更优选为0.90以上。大颗粒11的平均圆形度越高,越能够进一步提高耐电压和直流叠加特性。此外,当设磁芯2的截面中的各大颗粒11的面积为S_L,设各大颗粒11的周围长度为L时,各大颗粒11的圆形度可以用$2(\pi S_L)^{1/2}/L$表示。正圆的圆形度为1,圆形度越接近1,颗粒的球形度越高。大颗粒11的平均圆形度优选通过测量至少100个大颗粒11的圆形度来计算。

[0059] 此外,小颗粒12的平均圆形度和中颗粒13的平均圆形度没有特别限定,但是与大颗粒11同样优选具有高的平均圆形度。具体而言,小颗粒12的平均圆形度和中颗粒13的平均圆形度均优选为0.80以上。

[0060] 此外,在本实施方式中,作为将金属磁性颗粒10分类成大颗粒11和小颗粒12等的方法,给出了图2A～图2C所示的方法,但是在小颗粒12具有与大颗粒11相同的颗粒组成的情况下,优选采用图2A或图2B所示的分类方法,在小颗粒12具有与大颗粒11不同的颗粒组成的情况下,优选采用图2C所示的分类方法。

[0061] 在本实施方式的磁芯2中,大颗粒11包含组成和粒内的物质状态不同的2种以上的颗粒组。换言之,大颗粒11能够基于组成和粒内的物质状态,细分成2种以上的颗粒组。具体而言,大颗粒11包含:由结晶质金属磁性材料构成的第一大颗粒11a;和具有非晶结构或纳米结晶结构的第二大颗粒11b。第二大颗粒11b“具有非晶结构或纳米结晶结构”是指:仅存在非晶结构的大颗粒和纳米结晶结构的大颗粒中的任一种的情况;和非晶结构的大颗粒与纳米结晶结构的大颗粒两者混合存在的情况。即,大颗粒11能够按照下面所示的3个图案(pattern)进行细分。

[0062] 图案A:作为大颗粒11,由结晶质金属磁性材料构成的第一大颗粒11a和具有非晶结构的第二大颗粒11b混合存在的情况。

[0063] 图案B:作为大颗粒11,由结晶质金属磁性材料构成的第一大颗粒11a和具有纳米结晶结构的第二大颗粒11b混合存在的情况。

[0064] 图案C:作为大颗粒11,由结晶质金属磁性材料构成的第一大颗粒11a、非晶结构的大颗粒(第二大颗粒11b)和纳米结晶结构的大颗粒(第二大颗粒11b)混合存在的情况。

[0065] 在此,“非晶(非晶质)结构”是指几乎不存在结晶那样的长程有序,且非晶质化度X为85%以上的物质状态。非晶结构包括仅具有非晶的结构、和由异质非晶构成的结构。由异质非晶构成的结构是指初始微晶存在于非晶中的结构,异质非晶结构中的初始微晶的平均直径优选为0.1nm以上10nm以下。

[0066] 另外,“纳米结晶结构”是指非晶质化度X小于85%且平均微晶粒径为0.5nm以上30nm以下的物质状态。纳米结晶结构中的微晶的最大直径优选为100nm以下。另一方面,结晶质金属磁性材料具有与非晶结构和纳米结晶结构不同的结晶质结构。“结晶质结构”是指非晶质化度X小于85%且平均微晶粒径为100nm以上的物质状态。

[0067] 大颗粒11的物质状态(即非晶质化度X和微晶尺寸)能够通过使用SEM、TEM和STEM

等各种电子显微镜、电子束衍射、XRD(X射线衍射)或EBSD(电子后方散射衍射)等的结构解析来确定。例如,在EBSD的方位映射图像或电子显微镜的明场图像等中,能够在视觉上识别结晶部分和非晶部分,通过对这样的图像进行解析,能够测量非晶质化度X和平均微晶粒径。另外,在利用电子束衍射无法确认结晶引起的斑点的情况下,能够确定为测量对象颗粒具有非晶结构。

[0068] 此外,当设结晶的比例为P_C,设非晶的比例为P_A时,非晶质化度X(单位%)可以用$X=(P_A/(P_C+P_A))\times100$表示。在使用XRD来计算非晶质化度X的情况下,只要测量结晶性散射积分强度Ic作为结晶的比例P_C,测量非晶质性散射积分强度Ia作为非晶的比例P_A即可。在使用EBSD或电子显微镜来计算非晶质化度X的情况下,只要测量粒内的结晶部分的面积比例作为结晶的比例P_C,测量粒内的非晶部分的面积比例作为非晶的比例P_A即可。

[0069] 在利用电子显微镜对大颗粒11进行分类的情况下,如上所述,对观测视场内包含的大颗粒11实施用于确定物质状态的结构解析,但该结构解析可以从观测视场内任意选定一部分大颗粒11来实施。在该情况下,将确定了物质状态的大颗粒11作为解析颗粒,具有与该解析颗粒相同的组成的其它的大颗粒11能够视为具有与解析颗粒相同的物质状态。

[0070] 例如,在作为大颗粒11存在Fe-Si系的第一大颗粒11a和Fe-Co-B-P-Si-Cr系的第二大颗粒11b的情况下,能够通过使用EDX的面分析来识别Fe-Si系的颗粒组和Fe-Co-B-P-Si-Cr系的颗粒组。从Fe-Si系的颗粒组中选定任意的解析对象颗粒来实施结构解析,如果能够确定该解析对象颗粒具有结晶质结构,则能够视为Fe-Si系的颗粒组均具有结晶质结构。同样地,从Fe-Co-B-P-Si-Cr系的颗粒组中选定任意的解析对象颗粒来实施结构解析,如果能够确定该解析对象颗粒具有非晶结构,则能够视为Fe-Co-B-P-Si-Cr系的颗粒组均具有非晶结构。

[0071] 具有结晶质结构的第一大颗粒11a的组成没有特别限定。例如,作为具有结晶质结构的软磁性金属(结晶质金属磁性材料),可举出羰基铁等纯铁、Fe-Ni系合金、Fe-Si系合金、Fe-Si-Cr系合金、Fe-Si-Al系合金、Fe-Si-Al-Ni系合金、Fe-Ni-Si-Co系合金、Fe-Co系合金、Fe-Co-V系合金、Fe-Co-Si系合金、或Fe-Co-Si-Al系合金等。

[0072] 非晶结构或纳米结晶结构的第二大颗粒11b的组成没有特别限定。例如,作为具有纳米结晶结构的软磁性合金或具有非晶质结构的软磁性合金,可举出Fe-Si-B系合金、Fe-Si-B-C系合金、Fe-Si-B-C-Cr系合金、Fe-Nb-B系合金、Fe-Nb-B-P系合金、Fe-Nb-B-Si系合金、Fe-Co-P-C系合金、Fe-Co-B系合金、Fe-Co-B-Si系合金、Fe-Si-B-Nb-Cu系合金、Fe-Si-B-Nb-P系合金、Fe-Co-B-P-Si系合金、Fe-Co-B-P-Si-Cr系合金等。

[0073] 当设结晶质结构的第一大颗粒11a在磁芯2的截面中所占的合计面积比例为AL_1时,第一大颗粒11a的合计面积相对于金属磁性颗粒10的合计面积之比可以用$AL_1/A0$表示。同样地,当设非晶结构或纳米结晶结构的第二大颗粒11b在磁芯2的截面中所占的合计面积比例为AL_2时,第二大颗粒11b的合计面积相对于金属磁性颗粒10的合计面积之比可以用$AL_2/A0$表示。$AL_1/A0$和$AL_2/A0$均优选为0.5%以上,更优选为0.5%～99.5%,进一步优选为0.5%～90%。

[0074] 另外,第一大颗粒11a的合计面积相对于大颗粒11的合计面积之比可以用AL_1/AL表示,第二大颗粒11b的合计面积相对于大颗粒11的合计面积之比可以用AL_2/AL表示。在大颗粒11由结晶质结构的第一大颗粒11a和非晶结构的第二大颗粒11b构成的情况下(图案

A)，AL_1/AL和AL_2/AL优选为1％～99％。从降低磁芯损耗的观点出发，AL_1/AL更优选为50％以下(即$AL_1 \leqslant AL_2$)。此外，在结晶质结构的第一大颗粒11a与非晶结构的第二大颗粒11b混合存在的情况下(图案A)，和结晶质结构的第一大颗粒11a与纳米结晶结构的第二大颗粒11b混合存在的情况(图案B)相比，直流叠加特性进一步提高。

[0075] 在大颗粒11由结晶质结构的第一大颗粒11a和纳米结晶结构的第二大颗粒11b构成的情况下(图案B)，AL_1/AL和AL_2/AL优选为1％～99％。从降低磁芯损耗的观点出发，AL_1/AL更优选为50％以下(即$AL_1 \leqslant AL_2$)，从得到更优异的直流叠加特性的观点出发，AL_1/AL更优选为50％以上(即$AL_1 \geqslant AL_2$)。此外，在结晶质结构的第一大颗粒11a与纳米结晶结构的第二大颗粒11b混合存在的情况下(图案B)，和结晶质结构的第一大颗粒11a与非晶结构的第二大颗粒11b混合存在的情况(图案A)相比，磁芯损耗进一步降低。

[0076] 在非晶结构的第二大颗粒11b和纳米结晶结构的第二大颗粒11b与结晶质结构的第一大颗粒11a混合存在的情况下(图案C)，设非晶结构的第二大颗粒11b在磁芯2的截面中所占的合计面积比例为AL_2，设纳米结晶结构的第二大颗粒11b在磁芯2的截面中所占的合计面积比例为AL_3 ($AL_1+AL_2+AL_3=AL$)。即使在使3种大颗粒混合存在的图案C的情况下，AL_1/AL、AL_2/AL和AL_3/AL也均优选在1％～99％的范围内。从降低磁芯损耗的观点出发，优选$AL_1 \leqslant (AL_2+AL_3)$，优选$AL_2 \leqslant AL_3$。从进一步提高直流叠加特性的观点出发，优选$AL_2 \geqslant AL_3$。

[0077] 此外，AL_1、AL_2和AL_3可以利用与金属磁性颗粒10的合计面积比例A0同样的方法测量。

[0078] 在金属磁性颗粒10包含小颗粒12的情况下，小颗粒12的组成没有特别限定。小颗粒12可以具有非晶质结构或纳米结晶结构，但是从饱和磁通的观点出发，优选具有结晶质结构。作为具有结晶质结构的软磁性金属，可举出羰基铁等纯铁、Co、Fe-Ni系合金、Fe-Si系合金、Fe-Si-Cr系合金、Fe-Si-Al系合金、Fe-Si-Al-Ni系合金、Fe-Ni-Si-Co系合金、Fe-Co系合金、Fe-Co-V系合金、Fe-Co-Si系合金、Fe-Co-Si-Al系合金、或Co系合金等。小颗粒12特别优选为纯铁颗粒、Fe-Ni系合金颗粒、Fe-Co系合金颗粒、Fe-Si系合金颗粒、或Co颗粒。

[0079] 另外，在金属磁性颗粒10包含中颗粒13的情况下，中颗粒13的组成没有特别限定。例如，中颗粒13可以具有结晶质结构，但是从降低矫顽力的观点出发，优选具有纳米结晶结构或非晶结构。

[0080] 此外，金属磁性颗粒10的组成例如可以使用电子显微镜所附带的EDX装置或EPMA进行分析。第一大颗粒11a和第二大颗粒11b可以通过使用EDX装置或EPMA的面分析来进行区分。另外，也可以使用3DAP(三维原子探针)对金属磁性颗粒10的组成进行分析。在使用3DAP的情况下，能够在测量对象的金属磁性颗粒的内部设定小的区域(例如Φ20nm×100nm的区域)来测量平均组成，能够排除磁芯2中包含的树脂成分和颗粒表面的氧化等的影响来确定颗粒主体的组成。

[0081] 如图3A所示，各第一大颗粒11a具有覆盖颗粒表面的绝缘覆膜4a，各第二大颗粒11b具有覆盖颗粒表面的绝缘覆膜4b。绝缘覆膜4a和绝缘覆膜4b均可以覆盖颗粒表面的整体，也可以仅覆盖颗粒表面的一部分。各绝缘覆膜4a和各绝缘覆膜4b优选覆盖在磁芯2的截面中观测的颗粒表面的80％以上。

[0082] 另外，各绝缘覆膜4a和各绝缘覆膜4b均可以在单一颗粒中具有厚度的偏差或厚度的差异，但是优选具有尽可能均等的厚度。例如，覆膜表面的轮廓曲线的算术平均高度Ra优

选为0.5nm以上100nm以下。上述的Ra为线粗糙度参数的1种，可以将在磁芯2的截面中观测的绝缘覆膜(4a、4b)的最表面部分确定为轮廓曲线，并按照JIS标准B601中规定的方法来计算Ra。

[0083] 绝缘覆膜4a的材质和绝缘覆膜4b的材质没有特别限定，绝缘覆膜4a和绝缘覆膜4b可以具有相同的组成，也可以具有彼此不同的组成。例如，绝缘覆膜4a和绝缘覆膜4b可以包含通过颗粒表面的氧化形成的覆膜、或/和含有BN、SiO_2、MgO、Al_2O_3、磷酸盐、硅酸盐、硼硅酸盐、铋酸盐、各种玻璃等无机材料的覆膜。

[0084] 从抑制磁芯2的电阻率降低的观点出发，优选绝缘覆膜4a和绝缘覆膜4b均具有含有选自P、Si、Bi和Zn中的1种以上的元素的氧化物玻璃的覆膜。在氧化物玻璃的覆膜中，在将覆膜中包含的元素中的、除了氧以外的元素的合计量设为100wt％的情况下，优选选自P、Si、Bi和Zn中的1种以上的元素的合计量最多，更优选为50wt％以上，进一步优选为60wt％以上。

[0085] 作为上述那样的氧化物玻璃的覆膜，例如，可例示磷酸盐(P_2O_5)系玻璃覆膜、铋酸盐(Bi_2O_3)系玻璃覆膜和硼硅酸盐(B_2O_3-SiO_2)系玻璃覆膜等。作为磷酸盐系玻璃，例如，可例示P-Zn-Al-O系玻璃、P-Zn-Al-R-O系玻璃(“R”为选自碱金属中的1种以上的元素)等，在磷酸盐系玻璃覆膜中，优选含有50wt％以上的P_2O_5。作为铋酸盐系玻璃，可例示Bi-Zn-B-Si-O系玻璃、Bi-Zn-B-Si-Al-O系玻璃等，在铋酸盐系玻璃覆膜中，优选含有50wt％以上的Bi_2O_3。作为硼硅酸盐系玻璃，可例示Ba-Zn-B-Si-Al-O系玻璃等，在硼硅酸盐系玻璃覆膜中，优选含有10wt％以上的B_2O_3。

[0086] 此外，在3种大颗粒混合存在的情况下(即，在作为第二大颗粒11b，非晶结构的大颗粒和纳米结晶结构的大颗粒混合存在的情况下)，非晶结构的第二大颗粒11b具有的绝缘覆膜4b和纳米结晶结构的第二大颗粒11b具有的绝缘覆膜4b可以具有相同的组成，也可以具有彼此不同的组成。

[0087] 另外，绝缘覆膜4a和绝缘覆膜4b均可以具有单层结构，也可以具有多层结构。作为多层结构，例如可举出包含颗粒表面的氧化层和覆盖该氧化层的氧化物玻璃层的层叠结构。在绝缘覆膜(4a或/和4b)具有多层结构的情况下，各层的合计厚度为绝缘覆膜的厚度。另外，绝缘覆膜4a和绝缘覆膜4b的组成可以通过例如EDX、EPMA或EELS(电子能量损耗光谱)等进行分析。

[0088] 在本实施方式的磁芯2中，第一大颗粒11a的绝缘覆膜4a比第二大颗粒11b的绝缘覆膜4b厚。通过结晶质结构的第一大颗粒11a具有比非晶结构或纳米结晶结构的第二大颗粒11b厚的绝缘覆膜(换言之，通过非晶结构或纳米结晶结构的第二大颗粒11b具有比结晶质结构的第一大颗粒11a薄的绝缘覆膜)，能够使磁芯损耗特性和直流叠加特性兼得并使它们提高。

[0089] 当设第一大颗粒11a的绝缘覆膜4a的平均厚度为T1，设第二大颗粒11b的绝缘覆膜4b的平均厚度为T2时，T1/T2超过1.0，优选为1.3以上，更优选为1.3以上50以下，进一步优选为1.3以上20以下。另外，T1优选为200nm以下，T2优选为5nm以上50nm以下。

[0090] 此外，在3种大颗粒混合存在的图案C的情况下，设非晶结构的第二大颗粒11b的绝缘覆膜4b的平均厚度为T2，设纳米结晶结构的第二大颗粒11b的绝缘覆膜4b的平均厚度为T3。即使在图案C的情况下，也是T1比T2厚(T1＞T2)，并且T1比T3厚(T1＞T3)。T1/T3也可以

设定为与上述的T1/T2同样的范围，T3优选为5nm以上50nm以下。T2与T3的相关性没有特别限定，可以是T2与T3为相同程度，也可以是T2与T3不同。

[0091] T1可以通过利用各种电子显微镜对磁芯2的截面进行观察来计算，优选通过对至少10个第一大颗粒11a测量绝缘覆膜4a的厚度来计算T1。T2(和T3)也可以利用与T1同样的方法来计算。

[0092] 此外，磁芯2中也可以包含不具有绝缘覆膜4的大颗粒11。

[0093] 在金属磁性颗粒10包含小颗粒12的情况下，小颗粒12可以不一定具有绝缘覆膜，但是优选各小颗粒12具有覆盖颗粒表面的绝缘覆膜6。绝缘覆膜6的材质没有特别限定，例如，绝缘覆膜6可以为通过小颗粒12的表面的氧化形成的覆膜(氧化覆膜)、或者包含BN、SiO_2、MgO、Al_2O_3、磷酸盐、硅酸盐、硼硅酸盐、铋酸盐、或各种玻璃等无机材料的覆膜，优选包含氧化物玻璃的覆膜。另外，绝缘覆膜6可以具有单层结构，也可以具有将2种以上的覆膜层叠而成的结构。绝缘覆膜6的平均厚度没有特别限定，例如，优选为5nm以上200nm以下，更优选为5nm以上100nm以下。

[0094] 在金属磁性颗粒10包含中颗粒13的情况下，中颗粒13也与其它的颗粒组同样地优选具有覆盖颗粒表面的绝缘覆膜。中颗粒13的绝缘覆膜的组成没有特别限定，可以具有与大颗粒11的绝缘覆膜(4a或4b)相同的组成，也可以具有与大颗粒11的绝缘覆膜(4a或4b)不同的组成。中颗粒13的绝缘覆膜的平均厚度没有特别限定，例如，优选为5nm以上200nm以下，更优选为10nm以上100nm以下。

[0095] 小颗粒12的绝缘覆膜6和中颗粒13的绝缘覆膜也与绝缘覆膜4同样地，可以覆盖颗粒表面的整体，也可以仅覆盖颗粒表面的一部分，优选覆盖在磁芯2的截面中观测的颗粒表面的80％以上。此外，磁芯2中也可以包含不具有绝缘覆膜的小颗粒12和/或中颗粒13。

[0096] 树脂20作为用于将金属磁性颗粒10以规定的分散状态固定的绝缘性的粘结材料发挥作用。树脂20的材质没有特别限定，优选树脂20中包含环氧树脂等热固性树脂。

[0097] 此外，磁芯2可以包含用于抑制软磁性金属颗粒彼此的接触的改性剂。作为改性剂，可以使用聚乙二醇(PEG)、聚丙二醇(PPG)、聚己内酯(PCL)等高分子材料，优选使用具有聚己内酯结构的高分子材料。作为具有聚己内酯结构的高分子，例如，可举出聚己内酯二醇、聚己内酯四醇等聚氨酯的原料、或聚酯的一部分。改性剂的含量相对于磁芯2的总量优选为0.025wt％以上0.500wt％以下。可认为上述那样的改性剂以涂敷金属磁性颗粒10的表面的方式吸附存在。

[0098] 下面，对本实施方式的磁芯2的制造方法的一个例子进行说明。

[0099] 首先，作为金属磁性颗粒10的原料粉，制造包含第一大颗粒11a的原料粉和包含第二大颗粒11b的原料粉。另外，在向磁芯2中添加小颗粒12和中颗粒13的情况下，准备包含小颗粒12的原料粉和包含中颗粒13的原料粉。各原料粉的制造方法没有特别限定，只要根据期望的颗粒组成采用适当的制造方法即可。例如，可以通过水雾化法或气体雾化法等雾化法来制作原料粉。或者，也可以通过使用金属盐的蒸发、还原、热分解中的至少1种以上的CVD法等合成法来制作原料粉。另外，也可以使用电解法或羰基法来制作原料粉，还可以通过将薄带状或薄板状的初始合金粉碎来制作原料粉。特别优选包含非晶结构或纳米结晶结构的第二大颗粒11b的原料粉通过骤冷气体雾化法来制造。

[0100] 各原料粉的粒度能够通过粉末的制造条件和/或各种分级法来进行调整。另外，在

第二大颗粒11b为纳米结晶结构的情况下，优选对原料粉实施用于控制结晶结构的热处理。

[0101] 此外，在小颗粒12的组成为与大颗粒11(第一大颗粒11a或第二大颗粒11b)相同的组成的情况下，可以通过制造具有宽度宽的粒度分布的原料粉，并对该原料粉进行分级，来得到包含大颗粒11的原料粉和包含小颗粒12的原料粉。

[0102] 接着，对各原料粉实施覆膜形成处理。在使用包含多个颗粒组的金属磁性粉来制造磁芯的情况下，为了简化制造工序，通常在将多个原料粉混合后，对该混合粉一次实施覆膜形成处理。但是，当对混合粉实施覆膜形成处理时，各颗粒组的绝缘覆膜会成为相同程度的厚度(即T1≈T2)。在本实施方式中，为了使第一大颗粒11a的绝缘覆膜4a比第二大颗粒11b的绝缘覆膜4b厚(即为了实现T1＞T2)，对第一大颗粒11a和第二大颗粒11b单独实施覆膜形成处理。

[0103] 作为覆膜形成处理的方法，可例示热处理、磷酸盐处理、机械合金化、硅烷偶联处理、或水热合成等，只要根据要形成的绝缘覆膜的种类，选择适当的覆膜形成处理即可。

[0104] 例如，在绝缘覆膜4a或/和绝缘覆膜4b包含氧化物玻璃的覆膜的情况下，氧化物玻璃的覆膜优选通过使用机械融合装置的机械化学法形成。具体而言，在利用机械化学法进行的覆膜形成处理中，将包含大颗粒的原料粉和含有绝缘覆膜的构成元素的粉末状的涂敷材料导入到机械融合装置的旋转转子内，使旋转转子旋转。在旋转转子的内部设置有冲压头，当使旋转转子旋转时，原料粉与涂敷材料的混合物在旋转转子的内壁面与冲压头的间隙中被压缩，产生摩擦热。利用该摩擦热，涂敷材料软化，并通过压缩作用被固着在大颗粒的表面，形成氧化物玻璃的覆膜。

[0105] 此外，绝缘覆膜4a的厚度和绝缘覆膜4b的厚度可以基于涂敷材料的混合比、转速和处理时间等来控制。另外，在作为第二大颗粒11b使非晶结构的大颗粒和纳米结晶结构的大颗粒混合存在的情况下，可以在将非晶结构的原料粉和纳米结晶结构的原料粉混合之后，对该混合粉实施覆膜形成处理。在该情况下，非晶系第二大颗粒11b的绝缘覆膜4b和纳米结晶系第二大颗粒的绝缘覆膜4b具有相同程度的厚度(T2≈T3)。

[0106] 在对小颗粒12形成绝缘覆膜6的情况下，绝缘覆膜6优选通过将包含小颗粒12的原料粉和含有绝缘覆膜6的构成元素的粉末状的涂敷材料一边施加机械性的冲击能量一边进行混合来形成，更优选通过一边施加冲击、压缩和剪切的能量一边进行混合来形成。在这样的覆膜形成处理中，作为能够对粉末施加机械能量的装置，可以使用行星型球磨机或细川密克朗株式会社(Hosokawa Micron Corporation)制造的Nobilta等粉末处理装置。例如，在对小颗粒12的覆膜形成处理中，可以使用能够以高的旋转速度进行混合的如图4所示的粉末处理装置60。

[0107] 粉末处理装置60具有圆筒状的截面，具有腔室61，在该腔室61的内部设置有可旋转的叶片62。通过将包含小颗粒12的原料粉和涂敷材料投入到腔室61内，并使叶片62以2000～6000rpm的转速旋转，能够对原料粉与涂敷材料的混合物63施加机械性的冲击、压缩和剪切的能量。通过使用这样的粉末处理装置60，即使是粒径小的小颗粒12，也能够在其颗粒表面形成绝缘覆膜6。

[0108] 在使用具有绝缘覆膜的中颗粒13的情况下，可以通过使中颗粒13与第一大颗粒11a或第二大颗粒11b混合，并与第一大颗粒11a或第二大颗粒11b一起实施覆膜形成处理，在中颗粒13的表面形成绝缘覆膜。或者，可以仅对中颗粒13的原料粉单独实施覆膜形成处

理。

[0109] 下面，对使用金属磁性颗粒10的各原料粉制造磁芯2的方法进行说明。首先，对形成有绝缘覆膜的各原料粉和树脂原料(热固性树脂等)进行混炼，得到树脂复合物。在该混炼工序中，可以使用捏合机、行星式混合机、自转/公转混合机或双螺杆挤出机等各种混炼机，可以向树脂复合物中添加改性剂、防腐剂、分散剂、非磁性粉末等。

[0110] 接着，通过将树脂复合物填充在模具中并进行压缩成形，得到成形体。此时的成形压力没有特别限定，例如，优选为50MPa以上1200MPa以下。此外，磁芯2中的金属磁性颗粒10的合计面积比例也能够通过树脂20的添加量来控制，但是也能够通过成形压力来控制。在使用热固性树脂作为树脂20的情况下，将上述的成形体在100℃～200℃保持1小时～5小时，来使热固性树脂固化。通过以上的工序，得到如图1所示的磁芯2。

[0111] 本实施方式的磁芯2能够应用于电感器、变压器、扼流线圈等各种磁性部件。例如，图5所示的磁性部件100是具有磁芯2的磁性部件的一个例子。

[0112] 在图5所示的磁性部件100中，素体由如图1所示的磁芯2构成。在作为素体的磁芯2的内部埋设有线圈5，线圈5的端部5a、5b分别被引出至磁芯2的端面。另外，在磁芯2的端面上形成有一对外部电极7、9，一对外部电极7、9分别与线圈5的端部5a、5b电连接。此外，在像磁性部件100那样在磁芯2的内部埋设有线圈5的情况下，A0、A1、A2、AL、AS等金属磁性颗粒10的面积比例，在不显示(不映现)线圈5的视场中进行解析。

[0113] 图5所示的磁性部件100的用途没有特别限定，适合于例如在电源电路中使用的功率电感器等。此外，包含磁芯2的磁性部件并不限于如图5所示的方式，也可以是在规定形状的磁芯2的表面卷绕规定匝数的电线而形成的磁性部件。

[0114] (第一实施方式的总结)

[0115] 本实施方式的磁芯2包含金属磁性颗粒10和树脂20，磁芯2的截面所示的金属磁性颗粒10的合计面积比例A0为75％以上90％以下。金属磁性颗粒10包含具有结晶质结构的第一大颗粒11a、和具有非晶结构或纳米结晶结构的第二大颗粒11b，第一大颗粒11a的绝缘覆膜4a比第二大颗粒11b的绝缘覆膜4b厚。

[0116] 通过磁芯2具有上述的特征，能够使磁芯损耗特性和直流叠加特性兼得并使它们提高。具体而言，通过本发明的发明人的实验明确了以下所示的事实。

[0117] 作为软磁性金属，已知有结晶质系软磁性金属、非晶系软磁性金属和纳米结晶系软磁性金属。结晶质系软磁性金属与其它种类的软磁性金属相比，饱和磁通密度高，磁芯损耗也高，但是呈现随着磁芯中的结晶质系软磁性金属(颗粒)的填充率的增加而磁芯损耗减少的趋势。另一方面，纳米结晶系软磁性金属，与其它种类的软磁性金属相比，饱和磁通密度低，呈现随着磁芯中的纳米结晶系软磁性金属(颗粒)的填充率的增加而磁芯损耗上升的趋势。非晶系软磁性金属具有结晶系软磁性金属与纳米结晶系软磁性金属之间的特性，呈现随着磁芯中的非晶系软磁性金属(颗粒)的填充率的增加而磁芯损耗上升的趋势。

[0118] 另外，结晶质系软磁性金属，与其它种类的软磁性金属相比，维氏硬度低，容易塑性变形。因此，在使用结晶质系的软磁性金属颗粒作为磁芯的主粉的情况下，通过以高成形压力制造磁芯，与使用其它种类的软磁性金属颗粒的情况相比，能够提高软磁性金属颗粒的填充率。但是，当在磁芯的内部设置线圈的情况下，当提高成形压力时，线圈会变形，线圈部件的性能有可能降低。因此，期望以尽可能低的成形压力制造磁芯。但是，当成形压力低

时，结晶质系的软磁性金属颗粒不会均匀地塑性变形，在磁芯的内部会局部地塑性变形，因此，会产生局部的磁饱和，导致直流叠加特性恶化。

[0119] 在本实施方式的磁芯2中，通过使具有相对较厚的绝缘覆膜4a的结晶质结构的第一大颗粒11a和具有相对较薄的绝缘覆膜4b的非晶结构或纳米结晶结构的第二大颗粒11b混合存在，即使以比较低的成形压力(例如，98MPa～490MPa)制造，也能够抑制局部的磁饱和的产生。其结果是，在本实施方式的磁芯2中，能够使低的磁芯损耗和优异的直流叠加特性兼得。

[0120] 第一大颗粒11a的绝缘覆膜4a的平均厚度T1相对于第二大颗粒11b的绝缘覆膜4b的平均厚度T2之比(T1/T2)更优选为1.3以上50以下，进一步优选为1.3以上20以下。通过将T1/T2设定在上述的范围，能够更适当地使低的磁芯损耗和优异的直流叠加特性兼得。

[0121] 另外，第二大颗粒11b的绝缘覆膜4b的平均厚度T2优选为5nm以上50nm以下。通过将T2设定在上述的范围，能够确保高的磁导率并且进一步降低磁芯损耗。

[0122] 第二实施方式

[0123] 在第二实施方式中，对图3B所示的磁芯2a进行说明。此外，在第二实施方式中，对于与第一实施方式相同的构成要素，省略说明，并使用与第一实施方式相同的附图标记。

[0124] 如图3B所示，在第二实施方式的磁芯2a中，具有结晶质结构的第一大颗粒11a和具有非晶结构或纳米结晶结构的第二大颗粒11b混合存在，第一大颗粒11a的绝缘覆膜4a比第二大颗粒11b的绝缘覆膜4b厚。因此，在第二实施方式的磁芯2a中，也能够得到与第一实施方式的磁芯2同样的作用效果。

[0125] 在磁芯2a中包含绝缘覆膜6的组成不同的2种以上的小颗粒12。换言之，金属磁性颗粒10中包含的小颗粒12能够基于覆膜组成细分成2种以上的小颗粒组。具体而言，小颗粒12至少包含具有第一绝缘覆膜6a的第一小颗粒12a、和具有组成与第一绝缘覆膜6a不同的第二绝缘覆膜6b的第二小颗粒12b，可以还包含覆膜组成与其它的小颗粒组不同的第三小颗粒12c～第n小颗粒12x。n是指基于覆膜组成对小颗粒12进行细分时的小颗粒组的数量，n的上限没有特别限定。从简化制造工序的观点出发，n优选为4以下。

[0126] 在此，“覆膜组成不同”是指绝缘覆膜6中包含的构成元素的种类不同，绝缘覆膜6的构成元素是指在将绝缘覆膜6中包含的元素中的、氧和碳以外的元素的合计含有率设为100at％时，在绝缘覆膜6中含有1at％以上的元素。绝缘覆膜6的组成可以通过使用EDX装置或EPMA的面分析或点分析进行解析。

[0127] 小颗粒12具有的各绝缘覆膜6(第一绝缘覆膜6a、第二绝缘覆膜6b、和第三绝缘覆膜6c～第n绝缘覆膜6x)的材质没有特别限定。例如，各绝缘覆膜6可以为通过小颗粒12的表面的氧化形成的覆膜(氧化覆膜)、或者包含BN、SiO_2、MgO、Al_2O_3、磷酸盐、硅酸盐、硼硅酸盐、铋酸盐、或各种玻璃等无机材料的覆膜，优选包含氧化物玻璃的覆膜。作为氧化物玻璃，例如，可例示硅酸盐(SiO_2)系玻璃、磷酸盐(P_2O_5)系玻璃、铋酸盐(Bi_2O_3)系玻璃和硼硅酸盐(B_2O_3-SiO_2)系玻璃等。

[0128] 第一绝缘覆膜6a和第二绝缘覆膜6b只要具有彼此不同的组成即可，覆膜组成的组合没有特别限定。例如，作为第一绝缘覆膜6a和第二绝缘覆膜6b的组合，优选为P-O系玻璃覆膜与P-Zn-Al-O系玻璃覆膜的组合、Bi-Zn-B-Si-O系玻璃覆膜与Si-O系玻璃覆膜的组合、或Ba-Zn-B-Si-Al-O系玻璃覆膜与Si-O系玻璃覆膜的组合，更优选为Ba-Zn-B-Si-Al-O系玻

璃覆膜与Si-O系玻璃覆膜的组合。即使在小颗粒12除了包含第一小颗粒12a和第二小颗粒12b以外，还包含第三小颗粒12c～第n小颗粒12x的情况下，覆膜组成的组合也没有特别限定，第三小颗粒12c～第n小颗粒12x也优选具有组成与其它的小颗粒组的覆膜不同的氧化物玻璃的覆膜。

[0129] 绝缘覆膜6的平均厚度没有特别限定，例如，优选为5nm以上200nm以下，更优选为5nm以上100nm以下。第一绝缘覆膜6a～第n绝缘覆膜6x可以是具有相同程度的平均厚度，也可以是各自具有不同的平均厚度。

[0130] 此外，第一绝缘覆膜6a和第二绝缘覆膜6b等绝缘覆膜6可以具有将多个包覆层层叠而得到的层叠结构。例如，绝缘覆膜6可以具有包含颗粒表面的氧化层和覆盖该氧化层的氧化物玻璃层的层叠结构。在第一绝缘覆膜6a～第n绝缘覆膜6x中的任1种以上的绝缘覆膜6具有层叠结构的情况下，只要最外层(位于最表面侧的包覆层)的组成在第一绝缘覆膜6a～第n绝缘覆膜6x中各自不同即可，位于最外层与颗粒表面之间的其它的包覆层的组成在第一绝缘覆膜6a～第n绝缘覆膜6x中可以一致，也可以不同。

[0131] 另外，第一小颗粒12a～第n小颗粒12x可以是均具有相同的颗粒组成，也可以是具有各自不同的颗粒组成。第一小颗粒12a～第n小颗粒12x的物质状态没有特别限定，第一小颗粒12a～第n小颗粒12x中的任1种以上的小颗粒组可以为非晶质或纳米结晶，但是如上所述，优选第一小颗粒12a～第n小颗粒12x均为结晶质。

[0132] 设第一小颗粒12a～第n小颗粒12x在磁芯2a的截面中所占的合计面积比例分别为AS_1～AS_n。在该情况下，小颗粒12在磁芯2a的截面中所占的合计面积比例AS可以用AS_1～AS_n的合计来表示。另外，各小颗粒组的合计面积比例相对于小颗粒12的合计面积比例AS之比分别可以用AS_1/AS～AS_n/AS表示。AS_1/AS～AS_n/AS均优选为1％以上，更优选为6％以上，进一步优选为10％以上。

[0133] 在制造磁芯2a时，对各小颗粒组(第一小颗粒12a～第n小颗粒12x)单独实施覆膜形成处理，在对各小颗粒组的覆膜形成处理中，如在第一实施方式中所说明的那样，优选使用如图4所示的粉末处理装置60。另外，各绝缘覆膜6(第一绝缘覆膜6a、第二绝缘覆膜6b和第三绝缘覆膜6c～第n绝缘覆膜6x)的组成，可以通过与原料粉混合的涂敷材料的种类和/或组成来进行控制。此外，上述以外的制造条件可以与第一实施方式相同。

[0134] (第二实施方式的总结)

[0135] 在第二实施方式的磁芯2a中，海伍德直径小于3μm的第二颗粒组10b包含覆膜的组成不同的2种以上的小颗粒12(第一小颗粒12a和第二小颗粒12b等)。

[0136] 可认为，通过如上述那样金属磁性颗粒10包含覆膜组成不同的2种以上的小颗粒12，在与树脂混炼时，金属磁性颗粒间的电斥力提高，抑制了金属磁性颗粒10的磁凝聚。其结果是，在磁芯2a中，能够进一步提高直流叠加特性。

[0137] 上面，对本发明的实施方式进行了说明，但是本发明并不限于上述的实施方式，可以在不脱离本发明的主旨的范围内进行各种改变。

[0138] 例如，磁性部件的结构并不限于图5所示的方式，可以将多个磁芯2组合来制造磁性部件。另外，磁芯的制造方法并不限于上述的实施方式中所示的制造方法，磁芯2和磁芯2a也可以通过片材法或注塑成形来制造，也可以通过2阶段压缩来制造。在利用2阶段压缩的制造方法中，例如，可以通过在对树脂复合物进行临时压缩制作出多个预备成形体之后，

将这些预备成形体组合并进行正式压缩，来得到磁芯。

[0139] 实施例

[0140] 下面，基于具体的实施例对本发明进行更详细的说明。但是，本发明并不受下面的实施例限定。

[0141] (实验1)

[0142] 在实验1中，使用将1种大颗粒和1种小颗粒混合而得到的金属磁性粉末，制造结晶质系的磁芯试样(试样A1～试样A6)、非晶系的磁芯试样(试样A7～试样A12)和纳米结晶系的磁芯试样(试样A13～试样A18)。此外，实验1中所示的试样A1～A18的磁芯相当于本发明的比较例。

[0143] 首先，作为金属磁性颗粒的原料粉，准备结晶质结构的大直径粉、非晶结构的大直径粉、纳米结晶结构的大直径粉、和由纯铁的小颗粒构成的小直径粉。结晶质结构的大直径粉是利用气体雾化法制造的Fe-Si系合金粉末，该Fe-Si系合金粉末的平均粒径为20μm，非晶质化度小于85％，平均微晶粒径为100nm以上。非晶结构的大直径粉是Fe-Co-B-P-Si-Cr系合金粉末，是利用骤冷气体雾化法制造的。该Fe-Co-B-P-Si-Cr系合金粉末的平均粒径为20μm，非晶质化度为85％以上。纳米结晶结构的大直径粉是Fe-Si-B-Nb-Cu系合金粉末，是通过对利用骤冷气体雾化法得到的粉末实施热处理而制造的。该Fe-Si-B-Nb-Cu系合金粉末的平均粒径为20μm，非晶质化度小于85％，平均微晶粒径在0.5nm～30nm的范围内。另外，作为小直径粉的纯铁粉末的平均粒径为1μm。

[0144] 在实验1的试样A1～试样A6中，对结晶质结构的大直径粉实施使用机械融合装置(细川密克朗株式会社制造:AMS-Lab)的覆膜形成处理，在大颗粒的表面形成P-Zn-Al-O系氧化物玻璃的绝缘覆膜。在实验1的试样A7～试样A12中，对非晶结构的大直径粉实施使用机械融合装置的覆膜形成处理，在大颗粒的表面形成P-Zn-Al-O系氧化物玻璃的绝缘覆膜。另外。在实验1的试样A13～试样A18中，对纳米结晶结构的大直径粉实施使用机械融合装置的覆膜形成处理，在大颗粒的表面形成P-Zn-Al-O系氧化物玻璃的绝缘覆膜。此外，在上述的覆膜形成处理中，控制涂敷材料的添加量，以使得绝缘覆膜的平均厚度成为表1所示的值。

[0145] 对实验1中使用的小直径粉，使用如图4所示的粉末处理装置(细川密克朗株式会社制造:Nobilta)实施覆膜形成处理，在小颗粒的表面形成Ba-Zn-B-Si-Al-O系氧化物玻璃的绝缘覆膜。在小颗粒上形成的绝缘覆膜的平均厚度在任一试样中均在15±10nm的范围内。

[0146] 接着，通过对金属磁性颗粒的原料粉(大直径粉和小直径粉)和环氧树脂进行混炼，得到树脂复合物。更具体而言，在试样A1～试样A6中，将结晶质结构的大颗粒和小颗粒混合，得到树脂复合物。在试样A7～试样A12中，将具有非晶结构的大颗粒和小颗粒混合，得到树脂复合物。另外，在试样A13～试样A18中，将具有纳米结晶结构的大颗粒和小颗粒混合，得到树脂复合物。此外，树脂复合物中的环氧树脂的添加量(树脂量)在实验1的任一试样中，相对于金属磁性颗粒100质量份均为2.5质量份。另外，大直径粉和小直径粉在实验1的任一试样中，均以面积比率成为“大颗粒:小颗粒＝8:2”的方式配合。

[0147] 接着，通过将树脂复合物填充在模具中并进行加压，得到环形形状的成形体。控制此时的成形压力，以使得磁芯的磁导率(μi)成为30。然后，通过将上述的成形体在180℃进

行60分钟的加热处理，使成形体中的环氧树脂固化，得到环形形状(外形11mm、内径6.5mm、厚度2.5mm)的磁芯。

[0148] 在实验1的各试样中，对制作出的磁芯实施以下所示的评价。

[0149] 磁芯的截面观察

[0150] 利用SEM观察磁芯的截面，计算出金属磁性颗粒的合计面积相对于观察视场的合计面积(1000000μm^2)之比(金属磁性颗粒的合计面积比例A0)。在实验1的各试样中，金属磁性颗粒的合计面积比例A0均在80±2%的范围内。

[0151] 另外，在SEM观察时，测量各金属磁性颗粒的海伍德直径，并且利用EDX实施面分析来确定各金属磁性颗粒的组成系，将在磁芯的截面中观测到的各金属磁性颗粒分类成大颗粒和小颗粒。在实验1的各试样中，大颗粒的D20为3μm以上，大颗粒的平均粒径(海伍德直径的算术平均值)在10μm～30μm的范围内，小颗粒的D80小于3μm，小颗粒的平均粒径在0.5μm～1.5μm的范围内。另外，测量观测视场内包含的大颗粒的合计面积和小颗粒的合计面积，计算出大颗粒的合计面积相对于金属磁性颗粒的合计面积之比(AL/A0)、和小颗粒的合计面积相对于金属磁性颗粒的合计面积之比(AS/A0)。

[0152] 另外，在上述的SEM观察中，测量存在于观察视场内的各大颗粒的绝缘覆膜的厚度，并计算出其平均厚度。

[0153] 磁导率和直流叠加特性的评价

[0154] 在磁导率和直流叠加特性的评价中，首先，在环形形状的磁芯上卷绕聚氨酯铜线(UEW线)。然后，使用LCR测试仪(安捷伦科技有限公司(Agilent Technologies Inc.)制造的4284A)和直流偏置电源(安捷伦科技有限公司制造的42841A)，测量频率1MHz时的磁芯的电感。更具体而言，测量不施加直流磁场的条件(0kA/m)下的电感、和施加8kA/m的直流磁场的条件下的电感，并根据这些电感计算出μi(0A/m时的磁导率)和μHdc(8kA/m时的磁导率)。

[0155] 基于施加直流磁场时的磁导率的变化率，对直流叠加特性进行评价。即，磁导率的变化率(单位%)用(μi-μHdc)/μi表示，该磁导率的变化率越小，能够判断为直流叠加特性越良好。

[0156] 磁芯损耗的评价

[0157] 使用BH分析仪(岩通计测株式会社制造的SY-8218)测量各磁芯的磁芯损耗(单位：kW/m^3)。测量磁芯损耗时的磁通密度设定为10mT，频率设定为3MHz。

[0158] 将实验1的评价结果示于表1。

[0159]

【表1】

试样编号	实施例/比较例	大颗粒				小颗粒组成	金属磁性颗粒的混合存在比		磁导率μi	直流叠加特性（μi－μHdc）/μi	磁芯损耗
		结构	颗粒组成	覆膜组成	覆膜厚度（nm）		大颗粒 AL/A0（%）	小颗粒 AS/A0（%）	（－）	（%）	（kW/m³）
A1	比较例	结晶质	Fe-Si系	P-Zn-Al-O系	5	Fe	79.0	21.0	30.5	20.1	2300
A2	比较例	结晶质	Fe-Si系	P-Zn-Al-O系	15	Fe	79.3	20.7	30.3	20.1	2200
A3	比较例	结晶质	Fe-Si系	P-Zn-Al-O系	50	Fe	79.1	20.9	30.4	15.4	2020
A4	比较例	结晶质	Fe-Si系	P-Zn-Al-O系	100	Fe	78.6	21.4	30.2	13.3	1980
A5	比较例	结晶质	Fe-Si系	P-Zn-Al-O系	150	Fe	79.5	20.5	30.3	12.1	1880
A6	比较例	结晶质	Fe-Si系	P-Zn-Al-O系	200	Fe	81.2	18.8	30.4	10.2	1780
A7	比较例	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr系	P-Zn-Al-O系	5	Fe	78.7	21.3	30.2	13.4	1200
A8	比较例	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr系	P-Zn-Al-O系	15	Fe	80.8	19.2	30.8	13.5	1210
A9	比较例	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr系	P-Zn-Al-O系	50	Fe	78.7	21.3	30.4	13.4	1250
A10	比较例	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr系	P-Zn-Al-O系	100	Fe	80.8	19.2	30.5	13.6	1480
A11	比较例	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr系	P-Zn-Al-O系	150	Fe	80.2	19.8	30.4	13.5	1510
A12	比较例	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr系	P-Zn-Al-O系	200	Fe	79.9	20.1	30.1	13.6	1530
A13	比较例	纳米结晶	Fe-Si-B-Nb-Cu系	P-Zn-Al-O系	5	Fe	79.6	20.4	30.7	19.4	560
A14	比较例	纳米结晶	Fe-Si-B-Nb-Cu系	P-Zn-Al-O系	15	Fe	79.8	20.2	30.2	19.3	580
A15	比较例	纳米结晶	Fe-Si-B-Nb-Cu系	P-Zn-Al-O系	50	Fe	79.7	20.3	30.2	19.5	590
A16	比较例	纳米结晶	Fe-Si-B-Nb-Cu系	P-Zn-Al-O系	100	Fe	80.5	19.5	30.3	19.4	600
A17	比较例	纳米结晶	Fe-Si-B-Nb-Cu系	P-Zn-Al-O系	150	Fe	80.2	19.8	30.1	19.4	610
A18	比较例	纳米结晶	Fe-Si-B-Nb-Cu系	P-Zn-Al-O系	200	Fe	80.1	19.9	30.3	19.4	610

[0160] 如表1所示可知，在以结晶质系大颗粒为主粉的试样A1～试样A6的磁芯（下面，称为结晶质系的磁芯）中，越使绝缘覆膜变厚，直流叠加特性和磁芯损耗特性越提高。但是，即

使在绝缘覆膜最厚的试样A6中，磁芯损耗也比其它的试样A7～试样A18高。另一方面，在以非晶系大颗粒为主粉的试样A7～试样A12的磁芯(下面，称为非晶系的磁芯)、和以纳米结晶系大颗粒为主粉的试样A13～试样A18的磁芯(下面，称为纳米结晶系的磁芯)中，当使绝缘覆膜变厚时，磁芯损耗上升，即使使绝缘覆膜变厚，直流叠加特性也几乎没有变化。

[0161] 另外，与结晶质系的磁芯和纳米结晶系的磁芯相比，非晶系的磁芯的直流叠加特性优异。与结晶质系的磁芯和非晶系的磁芯相比，纳米结晶系的磁芯虽然磁芯损耗低，但是直流叠加特性差。根据这些结果可知，在磁芯的主粉仅由1种大颗粒构成的情况下，不容易使低的磁芯损耗和良好的直流叠加特性兼得。

[0162] (实验2)

[0163] 在实验2中，使用将2种大颗粒和小颗粒混合而得到的金属磁性粉末，制造表2和表3所示的72种磁芯。

[0164] 在实验2中，作为金属磁性颗粒的原料粉，也准备Fe-Si系合金粉末(结晶质系第一大颗粒)、Fe-Co-B-P-Si-Cr系合金粉末(非晶系第二大颗粒)、Fe-Si-B-Nb-Cu系合金粉末(纳米结晶系第二大颗粒)和纯铁粉末(小颗粒)。上述的各原料粉末与实验1中使用的原料粉末为相同的规格。

[0165] 接着，使用机械融合装置，在Fe-Si系合金粉末的颗粒表面形成P-Zn-Al-O系氧化物玻璃的绝缘覆膜。此时，控制涂敷材料的添加量和处理时间来调整绝缘覆膜的厚度，得到平均厚度T1不同的6种第一大颗粒。另外，利用机械融合装置对Fe-Co-B-P-Si-Cr系合金粉末实施覆膜形成处理，得到平均厚度T2不同的6种非晶系第二大颗粒。同样，利用机械融合装置对Fe-Si-B-Nb-Cu系合金粉末实施覆膜形成处理，得到平均厚度T2不同的6种纳米结晶系第二大颗粒。

[0166] 另外，使用如图4所示的粉末处理装置，对纯铁粉末实施覆膜形成处理，在小颗粒的表面形成Ba-Zn-B-Si-Al-O系氧化物玻璃的绝缘覆膜。小颗粒的绝缘覆膜的平均厚度在15±10nm的范围内。

[0167] 在对各原料粉实施覆膜形成处理后，在表2的试样B1～试样B36中，通过对由结晶质系第一大颗粒构成的Fe-Si系合金粉末、由非晶系第二大颗粒构成的Fe-Co-B-P-Si-Cr系合金粉末、由小颗粒构成的纯铁粉末和环氧树脂进行混炼，得到树脂复合物。另一方面，在表3的试样C1～试样C36中，通过对由结晶质系第一大颗粒构成的Fe-Si系合金粉末、由纳米结晶系第二大颗粒构成的Fe-Si-B-Nb-Cu系合金粉末、由小颗粒构成的纯铁粉末和环氧树脂进行混炼，得到树脂复合物。此时，在实验2的任一试样中，大颗粒和小颗粒均以面积比率成为“第一大颗粒:第二大颗粒:小颗粒＝4:4:2”的方式配合。另外，在实验2的任一试样中，树脂复合物中的环氧树脂的添加量(树脂量)相对于金属磁性颗粒100质量份均为2.5质量份。

[0168] 接着，通过将树脂复合物填充在模具中并进行加压，得到环形形状的成形体。控制此时的成形压力，以使得磁芯的磁导率(μi)成为30。然后，通过将上述的成形体在180℃进行60分钟的加热处理，使成形体中的环氧树脂固化，得到环形形状(外形11mm、内径6.5mm、厚度2.5mm)的磁芯。

[0169] 在实验2中，也实施了与实验1同样的评价。在磁芯的截面观察中，在任一试样中均能够确认第一大颗粒和第二大颗粒的D20为3μm以上，第一大颗粒和第二大颗粒的平均粒径

在10μm～30μm的范围内，小颗粒的D80小于3μm，小颗粒的平均粒径在0.5μm～1.5μm的范围内。另外，第一大颗粒具有的绝缘覆膜的平均厚度T1、非晶结构或纳米结晶结构的第二大颗粒具有的绝缘覆膜的平均厚度T2、和各颗粒组的合计面积相对于金属磁性颗粒的合计面积之比($AL_1/A0$、$AL_2/A0$和AS/A0)为表2和表3所示的结果。此外，在实验2的各试样中，金属磁性颗粒的合计面积比例A0均在80±2%的范围内。

[0170] 在实验2中，基于第一大颗粒与第二大颗粒的配合比，计算直流叠加特性的期望值(根据配合比计算的直流叠加特性的计算值)，以该期望值为基准来判断各试样的直流叠加特性的良否。例如，试样B1的直流叠加特性的期望值通过下面的式子计算。

[0171] 直流叠加特性的期望值＝{$(\beta_1/\alpha_1)\times C_1$}+{$(\beta_2/\alpha_7)\times C_7$}

[0172] α_1：试样A1中的结晶质系大颗粒的比例(AL/A0)

[0173] C_1：试样A1的直流叠加特性(磁导率的变化率)

[0174] α_7：试样A7中的非晶系大颗粒的比例(AL/A0)

[0175] C_7：试样A7的直流叠加特性(磁导率的变化率)

[0176] β_1：试样B1中的结晶质系第一大颗粒的比例($AL_1/A0$)

[0177] β_2：试样B1中的非晶系第二大颗粒的比例($AL_2/A0$)

[0178] 如上所述，在计算直流叠加特性的期望值(单位%)时，参照表1，使用包含与各试样(试样B1～B36和试样C1～试样C36)中使用的大颗粒相同规格(颗粒组成、覆膜组成和覆膜的平均厚度相同)的大颗粒的磁芯(试样A1～试样A18)的特性值。

[0179] 在利用上述的方法计算出直流叠加特性的期望值后，计算期望值与实测的直流叠加特性的差(期望值-测量值)。该“与期望值的差”越大于0%，表示实测的磁导率的变化率((μi-μHdc)/μi)越小，直流叠加特性越提高。在本实验中，将该与期望值的差小于5%的试样的直流叠加特性判断为“不合格(F)”，将与期望值的差为5%以上的试样的直流叠加特性判断为“合格(G)”。

[0180] 另外，对于磁芯损耗，也与直流叠加特性同样地，基于第一大颗粒与第二大颗粒的配合比，计算磁芯损耗的期望值(根据配合比计算的磁芯损耗的计算值)，以该期望值为基准来判断各试样的磁芯损耗特性的良否。例如，试样B1的磁芯损耗的期望值通过下面的式子计算。

[0181] 磁芯损耗的期望值＝{$(\beta_1/\alpha_1)\times\delta_1$}+{$(\beta_2/\alpha_7)\times\delta_7$}

[0182] δ_1：试样A1的磁芯损耗

[0183] δ_7：试样A7的磁芯损耗

[0184] 如上所述，在计算磁芯损耗的期望值(单位：kW/m^3)时，参照表1，使用包含与各试样(试样B1～B36和试样C1～试样C36)中使用的大颗粒相同规格(颗粒组成、覆膜组成和覆膜的平均厚度相同)的大颗粒的磁芯(试样A1～试样A18)的特性值。

[0185] 在利用上述的方法计算出磁芯损耗的期望值后，根据磁芯损耗的期望值与实测的磁芯损耗计算磁芯损耗的改善率(单位%)。磁芯损耗的改善率用“((期望值-测量值)/期望值)×100”表示，磁芯损耗的改善率越高，表示与根据简单的配合比计算的期望值相比，实测的磁芯损耗越降低，磁芯损耗特性越提高。在本实验中，将磁芯损耗的改善率小于5%的试样判断为“不合格(F)”，将磁芯损耗的改善率为5%以上且小于10%的试样判断为“良好(G)”，将磁芯损耗的改善率为10%以上的试样判断为“特别良好(VG)”。

[0186] 将实验2的评价结果示于表2和表3。

[0187]

【表2】

试样编号	实施例/比较例	第一大颗粒		第二大颗粒		T1/T2	金属磁性颗粒的混合存在比			磁导率 μi（—）	直流叠加特性			磁芯损耗		
		颗粒结构	覆膜厚度 T1（um）	颗粒结构	覆膜厚度 T2（nm）		第一大颗粒 $AL_1/A0$（%）	第二大颗粒 $AL_2/A0$（%）	小颗粒 AS/A0（%）		测量值（%）	与期望值的差（%）	判断	测量值（kW/m^3）	改善率（%）	判断
B1	比较例	结晶质	5	非晶质	5	1.0	40.0	39.0	21.0	30.4	18.3%	-1.5%	F	1780	-1.2%	F
B2	比较例	结晶质	5	非晶质	15	0.3	39.6	40.3	20.1	30.0	18.4%	-1.6%	F	1780	-1.4%	F
B3	比较例	结晶质	5	非晶质	50	0.1	41.3	39.5	19.2	30.3	17.1%	0.1%	F	1820	0.6%	F
B4	比较例	结晶质	5	非晶质	100	0.1	39.0	39.2	21.8	30.3	16.4%	0.1%	F	1830	1.3%	F
B5	比较例	结晶质	5	非晶质	150	0.0	39.8	39.2	21.0	30.2	16.9%	-0.2%	F	1880	0.9%	F
B6	比较例	结晶质	5	非晶质	200	0.0	40.6	38.8	20.6	30.2	16.9%	0.0%	F	1920	0.2%	F
B7	**实施例**	结晶质	15	非晶质	5	**3.0**	40.9	38.9	20.2	30.3	**10.5%**	**6.5%**	**G**	**1620**	**6.2%**	**G**
B8	比较例	结晶质	15	非晶质	15	1.0	40.5	39.5	20.0	30.1	15.2%	1.7%	F	**1610**	**6.1%**	**G**
B9	比较例	结晶质	15	非晶质	50	0.3	41.5	39.1	19.4	30.7	16.9%	0.3%	F	**1670**	**5.8%**	**G**
B10	比较例	结晶质	15	非晶质	100	0.2	41.5	40.9	17.6	30.4	17.3%	0.1%	F	**1780**	**6.3%**	**G**
B11	比较例	结晶质	15	非晶质	150	0.1	41.4	40.2	18.4	30.0	17.2%	0.1%	F	**1810**	**5.0%**	**G**
B12	比较例	结晶质	15	非晶质	200	0.1	38.7	39.1	22.2	30.4	16.3%	0.1%	F	**1720**	**5.5%**	**G**
B13	**实施例**	结晶质	50	非晶质	5	**10.0**	40.9	40.4	18.7	30.8	**8.9%**	**5.9%**	**G**	**1420**	**14.5%**	**VG**
B14	**实施例**	结晶质	50	非晶质	15	**3.3**	38.5	40.2	21.3	30.4	**9.1%**	**5.1%**	**G**	**1350**	**14.9%**	**VG**
B15	比较例	结晶质	50	非晶质	50	1.0	40.1	41.0	18.9	30.4	13.1%	1.7%	F	**1430**	**14.6%**	**VG**
B16	比较例	结晶质	50	非晶质	100	0.5	39.3	40.5	20.2	30.9	13.4%	1.1%	F	**1500**	**14.1%**	**VG**
B17	比较例	结晶质	50	非晶质	150	0.3	40.8	40.0	19.2	30.9	14.0%	0.7%	F	**1550**	**13.6%**	**VG**
B18	比较例	结晶质	50	非晶质	200	0.3	39.7	39.6	20.7	31.0	14.3%	0.2%	F	**1510**	**14.9%**	**VG**
B19	**实施例**	结晶质	100	非晶质	5	**20.0**	39.2	38.6	22.2	30.2	**7.7%**	**5.5%**	**G**	**1380**	**12.4%**	**VG**
B20	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	**6.7**	40.9	40.2	18.9	31.0	**7.9%**	**5.7%**	**G**	**1390**	**14.9%**	**VG**
B21	**实施例**	结晶质	100	非晶质	50	**2.0**	40.8	40.9	18.3	30.3	**8.4%**	**5.5%**	**G**	**1420**	**15.4%**	**VG**
B22	比较例	结晶质	100	非晶质	100	1.0	38.6	40.4	21.0	30.4	10.4%	2.9%	F	**1480**	**13.6%**	**VG**
B23	比较例	结晶质	100	非晶质	150	0.7	39.2	40.8	20.0	30.9	11.6%	1.9%	F	**1530**	**12.9%**	**VG**
B24	比较例	结晶质	100	非晶质	200	0.5	39.0	41.3	19.7	30.4	11.8%	1.8%	F	**1570**	**11.5%**	**VG**
B25	**实施例**	结晶质	150	非晶质	5	**30.0**	39.1	41.4	19.5	30.7	**7.5%**	**6.2%**	**G**	**1320**	**15.2%**	**VG**
B26	**实施例**	结晶质	150	非晶质	15	**10.0**	39.7	39.2	21.1	30.2	**7.9%**	**5.4%**	**G**	**1330**	**12.8%**	**VG**
B27	**实施例**	结晶质	150	非晶质	50	**3.0**	38.6	39.3	22.1	30.5	**8.1%**	**5.1%**	**G**	**1320**	**14.1%**	**VG**
B28	**实施例**	结晶质	150	非晶质	100	**1.5**	40.7	40.9	18.4	30.2	**8.5%**	**5.3%**	**G**	**1480**	**13.6%**	**VG**
B29	比较例	结晶质	150	非晶质	150	1.0	41.2	40.4	18.4	30.9	11.0%	2.8%	F	**1480**	**14.7%**	**VG**
B30	比较例	结晶质	150	非晶质	200	0.8	38.6	38.8	22.6	30.1	11.8%	1.3%	F	**1530**	**7.7%**	**G**
B31	**实施例**	结晶质	200	非晶质	5	**40.0**	40.8	39.4	19.8	30.7	**6.5%**	**5.3%**	**G**	**1380**	**7.8%**	**G**
B32	**实施例**	结晶质	200	非晶质	15	**13.3**	40.4	38.5	21.1	30.4	**6.4%**	**5.1%**	**G**	**1380**	**5.6%**	**G**
B33	**实施例**	结晶质	200	非晶质	50	**4.0**	39.0	40.2	20.8	30.8	**6.2%**	**5.5%**	**G**	**1400**	**6.3%**	**G**
B34	**实施例**	结晶质	200	非晶质	100	**2.0**	40.4	39.8	19.8	30.7	**6.5%**	**5.3%**	**G**	**1520**	**5.8%**	**G**
B35	**实施例**	结晶质	200	非晶质	150	**1.3**	39.0	41.4	19.6	30.0	**6.8%**	**5.1%**	**G**	**1530**	**6.4%**	**G**
B36	比较例	结晶质	200	非晶质	200	1.0	38.6	39.1	22.3	30.6	8.0%	3.5%	F	1540	3.4%	F

[0188]

【表3】

试样编号	实施例/比较例	第一大颗粒		第二大颗粒		T1/T2	金属磁性颗粒的混合存在比			磁导率 μi（一）	直流叠加特性			磁芯损耗		
		颗粒结构	覆膜厚度 T1（nm）	颗粒结构	覆膜厚度 T2（nm）		第一大颗粒 $AL_1/A0$（%）	第二大颗粒 $AL_2/A0$（%）	小颗粒 AS/A0（%）		测量值（%）	与期望值的差（%）	判断	测量值（kW/m^3）	改善率（%）	判断
C1	比较例	结晶质	5	纳米结晶	5	1.0	40.0	39.8	20.2	30.1	18.4%	1.5%	F	1350	6.6%	G
C2	比较例	结晶质	5	纳米结晶	15	0.3	39.7	39.5	20.8	30.3	18.3%	1.4%	F	1340	7.1%	G
C3	比较例	结晶质	5	纳米结晶	50	0.1	40.3	40.2	19.5	30.0	18.3%	1.8%	F	1350	8.2%	G
C4	比较例	结晶质	5	纳米结晶	100	0.1	40.5	40.5	19.0	30.5	18.6%	1.4%	F	1350	8.7%	G
C5	比较例	结晶质	5	纳米结晶	150	0.0	39.7	39.7	20.6	30.4	18.3%	1.4%	F	1340	8.0%	G
C6	比较例	结晶质	5	纳米结晶	200	0.0	39.7	40.5	19.8	30.4	18.5%	1.4%	F	1320	9.8%	G
C7	**实施例**	结晶质	15	纳米结晶	5	**3.0**	40.4	40.2	19.4	30.1	**14.8%**	**5.2%**	G	1250	**10.9%**	VG
C8	比较例	结晶质	15	纳米结晶	15	1.0	39.6	39.7	20.7	30.3	17.6%	2.0%	F	1240	**10.7%**	VG
C9	比较例	结晶质	15	纳米结晶	50	0.3	40.2	39.6	20.2	30.0	17.9%	2.0%	F	1230	**12.7%**	VG
C10	比较例	结晶质	15	纳米结晶	100	0.2	40.4	39.6	20.0	30.4	18.3%	1.5%	F	1220	**13.9%**	VG
C11	比较例	结晶质	15	纳米结晶	150	0.1	39.7	40.2	20.1	30.3	18.4%	1.4%	F	1210	**14.1%**	VG
C12	比较例	结晶质	15	纳米结晶	200	0.1	40.4	40.3	19.3	30.0	18.5%	1.5%	F	1200	**15.8%**	VG
C13	**实施例**	结晶质	50	纳米结晶	5	**10.0**	40.4	40.3	19.3	30.1	**12.1%**	**5.6%**	G	1100	**16.5%**	VG
C14	**实施例**	结晶质	50	纳米结晶	15	**3.3**	39.6	39.6	20.8	30.1	**12.3%**	**5.0%**	G	1080	**16.9%**	VG
C15	比较例	结晶质	50	纳米结晶	50	1.0	39.8	39.9	20.3	30.2	14.6%	2.9%	F	1050	**20.0%**	VG
C16	比较例	结晶质	50	纳米结晶	100	0.5	39.8	39.8	20.4	30.5	15.1%	2.2%	F	1100	**16.1%**	VG
C17	比较例	结晶质	50	纳米结晶	150	0.3	40.4	40.4	19.2	30.0	15.3%	2.3%	F	1120	**16.3%**	VG
C18	比较例	结晶质	50	纳米结晶	200	0.3	40.0	39.6	20.4	30.4	15.6%	1.8%	F	1100	**16.9%**	VG
C19	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	5	**20.0**	40.2	40.3	19.5	30.0	**11.1%**	**5.5%**	G	1100	**15.1%**	VG
C20	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	**6.7**	40.1	40.0	19.9	30.2	**10.2%**	**6.3%**	G	1110	**14.7%**	VG
C21	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	50	**2.0**	39.6	39.8	20.6	30.3	**10.4%**	**6.0%**	G	1090	**15.6%**	VG
C22	比较例	结晶质	100	纳米结晶	100	1.0	39.6	40.3	20.1	30.5	13.1%	3.3%	F	1080	**16.8%**	VG
C23	比较例	结晶质	100	纳米结晶	150	0.7	39.9	39.7	20.4	30.5	13.2%	3.2%	F	1080	**17.4%**	VG
C24	比较例	结晶质	100	纳米结晶	200	0.5	39.8	39.6	20.6	30.1	13.1%	3.2%	F	1070	**18.0%**	VG
C25	**实施例**	结晶质	150	纳米结晶	5	**30.0**	40.1	40.2	19.7	30.2	**10.2%**	**6.4%**	G	1000	**18.9%**	VG
C26	**实施例**	结晶质	150	纳米结晶	15	**10.0**	40.1	39.6	20.3	30.2	**9.9%**	**6.5%**	G	990	**20.0%**	VG
C27	**实施例**	结晶质	150	纳米结晶	50	**3.0**	39.6	39.7	20.7	30.3	**9.8%**	**6.6%**	G	980	**20.4%**	VG
C28	**实施例**	结晶质	150	纳米结晶	100	**1.5**	39.9	40.5	19.6	30.0	**10.1%**	**6.4%**	G	970	**22.2%**	VG
C29	比较例	结晶质	150	纳米结晶	150	1.0	40.5	40.0	19.5	30.3	13.1%	3.4%	F	990	**21.5%**	VG
C30	比较例	结晶质	150	纳米结晶	200	0.8	39.9	40.4	19.7	30.2	13.3%	3.2%	F	980	**21.7%**	VG
C31	**实施例**	结晶质	200	纳米结晶	5	**40.0**	40.4	39.6	20.0	30.4	**8.9%**	**5.8%**	G	990	**15.0%**	VG
C32	**实施例**	结晶质	200	纳米结晶	15	**13.3**	40.3	40.1	19.6	30.3	**8.7%**	**6.0%**	G	980	**16.5%**	VG
C33	**实施例**	结晶质	200	纳米结晶	50	**4.0**	39.9	40.1	20.0	30.3	**8.8%**	**6.0%**	G	970	**17.3%**	VG
C34	**实施例**	结晶质	200	纳米结晶	100	**2.0**	39.5	40.1	20.4	30.5	**8.3%**	**6.3%**	G	990	**15.1%**	VG
C35	**实施例**	结晶质	200	纳米结晶	150	**1.3**	40.2	40.2	19.6	30.1	**9.5%**	**5.3%**	G	970	**18.2%**	VG
C36	比较例	结晶质	200	纳米结晶	200	1.0	40.4	40.1	19.5	30.4	12.2%	2.6%	F	980	**17.6%**	VG

[0189] 表2是使结晶质系第一大颗粒和非晶系第二大颗粒混合存在的试样的评价结果。在T1/T2为1.0以下的比较例中，直流叠加特性的判断均为不合格，直流叠加特性均为与根

据配合比计算的期望值为相同程度或比期望值差的结果。另外，在T1为5nm或200nm的比较例中，不仅直流叠加特性的判断不合格，而且磁芯损耗的判断也不合格。

[0190] 另一方面，在T1/T2大于1.0的实施例中，均得到比期望值良好的直流叠加特性，并且能够使磁芯损耗比期望值降低5％以上。根据该结果可知，通过不仅将结晶质系第一大颗粒和非晶系第二大颗粒简单地混合，而且还满足T1＞T2，能够使磁芯损耗特性和直流叠加特性兼得并使它们提高。

[0191] 此外，根据表2所示的实施例的评价结果可知，T2优选为5nm以上50nm以下，由此，能够进一步降低磁芯损耗。另外，可知越使T1变厚，磁导率的变化率越小，直流叠加特性越良好。

[0192] 表3是使结晶质系第一大颗粒和纳米结晶系第二大颗粒混合存在的试样的评价结果。在表3中也得到与表2同样的评价结果，在T1/T2大于1.0的表3的实施例中，得到比期望值良好的直流叠加特性，并且能够使磁芯损耗比期望值降低5％以上。根据该结果可知，通过不仅将结晶质系第一大颗粒和纳米结晶系第二大颗粒简单地混合，而且还满足T1＞T2，能够使磁芯损耗特性和直流叠加特性兼得并使它们提高。

[0193] 当将表2和表3的评价结果进行比较时，在使用非晶系第二大颗粒的表2的实施例中，与使用纳米结晶系第二大颗粒的表3的实施例相比，磁导率的变化率小，直流叠加特性更优异。另一方面，在使用纳米结晶系第二大颗粒的表3的实施例中，与表2的实施例相比，能够降低磁芯损耗。根据该结果可知，从得到更优异的直流叠加特性的观点出发，优选使结晶质系第一大颗粒和非晶系第二大颗粒混合存在，从进一步降低磁芯损耗的观点出发，优选使结晶质系第一大颗粒和纳米结晶系第二大颗粒混合存在。

[0194] (实验3)

[0195] 在实验3中，改变第一大颗粒和第二大颗粒具有的绝缘覆膜的组成，来制造表4所示的16种磁芯(试样D1～试样D16)。在实验3的全部试样中，第一大颗粒是具有结晶质结构的Fe-Si系合金，第一大颗粒的绝缘覆膜的平均厚度T1为100nm。在试样D1～试样D8中，第二大颗粒是具有非晶结构的Fe-Co-B-P-Si-Cr系合金，第二大颗粒的绝缘覆膜的平均厚度T2为15nm。在试样D9～试样D16中，第二大颗粒是具有纳米结晶结构的Fe-Si-B-Nb-Cu系合金，第二大颗粒的绝缘覆膜的平均厚度T2为15nm。

[0196] 在试样D1～试样D8中，绝缘覆膜的组成以外的制造条件与实验2的试样B20的制造条件相同，在试样D9～试样D16中，绝缘覆膜的组成以外的制造条件与实验2的试样C20的制造条件相同。对实验3的各试样实施与实验1同样的评价。将实验3的各试样的评价结果示于表4。

[0197]

【表4】

试样编号	实施例/比较例	第一大颗粒			第二大颗粒			金属磁性颗粒的混合存在比			磁导率μ（—）	直流叠加特性	磁芯损耗（kW/m^3）
		颗粒结构	覆膜组成	覆膜厚度T1（nm）	颗粒结构	覆膜组成	覆膜厚度T2（nm）	第一大颗粒 $AL_1/A0$（%）	第二大颗粒 $AL_2/A0$（%）	小颗粒 AS/A0（%）			
B20	**实施例**	结晶质	P-Zn-Al-O系	100	非晶质	P-Zn-Al-O系	15	40.9	40.2	18.9	31.0	7.9%	1390
D1	**实施例**	结晶质	P-Zn-Al-O系	100	非晶质	Bi-Zn-B-Si-O系	15	41.2	39.3	19.5	30.0	7.4%	1400
D2	**实施例**	结晶质	P-Zn-Al-O系	100	非晶质	Ba-Zn-B-Si-Al-O系	15	39.0	41.3	19.7	30.2	7.5%	1380
D3	**实施例**	结晶质	Bi-Zn-B-Si-O系	100	非晶质	P-Zn-Al-O系	15	38.8	41.0	20.2	30.1	7.4%	1370
D4	**实施例**	结晶质	Bi-Zn-B-Si-O系	100	非晶质	Bi-Zn-B-Si-O系	15	40.9	41.1	18.0	29.6	8.0%	1380
D5	**实施例**	结晶质	Bi-Zn-B-Si-O系	100	非晶质	Ba-Zn-B-Si-Al-O系	15	38.9	41.5	19.6	30.0	7.5%	1360
D6	**实施例**	结晶质	Ba-Zn-B-Si-Al-O系	100	非晶质	P-Zn-Al-O系	15	41.3	39.1	19.6	30.3	7.8%	1360
D7	**实施例**	结晶质	Ba-Zn-B-Si-Al-O系	100	非晶质	Bi-Zn-B-Si-O系	15	38.9	39.0	22.1	30.4	7.4%	1320
D8	**实施例**	结晶质	Ba-Zn-B-Si-Al-O系	100	非晶质	Ba-Zn-B-Si-Al-O系	15	39.8	39.0	21.2	30.1	8.1%	1350
C20	**实施例**	结晶质	P-Zn-Al-O系	100	纳米结晶	P-Zn-Al-O系	15	40.1	40.0	19.9	30.2	10.2%	1110
D9	**实施例**	结晶质	P-Zn-Al-O系	100	纳米结晶	Bi-Zn-B-Si-O系	15	39.9	40.5	19.6	30.1	8.9%	1100
D10	**实施例**	结晶质	P-Zn-Al-O系	100	纳米结晶	Ba-Zn-B-Si-Al-O系	15	40.3	39.4	20.3	29.6	8.8%	1110
D11	**实施例**	结晶质	Bi-Zn-B-Si-O系	100	纳米结晶	P-Zn-Al-O系	15	38.7	41.1	20.2	29.9	9.1%	1080
D12	**实施例**	结晶质	Bi-Zn-B-Si-O系	100	纳米结晶	Bi-Zn-B-Si-O系	15	38.9	39.6	21.5	30.3	10.2%	1090
D13	**实施例**	结晶质	Bi-Zn-B-Si-O系	100	纳米结晶	Ba-Zn-B-Si-Al-O系	15	38.6	39.3	22.1	30.3	8.8%	1070
D14	**实施例**	结晶质	Ba-Zn-B-Si-Al-O系	100	纳米结晶	P-Zn-Al-O系	15	41.4	39.8	18.8	30.3	8.8%	1110
D15	**实施例**	结晶质	Ba-Zn-B-Si-Al-O系	100	纳米结晶	Bi-Zn-B-Si-O系	15	39.6	39.4	21.0	30.2	9.1%	1090
D16	**实施例**	结晶质	Ba-Zn-B-Si-Al-O系	100	纳米结晶	Ba-Zn-B-Si-Al-O系	15	39.6	41.0	19.4	29.7	10.3%	1070

[0198] 在实验3的试样D1～试样D8中，直流叠加特性和磁芯损耗为与实验2的试样B20相同程度，能够使良好的直流叠加特性和低的磁芯损耗兼得。另外，在实验3的试样D9～试样

D16中，直流叠加特性和磁芯损耗为与实验2的试样C20相同程度，能够使良好的直流叠加特性和低的磁芯损耗兼得。根据该结果可知，在各大颗粒上形成的绝缘覆膜的组成可以任意设定。另外，可知在结晶质结构的第一大颗粒和非晶结构或纳米结晶结构的第二大颗粒中，绝缘覆膜的组成可以一致，也可以不同。

[0199] (实验4)

[0200] 在实验4中，改变第一大颗粒的比率($AL_1/A0$)和第二大颗粒的比率($AL_2/A0$)，来制造表5和表6所示的磁芯试样。在实验4的各试样中，磁芯的截面中的金属磁性颗粒的合计面积比例A0均在80±2%的范围内，小颗粒的比率(AS/A0)在20±2.5%的范围内。

[0201] 表5所示的试样E1～试样E18均是使结晶质系第一大颗粒和非晶系第二大颗粒混合存在的试样。在表5中的作为比较例的试样E1～试样E6中，T1为15nm，T2为100nm，试样E1～试样E6中的大颗粒的比率以外的制造条件与实验2的试样B10相同。在表5中的作为比较例的试样E7～试样E12中，T1和T2为15nm，试样E7～试样E12中的大颗粒的比率以外的制造条件与实验2的试样B8相同。另一方面，在表5中的作为实施例的试样E13～试样E18中，T1为100nm，T2为15nm，试样E13～试样E18中的大颗粒的比率以外的制造条件与实验2的试样B20相同。

[0202] 另外，表6所示的试样F1～试样F18均是使结晶质系第一大颗粒和纳米结晶系第二大颗粒混合存在的试样。在表6中的作为比较例的试样F1～试样F6中，T1为15nm，T2为100nm，试样F1～试样F6中的大颗粒的比率以外的制造条件与实验2的试样C10相同。在表6中的作为比较例的试样F7～试样F12中，T1和T2为15nm，试样F7～试样F12中的大颗粒的比率以外的制造条件与实验2的试样C8相同。另一方面，在表6中的作为实施例的试样F13～试样F18中，T1为100nm，T2为15nm，试样F13～试样F18中的大颗粒的比率以外的制造条件与实验2的试样C20相同。

[0203] 在实验4中，实施了与实验2同样的评价。将评价结果示于表5和表6。

[0204]

【表5】

试样编号	实施例/比较例	第一大颗粒		第二大颗粒		金属磁性颗粒的混合存在比			磁导率 μi（—）	直流叠加特性			磁芯损耗		
		颗粒结构	覆膜厚度 T1（nm）	颗粒结构	覆膜厚度 T2（nm）	第一大颗粒 $AL_1/A0$（%）	第二大颗粒 $AL_2/A0$（%）	小颗粒 AS/A0（%）		测量值（%）	与期望值的差（%）	判断	测量值（kW/m^3）	改善率（%）	判断
E1	比较例	结晶质	15	非晶质	100	78.9	0.7	20.4	30.3	20.1%	0.0%	F	2040	7.4%	G
E2	比较例	结晶质	15	非晶质	100	75.6	3.9	20.5	29.6	19.2%	0.6%	F	2040	6.0%	G
E3	比较例	结晶质	15	非晶质	100	59.9	20.0	20.1	29.7	18.3%	0.2%	F	1920	5.3%	G
B10	比较例	结晶质	15	非晶质	100	41.5	40.9	17.6	30.4	17.3%	0.1%	F	1780	6.3%	G
E4	比较例	结晶质	15	非晶质	100	20.5	59.9	19.6	30.0	15.1%	0.2%	F	1560	6.3%	G
E5	比较例	结晶质	15	非晶质	100	4.0	76.1	19.9	30.2	13.5%	0.3%	F	1420	5.7%	G
E6	比较例	结晶质	15	非晶质	100	1.6	78.9	19.5	29.8	13.6%	0.1%	F	1390	6.7%	G
E7	比较例	结晶质	15	非晶质	15	79.1	0.6	20.3	30.3	19.6%	0.5%	F	2080	5.6%	G
E8	比较例	结晶质	15	非晶质	15	76.0	4.0	20.0	30.3	19.0%	0.9%	F	2050	5.5%	G
E9	比较例	结晶质	15	非晶质	15	60.2	19.9	19.9	30.1	17.3%	1.3%	F	1850	5.9%	G
B8	比较例	结晶质	15	非晶质	15	40.5	39.5	20.0	30.1	15.2%	1.7%	F	1610	6.1%	G
E10	比较例	结晶质	15	非晶质	15	19.9	59.8	20.3	30.4	13.8%	1.2%	F	1370	5.4%	G
E11	比较例	结晶质	15	非晶质	15	3.7	76.4	19.9	30.1	12.1%	1.6%	F	1150	7.7%	G
E12	比较例	结晶质	15	非晶质	15	0.8	78.9	20.3	29.6	11.6%	1.8%	F	1120	7.1%	G
E13	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	79.5	0.7	19.8	30.4	**8.5%**	**5.1%**	G	1750	13.1%	VG
E14	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	76.3	3.7	20.0	30.0	**8.2%**	**5.3%**	G	1700	14.0%	VG
E15	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	60.7	19.7	19.6	29.8	**8.2%**	**5.4%**	G	1580	13.4%	VG
B20	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	40.9	40.2	18.9	31.0	**7.9%**	**5.7%**	G	1390	14.9%	VG
E16	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	20.3	59.9	19.8	29.5	**8.1%**	**5.3%**	G	1200	14.8%	VG
E17	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	3.9	76.4	19.7	29.9	**8.2%**	**5.2%**	G	1040	16.2%	VG
E18	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	0.5	79.1	20.4	30.4	**8.2%**	**5.1%**	G	1010	15.6%	VG

[0205]

【表6】

试样编号	实施例/比较例	第一大颗粒		第二大颗粒		金属磁性颗粒的混合存在比			磁导率 μi（—）	直流叠加特性			磁芯损耗		
		颗粒结构	覆膜厚度 T1（nm）	颗粒结构	覆膜厚度 T2（nm）	第一大颗粒 $AL_1/A0$（%）	第二大颗粒 $AL_2/A0$（%）	小颗粒 AS/A0（%）		测量值（%）	与期望值的差（%）	判断	测量值（kW/m^3）	改善率（%）	判断
F1	比较例	结晶质	15	纳米结晶	100	78.9	0.7	20.4	29.8	19.5%	0.7%	F	**1990**	**9.3%**	**G**
F2	比较例	结晶质	15	纳米结晶	100	76.2	4.0	19.8	30.0	19.4%	0.9%	F	**1870**	**12.7%**	**VG**
F3	比较例	结晶质	15	纳米结晶	100	60.2	20.0	19.8	30.3	19.0%	1.1%	F	**1580**	**13.1%**	**VG**
C10	比较例	结晶质	15	纳米结晶	100	40.4	39.6	20.0	30.4	18.3%	1.5%	F	**1220**	**13.9%**	**VG**
F4	比较例	结晶质	15	纳米结晶	100	20.4	60.0	19.6	29.8	18.1%	1.5%	F	**890**	**12.1%**	**VG**
F5	比较例	结晶质	15	纳米结晶	100	3.7	76.2	20.1	30.3	18.7%	0.6%	F	**620**	**7.7%**	**G**
F6	比较例	结晶质	15	纳米结晶	100	1.2	78.9	19.9	29.9	18.9%	0.4%	F	600	3.5%	F
F7	比较例	结晶质	15	纳米结晶	15	79.1	0.9	20.0	29.8	19.8%	0.5%	F	**1970**	**10.5%**	**VG**
F8	比较例	结晶质	15	纳米结晶	15	76.3	4.1	19.6	30.1	19.3%	1.0%	F	**1880**	**12.3%**	**VG**
F9	比较例	结晶质	15	纳米结晶	15	59.7	20.1	20.2	29.7	18.8%	1.2%	F	**1600**	**11.2%**	**VG**
C8	比较例	结晶质	15	纳米结晶	15	39.6	39.7	20.7	30.3	17.6%	2.0%	F	**1240**	**10.7%**	**VG**
F10	比较例	结晶质	15	纳米结晶	15	20.4	60.1	19.5	30.3	18.1%	1.6%	F	**890**	**11.2%**	**VG**
F11	比较例	结晶质	15	纳米结晶	15	3.9	76.2	19.9	30.1	18.9%	0.5%	F	**600**	**9.6%**	**G**
F12	比较例	结晶质	15	纳米结晶	15	1.0	78.9	20.1	29.7	19.1%	0.3%	F	590	2.1%	F
F13	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	79.4	0.9	19.7	30.2	**8.3%**	**5.3%**	**G**	**1800**	**10.3%**	**VG**
F14	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	76.3	4.1	19.6	29.9	**8.5%**	**5.4%**	**G**	**1750**	**10.3%**	**VG**
F15	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	60.1	20.2	19.7	30.4	**9.4%**	**5.7%**	**G**	**1420**	**14.5%**	**VG**
C20	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	40.1	40.0	19.9	30.2	**10.2%**	**6.3%**	**G**	**1110**	**14.7%**	**VG**
F16	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	20.4	60.0	19.6	29.6	**12.6%**	**5.4%**	**G**	**820**	**13.6%**	**VG**
F17	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	3.9	76.2	19.9	29.8	**13.3%**	**5.8%**	**G**	**610**	**6.5%**	**G**
F18	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	1.6	78.9	19.5	29.6	**14.4%**	**5.0%**	**G**	**580**	**5.4%**	**G**

[0206] 如表5和表6所示，在满足T1＞T2的实施例中，即使改变第一大颗粒与第二大颗粒的混合存在比，也得到比期望值良好的直流叠加特性，并且能够使磁芯损耗比期望值降低

5％以上。根据该结果可知，$AL_1/A0$和$AL_2/A0$没有特别限定，可以任意设定。

[0207] 根据表5的实施例的评价结果能够确认，越提高非晶系第二大颗粒的比率，磁芯损耗越降低。即，可知在使结晶质系第一大颗粒和非晶系第二大颗粒混合存在的情况下，从进一步降低磁芯损耗的观点出发，AL_1/AL优选为60％以下，更优选为50％以下。

[0208] 另外，根据表6的实施例的评价结果，能够确认当提高纳米结晶系第二大颗粒的比率时，磁芯损耗变得更低，并且能够确认当提高结晶质系第一大颗粒的比率时，磁导率的变化率变得更小。即，可知在使结晶质系第一大颗粒和纳米结晶系第二大颗粒混合存在的情况下，从进一步降低磁芯损耗的观点出发，AL_1/AL优选为60％以下(更优选为50％以下)，从进一步提高直流叠加特性的观点出发，AL_1/AL优选为40％以上(更优选为50％以上)。另外，可知为了更适当地使低磁芯损耗和良好的直流叠加特性兼得，AL_1/AL优选为20％以上80％以下。

[0209] (实验5)

[0210] 在实验5中，改变小颗粒的比率(AS/A0)，来制造表7所示的磁芯试样(试样G1～试样G15)。在实验5的各试样中，将结晶质结构的第一大颗粒和非晶结构的第二大颗粒以“1:1”的比率配合。小颗粒的比率以外的制造条件与实验2相同，测量磁导率、直流叠加特性((μi-μHdc)/μi)和磁芯损耗。将评价结果示于表7。

[0211]

【表7】

试样编号	实施例/比较例	第一大颗粒		第二大颗粒		金属磁性颗粒的合计面积比例A0（%）	金属磁性颗粒的混合存在比			磁导率μi（—）	直流叠加特性	磁芯损耗（kW/m³）
		颗粒结构	覆膜厚度T1（nm）	颗粒结构	覆膜厚度T2（nm）		第一大颗粒 $AL_1/A0$（%）	第二大颗粒 $AL_2/A0$（%）	小颗粒 AS/A0（%）			
G1	比较例	结晶质	15	非晶质	100	75.4	51.6	48.4	0.0	20.1	18.1%	2200
G2	比较例	结晶质	15	非晶质	15	75.3	50.9	49.1	0.0	20.3	17.3%	2050
G3	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	75.2	50.5	49.5	0.0	20.4	**8.7%**	**1720**
G4	比较例	结晶质	15	非晶质	100	78.2	44.8	45.2	10.0	**30.3**	16.5%	1980
G5	比较例	结晶质	15	非晶质	15	78.3	44.9	45.3	9.8	**30.6**	15.5%	1820
G6	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	78.4	45.2	45.7	9.1	**30.1**	**8.4%**	**1550**
B10	比较例	结晶质	15	非晶质	100	79.3	41.5	40.9	17.6	**30.4**	17.3%	1780
B8	比较例	结晶质	15	非晶质	15	79.4	40.5	39.5	20.0	**30.1**	15.2%	1610
B20	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	79.4	40.9	40.2	18.9	**31.0**	**7.9%**	**1390**
G7	比较例	结晶质	15	非晶质	100	78.8	30.1	29.1	40.8	**25.5**	14.4%	1320
G8	比较例	结晶质	15	非晶质	15	78.6	30.3	29.5	40.2	**25.3**	13.8%	1210
G9	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	78.7	30.6	30.7	38.7	**25.4**	**6.6%**	**1000**
G10	比较例	结晶质	15	非晶质	100	78.1	20.5	20.3	59.2	20.3	11.5%	890
G11	比较例	结晶质	15	非晶质	15	78.3	18.8	18.3	62.9	20.4	10.8%	750
G12	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	78.5	18.5	19.0	62.5	20.7	**6.5%**	**650**
G13	比较例	结晶质	15	非晶质	100	75.3	10.7	11.2	78.1	15.4	9.6%	480
G14	比较例	结晶质	15	非晶质	15	75.3	10.2	10.1	79.7	15.2	9.7%	420
G15	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	75.2	10.3	10.4	79.3	15.3	**4.8%**	**360**

[0212] 如表7所示，即使在改变小颗粒的比率的情况下，T1/T2大于1.0的实施例与T1≤T2的比较例相比，也得到良好的直流叠加特性，并且能够降低磁芯损耗。

[0213] 当提高磁芯中的小颗粒的比率时，能够确认磁芯损耗和直流叠加特性进一步提高，而磁导率降低的趋势。可知从确保高磁导率并且改善磁芯损耗和直流叠加特性的观点出发，小颗粒的比率(AS/A0)优选为10％以上40％以下。

[0214] 此外，在实验5中，使用了非晶系第二大颗粒，但是即使在使结晶质系第一大颗粒和纳米结晶系第二大颗粒混合存在的情况下，也能够确认与实验5同样的趋势。

[0215] (实验6)

[0216] 在实验6中，改变金属磁性颗粒的填充率(即A0)，来制造表8所示的磁芯试样。基于环氧树脂的添加量来控制金属磁性颗粒的填充率。将实验6的各试样中的树脂量(环氧树脂相对于金属磁性颗粒的含量)和金属磁性颗粒的合计面积比例A0示于表8。此外，在表8的试样H1～试样H9中，使结晶质系第一大颗粒和非晶系第二大颗粒混合存在，树脂量和金属磁性颗粒的填充率以外的制造条件与实验2相同。将实验6的评价结果示于表8。

[0217]

【表8】

试样编号	实施例/比较例	第一大颗粒		第二大颗粒		树脂量（质量份）	金属磁性颗粒的合计面积比例A0（%）	金属磁性颗粒的混合存在比				磁导率μi（一）	直流叠加特性	磁芯损耗（kW/m³）
		颗粒结构	覆膜厚度T1（nm）	颗粒结构	覆膜厚度T2（nm）			第一大颗粒		第二大颗粒	小颗粒			
								$AL_1/A0$（%）		$AL_2/A0$（%）	AS/A0（%）			
H1	比较例	结晶质	15	非晶质	100	1.0	89.3	39.5		39.7	20.8	**38.1**	14.1%	1480
H2	比较例	结晶质	15	非晶质	15	1.0	89.5	40.3		39.6	20.1	**38.3**	14.3%	1460
H3	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	1.0	90.0	40.0		39.5	20.5	**38.6**	**8.4%**	**1100**
B10	比较例	结晶质	15	非晶质	100	2.5	79.3	41.5		40.9	17.6	**30.4**	17.3%	1780
B8	比较例	结晶质	15	非晶质	15	2.5	79.4	40.5		39.5	20.0	**30.1**	15.2%	1610
B20	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	2.5	79.4	40.9		40.2	18.9	**31.0**	**7.9%**	**1390**
H4	比较例	结晶质	15	非晶质	100	3.5	75.1	40.2		40.1	19.7	25.1	14.4%	1620
H5	比较例	结晶质	15	非晶质	15	3.5	75.3	40.4		39.6	20.0	25.3	14.1%	1610
H6	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	3.5	75.0	40.4		40.1	19.5	25.1	**8.4%**	**1310**
H7	比较例	结晶质	15	非晶质	100	4.0	*70.3*	40.1		39.8	20.1	20.2	15.5%	1580
H8	比较例	结晶质	15	非晶质	15	4.0	*70.1*	39.6		39.5	20.9	20.2	15.7%	1570
H9	比较例	结晶质	100	非晶质	15	4.0	*70.1*	39.7		40.0	20.3	20.1	14.8%	1470

[0218] 如表8所示，试样H3、试样B20和试样H6为实验6的实施例，A0在75％以上90％以下的范围内，并且T1/T2为1.0以上。在这些试样H3、试样B20和试样H6中，与对应的比较例相

比，磁芯损耗低，并且直流叠加特性良好。在A0小于75％的试样H9中，虽然T1/T2为1.0以上，但是直流叠加特性和磁芯损耗为与试样H7和试样H8相同程度。根据该结果可知，金属磁性颗粒的合计面积比例A0应当设定为75％以上90％以下。

[0219] 另外，作为实施例的试样H3与其它的实施例(试样B20和试样H6)相比，磁导率高，并且磁芯损耗低。即，可知呈现越提高金属磁性颗粒的填充率，磁导率μi越高，并且磁芯损耗越低的趋势，A0更优选为78％以上。

[0220] 此外，在实验6中，使用了非晶系第二大颗粒，但是即使在使结晶质系第一大颗粒和纳米结晶系第二大颗粒混合存在的情况下，也能够确认与实验6相同的趋势。

[0221] (实验7)

[0222] 在实验7中，改变小颗粒的规格，来制造表9和表10所示的磁芯试样。具体而言，在表9的试样I1和试样I5中，作为小颗粒使用平均粒径为1μm的Fe-Ni系合金颗粒，在试样I2和试样I6中，作为小颗粒使用平均粒径为1μm的Fe-Co系合金颗粒，在试样I3和试样I7中，作为小颗粒使用平均粒径为1μm的Fe-Si系合金颗粒，在试样I4和试样I8中，作为小颗粒使用平均粒径为1μm的Co颗粒。在这些小颗粒上，均形成有平均厚度为15±10nm的Ba-Zn-B-Si-Al-O系氧化物玻璃的绝缘覆膜。试样I1～试样I4中的小颗粒组成以外的制造条件与实验2的试样B20相同。试样I5～试样I8中的小颗粒组成以外的制造条件与实验2的C20相同。

[0223] 另外，在表10的试样J1～试样J4中，添加了覆膜组成不同的2种小颗粒。具体而言，在试样J1和试样J3中，使形成有Ba-Zn-B-Si-Al-O系氧化物玻璃的覆膜的Fe颗粒(第一小颗粒)和形成有Si-O系的绝缘覆膜的Fe颗粒(第二小颗粒)混合存在。另外，在试样J2和试样J4中，使形成有Si-Ba-Mn-O系氧化物玻璃的覆膜的Fe颗粒(第一小颗粒)和形成有Si-O系的绝缘覆膜的Fe颗粒(第二小颗粒)混合存在。在试样J1～试样J4中，小颗粒的绝缘覆膜的平均厚度均在15±10nm的范围内。试样J1和试样J2中的上述以外的制造条件与实验2的试样B20相同，试样J3和试样J4中的上述以外的制造条件与实验2的试样C20相同。

[0224] 将实验7的评价结果示于表9和表10。

[0225]

【表9】

试样编号	实施例/比较例	第一大颗粒		第二大颗粒		小颗粒组成	金属磁性颗粒的混合存在比				磁导率μi（一）	直流叠加特性	磁芯损耗（kW/m³）
		颗粒结构	覆膜厚度T1（nm）	颗粒结构	覆膜厚度T2（nm）		第一大颗粒		第二大颗粒	小颗粒			
							$AL_1/A0$（%）		$AL_2/A0$（%）	AS/A0（%）			
B20	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	Fe	40.9		40.2	18.9	31.0	**7.9%**	**1390**
I1	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	Fe－Ni	40.2		40.2	19.6	31.0	**7.9%**	**1310**
I2	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	Fe－Co	40.1		40.0	19.9	30.8	**7.8%**	**1330**
I3	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	Fe－Si	40.0		40.1	19.9	31.2	**8.1%**	**1340**
I4	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	Co	40.0		39.9	20.1	31.1	**8.2%**	**1350**
C20	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	Fe	40.1		40.0	19.9	30.2	**10.2%**	**1110**
I5	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	Fe－Ni	40.2		40.2	19.6	31.0	**10.3%**	**1120**
I6	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	Fe－Co	40.0		40.2	19.8	30.5	**10.0%**	**1100**
I7	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	Fe－Si	40.0		40.1	19.9	31.2	**10.4%**	**1110**
I8	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	Co	39.9		40.1	20.0	31.0	**10.5%**	**1140**

[0226]

【表10】

试样编号	实施例/比较例	第一大颗粒		第二大颗粒			第一小颗粒		第二小颗粒		金属磁性颗粒的混合存在比				磁导率 μi（一）	直流叠加特性	磁芯损耗（kW/m³）
		颗粒结构	覆膜厚度 T1（nm）	颗粒结构	覆膜厚度 T2（nm）	颗粒组成	覆膜组成	颗粒组成	覆膜组成	第一大颗粒		第二大颗粒	第一小颗粒	第二小颗粒			
										$AL_1/A0$（%）		$AL_2/A0$（%）	$AS_1/A0$（%）	$AS_2/A0$（%）			
B20	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	Fe	Ba-Zn-B-Si-Al-O 系	—	—	40.9		40.0	19.1	-	31.0	**7.9%**	**1390**
J1	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	Fe	Ba-Zn-B-Si-Al-O 系	Fe	Si—O 系	40.3		40.4	9.3	10.0	31.2	**6.7%**	**1350**
J2	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	Fe	Si-Ba-Mn-O 系	Fe	Si—O 系	40.2		40.1	10.1	9.6	31.1	**6.1%**	**1360**
C20	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	Fe	Ba-Zn-B-Si-Al-O 系	—	—	40.1		40.0	19.9	-	30.2	**10.2%**	**1110**
J3	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	Fe	Ba-Zn-B-Si-Al-O 系	Fe	Si—O 系	40.0		39.8	9.3	10.9	30.1	**9.1%**	**1100**
J4	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	Fe	Si-Ba-Mn-O 系	Fe	Si—O 系	40.2		39.9	10.1	9.8	30.2	**9.3%**	**1120**

[0227] 如表9所示，在改变了小颗粒的组成的试样I1～试样I8中，也与实验2的试样B20和试样C20同样地，能够使低磁芯损耗和良好的直流叠加特性兼得。根据该结果可知，在向磁

芯中添加小颗粒的情况下，小颗粒的组成没有特别限定，能够任意设定。

[0228] 如表10所示，在试样J1～试样J4中，与实验2的试样B20和试样C20相比，能够进一步提高直流叠加特性。根据该结果可知，通过使覆膜组成不同的2种小颗粒分散在磁芯中，能够实现直流叠加特性的进一步提高。

[0229] (实验8)

[0230] 在实验8中，与第一大颗粒、第二大颗粒和小颗粒一起还添加中颗粒，来制造表11所示的6种磁芯试样(试样K1～试样K6)。具体而言，向试样K1和试样K4的磁芯中添加平均粒径为5μm且具有纳米结晶结构的Fe-Si-B-Nb-Cu系合金颗粒作为中颗粒，向试样K2和试样K5的磁芯中添加平均粒径为5μm且具有结晶质结构的Fe-Si系合金颗粒作为中颗粒，向试样K3和试样K6的磁芯中添加平均粒径为5μm且具有非晶质结构的Fe-Si-B系合金颗粒作为中颗粒。此外，实验8中使用的中颗粒，D20均小于3μm，并且D80均为3μm以上。

[0231] 试样K1～试样K3中的上述以外的制造条件与实验2的试样B20相同，试样K4～试样K6中的上述以外的制造条件与实验2的试样C20相同。将实验8的评价结果示于表11。

[0232]

【表11】

试样编号	实施例/比较例	第一大颗粒		第二大颗粒		中颗粒结构	金属磁性颗粒的混合存在比				磁导率μi（—）	直流叠加特性	磁芯损耗（kW/m³）
		颗粒结构	覆膜厚度T1（nm）	颗粒结构	覆膜厚度T2（nm）		第一大颗粒	第二大颗粒	中颗粒	小颗粒			
							$AL_1/A0$（%）	$AL_2/A0$（%）	AM/A0（%）	AS/A0（%）			
B20	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	—	40.9	40.2	0.0	18.9	31.0	**7.9%**	**1390**
K1	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	纳米结晶	39.7	39.7	10.1	10.5	31.1	**7.5%**	**1280**
K2	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	结晶质	40.1	40.0	10.1	9.8	31.2	**7.4%**	**1420**
K3	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	非晶质	40.4	39.9	10.3	9.4	31.1	**7.4%**	**1340**
C20	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	—	40.1	40.0	0.0	19.9	30.2	**10.2%**	**1110**
K4	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	纳米结晶	40.2	39.7	10.0	10.1	30.1	**9.8%**	**1090**
K5	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	结晶质	40.5	39.5	10.1	9.9	30.3	**9.7%**	**1310**
K6	**实施例**	结晶质	100	纳米结晶	15	非晶质	40.1	40.1	10.2	9.6	30.4	**9.6%**	**1220**

[0233] 如表11所示，在添加了中颗粒的试样K1～试样K6中，也与实验2的试样B20和试样C20同样地，能够使低磁芯损耗和良好的直流叠加特性兼得。根据实验8的评价结果可知，可

以向磁芯中添加中颗粒，可知在添加中颗粒的情况下，从进一步降低磁芯损耗的观点出发，优选使用纳米结晶结构或非晶结构的中颗粒。

[0234] (实验9)

[0235] 在实验9中，将3种大颗粒和1种小颗粒混合，来制造磁芯试样。具体而言，在实验9中，使结晶质系第一大颗粒(与实验2相同的Fe-Si合金颗粒)、非晶系第二大颗粒、纳米结晶系第二大颗粒和小颗粒(与实验2相同的纯铁颗粒)以表12所示的比率混合存在，得到3种磁芯试样(试样L1～试样L3)。试样L1～试样L3中使用的非晶系第二大颗粒的规格(颗粒组成、平均粒径、覆膜组成等)与实验2的试样B20中使用的第二大颗粒相同。另外，试样L1～试样L3中使用的纳米结晶系第二大颗粒的规格与实验2的试样C20中使用的第二大颗粒相同。

[0236] 上述以外的实验条件与实验2的试样B20和试样C20相同。将实验9的评价结果示于表12。

[0237]

【表12】

试样编号	实施例/比较例	第一大颗粒		第二大颗粒（非晶质）		第二大颗粒（纳米结晶）		金属磁性颗粒的混合存在比				磁导率 μi（—）	直流叠加特性			磁芯损耗		
		颗粒结构	覆膜厚度 T1（nm）	颗粒结构	覆膜厚度 T2（nm）	颗粒结构	覆膜厚度 T3（nm）	第一大颗粒	第二大颗粒非晶质	第二大颗粒纳米结晶	小颗粒		测量值（%）	与期望值的差（%）	判断	测量值（kW/m^3）	改善率（%）	判断
								$AL_1/A0$（%）	$AL_2/A0$（%）	$AL_3/A0$（%）	AS/A0（%）							
B20	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	—	—	40.9	40.2	0.0	18.9	31.0	**7.9%**	**5.7%**	**G**	**1390**	**14.9%**	**VG**
C20	**实施例**	结晶质	100	—	—	纳米结晶	15	40.1	0.0	40.0	19.9	30.2	**10.2%**	**6.3%**	**G**	**1110**	**14.7%**	**VG**
L1	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	纳米结晶	15	39.7	10.2	30.4	19.7	31.1	**7.5%**	**8.3%**	**G**	**1200**	**12.7%**	**VG**
L2	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	纳米结晶	15	40.1	20.0	20.3	19.6	31.2	**7.4%**	**7.6%**	**G**	**1220**	**16.3%**	**VG**
L3	**实施例**	结晶质	100	非晶质	15	纳米结晶	15	40.4	30.3	10.3	19.0	31.1	**7.4%**	**7.0%**	**G**	**1340**	**13.3%**	**VG**

[0238] 如表12所示，即使在使3种大颗粒混合存在的试样L1～试样L3中，通过使结晶质系第一大颗粒的绝缘覆膜比第二大颗粒的绝缘覆膜厚(T1＞T2、T1＞T3)，也与实验2的试样

B20和试样C20同样地，能够使低磁芯损耗和良好的直流叠加特性兼得。

[0239] (实验10)

[0240] 在实验10中，改变具有结晶质结构的第一大颗粒的组成、和具有非晶结构或纳米结晶结构的第二大颗粒的组成，来制造表13和表14所示的磁芯试样。实验10中使用的结晶质系第一大颗粒，平均粒径均为20μm，非晶质化度均小于85％，平均微晶粒径均为100nm以上。另外，实验10中使用的非晶系第二大颗粒，平均粒径均为20μm，非晶质化度均为85％以上。另外，实验10中使用的纳米结晶系第二大颗粒，平均粒径为20μm，非晶质化度小于85％，平均微晶粒径在0.5nm～30nm的范围内。

[0241] 此外，在实验10中使用的结晶质系第一大颗粒、非晶系第二大颗粒和纳米结晶系第二大颗粒上，均形成有P-Zn-Al-O系氧化物玻璃的覆膜。

[0242] 表13所示的试样M1～试样M19是使1种大颗粒和1种小颗粒(纯铁颗粒)混合存在的比较例，在试样M1～试样M19中，以小颗粒的比率AS/A0成为20±2％的方式将大颗粒和小颗粒混合。试样M1～试样M19的制造条件，除了大颗粒的组成不同以外，与实验1相同。

[0243] 另一方面，表14所示的试样N1～试样N19是使结晶质结构的第一大颗粒、非晶结构或纳米结晶结构的第二大颗粒、和小颗粒(纯铁颗粒)混合存在的实施例。在试样N1～试样N19中，AL_1/A0为40±1％，AL_2/A0为40±1％，AS/A0为20±2％。试样N1～试样N19的制造条件，除了第一大颗粒或/和第二大颗粒的组成不同以外，与实验2相同。

[0244] 将实验10的评价结果示于表13和表14。此外，在表14所示的实施例中，参照表13所示的比较例的评价结果，来计算直流叠加特性的期望值和磁芯损耗的期望值，判断各实施例中的直流叠加特性和磁芯损耗的良否。

[0245]

【表13】

试样编号	实施例/比较例	大颗粒				小颗粒组成	金属磁性颗粒的混合存在比		磁导率μi	直流叠加特性（μi－μHdc）/μi	磁芯损耗
		结构	颗粒组成	覆膜组成	覆膜厚度（nm）		大颗粒 AL/A0（%）	小颗粒 AS/A0（%）	（－）	（%）	（kW/m^3）
A4	比较例	结晶质	Fe-Si 系	P-Zn-Al-O 系	100	Fe	78.6	21.4	30.2	13.3	1980
M1	比较例	结晶质	Fe 系	P-Zn-Al-O 系	100	Fe	80.3	19.7	29.6	14.4	2110
M2	比较例	结晶质	Fe-Ni 系	P-Zn-Al-O 系	100	Fe	79.5	20.5	29.8	14.4	1880
M3	比较例	结晶质	Fe-Si-Cr 系	P-Zn-Al-O 系	100	Fe	80.3	19.7	30.1	14.2	1880
M4	比较例	结晶质	Fe-Si-Al 系	P-Zn-Al-O 系	100	Fe	80.4	19.6	29.9	14.3	1580
M5	比较例	结晶质	Fe-Si-Al-Ni 系	P-Zn-Al-O 系	100	Fe	79.7	20.3	29.9	14.3	1580
M6	比较例	结晶质	Fe-Ni-Si-Co 系	P-Zn-Al-O 系	100	Fe	80.0	20.0	30.3	14.1	1680
M7	比较例	结晶质	Fe-Co 系	P-Zn-Al-O 系	100	Fe	79.6	20.4	30.3	14.2	2200
M8	比较例	结晶质	Fe-Co-V 系	P-Zn-Al-O 系	100	Fe	80.3	19.7	29.7	14.3	1800
M9	比较例	结晶质	Fe-Co-Si 系	P-Zn-Al-O 系	100	Fe	80.1	19.9	29.9	14.1	1890
M10	比较例	结晶质	Fe-Co-Si-Al 系	P-Zn-Al-O 系	100	Fe	79.6	20.4	29.8	13.3	1780
A8	比较例	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr 系	P-Zn-Al-O 系	15	Fe	80.8	19.2	30.8	13.5	1210
M11	比较例	非晶质	Fe-Si-B 系	P-Zn-Al-O 系	15	Fe	80.1	19.9	30.2	14.4	1200
M12	比较例	非晶质	Fe-Si-B-C 系	P-Zn-Al-O 系	15	Fe	79.6	20.4	29.8	14.4	1210
M13	比较例	非晶质	Fe-Si-B-C-Cr 系	P-Zn-Al-O 系	15	Fe	79.9	20.1	30.7	14.4	1240
M14	比较例	非晶质	Fe-Co-P-C 系	P-Zn-Al-O 系	15	Fe	79.8	20.2	30.2	13.3	1320
M15	比较例	非晶质	Fe-Co-B 系	P-Zn-Al-O 系	15	Fe	80.0	20.0	30.4	12.1	1440
M16	比较例	非晶质	Fe-Co-B-Si 系	P-Zn-Al-O 系	15	Fe	80.4	19.6	30.7	12.2	1330
A14	比较例	纳米结晶	Fe-Si-B-Nb-Cu 系	P-Zn-Al-O 系	15	Fe	79.8	20.2	30.2	19.3	580
M17	比较例	纳米结晶	Fe-Si-B-Nb-P 系	P-Zn-Al-O 系	15	Fe	80.0	20.0	30.1	17.4	780
M18	比较例	纳米结晶	Fe-Co-B-P-Si 系	P-Zn-Al-O 系	15	Fe	80.0	20.0	30.0	16.6	800
M19	比较例	纳米结晶	Fe-Co-B-P-Si-Cr 系	P-Zn-Al-O 系	15	Fe	79.9	20.1	29.9	15.5	890

[0246]

【表14】

试样编号	实施例/比较例	第一大颗粒			第二大颗粒			磁导率 μi（—）	直流叠加特性			磁芯损耗		
		颗粒结构	颗粒组成	覆膜厚度 T1（nm）	颗粒结构	颗粒组成	覆膜厚度 T2（nm）		测量值（%）	与期望值的差（%）	判断	测量值（kW/m^3）	改善率（%）	判断
B20	实施例	结晶质	Fe-Si 系	100	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr 系	15	31.0	7.9%	5.7%	G	1390	14.9%	VG
N1	实施例	结晶质	Fe 系	100	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr 系	15	30.5	8.0%	5.8%	G	1350	17.9%	VG
N2	实施例	结晶质	Fe-Ni 系	100	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr 系	15	29.6	7.8%	6.0%	G	1300	14.8%	VG
N3	实施例	结晶质	Fe-Si-Cr 系	100	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr 系	15	29.7	7.6%	6.1%	G	1280	16.3%	VG
N4	实施例	结晶质	Fe-Si-Al 系	100	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr 系	15	30.1	7.7%	6.1%	G	1150	16.7%	VG
N5	实施例	结晶质	Fe-Si-Al-Ni 系	100	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr 系	15	29.7	7.6%	6.2%	G	1180	14.7%	VG
N6	实施例	结晶质	Fe-Ni-Si-Co 系	100	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr 系	15	29.6	7.6%	6.1%	G	1180	17.9%	VG
N7	实施例	结晶质	Fe-Co 系	100	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr 系	15	29.8	7.1%	6.7%	G	1480	13.4%	VG
N8	实施例	结晶质	Fe-Co-V 系	100	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr 系	15	30.1	7.2%	6.5%	G	1190	19.6%	VG
N9	实施例	结晶质	Fe-Co-Si 系	100	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr 系	15	30.5	7.1%	6.7%	G	1200	22.4%	VG
N10	实施例	结晶质	Fe-Co-Si-Al 系	100	非晶质	Fe-Co-B-P-Si-Cr 系	15	30.3	7.2%	6.2%	G	1200	19.9%	VG
N11	实施例	结晶质	Fe-Si 系	100	非晶质	Fe-Si-B 系	15	30.3	7.7%	6.3%	G	1330	17.5%	VG
N12	实施例	结晶质	Fe-Si 系	100	非晶质	Fe-Si-B-C 系	15	30.2	7.4%	6.6%	G	1340	16.7%	VG
N13	实施例	结晶质	Fe-Si 系	100	非晶质	Fe-Si-B-C-Cr 系	15	29.9	7.7%	6.4%	G	1380	16.1%	VG
N14	实施例	结晶质	Fe-Si 系	100	非晶质	Fe-Co-P-C 系	15	30.0	7.4%	6.0%	G	1390	16.8%	VG
N15	实施例	结晶质	Fe-Si 系	100	非晶质	Fe-Co-B 系	15	30.4	7.5%	5.3%	G	1420	17.6%	VG
N16	实施例	结晶质	Fe-Si 系	100	非晶质	Fe-Co-B-Si 系	15	30.4	7.5%	5.3%	G	1380	17.5%	VG
C20	实施例	结晶质	Fe-Si 系	100	纳米结晶	Fe-Si-B-Nb-Cu 系	15	30.2	10.2%	6.3%	G	1110	14.7%	VG
N17	实施例	结晶质	Fe-Si 系	100	纳米结晶	Fe-Si-B-Nb-P 系	15	30.0	10.5%	5.1%	G	1190	15.7%	VG
N18	实施例	结晶质	Fe-Si 系	100	纳米结晶	Fe-Co-B-P-Si 系	15	29.6	9.6%	5.4%	G	1180	15.5%	VG
N19	实施例	结晶质	Fe-Si 系	100	纳米结晶	Fe-Co-B-P-Si-Cr 系	15	30.2	9.1%	5.4%	G	1180	18.5%	VG

[0247] 在表14所示的各实施例中，均能够使直流叠加特性比期望值改善5％以上，并且能够使磁芯损耗比期望值降低5％以上。根据该实验10的结果可知，第一大颗粒和第二大颗粒

的组成没有特别限定,能够任意选择。

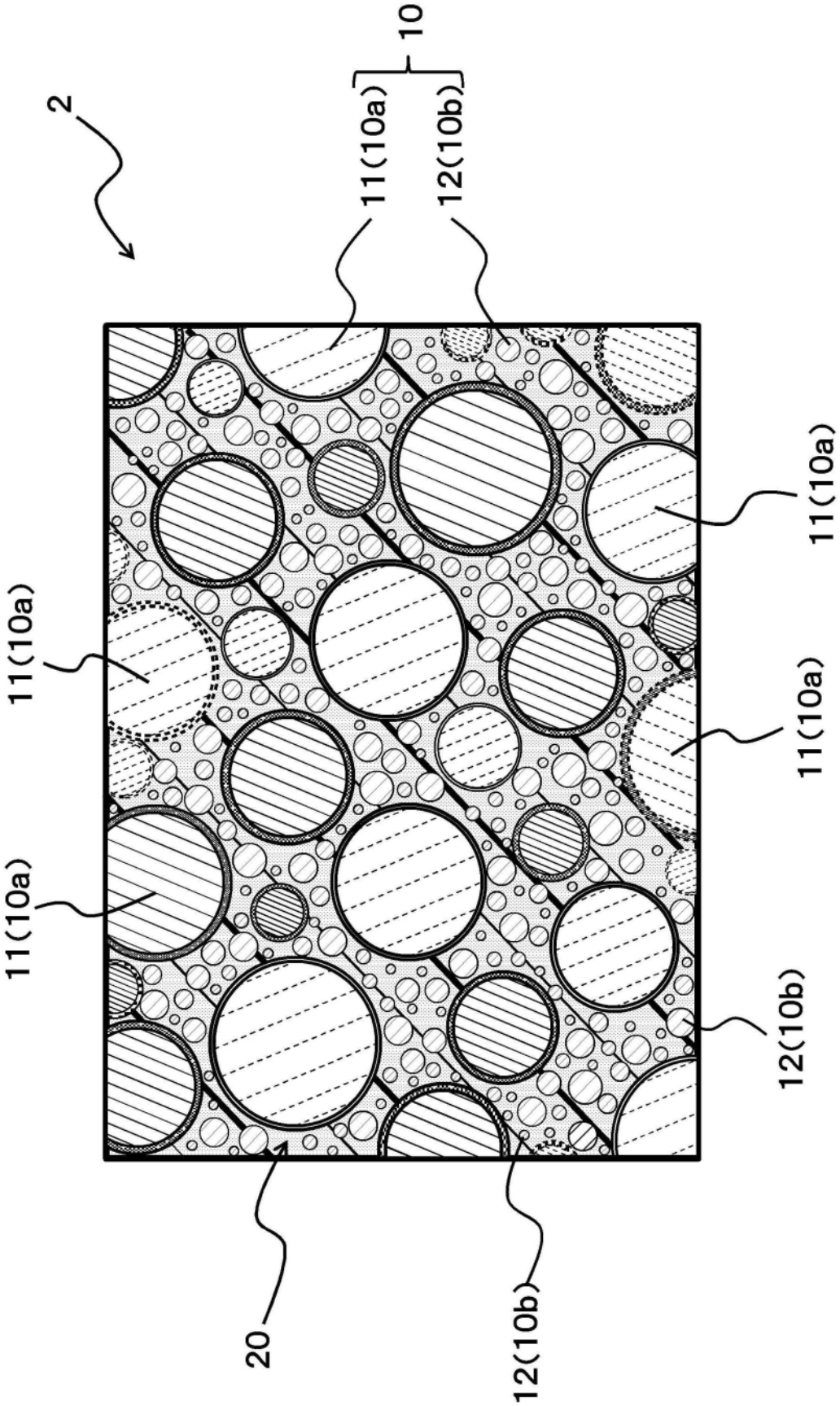


图1

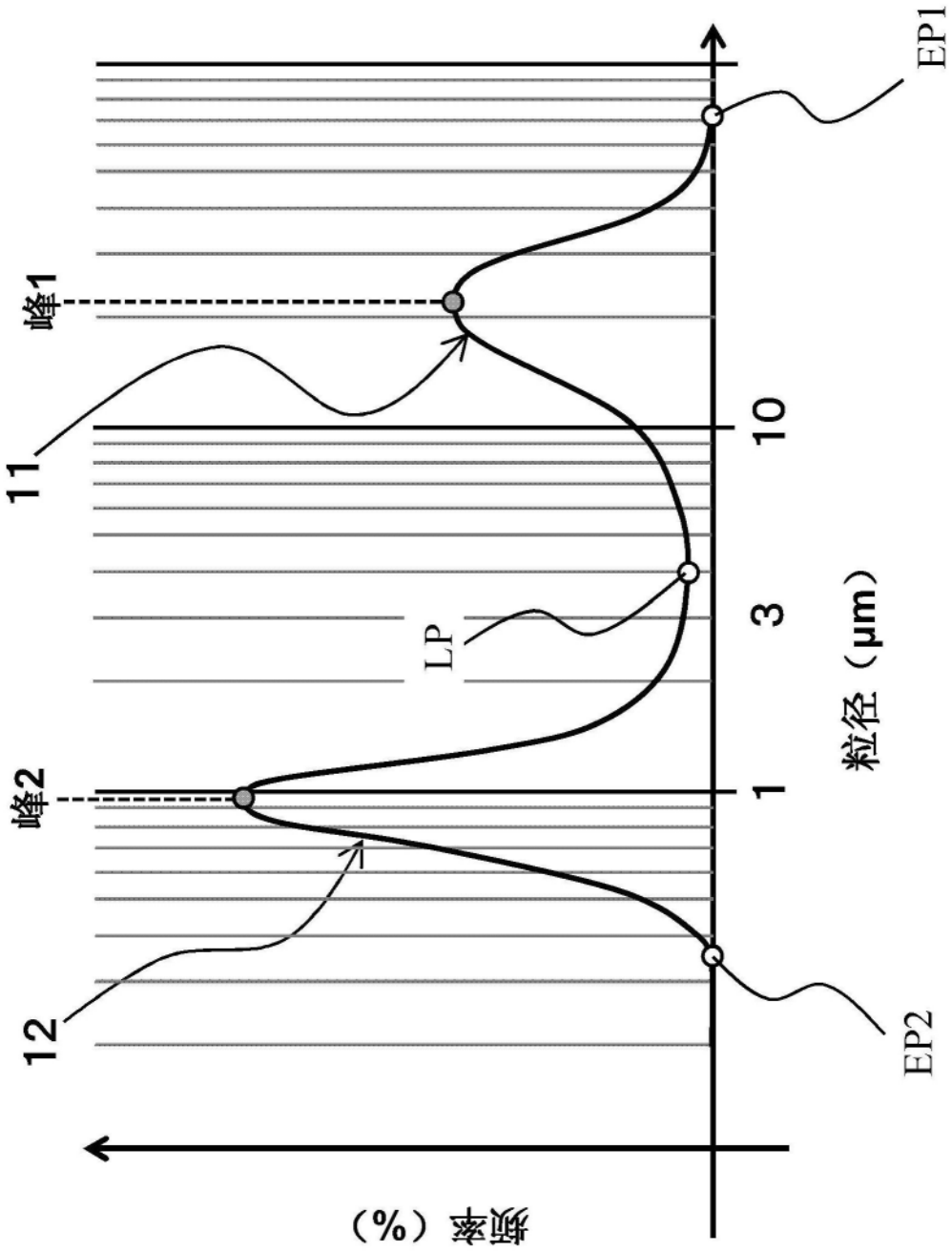


图2A

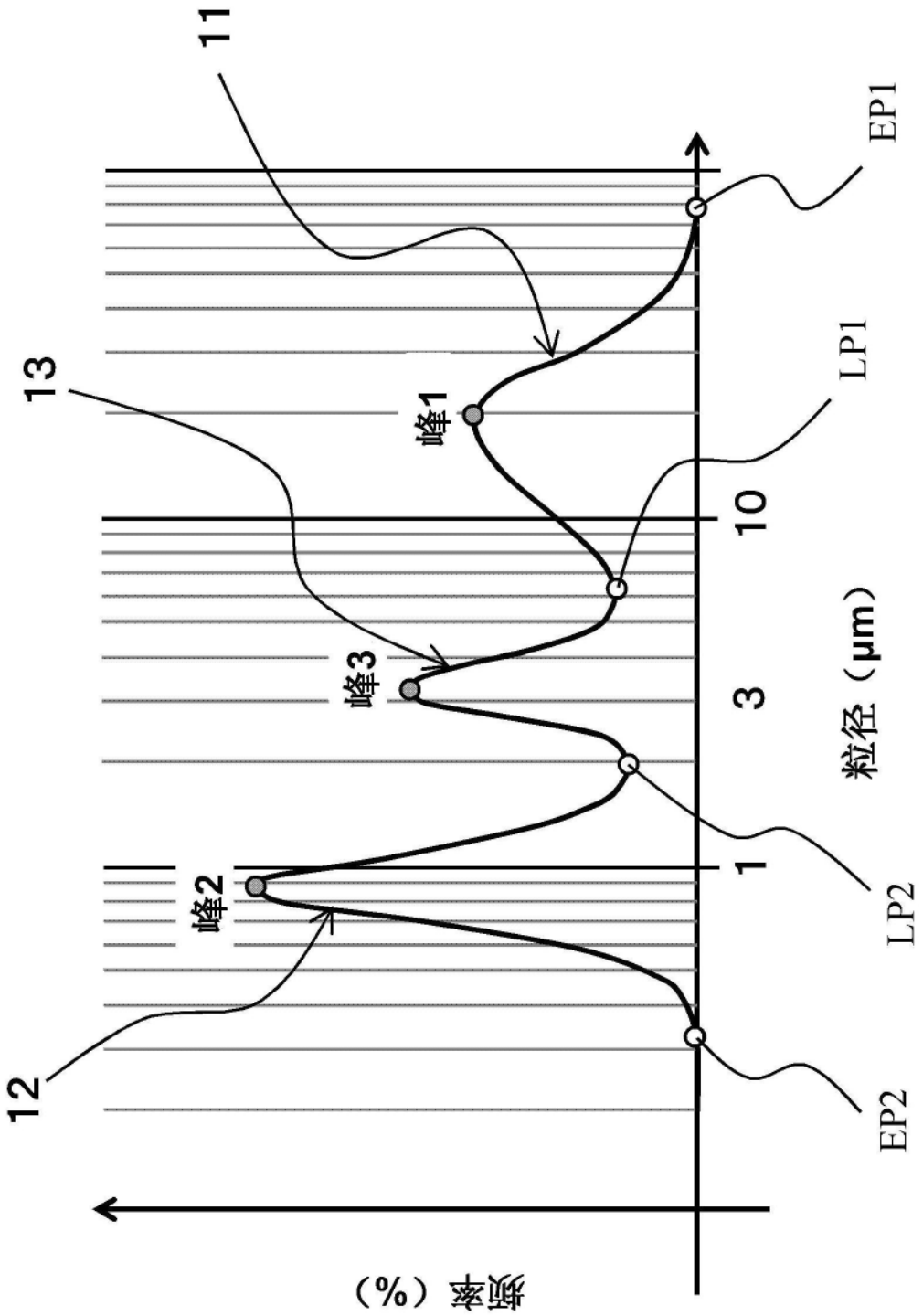


图2B

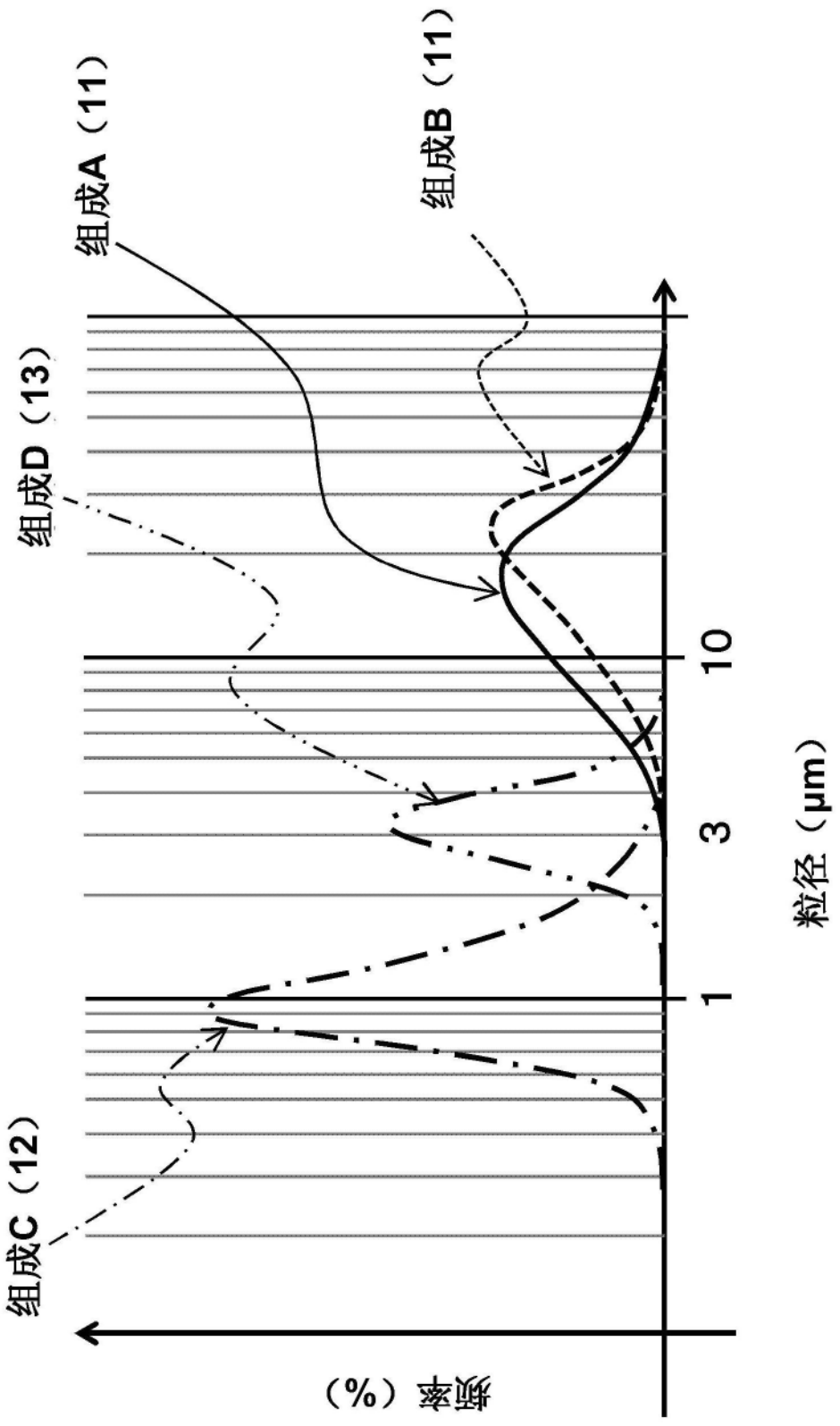


图2C

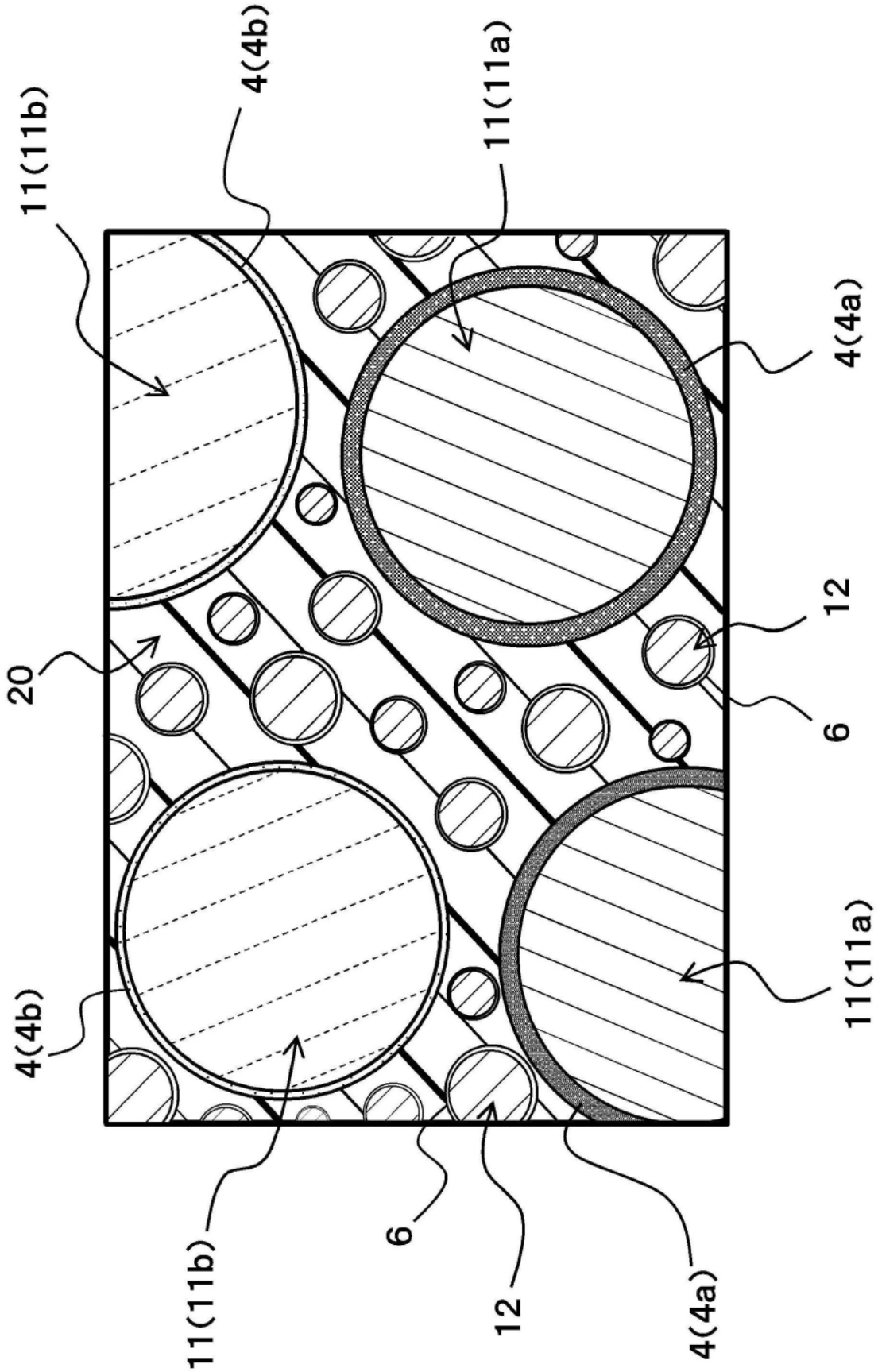


图3A

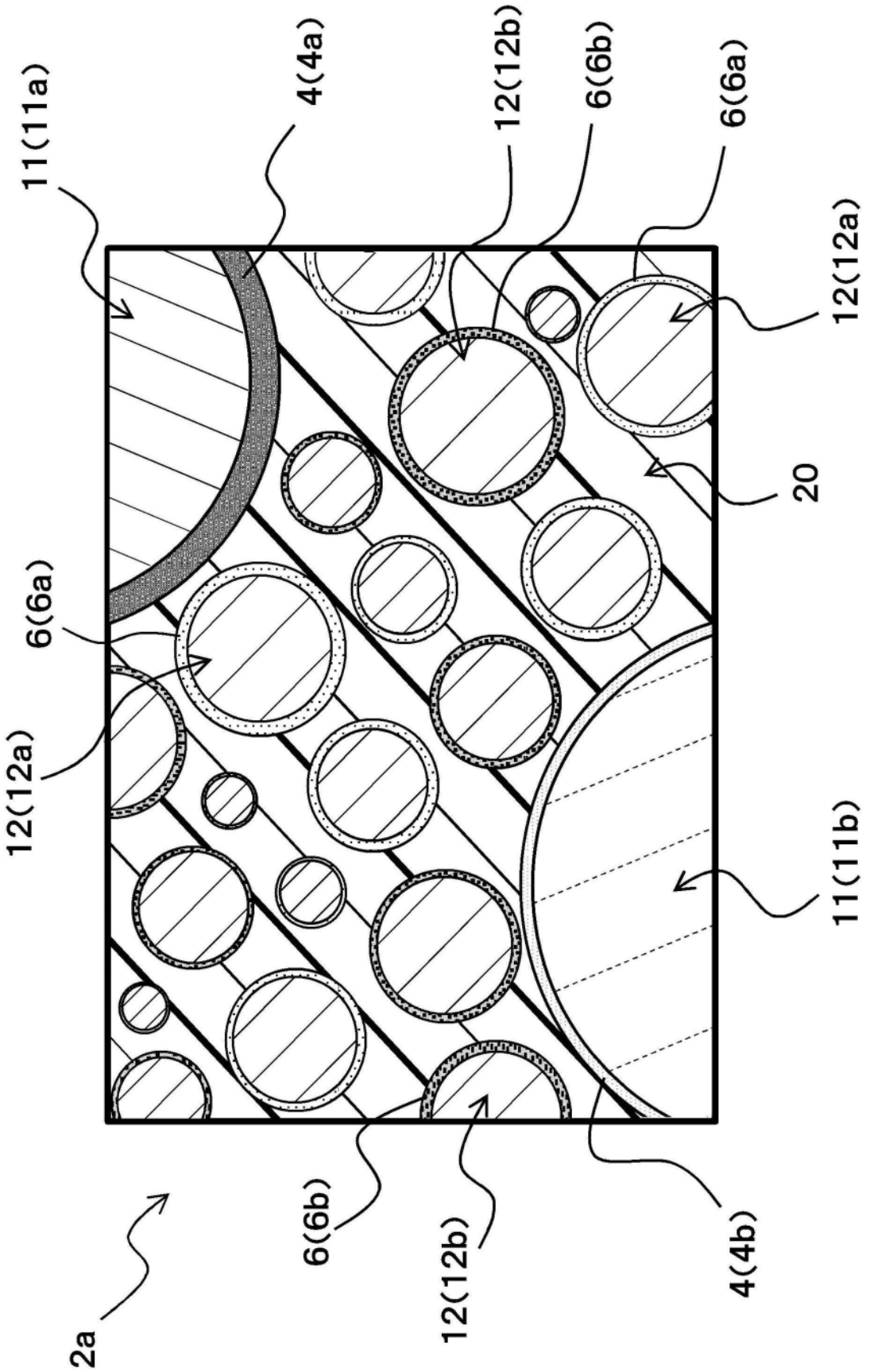

11(11a)
4(4a)
12(12b)
6(6b)
6(6a)
12(12a)
20
6(6a)
12(12a)
11(11b)
6(6b)
12(12b)
4(4b)
2a

图3B

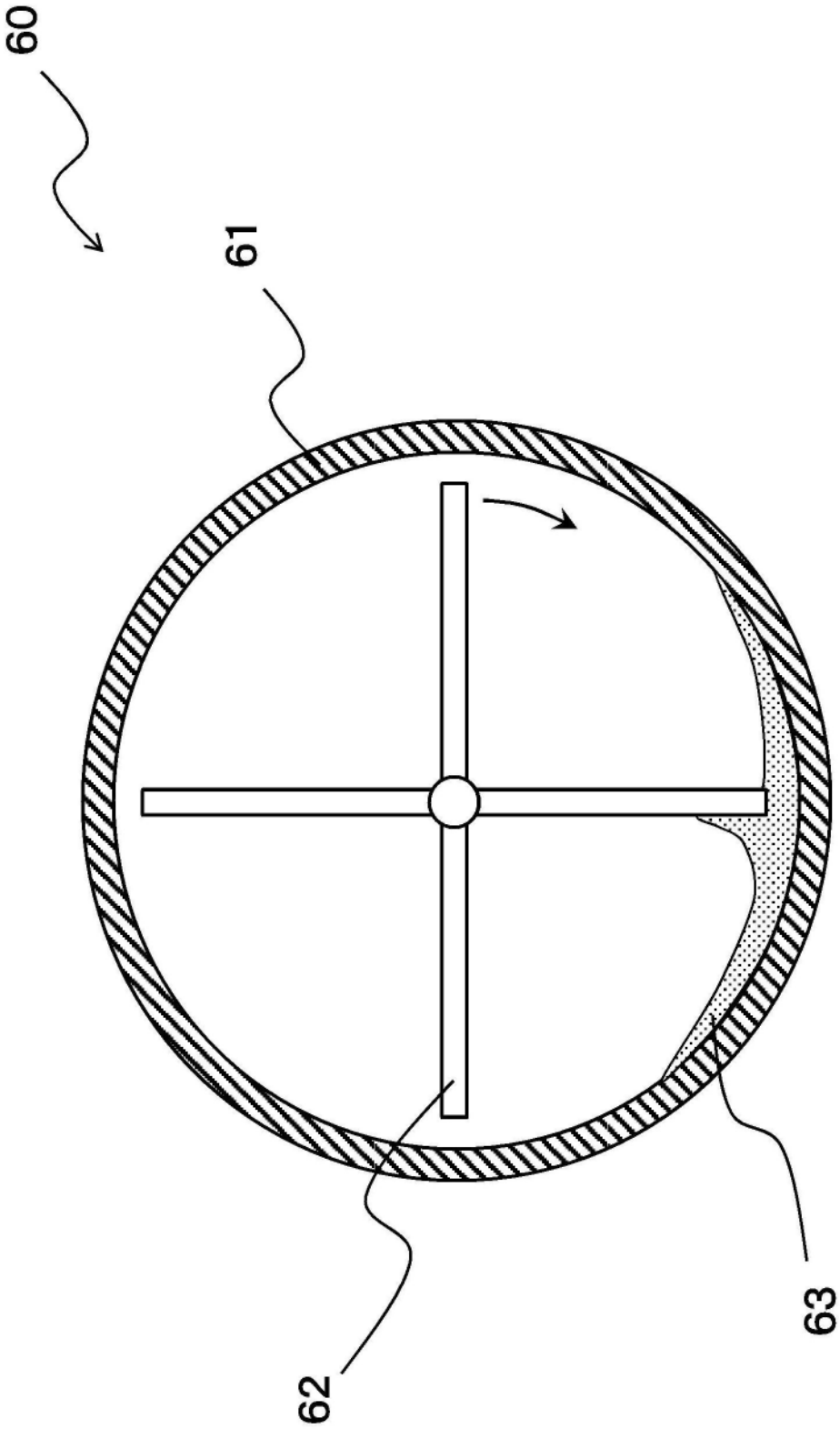


图4

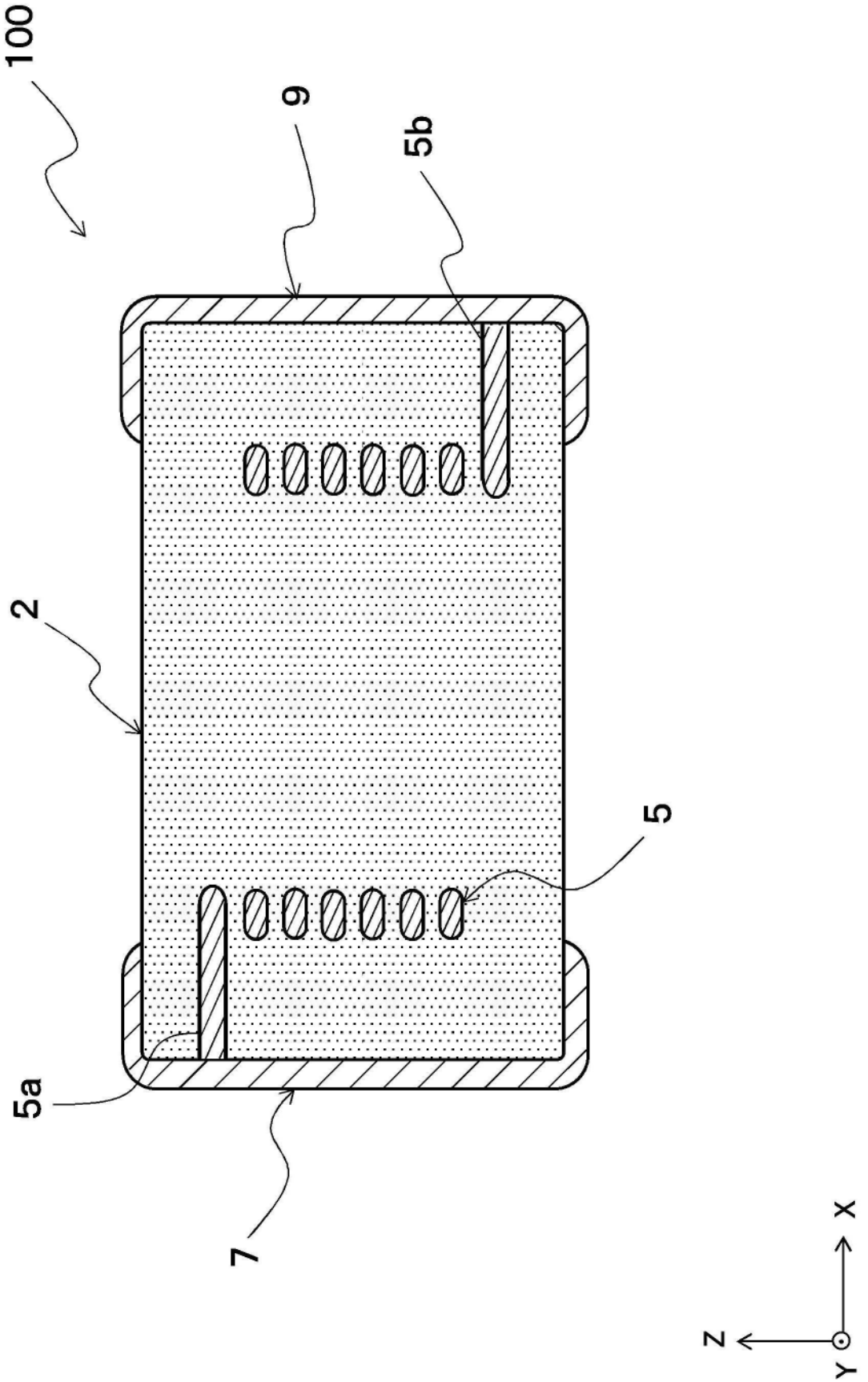


图5