



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118414443 A

(43) 申请公布日 2024. 07. 30

(21) 申请号 202280083596.9

(22) 申请日 2022.12.14

(30) 优先权数据

2022-001878 2022.01.07 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.06.17

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/046096 2022.12.14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/132197 JA 2023.07.13

(71) 申请人 杰富意钢铁株式会社

地址 日本

(72) 发明人 财前善彰 宫本幸乃 尾田善彦

大久保智幸 吉崎聪一郎

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

11227

专利代理师 金世煜

(51) Int.Cl.

G22C 38/00 (2006.01)

G21D 8/12 (2006.01)

G22C 38/60 (2006.01)

H01F 1/147 (2006.01)

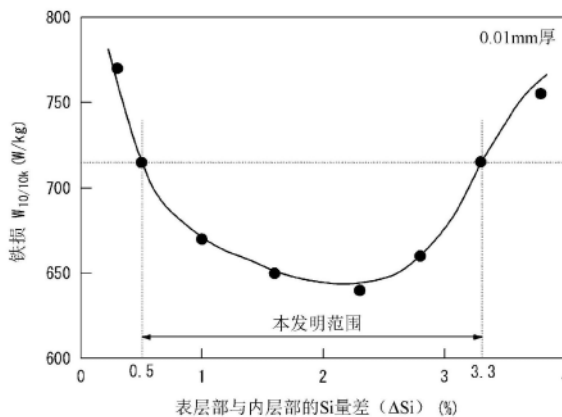
权利要求书1页 说明书15页 附图2页

(54) 发明名称

无方向性电磁钢板

(57) 摘要

本发明实现Si倾斜磁性材料的低铁损化和高磁通密度化。一种多层型电磁钢板,具有内层部和位于上述内层部的两侧的表层部的层叠结构,上述表层部和上述内层部具有规定的成分组成,定义为上述表层部的Si含量:[Si]<sub>1</sub>与上述内层部的Si含量:[Si]<sub>0</sub>之差([Si]<sub>1</sub>-[Si]<sub>0</sub>)的ΔSi为0.5~3.3质量%,上述电磁钢板的上述表层部的合计厚度:t1与板厚:t的比率(t1/t)为0.08~0.73,磁场强度:5000A/m时的饱和磁化强度Bs与磁通密度B<sub>50</sub>之比(B<sub>50</sub>/Bs)为0.825以上,并且频率:10kHz、最大磁通密度:1.0T下的铁损:W<sub>10/10k</sub>与上述板厚t满足式W<sub>10/10k</sub>≤25+6900×t。



1. 一种无方向性电磁钢板,是具有内层部和位于所述内层部的两侧的表层部的层叠结构的多层型电磁钢板,

所述表层部具有如下成分组成:以质量%计,含有Si:4.0~7.5%和C:0.0010~0.0100%、Co:0.0010%~0.0100%,进一步含有Sn:0.010~0.100%和Sb:0.010~0.100%中的任1种或2种,剩余部分为Fe和不可避免的杂质;

所述内层部具有如下成分组成:以质量%计,含有Si:3.0~6.0%和C:0.0010~0.0100%、Co:0.0010%~0.0100%,进一步含有Sn:0.010~0.100%和Sb:0.010~0.100%中的任1种或2种,剩余部分为Fe和不可避免的杂质;

$\Delta Si$ 为0.5~3.3质量%,该 $\Delta Si$ 定义为所述表层部的Si含量 $[Si]_1$ 与所述内层部的Si含量 $[Si]_0$ 之差 $[Si]_1 - [Si]_0$ ,

所述电磁钢板的所述表层部的合计厚度 $t_1$ 与板厚 $t$ 的比率 $t_1/t$ 为0.08~0.73,

磁场强度5000A/m时的饱和磁化强度 $B_s$ 与磁通密度 $B_{50}$ 之比 $B_{50}/B_s$ 为0.825以上,并且频率10kHz、最大磁通密度1.0T下的铁损 $W_{10/10k}$ 与所述板厚 $t$ 满足下述式(1),

$$W_{10/10k} \leq 25 + 6900 \times t \cdot \cdot \cdot (1).$$

2. 根据权利要求1所述的无方向性电磁钢板,其中,所述表层部的成分组成和所述内层部的成分组成中的任一方或两方以质量%计,进一步含有P:0.100%以下。

3. 根据权利要求1或2所述的无方向性电磁钢板,其中,所述表层部的成分组成和所述内层部的成分组成中的任一方或两方以质量%计,进一步含有合计0.0100%以下的选自Ge和Ga中的1种或2种。

4. 根据权利要求1~3中任一项所述的无方向性电磁钢板,其中,所述表层部的成分组成和所述内层部的成分组成中的任一方或两方以质量%计,进一步含有合计1.00%以下的选自Cu、Cr和Ni中的1种或2种以上。

5. 根据权利要求1~4中任一项所述的无方向性电磁钢板,其中,所述表层部的成分组成和所述内层部的成分组成中的任一方或两方以质量%计,进一步含有合计0.0200%以下的选自Ca、Mg和REM中的1种或2种以上。

6. 根据权利要求1~5中任一项所述的无方向性电磁钢板,其中,所述表层部的成分组成和所述内层部的成分组成中的任一方或两方以质量%计,进一步含有0.0500%以下的Zn。

7. 根据权利要求1~6中任一项所述的无方向性电磁钢板,其中,所述表层部的成分组成和所述内层部的成分组成中的任一方或两方以质量%计,进一步含有合计0.0500%以下的选自Mo和W中的1种或2种。

8. 根据权利要求1~7中任一项所述的无方向性电磁钢板,其中,在从所述多层型电磁钢板的表面起板厚的1/4的深度的面的取向分布函数的 $\Phi_2 = 45^\circ$ 截面中, $\{100\}$ 面集成度的最高强度值为6.0以上。

9. 根据权利要求1~8中任一项所述的无方向性电磁钢板,其中,所述板厚为0.03~0.20mm。

## 无方向性电磁钢板

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种无方向性电磁钢板,特别涉及一种在板厚方向上具有Si浓度梯度的无方向性电磁钢板。

### 背景技术

[0002] 例如,从小型化、轻量化、高效率化的观点出发,无人机用马达、吸尘器用马达在1kHz~20kHz这样的非常高的频率范围内进行驱动。作为这样的马达的芯材使用的无方向性电磁钢板要求高频铁损低且磁通密度高的特性。

[0003] 为了降低高频铁损,增大固有电阻是有效的,因此以往进行了高Si钢的开发。但是,由于Si为非磁性元素,所以存在磁通密度和饱和磁化强度降低的问题。

[0004] 作为兼顾高频铁损的降低和高磁通密度的方法,正在开发对板厚方向的Si浓度梯度进行控制的所谓的Si倾斜磁性材料。例如,专利文献1中公开了一种电磁钢板,其在板厚方向上具有Si的浓度梯度,钢板表面的Si浓度比钢板的板厚中心部的Si浓度高,Si浓度5~8%的部分从钢板的两表面起在板厚深度方向上为板厚的10%以上,并且板厚中心部的Si浓度为3.4%以上。

[0005] 现有技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 专利文献1:日本特开平11-293422号公报

### 发明内容

[0008] 但是,如果使用仅在板厚方向上赋予Si浓度梯度的材料作为无人机、吸尘器马达等(例如频率:1~20kHz、磁通密度:0.8~2.0T)的铁芯材料,则磁滞损耗大且磁通密度低,因此铁损和铜损不会充分降低。因此,本发明的课题在于Si倾斜磁性材料的低铁损化和高磁通密度化。

[0009] 发明人等为了解决上述课题,为了兼顾低铁损和高磁通密度,着眼于成分对Si倾斜材料的磁特性的影响进行反复研究。结果发现通过使Si倾斜材料的表层部与内层部的Si浓度差适当,进一步添加Co以及选自Sn和Sb中的1种或2种,可以兼顾高频低铁损和高磁通密度。

[0010] 本发明的主旨如下。

[0011] 1.一种无方向性电磁钢板,是具有内层部和位于上述内层部的两侧的表层部的层叠结构的多层型电磁钢板,

[0012] 上述表层部具有如下成分组成:以质量%计,含有Si:4.0~7.5%和C:0.0010~0.0100%、Co:0.0010%~0.0100%,进一步含有Sn:0.010~0.100%和Sb:0.010~0.100%中的任1种或2种,剩余部分为Fe和不可避免的杂质;

[0013] 上述内层部具有如下成分组成:以质量%计,含有Si:3.0~6.0%和C:0.0010~0.0100%、Co:0.0010%~0.0100%,进一步含有Sn:0.010~0.100%和Sb:0.010~0.100%

中的任1种或2种,剩余部分为Fe和不可避免的杂质;

[0014] 定义为上述表层部的Si含量:[Si]<sub>1</sub>与上述内层部的Si含量:[Si]<sub>0</sub>之差([Si]<sub>1</sub>—[Si]<sub>0</sub>)的 $\Delta Si$ 为0.5~3.3质量%,

[0015] 上述电磁钢板的上述表层部的合计厚度:t<sub>1</sub>与板厚:t的比率(t<sub>1</sub>/t)为0.08~0.73,

[0016] 磁场强度:5000A/m时的饱和磁化强度Bs与磁通密度B<sub>50</sub>之比(B<sub>50</sub>/Bs)为0.825以上,并且频率:10kHz、最大磁通密度:1.0T下的铁损:W<sub>10/10k</sub>与上述板厚t满足下述式(1)。

[0017]  $W_{10/10k} \leq 25 + 6900 \times t \dots (1)$

[0018] 2.根据上述1所述的无方向性电磁钢板,其中,上述表层部的成分组成和上述内层部的成分组成中的任一方或两方以质量%计,进一步含有P:0.100%以下。

[0019] 3.根据上述1或2所述的无方向性电磁钢板,其中,上述表层部的成分组成和上述内层部的成分组成中的任一方或两方以质量%计,进一步含有合计0.0100%以下的选自Ge和Ga中的1种或2种。

[0020] 4.根据上述1~3中任一项所述的无方向性电磁钢板,其中,上述表层部的成分组成和上述内层部的成分组成中的任一方或两方以质量%计,进一步含有合计1.00%以下的选自Cu、Cr和Ni中的1种或2种以上。

[0021] 5.根据上述1~4中任一项所述的无方向性电磁钢板,其中,上述表层部的成分组成和上述内层部的成分组成中的任一方或两方以质量%计,进一步含有合计0.0200%以下的选自Ca、Mg和REM中的1种或2种以上。

[0022] 6.根据上述1~5中任一项所述的无方向性电磁钢板,其中,上述表层部的成分组成和上述内层部的成分组成中的任一方或两方以质量%计,进一步含有0.0500%以下的Zn。

[0023] 7.根据上述1~6中任一项所述的无方向性电磁钢板,其中,上述表层部的成分组成和上述内层部的成分组成中的任一方或两方以质量%计,进一步含有合计0.0500%以下的选自Mo和W中的1种或2种。

[0024] 8.根据上述1~7中任一项所述的无方向性电磁钢板,其中,在从上述多层型电磁钢板的表面起板厚的1/4的深度的面的取向分布函数的 $\Phi_2=45^\circ$ 截面中,{100}面集成度的最高强度值为6.0以上。

[0025] 9.根据上述1~8中任一项所述的无方向性电磁钢板,其中,上述板厚为0.03~0.20mm。

[0026] 根据本发明,可以提供低铁损且高磁通密度的Si倾斜磁性材料。

## 附图说明

[0027] 图1是表示定义为表层部与内层部的Si含量之差([Si]<sub>1</sub>—[Si]<sub>0</sub>)的 $\Delta Si$ (质量%)与1.0T、10kHz下的总铁损:W<sub>10/10k</sub>(W/kg)的相关关系的图。

[0028] 图2是表示 $\Delta Si$ 与磁通密度比(B<sub>50</sub>/Bs)的相关关系的图。

[0029] 图3是表示多层比与总铁损(W<sub>10/10k</sub>)的相关关系的图。

## 具体实施方式

[0030] 为了解决上述课题,发明人等进行了各种实验而完成了本发明。下面对这些实验

的一个例子进行说明。在将无方向性电磁钢板制成在内层部与从两侧夹着其的表层部之间具有Si含量差的多层型电磁钢板的情况下,研究了表层部与内层部的Si含量之差 $\Delta Si$ (以下也简称为 $\Delta Si$ )对磁特性的影响。即,按照以下步骤制作 $\Delta Si$ 不同的多层型电磁钢板,评价其磁特性。应予说明,以下所示的“%”显示只要没有特别说明,就表示“质量%”。

[0031] 首先,在内层部用的钢坯材的两面贴合表层部用的钢坯材以使电磁钢板的各表层部的厚度与板厚(总厚)的比率成为0.3(合计0.6)后,供于热轧。上述表层部用的钢坯材和内层部用的钢坯材均使用熔炼成所期望的成分组成的铸锭。内层部的Si含量 $[Si]_0$ 为3.7%。准备多个Si含量不同的表层部用的钢坯材使表层部的Si含量 $[Si]_1$ 在4.0%~7.5%的范围变化。应予说明,表层部和内层部均使C含量为0.0025%、Co含量为0.0030%、Sn含量为0.030%。表层部和内层部的成分组成均是剩余部分为Fe和不可避免的杂质。另外,表层部的成分组成在内层部的两侧的表层部相同。

[0032] 上述热轧后,进行 $980^{\circ}\text{C} \times 30\text{s}$ 的热轧板退火,接着,通过冷轧使板厚为0.10mm。然后,进行 $1050^{\circ}\text{C} \times 30\text{s}$ 的最终退火,得到电磁钢板。

[0033] 从得到的电磁钢板中分别采取宽度30mm和长度180mm的试验片,进行爱泼斯坦试验,评价磁特性。在上述爱泼斯坦试验中,使用等量的以试验片的长度方向为轧制方向(L方向)的方式采取的L方向试验片、和以试验片的长度方向为轧制直角方向(C方向)的方式采取的C方向试验片进行测定,以L方向和C方向的磁特性的平均值进行评价。

[0034] 图1中示出定义为表层部与内层部的Si含量之差( $[Si]_1 - [Si]_0$ )的 $\Delta Si$ (质量%)与1.0T和10kHz下的总铁损: $W_{10/10k}$ (W/kg)的相关关系。另外,图2中示出 $\Delta Si$ 与磁通密度比( $B_{50}/B_s$ )的相关关系。这里,上述“磁通密度比”是指磁场强度:5000A/m时的饱和磁化强度: $B_s$ 与磁通密度: $B_{50}$ 之比( $B_{50}/B_s$ )。

[0035] 由图1所示的结果可知,如果 $\Delta Si$ 为0.5质量%~3.3质量%,则可以将铁损抑制得低。具体而言,当板厚 $t=0.10\text{mm}$ 时,可以将铁损 $W_{10/10k}$ 抑制到将板厚 $t=0.10\text{mm}$ 代入下式(1)而得的值即715W/kg以下。

[0036]  $W_{10/10k} \leq 25 + 6900 \times t \dots (1)$

[0037] 另外,由图2所示的结果可知,当 $\Delta Si$ 超过3.3质量%时,磁通密度比急剧降低。认为这是由于以下原因。即,在表层部的Si量比内层部高的情况下,表层部的磁导率高于内层部。其结果,磁通量集中在表层部,涡流损耗降低。但是,如果 $\Delta Si$ 过大,则表层部与内层部的晶格常数之差和磁致伸缩之差随之变大。其结果,将钢板磁化时所施加的应力增大,因此磁滞损耗增加,介质磁场区域的磁通密度降低。

[0038] 根据以上原因,使本发明中定义为表层部的Si含量与上述内层部的Si含量之差( $[Si]_1 - [Si]_0$ )的 $\Delta Si$ 为0.5~3.3质量%。优选 $\Delta Si$ 为1.0~3.0质量%。

[0039] 接下来,研究了多层型电磁钢板的表层部的合计厚度: $t_1$ 与板厚: $t$ 的比率( $t_1/t$ ) (以下有时称为“多层比”)对磁特性的影响。即,按照以下步骤制作多层比不同的电磁钢板,评价其磁特性。这里,“表层部的合计厚度”是指设置于内层部的两侧的表层部的厚度的和。

[0040] 首先,将表层部用的钢坯材和内层部用的钢坯材以多层比成为0.02~0.80的方式贴合,进行热轧。上述表层用的钢坯材和内层部用的钢坯材均使用熔炼成所期望的成分组成的铸锭。表层部的Si含量 $[Si]_1$ 为6.0%,内层部的Si含量 $[Si]_0$ 为4.5%。另外,在表层部和内层部中,均为C:0.0030%、Co含量:0.0020%、Sn含量:0.050%,剩余部分为Fe和不可避免

的杂质。另外,表层部的成分组成在内层部的两侧相同。

[0041] 上述热轧后,进行 $950^{\circ}\text{C} \times 30\text{s}$ 的热轧板退火,接着,通过冷轧使板厚为 $0.08\text{mm}$ 。然后,进行 $1100^{\circ}\text{C} \times 30\text{s}$ 的最终退火,得到电磁钢板。

[0042] 图3中示出多层比与总铁损( $W_{10/10k}$ )的相关关系。根据其结果可知多层比为 $0.08 \sim 0.73$ 时铁损大大降低。具体而言,当板厚 $t = 0.08\text{mm}$ 时,可以将铁损 $W_{10/10k}$ 抑制到将板厚 $t = 0.08\text{mm}$ 代入下式(1)而得的值即 $577\text{W/kg}$ 以下。

[0043]  $W_{10/10k} \leq 25 + 6900 \times t \cdots (1)$

[0044] 认为该铁损的降低是由于以下原因。首先,当多层比小于 $0.08$ 时,高电阻的表层部的比例低,因此无法有效地降低集中于表层部的涡流。另一方面,当多层比超过 $0.73$ 时,表层部与内层部的磁导率差变小,因此磁通量渗透到内层部,也会从内层部产生涡流损耗。因此,通过使多层比为 $0.08 \sim 0.73$ ,能够降低铁损。根据以上原因,本发明中使多层比( $t_1/t$ )为 $0.08 \sim 0.73$ 。优选 $t_1/t$ 为 $0.10 \sim 0.70$ ,更优选为 $0.30 \sim 0.60$ 。

[0045] 应予说明,夹着内层部的一个表层部的厚度 $t_{1-1}$ 和另一个表层部的厚度 $t_{1-2}$ 优选相同,但不一定必须相同。即, $t_{1-1}$ 与 $t_{1-2}$ 可以具有 $20\%$ 左右(将较厚的一方设为 $100\%$ 时,较薄的一方为 $80 \sim 100\%$ )的厚度差。

[0046] [板厚]

[0047] 应予说明,上述多层型电磁钢板的板厚: $t$ 没有特别限定,可以为任意的值。但是,如果多层型电磁钢板过薄,则该多层型电磁钢板的制造中的冷轧、退火的实施变得困难,有时导致成本增加。因此,从降低制造成本的观点出发,优选使 $t$ 为 $0.03\text{mm}$ 以上。另一方面,如果使 $t$ 为 $0.20\text{mm}$ 以下,则可以进一步降低涡流损耗,其结果,可以进一步降低总铁损。因此, $t$ 优选为 $0.20\text{mm}$ 以下。

[0048] [磁通密度比]

[0049]  $B_{50}/B_s$ : $0.825$ 以上

[0050] 使磁场强度: $5000\text{A/m}$ 时的饱和磁化强度 $B_s$ 与磁通密度 $B_{50}$ 之比( $B_{50}/B_s$ )为 $0.825$ 以上。通过提高 $B_{50}/B_s$ ( $0.825$ 以上),可以改善小型马达中使用的设计磁通密度区域中的磁化曲线的上升。由此,得到规定的扭矩所需的马达电流变少,因此可以降低铜损,改善马达效率。

[0051] [铁损]

[0052] 在本发明中,频率: $10\text{kHz}$ 、最大磁通密度: $1.0\text{T}$ 下的铁损(总铁损): $W_{10/10k}$ ( $\text{W/kg}$ )与上述板厚: $t$ ( $\text{mm}$ )必须满足下述式(1)。

[0053]  $W_{10/10k} \leq 25 + 6900 \times t \cdots (1)$

[0054] 这是因为当不满足上述式(1)的关系时,不仅导致马达效率的降低,而且定子铁芯的发热超过 $100^{\circ}\text{C}$ 而需要冷却系统。应予说明,铁损取决于板厚,因此在上述式(1)中,考虑板厚的影响而规定了铁损的上限值。

[0055] 应予说明,为了满足上述式(1),通过控制织构来降低磁滞损耗,并且通过将Si浓度梯度和多层比控制在规定的范围来降低涡流损耗。

[0056] [织构]

[0057]  $\{100\}$ 面集成度的最高强度值为 $6.0$ 以上

[0058] 适量添加Co,适量添加作为偏析元素的Sn、Sb中的至少一种,由此可以增加无方向

性电磁钢板的{100}面,在该面内容易磁化。另外,P也是偏析元素,通过适量添加,增加{100}面的效果提高。其结果,在磁通密度提高的同时磁滞损耗也降低。因此,优选使{100}面集成度为6.0以上。这里,{100}面集成度定义为从无方向性电磁钢板的表面起板厚的1/4的深度的面的取向分布函数(ODF)的 $\Phi_2=45^\circ$ 截面中的强度。

[0059] 以下对本发明的成分的规定理由进行说明。

[0060] [成分组成]

[0061] 首先,对上述表层部和内层部的成分组成进行说明。应予说明,以下的说明中,表示各元素的含量的“%”只要没有特别说明,就表示“质量%”。

[0062] [表层部的成分组成]

[0063] 首先,对上述表层部的成分组成进行说明。本发明中,设置于多层型电磁钢板的一个面的第1表层部和设置于另一个面的第2表层部这两者具有以下所述的成分组成。一般而言,第1表层部的成分组成和第2表层部的成分组成只要相同即可,但两者也可以不同。另外,这里,表层部的元素的含量是指各表层部的该元素的平均含量。

[0064] 即,表层部的成分组成含有Si:4.0~7.5%和C:0.0010~0.0100%、Co:0.0010~0.0100%,进一步含有Sn:0.010~0.100%和Sb:0.010~0.100%中的任1种或2种,剩余部分为Fe和不可避免的杂质。

[0065] Si:4.0~7.5%

[0066] Si是具有提高钢板的电阻、降低涡流损耗的作用的元素。如果表层部的Si含量([Si]<sub>l</sub>)小于4.0%,则无法有效地降低涡流损耗。因此,表层部的Si含量为4.0%以上,优选为4.5%以上。另一方面,如果表层部的Si含量超过7.5%,则因饱和磁化强度降低而使磁通密度降低。因此,表层部的Si含量为7.5%以下,优选小于7.0%,更优选为6.5%以下。应予说明,如上所述,表层部的Si含量为4.0~7.5%是指第1表层部的平均Si含量为4.0~7.5%,且第2表层部的平均Si含量为4.0~7.5%。第1表层部的平均Si含量与第2表层部的平均Si含量可以相同,也可以不同。同样的定义也适用于以下所示的其它元素。

[0067] C:0.0010~0.0100%

[0068] C是在晶界偏析而提高晶界强度、改善材料的加工性的元素。通过添加0.0010%以上的C,材料的伸长率改善。因此,使下限为0.0010%。优选为0.0015%以上。另一方面,如果添加量超过0.0100%,则因磁时效而铁损增加,因此使上限为0.0100%。优选为0.0060%以下。

[0069] Co:0.0010~0.0100%、

[0070] 通过添加Co,最终退火后的织构大大改善,磁通密度提高,并且能够降低磁滞损耗。添加Co时,为了得到上述效果,使Co含量为0.0010%以上。优选为0.0015%以上。另一方面,如果Co含量超过0.0100%,则效果饱和,此外导致成本的上升。因此,Co含量为0.0100%以下。优选为0.0050%以下。

[0071] Sn、Sb中的1种或2种:0.010~0.100%

[0072] Sn:0.010~0.100%

[0073] 通过添加Sn,最终退火后的织构大大改善,磁通密度提高,并且能够降低磁滞损耗。添加Sn时,为了得到上述效果,使Sn含量为0.010%以上。优选为0.020%以上。另一方面,如果Sn含量超过0.100%,则效果饱和,此外,导致制造性的降低和成本的上升。因此,Sn

含量为0.100%以下。优选为0.080%以下。

[0074] Sb:0.010~0.100%

[0075] 与Sn同样,通过添加Sb,最终退火后的织构大大改善,磁通密度提高,并且能够降低磁滞损耗。添加Sb时,为了得到上述效果而使Sb含量为0.010%以上。优选为0.020%以上。另一方面,如果Sb含量超过0.100%,则效果饱和,此外,导致制造性的降低和成本的上升。因此,Sb含量为0.100%以下。优选为0.080%以下。

[0076] 此外,根据需要优选以0.100%以下的范围含有P。

[0077] P:0.100%以下

[0078] P与Sn、Sb、Co同样,通过添加而织构大大改善,磁通密度提高,并且能够降低磁滞损耗。添加P时,为了得到上述效果,优选使P含量为0.010%以上。更优选为0.030%以上。另一方面,如果P含量超过0.100%,则效果饱和,此外,导致制造性的降低和成本的上升。因此,P含量优选为0.100%以下。更优选为0.070%以下。

[0079] 同样,根据需要可以含有以下元素中任1种以上。

[0080] 选自Ge和Ga中的1种或2种的合计:0.0100%以下

[0081] Ge和Ga具有改善织构的效果。添加Ge和Ga中的任一者或两者时,为了得到上述效果,优选使选自Ge和Ga中的1种或2种为合计0.0005%以上。更优选为0.0020%以上。另一方面,即使添加合计超过0.0100%的选自Ge和Ga中的1种或2种,上述效果也饱和,仅合金成本上升。因此,添加Ge和Ga中的任一者或两者时,设为0.0100%以下。更优选为0.0050%以下。

[0082] 选自Cu、Cr和Ni中的1种或2种以上的合计:1.00%以下

[0083] Cu、Cr和Ni增大电阻率,有利于降低铁损。添加Cu、Cr和Ni中的至少任1种时,为了得到上述效果,优选使选自Cu、Cr和Ni中的1种或2种以上为合计0.03%以上。另一方面,过量的添加会导致磁通密度降低,因此,添加Cu、Cr和Ni中的至少任1种时,设为1.00%以下。

[0084] 选自Ca、Mg和REM中的1种或2种以上的合计:0.0200%以下

[0085] Ca、Mg和REM具有形成稳定的硫化物、促进晶粒长大的效果。为了得到上述效果,优选添加合计0.0010%以上的选自Ca、Mg和REM中的1种或2种以上。另一方面,即使添加合计超过0.0200%的选自Ca、Mg和REM中的1种或2种以上,上述效果也饱和。因此,添加Ca、Mg和REM中的至少任1种时,设为合计0.0200%以下。

[0086] Zn:0.0500%以下

[0087] Zn具有抑制最终退火时的氮化的效果。为了得到该效果而添加Zn时,优选含有0.0010%以上。更优选为0.0020%以上。另一方面,如果添加超过0.0500%的Zn,则形成硫化物而增加铁损,因此,添加Zn时,设为0.0500%以下。更优选为0.0100%以下。

[0088] 选自Mo和W中的1种或2种的合计:0.0500%以下

[0089] Mo和W均是对抑制无方向性电磁钢板的表面缺陷(起皮)有效的元素。本发明的无方向性电磁钢板是高合金钢且表面容易氧化,因此由表面开裂而引起的起皮的发生率高,但通过微量添加作为提高高温强度的元素的Mo和W中的一者或两者,可以抑制上述开裂。如果Mo和W中的1种或2种以上的合计低于0.0010%,则难以充分得到该效果,因此,添加Mo和W中的一者或两者时,优选为0.0010%以上。另一方面,即使添加超过0.0500%的Mo和W中的一者或两者,上述效果也饱和,仅合金成本上升。因此,添加Mo和W中的一者或两者时,设为0.0500%以下。

[0090] 本发明的一个实施方式中,上述表层部具有含有上述元素、剩余部分由Fe和不可避免的杂质构成的成分组成。

[0091] 应予说明,作为可作为上述不可避免的杂质包含在电磁钢板中的元素的例子,可举出Al。如果将Al含量抑制在0.10%以下,则可以进一步提高磁通密度。因此,Al含量优选抑制在0.10%以下。

[0092] [内层部的成分组成]

[0093] 接下来,对内层部的成分组成进行说明。这里,内层部的元素的含量是指内层部的该元素的平均含量。

[0094] 即,内层部的成分组成含有Si:3.0~6.0%和C:0.0010%~0.0100%、Co:0.0010~0.0100%,进一步含有Sn:0.010~0.100%和Sb:0.010~0.100%中的任1种或2种,剩余部分为Fe和不可避免的杂质。

[0095] Si:3.0~6.0%

[0096] 如果内层部的Si含量([Si]<sub>0</sub>)小于3.0%,则高频铁损增加。因此,内层部的Si含量为3.0%以上。优选为3.3%以上。另一方面,如果内层部的Si含量超过6.0%,则产生在马达铁芯的冲压时铁芯开裂的问题。因此,内层部的Si含量为6.0%以下。内层部的Si含量优选为5.5%以下。

[0097] C:0.0010~0.0100%

[0098] C是在晶界偏析而提高晶界强度、改善材料的加工性的元素。通过添加0.0010%以上的C,材料的伸长率改善。因此,使下限为0.0010%。优选为0.0015%以上。另一方面,如果添加量超过0.0100%,则因磁时效而铁损增加,因此使上限为0.0100%。优选为0.0060%以下。

[0099] Co:0.0010~0.0100%

[0100] 与Sn、Sb同样,通过添加Co,最终退火后的织构大大改善,磁通密度提高,并且能够降低磁滞损耗。添加Co时,为了得到上述效果,使Co含量为0.0010%以上。优选为0.0015%以上。另一方面,如果Co含量超过0.0100%,则效果饱和,此外导致成本的上升。因此,Co含量为0.0100%以下。优选为0.0050%以下。

[0101] Sn、Sb中的1种或2种:0.010~0.100%

[0102] Sn:0.010~0.100%

[0103] 通过添加Sn,最终退火后的织构大大改善,磁通密度提高,并且能够降低磁滞损耗。添加Sn时,为了得到上述效果,使Sn含量为0.010%以上。优选为0.020%以上。另一方面,如果Sn含量超过0.100%,则效果饱和,此外,导致制造性的降低和成本的上升。因此,Sn含量为0.100%以下。优选为0.080%以下。

[0104] Sb:0.010~0.100%

[0105] 与Sn同样,通过添加Sb,最终退火后的织构大大改善,磁通密度提高,并且能够降低磁滞损耗。添加Sb时,为了得到上述效果而使Sb含量为0.010%以上。优选为0.020%以上。另一方面,如果Sb含量超过0.100%,则效果饱和,此外,导致制造性的降低和成本的上升。因此,Sb含量为0.100%以下。优选为0.080%以下。

[0106] 进而,根据需要优选以0.100%以下的范围含有P。

[0107] P:0.100%以下

[0108] P与Sn、Sb、Co同样,通过添加而织构大大改善,磁通密度提高,并且能够降低磁滞损耗。添加P时,为了得到上述效果,优选使P含量为0.010%以上。更优选为0.030%以上。另一方面,如果P含量超过0.100%,则效果饱和,此外,导致制造性的降低和成本的上升。因此,P含量优选为0.100%以下。更优选为0.070%以下。

[0109] 同样,根据需要可以含有以下元素中任1种以上。

[0110] 选自Ge和Ga中的1种或2种的合计:0.0100%以下

[0111] Ge和Ga具有改善织构的效果。添加Ge和Ga中的任一者或两者时,为了得到上述效果,优选使选自Ge和Ga中的1种或2种为合计0.0005%以上。更优选为0.0020%以上。另一方面,即使添加合计超过0.0100%的选自Ge和Ga中的1种或2种,上述效果也饱和,仅合金成本上升。因此,添加Ge和Ga中的任一者或两者时,设为0.0100%以下。更优选为0.0050%以下。

[0112] 选自Cu、Cr和Ni中的1种或2种以上的合计:1.00%以下

[0113] Cu、Cr和Ni增大电阻率,有利于降低铁损。添加Cu、Cr和Ni中的至少任1种时,为了得到上述效果,优选使选自Cu、Cr和Ni中的1种或2种以上为合计0.03%以上。另一方面,过量的添加会导致磁通密度降低,因此,添加Cu、Cr和Ni中的至少任1种时,设为1.00%以下。

[0114] 选自Ca、Mg和REM中的1种或2种以上的合计:0.0200%以下

[0115] Ca、Mg和REM具有形成稳定的硫化物、促进晶粒长大的效果。为了得到上述效果,优选添加合计0.0010%以上的选自Ca、Mg和REM中的1种或2种以上。另一方面,即使添加合计超过0.0200%的选自Ca、Mg和REM中的1种或2种以上,上述效果也饱和。因此,添加Ca、Mg和REM中的至少任1种时,设为合计0.0200%以下。

[0116] Zn:0.0500%以下

[0117] Zn具有抑制最终退火时的氮化的效果。为了得到该效果而添加Zn时,优选含有0.0010%以上。更优选为0.0020%以上。另一方面,如果添加超过0.0500%的Zn,则形成硫化物而增加铁损,因此,添加Zn时,设为0.0500%以下。更优选为0.0100%以下。

[0118] 选自Mo和W中的1种或2种的合计:0.0500%以下

[0119] Mo和W均是对抑制无方向性电磁钢板的表面缺陷(起皮)有效的元素。本发明的无方向性电磁钢板是高合金钢且表面容易氧化,因此由表面开裂而引起的起皮的发生率高,但通过微量添加作为提高高温强度的元素的Mo和W中的一者或两者,可以抑制上述开裂。如果Mo和W中的1种或2种以上的合计低于0.0010%,则难以充分得到该效果,因此,添加Mo和W中的一者或两者时,优选为0.0010%以上。另一方面,即使添加超过0.0500%的Mo和W中的一者或两者,上述效果也饱和,仅合金成本上升。因此,添加Mo和W中的一者或两者时,设为0.0500%以下。

[0120] [制造方法]

[0121] 本发明的电磁钢板的制造方法没有特别限定,可以由任意方法制造。作为制造方法的一个例子,可举出对Si含量不同的钢坯材进行包层的方法。上述钢坯材的成分组成例如可以通过将成分不同的材料在转炉中吹炼,对钢水进行脱气处理来调整。

[0122] 包层的方法没有特别限定,例如,可以准备具有上述成分组成的表层部用的钢坯(钢坯材)和内层部用的钢坯(钢坯材),以最终的多层比成为所期望的值这样的厚度在内层部用的钢坯的两面贴合表层部用的钢坯,进行轧制。上述轧制例如可以为选自热轧、温轧和冷轧中的1种或2种以上。一般而言,优选为热轧与其后的温轧的组合、或者热轧与其后的冷

轧的组合。优选在上述热轧之后进行热轧板退火。另外,上述温轧和冷轧也可以隔着中间退火进行2次以上。热轧中的终轧温度和卷绕温度没有特别限定,可以根据常规方法确定。在上述轧制之后进行最终退火。

[0123] 另外,作为其它制造方法,也可以使用渗硅处理。使用渗硅处理时,可以通过对Si含量在厚度方向一定的钢板实施渗硅处理,提高钢板两面的表层部的Si含量。渗硅处理的方法没有特别限定,可以按照任意方法进行。例如,可以通过使用化学气相蒸镀法(CVD法)使Si沉积于钢板表面,然后进行热处理而使Si向钢板内部扩散的方法。表层部和内层部的Si含量可以通过调整基于CVD法的Si的沉积量、热处理条件来控制。

[0124] 实施例

[0125] 为了确认本发明的效果,按照以下所述的步骤制造多层型电磁钢板,评价其磁性。

[0126] 首先,在表1~3所示的No.3~No.27、No.30~No.72中,准备具有表1所示的成分组成的表层部用和具有表2所示的成分组成的内层部用这2种钢坯。接下来,将上述表层部用的钢坯层叠于上述内层部用的钢坯的两面,对层叠的钢坯的外周进行焊接。因此,表层部的成分组成在夹着内层部的两侧相同。上述钢坯的成分组成通过在转炉中吹炼后进行脱气处理来调整。应予说明,在最终得到的多层型电磁钢板中也保持上述成分组成。

[0127] 接着,将层叠的上述钢坯以1120°C加热1h后,进行热轧至板厚2.0mm而制成热轧钢板。上述热轧中的终轧温度为800°C。将上述热轧钢板以卷绕温度:610°C进行卷绕,接着,实施950°C×30s的热轧板退火。然后,进行酸洗和冷轧,以表3所示的最终退火温度进行退火而得到电磁钢板。最终得到的电磁钢板的总板厚:t以及上述表层部的合计厚度:t<sub>1</sub>与上述t的比率(多层比)如表3所示。

[0128] 应予说明,为了进行比较,使用未包层的(非包层)通常的电磁钢板进行同样的试验(No.1、2)。在这些比较例的电磁钢板中,未形成成分在板厚方向不同的层结构。即,不存在表层部。

[0129] 另外,No.28、29的多层型电磁钢板通过渗硅法来制造。具体而言,对Si含量:3.0%、板厚0.1mm的冷轧钢板以1200°C进行渗硅·扩散处理。算出钢板的总板厚的Si含量的平均值,将Si浓度高于上述平均值的部分作为表层部,将Si浓度低于上述平均值的部分作为内层部。表层部的Si含量为上述表层部的Si量的平均值。

[0130] [表1]

[0131] [表1]

[0132]

No.	表层部																
	[Si] <sub>1</sub> (%)	C(%)	Co(%)	Sn(%)	Sb(%)	P(%)	Ge(%)	Ge(%)	Cu(%)	Cr(%)	Ni(%)	Zn(%)	Mo(%)	W(%)	Ca(%)	Mg(%)	REM(%)
1	3.0 (非包层)	0.0025	0.0026	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	5.0 (非包层)	0.0021	0.0019	0.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	6.5	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	6.8	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	6.5	0.0056	0.0059	-	0.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	6.5	0.0056	0.0059	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	6.5	0.0056	0.0006	0.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	6.7	0.0092	0.0094	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	7.0	0.0092	0.0094	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	5.5	0.0028	0.0024	0.080	-	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	5.5	0.0028	0.0024	0.080	-	0.080	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	6.4	0.0035	0.0015	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	6.4	0.0150	0.0015	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	6.4	0.0007	0.0015	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	6.5	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	6.5	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	6.5	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	6.5	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	6.5	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	6.5	0.0032	0.0130	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	6.0	0.0031	0.0014	0.050	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	6.0	0.0031	0.0014	0.050	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	6.3	0.0039	0.0028	0.030	-	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	5.0	0.0025	0.0025	0.060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	6.5	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	6.5	0.0038	0.0031	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	5.0	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	6.5	0.0032	0.0002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	5.5	0.0028	0.0024	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	6.3	0.0039	0.0028	-	0.010	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	6.3	0.0039	0.0028	0.010	0.010	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	6.5	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	6.5	0.0035	0.0019	0.030	-	-	0.0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	6.5	0.0035	0.0019	0.030	-	-	0.0045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	6.5	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	0.0007	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	6.5	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	0.0048	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	6.5	0.0035	0.0019	0.030	-	-	0.0012	0.0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-
47	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-
48	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-
49	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	-	-
50	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	0.50	-	-	-	-	-	-	-
51	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	0.80	-	-	-	-	-	-	-
52	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	0.30	0.10	0.10	-	-	-	-	-	-	-
53	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	0.0015	-	-	-	-	-	-
54	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	0.0045	-	-	-	-	-	-
55	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	0.0210	-	-	-	-	-	-
56	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	0.0029	-	-	-	-	-
57	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	0.0300	-	-	-	-	-
58	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	0.0068	0.0050	-	-	-	-	-
59	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0011	-	-	-	-
60	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0140	-	-	-	-
61	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0360	-	-	-	-
62	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0024	-	-	-
63	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0940	-	-	-
64	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0180	-	-	-
65	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0008	-	-
66	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0025	-	-
67	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0086	-	-
68	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0007	-
69	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0034	-
70	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0091	-
71	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0019	-	0.0008
72	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0026	0.0014	-

[0133] [表2]

[0134] [表2]

No.	内层部																
	[Si] <sub>0</sub> (%)	C(%)	Co(%)	Sn(%)	Sb(%)	P(%)	Ga(%)	Ge(%)	Cu(%)	Cr(%)	N(%)	Zn(%)	Mo(%)	W(%)	Ca(%)	Mg(%)	REM(%)
1	3.0 (非包层)	0.0025	0.0026	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	5.0 (非包层)	0.0021	0.0019	0.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	3.0	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	5.8	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	3.0	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	6.0	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	4.5	0.0056	0.0059	-	0.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	4.5	0.0056	0.0059	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	4.5	0.0056	0.0006	0.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	6.0	0.0092	0.0094	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	6.0	0.0092	0.0094	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	4.3	0.0028	0.0024	0.080	-	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	4.3	0.0028	0.0024	0.080	-	0.060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	3.9	0.0035	0.0015	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	3.9	0.0150	0.0015	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	3.9	0.0007	0.0015	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	5.0	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	5.0	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	5.0	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	5.0	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	5.0	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	5.0	0.0032	0.0130	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	4.0	0.0031	0.0014	0.050	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	4.0	0.0031	0.0014	0.050	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	5.8	0.0039	0.0028	0.030	-	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	4.0	0.0025	0.0025	0.060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	5.0	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	5.5	0.0038	0.0031	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	2.5	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	5.0	0.0032	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	4.3	0.0028	0.0024	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	5.8	0.0039	0.0028	-	0.010	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	5.8	0.0039	0.0028	0.030	0.010	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	5.0	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	5.0	0.0035	0.0019	0.030	-	-	0.0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	5.0	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	5.0	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	5.0	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	5.0	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-
47	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-
48	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-
49	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	-
50	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	0.50	-	-	-	-	-	-
51	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	0.80	-	-	-	-	-	-
52	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	0.30	0.10	0.10	-	-	-	-	-	-	-
53	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	0.0015	-	-	-	-	-	-
54	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	0.0045	-	-	-	-	-	-
55	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	0.0210	-	-	-	-	-	-
56	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	0.0029	-	-	-	-	-
57	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	0.0300	-	-	-	-	-
58	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	0.0068	0.0050	-	-	-	-	-
59	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0011	-	-	-	-
60	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0140	-	-	-	-
61	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0360	-	-	-	-
62	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0024	-	-	-
63	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0940	-	-	-
64	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0180	-	-	-
65	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0008	-	-
66	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0025	-	-
67	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0086	-	-
68	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0007	-
69	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0034	-
70	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0091	-
71	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0019	-	0.0008
72	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0026	0.0014	-

[0135]

[0136] [表3]

[0137] [表3]

No.	总板厚t (mm)	$\Delta$ Si (%)	多层比 (表层合计厚度 $t_1$ / 总板厚t)	最终退火 温度 (°C)	备注
1	0.10	0.0	-	1000	比较例
2	0.20	0.0	-	1000	比较例
3	0.10	2.5	0.35	1050	发明例
4	0.10	3.5	0.35	1050	比较例
5	0.10	0.6	0.35	1050	发明例
6	0.10	3.8	0.35	1050	比较例
7	0.10	0.4	0.35	1050	比较例
8	0.08	2.0	0.50	1100	发明例
9	0.08	2.0	0.50	1100	比较例
10	0.08	2.0	0.50	1100	比较例
11	0.07	0.7	0.50	1000	发明例
12	0.05	1.0	0.40	1000	发明例
13	0.10	1.2	0.30	1050	发明例
14	0.10	1.2	0.30	1050	发明例
15	0.10	2.5	0.35	1050	发明例
16	0.10	2.5	0.35	1050	比较例
17	0.10	2.5	0.35	1050	比较例
18	0.15	1.5	0.08	1000	发明例
19	0.15	1.5	0.15	1000	发明例
20	0.15	1.5	0.40	1000	发明例
21	0.15	1.5	0.65	1000	发明例
22	0.15	1.5	0.75	1000	比较例
23	0.15	1.5	0.65	1000	比较例
24	0.06	2.0	0.40	1050	发明例
25	0.20	2.0	0.40	1050	发明例
26	0.10	0.5	0.40	1050	发明例
27	0.10	1.0	0.40	1100	发明例
28	0.10	1.5	0.30	1200	发明例
29	0.10	1.0	0.30	1200	发明例
30	0.10	2.5	0.35	1050	比较例
31	0.15	1.5	0.40	1000	比较例
32	0.10	1.2	0.30	1050	发明例
33	0.10	1.2	0.30	1050	发明例
34	0.10	0.5	0.40	1050	发明例
35	0.10	0.5	0.40	1050	发明例
36	0.10	0.5	0.40	1050	发明例
37	0.15	1.5	0.05	1000	比较例
38	0.10	1.5	0.30	1200	发明例
39	0.10	1.5	0.30	1200	发明例
40	0.10	1.5	0.30	1200	发明例
41	0.10	1.5	0.30	1200	发明例
42	0.10	1.5	0.30	1200	发明例
43	0.10	0.5	0.40	1050	发明例
44	0.10	0.5	0.40	1050	发明例
45	0.10	0.5	0.40	1050	发明例
46	0.10	0.5	0.40	1050	发明例
47	0.10	0.5	0.40	1050	发明例
48	0.10	0.5	0.40	1050	发明例
49	0.10	0.5	0.40	1050	发明例
50	0.10	0.5	0.40	1050	发明例
51	0.10	0.5	0.40	1050	发明例
52	0.10	0.5	0.40	1050	发明例
53	0.10	2.5	0.35	1050	发明例
54	0.10	2.5	0.35	1050	发明例
55	0.10	2.5	0.35	1050	发明例
56	0.10	2.5	0.35	1050	发明例
57	0.10	2.5	0.35	1050	发明例
58	0.10	2.5	0.35	1050	发明例
59	0.10	2.5	0.35	1050	发明例
60	0.10	2.5	0.35	1050	发明例
61	0.10	2.5	0.35	1050	发明例
62	0.10	1.2	0.30	1050	发明例
63	0.10	1.2	0.30	1050	发明例
64	0.10	1.2	0.30	1050	发明例
65	0.10	1.2	0.30	1050	发明例
66	0.10	1.2	0.30	1050	发明例
67	0.10	1.2	0.30	1050	发明例
68	0.10	1.2	0.30	1050	发明例
69	0.10	1.2	0.30	1050	发明例
70	0.10	1.2	0.30	1050	发明例
71	0.10	1.2	0.30	1050	发明例
72	0.10	1.2	0.30	1050	发明例

[0138]

[0139] (磁特性)

[0140] 接着,对得到的电磁钢板分别测定磁特性。上述磁测定依据JIS C 2550-1使用

25cm爱泼斯坦方圈进行。作为上述磁特性,测定1.0T、10kHz下的铁损: $W_{10/10k}$  (W/kg)、磁场强度:5000A/m时的磁通密度: $B_{50}$ 和饱和磁化强度 $B_s$ 。将这些测定结果示于表4。

[0141] [表4]

[0142] [表4]

No.	25+6900×t	W <sub>10/10k</sub> (W/kg)	B <sub>50</sub> (T)	饱和磁化 强度 B <sub>s</sub> (T)	B <sub>50</sub> /B <sub>s</sub>	(100) 面的 最高强度	备注
1	715	850	1.67	2.01	0.832	9.3	比较例
2	1405	1500	1.56	1.88	0.830	8.6	比较例
3	715	650	1.57	1.89	0.829	9.1	发明例
4	715	735	1.60	1.93	0.828	8.7	比较例
5	715	635	1.52	1.82	0.837	8.6	发明例
6	715	735	1.56	1.92	0.811	7.3	比较例
7	715	730	1.51	1.81	0.836	8.2	比较例
8	577	535	1.54	1.85	0.833	9.1	发明例
9	577	595	1.48	1.85	0.801	2.5	比较例
10	577	600	1.49	1.85	0.806	2.9	比较例
11	508	485	1.49	1.79	0.831	6.9	本发明
12	370	350	1.48	1.79	0.827	6.5	本发明
13	715	670	1.60	1.90	0.841	9.8	发明例
14	715	660	1.61	1.90	0.847	10.5	发明例
15	715	640	1.59	1.89	0.839	10.1	发明例
16	715	730	1.59	1.89	0.839	9.8	比较例
17	715	-	-	-	-	-	比较例 (产品板发生开裂)
18	1060	1020	1.59	1.87	0.849	9.4	发明例
19	1060	1000	1.59	1.87	0.852	9.5	发明例
20	1060	960	1.58	1.84	0.858	9.5	发明例
21	1060	975	1.56	1.82	0.858	9.5	发明例
22	1060	1100	1.53	1.81	0.846	9.4	比较例
23	1060	1090	1.52	1.82	0.836	9.2	比较例
24	439	400	1.60	1.89	0.845	8.4	发明例
25	1405	1250	1.62	1.89	0.856	9.6	发明例
26	715	650	1.53	1.82	0.843	9.9	发明例
27	715	680	1.63	1.92	0.850	9.7	发明例
28	715	650	1.55	1.85	0.837	9.1	发明例
29	715	630	1.54	1.83	0.842	9.1	发明例
30	715	770	1.61	1.98	0.813	6.3	比较例
31	1060	1150	1.50	1.84	0.815	2.4	比较例
32	715	680	1.59	1.90	0.836	8.8	发明例
33	715	680	1.59	1.90	0.836	8.8	发明例
34	715	680	1.50	1.82	0.826	7.2	发明例
35	715	680	1.50	1.82	0.826	7.3	发明例
36	715	665	1.51	1.82	0.831	7.9	发明例
37	1060	1090	1.59	1.87	0.849	9.4	比较例
38	715	645	1.55	1.85	0.837	9.3	发明例
39	715	640	1.56	1.85	0.843	9.5	发明例
40	715	640	1.56	1.85	0.843	9.6	发明例
41	715	645	1.55	1.85	0.837	9.2	发明例
42	715	635	1.57	1.85	0.848	9.7	发明例
43	715	640	1.53	1.82	0.843	9.9	发明例
44	715	635	1.53	1.82	0.843	9.9	发明例
45	715	630	1.53	1.82	0.843	9.9	发明例
46	715	644	1.53	1.82	0.843	9.9	发明例
47	715	632	1.53	1.82	0.843	9.9	发明例
48	715	620	1.53	1.82	0.843	9.9	发明例
49	715	641	1.53	1.82	0.843	9.9	发明例
50	715	630	1.53	1.82	0.843	9.9	发明例
51	715	621	1.53	1.82	0.843	9.9	发明例
52	715	620	1.53	1.82	0.843	9.9	发明例
53	715	645	1.57	1.89	0.829	9.1	发明例
54	715	643	1.57	1.89	0.829	9.1	发明例
55	715	642	1.57	1.89	0.829	9.1	发明例
56	715	643	1.57	1.89	0.829	9.1	发明例
57	715	640	1.57	1.89	0.829	9.1	发明例
58	715	643	1.57	1.89	0.829	9.1	发明例
59	715	642	1.57	1.89	0.829	9.1	发明例
60	715	646	1.57	1.89	0.829	9.1	发明例
61	715	642	1.57	1.89	0.829	9.1	发明例
62	715	671	1.59	1.90	0.836	8.8	发明例
63	715	668	1.59	1.90	0.836	8.8	发明例
64	715	673	1.59	1.90	0.836	8.8	发明例
65	715	665	1.59	1.90	0.836	8.8	发明例
66	715	668	1.59	1.90	0.836	8.8	发明例
67	715	672	1.59	1.90	0.836	8.8	发明例
68	715	664	1.59	1.90	0.836	8.8	发明例
69	715	673	1.59	1.90	0.836	8.8	发明例
70	715	663	1.59	1.90	0.836	8.8	发明例
71	715	665	1.59	1.90	0.836	8.8	发明例
72	715	664	1.59	1.90	0.836	8.8	发明例

[0143]

[0144] 由表4所示的结果可知,满足本发明的条件的发明例的电磁钢板具有高频铁损低且磁通密度高这样的优异的特性。

[0145] 工业上的可利用性

[0146] 本发明的电磁钢板能够非常适合用作高频驱动的混合动力电动汽车、电动汽车、吸尘器、高速发电机、空调压缩机、机床等的马达铁芯以及变压器、电抗器等的铁芯材料。

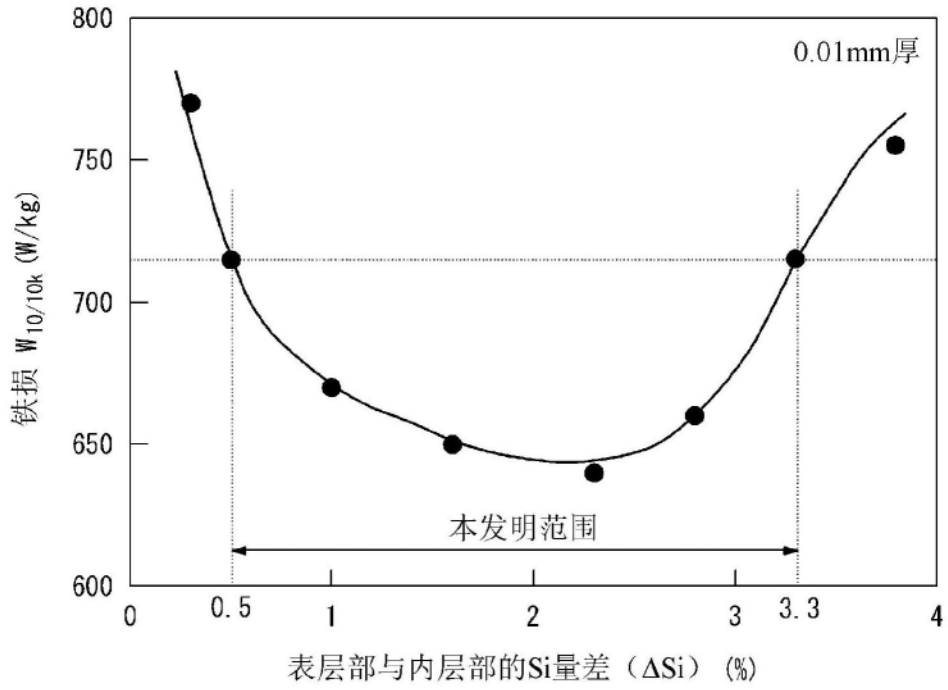


图1

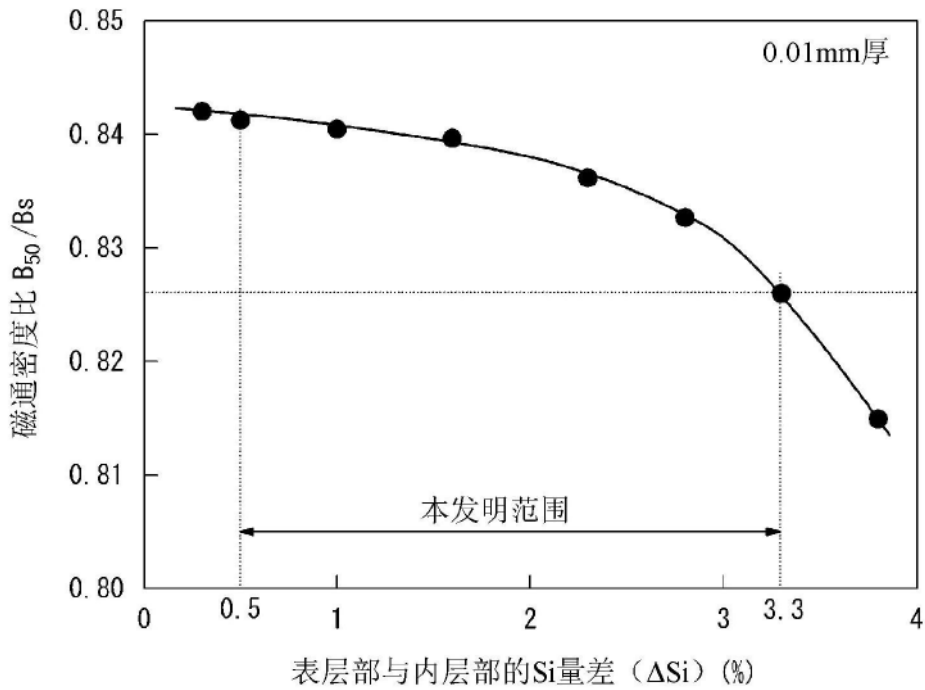


图2

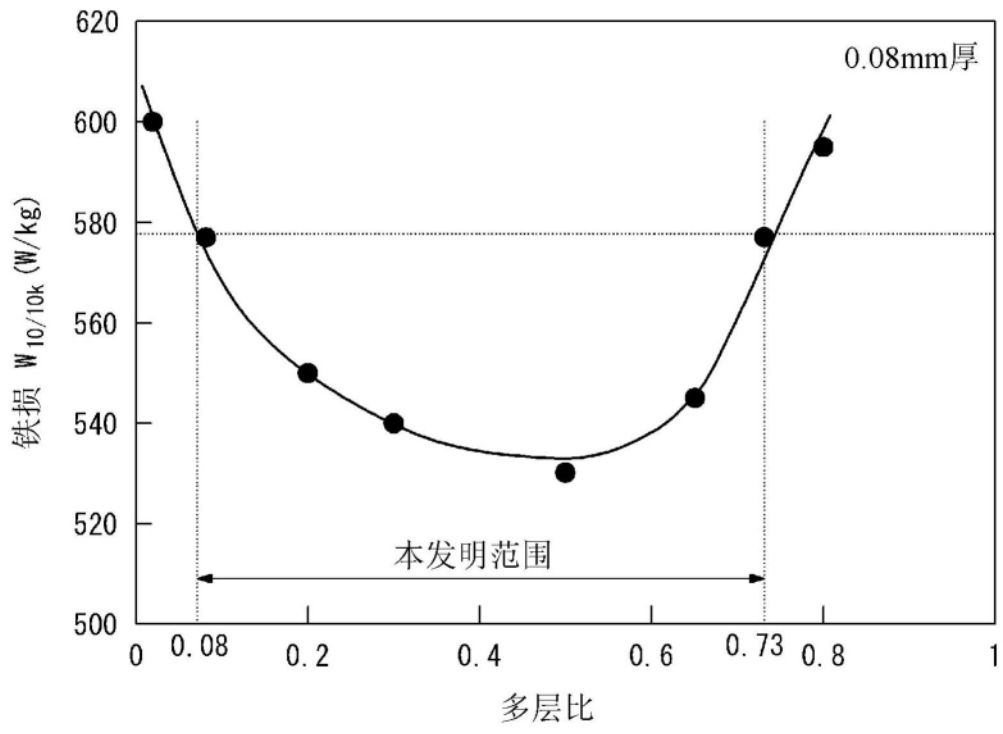


图3