



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118696141 A

(43) 申请公布日 2024. 09. 24

(21) 申请号 202380021593.7

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

(22) 申请日 2023.03.27

专利代理师 高迪

(30) 优先权数据

2022-052343 2022.03.28 JP

(51) Int. Cl.

G22C 38/00 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.08.13

G21D 8/12 (2006.01)

H01F 1/147 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2023/012197 2023.03.27

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/190339 JA 2023.10.05

(71) 申请人 日本制铁株式会社

地址 日本

(72) 发明人 川村悠祐

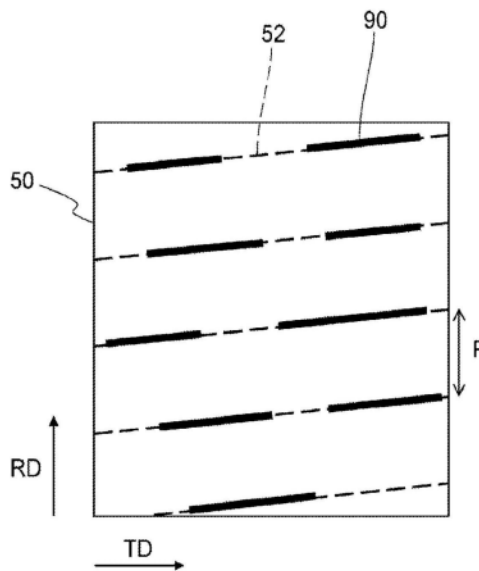
权利要求书1页 说明书16页 附图8页

(54) 发明名称

方向性电磁钢板及其制造方法

(57) 摘要

在有关本发明的一技术方案的方向性电磁钢板中,在相对于轧制直角方向成 $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 的角度并且在轧制方向上排列的磁畴控制处理线中,存在表示被实施了磁畴细化处理的部分的磁畴细化处理线,优选的是,磁畴控制处理线中的没有磁畴细化处理线且长度为1mm以上的区域中的平均磁畴宽度是 $500 \mu\text{m}$ 以下,优选的是,磁畴控制处理线中的没有磁畴细化处理线且包含两个以上磁畴壁的区域中的平均磁畴宽度是 $500 \mu\text{m}$ 以下。



1. 一种方向性电磁钢板,其特征在于,
在相对于轧制直角方向成 $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 的角度并且在轧制方向上排列的磁畴控制处理线中,存在表示被实施了磁畴细分化处理的部分的磁畴细分化处理线。
2. 如权利要求1所述的方向性电磁钢板,其特征在于,
上述磁畴控制处理线中的没有上述磁畴细分化处理线且长度为1mm以上的区域中的平均磁畴宽度是 $500\mu\text{m}$ 以下。
3. 如权利要求1所述的方向性电磁钢板,其特征在于,
上述磁畴控制处理线中的没有上述磁畴细分化处理线且包含两个以上磁畴壁的区域中的平均磁畴宽度是 $500\mu\text{m}$ 以下。
4. 如权利要求1~3中任一项所述的方向性电磁钢板,其特征在于,
上述磁畴细分化处理线以非单一周期性存在。
5. 如权利要求1~3中任一项所述的方向性电磁钢板,其特征在于,
上述磁畴细分化处理线相对于上述磁畴控制处理线的总延伸长度所占的比例是10%以上且90%以下。
6. 如权利要求1~3中任一项所述的方向性电磁钢板,其特征在于,
上述磁畴细分化处理线是槽。
7. 如权利要求1~3中任一项所述的方向性电磁钢板,其特征在于,
上述磁畴细分化处理线是热应变。
8. 一种方向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,
包括:
图像取得步骤,取得方向性电磁钢板的磁畴图像;
决定步骤,基于上述磁畴图像的磁畴宽度的空间分布,在相对于上述方向性电磁钢板的轧制直角方向成 $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 的角度并且在轧制方向上排列的磁畴控制处理线中,决定应用磁畴细分化处理的部位;以及
磁畴细分化步骤,对于上述磁畴控制处理线中的由上述决定步骤所决定的部位实施上述磁畴细分化处理。
9. 如权利要求8所述的方向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,
上述决定步骤将上述磁畴宽度为规定值以上的部位决定为应用上述磁畴细分化处理的部位。
10. 如权利要求8或9所述的方向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,
上述决定步骤使用二维傅里叶变换,根据上述磁畴图像导出上述磁畴宽度的空间分布。
11. 如权利要求8或9所述的方向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,
上述磁畴细分化步骤通过激光或电子束的照射来进行上述磁畴细分化处理。
12. 如权利要求10所述的方向性电磁钢板的制造方法,其特征在于,
使上述规定值为 $400\mu\text{m} \sim 600\mu\text{m}$ 的范围内的值。

方向性电磁钢板及其制造方法

技术领域

[0001] 本公开涉及方向性电磁钢板及其制造方法。

[0002] 本申请基于2022年3月28日提出的日本专利申请第2022-052343号主张优先权,在此援引其内容。

背景技术

[0003] 方向性电磁钢板是含有7质量%以下的Si、具有二次再结晶粒向{110}<001>取向(Goss取向、即高斯取向)集聚得到的二次再结晶集合组织的钢板。方向性电磁钢板主要被用作电力用变压器的铁芯,除了要求能量损失(铁损)的减小以外,低噪声化的需求也在变高。

[0004] 为了低铁损化,以前已知有在相对于方向性电磁钢板的表面在与轧制方向交叉的方向上照射激光或电子束而使磁畴宽度变窄的磁畴细分化技术。近年来,为了提供铁损特性良好的方向性电磁钢板,提出了关于磁畴细分化的各种的改良技术(例如,参照专利文献1~专利文献3)。

[0005] 现有技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 专利文献1:日本特开2012-57219号公报

[0008] 专利文献2:日本特开2012-12664号公报

[0009] 专利文献3:日本特开2012-57218号公报

发明内容

[0010] 发明要解决的课题

[0011] 但是,如果对方向性电磁钢板实施磁畴细分化处理,则由于回流磁畴而磁致伸缩特性发生变化,发生变压器的噪声增大这样的问题。这样,由于方向性电磁钢板的低铁损化与低噪声化处于权衡的关系,所以要求两者能够兼顾的最优的磁畴细分化技术。

[0012] 鉴于上述课题,本公开的目的是提供一种能够兼顾低铁损化和低噪声化的方向性电磁钢板及其制造方法。

[0013] 用来解决课题的手段

[0014] (1) 有关本发明的一技术方案的方向性电磁钢板,在相对于轧制直角方向成 0° ~ 45° 的角度并且在轧制方向上排列的磁畴控制处理线中,存在表示被实施了磁畴细分化处理的部分的磁畴细分化处理线。

[0015] (2) 优选的是,在上述(1)所记载的方向性电磁钢板中,上述磁畴控制处理线中的、没有上述磁畴细分化处理线且长度为1mm以上的区域中的平均磁畴宽度是 $500\mu\text{m}$ 以下。

[0016] (3) 优选的是,在上述(1)或(2)所记载的方向性电磁钢板中,上述磁畴控制处理线中的、没有上述磁畴细分化处理线且包含两个以上磁畴壁的区域中的平均磁畴宽度是 $500\mu\text{m}$ 以下。

[0017] (4) 优选的是,在上述(1)~(3)的任一项所记载的方向性电磁钢板中,上述磁畴细化处理线以非单一周期性存在。

[0018] (5) 优选的是,在上述(1)~(4)的任一项所记载的方向性电磁钢板中,上述磁畴细化处理线相对于上述磁畴控制处理线的总延伸长度所占的比例是10%以上且90%以下。

[0019] (6) 优选的是,在上述(1)~(5)的任一项所记载的方向性电磁钢板中,上述磁畴细化处理线是槽。

[0020] (7) 优选的是,在上述(1)~(5)的任一项所记载的方向性电磁钢板中,上述磁畴细化处理线是热应变。

[0021] (8) 有关本发明的实施方式的方向性电磁钢板的制造方法包括:图像取得步骤,取得方向性电磁钢板的磁畴图像;决定步骤,基于上述磁畴图像的磁畴宽度的空间分布,在相对于上述方向性电磁钢板的轧制直角方向成 0° ~ 45° 的角度并且在轧制方向上排列的磁畴控制处理线中,决定适用磁畴细化处理的部位;以及磁畴细化步骤,对于上述磁畴控制处理线中的由上述决定步骤所决定的部位实施上述磁畴细化处理。

[0022] (9) 优选的是,在上述(8)所记载的方向性电磁钢板的制造方法中,上述决定步骤将上述磁畴宽度为规定值以上的部位决定为适用上述磁畴细化处理的部位。

[0023] (10) 优选的是,在上述(8)或(9)所记载的方向性电磁钢板的制造方法中,上述决定步骤使用二维傅里叶变换,根据上述磁畴图像导出上述磁畴宽度的空间分布。

[0024] (11) 优选的是,在上述(8)~(10)的任一项所记载的方向性电磁钢板的制造方法中,上述磁畴细化步骤通过激光或电子束的照射进行上述磁畴细化处理。

[0025] (12) 优选的是,在上述(9)~(11)的任一项所记载的方向性电磁钢板的制造方法中,使上述规定值为 $400\mu\text{m}$ ~ $600\mu\text{m}$ 的范围内的值。

[0026] 发明效果

[0027] 有关本发明的实施方式的方向性电磁钢板,能够兼顾低铁损化和低噪声化。

[0028] 根据有关本发明的实施方式的方向性电磁钢板的制造方法,能够提供兼顾了低铁损化和低噪声化的方向性电磁钢板。

附图说明

[0029] 图1A是表示磁畴细化处理前的方向性电磁钢板的磁畴宽度的空间分布的一例的图。

[0030] 图1B是表示磁畴细化处理后的方向性电磁钢板的磁畴宽度的空间分布的一例的图。

[0031] 图1C是表示在图1A及图1B所示的磁畴细化处理的前后磁畴宽度细化了 $50\mu\text{m}$ 以上后的区域的曲线图。

[0032] 图2是表示激光照射前的磁畴宽度与激光照射后的磁畴宽度的关系的图。

[0033] 图3是表示有关本实施方式的图像取得装置的硬件结构的框图。

[0034] 图4是表示有关本实施方式的解析装置的硬件结构的框图。

[0035] 图5是表示有关本实施方式的激光照射装置的结构示意图。

[0036] 图6是表示有关本实施方式的方向性电磁钢板的制造方法的流程图。

[0037] 图7是说明从方向性电磁钢板的磁畴图像切割出多个部分区域的方法的示意图。

[0038] 图8是对于从方向性电磁钢板的磁畴图像切割出的多个部分区域分别实施二维傅里叶变换而得到的多个部分傅里叶图像的一例。

[0039] 图9是对方向性电磁钢板的磁畴控制处理线中的作为磁畴细分化的对象的磁畴细化处理线进行表示的示意图。

[0040] 图10是方向性电磁钢板的磁畴图像的一例的示意图。

具体实施方式

[0041] 以下,参照附图说明本发明的实施方式。

[0042] 首先,将磁畴细化处理前后的方向性电磁钢板的磁畴构造进行比较。图1A表示磁畴细化处理前的方向性电磁钢板的 180° 磁畴的宽度(以下,简单称作“磁畴宽度”)的空间分布。图1B表示对于图1A的方向性电磁钢板的表面实施了磁畴细化处理后的磁畴宽度的空间分布。这里的磁畴细化处理,是通过沿着与轧制方向(RD)大致垂直的磁畴控制处理线进行连续波的激光照射来进行的。

[0043] 这里,“ 180° 磁畴”表示磁化方向为结晶的 $\langle 100 \rangle$ 取向并且被与轧制方向大致平行的两个 180° 磁畴壁夹着的磁畴。此外, 180° 磁畴的“宽度”表示相邻的磁畴壁间的距离(磁畴壁间隔)。

[0044] 图1A及图1B所示的磁畴宽度的空间分布是根据方向性电磁钢板的磁畴图像使用后述的二维傅里叶变换而导出的。

[0045] 图1C表示在图1A及图1B所示的磁畴细化处理前后磁畴宽度细化为 $50\mu\text{m}$ 以上后得到的区域,是对在原来的磁畴宽度为何值时发生了细化进行了可视化的图。

[0046] 由图1C可知,磁畴细化的效果有 $50\mu\text{m}$ 以上的区域是原来的磁畴宽度较宽的区域,特别是在原来的磁畴宽度为大致 $500\mu\text{m}$ 以上的区域中显著地显现出磁畴细化的效果。即,根据原来的磁畴宽度而磁畴细化的效果不同。

[0047] 在图2中表示同一位置处的激光照射前的磁畴宽度与激光照射后的磁畴宽度的关系。这里,照射条件是将平均照射能量密度 U_a (mJ/mm^2)、照射间距 PL (mm) 分别设为 $U_a = 1.5\text{mJ}/\text{mm}^2$, $PL = 4\text{mm}$ 。

[0048] 由图2可知,即使对于大致 $500\mu\text{m}$ 以下的磁畴宽度的区域进行激光照射,也没有显现磁畴细化的效果。

[0049] 综上所述,铁损的降低效果通过对原来的磁畴宽度较宽的区域进行磁畴细化而得到,即使对原来的磁畴宽度较窄的区域实施磁畴细化处理,也不能得到铁损的降低效果,可以想到会导致磁滞损失的增大或噪声特性的变差。

[0050] 因而,在本实施方式中,主要以对方向性电磁钢板的原来的磁畴宽度较宽的区域(例如,约 $500\mu\text{m}$ 以上的区域)优先地实施磁畴细化处理的方式来进行磁畴控制。优选的是,在本实施方式中,以仅对方向性电磁钢板的原来的磁畴宽度较宽的区域(例如,约 $500\mu\text{m}$ 以上的区域)实施磁畴细化处理的方式来进行磁畴控制。但是,如果考虑磁畴控制用的设备的动作精度等,则容许磁畴宽度较窄的区域与磁畴细化处理线稍稍重叠。

[0051] 接着,参照图3~图5,对于实现有关本实施方式的方向性电磁钢板的磁畴控制的设备的结构进行说明。

[0052] 在图3中显示了取得方向性电磁钢板的磁畴图像的图像取得装置30的硬件结构。

图像取得装置30具备光源部31、磁光学(MO)传感器33、图像传感器35和信号处理部37。

[0053] 光源部31具有由发光二极管(LED)构成的光源,对于MO传感器33照射偏振面一致的光。

[0054] MO传感器33是测量磁性体的构造的装置,具有载置作为测量对象的磁性体试料的观察面。从光源部31照射的光经由MO传感器33的内部而被反射层反射,反射光再次经过MO传感器33的内部而向MO传感器33的外部输出。当将方向性电磁钢板作为磁性体试料载置在MO传感器33的观察面上时,在MO传感器33的内部发生与方向性电磁钢板的自发磁化的朝向对应的泄漏磁场,通过该泄漏磁场,反射光的偏振面旋转。

[0055] 图像传感器35是Complementary Metal-Oxide-Semiconductor(CMOS、互补金属氧化物半导体)图像传感器,使来自MO传感器33的反射光成像在受光面上并进行光电变换,将光电变换后的模拟信号向信号处理部37输出。通过由图像传感器35检测偏振面旋转后的反射光,从而能够得到泄漏磁场的空间分布,方向性电磁钢板的磁畴构造变得清楚。

[0056] 信号处理部37具有放大器、AD变换器,Digital Signal Processor(DSP、数字信号处理器)等。从图像传感器35输出的模拟信号被放大器放大,被AD变换器变换为数字信号。通过由DSP对该数字信号实施规定的数字处理,从而生成图像信号。由信号处理部37生成的图像信号经由线缆或通过无线通信而被输出给解析装置40(参照图4)。

[0057] 在图4中表示对方向性电磁钢板的磁畴构造进行解析的解析装置40的硬件结构。解析装置40是个人计算机(PC)等的计算机设备,具备运算部41、存储器43、显示部45、输入部47和通信I/F49。

[0058] 运算部41具有Central Processing Unit(CPU、中央处理器),按照存储在存储器43中的程序,根据方向性电磁钢板的磁畴图像对磁畴构造进行解析,决定适用磁畴细分化处理的部位。关于由运算部41执行的处理,在后面详细地进行说明。

[0059] 存储器43具有Read Only Memory(ROM、只读存储器)及Random Access Memory(RAM、随机存取存储器)。ROM保存由运算部41的CPU执行的程序及在这些程序的执行时需要的数据。保存在ROM中的程序及数据被装载到RAM中而执行。

[0060] 另外,存储器43也可以具有硬盘驱动器(HDD)等的磁存储器或光盘等的光存储器。或者,也可以将程序或数据保存到对于解析装置40可拆装的计算机可读的记录介质中。或者,也可以经由通信I/F49从网络接收由运算部41执行的程序。

[0061] 显示部45具有液晶显示器(LCD)、等离子显示器或有机电致发光(EL)显示器等的显示器,基于从图像取得装置30输出的图像信号对图像进行显示,此外显示由运算部41得到的磁畴构造的解析结果。

[0062] 输入部47具有鼠标、键盘等的输入设备。通信I/F49是用来经由Local Area Network(LAN、局域网)、Wide Area Network(WAN、广域网)、因特网等的网络而在与外部设备之间进行数据的收发的接口。

[0063] 另外,作为运算部41,也可以采用为进行磁畴构造的解析而特制的、面向特定用途的集成电路(ASIC)或Field Programmable Gate Array(FPGA、现场可编程门阵列)等的专用硬件来代替CPU等的通用硬件。

[0064] 另外,图3及图4表示了图像取得装置30和解析装置40是不同的设备的情况,但也可以采用图像取得装置30及解析装置40一体化的系统。

[0065] 作为对方向性电磁钢板的表面实施磁畴细分化处理的方法,可以采用激光的照射、电子束的照射等的公知的方法。以下,对通过激光照射进行磁畴细分化处理的激光照射装置的结构进行说明。

[0066] 在图5中表示激光照射装置500的结构。激光照射装置500具备光学多面体501、光源装置503、准直仪505、聚光透镜507、马达509、传感器511、控制部513和通板装置515。

[0067] 通板装置515将方向性电磁钢板50在轧制方向(RD)上通板。

[0068] 光学多面体501例如呈正多边形柱状,在构成正多边形柱的多个侧面上分别设有多个平面镜。激光光束LB从光源装置503经由准直仪505而在一方向(水平方向)上对光学多面体501的平面镜入射,被平面镜反射。

[0069] 光学多面体501能够通过来自马达509的驱动而绕旋转轴01旋转。通过激光光束LB对于平面镜的入射角与光学多面体501的旋转角度对应地依次变化,激光光束LB的反射方向依次变化,能够沿着方向性电磁钢板50的磁畴控制处理线52进行扫描。这里,磁畴控制处理线52是在方向性电磁钢板50的表面上相对于轧制直角方向(TD)成 $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 的角度、在轧制方向(RD)上排列的多条直线。优选的是,多个磁畴控制处理线52相互平行地延伸。此外,优选的是,多个磁畴控制处理线52以等间隔排列。相邻的磁畴控制处理线52的间隔P表示照射间距。

[0070] 光源装置503基于控制部513的控制,以规定的照射方式(例如,连续照射方式或脉冲照射方式)输出激光光束LB。

[0071] 聚光透镜507设置在从光学多面体501反射的激光光束LB的光路上,构成规定的焦点距离的聚光光学系统。被从光学多面体501反射的激光光束LB经由聚光透镜507而被聚光在方向性电磁钢板50的表面,从而槽沿着方向性电磁钢板50的表面的磁畴控制处理线52而形成,或被导入热应变。

[0072] 马达509与光学多面体501连结,基于控制部513的控制,将光学多面体501旋转驱动。

[0073] 传感器511与马达509的驱动轴连结,检测通过马达509而旋转的光学多面体501的旋转角度,将表示检测到的旋转角度的信号(以下,称作旋转角度信号)向控制部513输出。

[0074] 控制部513由处理器构成,与光源装置503、马达509、传感器511及通板装置515连接。控制部513从通板装置515接受速度信号的输入,并且输出对马达509指示光学多面体501的旋转驱动的信号。

[0075] 此外,控制部513基于表示磁畴控制处理线52中的适用磁畴细分化处理的部位的磁畴细分化信号、和从传感器511输出的旋转角度信号,对光源装置503输出的激光光束LB的电源的接通和断开进行控制。在激光照射装置500与解析装置40电连接的情况下,磁畴细分化信号被从解析装置40输入到激光照射装置500。另外,磁畴细分化信号也可以由操作者输入到激光照射装置500中。

[0076] 接着,参照图6说明有关本实施方式的方向性电磁钢板50的制造方法。

[0077] 首先,通过图像取得装置30取得方向性电磁钢板50的磁畴图像(步骤S62)。接着,通过解析装置40的运算部41,根据磁畴图像导出 180° 磁畴的宽度(磁畴宽度)的空间分布,将方向性电磁钢板50的磁畴控制处理线52中的磁畴宽度为规定值以上(例如,约 $500\mu\text{m}$ 以上)的部位决定为适用磁畴细分化处理的部位(步骤S64)。

[0078] 在本实施方式中,将磁畴控制处理线52中的适用磁畴细分化处理的部位称作“磁畴细分化处理线”。关于由运算部41执行的步骤S64的处理的详细情况将在后面进行说明。

[0079] 另外,在步骤S64中,也可以通过以操作者的目视来观察显示于显示部45的磁畴图像,由此决定磁畴细分化处理线的部位,将表示磁畴细分化处理线的部位的磁畴细分化信号向激光照射装置500输入。

[0080] 接着,对于方向性电磁钢板50的磁畴控制处理线52中的在步骤S64中所决定的部位优先地实施磁畴细分化处理(步骤S66)。优选的是,仅对在步骤S64中所决定的部位实施磁畴细分化处理。步骤S66的磁畴细分化处理既可以通过由激光照射装置500进行的激光光束LB的照射来执行,也可以采用照射电子束等其他的方法。

[0081] 接着,对由解析装置40的运算部41执行的步骤S64的处理进行说明。

[0082] 运算部41使用线段法或傅里叶变换,导出方向性电磁钢板50的磁畴宽度的空间分布,将方向性电磁钢板50的磁畴控制处理线52中的磁畴宽度比规定值(例如约500 μm)大的部位决定为适用磁畴细分化处理的部位。

[0083] 在线段法中,引与磁畴垂直的线段进行评价,但以线段的间隔在与磁畴平行的方向上每1cm为3条的方式引出,通过180°磁畴壁与线段的交点的间隔来导出磁畴宽度。

[0084] 傅里叶变换作为对于方向性电磁钢板那样的具有周期性的磁畴构造的磁性体的磁畴构造进行解析的方法特别有效。以下,对于使用将作为很久以前就被用于声音信号的时间-频率解析的信号处理法之一的短区间傅里叶变换(short-term Fourier transform)扩展至二维区域的短区间二维傅里叶变换(以下称作“ST2DFT”)来导出方向性电磁钢板的磁畴宽度的空间分布的方法进行说明。

[0085] 将由图像取得装置30取得的图像信号所表示的图像(磁畴图像)作为二维坐标(k-1坐标)的数据列而表述为 $x(k, 1)$ 。在本实施方式中作为解析对象的磁畴图像是被用灰阶等两种颜色二值化后的图像,或被用3个以上的灰度等级(多灰度等级)来表现的图像。

[0086] 为了导出方向性电磁钢板50的磁畴宽度的空间分布,运算部41执行以下的(A-1)、(A-2)及(A-3)的步骤。

[0087] (A-1)从磁畴图像切割出多个部分区域的步骤;

[0088] (A-2)进行ST2DFT的步骤;

[0089] (A-3)导出磁畴宽度的空间分布的步骤。

[0090] 以下,对各步骤详细地进行说明。

[0091] (A-1)从磁畴图像切割出多个部分区域的步骤

[0092] 从磁畴图像切割出多个部分区域,为了分析各自的频率构造,使用将k方向的范围设为 $0 \leq k \leq N_k - 1$ 、将l方向的范围设为 $0 \leq l \leq N_l - 1$ 的矩形窗的窗函数 $W_a(k, l)$ (N_k 及 N_l 是自然数)。作为窗函数 $W_a(k, l)$,可以应用海明窗(Hamming窗)、汉宁窗(Hanning窗)、布莱克曼窗(Blackman窗)等。

[0093] 如果将磁畴图像的数据列 $x(k, l)$ 中的观察位置用索引(n, m)来表述,将k方向及l方向上的窗函数 $W_a(k, l)$ 的变动量分别表述为 S_k 及 S_l (n, m, S_k , S_l 是整数),则如式(1)那样,得到从磁畴图像将 $nS_k \leq k \leq nS_k + N_k - 1$, $mS_l \leq l \leq mS_l + N_l - 1$ 的范围切割出的部分区域的数据列 $x_{nm}(k - nS_k, l - mS_l)$ 。

[0094] [数式1]

[0095] $x_{nm}(k-nS_k, l-mS_l) = W_a(k-nS_k, l-mS_l) x(k, l) \cdots (1)$

[0096] 在图7中表示从磁畴图像G切割出了与观察位置 $(n, m) = (1, 1), (2, 2), (3, 3), \dots, (P, Q)$ (P及Q是自然数) 分别对应的部分区域的例子。

[0097] 在本实施方式中, 决定窗函数 $W_a(k, l)$ 的范围的 N_k 及 N_l 分别是与部分区域中的 k 方向的像素数及 l 方向的像素数对应的参数。

[0098] (A-2) 进行ST2DFT的步骤

[0099] 将部分区域的数据列定义为 $x_{nm}(n', m') = x_{nm}(k-nS_k, l-mS_l)$, 如果对 $x_{nm}(n', m')$ 实施二维傅里叶变换, 则如式(2)那样, 得到与观察位置 (n, m) 的部分区域对应的部分傅里叶图像 $X(f_k, f_l, n, m)$ 。

[0100] [数式2]

$$[0101] \quad X(f_k, f_l, n, m) = \sum_{n'=0}^{N_k-1} \sum_{m'=0}^{N_l-1} x_{nm}(n', m') \exp \left\{ -2\pi j \left(\frac{f_k n'}{N_k} + \frac{f_l m'}{N_l} \right) \right\} \quad \cdots (2)$$

[0102] 这里, f_k 及 f_l 是空间频率。

[0103] 如果将空间频率 f_k 的分辨能力表述为 Δf_k , 将空间频率 f_l 的分辨能力表述为 Δf_l , 则 Δf_k 及 Δf_l 如式(3)那样定义。

[0104] [数式3]

$$[0105] \quad \begin{cases} \Delta f_k = \frac{2}{N_k \Delta k} \\ \Delta f_l = \frac{2}{N_l \Delta l} \end{cases} \quad \cdots (3)$$

[0106] 这里, Δk 及 Δl 分别是磁畴图像中的 k 方向的空间分辨能力及 l 方向上的空间分辨能力。

[0107] 例如, 如果对图7所示的各部分区域的数据列 $x_{nm}(k-nS_k, l-mS_l)$ 实施二维傅里叶变换, 则如图8所示, 按每个观察位置 (n, m) 得到部分傅里叶图像 $X(f_k, f_l, n, m)$ 。

[0108] (A-3) 导出磁畴宽度的空间分布的步骤

[0109] 如果得到部分傅里叶图像 $X(f_k, f_l, n, m)$, 则能求出部分傅里叶图像 $X(f_k, f_l, n, m)$ 的斑块的峰值位置的坐标 (k 成分 $f_k^{\max}(n, m)$ 及 l 成分 $f_l^{\max}(n, m)$)。另外, 关于峰值位置的导出, $k=0, l=0$ 的附近的区域由于是较大地依存于图像的对比度的部分, 所以排除在外。

[0110] 并且, 根据由式(3)定义的空间频率的分辨能力、以及部分傅里叶图像的斑块的峰值位置, 如式(4)所示导出磁畴宽度的空间分布 $L(n, m)$ 。

[0111] [数式4]

$$[0112] \quad L(n, m) = \frac{1}{\sqrt{(\Delta f_k f_k^{\max}(n, m))^2 + (\Delta f_l f_l^{\max}(n, m))^2}} \quad \cdots (4)$$

[0113] 这样, 通过使用ST2DFT, 能够在保持磁畴图像的位置信息的状态下定量地导出磁畴宽度的空间分布 $L(n, m)$ 。上述的图1A~图1C表示由ST2DFT导出的磁畴宽度的解析结果。

[0114] 如果导出磁畴宽度的空间分布 $L(n, m)$, 则如图9所示, 运算部41将方向性电磁钢板

50的磁畴控制处理线52(图9的虚线)中的磁畴宽度为规定值以上(例如,约500 μm 以上)的部位决定为适用磁畴细分化处理的磁畴细分化处理线90(图9的实线)。激光照射装置500的控制部513进行控制,以将针对磁畴控制处理线52中的磁畴细分化处理线90的激光光束LB的电源设为接通,优选的是将针对其以外的部位的激光光束LB的电源设为断开。由此,沿着磁畴细分化处理线90形成槽,或导入热应变。另外,不需要使上述的“规定值”严格地与500 μm 一致。通过使规定值大致为400 μm ~600 μm 的范围内,由此能够提供兼顾了低铁损化和低噪声化的方向性电磁钢板。也可以使规定值的下限值为425 μm 、450 μm 或475 μm 。也可以使规定值的上限值为575 μm 、550 μm 或525 μm 。

[0115] 另外,在通过上述的次序得到的磁畴图像中,有磁畴细分化处理线90不清晰的情况。在此情况下,也可以调整观察条件,以便能够明确地确认磁畴细分化处理线90。例如,通过沿着方向性电磁钢板的板面垂直方向(厚度方向)施加直流磁场,能够使磁畴细分化处理线90清晰化。

[0116] 接着,说明有关本实施方式的方向性电磁钢板50。如在图9中所例示,有关本实施方式的方向性电磁钢板50具有磁畴细分化处理线90。磁畴细分化处理线90是被实施了磁畴细分化处理的部位。磁畴细分化处理线90例如是槽及热应变等。在磁畴细分化处理线90是槽的情况下,能够容易地辨识磁畴细分化处理线90。在磁畴细分化处理线90是热应变等的难以辨识的形态的情况下,通过一边沿着方向性电磁钢板50的板面垂直方向(厚度方向)施加直流磁场一边拍摄磁畴图像,也能够清晰地观察到磁畴细分化处理线90。

[0117] 如在图9中所例示,磁畴细分化处理线90被配置在相对于轧制直角方向(TD)成 0° ~ 45° 的角度的线、即被配置在磁畴控制处理线52上。磁畴控制处理线52在方向性电磁钢板50的表面相对于轧制直角方向(TD)成 0° ~ 45° 的角度,沿着轧制方向(RD)而排列。磁畴控制处理线52优选的是相互平行地排列。磁畴控制处理线52与方向性电磁钢板50的制造阶段中的激光光束LB的焦点的轨迹对应。磁畴控制处理线52在方向性电磁钢板50中不是作为实体存在的,而是沿着磁畴细分化处理线90的假想线。根据上述的次序而沿着磁畴细分化处理线90来引线等,由此能够确定磁畴控制处理线52。轧制直角方向(TD)与磁畴细分化处理线90的延伸方向所成的角度和轧制直角方向(TD)与设有该磁畴细分化处理线90的磁畴控制处理线52的延伸方向所成的角度相同。

[0118] 磁畴细分化处理线90相对于方向性电磁钢板50的轧制直角方向(TD)成 0° ~ 45° 的角度。在磁畴细分化处理线90与轧制直角方向(TD)所成的角度超过 45° 的情况下,不能得到降低铁损的效果。磁畴细分化处理线90与轧制直角方向(TD)所成的角度也可以是 1° 以上、 5° 以上或 10° 以上。磁畴细分化处理线90与轧制直角方向(TD)所成的角度也可以是 40° 以下、 30° 以下或 20° 以下。

[0119] 另外,在方向性电磁钢板50中,磁畴控制处理线52与轧制直角方向(TD)所成的角度既可以是一样的,也可以是参差不齐的。既可以仅在方向性电磁钢板50的一部分中使磁畴控制处理线52与轧制直角方向(TD)所成的角度为 0° ~ 45° ,也可以在方向性电磁钢板50的全部的区域中使磁畴控制处理线52与轧制直角方向(TD)所成的角度为 0° ~ 45° 。此外,也可以使方向性电磁钢板50中的磁畴控制处理线52与轧制直角方向(TD)所成的角度的平均值为 0° ~ 45° 。磁畴控制处理线52与轧制直角方向(TD)所成的角度或其平均值也可以是 1° 以上、 3° 以上或 5° 以上。磁畴控制处理线52与轧制直角方向(TD)所成的角度或其平均值也

可以是40°以下、35°以下或30°以下。

[0120] 对于有关本实施方式的方向性电磁钢板50而言,磁畴控制处理线52中的没有磁畴细化处理线90且长度为1mm以上的区域中的平均磁畴宽度优选的是500 μm 以下。磁畴控制处理线52中的没有磁畴细化处理线90的区域,是在同一线上的多个磁畴细化处理线90之间的区域。磁畴控制处理线52中的没有磁畴细化处理线90的区域的长度是在同一线上的多个磁畴细化处理线90的间隔,是沿着磁畴细化处理线90测量的值。以下,有时将磁畴控制处理线52中的没有磁畴细化处理线90的区域称作非磁畴细化处理线。例如,在图10所例示的方向性电磁钢板10中,带有标号100A的非磁畴细化处理线相当于“磁畴控制处理线52中的没有磁畴细化处理线90且长度为1mm以上的区域”。

[0121] 在长度为1mm以上的非磁畴细化处理线的平均磁畴宽度为500 μm 以下的情况下,方向性电磁钢板50的铁损被进一步降低,因此是优选的。长度为1mm以上的非磁畴细化处理线的平均磁畴宽度更优选的是480 μm 以下、450 μm 以下或400 μm 以下。

[0122] 此外,在磁畴控制处理线52中的长度为1mm以上的非磁畴细化处理线的平均磁畴宽度为500 μm 以下的方向性电磁钢板50中,磁畴细化处理被抑制在最低限度。如上述那样,在磁畴细化处理前的方向性电磁钢板50中,混杂有磁畴宽度较宽的区域和磁畴宽度较窄的区域。通过预先确定磁畴宽度的分布,使针对磁畴宽度较窄的区域的磁畴细化处理停留在最小限度,由此能得到磁畴控制处理线52中的长度为1mm以上的非磁畴细化处理线的平均磁畴宽度为500 μm 以下的方向性电磁钢板50。在这样的方向性电磁钢板50中,能够适当地避免对于铁损降低效果较小的磁畴宽度较窄的区域进行磁畴细化处理,能够减少通过磁畴细化处理发生的回流磁畴的生成,进一步抑制了噪声。

[0123] 在有关本实施方式的方向性电磁钢板50中,优选的是磁畴控制处理线52中的没有磁畴细化处理线90且包含两个以上磁畴壁502(即,180°磁畴壁)的区域中的平均磁畴宽度为500 μm 以下。磁畴控制处理线52中的没有磁畴细化处理线90的区域是在同一线上的多个磁畴细化处理线90之间的区域,是上述的非磁畴细化处理线。例如,在图10所例示的方向性电磁钢板10中,带有标号100A的非磁畴细化处理线及带有标号100B的非磁畴细化处理线相当于“磁畴控制处理线52中的没有磁畴细化处理线90且包含两个以上磁畴壁502的区域”。

[0124] 在包含两个以上磁畴壁502的非磁畴细化处理线的平均磁畴宽度为500 μm 以下的情况下,方向性电磁钢板50的铁损进一步被降低,所以是优选的。此外,包含两个以上磁畴壁502的非磁畴细化处理线的平均磁畴宽度为500 μm 以下的方向性电磁钢板50是通过以优先对方向性电磁钢板的原来的磁畴宽度较宽的区域(例如约500 μm 以上的区域)实施磁畴细化处理的方式来进行磁畴控制从而得到的。因而,在包含两个以上磁畴壁502的非磁畴细化处理线的平均磁畴宽度为500 μm 以下的情况下,能够适当地避免对铁损降低效果较小的磁畴宽度较窄的区域进行磁畴细化处理,能够减少由磁畴细化处理产生的回流磁畴的生成,所以能进一步抑制方向性电磁钢板50的噪声。

[0125] 另外,在有磁畴细化处理线90的区域中,磁畴宽度必然被减小。因而,磁畴细化处理线90所在的区域中的平均磁畴宽度没有被特别限定。但是,也可以将磁畴细化处理线90所在的区域中的平均磁畴宽度例如规定为500 μm 以下、480 μm 以下、450 μm 以下或400 μm 以下。

[0126] 在本实施方式中,将磁畴控制处理线52中的磁畴细分化处理线90所占的比例定义为磁畴细分化处理线90的长度相对于磁畴控制处理线52的长度的总延伸长度的比率,其优选为10%以上且90%以下。

[0127] 这里,优选的是将磁畴细分化处理线90相对于磁畴控制处理线52的总延伸长度所占的比例设为10%以上,这是因为,如果小于10%,则难以得到磁畴细分化效果,优选的是设为90%以下,这是因为,如果超过90%,则在低噪声化这一点上不被优选。

[0128] 从降低噪声的观点看,磁畴控制处理线52中的磁畴细分化处理线90所占的比例优选的是较小。此外,通过将磁畴控制处理线52中的长度为1mm以上的非磁畴细分化处理线的平均磁畴宽度设为500 μm 以下,或将包含两个以上磁畴壁502的非磁畴细分化处理线的平均磁畴宽度设为500 μm 以下,由此,即使该比例较小,也能够实现较低的铁损。

[0129] 磁畴细分化处理线90相对于磁畴控制处理线52的总延伸长度所占的比例优选的是15%以上、20%以上或30%以上。磁畴细分化处理线90相对于磁畴控制处理线52的总延伸长度所占的比例优选的是80%以下、70%以下或60%以下。

[0130] 此外,在本实施方式中,磁畴细分化处理线90优选的是以非单一周期性存在于磁畴控制处理线52上。这里,磁畴细分化处理线90以非单一周期性存在于磁畴控制处理线52上是指不符合“每1cm平均有10处以上的磁畴细分化处理线90,处于各个磁畴细分化处理线90之间的非磁畴细分化处理线的长度的标准偏差为20 μm 以下的情况”。即,在本实施方式中,通过对钢板整面进行由通常的脉冲激光进行的磁畴控制从而得到的磁畴细分化处理线90被看作不是“以非单一周期性存在”。

[0131] 如以上这样,通过仅对方向性电磁钢板的原来的磁畴宽度较宽的区域实施磁畴细分化处理,从而能够将磁滞损失的增大、噪声特性的变差等的不良影响抑制在最小限度,能够将磁畴细分化的效果提高到最大限度。由此,能够兼顾低铁损化和低噪声化。

[0132] (测量方法)

[0133] 以下,对关于有关本实施方式的方向性电磁钢板50的参数的测量方法进行说明。另外,任一参数的测量都是对于从方向性电磁钢板50选取的规定尺寸的试料来进行。例如,能够将两边的长度为100mm(或100mm以上)的矩形试料从方向性电磁钢板50切割出并提供用于测量。在方向性电磁钢板50是卷的情况下,只要从卷的任意的部位采取试料即可。此外,在方向性电磁钢板50被做成装入到变压器、马达等的电机制品中的部件的情况下,也只要从该部件的任意的部位采取试料即可。在部件的尺寸较小的情况下,也可以使试料的1边的长度小于100mm。在此情况下,使得试料面积的合计值为10000 mm^2 以上。此时,为了使机械应变等对于试料的影响为最小,优选的是通过线切割加工等的方法来采取试料。

[0134] (磁畴控制处理线52与轧制直角方向(TD)所成的角度)

[0135] 磁畴控制处理线52与轧制直角方向(TD)所成的角度的测量方法如下。

[0136] 首先,确定试料中包含的磁畴细分化处理线90。在磁畴细分化处理线90是槽等可辨识的形态的情况下,不需要对于磁畴细分化处理线90进行特别的处理。在磁畴细分化处理线90是热应变等难以辨识的形态的情况下,例如使用图3所例示的图像取得装置来拍摄磁畴图像。根据需要,一边沿着方向性电磁钢板50的板面垂直方向(厚度方向)施加直流磁场,一边拍摄磁畴图像。通过观察磁畴图像,能够确定磁畴细分化处理线90的位置。

[0137] 接着,确定轧制直角方向(TD)。

[0138] (1) 在试料是从卷状的方向性电磁钢板50切割出的情况下,可以将方向性电磁钢板50的宽度方向看作是轧制直角方向(TD)。

[0139] (2) 在试料是从电机制品的部件等切割出的情况下,根据方向性电磁钢板50的表面的轧制痕来确定轧制直角方向(TD)。将轧制痕的延伸方向看作轧制方向(RD),将与轧制方向(RD)垂直并且与钢板表面平行的方向看作轧制直角方向(TD)。

[0140] (3) 在难以根据方向性电磁钢板50的表面的轧制痕来确定轧制直角方向(TD)的情况下,根据方向性电磁钢板50的结晶取向来确定轧制直角方向(TD)。具体而言,在多个点测量作为评价对象的方向性电磁钢板50的结晶取向。并且,将该测量点处的从GOSS取向偏离的偏离角为最小的方向看作轧制方向(RD),将与轧制方向(RD)垂直并且与方向性电磁钢板50的表面平行的方向看作轧制直角方向(TD)。

[0141] 在任一情况下,从便于测量的观点看,都优选的是以试料的一边与轧制直角方向(TD)一致的方式从方向性电磁钢板50切割出试料。

[0142] 磁畴控制处理线52在方向性电磁钢板50中不是作为实体存在的,而是沿着磁畴细化处理线90的假想线。因而,可以将以上述的次序确定的磁畴细化处理线90与轧制直角方向(TD)所成的狭角看作是磁畴控制处理线52与轧制直角方向(TD)所成的角度。

[0143] (长度为1mm以上的没有磁畴细化处理线90的区域中的平均磁畴宽度)

[0144] 磁畴控制处理线52中的长度为1mm以上的非磁畴细化处理线的平均磁畴宽度的测量方法如以下所述。

[0145] 首先,使用图3所例示的图像取得装置来拍摄试料的磁畴图像。根据需要,通过一边沿着试料的板面垂直方向(厚度方向)施加直流磁场一边拍摄磁畴图像,从而使试料的磁畴细化处理线90清晰化。在图10中表示磁畴图像的一例。在磁畴图像中,磁畴501A及501B具有带形状。考虑到明确性,在图10中将相邻的磁畴彼此用不同的颜色来表示。即,为了方便说明,对磁畴501A赋予阴影,对与磁畴501A相邻的磁畴501B没有赋予阴影。相邻的2个磁畴501A、501B的边界是磁畴壁502。

[0146] 接着,设想沿着磁畴图像中包含的磁畴细化处理线90的假想线。该假想线相当于磁畴控制处理线52。并且,在假想线中测量不存在磁畴细化处理线90的部分(以下称作“非磁畴细化处理线”)的长度。另外,非磁畴细化处理线的长度是指沿着假想线即磁畴细化处理线90的长度。由此,将试料中包含的长度为1mm以上的非磁畴细化处理线全部提取出。例如,由于带有标号100A的非磁畴细化处理线的长度为1mm以上,所以被提取出。由于带有标号100B及100C的非磁畴细化处理线的长度小于1mm,所以没有被提取出。进而,对于长度为1mm以上的全部的非磁畴细化处理线中包含的磁畴501A、501B的个数的合计值进行计数。例如,在带有标号100A的非磁畴细化处理线中包含的磁畴的个数为4个。通过将试料中包含的长度为1mm以上的全部的非磁畴细化处理线的合计长度除以这些非磁畴细化处理线中包含的磁畴501A、501B的个数的合计值,从而计算磁畴控制处理线52中的长度为1mm以上的非磁畴细化处理线的平均磁畴宽度。

[0147] (包含两个以上磁畴壁502的没有磁畴细化处理线90的区域中的平均磁畴宽度)

[0148] 包含两个以上磁畴壁502的非磁畴细化处理线的平均磁畴宽度的测量方法如以下所述。

[0149] 首先,使用图3所例示的图像取得装置来拍摄试料的磁畴图像。根据需要,通过一

边沿着试料的板面垂直方向(厚度方向)施加直流磁场一边拍摄磁畴图像,从而使试料的磁畴细化处理线90清晰化。在图10中表示磁畴图像的一例。相邻的磁畴501A与磁畴501B的边界是磁畴壁502。

[0150] 接着,设想沿着磁畴图像中所包含的磁畴细化处理线90的假想线。该假想线相当于磁畴控制处理线52。并且,对于在假想线中不存在磁畴细化处理线90的部分(以下称作“非磁畴细化处理线”)所包含的磁畴壁502的数量进行计数。由此,将试料中所含有的、包含两个以上磁畴壁502的非磁畴细化处理线全部提取出。例如,对于带有标号100A的非磁畴细化处理线而言,由于其中包含的磁畴壁502的个数为3,所以被提取出。对于带有标号100B的非磁畴细化处理线而言,由于其中包含的磁畴壁502的个数为1,所以没有被提取出。对于带有标号100C的非磁畴细化处理线而言,由于其中包含的磁畴壁502的个数为2,所以被提取出。

[0151] 进而,对于包含两个以上磁畴壁502的全部的非磁畴细化处理线中包含的磁畴501A、501B的个数的合计值进行计数。例如,带有标号100A的非磁畴细化处理线所包含的磁畴501A、501B的个数为4个。带有标号100C的非磁畴细化处理线所包含的磁畴501A、501B的个数为3个。通过将试料中所含的、包含两个以上磁畴壁502的全部的非磁畴细化处理线的合计长度除以该非磁畴细化处理线中包含的磁畴501A、501B的个数的合计值,从而计算包含两个以上磁畴壁502的非磁畴细化处理线的平均磁畴宽度。

[0152] 磁畴细化处理线90相对于磁畴控制处理线52的总延伸长度所占的比例的测量方法如以下所述。首先,通过上述的次序,确定试料中包含的磁畴控制处理线52及磁畴细化处理线90。接着,计算试料中包含的全部的磁畴控制处理线52的长度的合计值和试料中包含的全部的磁畴细化处理线90的长度的合计值。并且,通过将试料中包含的全部的磁畴细化处理线90的长度的合计值除以试料中包含的全部的磁畴控制处理线52的长度的合计值,从而计算磁畴细化处理线90相对于磁畴控制处理线52的总延伸长度所占的比例。

[0153] 磁畴细化处理线90是否以非单一周期性存在的判定方法如以下所述。首先,通过上述的次序,确定试料中包含的磁畴控制处理线52及磁畴细化处理线90。如上所述,磁畴细化处理线90以非单一周期性存在是指不符合“每1cm平均有10处以上的磁畴细化处理线90,在各个磁畴细化处理线90之间的非磁畴细化处理线的长度的标准偏差为 $20\mu\text{m}$ 以下的情况”。因而,在判定时,判定在试料(例如两边的长度为100mm的矩形试料)中包含的多个磁畴控制处理线52各自中是否每1cm平均包含10处以上磁畴细化处理线90。例如,在试料中包含的1条磁畴控制处理线52的长度为Xcm,该磁畴控制处理线52中包含的磁畴细化处理线90的个数为y个的情况下,判定为在该磁畴控制处理线52中每1cm平均有 y/X 处磁畴细化处理线90。进而,在被判定为每1cm平均包含10处以上磁畴细化处理线90的磁畴控制处理线52各自中,判定非磁畴细化处理线的长度的标准偏差是否是 $20\mu\text{m}$ 以下。在试料所包含的全部的磁畴控制处理线52中有50%以上以非单一周期性设有磁畴细化处理线90的情况下,判定为在该试料中以非单一周期性存在磁畴细化处理线90。

[0154] 实施例

[0155] 通过实施例更具体地说明本发明的一技术方案的效果。但是,实施例中的条件仅是为了确认本发明的实施可能性及效果而采用的一条件例。本发明并不限定于该一条件

例。本发明只要不脱离本发明的主旨而达成本发明的目的,就能够采用各种条件。

[0156] 对于在JISC 2553:2019“方向性电磁钢带”的表2中被分类为23P085的同一批次的方向性电磁钢板,在表1所示的各种条件下实施了磁畴细分化处理。对于由此得到的已磁畴细分化处理的的方向性电磁钢板的噪声及铁损进行评价,记载在表2中。另外,在任一实施例及比较例中,磁畴控制处理线与轧制直角方向所成的角度都在全部的磁畴控制处理线中相同。

[0157] 噪声及铁损的评价方法如下所述。首先,将板厚0.23mm的方向性电磁钢板层叠180片,制作三相变压器铁芯。三相变压器铁芯的脚及磁轭的宽度都为150mm。三相变压器铁芯的外形的高度及宽度都设为750mm。测量这些三相变压器铁芯的噪声及铁损。测量条件设为频率50Hz及励磁磁通密度1.7T。

[0158] 在测量噪声时,在装入了该三相变压器铁芯的变压器的周围8个部位等间隔地配置麦克风。变压器与麦克风的距离设为30cm。将对于由这些麦克风得到的噪声测量结果进行A特性修正并平均化而得到的值作为方向性电磁钢板的噪声评价结果(单位dBA)记载在表2中。将噪声的评价结果为33.5dBA以下的例子判定为是达成了低噪声化的例子。对被判定为不合格的噪声评价结果赋予下划线。

[0159] 铁损通过使用功率分析仪来测量以如上所述的频率50Hz及励磁磁通密度1.7T进行励磁时的一次侧及二次侧的电压及电流从而求出。将所求出的铁损作为方向性电磁钢板的铁损评价结果(单位W/kg)记载在表2中。将铁损的评价结果为1.00W/kg以下的例子判定为是达成了低铁损化的例子。对于被判定为不合格的噪声评价结果赋予下划线。

[0160] 进而,对于在已经完成磁畴细分化处理的的方向性电磁钢板中的、作为没有磁畴细分化处理线的部分且在长度为1mm以上的区域中测量的平均磁畴宽度,以及在作为没有磁畴细分化处理线的部分且包含两个以上磁畴壁的区域中测量的平均磁畴宽度,进行测量,记载在表2中。平均磁畴宽度的测量方法如以上所述。将两边的长度为100mm的矩形试料从噪声及铁损的测量用的三相变压器铁芯切割出,提供用于测量。

[0161] [表1]

[0162]

表1

| 磁畴控制处理线与轧制方向TD所成的角度 (°) | 进行磁畴细化处理的位置 | 磁畴细化方法 | 磁畴细化处理线相对于磁畴控制处理线的总延伸长度所占的比例 (%) |
|-------------------------|--------------------|--------|----------------------------------|
| --- | 无照射 | 激光 | 0 |
| 50 | 整个宽度方向 | 激光 | 100 |
| 50 | 非单一周期性 | 激光 | 40 |
| 50 | 选择磁畴宽度为500 μm以上的部位 | 激光 | 41 |
| 50 | 一定脉冲 | 激光 | 40 |
| 5 | 整个宽度方向 | 激光 | 100 |
| 40 | 一定脉冲 | 激光 | 50 |
| 20 | 一定脉冲 | 激光 | 50 |
| 10 | 一定脉冲 | 激光 | 10 |
| 5 | 一定脉冲 | 激光 | 90 |
| 40 | 非单一周期性 | 激光 | 50 |
| 20 | 非单一周期性 | 激光 | 50 |
| 10 | 非单一周期性 | 激光 | 50 |
| 5 | 非单一周期性 | 激光 | 10 |
| 5 | 非单一周期性 | 激光 | 90 |
| 45 | 选择磁畴宽度为500 μm以上的部位 | 激光 | 88 |
| 30 | 选择磁畴宽度为500 μm以上的部位 | 激光 | 61 |
| 15 | 选择磁畴宽度为500 μm以上的部位 | 激光 | 48 |
| 5 | 选择磁畴宽度为500 μm以上的部位 | 激光 | 53 |
| 5 | 选择磁畴宽度为500 μm以上的部位 | 激光 | 73 |
| 5 | 选择磁畴宽度为500 μm以上的部位 | 激光 | 11 |
| 0 | 选择磁畴宽度为500 μm以上的部位 | 激光 | 63 |
| 5 | 非单一周期性 | 激光 | 8 |
| 5 | 选择磁畴宽度为500 μm以上的部位 | 激光 | 9 |
| 5 | 非单一周期性 | 激光 | 91 |
| 5 | 选择磁畴宽度为500 μm以上的部位 | 激光 | 93 |
| 15 | 选择磁畴宽度为500 μm以上的部位 | 形成槽 | 58 |
| 5 | 选择磁畴宽度为500 μm以上的部位 | 电子束 | 63 |

[0163]

[表2]

[0164]

表2

| | 在作为没有磁畴细化处理线的部分且长度1mm以上的区域中测量的平均磁畴宽度 (μm) | 在作为没有磁畴细化处理线的部分且包含两个以上磁畴壁的区域中测量的平均磁畴宽度 (μm) | 噪声的评价结果 @1.7T (dBA) | 铁损的评价结果 @1.7T (W/kg) |
|----|---|---|---------------------|----------------------|
| 1 | --- | --- | 28.29 | 1.019 |
| 2 | --- | --- | 33.97 | 1.003 |
| 3 | 511 | 509 | 33.92 | 1.010 |
| 4 | 489 | 497 | 33.65 | 1.005 |
| 5 | 506 | 512 | 33.69 | 1.002 |
| 6 | --- | --- | 33.23 | 0.840 |
| 7 | 584 | 569 | 32.87 | 0.984 |
| 8 | 534 | 547 | 32.64 | 0.967 |
| 9 | 547 | 533 | 30.14 | 0.965 |
| 10 | 520 | 530 | 32.86 | 0.856 |
| 11 | 538 | 554 | 30.84 | 0.894 |
| 12 | 510 | 522 | 30.64 | 0.884 |
| 13 | 521 | 534 | 30.31 | 0.867 |
| 14 | 587 | 601 | 30.15 | 0.889 |
| 15 | 507 | 506 | 30.89 | 0.854 |
| 16 | 484 | 481 | 29.81 | 0.845 |
| 17 | 415 | 401 | 29.64 | 0.844 |
| 18 | 384 | 351 | 29.34 | 0.832 |
| 19 | 364 | 358 | 28.94 | 0.807 |
| 20 | 381 | 377 | 29.14 | 0.813 |
| 21 | 381 | 377 | 28.77 | 0.832 |
| 22 | 325 | 334 | 28.76 | 0.805 |
| 23 | 513 | 526 | 30.24 | 0.926 |
| 24 | 473 | 465 | 29.64 | 0.903 |
| 25 | 543 | 517 | 31.71 | 0.854 |
| 26 | 311 | 320 | 31.21 | 0.838 |
| 27 | 466 | 458 | 29.74 | 0.832 |
| 28 | 441 | 439 | 29.41 | 0.820 |

[0165] 在例1中,没有进行磁畴细化处理。在例1中,由于没有设置应力导入线,所以没有看到噪声评价结果的变差。另一方面,在例1中没有达成低铁损化。

[0166] (角度不适当的例子)

[0167] 在例2~例5中,磁畴控制处理线与轧制直角方向所成的角度过大。在这些例子中,铁损超过了1.00W/kg,噪声超过了33.5dBA。即在例2~例5中,尽管进行了磁畴控制处理,但

几乎没有得到铁损的降低效果,噪声也增大了。

[0168] 在例6~例10中,磁畴控制处理线与轧制直角方向所成的角度是适当的。在这些例子中,铁损是比1.00W/kg低的值,噪声是33.5dBA以下。

[0169] 在例11~例15、例23及例25中,磁畴控制处理线与轧制直角方向所成的角度是适当的。在这些例子中,铁损是1.00W/kg以下,噪声也是33.5dBA以下。即,通过以适当的角度设置磁畴控制处理线,能够得到没有大幅的噪声增大而铁损降低的效果。

[0170] 此外,在这些例子中,由于以非单一周期性进行磁畴细分化处理,所以与例6~例10相比有噪声被进一步抑制的趋向。例如,如果将磁畴细分化处理被以一定脉冲而实施的例7和磁畴细分化处理被以非单一周期性实施的例11进行比较,则对于磁畴控制处理线与轧制直角方向TD所成的角度、以及磁畴细分化处理线相对于磁畴控制处理线的总延伸长度所占的比例而言,在例7与例11之间相同。但是,关于噪声的评价结果,例11比例7更优异。

[0171] 在例16~例22、例24及例26~例28中,将磁畴控制处理线与轧制直角方向所成的角度设为适当,进而,选择磁畴宽度为500 μm 以上的部位来进行磁畴控制处理。由此,在例16~例22、例24及例26~例28中,能够得到比例6~例15、例23及例25高的铁损的降低效果。

[0172] 除此以外,在例16~例22、例24及例26~例28中,与例6~例15、例23及例25相比有噪声被进一步抑制的趋向。例如,如果将磁畴细分化处理被以非单一周期性实施的例23与在磁畴宽度为500 μm 以上的部位中被选择性地实施了磁畴细分化处理的例24进行比较,则对于磁畴控制处理线与轧制直角方向TD所成的角度、以及磁畴细分化处理线相对于磁畴控制处理线的总延伸长度所占的比例而言,在例23与例24之间实质上相同。但是,关于噪声的评价结果,例24比例23更优异。

[0173] 另外,使磁畴细分化处理线相对于磁畴控制处理线的总延伸长度所占的比例越小,则噪声的评价越得到改善,但铁损的降低效果变弱。但是,在例16~例22、例24及例26~例28中,通过在磁畴宽度为500 μm 以上的部位选择性地实施磁畴细分化处理,从而使没有磁畴细分化处理线的部分处的平均磁畴宽度变窄。因此,在例16~例22、例24及例26~例28中,尽管噪声被很大程度抑制,铁损的降低效果得到了良好地发挥。

[0174] 标号说明

[0175] 30图像取得装置;31光源部;33M0传感器;35图像传感器;37信号处理部;40解析装置;41运算部;43存储器;45显示部;47输入部;49通信I/F;50方向性电磁钢板;501A、501B磁畴;502磁畴壁;52磁畴控制处理线;90磁畴细分化处理线;100A、100B、100C非磁畴细分化处理线(磁畴控制处理线中的没有磁畴细分化处理线的区域);500激光照射装置;TD轧制直角方向;RD轧制方向。

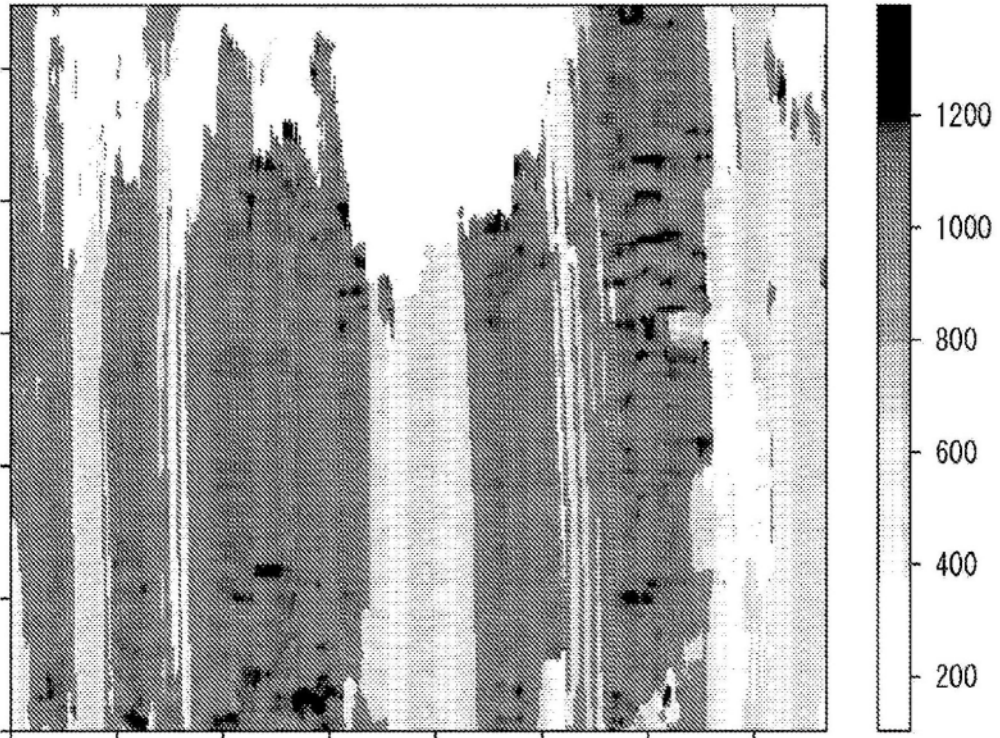


图1A

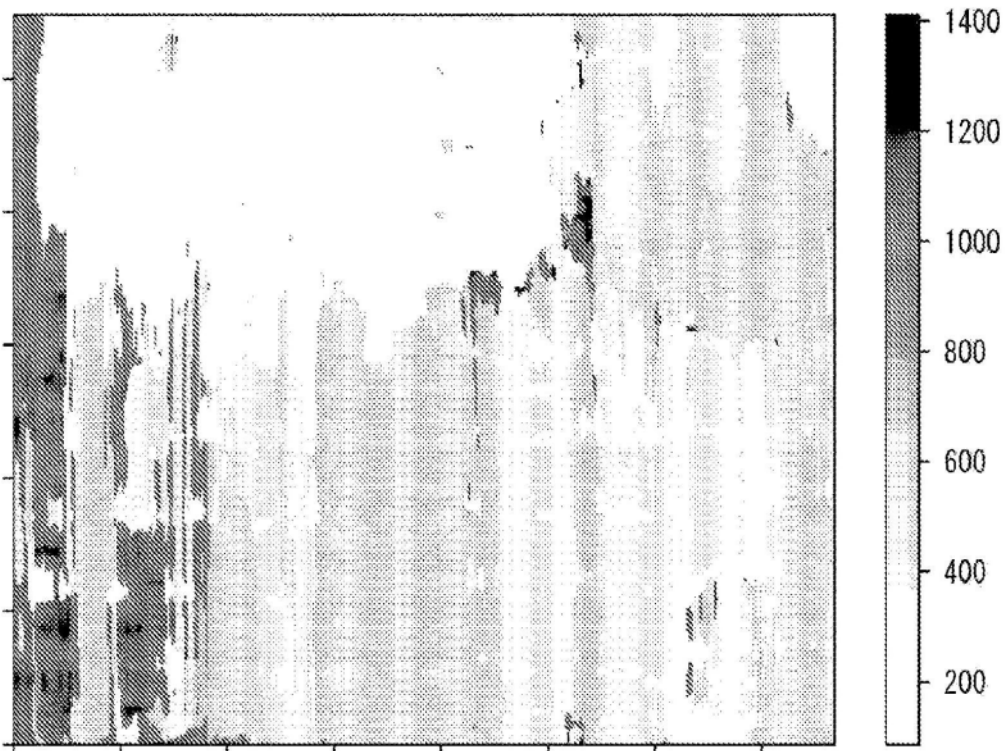


图1B

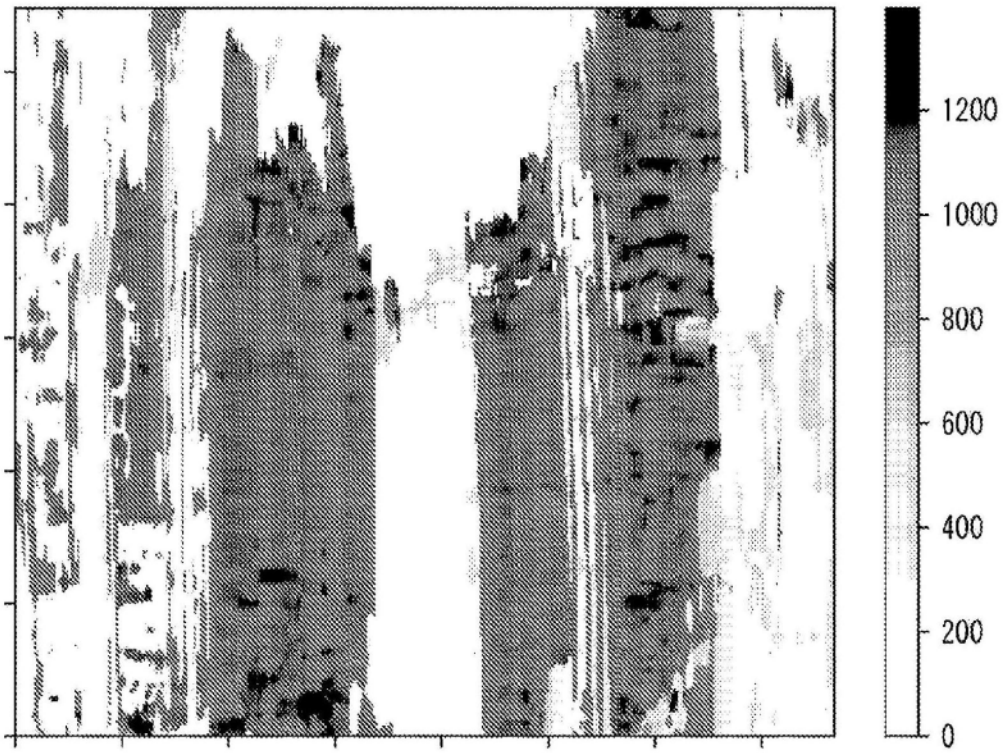


图1C

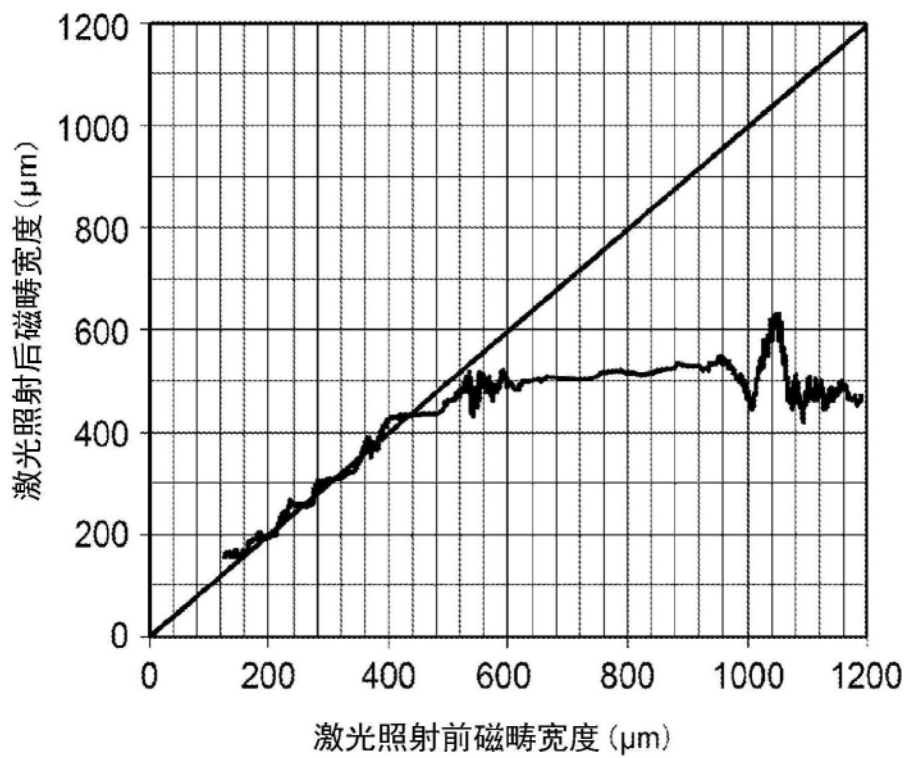


图2

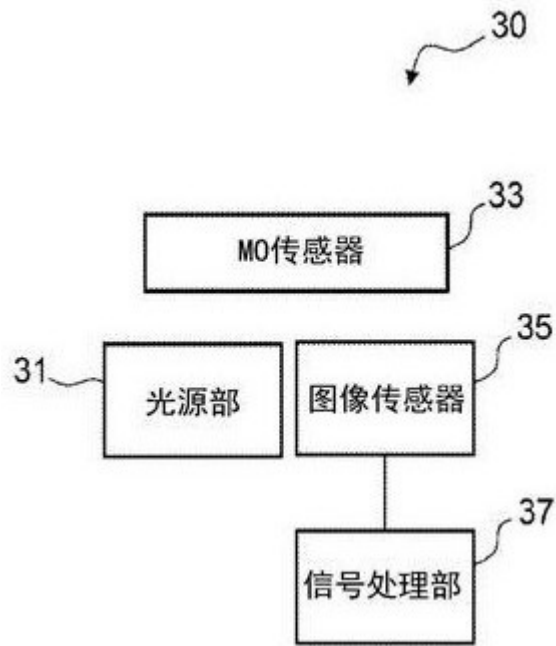


图3

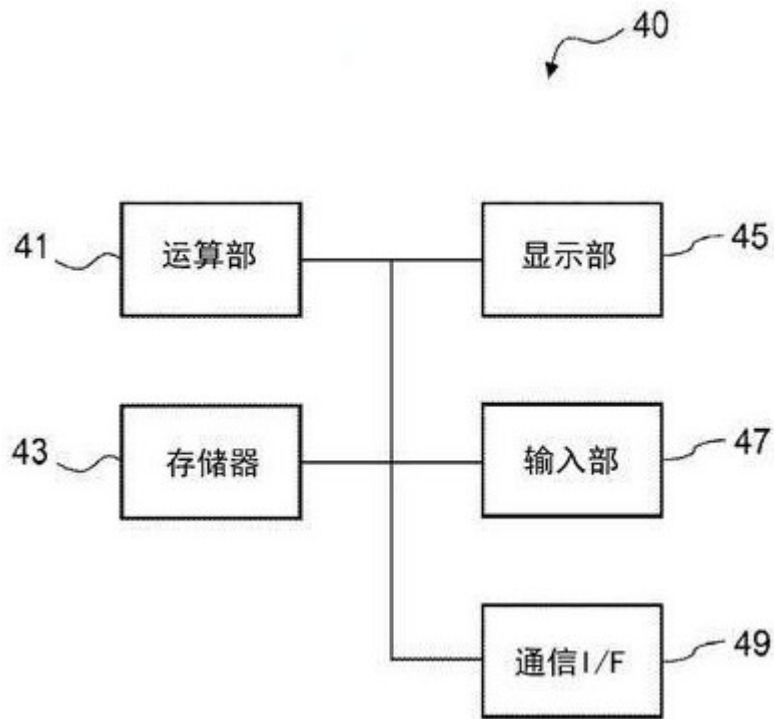


图4

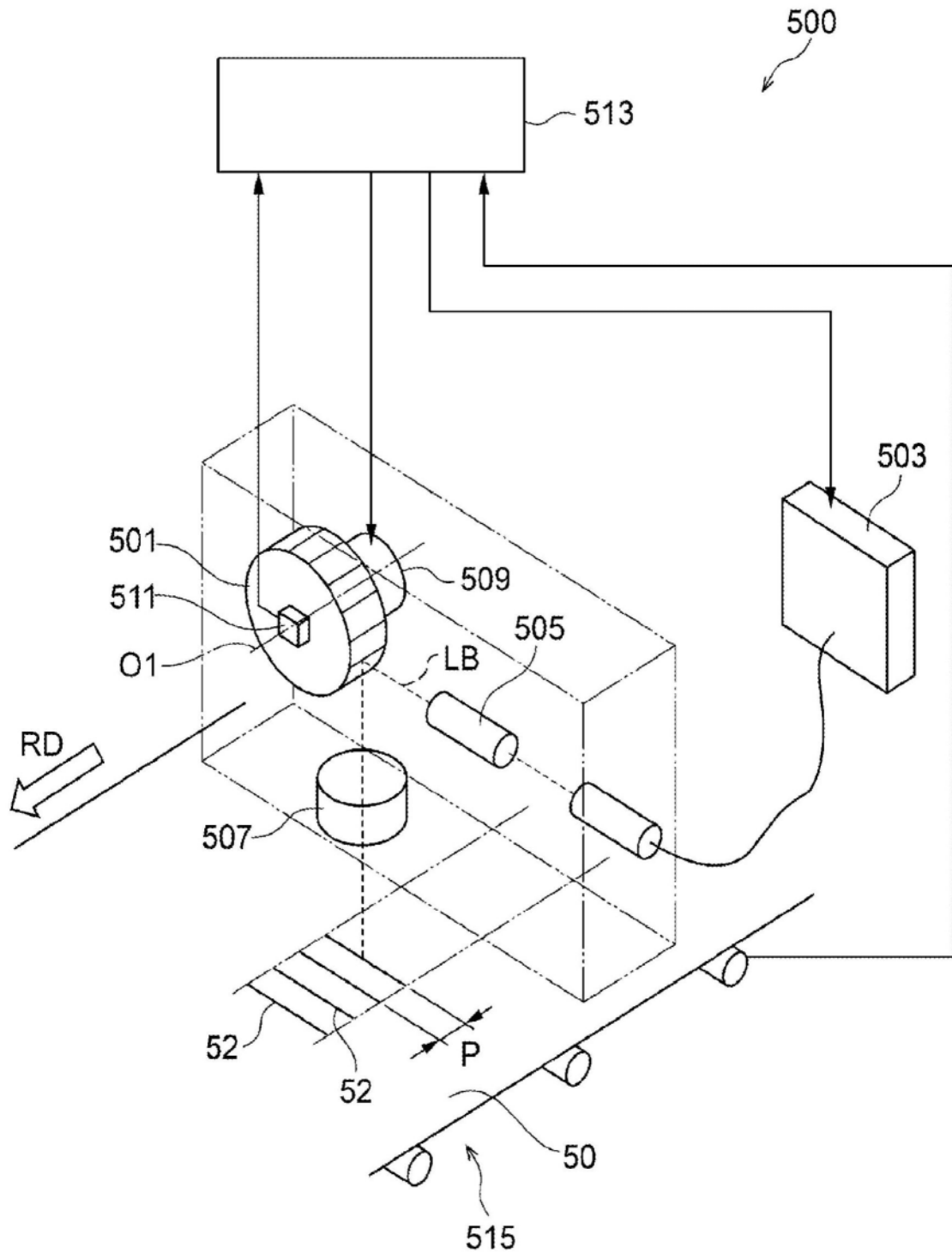


图5

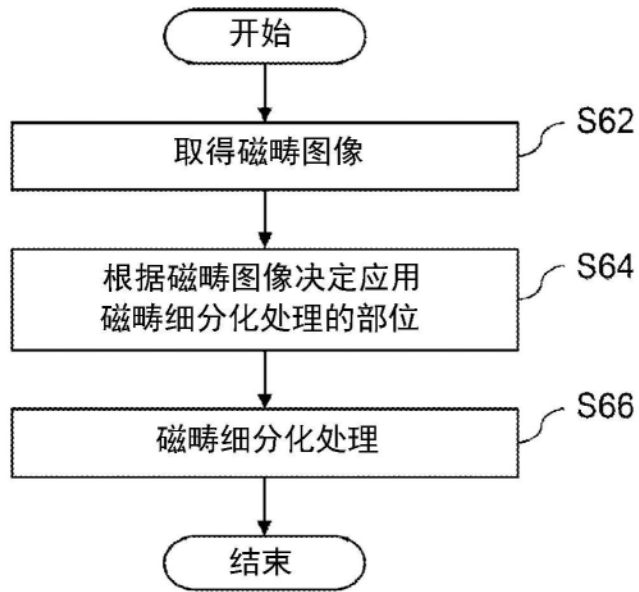


图6

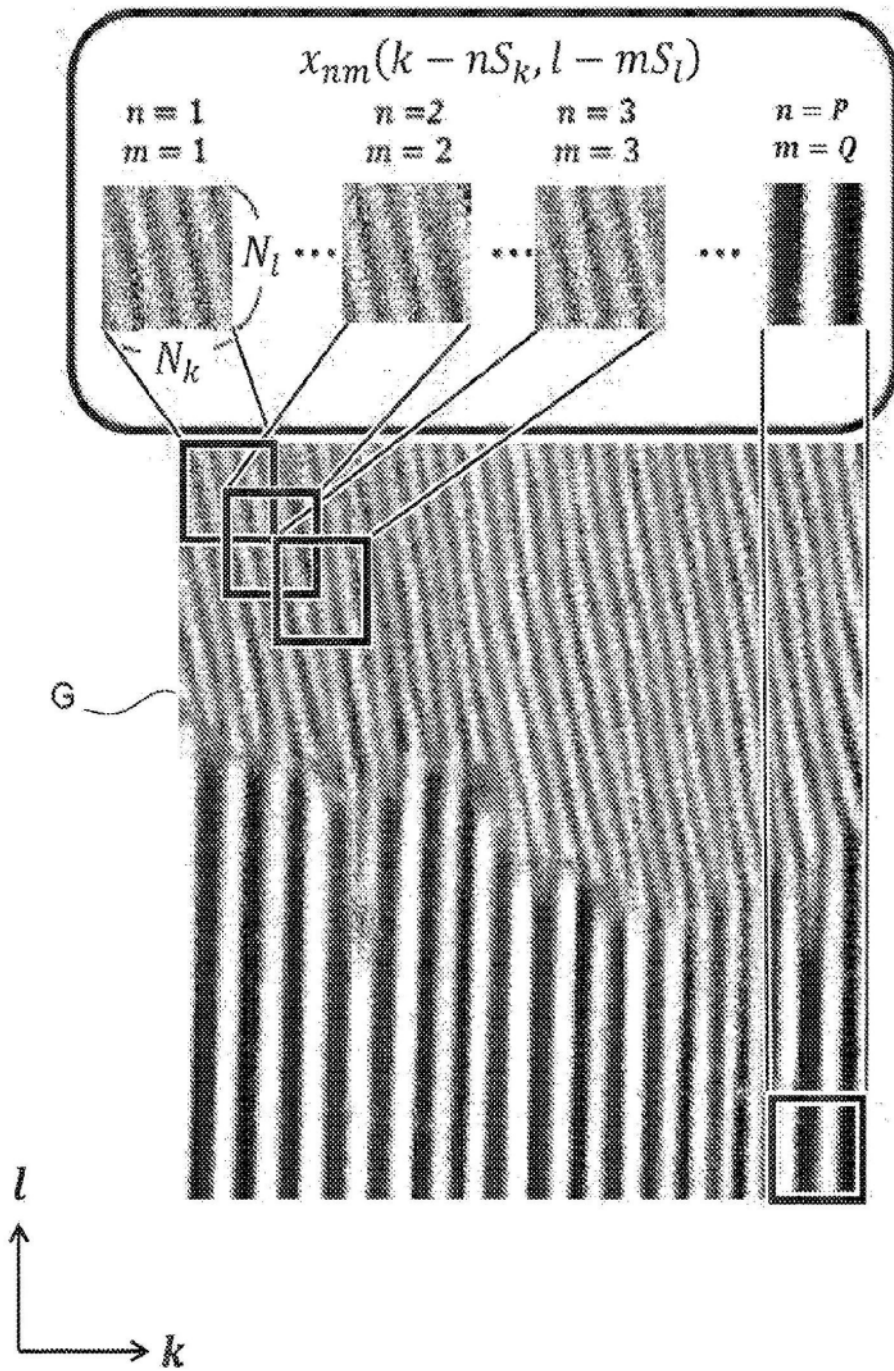


图7

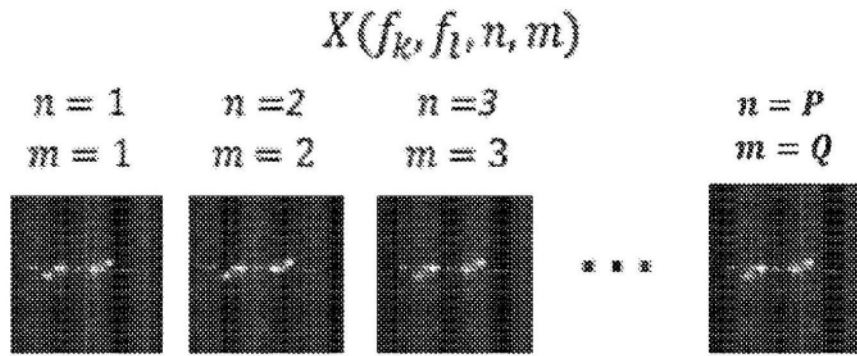


图8

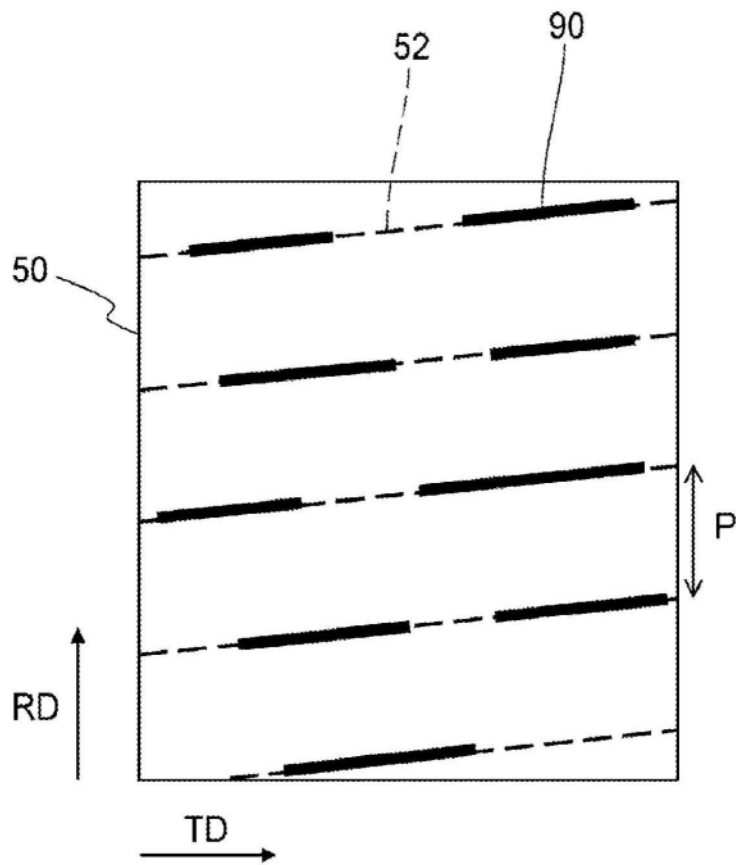


图9

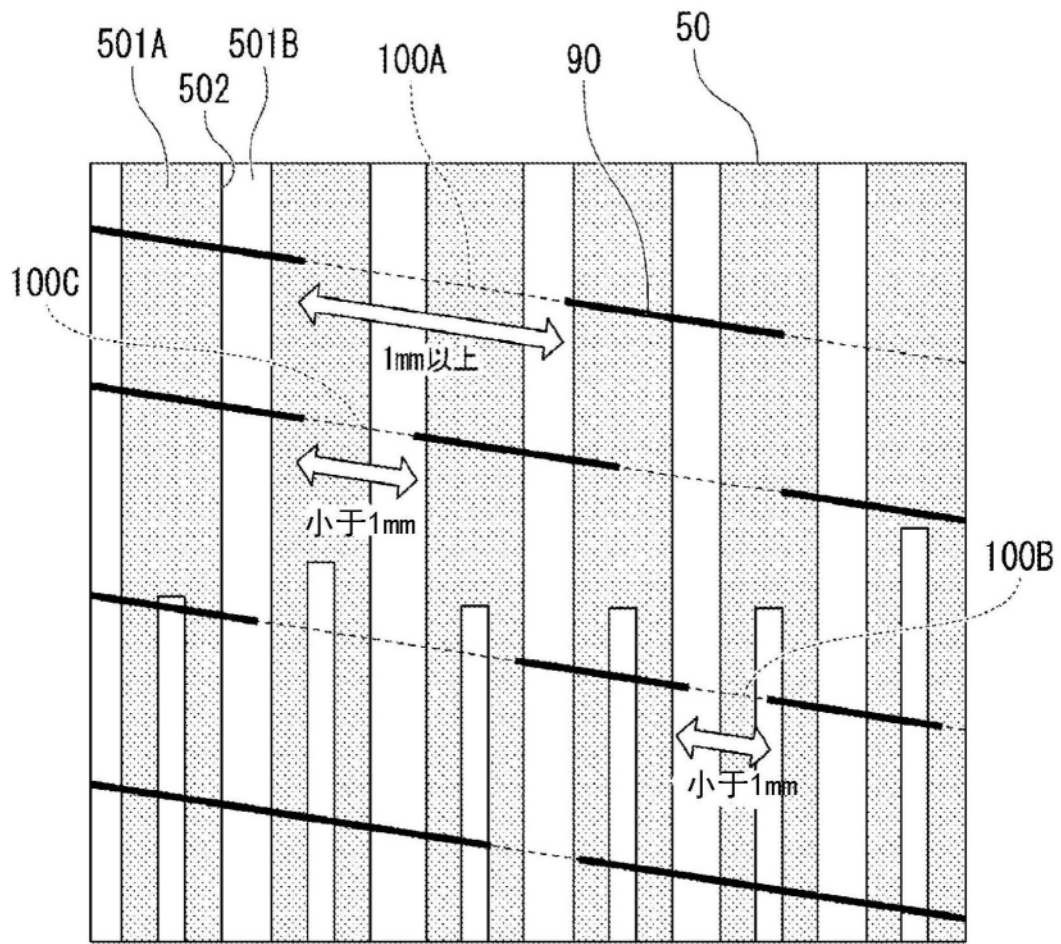


图10