



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104755637 B

(45)授权公告日 2017.03.15

(21)申请号 201380057184.9

(22)申请日 2013.11.07

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104755637 A

(43)申请公布日 2015.07.01

(30)优先权数据

2012-246305 2012.11.08 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2015.04.30

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2013/080092 2013.11.07

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/073599 JA 2014.05.15

(73)专利权人 新日铁住金株式会社

地址 日本东京

(72)发明人 平野弘二 今井浩文 滨村秀行

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 胡建新

(51)Int.Cl.

G21D 8/12(2006.01)

H01F 1/16(2006.01)

G22C 38/00(2006.01)

G22C 38/06(2006.01)

(56)对比文件

W0 2011016758 A1, 2011.02.10,

JP H0151527 B2, 1984.02.02,

审查员 钟婧

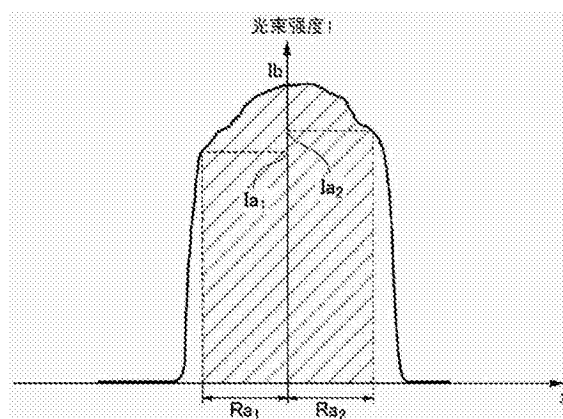
权利要求书2页 说明书13页 附图9页

(54)发明名称

激光加工装置以及激光照射方法

(57)摘要

本发明提供激光加工装置以及激光照射方法。激光加工装置具备激光照射装置,上述激光照射装置构成为,在向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束在上述方向性电磁钢板面上的与上述扫描方向垂直的方向的截面的强度分布中,在设从上述强度分布的重心起的强度积分值成为全强度积分值的43%的位置离上述强度分布的重心的距离为 R_{a1} 、 R_{a2} ,与上述 R_{a1} 、上述 R_{a2} 对应的上述激光束的强度为光束强度 I_{a1} 、光束强度 I_{a2} ,上述 I_{a1} 与上述 I_{a2} 的平均值为 I_a ,上述强度分布的重心的上述激光束的强度为光束强度 I_b 时, I_b/I_a 成为2.0以下。



1. 一种激光加工装置,用于对方向性电磁钢板进行激光束的聚光以及向扫描方向的扫描,而将上述方向性电磁钢板的磁区进行细分化,其特征在于,具备:

出射上述激光束的激光振荡装置;以及

将从上述激光振荡装置传送的上述激光束向上述方向性电磁钢板照射的激光照射装置,

上述激光照射装置构成为,在向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束在上述方向性电磁钢板面上的与上述扫描方向垂直的方向的截面的强度分布中,在设在朝向以上述强度分布的重心为中心而沿着与上述扫描方向垂直的方向的第一方向以及第二方向对上述强度分布进行积分时、上述第一方向上的从上述强度分布的重心起的强度积分值成为全强度积分值的43%的位置离上述强度分布的重心的距离为 Ra_1 ,上述第二方向上的从上述强度分布的重心起的强度积分值为上述全强度积分值的43%的位置离上述强度分布的重心的距离为 Ra_2 ,与上述 Ra_1 对应的上述激光束的强度为光束强度 Ia_1 ,与上述 Ra_2 对应的上述激光束的强度为光束强度 Ia_2 ,上述 Ia_1 与上述 Ia_2 的平均值为 Ia ,上述强度分布的重心的上述激光束的强度为光束强度 Ib 时, Ib/Ia 成为2.0以下,

上述激光照射装置进一步构成为,

在向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束在上述方向电磁钢板面上的上述扫描方向的截面中的强度分布即C方向强度分布中,设在朝向以上述C方向强度分布的重心为中心而沿着上述扫描方向的第三方向以及第四方向对上述C方向强度分布进行积分时、上述第三方向上的从上述C方向强度分布的重心起的强度积分值成为全C方向强度积分值的43%位置离上述C方向强度分布的重心的距离为 Rc_1 ,在上述第四方向上的从上述C方向强度分布的重心起的强度积分值成为上述全C方向强度积分值的43%的位置离上述C方向强度分布的重心的距离为 Rc_2 ,与上述 Rc_1 对应的上述激光束的强度为光束强度 Ic_1 ,与上述 Rc_2 对应的上述激光束的强度为光束强度 Ic_2 ,上述 Ic_1 与上述 Ic_2 的平均值为 Ic ,上述C方向强度分布的重心的上述激光束的强度为光束强度 Id 时, Id/Ic 为1.5~10,

在使上述激光束的波长以 μm 为单位而为 λ 时,向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束的光束参数积为 $\lambda/\pi \sim 10mm \cdot mrad$ 。

2. 如权利要求1记载的激光加工装置,其特征在于,

上述 Ib/Ia 为1.0~2.0。

3. 如权利要求1记载的激光加工装置,其特征在于,

在设上述 Ra_1 与上述 Ra_2 的平均值为 Ra 时,上述 Ra 为5~100 μm 。

4. 如权利要求3记载的激光加工装置,其特征在于,

上述 Ra 为5~60 μm 。

5. 如权利要求1记载的激光加工装置,其特征在于,

上述激光振荡装置为光纤激光器或者盘形激光器。

6. 如权利要求1记载的激光加工装置,其特征在于,

向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束的聚光形状为椭圆,

上述椭圆的短轴方向与上述扫描方向垂直。

7. 如权利要求1记载的激光加工装置,其特征在于,

上述激光照射装置具备将上述 Ib/Ia 调整为上述 Ib/Ia 成为2.0以下的镜。

8. 一种激光照射方法, 其特征在于,

具备用于将激光束对方向性电磁钢板聚光而沿扫描方向进行扫描, 而将上述方向性电磁钢板的磁区进行细分化的激光照射工序,

在向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束在上述方向性电磁钢板面上的与上述扫描方向垂直的方向的截面的强度分布中, 设朝向以上述强度分布的重心为中心而沿着与上述扫描方向垂直的方向的第一方向以及第二方向对上述强度分布进行积分时、上述第一方向上的从上述强度分布的重心起的强度积分值成为全强度积分值的43%的位置离上述强度分布的重心的距离为 R_{a1} , 上述第二方向上的从上述强度分布的重心起的强度积分值成为上述全强度积分值的43%的位置离上述强度分布的重心的距离为 R_{a2} , 与上述 R_{a1} 对应的上述激光束的强度为光束强度 I_{a1} , 与上述 R_{a2} 对应的上述激光束的强度为光束强度 I_{a2} , 上述 I_{a1} 与上述 I_{a2} 的平均值为 I_a , 上述强度分布的重心的上述激光束的强度为光束强度 I_b 时, I_b/I_a 为2.0以下,

进一步, 在向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束在上述方向电磁钢板面上的上述扫描方向的截面的强度分布即C方向强度分布中, 朝向从上述C方向强度分布的重心沿着上述扫描方向的第三方向以及第四方向对上述C方向强度分布进行积分时、上述第三方向上的从上述C方向强度分布的重心起的强度积分值成为全C方向强度积分值的43%的位置离上述C方向强度分布的重心的距离为 R_{c1} , 上述第四方向上的从上述C方向强度分布的重心起的强度积分值成为上述全C方向强度积分值的43%的位置离上述C方向强度分布的重心的距离为 R_{c2} , 与上述 R_{c1} 对应的上述激光束的强度为光束强度 I_{c1} , 与上述 R_{c2} 对应的上述激光束的强度为光束强度 I_{c2} , 上述 I_{c1} 与上述 I_{c2} 的平均值为 I_c , 上述C方向强度分布的重心的上述激光束的强度为光束强度 I_d 时, I_d/I_c 为1.5~10,

在使上述激光束的波长以 μm 为单位而为 λ 时, 向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束的光束参数积为 $\lambda/\pi \sim 10\text{mm} \cdot \text{mrad}$ 。

9. 如权利要求8记载的激光照射方法, 其特征在于,

上述 I_b/I_a 为1.0~2.0。

10. 如权利要求8记载的激光照射方法, 其特征在于,

在设上述 R_{a1} 与上述 R_{a2} 的平均值为 R_a 时, 上述 R_a 为5~100 μm 。

11. 如权利要求10记载的激光照射方法, 其特征在于,

上述 R_a 为5~60 μm 。

12. 如权利要求8记载的激光照射方法, 其特征在于,

向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束的聚光形状为椭圆, 上述椭圆的短轴方向与上述扫描方向垂直。

激光加工装置以及激光照射方法

技术领域

[0001] 本发明涉及激光加工装置以及激光照射方法,对变压器的铁芯等所使用的方向性电磁钢板照射激光束而进行磁区控制。

[0002] 本申请基于2012年11月08日在日本申请的特愿2012-246305号并主张优先权,将其内容援用于此。

背景技术

[0003] 方向性电磁钢板具有相对于钢板制造时的轧制方向容易使磁力线透过(容易磁化方向与轧制方向一致)这种特征(因此,也称为单向性电磁钢板),被工作为构成变压器、旋转机等电气设备的铁芯的材料。在这种铁芯所使用的方向性电磁钢板中,要求使磁化时的能量损失(铁损)降低。特别是,近年随着地球温暖化的发展,在世界范围内要求电气设备的省能量化。因此,希望稳定地生产铁损极力降低了的方向性电磁钢板。

[0004] 然而,铁损被分类为涡流损耗和磁滞损耗。并且,涡流损耗被分类为古典的涡流损耗和异常涡流损耗。在此,为了降低古典的涡流损耗,提供有在板表面上形成了绝缘皮膜的板厚较薄的方向性电磁钢板。作为形成了绝缘皮膜的方向性电磁钢板,例如专利文献1所示那样,提出有在钢板基底铁(金属部)的表面上形成玻璃皮膜、并在玻璃皮膜上进一步形成绝缘皮膜的双层构造的钢板,并实用化。

[0005] 此外,为了抑制异常涡流损耗,例如专利文献2、3所示那样,提出有激光磁区控制法,从绝缘皮膜的上方使激光束进行聚光・照射,沿着电磁钢板的大致宽度方向(即,与轧制方向大致垂直的方向)使激光束扫描,由此在轧制方向上周期性地设置具有残留应变的区域,而将磁区细分化。根据该激光磁区控制法,通过激光束的扫描照射,由此在钢板最表层区域赋予相对于板厚方向具有较强的温度角度的温度履历,由此产生表面应变,通过由于该表面应变而形成的环流磁区,180°磁壁间隔被细分化,特别是异常涡流损耗被降低。

[0006] 通过激光磁区控制而赋予的环流磁区,将180°磁壁间隔细分化而使异常涡流损耗降低,但另一方面成为使磁滞损耗增加的重要因素。因此,从总体的铁损降低的观点出发,使环流磁区宽度变窄较有效。作为沿着该技术思想的发明,例如专利文献3中公开如下方法:使用微小聚光特性优良的TEM₀₀模式的激光束,在狭窄区域中形成较强的变形,得到较狭窄且具有足够强度的环流磁区。

[0007] 然而,在激光磁区控制法的激光照射工序中,在玻璃皮膜上形成绝缘皮膜,并从该绝缘皮膜上照射激光束,由此进行磁区控制。但是,在这种方法中,由于激光束的照射而导致的温度上升,有时在绝缘皮膜以及玻璃皮膜上会产生瑕疵。在此,瑕疵是指绝缘皮膜以及玻璃皮膜的缺损剥离、抬起、变质、变色等皮膜损伤。在玻璃皮膜产生瑕疵的情况下,皮膜下的金属部向外部露出,有可能产生锈。因此,在玻璃皮膜产生瑕疵的情况下,需要再次涂覆绝缘皮膜。在这种情况下,工序的追加成为制造成本增加的原因。

[0008] 在方向性电磁钢板的制造中,由于实施较多的热处理,因此在钢板金属部的轧制方向以及宽度方向上,有时玻璃皮膜、绝缘皮膜的界面构造、厚度产生差别。因此,有时即使

对激光条件进行调整,也难以在钢板整体上抑制玻璃皮膜产生瑕疵。

[0009] 现有技术文献

[0010] 专利文献

[0011] 专利文献1:日本特开2007-119821号公报

[0012] 专利文献2:日本特开昭59-33802号公报

[0013] 专利文献3:国际公开2004/083465号小册子

[0014] 专利文献4:日本特公平1-51527号公报

发明内容

[0015] 发明要解决的课题

[0016] 如以上所述的那样,为了高效地制造低铁损的方向性电磁钢板,要求抑制玻璃皮膜产生瑕疵,并且在钢板的金属部形成具有足够强度的较狭窄的环流磁区。然而,瑕疵产生的抑制与环流磁区的形成是相互竞争的现象。即,为了形成较狭窄、较深的环流磁区,在激光的扫描照射中使在钢板最表层附近形成的与板厚方向相对的温度分布的角度变大是有效的。然而,当温度角度较大时,钢板表面的激光束照射部的温度变高,因此玻璃皮膜产生瑕疵的风险提高。虽然寻求基于这些竞争关系的激光照射条件的最佳化,但还未发现能够充分兼得的技术。

[0017] 例如,通过使用专利文献3所公开的TEM₀₀模式的激光束来进行磁区控制,由此由于TEM₀₀模式的特征即微小聚光性以及中心部变高的强度分布,能够形成具有足够强度的较狭窄的环流磁区。另一方面,在该方法中,由于中心附近的光束强度较高,因此存在与不是TEM₀₀模式的情况相比更容易产生瑕疵这种课题。作为抑制这种瑕疵产生的方法,例如在专利文献4中公开有使光束形状成为在激光束的扫描方向上较长的椭圆形状的方法。但是,在这种使用椭圆形状的激光束的方法中,虽然能够抑制瑕疵的产生,但加热时间变长。因此,由于向与激光束的扫描方向垂直的方向的热传导的影响,而环流磁区宽度具有放大的趋势,存在铁损难以降低这种问题。

[0018] 本发明是鉴于上述问题而进行的。本发明的目的在于提供激光加工装置以及激光照射方法,能够降低方向性电磁钢板的铁损,并且能够抑制玻璃皮膜产生瑕疵。

[0019] 用于解决课题的手段

[0020] (1)即,本发明的一个方式的激光加工装置,是用于对方向性电磁钢板进行激光束的聚光以及向扫描方向的扫描,而将上述方向性电磁钢板的磁区进行细分化的激光加工装置,具备:出射上述激光束的激光振荡装置;以及将从上述激光振荡装置传送的上述激光束向上述方向性电磁钢板照射的激光照射装置,上述激光照射装置构成为,在向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束在上述方向性电磁钢板面上的与上述扫描方向垂直的方向的截面的强度分布中,在设在朝向以上述强度分布的重心为中心而沿着与上述扫描方向垂直的方向的第一方向以及第二方向对上述强度分布进行积分时、上述第一方向上的从上述强度分布的重心起的强度积分值成为全强度积分值的43%的位置离上述强度分布的重心的距离为Ra₁,上述第二方向上的从上述强度分布的重心起的强度积分值为上述全强度积分值的43%的位置离上述强度分布的重心的距离为Ra₂,与上述Ra₁对应的上述激光束的强度为光束强度Ia₁,与上述Ra₂对应的上述激光束的强度为光束强度Ia₂,上述Ia₁与上述Ia₂的平

均值为 I_a ,上述强度分布的重心的上述激光束的强度为光束强度 I_b 时, I_b/I_a 成为2.0以下。

[0021] (2)在上述(1)记载的激光加工装置中,上述激光照射装置进一步构成为,在向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束在上述方向电磁钢板面上的上述扫描方向的截面中的强度分布即C方向强度分布中,设在朝向以上述C方向强度分布的重心为中心而沿着上述扫描方向的第三方向以及第四方向对上述C方向强度分布进行积分时、上述第三方向上的从上述C方向强度分布的重心起的强度积分值成为全C方向强度积分值的43%位置离上述C方向强度分布的重心的距离为 R_{c1} ,在上述第四方向上的从上述C方向强度分布的重心起的强度积分值成为上述全C方向强度积分值的43%的位置离上述C方向强度分布的重心的距离为 R_{c2} ,与上述 R_{c1} 对应的上述激光束的强度为光束强度 I_{c1} ,与上述 R_{c2} 对应的上述激光束的强度为光束强度 I_{c2} ,上述 I_{c1} 与上述 I_{c2} 的平均值为 I_c ,上述C方向强度分布的重心的上述激光束的强度为光束强度 I_d 时, I_d/I_c 也可以为1.5~10。

[0022] (3)在上述(1)或者(2)记载的激光加工装置中,上述 I_b/I_a 也可以为1.0~2.0。

[0023] (4)在上述(1)~(3)任意一项记载的激光加工装置中,在设上述 R_{a1} 与上述 R_{a2} 的平均值为 R_a 时,上述 R_a 也可以为5~100 μm 。

[0024] (5)在上述(4)记载的激光加工装置中,上述 R_a 也可以为5~60 μm 。

[0025] (6)在上述(1)~(5)任意一项记载的激光加工装置中,在使上述激光束的波长以单位 μm 而为 λ 时,向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束的光束参数积为 $\lambda/\pi \sim 10\text{mm} \cdot \text{mrad}$ 。

[0026] (7)在上述(1)~(6)任意一项记载的激光加工装置中,上述激光振荡装置可以为光纤激光器或者盘形激光器。

[0027] (8)在上述(1)~(7)任意一项记载的激光加工装置中,向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束的聚光形状为椭圆,上述椭圆的短轴方向也可以与上述扫描方向垂直。

[0028] (9)本发明的一个方式的激光照射方法为,具备用于将激光束对方向性电磁钢板聚光而沿扫描方向进行扫描,而将上述方向性电磁钢板的磁区进行细分化的激光照射工序,在向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束在上述方向性电磁钢板面上的与上述扫描方向垂直的方向的截面的强度分布中,设朝向以上述强度分布的重心为中心而沿着与上述扫描方向垂直的方向的第一方向以及第二方向对上述强度分布进行积分时、上述第一方向上的从上述强度分布的重心起的强度积分值成为全强度积分值的43%的位置离上述强度分布的重心的距离为 R_{a1} ,上述第二方向上的从上述强度分布的重心起的强度积分值成为上述全强度积分值的43%的位置离上述强度分布的重心的距离为 R_{a2} ,与上述 R_{a1} 对应的上述激光束的强度为光束强度 I_{a1} ,与上述 R_{a2} 对应的上述激光束的强度为光束强度 I_{a2} ,上述 I_{a1} 与上述 I_{a2} 的平均值为 I_a ,上述强度分布的重心的上述激光束的强度为光束强度 I_b 时, I_b/I_a 为2.0以下。

[0029] (10)在上述(9)记载的激光照射方法中,进一步,在向上述方向性电磁钢板聚光的上述激光束在上述方向电磁钢板面上的上述扫描方向的截面的强度分布即C方向强度分布中,朝向从上述C方向强度分布的重心沿着上述扫描方向的第三方向以及第四方向对上述C方向强度分布进行积分时、上述第三方向上的从上述C方向强度分布的重心起的强度积分值成为全C方向强度积分值的43%的位置离上述C方向强度分布的重心的距离为 R_{c1} ,上述第四方向上的从上述C方向强度分布的重心起的强度积分值成为上述全C方向强度积分值

的43%的位置离上述C方向强度分布的重心的距离为 R_{c2} ,与上述 R_{c1} 对应的上述激光束的强度为光束强度 I_{c1} ,与上述 R_{c2} 对应的上述激光束的强度为光束强度 I_{c2} ,上述 I_{c1} 与上述 I_{c2} 的平均值为 I_c ,上述C方向强度分布的重心的上述激光束的强度为光束强度 I_d 时, I_d/I_c 也可以为1.5~10。

[0030] 发明的效果

[0031] 根据本发明的上述方式,能够降低方向性电磁钢板的铁损,并且能够抑制玻璃皮膜产生瑕疵。

附图说明

[0032] 图1是本实施方式的方向性电磁钢板10的截面图。

[0033] 图2是表示本实施方式的方向性电磁钢板10的制造工序的一个例子的流程图。

[0034] 图3是表示本实施方式的激光加工装置100的构成例的示意图。

[0035] 图4是表示本实施方式的激光照射装置106的构成例的示意图。

[0036] 图5是用于对光束参数积(BPP)进行说明的示意图。

[0037] 图6是表示方向性电磁钢板10上的激光束的聚光形状的图。

[0038] 图7是表示通过与激光束扫描方向垂直的截面进行观察的情况下的本实施方式的激光束的强度分布的图。

[0039] 图8是表示通过与激光束扫描方向垂直的截面进行的情况下的比较例的激光束的强度分布的图。

[0040] 图9用于对比较例的从边缘区域A向与扫描方向正交的方向产生的热传导进行说明的示意图。

[0041] 图10是表示本实施方式的激光束的强度分布的变形例的图。

[0042] 图11是表示通过激光束扫描方向的截面观察的情况下的本实施方式的激光束的强度分布的图。

[0043] 图12是表示通过激光束扫描方向的截面观察的情况下的比较例的激光束的强度分布的图。

[0044] 图13是表示本实施方式的激光束的强度分布的示意图。

具体实施方式

[0045] 以下,参照附图对本发明的实施方式进行详细说明。此外,在本说明书以及附图中,对于具有实际上相同的功能构成的构成要素,赋予相同的符号而省略重复说明。

[0046] <方向性电磁钢板的概要>

[0047] 方向性电磁钢板是钢板的结晶颗粒的易磁化轴(体心立方晶的<100>方向)沿制造工序的轧制方向大致对齐的电磁钢板。方向性电磁钢板具有夹着磁壁而排列有磁化朝向轧制方向的多个磁区的构造。这种方向性电磁钢板容易沿轧制方向进行磁化,因此适合作为磁力线的方向几乎一定地流动的变压器的铁芯材料。

[0048] 图1是本实施方式的方向性电磁钢板10的截面图。如图1所示那样,方向性电磁钢板10具有钢板主体(金属部)12、形成于钢板主体12的两面的玻璃皮膜14、以及形成于玻璃皮膜14上的绝缘皮膜16。然而,变压器大体分为重叠变压器和卷绕变压器。卷绕变压器为,

在对钢板施加卷绕变形并且组装为变压器的形状之后,为了将由于其机械式的变形而导入的应变除去,而进行退火(应变消除退火工序)。在该退火工序中,由于如上述那样激光照射而导入的应变也被释放,磁区的细分化效果消失。另一方面,在重叠变压器的制造中,不需要这种应变消除退火工序。因此,该本实施方式的方向性电磁钢板10特别适合于重叠变压器的材料。

[0049] 钢板主体12由含有Si的铁合金构成。作为一个例子,钢板主体12的化学组成为, Si:2.5~4.0质量%, C:0.02~0.10质量%, Mn:0.05~0.20质量%, 酸可溶性Al:0.020~0.040质量%, N:0.002~0.012质量%, S:0.001~0.010质量%, P:0.01~0.04质量%, 余量为Fe以及杂质。钢板主体12的厚度例如为0.2~0.3mm。

[0050] 玻璃皮膜14例如由镁橄榄石(Mg_2SiO_4)、尖晶石($MgAl_2O_4$)以及堇青石($Mg_2Al_4Si_5O_{16}$)这种复合氧化物构成。玻璃皮膜14的厚度例如为1 μm 。

[0051] 绝缘皮膜16例如通过使以胶体状二氧化硅和磷酸盐(磷酸镁、磷酸铝等)为主体的涂层液、将氧化铝溶胶和硼酸混合的涂层液烧结而形成。绝缘皮膜16的厚度例如为2~3 μm 。

[0052] 在上述构成的方向性电磁钢板10中,使激光束聚光,并从绝缘皮膜16之上进行照射,在沿轧制方向(搬运方向)搬运的方向性电磁钢板的大致宽度方向(与轧制方向大致正交的方向)上使激光束扫描。由于通过照射激光束而产生的板厚·板宽度方向的温度角度,对于与轧制方向几乎正交的线状区域赋予残留应变。被赋予残留应变的线状区域,在轧制方向上以规定的周期形成,在二个线状区域所夹的、磁化朝向轧制方向的区域中,将与轧制方向大致正交的方向的磁区宽度进行细分化。

[0053] 以下,有时将上述那样的方向性电磁钢板称为本实施方式的方向性电磁钢板。

[0054] <方向性电磁钢板的制造方法>

[0055] 参照图2对本实施方式的方向性电磁钢板10的制造方法进行说明。图2是表示本实施方式的方向性电磁钢板10的制造工序的一个例子的流程图。

[0056] 如图2所示那样,方向性电磁钢板10的制造工序包括铸造工序S2、热轧工序S4、退火工序S6、冷轧工序S8、脱碳退火工序S10、退火分离剂涂敷工序S12、最终精制退火工序S14、绝缘皮膜形成工序S16、以及激光照射工序S18。

[0057] 在铸造工序S2中,将被调整为规定的组成的溶钢向连续铸造机供给,而连续地形成铸块。在热轧工序S4中,将铸块加热到规定温度(例如1150~1400℃)而进行热轧。由此,得到规定厚度(例如1.8~3.5mm)的热轧件。

[0058] 在退火工序S6中,对于热轧件例如以加热温度750~1200℃、加热时间30秒~10分的条件进行热处理(退火)。在冷轧工序S8中,在对热轧件的表面进行酸洗之后,进行冷轧。由此,得到规定厚度(例如,0.15~0.35mm)的冷轧件。

[0059] 在脱碳退火工序S10中,对于冷轧件例如以加热温度700~900℃、加热时间1~3分的条件进行热处理(脱碳退火),得到钢板主体12。通过该脱碳退火工序,在钢板主体12的表面上形成以二氧化硅(SiO_2)为主体的氧化物层。在退火分离剂涂敷工序S12中,在钢板主体12的表面所形成的氧化物层上,涂敷以氧化镁(MgO)为主体的退火分离剂。

[0060] 在最终精制退火工序S14中,在将涂敷了退火分离剂的钢板主体12卷绕为螺旋状的状态下,向批处理式炉内插入而进行热处理(精制退火)。热处理条件例如为加热温度1100~1300℃、加热时间20~24小时。此时,钢板主体12的搬运方向(轧制方向)与易磁化轴

一致的、所谓的钴焙砂粒优先结晶生长。结果,在精制退火之后得到结晶方位性(结晶取向性)较高的方向性电磁钢板。此外,通过最终精制退火工序S14,氧化物层与退火分离剂进行反应,在钢板主体12的表面形成由镁橄榄石(Mg_2SiO_4)构成的玻璃皮膜14。

[0061] 在绝缘皮膜形成工序S16中,将卷绕为螺旋状的钢板主体12进行解卷,延伸为板状而进行搬运。然后,在钢板主体12的两面所形成的玻璃皮膜14上涂敷绝缘剂并进行烧结,由此形成绝缘皮膜16。形成有绝缘皮膜16的钢板主体12被卷绕为螺旋状。

[0062] 在激光照射工序S18中,将卷绕为螺旋状的钢板主体12进行解卷,延伸为板状而进行搬运。然后,通过后述的本实施方式的激光照射装置,使激光束朝向钢板主体12的单面聚光、照射,在沿轧制方向(搬运方向)搬运的方向性电磁钢板的大致宽度方向(与轧制方向大致正交的方向)上使激光束扫描。由此,在钢板主体12的表面上,在轧制方向上以规定间隔形成与轧制方向几乎正交的线状的应变。此外,该激光束的聚光、扫描,可以仅对钢板主体12的表面或者背面进行,也可以对表面以及背面的双方进行。此外,在上述中,对在将形成有绝缘皮膜16的钢板主体12卷绕为螺旋状之后向激光照射工序S18输送的情况进行了说明,但也可以在绝缘皮膜形成之后进行激光照射,然后卷绕为螺旋状。

[0063] 如此,制造出在钢板主体12的表面上形成玻璃皮膜14以及绝缘皮膜16,通过激光照射进行了磁区控制的方向性电磁钢板10。

[0064] <激光加工装置的构成>

[0065] 参照图3以及图4,对本实施方式的向方向性电磁钢板10照射激光束而赋予残留应变的激光加工装置100(以下,有时称为本实施方式的激光加工装置)的构成例进行说明。本实施方式的激光加工装置100为,在上述激光照射工序S18中,用于对方向性电磁钢板10照射激光束。图3是表示本实施方式的激光加工装置100的构成例的示意图。

[0066] 激光加工装置100为,从沿轧制方向以一定速度搬运的方向性电磁钢板10的绝缘皮膜16的上方照射激光束,而赋予与轧制方向几乎正交的线状的应变。如图3所示那样,激光加工装置100具有激光振荡器102、多个传送光纤104以及多个激光照射装置106。在图3中,示出3个激光振荡器102、3个传送光纤104以及3个激光照射装置106,但各个的构成同样。此外,在本实施方式中,对分别具有3个装置的情况进行说明,但只要能够遍及板宽度整体进行扫描,则装置的数量不限定。

[0067] 图4是表示一个激光照射装置106的构成例的示意图。

[0068] 激光振荡器102例如出射高输出的激光束。传送光纤104是将从激光振荡器102出射的激光束传送到激光照射装置106的光纤。

[0069] 作为激光振荡器102的种类,从微小聚光特性优良、能够形成较狭窄的环流磁区的观点等出发,优选光纤激光器或者盘形激光器。光纤激光器或者盘形激光器的波长处于从近紫外区到近红外区(例如1 μm 波段),因此能够将激光束基于光纤进行传送。通过利用光纤来传送激光束,能够实现比较紧凑的激光加工装置100。此外,通过利用光纤对来自光纤激光器或者盘形激光器的激光束进行传送,由此与CO₂激光、不能利用光纤来传送的YAG激光相比较,后述那样的聚光点的光束强度分布的控制变得容易,因此较优选。此外,激光振荡器102可以是连续波激光、也可以是脉冲激光。

[0070] 为了在方向性电磁钢板10的、被照射激光束的部位,在钢板面产生向与钢板面垂直的方向的振动等的情况下,适当地形成磁区,而需要确保焦点深度。为此,如以下所述的

那样,优选激光束的光束质量参数积为 $10(\text{mm} \cdot \text{mrad})$ 以下。如果作为激光振荡器102而使用光纤激光器或者盘形激光器,则能够使光束质量参数积成为上述范围内。

[0071] 对光束质量的定量评价方法进行说明。激光束的聚光半径以及激光束的焦点深度取决于光束质量。光束质量一般使用光束参数积(BPP)来量化。

[0072] 图5是用于对光束参数积(BPP)进行说明的示意图。在图5中,通过了透镜的激光束聚光为半径 r 的光束径,然后再次扩展。此外,激光束以角度 θ 聚光。在该情况下,光束参数积(BPP)的单位为 $\text{mm} \cdot \text{mrad}$,如下述式(1)那样表示。

[0073]
$$\text{BPP} = r \times \theta \cdots (1)$$

[0074] 此外,在该情况下,焦点深度(DOF)使用BPP,单位为 mm ,如下述式(2)那样表示。

[0075]
$$\text{DOF} = 2000 \times r^2 / \text{BPP} \cdots (2)$$

[0076] 在此,通过使BPP成为 $10(\text{mm} \cdot \text{mrad})$ 以下,由此可知,即使在为了得到较狭窄的环流磁区宽度而使 r 成为 0.06mm 的情况下,也能够将DOF确保为 0.7mm 以上。只要确保 0.7mm 以上的DOF,则即使在方向性电磁钢板10的钢板面产生垂直方向的振动的情况下,也能够有效地将磁区适当地细分化。此外,BPP的下限值为,在将激光束的波长设为 $\lambda(\mu\text{m})$ 时,通过 λ/π ($\text{mm} \cdot \text{mrad}$)来赋予。

[0077] 返回图3继续进行说明。激光照射装置106使从激光振荡器102通过传送光纤104传送的激光束,对方向性电磁钢板10进行聚光·扫描。一个激光照射装置106能够使激光束扫描的宽度,也可以比方向性电磁钢板10的板宽度小。如图3所示那样,通过使激光照射装置106在板宽度方向上排列多个,由此能够遍及方向性电磁钢板10的板宽度全域扫描激光束。

[0078] 如图4所示那样,激光照射装置106具有激光头122、准直透镜124、金属镜126、多面镜128以及抛物面镜130。

[0079] 激光头122将通过传送光纤104传送的激光束以规定的扩散角出射。准直透镜124使从激光头122出射的激光束成为平行光。

[0080] 金属镜126是用于使入射的激光束的、方向性电磁钢板10的板宽度方向(参照图3)的光束径缩小、并进行调整的镜。作为金属镜126,例如能够使用在1轴方向上具有曲率的圆柱镜、抛物面镜。由金属镜126反射的激光束向以规定的旋转速度进行旋转的多面镜128入射。

[0081] 多面镜128是能够旋转的多面体,通过进行旋转来使激光束沿方向性电磁钢板10的板宽度方向进行扫描。在激光束向多面镜128的多面体的某一个面入射的期间,随着该面的旋转,激光束在方向性电磁钢板10上的大致沿着板宽度方向的线状区域进行扫描。作为其结果,对该线状区域赋予残留应变。随着多面镜128的旋转,重复进行激光束的扫描,同时,方向性电磁钢板10被沿轧制方向搬运。作为其结果,在方向性电磁钢板10上具有线状的残留应变的区域,沿轧制方向周期性地形成。此外,线状区域在轧制方向上的周期,通过方向性电磁钢板10的搬运速度以及多面镜128的旋转速度来调整。

[0082] 抛物面镜130是用于将由多面镜128反射的激光束沿轧制方向的光束径缩小、并进行调整的镜。由抛物面镜130反射的激光束,向方向性电磁钢板10的表面聚光。

[0083] 图6是表示方向性电磁钢板10上的激光束的聚光形状的图。在本实施方式中,如图6所示那样,激光束的聚光形状为椭圆形状,长轴沿着激光束LB的扫描方向(长轴与激光束LB的扫描方向几乎平行),短轴相对于扫描方向大致正交(即,几乎为 90° ,严格来说也包括

不是 90° 的情况)。通过如此使聚光形状椭圆化,由此在钢板的某一点进行观察时的基于激光束照射的加热时间变长。作为其结果,能够到方向性电磁钢板10内部较深的位置为止使温度上升,对于降低铁损来说是有效的。此外,在激光束中,在使聚光形状成为椭圆形状时,通过上述金属镜126使激光束LB的沿着扫描方向的光束径缩小,并且通过抛物面镜130使与扫描方向正交的方向的光束径缩小即可。在将方向性电磁钢板沿轧制方向进行搬运,并且使激光束LB沿方向性电磁钢板10的宽度方向进行扫描的情况下,从激光照射装置106观察时的扫描方向、与从方向性电磁钢板10观察时的扫描方向不同。本实施方式的激光束LB的扫描方向,表示从方向性电磁钢板10观察时的扫描方向。

[0084] 在上述中,方向性电磁钢板10上的激光束的聚光形状为椭圆形状,但并不限定于此。例如,激光束的聚光形状也可以为正圆形状。

[0085] 此外,在上述中,激光振荡器102为光纤激光器或者盘形激光器,但并不限定于此。例如,激光振荡器102也可以为 CO_2 激光。在该情况下,从激光振荡器102到激光照射装置106为止的激光束的传送,也可以不使用光纤,而使用镜等来进行。

[0086] <关于磁区的细分化以及玻璃皮膜的瑕疵>

[0087] 然而,如上所述,沿轧制方向具有磁场的方向性电磁钢板10,具有排列了多个磁化朝向轧制方向的磁区的构造。在此,为了实现方向性电磁钢板10的铁损的进一步降低,通过激光束的照射来将磁区进行细分化(使磁区变窄)是有效的。为了将磁区进行细分化,通过对于方向性电磁钢板10最表层附近的沿着轧制方向观察的、极窄宽度的区域,赋予相对于板厚方向较大的温度角度,由此形成较窄且具有足够强度的环流磁区,特别有效。

[0088] 另一方面,为了使温度角度增大,需要使方向性电磁钢板10的表面温度上升。然而,当使表面温度上升时,由于温度上升,在绝缘皮膜16、玻璃皮膜14中,有时会产生皮膜的缺损剥离等瑕疵。特别是在玻璃皮膜14产生瑕疵的情况下,钢板主体12向外部露出,有可能产生锈,因此不优选。

[0089] 因此,在本实施方式中,为了同时实现使方向性电磁钢板10的铁损降低这一点、以及防止玻璃皮膜14产生瑕疵这一点,如以下说明的那样,设定为方向性电磁钢板10表面的激光束的强度分布满足规定条件。

[0090] <方向性电磁钢板表面的激光束的强度分布>

[0091] 在与比较例进行对比的同时,对本实施方式的方向性电磁钢板10表面的激光束的强度分布的设定进行说明。

[0092] 图7是表示本实施方式的激光束的强度分布的图。图8是表示比较例的激光束的强度分布的图。图7以及图8均是在通过相对于扫描方向的激光束的重心、并与激光束的扫描方向垂直的截面中观察的光束强度 I (激光束的每单位面积的输出)的分布。图7以及图8的横轴是离该强度分布的重心的距离 x (x 轴的定义如图6所示)。在此,在将激光束的扫描方向定义为 y 轴时,相对于扫描方向的激光束的重心被定义为,将成为 x 和 y 的函数的激光束的强度分布对于各 y 沿 x 轴进行积分而得到的强度积分量(该积分量成为 y 的函数)的重心位置 y 。此外,图8所示的比较例,是将所谓的 TEM_{00} 模式的激光束向方向性电磁钢板10进行聚光的情况下的强度分布。如图8所示那样, TEM_{00} 模式是示出在强度分布的中心部具有最大光束强度的高斯分布的模式。

[0093] 在比较例的情况下,如图8所示那样,光束强度分布在与扫描方向正交的方向(x 轴

方向)的大范围中,在强度分布的两侧存在边缘区域A(即,强度分布的两侧缓慢延伸)。如此,在存在边缘区域A的情况下,容易从边缘区域A向与激光束的扫描方向正交的方向产生热传导。

[0094] 图9是用于说明在比较例的激光束的强度分布中,从边缘区域A向与扫描方向正交的方向产生的热传导的示意图。如图9所示那样,在使激光束LB沿扫描方向进行扫描时,产生从边缘区域A向与扫描方向正交的方向的热传导。由此,温度上升的区域扩大到与扫描方向正交的方向的大范围,环流磁区宽度容易变大。结果,妨碍方向性电磁钢板10的铁损降低。

[0095] 与此相对,在本实施方式的激光束的强度分布的情况下,如图7所示那样,强度分布的边缘区域的宽度较窄,光束强度分布在与扫描方向正交的方向的小范围。因此,抑制从边缘区域向与扫描方向正交的方向的热传导的产生,环流磁区宽度变窄。结果,与比较例相比,方向性电磁钢板10的铁损能够进一步降低。

[0096] 在图7以及图8所示的激光束的强度分布中,距离 R_{a1} 、 R_{a2} 、光束强度 I_{a1} 、光束强度 I_{a2} 以及光束强度 I_b 如以下那样定义。距离 R_{a1} 为,将强度分布从强度分布的重心朝向 $-x$ 方向(第一方向,图7中纸面左方)进行积分时的强度积分值成为全强度积分值的43%的 x 轴上的位置的、离强度分布的重心的距离。此外,距离 R_{a2} 为,从强度分布的重心朝向 $+x$ 方向(第二方向,图7中的纸面右方)进行积分时的强度积分值成为全强度积分值的43%的 x 轴上的位置的、离强度分布的重心的距离。即,在图7中,由 R_{a1} 、 R_{a2} 规定的斜线区域的面积,成为图7中的强度分布整体的积分值的86%(43%+43%)(该定义在图8中也同样)。此外,光束强度 I_{a1} 是距离 R_{a1} 的位置的光束强度,光束强度 I_{a2} 是距离 R_{a2} 的位置的光束强度。 I_{a1} 与 I_{a2} 的平均为 I_a 。此外,在激光束为左右对称的情况下, R_{a1} 与 R_{a2} 、 I_{a1} 与 I_{a2} 相等。光束强度 I_b 是强度分布的重心的光束强度。

[0097] 在图8所示的比较例的激光束的强度分布中, I_b/I_a 为2.8。与此相对,在图7所示的本实施方式的激光束的强度分布中,为了对强度的峰值进行抑制,并且对向与扫描方向正交的方向的热传导进行抑制, I_b/I_a 设定为2.0以下、优选为1.0~2.0。通过以 I_b/I_a 成为1.0~2.0的方式对方向性电磁钢板10表面的激光束的强度分布进行设定,由此能够抑制热传导的产生,能够使铁损大幅度降低。

[0098] 此外,在激光加工装置中,例如通过激光束的种类的变更、以及/或者选择具有适当曲率(焦距)的金属镜126、抛物面镜130,由此能够适当地调整 I_b/I_a 。

[0099] 此外,在本实施方式中,在将 R_{a1} 与 R_{a2} 的平均值设为 R_a 时,以 R_a 成为100 μm (0.1mm)以下的方式,设定激光束的强度分布。由此,进一步抑制向与扫描方向正交的方向的热传导的扩展,并且形成较窄的环流磁区,由此能够更大幅度地降低铁损。为了可靠地降低铁损,进一步优选使 R_a 为60 μm 以下。此外,当 R_a 小于5 μm 时,焦点深度变得过小,因此不优选。

[0100] 此外,只要是具有本实施方式的激光束的强度分布的激光束,就也能够抑制玻璃皮膜14产生瑕疵。在激光束的强度分布为图8所示那样的高斯分布的情况下,在强度分布的中心部成为较大的光束强度(图8所示的光束强度 I_b)。在这种情况下,由于强度分布的中心部的光束强度变得过大,在方向性电磁钢板10的表面会局部地温度变高,有可能产生玻璃皮膜14的瑕疵。

[0101] 与此相对,在激光束的强度分布具有图7所示那样的强度分布的情况下,光束强度

分布示出大致矩形状,因此与比较例相比,中心部的光束强度(图7所示的光束强度 I_b)不会变得过大。由此,能够抑制方向性电磁钢板10表面的局部的温度上升,因此能够抑制玻璃皮膜14产生瑕疵。

[0102] 在上述中,说明了本实施方式的激光束的强度分布为图7所示那样的分布,但激光束的强度分布不限于此。例如,图10是表示本实施方式的激光束的强度分布的变形例的图。在图10所示那样的强度分布中,分布的两端部的光束强度比中央部的光束强度稍大。因此, I_b/I_a 变得小于1,当然为2.0以下。在这种强度分布中,在强度分布的两侧不具有边缘区域的情况与图7所示的强度分布共通。因此,与图7所示的强度分布同样,能够抑制热传导向与扫描方向正交的方向扩展,能够大幅度降低铁损。即,只要 I_b/I_a 为2.0以下,就能够抑制热传导向与扫描方向正交的方向扩展,能够大幅度降低铁损。此外,在强度分布的中心比周边部低、而 I_b/I_a 小于1.0的情况下,虽然周边部的温度容易上升,但因此具有热传导向与扫描方向正交的方向扩展变大的趋势。从该观点出发, I_b/I_a 优选为1.0以上。

[0103] 此外,在上述图7~图9中,示出激光束的聚光形状为椭圆形状的情况,但不限于此。例如,在激光束的聚光形状为正圆形状的情况下,通过将 I_b/I_a 设定为2.0以下,也能够降低铁损,并且能够抑制玻璃皮膜14产生瑕疵。

[0104] 此外,在本实施方式中,聚光·扫描的激光束为,在通过相对于与扫描方向正交的方向的激光束的重心、激光束的扫描方向的截面中观察的情况下,激光束强度分布(C方向强度分布)示出如图11所示那样的形状。图11是在将激光束的扫描方向设为y轴的情况下,使纵轴为光束强度 I ,使横轴为离其强度分布的重心的距离 y 的图。在此,相对于与扫描方向正交的方向的激光束的重心被定义为,将成为 x 和 y 的函数的激光束的强度分布相对于各 x 沿 y 轴进行积分而得到的强度积分量(该积分量成为 x 的函数)的重心位置 x 。

[0105] 在图11的激光束的强度分布中,将对强度分布从强度分布的重心朝向 $-y$ 方向(第三方向,图11的纸面左侧)进行积分时的强度积分值成为全强度积分值的43%的 y 轴上的位置的、离强度分布的重心的距离设为 R_{c1} ,将从强度分布的重心朝向 $+y$ 方向(第四方向,图11的纸面右侧)进行积分时的强度积分值成为全强度积分值的43%的 y 轴上的位置的、离强度分布的重心的距离设为 R_{c2} (即,在图11中,斜线区域的面积成为图11的强度分布整体的积分值的86%),将距离 R_{c1} 的位置的光束强度设为 I_{c1} ,将距离 R_{c2} 的位置的光束强度设为 I_{c2} ,将 I_{c1} 与 I_{c2} 的平均值设为 I_c ,将强度分布的重心的光束强度设为 I_d 时, $I_d/I_c \geq 1.5$ 。

[0106] 图12所示的比较例是光束强度分布接近所谓的平顶的情况下的强度分布。在这种情况下, I_d/I_c 小于1.5。在这种平顶型的强度分布中,与空间上的强度分布的急剧上升相呼应,在方向性电磁钢板表面产生急剧的温度上升,由于热冲击作用而皮膜容易产生瑕疵。

[0107] 如果 I_d/I_c 为1.5以上,则强度分布的上升较缓慢,能够抑制方向性电磁钢板表面的急剧的温度上升,因此皮膜难以产生瑕疵,较优选。

[0108] 当 I_d/I_c 变得过大时,重心部的强度变得过高,因此 I_d/I_c 优选为10以下。

[0109] 图13是表示在与激光束的扫描方向垂直的截面中观察的光束强度 I 的分布如图7那样、并且在激光束的扫描方向的截面中观察的光束强度 I 的分布如图11那样的激光束的、光束强度的示意图。

[0110] <实施例>

[0111] 为了对上述的本实施方式的实施例的有效性进行确认,而对本实施例以及比较例

进行说明。

[0112] 首先,准备了如下的厚片(钢片):化学组成为, Si:3.0质量%, C:0.05质量%, Mn:0.1质量%, 酸可溶性Al:0.02质量%, N:0.01质量%, S:0.01质量%, P:0.02质量%, 余量为Fe以及杂质。对于该厚片,在1280℃下实施热轧,得到厚度2.3mm的热轧件。接下来,对于所得到的热轧件,在1000℃×1分(加热温度1000℃,保持时间1分钟)的条件下进行了热处理。在热处理后,在对热轧件实施了酸洗处理的基础上实施冷轧,得到厚度0.23mm的冷轧件。对于该冷轧件,在800℃×2分的条件下实施了脱碳退火。接下来,在脱碳退火后的冷轧件的两面,涂覆以氧化镁为主成分的退火分离材料。然后,将涂敷了退火分离材料的冷轧件,在卷绕为螺旋状的状态下,装入批处理式炉,在1200℃×20小时的条件下实施了精制退火。由此,制造出在表面形成了玻璃皮膜的钢板(钢板主体12)。接下来,在玻璃皮膜14上涂敷了由磷酸铝构成的绝缘材料之后,进行烧结(850℃×1分钟),形成了绝缘皮膜16。

[0113] 然后,对于形成了绝缘皮膜16以及玻璃皮膜14的钢板主体12照射激光束,对钢板主体12的表面赋予应变。

[0114] 作为所使用的激光照射装置,使用图3所示的激光照射装置106,使钢板表面的激光束的点形状成为椭圆形状,使椭圆的长轴沿钢板面上的激光束的扫描方向对齐。此外,为了对本实施例与比较例进行比较,通过使作为激光振荡器102而使用的光纤激光器的种类、光纤的芯径、准直透镜的焦距、金属镜126以及抛物面镜130的焦距、以及从这些光学元件到钢板面为止的距离等各种条件进行改变,由此在对于激光束的扫描方向以及与该扫描方向垂直的方向的截面中的光束的强度分布、如上述那样定义的 I_b/I_a 、 R_a 、 I_d/I_c 不同的各种条件下进行了试验。作为照射条件,使扫描速度 V_c 为160m/s、照射间距 PL 为5mm、激光束的波长 λ 为1.08 μm 。

[0115] I_b/I_a 如以下那样通过实验来求出。首先,通过出售的聚光激光束评价装置对钢板表面位置的光束强度分布进行测定。接下来,得到所测定的椭圆形状的激光束点的椭圆的短轴上、即通过相对于激光束的扫描方向的激光束的重心并与激光束的扫描方向垂直的截面上的光束强度分布。最后,求出 R_{a1} 、 R_{a2} 、其平均值即 R_a 、以及 I_a ,并且计算出 I_b/I_a 。

[0116] 此外,同时,得到所测定的椭圆形状的激光束点的椭圆的长轴上、即通过相对于与激光束的扫描方向正交的方向的激光束的重心且为激光束的扫描方向的截面上的光束强度分布,求出 R_{c1} 、 R_{c2} 、其平均值即 R_c 、以及 I_c ,并且计算出 I_d/I_c 。

[0117] 此外,在本实施例所使用的激光束中, $R_{a1}=R_{a2}$, $R_{c1}=R_{c2}$ 。

[0118] 对进行了激光处理的钢板的一部分和相同卷的钢板中未进行激光处理的部分,分别进行SST(Single sheet tester)试验,对 $W_{17/50}$ (W/kg)的铁损进行了评价。 $W_{17/50}$ 是频率50Hz、最大磁通密度1.7T时的铁损。作为SST测定的试件,使用了按照钢板宽度方向长度100mm、钢板轧制方向长度500mm的尺寸切出的四方片。进行了激光处理的钢板的铁损改善率(%)为,将相同卷的钢板中未实施激光处理的部分的铁损为基准来进行定义。

[0119] 此外,通过潮湿试验来进行由于玻璃皮膜14产生瑕疵而导致产生锈的判断。潮湿试验基于JISK2246-5.34来进行,试验条件为,温度50℃、湿度98%、试验时间72小时。然后,通过目视观察来确认在激光照射部有无产生锈。对于各条件,切出10个钢板的宽度方向长度100mm、钢板的轧制方向长度500mm的尺寸的四方片,对产生锈的个数进行了评价。

[0120] 试验结果在表1中表示。在 I_b/I_a 为2.0以下的本实施例1~5中,得到12%以上的足

够的铁损改善率。此外,没有产生锈的个数,还抑制了由激光照射引起的玻璃皮膜14产生瑕疵。

[0121] 此外,本实施例6是使钢板面与金属镜126的焦点位置一致的例子。在该情况下,C方向强度分布接近于平顶, I_d/I_c 为1.3。当与 I_b/I_a 相同的本实施例3以及4进行比较时,虽然得到相同程度的铁损改善,但存在两个产生锈的样本。根据以上的结果可知,通过使 I_d/I_c 为1.5以上,由此皮膜难以产生瑕疵,因此较优选。

[0122] 此外,当将本实施例1与本实施例2~6进行比较时,可知通过使 I_d/I_c 大于 I_b/I_a ,能够得到更大的铁损改善,较优选。

[0123] 比较例1是照射了TEM₀₀模式的激光(激光束)的例子。在该比较例1中, I_b/I_a 为2.8,铁损改善率为10.2%。作为目标的制品等级要求12%以上的铁损改善,但该比较例1的铁损改善率未达到目标。并且,在比较例1中,在10个样本中存在2个在玻璃皮膜14产生锈。

[0124] 比较例2也是照射了TEM₀₀模式的激光的例子。如果如比较例2那样,活用TEM₀₀模式的微小聚光特性并减小 R_a (R_{a1} 以及 R_{a2}),则能够得到12%以上的铁损改善。然而,在减小 R_a 而照射了TEM₀₀模式的激光的情况下,在10个样本中全部产生锈,可知由激光照射引起的玻璃皮膜14产生瑕疵的情况变得显著。在按照比较例2的条件照射了激光的情况下,需要进行绝缘皮膜16的重新涂敷,因此制造成本显著增加。

[0125] 【表1】

[0126]

	I_b/I_a	R_a (mm)	I_d/I_c	R_c (mm)	BPP (mm · mrad)	激光输出 (kW)	铁损改善率 η (%)	产生锈 个数 (个)
本实施例1	2.0	0.06	1.9	1.5	1.6	2	12.0	0
本实施例2	1.6	0.06	1.9	1.5	3.8	2	13.9	0
本实施例3	1.2	0.06	1.8	1.5	6.0	2	14.0	0

[0127]

本实施例4	1.2	0.06	1.5	1.5	6.0	2	13.9	0
本实施例5	1.0	0.06	1.7	1.5	10	2	14.2	0
本实施例6	1.2	0.06	1.3	1.5	6.0	2	14.1	2
比较例1	2.8	0.06	2.8	1.5	0.37	2	10.2	2
比较例2	2.8	0.04	2.8	1.5	0.37	2	12.4	10

[0128] 根据以上的试验结果可知,通过如本实施例那样使 I_b/I_a 为2.0以下,由此能够得到足够的铁损的改善效果以及抑制玻璃皮膜14产生瑕疵的效果。此外,可知通过使 I_d/I_c 为1.5以上,由此能够进一步抑制瑕疵的产生。

[0129] 如上述那样,本实施方式的激光加工装置100构成为,在与激光束的扫描方向垂直的方向的截面上的强度分布中,在将从强度分布的重心起的强度积分值成为全强度积分值

的43%的位置离强度分布的重心的距离设为 R_{a1} 、 R_{a2} ，将与这些 R_{a1} 、 R_{a2} 对应的激光束的强度分别设为 I_{a1} 、 I_{a2} ，将 I_{a1} 与 I_{a2} 的平均值设为 I_a ，并且将强度分布的重心的激光束的强度设为 I_b 时， I_b/I_a 成为2.0以下。由此，能够将方向性电磁钢板10表面的激光束的强度分布设定为最佳形状。作为其结果，能够抑制使激光束沿扫描方向进行扫描时向与扫描方向正交的方向的热传导。因此，即使在为了形成足够强度的环流磁区而使聚光形状椭圆化，随之激光束对于方向性电磁钢板10的某一点的照射时间变长那样的情况下，也能够抑制热传导导致的环流磁区宽度的扩展。结果，方向性电磁钢板10的铁损能够进一步降低。

[0130] 此外，在本实施方式的激光束的强度分布中，能够抑制强度分布的重心的光束强度 I_b 变得过大，因此能够抑制方向性电磁钢板10表面的局部的温度上升，结果，能够抑制玻璃皮膜14产生瑕疵。

[0131] 根据本实施方式的激光加工装置100，通过上述的铁损降低以及玻璃皮膜的瑕疵抑制，能够以良好的成品率来稳定地制造低铁损的方向性电磁钢板10。作为其结果，不仅能够更低价地供给低铁损的方向性电磁钢板10，而且从通过使低铁损的方向性电磁钢板10在世界上广泛普及来实现能量消耗量的减少这种观点出发，也能够发挥大量的经济上的效果。

[0132] 以上，参照附图对本发明的优选实施方式以及实施例进行了详细说明，但本发明不限于这些。只要是具有本发明所属的技术领域的通常知识的技术人员，在专利请求的范围所记载的技术思想范畴内，明显能够想到各种变更例或者修正例，对于这些也能够理解为当然属于本发明的技术范围。

[0133] 工业上的可利用性

[0134] 根据本发明，能够降低方向性电磁钢板的铁损，并且能够抑制玻璃皮膜产生瑕疵。

[0135] 符号的说明

[0136] 10 方向性电磁钢板

[0137] 12 钢板主体

[0138] 14 玻璃皮膜

[0139] 16 绝缘皮膜

[0140] 100 激光加工装置

[0141] 102 激光振荡器

[0142] 104 传送光纤

[0143] 106 激光照射装置

[0144] 122 激光头

[0145] 124 准直透镜

[0146] 126 金属镜

[0147] 128 多面镜

[0148] 130 抛物面镜

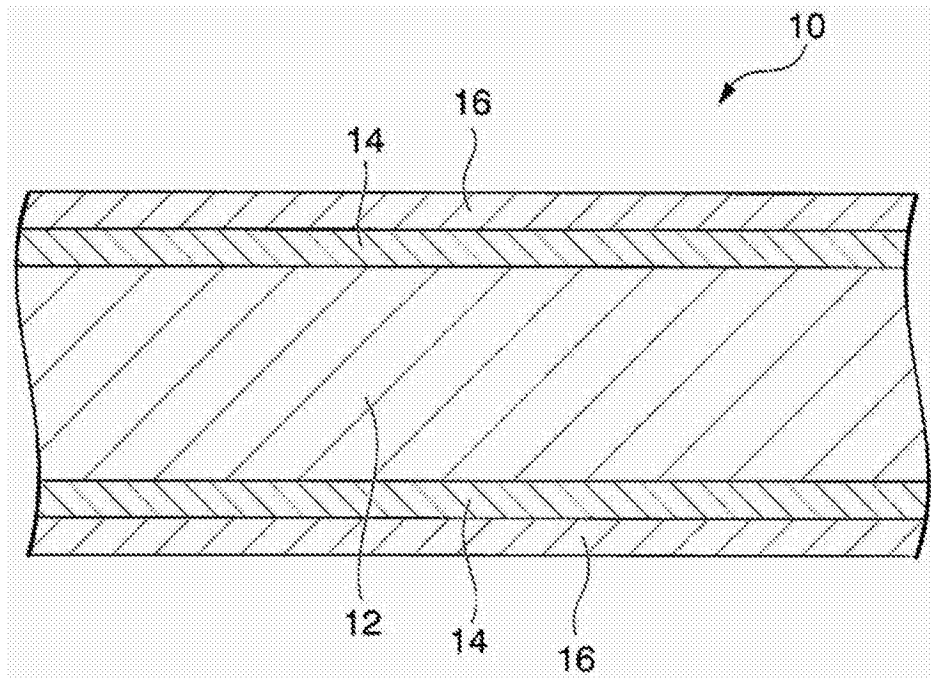


图1

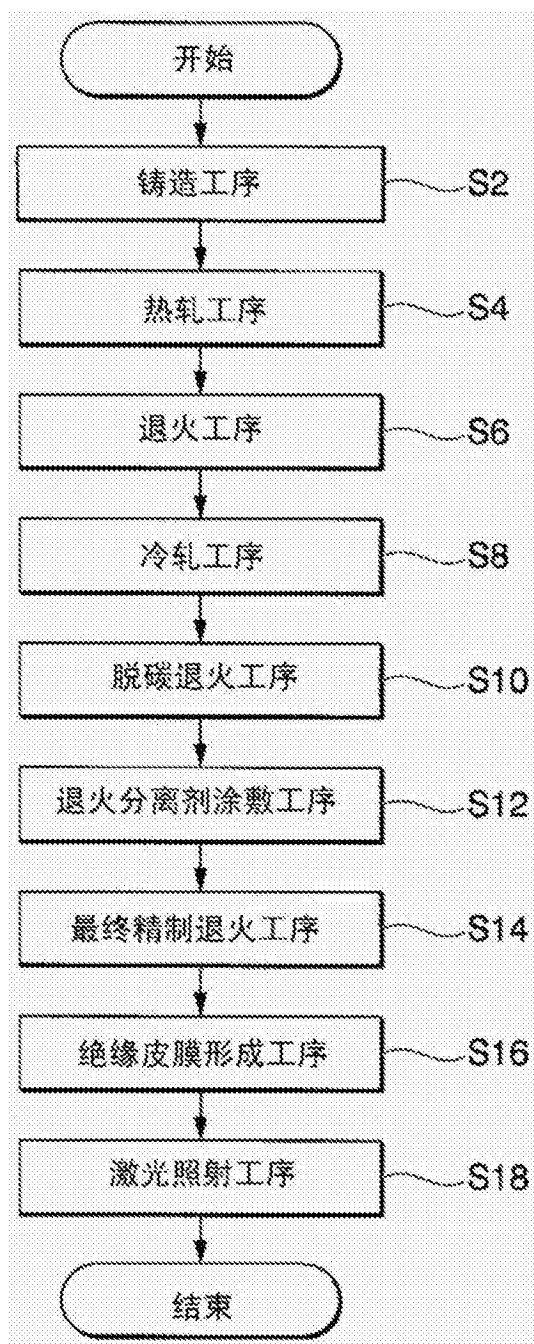


图2

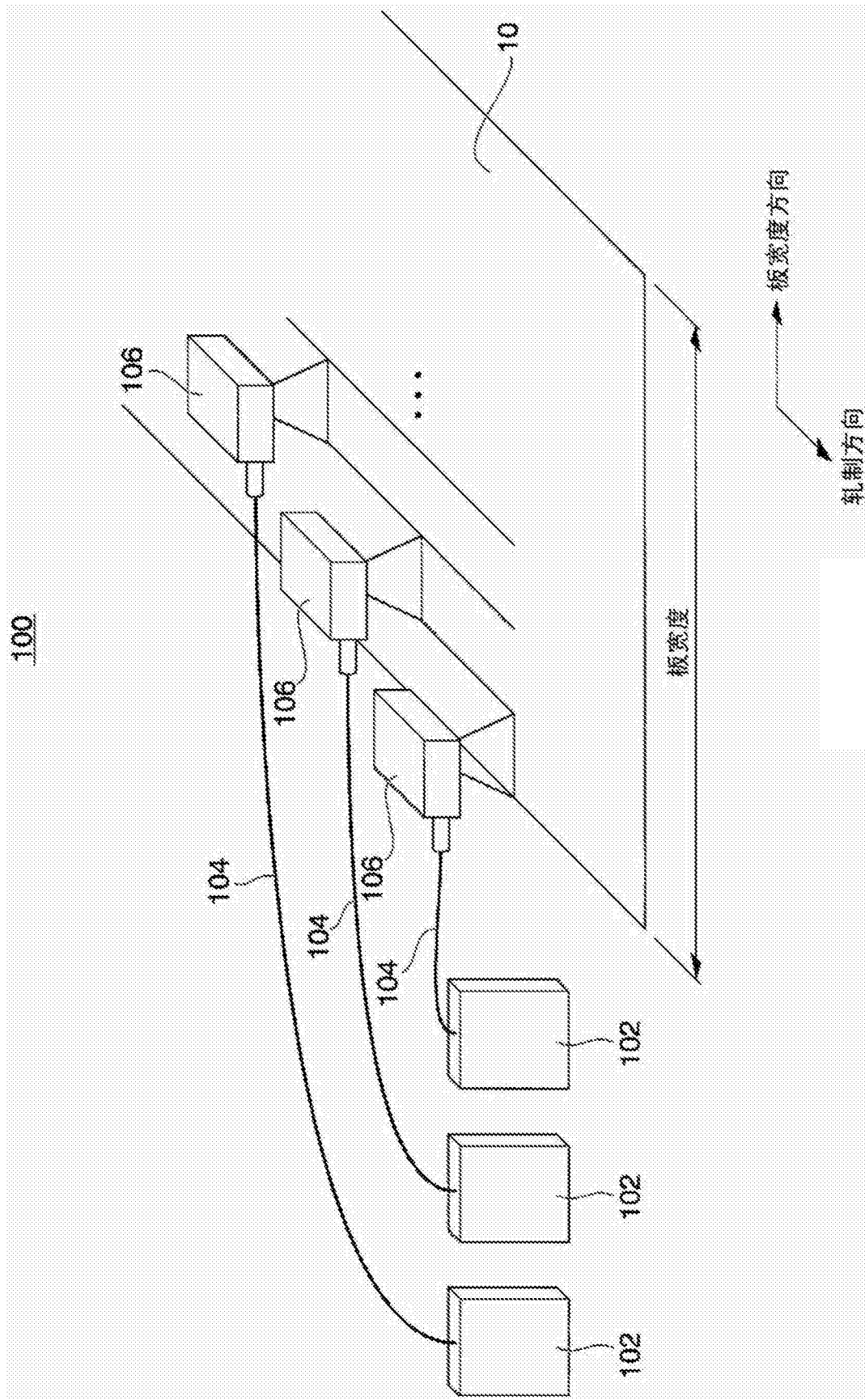


图3

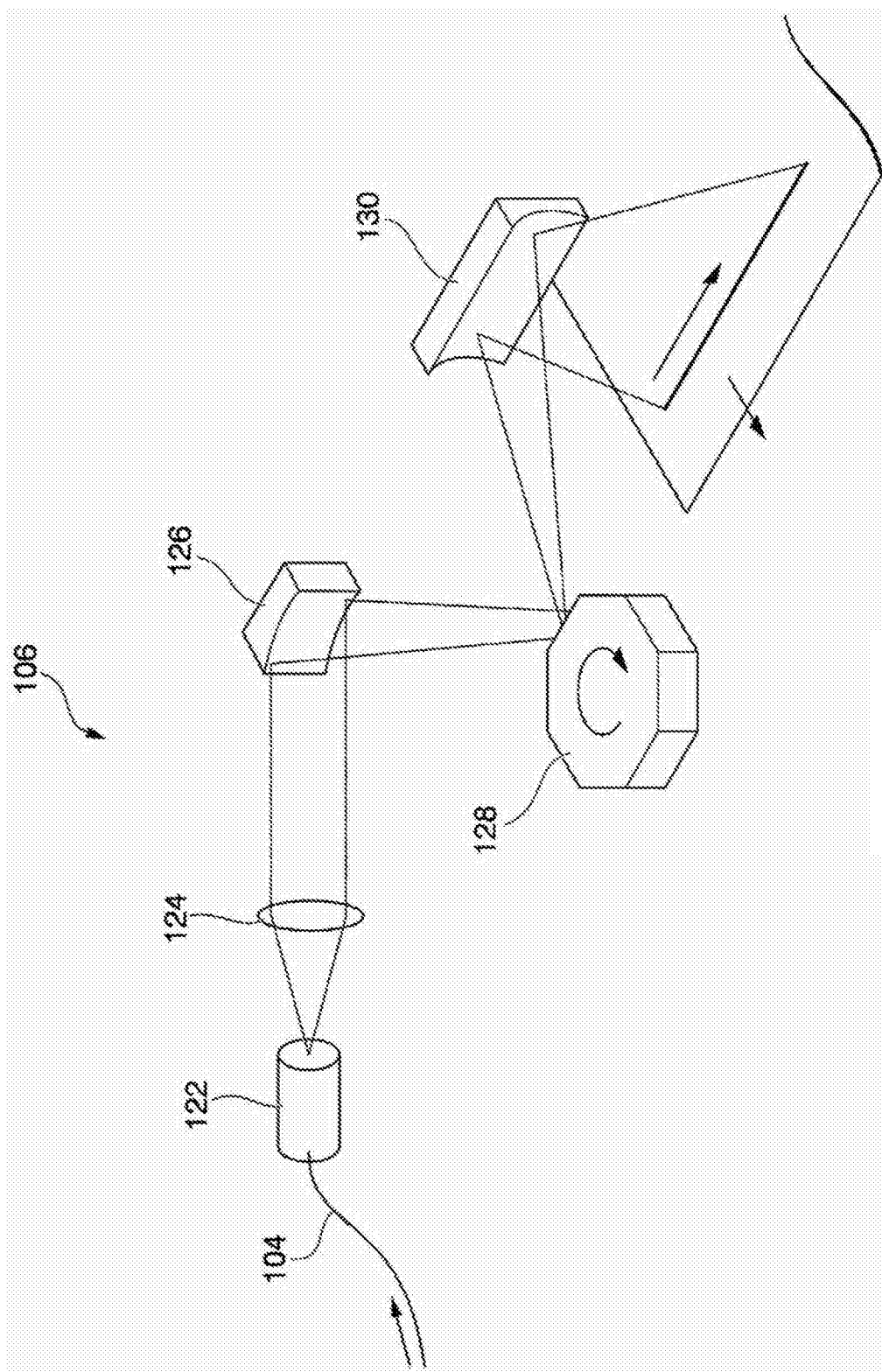


图4

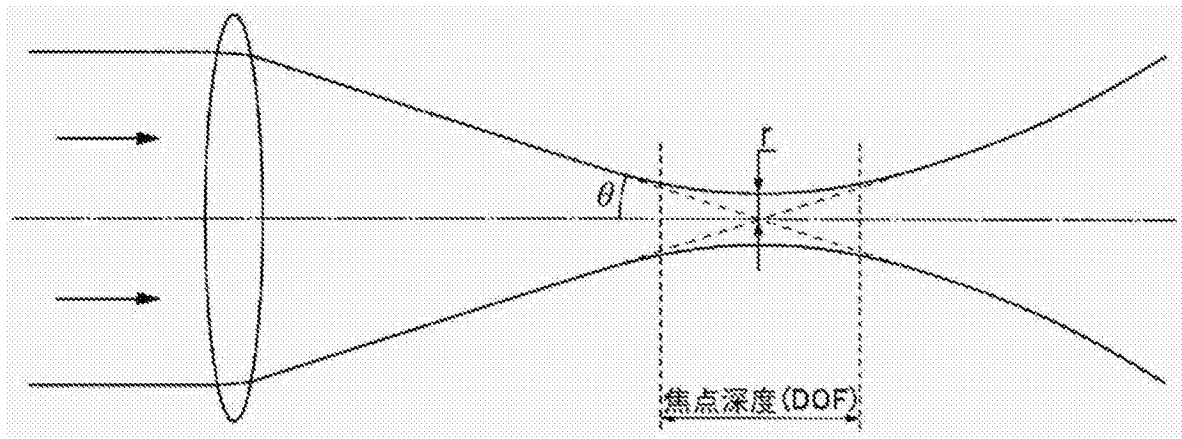


图5

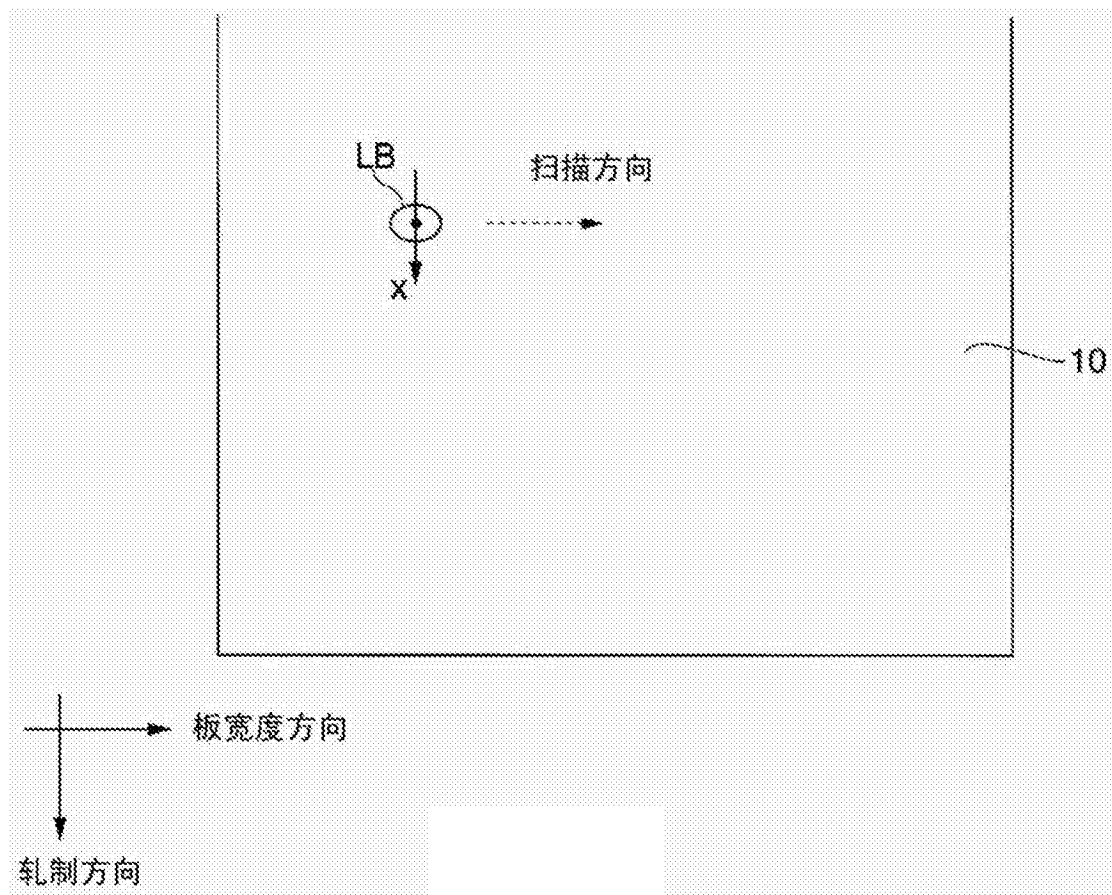


图6

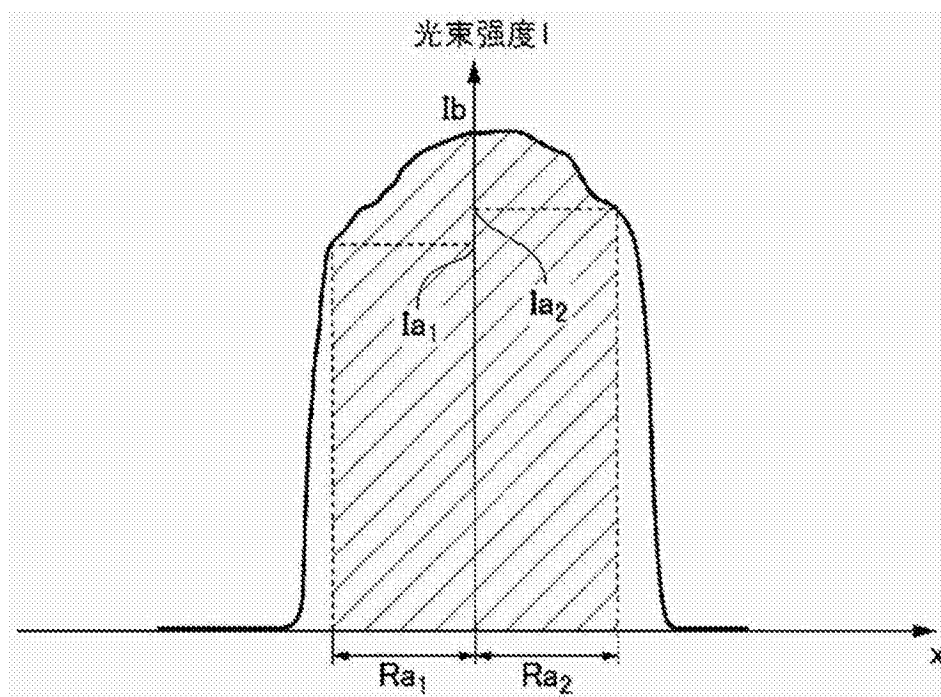


图7

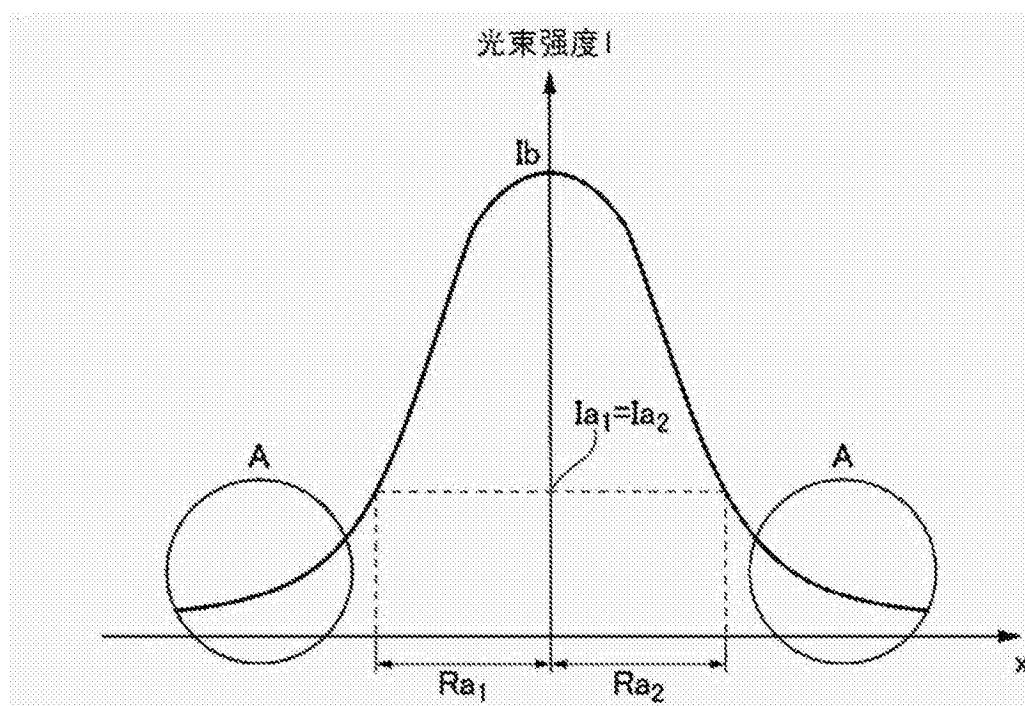


图8

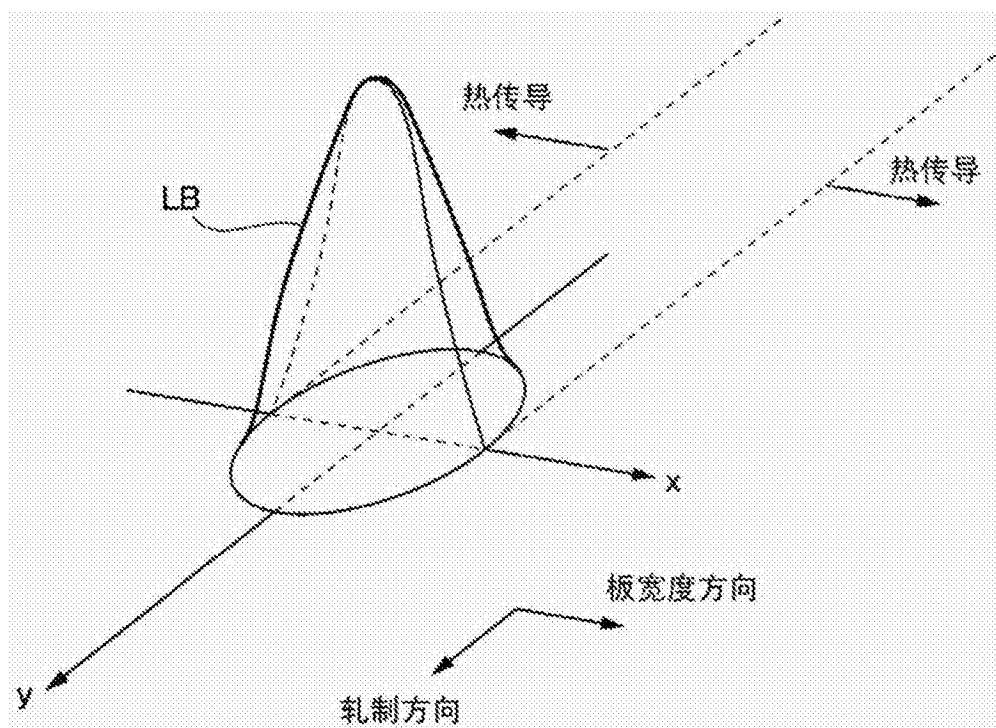


图9

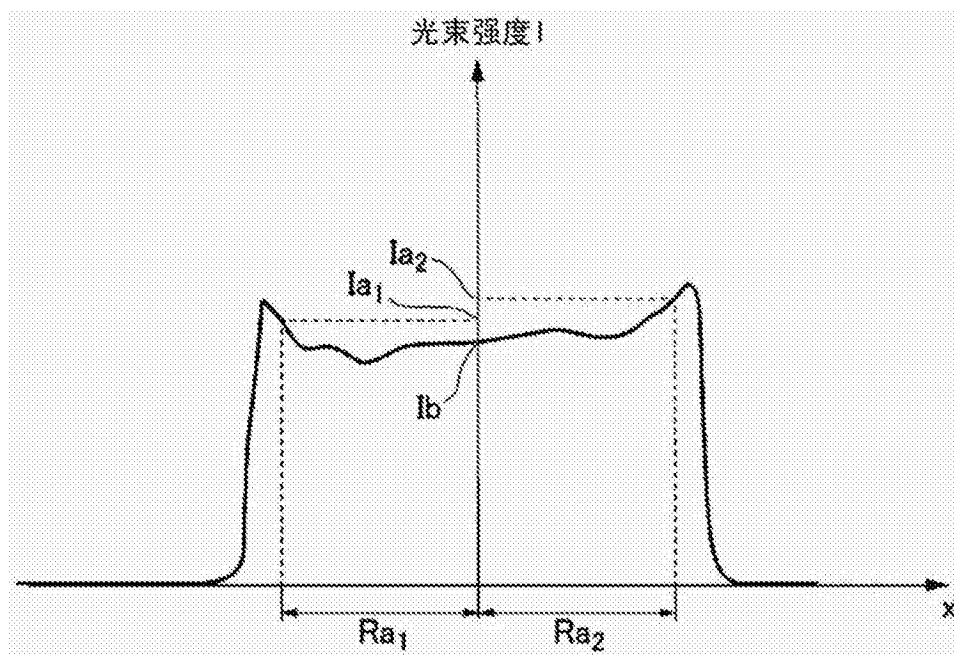


图10

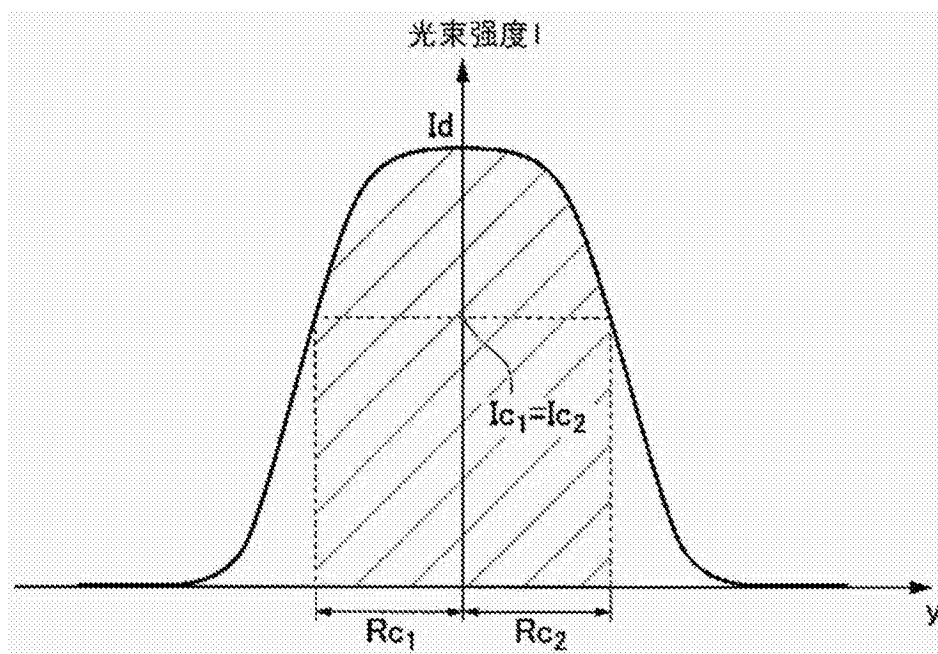


图11

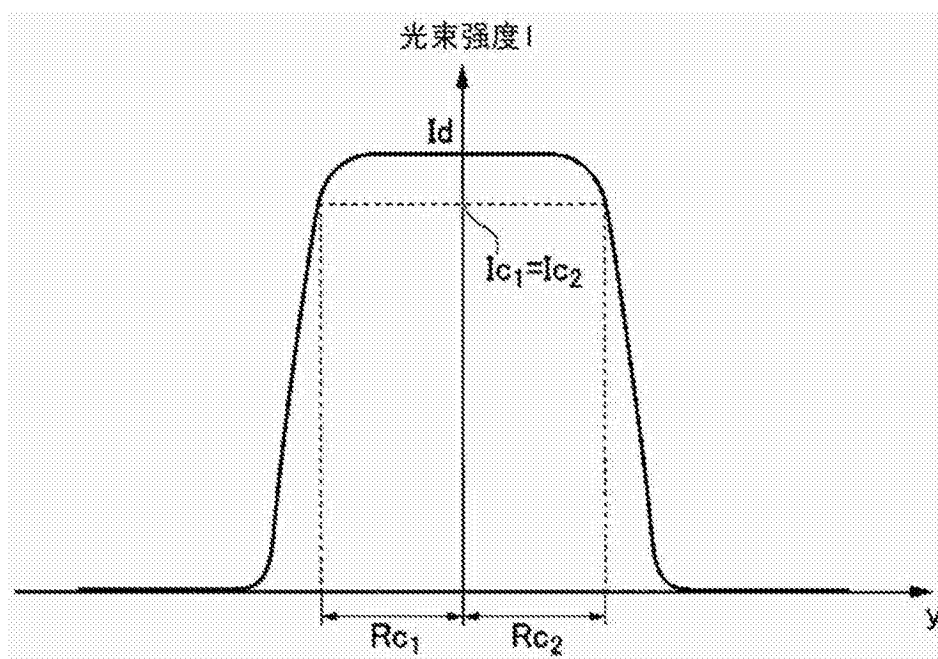


图12

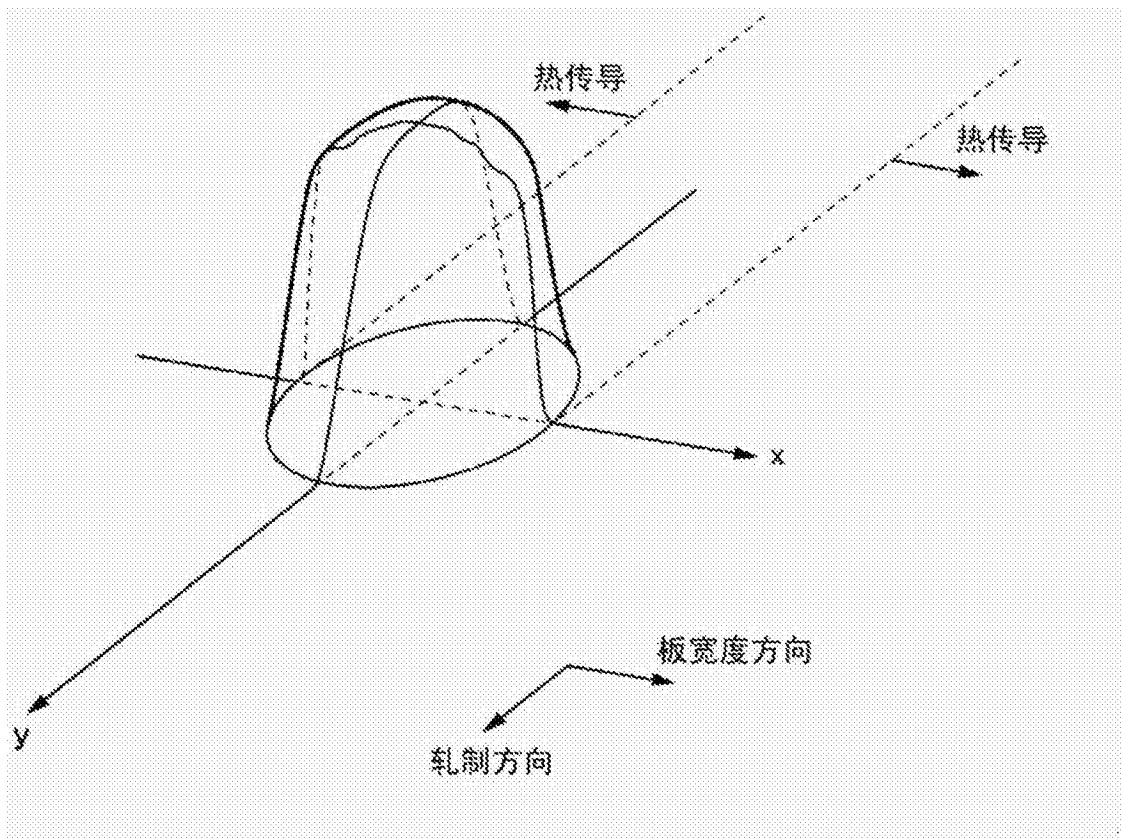


图13