



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112673294 B

(45) 授权公告日 2022.06.24

(21) 申请号 201980059313.5

(22) 申请日 2019.09.13

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112673294 A

(43) 申请公布日 2021.04.16

(30) 优先权数据
2018-173754 2018.09.18 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.03.11

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2019/036144 2019.09.13

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/059664 JA 2020.03.26

(73) 专利权人 三菱电机株式会社

地址 日本东京

专利权人 国立大学法人京都大学

(72) 发明人 井上阳子 河崎正人 山本达也
久场一树 野田进

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所
有限公司 11038

专利代理师 于丽

(51) Int.Cl.

G02B 6/43 (2006.01)

G02B 6/32 (2006.01)

H01S 5/02253 (2021.01)

H01S 5/40 (2006.01)

审查员 沈婷婷

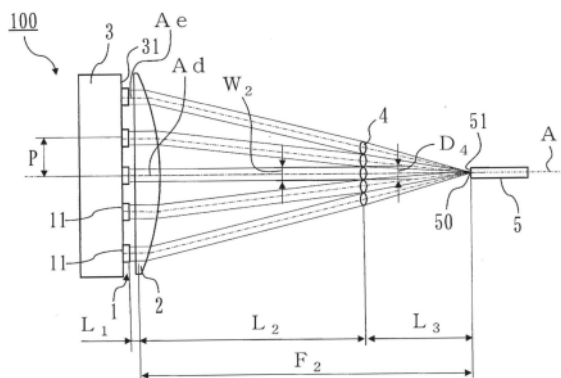
权利要求书2页 说明书12页 附图11页

(54) 发明名称

复用光学系统

(57) 摘要

复用光学系统具备光源、透镜以及透镜阵列。光源包括表面发射激光器的多个发光元件。透镜分别变更从多个发光元件的各个发光元件出射的激光光线的光路使之聚光。透镜阵列包括与由透镜变更的多个激光光线各自的光路对应地排列的多个透镜区域,通过多个透镜区域使多个激光光线聚光来形成复用光束。



1. 一种复用光学系统,具备:
光源,包括表面发射激光器的多个发光元件;
光路变更部件,分别变更从所述多个发光元件的各个发光元件出射的激光光线的光路使之集中;以及
聚光部件,包括与由所述光路变更部件变更的多个所述激光光线各自的光路对应地排列的多个透镜区域,通过该多个透镜区域使从所述光路变更部件出射的所述多个激光光线聚光于一个光纤的入射面来形成复用光束。
2. 根据权利要求1所述的复用光学系统,其中,
所述多个发光元件的光轴相互平行。
3. 根据权利要求1或2所述的复用光学系统,其中,
所述多个发光元件配置于同一平面上。
4. 根据权利要求1或2所述的复用光学系统,其中,
所述聚光部件通过所述多个透镜区域使所述多个激光光线的各个激光光线聚光于预先决定的位置来形成复用光束。
5. 根据权利要求1所述的复用光学系统,其中,
所述聚光部件配置于从所述光路变更部件出射的相邻的激光光线的最外直径相互接触的位置。
6. 根据权利要求5所述的复用光学系统,其中,
所述聚光部件中包含的所述多个透镜区域的大小被规定为与入射于该多个透镜区域的所述多个激光光线的最外直径相等,
从所述聚光部件出射的所述多个激光光线在相邻的激光光线彼此的最外直径相互接触的状态下被出射。
7. 根据权利要求6所述的复用光学系统,其中,
所述光路变更部件为被配置于所述光源与所述聚光部件之间的透镜。
8. 根据权利要求6所述的复用光学系统,其中,
所述光路变更部件为被配置于所述光源与所述聚光部件之间的多面体棱镜。
9. 根据权利要求6所述的复用光学系统,其中,
所述光路变更部件为被配置于所述光源与所述聚光部件之间的衍射光学元件。
10. 根据权利要求6~9中的任意一项所述的复用光学系统,其中,
所述聚光部件为包括所述多个透镜区域的透镜阵列。
11. 根据权利要求10所述的复用光学系统,其中,
在所述多个透镜区域中,各透镜区域的光轴与所述复用光学系统的光轴平行。
12. 根据权利要求10所述的复用光学系统,其中,
在所述多个透镜区域中,各透镜区域的至少一个透镜面为非球面。
13. 根据权利要求10所述的复用光学系统,其中,
在所述多个透镜区域中,各透镜区域的聚光点侧的透镜面的曲率取决于该透镜区域的光轴与所述复用光学系统的光轴的距离而不同。
14. 根据权利要求13所述的复用光学系统,其中,
在所述多个透镜区域中,各透镜区域的光轴与所述复用光学系统的光轴的距离越长,

该透镜区域的聚光点侧的透镜面的曲率越大。

15. 根据权利要求10所述的复用光学系统,其中,

在所述多个透镜区域中,各透镜区域的聚光点侧的透镜面的面顶点的沿着所述复用光学系统的光轴的方向的位置取决于该透镜区域的光轴与所述复用光学系统的光轴的距离而不同。

16. 根据权利要求15所述的复用光学系统,其中,

在所述多个透镜区域中,各透镜区域的光轴与所述复用光学系统的光轴的距离越长,该透镜区域的聚光点侧的透镜面的面顶点沿着所述复用光学系统的光轴越位于聚光点侧。

17. 根据权利要求6~9中的任意一项所述的复用光学系统,其中,

所述多个发光元件排列为六边形格子状。

18. 根据权利要求6~9中的任意一项所述的复用光学系统,其中,

还具备所述光纤,由所述聚光部件形成的所述复用光束从该光纤的入射面入射并在该光纤的内部传输,

所述光纤为大模面积光纤。

19. 根据权利要求1所述的复用光学系统,其中,

所述表面发射激光器为二维光子晶体表面发射激光器。

复用光学系统

技术领域

[0001] 本发明涉及复用光学系统。

背景技术

[0002] 以往,以得到高激光输出为目的,提出了如下复用光学系统:使从光源出射的多个激光光线聚光来形成复用光束,将其耦合至光纤等传输单元(例如,参照专利文献1)。

[0003] 专利文献1中记载有如下光功率合成用光学系统:通过耦合单元使从按 $M \times N$ 配置的多个光源出射的多个激光光线耦合至1个受光器。该光功率合成用光学系统的耦合单元包括准直仪光学元件、变形光学元件(anamorphic optical element)和聚光用光学元件。变形光学元件被配置为使得M个的排列方向的倍率大于N个的排列方向的倍率。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本特开2005-114977号公报

发明内容

[0007] 发明所要解决的技术课题

[0008] 然而,在专利文献1的光功率合成用光学系统中,通过变形光学元件将多个激光光线的各光束直径缩小。因此,各激光光线的光束直径和光束间隔这两者以相同比率被缩小。

[0009] 在专利文献1的光功率合成用光学系统中,光束间隔相对地未被缩小。也就是说,光束直径与光束间隔的比率不变。因此,复用光束中总光束直径内的光束占有率不变。结果是,难以减小聚光角度,难以提高聚光性。

[0010] 本发明是为了解决上述的技术课题而做出的,其目的在于提供一种能够形成聚光性高的复用光束的复用光学系统。

[0011] 用于解决技术课题的技术方案

[0012] 为了解决上述技术课题,本发明的复用光学系统具备:光源,包括表面发射激光器的多个发光元件;光路变更部件,分别变更从多个发光元件的各个发光元件出射的激光光线的光路使之聚光;以及聚光部件,包括与由光路变更部件变更的多个激光光线各自的光路对应地排列的多个透镜区域,通过该多个透镜区域使多个激光光线聚光来形成复用光束。

[0013] 发明效果

[0014] 根据本发明的复用光学系统,能够形成聚光性高的复用光束。

附图说明

[0015] 图1为示出实施方式1的复用光学系统的结构的图。

[0016] 图2为从复用光学系统的光轴A的方向观察实施方式1的光源的图。

[0017] 图3为从复用光学系统的光轴A的方向观察实施方式1的透镜阵列的图。

- [0018] 图4为从复用光学系统的光轴A的方向观察实施方式2的光源的图。
- [0019] 图5为从复用光学系统的光轴A的方向观察实施方式2的透镜阵列的图。
- [0020] 图6为从复用光学系统的光轴A的方向观察实施方式3的光源的图。
- [0021] 图7为从复用光学系统的光轴A的方向观察实施方式3的透镜阵列的图。
- [0022] 图8为示出实施方式4的复用光学系统的结构的图。
- [0023] 图9为说明实施方式1中的透镜阵列的形状不适当时的、透射透镜阵列的激光光线的聚光的情形的图。
- [0024] 图10为示出实施方式1中的透镜阵列的优选的形狀的第1例的图。
- [0025] 图11为示出实施方式1中的透镜阵列的优选的形狀的第2例的图。
- [0026] 附图标记
- [0027] 100、400:复用光学系统;1、201、301:光源;11:发光元件;2:透镜(光路变更部件);402:多面体棱镜(光路变更部件);4、204、304:透镜阵列(聚光部件);40、240、340:透镜区域;5:光纤;51:入射面。

具体实施方式

[0028] 以下参照附图,详细说明本申请公开的复用光学系统的实施方式。但是以下所示的实施方式为一例,并非通过这些实施方式来限制本发明。

[0029] 另外,在以下的实施方式中,特别对于使从光源出射的多个激光光线聚光来形成复用光束的复用光学系统进行说明。

[0030] <复用光学系统的聚光性>

[0031] 在复用光学系统中,通过复用从光源中包含的多个发光元件分别出射的激光光线来形成高输出的复用光束。此时,如前所述,重要的是复用光束具有高聚光性。

[0032] BPP(光束参数积:Beam Parameter Product)为评价光束的聚光性的指标。BPP被定义为光束直径与聚光角度的乘积或光束直径与发散角度的乘积。从该定义可知,在光束直径恒定的情况下,为了提高聚光性,减小聚光角度是有效的。

[0033] 复用多个激光光线的情况也是同样的。在使多个激光光线在空间上聚光的情况下,为了形成聚光性高的复用光束,在将相邻的激光光线彼此的间隔变窄的状态下使之聚光。据此,能够提高复用光束中光束直径内的光束占有率。

[0034] 尤其是,通过设为使相邻的激光光线彼此的间隔为零的状态,能够将复用光束中光束直径内的光束占有率最大化。也就是说,设为相邻的激光光线的最外直径相互接触的状态。

[0035] 换言之,通过提高复用光束中光束直径内的光束占有率,能够减小复用光束的聚光角度。于是能够得到聚光性高的复用光束。

[0036] 实施方式1.

[0037] <复用光学系统100的结构>

[0038] 图1为示出本发明的实施方式1的复用光学系统100的结构的图。图1示出复用光学系统100的包括光轴A的截面。以下参照图1说明复用光学系统100的整体结构。

[0039] 复用光学系统100具备光源1、透镜2以及透镜阵列4。复用光学系统100可以具备光纤5。光源1包括多个发光元件11。透镜2为光路变更部件的一例。透镜阵列4为聚光部件的一

例。光纤5为传输单元的一例。

[0040] 光源1包括二维光子晶体表面发射激光器的多个发光元件11。在本实施方式1中，多个发光元件11例如排列于散热器3的面31上。在此，面31例如为单个面。另外，多个发光元件11例如向着与光轴A平行的方向排列。散热器3将各发光元件11产生的热量散热。据此，散热器3起到抑制各发光元件11的温度上升的作用。

[0041] 图2为从图1的光轴A的方向观察包括多个发光元件11的光源1的图。在本实施方式1中，光源1包括19个发光元件11。另外，19个发光元件11相互隔开间隔地排列为六边形格子状。但是，发光元件11的数量及配置的形态不限于此。

[0042] 返回图1，多个发光元件11的各光轴Ae与面31垂直。因此，多个发光元件11在与面31垂直的方向上出射激光光线。多个发光元件11的各光轴Ae相互平行。另外，多个发光元件11的各光轴Ae平行于复用光学系统100的光轴A。

[0043] 从光源1出射的多个激光光线入射于透镜2。透镜2具有聚光作用。透镜2与复用光学系统100的光轴A垂直地配置。也就是说，透镜2的光轴Ad平行于复用光学系统100的光轴A。

[0044] 透镜2变更从光源1出射的多个激光光线的行进方向。也就是说，透镜2变更从光源1出射的多个激光光线的光路。具体而言，透镜2使从光源1出射的多个激光光线的行进方向向着光纤5的入射面51的中心50变化。据此，在不存在将在后说明的透镜阵列4的情况下，透射过透镜2之后的各激光光线的光路集中于光纤5的入射面51的中心50。

[0045] 被透镜2变更光路的多个激光光线入射于透镜阵列4。透镜阵列4与复用光学系统100的光轴A垂直地配置。透镜阵列4包括排列于同一面内的多个透镜区域40。

[0046] 光源1的多个发光元件11与透镜阵列4的多个透镜区域40一一对应。透镜阵列4的各透镜区域40排列于与被透镜2变更光路的各激光光线各自的光路对应的位置。

[0047] 图3为从图1的光轴A的方向观察透镜阵列4的图。在本实施方式1中，光源1中包括19个发光元件11。因此，透镜阵列4中也包括19个透镜区域40。各透镜区域40具有聚光作用。另外，各透镜区域40在同一面上邻接地排列。此外，透镜阵列4的有效区域小于光源1的发光区域。

[0048] 返回图1，分别入射于透镜阵列4的各透镜区域40的多个激光光线在透射过透镜阵列4之后，被聚光于光纤5的入射面51上而成为复用光束。

[0049] 光纤5为传输用的光纤。光纤5传输复用光束。也就是说，光纤5将聚光的激光光线耦合并传输。另外，在本实施方式1中，光纤5为多模光纤。在多模光纤中，光被分成多个模式而在纤芯内传播。

[0050] 此外，多模光纤有阶跃折射率型和渐变折射率型。阶跃折射率型为纤芯的折射率恒定的光纤。渐变折射率型为纤芯的折射率平滑分布的光纤。能够考虑发光元件11的特性及数量来适当地选定光纤5的规格。

[0051] <二维光子晶体表面发射激光器>

[0052] 接下来，对本实施方式1中使用的二维光子晶体表面发射激光器进行说明。二维光子晶体表面发射激光器为在活性层附近设置有约为振荡波长的周期性构造的表面发光型的半导体激光器。将该周期性构造称为光子晶体构造。

[0053] 一般而言，半导体激光器能够通过增大发光区域来实现输出提高。然而，目前通常

实际使用的垂直谐振器型表面发射激光器存在如下问题:当增大发光区域时,聚光性下降。因此,垂直谐振器型表面发射激光器不能同时实现高输出和高聚光性。

[0054] 与此相对,二维光子晶体表面发射激光器原则上即使增大发光区域,也能够维持聚光性。因此,期望将二维光子晶体表面发射激光器作为高输出且高聚光性的激光光源。

[0055] 关于二维光子晶体表面发射激光器的代表性特性,发光区域大小为直径几百 μm 。另外,光束质量为 M^2 值为约1至5。例如,在振荡波长为940nm、发光区域大小为直径300 μm 、光束质量为 M^2 值为2的情况下,出射的光束的发散角为全角为约0.5度。二维光子晶体表面发射激光器由于发光区域大且光束质量好,因此可以得到直进性(straight traveling property)高的出射光束。此外,“光束质量好”的意思是 M^2 值小。

[0056] 另外,在二维光子晶体表面发射激光器中,例如当将发光区域的大小扩大至直径1mm时,期望可以得到10W级的输出。因此,二维光子晶体表面发射激光器可以成为高输出且高聚光性的激光光源。

[0057] <关于发光元件的排列间隔>

[0058] 为了使半导体激光器高输出且良好地工作,重要的是应对发热。在半导体激光器中,供给功率的40~60%变为热量。然后,当输出变高时产生的热量进一步增加。因此,优选为高输出的半导体激光器的发光元件被安装于具备子底座(sub-mount)或散热器的冷却构造上。

[0059] 在冷却构造中,发光元件产生的热量被传递、扩散而散热。如果产生的热量增加,则冷却构造大型化。在用二维光子晶体表面发射激光器得到10W的输出输出的情况下,为了散热,计算出发光元件11的排列间隔需要为约几mm。

[0060] 另外,二维光子晶体表面发射激光器具有在发光面的周围设置用于供电的电极构造的构造。在电极由不透射光的金属等来形成的情况下,需要以使在该部分激光光线不被遮挡的方式来排列相邻的发光元件11。

[0061] 由于以上理由,在将二维光子表面发射激光器的多个发光元件11接近地排列的情况下,需要在相邻的发光元件11之间确保需要的距离来排列。换言之,各发光元件11需要相互隔开间隔来排列。参照图2,如前所述,在本实施方式1中,各发光元件11相互隔开间隔地排列。

[0062] <复用光学系统100的工作>

[0063] 接下来,对本实施方式1的复用光学系统100的工作详细地进行说明。如图2那样,复用光学系统100使从隔开间隔地排列的多个发光元件11出射的多个激光光线聚光而形成复用光束。在该情况下,通过提高在复用光束的直径内的光束占有率,从而复用光束的聚光性被提高。

[0064] 首先,对复用光学系统100中使用的附图标记进行说明。此时,期望同时参照图1。将透镜2的焦距设为 F_2 。另外,虽然图1中未示出,但是将透镜阵列4的焦距设为 F_4 。

[0065] 将从光源1的各发光元件11至透镜2的距离设为 L_1 。将从透镜2至透镜阵列4的距离设为 L_2 。将到透射过透镜阵列4的多个激光光线聚光为止所需的距离设为 L_3 。

[0066] 将入射于透镜阵列4的各激光光线的直径设为 W_2 。激光光线的直径为光束直径。将透镜阵列4的各透镜区域40的大小设为 D_4 。 D_4 例如为透镜区域40的直径。将排列于散热器3的面31上的多个发光元件11的排列间隔设为P。

[0067] 另外,虽然图1中未示出,但是将从19个发光元件11出射的19条激光光线的各中心光线设为 A_n 。其中,后缀 $n=1,2,\dots,N$ 。 N 为发光元件11的数量,在本实施方式1中 $N=19$ 。此外,中心光线是指穿过激光光线中的光束直径的中心的中心线。

[0068] 在本实施方式1以及将在后说明的实施方式2~4中,各激光光线的光束直径被定义为光强度分布的环绕功率为86.5%时的直径。然后,在本说明书中“激光光线”的意思是指具有这样定义的光束直径的光。在该情况下,激光光线的最外直径是指光强度分布的环绕功率为86.5%的直径。此外,复用光束的光束直径也同样地定义。

[0069] 接下来,对复用光学系统100的工作进行说明。多个发光元件11与复用光学系统100的光轴A平行地出射激光光线。各激光光线垂直地入射于透镜2。即,从各发光元件11出射的各激光光线平行于透镜2的光轴 A_d 。在此,发光元件11为二维光子晶体表面发射激光器。

[0070] 入射于透镜2的多个激光光线的各中心光线 A_n 的行进方向在从透镜2出射时变化。具体而言,从透镜2出射的多个激光光线的各中心光线 A_n 向着与透镜2距离 F_2 的位置的一点聚光。即,多个激光光线的各中心光线 A_n 聚光于与透镜2距离 F_2 的位置。

[0071] 在本实施方式1中,在与透镜2距离 F_2 的位置配置有光纤5的入射面51。因此,在假设不存在透镜阵列4的情况下,从透镜2出射的多个激光光线的各中心光线 A_n 聚光于光纤5的入射面51的中心50。

[0072] 另外,在从透镜2出射的多个激光光线中,相邻的激光光线彼此随着行进而相互接近。然后,在与透镜2距离 L_2 的位置,相邻的激光光线的最外直径相互接触。

[0073] 在与透镜2距离 L_2 的位置配置有透镜阵列4。换言之,透镜阵列4配置于从透镜2出射的相邻的激光光线的最外直径相互接触的位置。然后,各激光光线入射于透镜阵列4的对应的各透镜区域40。

[0074] 在透镜阵列4中,19个透镜区域40被一体成型。通过以一体成型来制作,不需要透镜区域40之间的保持构造。另外,能够减小或消除不具有透镜效应的无效区域。

[0075] 在本实施方式1中,透镜阵列4的各透镜区域40的大小 D_4 被规定为与入射的激光光线的光束直径 W_2 一致。其结果是,入射于透镜阵列4的相邻的激光光线彼此在最外直径相互接触的状态下从透镜阵列4被出射。

[0076] 另外,各激光光线的中心光线 A_n 通过透镜阵列4中的对应的透镜区域40的中心。因此,各激光光线的中心光线 A_n 在透镜阵列4的内部直线行进。透射过透镜阵列4的各透镜区域40的各激光光线的中心光线 A_n 聚光于透镜阵列4的焦点位置。

[0077] 另外,各激光光线入射于透镜阵列4的对应的透镜区域40。各激光光线仅入射于透镜阵列4的对应的透镜区域40。因此,各激光光线在最大限度地抑制能量损耗的状态下透射透镜阵列4。透射过透镜阵列4的各激光光线聚光于光纤5的入射面51的中心50而成为复用光束,能量集中于此处。

[0078] 在本实施方式1中,复用光学系统100的条件被设定为使得距离 L_2 与距离 L_3 之和与焦距 F_2 相等。此外,复用光学系统100的条件是指例如焦距 F_2 、焦距 F_4 、距离 L_1 、距离 L_2 或距离 L_3 等。

[0079] 根据光源1的特性以及想要得到的复用光束的特性来设定复用光学系统100的条件。此外,“光源1的特性以及复用光束的特性”是指复用的发光元件的数量、光束质量、光束

直径、振荡波长等。

[0080] 当确定了这些值后,能够计算入射于透镜阵列4的多个激光光线的光束直径 W_2 。据此,能够决定透镜阵列4中的各透镜区域40的大小 D_2 以及发光元件11的排列间隔 P 。

[0081] 在如上述那样设计的复用光学系统100中,从多个发光元件11出射的各激光光线聚光于1点而成为复用光束。在各激光光线聚光于1点的位置,各激光光线形成最小光点。

[0082] 在本实施方式1中,从19个发光元件11出射的19条激光光线的19个聚光光点在1点重合。即,各激光光线的各聚光光点重合。此时,从19个发光元件11出射的各激光光线的能量以少的损耗集中于1点。

[0083] 另外,透射过透镜阵列4之后的多个激光光线在相邻的激光光线彼此的最外直径相互接触的状态下出射并聚光。因此,复用光束中光束直径内的光束占有率提高。也就是说,复用光束的聚光性提高。

[0084] 此外,在使用实际的具有厚度的透镜的情况下,倾斜地入射于透镜的激光光线的中心光线 A_n 在透镜的前后略微平行地错开。在这样的情况下,通过调节散热器3上的各发光元件11的排列间隔 P 来应对。

[0085] 通过调节各发光元件11的排列间隔 P ,能够使透射过透镜阵列4之后的各激光光线的中心光线 A_n 聚光于设想的位置。在此,设想的位置是指光纤5的入射面51上的中心50。此外,通过调节各发光元件11的排列间隔 P ,排列间隔 P 在全部发光元件11之间不再相同,但这不会造成问题。

[0086] 此外,以上,“光束直径”被定义为光强度分布的环绕功率为86.5%时的宽度。然而,光束直径的定义不限于此。光束直径的定义根据需要的光利用效率或复用光束的光束质量来定义即可。

[0087] 另外,透镜阵列4中的各透镜区域40的形状可以不是如图3所示的圆形。例如,各透镜区域40的形状可以为包含圆形的透镜部分的六边形状。例如,透镜区域40的形状为圆形的透镜内接的六边形状。另外,六边形的部分的边可以为圆弧状。

[0088] <向光纤的耦合>

[0089] 光纤5以自身的入射面51的中心50与从多个发光元件11出射的各激光光线聚光于1点而形成复用光束的位置一致的方式来配置。光纤5的入射面51的中心50与从多个发光元件11出射的各激光光线聚光而形成复用光束的位置一致。

[0090] 在光纤5中,激光光线的聚光光点直径与纤维的纤芯直径具有以下所示的适当关系。激光光线的聚光光点直径为复用光束的光束直径。另外,在光纤5中,复用光学系统100聚光时的NA与光纤5的允许的NA具有以下所示的适当关系。其中,NA为数值孔径。

[0091] 优选为光纤5的纤芯直径相对于复用光束的总功率能够确保90~99.5%的耦合效率。

[0092] 当选择大的纤芯直径时,光纤5的入射面51处的光束的耦合效率接近于100%。然而,入射于光纤5的激光光线在光纤5的内部传播期间在纤芯与包层的界面处被反射。因此,激光光线在与传输方向垂直的截面上扩散。结果是,激光光线的聚光性下降。

[0093] 另一方面,当选择小的纤芯直径时,在光纤5的内部传播过程中的激光光线的能量损耗变大。另外,未入射于光纤5的纤芯的激光光线被照射至包层或其周边。结果是,未入射于光纤5的纤芯的激光光线成为引起在入射面51附近的加热或烧坏的原因。

[0094] 另外,优选为光纤5的允许的NA相对于复用光束聚光时的NA为1.2~3倍。在光纤5的允许的NA过大时,取决于光纤5的敷设状态等而容易向高阶模式耦合。因此,在激光光线的传输过程中聚光性劣化。

[0095] 在光纤的允许的NA与复用光束聚光时的NA相同的情况或比其小的情况下,在激光光线耦合时或传输过程中产生能量损耗。结果是,有可能从光漏出的部分引起光纤5的损伤或周边部件的损伤。

[0096] 如此,多个激光光线高效地耦合至光纤5。然后,多个激光光线在抑制了光束质量下降的状态下在光纤5的内部传播。高输出且高聚光性的复用光束从光纤5的出射面输出。

[0097] 此外,在发光元件11的数量为大约2~20个的情况下,优选为使用大模面积光纤(large mode area fiber)作为光纤5。大模面积光纤为多模光纤的一种。关于大模面积光纤,纤芯直径大至几十 μm ,允许的NA小至约0.15以下。大模面积光纤仅能够在低阶模式下传输。在复用光束在纤维内传输期间,向高阶模式的耦合被抑制。结果是,能够将输出的激光光线的聚光性维持得高。

[0098] <具体的数值例>

[0099] 接下来示出本实施方式1的复用光学系统100的具体的数值例。

[0100] <数值例1>

[0101] 表1示出复用光学系统100的规格的第1例。此外,光源1的多个发光元件11被配置为六边形格子状。

[0102] [表1]

[0103]	符号	值
	W_0	1mm
	M^2	2
	N	19
	P	1.6mm
[0104]	F_4	3.3mm
	F_2	60mm
	L_1	2mm
	L_2	57mm
	L_3	2.7mm
	D_4	0.15mm

[0105] 在表1中,用 W_0 来记载光源1的各发光元件11的光束直径。用 M^2 来记载光束质量。用N来记载发光元件11的数量。

[0106] 在表1的规格的情况下,复用光学系统100的特性如下。聚光光点的大小为直径约48 μm 。聚光时的NA为约0.13。此外,列举光纤5的特性的一例如下。光纤5的纤芯直径例如为

直径约50 μm 。光纤的允许的NA例如为NA=0.16。

[0107] <数值例2>

[0108] 表2示出复用光学系统100的规格的第2例。光源1的多个发光元件11被配置为六边形格子状。

[0109] [表2]

符号	值
W₀	0.2mm
M²	1.5
N	19
[0110] P	0.7mm
F₄	5.5mm
F₂	35mm
L₁	2mm
L₂	28.5mm
[0111] L₃	6.4mm
D₄	0.26mm

[0112] 在表2的规格的情况下，复用光学系统100的特性如下。聚光光点的大小为直径约44 μm 。聚光时的NA为约0.1。此外，列举光纤5的特性的一例如下。光纤5的纤芯直径例如为直径约50 μm 。光纤的允许的NA例如为NA=0.12。

[0113] <实施方式1的效果>

[0114] 如以上说明的那样，本发明的实施方式1的复用光学系统100具备光源、光路变更部件以及聚光部件。光源包括多个发光元件。发光元件为二维光子晶体表面发射激光器。光路变更部件变更从多个发光元件出射的各激光光线的光路而使之向着1点聚光。光路变更部件变更从多个发光元件出射的各激光光线的光路而使之聚光。聚光部件通过多个透镜区域使从光路变更部件出射的各激光光线聚光来形成复用光束。

[0115] 根据上述特征，本发明的实施方式1的复用光学系统100为聚光性高的复用光学系统。另外，复用光学系统100为高输出的复用光学系统。

[0116] 另外，聚光部件被配置于从光路变更部件出射的相邻的激光光线的最外直径相互接触的位置。据此，复用光束的聚光性进一步提高。

[0117] 另外，聚光部件中包含的多个透镜区域的大小被规定为与入射于这些多个透镜区域的各激光光线的光束直径相等。然后，从聚光部件出射的各激光光线在相互的最外直径接触的状态下被出射。据此，复用光束的聚光性进一步提高。

[0118] 另外，使用透镜作为光路变更部件，由此能够以简单的单元来高精度地变更多个激光光线的光路。

[0119] 另外,使用透镜阵列作为聚光部件,由此能够使各透镜区域之间的无效区域最小化,能够使激光光线彼此更接近。因此能够提高复用光束的聚光性。

[0120] 另外,多个发光元件排列为六边形格子状。而且,多个发光元件以最稠密的方式排列。因此,作为复用光束的源的多个激光光线在尽可能接近的状态下入射于光路变更部件。据此也能够容易地得到聚光性高的复用光束。其中,“稠密”一般表示密集地挤得满满的情形。

[0121] 另外,通过使用大模面积光纤作为光纤,能够将从光纤输出的激光光线的聚光性维持得高。

[0122] 实施方式2.

[0123] <正方形格子状的排列>

[0124] 图4为示出本发明的实施方式2的复用光学系统中的、光源201中包含的发光元件11的排列的图。另外,图5为示出本实施方式2的透镜阵列204中的透镜区域240的排列的图。

[0125] 在本实施方式2中,光源201包括16个发光元件11。16个发光元件11在散热器3的面31上排列为正方形格子状。面31例如为单个面。

[0126] 本实施方式2的由正方形格子状的排列而得到的光束占有率低于实施方式1的由六边形格子状的排列而得到的光束占有率。然而,当比较本实施方式2的图4与图5时,相比于图4,在图5中光束占有率提高。

[0127] 因此在本实施方式2中,在由于排列发光元件11时使用的装置的性能、光源1的电极构造或需要的发光元件11的数量等各种制约而无法采用六边形格子状的配置作为发光元件11的排列的情况下,能够将光束占有率提高到某个程度来提高复用光束的聚光性。

[0128] 实施方式3.

[0129] <圆弧状的排列>

[0130] 图6为示出本发明的实施方式3的复用光学系统中的、光源301中包含的发光元件11的排列的图。另外,图7为示出本实施方式3的透镜阵列304中的透镜区域340的排列的图。

[0131] 在本实施方式3中,光源301包括10个发光元件11。10个发光元件11在散热器3的面31上的圆周上以等角度排列。面31例如为单个面。

[0132] 本实施方式3的由圆周上的等角度的排列而得到的光束占有率低于实施方式1的由六边形格子状的排列而得到的光束占有率。然而,当比较本实施方式3的图6与图7时,相比于图6,在图7中光束占有率提高。

[0133] 因此,在本实施方式3中,在由于排列发光元件11时使用的装置的性能、光源1的电极构造或需要的发光元件11的数量等各种制约而无法采用六边形格子状的配置作为发光元件11的排列的情况下,能够将光束占有率提高到某个程度来提高复用光束的聚光性。

[0134] 实施方式4.

[0135] <多面体棱镜>

[0136] 图8为示出本发明的实施方式4的复用光学系统400的、包括光轴A的面的截面的图。

[0137] 复用光学系统400具备光源1、多面体棱镜402以及透镜阵列4。复用光学系统400可以具备光纤5。

[0138] 在本实施方式4中,使用多面体棱镜402来代替实施方式1的透镜2。在这一点以外,

复用光学系统400与复用光学系统100相同或相似。因此,对与复用光学系统100相同或相似的构成要素附加相同附图标记并省略其说明。

[0139] 将从光源1的各发光元件11到多面体棱镜402的距离设为 L_{401} 。另外,将从多面体棱镜402到透镜阵列4的距离设为 L_{402} 。进而将从透镜阵列4到光纤5的入射面51的距离设为 L_{403} 。

[0140] 多面体棱镜402配置于光源1与透镜阵列4之间。多面体棱镜402具有与多个发光元件11分别对应的棱镜面 P_n 。其中,后缀 $n=1,2,3,\dots,N$ 。N为发光元件11的数量。另外,后缀 n 也与中心光线 A_n 的后缀 n 对应。即,棱镜面 P_n 的后缀 n 与中心光线 A_n 的后缀 n 相同。

[0141] 多面体棱镜402具有入射面421以及出射面422。多面体棱镜402的入射面421为与复用光学系统400的光轴A垂直的平面。多面体棱镜402的出射面422包括棱镜面 P_n 。其中棱镜面 P_n 为与N个发光元件11分别对应的互为不同朝向的面。

[0142] 在此,棱镜面 $P_1\sim P_N$ 相对于光轴A的倾斜被规定为使得从各发光元件11出射的各激光光线各自的中心光线 A_n 在距多面体棱镜402焦距 F_{402} 的光轴A上相交。距多面体棱镜402焦距 F_{402} 的光轴A的位置为聚光位置。在本实施方式4中,聚光位置为光纤5的入射面51的中心50。

[0143] 从各发光元件11出射的各激光光线垂直地入射于多面体棱镜402的入射面421。入射于多面体棱镜402的各激光光线分别从对应的棱镜面 P_n 出射。

[0144] 从多面体棱镜402出射的各激光光线向着上述聚光位置行进。在假设不存在透镜阵列4的情况下,从多面体棱镜402出射的各激光光线的各中心光线 A_n 聚光于光纤5的入射面51的中心50。

[0145] 在从多面体棱镜402出射的多个激光光线中,相邻的激光光线彼此随着行进而相互接近。然后,在距多面体棱镜402距离 L_{402} 的位置,相邻的激光光线的最外直径相互接触。

[0146] 在距多面体棱镜402距离 L_{402} 的位置配置有透镜阵列4。换言之,透镜阵列4配置于从多面体棱镜402出射的相邻的激光光线的最外直径相互接触的位置。然后,各激光光线入射于透镜阵列4的对应的各透镜区域40。

[0147] 各激光光线在最大限度地抑制能量损耗的状态下透射透镜阵列4。透射过透镜阵列4的各激光光线聚光于光纤5的入射面51的中心50而成为复用光束,能量集中于此。

[0148] 在本实施方式4中,复用光学系统400的条件被设定为使得距离 L_{402} 与距离 L_{403} 之和与焦距 F_{402} 相等。此外,复用光学系统400的条件是指例如焦距 F_{402} 、透镜阵列4的焦距 F_{404} 、距离 L_{401} 、距离 L_{402} 、距离 L_{403} 等。

[0149] 根据光源1的特性以及想要得到的复用光束的特性来设定复用光学系统400的条件。如此,与实施方式1同样地能够得到聚光性高的复用光束。

[0150] 此外,多面体棱镜402的入射面421可以不是平面。例如,入射面可以为多面体。

[0151] 另外,本发明的光路变更部件在实施方式1~3中为透镜2,在实施方式4中为多面体棱镜402。然而,光路变更部件不限于这两个。例如还能够使用衍射光学元件作为光路变更部件。通过使用衍射光学元件,能够使光路变更部件变薄。

[0152] 此外,在上述各实施方式中,有时使用“平行”或“垂直”等表示部件之间的位置关系或者部件的形状的术语,而这些术语表示包括考虑到制造上的公差、组装上的偏差等的范围。因此,在权利要求书中存在表示部件之间的位置关系或部件的形状的记载的情况下,

表示包括考虑了制造上的公差、组装上的偏差等的范围。

[0153] <透镜阵列的的形状的设计方法>

[0154] 最后对前述的实施方式1的透镜阵列4的的形状的设计方法进行补充说明。在实施方式1中,为了提高复用光束的聚光性,需要适当地设计透镜阵列4及透镜阵列4中包含的各透镜区域40的透镜面的形状。此外,以下说明的设计方法还能够同样地应用于实施方式2~4。

[0155] 图9为说明实施方式1的透镜阵列4的的形状不适当时的、透射透镜阵列4的激光光线的聚光的情形图。在图9中,在透镜阵列4中包含的各透镜区域40中,复用光学系统100的光轴A上的透镜区域 $40R_1$ 和光轴A外的透镜区域 $40R_2$ 及 $40R_3$ 均为相同形状并且位于相同平面上。

[0156] 在图9中,透射过光轴A上的透镜区域 $40R_1$ 的激光光线在光纤5的入射面51形成最小光点。与此相对,透射过光轴A外的透镜区域 $40R_2$ 及 $40R_3$ 的激光光线在到达入射面51之前形成了最小光点。另外,各激光光线不在1点相交,而是错开地相交。

[0157] 像这样,在激光光线相对于透镜区域40的光轴倾斜地入射的情况下,容易产生场曲(field curvature)、像散(astigmatism)、彗形像差(coma)等像差。在产生了像差的复用光学系统中,聚光光点变大。其结果是,光纤5的入射面51处的光束直径变大,复用光束的聚光性变低。

[0158] 作为校正这些像差的方法,已知有组合多个透镜、或是将透镜面设为非球面的方法。然而,在使用透镜阵列的结构中,使用多个透镜来校正像差的方法不适合。这是因为,透镜阵列为昂贵的光学部件,并且需要高精度地调节多个透镜阵列的相对位置。另一方面,已知上述像差中的场曲为无法用1个透镜来校正的像差。

[0159] 在此,考虑如下方法:使用1个透镜阵列,使透射各透镜区域的激光光线的聚光位置一致,从而得到聚光性高的复用光束。此外,在此所谓的透镜阵列的形状是指各透镜区域的两面的形状及厚度,还有透镜阵列内的各透镜区域的相对位置。另外,为了在全部透镜区域中都具有相等倍率,各透镜区域的焦距应该相等。

[0160] <透镜阵列的优选的形状:第1例>

[0161] 图10为示出实施方式1的透镜阵列4的优选的的形状的第1例的图。

[0162] 在图10中,透镜阵列4的各透镜区域40的光轴与复用光学系统100的光轴A平行。

[0163] 在各透镜区域40中都是至少一个透镜面、在此为光源侧的透镜面为非球面,校正除场曲以外的像差。尤其是,光轴A外的透镜区域 $40R_2$ 及 $40R_3$ 抑制像散及彗形像差。此外,如果将各透镜区域40的两面设为非球面,则有时能够更好地校正像差。

[0164] 在图10中,将透镜区域 $40R_1$ 、 $40R_2$ 及 $40R_3$ 的光源侧的透镜面分别设为 $S1_{R1}$ 、 $S1_{R2}$ 及 $S1_{R3}$ 。另外,将透镜区域 $40R_1$ 、 $40R_2$ 及 $40R_3$ 的聚光点侧的透镜面分别设为 $S2_{R1}$ 、 $S2_{R2}$ 及 $S2_{R3}$ 。

[0165] 进而,将光源侧的透镜面 $S1_{R1}$ 、 $S1_{R2}$ 及 $S1_{R3}$ 各自的曲率设为 C_{1R1} 、 C_{1R2} 及 C_{1R3} 。另外,将聚光点侧的透镜面 $S2_{R1}$ 、 $S2_{R2}$ 及 $S2_{R3}$ 各自的曲率分别设为 C_{2R1} 、 C_{2R2} 及 C_{2R3} 。

[0166] 此时,曲率 C_{2R1} 、 C_{2R2} 及 C_{2R3} 被设计为满足以下关系式。

[0167] $C_{2R1} < C_{2R2} < C_{2R3}$ (1)

[0168] 一般而言,各透镜区域40的聚光点侧的透镜面的曲率被设计为随着该透镜区域的光轴与复用光学系统100的光轴A的距离越长而越变大。

[0169] 在焦距恒定的情况下,当增大聚光点侧的各透镜面的曲率时,能够取得长的后焦

点。在如上述那样设计透镜阵列4的情况下,对于越与复用光学系统100的光轴A远离的透镜区域40,从聚光点侧的透镜面到聚光位置的距离越变长。即,通过对于越与复用光学系统100的光轴A远离的透镜区域40而越增大聚光点侧的透镜面的曲率,从而能够使后焦点的延长和由场曲引起的聚光位置的前倾抵消。结果是,透射过各透镜区域40的激光光线在相同位置形成最小光点。

[0170] 此外,在上述的情况下,前焦点变短。然而,在实施方式1中,距离 L_2 是距离 L_3 的几倍至几十倍大。因此,由于前焦点的场曲程度的微小距离变化而导致的影响很小。

[0171] 通过如上述那样设计透镜阵列4的形状,能够校正像差以得到良好的聚光光点,并且能够使形成最小光点的位置对齐,能够提高复用光束的聚光性。

[0172] <透镜阵列的优选的形状:第2例>

[0173] 图11为示出实施方式1的透镜阵列4的优选的形状的第2例的图。

[0174] 在图11中,透镜阵列4的各透镜区域40的光轴与复用光学系统100的光轴A平行。另外,各透镜区域40为相同形状。即,在各透镜区域40中,光源侧的透镜面的形状全都相同,另外,聚光点侧的透镜面的形状也全都相同。

[0175] 在各透镜区域40中,至少一个透镜面、在此为光源侧的透镜面为非球面,校正除场曲以外的像差。

[0176] 另外,当关注于透镜区域 $40R_1$ 、 $40R_2$ 及 $40R_3$ 时,它们越位于透镜阵列4的边缘,即按照透镜区域 $40R_1$ 、透镜区域 $40R_2$ 、透镜区域 $40R_3$ 的顺序,则越向聚光点侧突出。即,该透镜区域的光轴距复用光学系统100的光轴A越远,则该透镜区域被配置于沿着复用光学系统100的光轴A越向聚光点侧偏离的位置。

[0177] 换言之,各透镜区域40的光轴与复用光学系统100的光轴A的距离越长,该透镜区域的聚光点侧的透镜面的面顶点沿着复用光学系统100的光轴A越位于聚光点侧。据此,由场曲引起的像面的前倾被校正。

[0178] 此外,由于越靠边缘的透镜区域40越向聚光点侧突出,透镜区域40与透镜2的距离略微变短。然而,与上述第1例的情况同样地,由此产生的影响很小。

[0179] 通过如上述那样设计透镜阵列4的形状,能够校正像差以得到良好的聚光光点,并且能够使形成最小光点的位置对齐,能够提高复用光束的聚光性。

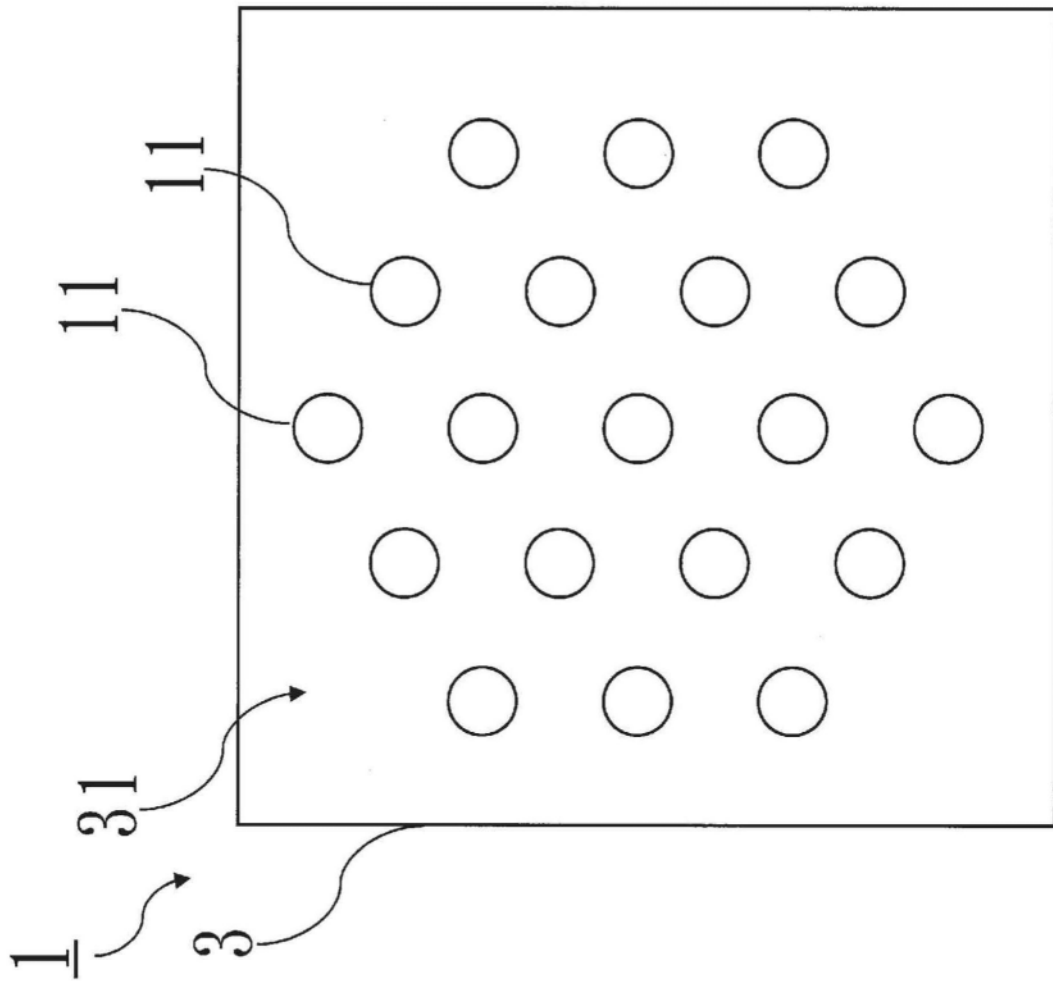


图2

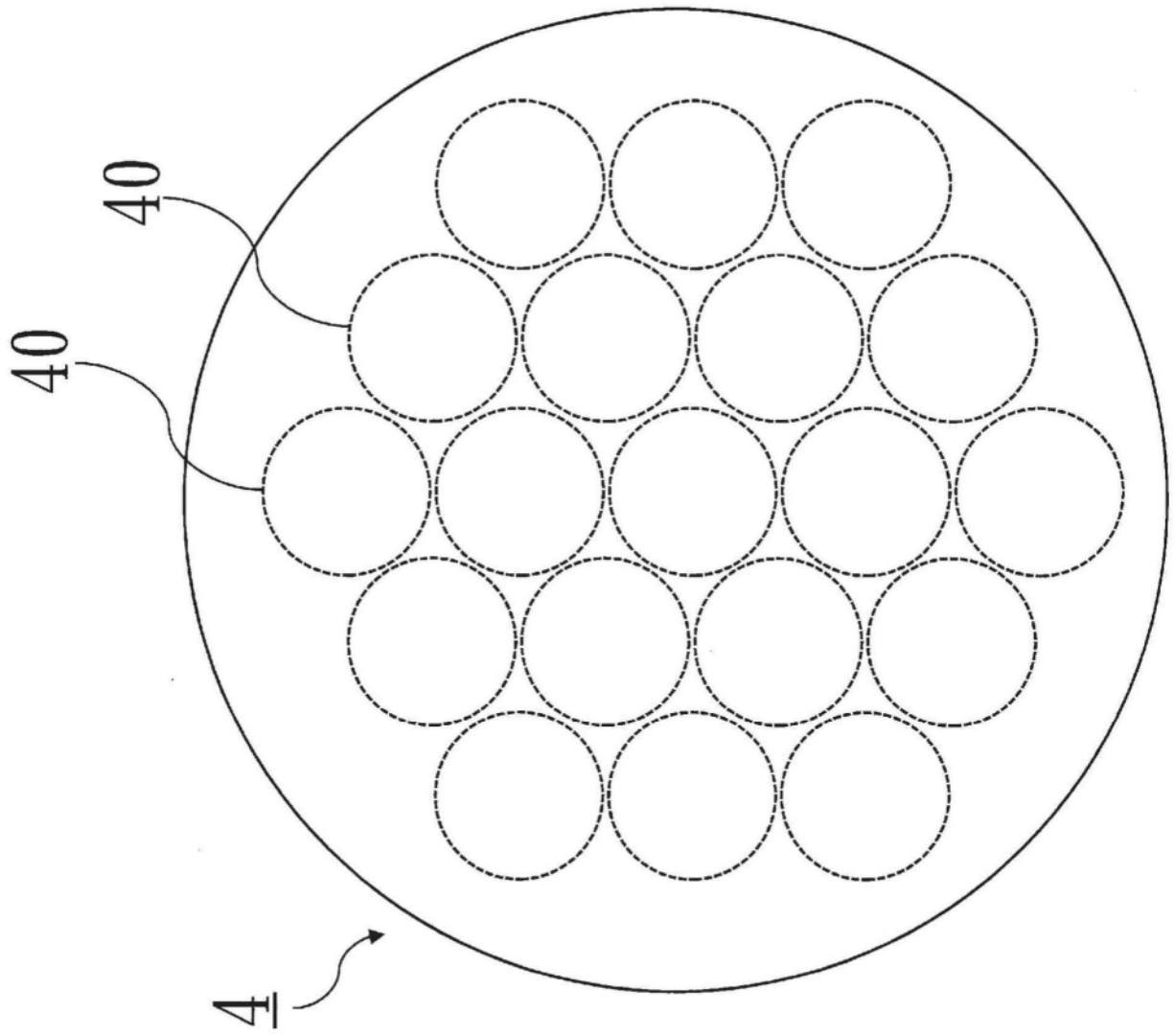


图3

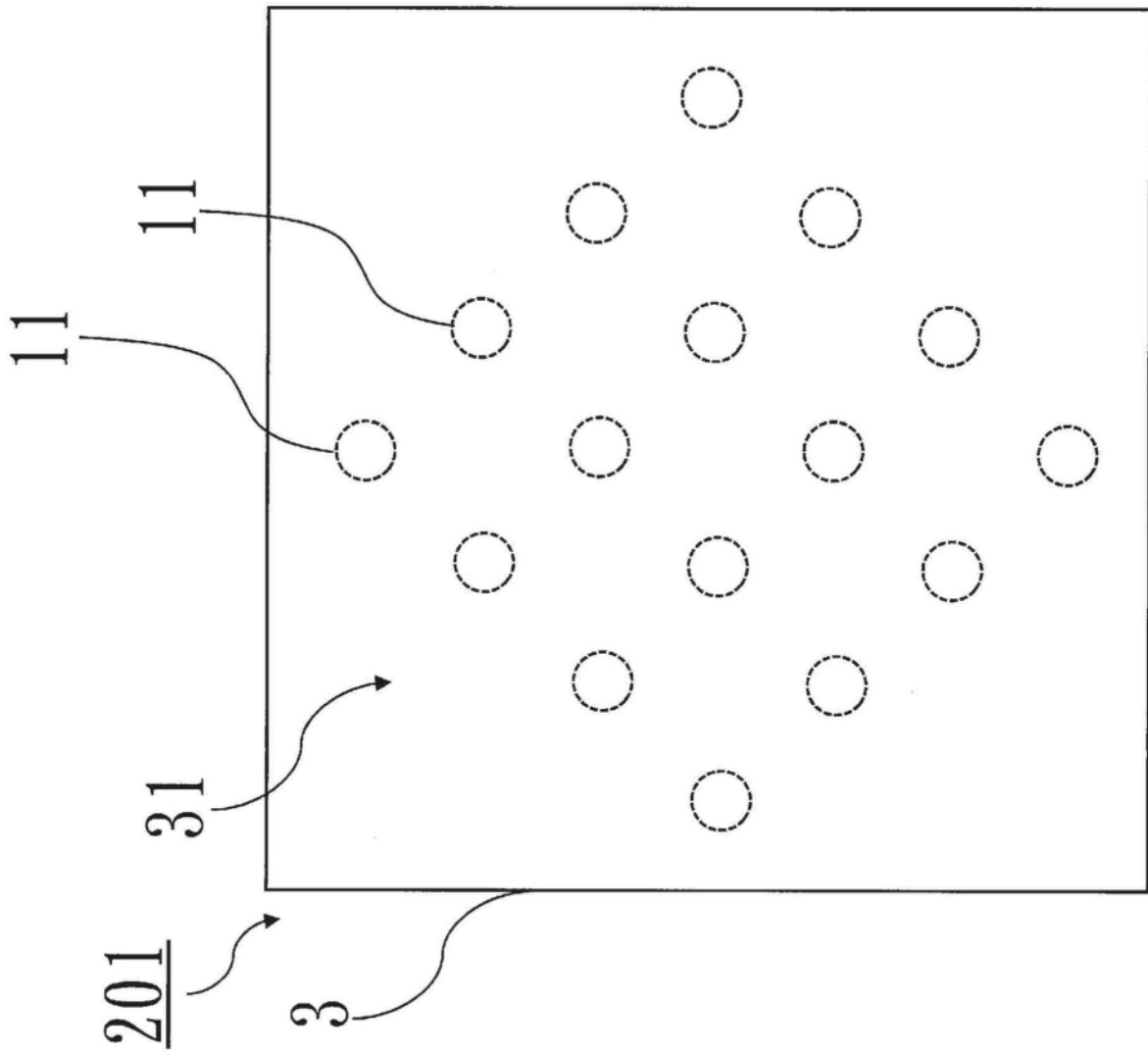


图4

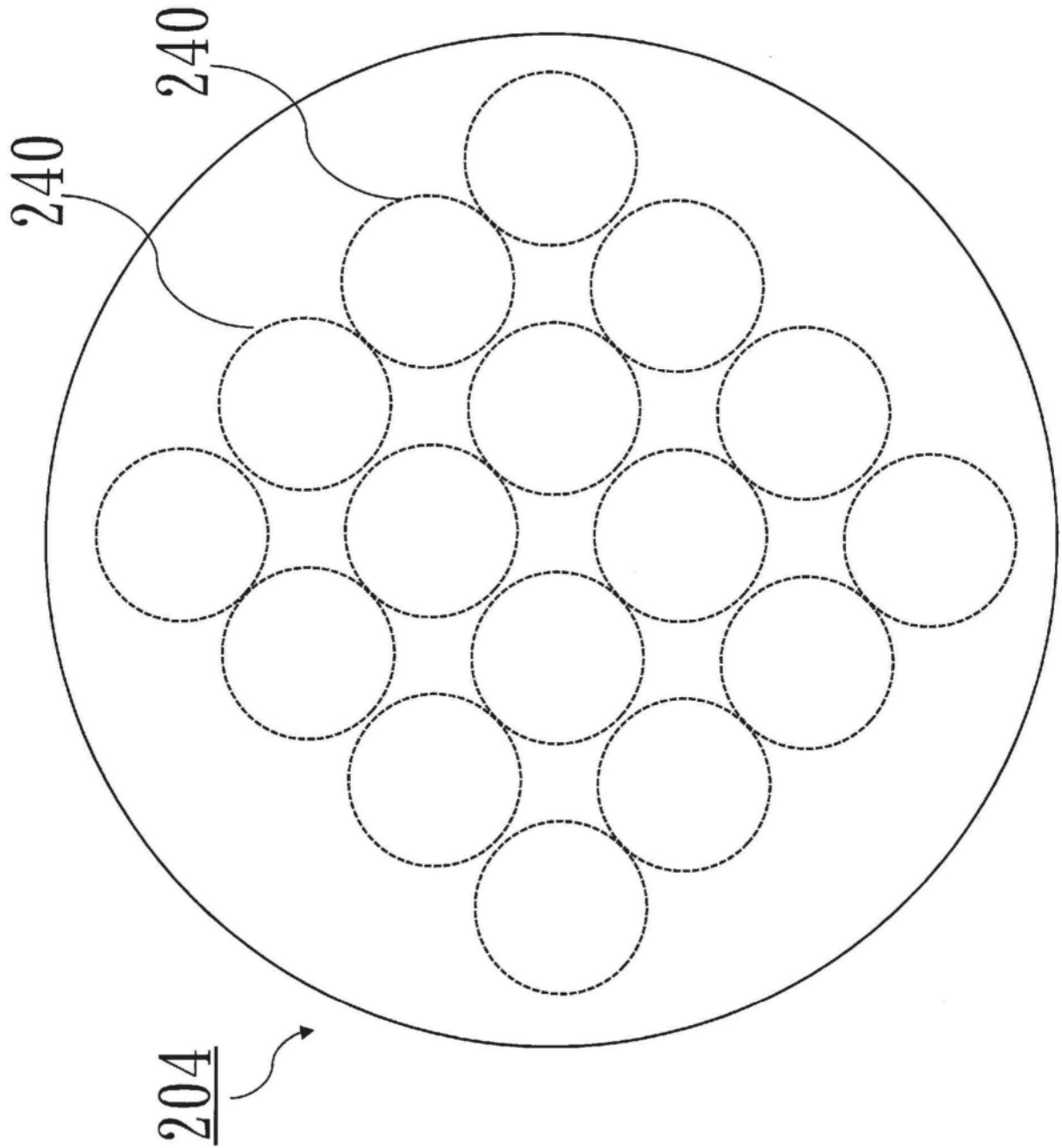


图5

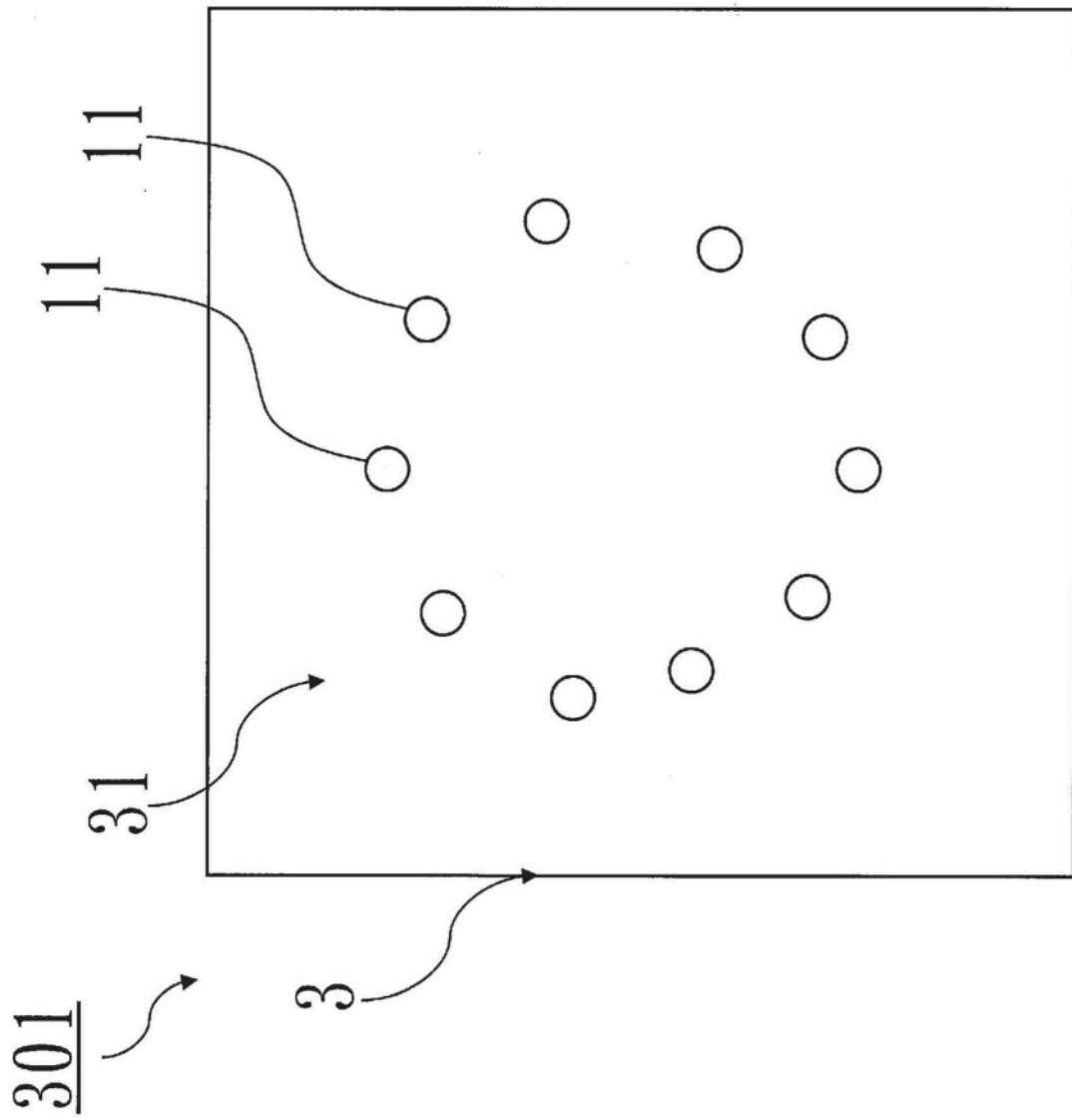


图6

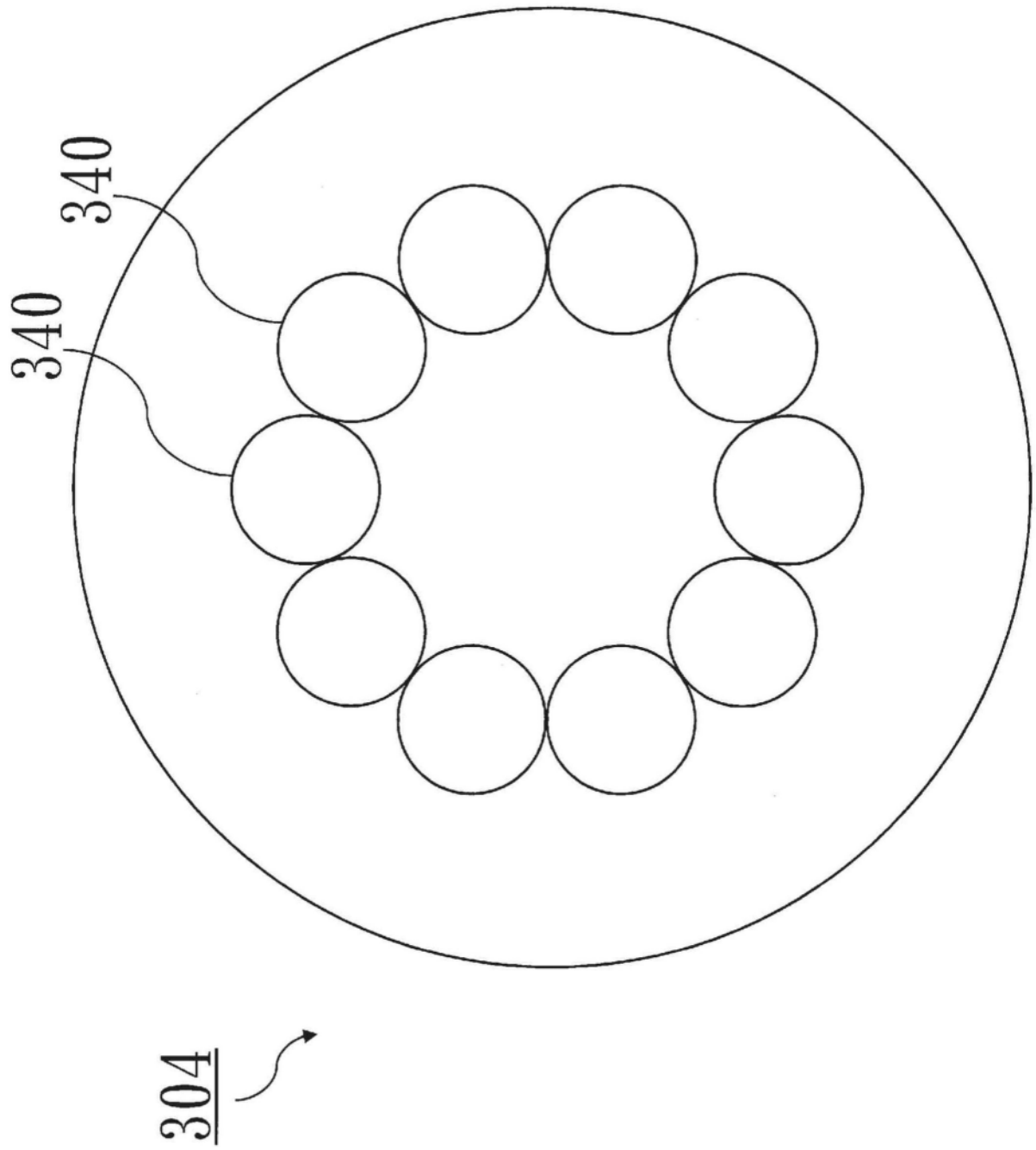


图7

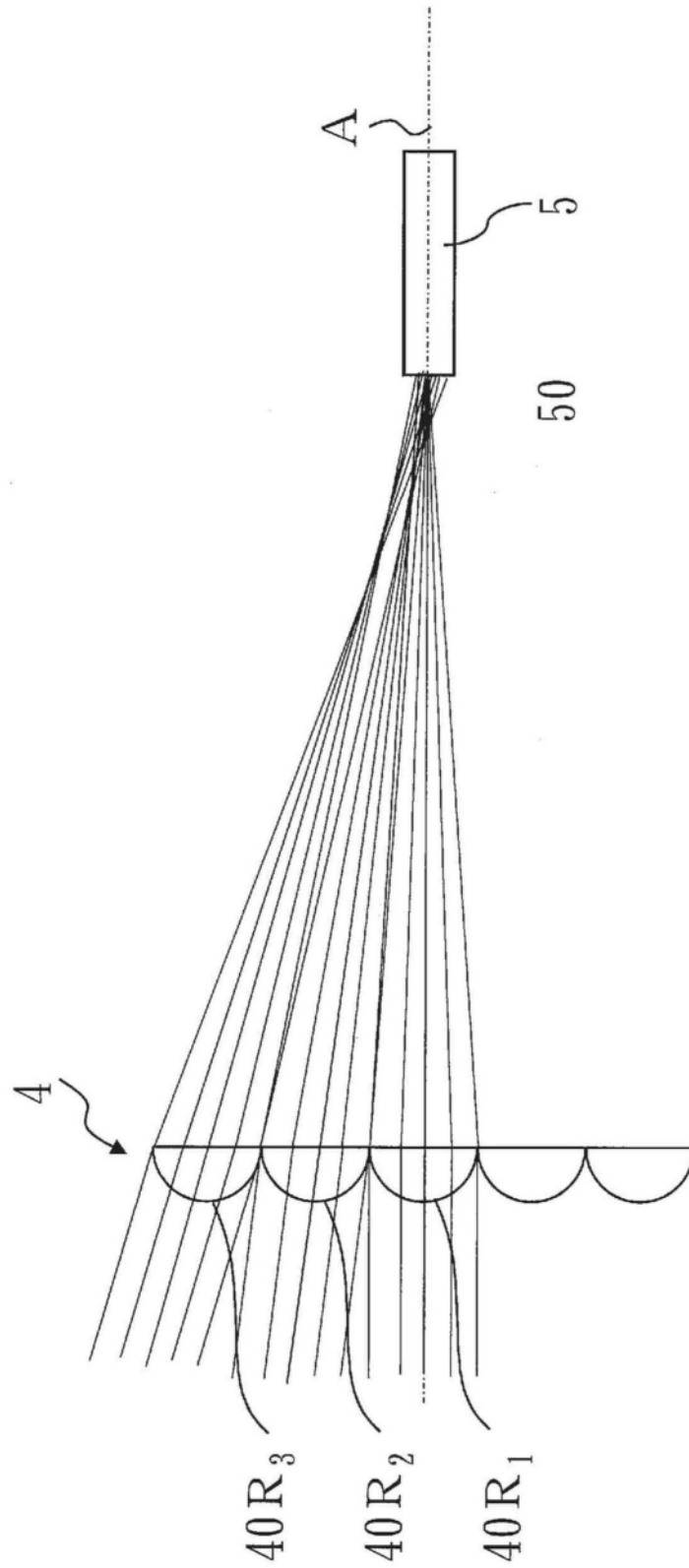


图9

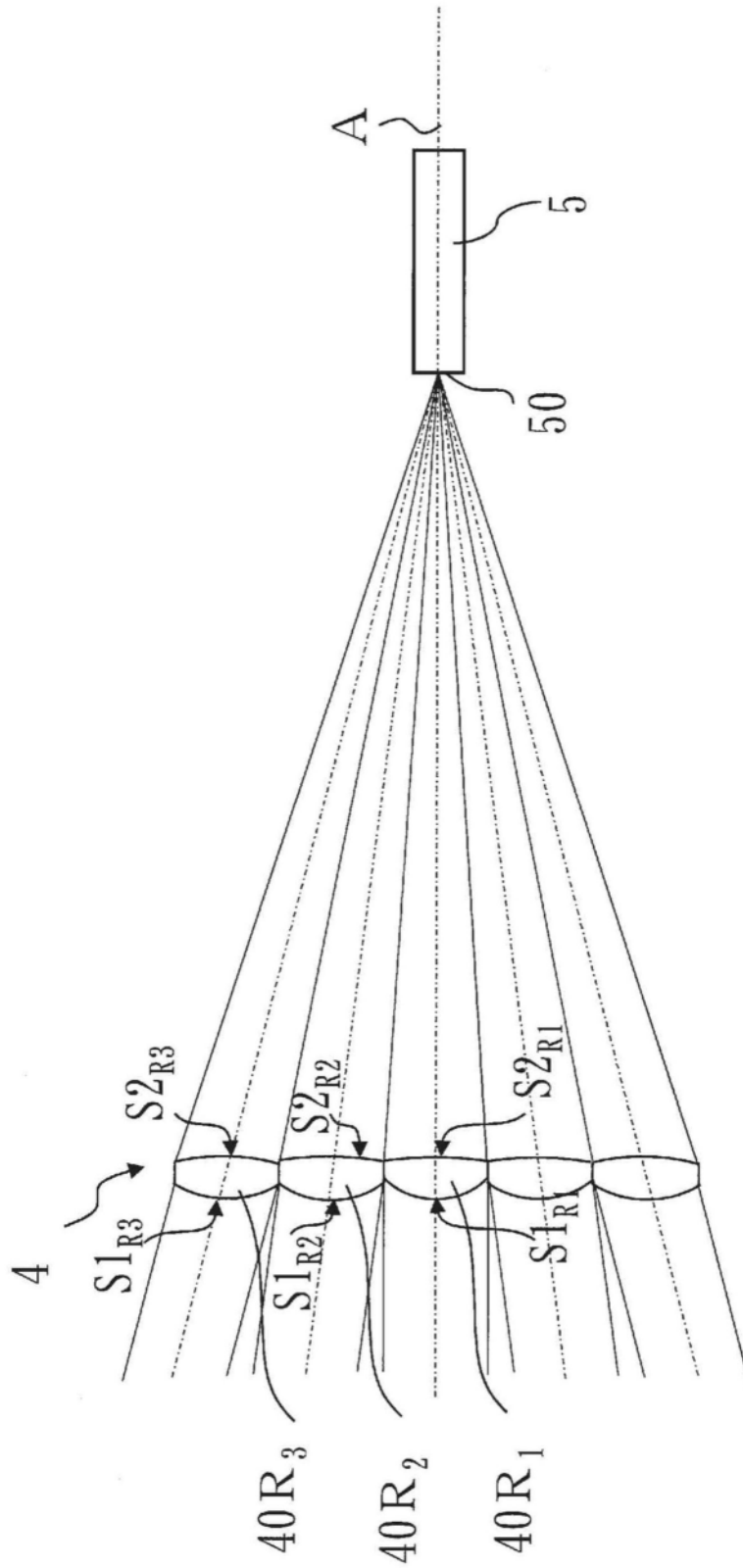


图10

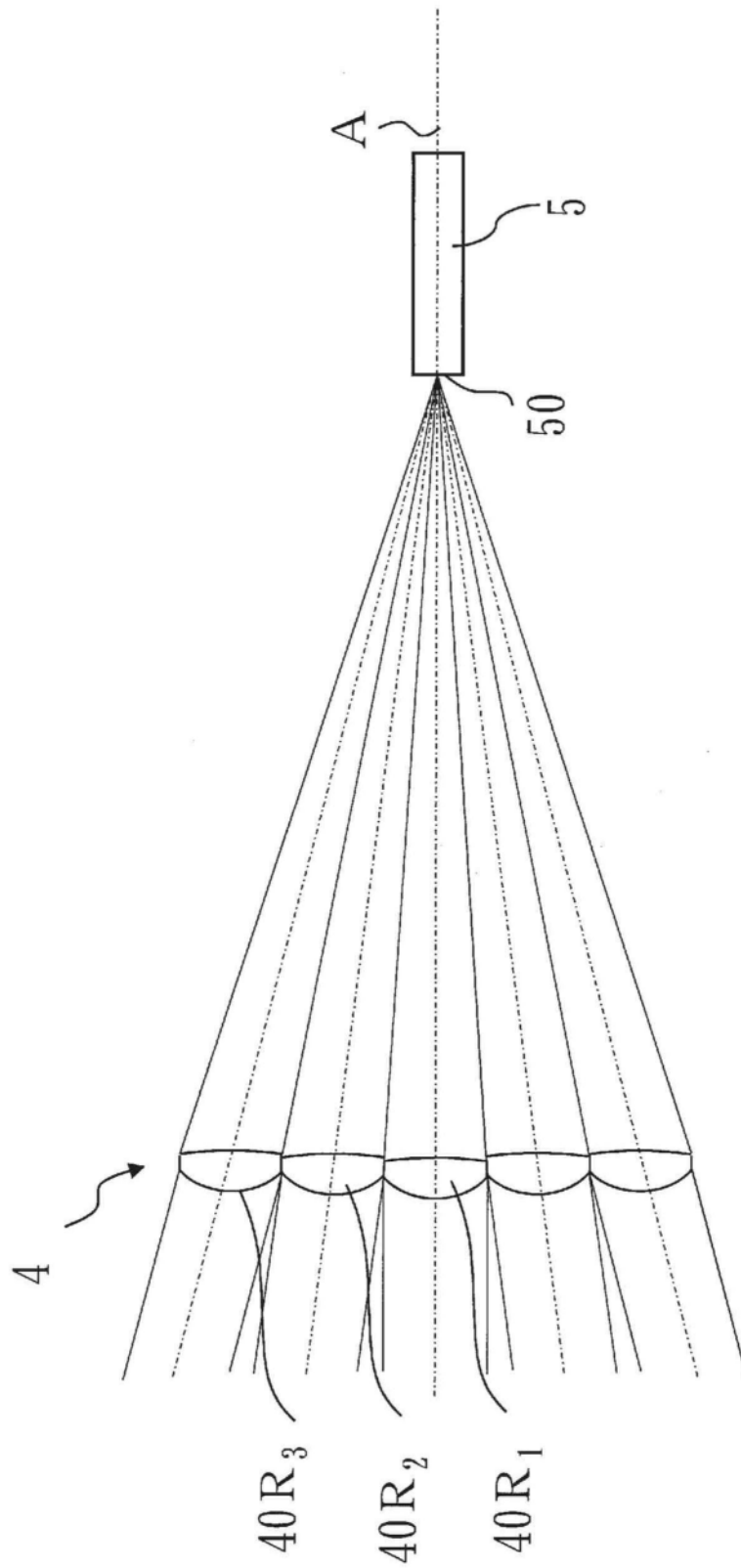


图11