



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102483483 A

(43) 申请公布日 2012. 05. 30

(21) 申请号 200980161082. 5

(22) 申请日 2009. 06. 24

(30) 优先权数据

12/490, 432 2009. 06. 24 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 02. 23

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2009/048382 2009. 06. 24

(87) PCT申请的公布数据

W02010/151254 EN 2010. 12. 29

(71) 申请人 罗切斯特大学

地址 美国纽约州

(72) 发明人 邓肯·T·摩尔 格雷格·R·施密特

布莱尔·L·芒格

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262

代理人 周靖 郑霞

(51) Int. Cl.

G02B 6/00(2006. 01)

权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 12 页

(54) 发明名称

梯级式光收集和会聚系统、及其组件和方法

(57) 摘要

一种光波导包括具有横向取向的侧端面的光波导层和第一组光注入元件, 横向取向的侧端面形成在前向传播方向传播的光离开光波导的端面的主输出孔(出口)(如 CPV 应用), 和形成在后向传播方向传播的光进入光波导的端面的主输入孔(入口)(如照明器应用), 第一组光注入元件在第一平面沿着平行于侧端面的线在前向光传播方向形成梯级(错开)或在相应的第一平面沿 Z 轴光传播方向关于 Y 轴旋转(倾斜), 光注入元件沿垂直于侧端面的平行线布置。光波导组件还可包括在至少第二平面形成梯级的至少第二组光注入元件。光波导系统包括组件光波导, 邻近光波导顶表面布置的小透镜阵列, 以及紧邻光波导顶表面和底表面中的至少一个布置的光传输 TIR 介质层。

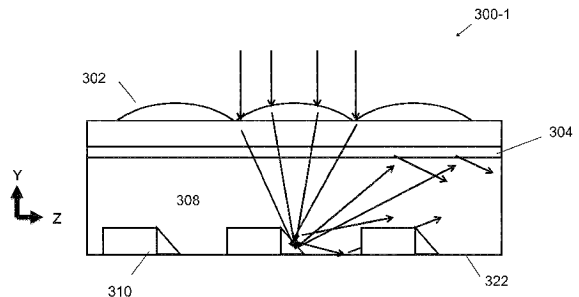


图3

1. 一种光波导系统,包括:

光波导,其具有顶表面和底表面、以及横向取向的侧端面,所述侧端面形成光传播进入和离开所述光波导的主孔,所述光波导的特征在于折射率为 n_1 ,其特征还在于在朝向或远离所述主孔的预期的光传播方向上的长度尺寸;

第一组光注入元件,其被布置在所述顶表面和所述底表面的至少一个中,并从其与该表面成一个角度地向内延伸,其中所述光注入元件在相应的第一平面沿着平行于所述侧端面的线在 Z 轴光传播方向形成梯级(错开);

小透镜阵列,其具有限定的小透镜平面,且邻近所述光波导的顶表面布置,每一小透镜与相应的光注入元件是光学配准的;以及

光传输介质层,其以折射率 n_{med} 为特征,其中 n_{med} 小于 n_1 ,所述光传输介质层被布置在所述小透镜阵列和所述光波导的所述顶表面之间。

2. 如权利要求 1 所述的光波导系统,还包括至少第二组光注入元件,所述至少第二组光注入元件与所述第一组光注入元件相同地被布置在所述顶表面和所述底表面的至少一个中,并从其与该表面成一个角度地向内延伸,其中所述至少第二组光注入元件在相应的至少第二平面沿着平行于所述侧端面的线在 Z 轴光传播方向形成梯级。

3. 如权利要求 2 所述的光波导系统,其中所述介质层相对于所述小透镜平面不是倾斜的,而且其中所述光波导相对于所述小透镜平面不是倾斜的,而且其中所述至少第二平面相对于所述第一平面垂直移位。

4. 如权利要求 2 所述的光波导系统,其中所述介质层相对于所述小透镜平面是倾斜的,而且其中所述光波导相对于所述小透镜平面是倾斜的,所述光波导平行于所述介质层,而且其中所述至少第二平面相对于所述第一平面垂直移位。

5. 如权利要求 2 所述的光波导系统,其中所述介质层相对于所述小透镜平面不是倾斜的,而且其中所述光波导相对于所述小透镜平面不是倾斜的,而且其中所述第一平面和所述至少第二平面相对于所述小透镜平面平行地倾斜并且没有相互垂直移位。

6. 如权利要求 1 所述的光波导系统,其中所述光注入元件是空气棱镜。

7. 如权利要求 1 所述的光波导系统,其中所述光传输介质层是空气。

8. 如权利要求 1 所述的光波导系统,其中所述光传输介质层是固体。

9. 如权利要求 1 所述的光波导系统,还包括 TIR 层,所述 TIR 层被紧邻所述光波导的所述底表面布置。

10. 如权利要求 9 所述的光波导系统,其中所述多个光注入元件被布置在所述光波导的所述底表面。

11. 如权利要求 1 所述的光波导系统,其中所述小透镜阵列是折射小透镜阵列。

12. 如权利要求 11 所述的光波导系统,其中每一小透镜在两个维度具有曲率。

13. 如权利要求 12 所述的光波导系统,其中所述曲率是相等的。

14. 如权利要求 1 所述的光波导系统,其中所述小透镜阵列是菲涅耳透镜阵列。

15. 如权利要求 1 所述的光波导系统,其中所述小透镜阵列具有提供将来自实质上平面波输入光的光会聚在所述注入元件上的光学特性。

16. 一种光波导系统,包括:

光波导,其具有顶表面和底表面,以及横向取向的侧端面,所述侧端面形成光传播进入

和离开所述光波导的主孔,所述光波导的特征在于折射率为 n_1 ,其特征还在于在朝向或远离所述主孔的预期的光传播方向上的长度尺寸;

第一组光注入元件,其被布置在所述顶表面和所述底表面的至少一个中,并从其与该表面成一个角度地向内延伸,其中所述光注入元件在相应的第一平面在 Z 轴光传播方向关于 y 轴旋转(倾斜),其中所述光注入元件沿着垂直于所述侧端面的平行线布置;

小透镜阵列,其具有限定的小透镜平面,并邻近所述光波导的顶表面布置,其中每一小透镜与相应的光注入元件是光学配准的;以及

光传输介质层,其以折射率 n_{med} 为特征,其中 n_{med} 小于 n_1 ,所述光传输介质层被布置在所述小透镜阵列和所述光波导的所述顶表面之间。

17. 一种光波导装置,所述装置包括:

光波导,其具有顶表面和底表面,以及横向取向的侧端面,所述侧端面形成光传播进入和离开所述光波导的主孔,所述光波导的特征在于折射率为 n_1 ,其特征还在于在朝向或远离所述主孔的预期的光传播方向上的长度尺寸;以及

第一组光注入元件,其被布置在所述顶表面和所述底表面的至少一个中,并从其与该表面成一个角度地向内延伸,其中所述光注入元件在相应的第一平面沿着平行于所述侧端面的线在 Z 轴光传播方向形成梯级(错开)。

18. 如权利要求 17 所述的光波导装置,还包括至少第二组光注入元件,所述至少第二组光注入元件与所述第一组光注入元件相同地被布置在所述顶表面和所述底表面的至少一个中,并从其与该表面成一个角度地向内延伸,其中所述至少第二组光注入元件在相应的至少第二平面沿着平行于所述侧端面的线在 Z 轴光传播方向形成梯级。

19. 如权利要求 18 所述的光波导装置,其中所述光波导相对于水平面不是倾斜的,而且其中所述至少第二平面相对于所述第一平面垂直移位。

20. 如权利要求 18 所述的光波导装置,其中所述光波导相对于水平面是倾斜的,而且其中所述至少第二平面相对于所述第一平面垂直移位。

21. 如权利要求 18 所述的光波导装置,其中所述光波导相对于水平面不是倾斜的,而且其中所述第一平面和所述至少第二平面相对于所述水平面平行地倾斜并且没有相互垂直移位。

22. 如权利要求 17 所述的光波导装置,其中所述光注入元件是空气棱镜。

23. 如权利要求 17 所述的光波导装置,还包括 TIR 层,所述 TIR 层被紧邻所述光波导的所述顶表面布置。

24. 如权利要求 23 所述的光波导装置,其中所述多个光注入元件被布置在所述光波导的所述底表面。

25. 一种光波导装置,包括:

光波导,其具有顶表面和底表面,以及横向取向的侧端面,所述侧端面形成光传播进入和离开所述光波导的主孔,所述光波导的特征在于折射率为 n_1 ,其特征还在于在朝向或远离所述主孔的预期的光传播方向上的长度尺寸;以及

第一组光注入元件,其被布置在所述顶表面和所述底表面的至少一个中,并从其与该表面成一个角度地向内延伸,其中所述光注入元件在相应的第一平面在 Z 轴光传播方向关于 y 轴旋转(倾斜),其中所述光注入元件沿着垂直于所述侧端面的平行线布置。

梯级式光收集和会聚系统、及其组件和方法

[0001] 联合研究协议

[0002] 本申请从在该即时申请的受让人、罗切斯特大学和阿本戈亚太阳能新技术有限公司之间的先前存在的联合研究协议得来。

[0003] 发明背景

[0004] 1、发明领域

[0005] 本发明的实施方式大体上涉及光学光波导领域,具体地说,涉及非成像光波导会聚器和照明器系统、方法以及应用。更具体地说,本发明的实施方式涉及一种在聚光光伏(CPV)太阳能应用中使用的收集及会聚系统、非成像照明系统、及其光波导组件。

[0006] 2、相关技术

[0007] 太阳能是可再生能源解决方案的重要部分。聚光光伏(CPV)具有提供成本效益和清洁能源的来源的可能性。通过使用光学器件来会聚太阳能,使用了较少的光伏(PV)材料,降低了成本,因为与光学组件相比,PV材料较为昂贵且采用能源密集型生产方式。

[0008] 序号为12/389,466、标题为LIGHT COLLECTION AND CONCENTRATION SYSTEM(光收集和会聚系统)的审查中的专利申请,在此通过引用将此申请的主题并入该申请,所述审查中的申请公开了一种包含组件光波导装置的CPV系统(也称作‘光传输结构’)。所述光波导装置包括多个导光结构100-1(也称作‘光注入元件’),在图1中通过非限制性的示例进行了图示。结合图2,其图示了一种说明性的、相关技术的平面光波导系统,来自遥远的扩展源(例如,太阳辐射)的大致沿(负)Y方向传播的入射光(例如,光1130)通过透镜201会聚,并通过光注入元件例如1104注入到光波导208中。随后所述光大致沿Z方向朝向所述光波导的出口端1150传播。分离的光注入元件1104是光波导装置的一个表面部分,其通过从光波导的底表面1022的区域延伸的局部横断的横向切口形成。根据光注入元件的X轴倾斜角、光波导的折射率,以及注入表面的外部界面的折射率,辐射可以从表面1104全内反射。可选择地或另外,类似的光注入元件1102是光波导装置的表面,其通过从顶表面部分1021的一个区域延伸的局部横断的横向切口形成。对于光注入元件1102,来自光学地耦合至光注入元件1102的主会聚器(未图示)的辐射1132被所述光注入元件拦截。阴影区1103表示在表面1102上的反射涂层,其将入射光1132反射到结构内以便随后在光波导装置内部朝向和离开出口端1150的TIR传播(沿Z方向)。光注入元件的精确的角方向将依赖于反射过程(例如,反射(直接或TIR)、折射、衍射)的性质、主透镜 $f/\#$ 、以及光波导折射率 n_1 。例如,在光注入元件1104后面的凹口区域可以填充较低折射率的电介质材料以帮助TIR进入所述光传输结构。所述光注入元件的典型尺寸是倾斜的反射表面为 $130\mu\text{m}$ - $140\mu\text{m}$,基底尺寸大约 $130\mu\text{m}$,和高度尺寸大约 $140\mu\text{m}$ 。依赖于所述光波导结构的长度(Z方向)和宽度(X方向),将有许多光注入元件(例如,1102、1104、两者),其在所述传输结构中是必须存在的。

[0009] 然而,由于穿过所述传输结构的光传播通过与下游的光注入元件相互作用而受到阻碍,光注入元件的存在导致了非理想的光波导。通过在光注入元件的吸收或散射,在光注入元件的光的出耦合,或与光注入元件相互作用而导致的展度弱化(etendue dilution)将

可能发生光损耗。

[0010] 在 CPV 应用中,该系统的总体目标是收集尽可能多的太阳辐射并尽可能地将这些辐射会聚以用于输入至在出射面上或出射面附近的 PV 电池中。系统进一步的目标包括最大化主会聚器接收角,最大化注入会聚,最大化光波导会聚,以及最小化组件及系统的重量和厚度。

[0011] 在照明器应用中,该系统的总体目标包括从输入在其侧端上的会聚光产生在光波导的顶表面和 / 或底表面上的期望的输出照明模式。

[0012] 发明概述

[0013] 本发明的一个实施方式是一种组件光波导。所述光波导包括具有顶表面、底表面和横向取向的侧端面的光波导层以及第一组光注入元件,所述顶表面和底表面中的至少一个是大体上平坦的表面,所述横向取向的侧端面形成沿前向传播方向传播的光离开光波导的端面的主输出孔(出口)(例如,CPV 应用),其也形成沿后向传播方向传播的光进入光波导的端面的主输入孔(入口)(例如,照明器应用),其特征在于折射率为 n_1 ;所述第一组光注入元件被布置在所述顶表面和所述底表面中的至少一个上,并从其相对于该表面成一个角度地向内延伸,其中所述光注入元件在相应的第一平面沿着平行于所述侧端面的线在前向光传播方向形成梯级(错开)。依据一个方面,所述光波导组件还包括至少第二组光注入元件,所述至少第二组光注入元件被布置在所述顶表面和所述底表面的至少一个中,并从其与该表面成一个角度地向内延伸,其中所述光注入元件在相应的至少第二平面沿着平行于所述侧端面的在光传播方向形成梯级。依据一个方面,所述至少第二平面是从所述第一平面垂直移位的。依据一个方面,所述光注入元件是空气棱镜或其他的反射镜;例如,金属涂覆的低折射率材料 /TIR。

[0014] 在一个选择性方面中,所述光注入元件可以关于 Y 轴旋转 (clock) 以使所述注入元件可以被布置在沿着垂直于所述侧端面的线的平行的排中。

[0015] 本发明的另一实施方式是一种光波导系统,所述光波导系统包括组件光波导,所述组件光波导包括具有顶表面、底表面和横向取向的侧端面的光波导层、第一组光注入元件、小透镜阵列及光传输介质层,所述顶表面和底表面中的至少一个是大体上平坦的表面,所述横向取向的侧端面形成沿前向传播方向传播的光离开光波导的端面的主输出孔,其也形成沿后向传播方向传播的光进入光波导的端面的主输入孔,其特征在于折射率为 n_1 ;所述第一组光注入元件被布置在所述顶表面和所述底表面的至少一个中,并从其与该表面成一个角度地向内延伸,其中所述光注入元件在相应的第一平面沿着平行于所述侧端面的线在前向光传播方向形成梯级(错开);所述小透镜阵列限定小透镜平面,其被邻近所述光波导的顶表面布置,其中每一小透镜与相应的光注入元件是光学配准的;光传输介质层以折射率 n_{med} 为特征,其中 n_{med} 小于 n_1 ,其被紧邻所述光波导的顶表面和底表面中的至少一个布置。依据一个方面,所述系统还包括至少第二组光注入元件,所述至少第二组光注入元件被布置在所述顶表面和所述底表面的至少一个中,并从其与该表面成一个角度地向内延伸,其中所述至少第二组光注入元件在相应的至少第二平面沿着平行于所述侧端面的线在光传播方向形成梯级。依据多个方面,所述介质层可以相对于所述小透镜平面倾斜或不倾斜,且所述光波导可以相对于所述小透镜平面倾斜或不倾斜,且所述至少第二平面可以相对于所述第一平面垂直移位或不垂直移位。

[0016] 在 CPV 系统应用中,上述提及的光波导系统提供了一种方式,通过该方式使来自小透镜阵列的会聚光被输入至光波导和 / 或朝向所述光传输结构的输出孔沿期望的传播方向被引导至光波导。因此光注入元件适当地起作用以捕获主会聚光点(即大部分垂直入射到波导组件中的光点)并使其方向改变 90 度(作为示例),以使它沿着光波导的长度(z 方向)朝向其出射端传播。

[0017] 以上论述的光波导层是薄片波导的形式;即具有厚度 T,其比所述结构的总体长度 L 小的多,因此具有由 T/L 定义的低纵横比。为了将穿过波导层的出射端的光出耦合到例如被布置用来直接接收出耦合的光的 PV 电池中,在此公开的光波导组件及系统的实施方式可以提供附加的光会聚。依据非限制性的方面,通过朝向所述出射端会聚性地弯曲光波导组件的至少一个侧边(Y-Z 平面)可以获得辅会聚。

[0018] 本发明的另外的特征和优势将在随后的详细说明中陈述,根据此说明或通过实践在此描述的本发明(包括随后的详细描述、权利要求书以及附图)而意识到,在某种程度上对本领域技术人员来说将是明显的。

[0019] 应该理解,上述概括描述和以下的详细描述都仅仅是本发明的示例,且意在提供用于理解所要求的本发明的性质和特征的概览或框架。包含附图以提供对本发明的进一步理解,并且附图被包含在说明书中并构成本说明书的一部分。附图图示了本发明的多种实施方式,与描述一起用于解释本发明的原理和操作。

[0020] 附图简述

[0021] 图 1 示意性地图示了依据相关技术的具有两个示例性光注入元件的说明性光传输结构的横截面;

[0022] 图 2 示意性地图示了依据相关技术的包含图 1 中的说明性光传输结构的说明性平面光波导太阳能收集及会聚系统的横截面;

[0023] 图 3 示意性地图示了依据本发明的一个说明性方面的单侧光波导系统的横截面;

[0024] 图 4 是依据本发明的一个方面的光波导收集 / 照明系统的侧截面视图;

[0025] 图 5A 是依据本发明的说明性方面的梯级式光波导的平面部分的示意性俯视图;图 5B 是依据本发明的选择性的说明性方面的梯级式光波导的平面部分的示意性俯视图;

[0026] 图 6 是依据本发明的说明性方面的单个小透镜排的光波导系统的示意性透视结构图,其图示了所述系统的水平梯级性质;

[0027] 图 7(A) 是依据本发明的一个说明性方面的提供 9x 光会聚的梯级式光波导系统的透视示意图;图 7(B-D) 是依据本发明的说明性方面的分别为 36x、9x、和 4x 光会聚的梯级式光波导系统的俯视示意图;

[0028] 图 8(A, B) 是依据本发明的说明性方面的分别具有用于增加输出光会聚的单侧弯曲的和双侧弯曲的侧边的梯级式光波导的示意图;

[0029] 图 9 是依据本发明的一个说明性方面的提供 270x 光会聚的高度会聚的梯级式光波导系统的透视示意图;

[0030] 图 10(A-C) 分别图示了依据本发明的说明性方面的梯级式光波导系统的透视图,梯级式的倾斜的小透镜阵列的顶视图,以及梯级式光波导组件的底视图;以及

[0031] 图 11(A-C) 图示了依据本发明的说明性方面的选择性梯级式光波导系统的配置的侧截面视图。

[0032] 详细描述

[0033] 现在将详细地描述本发明的示例性实施方式,在附图中图示了其实施例。如果可能的话,在所有附图中,同一参照数字将指示同一部件或类似的部件。

[0034] 同时提交的申请(律师备案号 #610P041)标题为 Light Collection and Concentration System, Components Thereof, and Methods (光收集和会聚系统、及其组件和方法),公开了微凹的光波导组件以及包含微凹的光波导组件的光收集和会聚系统等。如在其中所述的,多种结构性的光旁路元件和光注入元件均包含在所述光波导组件中以使在所述波导内部的光传播最优化,否则由于来自所述光注入元件自身的光损耗使其减少。

[0035] 依据在此描述的本发明的一个实施方式,提供了所述光波导组件的不同的结构布局,其也起到优化在所述波导内部的光传播的作用。

[0036] 图 3 示意性地图示了依据本发明的一个方面的光波导系统 300-1 的横截面,其图示了与依据在申请人的审查中的专利申请中描述的实施方式的光收集及会聚系统一样的元件。这些元件包括小透镜阵列 302、光波导(光传输)层 308,邻近所述波导层的顶表面和所述小透镜阵列直接布置的低折射率 TIR 层 304,以及空气棱镜形式的光注入元件 310,在本申请的上文及在审查中的专利申请中使用了该术语。另一低折射率 TIR 层(未图示)可以直接地邻近所述波导层的底表面 322。

[0037] 图 4 图示了具有坐标轴的光波导系统 400-1 的一部分的侧截面视图。双箭头表示根据在此论述的应用(例如,收集器或照明器),光可以沿两个方向传播。依据用于解释目的的光收集及会聚系统的实施方式,注入元件 310 起到将入射光 312 在光波导中从大体上垂直于光波导的方向(在图 4 中的负 Y 方向)改变方向至朝向光波导层 308 的出射窗 350 的(前向)传播方向(Z)的作用。

[0038] 图 5A 图示了一个示例性组件横向梯级式的光波导 500-1 的俯视图。波导 500-1 包括波导层 508,波导层 508 进一步地包括第一组空气棱镜型光注入元件 510-1,其被布置在底表面中并由此处与该表面成一个角度地向内延伸。所述光注入元件在第一、相应的 Z-X 平面的 Z 方向沿着平行于所述侧端出射面 550 的线(517)形成梯级(错开)。图 10(C) 图示了类似的视图。图 5B 图示了一个选择性的光波导组件 500-2。在此方面,光注入元件 510-2 沿着垂直于出射面 550 的线 518 排列成直排,然而,所述注入元件关于 Y 轴旋转(clock)(倾斜)以将光引导成轻微地偏离轴以减少受到上游的注入元件的干扰。

[0039] 图 6 提供了单个小透镜行光波导系统的示意性透视图,其图示了在图 5A 中所图示的系统的水平梯级性质。

[0040] 所述横向梯级式的波导提供了一种从多个小透镜收集能量并将所述能量重新定向到例如 PV 电池的手段。最小的单元包括一些数量的小透镜的带,例如根据所设计的接收角所述小透镜带包括 2 至 15 个小透镜。每一小透镜聚焦输入光并将其引导至位于此光点处或此光点附近的注入平面。当光点从一个小透镜移动至下一个小透镜时,每一注入平面扩展了波导的横向延伸(lateral extend),从而产生注入平面的阶梯效果。这样,下游的注入平面不会直接阻挡已在波导中传播的光。这种设计的‘主会聚’度量是输入孔面积与垂直于波导方向的投影的注入平面面积的比例。所述主会聚和可实现的梯级的最大数量取决于所述小透镜的接收角和数值孔径。基于一阶特性的梯级的上限由下式给出:

[0041]

$$\text{StepNumber} \leq \frac{\tan\left[\sin^{-1}\left(\frac{NA}{n_{\text{guide}}}\right)\right]}{\tan\left[\sin^{-1}\left(n_{\text{guide}}^{-1} \sin \theta_b\right)\right]}$$

[0042] 其中, NA 是沿横向维度 (x) 的小透镜的数值孔径, 和 θ_b 是所定义的接收半角。 D_x 和 D_z 是在邻近的小透镜之间的相应的 x- 间距和 z- 间距, 以及 f 是小透镜的焦距。矩形小透镜的一阶会聚由下式给出:

$$[0043] \quad C_{\text{lenslet}} = \frac{4D_x D_z}{\pi^2 f^2 \tan^2 \theta_b}$$

[0044] 针对一阶而言, 对于给定的接收角、数值孔径应该尽可能的大。球面像差、彗形像差、像散性、以及色差限制了实际的最小焦点和最大会聚。同样地, 如果所述注入平面支持 TIR, 所述数值孔径将受到进一步限制以保持针对所有的入射角的 TIR 条件。所述小透镜的输入孔可以是矩形的或歪形的以允许在一个维度上的较小的数值孔径以保持注入平面处的 TIR 条件, 但是允许在另一维度上的较大的数值孔径。

[0045] 所述注入平面的尺寸和其相对于波导的角度决定了注入的光波导的会聚。注入平面必须足够大以捕获感兴趣的接收角的焦点, 而且也必须放置在一个角度以使光被捕获在波导层中。另外, 对于 TIR 注入平面, 这个角度必须满足所有入射光的 TIR。使用较浅的平面角度可以实现高度会聚, 但是以上列出的限制条件需要陡峭的平面角度。这两个相互矛盾的因素可以在系统优化期间平衡。

[0046] 图 7(A) 示意性地图示了一个示例性、非会聚的具有被布置在 X-Z 平面中的三个梯级式的光注入平面 710 (例如, 5mm×2mm) 的组件光波导 708 的透视图。三个单独的单平凸透镜元件 702 (例如, 30mm×30mm) 接收入射辐射并将所述辐射会聚到所述注入平面上。如图所示, 小透镜与注入元件类似地形成横向梯级。注入平面 710 可能是镜面或通过 TIR 操作以将光注入到光波导中。图 7(C) 图示了图 7(A) 的俯视图, 其中每一个较大的正方形 702' 表示透镜孔的面积, $A_{\text{透镜}}$, 而每一个较小的正方形 710' 表示注入平面的面积, A_{IF} 。在此示例性方面中, $A_{\text{透镜}}/A_{\text{IF}} = 9$, 提供 9x 场会聚。图 7(B) 和图 7(D) 分别图示了示例性的 36x 和 4x 场会聚, 对应于在透镜孔处 $\pm 1.5^\circ$ 和 $\pm 14^\circ$ 的接收角。

[0047] 一旦光在波导中传播, 可以采用两种方式获得附加的辅会聚。在一个方面, 如在图 8(A) 中的波导 808-1 所示, 波导的一个侧边是弯曲的。其中, 波导层的总横向尺寸被“压缩”, 以提供附加的会聚。最大量的附加会聚与小透镜的横向数值孔径有关。小透镜的横向数值孔径和潜在的横向辅会聚是成反比例的。沿着波导的曲线的精确形状将取决于小透镜的数量和小透镜的数值孔径。最大的横向辅会聚由下式给出:

$$[0048] \quad C_{\text{lateral}} \leq \frac{n_{\text{guide}}}{\sin[U_a + \theta_b]} U_a = \sin^{-1} \frac{NA_{\text{lateral}}}{n_{\text{guide}}}$$

[0049] 可选择地, 辅会聚可以应用在出射孔和 PV 电池之前, 垂直于所述波导, 如在图 8(B) 中所示。此会聚的形状类似于经典的角-角会聚器, 以及可达到的最大会聚将取决于在 Y-Z 平面中的最大射线角。这个最大角度与主小透镜数值孔径和注入平面角有关。

$$[0050] \quad \text{波导中的一阶 Y-Z 角: } \chi = \sin^{-1} \frac{NA_{\text{YZ}}}{n_{\text{guide}}} + \theta_b + \left| 2\alpha_{\text{injection}} - \frac{\pi}{2} \right|$$

[0051] 最大 Y-Z 辅会聚： $C_{yz} \leq \frac{n_{guide}}{\sin \chi}$

[0052] 图 9 图示了比图 7 中示出的 700-1 相对地具有较高会聚的光波导系统 900-1。示范性系统 900-1 图示了作为主会聚组件的三个 30mm×30mm 小透镜 902。对于相应的 5mm×2mm 的注入平面尺寸，在图 7(B) 中所示的主会聚是 36x。光波导 908 组合在图 8A 和 8B 中所示的波导形状，其分别提供了在 ±1.5° 的接收角的总的 270x 会聚的 3x 会聚和 2.5x 会聚。

[0053] 图 10(A-C) 分别图示了梯级式光波导系统 1000-1，梯级式的倾斜的小透镜阵列的顶视图，以及梯级式光波导组件的底视图。如在图 10A、10B 中所示，所述小透镜连同注入元件相对于光传播方向 z 沿着线 z' 横向地形成梯级。因此根据在上文论述的各种性能和组件参数，可以确定在单一的 x-z 平面的小透镜和注入元件的最大数量。

[0054] 梯级式波导通过采用一种不阻碍或转向任何已经沿波导传播的光的方式定位注入平面以使在波导层中的损耗最小化。为了有效利用所述波导层的容积，注入平面可以在两个或多个垂直移位和 / 或倾斜的平面水平地形成梯级。注入平面首先在如以上论述的与光波导（水平台阶）平行的平面形成梯级。一旦达到水平梯级的限制，可以引入相对于所述波导层垂直移位的梯级。然后在形成另一垂直梯级之前，在此平面中重复所述水平梯级。这种垂直的整合允许所述系统保持较薄的轮廓而注入平面不会阻碍任何光。

[0055] 依据本发明的各个方面，如在图 11(A-C) 中所示，可以如下实现不改变单个元件的功能设计的垂直梯级：

[0056] 对于图 11(A-C) 中的每一个，由虚线 1142 图示所述小透镜平面。TIR 介质层 1145 把波导层 1108 和主透镜组件 1102 分开。在图 11A 中，梯级式光波导系统通过缩放（例如，通过缩放因子）通过垂直虚线分开的具有类似尺寸的每一连续的垂直部分 (a、b、c、d、...) 中的小透镜和梯级来实现。在此方面，所述 TIR 介质层和所述梯级式光波导部分都不相对于所述小透镜平面倾斜。水平梯级式的波导层是垂直移位的。这种设计被有利地缩放以使连续的梯级的波导层从顶部到底部排列，同时所述透镜阵列保持在同一平面上。可以做出垂直的梯级直到由于制造限制或材料吸收原因其不再具有实用性。

[0057] 如在图 11B 中所示，所述 TIR 介质层和所述梯级式光波导部分相对于所述小透镜平面是倾斜的；以及，水平梯级式的波导层是垂直移位的。然而，尽管有每一连续的梯级，但整个系统保持平坦。再次，所述波导层的连续梯级将从顶部到底部排成直线。所述 TIR 介质层将平行于所述波导层的底表面。所有特征都具有相同的大小，这便于制造。在此变形中，垂直梯级的数量将受到总的波导层厚度与梯级高度的高的限制。

[0058] 在图 11C 中，所述 TIR 介质层不相对于所述小透镜平面倾斜；所述水平成梯级的波导层相对于所述小透镜平面倾斜；以及水平梯级式的波导层不是垂直移位的。因此所述波导层相对于整个系统是平坦的。这方便了制造目的，并减少了在总长度上的限制，因为这种形式仅在倾斜梯级的角度非常小的时候是可行的。当光沿着所述波导层传播时，将增加角展度，由于光从非平行的表面弹出并最终漏出，如果波导太长的话。

[0059] 为求核实，梯级式光波导设计已用 LightTools 建模。使用 AM1.5g 太阳光谱针对 +/-1.25 度场对其进行优化。使用的光材料是 BK7 以及此模型包括吸收数据，其对性能几乎不具有影响（但是塑料中的吸收将很可能对传输和整体使用期限具有显著的影响）。类似于 $n = 1.38$ 的光学聚四氟乙烯对低折射率层进行建模。下列表格示出了倾斜的梯级式光

波导系统和缩放的梯级式光波导系统的布局。为了制造目的这些尺寸可以被缩放而不会影响光学性能（除了吸收以外）。

- [0060] 光电材料 BK7, $n = 1.5$;
 [0061] TIR 介质层, $n = 1.38$;
 [0062] AM1.5g 光谱 350-1110nm ;
 [0063] 接收角 : $\pm 1.25^\circ$;
 [0064] 所有的尺寸单位是厘米 (cm)。
 [0065]

倾斜的梯级式系统			缩放的梯级式系统		
透镜孔径	水平梯级数	片尺寸	透镜孔径	厚度	片尺寸
3	16	4	端部 (小端)	水平梯级数	2.5
1.6	垂直梯级数	几何像差	3 (1.5)	16	
平面孔径	20	112.5	1.5 (.75)	垂直梯级数	几何像差
0.2	系统长度		平面孔径	16	112.5
0.2	450		0.2 (.1)	系统长度	
厚度	梯级倾角		0.2 (.1)	272.6	
3	0.51°	尺寸单位 (mm)	厚度	梯级缩放	
			5 (2.5)	5/5.2	尺寸单位 (mm)

[0066] 当光进入系统时,主要损耗来自菲涅耳反射,~5%。忽略吸收,标称的系统效率是94%和对于 $\pm 1^\circ > 90\%$ 。添加保护玻璃,或使用用气隙代替低折射率层的系统,在没有抗反射涂层时将导致额外的8-10%的光学损耗。当吸收数据被引入模型中时,将导致损耗随着系统长度而增大。

[0067] 辅会聚器可以被添加在这些系统的端部,用于提高会聚。较大的辅会聚将需要更多的材料且使所述系统更长。建模表明 200x 会聚将仅需要在平坦的尺寸和大约一厘米的材料中会聚。更高的会聚将需要在两个维度起作用的更长的辅会聚器。

[0068] 尽管以上将组件光波导和光波导系统描述为可应用于光收集及会聚系统,例如 CPV 太阳能系统的前向传播系统,应该理解,光学上,该系统可以反向工作。在此方面中,会聚的光源可以在侧端出射 / 进入孔输入至波导层,沿着 (负)Z 方向传播至注入元件,并反射离开所述波导层到小透镜阵列 (或者其他的聚光器系统) 上以在扩大的范围内提供照明。

[0069] 本文中描述本发明的 (尤其在随附权利要求的上下文中) 而使用的术语“一个 (a)”和“一个 (an)”和“这 (the)”以及类似的用语将被解释为涵盖单数和复数两者,除非本文另外指明或由上下文明确指出其相反的含义。术语“包括 (comprising)”,“具有 (having)”,“包括 (including)”,“包含 (containing)”将被解释为开放式术语 (即意味着“包括但不限于”) 除非另外指明。术语“连接 (connected)”将被解释为部分地或整体地包含在内,附着其上,或结合在一起,即使存在介于中间的某物。

[0070] 在此对数值范围的引用仅意在作为单独提及落入该范围内的每一单个数值的简单的表达方式,除非另外指明,以及每一单个数值都包含在本说明书中,犹如在本文被单独列举一样。

[0071] 在此描述的所有方法可以采用任一恰当的顺序实施,除非本文另外指明或由上下文明确指出其相反的含义。本文提供的任一实施例和所有实施例,或示例性语言 (例如,“如

(such as)”)的使用,都仅意在更好的阐明本发明的实施方式而并非对本发明的保护范围施加限制,除非另外要求。

[0072] 在本说明书中的语言不应该被解释为指示对于实践本发明所必需的任何非要求的元件。

[0073] 本发明可以做出各种修改和变形而没有偏离本发明的精神和范围,这对本领域技术人员来说将是明显的。并非意在将本发明限制在公开的具体形式,相反,本发明意在涵盖落入在随附的权利要求中所限定的本发明的精神和范围内的所有修改、可替代的构造,及其等同物。因此,本发明意在涵盖本发明的修改和变形,只要这些修改和变形落入随附的权利要求及其等同物的范围内。

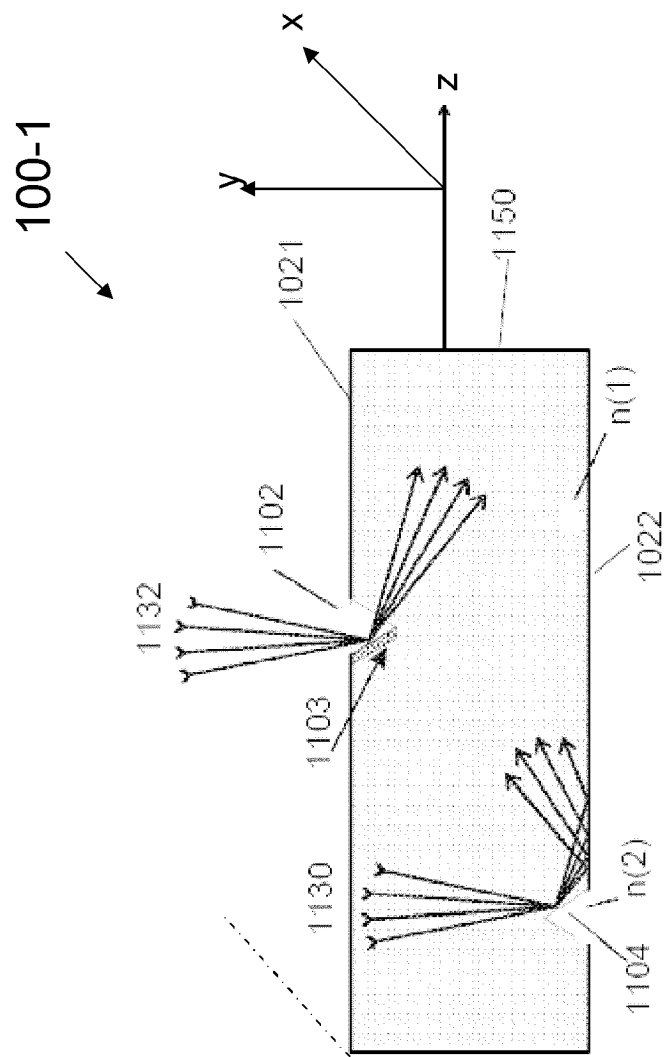


图 1

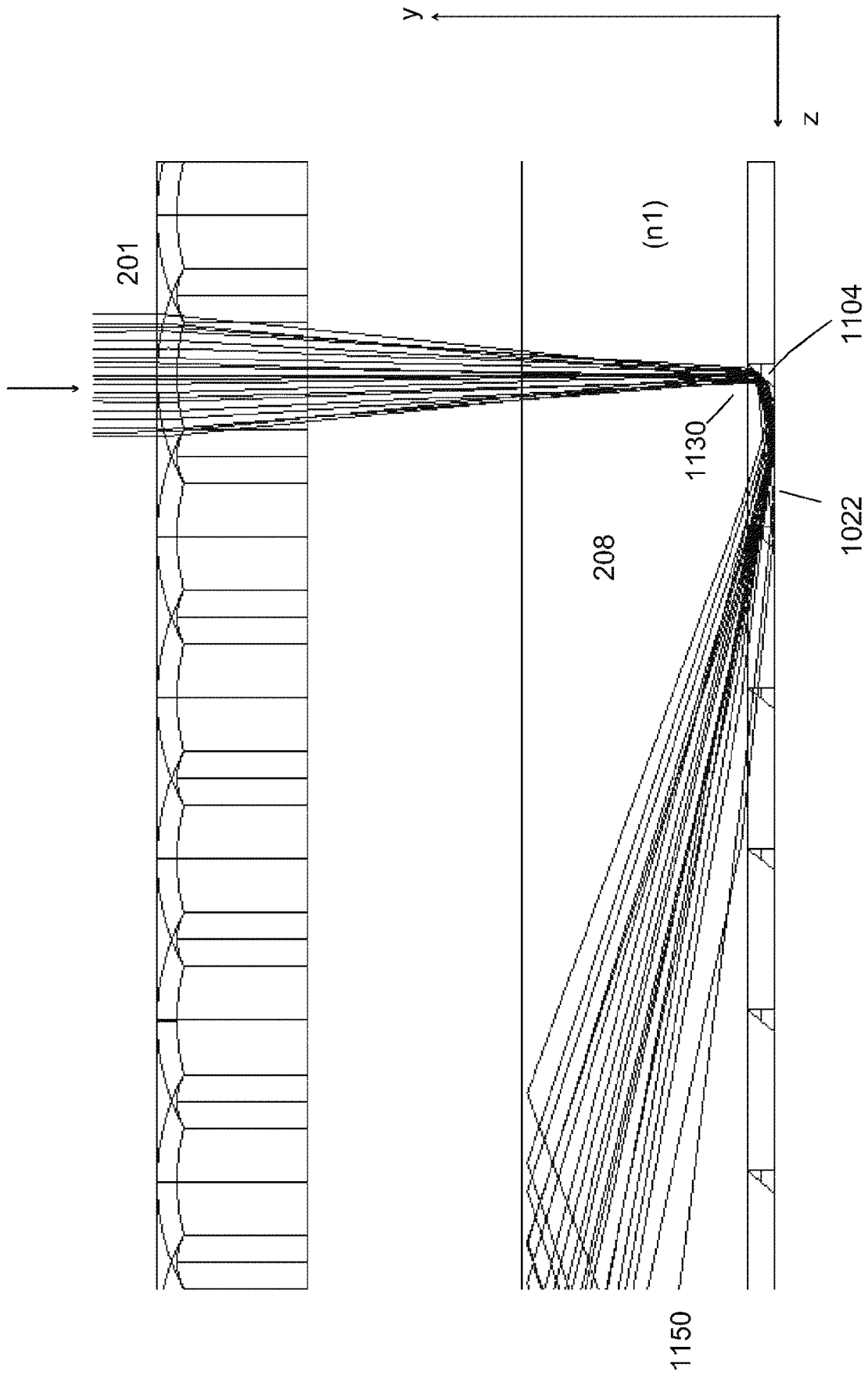


图 2

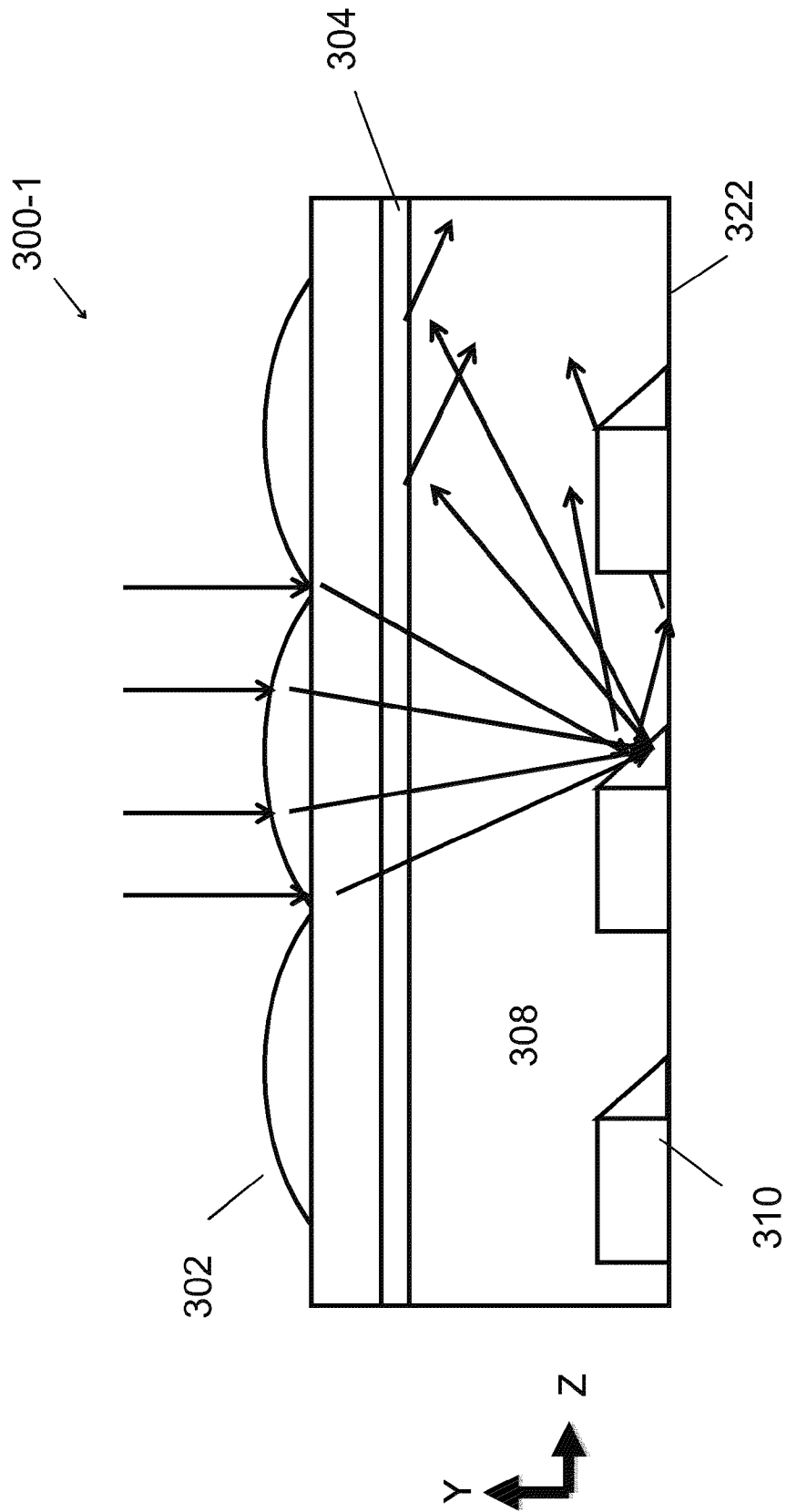


图 3

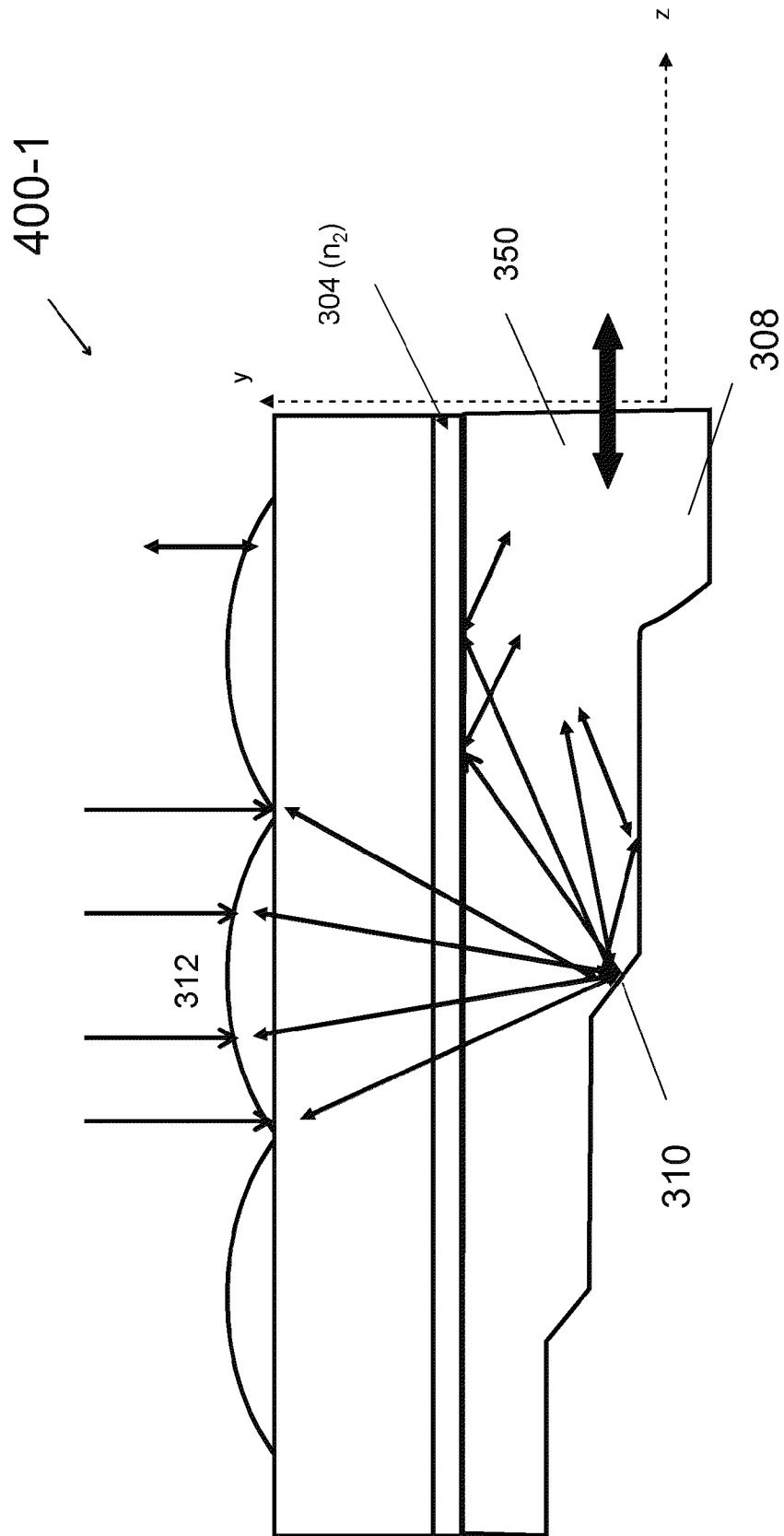


图 4

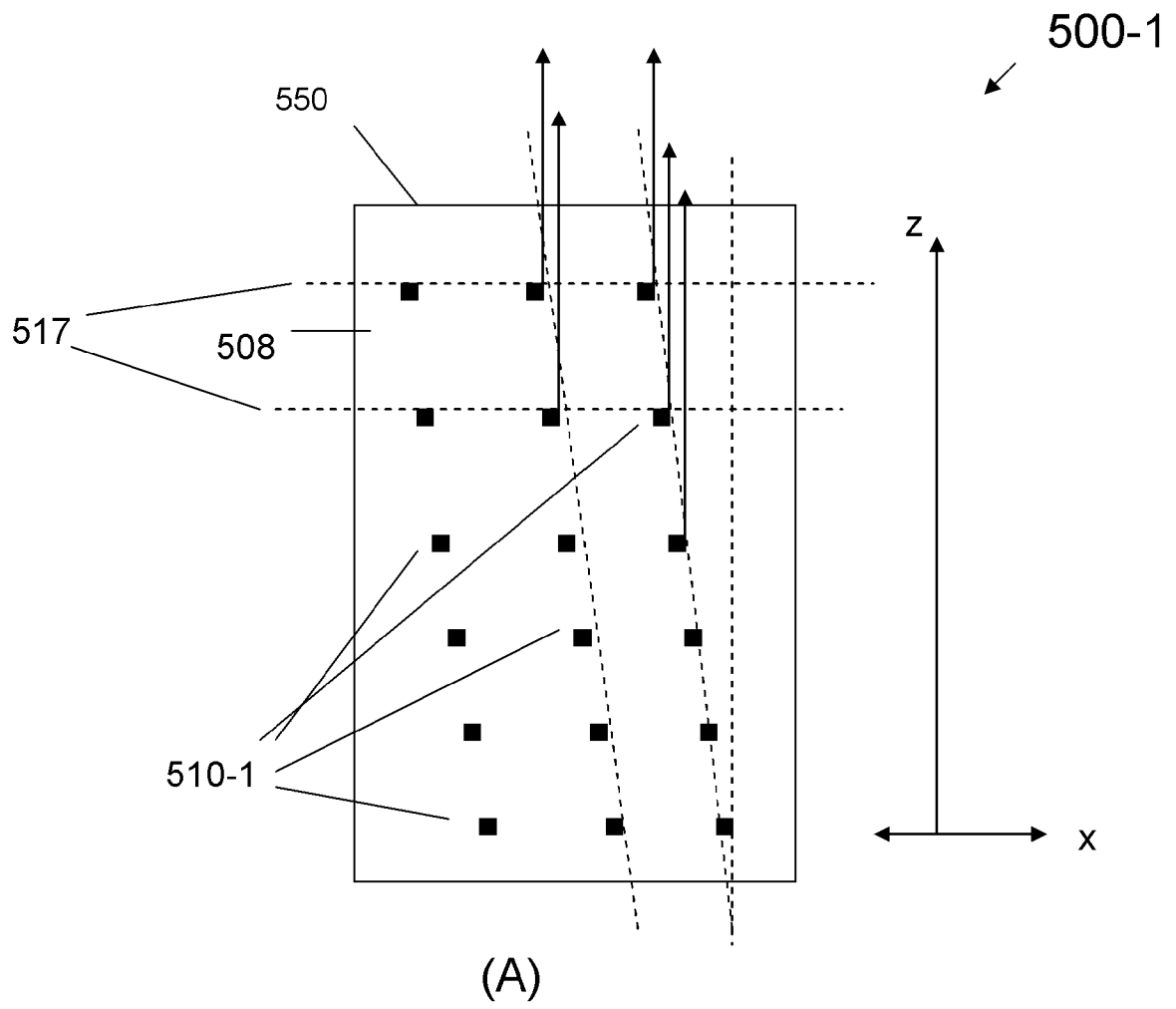


图 5

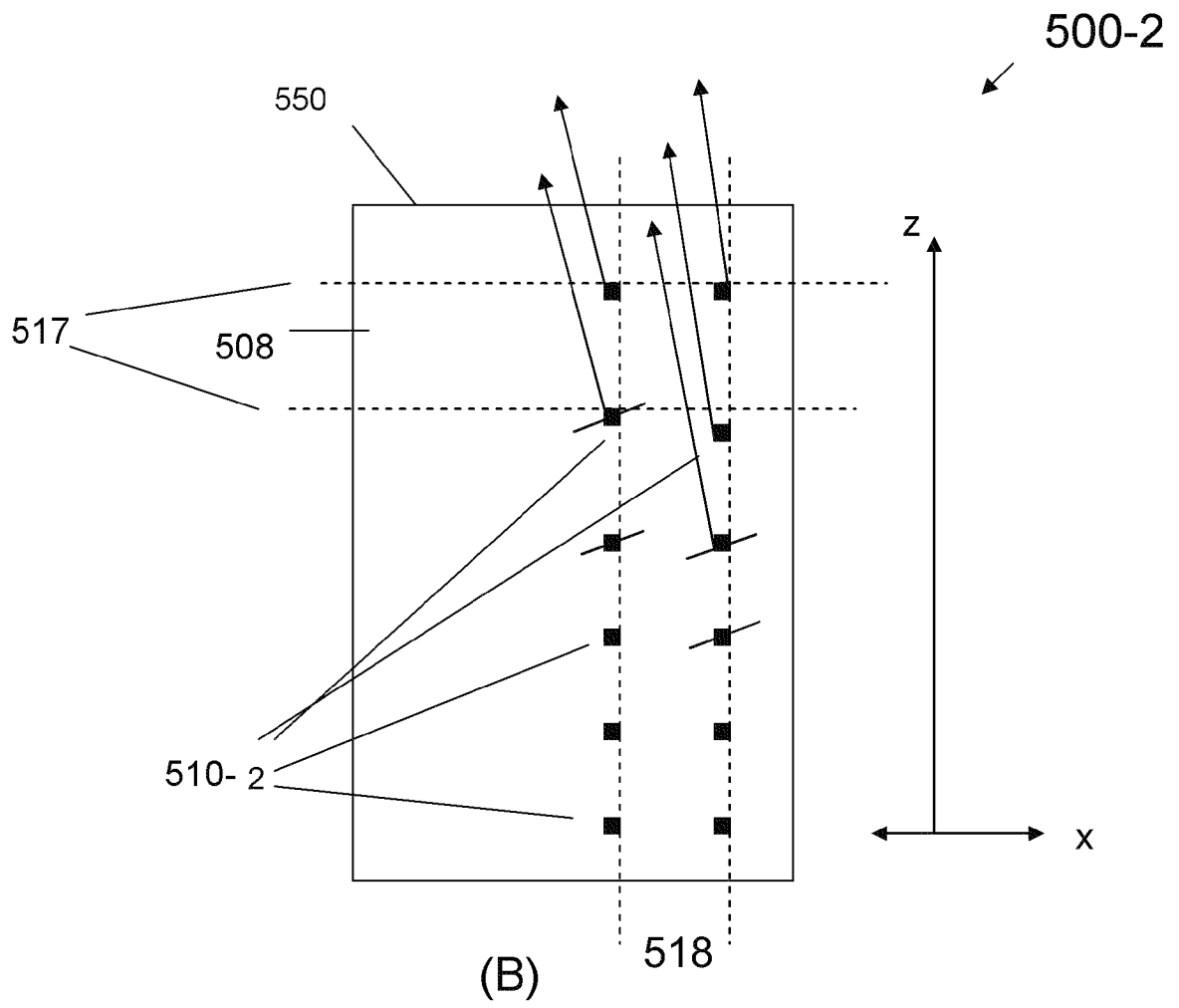


图 5

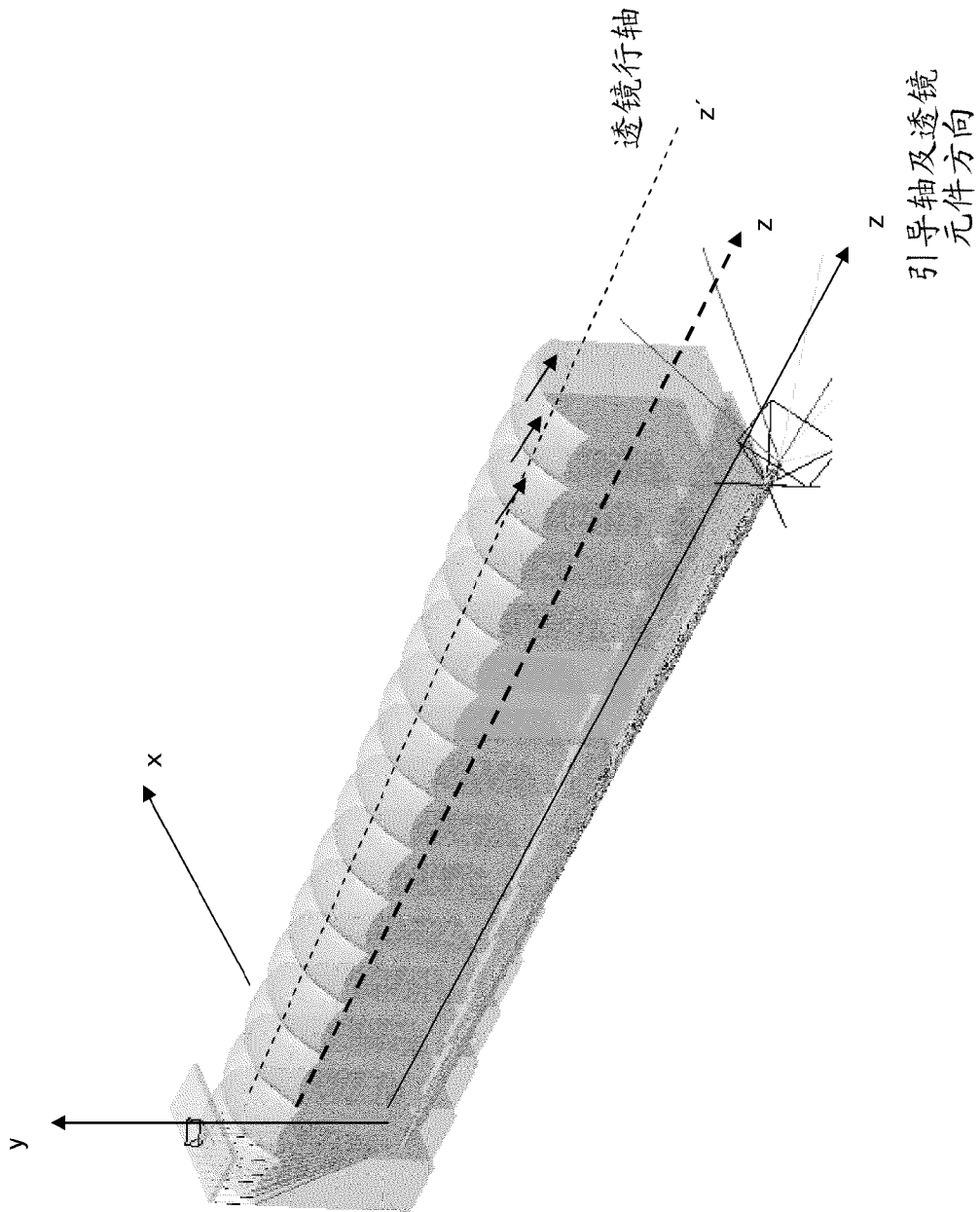


图 6

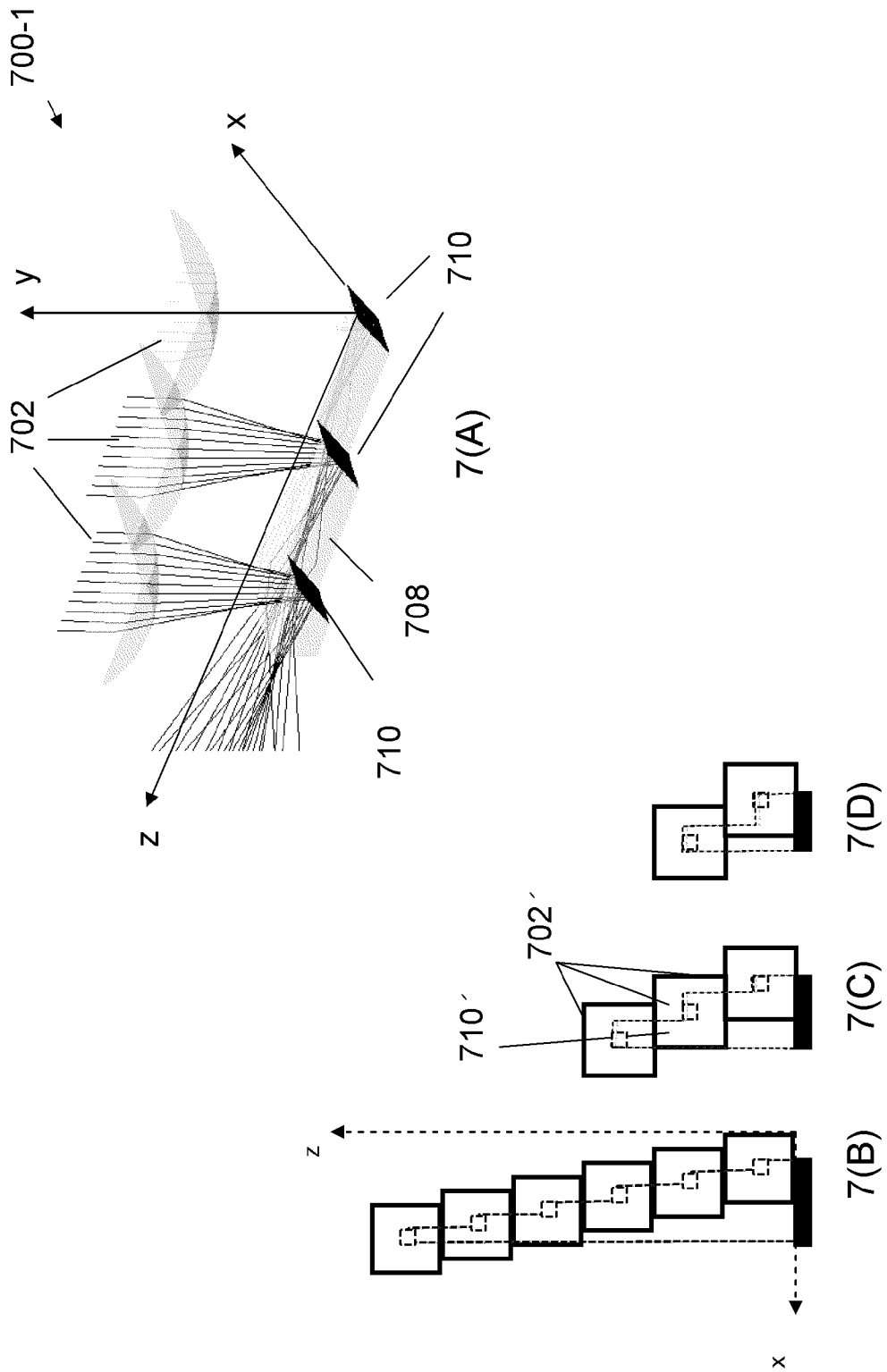


图 7

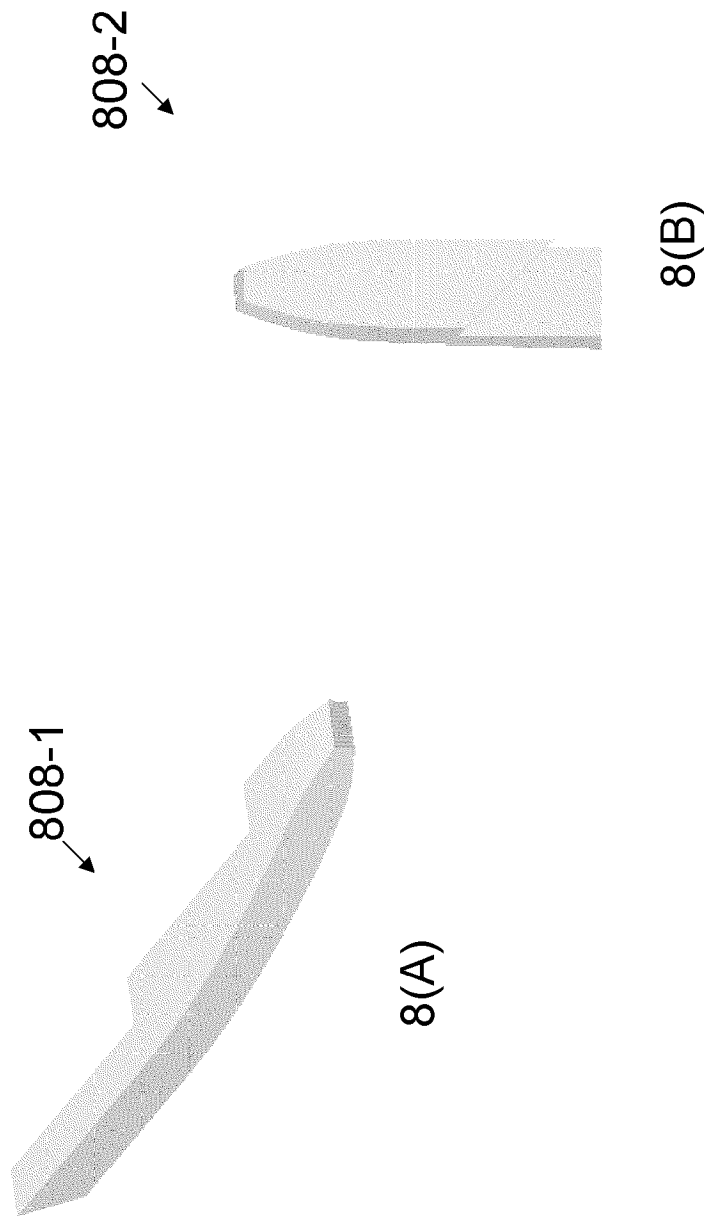


图 8

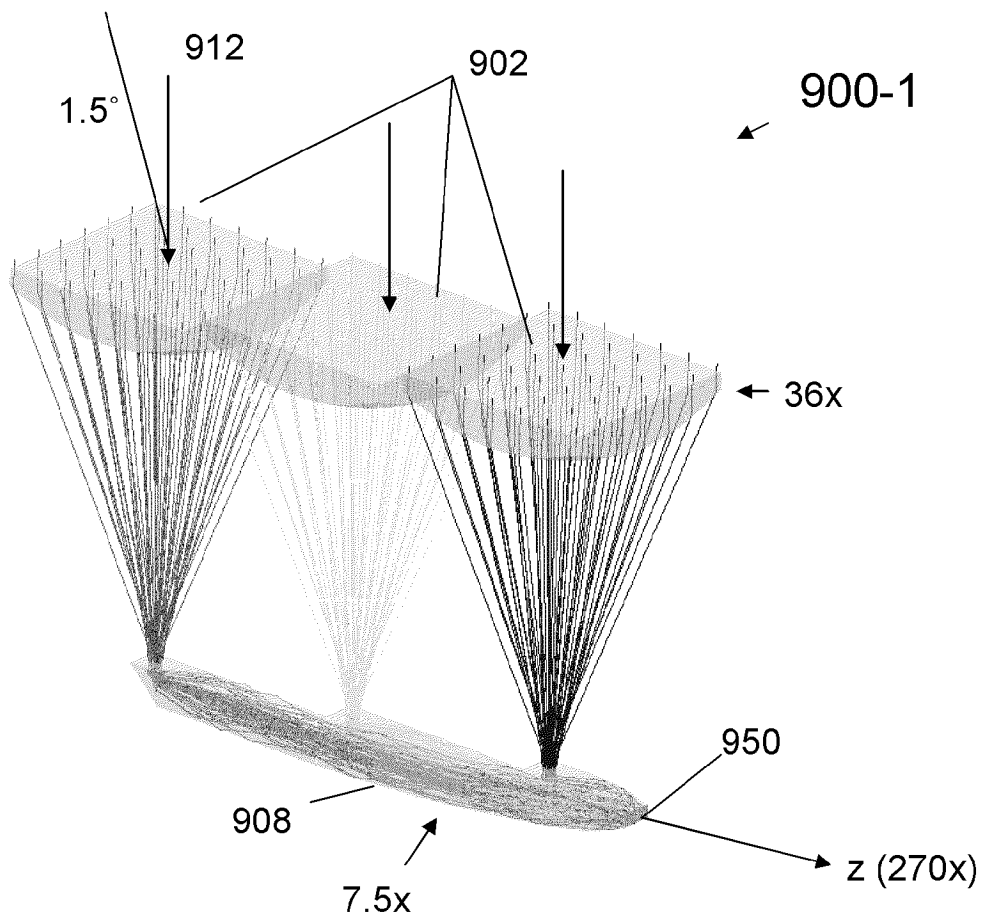


图 9

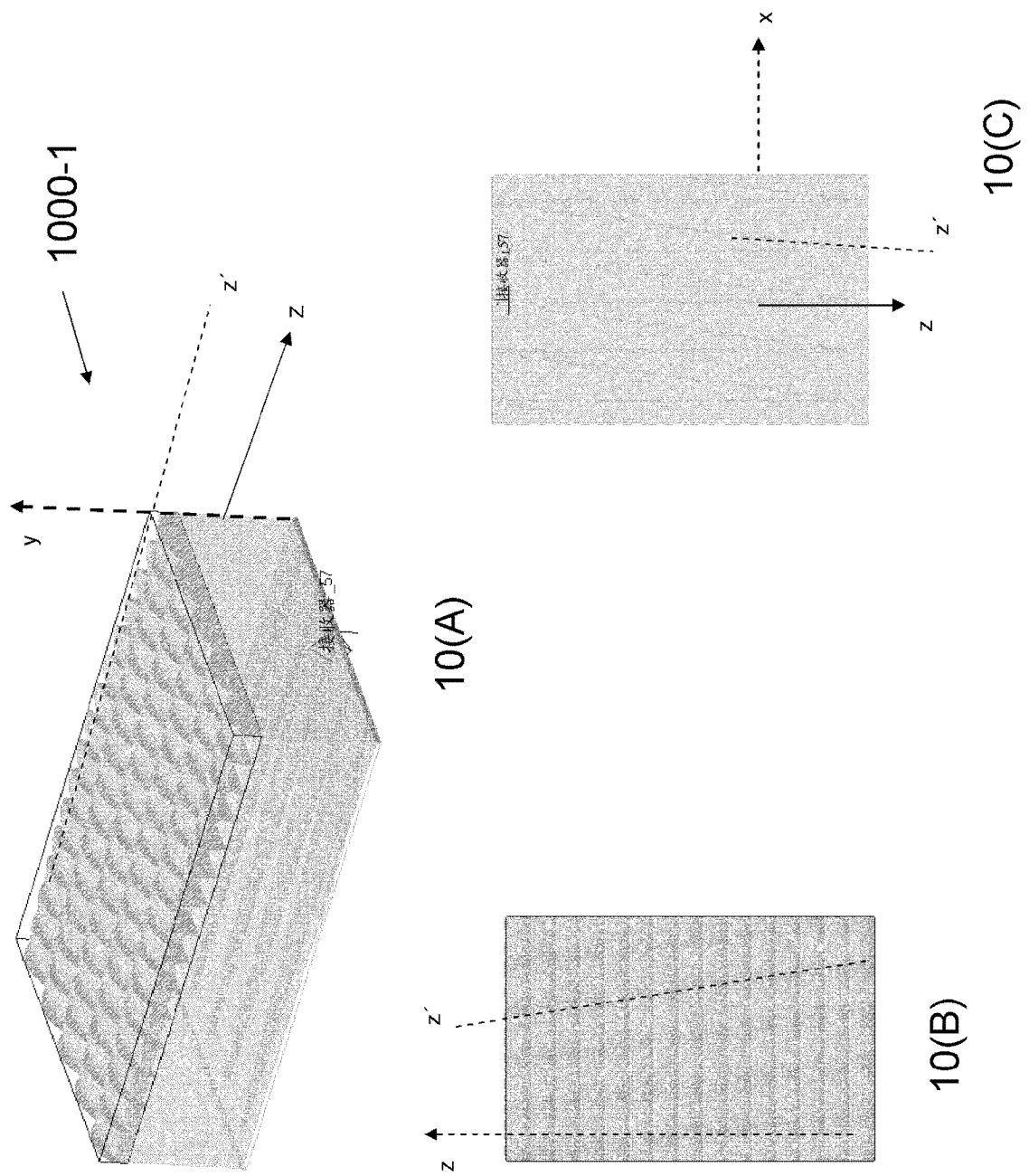


图 10

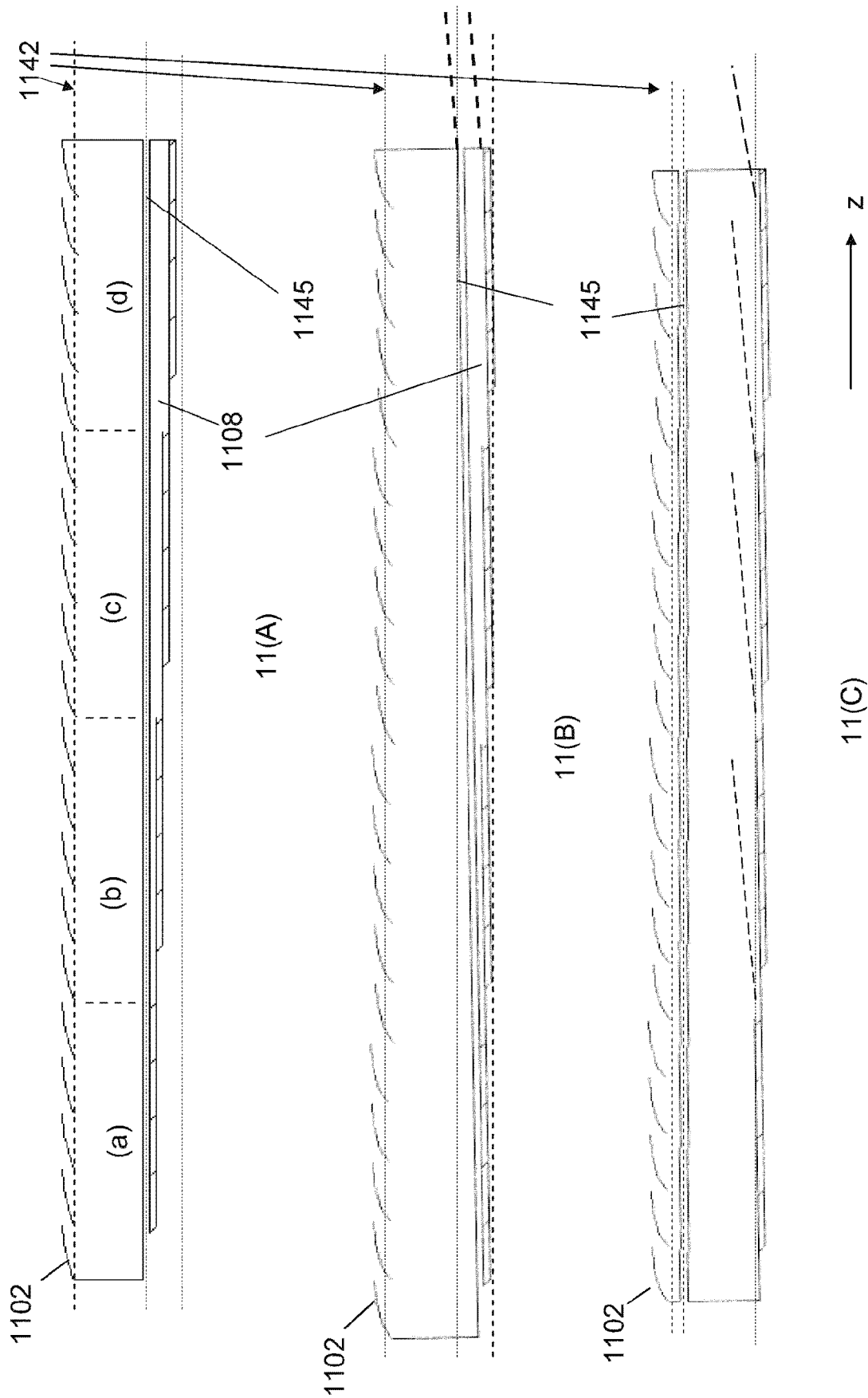


图 11