

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H01K 1/26 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200480043184.4

[43] 公开日 2007年5月30日

[11] 公开号 CN 1973354A

[22] 申请日 2004.9.21

[21] 申请号 200480043184.4

[30] 优先权

[32] 2004.3.30 [33] US [31] 10/814,043

[86] 国际申请 PCT/US2004/030856 2004.9.21

[87] 国际公布 WO2005/104185 英 2005.11.3

[85] 进入国家阶段日期 2006.11.29

[71] 申请人 黄金眼有限公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 卡尔·比森 斯科特·齐默尔曼

[74] 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

代理人 杨生平 杨红梅

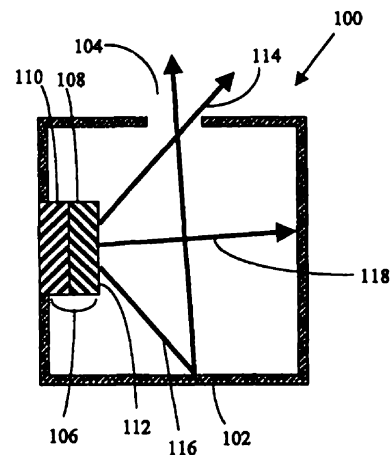
权利要求书 5 页 说明书 36 页 附图 16 页
按照条约第 19 条的修改 5 页

[54] 发明名称

利用发光二极管和光循环来增强输出辐射率的照明系统

[57] 摘要

一种照明系统，具有至少部分地被封入在光循环壳之中的光源。该光源为发射光的发光二极管，并且该光的一部分将通过孔射出光循环壳。光循环壳将光源所发射的光的一部分循环返回到光源，以增强射出照明系统的光的输出辐射率。



1. 一种照明系统，包括：

光源，其中所述光源包括至少一个发射光的发光二极管，其中所述至少一个发光二极管进一步包括发射所述光的发射层和反射所述光的反射层，其中所述反射层的反射率为反射率 R_S ，其中所述光源的总发光面积为面积 A_S ，并且其中所述光源所发射的所述光具有最大固有源辐射率；

光循环壳，其中所述光循环壳至少部分地将所述光源封入，其中所述光循环壳具有反射率 R_E ，并且其中所述光循环壳将所述光的一部分反射并循环返回到所述至少一个发光二极管的所述反射层；以及

至少一个光输出孔，其中所述至少一个光输出孔位于所述光循环壳的表面中，其中总的光输出孔面积为面积 A_O ，其中所述面积 A_O 小于所述面积 A_S ，其中所述光源和所述光循环壳将至少部分的所述光通过所述至少一个光输出孔引导出所述光循环壳，并且其中所述部分的所述光作为具有最大射出辐射率的非相干光射出所述至少一个光输出孔。

2. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述最大射出辐射率大于所述最大固有源辐射率。

3. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述至少一个发光二极管是从包括无机发光二极管和有机发光二极管的组中选择的。

4. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述至少一个发光二极管的所述反射层位于所述光循环壳的内表面上。

5. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述光的波长大于 200nm 并且波长小于 3000nm。

6. 如权利要求 5 所述的照明系统，其中所述光为紫外光，其波长大于 200nm 并且小于 400nm。

7. 如权利要求 5 所述的照明系统，其中所述光为红外光，其波长大于 700nm 并且小于 3000nm。

8. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述光源是发射所述光的多个发光二极管。

9. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述光源包含发射第一波长范围的第一光通量的第一发光二极管和同时发射不同于所述第一波长范围的第二波长范围的第二光通量的第二发光二极管, 并且其中第一波长范围的所述第一光通量的一部分和第二波长范围的所述第二光通量的一部分作为混合颜色的光射出所述至少一个光输出孔。

10. 如权利要求 9 所述的照明系统, 其中改变所述第二发光二极管所发射的第二波长范围的所述第二光通量, 以改变所述混合颜色的光的颜色和显色指数。

11. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述光源包括第一发光二极管和第二发光二极管, 其中所述第一发光二极管在第一时间段中发射第一波长范围的光, 并且第一波长范围的所述光的一部分在所述第一时间段中射出所述至少一个光输出孔, 其中所述第二发光二极管在不同于所述第一时间段的第二时间段中发射不同于所述第一波长范围的第二波长范围的光, 并且第二波长范围的所述光的一部分在所述第二时间段中射出所述至少一个光输出孔, 并且其中重复所述第一时间段和所述第二时间段, 以产生颜色交替的光输出。

12. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述反射率 R_s 至少为 50%。

13. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述反射率 R_s 至少为 70%。

14. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述反射率 R_s 至少为 90%。

15. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述光源包括发光二极管和光导, 其中所述发光二极管位于所述光循环壳外面, 其中所述光导具有邻近于所述发光二极管的所述发射层的输入表面和位于所述光循环壳内部的输出表面, 其中所述光导将所述光从所述发射层传输到所述光循环壳, 其中所述光导将所述光的一部分作为循环光从所述光循环壳传输返回到所述发光二极管的所述反射层, 并且其中所述光导将所述反射层所反射的所述循环光传输返回到所述光循环壳。

16. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述光循环壳至少部分地用

透光固体填充，所述透光固体与所述发光二极管的所述发射层的至少部分的表面相接触，并且其中所述透光固体提高来自所述发射层的光发射的效率。

17. 如权利要求 16 所述的照明系统，其中所述透光固体进一步包括超细粉末，其中所述超细粉末具有小于 300nm 的微粒尺寸，其中所述超细粉末由具有大于 1.60 的大折射率的材料制成，并且其中所述超细粉末增大所述透光固体的有效折射率。

18. 如权利要求 17 所述的照明系统，其中具有大于 1.60 的大折射率的所述材料是从包括氧化锡、氧化钛、氧化锌、氧化铈和五氧化二锑的组中选择的。

19. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述光循环壳由固有反射的大块材料构造。

20. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述光循环壳的内表面用反射涂层覆盖。

21. 如权利要求 20 所述的照明系统，其中所述反射涂层是漫反射器。

22. 如权利要求 20 所述的照明系统，其中所述反射涂层是镜面反射器。

23. 如权利要求 20 所述的照明系统，其中所述反射涂层是背后有镜面反射器的漫反射器。

24. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述反射率 R_E 至少为 50%。

25. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述反射率 R_E 至少为 70%。

26. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述反射率 R_E 至少为 90%。

27. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述面积 A_O 小于或等于所述面积 A_S 的 50%。

28. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述面积 A_O 小于或等于所述面积 A_S 的 30%。

29. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述面积 A_O 小于或等于所

述面积 A_S 的 10%。

30. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述面积 A_O 小于 25 平方毫米。

31. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述面积 A_O 小于 10 平方毫米。

32. 如权利要求 1 所述的照明系统，其中所述照明系统进一步包括多个所述光输出孔。

33. 如权利要求 1 所述的照明系统，进一步包括平面反射偏振器，其中所述平面反射偏振器位于光输出光路中，其中所述平面反射偏振器位于所述光循环壳的所述至少一个光输出孔附近，其中所述平面反射偏振器将第一偏振态的光反射并循环返回到所述光循环壳中，并且其中所述平面反射偏振器透射第二偏振态的光。

34. 如权利要求 1 所述的照明系统，进一步包括至少一个光校准元件，其中所述至少一个光校准元件具有接受未校准光的、邻近于所述至少一个光输出孔的输入表面，其中所述至少一个光校准元件部分地校准所述未校准光，并且其中所述至少一个光校准元件具有通过其透射部分校准光的输出表面。

35. 如权利要求 34 所述的照明系统，其中所述至少一个光校准元件是从包括凸透镜、锥形光导和复合抛物面反射器的组中选择的。

36. 如权利要求 34 所述的照明系统，进一步包括射束分离棱镜偏振器，其中所述射束分离棱镜偏振器位于邻近于所述光校准元件的所述输出表面的光输出光路中，其中所述射束分离棱镜偏振器具有输入表面、垂直于输入表面的第一输出表面、与输入表面相对的第二输出表面和部分反射对角线表面，其中透射通过所述光校准元件的所述输出表面并且进入所述射束分离棱镜偏振器的所述输入表面的第一偏振态的光，被所述部分反射对角线表面反射并且透射通过所述射束分离棱镜偏振器的所述第一输出表面，并且其中透射通过所述光校准元件的所述输出表面并且进入所述射束

分离棱镜偏振器的所述输入表面的第二偏振态的光，透射通过所述射束分离棱镜偏振器的所述第二输出表面。

37. 如权利要求 36 所述的照明系统，进一步包括光反射器，其设置得邻近且平行于所述射束分离棱镜偏振器的所述第一输出表面，其中射出所述第一输出表面的第一偏振态的所述光被反射通过所述第一输出表面、通过所述射束分离棱镜偏振器、并且通过所述光校准元件并循环返回到所述光循环壳中。

38. 如权利要求 36 所述的照明系统，进一步包括组合工作的第二光校准元件和第二照明系统，其中所述第二照明系统包括被具有第二光输出孔的第二光循环壳所包围的第二发光二极管，其中所述第二光校准元件具有输入表面和输出表面，其中所述第二光校准元件的所述输入表面邻近于所述第二照明系统的所述第二光输出孔，其中所述第二光校准元件的所述输出表面邻近于所述射束分离棱镜偏振器的所述第一输出表面，并且其中射出所述射束分离棱镜偏振器的所述第一输出表面的第一偏振态的所述光，往回透射通过所述第二光校准元件的所述输出表面，并且通过所述第二光校准元件被循环并进入到所述第二照明系统中。

利用发光二极管和光循环来增强输出辐射率的照明系统

相关申请的交叉引用

【0001】本申请是名称为“利用高反射发光二极管和光循环来增强亮度的照明系统”的美国专利申请 No.10445136 的连续部分，其在此并入作为参考。本申请还涉及名称为“利用多波长光循环的照明系统”的美国专利申请 No._____和名称为“利用发光二极管和光循环的投影显示系统”的美国专利申请 No._____，其两者与本申请同时提交，并在此并入作为参考。

技术领域

【0002】本发明涉及包含发光二极管（LED）的照明系统。发光二极管包括无机发光二极管和有机发光二极管（OLED）。

背景技术

【0003】照明系统或者作为独立光源或者作为内部光源用于比较复杂的光学系统。利用或包含照明系统的光学系统的例子包括投影显示器、平板显示器、航空电子设备显示器、汽车照明、住宅照明、商业照明和工业照明应用。

【0004】许多应用需要具有高亮度和小的有效发射面积的照明系统。具有高亮度和小的有效发射面积的传统光源的例子是弧光灯源，像氙弧光灯或汞弧光灯。弧光灯源可能有几个平方毫米一样小的发射面积。能利用具有高亮度和小的有效发射面积的照明系统的复杂光学系统的例子是投影电视显示器。当前的投影电视显示器典型地使用投影透镜将三个小的红、绿和蓝阴极射线管（CRT）装置的合成图像投影到显示屏上。更近的设计有时使用小面积弧光灯源将图像从液晶显示器（LCD）、硅上液晶（LCOS）装置或数字光处理器（DLP）装置投影到显示屏上。因为 LED 光源没有足够的输出亮度，所以像 LED 这样的光源目前没有用于投影电视显示器。

【0005】技术术语亮度能够或者以辐射度单位或者以光度单位定义。在辐射

度单位系统中，光通量或辐射通量的单位以瓦特表达，并且亮度的单位被称作辐射率，其被定义为瓦特每平方米每球面度（其中球面度是立体角的单位）。然而，人眼对于某些波长的光（例如绿光）比对其它波长（例如蓝或红光）更加敏感。设计测光系统时考虑人眼的反应，因此在测光系统中的亮度是人眼观察时的亮度。在测光系统中，被人眼感知到的光通量单位被称作光通量（luminance flux），并且以单位流明表达。明亮程度的单位被称作光亮度，其被定义为流明每平方米每球面度。人眼只对从约 400 纳米到约 700 纳米的波长范围内的光敏感。波长低于 400 纳米或高于 700 纳米的光具有零光亮度，而不管辐射率值。

【0006】在美国专利申请 No.10445136 中，亮度增强只涉及光亮度增强。由于光亮度仅对 400 到 700 纳米的可见波长范围为非零，所以美国专利申请 No.10445136 只在 400 到 700 纳米波长范围内有效。然而，在本申请中，亮度增强涉及辐射率增强，并且对遍及光谱的任何波长都有效。

【0007】在将光从一个位置的输入源传输到第二位置的输出图像的传统光学系统中，不能产生辐射率比光源辐射率强的光学输出图像。在图 1A 中以横截面示出现有技术的传统光学系统 10。在图 1A 中，来自输入光源 12 的光线 18 被凸透镜 14 聚焦到输出图像 16。图 1A 中的传统光学系统 10 也能以不同的方式显示，像图 1B 中以横截面显示的光学系统 20 那样。为简单起见，输入源 22，透镜 24 和输出图像 26 都假定是圆的。在图 1B 中，输入源 22 具有面积 $Area_{in}$ 。来自输入源 22 的光线充满具有边缘 21 和 23 的截头圆锥。图 1B 中的横截面中显示的圆锥在立体角 27 上延伸。立体角 27 的大小为 Ω_{in} 。透镜 24 把光线聚焦到具有面积 $Area_{out}$ 的图像 26。形成图像 26 的光线充满具有边缘 25 和 29 的截头圆锥。以横截面显示的圆锥在立体角 28 上延伸。立体角 28 的大小为 Ω_{out} 。

【0008】如果光学系统 20 没有损耗，则输入源 22 处的光输入通量，

$$\Phi_{in} = (\text{Radiance}_{in}) (Area_{in}) (\Omega_{in}) \quad \text{【方程 1】}$$

等于输出图像 26 处的光输出通量，

$$\Phi_{\text{out}} = (\text{Radiance}_{\text{out}}) (\text{Area}_{\text{out}}) (\Omega_{\text{out}}) \quad \text{【方程 2】}$$

在这些方程中，“Radiance_{in}”是输入源 22 处的辐射率，“Radiance_{out}”是输出图像 26 处的辐射率，“Area_{in}”是输入源 22 的面积，“Area_{out}”是输出图像 26 的面积。量 Ω_{in} 和 Ω_{out} 分别是输入源和输出图像光锥对着的投影立体角。在这样的无损耗系统中，能够表明

$$\text{Radiance}_{\text{in}} = \text{Radiance}_{\text{out}} \quad \text{【方程 3】}$$

并且

$$(\text{Area}_{\text{in}}) (\Omega_{\text{in}}) = (\text{Area}_{\text{out}}) (\Omega_{\text{out}}) \quad \text{【方程 4】}$$

如果透光介质的折射率在输入源和输出图像位置处不同，则方程 4 的等式被修改以变成

$$(n_{\text{in}}^2) (\text{Area}_{\text{in}}) (\Omega_{\text{in}}) = (n_{\text{out}}^2) (\text{Area}_{\text{out}}) (\Omega_{\text{out}}) \quad \text{【方程 5】}$$

其中 n_{in} 是输入位置的折射率， n_{out} 是输出位置的折射率。量 $(n^2) (\text{Area}) (\Omega)$ 不同地被称作光学系统的“展度”或“光学扩展量”或“通过量”。在传统的无损耗光学系统中，量 $(n^2) (\text{Area}) (\Omega)$ 是守恒的。

【0009】 在美国专利 No.6,144,536 中（其通过参考并入于此），Zimmerman 等人论证了对于具有反射发射面的源的特殊情况，能够设计这样的光学系统，其将源所发射的光的部分循环返回到源，并将剩下的光传输到输出位置。在一定条件下利用这样的光循环，源的有效光亮度以及光学系统的输出光亮度能够高于没有循环时的源的固有光亮度，这是一个没有通过标准展度方程预测的结果。在美国专利 No.6,144,536 中，术语“光亮度”用于亮度。如以前陈述的那样，术语“光亮度”只对波长在 400 到 700 纳米之间的可见光有用。因此美国专利 NO.6,144,536 只在那个光谱范围内有效。

【0010】 具有反射发射面的光源的例子是传统的荧光灯。在图 2A 中显示了传统荧光灯 30 的横截面。荧光灯 30 具有玻璃壳 32，其封闭中空的内部 36。中空的内部 36 充满气体，当施加高电压时它能发出紫外光。紫外光激发玻璃壳的内表面上的磷光体涂层 34，导致磷光体通过磷光体涂层 34 发出可见光。除了是光发射体之外，磷光体涂层 34 还是部分反射的表面。因此，可

以设计这样的光学系统，其将磷光体涂层 34 产生的可见光的一部分循环返回到涂层 34，并从而导致传统荧光灯的有效亮度增加。

【0011】在美国专利 No.6,144,536 中对光循环的公开内容涉及线性光源，其具有孔面积大于 100 平方毫米 (mm^2) 的长的发射孔。这样的构造（其典型地使用荧光灯作为光源）不适于诸如用于大投影显示器的照明系统之类的许多应用。在 US6,144,536 的申请日期，典型的 LED 只有 1 流明每平方毫米 (mm^2) 的输出，并且光反射率低于 20%。为制造产生用于投影显示器的 1000 流明输出的照明系统将需要至少 1000 个 LED，其具有 1000 mm^2 的总 LED 表面积。如果 1000 个低反射率、低输出的 LED 放置在具有 10 mm^2 输出孔并且具有 1010 mm^2 的总内部面积（包括输出孔的面积）的光循环壳的内表面上，则总的输出效率将小于 2%。最初的 1000 流明中小于 20 流明将射出光循环壳。这种照明系统不是很实用。

【0012】近来，已开发了基于氮化镓 (GaN)、氮化镓铟 (InGaN) 和氮化镓铝 (AlGaN) 半导体材料的高反射绿、蓝和紫外 LED 和二极管激光器。这些 LED 装置中的一些具有高光输出、高辐射率，并且具有能够反射至少 50% 的在这些装置上入射的光的光反射表面。LED 反射表面能够是镜面反射器或漫反射器。典型地，LED 反射表面是镜面反射器。接近 7000 瓦特每平方米每球面度的辐射率输出，以及来自单个封装的装置的近似 0.18 瓦特的总输出是可能的。每单位面积的光输出能够超过 $0.045\text{watt}/\text{mm}^2$ 。因此，涉及照明系统的若干新的应用成为可能。像光谱纯度、减少热量和快速转换速度这样的优点都提供了使用 LED 和半导体激光器来代替荧光、白炽和弧光灯源的动机。

【0013】图 2B 显示了近来开发的类型的 LED 40 的横截面图，所述 LED 40 具有位于透明顶电极 43 和第二透明层 44 两者下面的发射层 46。当电流通过装置 40 时，发射层 46 发射光线 45。在发射层 46 的下面是反射层 47，其还充当底电极的部分。电触点 41 和 42 为电流流过装置 40 提供路径。在相对发射表面的 LED 的背侧具有电触点 41 和 42 两者是近来新的概念。典

型的现有 LED 设计在装置的顶部放置一个电极，其干扰从上部表面输出的光，并导致装置具有低反射率。反射层 47 允许 LED 同时是光发射器和光反射器。例如 Lumileds Lighting LLC 生产了这种类型的高反射绿、蓝和紫外 LED 装置。预计具有高输出和高辐射率的高反射红和红外 LED 将最终也被开发出来。然而，即使新的绿、蓝和紫外氮化镓、氮化镓铟和氮化镓铝 LED 也不具有用于许多应用的足够辐射率。

【0014】LED，包括无机发光二极管和有机发光二极管，发射非相干光。另一方面，半导体激光器光源，像边缘发射激光器二极管和垂直中空表面发射激光器，通常发射相干光。相干半导体激光器光源典型地具有比非相干光源更高的亮度，但由于源自光的相干性质的不希望出现的斑点光图案的形成，所以半导体激光器光源不适于诸如显示器之类的许多应用。

【0015】非常希望开发基于利用光循环以增加照明系统输出辐射率的 LED 的非相干照明系统。可能的应用包括投影显示器、平板显示器、航空电子设备显示器、汽车照明、住宅照明、商业照明和工业照明。

发明内容

【0016】本发明为照明系统，其包括光源、光循环壳和至少一个光输出孔。光源是发光的至少一个发光二极管。所述至少一个发光二极管进一步包括发光的发光层和具有反射率 R_s 并反射光的反射层。光源的总发光面积是面积 A_s ，并且光源所发射的光具有最大固有源辐射率。

【0017】光循环壳至少部分地将光源封入并具有反射率 R_E 。光循环壳将发射层发射的部分光反射并循环返回到发光二极管的反射层。

【0018】所述至少一个光输出孔位于光循环壳的表面。总的光输出孔面积为面积 A_0 ，并且面积 A_0 小于面积 A_s 。光源和光循环壳通过所述至少一个光输出孔将至少部分的光引导出光循环壳。射出所述至少一个光输出孔的部分光作为具有最大射出辐射率的非相干光射出。在某些情况下利用光循环，最大射出辐射率大于光源的最大固有源辐射率。

附图说明

【0019】当考虑以下详细描述和附图时，对本发明的更加完全的理解和没有在此列举的其他目的及其优点将变得明显，其中：

【0020】图 1A 和 1B 是现有技术的传统光学系统的横截面侧视图。

【0021】图 2A 和 2B 是同时具有发射和反射表面两者的现有技术光源的横截面图。

【0022】图 3A、3B、3C、3D 和 3E 显示了具有一个发光二极管的本发明的实施例。

【0023】图 4 是其中光循环壳部分地用透光固体填充的本发明的实施例。

【0024】图 5 是进一步包括平面反射偏振器的本发明的实施例。

【0025】图 6A、6B 和 6C 是进一步包括光校准元件的本发明的实施例。

【0026】图 7A 是进一步包括光校准元件和平面反射偏振器两者的本发明的实施例。

【0027】图 7B 是进一步包括光校准元件和射束分离棱镜偏振器两者的本发明的实施例。

【0028】图 8 是包括两个光源、两个光循环壳、两个光校准元件和一个射束分离棱镜偏振器的本发明的实施例。

【0029】图 9A 和 9B 示出了进一步包括光导的本发明的实施例。

【0030】图 10A、10B 和 10C 示出了具有两个发光二极管的本发明的实施例。

【0031】图 11A、11B 和 11C 示出了具有四个发光二极管的本发明的实施例。

【0032】图 12A 和 12B 示出了具有十二个发光二极管的本发明的实施例。

具体实施方式

【0033】参考上面的附图，本领域技术人员将会更好地理解本发明的优选实施例。附图中示出的本发明的优选实施例并不打算是穷尽的或将本发明限制为公开的精确形式。附图被选择以描述或最好地解释本发明的原理及其可应用的和实际的用途，从而使其他本领域技术人员能够最好地利用本发明。

【0034】本发明的实施例至少包括光源、光循环壳和位于光循环壳表面的光

输出孔。

【0035】本发明的优选光源包括至少一个发光二极管（LED）。优选的 LED 是既发射光又反射光的无机发光二极管和有机发光二极管（OLED）。由于它们的较高光输出亮度，更加优选的 LED 是无机发光二极管。光源所发射的光优选地大于 200 纳米波长并小于 3000 纳米波长。

【0036】在图 3-12 中示出了利用 LED 的各种照明系统。图 3-12 中描绘的 LED 可以是既发射光又反射光的任何 LED。既发射又反射光的 LED 的例子包括无机发光二极管和 OLED。能够从例如包含氮化镓、氮化镓铝、氮化镓铟、氮化铝、磷化镓铟铝、砷化镓、砷化镓铟或磷砷化镓铟的材料中制造无机发光二极管，但是并不限于这样的材料。可以从各种发光有机小分子或聚合物中构造 OLED。合适的小分子例如包括三（8-羟基喹啉）铝（III），其能够缩写为 Alq₃，和某些类型的螯合物、噁二唑、咪唑、联苯胺和三芳基胺，但是并不限于这样的材料。合适的聚合物例如包括聚(乙烯二氧噻吩)和聚(苯乙烯磺酸盐)。

【0037】为了简化附图的目的，在图 3-12 中以相同的方式说明每个 LED，并且每个 LED 被示出为包含两个元件、即发射光的发射层和反射光的反射层。注意典型的 LED 通常由多于两个的元件构造，但为了简化图 3-12 的目的，另外的元件没有示出。本发明的一些实施例可能包含两个或更多的 LED。虽然图 3-12 中的每个 LED 以相同的方式示出，但是在本发明的范围内，实施例中的多个 LED 可以不全都一样。例如，如果本发明的实施例具有多数 LED，则在本发明的范围内，一些 LED 可以是无机发光二极管，一些 LED 可以是 OLED。作为具有多个 LED 的照明系统的进一步的例子，如果本发明的实施例具有多个 LED，则在本发明的范围内，一些 LED 可以发射不同颜色的光。举例的 LED 颜色包括但不限于光谱的红外、可见和紫外区域中的波长。例如，光循环壳中的一个或多个 LED 可以是红色的 LED，一个或多个 LED 可以是绿色的 LED，并且一个或多个 LED 可以是蓝色的 LED。如果实施例例如包含红、绿和蓝 LED，那么红、绿和蓝 LED 可以同时通电以

产生诸如白光之类的单一混合输出颜色。可选择地，这个例子中的红、绿和蓝 LED 可以各在不同的时间通电，以在不同的时间段产生不同的颜色。

【0038】优选的 LED 具有至少一个反射层，其反射在 LED 上入射的光。LED 的反射层可以是镜面反射器或漫反射器。典型地，反射层是镜面反射器。优选的是，LED 的反射层的反射率 R_s 至少是 50%。更加优选地，反射率 R_s 至少是 70%。最优选地，反射率 R_s 至少是 90%。

【0039】图 3-8 和 10-12 中的每个 LED 以发射层面对光循环壳的内部并且反射层放置在发射层的后面且邻近于光循环壳内表面的方式示出。在这种构造中，光能够从没有与反射层相接触的发射层的所有表面发射。也在本发明的范围内的是，第二反射层能够被放置在面对光循环壳内部的发射层的表面上。在后面的例子中，光能够从不与任一反射层相接触的发射层的侧面发射。对于在发射层的顶面上具有电连接的某些类型的 LED，第二反射层尤其重要，因为第二反射层能够提升 LED 的总的反射率。

【0040】光源的总发光面积是面积 A_s 。如果在单个光循环壳内有多于一个的 LED，则光源的总发光面积 A_s 是光循环壳中所有的 LED 的总发光面积。

【0041】不管是包含一个 LED 还是多个 LED 的光源，都具有最大固有源辐射率，其取决于光源设计和向光源施加的驱动电功率。以以下方式确定最大固有源辐射率。首先，当光循环壳不存在时，并且在测量时没有其他的 LED 在将光引导到所述 LED 时，对光源中的每个 LED 测量辐射率。测量以每个 LED 以与照明系统中同样的水平通电的方式进行，并且作为发射角的函数进行。从这些辐射率测量中，能够为所有 LED 确定最大辐射率值。这个最大值被定义为最大固有源辐射率。

【0042】本发明的光循环壳是至少部分地将光源封入的光反射元件。光循环壳可以是封入内部体积的任何三维表面。例如，光循环壳的表面可以是立方形、矩形的三维表面、球体、扁球体、椭圆体、任意三维的多面体表面或任意三维的弯曲表面。为了易于将 LED 固定到壳的内表面，优选的是，光循环壳的三维形状是具有平坦侧面的多面体表面。优选的三维形状具有正方

形、矩形或多边形横截面。

【0043】光循环壳将光源所发射的部分的光反射并循环返回到光源。优选地，光循环壳内表面的反射率 R_E 至少是 50%。更加优选地，反射率 R_E 至少是 70%。最优选地，反射率 R_E 至少是 90%。理想地，为了使照明系统的效率和最大射出辐射率最大化，反射率 R_E 应当尽可能接近 100%。

【0044】光循环壳可以从固有反射的大块材料中制造。固有反射的大块材料可以是漫反射器或镜面反射器。优选地，固有反射的大块材料是漫反射器。漫反射器在任意方向上反射光线，并且防止反射的光陷入循环重复的路径中。镜面反射器如此反射光线，使得反射角和入射角相等。

【0045】可选择地，如果光循环壳没有从固有反射的材料中制造，则光循环壳的内表面必须覆盖反射涂层。反射涂层可以是镜面反射器、漫反射器或者背后有镜面反射层的漫反射器。为了实现高反射率，漫反射器典型地需要相对厚（几毫米）。如果镜面反射器用作漫反射器的背面，则实现高反射率所需的漫反射器的厚度能够减小。

【0046】能够制造具有很高反射率（例如大于 95%或大于 98%）的漫反射器。然而，具有高反射率的漫反射器通常很厚。例如，反射率大于 98%的漫反射器典型地有几毫米厚。漫反射器的例子包括但不限于来自 Labsphere, Inc.的诸如 Spectralon™ 之类的含氟聚合物材料和来自诸如 Fluorglas（在商标 Furon™ 下销售）、W. L. Gore and Associates, Inc.（在商标 DR™ 下销售）或者 E. I. du Pont de Nemours & Company（在商标 Teflon™ 下销售）之类的制造商的聚四氟乙烯膜，硫酸钡膜，包含微小空气通路的多孔聚合物膜，诸如 Pall Gelman Sciences 所制造的聚醚砜和聚丙烯过滤材料之类，以及利用反射填充材料的聚合物复合物，像例如二氧化钛之类。后面的聚合物复合物材料的例子是由 RTP 生产的二氧化钛充填的 ABS（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯三元共聚物）。在诸如二氧化钛充填的 ABS 之类的聚合物复合物材料用作反射材料的情况下，光循环壳能够由聚合物复合物材料形成，并且在光循环壳的内表面上不需要单独的光反射层。

【0047】大多数镜面反射材料具有从大约 80% 到大约 98.5% 变动的反射率。镜面反射材料的例子包括但不限于 3M 公司的产品 Silverlux™，和其他覆了像银、铝或金这样的薄金属层的塑料底膜。金属涂层的厚度可以从大约 0.05 微米到大约 0.1 毫米变动，取决于使用的材料和制造金属涂层的方法。具有高反射率的镜面反射膜的其他例子包括由 3M 公司制造的 Vikuiti™ ESR（增强的镜面反射器）和光子带隙反射材料。ESR 膜具有跨越可见光谱的大于 98% 的反射率。

【0048】未被光源占据的光循环壳的内部体积可以由真空占据，可以用透光气体填充，或者可以用透光固体填充或部分填充。填充或部分填充光循环壳的任何气体或固体应当透射光源发射的光。透光气体的例子有空气、氮气和像氩这样的惰性气体。透光固体的例子包括像二氧化硅或蓝宝石这样的无机玻璃和像聚甲基丙烯酸甲酯、聚苯乙烯、聚碳酸酯或含硅材料这样的有机聚合物。

【0049】光循环壳具有至少一个光输出孔。光源和光循环壳通过所述至少一个光输出孔将光源发射的至少部分光作为具有最大射出辐射率的非相干光引导出光循环壳。通过测量出射角的全范围之上的射出辐射率，并且确定最大测量值，在实验上确定最大射出辐射率。总的光输出孔面积是面积 A_0 。如果光循环壳有多于一个的光输出孔，则 A_0 涉及所有输出孔的组合面积。输出孔可以具有任何形状，包括但不限于方形、矩形、多边形、圆形、椭圆形、任意多面形或任意曲线形。

【0050】现在来描述利用光循环的本发明的各种实施例。

【0051】本发明的一个实施例是图 3A、3B、3C、3D 和 3E 中示出的照明系统 100。图 3A 是照明系统 100 的顶部外视图，示出了光循环壳 102 和光输出孔 104 的外缘，如附图中的实线那样。图 3B 是沿着图 3A 中指示的 I-I 平面的横截面图。图 3C 是沿着图 3A 中指示的 II-II 平面的横截面图。II-II 平面穿过光输出孔 104 和 LED 106。图 3D 和 3E 示出了从 LED 106 发射的一些有代表性的光线的路径。

【0052】光循环壳 102 表面的立方体三维形状、光循环壳 102 的方形横截面形状和光输出孔 104 的方形形状是用来使描述容易理解的说明性的例子。还应当注意的是，附图仅仅是结构的表示；实际的和相对的尺寸可能不同。

【0053】如以前提到的那样，光循环壳 102 可以是将内部体积封入的任何三维表面。例如，光循环壳的表面可以是方形、矩形的三维表面、球体、扁球体、椭圆体、任意三维的多面体表面或任意三维的弯曲表面。为了易于将 LED 固定到壳的内表面，优选地，光循环壳的三维形状是具有平坦侧面的多面体表面。对光循环壳三维形状的仅有要求是，从光循环壳之内的 LED 发射的任何光线的部分，必须在光循环壳之内的有限次反射之内，也从光循环壳的光输出孔射出，亦即，光循环壳内没有这样的反射盲点，其中从 LED 发射的光会不断地反射，而不会通过光输出孔射出光循环壳。

【0054】光循环壳 102 的横截面，诸如图 3C 中示出的方形横截面之类，依赖于三维表面的形状可以有规则或者不规则的任何形状。可能的横截面形状的其他例子包括矩形、锥形、多边形、圆形、椭圆形、任意的多面体表面或任意的弯曲表面。优选的横截面形状是方形、矩形或多边形。

【0055】在照明系统 100 中，光循环壳 102 的内表面，除了被 LED 106 覆盖的面积和光输出孔 104 占用的面积之外，都是光反射面。为了实现高的光反射率，光循环壳 102 可以从固有反射的大块材料中制造，或者光循环壳 102 的内表面可以用反射涂层覆盖。大块材料或者反射涂层可以是镜面反射器、漫反射器或背面有镜面反射层的漫反射器。反射材料的例子在前面已经描述。优选地，没有被 LED 106 和光输出孔 104 占用的光循环壳 102 的内表面反射率 R_E 至少是 50%。更加优选地，反射率 R_E 至少是 70%。最优选地，反射率 R_E 至少是 90%。理想地，为了使照明系统的效率和最大射出辐射率最大化，反射率 R_E 应当尽可能接近 100%。

【0056】图 3C 中示出的照明系统 100 的方形横截面形状具有包含光输出孔 104 的第一面、第二面、第三面和第四面。第一面与第三面相对并平行。第二面与第四面相对并平行。第一面和第三面与第二面和第四面垂直。图 3C

的横截面中示出的照明系统的四个面加上六面立方体剩余的两个面（横截面图中没有示出）形成光循环壳的内部。

【0057】照明系统 100 的光源是 LED 106，其发射任意光波长或波长范围的光，并且内部地安置到照明系统中的第四面上。LED 106 可以是任何无机发光二极管或 OLED。优选地，LED 106 是无机发光二极管。LED 106 发射的光的波长优选地大于 200 纳米并小于 3000 纳米。如果 LED 106 发射的光是紫外光，则优选地波长大于 200 纳米并小于 400 纳米。如果 LED 106 发射的光是红外光，则优选地波长大于 700 纳米并小于 3000 纳米。

【0058】LED 106 具有反射层 110 和发射层 108。反射层邻近第四面并在第四面的内部而发射层则延伸到光循环壳的内部。反射层 110 可以是镜面反射器或漫反射器。在典型的无机发光二极管中，反射层（如果存在的话）通常是镜面反射器。LED 106 的反射层 110 的光反射率是 R_S 。如果反射率在反射层面积上有变化，则反射率 R_S 被定义为反射层的平均反射率。反射层 110 的反射率 R_S 优选地至少是 50%。更加优选地，反射层 110 的反射率 R_S 至少是 70%。最优选地，反射层 110 的反射率 R_S 至少是 90%。理想地，为了使照明系统的效率和最大射出辐射率最大化，反射率 R_S 应当尽可能接近 100%。

【0059】光源的总发光面积是面积 A_S 。在图 3A-3E 中，光源仅包括一个 LED，因此光源的总发光面积 A_S 是 LED 106 的发光面积。

【0060】从光源（该情况下为 LED 106）输出的光具有最大固有源辐射率，其取决于光源设计和向光源施加的驱动电功率。光源的最大固有源辐射率能够通过测量没有被封入光循环壳中的相同构造和相同通电的 LED 来确定。

【0061】光输出孔 104 在照明系统的第一面上。来自光源和光循环壳的光的部分射出光输出孔。如提到的那样，孔可以具有任何形状，包括但不限于方形、矩形、多边形、圆形、椭圆形、任意多面体形状或任意曲面形状。总的光输出孔面积是面积 A_O ，其在此情况下仅是单个光输出孔 104 的面积。如果照明系统有多于一个的光输出孔，则面积 A_O 是所有光输出孔的总面积。

【0062】可以通过没有接触反射层 110 的发射层 108 的一个或多个表面，从 LED 106 的发射层 108 发射光。例如，光可以通过表面 112 发射。在图 3D 和 3E 中示出了通过表面 112 发射的光线的四个说明性的例子。

【0063】在图 3D 中，从第四面上的 LED 106 的发射层 108 的表面 112 发射的第一光线 114，穿过光循环壳 102 的内部以通过第一面上的光输出孔 104 射出，而没有从光循环壳的反射面反射离开。

【0064】从 LED 106 的发射层 108 的表面 112 发射的第二光线 116 穿过光循环壳的内部，并且在第三面上被光循环壳 102 反射。反射的光线 116 然后穿过光循环壳的内部，以通过第一面上的光输出孔 104 射出。这仅仅是说明性的例子，因为第二光线 116 在通过光输出孔射出光循环壳之前，能从任何面及所有面的反射面反射有限次数。

【0065】从 LED 106 的发射层 108 的表面 112 发射的第三光线 118 穿过光循环壳的内部，并且被第二面上的光循环壳 102 吸收。通常，光循环壳不是完美的反射器，并且反射率小于 100%。一些光，像光线 118，将会被吸收。由于吸收损耗，只有光循环壳里面的部分光将通过光输出孔 104 射出光循环壳。

【0066】在图 3E 中，在第一时间段期间从 LED 106 的发射层 108 的表面 112 发射的第四光线 120 穿过光循环壳 102 的内部，并被第二面上的光循环壳反射。反射的第四光线穿过光循环壳内部并循环返回到光源。第四光线 120 透射通过 LED 106 的表面 112 和发射层 108，以从 LED 106 的反射层 110 反射离开。第四光线 120 然后在第二时间段期间透射通过 LED 106 的发射层 108 并且通过表面 112，穿过光循环壳内部，并且最终射出光输出孔 104。

【0067】光线 114、116、118 不循环返回到光源。光线 120 循环返回到光源。通过光源发射的光只有部分循环返回到光源。

【0068】当在第二时间段期间第四光线 120 反射离开 LED 106 的反射层 110 并透射通过发射层 108 和表面 112 以进入光循环壳时，在第二时间段期间，反射的光线 120 添加到 LED 106 的发射层 108 所同时发射的光线。反射的

光线增加了 LED 106 的有效源辐射率，因此有效源辐射率于是高于在没有光循环时测量的 LED 106 的最大固有源辐射率。

【0069】 射出光输出孔的光的最大射出辐射率不能大于光源的有效辐射率。然而，通过将光源发射的部分光循环返回到光源，光源的有效辐射率能够增加，以便射出光输出孔的光的最大射出辐射率然后能够大于在没有光循环时测量的相同 LED 的最大固有源辐射率。注意当照明系统 100 的射出光输出孔的光的最大射出辐射率与在没有光循环时的相同 LED 的最大固有源辐射率比较时，照明系统 100 的 LED 106 和在参考测量中使用的相同 LED 具有相同的设计并在相同的电功率下操作。

【0070】 不管发射层 108 是否发射光，第四光线 120 将会不受影响地透射通过 LED 106 的发射层 108。可选择地，第四光线 120 能够在第四面上反射离开 LED 的反射层 110 之前，在第一或第三面上反射离开光循环壳。

【0071】 这仅仅是说明性的例子，因为在第四光线通过光输出孔 104 射出光循环壳之前，第四光线 120 在反射离开 LED 的反射层 110 一次或任何有限次数之前或之后，能够从任何面与所有的面的反射面反射有限次数。

【0072】 通过优选地使除了光循环壳里所有孔的总面积 A_O 之外的照明系统 100 的整个内部表面可反射，实现了照明系统 100 内表面的最大反射率和从光输出孔 104 射出的合成最大射出辐射率。照明系统 100 具有一个光输出孔 104，其具有面积 A_O 。光循环壳总的内部面积是 A_T ，其包括面积 A_O 和光源的总发光面积。LED 光源具有反射层 110，其具有反射率 R_S 。光源的总发光面积是面积 A_S 。在图 3A-3E 的例子中，面积 A_S 是 LED 106 的发光面积，但对于具有多于一个 LED 的其他例子， A_S 是光循环壳里所有 LED 的总发光面积。没有被 LED 的总发光面积 A_S 和一个或多个输出孔的面积 A_O 覆盖的剩下的光循环壳里面的面积以剩余面积 A_R 表示。优选地，光循环壳的整个剩余面积 A_R 应当具有反射率为 R_E 的反射面，以使从一个或多个光输出孔射出的辐射率最大化。如前面提到的那样，反射率 R_E 优选地至少是 50%。更加优选地，反射率 R_E 至少是 70%。最优选地，反射率 R_E 至少是 90%。理

想地，为了使照明系统的效率和最大射出辐射率最大化，反射率 R_E 应当尽可能接近 100%。

【0073】由于面积 A_S 和面积 A_R 不是完美的反射器，并且在每个反射期间确实吸收一些光，所以最大照明系统效率和最大射出辐射率通过使光反射次数最小化实现。对于给定的固定总发光面积 A_S 和一个或多个光输出孔的给定的固定总面积 A_O ，通过最小化剩余面积 A_R 以便最小化反射次数，实现从一个或多个光输出孔引导的最大射出辐射率。然而，通常剩余面积 A_R 成为零是不可能的，因为通常不可能在照明系统中布置一个或多个 LED 以覆盖未被光输出孔占据的光循环壳的全部面积。

【0074】只有当光输出孔 104 的总光输出孔面积 A_S 小于光源的总发光面积 A_S 时，照明系统 100 才能够实现大于光源的最大固有源辐射率的增强最大射出辐射率。能够从以下理论性的例子来理解对增强最大射出辐射率的这种面积要求。首先假定理论上的照明系统内表面没有吸收损耗，亦即面积 A_S 和 A_R 都具有 100% 的反射率。同样假定光源以朗伯(Lambertian)分布发射光。注意朗伯发射体是对从 -90 度到 +90 度的所有的发射角都具有不变辐射率的发射体。

【0075】如果光输出面积 A_O 等于总的发光面积 A_S ，那么光源发射的所有的光通量将在相同的面积中射出理论上的照明系统，并且在许多情况下将具有相同的朗伯分布。射出光输出孔的光的最大射出辐射率将等于最大固有源辐射率。

【0076】如果理论上的照明系统的光输出面积 A_O 大于总发光面积 A_S ，则射出光输出孔的光会具有相同的朗伯分布，但由于输出光通量在较大的面积之上散布，而将具有小于最大固有源辐射率的最大射出辐射率。从光射出孔引导的最大射出辐射率将由于因数 A_S/A_O 而变低。

【0077】如果理论的照明系统的光输出面积 A_O 小于总发光面积 A_S 并且照明系统里没有光被损耗或吸收，则射出光输出孔的光会具有相同的朗伯分布，但由于光输出孔的减少的面积而将具有大于最大固有源辐射率的最大射出

辐射率。从光射出孔引导的最大射出辐射率将由于因数 A_S/A_O 而变大。为了实现大于最大固有源辐射率的最大射出辐射率，因此要求输出面积 A_O 小于总发光面积 A_S 。

【0078】然而，为了在照明系统中实现最大射出辐射率的增强， A_O 必须小于 A_S 的面积要求不是仅有的要求。在典型的照明系统中，反射率 R_S 和反射率 R_E 将小于 100%，其将降低射出辐射率增强。在第一次尝试中没有射出光输出孔 104 的光，当在循环壳中被反射一次或多次时，可被光源或光循环壳吸收。这些损耗将降低最大射出辐射率。因此，为了在典型的照明系统中实现最大射出辐射率的增强， R_E 和 R_S 即使不是 100% 也必须相对高。 R_E 和 R_S 优选的值在前面已经列出。

【0079】此外，在典型的照明系统中，光源可能不是以宽的朗伯（-90 度到 +90 度）角分布而是以较窄的角分布发射光。当光源最初以窄的角分布发射光时，并且当发射的光随后在照明系统里面经历多次的反射时，射出光输出孔的光将比最初的角分布具有更宽的角分布。输出分布将是近似的朗伯分布。将照明系统中的最初的窄的角分布扩展到宽的输出分布也降低光输出孔射出的光的最大射出辐射率。因此，为了在照明系统中实现最大射出辐射率的增强，光源发射的光的角分布应该尽可能地接近朗伯分布。

【0080】通过上面示出的面积的比值 A_S/A_O 给出了最大理论辐射率增强。例如，如果 A_S 等于 20mm^2 并且 A_O 等于 1mm^2 ，那么最大射出辐射率的最大理论增强是 A_S/A_O 或者 20。只有当 LED 是朗伯发射体并且只有当 R_S 和 R_E 各等于 100% 的时候才能实现最大值。如果 LED 不是完美的朗伯发射体或者如果 R_S 和 R_E 都小于 100%，如正常情况下那样，那么最大射出辐射率的增强仍然能够实现但增强将小于最大理论值。在这种情况下，为了实现大于最大固有源辐射率的最大射出辐射率，面积 A_O 可能需要显著小于 A_S 。优选地，光输出孔 104 的面积 A_O 小于或等于光源总的发光面积 A_S 的 50%。更加优选地，光输出孔 104 的面积 A_O 小于或等于光源总的发光面积 A_S 的 30%。最优选地，光输出孔 104 的面积 A_O 小于或等于光源总的发光面积 A_S 的 10%。另

外，对于某些应用，希望光输出孔 104 的面积 A_O 小并且和弧光灯源的面积大小可比。对于那些应用，优选地光输出孔 104 的面积 A_O 小于 25mm^2 。更加优选地，光输出孔 104 的面积 A_O 小于 10mm^2 。

【0081】本发明的另一个实施例在图 4 的横截面中示出。除了光循环壳 102 的内部体积被透光固体 132 基本上填充之外，照明系统 130 和照明系统 100 是相同的。可选择地，透光固体 132 可以部分充满或完全充满光循环壳。

【0082】优选地，透光固体 132 和 LED 106 的发射层 108 接触。通过使透光固体和 LED 的发射层接触，相对于在发射层界面具有空气的情况，发射层和发射层外部环境之间折射率的差异将减少。减少的折射率差异减少了在发射层里经历全部内部反射的光的量，并增加了从发射层的光发射效率。这种效果能够导致照明系统效率的全面增加。如果透光固体的有效折射率等于或大于发射层的折射率，将出现从发射层的光发射的最高效率。

【0083】如必要的话，通过将高折射率材料的超细粉末混合到透光固体中，能够增加透光固体的有效折射率。优选地，超细的粉末由具有大于 1.60 的大折射率的材料制造。超细的粉末是颗粒大小小于大约 300 纳米的粉末。示范性的超细的粉末能够由像例如氧化锡、氧化钛、氧化锌、氧化铈和五氧化二锑之类的材料制造。

【0084】本发明的另一个实施例是图 5 的横截面中示出的照明系统 140。除了照明系统 140 进一步包括平面反射偏振器 142 之外，照明系统 140 和照明系统 100 是相同的。

【0085】平面反射偏振器是反射第一偏振态的光并透射第二偏振态的光的偏振器。偏振态可以是线偏振态或圆偏振态。适合的平面反射偏振器的例子是由 3M 公司制造的 Vikuiti™ 二重亮度增强膜 (DBEF) 和由 NanoOpto 公司和 Moxtek Incorporated 制造的偏振器，其利用了亚波长光学元件。

【0086】平面反射偏振器 142 安放在光输出孔 104 附近，并安放在从光输出孔 104 射出的光的光路中。平面反射偏振器邻近的位置能够正好在光循环壳的外面或正好在光循环壳的里面。平面反射偏振器反射具有第一偏振态的任

何波长的光，并且，平面反射偏振器透射具有第二偏振态的任何波长的光。第一偏振态的光被循环返回光循环壳中。循环返回到光循环壳中的第一偏振态的光将在多次反射之后，转化成第一偏振态的光和第二偏振态的光的混合物。第二偏振态的转化的光然后将能穿过平面反射偏振器。如果针对照明系统 140 的输出只希望有第二偏振态，则将第一偏振态循环返回到光循环壳中以转化成第二偏振态的光将提高照明系统 140 的总效率和最大射出辐射率。

【0087】一些照明系统的应用需要偏振光。例如，用于包括液晶显示器(LCD)面板或硅基液晶(LCOS)显示器面板的平板显示器或投影显示器应用的照明系统需要发射偏振光的照明系统。

【0088】图 5 中的光线 144 和 146 示出了平面反射偏振器的功能。第一偏振态的光线 144 从照明系统 140 第四面上的发射层 108 的表面 112 发射，穿过光循环壳 102 的内部并且第一次穿过光输出孔 104 以到达平面反射偏振器 142。光线 144 被平面反射偏振器 142 反射，第二次穿过光输出孔 104 并循环返回光循环壳 102 的内部。

【0089】第二偏振态的光线 146 从照明系统 140 第四面上的发射层 108 的表面 112 发射，穿过光循环壳 102 的内部到光循环壳 102 的第三面上的内表面。光线 146 被光循环壳 102 反射，穿过光循环壳 102 的内部，穿过第一面上的光输出孔 104 并穿过平面反射偏振器 142。总的来说，平面反射偏振器 142 反射第一偏振态的光并透射第二偏振态的光。

【0090】本发明的其他的实施例是部分地校准照明系统。图 6A、6B 和 6C 是利用光校准元件部分地校准输出光的照明系统的横截面图。通常，光校准元件可以是至少部分地校准从光输出孔 104 射出的光的任何光学元件。例如，光校准元件可以是复合抛物面反射器、凸透镜、锥形光导或两种或多种这种元件的组合。

【0091】除了照明系统 160 进一步包括光校准元件 162 以外，图 6A 中的照明系统 160 和照明系统 100 相同。在图 6A 中，为了说明性的目的，光校准元件 162 是复合抛物面反射器。复合抛物面反射器是通过从锥形光导的内表

面反射光来输送光的锥形光导。复合抛物面反射器可以由透明的固体材料构造。如果复合抛物面反射器由这样的固体透明材料构造，则光能够穿过材料并通过全内反射从复合抛物面反射器的内表面反射。可选择地，复合抛物面反射器可以是中空结构并且为了反射光，复合抛物面反射器的面必须覆盖反射涂层。光校准元件 162 具有输入表面 164 和输出表面 166，其中输入表面 164 邻近光输出孔 104 并且其接受没有校准的光。输入表面 164 接受来自光输出孔 104 的没有校准的光。光校准元件 162 部分地校准先前没有校准的光并通过输出表面 166 透射部分校准的光。为了使光校准元件部分地校准射出光输出孔 104 的光，输入表面 164 的面积必须小于输出表面 166 的面积。方程 5 给出了输入和输出面积以及光的输入和输出立体角分布之间的数学关系。

【0092】图 6A 示出的有代表性的光线 168 和 169 示出了当光校准元件 162 是复合抛物面反射器时光校准元件 162 的功能。光线 168 从第一面上的发射层 108 的表面 112 发射，作为没有校准的光穿过光循环壳 102 的内部，穿过第一面上的光输出孔 104 并穿过复合抛物面反射器的输入表面 164。光线 168 被复合抛物面反射器的面反射并作为部分校准的光通过输出表面 166 射出复合抛物面反射器。

【0093】光线 169 从第四面上的发射层 108 的表面 112 发射，穿过光循环壳 102 的内部到第二面上的光循环壳 102 的内表面。光线 169 被光循环壳 102 反射，穿过光循环壳 102 的内部，穿过第一面上的光输出孔 104 并通过输入表面 164 进入复合抛物面反射器。光线 169 被复合抛物面反射器的面反射并作为部分校准的光通过输出表面 166 射出复合抛物面反射器。

【0094】从光校准元件所要求的光校准的程度依赖于应用。通过光输出孔 104 射出的光典型地具有朗伯（输出角 -90 度到 $+90$ 度或者立体角 2π ）角分布或接近朗伯角分布。通过利用方程 5 的数学关系改变输出表面 166 的面积相对于输入表面 164 的面积，能够如所需要的那样调整射出光校准元件 162 的光的校准。如果光校准元件的输入折射率 n_m 等于光校准元件的输出折射率

n_{out} ，那么能够代替地使用方程 4，并且来自光校准元件的光输出立体角分布 Ω_{out} 可以通过下面的方程给出：

$$\Omega_{out} = \Omega_{in} (Area_{in}) / (Area_{out}) \quad \text{【方程 6】}$$

其中 Ω_{in} 是进入光校准元件的光输入立体角分布， $Area_{in}$ 是输入表面 164 的面积， $Area_{out}$ 是输出表面 166 的面积。

【0095】对于要求高度光校准的应用，光校准元件 162 部分地校准光，使得光输出分布优选地在 -30 度到 +30 度之间的角范围内。更加优选地，光校准元件 162 部分地校准光，使得光输出分布在 -20 度到 +20 度之间的角范围内。最优选地，光校准元件 162 部分地校准光，使得光输出分布在 -10 度到 +10 度之间的角范围内。

【0096】在图 6B 的横截面中示出的照明系统 170 是部分地校准光输出的照明系统的另一个例子。除了照明系统 170 进一步包括光校准元件 172 以部分地校准的射出光输出孔 104 的光之外，照明系统 170 和照明系统 100 相同，在该情况下光校准元件 172 是凸透镜，该凸透镜是球形透镜。光校准元件 172 的光输入面邻近光输出孔 104。光校准元件 172 的输出面与输入面相对。为了部分地校准穿过光校准元件 172 的光，在透镜输出面上的光束的面积必须大于在输入面上的光束的面积。

【0097】图 6B 中示出的有代表性的光线 174 和 176 示出了当光校准元件 172 是凸透镜时光校准元件 172 的功能。光线 174 从第一面上的发射层 108 的表面 112 发射，穿过光循环壳 102 的内部，穿过第一面上的光输出孔 104，并且作为未校准的光穿过光校准元件 172 的输入面。光线 174 被光校准元件 172 折射并作为部分地校准的光通过光校准元件 172 的输出面射出。

【0098】光线 176 从第四面上的发射层 108 的表面 112 发射，穿过光循环壳 102 的内部到第二面上的光循环壳 102 的内表面。光线 176 被光循环壳 102 反射，穿过光循环壳 102 的内部，穿过第一面上的光输出孔 104 并作为未校准的光线进入光校准元件 172 的输入面。光线 176 被光校准元件 172 折射并作为部分地校准的光通过光校准元件 172 的输出面射出。

【0099】优选地，光校准元件 172 部分地校准从光校准元件射出的光，使得光输出分布在 -30 度到 $+30$ 度之间的角范围内。更加优选地，光输出分布在 -20 度到 $+20$ 度之间的角范围内。最优选地，光输出分布在 -10 度到 $+10$ 度之间的角范围内。

【0100】在图 6C 的横截面中示出的照明系统 180 是部分地校准光输出的照明系统的另一个例子。除了照明系统 180 进一步包括第一光校准元件 182、即锥形光导，和第二光校准元件 188、即凸透镜，其组合地工作以部分地校准射出光输出孔 104 的光之外，照明系统 180 和照明系统 100 相同。

【0101】图 6C 中的第一光校准元件 182 是具有输入表面 184 和输出表面 186 的锥形光导。光校准元件 182 的锥形光导的侧面是反射的，或者通过利用全内反射或者因为这些侧面施加了反射涂层，但输入和输出表面不是。为了使光校准元件 182 部分地校准光，输出表面 186 的面积必须大于输入表面 184 的面积。方程 6—当光校准元件是复合抛物面反射器时使用的同一个方程—确定通过光校准元件 182 能够实现的部分校准的程度。

【0102】第二光校准元件 188 是凸透镜。如果凸透镜的面积大于第一光校准元件 182 的输出表面 186 的面积，并且另外，凸透镜的焦距适当地选择，那么第二光校准元件 188 将进一步提高第一光校准元件 182 单独作用实现的部分光校准。

【0103】图 6C 中示出的有代表性的光线 190 和 192 说明了第一光校准元件 182 和第二光校准元件 188 的功能。光线 190 从第一面上的发射层 108 的表面 112 发射，穿过光循环壳 102 的内部，穿过第一面上的光输出孔 104 并作为未校准的光穿过第一光校准元件 182 的输入表面 184。光线 190 被第一光校准元件 182 的侧面反射并作为部分地校准的光通过第一光校准元件 182 的输出表面 186 射出。光线 190 然后穿过第二光校准元件 188 并被第二光校准元件 188 折射，并且最后以进一步提高的部分校准射出第二光校准元件 188。

【0104】光线 192 从第四面上的发射层 108 的表面 112 发射，穿过光循环壳 102 的内部到第二面上的光循环壳 102 的内表面。光线 192 被光循环壳 102

反射, 穿过光循环壳 102 的内部, 穿过第一面上的光输出孔 104 并作为未校准的光进入第一光校准元件 182 的输入表面 184。光线 192 被第一光校准元件 182 的侧面反射并作为部分地校准的光通过第一光校准元件 182 的输出表面 186 射出。光线 192 然后穿过第二光校准元件 188 并被第二光校准元件 188 折射, 并且最后以进一步提高的部分校准射出第二光校准元件 188。

【0105】 优选地, 组合地工作的第一光校准元件 182 和第二光校准元件 188 部分地校准射出第二光校准元件 188 的光, 使得光输出分布在 -30 度到 $+30$ 度之间的角范围内。更加优选地, 光输出分布在 -20 度到 $+20$ 度之间的角范围内。最优选地, 光输出分布在 -10 度到 $+10$ 度之间的角范围内。

【0106】 在先前的实施例中, 图 5 示出了照明系统和平面反射偏振器结合。图 6A、6B 和 6C 示出了照明系统和一个或两个光校准元件结合。具有组合地工作的反射偏振器和一个或多个光校准元件的本发明的实施例也是可能的。图 7A 示出了利用平面反射偏振器的一个例子。图 7B 示出了包括光校准元件和不同类型反射偏振器的本发明的另一个实施例。

【0107】 图 7A 是照明系统 200 的横截面图。除了照明系统 200 进一步包括平面反射偏振器 220 之外, 照明系统 200 和图 6A 中的照明系统 160 一样具有光校准元件。平面反射偏振器的例子在先前已经列举。平面反射偏振器 220 安置在邻近光校准元件 162 的输出面 166 的位置。平面反射偏振器 220 反射第一偏振态的光并透射第二偏振态的光。平面反射偏振器 220 反射和循环第一偏振态的光通过光校准元件 162 回来并回到光循环壳 102 中。循环回到光循环壳 102 中的第一偏振态的光能够在光循环壳中被多次反射并因此被部分地转变成第二偏振态的光。转变成第二偏振态的光的循环光然后通过光输出孔 104 射出光循环壳, 穿过光校准元件 162 并最终穿过平面反射偏振器 220。循环和偏振转变的光加到照明系统 200 的光输出上。照明系统 200 的效率和最大射出辐射率都因此增加。

【0108】 图 7 中示出的有代表性的光线 222 和 224 说明了光校准元件 162 和平面反射偏振器 220 的功能。第一偏振态的光线 222 从第四面上的发射层

108 的表面 112 发射，穿过光循环壳 102 的内部到第二面上的光循环壳 102 的内表面。第一偏振态的光线 222 被光循环壳 102 反射，穿过光循环壳 102 的内部，穿过第一面上的光输出孔 104 并作为未校准的光进入光校准元件 162 的输入表面 164。第一偏振态的光线 222 被光校准元件 162 的侧面反射并作为部分地校准的光通过输出表面 166 射出光校准元件。第一偏振态的光线 222 然后被平面反射偏振器 220 反射，第二次穿过光校准元件 162 并重新进入光循环壳 102，最终被部分地转变成第二偏振态的光。

【0109】第二偏振态的光线 224 从第一面上的发射层 108 的表面 112 发射，穿过光循环壳 102 的内部，穿过第一面上的光输出孔 104 并作为未校准的光穿过光校准元件 162 的输入表面 164。第二偏振态的光线 224 被光校准元件 162 的侧面反射，然后作为部分地校准的光通过光校准元件 162 的输出表面 166 射出。光线 224 然后穿过平面反射偏振器 220 并作为第二偏振态的部分地校准的光射出照明系统 200。

【0110】图 7B 是照明系统 250 的横截面图。除了照明系统 250 进一步包括反射偏振器之外，照明系统 250 和具有光校准元件的照明系统 160 一样。在这个图示中，反射偏振器是射束分离棱镜偏振器 252。射束分离棱镜偏振器的特性和功能是本领域技术人员众所周知的。射束分离棱镜偏振器 252 具有输入表面 270，和输入表面垂直的第一输出表面 272，平行于输入表面并与其相对的第二输出表面 274，以及部分反射对角线表面 254。沿着棱镜对角线布置的部分反射对角线表面 254 反射第一偏振态的光到第一输出表面并透射第二偏振态的光到第二输出表面。

【0111】射束分离棱镜偏振器 252 安置在邻近光校准元件 162 的输出表面 166 的位置。射束分离棱镜偏振器 252 的部分反射对角线表面 254 反射第一偏振态的光到反射器 256 并透射第二偏振态的光。反射器 256 反射并通过射束分离棱镜偏振器 252 循环返回第一偏振态的光，通过光校准元件 162 返回并回到光循环壳 102 中。被循环回到光循环壳 102 的第一偏振态的光能够在光循环壳里被反射多次并因此被部分地转变成第二偏振态的光。被转变成第二偏

振态的光然后通过光输出孔 104 射出光循环壳，穿过光校准元件 162 并最终穿过射束分离棱镜偏振器 252 的第二输出表面 274。这种循环并转变偏振的光增加了照明系统 250 的光输出。照明系统 250 的效率和最大射出辐射率因此增加。

【0112】图 7B 示出的有代表性的光线 258 和 260 说明了光校准元件 162 和射束分离棱镜偏振器 252 的功能。第一偏振态的光线 258 从第四面上的发射层 108 的表面 112 发射，穿过光循环壳 102 的内部到第二面上的光循环壳 102 的内表面。第一偏振态的光线 258 被光循环壳 102 反射，穿过光循环壳 102 的内部，穿过第一面上的光输出孔 104 并作为未校准的光进入光校准元件 162 的输入表面 164。第一偏振态的光线 258 被光校准元件 162 的侧面反射并作为部分地校准的光通过输出表面 166 射出光校准元件。第一偏振态的光线 258 通过输入表面 270 进入射束分离棱镜偏振器 252，被部分反射对角线表面 254 反射，穿过第一输出表面 272 到反射器 256 并被反射器 256 反射往回通过射束分离棱镜偏振器的第一输出表面 272。光线 258 被部分反射对角线表面 254 反射往回通过输入表面 270 并进入光校准元件 162，第二次穿过光校准元件 162 并重进入光循环壳 102 中，最终被部分地转变成第二偏振态的光。

【0113】第二偏振态的光线 260 从第一面上的发射层 108 的表面 112 发射，穿过光循环壳 102 的内部，穿过第一面上的光输出孔 104 并作为未校准的光穿过光校准元件 162 的内表面 164。第二偏振态的光线 260 被光校准元件 162 的侧面反射并作为部分校准的光通过光校准元件 162 的输出表面 166 射出。光线 260 穿过输入表面 270 进入射束分离棱镜偏振器 252，穿过部分反射对角线表面 254，通过第二输出表面 274 射出射束分离棱镜偏振器 252，并作为第二偏振态的部分地校准的光射出照明系统 250。

【0114】在图 7B 中，从第一输出表面 272 射出的第一偏振态的光被反射器 256 反射回到射束分离棱镜偏振器 252 中。图 8 中的横截面示出了一种可选择的照明系统 600。在图 8 中，从第一输出表面 272 射出的第一偏振态的光

循环回到组合工作的第二光校准元件 620 和第二照明系统中。第二照明系统包括具有第二发射层 608 和第二反射层 610 的第二 LED 606、第二光循环壳 602 和第二光输出孔 604。第二光校准元件 620 具有邻近第二光输出孔 604 的输入表面和邻近射束分离棱镜偏振器 252 的第一输出表面 272 的输出表面。

【0115】由 LED 106 发射的第一偏振态的光被射束分离棱镜偏振器 252 的部分反射对角线表面 254 反射进入第二光校准元件 620 和含有 LED 606 的第二光循环壳 602 中。相反地，由 LED 606 发射的第一偏振态的光被射束分离棱镜偏振器 252 的部分反射对角线表面 254 反射进入光校准元件 162 和含有 LED 106 的光循环壳 102 中。

【0116】由 LED 106 发射的第二偏振态的光由射束分离棱镜偏振器 252 的部分反射对角线表面 254 透射。光穿过表面 274，被反射器 636 反射，被直角棱镜 634 折射并作为第二偏振态的光射出照明系统 600。由 LED 606 发射的第二偏振态的光被射束分离棱镜偏振器 252 的部分反射对角线表面 254 透射。光穿过表面 630，被反射器 638 反射，被直角棱镜 634 折射并作为第二偏振态的光射出照明系统 600。从 LED 106 和从 LED 606 发射的第二偏振态的光相结合给出了具有增加的最大输出辐射率的照明系统。包括两个光循环壳和两个光校准元件的照明系统 600 的最大输出辐射率，大于包括一个光循环壳和一个光校准元件的照明系统 250 的最大输出辐射率。

【0117】光线 640、642、650、652 示出了照明系统 600 的运行。第一偏振态的光线 640 从 LED 606 的发射层 608 的表面 612 发射，穿过光循环壳 602 的内部并被光循环壳 602 反射。光线 640 穿过光循环壳 602 的内部，通过光输出孔 604 射出并进入光校准元件 620 的内表面。光线 640 穿过光校准元件 620 没有进行反射并进入射束分离棱镜偏振器 252 的表面 272。第一偏振态的光线 640 被部分反射对角线表面 254 反射并进入光校准元件 162 中。光线 640 从光校准元件 162 的侧面反射，射出光校准元件 162 并作为循环光进入光循环壳 102。

【0118】第二偏振态的光线 642 从发射层 608 的表面 612 发射，穿过光循环壳 602 的内部，通过光输出孔 604 射出并进入光校准元件 620 的输入表面。光线 642 被光校准元件 620 的面反射，射出光校准元件 620 并进入射束分离棱镜偏振器 252 的表面 272。第二偏振态的光线 642 穿过部分反射对角线表面 254 没有进行反射并通过表面 630 射出射束分离棱镜偏振器 252。光线 642 被反射器 638 反射，被直角棱镜 634 折射并作为第二偏振态的光射出照明系统 600。

【0119】第一偏振态的光线 650 由 LED 106 的发射层 108 的表面 112 发射，穿过光循环壳 102 的内部并被光循环壳 102 反射。光线 650 穿过光循环壳 102 的内部，通过光输出孔 104 射出并进入光校准元件 162 的输入表面。光线 650 没有反射地穿过光校准元件 162 并进入射束分离棱镜偏振器 252 的表面 270。第一偏振态的光线 650 被部分反射对角线表面 254 反射进入光校准元件 620 中。光线 650 穿过光校准元件 620 没有经过反射，射出光校准元件 620 并作为循环光进入光循环壳 602。

【0120】第二偏振态的光线 652 从发射层 108 的表面 112 发射，穿过光循环壳 102 的内部，通过光输出孔 104 射出并进入光校准元件 162 的输入表面。光线 652 被光校准元件 162 的面反射，射出光校准元件 162 并进入射束分离棱镜偏振器 252 的表面 270。第二偏振态的光线 652 没有反射地穿过部分反射对角线表面 254 并通过 274 的表面射出射束分离棱镜偏振器 252。光线 652 被反射器 636 反射，被直角棱镜 634 折射并作为第二偏振态的光射出照明系统 600。

【0121】在图 3-8 中，光源安置在光循环壳的内部并且光循环壳将光源封入。部分光源可以被放置在光循环壳的外面，这也在本发明的范围内。在这种情况下，光循环壳部分地封入光源但没有封入全部光源。图 9A 和 9B 的横截面图示出了部分光源被放置在光循环壳的外面的照明系统 300 的例子。

【0122】图 9A 和 9B 示出的照明系统 300 的横截面具有第一面、第二面、第三面和第四面。除了照明系统 300 的光源在 LED 306 之外进一步还包括光

导 316 外，照明系统 300 和照明系统 100 相似。LED 306 和光导 316 都安置在第四面上。LED 306 安置在光循环壳的外面。照明系统 300 也包括光循环壳 302 并且光输出孔 304 位于照明系统的第一面上。LED 306、光循环壳 302 和光输出孔 304 的特性和性能都和照明系统 100 中的相应元件的特性和性能相同。

【0123】 LED 306 具有最大固有源辐射率，其通过测量没有联合光导和光循环壳的同样结构的 LED 来确定。

【0124】 光导 316 安置在照明系统的第四面上，并且具有邻近 LED 306 的发射层 308 的表面 312 的输入表面 318，以及安置在光循环壳 302 的内部的输出表面 320。优选地，输入表面 318 的面积大于 LED 306 的表面 312 的面积，使得基本上从 LED 306 的表面 312 发射的所有光将进入光导 316 中。优选地，在 LED 306 的表面 312 和光导 316 的输入表面 318 之间有间隙，并且优选地间隙的折射率小于光导的折射率。如果这样的间隙存在并且这种间隙的折射率充分地小于光导的折射率，则以大角度、亦即与垂直于表面 312 的方向成大于大约 45 度的角度从表面 312 发射的光，将仍然被接受进入光导 316 中，将被光导以与垂直于表面 318 的方向成小于大约 45 度的角度引导并将引导进入光循环壳中。相反地，如果表面 312 和表面 318 之间没有间隙存在，则以与垂直于表面 312 的方向成大于大约 45 度的角度从表面 312 发射的光可能将不能被光导 316 引导进入光循环壳 302 并且可能将会丢失。

【0125】 光导 316 将 LED 306 的发射层 308 发射的光从 LED 306 传输进入光循环壳 302 中。另外，光导 316 将光循环壳 302 中的部分光作为循环光传输回 LED 306 的反射层 310。并且最终，光导 316 将反射层 310 反射的循环光传输回光循环壳。反射层 310 反射的循环光将提高 LED 306 的有效亮度。

【0126】 LED 306 的总的发光面积是面积 A_S 。像先前讨论的，反射层 310 的反射率 R_S 优选地至少是 50%。更加优选地，反射率 R_S 至少是 70%。最优选地，反射率 R_S 至少是 90%。也是先前提到的，光循环壳 302 的反射率 R_E 优选地至少是 50%。更加优选地，反射率 R_E 至少是 70%。最优选地，反

射率 R_E 至少是 90%。输出孔 304 总的输出孔面积是面积 A_O 。在照明系统 300 中，当 A_O 小于 A_S 并当 R_S 和 R_E 都分别大于 50% 时，照明系统 300 的最大发射辐射率大于 LED 306 的最大固有源辐射率是可能的。

【0127】 图 9A 和 9B 中的示范的光线 322 和 330 说明了光导 316 的功能。光线 322 通过 LED 306 的发射层 308 的表面 312 发射。光线 322 穿过表面 312 和 318 之间的间隙并通过表面 318 进入光导 316。光线 322 穿过光导 316，从光导 316 的侧面反射，并通过表面 320 射出光导 316，该表面 320 位于光循环壳 302 的内部。光线 322 穿过光循环壳 302 的内部到光循环壳 302，被光循环壳反射，穿过光循环壳的内部并通过光输出孔 304 射出照明系统 300。

【0128】 在图 9B 中，光线 330 在第一时间段中通过 LED 306 的发射层 308 的表面 312 发射。光线 330 穿过表面 312 和 318 之间的间隙并通过表面 318 进入光导 316。光线 330 穿过光导 316，从光导 316 的侧面反射，并通过表面 320 射出光导 316，该表面 320 位于光循环壳 302 的内部。光线 330 穿过光循环壳 302 的内部并被第二面上的光循环壳反射并循环回光源。光线 330 穿过光循环壳 302 的内部到光导 316 的表面 320。光线 330 无反射地穿过光导 316，穿过光导 316 的表面 318，第一次穿过表面 312 和发射层 308，被反射层 310 反射并第二次和在第二时间段中穿过发射层 308 和表面 312。光线 330 通过表面 318 重进入光导 316，没有反射地穿过通过光导 316，通过表面 320 射出光导 316。光线 330 然后穿过光循环壳的内部并通过光输出孔 304 射出照明系统 300。

【0129】 当光线 330 第二次和在第二时间段中穿过发射层 308 的表面 312 时，光线 330 增加了同时由 LED 306 的发射层 308 在第二时间段中发射的光。光线 330 提高了 LED 306 的有效辐射率并提高了照明系统 300 的最大射出辐射率。

【0130】 光导 316 可以由对光透明并通过全内反射传输光的任何固体材料构造。可能的材料包括像二氧化硅这样的无机玻璃和像聚甲基丙烯酸甲酯和氟化丙烯酸酯这样的塑料。如果 LED 306 以朗伯输出角分布或接近朗伯输出角

分布发射光，则为了阻止光线从光导的侧面泄漏，通过全内反射引导光的光导 316 可能需要是直的光导。光导 316 也可以是固体或中空结构，其中，光导的侧面而不是末端被光反射材料涂敷。如果光导 316 的侧面具有反射材料的涂层，则光导 316 也可以是弯曲的光导并且仍然有效地传输由朗伯发射体发射的光。

【0131】在图 3-9 中示出的本发明的实施例示出了以一个 LED 作为光源。然而，本发明的实施例可以包括多于一个的 LED。图 10A、10B 和 10C 示出了照明系统 400，其具有由既发射又反射光的两个 LED、即 LED 406a 和 LED 406b 组成的光源。图 10A 是照明系统 400 的顶部外视图，在图中以实线示出光循环壳 402 的边缘和光输出孔 404。图 10B 是沿着在图 10A 中的 I-I 平面的横截面图。图 10C 是沿着在图 10A 中的 II-II 平面的横截面图。元件 LED 406a、LED 406b、光循环壳 402 和光输出孔 404 的特性和性能都和照明系统 100 中的相应元件的特性和性能相同。像先前陈述的那样，光循环壳可以具有任何封闭内部体积的三维形状。为了易于将 LED 固定到壳的内表面，优选地光循环壳的三维形状是具有多个平整面的多面体表面。立方形的照明系统 400 只是为了说明的目的。

【0132】图 10C 中示出的照明系统 400 的正方形横截面形状具有包含光输出孔 404 的第一面、第二面、第三面和第四面。第一面和第三面相对并平行。第二面和第四面的相对并平行。第一面和第三面与第二面和第四面垂直。图 10C 的横截面中示出的照明系统的四个面加上六面立方体剩余的两个面（图 10C 中没有示出）形成光循环壳的内部。

【0133】照明系统 400 具有第四面上的 LED 406a 和第二面上的 LED 406b。这两个 LED 可以发射相同波长范围的光或这两个 LED 可以发射不同波长范围的光。例如，LED 406a 可以发射第一波长范围的第一光通量。LED 406b 可以同时发射不同于第一波长范围的第二波长范围的第二光通量。第一波长范围的第一光通量的部分和第二波长范围的第二光通量的部分作为混合颜色的光从光输出孔 404 射出。如果第一波长范围的第一光通量保持不变并且

第二波长范围的第二光通量通过改变驱动 LED 406b 的电功率而改变，则射出光输出孔 404 的混合颜色将改变。

【0134】如果射出光输出孔 404 的混合颜色是白光，则白光的质量能够通过改变从光输出孔射出的第一波长范围的第一光通量和第二波长范围的第二光通量的比率而改变。白光的质量能够用显色指数来描述。100 的显色指数表示在有色表面照耀的白光将再现表面色，像当来自太阳的光在表面上照耀时被人眼以相同的方式看到的那样。小于 100 的显色指数表示在有色表面上照耀的白光将给出明显的表面色，所述表面色与人眼用太阳光看到的颜色呈现给人眼的不同。通过改变驱动 LED 之一的电功率，第一波长范围的第一光通量和第二波长范围的第二光通量的比率的范围能够被改变。通过改变这种比率，射出光输出孔的光的显色指数也能够被改变，以实现针对两个波长范围组合所允许的最大值。

【0135】可选择地，LED 406a 和 LED 406b 可以在不同的时间发射不同波长范围的光。例如，第一 LED 406a 可以在第一时间段发射第一波长范围的光并且第一波长范围的光的一部分在第一时间段射出光输出孔 404。在第一时间段内，LED 406b 不发射光。第二 LED 406b 可以在不同于第一时间段的第二时间段内发射第二波长范围的光，其不同于第一波长范围的光，并且第二波长范围的光的一部分在第二时间段射出光输出孔 404。第二时间段和第一时间段不重叠。在第二时间段内，LED 406a 不发射光。第一时间段和第二时间段于是被重复以产生颜色交替的光。

【0136】像在照明系统 100 中那样，照明系统 400 中的光源发射的光的一部分，在有两个 LED 的情况下，通过光循环壳被反射和循环回到光源。这种循环光提高了光源的有效亮度。光循环壳的反射率是 R_E 。LED 406a 的反射层 410a 和 LED 406b 的反射层 410b 的反射率是 R_S 。照明系统 400 的 R_E 和 R_S 优选的值和先前列举的照明系统 100 优选的值相同。理想地，为了使照明系统的效率和最大射出辐射率最大化， R_E 和 R_S 应该尽可能地接近 100%。

【0137】从单一 LED 发射返回到 LED 的循环光能够提高 LED 的有效亮度。

当循环壳内部的光源包括两个或多个 LED 时，当一个 LED 的光被引导至另一个 LED 并被其反射时，亦即，当光源的一部分所发射的光循环返回到光源的另一部分时，光源的有效亮度也可以提高。在图 10C 中的光线 416 和 418 说明了这个效果。光线 416 从 LED 406a 的发射层 408a 的表面 412a 发射。光线 416 穿过光循环壳的内部，透射通过 LED 406b 的表面 412b 和发射层 408b 并被反射层 410b 反射。光线 416 第二次穿过发射层 408b 和表面 412b 并重新进入光循环壳 402 的内部。当由 LED 406a 发射的光线 416 被 LED 406b 反射时，提高了 LED 406b 的有效辐射率。

【0138】 光线 418 从 LED 406b 的发射层 408b 的表面 412b 发射。光线 418 穿过光循环壳的内部，透射通过 LED 406a 的表面 412a 和发射层 408a 并被反射层 410a 反射。光线 418 第二次穿过发射层 408a 和表面 412a 并重新进入光循环壳 402 的内部。当 LED 406b 发射的光线 418 被 LED 406a 反射时，提高了 LED 406a 的有效辐射率。

【0139】 光源的总的发光面积是面积 A_S 。在本实施例中，光源由两个 LED 组成，因此光源的总的发光面积 A_S 是两个 LED 的组合发光面积。光源发射具有最大固有源辐射率的光。像先前陈述的那样，通过在不存在光循环壳时并且在测量时没有其他的 LED 引导光到 LED 时测量光源里每个 LED 的辐射率，确定最大固有源辐射率。像在照明系统 400 中那样，测量以每个 LED 用相同水平供电的方式进行，并且作为发射角的函数进行。然后从这些辐射率测量中，能够确定最大辐射率值。该最大值被定义为最大固有源辐射率。

【0140】 总的光输出孔面积是面积 A_O 。照明系统 400 只具有一个光输出孔 404，因此其具有面积 A_O 。如果在照明系统 400 中 A_O 小于 A_S ，并且 R_S 和 R_E 都大于 50%，那么照明系统 400 的最大发射辐射率可能大于光源的最大固有源辐射率。

【0141】 图 11A、11B 和 11C 示出了照明系统 500，其具有由四个 LED 组成的光源，其标为 LED 506a、LED 506b、LED 506c 和 LED 506d。照明系统 500 也包括光循环壳 502 和光输出孔 504。元件 LED 506a、LED 506b、LED

506c、LED 506d、光循环壳 502 和光输出孔 504 的特性和性能都和照明系统 100 中的相应元件的特性和性能相同。然而，每个 LED 可发射第一波长范围的光或每个 LED 可发射不同波长范围中的光。当光源由四个 LED 组成时，能够具有由光源发射的多至四个的波长范围。多至四个的波长范围能够同时发射，或多至四个的波长范围每个能够在不同的时间段内发射。

【0142】通常，只要 LED 相互没有重叠并没有和光输出孔重叠，那么照明系统在光循环壳的内表面上就可以包含任何数量的 LED。LED 可覆盖除了光输出孔的面积以外的全部的光循环壳的内表面。

【0143】光循环壳 502 的反射率是 R_E 。LED 506a 的反射层 510a、LED 506b 的反射层 510b、LED 506c 的反射层 510c 和 LED 506d 的反射层 510d 的反射率是 R_S 。照明系统 500 的 R_E 和 R_S 优选的值和先前列举的照明系统 100 的优选的值相同。理想地，为了使照明系统的效率和最大射出辐射率最大化， R_E 和 R_S 应该是尽可能地接近 100%。

【0144】光源的总的发光面积是面积 A_S 。在照明系统 500 中，光源由四个 LED 组成，因此光源的总的发光面积 A_S 是四个 LED 的组合发光面积。光源具有最大固有源辐射率。确定最大固有源辐射率的方法在先前已经描述。

【0145】总的光输出孔面积是 A_O 。照明系统 500 只有一个光输出孔 504，因此其具有面积 A_O 。如果在照明系统 500 中 A_O 小于 A_S 并且 R_E 和 R_S 都大于 50%，那么照明系统 500 的最大发射辐射率可能大于光源的最大固有源辐射率。

【0146】本发明的另一个实施例是图 12A 和 12B 中示出的照明系统 700。照明系统 700 的光源由 12 个 LED 组成，其标为 LED 706a、LED 706b、LED 706c、LED 706d、LED 706e、LED 706f、LED 706g、LED 706h、LED 706i、LED 706j、LED 706k 和 LED 706l。照明系统 700 也是由光循环壳 702 和光输出孔 704 组成。LED、光循环壳 702 和光输出孔 704 的特性和性能都和照明系统 100 中的相应元件的特性和性能相同。然而，每个 LED 可以发射第一波长范围内的光或每个 LED 可以发射不同波长范围内的光。当光源由 12

个 LED 组成时，能够具有光源发射的多至 12 个的波长范围。多至 12 个的波长范围能够被同时发射，或多至 12 个的波长范围每个能够在不同的时间段被发射。

【0147】像在图 12A 和 12B 中看到的，光循环壳 702 具有矩形三维形状，其具有两个正方形末端。光输出孔 704 在其中一个正方形末端的中心。四个矩形的侧面中的每个都包含三个 LED。图 12B 中示出的左侧面包含 LED 706a、LED 706e 和 LED 706i。图 12B 中示出的右侧面包含 LED 706c、LED 706g 和 LED 706k。另两个矩形的侧面，各包含三个 LED，未被示出。

【0148】光循环壳 702 的反射率是 R_E 。LED 706a 的反射层 710a、LED 706b 的反射层 710b、LED 706c 的反射层 710c、LED 706d 的反射层 710d、LED 706e 的反射层 710e、LED 706f 的反射层 710f、LED 706g 的反射层 710g、LED 706h 的反射层 710h、LED 706i 的反射层 710i、LED 706j 的反射层 710j、LED 706k 的反射层 710k 和 LED 706l 的反射层 710l 的反射率是 R_S 。照明系统 700 的 R_E 和 R_S 优选的值和先前列举的照明系统 100 的优选的值相同。理想地，为了使照明系统的效率和最大射出辐射率最大化， R_E 和 R_S 应该是尽可能的接近 100%。

【0149】光源的总的发光面积是面积 A_S 。在照明系统 700 中，光源由 12 个 LED 组成，因此光源的总的发光面积 A_S 是 12 个 LED 的组合发光面积。光源具有最大固有源辐射率。确定最大固有源辐射率的方法在先前已经描述。

【0150】总的光输出孔面积是面积 A_O 。照明系统 700 只有一个光输出孔，因此其具有面积 A_O 。如果在照明系统 700 中 A_O 小于 A_S 并且 R_E 和 R_S 都大于 50%，那么照明系统 700 的最大发射辐射率可能大于光源的最大固有源辐射率。

【0151】提供以下例子以进一步解释本发明的实施例。

例子 1

【0152】计算机模拟程序用于模拟在循环壳内部具有由 12 个相同的 LED 组成的光源的照明系统的相对输出辐射率、相对输出光亮度和总输出效率。每

个 LED 具有 $2\text{mm}\times 2\text{mm}$ 的尺寸、 4mm^2 的总的发光面积并且发射 0.2 瓦特或 11 流明的 450nm 光。11 流明的值是从假定在 450nm 每瓦特 55 流明的转换因数的瓦特值计算的。每个 LED 具有最大固有源辐射率, Radiance_I 。每个 LED 的最大固有源辐射率是通过测量没有被封入光循环壳中和没有反射来自任何其他 LED 的光的相同结构的 LED 来确定的。由于所有的 LED 都等效, 所以一个 LED 的最大固有辐射率就等于光源的最大固有辐射率。假设每个 LED 都具有朗伯输出光分布。12 个 LED 的总的发光面积 A_S 是 48mm^2 并且从 12 个 LED 总的发射的 450-nm 的光通量是 2.4 瓦特或 132 流明。三维矩形的光循环壳具有这样的正方形横截面, 其具有 $2.8\text{mm}\times 2.8\text{mm}$ 的内部尺寸、9mm 的内部长度和 116.48mm^2 的总内部面积。总的内部面积包括 12 个 LED 的总的发光面积和输出孔面积。光循环壳的光输出孔具有 4.8mm^2 的面积 A_O , 这样 A_O/A_S 等于 0.10, 亦即, 光输出孔的面积是 LED 总的发光面积的 10%。如果光循环壳没有损耗 (亦即如果 LED 和光循环壳的内部反射表面的光反射率都是 100%), 那么输出辐射率将是 LED 辐射率的 10 倍并且输出效率将是 100%。然而, 实际的光循环壳将具有小于 100% 的光反射率并将有损耗。为简单起见, LED 的镜反射率 R_S 假定量值等于没有被 LED 覆盖的光循环壳的内表面的漫反射率 R_E 。在计算中, 反射率 R_S 和反射率 R_E 是变化的, 具有值 40%、50%、60%、70%、80%、90% 或 98%。结果在下面的表 1 中示出。LED 的输出辐射率 Radiance_O 对固有辐射率 Radiance_I 的比率 $\text{Radiance}_O/\text{Radiance}_I$ 给出由光循环引起的辐射率增强。被计算的效率是穿过输出孔的由 LED 产生的光通量的百分数。剩余的光通量由于 LED 和光循环壳的吸收而损耗。

【0153】 计算机模拟结果显示, 当 R_S 和 R_E 等于 50% 以下时, 辐射率不增强 ($\text{Radiance}_O/\text{Radiance}_I$ 小于 1) 并且效率低 (小于 10%)。当 LED 和光循环壳的反射率提高时, 辐射率增益和效率增加。当 R_S 等于 98% 并且 R_E 等于 98% 时, 6.87 的辐射率增强因数显示来自照明系统的光输出孔的输出辐射率 6.87 倍于光源的最大固有辐射率。

表 1

面积比 A_O/A_S	源 $R_S(\%)$	光循环壳 $R_E(\%)$	效率 (%)	总光通量输出 (瓦特)	辐射率增益 ($Radiance_O/Radiance_I$)
0.10	40	40	7.9	0.19	0.79
0.10	50	50	9.2	0.22	0.91
0.10	60	60	10.8	0.26	1.08
0.10	70	70	13.8	0.33	1.38
0.10	80	80	19.2	0.46	1.89
0.10	90	90	31.1	0.75	3.11
0.10	98	98	68.7	1.65	6.87

例子 2

【0154】除了光循环壳的内表面的漫辐射率 R_E 是 98% 保持不变并且 LED 的镜反射率 R_S 从 5% 变化到 98% 之外，例子 2 中的照明系统和例子 1 相同。在这个例子中，计算机模拟程序用于计算在循环壳内部具有由 12 个 LED 组成的光源的照明系统的相对输出辐射率和总输出效率。光循环壳的尺寸在例子 1 中进行了列举。每个 LED 具有最大固有辐射率 $Radiance_I$ ，其等于光源的最大固有辐射率。最大固有辐射率像例子 1 中那样确定。光循环壳的光输出孔具有 4.8mm^2 的面积 A_O ，因此 A_O/A_S 等于 0.10，亦即，光输出孔的面积是 LED 总面积的 10%。LED 源的输出辐射率 $Radiance_O$ 对固有辐射率 $Radiance_I$ 的比率 $Radiance_O/Radiance_I$ 给出由光循环引起的辐射率的增强。被计算的效率是穿过输出孔的由 LED 产生的光通量的百分数。剩余的光通量由于 LED 和光循环壳的吸收而损耗。结果在下面的表 2 中示出。计算机模拟结果显示当 R_S 小于或等于 10% 并且 R_E 等于 98% 时，辐射率不增强 ($Radiance_O/Radiance_I$ 小于 1) 并且效率比较低 (小于 10%)。注意典型的黑体或灰体光源具有低的反射率 (小于 10%)，并且这个例子中的结果显示这样的源不适合在本发明中使用。当源的反射率提高时，辐射率增益和效率提

高。当 R_S 等于 98% 并且 R_E 等于 98% 时, 6.87 的辐射率增强因数显示来自照明系统的光输出孔的最大输出辐射率 6.87 倍于 LED 的最大固有辐射率。

表 2

面积比 A_O/A_S	源 $R_S(\%)$	光循环壳 $R_E(\%)$	效率 (%)	总光通量输出 (瓦特)	辐射率增益 ($Radiance_O/Radiance_I$)
0.10	5	98	9.3	0.22	0.93
0.10	10	98	9.7	0.23	0.97
0.10	20	98	10.8	0.26	1.08
0.10	30	98	12.4	0.30	1.24
0.10	40	98	13.9	0.33	1.39
0.10	50	98	16.2	0.39	1.62
0.10	60	98	19.2	0.46	1.92
0.10	70	98	23.7	0.57	2.37
0.10	80	98	31.1	0.75	3.11
0.10	90	98	44.2	1.06	4.42
0.10	98	98	68.7	1.65	6.87

[0155] 尽管已结合特定实施例和例子描述了本发明, 但是对本领域技术人员而言显然的是, 许多选择、修改和变化根据前述描述都将是明显的。因此, 本发明旨在包含所有这样的选择、修改和变化, 它们落在附加权利要求的精神和范围之内。

(现有技术)

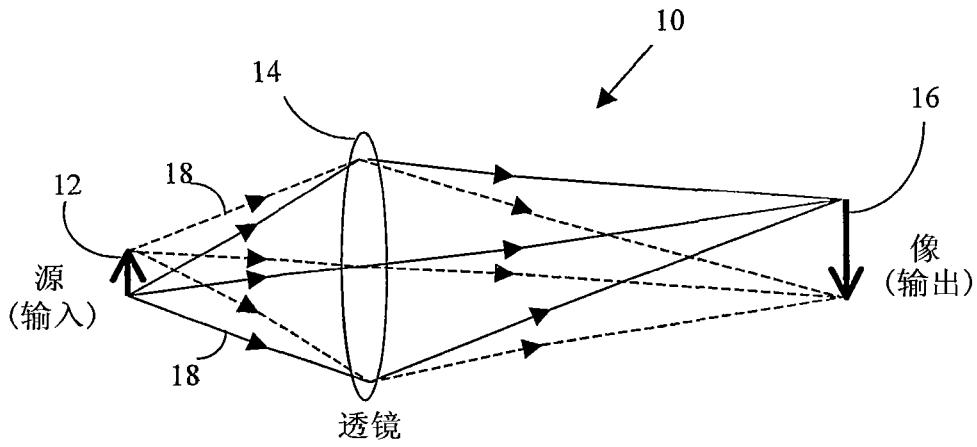


图1A

(现有技术)

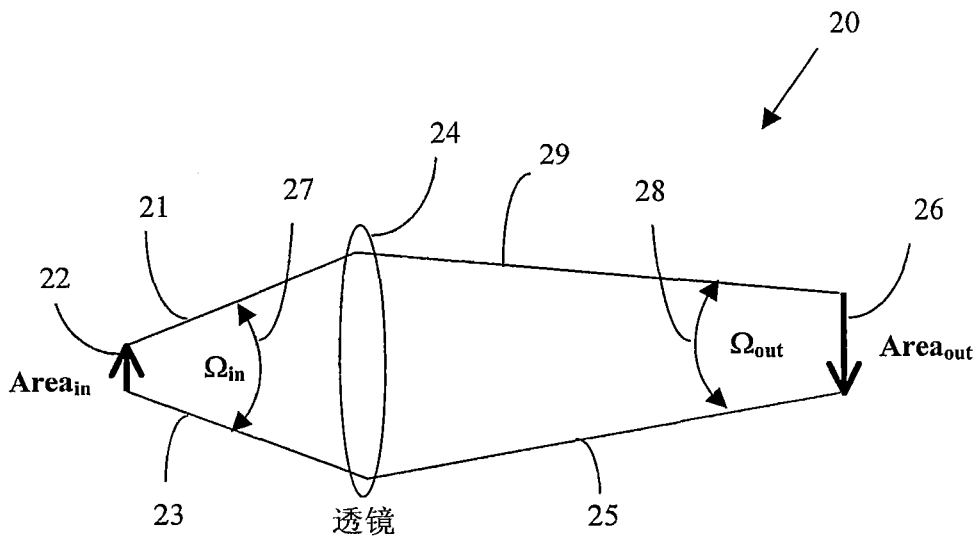


图1B

(现有技术)

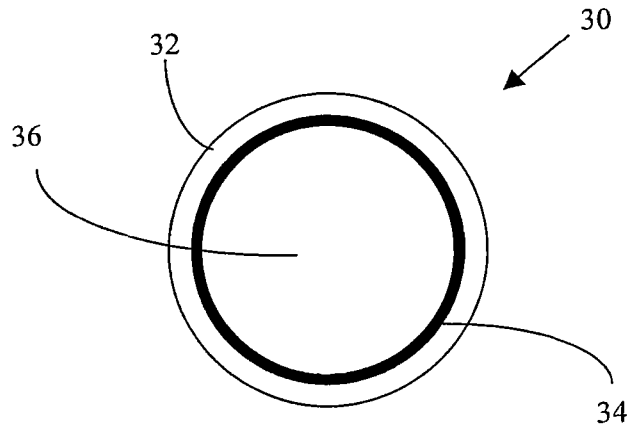


图2A

(现有技术)

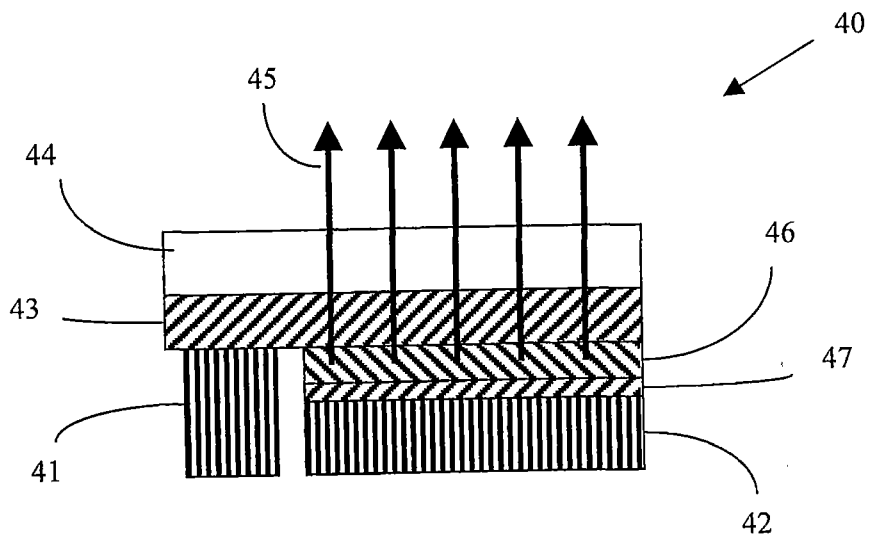


图2B

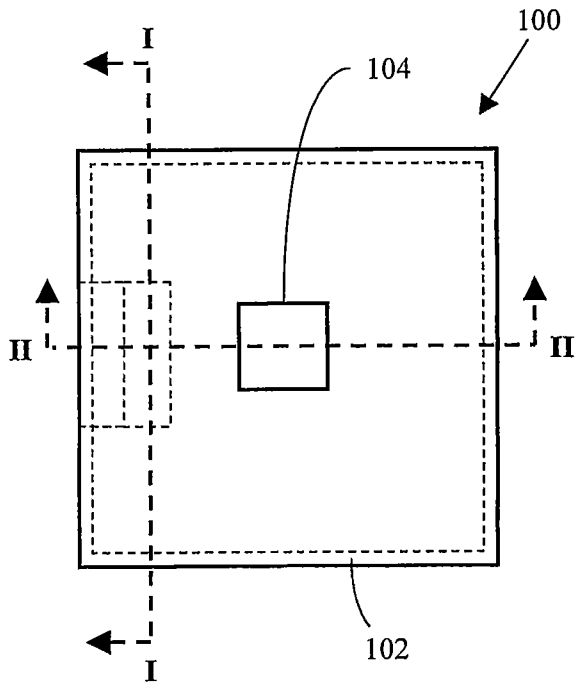


图3A

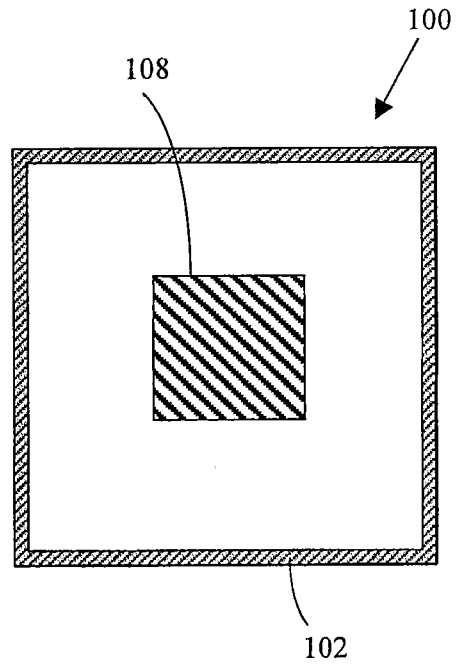


图3B

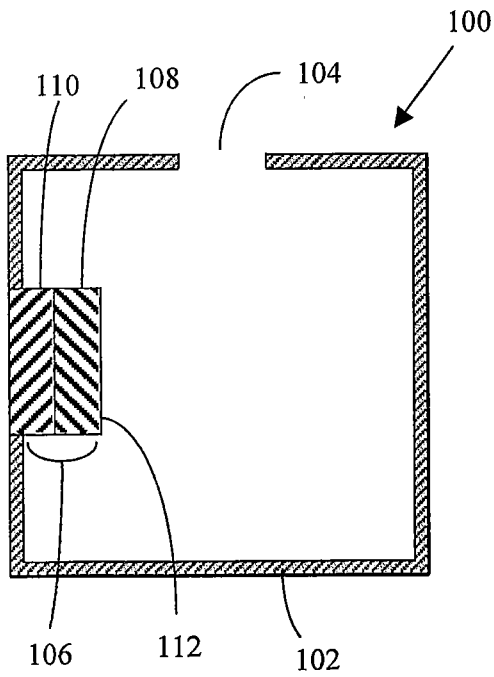


图3C

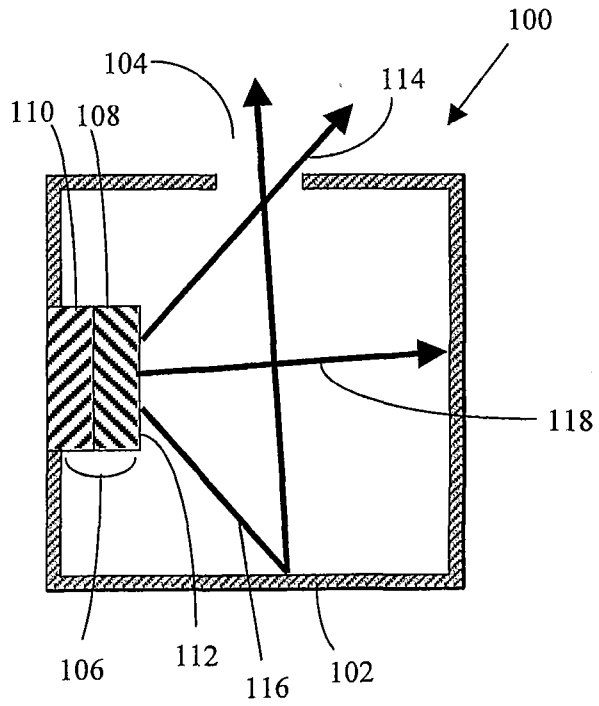


图3D

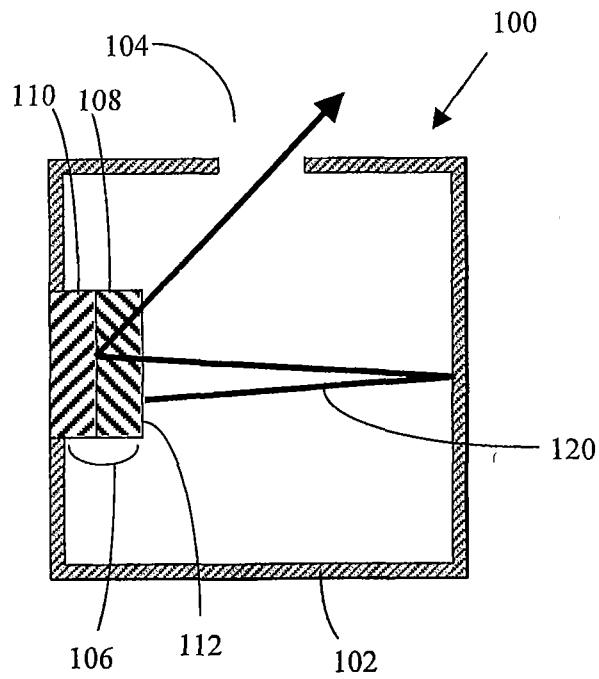


图3E

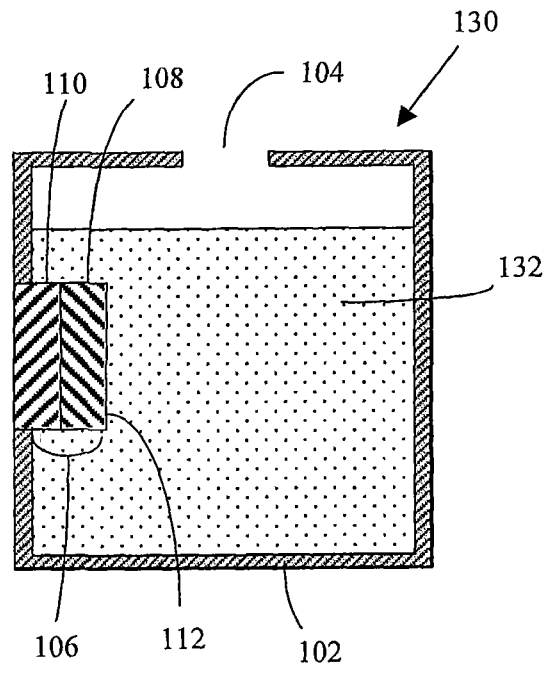


图4

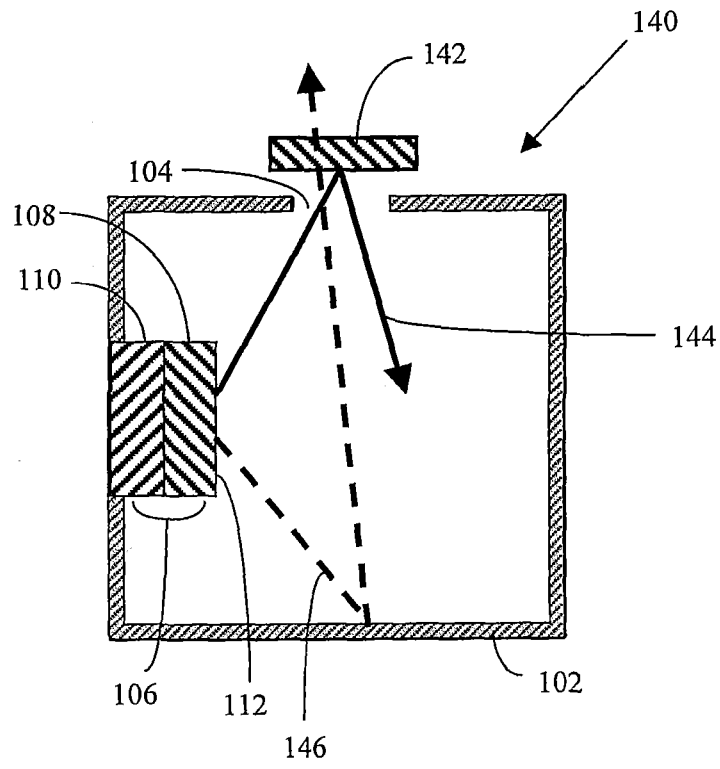


图5

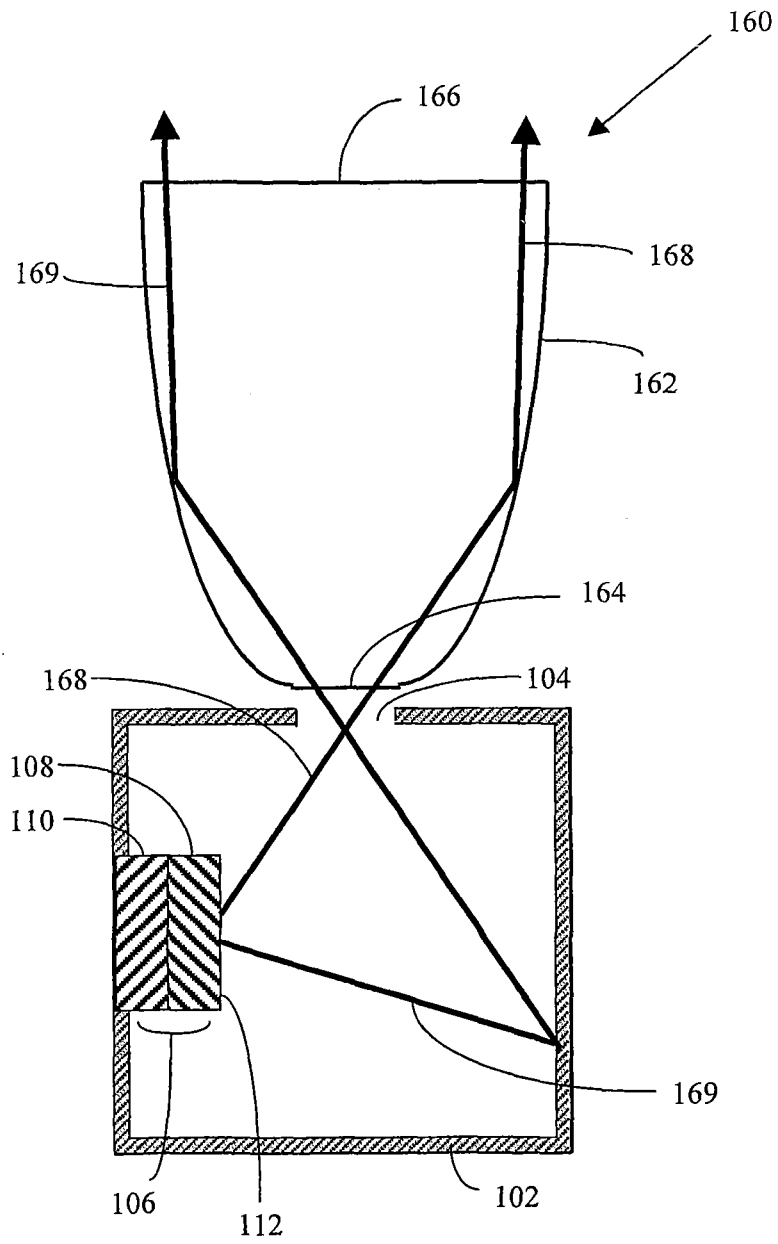


图6A

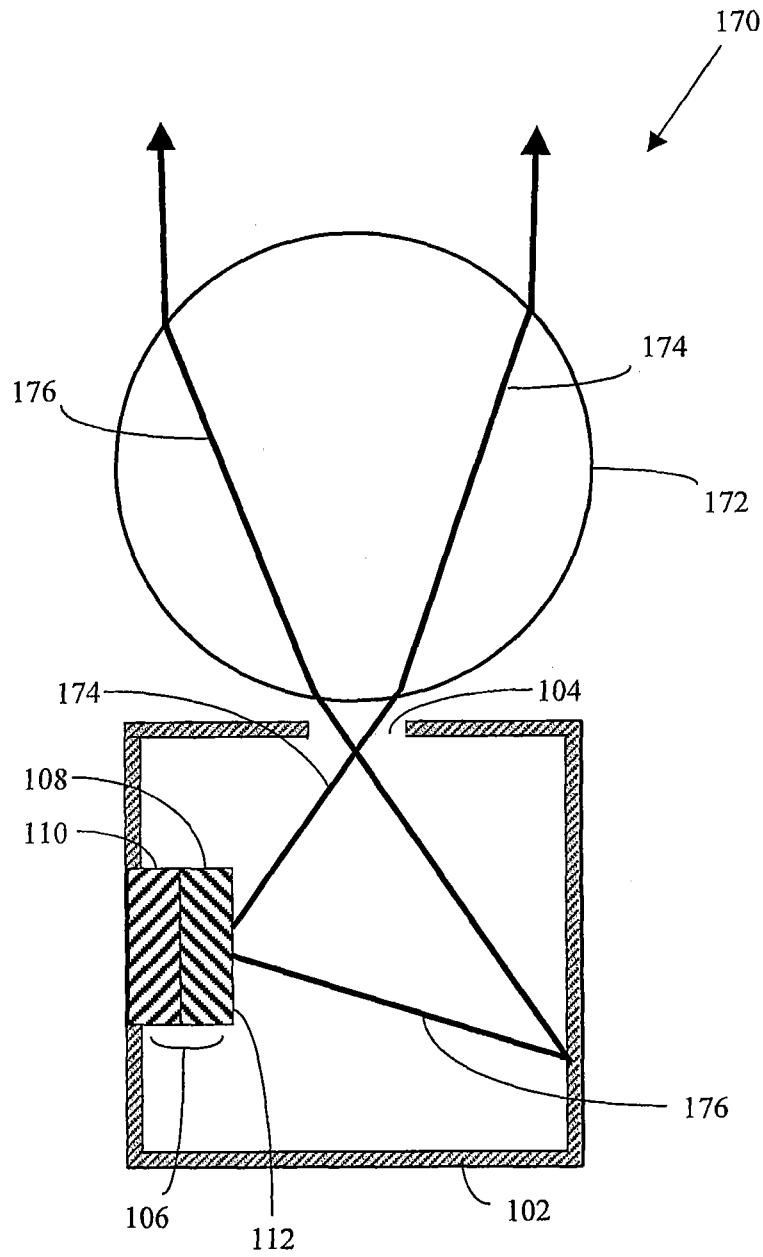


图6B

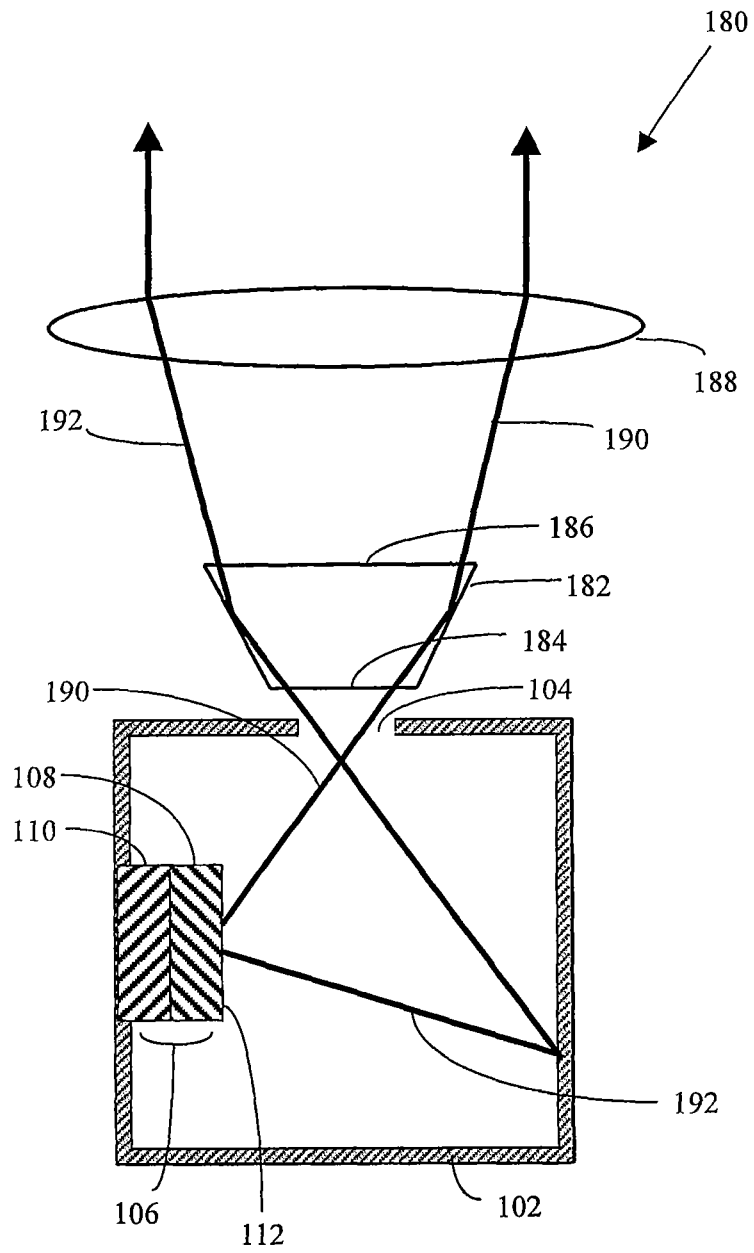


图6C

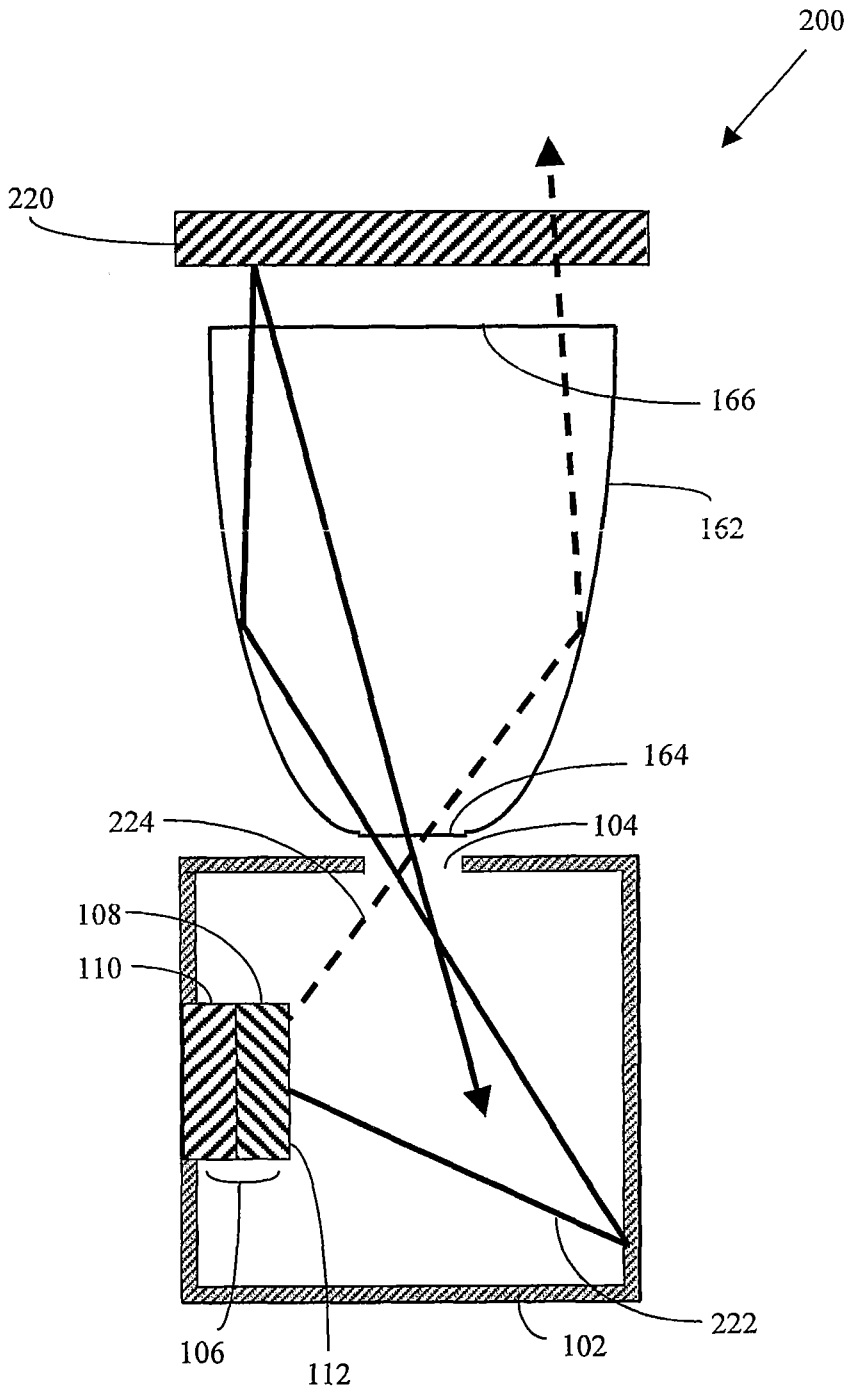


图7A

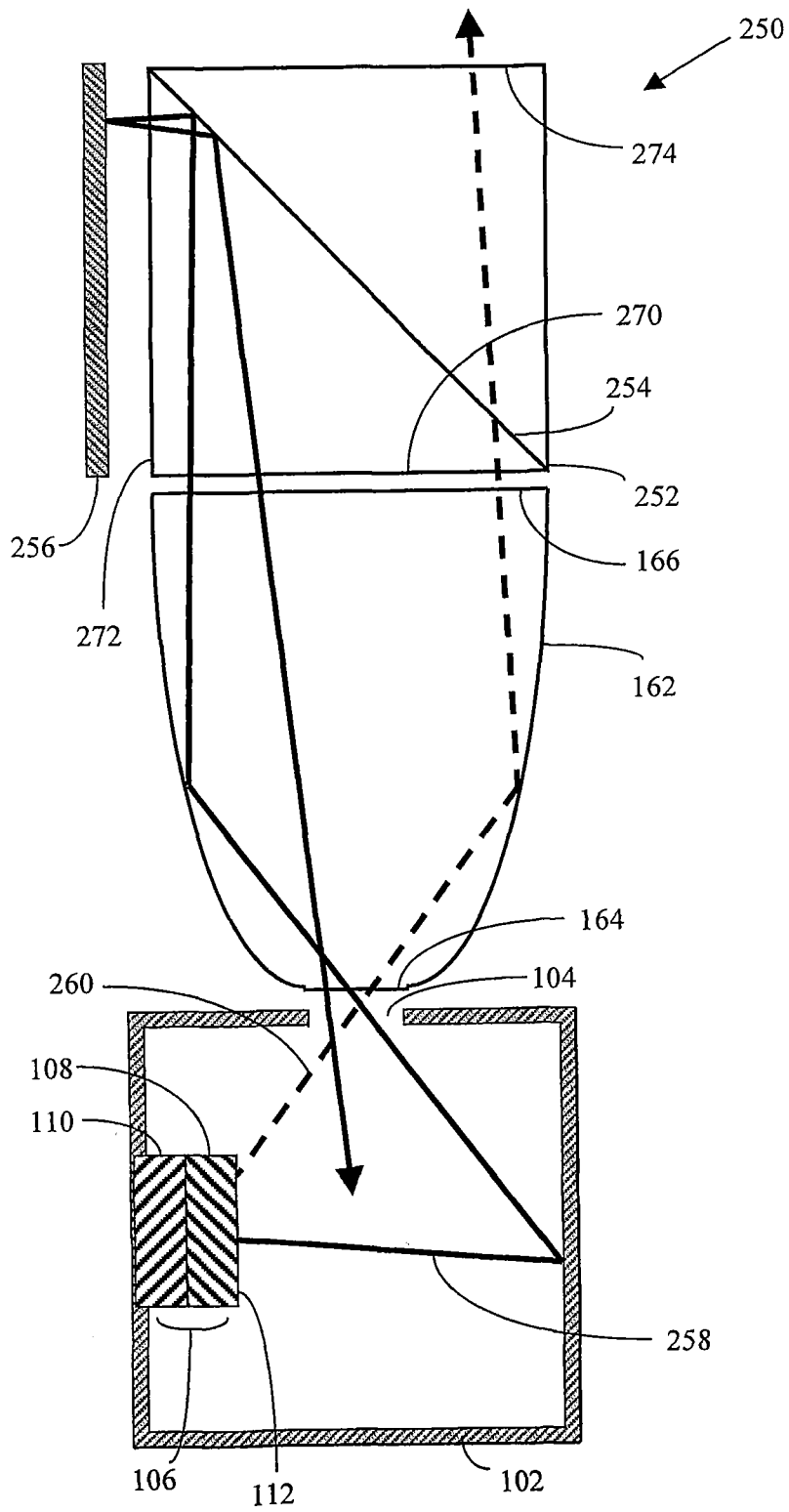


图7B

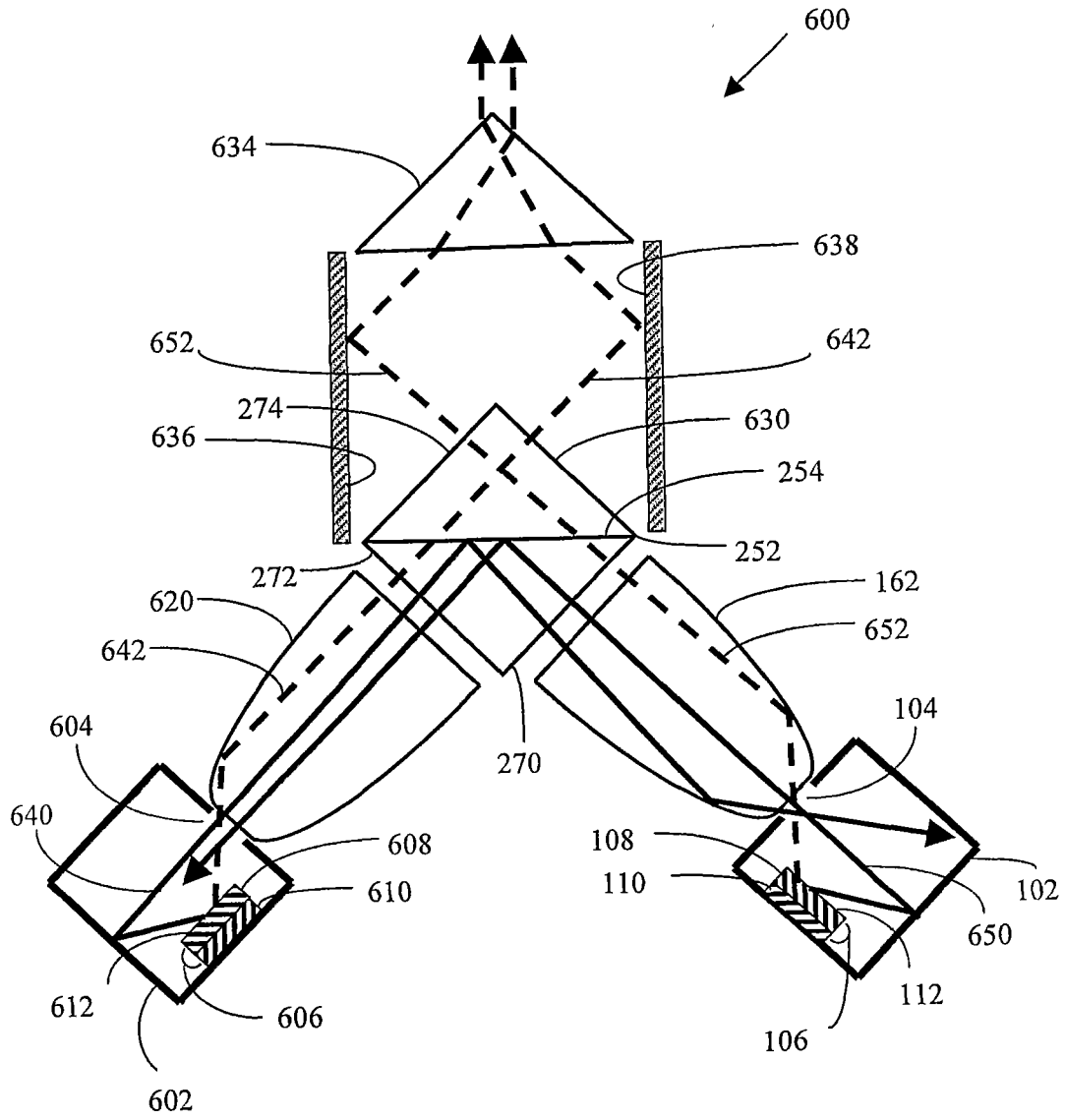


图8

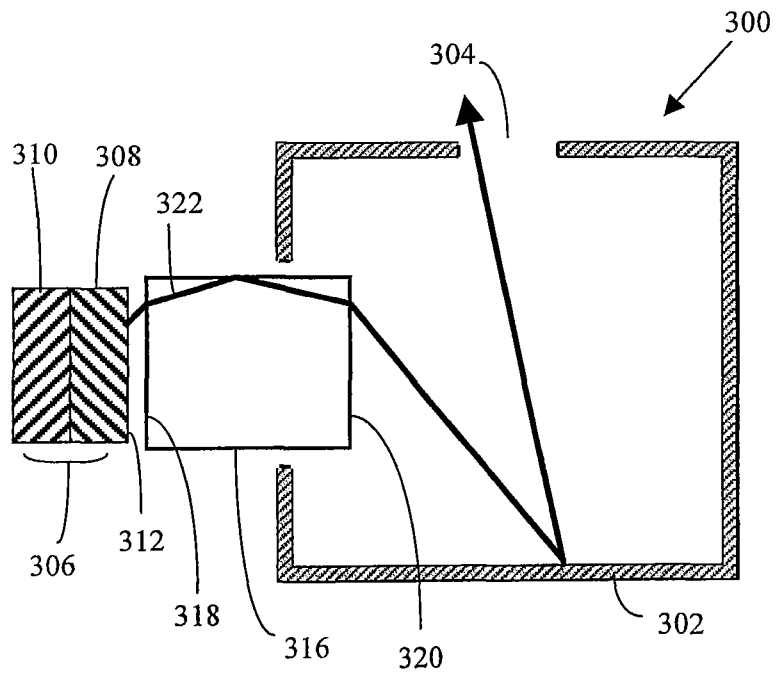


图9A

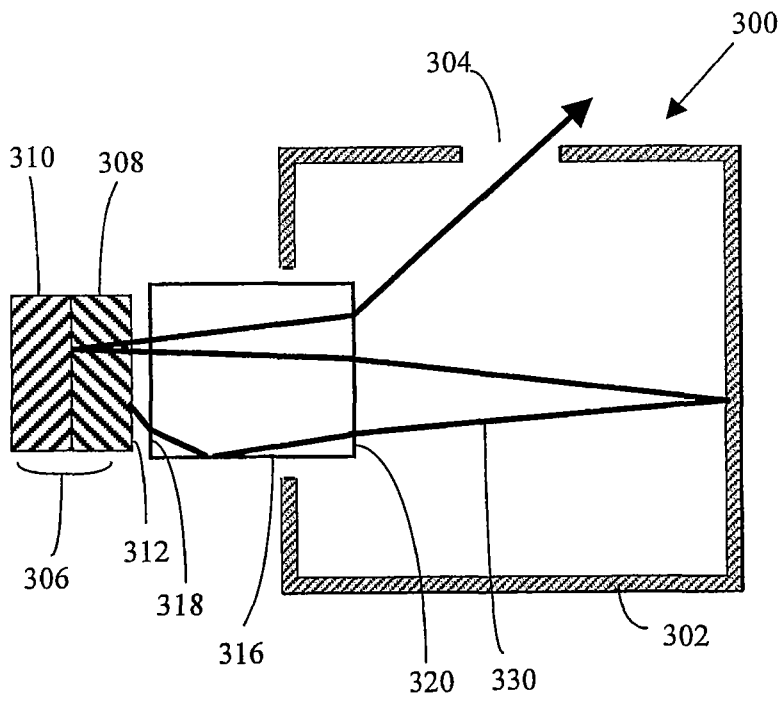


图9B

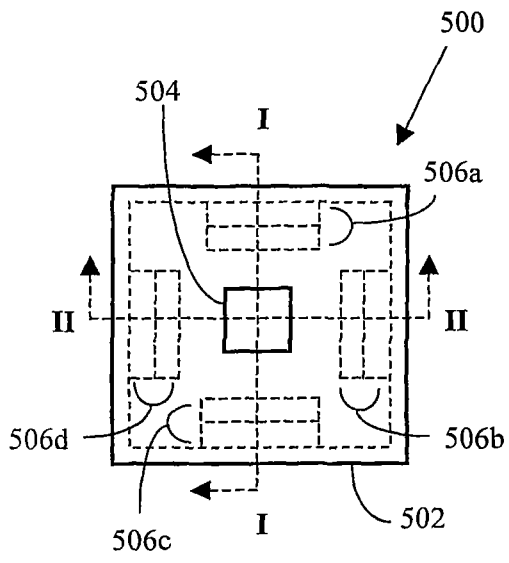


图11A

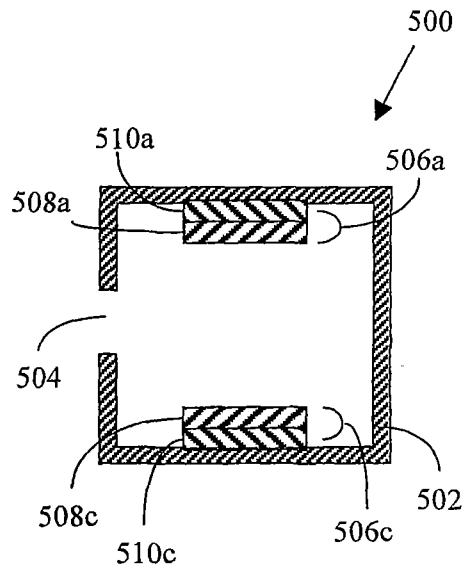


图11B

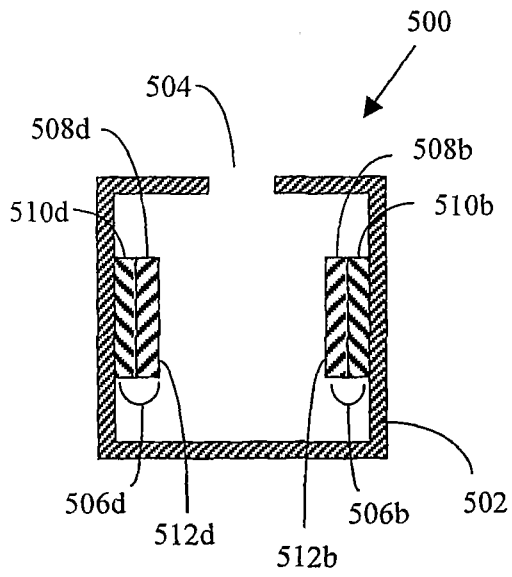


图11C

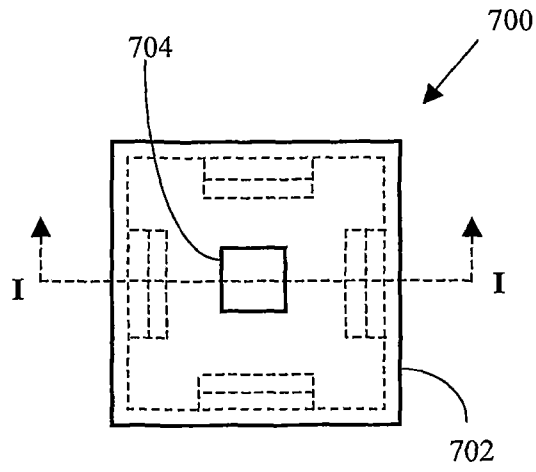


图12A

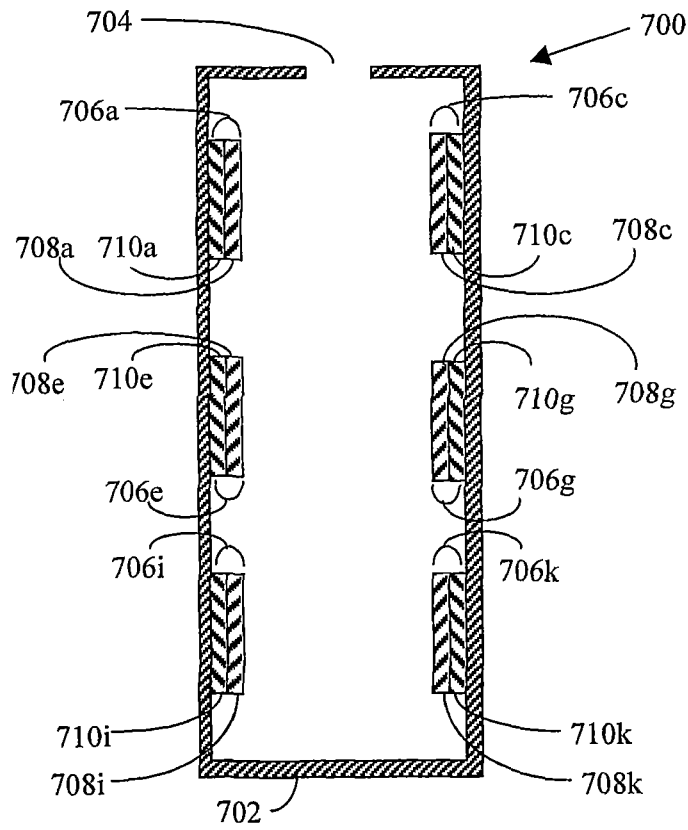


图12B

1. 一种照明系统, 包括:

光源, 其中所述光源包括至少一个发射光的发光二极管, 其中所述至少一个发光二极管进一步包括发射所述光的发射层和反射所述光的反射层, 其中所述反射层的反射率为反射率 R_S , 其中所述光源的总发光面积为面积 A_S , 并且其中所述光源所发射的所述光具有最大固有源辐射率;

光循环壳, 其中所述光循环壳至少部分地将所述光源封入, 其中所述光循环壳具有反射率 R_E , 并且其中所述光循环壳将所述光的一部分反射并循环返回到所述至少一个发光二极管的所述反射层; 以及

至少一个光输出孔, 其中所述至少一个光输出孔位于所述光循环壳的表面中, 其中总的光输出孔面积为面积 A_O , 其中所述面积 A_O 小于所述面积 A_S , 其中所述光源和所述光循环壳将至少部分的所述光通过所述至少一个光输出孔引导出所述光循环壳, 并且其中所述部分的所述光作为具有最大射出辐射率的非相干光射出所述至少一个光输出孔。

2. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述最大射出辐射率大于所述最大固有源辐射率。

3. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述至少一个发光二极管是从包括无机发光二极管和有机发光二极管的组中选择的。

4. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述至少一个发光二极管的所述反射层位于所述光循环壳的内表面上。

5. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述光的波长大于 200nm 并且波长小于 3000nm。

6. 如权利要求 5 所述的照明系统, 其中所述光为紫外光, 其波长大于 200nm 并且小于 400nm。

7. 如权利要求 5 所述的照明系统, 其中所述光为红外光, 其波长大于 700nm 并且小于 3000nm。

8. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述光源是发射所述光的多个发光二极管。

9. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述光源包含发射第一波长范围的第一光通量的第一发光二极管和同时发射不同于所述第一波长范围的第二波长范围的第二光通量的第二发光二极管, 并且其中第一波长范围的所述第一光通量的一部分和第二波长范围的所述第二光通量的一部分作为混合颜色的光射出所述至少一个光输出孔。

10. 如权利要求 9 所述的照明系统, 其中改变所述第二发光二极管所发射的所述第二波长范围的所述第二光通量, 以改变所述混合颜色的光的颜色和显色指数。

11. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述光源包括第一发光二极管和第二发光二极管, 其中所述第一发光二极管在第一时间段中发射第一波长范围的光, 并且第一波长范围的所述光的一部分在所述第一时间段中射出所述至少一个光输出孔, 其中所述第二发光二极管在不同于所述第一时间段的第二时间段中发射不同于所述第一波长范围的第二波长范围的光, 并且所述第二波长范围的所述光的一部分在所述第二时间段中射出所述至少一个光输出孔, 并且其中重复所述第一时间段和所述第二时间段, 以产生颜色交替的光输出。

12. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述反射率 R_s 至少为 50%。

13. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述反射率 R_s 至少为 70%。

14. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述反射率 R_s 至少为 90%。

15. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述光源包括发光二极管和光导, 其中所述发光二极管位于所述光循环壳外面, 其中所述光导具有邻近于所述发光二极管的所述发射层的输入表面和位于所述光循环壳内部的输出表面, 其中所述光导将所述光从所述发射层传输到所述光循环壳, 其中所述光导将所述光的一部分作为循环光从所述光循环壳传输返回到所述发光二极管的所述反射层, 并且其中所述光导将所述反射层所反射的所述循环光传输返回到所述光循环壳。

16. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述光循环壳至少部分地用

透光固体填充,所述透光固体与所述发光二极管的所述发射层的至少部分的表面相接触,并且其中所述透光固体提高来自所述发射层的光发射的效率。

17. 如权利要求 16 所述的照明系统,其中所述透光固体进一步包括超细粉末,其中所述超细粉末具有小于 300nm 的微粒尺寸,其中所述超细粉末由具有大于 1.60 的大折射率的材料制成,并且其中所述超细粉末增大所述透光固体的有效折射率。

18. 如权利要求 17 所述的照明系统,其中具有大于 1.60 的大折射率的所述材料是从包括氧化锡、氧化钛、氧化锌、氧化铈和五氧化二锑的组中选择的。

19. 如权利要求 1 所述的照明系统,其中所述光循环壳从固有反射的大块材料中构造。

20. 如权利要求 1 所述的照明系统,其中所述光循环壳的内表面用反射涂层覆盖。

21. 如权利要求 20 所述的照明系统,其中所述反射涂层是漫反射器。

22. 如权利要求 20 所述的照明系统,其中所述反射涂层是镜面反射器。

23. 如权利要求 20 所述的照明系统,其中所述反射涂层是背后有镜面反射器的漫反射器。

24. 如权利要求 1 所述的照明系统,其中所述反射率 R_E 至少为 50%。

25. 如权利要求 1 所述的照明系统,其中所述反射率 R_E 至少为 70%。

26. 如权利要求 1 所述的照明系统,其中所述反射率 R_E 至少为 90%。

27. 如权利要求 1 所述的照明系统,其中所述面积 A_O 小于或等于所述面积 A_S 的 50%。

28. 如权利要求 1 所述的照明系统,其中所述面积 A_O 小于或等于所述面积 A_S 的 30%。

29. 如权利要求 1 所述的照明系统,其中所述面积 A_O 小于或等于所

述面积 A_S 的 10%。

30. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述面积 A_O 小于 25 平方毫米。

31. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述面积 A_O 小于 10 平方毫米。

32. 如权利要求 1 所述的照明系统, 其中所述照明系统进一步包括多个所述光输出孔。

33. 如权利要求 1 所述的照明系统, 进一步包括平面反射偏振器, 其中所述平面反射偏振器位于光输出光路中, 其中所述平面反射偏振器位于所述光循环壳的所述至少一个光输出孔附近, 其中所述平面反射偏振器将第一偏振态的光反射并循环返回到所述光循环壳中, 并且其中所述平面反射偏振器透射第二偏振态的光。

34. 如权利要求 1 所述的照明系统, 进一步包括至少一个光校准元件, 其中所述至少一个光校准元件具有接受未校准光的、邻近于所述至少一个光输出孔的输入表面, 其中所述至少一个光校准元件部分地校准所述未校准光, 并且其中所述至少一个光校准元件具有通过其透射部分校准光的输出表面。

35. 如权利要求 34 所述的照明系统, 其中所述至少一个光校准元件是从包括凸透镜、锥形光导和复合抛物面反射器的组中选择的。

36. 如权利要求 34 所述的照明系统, 进一步包括射束分离棱镜偏振器, 其中所述射束分离棱镜偏振器位于邻近于所述光校准元件的所述输出表面的光输出光路中, 其中所述射束分离棱镜偏振器具有输入表面、垂直于输入表面的第一输出表面、与输入表面相对的第二输出表面和部分反射对角线表面, 其中透射通过所述光校准元件的所述输出表面并且进入所述射束分离棱镜偏振器的所述输入表面的第一偏振态的光, 被所述部分反射对角线表面反射并且透射通过所述射束分离棱镜偏振器的所述第一输出表面, 并且其中透射通过所述光校准元件的所述输出表面并且进入所述射束

分离棱镜偏振器的所述输入表面的第二偏振态的光，透射通过所述射束分离棱镜偏振器的所述第二输出表面。

37. 如权利要求 36 所述的照明系统，进一步包括光反射器，其设置得邻近且平行于所述射束分离棱镜偏振器的所述第一输出表面，其中射出所述第一输出表面的所述第一偏振态的所述光被反射通过所述第一输出表面、通过所述射束分离棱镜偏振器、并且通过所述光校准元件并循环返回到所述光循环壳中。

38. 如权利要求 36 所述的照明系统，进一步包括组合工作的第二光校准元件和第二照明系统，其中所述第二照明系统包括被具有第二光输出孔的第二光循环壳所包围的第二发光二极管，其中所述第二光校准元件具有输入表面和输出表面，其中所述第二光校准元件的所述输入表面邻近于所述第二照明系统的所述第二光输出孔，其中所述第二光校准元件的所述输出表面邻近于所述射束分离棱镜偏振器的所述第一输出表面，并且其中射出所述射束分离棱镜偏振器的所述第一输出表面的第一偏振态的所述光，往回透射通过所述第二光校准元件的所述输出表面，并且通过所述第二光校准元件被循环并进入到所述第二照明系统中。