



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109690287 A

(43)申请公布日 2019.04.26

(21)申请号 201780035894.X

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
72002

(22)申请日 2017.04.09

代理人 李振东 过晓东

(30)优先权数据

62/320,679 2016.04.11 US

(51)Int.Cl.

G01N 21/00(2006.01)

G06M 7/00(2006.01)

H01J 3/14(2006.01)

H01S 3/06(2006.01)

H02M 3/158(2006.01)

H04B 10/40(2013.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2018.12.10

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/IL2017/050438 2017.04.09

(87)PCT国际申请的公布数据

W02017/179051 EN 2017.10.19

(71)申请人 WI-电荷有限公司

地址 以色列雷霍沃特

(72)发明人 A·斯利波伊 L·戈朗

O·纳米亚斯 R·萨基

O·阿尔珀特 O·R·莫尔

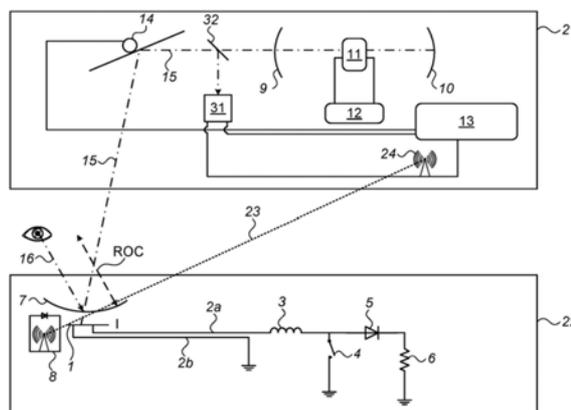
权利要求书4页 说明书30页 附图16页

(54)发明名称

光学无线供电系统

(57)摘要

引入了安全性特征的用于向接收器进行光学功率传输的系统,其包括:具有末端反射器和增益介质的光学谐振腔、向增益介质供应功率并且控制其小的信号增益的驱动器、波束转向装置和控制至少波束转向装置和驱动器的控制器。控制器通过输出命令以改变增益介质的小的信号增益、光束的辐射亮度、由该驱动器供应的功率、波束转向装置的扫描速度或扫描方向和位置中的至少一部分,或者记录确定所述光电功率变换器的位置的扫描姿态,从而响应在该系统中出现的安全性风险。控制器还可以确保高的总体辐射效率,并且可以警告并非由目标接收器接收的传输功率。



1. 向至少一个功率接收装置进行光学无线功率传输的系统,所述系统包括:
  - 光学谐振腔,其具有末端反射器并且适合于发射光束;
  - 增益介质,其包括(i)半导体器件,或(ii)固体基质,其是用钕离子掺杂的并且与使至少一个具有在 $8,300\text{cm}^{-1}$ 至 $12,500\text{cm}^{-1}$ 的范围内的波数的频率的辐照衰减的滤波器进行光通信,所述增益介质位于所述光学谐振腔内部并且具有第一带隙能,所述增益介质以热学方式附着至冷却系统并且构造成放大穿过其中的光线;
  - 驱动器,其构造成向所述增益介质供应功率,并且能够控制所述增益介质的小的信号增益;
  - 波束转向装置,其构造成在多个方向至少之一上引导所述光束;
  - 光电功率变换器,其位于所述至少一个功率接收装置中,并且构造成将所述光束变换成具有电压的电功率,所述光电功率变换器具有第二带隙能;
  - 探测器,其构造成提供指示所述光束投射在所述光电功率变换器上的信号;及
  - 控制器,其适合于控制所述波束转向装置和所述驱动器的状态至少之一,所述控制器接收至少来自所述探测器的控制输入信号,
 其中,所述光束具有至少 $8\text{kW}/\text{m}^2$ /球面度的辐射亮度,在所述发送器与所述至少一个功率接收装置之间的传输的总体辐射效率为至少20%。
2. 根据权利要求1的系统,其中在所述发送器与所述至少一个功率接收装置之间的传输的总体辐射效率为至少30%。
3. 根据权利要求1至2之一的系统,其还包括连接至所述光电功率变换器的输出的电压变换器。
4. 根据权利要求3的系统,其中所述电压变换器构造成追踪所述光电功率变换器的最大功率点。
5. 根据权利要求3的系统,其中所述电压变换器是DC/DC升压电压变换器。
6. 根据前述权利要求之一的系统,其中所述谐振腔包括至少一个介电反射镜。
7. 根据前述权利要求之一的系统,其中所述光电功率变换器是光伏电池。
8. 根据权利要求7的系统,其中所述光伏电池包含III-V族半导体材料。
9. 根据前述权利要求之一的系统,其还包括储能装置,该储能装置可以是电容器或可再充电电池。
10. 根据前述权利要求之一的系统,其还包括电感器。
11. 根据权利要求10的系统,其中所述电感器具有在以下之间的电感

$$L = \frac{1}{1.28 * 10^{-40} * f} * E_{\text{gain}}^2 * \frac{1 - \frac{E_{\text{gain}}}{5 * 10^{-19} * V_{\text{output}}}}{P_{\text{laser\_driver}}}$$

与

$$L = \frac{1}{3 * 10^{-38} * f} * E_{\text{gain}}^2 * \frac{(1 - \frac{E_{\text{gain}}}{4 * 10^{-20} * V_{\text{output}}})}{P_{\text{laser\_driver}}}$$

其中,

f是以赫兹测得的开关频率,

- $E_{\text{gain}}$ 是以焦耳测得的所述增益介质的带隙能，  
 $V_{\text{output}}$ 是DC/DC变换器以伏特计的输出电压，及  
 $P_{\text{laser\_driver}}$ 是由所述激光驱动器供应至所述增益介质的以瓦特测得的功率。
12. 根据前述权利要求之一的系统，其中所述系统构造成接收来自所述功率接收装置的信息。
13. 根据权利要求12的系统，其中所述信息包括以下至少之一：电池状态、器件识别、功率需求、电压需求和键。
14. 根据前述权利要求之一的系统，其还包括用于确定所述光电功率变换器的温度的传感器。
15. 根据权利要求14的系统，其构造成调节所述光束的功率以响应所述光电功率变换器的所述温度的变化。
16. 根据权利要求14的系统，其中由所述控制器接收所述温度传感器的输出。
17. 根据前述权利要求之一的系统，其还包括位于所述光伏光电功率变换器与所述波束转向装置之间的光学窗口。
18. 根据权利要求17的系统，其中所述窗口具有至少为1.5的折射率。
19. 根据权利要求17的系统，其中所述窗口具有至少为1.6的折射率，并且涂覆有抗反射涂层。
20. 根据前述权利要求之一的系统，其中所述第二带隙能小于所述第一带隙能。
21. 根据前述权利要求之一的系统，其中所述控制器适合于使得所述波束转向装置将所述光束引导至所述至少一个功率接收装置。
22. 向至少一个功率接收装置进行光学无线功率传输的系统，所述系统包括：  
光学谐振腔，其具有末端反射器并且适合于发射光束；  
增益介质，其包括半导体器件或固体基质，其是用铒离子掺杂的并且与至少一个具有在 $8,300\text{cm}^{-1}$ 至 $12,500\text{cm}^{-1}$ 的范围内的波数的频率的辐照衰减的滤波器进行光通信，所述增益介质位于所述光学谐振腔内部并且具有第一带隙能，所述增益介质以热学方式附着至冷却系统并且构造成放大穿过其中的光线；  
驱动器，其构造成向所述增益介质供应功率，并且能够控制所述增益介质的小的信号增益；  
波束转向装置，其构造成在多个方向至少之一上引导所述光束；  
光电功率变换器，其位于所述至少一个功率接收装置中，并且构造成将所述光束变换成具有电压的电功率，所述光电功率变换器具有第二带隙能；  
探测器，其构造成提供指示所述光束投射在所述光电功率变换器上的信号；及  
控制器，其适合于控制所述波束转向装置和所述驱动器的状态至少之一，所述控制器接收至少来自所述探测器的控制输入信号，  
其中，所述控制器构造成通过输出命令以产生以下至少之一从而响应在该系统中出现的安全性风险的指示信息：  
致使所述驱动器改变所述增益介质的小的信号增益；  
改变所述光束的辐射亮度；  
改变由所述驱动器供应的功率；

改变所述波束转向装置的扫描速度；  
改变所述波束转向装置的姿态；及  
记录确定所述光电功率变换器的位置的扫描姿态。

23. 根据权利要求22的系统，其中在该系统中出现的安全性风险的所述指示信息至少由通过所述探测器产生的所述信号获得，所述探测器构造成提供指示所述光束投射在所述光电功率变换器上的信号，以及由通过在由所述至少一个功率接收装置反射的所述波束的所述谐振腔处接收的水平产生的信号获得。

24. 根据权利要求22和23之一的系统，其还包括连接至所述光电功率变换器的输出的电压变换器。

25. 根据权利要求24的系统，其中所述电压变换器构造成追踪所述光电功率变换器的最大功率点。

26. 根据权利要求24的系统，其中所述电压变换器是DC/DC升压电压变换器。

27. 根据权利要求22至26之一的系统，其中所述谐振腔包括至少一个介电反射镜。

28. 根据权利要求22至27之一的系统，其中所述光电功率变换器是光伏电池。

29. 根据权利要求28的系统，其中所述光伏电池包含III-V族半导体材料。

30. 根据权利要求22至29之一的系统，其还包括储能装置，该储能装置可以是电容器或可再充电电池。

31. 根据权利要求22至30之一的系统，其还包括电感器。

32. 根据权利要求31的系统，其中所述电感器具有在以下之间的电感

$$L = \frac{1}{1.28 * 10^{-40} * f} * E_{\text{gain}}^2 * \frac{1 - \frac{E_{\text{gain}}}{5 * 10^{-19} * V_{\text{output}}}}{P_{\text{laser\_driver}}}$$

与

$$L = \frac{1}{3 * 10^{-38} * f} * E_{\text{gain}}^2 * \frac{(1 - \frac{E_{\text{gain}}}{4 * 10^{-20} * V_{\text{output}}})}{P_{\text{laser\_driver}}}$$

其中，

f是以赫兹测得的开关频率，

$E_{\text{gain}}$ 是以焦耳测得的所述增益介质的带隙能，

$V_{\text{output}}$ 是DC/DC变换器以伏特计的输出电压，及

$P_{\text{laser\_driver}}$ 是由所述激光驱动器供应至所述增益介质的以瓦特测得的功率。

33. 根据权利要求22至32之一的系统，其中所述系统构造成接收来自所述至少一个功率接收装置的信息。

34. 根据权利要求33的系统，其中所述信息包括以下至少之一：电池状态、器件识别、功率需求、电压需求和键。

35. 根据权利要求22至34之一的系统，其还包括用于确定所述光电功率变换器的温度的传感器。

36. 根据权利要求35的系统，其构造成调节所述光束的功率以响应所述光电功率变换器的所述温度的变化。

37. 根据权利要求36的系统,其中由所述控制器接收所述温度传感器的输出。
38. 根据权利要求22至27之一的系统,其还包括位于所述光伏光电功率变换器与所述波束转向装置之间的光学窗口。
39. 根据权利要求38的系统,其中所述窗口具有至少为1.5的折射率。
40. 根据权利要求38的系统,其中所述窗口具有至少为1.6的折射率,并且涂覆有抗反射涂层。
41. 根据权利要求22至40之一的系统,其中所述第二带隙能小于所述第一带隙能。

## 光学无线供电系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无线功率传送领域,尤其是应用于基于激光的传输系统以在家庭环境中传送光功率至移动电子装置。

### 背景技术

[0002] 长期以来需要在无需物理有线连接的情况下传输功率至远处位置。这一需要在近几十年随着通过需要定期再充电的电池运行的便携式电子装置的普及而变得重要。这些移动应用包括移动电话、便携式电脑、小汽车、玩具、可穿戴装置及助听器。目前,现有技术的电池的容量及密集使用的智能手机的典型电池应用使得电池可能需要充电超过每天一次,远距离无线电池再充电的需求是重要的。

[0003] 电池技术具有悠久的历史,并且仍然在发展。本杰明·富兰克林于1748年描述了第一块由莱顿瓶制成的电池,第一个类似加农电池的电源(因此名为电池)。后来伏特于1800年发明了明显更加便携的铜锌电池。加斯顿·普兰特于1859年发明了第一块可再充电电池,铅酸电池。从此以后可再充电电池的能量密度增大不足8倍,如图1所示,其显示了由原始铅酸化学系统至现代的基于锂的化学系统及锌-空气化学系统的不同的可再充电电池化学系统同时以重量和体积参数给出的能量密度。同时由便携式电子/电气装置所消耗的功率已经达到每天可能需要补充若干次完整电池充电的程度。

[0004] 在发明电池后几乎一个世纪,在1870年与1910年之间的时期,特斯拉尝试使用电磁波跨越距离传输功率。从此以后,许多次尝试安全地传输功率至远处位置,其特征可在于,跨越明显大于传输装置或接收装置的距离。其范围从在1980年代实施SHARP (Stationary High Altitude Relay Platform) 计划的NASA至于2007年实验了类似特斯拉的系统的Marin Soljacic。

[0005] 到目前为止,只有三种可商购获得的技术允许无需导线安全地输送功率至移动装置,即

[0006] 磁感应-其典型地被限制在仅仅几个mm的范围内;

[0007] 光伏电池-其在用太阳光或者用在通常(安全的)光照房间内可达到的水平的人工照明加以照射时,在相对于移动电话的尺寸的情况下无法产生多于0.1瓦;

[0008] 能量收集技术-将RF波转换成可用的能量,但是在任何目前的实际情况下无法以多于0.01W运行,这是因为RF信号传输由于健康和FCC的规定而是受限制的。

[0009] 同时,便携式电子装置的典型的电池具有1至100瓦\*小时的容量,并且典型地要求每天充电,因此需要在明显更长的范围进行明显更高的功率输送。

[0010] 因此,跨越大的视野和大于几米的范围安全地输送电功率至典型地装配有可再充电电池的便携式电子装置的需求尚未满足。

[0011] 已经尝试了几次在居住环境内使用准直或基本上准直的电磁波尤其是激光束输送功率。然而,此类产品至大众市场的商业可用性在目前仍是受限制的。在可以投放此类商用系统之前,需要解决几个问题:

[0012] 应当开发安全的系统。

[0013] 应当开发成本有效的系统。

[0014] 应当开发能够承受普通家庭环境的以下危害的系统,包括污染物如灰尘及指纹或液体溢洒、振动、波束阻隔、非专业安装及周期性掉落地面。

[0015] 目前允许的公众暴露于传输的激光功率水平在不使用复杂安全系统的情况下不足以提供可用量的功率。例如美国联邦法规第21篇第8卷(21CFR§8)2014年4月修订版第I章第J节第1040部分涉及发光产品包括激光器产品的性能标准。对于可见光范围以外的波长,存在I级、III-b级和IV级激光器(II、IIa和IIIa级激光器在400nm与710nm之间,例如可见光激光器)。在可见光范围以外的激光器中,1级被认为对于普通大众使用是安全的,而IIIb和IV级被认为是不安全的。

[0016] 现在参照图2,其是显示根据上面引用的“21CFR§8”在I级激光器的情况下对于7mm的瞳孔直径暴露0.1至60秒的MPE(最大允许的暴露值)的图。由上图可以看出:

[0017] (i) 最大允许的暴露水平通常(但不总是)随着波长增大,及

[0018] (ii) 即使在人员进入波束后将激光器关闭若干0.1秒以满足在“21CFR§8”中规定的要求,在大于 $2.5\mu\text{m}$ 的波长的情况下可以传输不大于1.25W的光线,而在较短波长的情况下限制数量级较少。

[0019] 因此,在不使用某些种类的安全系统的情况下,仅允许传输几毫瓦的激光功率,即使完全转换回成电力,供应的功率明显小于给大多数便携式电子装置充电所需的功率。便携式电话取决于型号在充电时例如需要1至12W。

[0020] 为了传输高于1级激光器MPE的功率,需要安全系统。据申请人所知,尚无安全系统被商业化以在未经训练的人员可到达的居住环境中传输显著的功率水平。

[0021] 构建具有耐用强壮的安全性系统的传输系统是困难的。所需的探测水平与需要进行传输的功率相比是非常小的,该系统运行的环境是不受控制的,并且在工作时可能发生许多不可预测的状况。

[0022] 在现有技术中公知,指纹和灰尘散射激光,透明表面反射或散射激光。若要输送高功率,则需要IV(或IIIb)级激光器,其需要可靠的安全系统。对于IV级激光器,甚至由主波束散射的辐照也是危险的。根据“21CFR§8”2014年4月修订版第I章第J节第1040部分,发射400nm至1400nm、具有大于0.5W波束放射量的激光器对于暴露超过0.5秒的情况通常被认为是IV级激光器,甚至由此类激光器散射的辐照也可能是危险的。要求此类激光器具有闭锁键及类似于图3中所示的警告标记,其中还注意到警告涉及“散射的辐照”,激光器的使用者通常要求佩戴安全护目镜,并且典型地是经训练的专业人员,所有这些方面非常不同于用于给移动电子装置充电的家庭可用的激光功率传输系统的可接受的使用条件。

[0023] 现有技术典型地使用表面上的抗反射(AR)涂层以防止此类反射,连同精心布置的波束阻隔结构以阻隔此类反射,但是仍然会发生反射。然而,在现有技术中使用的AR涂层方案,由于灰尘或溢洒的液体沉积在其表面上,或者由于涂层的磨损,例如由于不恰当清洁处理,容易导致失效。额外地,波束阻隔方案典型地严重限制了所述系统的视野,并且与现代便携式电子装置的尺寸相比是庞大的。

[0024] 因此现有技术缺少可靠且“占地面积小的”机构以防止功率波束在非期望的方向上散射和反射。可能是由于透明表面疏忽地被置于发送器与接收器之间,及可能由许多种

不同的透明材料产生的透明表面的光学特性,或者由于可能沉积在所述系统的外表面上典型地在接收器正面上的液体溢洒及指纹,而导致此类散射和反射。

[0025] 在现有技术中所建议的方案的一个问题是,此类安全系统一般要求确保功率波束系统和安全系统良好地排列的机构,使得这两个系统在相同的轴线上校准,直至功率波束足够发散或者足够衰减(或者这些因素与任何其他因素的组合),从而不再超过安全限值。这对于准直的IV或IIIb级激光波束而言极难实现,其典型地随距离扩张非常小,因此在非常长距离的情况下超过安全限值。

[0026] 现有技术的一种用于构建此类安全系统的操作原理是光学探测可能位于波束的路径上的透明表面。然而可能进入波束路径的透明表面可能由许多种不同的透明材料制成,可能是抗反射AR涂覆的,或者可能处于接近布鲁斯特角的角度,因此除非它们吸收波束,否则对于光学系统几乎是不可见的。然而,因为每种材料的光吸收水平不同,甚至可能是可以忽略的,及因为构建依赖于光学吸收的光学系统是高度材料特异性的,及因为可用材料的数量极大,此类系统很可能是复杂、巨大且昂贵的,除非适当地设计,否则很可能是不可靠的,尤其是在考虑到其预定是关键性安全系统的情况下。依赖于反射提供可探测的波束衰减也是成问题的,因为表面可能涂覆有抗反射涂层或者相对于波束处于接近布鲁斯特角,因而在表面的所述特殊位置的情况下反射可能是最小的。

[0027] 现有技术的系统的另一个限制是,其典型地使用具有良好的波束品质(低 $m^2$ 值)的激光器连同大的光学器件以获得高效率(例如US 6,407,535 B1和US 6,534,705 B2使用宽的激光束孔径),而US 5,260,639使用0.8 $\mu\text{m}$ 的波长以允许小的光学器件,减小光学系统的成本和尺寸。

[0028] 因此需要具有内嵌式安全特征的激光功率传输系统,其克服了现有技术的系统和方法的至少一些缺点。

[0029] 在此将在本说明书的此部分及其他部分提到的各个出版物公开的全部内容引入本申请作为参考。

## 发明内容

[0030] 无线功率传输的主要挑战之一是构建安全、低成本且小的发送器和接收器,然而其是强有力的(例如能够传输显著水平的功率)。为了实现强有力且小的发送器和接收器,必要的是在整个光学路径上,保持波束的辐射亮度尽可能高,但是尤其是在发送器的输出。在光学路径上的每个组件造成一定的辐射亮度损失。在本说明书中有时使用术语“辐射效率”,其在本说明书的上下文中的通常的含义是光学组件的输出辐射亮度与进入组件的波束的输入辐射亮度的比例。对于可以各种不同的方式构造的组件,例如反射镜,其可以不同的角度倾斜。对于每种布置方式可能存在不同的辐射效率。

[0031] 一般而言,所述系统作为整体需要具有尽可能高的辐射效率,典型值为大于60%的辐射效率,甚至应当追求高达90%或95%。

[0032] 发送器的辐射效率通常远远比接收器的辐射效率更重要。存在两个减小波束的辐射亮度的主要因素-激光器系统和发送器的辐射效率。除了这些因素,其他较小的因素也对其造成影响。

[0033] 具有高辐射亮度值的激光器一般较大且较复杂,而具有较低辐射亮度的激光器则

典型地较小且较简单。本系统在激光辐射亮度方面是受限制的,因为其典型地使用允许改善的安全性特征的不同寻常的波长,而在此非常规的波长的、小的、低成本的、高辐射亮度激光器通常不易获得,并且可能增加系统的成本。

[0034] 诸如US 5,260,639和US 6,407,535 B1的现有技术的系统使用较短的波长(0.8 $\mu\text{m}$ 或0.532 $\mu\text{m}$ )以允许更加紧凑的发送器和接收器,然而本系统使用较长的波长,因此需要采用不同的方法以减小系统的尺寸。

[0035] 通过使用特别是被几乎所有的塑料材料吸收的波长,由本系统使用的较长的波长允许探测在波束的路径上的透明的塑料,如在第14/811,260号美国专利申请中所解释,其具有与本申请共同的发明人。

[0036] 不透明或者甚至部分不透明的材料在置于波束中时可以通过测量波束的衰减而容易地被探测到。然而某些材料是透明或几乎透明的,此类透明材料明显更难被探测到。存在两大组固体透明材料,有机及无机材料。普通公众可获得的无机透明固体材料的数量是相当受限制的,主要由玻璃、一些普通用途的半导体材料、石英及一些天然出现的矿物如金刚石、红宝石及方解石组成。因此可以覆盖所有可能的情况,构建来自无机透明材料的反射的探测系统。

[0037] 另一方面,不同的有机透明材料对于普通公众的可用性是巨大的,始终有新型透明材料被加入列表中。这是一个显著的问题,因为以光学方式表征这一组实际上是不可能的。

[0038] 聚合物是一大组透明有机材料,其作为样品组用于帮助解释本发明所要操作的方式。聚合物典型地由单体的长链组成,其中此类聚合物的骨架典型地由碳或硅构成。图4至9所示为一些通常使用的透明聚合物的化学结构。图4所示为聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)链;图5所示为聚碳酸酯的结构;图6所示为聚苯乙烯结构;图7所示为尼龙6,6;图8所示为聚丙烯链;图9所示为聚乙烯链结构。

[0039] 可以观察到,所示样品聚合物的化学结构非常不同,这些聚合物的吸收谱取决于许多因素,包括材料密度、痕量的反应物及链长度。还观察到,所有上述透明聚合物共同具有一些化学键,尤其是C-C及C-H键。对于可商购获得的聚合物尤其是如此,几乎全部基于有机材料,其会被本发明的系统探测到,或者是基于聚合物的半有机硅,如聚硅氧烷、聚硅烷、聚锆烷及聚锡烷,或聚磷嗪(polyphosphazenes),其也会被本发明的系统探测到。

[0040] 除此以外,普通公众可获得的并非基于碳化学系统的透明材料的数量是相当受限制的,主要由各种不同的玻璃组成,其中大多数具有容易获得的关于其传输谱的数据。

[0041] 若设计系统使得激光激发聚合物中的振动的C-H键,或者还可能激发C-C键,则在一种此类聚合物位于波束中时通过监测由所述聚合物导致的功率下降而容易被探测到。这假设总是存在C-H或C-C键的吸收,并且波长总是校准至激光波长。旋转的峰也可以用于此目的,但是在聚合物中可能是不可靠的,因此振动的C-H(或C-C)吸收更好地适合于此目的。

[0042] 参照图10,其显示了不同聚合物键的典型吸收区域的图。观察到在几乎所有所示的聚合物中均出现在2900至3200 $\text{cm}^{-1}$ 附近的C-H伸缩振动。因此其可以用作安全系统的吸收机构触发器,其中使用由吸收谱带产生的传输功率变化。然而,这些吸收谱带存在两个问题,导致它们不太可用于此目的。

[0043] (i) C-H振动吸收线典型地非常尖锐,其精确的频率从一种聚合物到另一种明显不

同,因而激光可以激发一种聚合物,但是无法激发另一种。因此,除非将激光器精确地调节至所述聚合物的特定的C-H振动线,否则不会被吸收。

[0044] (ii) 此C-H振动峰一般是中等的吸收峰,这意味着由于几mm厚的材料区段导致的波束衰减为20至50% (即允许探测在小容器中甚至痕量的材料),而中等(每cm材料衰减20至70%)及强(每cm衰减>70%)的吸收峰一般明显更容易被探测到,其无法用于构建耐用的系统。

[0045] 在设计用于消费者环境的商用系统中,指纹是常见问题。在正常运行中,在指纹沉积在其上时,所述系统不应简单地失效;替代性地,在存在超过安全限值的风险时,所述系统应当停止传输。为此,所述系统应当探测到波束的阻隔,但是不应由于任何沉积在接收器上的指纹而停止传输。若使用强或中等的吸收峰,则指纹或一些其他污染物应当沉积在接收器或发送器的外部光学表面上,其会显著吸收波束,导致功率传输失效。这是因为指纹也含有吸收波束的有机化合物,导致不受控制的系统失效。为了允许所述系统在有机材料如指纹可能沉积在其典型外部光学组件的表面上的环境中运行,需要构建激光波束成功横穿指纹的系统,而安全系统探测可能插入波束中的危险的透明物品。若另一方面安全系统利用弱的吸收谱带代替中等或强的吸收谱带,则所述系统应当在有指纹的情况下持续运行,可以基于电子决策而不是以不受控制的方式关闭。

[0046] 转到由 $800\text{cm}^{-1}$ 至 $1300\text{cm}^{-1}$ 伸缩的C-C吸收谱带,该谱带的宽度使得窄带激光器几乎肯定会遗漏在此区域内的窄带吸收峰,因为在所述峰可能位于 $800\text{cm}^{-1}$ 至 $1300\text{cm}^{-1}$ 的范围内时,其典型宽度非常小,可能容易被窄带激光器遗漏。额外地,下面在图11中可以看出,该谱带在某些聚合物的情况下消失,在800与 $1300\text{cm}^{-1}$ 之间没有可见的吸收峰,并且可能存在一些聚合物,其中C-C键并不存在,并且被芳族碳碳键或被C=C键和C-O-C键代替。

[0047] 由C-C线的吸收强度产生额外的问题。在对称化合物如聚乙烯中,可能几乎无法探测到,而在其他化合物中,其强度可能导致即使在接收器的表面上弱的指纹也会使所述系统无法运行,因为显著部分的功率可能被指纹吸收,导致所述装置无法使用。为了使其中指纹可能在其光学表面上沉积的系统能够运行,需要弱的但不是过于弱的吸收线,其在不同聚合物之间不会明显改变并且发现于大多数有机聚合物中,将激光器调节至应当使用的峰,连同在该峰附近运行的系统。由图10可以看出,在通常使用的聚合物中及在所示吸收谱带中并不存在此峰。

[0048] 光学无线传输功率至功率接收装置的系统可以包括:

[0049] (a) 具有末端反射器并且适合于发射光束的光学谐振腔,

[0050] (b) 位于光学谐振腔内部并且具有第一带隙能的增益介质,所述增益介质以热的方式附着至冷却系统并且配置以放大通过其中的光线,

[0051] (c) 准直透镜,其减小光线的发散性,并且具有高辐射效率(>50%),

[0052] (d) 向所述增益介质供应功率并且控制所述增益介质的小的信号增益的驱动器,

[0053] (e) 配置以在多个方向至少之一上引导光束的波束转向装置,典型地具有高辐射效率(典型地大于50%),

[0054] (f) 配置以将光束转换成具有电压的电功率的光电功率变换器,所述光电功率变换器具有第二带隙能和厚度,从而使其发挥吸收层的作用(典型地是半导体),

[0055] (g) 适合于将由所述光电功率变换器产生的电功率的电压转换成不同电压的电压

变换器,所述电压变换器包括电感器、储能装置和开关,

[0056] (h) 与所述光电功率变换器相连并且以光学方式布置在所述增益介质与所述光电功率变换器之间的至少一个表面,

[0057] (i) 配置以提供指示投射在所述光电功率变换器上的光束的信号的探测器,及

[0058] (j) 安全性系统,其评定破坏安全性的潜在可能性,

[0059] (k) 适合于控制波束转向装置和驱动器的状态至少之一的控制器,所述控制器接收来自至少所述探测器的控制输入信号,

[0060] 其中:

[0061] (1) 所述至少一个表面的性质使得其以如下方式反射小部分的入射到其上的光线:(i) 在多于一个方向上,或者(ii) 使得反射光线具有相对于表面位于远离所述光学谐振腔的虚焦点,或者(iii) 使得反射光线具有在所述光学谐振腔的方向上相对于表面位于至少1cm处的实焦点,

[0062] (m) 通过以下方式至少之一配置所述控制器以响应由所述探测器接收的控制输入信号:(i) 致使所述驱动器改变所述增益介质的小的信号增益,(ii) 改变光束的辐射亮度,(iii) 改变由所述驱动器供应的功率,(iv) 改变波束转向装置的扫描速度,(v) 改变波束转向装置的扫描位置,及(vi) 记录确定所述光电功率变换器的位置的扫描位置,

[0063] (n) 所述增益介质是半导体器件或用Nd离子掺杂的固体基质,并且包含使波数在 $8,300\text{cm}^{-1}$ 至 $12,500\text{cm}^{-1}$ 的范围内的至少一个频率的辐照衰减的滤波器,

[0064] (o) 选择光电功率变换器活性半导体层的厚度足够大,以吸收大多数光束,但是并不过大,从而使半导体层的量子效率变得明显减小,

[0065] (p) 第二带隙能小于第一带隙能,

[0066] (q) 第一带隙能为0.8eV至1.1eV,

[0067] (r) 所述开关的闭合串联电阻小于由下式给出的R

$$[0068] \quad R \leq \frac{E_{\text{gain}}^2}{2 * 10^{-40} * P_{\text{laser driver}}}$$

[0069] 其中

[0070] R是以欧姆测得的,

[0071]  $E_{\text{gain}}$ 是以焦耳测得的第一带隙能,及

[0072]  $P_{\text{laser driver}}$ 是由所述激光驱动器供应至所述增益介质的以瓦测得的功率,

[0073] (s) 所述光束具有至少 $8\text{kW}/\text{m}^2/\text{球面度}$ 的辐射亮度,及在位于约 $6940\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第一谐波与位于约 $8130\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第二谐波之间的频率,及

[0074] (t) 在所述系统中的光学组件,尤其是准直透镜和波束导向器,具有至少为50%的辐射效率。

[0075] 在任一此类系统中,所述不同电压可以是高于由所述光电变换器产生的电压的电压。此外,波束转向装置的状态可以是波束转向装置的瞄准方向和扫描速度之一或两者都是。

[0076] 此外,在任一上述系统中,所述光束的辐射亮度可以为至少 $800\text{kW}/\text{m}^2/\text{球面度}$ 。

[0077] 另一个示例性实施方案可以涉及任一上述系统,其中

[0078] 所述谐振腔的每个所述末端反射器是(i)介质镜、(ii)布喇格反射镜、(iii)菲涅耳反射器或(iv)由具有不同折射率的介电或半导体材料的交替的层组成的反射镜。额外地,所述增益介质可以用Nd离子掺杂的透明的固体基质材料或者是半导体。在此情况下,所述系统可以进一步包括用于引出波数大于 $8300\text{cm}^{-1}$ 的辐照的滤波器。在所述增益介质是半导体的情况下,其可以有利地是量子点增益介质。

[0079] 在上述系统的其他示例性实施方案中,所述冷却系统可以是散热器、帕尔贴二极管和液体冷却板中的至少之一。其还可以装配有风扇。额外地,可以使用一层具有小于 $200^\circ$ 开尔文/瓦的热阻的焊料使所述增益介质附着至所述冷却系统。在任何情况下,所述冷却系统可以使得在所述增益介质与周围空气之间的热阻小于 $200^\circ$ 开尔文/瓦。

[0080] 在任一上述系统的替代性实施方案中,所述光电功率变换器可以是光伏电池。在此情况下,所述光伏电池可以是III-V族装置。在任何情况下,所述光电功率变换器的串联电阻应当小于1欧姆。

[0081] 所述光电功率变换器典型地在其上具有厚度为至少 $0.02/\mu_{10}$ 的导线,其中 $\mu_{10}$ 是以 $1/\text{m}$ 测得的十进位衰减系数。

[0082] 该导线的厚度应当为至少

$$[0083] \quad \frac{0.01 \cdot P \rho}{V^2 \cdot x} \text{ 米,}$$

[0084] 其中,

[0085] P是以瓦特测得的被光伏(电池)吸收的传输功率,

[0086]  $\rho$ 是导线的比电阻,

[0087] V是由光伏电池在其最大功率点发出的电压,及

[0088] x是吸收层被导线覆盖的面积的比例。

[0089] 根据上述系统的其他实施方案,所述电感器的以欧姆测得的串联电阻应当小于以焦耳测得的第一带隙能的平方除以 $2 \cdot 10^{-40}$ 倍的以瓦测得的驱动器功率。

[0090] 在其他实施方案中,所述储能装置可以是电容器或者是可再充电电池。

[0091] 根据上述系统的其他实施方案,包括至少一个安全性系统,其评估破坏安全性的概率,给定来自各种不同的传感器和监测器的输入。这不同于现有技术的仅提供实际的测量数据的系统,例如在US 6,407,535中的雷达系统,没有发生错误的概率的指示信息。本系统的区别在于,其提供指示破坏安全性的概率的信号,作为针对实际探测的破坏安全性的对抗。这允许实现若干显著的优点。首先,该系统可以对潜在的成问题的状况作出反应,其通过低信噪比而变得明显,或信号中断,通过在高风险状况与较低的风险状况之间加以区分,并且以不同的方式对每种状况作出反应。例如由脏的孔径、由排列对准故障导致的低风险状况或相似的状况,例如可以与高风险状况不同地加以应付处理,例如高概率的波束侵入,或无论高低不合理的波束功率。其次,该系统可以将来自不同安全性系统的概率结合成统一的概率,以达到足够高的探测精度。例如,若将系统设计成具有每小时 $10^{-9}$ 次故障的故障率,则典型地在改变的环境中,没有单独的安全性系统可以在不发生故障的情况下提供此类可靠的测量。然而,结合安全性系统可以具有更佳的故障率,及若将该数据与发生错误的概率相结合,及若来自这两种安全性系统的错误的统计相关性是已知的,或者可以进行评估或近似估算,则可以将来自这两个系统的数据相结合,从而以明显更高的概率获得数

据。该可靠性数据特别是可以由信噪比,由组件的温度,由预先加载的基于在相同的装置或相似的装置上的测量的数据,由使用者输入的信息,加以评估,由生产商或分销商加以升级,或由使用者供应。

[0092] 根据上述系统的其他实施方案,使用透镜在至少一个轴上使激光谐振腔的输出波束准直(或者接近准直)。该透镜需要具有高辐射效率(典型地大于50%),为此应当使用高数值孔径(NA)透镜。

[0093] 根据上述系统的另一个实施方案,波束偏转机构还需要具有大于50%的高辐射效率,还需要进行定位,因而其旋转中心接近于波束的加权平均点,接近于波束的最大强度点,或者接近于波束的50%强度线或90%强度线的中心。

[0094] 传输/接收/变换过程的30%的总体辐射效率是所期望的使该系统能量有效的水平,但是应当理解,这受到可用的组件的约束及其环境状态的限制,低于30%的水平也是可运行的,例如20%,或者甚至更小。

[0095] 额外地,任一上述系统可以进一步包括后向反射器。因此,所述增益介质可以通过所述驱动器以电力方式或以光学方式进行泵浦。此外,第二带隙能可以大于第一带隙能的50%。

[0096] 其他实施方案实施由发送器向接收器传输功率的方法,其包括:

[0097] (a) 将第一电功率转换成具有在位于约 $6940\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第一谐波与位于约 $8130\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第二谐波之间的频率的电磁波,所述电磁波具有至少 $8\text{kW}/\text{m}^2$ /球面度的辐射亮度,通过使用具有末端反射器和连接至接收第一电功率的激光驱动器的增益介质的光学谐振腔实施转换,所述增益介质具有 $0.8\text{eV}$ 至 $1.1\text{eV}$ 的第一带隙能,位于光学谐振腔内部,以热的方式附着至冷却系统,并且配置以放大通过其中的电磁波,

[0098] (b) 使用通过控制单元控制的波束转向装置在多个方向至少之一上引导电磁波,

[0099] (c) 探测投射在具有相连的部分透明的表面的目标物上的波束,从而可以通过控制单元利用关于投射的指示信息以实施以下至少之一:(i) 致使所述增益介质的小的信号增益改变,(ii) 致使电磁波束的辐射亮度改变,(iii) 致使第一电功率改变,(iv) 改变波束转向装置的扫描速度,(v) 改变波束转向装置的扫描位置,及(vi) 记录确定目标物位置的扫描位置,

[0100] (d) 通过使用具有小于第一带隙能的第二带隙能的光电功率变换器,将电磁波转换成具有电压的第二电功率,

[0101] (e) 使用包含电感器、储能装置和开关的电压变换器将所述电压转换成不同电压,所述开关的闭合串联电阻小于由下式给出的R

$$[0102] \quad R \leq \frac{E_{\text{gain}}^2}{2 * 10^{-40} * P_{\text{laser driver}}}$$

[0103] 其中

[0104] R是以欧姆测得的,

[0105]  $E_{\text{gain}}$ 是以焦耳测得的第一带隙能,

[0106]  $P_{\text{laser\_driver}}$ 是以瓦测得的第一电功率,

[0107] 其中

[0108] (f) 设计所述表面, 使得其以如下方式反射小部分的入射到其上的电磁波: (i) 以漫射的方式, 或者 (ii) 使得反射光线具有相对于表面位于远离所述光学谐振腔的虚焦点, 或者 (iii) 使得反射光线具有在所述光学谐振腔的方向上相对于表面位于至少1cm处的实焦点, 及

[0109] (g) 所述增益介质是半导体器件或用Nd离子掺杂的固体基质, 其包含使波数在8, 300 $\text{cm}^{-1}$ 至12, 500 $\text{cm}^{-1}$ 的范围内的至少一个频率的辐照衰减的滤波器,

[0110] 在所述方法中, 所述开关能够通过下式确定的频率进行开关操作

$$[0111] \quad f < \frac{1}{1.28 * 10^{-40} * L} * E_{\text{gain}}^2 * \frac{1 - \frac{E_{\text{gain}}}{5 * 10^{-19} * V_{\text{output}}}}{P_{\text{laser\_driver}}}$$

$$[0112] \quad f > \frac{1}{3 * 10^{-38} * L} * E_{\text{gain}}^2 * \frac{(1 - \frac{E_{\text{gain}}}{4 * 10^{-20} * V_{\text{output}}})}{P_{\text{laser\_driver}}}$$

[0113] 其中

[0114] f是以Hz测得的开关频率,

[0115]  $E_{\text{gain}}$ 是以焦耳测得的所述增益介质的带隙,

[0116]  $V_{\text{output}}$ 是以伏测得的来自电压变换器的输出电压,

[0117]  $P_{\text{laser\_driver}}$ 是以瓦测得的通过激光驱动器泵浦至增益介质的功率。

[0118] 额外地, 可以通过在发送器中探测由目标物后向反射的照度, 或者使用接收器传感器探测目标物的照度, 从而探测投射在目标物上的波束。

[0119] 此外, 在任一上述方法中, 第二带隙能可以大于第一带隙能的50%。

[0120] 向至少一个功率接收装置进行光学无线功率传输的系统, 所述系统包括:

[0121] (i) 具有末端反射器并且适合于发射光束的光学谐振腔,

[0122] (ii) 增益介质, 其包括 (a) 半导体装置, 或 (b) 固体基质, 其是用钕离子掺杂的并且与使至少一个具有在8, 300 $\text{cm}^{-1}$ 至12, 500 $\text{cm}^{-1}$ 的范围内的波数的频率的辐照衰减的滤波器进行光通信, 所述增益介质位于光学谐振腔内部并且具有第一带隙能, 所述增益介质以热学方式附着至冷却系统并且构造成放大穿过其中的光线,

[0123] (iii) 驱动器, 其构造成向所述增益介质供应功率, 并且能够控制所述增益介质的小的信号增益,

[0124] (iv) 波束转向装置, 其构造成在多个方向至少之一上引导所述光束,

[0125] (v) 光电功率变换器位于至少一个功率接收装置中, 并且构造成将所述光束变换成具有电压的电功率, 所述光电功率变换器具有第二带隙能,

[0126] (vi) 探测器, 其构造成提供指示所述光束投射在所述光电功率变换器上的信号, 及

[0127] (vii) 控制器, 其适合于控制所述波束转向装置和驱动器的状态至少之一, 控制器接收至少来自探测器的控制输入信号,

[0128] 其中, 所述光束具有至少8 $\text{kW}/\text{m}^2/\text{球面度}$ 的辐射亮度, 在发送器与至少一个功率接收装置之间的传输的总体辐射效率为至少20%。

[0129] 在此类系统中,在发送器与至少一个功率接收装置之间的传输的总体辐射效率应当为至少30%。

[0130] 此外,任一以上最后所述系统还可以包括连接至所述光电功率变换器的输出的电压变换器。在此情况下,电压变换器可以构造成追踪所述光电功率变换器的最大功率点。额外地,电压变换器可以是DC/DC升压电压变换器。

[0131] 其他实施方案可以涉及上述系统之一,其中谐振腔包括至少一个介电反射镜(介质镜)。

[0132] 替代性地,所述光电功率变换器可以是光伏电池,在此情况下,光伏电池可以包含III-V族半导体材料。

[0133] 其他示例性实施方案可以涉及例如上述的系统,该系统还包括储能装置,其可以是电容器或可再充电电池。

[0134] 再一个有利的实施方案可以是一种系统,例如以上所述的系统,并且还包括电感器。在此情况下,所述电感器可以具有在以下之间的电感

$$[0135] \quad L = \frac{1}{1.28 * 10^{-40} * f} * E_{\text{gain}}^2 * \frac{1 - \frac{E_{\text{gain}}}{5 * 10^{-19} * V_{\text{output}}}}{P_{\text{laser\_driver}}}$$

[0136] 与

$$[0137] \quad L = \frac{1}{3 * 10^{-38} * f} * E_{\text{gain}}^2 * \frac{(1 - \frac{E_{\text{gain}}}{4 * 10^{-20} * V_{\text{output}}})}{P_{\text{laser\_driver}}}$$

[0138] 其中,

[0139] f是以赫兹测得的开关频率,

[0140]  $E_{\text{gain}}$ 是以焦耳测得的所述增益介质的带隙能,

[0141]  $V_{\text{output}}$ 是DC/DC变换器以伏特计的输出电压,及

[0142]  $P_{\text{laser\_driver}}$ 是由激光驱动器供应至增益介质的以瓦特测得的功率。

[0143] 本说明书的其他系统可以是在上文所述,其中在该系统中构造成接收来自功率接收装置的信息。该信息可以包括以下至少之一:电池状态、器件识别、功率需求、电压需求和键(key)。

[0144] 此外,任一以上所述的系统还可以包括用于确定所述光电功率变换器的温度的传感器。于是该传感器可以构造成调节光束的功率以响应所述光电功率变换器的温度的变化。应当由该控制器接收温度传感器输出。

[0145] 根据在本说明书中所述的再一个实施方案,任一此类系统还可以包括位于所述光伏光电功率变换器与所述波束转向装置之间的光学窗口。在此情况下,该窗口可以具有至少为1.5的折射率,或者甚至至少为1.6,并且可以涂覆有抗反射涂层。

[0146] 额外地,在该系统中,第二带隙能应当小于第一带隙能。

[0147] 此外,控制器应当适合于使得所述波束转向装置将所述光束引导至所述至少一个功率接收装置。

[0148] 根据在本说明书中所述的系统的再一个实施方案,提供有向至少一个功率接收装置进行光学无线功率传输的系统,所述系统包括:

[0149] (i) 光学谐振腔,其具有末端反射器并且适合于发射光束,

[0150] (ii) 增益介质,其包括半导体器件或固体基质,其是用铍离子掺杂的并且与使至少一个具有在 $8,300\text{cm}^{-1}$ 至 $12,500\text{cm}^{-1}$ 的范围内的波数的频率的辐照衰减的滤波器进行光通信,所述增益介质位于光学谐振腔内部并且具有第一带隙能,所述增益介质以热学方式附着至冷却系统并且构造成放大穿过其中的光线,

[0151] (iii) 驱动器,其构造成向所述增益介质供应功率,并且能够控制所述增益介质的小的信号增益,

[0152] (iv) 波束转向装置,其构造成在多个方向至少之一上引导所述光束,

[0153] (v) 光电功率变换器位于至少一个功率接收装置中,并且构造成将所述光束变换成具有电压的电功率,所述光电功率变换器具有第二带隙能,

[0154] (vi) 探测器,其构造成提供指示所述光束投射在所述光电功率变换器上的信号,及

[0155] (vii) 控制器,其适合于控制所述波束转向装置和驱动器的状态至少之一,所述控制器接收至少来自探测器的控制输入信号,

[0156] 其中,控制器构造成通过输出命令以产生以下至少之一从而响应在该系统中出现的安全性风险的指示信息:

[0157] (a) 致使所述驱动器改变所述增益介质的小的信号增益,

[0158] (b) 改变所述光束的辐射亮度,

[0159] (c) 改变由该驱动器供应的功率,

[0160] (d) 改变所述波束转向装置的扫描速度,

[0161] (e) 改变所述波束转向装置的扫描姿态,及

[0162] (f) 记录确定所述光电功率变换器的位置的扫描姿态。

[0163] 术语“姿态”理解为同时是指所述波束转向装置引导波束的位置和角度取向。此外,上述驱动器,其构造成向所述增益介质供应功率,还理解为能够通过改变向所述增益介质的泵浦功率输入,或者甚至通过将驱动器完全开启或关闭,控制所述增益介质的小的信号增益。

[0164] 在此类系统中,至少由通过探测器产生的信号,探测器构造成提供指示所述光束投射在所述光电功率变换器上的信号,及由通过在由至少一个功率接收装置反射的波束的谐振腔处接收的水平产生的信号,获得在该系统中出现的安全性风险的指示信息。

[0165] 任一最后所述系统还可以包括连接至所述光电功率变换器的输出的电压变换器。此类电压变换器应当构造成追踪所述光电功率变换器的最大功率点。额外地,电压变换器可以是DC/DC升压电压变换器。

[0166] 根据此类系统的其他实施方案,所述谐振腔可以包括至少一个介电反射镜。此外,所述光电功率变换器可以是光伏电池,此类光伏电池可以包含III-V族半导体材料。

[0167] 该系统的再一个实施方案还可以包括储能装置,其可以是电容器或可再充电电池。额外地,其还可以包括电感器。此类电感器可以具有在以下之间的电感

$$[0168] \quad L = \frac{1}{1.28 * 10^{-40} * f} * E_{\text{gain}}^2 * \frac{1 - \frac{E_{\text{gain}}}{5 * 10^{-19} * V_{\text{output}}}}{P_{\text{laser driver}}}$$

[0169] 与

$$[0170] \quad L = \frac{1}{3 * 10^{-38} * f * E_{\text{gain}}^2 * \left(1 - \frac{E_{\text{gain}}}{4 * 10^{-20} * V_{\text{output}}}\right)} P_{\text{laser\_driver}}$$

[0171] 其中

[0172] f是以赫兹测得的开关频率，

[0173]  $E_{\text{gain}}$ 是以焦耳测得的所述增益介质的带隙能，

[0174]  $V_{\text{output}}$ 是DC/DC变换器以伏特计的输出电压，及

[0175]  $P_{\text{laser\_driver}}$ 是由激光驱动器供应至增益介质的以瓦特测得的功率。

[0176] 此外，任一此类系统可以构造成接收来自至少一个功率接收装置的信息。该信息可以包括以下至少之一：电池状态、器件识别、功率需求、电压需求和键(key)。

[0177] 该系统还可以包括用于确定所述光电功率变换器的温度的传感器。此类系统可以构造成调节光束的功率以响应所述光电功率变换器的温度的变化。为此，应当由该控制器接收温度传感器输出。

[0178] 该系统的额外的例子还可以包括位于光伏光电功率变换器与所述波束转向装置之间的光学窗口。此类窗口可以具有至少为1.5的折射率，或者其可以具有至少为1.6的折射率，其可以涂覆有抗反射涂层。

[0179] 最后，在任一上述系统中，第二带隙能应当小于第一带隙能。

[0180] 在许多情况下，需要限制由该系统发射出的最大功率，以防止超过某些最大值，其可以由该系统的安全性要求，由该系统的工程学要求，由接收器的功率要求(其可以动态改变)或者由其他问题得出。在此情况下，在所述光束超过特定的功率时，该系统可以减小所述增益介质的小的信号增益，这会导致降低由该系统发射出的辐射亮度。

[0181] 因此，根据其他的实施方案，该系统还可以包括功率传感器，其布置成使其提供指示在投射到至少一个功率接收装置上之前由光束承载的功率的信号。在此情况下，驱动器可以构造成在功率传感器的功率指示信息超过阈值时减小增益介质的小的信号增益。

[0182] 额外地，安全性风险的一个重要的指示信息是“损失功率”，评估并非由该系统引起的功率。该功率可能会损失从而使系统无效率，但是还可能会损失从而以有风险的方式发射功率。若探测到该“损失功率”，则该系统应当实施各种不同的操作以确保安全操作，其可以包括减小波束的功率，减小小的信号增益，减小该系统的辐射亮度，使波束转向或者告知使用者。因此，探测器还可以提供指示由至少一个功率接收装置接收的功率的信号。在此情况下，安全性指示信息至少之一可以在至少一个功率接收装置之一中来自由该功率传感器指示的功率与由该探测器指示的功率之差值。于是安全性指示信息至少之一可以由超过阈值的差值产生。

[0183] 其他安全性危害指示信息可以来自波束侵入传感器，其可以是光学的，或者来自系统完整性传感器，例如监视器、联锁、热敏电阻，其可以指示该系统是不安全的。在此情况下，该系统可以实施安全性运行，例如减小波束的功率，减小小的信号增益，减小该系统的辐射亮度，使波束转向或者告知使用者。

[0184] 因此，上述系统的其他实施方案可以包括波束侵入传感器，其适合于在非期望的物体进入光束时感知到，非期望的物体的进入构成安全性风险的指示信息。替代性地及额

外地,该系统还可以包括包围完整性传感器,其中由该传感器发出的缺少包围完整性的警告指示安全性风险。该系统还可以包括感知在该系统中至少一个关键性子系统异常运行的传感装置,异常运行构成安全性风险的指示信息。

### 附图说明

- [0185] 通过以下详细说明连同附图更加充分地理解和认识本发明,其中:
- [0186] 图1所示为各种不同的电池化学系统的能量密度;
- [0187] 图2所示为激光器在不同暴露时间的情况下最大允许的暴露值,根据美国联邦法规第21篇第8卷(21CFR§8)2014年4月修订版第I章第J节第1040部分;
- [0188] 图3所示为IV级激光器产品的警告标识的例子;
- [0189] 图4至9所示为各种不同的通常使用的透明聚合物的化学组成的例子;
- [0190] 图4所示为聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)链;
- [0191] 图5所示为聚碳酸酯的结构;
- [0192] 图6所示为聚苯乙烯结构;
- [0193] 图7所示为尼龙6,6的结构;
- [0194] 图8所示为聚丙烯链结构;
- [0195] 图9所示为聚乙烯链结构;
- [0196] 图10所示为普通有机化学键的IR吸收谱带;
- [0197] 图11所示为聚乙烯的IR吸收谱;
- [0198] 图12所示为一些普通有机化学键的谐波吸收谱带;
- [0199] 图13a和13b所示为将光伏电池的输出电压转换成不同电压的不同电子配线方式;
- [0200] 图14所示为通过反射镜在辐射亮度为 $8\text{kW}/\text{m}^2$ /球面度的波束聚焦在其上时作为数值孔径的函数的每平方米反射的功率;
- [0201] 图15A至15C所示为根据本发明的示例性装置的示意图,用于避免通过本发明的发送器照射,来自接收器正面的不安全的反射;
- [0202] 图16所示为显示本发明的完整光学无线供电系统的更加详细的描述的示意图;
- [0203] 图17为显示图16的系统的功率传输的改变作为波束转向反射镜的倾斜角的函数的图;
- [0204] 图18所示为图16的系统的增益介质的冷却系统的示意图;
- [0205] 图19是显示图16的系统的详细描述示意图,但是进一步引入安全性系统;
- [0206] 图20是在图16、19中所示的系统的光电功率变换器的示意图;
- [0207] 图21所示为图19的安全性系统的框图;
- [0208] 图22所示为图19的系统的输出激光束,其通过在一个万向轴上或者在多个万向轴上旋转的反射镜发生偏转;
- [0209] 图23所示为经旋转的图22的反射镜,因而波束以比在图22中所示更大的角度发生偏转;
- [0210] 图24所示为典型的偏转的波束的强度分布的示意图;
- [0211] 图25所示为激光二极管由垂直于激光器的快轴的方向的侧视图,及用于操纵波束的透镜;及

[0212] 图26所示为完整的激光器保护器的框图。

### 具体实施方式

[0213] 鉴于上述考虑,本发明的光学无线供电系统的一个示例性实施方案可以是调节以在位于 $6940\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第一谐波与位于 $8130\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第二谐波之间工作的系统。所述谐波谱带是较少知晓的谱带,包含明显较少的化学信息,是由基本上禁止的量子力学跃迁造成的,并且仅由于复杂的机构才是允许的。因此,其提供宽的弱的吸收谱带,对于本申请恰恰是优选的,但是明显较少发现用于分析化学。所述谱带的宽的特性允许探测各种不同的聚合物组成,而弱的吸收允许所述系统即使在有机污物和指纹附近也持续运行。这使得这些线明显较少地用于吸收测量的典型应用,但是对于本发明的目的却是理想的。这些线的另一个优点是不存在直接位于相同频率的普通吸收线,因而改变材料的化学组成并不会强烈改变测量结果。在图12的图表中显示了许多此类谐波谱带。

[0214] 在所述谱带运行的电光组件是稀少的,并且难以获得,可能是因为二极管激光器和二极管泵浦固态(DPSS)激光器在这些频率均明显不太有效,目前只有较低功率的激光器是可商购获得的。因为处于优选的频率的具有所期望的参数的激光器目前无法获得,所以必须完全彻底地设计适合于此用途的激光器。必须设计谐振腔和增益介质。必须构造具有所选的频率和辐射亮度值的激光器,其足以使粗略准直或几乎准直的波束便利。为了实现良好的准直的波束,需要至少 $8\text{kW}/\text{m}^2/\text{球面度}$ 的辐射亮度,对于用于有效的功率传输的更高功率的系统甚至可能需要 $800\text{kW}/\text{m}^2/\text{球面度}$ 。在以长距离工作的小型系统的情况下,将来可以根据相似的原理设计明显更高的辐射亮度(高达 $10\text{GW}/\text{m}^2/\text{球面度}$ )。以小于所述水平的辐射亮度使用的接收器需要是过于巨大的,这使得所述系统很笨重。

[0215] 已经有人使用了用于谐振腔的不同的反射镜机构,由金、银或铝制成的具有特别良好的品质的金属镜。其被发现显著降低发出激光的效率。利用介电材料反射镜实现明显更优的结果。替代性地,菲涅耳反射镜的一个优点在于其成本低廉。其他可以使用的反射镜是布喇格反射镜(其可以是介电的)。反射镜需要以如下方式进行定位,形成稳定或几乎稳定的谐振腔,或者所形成的谐振腔使得,在激光器内部(例如在纤维激光器或二极管激光器中)光子被势垒限制在空间中,并且增益介质应当位于反射镜之间的谐振腔中,所述反射镜所处的位置允许增益介质放大在谐振腔内部产生谐振的波束,因而其具有至少 $8\text{kW}/\text{m}^2/\text{球面度}$ 的辐射亮度。

[0216] 若所述增益介质能够以多于一种波长发出激光,则可以选择介质镜以将所述波长限制为特定的数值。替代性地,可以使用滤波器以固定发出激光的频率。

[0217] 具体而言,若对于在位于 $6940\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第一谐波与位于 $8130\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第二谐波之间的至少一种波长,反射镜具有高反射率,则是更优的。

[0218] 针对所述增益介质可以采用三种不同的途径。

[0219] 1、DPSS设计

[0220] 在DPSS设计中,增益介质可以是Nd掺杂的YAG晶体,虽然 $\text{YVO}_4$ 晶体、GGG晶体和玻璃也是清洁基质的选择项。钕最适合于在C-H谱带的第一谐波与C-H谱带的第二谐波之间运行,因为Nd具有在 $\sim 7450\text{cm}^{-1}$ 附近的跃迁。需要通过吸收典型地来自 $808\text{nm}$ 激光二极管的辐照来激发Nd离子,虽然可以使用其他波长。Nd基增益介质倾向于以明显更高的频率发出激

光,除非在谐振腔内部加入滤波器以阻隔在 $9400\text{cm}^{-1}$ 附近的跃迁,或者除非否则引出来自谐振腔的非期望的辐照。在加入此类滤波器时,开始于 $7440$ 至 $7480\text{cm}^{-1}$ 发出激光。使用棱镜或光栅代替滤波器,或者通过激光器谐振腔的适当的色彩设计,可以实现此类滤波器作用。

#### [0221] 2、半导体激光器

[0222] 作为替代,可以建议基于半导体的设计。可以通过改变所用的半导体发出激光的带隙来调节半导体激光器的波长。半导体,尤其是III-V型半导体及更加尤其是,虽然并非专用,具有 $1\text{eV}$ 量级的带隙的量子点型半导体,以 $6900\text{cm}^{-1}$ 至 $8200\text{cm}^{-1}$ 的所期望的频率发射光线。特别是 $0.8\text{eV}$ 至 $1.1\text{eV}$ 的带隙获得良好的结果,并且被基本上所有的通常使用的聚合物至少部分地吸收。

[0223] 3、在本申请所述的系统中还可以使用各种不同的替代性设计,例如Nd掺杂的纤维激光器,其可以包含布喇格反射镜和/或光纤环形反射镜。替代性地也可以使用拉曼位移的纤维激光器。

[0224] 在运行期间,所述增益介质发热,应当加以冷却以防止波长漂移及效率下降。若适当地冷却所述增益介质,则可以提高泵浦功率或电流,直至发射具有至少 $8\text{kW}/\text{m}^2$ /球面度的辐射亮度的具有 $6900\text{cm}^{-1}$ 至 $8200\text{cm}^{-1}$ 的频率的波束。此类波束可以几乎准直,并且被大多数允许进行探测的有机材料包括聚合物衰减。但是不会被污染物如指纹强烈吸收。

[0225] 典型地配置激光增益介质以在低于 $150$ 摄氏度的温度下工作。若其温度超过一定水平,典型地约 $250$ 摄氏度,则可能会出现许多问题。

[0226] 首先,由于较低水平激发状态的布居,尤其是在3和4级水平激光器中,还由于半导体中载荷子的热重组,发光效率可能会显著下降。

[0227] 其次,若使用此类热附着方法,则可能会损坏增益介质的焊接。

[0228] 第三,可能会产生热像差,这可能导致波束损失。

[0229] 第四,激光增益介质的热膨胀可能与其周围不同,这可能导致增益介质的机械应力或者甚至翘曲和断裂。

[0230] 出于这些原因,增益介质尤其是必须以热的方式附着至冷却系统。增益介质典型地由 $1\text{mm}^2$ 至 $40\text{mm}^2$ 的表面发射 $0.1$ 至 $100\text{W}$ 的热量。为了将增益介质的温度保持在小于 $150$ 度,增益介质的冷却系统需要具有小于 $200$ 开尔文每瓦的热阻,而对于传输更高功率的系统,典型地由于多于 $10\text{W}$ 的电功率输入,热阻应当显著地更低,在许多情况下热阻需要低于 $0.05$ 开尔文/瓦。

[0231] 典型地使用第三材料如焊料或粘合剂,其膨胀系数必须同时与所述增益介质本身的膨胀系数及与所述冷却系统的正面的膨胀系数相适应,从而使冷却系统的表面附着至增益介质。

[0232] 所述冷却系统典型地可以是被动式散热器、具有风扇的散热器、连接至具有或不具有风扇的散热器的帕尔贴元件或液体冷却的冷却系统。替代性地,可以使用独立式液体循环冷却系统,其具有基于循环泵的主动式循环,或者具有基于热管的被动式循环。

[0233] 若所述冷却系统包括具有风扇的散热器,其热阻应当小于 $0.1^\circ$ 开尔文每瓦。

[0234] 若所述冷却系统是被动式散热器,其热阻应当小于 $0.3^\circ$ 开尔文每瓦。

[0235] 若所述冷却系统是帕尔贴元件,则需要产生至少 $5$ 度的温差 $\Delta T$ 。

[0236] 若所述冷却系统是主动式液体冷却的冷却系统,则其应当能够覆盖在此所述的全

部热阻跨度。

[0237] 在针对低成本和安静运行设计的系统中,被动式散热器是优选的,而对于大功率系统,液体冷却的系统是优选的。将具有风扇或流体泵的散热器用于典型地具有多于1W电输出的系统和具有小体积例如小于约1升的发送器。

[0238] 典型地通过驱动器驱动所述增益介质,向其供应功率,可以作为电功率如同一些半导体增益介质的情况提供,或者以光学方式如同其他半导体增益介质或DPSS系统的情况提供,或者以化学方式或其他形式的能量提供。由驱动器供应的功率的量确定所实现的小的信号增益,其确定工作条件及激光的发射,而所述增益介质的饱和增益通常是针对所述增益介质选择的材料的函数,虽然并不总是以简单线性方式,最终是由激光器发射的辐射亮度的函数。此类激光驱动器可以具有两种或更多种运行状态,一种用于功率传输,其他的用于所述系统的其他功能,例如目标物寻找、设置及信息传输。重要的是,所述激光驱动器在这两种工作条件下都稳定地发射(关于功率和波束参数),虽然在功率传输期间稳定运行是更加重要的。

[0239] 为了重新将光束转换成电力,从而传递可用的功率,应当使用光电功率变换器,典型地是光伏电池。如同激光器,适合于所用波束的频率定制的合适的光伏电池并不能作为现成的组件商购获得,而需要定制的电池。光伏半导体的带隙应当略小于所用的增益介质的带隙,从而通过半导体有效地吸收波束频率。若非如此,则转换效率会非常差。另一方面,若所用的带隙过于小,则获得效率差的系统。所述光伏电池上的导线也需要适合于所用波束的辐射亮度定制-辐射亮度越高,则所需的导线越厚。

[0240] 因为激光增益介质的带隙应当在0.8至1.1eV的范围内,并且所用的光伏电池的带隙必须更低,还因为单结光伏电池典型地产生的电压为带隙能除以电子电荷的约60至80%,适合于激光器频率定制的单结电池获得非常低的电压,典型地为0.3至0.8V,及典型地高电流,假设输出功率为几瓦,如实际的系统所要求。半导体上的导线需要足够厚以承载所产生的电流而不会造成明显的损失(例如>5%)。导线的串联电阻典型地需要小于1欧姆,或者甚至更优的是小于0.1欧姆,应当由光伏电池有效地引出所产生的热量,因为其效率通常随温度降低。

[0241] 低电压连同大功率的这一组合方式无法容易地转换成为了给便携式装置充电所需的更高的电压,典型地为3.3或5V。此外,某些系统,例如通讯系统,可能需要诸如-48V、12V或3.8V的电压。所述系统需要供应稳定的电压,并且处于高于由所述光伏电池所预期的输出电压的水平。升高光伏电池的电压的典型的方法是将它们串联连接,例如在M.F.Amsterdam等人的第3,370,986号美国专利“Photovoltaic Series Array comprising P/N and N/P Cells”中所述,其显示了获得更高电压的典型的配线方式,使用几乎相同量的半导体并且不使用额外的组件,因此是典型地选择的方案。

[0242] 然而这一方案并不适合于诸如在本申请中所述的系统,其中使用具有高达8kW/m<sup>2</sup>/球面度的辐射亮度的激光器,尤其是因为此类激光器典型地并不具有均匀的形状的波束。此外,其波束形状可以是在时间上可变的,并且指向精度可能小于最佳所期望的值。在此情况下,实际上无法设计出均匀地照射所有的电池的紧凑且高效的系统。若不均匀地照射串联连接的光伏电池,则它们无法产生相等的电流。在此情况下,确实要升高电压至所期望的水平,但是电流会下降至由产生最小电流的电池通常是最少照射的电池产生的电流。

在此情况下,效率会非常差。因此需要改进的替代性方法以升高电压。

[0243] 一种升高单电池的电压的方法可以通过对电容器进行并联充电,然后使它们串联放电。该方法针对低电流取得了良好的结果,但是在电流升高超过一定水平时,开关时间变成影响效率的主要因素,其随着开关时间的增大而降低。

[0244] 若使用迅速的低电阻开关机构将能量转换成AC,该AC电流可以使用耦合电感进行放大,然后重新转换成AC。可以使用二极管桥和储能装置如电容器或电池将升高的电压AC转换成DC。在需要升高电压超过光电池电压的二十倍时,此类系统是有利的。此类系统的另一个优点是,可以使用激光器由发送器进行开关操作,因此节约了接收器成本和复杂性。在需要升高电压小于10倍或者在尺寸和体积限制对于本申请是关键性的时,此类系统是不利的。

[0245] 现在参照图13A,其显示了高效且简单的电压转换方法。在图13A的配线方式中,可以使用简单的电感器连同低电阻开关机构和储能装置以升高所述光伏电池的电压。在图13A中,左侧的方块是光伏电池,开关S是低电阻开关,如MOSFET、JFET、BJT、IGBT或pHEMT,电感L连接至光伏电池的输出端,电容器C发挥储能装置的作用。

[0246] 以下描述为了简单起见假设使用具有零电阻的组件。考虑电阻损失会使计算变复杂,并在本说明书的后部加以解释。开关机构使电感器在两个基本运行阶段之间循环:充电阶段和放电阶段。在充电阶段中,通过闭合开关S,所述电感器与所述光伏电池并联连接。在此阶段中,所述电感器利用通过光伏电池转换的能量进行充电。通过下式给出电感器能量增加量:

$$[0247] \quad \Delta E_{L\_CH} = V_{pv} * I_L * T_{CH},$$

[0248] 其中

[0249]  $V_{pv}$ 是光伏电池的输出电压,

[0250]  $I_L$ 是平均电感器电流,及

[0251]  $T_{CH}$ 是充电阶段的持续时间。

[0252] 在放电阶段中,通过打开开关S,将所述电感器连接在所述光伏电池与负载之间。在此阶段中,通过电感器能量减少量给出由所述电感器至输出储能装置传递的能量:

$$[0253] \quad \Delta E_C = V_o * I_L * T_{DIS},$$

[0254] 其中

[0255]  $V_o$ 是储能装置的电压,其典型地非常接近于所述装置所期望的输出电压,因此可以近似为所述系统的输出电压,

[0256]  $I_L$ 是平均电感器电流,及

[0257]  $T_{DIS}$ 是放电阶段的持续时间。

[0258] 通过下式给出在此阶段中由光伏电池向电感器传递的能量

$$[0259] \quad \Delta E_{L\_DIS} = V_{pv} * I_L * T_{DIS}.$$

[0260] 在此阶段中电感器能量的改变是输入与输出能量之差:

$$[0261] \quad \Delta E_{L\_DIS} = V_{pv} * I_L * T_{DIS} - V_o * I_L * T_{DIS}.$$

[0262] 在稳态运行中,电感器的能量在循环结束时恢复到与循环开始时相同的数值,获得

$$[0263] \quad \Delta E_{L\_CH} = - \Delta E_{L\_DIS},$$

[0264] 代入后获得：

[0265]  $V_o = V_{pv} * (1 + T_{CH} / T_{DIS})$ 。

[0266] 因此通过光伏电池电压及充电和放电阶段持续时间比例确定储能装置处的电压。

[0267] 然而，在本发明的系统中，所述组件的寄生特性及其他方面可能显著地影响转换运行和效率，应当考虑要小心地选择和使用正确的组件，以允许所述系统有效地运行。现在逐一考虑这些元件：

[0268] 电感器

[0269] 1、电感器的电感定义为由于所施加的电压产生的电感器电流的变化率，由  $dI/dt = V/L$  给出，其中  $dI/dt$  是电流变化率， $V$  是跨越所述电感器施加的压力， $L$  是电感。在目前的系统的范畴内，通过发送器中的增益介质确定  $V$ 。不同的增益介质的选择导致光子能量改变，这因此要求改变光伏带隙，因此改变光伏电压。于是这要求选择不同的电感器和/或开关频率。开关速率必须足够快以允许电感器电流响应由发送器通过光电功率变换器输入功率的改变，并且足够慢以避免大幅度电流波纹，其有助于导致功率损失、输入电压波纹和输出电压波纹。电感器的最佳数值应当产生在最大预期的输入电流的 20% 至 40% 之间的纹波电流，但是系统可以在 10% 至 60% 之间运行。电路参数的精确分析表明，为了实现这一目的，所述电感器以亨利测得的数值  $L$  必须在以下极限值以内：

$$[0270] \quad L < \frac{1}{1.28 * 10^{-40} * f} * E_{gain}^2 * \frac{1 - \frac{E_{gain}}{5 * 10^{-19} * V_{output}}}{P_{laser\_driver}}$$

$$[0271] \quad L > \frac{1}{3 * 10^{-38} * f} * E_{gain}^2 * \frac{(1 - \frac{E_{gain}}{4 * 10^{-20} * V_{output}})}{P_{laser\_driver}}$$

[0272] 其中

[0273]  $f$  是以 Hz 测得的开关频率，

[0274]  $E_{gain}$  是以焦耳测得的所述增益介质的带隙，

[0275]  $V_{output}$  是以伏测得的来自电压变换器的输出电压，及

[0276]  $P_{laser\_driver}$  是以瓦测得的通过激光驱动器泵浦至增益介质的功率。

[0277] 为了成功地将电感器集成到移动客户端中，电感典型地应当小于 10mH，因为适合于由移动客户端充电所需的电流并且具有适合于便携式应用的体积限制的电感器典型地远远低于该值。具有过于小的电感例如 10nH 的电感器也要求如此高的开关频率，这会严重限制在所述系统中的其他组件例如开关的可用性，由如此高的频率造成的开关损耗可能高于通过光伏电池传递的功率的量。

[0278] 2、所述电感器的串联电阻  $R_{parasitic}$  应当尽可能低，以使传导功率损失最小化：典型地选择实现小于 10% 的效率下降的数值：所述电感器的以欧姆测得的串联电阻应当小于

$$[0279] \quad R_{parasitic} \leq \frac{1}{2 * 10^{-40}} * \frac{E_{gain}^2}{P_{laser\_driver}}$$

[0280] 其中

[0281]  $E_{gain}$ 是所述增益介质的以焦耳测得的带隙，

[0282]  $P_{laser\_driver}$ 是以瓦测得的通过激光驱动器泵浦至增益介质的功率。

[0283] 3、在典型的系统中，电感器串联电阻小于 $10\ \Omega$ 。通常选择电感器的饱和电流高于预期的电感器峰值电流，通过下式给出：

[0284]  $I_{SAT} > I_{PEAK} = I_m + V_{pv} * (1 - V_{pv}/V_o) / (2 * L * f)$ 。

[0285] 为了由单结光伏电池引出多于 $10\text{mW}$ 的功率，饱和电流必须高于 $10\text{mW}/0.8\text{v} = 12.5\text{mA}$ 。

[0286] 4、为了可靠地运行，电感器应当额定在高于预期的最大输入电流的电流。为了由单结光伏电池引出多于 $10\text{mW}$ 的功率，电感器额定电流必须高于 $10\text{mW}/0.8\text{v} = 12.5\text{mA}$ 。

[0287] 开关机构

[0288] 1、开关机构通常由两个或更多个装置制成。第一装置主开关在导通，设置电感器进入充电阶段。第二装置可以是二极管(如图13A中所示)或开关，其功能是在放电阶段中将电感器连接至负载或输出储能装置，及在充电阶段中将其与负载断开。

[0289] 2、开关机构应当具有低的开关节点电容量以使开关损耗最小化：

[0290]  $P_{SW2} = 0.5 * C_{sw} * V_o^2 * f$ 。

[0291] 为了引出多于50%的激光功率，所述开关节点电容量应当小于

[0292]  $C_{sw} \leq \frac{P_{laser\ driver}}{V_o^2 * f}$ 。

[0293] 3、在典型的系统中，开关节点电容量小于 $100\text{nF}$ 且大于 $10\text{pF}$ 。

[0294] 4、开关节点中的主开关将电感器连接至地面或者将光电功率变换器连接至电感器，主开关的串联电阻应当小于

[0295]  $R \leq \frac{E_{gain}^2}{2 * 10^{-40} * P_{laser\ driver}}$

[0296] 在典型的系统中，开关串联电阻小于 $10\ \Omega$ 。

[0297] 储能装置

[0298] 1、储能装置可以是电容器或电池或两者都是。

[0299] 2、在电感器与输出端断开时，要求储能装置在充电阶段中保持输出电压。基于开关频率、激光器功率及所期望的输出纹波电压选择储能装置的电容量：

[0300]  $C_{OUT} > P_{LASER\ DRIVER} / (f * V_o * \Delta V_o)$

[0301] 其中 $\Delta V_o$ 是所期望的输出纹波电压。

[0302] 3、所述储能装置也可以在光学路径暂时中断期间向负载供应功率。为了不间断地供应功率，储能装置应当能够储存至少等于最小运行输出功率( $P_{OUT\_MIN}$ )乘以中断时间间隔( $T_{INT}$ )的量的能量：

[0303]  $E_{OUT\_MIN} \geq P_{OUT\_MIN} * T_{INT}$ 。

[0304] 若将电容器用作储能装置，则电容量应当大于：

[0305]  $C_{OUT} \geq 2 * E_{OUT} / V_{OUT}^2$ 。

[0306] 为了以大于 $10\text{mW}$ 的最小运行输出功率及大于 $100\text{ms}$ 的中断时间间隔不间断地运行，储存的能量必须大于 $1\text{mJ}$ ，电容量大于 $80\ \mu\text{F}$ (假设 $V_{OUT} = 5\text{V}$ )。

[0307] 在某些情况下，电容器可以用作用户应用的储能装置。在此情况下，可以设计用户

应用,无需任何二次储能装置(通常使用的安装在移动装置中的电池),目前所述的系统的储能装置必须储存足够的能量以供应用户设备的功率需求直至下次充电事件。在此情况下,可以使用具有至少0.5F甚至大于10F的电容量的超级电容器。在用户设备的功率需求低的其他情况下,或者在其具有独立的储能装置例如安装在所述装置内部的电池时,或者若所述装置并不需要在不供应功率时运行,所用的电容器典型地远远超过1F。若将可再充电电池用作储能装置,则类似于上述电容器的逻辑,若电池仅用作调节电压的装置,但不是用作在充电事件之间保持向用户设备供应功率的装置,则所述电池的能量容量可以有利地在所述开关的100次循环中供应的能量(典型地低于0.1Wh)的高达100倍,这一水平是根据电池的体积预算和成本有效性确定的。另一方面,若所述电池还用于在充电事件之间为用户设备提供电力,则其容量应当至少足够大以在充电事件之间储存用户设备所需的能量,在便携式电话的情况下典型地大于0.1Wh。电池取决于其所要应用的产品还具有体积限制。因此,具有一定体积V的产品电池,若由外部引入至所述装置,则典型地被限制到所述装置的体积的高达若干倍,即3V。作为这一经验法则的一个例子,用于为100cc体积的便携式电话提供电力的电池典型地被限制到小于300cc体积。由于上述限制,此类电池典型地具有小于300Wh的容量。

[0308] 图13A中的电路并不是唯一可能的布局。图13B所示为可以实现相似性能特性的不同的设计。图13B的组件的作用、限制和预期的数值与图13A中的电路所列相同。主要区别是输出电压的正极和负极端子相反。

[0309] 在一些应用中,储能装置优选可以位于要使用所接收的功率的装置内部。在其他应用,特别是预期短期运行并且不需要调节的电压的应用中,甚至可以取消掉储能装置。

[0310] 调节点

[0311] 光伏电池的功率输出取决于输入的光功率和施加在其上的负载。最佳负载条件由光伏电池获得最大输出功率,因此电压变换器的控制机构必须调节负载点。可以设计控制机构以在电池接线端之间保持恒定的压力,这已知对于大多数条件而言是最大功率运行点(工足),或者可以通过在任何运行条件下测量电池输出功率及寻找最佳电池电压,追踪最大功率运行点。第一途径更简单;第二途径更加功率有效。

[0312] 需要朝着接收器引导所产生的激光波束。为了朝着接收器引导波束,应当使用波束转向装置。一些可以使用的波束转向子系统包括移动反射镜、移动透镜、电光调制器、磁光调制器、在一个或多个方向上移动整个发送器系统的一组发动机或者任何其他合适的波束转向装置。

[0313] 应当通过控制器,最方便的是用于控制激光驱动器的相同的控制器,控制波束转向装置。

[0314] 配置波束转向装置以在多个方向之任一上引导 $>8\text{kW}/\text{m}^2/\text{球面度}$ 的波束。

[0315] 波束转向装置的损伤阈值需要能够经受住波束的辐射亮度。

[0316] 例如,若使用具有0.5的数值孔径的聚焦机构将波束聚焦在反射镜上,则反射镜对于具有 $8\text{kW}/\text{m}^2/\text{球面度}$ 的波束需要经受住至少 $6.7\text{kW}/\text{m}^2$ 的功率密度。若使用具有更高辐射亮度的波束,则应当选择反射镜,使得其相应地具有更高的损伤阈值。

[0317] 图14所示为通过反射镜在 $8\text{kW}/\text{m}^2/\text{球面度}$ 的波束聚焦在其上时作为数值孔径的函数的每平方米反射的功率。

[0318] 若使用更高辐射亮度的波束,则通过反射镜反射的功率相应地以线性方式增大。

[0319] 因为波束可能远远不是均匀的,可能产生“热点(hotspots)”,其与波束平均值相比有时具有10x辐照度。

[0320] 因此,反射镜应当具有至少高达且优选至少10X的损伤阈值,如图14中所示,按比例换算成聚焦机构在反射镜上的实际波束辐照度和数值孔径。

[0321] 在接收器中典型地具有光学正面,位于光伏电池附近及在光伏电池与发送器之间,波束通过其进入接收器,并且需要其保护光伏电池的典型地精密的结构,在许多情况下是为了匹配其中集成了功率接收器的装置的外部设计。正面可以具有保护其不被刮擦的涂层,如Corning GorillaGlass<sup>®</sup>,或类似地可以进行处理以使其更好地耐刮擦。还可以进行处理以降低可能留在其上的污染物如指纹和灰尘的水平,或者减小它们的光学效应,或者可以涂覆抗反射涂层以降低由其反射的光线的水平。光伏电池的正面也可以进行涂覆。在某些情况下,正面是光伏电池本身结构的部分或者涂覆在光伏电池上。

[0322] 而在某些情况下,通过选择非常低反射的抗反射涂层,可以减少由表面反射的量至低于安全阈值,涂层应当被溢洒在其上的液体或指纹污染或覆盖,此类抗反射涂层在减少反射的量方面是无效的,并且典型地,入射光的3至4%在不受控制的方向上反射。若此类反射是以发散的方式反射的,则其功率密度迅速下降至安全水平。然而,若反射应当进行聚焦,则功率密度可能增大至不安全的水平。因此,重要的是此类表面在其上任意位点的ROC(曲率半径)应当不小于预先确定的数值。一般而言,来自表面的反射有意是仅小部分的入射光,由此降低任何显著的波束反射的危险,无论表面曲率的性质或形状如何。反射光线的水平可以是可变的,因为若在所述表面上的一层外来的污染物材料产生增大的反射率,则甚至可能增大来自未经处理的玻璃表面的~4%反射。然而,预期反射不超过20%,并且一般明显小于未经处理的玻璃的4%,例如在AR涂覆的玻璃的情况下,其中通常是0.1%或者甚至更小的反射率。因此,本说明书所描述及因此请求保护的表面具有反射小部分的入射光的性质,本说明书用于表示小于入射光的20%,通常小于未经处理的玻璃的4%。

[0323] 现在参照图15A至15C,其示意性地显示了避免上述不安全的反射的方法,即使是对于可由表面反射的小部分入射光。图15A所示为所述表面是凹形表面的情形,图15B所示为所述表面是凸形表面的情形,图15C所示为所述表面是漫射表面的情形。在图15A中,朝着光伏电池112引导具有至少 $8\text{kW}/\text{m}^2$ /球面度的辐射亮度的入射波束110,穿过正面111,其可以是光伏电池的正面。正面111反射波束110的一部分,产生聚焦的波束113,其具有相对于表面一定距离的焦点114。为了确保焦点114对于眼睛或皮肤或其他物体不存在任何危险,表面111的曲率半径(ROC)必须使波束以低的数值孔径聚焦,如图15A中所示,或者使其散焦,如图15B中所示,或者使其漫射,如图15C中所示。为了实现这些限制,若所述表面由发送器朝着光伏电池是凹形样貌,如图15A中所示,其ROC必须大于1cm,若使用更大功率的系统,典型地大于0.5W的光,则应当大于5cm。替代性地,表面ROC可以是负的,如图15B中所示,但是ROC不可在0至1cm的范围内。这些限制确保反射的光束具有虚焦点,即与发散的反射波束相关联,或者焦点在所述表面前面至少1cm,从而显著降低通过聚焦产生的风险。所述表面还可以具有许多具有更小曲率的区域,产生漫射表面,如图15C中所示,这显著地有助于降低危险的焦点的风险。在此情况下,所述表面的每个子区段的曲率半径可以小于1cm,不产生焦点。此外,若将所述表面分割成多个区块,则每个区块可以具有更小的曲率。

[0324] 为了安全运行,所述系统还需要能够引导功率波束至光伏电池,从而被其阻隔,并且不被引导至某些不安全的区域。为了实现这一目的,应当对探测器进行定位以提供波束投射在接收器上的指示信息。此类探测器应当典型地位于接收器中,但是此类探测器位于发送器中的布置方式也是可以的,在此情况下探测器应当响应由于波束投射在接收器上而产生的现象。此类发送器相关联的系统可以包括由接收器接收的光学信息的图像采集和处理,例如来自打印在接收器上的条形码的波束的反射,因而发送器可以探测到条形码的照度图样。来自一个或多个后向反射器或其阵列或图样的反射可以定位到接收器上,并且可以通过图像处理,通过测量后反射或通过测量反射的相干效应,在发送器中探测到此类反射。探测器可以是位于接收器中的电流或电压传感器、在接收器中或者在发送器中的光电二极管,或者是可以在发送器或接收器中的成像装置。也可以使用在光伏电池附近的后向反射器,连同在发送器中的额外的探测器,探测由后向反射器反射的光线。

[0325] 探测器在探测到投射在光伏电池上的光束时相应地发送信号至系统控制器。若探测器在接收器中,则可以使用通讯信道以无线方式发出信号,通讯信道可以是RF、IR、可见光、UV、调制波束、TCP/IP或声音。系统控制器通常位于发送器中,但是也可以位于主控制单元中,其甚至可以在来自发送器的计算机网络。在接收到信号时,控制器通过实施以下至少之一作出响应:

[0326] (a) 改变所述激光驱动器的状态,

[0327] (b) 改变波束转向装置的运行性能,例如其引导波束的方向,或改变所述方向的速度。

[0328] 现在参照图16,其是显示完整系统的详细描述示意图。所述系统包括发送器21和接收器22。一般而言,发送器和接收器彼此远离,但是在图16中为了方便彼此接近地显示。波束15由发送器21向接收器22输送功率。

[0329] 在接收器22上,正面7反射小部分的入射波束15作为反射波束16,同时使其漫射,或者在正面7后面产生虚焦点,或者在表面7前面至少1cm处产生实焦点。在传输穿过至少部分透明的表面7之后,波束15投射在所述光电功率变换器1上。

[0330] 光电功率变换器1可以包含在外包装中,其可以具有前窗口,可以是表面7或分离的窗口。还可以进行涂覆以具有适合于发挥与空气的界面的作用的外表面,或者是粘合剂或围绕其的玻璃。在一种典型的布置方式中,所述光电功率变换器1可以是半导体层的结,其典型地具有沉积在其上的导线。在许多实施方案中,表面7涂覆在或者就是这些半导体层之一的外表面。

[0331] 发出信号的探测器8给出以下指示,波束15投射在光伏电池1上,并传输该信息至控制器13,其在此示例性系统中位于发送器21中。控制信号通过连接23传输至发送器上的探测器24。

[0332] 电功率变换器1具有带隙E8并且典型地获得0.35至1.1V的电压,虽然使用多结光伏电池可以获得更高的电压。功率由光伏电池1通过具有低电阻的导线2a和2b流入电感器3中,其储存一部分在磁场中流过其中的能量。

[0333] 自动开关4典型地是连接至控制电路(未在图16中显示)的MOSFET晶体管,其在交替的状态之间切换,以第一部分的时间允许电流流过电感器3至地面,及以第二部分的时间允许电感器以比光伏电池更高的电压作为电流发射其储存的磁能,通过二极管5至负载6,

于是其可以使用功率。

[0334] 自动开关4可以固定的频率或以可变的频率和/或占空比和/或波形运行,其可以由发送器控制,或者由用户负载控制,或者基于负载处的电流、电压或温度,或者基于自动开关4处的电流、电压或温度,或者基于由光电功率变换器1发射的电流、电压或温度,或者基于关于系统状态的一些其他的指示信息。

[0335] 接收器可以直接连接至负载6,如图16中所示,或者负载6可以位于接收器的外部,或者其甚至可以是分离的装置,如便携式电话或其他消耗功率的装置,其可以使用插口连接,例如USB/Micro USB/Lightning/USB type C。

[0336] 在大多数情况下,还具有储能装置,如电容器或电池,其并联连接至负载6,或者负载6可以包含储能装置,如电容器或电池。

[0337] 发送器21产生和引导波束15至接收器22。在第一运行模式中,发送器21以如下方式寻找接收器22的存在,使用扫描波束,或者通过使用诸如RF、光、IR光、UV光或声音的通信手段探测接收器,或者通过使用照相机探测接收器如后向反射器的视觉指示信息,或后向反射结构、条形码、高对比度图样或其他视觉指示信息。在发现粗略位置时,波束15典型地以低功率扫描围绕接收器22的大致区域。在此扫描中,波束15投射在光伏电池1上。在波束15投射在光伏电池1上时,探测器8将其探测到,相应地向控制器13发出信号。

[0338] 控制器13通过以下方式之一或两者响应此类信号,命令激光驱动器12改变输入增益介质11中的功率P,或者命令反射镜14改变其扫描速度或引导波束的方向,或保持其位置,改变扫描步进速度。在增益介质11接收来自激光电源12的不同的功率P时,其小的信号增益发生改变,即单个光子在其横穿增益介质时经历的增益,同时没有其他光子横穿增益介质。在后反射镜10与输出耦合器9之间的方向上引导光子穿过增益介质11时,在与波束15相同的方向上发射更多的光子,并在后反射镜10与输出耦合器9之间产生光学谐振。

[0339] 输出耦合器9是部分地传输的反射镜,具有反射率R,操作在位于 $6940\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第一谐波与位于 $8130\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第二谐波之间的至少部分的谱,典型地是多层介电或半导体涂层,其中在基材上沉积不同折射率材料的交替的层,基材典型地是玻璃、塑料或增益介质11的表面。替代性地,可以使用菲涅耳反射,条件是增益介质能够提供足够小的信号增益或者具有足够大的折射率,或者可以使用规则金属镜。还可以使用布喇格反射器,增益介质应当是半导体或光纤放大器。输出耦合器9还可以由高反射率反射镜连同波束引出装置组成,例如半透明的光学组件,其传输一部分光线并且在谐振腔内部由向前传播的波引出另一部分光线,但是典型地在谐振腔内部还由向后传播的波引出第三部分。

[0340] 后反射器10应当是高反射率反射镜,虽然少量的光可能由其背面泄漏,并且可以用于监测或其他目的,操作在位于 $6940\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第一谐波与位于 $8130\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第二谐波之间的至少部分的谱。其典型地可以由沉积在基材上的不同折射率材料的交替的层构成,基材通常是玻璃、金属或塑料。替代性地,可以使用菲涅耳反射,条件是增益介质能够提供足够小的信号增益,或者可以使用规则金属镜。还可以使用布喇格反射器,增益介质应当是半导体或光纤放大器。

[0341] 增益介质11放大在位于 $6940\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第一谐波与位于 $8130\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第二谐波之间的辐照,虽然并非必然跨越整个的此光谱范围。在通过激光驱动器12以功率P泵浦时,能够传递的小的信号增益大于由输出耦合器9造成的损失。其面积、视野及损伤

阈值应当足够大以保持至少 $8\text{kW}/\text{m}^2/\text{球面度}/(1-R)$ 的波束,其中R是输出耦合器9的反射率。其可以由具有0.8至1.1eV的带隙的半导体材料构成,或者由用Nd离子掺杂的透明基质材料构成,或者由能够在所述光谱范围内受激发射的其他结构构成。增益介质11位于由后反射器10至输出耦合器9的光学瞄准线,因此允许通过后反射器10反射的辐照在后反射器10与输出耦合器9之间穿过增益介质11产生谐振。

[0342] 对于其中增益介质11是具有0.8至1.1eV的带隙的半导体的示例性实施方案,其优选应当附着至热量提取装置,并且可以通过激光驱动器12以电力方式或以光学方式进行泵浦。

[0343] 在增益介质11是用Nd离子掺杂的透明基质如YAG、YVO<sub>4</sub>、GGG或玻璃或陶瓷的示例性实施方案中,于是增益介质11优选还应当与滤波器进行光通信,滤波器用于由在后反射镜10与输出耦合器9之间产生的谐振引出在 $9400\text{cm}^{-1}$ 附近的辐照。

[0344] 所示的波束转向装置14由控制器13控制。其可以使波束15在多个方向上转向。其面积应当足够大,因而其包含基本上大多数的波束15,即使在倾斜至其最大运行倾斜角的情况下。以过分简单化的2D为例,若波束15准直为5mm直径( $1/e^2$ 直径)的高斯波束,并且波束转向装置是其中心位于波束中心的单轮万向反射镜,及若反射镜所需的最大倾斜为30度,并假设波束转向装置14不具有其他孔,于是若反射镜具有如同波束的5mm直径,则其在波束垂直入射时具有约13%的损失,但是在60度倾斜角的情况下具有约60%的损失。这会严重损害所述系统的性能。在图17的图中显示了该功率损失。

[0345] 在运行开始时,控制器13命令激光驱动器12和反射镜14实施寻找操作。这可以利用以第一状态运行的激光驱动器12,通过将波束15瞄准朝着很可能发现接收器22的总体方向而实现。例如在安装在房间天花板角落的发送器的情况下,在房间的两个相邻的墙壁之间向下扫描。若波束15应当投射到包含光电功率变换器1的接收器22,则探测器8同样会发出信号至控制器13。只要没有接收到此类信号,控制器13命令波束转向14以继续在其他方向上引导波束15,搜寻接收器。若接收到来自探测器8的此类信号,则控制器13可以命令波束转向14停止或减缓其扫描以锁定接收器,并且指示激光驱动器12增大其功率发射。替代性地,控制器13可以记录接收器22的位置,并在后期阶段返回到该位置。

[0346] 在激光驱动器12增大其功率发射时,增益介质11的小的信号增益增大,因此波束15承载更大的功率,开始功率传输。若探测器8应当探测到大于阈值的功率损失,该阈值可以预先确定或者动态设定,并且典型地处于代表最大允许的暴露水平的显著部分的水平,还典型地大于系统噪声系数,这些条件意味着波束15不再正确地瞄准光电功率变换器1,或者某些物体进入波束的路径,或者发生故障,控制器13应当正常地命令激光驱动器12改变其状态,通过减小功率以保持所需的安全水平。若存在安全运行的其他指示信息,例如来自用户的关于传输安全性的指示信息,其可以由用户界面或API给出指示,或者来自第二安全系统的安全运行指示信息,则控制器可以命令激光器增大功率以补偿功率损失。控制器13还可以命令波束转向组合件14重新实施寻找操作。

[0347] 在寻找操作中可能存在两个不同的阶段。首先,使用照相机实施粗略搜寻,其可以搜寻视觉图样、后向反射器、高对比度图像、来自接收器的信号的响应或其他指示信息,或者通过使用波束转向14的扫描特征。由此可以产生可能发现接收器的一系列潜在位置。第二阶段是精细寻找,其中波束转向反射镜14在更小的面积内引导波束15,直至探测器8发出

将波束15投射在光电功率变换器1上的信号。

[0348] 现在参照图18,其显示了图16的系统的增益介质11的示例性冷却系统。虽然反射器9,10显示为分离的光学元件,但是应当理解,它们中的一个或两个可以直接涂覆在增益介质端面上,以使所述系统简化。增益介质11将接收自激光驱动器12的功率转换成热量和光子,若加热增益介质高于特定的温度则典型地会损害系统性能。

[0349] 因此,使用优选为具有低热阻的导热焊料的粘结剂33,使增益介质11附着至散热器34。粘结剂33还可以是传导性粘合剂。粘结剂33可以具有介于增益介质11和散热器34之间的热膨胀系数。散热器34典型地可以用金属制成的低热阻散热器,其可以装配有用于增大其表面积的翅片或外部流体泵浦系统,如风扇或液体泵35。

[0350] 现在参照图19,其是显示图16的系统的详细描述示意图,但是进一步引入根据在本申请中所述的方法和系统构成和运行的安全性系统31。虽然在图19中显示成为分离的模块以显示为此提供的额外的输入,可以将安全性系统引入控制器13中,一般性地描述,并且可以在此请求保护。如上所述,所述系统包括发送器21和接收器22。一般而言,发送器和接收器彼此远离,但是在图19中为了方便彼此接近地显示。波束15由发送器21向接收器22输送功率。

[0351] 在接收器22上,正面7反射小部分的入射波束15作为反射波束16,同时使其漫射,或者在正面7后面产生虚焦点,或者在表面7前面至少1cm处产生实焦点。在传输穿过至少部分透明的表面7之后,波束15投射在具有半导体层的光电功率变换器1上,所述半导体层具有厚度T和对所述光束15的吸收系数。该层的厚度取决于所设计的波束的波长,及在以cm进行测量时,应当大于所述光束在半导体层中的吸收系数的倒数的0.02倍,如以下在图20中更详细地所描述。

[0352] 光电功率变换器1可以包含在外包装中,其可以具有前窗口,可以是表面7或分离的窗口。还可以进行涂覆以具有适合于发挥与空气的界面的作用的外表面,或者是粘合剂或围绕其的玻璃。在一种典型的布置方式中,所述光电功率变换器1可以是半导体层的结,其典型地具有沉积在其上的导线。在许多实施方案中,表面7涂覆在或者就是这些半导体层之一的外表面。

[0353] 发出信号的探测器8指示,波束15投射在光伏电池1上,并传输该信息至控制器13,在许多情况下其还传输其他数据,如所接收的功率、所接收的光学功率、识别信息、接收器及光伏(电池)的温度以及由用户装置转送的信息,其可以是控制信息。在此例中,系统控制器13位于发送器21中,但是也可以与其远离。控制信号通过连接23传输至发送器上的探测器24。

[0354] 安全性系统31接收来自各种不同来源的信息,下面在图21中进一步详细地说明,并且尤其是通常可以通过在功率接收器与功率发送器之间的数据通道,接收来自通过波束耦合器32耦合出的小部分的波束15及来自发出信号的探测器8的信息。安全性系统31向控制单元13输出安全性指示信息。

[0355] 电功率变换器1具有带隙E8并且典型地获得0.35至1.1V的电压,虽然使用多结光伏电池可以获得更高的电压。功率由光伏电池1通过具有低电阻的导线2a和2b流入电感器3中,其储存一部分在磁场中流过其中的能量。

[0356] 自动开关4典型地是连接至控制电路(未在图19中显示)的MOSFET晶体管,其在交

替的状态之间切换,以第一部分的时间允许电流流过电感器3至地面,及以第二部分的时间允许电感器以比光伏电池更高的电压作为电流释放其储存的磁能,通过二极管5至负载6,于是其可以使用该功率。

[0357] 自动开关4可以固定的频率或以可变的频率和/或占空比和/或波形运行,其可以由发送器控制,或者由用户负载控制,或者基于负载处的电流、电压或温度,或者基于自动开关4处的电流、电压或温度,或者基于由光电功率变换器1发射出的电流、电压或温度,或者基于关于系统状态的一些其他的指示信息。

[0358] 接收器可以直接连接至负载6,如图16中所示,或者负载6可以位于接收器的外部,或者其甚至可以是分离的装置,如便携式电话或其他消耗功率的装置,其可以使用插口连接,例如USB/Micro USB/Lightning/USB Type C。接收器典型地还包括用于使来自接收器的过多的能量消散的负载镇流器(load ballast),其可能并不被用户所需要。

[0359] 在大多数情况下,还具有储能装置,如电容器或电池,其并联连接至负载6,或者负载6可以包含储能装置,如电容器或电池。

[0360] 发送器21产生和引导波束15至接收器22。在第一运行模式中,发送器21以如下方式寻找接收器22的存在,使用扫描波束,或者通过使用诸如RF、光、IR光、UV光或声音的通信手段探测接收器,或者通过使用照相机探测接收器如后向反射器的视觉指示信息,或后向反射结构、条形码、高对比度图样或其他视觉指示信息。在发现粗略位置时,波束15典型地以低功率扫描围绕接收器22的大致区域。在此扫描中,波束15应当投射在光伏电池1上。在波束15投射在光伏电池1上时,探测器8将其探测到,并相应地向控制器13发出信号。

[0361] 控制器13通过以下方式之一或两者响应此类信号,命令激光驱动器12改变输入增益介质11中的功率P,或者命令反射镜14改变其扫描速度或其引导波束的方向,或保持其位置,改变扫描步进速度。在增益介质11接收来自激光电源12的不同的功率P时,其小的信号增益发生改变,即单个光子在其横穿增益介质时所经历的增益,同时没有其他光子横穿增益介质。在后反射镜10与输出耦合器9之间的方向上引导的光子穿过增益介质11时,在与波束15相同的方向上发射更多的光子,并在后反射镜10与输出耦合器9之间产生光学谐振。

[0362] 输出耦合器9是部分地传输的反射镜,具有反射率R,操作在位于 $6940\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第一谐波与位于 $8130\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第二谐波之间的至少部分的谱,典型地是多层介电或半导体涂层,其中在基材上沉积不同折射率材料的交替的层,基材典型地是玻璃、塑料或增益介质11的表面。替代性地,可以使用菲涅耳反射,条件是增益介质能够提供足够小的信号增益或者具有足够大的折射率,或者可以使用规则金属镜。还可以使用布喇格反射器,增益介质应当是半导体或光纤放大器。输出耦合器9还可以由高反射率反射镜连同波束引出装置组成,例如半透明的光学组件,其传输一部分光线并且在谐振腔内部由向前传播的波引出另一部分光线,但是典型地在谐振腔内部还由向后传播的波引出第三部分。

[0363] 后反射器10应当是高反射率反射镜,虽然可以允许少量的光由其背面泄漏,并且可以用于监测或其他目的。这些光学特性应当操作在位于 $6940\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第一谐波与位于 $8130\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第二谐波之间的至少部分的谱。其典型地可以由沉积在基材上的不同折射率材料的交替的层构成,基材通常是玻璃、金属或塑料。替代性地,可以使用菲涅耳反射,条件是增益介质能够提供足够小的信号增益,或者可以使用规则金属镜。还可以使用布喇格反射器,增益介质应当是半导体或光纤放大器。

[0364] 增益介质11放大在位于 $6940\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第一谐波与位于 $8130\text{cm}^{-1}$ 的C-H吸收的第二谐波之间的辐照,虽然并非必然跨越整个的此光谱范围。在通过激光驱动器12以功率P泵浦时,能够传递的小的信号增益大于由输出耦合器9造成的损失。其面积、视野及损伤阈值应当足够大以保持至少 $8\text{kW}/\text{m}^2/\text{球面度}/(1-R)$ 的波束,其中R是输出耦合器9的反射率。其可以由具有0.8至1.1eV的带隙的半导体材料或者由用Nd离子掺杂的透明基质材料构成,或者由能够在所述光谱范围内受激发射出的其他结构构成。增益介质11位于由后反射器10至输出耦合器9的光学瞄准线上,因此允许通过后反射器10反射的辐照在后反射器10与输出耦合器9之间穿过增益介质11产生谐振。

[0365] 对于其中增益介质11是具有0.8至1.1eV的带隙的半导体的示例性实施方案,优选应当附着至热量提取装置,并且可以通过激光驱动器12以电力方式或以光学方式进行泵浦。

[0366] 在其中增益介质11是用Nd离子掺杂的透明基质如YAG、YVO<sub>4</sub>、GGG或玻璃或陶瓷的示例性实施方案中,于是增益介质11优选还应当与滤波器进行光通信,滤波器用于由在后反射镜10与输出耦合器9之间产生谐振的辐照引出在 $9400\text{cm}^{-1}$ 附近的辐照。

[0367] 所示的波束转向装置14由控制器13控制。其可以使波束15在多个方向上转向。其面积应当足够大,因而其包含基本上大多数波束15,即使在倾斜至其最大运行倾斜角的情况下。以过分简单化的2D为例,若波束15准直为5mm直径( $1/e^2$ 直径)的高斯波束,并且波束转向装置是其中心位于波束中心的单轮万向反射镜,及若反射镜所需的最大倾斜为30度,并假设波束转向装置14不具有其他孔,于是若反射镜与波束相似具有5mm直径,则其在波束垂直入射时具有约13%的损失,但是在60度倾斜角的情况下具有约60%的损失。这会严重损害所述系统的性能。在图17的图中及在下面的图22和23中显示了该功率损失。

[0368] 在运行开始时,控制器13命令激光驱动器12和反射镜14实施寻找操作。这可以利用以第一状态运行的激光驱动器12,通过将波束15瞄准朝着很可能发现接收器22的总体方向而实现。例如在安装在房间天花板角落的发送器的情况下,在房间的两个相邻的墙壁之间向下扫描。若波束15应当投射到包含光电功率变换器1的接收器22,则探测器8同样会向控制器13发出信号。只要没有接收到此类信号,控制器13命令波束转向14以继续在其他方向上引导波束15,搜寻接收器。若接收到来自探测器8的此类信号,则控制器13可以命令波束转向14以停止或减缓其扫描以锁定接收器。然后控制器13等待安全性系统31产生指示安全运行的信号,并且一旦接收到来自安全性系统31的此类安全性信号,控制器13可以命令激光驱动器12增大其功率发射。替代性地,控制器13可以记录接收器22的位置,并在后期阶段返回到该位置,这甚至可以在不存在安全性信号的情况下完成。

[0369] 在激光驱动器12增大其功率发射时,增益介质11的小的信号增益增大,因此波束15承载更大的功率,开始功率传输。若探测器8应当探测大于特定阈值的功率损失,安全性系统31可以向控制器13报告此情况,其通常应当命令激光驱动器12改变其状态,通过减小功率以保持所需的安全性水平。此类功率损失阈值可以预先确定或者动态设定,并且典型地处于代表最大允许的暴露水平的显著部分的水平,还典型地大于系统噪声系数。这些条件意味着波束15不再正确地瞄准光电功率变换器1,或者某些物体进入波束的路径,或者发生故障。若存在安全运行的其他指示信息,例如来自用户的关于传输安全性的指示信息,其可以由用户界面或API给出指示,或者来自第二安全性系统的安全运行指示信息,则控制器

可以命令激光器增大功率以补偿功率损失。控制器13还可以命令波束转向组合件14重新实施寻找操作。

[0370] 在寻找操作中可能存在两个不同的阶段。首先,可以使用照相机实施粗略搜寻,其可以搜寻视觉图样、后向反射器、高对比度图像、来自接收器的响应信号(例如来自LED或其他光源的闪烁光)或其他指示信息,或者可以通过使用波束转向单元14的扫描特征实施粗略搜寻。由此可以产生可能发现接收器的一系列潜在位置。第二阶段是精细寻找,其中波束转向反射镜14在更小的面积内引导波束15,直至探测器8发出波束15投射在光电功率变换器1上的信号。

[0371] 现在参照图20,其是光电功率变换器的示意图,在图16、19中标记为项目1。波束15投射在光伏电池106上,其以热学方式连接至除热系统107。波束15被吸收层108吸收,导致电流在导线111中流动,电流通常由总线收集。被吸收层108吸收的光学功率典型地变换成电功率及变换成热量。电功率通过导线111和底部电极进行传输,同时主要通过冷却系统107排出热能。导线111在吸收层108上投射出降低其效率的阴影,因此其应当由高电导率材料制成,例如具有小于 $3E-6$ 欧\*米的比电阻的材料。可以看出,该导线的以米计的厚度应当为至少

$$[0372] \quad \frac{0.034 * P \rho}{V^2 * \chi} \text{ m,}$$

[0373] 其中,

[0374] P是以瓦特测得的被光伏(电池)吸收的功率,

[0375]  $\rho$ 是导线的比电阻,

[0376] V是由光伏电池在其最大功率点发出的电压,及

[0377] x是吸收层被导线覆盖的面积的比例

[0378] 吸收层还需要足够厚,以吸收大部分投射在其上的波束15。为了如此,吸收层108以米测得的厚度需要为至少 $0.02/\mu_{10}$ ,其中 $\mu_{10}$ 是以1/m测得的十进位衰减系数。

[0379] 现在参照图21,其显示图19的安全性系统31的框图。安全性系统31接收来自各种不同的传感器和子系统的输入,并向控制器13发送输出,在这些情况下,其中安全性系统并不是控制器13的不可或缺的部分,或者在部分的安全性系统在外部控制单元中时。安全性系统13有时也可以接收来自这些各种不同的传感器和子系统的输入。此类输入可以来自波长传感器407,其主要监测波束的波长,以提供评估与波束相关的安全性限制所需的信息。其还可以接收来自波束分析器(401)的信息,其可以监测波束的性质,例如形状、 $M^2$ 、对称性、极化、功率、发散性、相干性及其他与波束及与以上参数相关的信息。其通常还接收通过RF连接402利用外部子系统测量的信息。在发送器、接收器和周围区域中的各种不同的组件的温度测量可以由一个或多个温度传感器403提供。其可以接收来自照相机404的图像,其可以是可见的、热的、IR或UV,以及来自在各种不同的位置测量波束的功率的功率计406。在许多情况下,连接至安全性系统31的主要传感器可以是侵入传感器(405),其监测横穿或接近波束路径或其周围的外来物体的波束。其还可以接收来自其他传感器的输入,例如电流、电压、烟雾、湿度及其他环境传感器。在接收到这些输入时,或者在预先排定的时间,安全性系统31评定破坏安全性的潜在可能性,若评定超过预定的阈值,则向控制器13发送通知。

[0380] 现在参照图22,其显示通过在一个万向轴上或者在多个万向轴上旋转的反射镜发

生偏转的波束。波束15投射在围绕2个轴在两个维度上旋转的反射镜332上。波束15在反射镜332上形成光斑333,并且在不同的方向上偏转。依照图23,使选择适当的旋转中心和反射镜尺寸的重要性变得更清晰。在图23中,反射镜332现在发生旋转,因而与图22相比,波束15现在以更大的角度偏转。由于增大的角度,光斑333现在在反射镜表面上形成比反射镜332的有效长度更长的投影,因而显著部分的波束15,该部分被标记成333A,现在围绕反射镜332发生溢出。该溢出现象减小了波束15的亮度,这是同时由于减小其功率及由于切断其边缘,这在大多数情况下降低在远场中的波束品质。典型地,波束直径在接近反射镜的近场中或者在近场的图像上减小,而在远场中增大。为了实现最小尺寸的系统,以比较高的效率工作,重要的是保持亮度尽可能高。这可以跨越在该系统的视野内的所有角度通过减小由波束15所经历的亮度损失而实现。这可以通过安装反射镜实现,因而其旋转中心基本上接近波束的中心,其是通过波束的强度的加权平均,或者通过在特定的强度的波束的横截面的直径,或者通过波束穿过其中的椭圆形孔的中心而测得的。应当注意,不同于投影长度,在反射镜上的波束投影的宽度并不随着投射角度发生改变。

[0381] 图24所示为典型波束的强度分布的示意图,轮廓1标记最大强度的90%线,轮廓2标记最大强度的80%线,轮廓3标记FWHM(半峰宽Full Width at Half Maximum)强度线,轮廓4标记 $1/e$ 强度线,轮廓5标记 $1/e^2$ 强度线,轮廓6标记 $1/e^4$ 强度线。点231大致位于波束的加权平均点,点232位于第一轮廓的中心,点233位于第6轮廓的中心,均是设置反射镜的旋转中心的有效点。然而,将旋转中心设置在这些点上方则要求更大的反射镜以保持万向反射镜的高辐射效率。

[0382] 保持其他组件的高辐射效率也是重要的,虽然在激光器下游的万向反射镜和第一透镜典型地是辐射效率的限制性组件。

[0383] 图25所示为激光二极管由垂直于激光器的快轴的方向的示意性侧视图,还显示了用于操纵的透镜242,及通常几乎准直的快轴。在大多数情况下,透镜242是复合透镜,其包括若干光学元件。激光器241连接至散热器243,并且发射波束15至界面层244中,其对于与波束15相关的波长具有折射率 $n$ 。在532nm处在空气界面的情况下, $n$ 的值为1.000293,而在油或光胶的情况下则更高。波束15在至少一个方向上具有发散性。在透镜242的正面,波束15的FWHM轮廓具有直径 $d$ ,其定义为在FWHM轮廓上在任意两点之间的最大距离。为了具有高辐射效率,透镜242应当对于激光器241的发射器具有数值孔径NA,至少为:

$$[0384] \quad NA > \frac{0.36 * d}{BFL \sqrt{1 + \left( \frac{d}{2 * BFL * n} \right)^2}}$$

[0385] 其中,

[0386]  $d$ 是在透镜正面上在波束的FWHM轮廓上的两个最远点之间以mm测得的FWHM直径,

[0387] BFL是以mm测得的透镜的后焦距,及

[0388]  $n$ 是激光器与透镜之间的界面层的折射率。

[0389] 若使用具有较小的数值孔径的透镜,则通过透镜降低了波束的辐射亮度,导致该系统的效率差,或者导致较大的接收器,其在许多情况下可能是不利的。使用较小的NA还导致透镜支架发热,这可能导致两种有害的效果,首先其可能热膨胀并使透镜由其最佳位置发生移动,其次其可能对透镜施加力,并导致其扭曲变形,因而降低其光学品质,因此减小

波束的辐射亮度。此外,小NA可能导致朝向激光器的反射,这可能干扰激光模式,并进一步减小原始波束的辐射亮度,其可能进一步损害发射出的波束的辐射亮度。若使用小NA透镜,由透镜的边缘发射出的光线可能干扰该系统的其他部分的运行,例如波束监视器,跟踪伺服系统或在该系统中的其他光学元件,或者可能导致该系统的其他部分过度发热,这可能干扰它们的运行。

[0390] 现在参照图26,其显示激光器保护器251的框图。如上所述,安全性系统31评定破坏安全性的潜在可能性,并在该潜在可能性超过阈值的情况下通知控制器13。于是控制器13可以命令激光驱动器12终止或减小向激光器252供应的功率,其可以是发射波束15的激光器,或者其可以激光泵浦用于产生波束15的增益介质。所述终止功率可能需要非常迅速。若突然切断或减少供应的功率,则在承载激光驱动器电流的导线(若其是电导线)中可能出现负电压,其可能损坏激光器252。为了防止如此对激光器252造成损坏,在激光驱动器12与激光器252之间连接激光器保护器251,典型地接近激光器252。激光器保护器251保护激光器252不承受负电压,典型地通过在电流导线之间连接二极管,或等价电路/组件,例如Zener二极管、压敏电阻或电路,其设计成迅速耗尽该过度的负电压,从而在导线之间存在负电压时,电流流过保护性二极管或等价电路,致使电压迅速衰减至安全水平。激光器保护器251还可以用于在感知过温或过电流时通过使被送至激光器252的功率衰减而保护激光器不发生过热或者不受电流波的影响。

[0391] 本领域技术人员应当理解,本发明并不被限制于特别地所显示及以上所描述的内容。而是本发明的范围既包括以上所描述的各种不同特征的组合及亚组合,还包括本领域技术人员在阅读以上说明书时想到的并不在现有技术中的对它们的改变和修改。

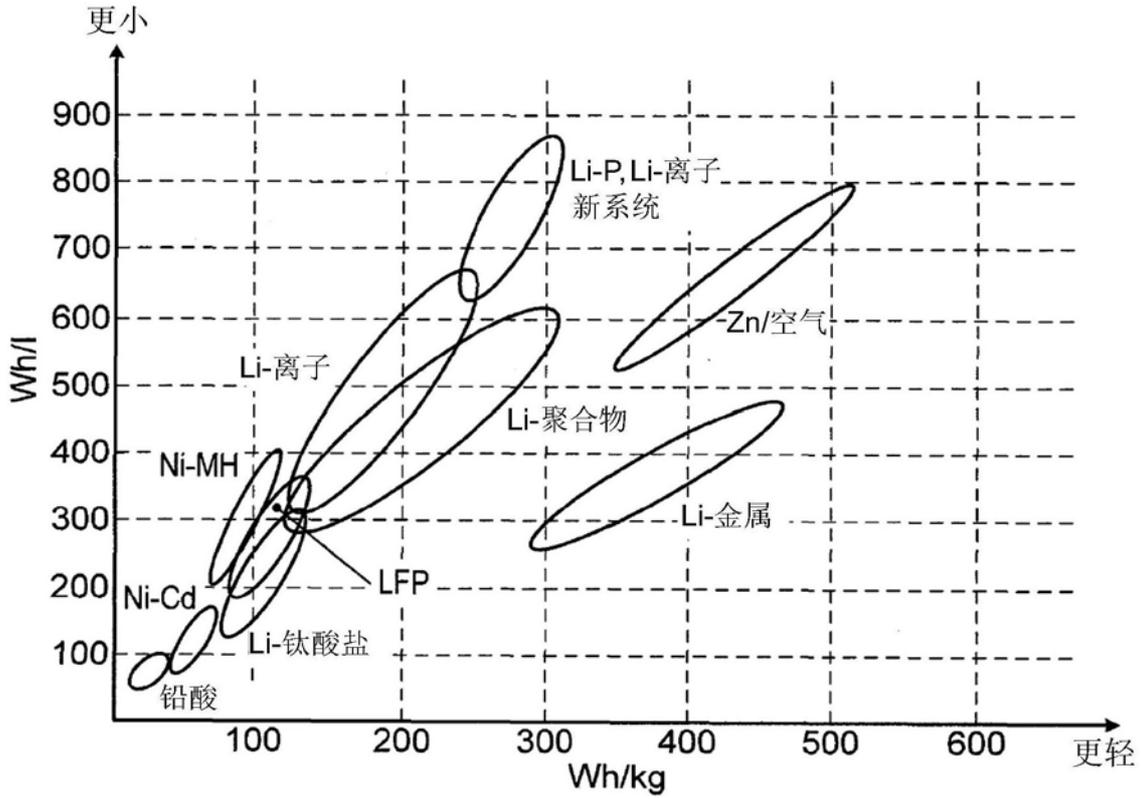


图1

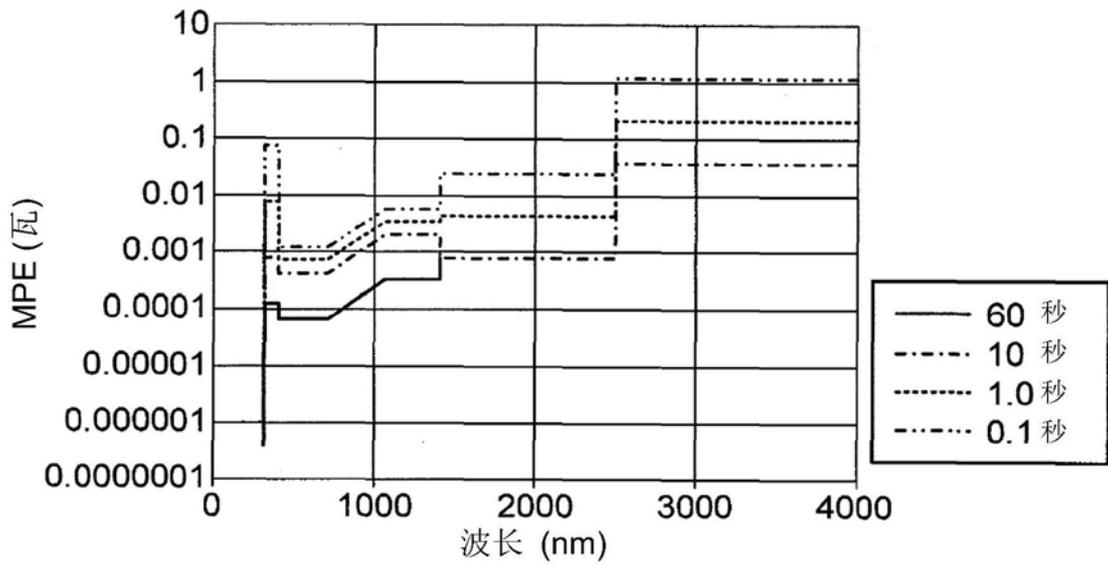


图2

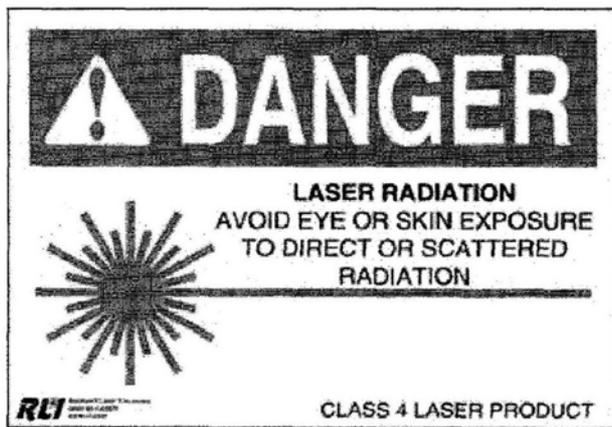


图3

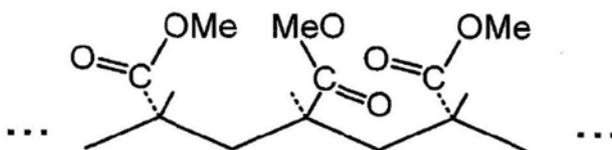


图4

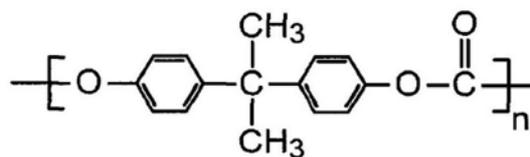


图5

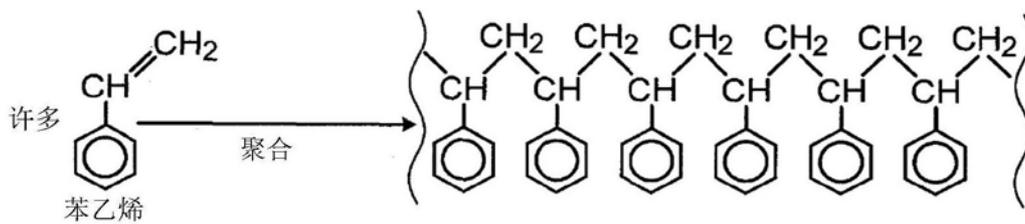


图6



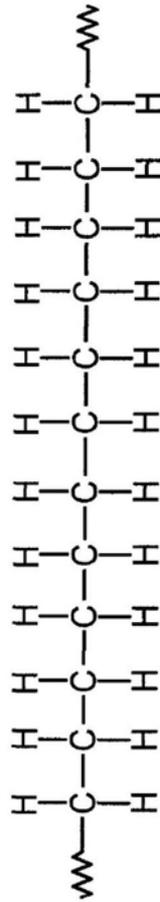


图9

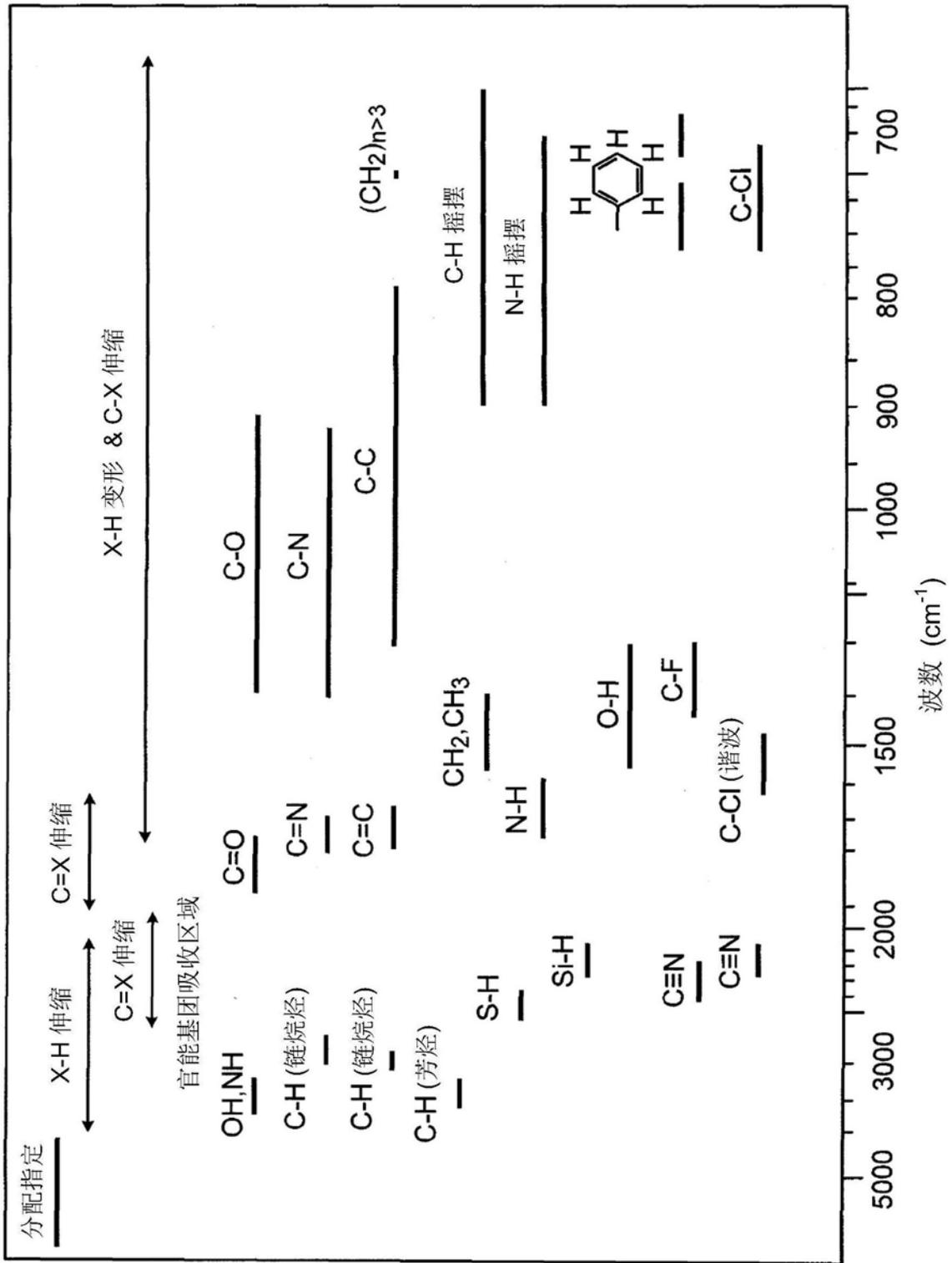


图10

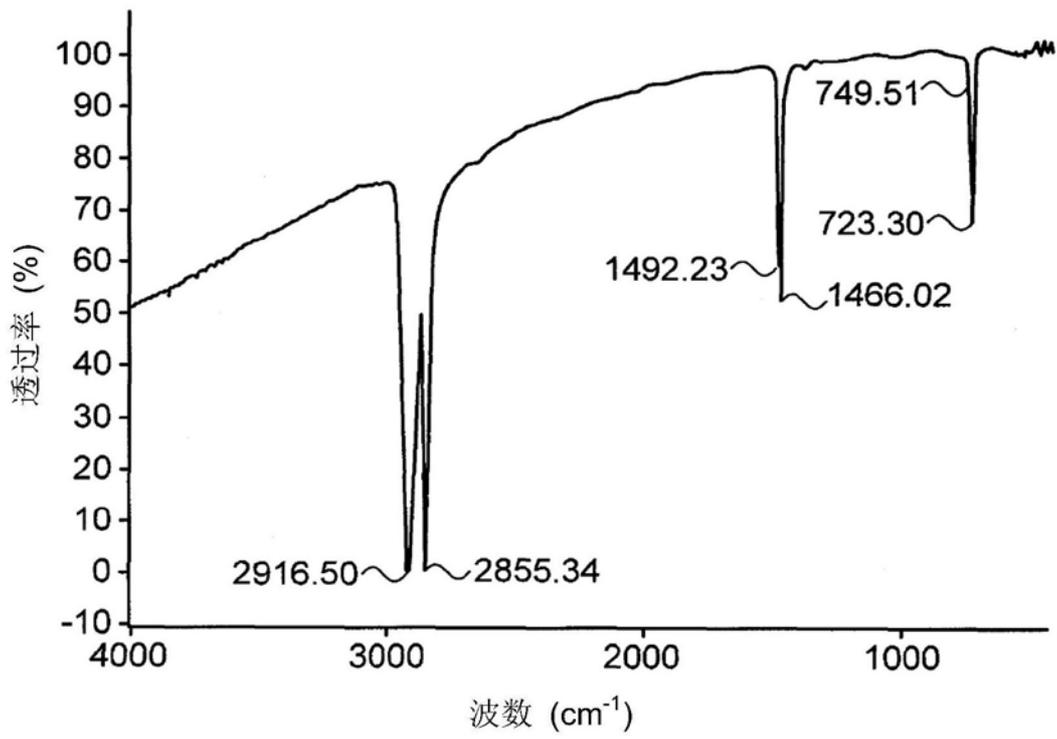


图11

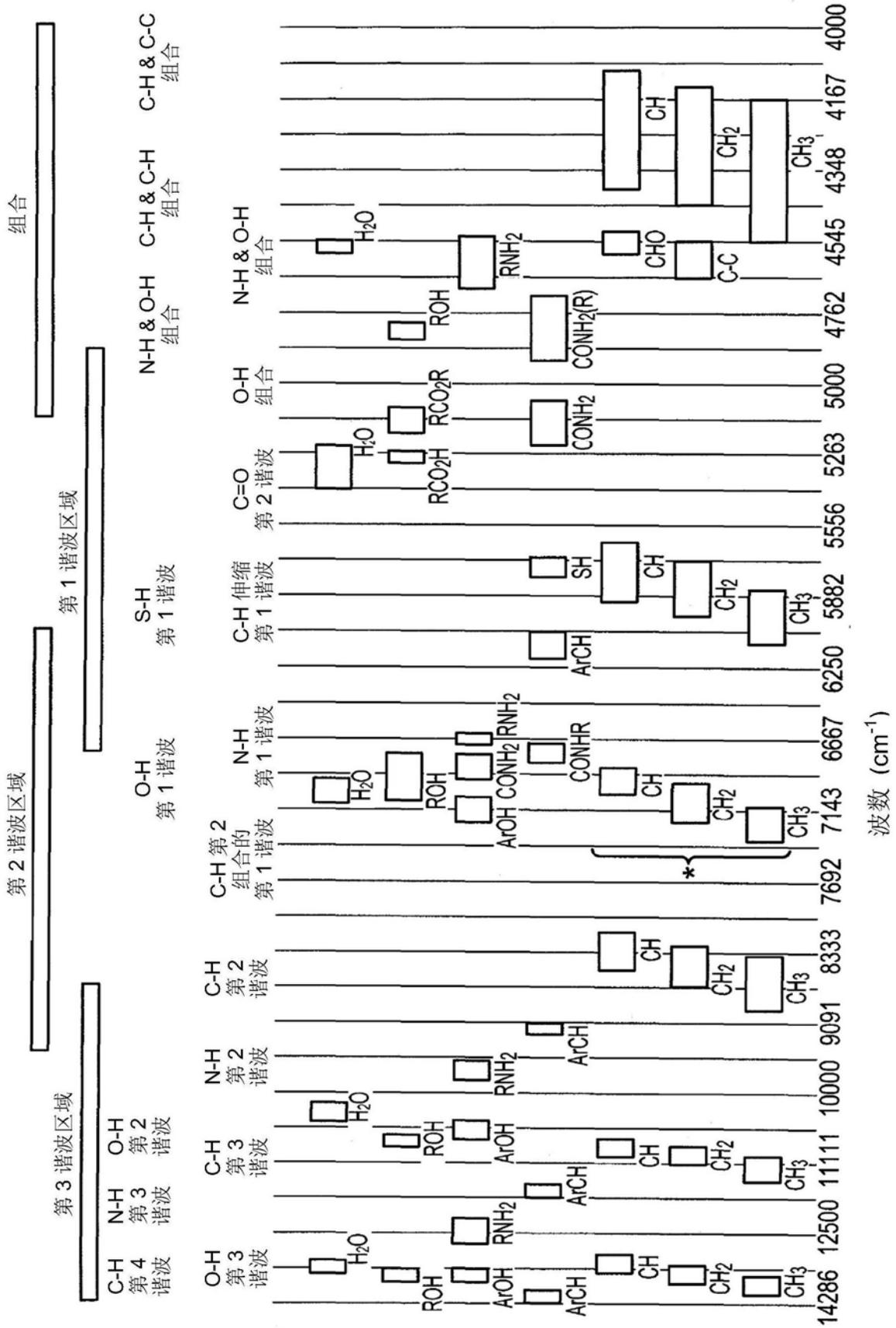


图12

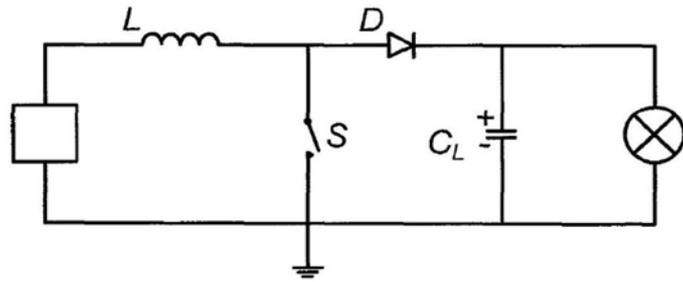


图13A

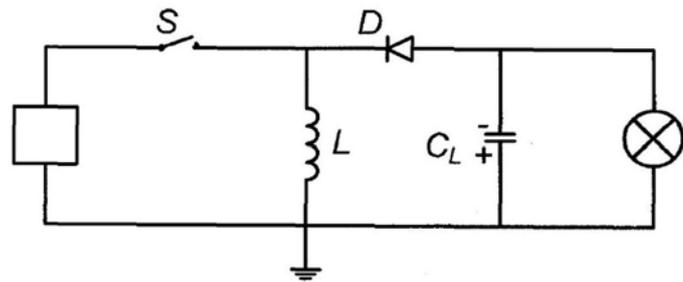


图13B

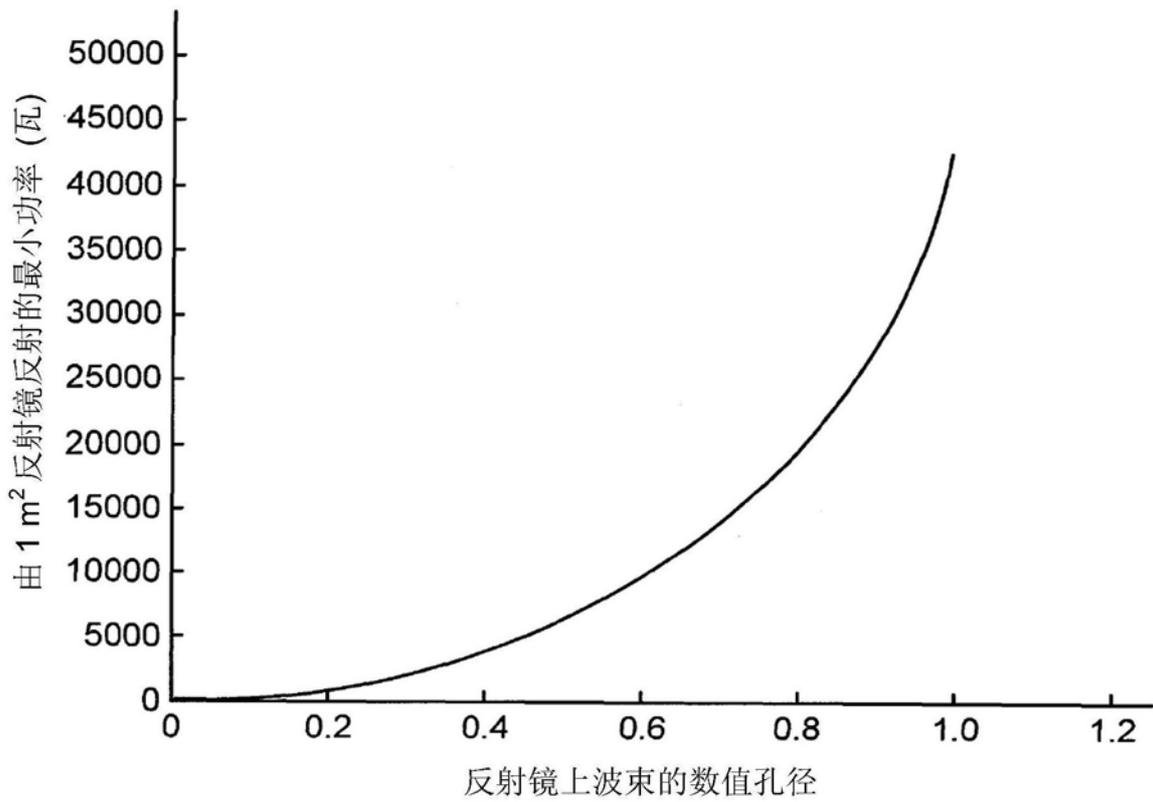


图14

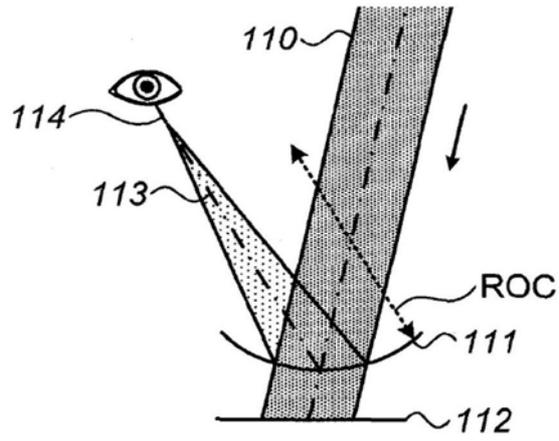


图15A

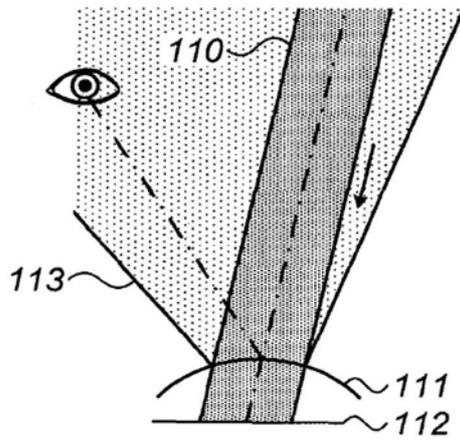


图15B

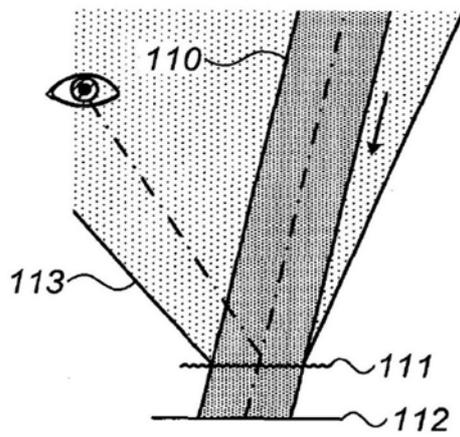


图15C

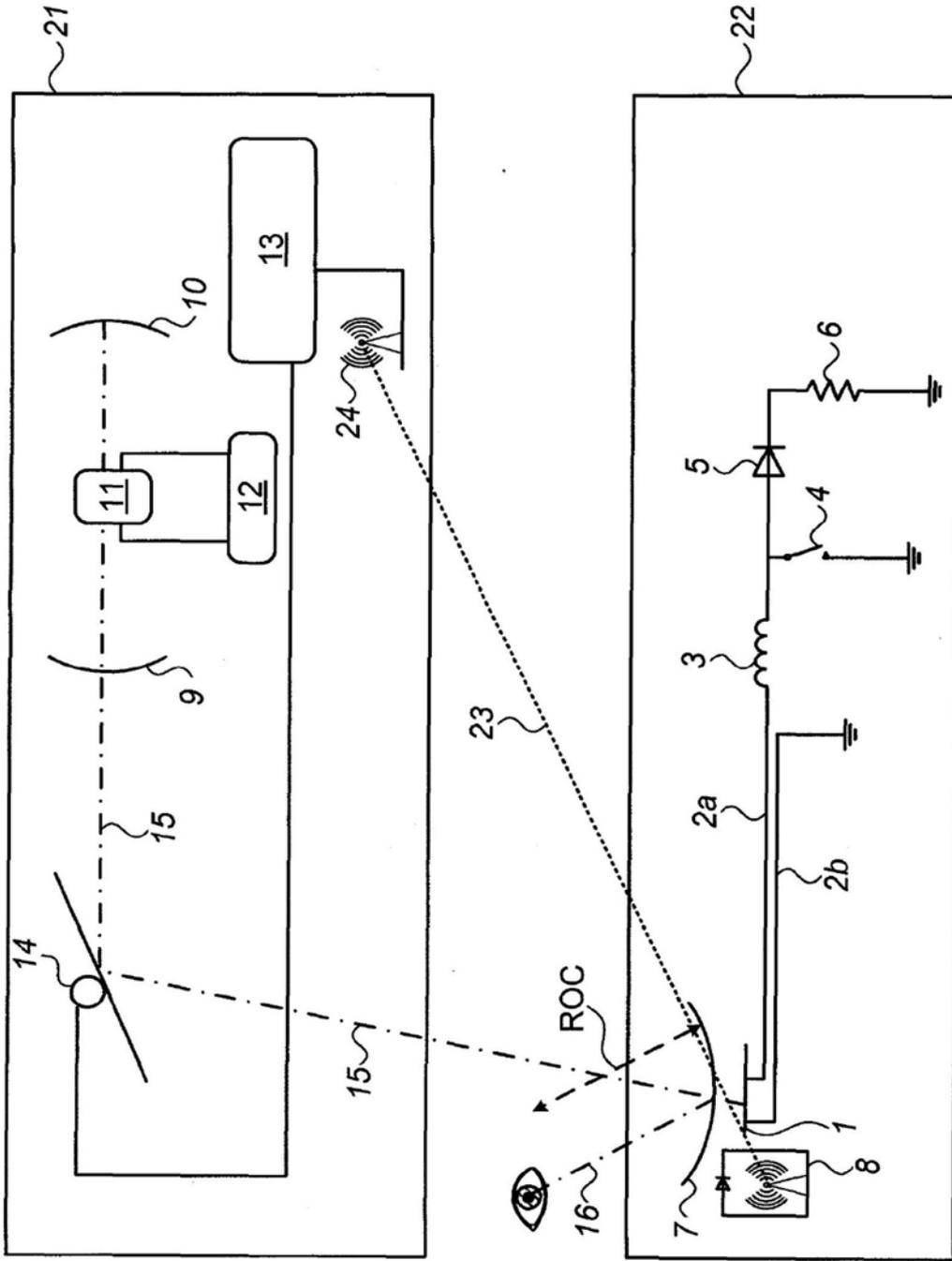


图16

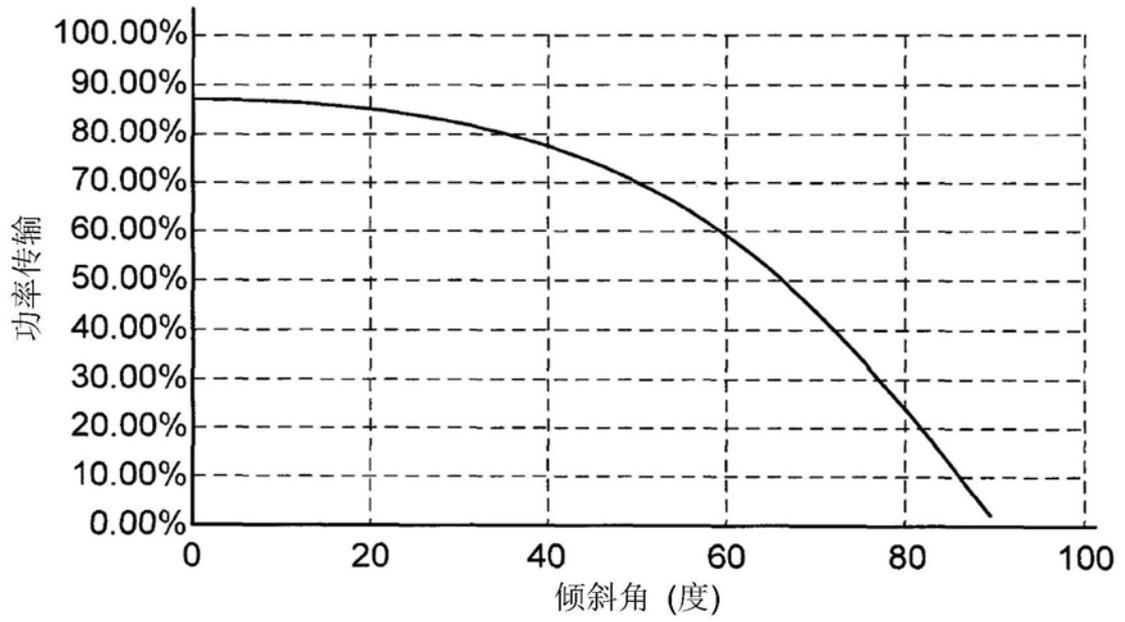


图17

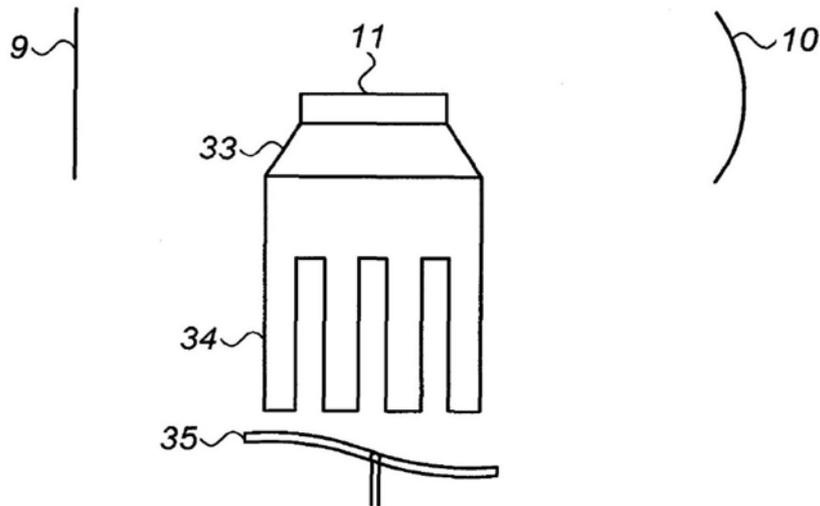


图18

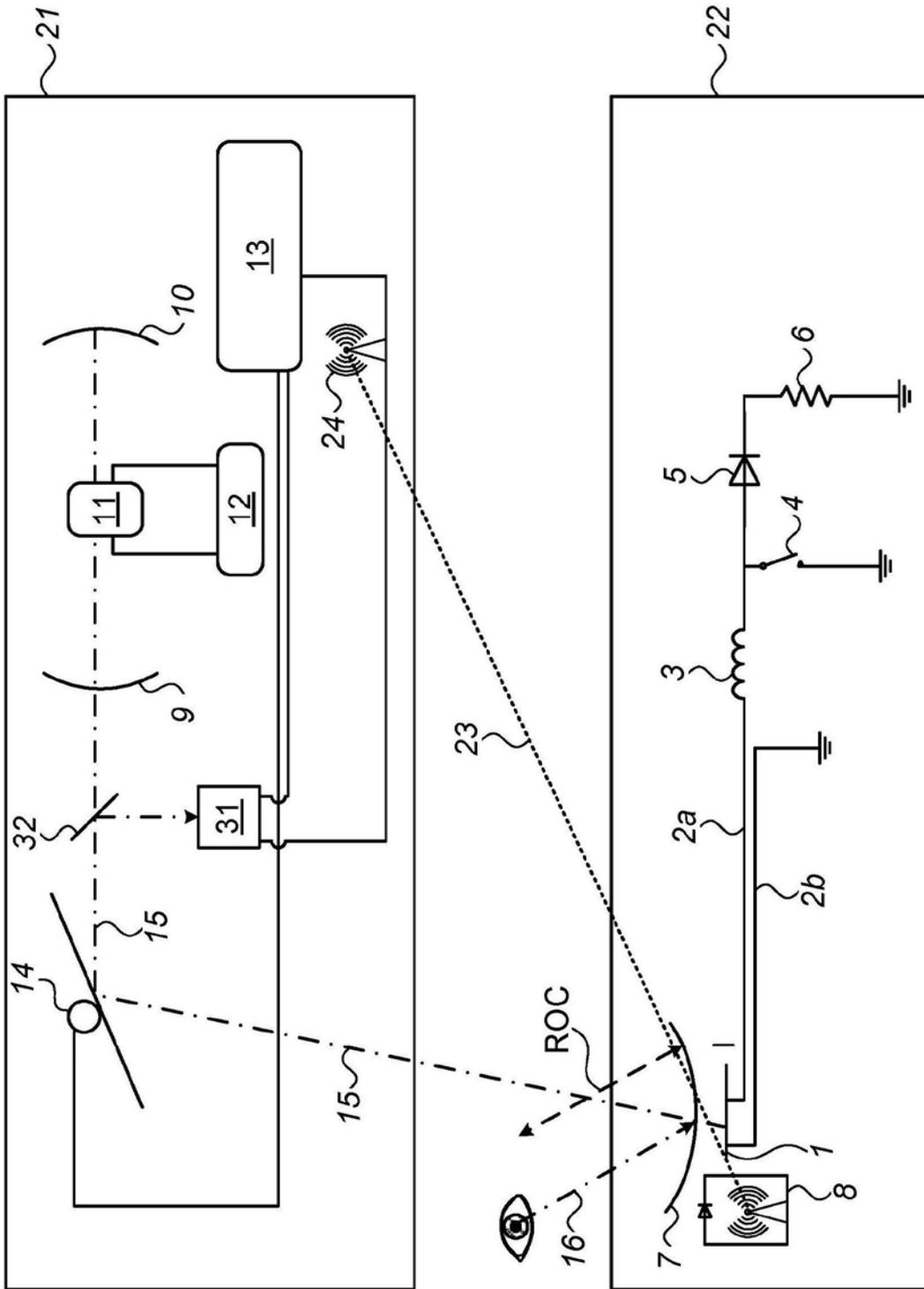


图19

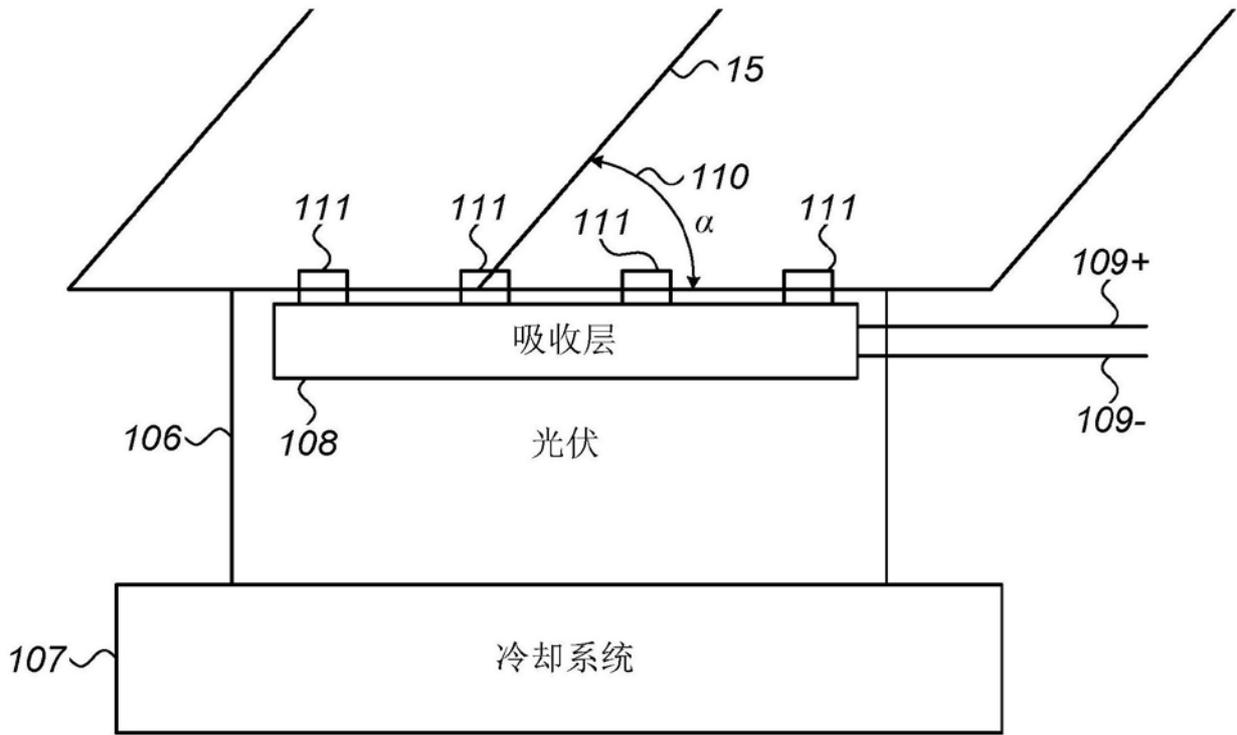


图20

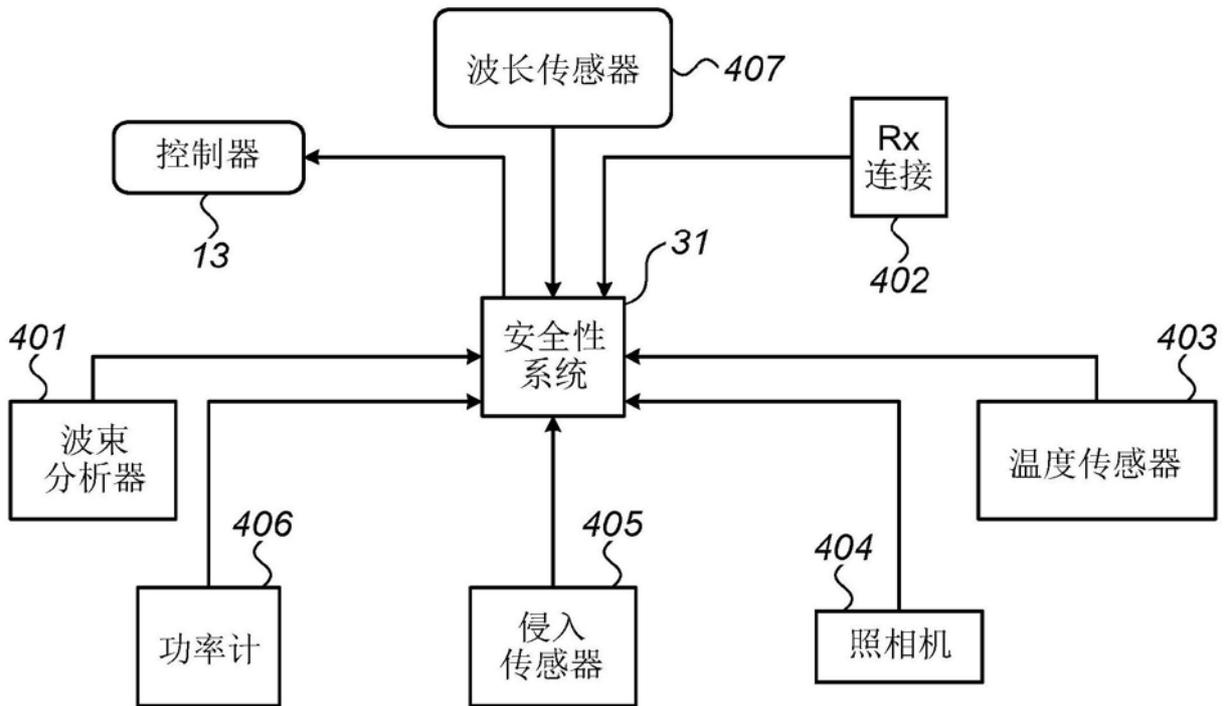


图21

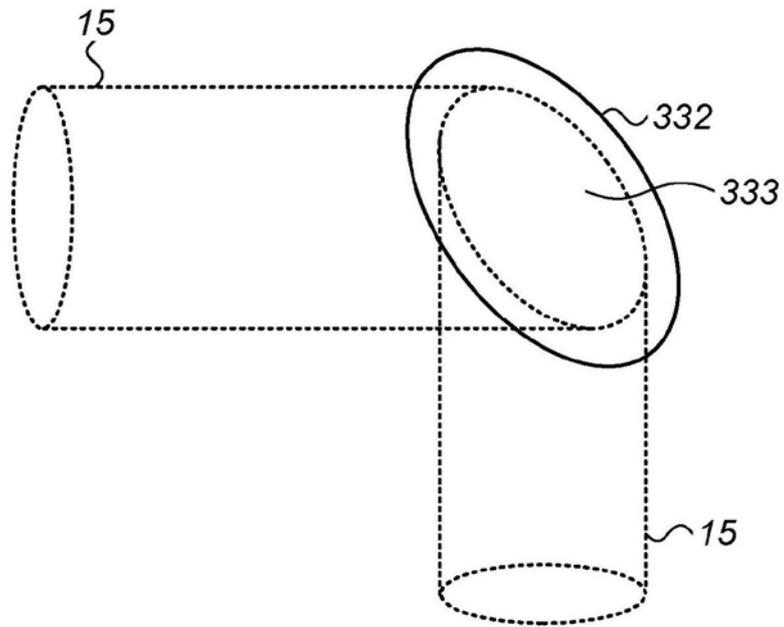


图22

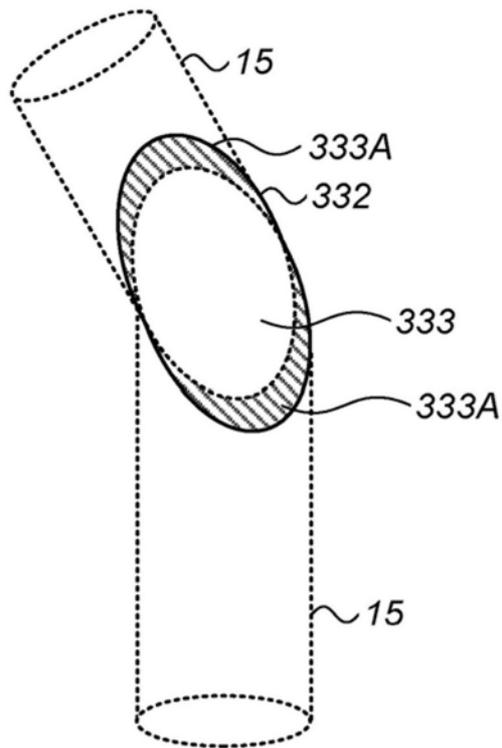


图23

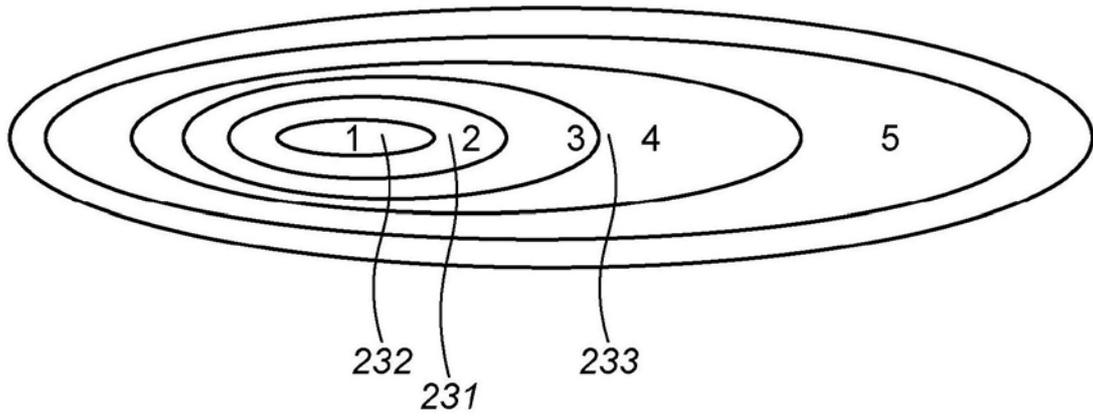


图24

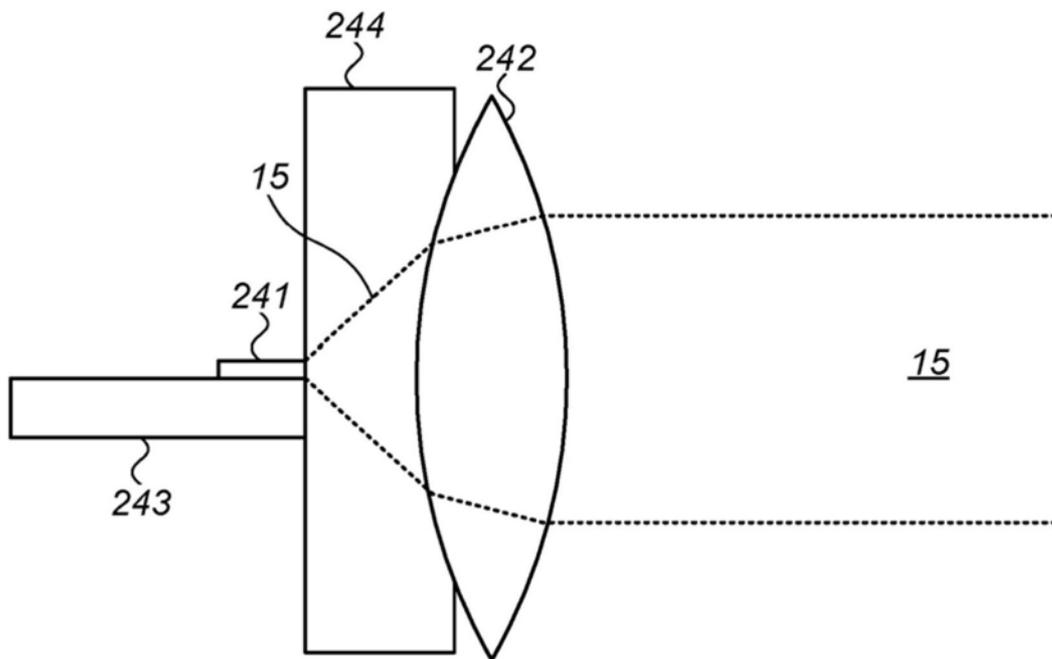


图25

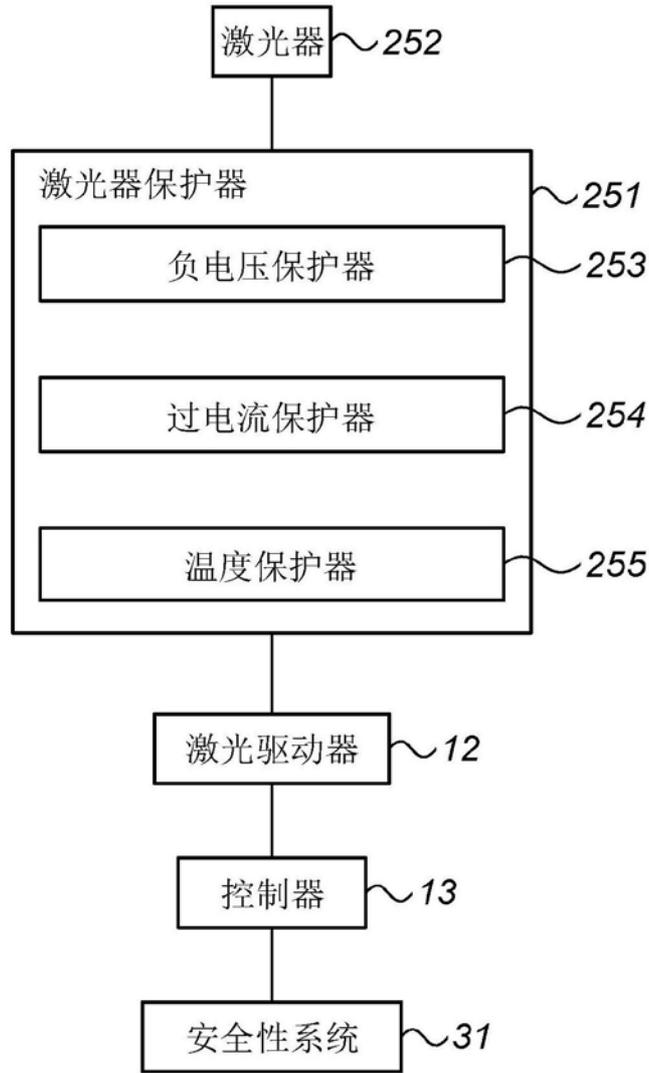


图26