

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H01L 31/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680013420.7

[43] 公开日 2008 年 4 月 16 日

[11] 公开号 CN 101164172A

[22] 申请日 2006.3.20

[21] 申请号 200680013420.7

[30] 优先权

[32] 2005.3.21 [33] US [31] 11/084,882

[86] 国际申请 PCT/US2006/010219 2006.3.20

[87] 国际公布 WO2006/102317 英 2006.9.28

[85] 进入国家阶段日期 2007.10.22

[71] 申请人 加利福尼亚大学董事会

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 R·温斯顿 J·M·高登

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司
代理人 陈 炜

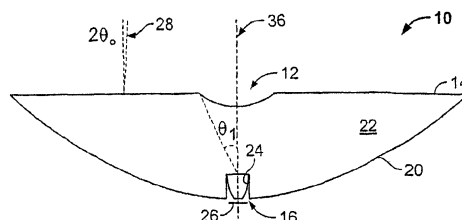
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 1 页

[54] 发明名称

具有不晕成像系统和耦合非成像光集能器的
多结太阳能电池

[57] 摘要

一种用于太阳能设备以产生电能的光学系统。
该光学系统包括不晕光学成像系统、耦合到不晕系统的非成像太阳能集能器以及从非成像太阳能集能器接收高会聚光的多结太阳能电池。



1. 一种太阳能系统，包括：
不晕光学成像系统；
非成像太阳能集能器，收集来自所述不晕光学成像系统的光；以及
太阳能电池，从所述非成像太阳能集能器接收光，所述太阳能电池产生电输出。
2. 如权利要求 1 所述的太阳能系统，其特征在于，所述太阳能电池包括多结太阳能电池。
3. 如权利要求 1 所述的太阳能系统，其特征在于，所述不晕光学成像系统包括主镜和辅镜。
4. 如权利要求 1 所述的太阳能系统，其特征在于所述不晕光学成像系统包括具有共面入口开孔的辅镜和包括与顶点共面的出口开孔的主镜中至少一个。
5. 如权利要求 1 所述的太阳能系统，其特征在于，主镜与辅镜之间的空间包括电介质。
6. 如权利要求 5 所述的太阳能系统，其特征在于，所述电介质从由空气和折射系数 n 约为 1.4 至 1.5 的材料组成的组中选择。
7. 如权利要求 1 所述的太阳能系统，其特征在于，所述非成像太阳能集能器包括 θ_1/θ_2 非成像集能器。
8. 如权利要求 7 所述的太阳能系统，其特征在于，所述 θ_1/θ_2 非成像集能器通过将 θ_1 选择成与所述不晕光学成像系统的数值孔径匹配来选择。
9. 如权利要求 1 所述的太阳能系统，其特征在于，主镜和辅镜两者的出口开孔基本上都是平的。
10. 如权利要求 1 所述的太阳能系统，其特征在于，所述非成像集能器提供全内反射。
11. 如权利要求 1 所述的太阳能系统，其特征在于，所述非成像集能器包括镀银的反射表面。
12. 如权利要求 1 所述的太阳能系统，其特征在于，所述非成像太阳能集能器被定位成基本上与主镜的确切开孔齐平。
13. 如权利要求 12 所述的太阳能系统，其特征在于，所述非成像太阳能集能

器包括特制的反射表面。

14. 一种用于太阳能系统的光学系统，包括：

用于收集光的不晕光学成像系统；以及

非成像太阳能集能器，耦合到所述不晕光学成像系统以从其接收光，从而提供极高强度的光输出以供太阳能系统使用。

15. 如权利要求 14 所述的光学系统，其特征在于，所述不晕光学成像系统包括具有与其共面的出口开孔的主镜和辅镜。

16. 如权利要求 14 所述的光学系统，其特征在于，还包括置于主镜与辅镜之间的电介质，所述电介质的折射系数在约 1.0-1.5 之间。

17. 如权利要求 14 所述的光学系统，其特征在于，所述非成像太阳能集能器从 θ_1/θ_2 集能器和特制集能器的组中选择。

18. 一种用于选择性对光成像的光学系统，包括：

光源；

从所述光源收集光的非成像光学照明器系统；以及

输出从所述非成像光学照明器接收的光的不晕光学成像系统。

19. 如权利要求 18 所述的光学系统，其特征在于，所述非成像光学照明器从由 θ_1/θ_2 照明器和特制反射表面的照明器组成的组中选择。

20. 如权利要求 18 所述的光学系统，其特征在于，所述非成像光学照明器从由 TIR 照明器和镀银反射表面照明器组成的组中选择。

具有不晕成像系统和耦合非成像光集能器的多结太阳能电池

背景技术

本发明涉及使用提供极高太阳能通量的光学系统以产生高效电输出的多结太阳能电池，尤其涉及将非成像光集能器、或通量增强器与主、辅不晕镜子系统组合的太阳能系统，其中非成像集能器有效地耦合到镜子从而达到成像条件使高强度光会聚到多结太阳能电池上。

产生电能的太阳能电池已经公知但是由于极高的生产 Kwh 成本而用途受限。虽然大量研究已经进行了多年，但是每 Kwh 成本仍然是常规电功率生产的约 10 倍。为了与风能或其它替代能源竞争，必需大大改进太阳能电池的电产率。

发明内容

将不晕光学成像设计与非成像光学系统组合以产生在光学扩展量极限下工作的极紧凑型光集能器。在多结太阳能电池系统中，不晕光器件与耦合非成像集能器极高效地产生电输出。在替换实施方式中，可使用多个常规太阳能电池来代替多结电池。

各种不晕和平面光学系统可提供将光传输到非成像集能器从而形成向多结太阳能电池的高会聚光输出的必要部件。在一实施方式中，辅镜（secondary mirror）与入口开孔共面，且出口开孔与主镜（primary mirror）的顶点共面。基于一般基础容易看出，对于具有主镜和辅镜的最紧凑的成像系统，深度与直径的比例为 1:4，图 1 例示出本关系。在较佳实施方式中，镜间空间填充有折射系数为 n 的电介质，使得数值孔径（NA）增大因数 n 倍。将非成像光集能器置于主镜的出口开孔处，其中非成像集能器是 θ_1/θ_2 的集能器，其中将 θ_1 选择成与系统成像台的 NA 匹配（ $\sin\theta_1 = NA, /n$ ），而将 θ_2 选择成满足辅助条件，诸如维持全内反射（TIR）或限制多结太阳能电池上的照射角、或允许出现辐射以容纳集能器与多结太阳能电池之间的小气隙（或下文所述的本发明照明器形式的光源）。

具有元件组合的本系统实现了高效多结太阳能电池的使用，使得可通过耦合于不晕和平面光学子系统的非成像光集能器将极强的太阳能通量输入到太阳能电

池中。虽然就面积而言多结太阳能电池比常规电池贵约 100 倍，但是本文所述系统可提供诸如至少约几千太阳的高会聚阳光，使得多结电池成本变得非常有商业前景。因此，光学系统提供太阳能电池实现商用效力所需的光强。也应该注意，上述光学系统也可用作其中光源与光变换器相邻设置的照明器。

从以下详细描述和下文所述附图中，本发明的目的和优点变得显而易见。

附图说明

图 1 示出具有耦合于多结太阳能电池的关联非成像集能器的不晕光学系统；以及

图 2 是非成像集能器的细节。

具体实施方式

在图 1 中，示出根据本发明一实施方式构建的光学系统 10。辅镜 14 与主镜 20 的入口开孔 12 共面。主镜 20 与辅镜 14 的组合的焦点落在非成像集能器 24 的入口开孔 25 的中心（图 2 中可见，下文将详细描述）。可视为主镜 20、辅镜 12 和非成像集能器 24 的光学系统 10 的名义“焦点”的最终通量输出在横截主镜 20 的顶点 18 的出口开孔 16 处产生。顶点 18 是位于主镜 20 与光轴 26 相交的点。主镜 20 被截断以容纳集能器 24。在较佳实施方式中，顶点 18 也在出口开孔 32 的中心。使在角度 $2\theta_0$ 上均匀入射的太阳能辐射（含有光学误差的阳光盘卷积）会聚到焦平面上，并在角度 $2\theta_1$ 上分布。如果用折射系数（ n ）的电介质 22 填充居间空间，则数值孔径（NA）增大 n 倍。对于典型材料，因数在约 1.4 至 1.5 之间，这会由于相应会聚（对于相同的视场）增加到 $n^2 \sim 2.25$ 倍（只要吸收器光学耦合到光变换器或集能器 24）而变得可观。在较佳实施方式中，非成像集能器 24 置于出口开孔 16 处并具有另一入口开孔 25。该集能器 24 更佳地为 θ_1/θ_2 非成像集能器，其中将 θ_1 选择成与具有主镜 20 和辅镜 14 的光学系统 10 的成像台部分的数字孔径（ NA_1 ）匹配（其中 $\sin\theta_1 = NA_1/n$ ）。将 θ_2 选择成满足辅助条件，诸如维持全内反射（TIR）或限制多结电池 26 上的照射角、或者允许辐射出现以容纳集能器 24 与多结太阳能电池 26 之间的小气隙（或本发明照明器形式的光源 30）。终端台的会聚或通量增强接近基本极限 $(\sin\theta_2/\sin\theta_1)^2$ 。总会聚可接近光学扩展量极限 $(n/\sin\theta_0)^2$ ，其中 $\sin\theta_0 = n\sin\theta_1$ 。在替换实施方式中，多结电池 26 可以是常规的小太阳能电池。在另一实施方式中，非成像集能器 24 可以是公知制作的非成像集能器。

在光学系统 10 中，入口开孔 14 和出口开孔 16 都基本上是平的，于是成为直接分析的情况。实际上，较佳光学系统 10 具有落在公知的 θ_2/θ_1 非成像集能器类别下的设计。TIR 条件是

$$\theta_2 + \theta_1 \leq \pi - 2\theta_c \quad (1)$$

其中 θ_c 是临界角，即 $\arcsin(1/n)$ 。

在许多重要的实际情况下，TIR 条件与将照射角限制于合理预定值是相容的。由于总的光学系统 10 接近理想，所以在 θ_2 接近 π 时总的 NA 是 $NA_2 = n\sin(\theta_2) \approx n$ 。在替换实施方式中，集能器 24 的反射表面 31 不需要发生 TIR。在本替换实施方式中， θ_1/θ_2 集能器的外部，反射表面 31 可以是镀银表面，从而不限制 θ_2 但是会造成约一次额外反射的光学损耗（ $\sim 4\%$ ）。

总的光学系统 10 是接近理想的，因为成像和非成像形式的集能器 24 两者的光线轨迹说明偏斜光线的抑制不超过几个百分比。对于满足恒定光程长度的费马（Fermat）原理的所选集能器 24，共面设计可实现最小的纵横比（f-数） $1/4$ 。通过从两个极端情况：（1）主镜 20 的边缘和（2）沿光轴 26，追踪近轴光线，并规定到达焦点的恒定光程长度，可直接示出：（a）主顶点 18 到入口开孔 12 的距离不能小于进入直径的 $1/4$ ，且（b）紧凑限制要求共面性。因为这种高通量器件最终由电介质厚度（提及）约束，所以可描述较佳共面单元的各种实施方式。

即使有共面性约束， θ_1 的设计选择仍具有相当的自由度。在计入脆性、电池附加和热抑制的最实际设计呈现为在主镜 20 的顶点 18 处设置 PV 吸收器。对于如此受限制的设计，在 θ_1 增加与辅镜 14 的遮挡之间存在权衡。例如，对于遮挡 $\leq 3\%$ ， $\theta_1 \leq 24^\circ$ 。取 $n \approx 1.5$ ，则 $\theta_c \approx 42^\circ$ 。则由不等式（1）， $\theta_1 + \theta_2 \leq 96^\circ$ 。图 1 中的说明性情况具有 $\theta_1 = 24^\circ$ 、 $\theta_2 = 72^\circ$ 且 3% 的遮挡，且 $(n \sin(\theta_2))^2 = 2.0$ 十分接近光学扩展量极限。也许最简单的终端集能器 24 是平截头体（横截的 V-圆锥）。然而，如果要避免光泄漏和过度光线抑制，则实现最大会聚增强所需的平截头体深度基本上大于相应的 θ_1/θ_2 设计（对于此处考虑的参数范围）。

制造简单和成本会对电池 26 与集能器 24 的光耦合产生影响。这样，光被提取到空气中并投射到电池 26 上。图 1 的整体极紧凑设计依然可用，包括将电池 26 设置在主镜 20 的顶点 18 处。终端集能器 24 则必需具有 $\theta_2 < \theta_c$ 以避免 TIR 导致的光抑制。适应其相对较大的深度（即保留相同的电池位置）需要重新设计成像电介质集能器 24 使其焦点更靠近辅镜 14。可实现会聚的相应光学扩展量极限从因数 n^2 倍减小到因数 $(1/\sin\theta_0)^2$ 倍。

在某些波长范围上透光的所有电介质具有色散，即透光窗口外的吸收的结果。甚至对于色散仅为几个百分点的玻璃或丙烯酸，这可通过精心设计菲涅耳（Fresnel）透镜实现的太阳能通量大大地限制于 ≈ 500 太阳。对于平面电介质形式的集能器 24，唯一折射界面是与入射光束 28 正交的入口开孔 12。在界面（入口开孔 14）处的角度色散为

$$\delta\theta = -\tan(\theta)\delta n/n \quad (2)$$

这可完全忽略，因为入射光束 28 的角度扩展 $\ll 1$ 弧度。电介质光学系统 10 为了消除色差的实际目的。实际上，方程（2）表示设计中的某些灵活性。电介质/空气界面（入口开孔 12）无需与光束严格正交。适度倾斜是允许的，只要由方程（2）确定的色差效应保持在一定范围内。

诸如集能器 24 的非成像器件可在最小开孔与光波长相当的衍射极限下工作良好。这远超出了光电集能器所要求，但在作为本文实施方式中可能应用的亚毫米波长下的探测器中是有用的。随着可用较宽范围的尺寸，多结电池 26 上的功率密度约为每平方毫米 1 瓦（电），只要在对分隔结的隧道二极管层的设计中多加注意。这意味着太阳能通量 ≈ 3330 太阳，且几何会聚 $C_g \approx 4600$ （采用对来自通常 40%效率电池的电力 30%系统效率，其中计入了损耗，这些损耗来自反射镜吸收、菲涅耳（Fresnel）反射、电介质中的衰减、遮挡、电池发热、几个百分点的光线抑制、以及为了在焦平面上容纳全部通量图而对功率密度进行的适度稀释）。

使用 1 毫米直径的电池 26，图 1 的集能器 24 的直径为 68 毫米、最大深度为 17mm，且单位面积质量等于 8.5 毫米厚的平板。显然，可设计具有较低会聚和功率产生密度同样降低的大大加厚形式的集能器 24（对于相同的电池大小）。

相应的视场角度为：

$$\theta_0 \approx \sin(\theta_0) = n \sin(\theta_2)/\sqrt{C_g} \quad (3)$$

对于以上实例，上式 ≈ 21 毫弧度，足够在宽松光学公差下容纳太阳固有尺寸（4.7 毫弧度）的卷积。更严密的光学公差可在电池 26 上产生更小的斑点。幸运的是通过试验发现即使在几千太阳的通量水平下电池性能也对这种通量不均一性相对不敏感。空气填充集能器 24 的光线轨迹模拟示出在二级畸变开始显著减小通量会聚之前 θ_0 可达到 20 毫弧度。此处相应的阈值应为 $n\theta_0 \approx 30$ 毫弧度。电池 26 自身可以是一或几平方毫米。由于平面集能器体积随电池尺寸的立方而增加，这是工程最优化。在任何情形中，可无源地散去几瓦的热抑制负载，使得温度增加不超过 30K 左右。

至今, 光学系统 10 被视为具有圆开孔和多个圆电池 26 的轴对称。考虑到达到高通量水平是相对容易的, 则最大化收集效率最重要, 包括封装在模块内的集能器。同样, 考虑到经济型制作和切割技术提供正方形电池 26, 则可考虑从正方形入口开孔会聚到正方形目标上。在收集或电池效率方面无损耗地产生相同的功率密度就规定将几何会聚增加因子 $(4/\pi)^2 \approx 1.62$ 倍 (或在固定几何会聚下稀释功率密度)。

高 NA_1 共面设计是有可能的, 但只在焦点凹进主镜内时。不能满足不等式 (1) 一以及因此而不能满足 TIR, 所以需要在终端集能器 24 的外部镀银 (并在 $NA_1 \rightarrow 1$ 时不需要终端增强器)。可移除中心区域的电介质 22 同时保持会聚中因子 n^2 倍的放大。电池附加和热抑制方面的问题比图 1 的设计更大。

在此示出的共面全电介质光学系统 10 体现不昂贵的高性能形式, 它应该能够 (a) 在高达几千太阳的通量水平上从先进的商用的 1 平方毫米太阳能电池 26 产生约 1 W, (b) 即使在极高会聚下也只造成可忽略的色差, (c) 电池 26 的无源冷却, (d) 容纳宽松的光学公差, (e) 使用现有玻璃和聚合物成型技术量产, 以及 (f) 实现 1/4 纵横比的基本紧凑限制。

除了上文所述实施方式之外, 反过来, 光学系统 10 可以是在极接近光学扩展量极限下工作的紧凑型准直器。靠近非成像集能器 24 的“出口”开孔 32 定位的光源 30 (在图 2 中以虚线示出) 可以是发光二极管。通常, 光学系统 10 可以是光变换器, 收集会聚到非成像集能器 24 的下游的光或者在光源 30 散布在非成像集能器 (此时为“照明器”, 以所需方式输出光) 24 的“出口”开孔 32 附近的情形中产生所选光输出图案。这种准直器在创建所需图案的照明系统中具有许多用途。

以下非限制实例仅为说明该系统的设计。

实例 1

光学空间填充有电介质 22, 即平面非成像集能器 24 类似于玻璃板。多结技术自身应用于小的太阳能电池尺寸。由于高电流传输更短距离从而减弱内部电阻效应, 因此该尺寸关系能更好地工作。因而, 电池 26 较佳地在一至几平方毫米尺寸内。 NA_1 的设计选择具有相当的自由度以及与辅镜 12 遮挡之间的权衡, 但是通常在 0.3 至 0.4 的范围内。玻璃 (和塑料) 的典型值取 $n \approx 1.5$, 得到 $\theta_c \approx 42^\circ$ 。则从不等式 (1), $(\theta_1 + \theta_2) \leq 96^\circ$, 取 $NA_1 = 0.4n$, $\theta_1 \approx 23.5^\circ$, 则 θ_2 可以达到 72° , 多结太阳能电池 26 上完美的合理最大照射角。同时, $NA_2 \approx 0.95n$, 在光学扩展量极限的

5%内。

实例 2

在另一实施方式中，非成像光学集能器（或照明器）是圆柱形， $\theta_1 = \theta_2$ 。所施加的角度约束取决于所需条件。如果 TIR 是所需的且太阳能电池被光学耦合到多结太阳能电池 26（或照明器的光源 30），则 θ_1 不应超过 $(90^\circ - \theta_c) \approx 48^\circ$ 。如果 TIR 是所需的且在集能器与多结太阳能电池 26（或照明器的光源 30）之间存在小气隙，则 θ_1 不应超过 $\theta_c \approx 42^\circ$ 。

如果圆柱体镀银且集能器光学耦合到多结太阳能电池 26（或照明器的光源 30），则不存在约束。如果圆柱体镀银且集能器与多结太阳能电池 26（或照明器的光源 30）之间存在小气隙，则 θ_1 不应超过 $\theta_c \approx 42^\circ$ 。

实例 3

在另一实施方式中，允许出现辐射以容纳集能器与多结太阳能电池 26（或照明器的光源 30）之间的小气隙，则 θ_1 不应超过 $\theta_c \approx 42^\circ$ 。如上所述地令 $\theta_2 = 39^\circ$ ，且 $\theta_1 = 23.5^\circ$ 。则 $NA_2 = n \sin(39^\circ) = 0.94$ ，在光学扩展量极限的 6%内。

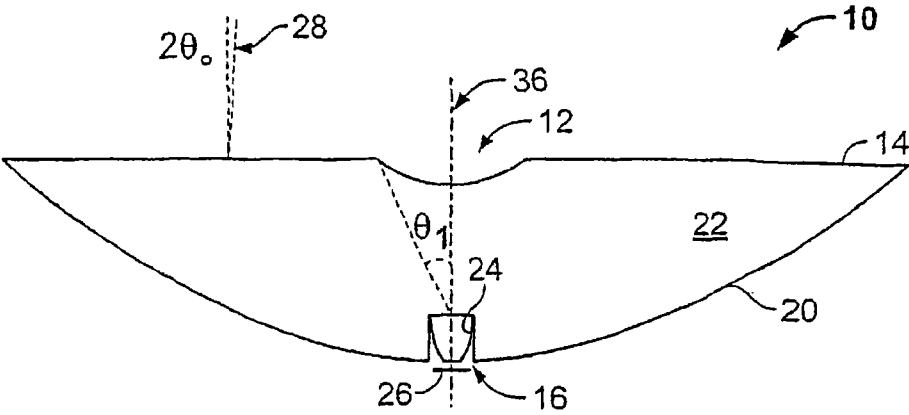


图 1

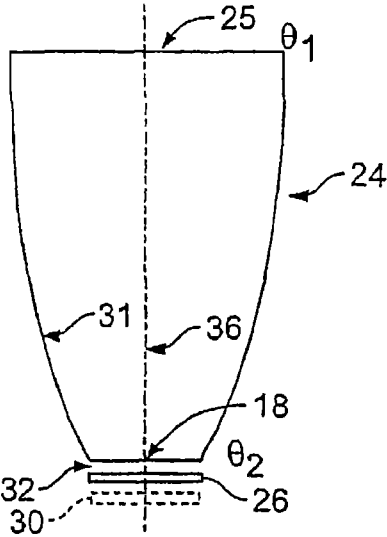


图 2