



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102117846 A

(43) 申请公布日 2011.07.06

(21) 申请号 201010618404.9

(22) 申请日 2010.12.23

(30) 优先权数据

12/645660 2009.12.23 US

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 B·A·科雷瓦尔 L·特沙卡拉科斯

F·R·阿马德 H·贾因

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

司 72001

代理人 柯广华 王忠忠

(51) Int. Cl.

H01L 31/0352(2006.01)

H01L 31/042(2006.01)

H01L 31/052(2006.01)

H02N 6/00(2006.01)

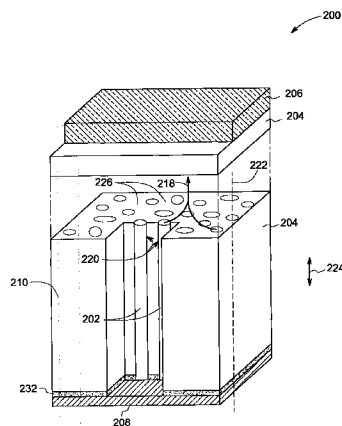
权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 5 页

(54) 发明名称

光伏电池

(57) 摘要

本发明名称为“光伏电池”。公开了一种光伏(PV)电池(200)。该PV电池包括嵌在包括n型化合物半导体的光敏吸收体层(204)内的多个超细结构(202)。



1. 一种光伏 (PV) 电池 (200), 包括 :
多个超细结构 (202), 嵌在包括 n 型碲化镉 (CdTe) 的光敏吸收体层 (204) 内。
2. 如权利要求 1 所述的 PV 电池, 还包括第一光学窗口电极 (OWE) 层 (206)。
3. 如权利要求 1 所述的 PV 电池, 其中所述多个超细结构包括 p 型半导体。
4. 如权利要求 1 所述的 PV 电池, 其中所述多个超细结构包括多个金属超细结构 (240), 其中所述多个金属超细结构的至少一部分具有包括 p 型半导体 (242) 的共形覆盖层。
5. 如权利要求 1 所述的 PV 电池, 其中对齐所述多个超细结构的至少一部分, 使得它们的纵轴 (222) 单独大致沿所述光敏吸收体层的厚度方向 (224) 伸展。
6. 一种光伏 (PV) 电池 (200), 包括 :
多个超细结构 (202), 嵌在包括 n 型化合物半导体的光敏吸收体层 (204) 内。
7. 一种发电系统 (200), 包括 :
多个超细结构 (202), 包括具有第一类型的掺杂的半导体, 嵌在包括具有第二类型的掺杂的 CdTe 的光敏吸收体层 (204) 内。
8. 一种太阳能电池 (200), 包括 :
光学窗口电极 (OWE) 层 (206) ;
多个超细结构 (202), 包括 p 型半导体, 在包括 n 型碲化镉 (CdTe) 的光敏吸收体层 (204) 内且大致沿所述光敏吸收体层 (204) 的厚度方向 (224) 嵌入 ; 以及
电极层 (208), 包括金属。
9. 一种光伏 (PV) 电池 (200), 包括 :
光学窗口电极 (OWE) 层 (206) ;
多个超细结构 (202), 包括 p 型半导体, 在包括 n 型碲化镉 (CdTe) 的光敏吸收体层 (204) 内且大致沿所述光敏吸收体层 (204) 的厚度方向 (224) 嵌入 ;
电极层 (208), 包括金属, 与所述多个超细结构的至少一部分电接触 ; 以及
介电层 (232), 处于所述光敏吸收体层与所述电极层中间。
10. 一种 PV 系统 (500), 包括 :
至少一个 PV 模块 (400), 包括 :
PV 电池 (200), 包括嵌在包括 n 型化合物半导体的光敏吸收体层 (204) 内的多个超细结构 (202) ; 以及
辐射集中器 (404), 布置成在所述 PV 电池集中电磁辐射 (406)。

光伏电池

技术领域

[0001] 本发明一般涉及光伏 (PV) 电池的领域。更具体地说,本发明涉及 PV 电池的领域,其中,采用的光敏 (photo-active) 吸收体材料是例如碲化镉 (CdTe) 的化合物半导体。

背景技术

[0002] 太阳光谱“阳光”包含随频率变化的强度分布。能够看到,经半导体利用阳光获得电能的转换效率被优化以用于在大约 1.4-1.5 电子伏特 (eV) 的范围附近的半导体带隙。CdTe 的半导体带隙是对此要求的良好匹配。相当概括地说,为本文中讨论的简明起见,包括 CdTe 作为光敏材料的 PV 电池可称为“CdTe PV 电池”。

[0003] 大规模 CdTe PV 安装的商业可行性已得以证明,并且从此类大规模 p 型 CdTe PV 安装获得的电力的成本接近于电网平价 (parity)。较小规模 (即区域受限的) 安装的商业可行性由于此类较小规模安装的较差总体效率而在该领域内仍是一个难题。尽管付出了相当大的学术和行业研究与开发努力,甚至在 CdTe PV 电池对太阳能谱的权利效率 (entitlement-efficiency) 是大约 23% 时, CdTe PV 电池的最佳转换效率在接近十年也一直停滞在大约 16.5%, 这些转换效率数可比于包括此类 CdTe PV 电池的典型的当前可用的商业大规模 CdTe PV 安装的总体效率, 该转换效率更低, 在大约 10-11%。

[0004] CdTe PV 效率的改进将可能产生 CdTe PV 安装的总体效率的改进。此类改进将可能增强 CdTe PV 安装与诸如从天然气或煤炭等发电的传统方法相比的竞争力。明显的是, 总体效率的改进将可能使得 CdTe PV 技术能够成功渗透要求小规模区域受限安装的市场, 例如对于家庭 PV 安装的市场。

[0005] 因此, 能够实现比大约 16% 更大的转换效率的 CdTe PV 电池将是高度合乎需要的。

发明内容

[0006] 本发明的实施例涉及一种光伏电池。

[0007] 一种光伏 (PV) 电池包括嵌在包括 n 型碲化镉 (CdTe) 的光敏吸收体层内的多个超细结构。

[0008] 一种光伏 (PV) 电池包括嵌在包括 n 型化合物半导体的光敏吸收体层内的多个超细结构。

[0009] 一种发电系统包括多个超细结构, 所述多个超细结构包括具有第一类型的掺杂的半导体, 嵌在包括具有第二类型的掺杂的 CdTe 的光敏吸收体层内。

[0010] 一种太阳能电池包括光学窗口电极 (optical window electrode) (OWE) 层、在包括 n 型碲化镉 (CdTe) 的光敏吸收体层内且大致沿其厚度方向嵌入的包括 p 型半导体的多个超细结构以及包括金属的电极层。

[0011] 一种光伏 (PV) 电池包括光学窗口电极 (OWE) 层、在包括 n 型碲化镉 (CdTe) 的光敏吸收体层内且大致沿其厚度方向嵌入的包括 p 型半导体的多个超细结构、与所述多个超

细结构的至少一部分电接触的包括金属的电极层以及在光敏吸收体层与电极层之间的介电层。

[0012] 一种 PV 系统包括至少一个 PV 模块,该模块包括:PV 电池,包括嵌在包括 n 型化合物半导体的光敏吸收体层内的多个超细结构;以及辐射集中器,布置成在所述 PV 电池集中电磁辐射。

[0013] 从结合附图提供的本发明的优选实施例的以下详细说明,将更容易理解这些和其它优点和特征。

附图说明

[0014] 图 1 是包括 p 型 CdTe 层的 PV 电池的一部分的示意图示。

[0015] 图 2 是根据本发明的一个实施例的 PV 电池的示意图示。

[0016] 图 3 是根据本发明的一个实施例的具有 p 型半导体的共形覆盖层 (conformal coating) 的多个金属超细结构的示意图示。

[0017] 图 4 是根据本发明的一个实施例的大致是图 2 所示 PV 电池的一部分的示意图示。

[0018] 图 5 是根据本发明的一个实施例的 PV 模块的示意图示。

[0019] 图 6 是根据本发明的一个实施例的 PV 系统的示意图示。

[0020] 图 7 是根据本发明的一个实施例的电力网的示意图示。

具体实施方式

[0021] 在下面的描述中,无论何时本发明的实施例的特定方面或特征描述为包括组的至少一个要素及其组合,或由其组成,可理解的是,该方面或特征可单独地或与该组的任何其它要素组合地包括组的任何要素,或由其组成。

[0022] 如下面所详细讨论的,本发明的实施例涉及改进的光伏 (PV) 电池设计。此处提议的本发明的特定实施例提供用于包括含有 n 型 CdTe 的光敏吸收体层的 PV 电池,其具有与当前可用 CdTe PV 电池的效率 (大约 16.5%) 相比增强的效率。本文中公开的 CdTe PV 电池的实施例可显示超过 20% 的效率。本文中公开的光敏吸收体层是 PV 电池的发生例如阳光等入射光的电磁能到电能的转换的部分。

[0023] 然而,如下面更详细讨论的,相当概括地说,设想了本文中提议的设计和概念可对包括含有不同于 CdTe 的其它化合物半导体的光敏吸收体层的 PV 电池的开发有用。化合物半导体的非限制性示例包括砷化镓铟 (indium gallium arsenide)、砷化镓、磷化铟、硫化铟铜 (copperindium sulfide)、铜铟硒化镓 (copper indium gallium selenide) 及其组合。

[0024] 在本文中的讨论中,术语“超细结构”将理解为包括诸如纳米线、纳米管、量子线、量子点、纳米壁 (nanowall) 的结构及此类结构的其组合,还包括能够显示类似于上述结构的一个或多个物理属性的物理属性的任何其它结构。相当概括地说,术语“超细结构”将理解为包括其中结构的最小物理尺寸或特征具有不到大约 1 微米的空间延展“ a_{us} ”的任何结构。可以理解的是,例如,例如纳米线的“网格”是根据本定义的超细结构的一个特定非限制性示例,其中,网格在超过 a_{us} 的空间延展上延伸,但其中纳米线的至少一部分具有基本上小于 a_{us} 的至少一个物理尺寸。此外,将理解的是,例如其中诸如孔隙或空隙等表征超细结

构的至少一些特征的空间延展小于大约 1 微米的超细结构在本发明的范围内。在本文中公开的本发明的特定实施例中,超细结构可布置在从其形成超细结构的相同材料的衬底(例如,薄膜)上。在本文中公开的本发明的更多特定实施例中,衬底可从介电材料形成,该衬底也可用作超细结构生长的模板。

[0025] 相当概括地说,为本文中讨论的简明起见,包括 CdTe 作为光敏材料的 PV 电池可称为“CdTe PV 电池”。CdTe 的掺杂物的类型(p 型或 n 型)将被指定,但却是非限制性的。

[0026] P 型 CdTe 是其中光敏材料为 CdTe 的 PV 电池中当前最常用的材料。当代 CdTe PV 电池利用 p 型 CdTe 形成吸收体层。吸收体层是 PV 电池的其中发生入射光(例如,阳光)的电磁能到电能(即,电流)的转换的部分。然而,采用 p 型 CdTe 形成吸收体层的 PV 电池有多个问题,这些问题阻碍了效率接近 CdTe PV 电池对太阳能谱的转换效率的高性能 PV 电池的开发。图 1 是用于讨论 PV 电池的一些通用操作原理的 CdTe PV 电池设计的一部分 100 的示意图示。所示部分 100 包括三层 102、104 和 106。PV 电池部分 100 包括布置在 n 型光学窗口层 104 与电极层 106 之间的 p 型 CdTe 层 102。p 型 CdTe 层 102 与 n 型光学窗口层 104 之间的界面可适当地视为异质结 112。根据光伏领域的技术人员将已知的原理,电场 110 跨 p 型 CdTe 层 102 与 n 型光学窗口层 104 之间的异质结 112 生成。光能通量 108 在它被允许入射到光学窗口层 104 上时,继续到 CdTe 层 102 上,其中,光能被吸收以生成电子空穴对,即,光能被吸收以生成电力。电子空穴对的一个实例经参考标号 114 示出,电子空穴对 114 的空穴 118 在电场 110 的作用下向用于收集的电子层 106 漂移。类似地,电子空穴对 114 的电子 116 在电场 110 的作用下向用于收集的 n 型光学窗口层 104 漂移。因此,实际上,电极层 106 用作连接到 PV 电池(部分 100 是其一部分)的外部电力负载(图 1 中未示出)的正电极,而 n 型光学窗口层 104 用作连接到 PV 电池的外部电力负载的负电极。

[0027] 如前面所述,通常 CdTe PV 电池采用 p 型 CdTe 来形成吸收体层。此背景中一个重要的问题是尽管有业界和学术界几年来的研究和开发工作,一直不可能将 p 型 CdTe 吸收体层内的 p 型掺杂级别增强到超出大约 $\sim 2 \times 10^{14}$ 每立方厘米 (cm)。这是限制当代 CdTe PV 电池的开路电压 V_{oc} 和短路电流密度 J_{sc} 的最佳报告值分别为大约 0.85 伏和 0.025 安培/cm² 的因素之一。这些限制又将当代 CdTe PV 电池的最佳报告效率限制在大约 16.5%。

[0028] 本发明的见解源于发明人认识到 p 型掺杂物 CdTe 不能达到更高(超过大约 $\sim 2 \times 10^{14}/\text{cm}^3$) 级别是阻碍开发包括效率接近太阳能谱的转换效率的 CdTe 吸收体层的 CdTe PV 电池的关键因素之一。

[0029] 几个原因导致了 CdTe 内的 p 型掺杂级别限制在大约 $\sim 2 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ 。原因之一是 CdTe 的自补偿性质,该自补偿性质使得与 p 型掺杂相比,CdTe 更顺应于 n 型掺杂。

[0030] 已知的是,与 CdTe 内能够实现的 p 型掺杂的级别相比,可能在 CdTe 内实现 n 型掺杂的更高级别。如上所讨论的,(例如,类型 100 的)PV 电池包括作为吸收体层的 p 型 CdTe 层,并且要求在 p 型 CdTe 层上布置光学窗口层,以便光学窗口层与 p 型 CdTe 层之间的界面形成异质结。另一方面,存在能够同时与 n 型 CdTe 形成异质结以及具有允许它们作为光学窗口层适当运转的光学特性的材料的缺陷。因此,在从 n 型 CdTe 制作吸收体层时用作光学窗口层的适合材料的缺陷妨碍了开发包括 n 型 CdTe 吸收体层的高性能 PV 电池。光学窗口层的要求特性包括适当高的带隙以便充足部分的入射光能可到达吸收体层。也就是说,光学窗口层应具有适当高的光透射。光学窗口层要求的其它特性包括适当低的片材(sheet)

电阻,以便减小光学窗口层内的串联电阻损耗。

[0031] 如下面涉及图 2-4 所详细讨论的,本文中公开的本发明的实施例提供可能使得能够开发包括光敏吸收体 n 型 CdTe 层的可行 PV 电池设计的方案。根据本发明的实施例的 PV 电池设计克服了吸收体层包括 n 型 CdTe 时用于形成光学窗口层的适合材料的缺陷的问题。本发明的实施例因此可使得能够开发包括光敏吸收体 n 型 CdTe 层的 PV 电池,其具有与包括 p 型 CdTe 以形成吸收体层的当代 CdTe PV 电池的效率相比增强的效率。本文中提议的 CdTe PV 电池的特定实施例还可具有达到 CdTe PV 电池对太阳能谱的权利要求的效率。换言之,本文中公开的本发明的实施例可能使得能够开发效率接近并可能超过大约 20% 的包括光敏吸收体 n 型 CdTe 层的 PV 电池。

[0032] 图 2 是根据本发明的一个实施例的 PV 电池 200 的示意图示,为简明起见以“分解式”视图示出。PV 电池 200 包括多个电耦合和机械耦合到衬底 208 的超细结构 202,所述多个超细结构 202 嵌在包括 n 型 CdTe 的光敏吸收体层 204 内。多个超细结构 202 与光敏吸收体层 204 保持电接触和机械接触。超细结构的物理形态的非限制性示例包括单晶、多晶、非晶的及其组合。在本发明的特定非限制性实施例中,多个超细结构的至少一部分对齐,使得其纵轴单独大致沿光敏吸收体层的厚度方向伸展。例如,在 PV 电池实施例 200 中,多个超细结构 202 对齐,使得其纵轴 222 单独大致沿光敏吸收体层 204 的厚度方向 224 伸展。衬底 208 可以是任何金属、介电或半导体模板,其适合于超细结构 202 的生长,并且也具有适当的电和 / 或光学特性以用作电极和 / 或用作光学窗口层。此外,介电层 232 可布置在光敏吸收体层 204 与衬底 208 之间。在本发明的特定实施例中,介电层 232 用作钝化层。如从图所示实施例可明显看到的,多个超细结构 202 渗透介电层 232 以便与光敏吸收体层 204 进行电接触和机械接触。然而,要说明的是,甚至在图 2 所示的实施例包括介电层 232 时,在其它方面类似于 PV 电池 200 但不包括类型 232 的介电层的 PV 电池也在本发明的范围内。在不包括类型 232 的介电层的本发明的此类实施例中,光敏吸收体层 204 将与衬底 208 直接电接触和机械接触,并且该衬底 208 的成分和掺杂类型将大致类似于多个超细结构 202 的成分和掺杂类型。

[0033] 其中多个超细结构 202 包括至少一个 p 型半导体材料的 CdTe PV 电池在本发明的范围内。因此,相当概括地说,包括多个超细结构、而这些超细结构包括 p 型半导体的 PV 电池实施例在本发明的范围内。本发明的其它特定非限制性实施例包括多个超细结构,这些超细结构包括共形地覆盖有 p 型半导体的多个金属超细结构。例如,图 3 是布置在(类型 208 的)衬底 244 上并且具有包括 p 型半导体 242 的共形覆盖层的多个(类型 202 的)金属超细结构 240 的示意图示。因此,相当概括地说,PV 电池实施例包括多个超细结构,而这些超细结构包括金属超细结构,其中多个金属超细结构的至少一部分具有包括 p 型半导体的共形覆盖层,这些实施例在本发明的范围内。要说明的是,即使在图 2 中多个超细结构 202 大致布置在整个光敏吸收体层 204 内,多个超细结构 204 仅布置在光敏吸收体层 204 的某些区域内的 PV 电池实施例也在本发明的范围内。此外,多个超细结构 202 在光伏层 204 内非同质布置的 PV 电池在本发明的范围内。

[0034] 包括 n 型 CdTe 的层 204 是光敏的,并且用作 PV 电池 200 的吸收体层。PV 电池 200 还包括与光敏吸收体层 204 相邻布置的第一光学窗口电极“OWE”层 206。如上所讨论的,多个超细结构 202 包括至少一个 p 型半导体材料,并且因此,根据光伏领域的技术人员将已知

的原理,电场 218 跨光敏吸收体层 204(该光敏吸收体层 204 包括 n 型 CdTe)与多个超细结构 202 之间的 p-n 结 220 生成。在当前讨论之下的实施例中,电场 218 将基本上是被引导到多个超细结构 202 的各个超细结构的“外面”,朝向光敏吸收体层 204 的块部分 226,并且因此也通常向第一 OWE 层 206。在本发明的一个实施例中,光敏吸收体层 204 的厚度能够高达大约 10 微米。在本发明的另一个实施例中,光敏吸收体层 204 的厚度能够高达大约 5 微米。在本发明仍有的另一个实施例中,光敏吸收体层 204 的厚度能够高达大约 2 微米。在本发明的一个实施例中,光敏吸收体层 204 是多晶的。

[0035] 在本发明的一个实施例中,PV 电池 200 可配置为双面 PV 电池。配置 PV 电池 200 为双面 PV 电池的非限制性方案包括从具有适合光学属性的材料生成衬底 208,以便衬底 208 可充当具有与第一 OWE 层 206 类似功能性的 OWE 层。相当概括地说,如此制作以用作 OWE 层的衬底 208 可称为“第二”OWE 层。因此,配置衬底 208 为 OWE 层的第一非限制性方案包括形成衬底 208 以包括 p 型透明传导氧化物。配置衬底 208 为 OWE 层的第二非限制性方案包括形成衬底 208 以包括高度掺杂的 p 型半导体材料,该半导体材料具有基本上比从其包括光敏吸收体层 204 的材料的带隙更大的带隙和基本上比超细结构 202 内载流子密度更大的载流子密度。此方案可要求在衬底 208 与介电层 232 之间布置另外的层。另外的层(图 2 中未示出)可形成以根据高度掺杂的 p 型半导体材料的载流子密度来包括带有适合载流子密度的 p 型透明传导氧化物(TCO)、或带有适合载流子密度的 n 型 TCO。

[0036] 图 4 是图 2 所示 PV 电池 200 的一部分 210 的示意图示 300,其用于讨论 PV 电池 200 的操作原理的目的。参考标号 302 和 304 分别指示光敏吸收体层 204 的部分和第一 OWE 层 206 的部分,而参考标号 306 指示多个超细结构 202 的单个超细结构。根据前面图 3 的上下文中的讨论,单个超细结构 306 可包括 p 型半导体,或者它可包括共形地覆盖有 p 型半导体的金属超细结构。还指出了超细结构 306 与光敏吸收体层 204 的部分 302 之间 p-n 结 220 的部分 336。电场 218 的一部分经参考标号 316 指示,根据光伏领域的技术人员将已知的原理,该电场部分 316 基本上从单个超细结构 306 “向外”朝光敏吸收体层 204 的块部分 302 引导。换言之,电场部分 316 基本上从单个超细结构 306 “向外”指,并且朝向光敏吸收体层 204 的块部分 302。

[0037] 在 OWE 层 304(206)上入射至少一部分的光能通量 308 继续到光敏吸收体层 302(204),在吸收体层中,它促使生成电子空穴对。光能通量 350 允许入射到衬底 334(208)上(该衬底 334 已配置为充当 OWE 层)并且也促使在光敏吸收体层 302(304)内生成电子空穴对的 PV 电池的双面实施例在本发明的范围内。衬底 208 实现 PV 电池的此类“双面”实施例要求的特定属性已在前面讨论。

[0038] 根据上述内容,光生电子和空穴在光敏吸收体层 302(204)内产生。光生电子空穴对的一个实例经参考标号 310 示出,电子空穴对 310 的空穴 314 在电场 316 的作用下向用于收集的单个超细结构 306 漂移。类似地,电子空穴对 310 的电子 312 在电场 316 的作用下向用于收集的第一 OWE 层 304(206)漂移。(电子 312 和空穴 314 的漂移方向分别经参考标号 318 和 320 示出。相当概括地说,空穴向超细结构 306(202)和电子向第一 OWE 层漂移的一般方向分别由参考标号 322 和 324 示出。)示出位于衬底 208 的部分 334 与光敏吸收体层 204 的部分 302 之间的介电层 232 的部分 332。基于本文中的讨论,本领域技术人员现在可理解,实际上,超细结构 306(并且相当概括地说,多个超细结构 202)由于它收集空穴,

因此用作连接到 PV 电池 200 的外部电力负载（未示出）的正电极。本领域技术人员现在也可认识到，相当概括地说，多个超细结构 202 收集由于光敏吸收体层 302 (204) 内生成的光生电子空穴对而产生的光电流的部分。（光电流是由于例如分别为类型 312 和 314 的光生电子和空穴而产生的电流的总计。）可理解的是，相当概括地说，PV 电池实施例，PV 电池生成的输出电流包括多个超细结构 202 内生成的光电流和光敏吸收体层 204 内生成的光电流。本领域技术人员还将理解，第一 OWE 层 304 (206) 由于收集电子，因此也用作连接到 PV 电池 200 的外部电力负载（未示出）的负电极。

[0039] 如在图 2、3 和 4 所示本发明的实施例的上下文中所讨论的，多个超细结构 202 嵌在光敏吸收体层 204 内。注意，本发明的实施例内的光电流生成主要发生在光敏吸收体层内，而多个超细结构 202 用于提取至少一部分光电流。（然而，发明人认识到，光电流生成也可能在多个超细结构 202 内发生。然而，可能的是，基本上相当大部分的光电流生成发生在光敏吸收体层 204 内。）设想多个超细结构 202 的各个超细结构之间的典型间距可有利地是至少大约 p-n 结 220 的耗尽长度标度 (depletion length scale) 的两倍。此类间距将可能导致各个超细结构周围的对应于各个超细结构的耗尽区内电场的重叠的减小。

[0040] 注意，在本文中公开的本发明的实施例内，层 204 充当光敏吸收体层，其中发生了相当大部分的光电流生成，并且在层 204 内嵌有多个超细结构 202。同样注意，在本文中公开的本发明的实施例内，多个超细结构用于收集主要在层 204 内生成的光生空穴。

[0041] 开路电压“ V_{oc} ”和短路电流密度“ J_{sc} ”均是基于其可评估 PV 电池的性能的标准质量因数之一。本发明的实施例包括含有（例如，类型 204 的）光敏吸收体层的（例如，类型 200 的）PV 电池，所述 PV 电池可能能够生成高达大约 1.05 伏的开路电压“ V_{oc} ”。本发明的更多特定实施例包括含有（例如，类型 204 的）光敏吸收体层的（例如，类型 200 的）PV 电池，所述 PV 电池可能能够生成高达大约 0.03 安培/cm² 的短路电流密度“ J_{sc} ”。由于 V_{oc} 和 J_{sc} 的可实现值的此类范围，设想到根据本发明的实施例的 PV 电池可以能够实现基本上超过大约 16.5% 的转换效率（对于光能到电能的转换）。由于 V_{oc} 和 J_{sc} 的可实现值的此类范围，还设想到根据本发明的更多特定 PV 电池实施例可以能够实现超过大约 20% 的转换效率。

[0042] 在本发明的一个实施例中，多个超细结构 202 包括具有半导体间隙的材料，该间隙基本上大于从其包括光敏吸收体层 204 的 n 型 CdTe 的半导体带隙。在本发明的一个实施例中，多个超细结构 202 包括具有半导体间隙的材料，该间隙基本上等于从其包括光敏吸收体层 204 的 n 型 CdTe 的半导体带隙。此外，如前面所述，多个超细结构 202 包括至少一个 p 型半导体。在本发明的一个实施例中，光敏吸收体层 204 内的载流子密度在从大约 10¹⁵/cm³ 到大约 10¹⁷/cm³ 的范围内。在本发明的一个实施例中，多个超细结构 202 内的载流子密度在从大约 10¹⁷/cm³ 到大约 10²⁰/cm³ 的范围内。

[0043] 在本发明的一个实施例中，第一 OWE 层 206 包括透明传导氧化层。在本发明的更多特定实施例中，第一 OWE 层 206 可包括一个或多个 n 型掺杂物。透明传导氧化物的非限制性示例包括氧化铟锡 (ITO)、氧化铟锌 (IZO)、氧化铝锌 (AZO)、非晶氧化锌 (aZO)、锡酸镉 (Cd₂SnO₄)、氧化锌 (ZnO)、氧化锡 (SnO₂)、氧化铟 (In₂O₃)、氧化镉锡、氟化的氧化锡及其组合。本发明的更多特定实施例包括含有 n 型半导体的第一 OWE 层。n 型半导体的非限制性示例包括硫化镉 (CdS)、碲化锌 (ZnTe)、硒化锌 (ZnSe)、硒化镉 (CdSe)、硫化锌 (ZnS)、硒化

铟 (In_2Se_3) 或硫化铟 (In_2S_3) 及其组合。

[0044] 在本发明的一个实施例中,多个超细结构 202 包括锗、硅、碲化镉、砷化镓、砷化铟、碲化镉汞 (mercury cadmium telluride) 或碲化锌。在本发明的一个实施例中,多个超细结构 202 的至少一部分包括含有至少一个纳米线或至少一个纳米管或至少一个量子线或至少一个量子点或至少一个纳米壁的结构。具体而言,多个超细结构 202 的各个超细结构可形成为量子点的“柱”或“带”。在本发明的一个实施例中,多个超细结构的至少一部分的至少一个物理尺寸小于大约 1 微米。在本发明的更多特定实施例中,多个超细结构的至少一部分的至少一个物理尺寸小于大约 500 纳米。在本发明的更多特定实施例中,多个超细结构的至少一部分的至少一个物理尺寸小于大约 200 纳米。在本发明的更多特定实施例中,多个超细结构的至少一部分的至少一个物理尺寸小于大约 100 纳米。

[0045] 鉴于本文中的讨论,可理解的是,相当概括地说,本发明的实施例包括发电系统(例如,类型 200 的 PV 电池),该系统包括具有第一类型的掺杂的多个(例如,类型 202 的)半导体超细结构,嵌在包括具有第二类型的掺杂的 CdTe 的(例如,类型 204 的)光敏吸收体层内。在本发明的一个实施例中,第一类型的掺杂包括 p 型掺杂。在本发明的另一个实施例中,第二类型的掺杂包括 n 型掺杂。p 和 n 型掺杂能够根据光伏领域的技术人员将已知的原理,分别经 p 和 n 型掺杂物实现。p 型掺杂物的非限制性示例包括硼和铝。n 型掺杂物的非限制性示例包括磷、砷和锑。注意,p 和 n 型掺杂物在本领域中是公知的。

[0046] 鉴于本文中的讨论,可理解的是,本发明的实施例包括(例如,类型 200 的)太阳能电池,其包括(例如,类型 206 的)OWE 层、在包括 n 型 CdTe 的光敏吸收体层内且大致沿(例如,类型 224 的)其厚度方向嵌入的包括 p 型半导体的多个超细结构(例如,类型 202 的超细结构)及包括金属的(例如,类型 208 的)电极层。在本发明的特定实施例中,p 型半导体包括 p 型 CdTe。在本发明的更多特定实施例中,包括 p 型半导体的多个超细结构与包括 n 型 CdTe 的光敏吸收体层之间的(例如,类型 220 的)p-n 结是同质结。

[0047] 鉴于本文中的讨论,可理解的是,本发明的实施例包括(例如,类型 200 的)PV 电池,其包括(例如,类型 206 的)OWE 层、在包括 n 型 CdTe 的(例如,类型 204 的)光敏吸收体层内且大致沿(例如,类型 224 的)其厚度方向嵌入的包括 p 型半导体的多个(例如,类型 202 的)超细结构、与多个超细结构的至少一部分电接触的包括金属的(例如,类型 208 的)电极层及光敏吸收体层与电极层之间的(例如,类型 232 的)介电层。

[0048] 鉴于本文中的讨论,现在可理解,相当概括地说,本发明的实施例包括 PV 电池(在结构上类似于 PV 电池 200),其包括嵌在包括 n 型化合物半导体的光敏吸收体层(在结构上类似于光敏吸收体层 204)内的多个(例如,类型 202 的)超细结构。化合物半导体的非限制性示例包括砷化铟、砷化镓、磷化铟、硫化铟铜和铜铟硒化镓。化合物半导体能具有从由单晶、多晶及其组合组成的组中选择的物理形态。

[0049] 图 5 是根据本发明的一个实施例的 PV 模块 400 的示意图示。PV 模块 400 包括至少一个 PV 电池 402,其包括嵌在包括 n 型化合物半导体的(例如,类型 204 的)光敏吸收体层内的多个(例如,类型 202 的)超细结构。PV 模块 400 还包括布置成引导光能通量 406 入射到例如 PV 电池 402 的(例如,类型 206 的)OWE 层上的辐射(即,光能通量)集中器 404。辐射集中器的构造和操作的原理将是本领域技术人员已知的。包括能够按照高达大约 500 倍来集中入射辐射的(例如,类型 404 的)辐射集中器的(例如,类型 400 的)PV 模

块在本发明的范围内。本发明的特定实施例包括其中（例如，类型 204 的）光敏吸收体层基本上是单晶的 PV 电池。本发明的特定实施例包括其中多个（例如，类型 202 的）超细结构包括 p 型半导体的 PV 电池。PV 模块的更多特定实施例包括其中化合物半导体包括砷化镓的 PV 模块。

[0050] 图 6 是根据本发明的一个实施例的 PV 系统 500 的示意图示。PV 系统 500 包括至少一个（例如，类型 400 的）PV 模块 502。每个 PV 模块 502 包括至少一个 PV 电池 504，其包括嵌在包括 n 型化合物半导体的（例如，类型 204 的）光敏吸收体层内的多个（例如，类型 202 的）超细结构。每个 PV 模块 502 还包括布置成引导光能通量 508 入射到例如对应 PV 电池的（例如，类型 206 的）OWE 层上的辐射集中器 506。PV 系统 500 可还包括为保护 PV 系统 500、防止非期望发热而配备的热管理系统 510，该热管理系统 510 与至少一个 PV 模块 502 进行热通信 522。热管理系统的构造和操作的原理将是本领域技术人员已知的。其中热管理系统 510 包括沿一个或多个 PV 电池 504 的周边布置的金属带 516 的实施例在本发明的范围内。

[0051] 包括至少与 PV 模块 502 和 / 或热管理系统 510 进行电和机械通信 526 的跟踪系统 524 的（例如，类型 500 的）PV 系统在本发明的范围内。要指出的是，即使在图 5 中，跟踪系统 524 示为与 PV 模块 502 及热管理系统 510 处于电和机械通信 526 中，本发明的更多特定实施例也包括仅与 PV 模块 502 或仅与热管理系统 510 处于电和机械通信中的跟踪系统。跟踪系统 524 配置成动态定向系统以接收诸如太阳等移动光源发射的光能通量。包括沿东西方向 518 布置的长轴 512 的 PV 系统在本发明的范围内。本发明的更多特定实施例包括至少两个（例如，类型 400 的）PV 模块。其中至少两个 PV 模块在空间中排列以使得它们大致位于相同的平面中、它们的各个（例如，类型 520 的）长轴大致相互平行对齐的实施例在本发明的范围内。其中至少两个（例如，类型 400 的）PV 模块的每个模块在空间中排列以使得它们大致位于相同的平面中、它们的各个（例如，类型 520 的）长轴大致与东西方向 518 平行地对齐的实施例也在本发明的范围内。

[0052] 图 7 是根据本发明的一个实施例的电力网 600 的示意图示。电力网 600 包括至少一个（例如，类型 500 的）PV 系统 602。每个 PV 系统 602 包括至少一个（例如，类型 400 的）PV 模块。每个 PV 模块包括至少一个（例如，类型 200 的）PV 电池，PV 电池包括嵌在包括 n 型化合物半导体的（例如，类型 204 的）光敏吸收体层内的多个（例如，类型 202 的）超细结构。每个 PV 模块还包括布置成引导光能通量入射到例如对应 PV 电池的（例如，类型 206 的）OWE 层上的辐射集中器。辐射集中器的构造和操作的原理将是本领域技术人员已知的。每个 PV 系统 602 还包括为保护对应 PV 系统、防止非期望发热而配备的热管理系统。热管理系统的构造和操作的原理将是本领域技术人员已知的。电力网 600 还包括配电系统 614。配电系统的构造和操作的原理将是本领域技术人员已知的。配电系统 614 服务于最终用户社区 616 的电力要求。

[0053] 虽然本发明已结合仅有有限数量的实施例来详细描述，但应容易理解，本发明并不限于此类公开的实施例。相反，本发明能进行修改以合并前面未描述的但与本发明的精神和范围相称的任何数量的变化、改变、替代或等效安排。另外，虽然已描述本发明的各种实施例，但要理解，本发明的方面可只包括一些所述实施例。相应地，本发明不可视为受以上描述限制，而只受随附权利要求的范围限制。

- [0054] 作为新的所要求权利的并期望受到美国专利特许证保护的是：
- [0055] 要素列表
- [0056] 100 常规 PV 电池的一部分的示意图示
- [0057] 102 PV 电池 100 的吸收体层
- [0058] 104 PV 电池 100 的光学窗口层
- [0059] 106 PV 电池 100 的电极层
- [0060] 108 光能通量
- [0061] 110 电场
- [0062] 112 p-n 结
- [0063] 114 电子空穴对
- [0064] 116 电子空穴对 114 的电子
- [0065] 118 电子空穴对 114 的空穴
- [0066] 200 包括 CdTe 光敏吸收体层的 PV 电池的示意图示
- [0067] 202 多个超细结构
- [0068] 204 光敏吸收体 n 型 CdTe 层
- [0069] 206 PV 电池 200 的第一光学窗口电极 (OWE) 层
- [0070] 208 衬底
- [0071] 210 PV 电池 200 的部分
- [0072] 218 电场
- [0073] 220 p-n 结
- [0074] 222 纵轴
- [0075] 224 厚度方向
- [0076] 226 块部分
- [0077] 232 介电层
- [0078] 240 多个金属超细结构
- [0079] 242 p 型半导体的共形覆盖层
- [0080] 244 衬底
- [0081] 300 大致是 PV 电池 200 的一部分 210 的示意图示
- [0082] 302 光敏 n 型 CdTe 层 204 的部分
- [0083] 304 OWE 层 206 的部分
- [0084] 306 多个超细结构 202 的单个超细结构
- [0085] 308 光能通量
- [0086] 310 电子空穴对
- [0087] 312 电子空穴对 310 的电子
- [0088] 314 电子空穴对 310 的空穴
- [0089] 316 电场 218 的部分
- [0090] 318 电子 312 漂移的一般方向
- [0091] 320 空穴 314 漂移的一般方向
- [0092] 322 电子漂移的一般方向

-
- [0093] 324 空穴漂移的一般方向
 - [0094] 332 介电层 232 的部分
 - [0095] 334 衬底 208 的部分
 - [0096] 336 p-n 结 220 的部分
 - [0097] 350 光能通量
 - [0098] 400 PV 模块
 - [0099] 402 至少一个 PV 电池
 - [0100] 404 辐射集中器
 - [0101] 406 光能通量
 - [0102] 500 PV 系统
 - [0103] 502 至少一个 PV 模块
 - [0104] 504 至少一个 PV 电池
 - [0105] 506 辐射集中器
 - [0106] 508 光能通量
 - [0107] 510 热管理系统
 - [0108] 512 PV 系统 500 的长轴
 - [0109] 514 PV 电池 504 的周边
 - [0110] 516 金属带
 - [0111] 518 东西方向
 - [0112] 520 PV 模块的长轴
 - [0113] 522 热通信
 - [0114] 524 跟踪系统
 - [0115] 526 电和机械通信
 - [0116] 600 电力网
 - [0117] 602 至少一个 PV 系统
 - [0118] 614 配电系统
 - [0119] 616 最终用户社区

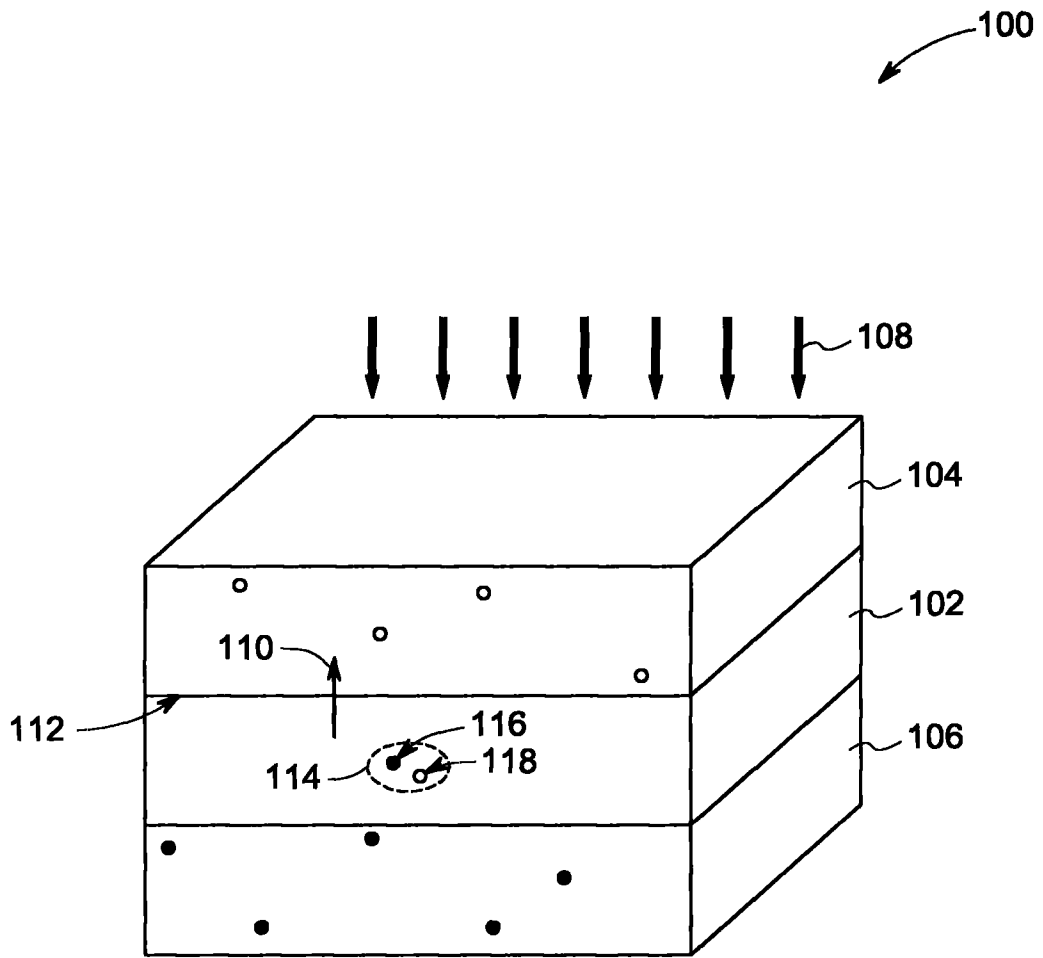


图 1

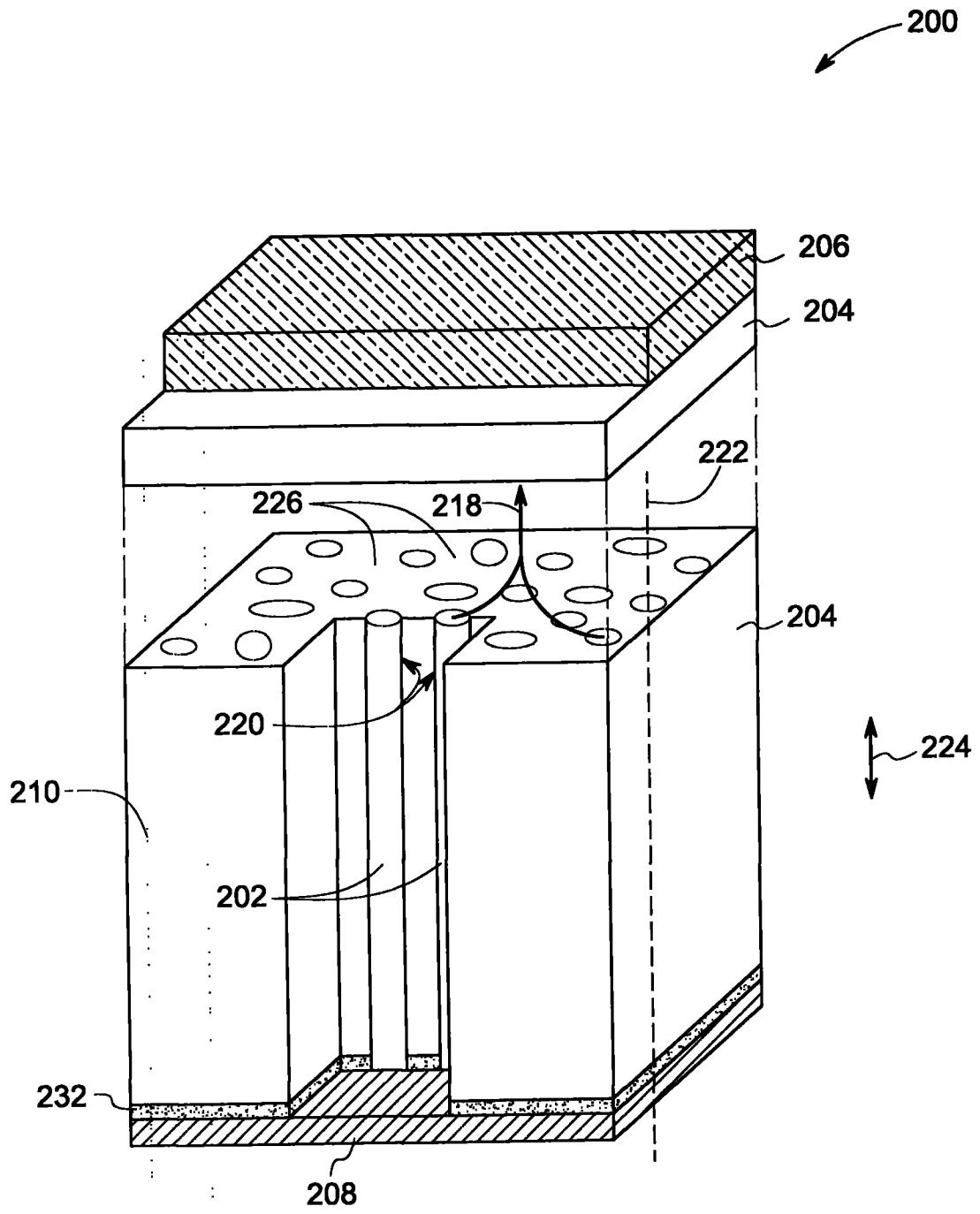


图 2

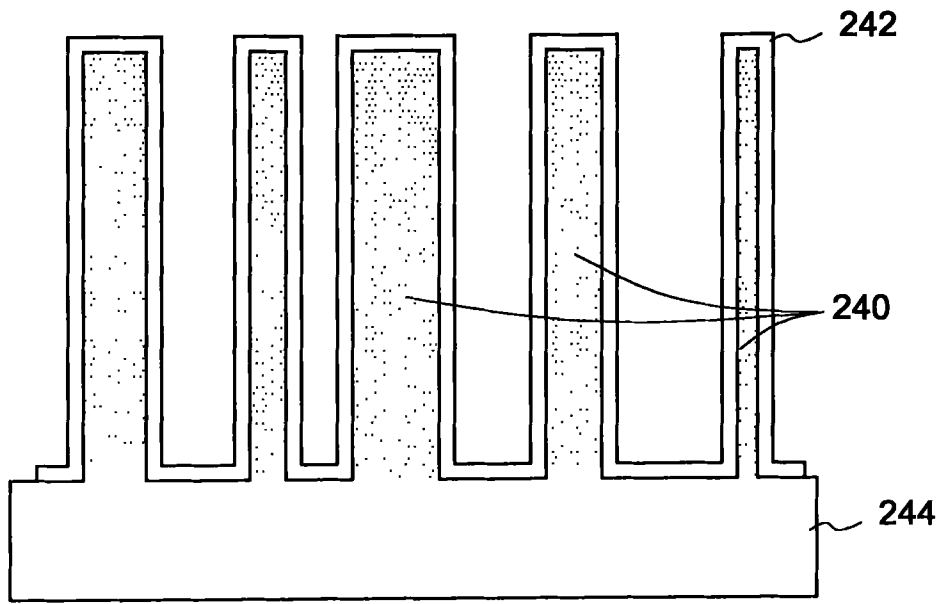


图 3

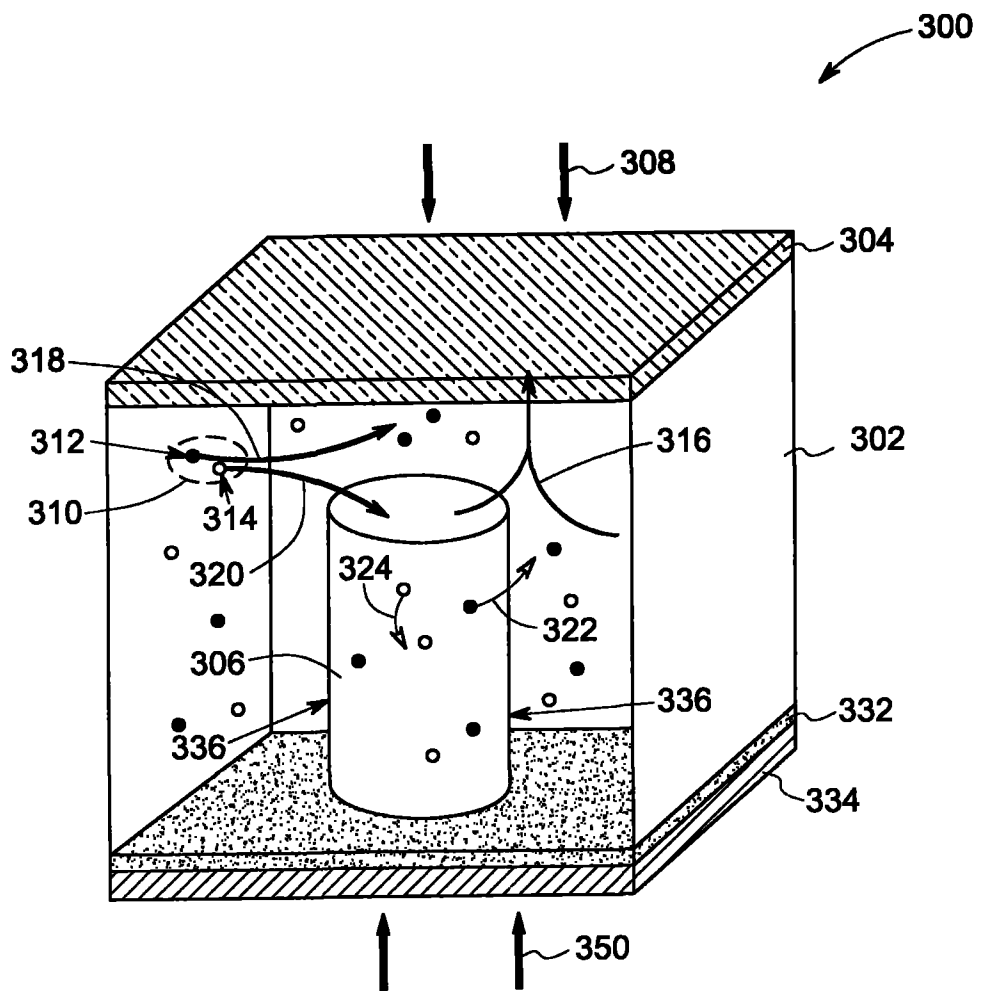


图 4

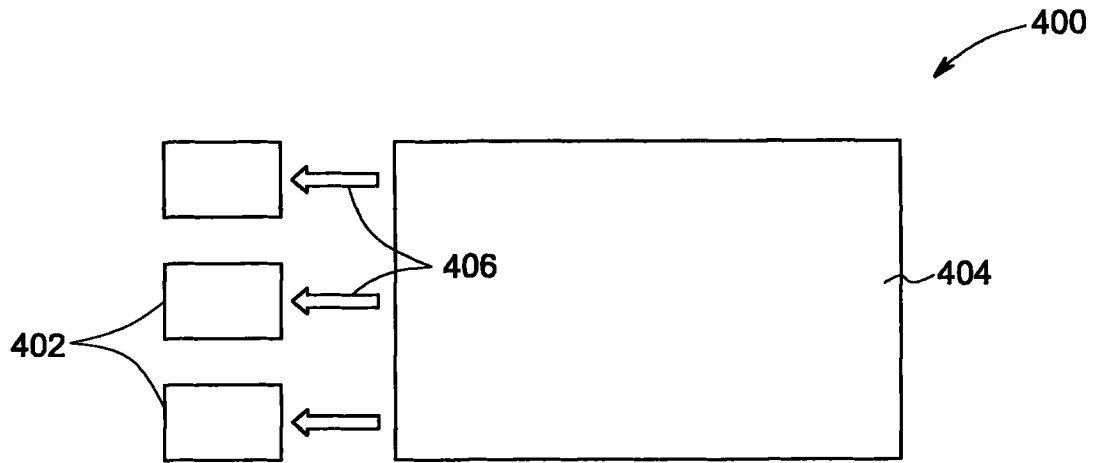


图 5

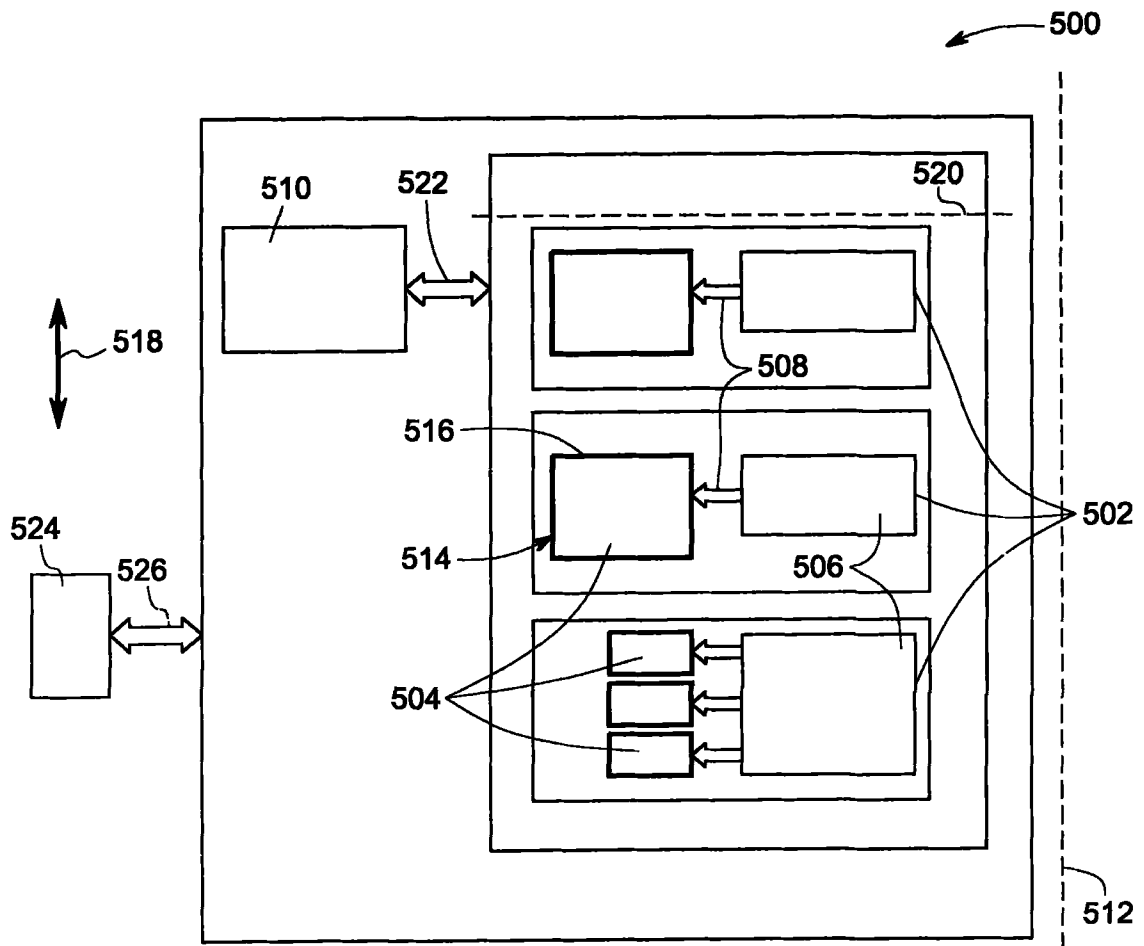


图 6

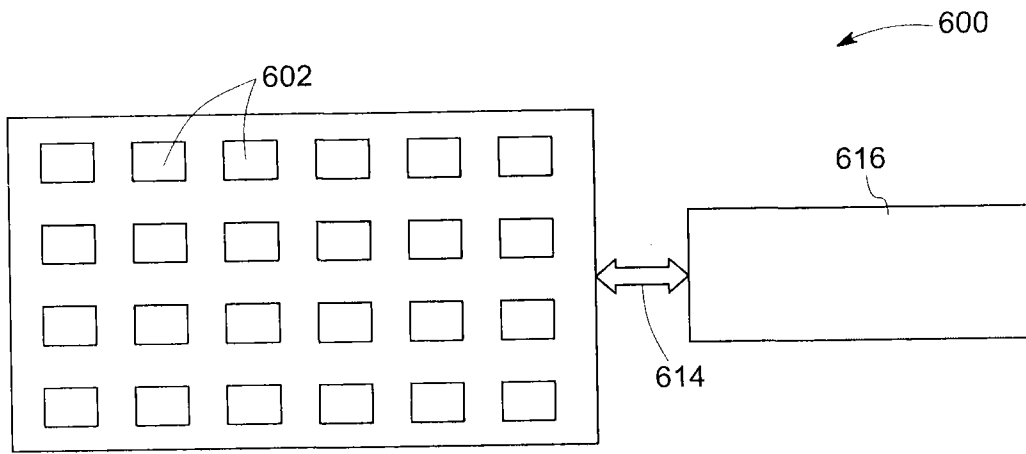


图 7