



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115602738 A

(43) 申请公布日 2023. 01. 13

(21) 申请号 202211350365.8

(22) 申请日 2022.10.31

(71) 申请人 隆基绿能科技股份有限公司
地址 710100 陕西省西安市长安区航天中路388号

(72) 发明人 吴兆

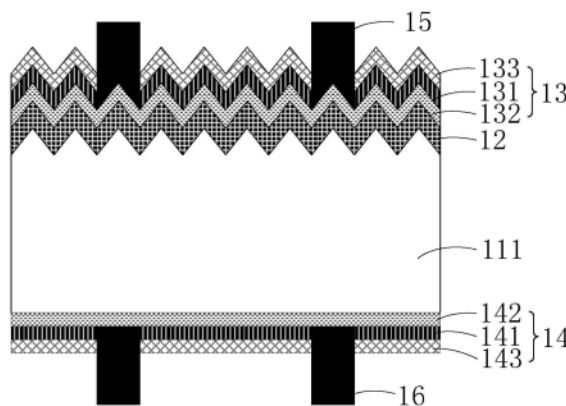
(74) 专利代理机构 北京知迪知识产权代理有限公司 11628
专利代理师 梁佳美

(51) Int. Cl.
H01L 31/0216 (2014.01)
H01L 31/042 (2014.01)

权利要求书1页 说明书12页 附图2页

(54) 发明名称
一种太阳能电池及光伏组件

(57) 摘要
本发明公开了一种太阳能电池及光伏组件，涉及太阳能电池技术领域，用于改善太阳能电池的短波响应，提升太阳能电池的光电转换效率。所述太阳能电池包括：半导体基底以及第二光吸收层。半导体基底包括第一光吸收层。第二光吸收层形成在第一光吸收层具有的向光面上。第二光吸收层的材料为直接带隙材料、且直接带隙材料的短波吸收系数大于或等于第一光吸收层的材料的短波吸收系数。所述太阳能电池应用于所述光伏组件中。



1. 一种太阳能电池,其特征在于,包括:
半导体基底;所述半导体基底包括第一光吸收层;
以及第二光吸收层,形成在所述第一光吸收层具有的向光面上;所述第二光吸收层的材料为直接带隙材料、且所述直接带隙材料的短波吸收系数大于或等于所述第一光吸收层的材料的短波吸收系数。
2. 根据权利要求1所述的太阳能电池,其特征在于,所述直接带隙材料的带隙大于或等于所述第一光吸收层的材料的带隙、且小于或等于2.5eV。
3. 根据权利要求1所述的太阳能电池,其特征在于,所述第一光吸收层的材料为硅;所述直接带隙材料的带隙大于或等于0.8eV、且小于或等于2.5eV。
4. 根据权利要求1所述的太阳能电池,其特征在于,所述第一光吸收层和所述第二光吸收层中的至少一者为本征层。
5. 根据权利要求1所述的太阳能电池,其特征在于,所述第一光吸收层和所述第二光吸收层均为P型掺杂层;或,
所述第一光吸收层和所述第二光吸收层均为N型掺杂层。
6. 根据权利要求5所述的太阳能电池,其特征在于,所述第二光吸收层内杂质的掺杂浓度大于或等于所述第一光吸收层内杂质的掺杂浓度。
7. 根据权利要求1所述的太阳能电池,其特征在于,所述直接带隙材料为硅直接带隙相材料、硅锗直接带隙相材料、硅锡直接带隙相材料、锡锗直接带隙相材料或砷化镓。
8. 根据权利要求7所述的太阳能电池,其特征在于,所述硅直接带隙相材料的晶向包括:oF16-Si相、tP16-Si相、oC12-Si相、mC12-Si相、C2/c-Si相、I4/mcm-Si相、P21/m-Si相和P4/mbm-Si相;或,
所述硅锗直接带隙相材料为应变 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, $0 \leq x \leq 0.25$;或,
所述硅锡直接带隙相材料为 $\text{Si}_{1-y}\text{Sn}_y$, $0.9 \leq y \leq 1$;或,
所述锡锗直接带隙相材料为 $\text{Sn}_{1-z}\text{Ge}_z$, $0 \leq z \leq 0.45$ 。
9. 根据权利要求1~8任一项所述的太阳能电池,其特征在于,所述第二光吸收层的厚度为5nm至50nm。
10. 根据权利要求1~8任一项所述的太阳能电池,其特征在于,所述太阳能电池还包括第一功能层;所述第一功能层形成在所述第二光吸收层背离所述第一光吸收层的一面上,所述第一功能层包括第一表面钝化层、第一载流子选择性层和第一减反射层中的至少一种;和/或,
所述太阳能电池还包括第二功能层;所述第二功能层形成在所述第一光吸收层背离所述第二光吸收层的一面上,所述第二功能层包括第二表面钝化层、第二载流子选择性层和第二减反射层中的至少一种。
11. 一种光伏组件,其特征在于,包括如权利要求1~10任一项所述的太阳能电池。

一种太阳能电池及光伏组件

技术领域

[0001] 本发明涉及太阳能电池技术领域,尤其涉及一种太阳能电池及光伏组件。

背景技术

[0002] 太阳能作为一种环保可再生能源,近些年受到了越来越多的关注。相应的,基于光电效应的光伏太阳能电池的应用范围也越来越广。

[0003] 但是,现有的太阳能电池的短波响应较差,导致太阳能电池的光电转换效率偏低。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种太阳能电池及光伏组件,用于改善太阳能电池的短波响应,提升太阳能电池的光电转换效率。

[0005] 第一方面,本发明提供了一种太阳能电池。该太阳能电池包括:半导体基底以及第二光吸收层。半导体基底包括第一光吸收层。第二光吸收层形成在第一光吸收层具有的向光面上。第二光吸收层的材料为直接带隙材料、且直接带隙材料的短波吸收系数大于或等于第一光吸收层的材料的短波吸收系数。

[0006] 采用上述技术方案的情况下,本发明提供的太阳能电池中,第一光吸收层具有的向光面上形成有第二光吸收层。基于此,在太阳能电池处于工作状态时,入射光可以由第二光吸收层背离第一光吸收层的表面依次透射至第二光吸收层内和第一光吸收层内。并且,第二光吸收层的材料为直接带隙材料。基于此,与间接带隙材料相比,直接带隙材料具有相对较高的发光复合概率、以及相对较低的俄歇复合速率。并且,发光复合存在一定程度的光子循环利用,使得其对太阳能电池的光电转换效率的损失相对较小。而俄歇复合所释放的能量完全转变为晶体振动热能,使得其对太阳能电池的光电转换效率的损失相对较大。在此情况下,当上述直接带隙材料的短波吸收系数大于或等于第一光吸收层的材料的短波吸收系数时,入射光虽然也会在第二光吸收层的向光面产生高浓度的非平衡载流子,但是因直接带隙材料具有较高的发光复合概率,使得第二光吸收层内的非平衡载流子大多以发光复合的方式发生复合,其复合后所发射的光子能量可以至少部分重新被价带电子吸收使其跃迁到导带,完成新一轮的激发。如此循环往复,通过逐步向下的光子循环传递过程,从而实现了在太阳能电池处于工作状态时,第二光吸收层吸收光子后产生的高浓度非平衡载流子中的大多数以相对较慢的传输速度逐步向下传输至第一光吸收层的向光面,防止因在第一光吸收层的向光面堆积了高浓度的非平衡载流子而使得这些非平衡载流子大多发生俄歇复合导致能量损失较大,进而可以改善太阳能电池的短波响应,提升太阳能电池的光电转换效率。

[0007] 作为一种可能的实现方式,上述直接带隙材料的带隙大于或等于第一光吸收层的材料的带隙、且小于或等于2.5eV。

[0008] 采用上述技术方案的情况下,光子能量大于或等于材料带隙宽度的情况下,该种材料制成的光吸收层在吸收了该光子后才可以产生电子和空穴对。基于此,第二光吸收层

内非平衡载流子通过发光复合后所释放的光子能量大于或等于直接带隙材料的带隙,因此在直接带隙材料的带隙大于或等于第一光吸收层的材料的带隙时,可以确保第二光吸收层内非平衡载流子通过发光复合后所释放的光子能量可以部分用于激发第一光吸收层内的基态电子和空穴,确保该部分能量可以被第一光吸收层重新利用,进一步提升太阳能电池的光电转换效率。另外,直接带隙材料的带隙小于或等于2.5eV可以使得波长相对较长的入射光可以经第二光吸收层透射至第一光吸收层内,并被第一光吸收层所利用,以通过第一光吸收层和第二光吸收层这两个膜层实现太阳能电池可以利用太阳光的波长范围更广,进一步提升太阳能电池的光电转换效率。

[0009] 作为一种可能的实现方式,上述第一光吸收层的材料为硅。在此情况下,直接带隙材料的带隙大于或等于0.8eV、且小于或等于2.5eV。

[0010] 采用上述技术方案的情况下,硅材料的带隙为1.1eV。基于此,当直接带隙材料的带隙大于或等于0.8eV、且小于1.1eV时,直接带隙材料的带隙略小于硅材料的带隙,可以防止因第二光吸收层的带隙过窄使得第二光吸收层的空穴准费米能级高于第一光吸收层的空穴准费米能级而导致光生少子反而进入到第二光吸收层内,确保光生少子能够被有效的收集和导出,进一步提升太阳能电池的光电转换效率。另外,该情况下,直接带隙材料的带隙大于或等于1.1eV、且小于或等于2.5eV具有的有益效果可以参考前文所述的直接带隙材料的带隙大于或等于第一光吸收层的材料的带隙、且小于或等于2.5eV的有益效果分析,此处不再赘述。

[0011] 作为一种可能的实现方式,上述第一光吸收层和第二光吸收层中的至少一者为本征层。

[0012] 采用上述技术方案的情况下,因PN结对电子和空穴对的分离能力相对较强,可以加速电子和空穴的传输速率。基于此,故当第一光吸收层和第二光吸收层中的一者为本征层时,可以在防止因第一光吸收层和第二光吸收层之间形成PN结使得第二光吸收层吸收光子后产生的高浓度非平衡载流子以相对较快的速度传输至第一光吸收层的表面而导致第一光吸收层向光面堆积高浓度的非平衡载流子,降低第一光吸收层向光面处非平衡载流子的俄歇复合速率,确保太阳能电池具有较高的光电转换效率。

[0013] 作为一种可能的实现方式,上述第一光吸收层和第二光吸收层均为P型掺杂层。

[0014] 采用上述技术方案的情况下,如前文所述,因PN结对电子和空穴对的分离能力相对较强,可以加速电子和空穴的传输速率。基于此,故当第一光吸收层和第二光吸收层内杂质的掺杂类型相同,可以在防止因第一光吸收层和第二光吸收层之间形成PN结而导致第一光吸收层向光面堆积高浓度的非平衡载流子,降低第一光吸收层向光面处非平衡载流子的俄歇复合速率的同时,第一光吸收层和第二光吸收层内掺杂有导电杂质,还可以降低第一光吸收层和第二光吸收层的电阻率,便于载流子在第一光吸收层和第二光吸收层内传输,进一步提升太阳能电池的光电转换效率。

[0015] 作为一种可能的实现方式,上述第一光吸收层和第二光吸收层均为N型掺杂层。该情况下具有的有益效果可以参考前文所述的第一光吸收层和第二光吸收层均为P型掺杂层的有益效果分析,此处不再赘述。

[0016] 作为一种可能的实现方式,在第一光吸收层和第二光吸收层均为P型掺杂层,或者第一光吸收层和第二光吸收层均为N型掺杂层的情况下,第二光吸收层内杂质的掺杂浓度

大于或等于第一光吸收层内杂质的掺杂浓度。在此情况下,当第二光吸收层内杂质的掺杂浓度大于第一光吸收层内杂质的掺杂浓度时,第一光吸收层和第二光吸收层之间可以形成高低结。在该高低结的内建电场下可以提高第二光吸收层内非平衡载流子的传输速率,提高载流子的收集和导出的效率。另外,因高低结的内建电场方向是由高杂质浓度区指向低杂质浓度区,从而可以防止光生少子进入到高杂质浓度的第二光吸收层内,利于光生少子的收集和导出。再者,与PN结相比,高低结的载流子分离能力相对较弱,并且,当第二光吸收层内杂质的掺杂浓度等于第一光吸收层内杂质的掺杂浓度时,第一光吸收层和第二光吸收层之间不存在像PN结或高低结的内建电场,因此当第二光吸收层内杂质的掺杂浓度大于或等于第一光吸收层内杂质的掺杂浓度时,还可以抑制第二光吸收层内非平衡载流子以相对较快的速度传导至第一光吸收层的向光面,而导致该表面有大量非平衡载流子堆积,抑制第一光吸收层向光面处俄歇复合速率,确保太阳能电池具有相对较高的光电转换效率。

[0017] 作为一种可能的实现方式,上述直接带隙材料为硅直接带隙相材料、硅锗直接带隙相材料、硅锡直接带隙相材料、锡锗直接带隙相材料或砷化镓。在此情况下,上述直接带隙材料具有多种可选的种类,可以根据实际应用场景中第一光吸收层的材质等信息选择合适的直接带隙材料种类,提高本发明提供的太阳能电池在不同应用场景下的适用性。

[0018] 作为一种可能的实现方式,上述硅直接带隙相材料的晶向包括:oF16-Si相、tP16-Si相、oC12-Si相、mC12-Si相、C2/c-Si相、I4/mcm-Si相、P21/m-Si相和P4/mbm-Si相。在此情况下,上述硅直接带隙相材料的晶体结构可以具有上述oF16、tP16、oC12、mC12、C2/c、I4/mcm、P21/m和P4/mbm这些属于不同晶系的多种空间群。而具有不同空间群的硅直接带隙相材料可能具有不同的发光复合概率或导电性能,因此可以根据实际应用场景选择合适的空间群,提高本发明提供的太阳能电池在不同应用场景下的适用性。另外,还可以根据第一光吸收层的材料选择合适的空间群,以降低第一光吸收层与第二光吸收层之间的晶格失配程度,提高第二光吸收层的成膜质量,进而可以提高太阳能电池的工作性能。

[0019] 作为一种可能的实现方式,上述硅锗直接带隙相材料为应变 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, $0 \leq x \leq 0.25$ 。在此情况下,硅锗直接带隙相材料中硅元素和锗元素的化学计量比为大于等于0、且小于等于0.25的范围值,可以根据第一光吸收层的材料、以及实际应用场景的要求设置硅锗直接带隙相材料中硅元素和锗元素的化学计量比,提高本发明提供的太阳能电池在不同应用场景下的适用性。同时,还可以防止因硅锗直接带隙相材料中硅元素和锗元素的化学计量比为某一固定值,而必须严格要求形成第二光吸收层的各制备材料的比例和/或形成条件,降低太阳能电池的制造难度。另外,还可以根据第一光吸收层的材料选择合适的硅元素和锗元素的化学计量比,以降低第一光吸收层与第二光吸收层之间的晶格失配程度,提高第二光吸收层的成膜质量,进而可以提高太阳能电池的工作性能。

[0020] 作为一种可能的实现方式,上述硅锡直接带隙相材料为 $\text{Si}_{1-y}\text{Sn}_y$, $0.9 \leq y \leq 1$ 。该情况下具有的有益效果可以参考前文所述的上述硅锗直接带隙相材料为应变 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 的有益效果分析,此处不再赘述。

[0021] 作为一种可能的实现方式,上述锡锗直接带隙相材料为 $\text{Sn}_{1-z}\text{Ge}_z$, $0 \leq z \leq 0.45$ 。该情况下具有的有益效果可以参考前文所述的上述硅锗直接带隙相材料为应变 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 的有益效果分析,此处不再赘述。

[0022] 作为一种可能的实现方式,上述第二光吸收层的厚度为5nm至50nm。在此情况下,

第二光吸收层的厚度适中,可以防止因第二光吸收层的厚度较小使得第二光吸收层对入射光的吸收深度不足导致大部分入射光被第一光吸收层所利用,进而导致在第一光吸收层的向光面堆积了高浓度的非平衡载流子,因此可以降低第一光吸收层向光面处的俄歇复合概率,进一步改善太阳能电池的短波响应。同时,因直接带隙材料的晶向大多为亚稳态相,而较薄的厚度可以保持亚稳态相的稳定性,故将第二光吸收层的厚度设置为5nm至50nm还可以防止因第二光吸收层的厚度较大而导致在第一光吸收层上形成第二光吸收层时会因晶格失配导致应力等问题,降低太阳能电池的制造难度。

[0023] 作为一种可能的实现方式,上述太阳能电池还包括第一功能层。第一功能层形成在第二光吸收层背离第一光吸收层的一面上,第一功能层包括第一表面钝化层、第一载流子选择性层和第一减反射层中的至少一种。

[0024] 采用上述技术方案的情况下,上述第一功能层包括第一表面钝化层、第一载流子选择性层和第一减反射层中的至少一种。其中,第一表面钝化层可以对第二光吸收层背离第一光吸收层的一面进行钝化,降低载流子在该表面的复合速率。第一载流子选择性层可以实现相应载流子的选择性传输,加速载流子在第二光吸收层背离第一光吸收层一面处的分离速率,利于导出该类型载流子。另外,第一减反射层可以降低太阳能电池受光面对入射光的反射,可以使得更多的入射光可以透射至第二光吸收层和第一光吸收层内,提高太阳能电池对入射光的利用率。由上述内容可知,在太阳能电池还包括上述第一功能层时,可以进一步提高太阳能电池的光电转换效率。

[0025] 作为一种可能的实现方式,上述太阳能电池还包括第二功能层。第二功能层形成在第一光吸收层背离第二光吸收层的一面上,第二功能层包括第二表面钝化层、第二载流子选择性层和第二减反射层中的至少一种。该情况下具有的有益效果可以参考前文所述的第一功能层的有益效果分析,此处不再赘述。

[0026] 第二方面,本发明还提供了一种光伏组件。该光伏组件包括上述第一方面及其各种实现方式提供的太阳能电池。

[0027] 本发明中第二方面及其各种实现方式的有益效果,可以参考第一方面及其各种实现方式中的有益效果分析,此处不再赘述。

附图说明

[0028] 此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解,构成本发明的一部分,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0029] 图1为现有光电转换效率为26.3%的单节晶体硅电池对应的入射光波长和短波响应之间的关系图;

[0030] 图2中的(1)、(2)和(3)为本发明实施例中第一光吸收层的三种结构剖视示意图;

[0031] 图3为本发明实施例提供的一种太阳能电池的结构纵向剖视示意图;

[0032] 图4为本发明实施例提供的另一种太阳能电池的结构纵向剖视示意图。

[0033] 附图标记:11为半导体基底,111为第一光吸收层,112为第一掺杂半导体层,113为第二掺杂半导体层,12为第二光吸收层,13为第一功能层,131为第一表面钝化层,132为第一载流子选择性层,133为第一减反射层,14为第二功能层,141为第二表面钝化层,142为第二载流子选择性层,143为第二减反射层,15为第一电极,16为第二电极。

具体实施方式

[0034] 以下,将参照附图来描述本公开的实施例。但是应该理解,这些描述只是示例性的,而并非要限制本公开的范围。此外,在以下说明中,省略了对公知结构和技术的描述,以避免不必要地混淆本公开的概念。

[0035] 在附图中示出了根据本公开实施例的各种结构示意图。这些图并非是按比例绘制的,其中为了清楚表达的目的,放大了某些细节,并且可能省略了某些细节。图中所示出的各种区域、层的形状以及它们之间的相对大小、位置关系仅是示例性的,实际中可能由于制造公差或技术限制而有所偏差,并且本领域技术人员根据实际所需可以另外设计具有不同形状、大小、相对位置的区域/层。

[0036] 在本公开的上下文中,当将一层/元件称作位于另一层/元件“上”时,该层/元件可以直接位于该另一层/元件上,或者它们之间可以存在居中层/元件。另外,如果在一种朝向中一层/元件位于另一层/元件“上”,那么当调转朝向时,该层/元件可以位于该另一层/元件“下”。为了使本发明所要解决的技术问题、技术方案及有益效果更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0037] 此外,术语“第一”、“第二”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。在本发明的描述中,“多个”的含义是两个或两个以上,除非另有明确具体的限定。“若干”的含义是一个或一个以上,除非另有明确具体的限定。

[0038] 在本发明的描述中,需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0039] 太阳能作为一种环保可再生能源,近些年受到了越来越多的关注。相应的,基于光电效应的光伏太阳能电池的应用范围也越来越广。但是,现有的太阳能电池的短波响应较差,导致太阳能电池的光电转换效率偏低。以太阳光电池为晶体硅电池为例:图1为现有光电转换效率为26.3%的单节晶体硅电池对应的入射光波长和短波响应之间的关系图。如图1所示,在入射光波长在400nm及更短波段范围内,单节晶体硅电池的实际短波响应值明显低于其理想短波响应值。

[0040] 具体来说,Si、Ge、InP、CdTe、CdS等多种不同的半导体吸收材料的短波吸收系数较高。并且,非平衡载流子的产率G的计算公式为:

[0041] $G = \int_{\lambda} f(\lambda) \alpha(\lambda) e^{-\alpha x} dx$ (cm⁻³/s),其中, λ 为入射光波长, $f(\lambda)$ 为入射光强, α 为吸收系数, x 为入射厚度。

[0042] 可以理解的是, $x=0$ 的位置表示光入射表面,即太阳能电池包括的光吸收层的向光面。当 $x=0$ 时,非平衡载流子的产率G最大。并且,非平衡载流子的产率G越大,非平衡载流子浓度 Δn 与非平衡载流子浓度 Δp 也随之增大。相应的,吸收系数越大,入射光产生的载流子浓度越高。

[0043] 其次,N型半导体中发光复合速率 $R_{\lambda 1}$ 的计算公式为: $R_{\lambda 1} = B n_0 \Delta p$ (cm⁻³/s),其中,B

为电子-空穴复合概率(其为常数、与迁移距离等材料参数相关), n_0 为N型半导体中N型杂质的掺杂浓度。另外,N型半导体中俄歇复合速率 R_{Auger1} 的计算公式为: $R_{\text{Auger1}} = C_n n_0^2 \Delta p$ (cm⁻³/s),其中, C_n 为常数。

[0044] 同理,P型半导体中发光复合速率 $R_{\lambda_2} = B p_0 \Delta n$ (cm⁻³/s),其中, p_0 为P型半导体中P型杂质的掺杂浓度。P型半导体中俄歇复合速率 $R_{\text{Auger2}} = C_p p_0^2 \Delta n$ (cm⁻³/s),其中, C_p 为常数。

[0045] 从上述N型半导体和P型半导体中发光复合速率和俄歇复合速率的计算公式可以看出,入射光产生的载流子浓度越高,发光复合速率和俄歇复合速率越大。并且,因发光复合存在一定程度的光子循环利用,故发光复合对太阳能电池的光电转换效率所产生的损失相对较小。另外,因俄歇复合所释放的能量最终完全转换成晶体振动的热能,故俄歇复合对太阳能电池的光电转换效率所产生的损失相对较大。

[0046] 在上述内容的基础上,现有的太阳能电池中光吸收层的材质通常为硅、锗等间接带隙材料。该间接带隙材料对应的俄歇复合概率大于发光复合概率。并且,如前文所述,在太阳能电池包括的光吸收层的向光面处的非平衡载流子的产率G最大,因此太阳能电池包括的光吸收层的向光面处具有较高的复合速率。其中,俄歇复合占大多数,从而导致光子循环效率较低,进而使得太阳能电池的短波响应较差,导致太阳能电池的光电转换效率偏低。

[0047] 为了解决上述技术问题,本发明实施例提供了一种太阳能电池。其中,从正、负电极的相对位置方面来讲,如图3所示,本发明实施例提供的太阳能电池可以为双面接触电极,即太阳能电池包括的极性相反的第一电极15和第二电极16中的一者设置在太阳能电池的向光面一侧,另一者设置在太阳能电池的背光面一侧。或者,如图4所示,太阳能电池也可以为背接触电池,即太阳能电池包括的极性相反的第一电极15和第二电极16均设置在太阳能电池的背光面。从钝化方面来讲,本发明实施例提供的太阳能电池可以为未形成有钝化层的太阳能电池,也可以为形成有相应钝化层的太阳能电池。从具体的钝化方式方面来讲,当本发明实施例提供的太阳能电池为形成有相应钝化层的太阳能电池时,钝化层可以是形成在太阳能电池表面的钝化层,也可以是形成在相应载流子选择性层与相应光吸收层之间的钝化层。

[0048] 如图3和图4所示,本发明实施例提供的太阳能电池包括:半导体基底以及第二光吸收层12。半导体基底包括第一光吸收层111。第二光吸收层12形成在第一光吸收层111具有的向光面上。第二光吸收层12的材料为直接带隙材料、且直接带隙材料的短波吸收系数大于或等于第一光吸收层111的材料的短波吸收系数。

[0049] 具体来说,从材料方面来讲,上述半导体基底包括的第一光吸收层可以为硅、锗硅或锗等半导体材料,该半导体材料可以为间接带隙材料,也可以为直接带隙材料。从结构方面来讲,如图2中的(1)部分所示,上述半导体基底11包括的第一光吸收层111的向光面和背光面可以均为相对平坦的抛光面。或者,如图2中的(2)部分所示,上述第一光吸收层111的向光面可以为绒面,其背光面可以为抛光面。该情况下,如图3所示,在第一光吸收层111的向光面具有绒面结构时,形成在第一光吸收层111向光面上的第二光吸收层12,其向光面也会随着第一光吸收层111向光面的起伏而随之起伏。并且,绒面结构具有陷光作用,因此当第一光吸收层111和第二光吸收层12的向光面均为绒面时可以使得更多的光线折射至第一

光吸收层111和第二光吸收层12内,从而可以进一步提升太阳能电池的光电转换效率。同时,第一光吸收层111的背光面为平坦的抛光面,抛光面具有相对良好的反射特性,因此在光线达到第一光吸收层111的背光面后可以至少部分被反射回第一光吸收层111内,被第一光吸收层111(或第一光吸收层111和第二光吸收层12)重新利用,也能够提升太阳能电池的光电转换效率。当然,如图2中的(3)部分所示,上述第一光吸收层111的向光面和背光面还可以均为绒面。由此可见,第一光吸收层111的向光面和背光面的表面形貌具有多种可选的方案,可以根据实际应用场景下的要求选择合适的方案,从而提高本发明实施例提供的太阳能电池在不同应用场景下的适用性。

[0050] 对于上述第二光吸收层来说,因不同半导体吸收材料的短波吸收系数可能不同,因此用于制造第二光吸收层的直接带隙材料的种类可以根据第一光吸收层的材料种类进行确定,只要能够使得该直接带隙材料的短波吸收系数大于或等于第一光吸收层的材料的短波吸收系数均可。例如:该直接带隙材料可以为发光材料、且该发光材料的短波吸收系数大于或等于第一光吸收层的材料的短波吸收系数。

[0051] 另外,第二光吸收层的厚度等信息可以根据实际需求进行设置,此处不做具体限定。

[0052] 在一些情况下,本发明实施例提供的太阳能电池还包括第一电极和第二电极。其中,第一电极和第二电极中的一者为用于收集空穴的正电极、另一者为用于收集电子的负电极。如图3所示,当太阳能电池为双面接触太阳能电池时,第一电极15形成在第二光吸收层12的向光面一侧,第二电极16形成在第一光吸收层111的背光面一侧。又例如:如图4所示,当太阳能电池为背接触电池时,第一电极15和第二电极16交替间隔形成在第一光吸收层111的背光面一侧。

[0053] 另外,第一电极和第二电极的材料可以为银、铜、钨等导电材料。

[0054] 在实际的应用过程中,如图3和图4所示,当本发明实施例提供的太阳能电池处于工作状态时,入射光可以由第二光吸收层12背离第一光吸收层111的表面依次透射至第二光吸收层12内和第一光吸收层111内。并且,第二光吸收层12的材料为直接带隙材料。基于此,与间接带隙材料相比,直接带隙材料具有相对较高的发光复合概率、以及相对较低的俄歇复合速率。并且,发光复合存在一定程度的光子循环利用,使得其对太阳能电池的光电转换效率的损失相对较小。而俄歇复合所释放的能量完全转变为晶体振动热能,使得其对太阳能电池的光电转换效率的损失相对较大。在此情况下,当上述直接带隙材料的短波吸收系数大于或等于第一光吸收层111的材料的短波吸收系数时,入射光虽然也会在第二光吸收层12的向光面产生高浓度的非平衡载流子,但是因直接带隙材料具有较高的发光复合概率,使得第二光吸收层12内的非平衡载流子大多以发光复合的方式发生复合,其复合后所发射的光子能量可以至少部分重新被价带电子吸收使其跃迁到导带,完成新一轮的激发。如此循环往复,通过逐步向下的光子循环传递过程,从而实现了在太阳能电池处于工作状态时,第二光吸收层12吸收光子后产生的高浓度非平衡载流子中的大多数以相对较慢的传输速度逐步向下传输至第一光吸收层111的向光面,防止因在第一光吸收层111的向光面堆积了高浓度的非平衡载流子而使得这些非平衡载流子大多发生俄歇复合导致能量损失较大,进而可以改善太阳能电池的短波响应,提升太阳能电池的光电转换效率。

[0055] 作为一种可能的实现方式,上述直接带隙材料的带隙大于或等于第一光吸收层的

材料的带隙、且小于或等于2.5eV。

[0056] 示例性的,在第一光吸收层的材料为硅的情况下,上述制造第二光吸收层的直接带隙材料的带隙大于或等于1.1eV、且小于或等于2.5eV。例如:该直接带隙材料的带隙可以为1.1eV、1.4eV、1.7eV、2.0eV、2.3eV或2.5eV等。

[0057] 采用上述技术方案的情况下,光子能量大于或等于材料带隙宽度的情况下,该种材料制成的光吸收层在吸收了该光子后才可以产生电子和空穴对。基于此,第二光吸收层内非平衡载流子通过发光复合后所释放的光子能量大于或等于直接带隙材料的带隙,因此在直接带隙材料的带隙大于或等于第一光吸收层的材料的带隙时,可以确保第二光吸收层内非平衡载流子通过发光复合后所释放的光子能量可以部分用于激发第一光吸收层内的基态电子和空穴,确保该部分能量可以被第一光吸收层重新利用,进一步提升太阳能电池的光电转换效率。另外,直接带隙材料的带隙小于或等于2.5eV可以使得波长相对较长的入射光可以经第二光吸收层透射至第一光吸收层内,并被第一光吸收层所利用,以通过第一光吸收层和第二光吸收层这两个膜层实现太阳能电池可以利用太阳光的波长范围更广,进一步提升太阳能电池的光电转换效率。

[0058] 或者,上述直接带隙材料的带隙范围可以包括略小于第一光吸收层的材料的带隙范围,也包括上述大于或等于第一光吸收层的材料的带隙、且小于或等于2.5eV的带隙范围。在此情况下,当直接带隙材料的带隙略小于第一光吸收层的材料的带隙时,可以防止因第二光吸收层的带隙过窄使得第二光吸收层的空穴准费米能级高于第一光吸收层的空穴准费米能级而导致光生少子反而进入到第二光吸收层内,确保光生少子能够被有效的收集和导出,进一步提升太阳能电池的光电转换效率。另外,该情况下,直接带隙材料的带隙大于或等于第一光吸收层的材料的带隙、且小于或等于2.5eV的有益效果可以参考前文,此处不再赘述。

[0059] 其中,当直接带隙材料的带隙范围包括略小于第一光吸收层的材料的带隙范围时,上述略小于第一光吸收层的材料的带隙范围可以根据第一光吸收层的材料种类、以及实际需求进行设置,此处不做具体限定。

[0060] 示例性的,在上述第一光吸收层的材料为硅的情况下,直接带隙材料的带隙可以大于或等于0.8eV、且小于或等于2.5eV。例如:该直接带隙材料的带隙可以为0.8eV、0.9eV、1.0eV、1.1eV、1.4eV、1.7eV、2.0eV、2.3eV或2.5eV等。

[0061] 示例性的,在上述第一光吸收层的材料为锗的情况下,直接带隙材料的带隙可以大于或等于0.3eV、且小于等于2.5eV。例如:该直接带隙材料的带隙可以为0.3eV、0.6eV、0.9eV、1.2eV、1.5eV、1.8eV、2.1eV或2.5eV等。

[0062] 在实际的应用过程中,上述第一光吸收层和第二光吸收层可以均为掺杂有一定浓度N型杂质或P型杂质的掺杂层。该情况下,第一光吸收层和第二光吸收层内杂质的掺杂类型可以相反。此时第一光吸收层和第二光吸收层可以形成PN结。例如:第一光吸收层可以为N型掺杂层,此时第二光吸收层为P型掺杂层。又例如:第一光吸收层也可以为P型掺杂层。

[0063] 或者,当第一光吸收层和第二光吸收层均为掺杂层时,第一光吸收层和第二光吸收层内杂质的掺杂类型也可以相同。例如:上述第一光吸收层和第二光吸收层可以均为P型掺杂层。又例如:上述第一光吸收层和第二光吸收层也可以均为N型掺杂层。在上述情况下,因PN结对电子和空穴对的分离能力相对较强,可以加速电子和空穴的传输速率。基于此,故

当第一光吸收层和第二光吸收层内杂质的掺杂类型相同,可以在防止因第一光吸收层和第二光吸收层之间形成PN结而导致第一光吸收层向光面堆积高浓度的非平衡载流子,降低第一光吸收层向光面处非平衡载流子的俄歇复合速率的同时,第一光吸收层和第二光吸收层掺杂有导电杂质,还可以降低第一光吸收层和第二光吸收层的电阻率,便于载流子在第一光吸收层和第二光吸收层内传输,进一步提升太阳能电池的光电转换效率。

[0064] 另外,上述第一光吸收层和第二光吸收层中的至少一者也可以为本征层。该情况下,可以是第一光吸收层和第二光吸收层均为本征层。或者,也可以是第一光吸收层为掺杂有一定浓度N型杂质或P型杂质的掺杂层,第二光吸收层为本征层。又或者,还可以是第一光吸收层为本征层,第二光吸收层为掺杂有一定浓度N型杂质或P型杂质的掺杂层。在上述情况下,如前文所述,因PN结对电子和空穴对的分离能力相对较强,可以加速电子和空穴的传输速率。基于此,故当第一光吸收层和第二光吸收层中的一者为本征层时,可以在防止因第一光吸收层和第二光吸收层之间形成PN结使得第二光吸收层吸收光子后产生的高浓度非平衡载流子以相对较快的速度传输至第一光吸收层的表面而导致第一光吸收层向光面堆积高浓度的非平衡载流子,降低第一光吸收层向光面处非平衡载流子的俄歇复合速率,确保太阳能电池具有较高的光电转换效率。

[0065] 具体来说,第一光吸收层和第二光吸收层内是否掺杂有导电杂质、以及当第一光吸收层和/或第二光吸收层内掺杂有导电杂质时,导电杂质的掺杂类型和掺杂浓度可以根据实际应用场景设置,此处不做具体限定。

[0066] 示例性的,在第一光吸收层和第二光吸收层均为P型掺杂层,或者第一光吸收层和第二光吸收层均为N型掺杂层的情况下,第一光吸收层和第二光吸收层的掺杂类型相同。此时,第二光吸收层内杂质的掺杂浓度可以大于或等于第一光吸收层内杂质的掺杂浓度。在此情况下,当第二光吸收层内杂质的掺杂浓度可以大于第一光吸收层内杂质的掺杂浓度,第一光吸收层和第二光吸收层之间可以形成高低结。在该高低结的内建电场下可以提高第二光吸收层内非平衡载流子的传输速率,提高载流子的收集和导出的效率。另外,因高低结的内建电场方向是由高杂质浓度区指向低杂质浓度区,从而可以防止光生少子进入到高杂质浓度的第二光吸收层内,利于光生少子的收集和导出。再者,与PN结相比,高低结的载流子分离能力相对较弱,并且,当第二光吸收层内杂质的掺杂浓度等于第一光吸收层内杂质的掺杂浓度时,第一光吸收层和第二光吸收层之间不存在像PN结或高低结的内建电场,因此当第二光吸收层内杂质的掺杂浓度大于或等于第一光吸收层内杂质的掺杂浓度时,还可以抑制第二光吸收层内非平衡载流子以相对较快的速度传导至第一光吸收层的向光面,而导致该表面有大量非平衡载流子堆积,抑制第一光吸收层向光面处俄歇复合速率,确保太阳能电池具有相对较高的光电转换效率。

[0067] 作为一种可能的实现方式,上述直接带隙材料为硅直接带隙相材料、硅锗直接带隙相材料、硅锡直接带隙相材料、锡锗直接带隙相材料或砷化镓。在此情况下,直接带隙材料具有多种可选的种类,可以根据实际应用场景中第一光吸收层的材质等信息选择合适的直接带隙材料种类,提高本发明实施例提供的太阳能电池在不同应用场景下的适用性。

[0068] 其中,上述硅直接带隙相材料、硅锗直接带隙相材料、硅锡直接带隙相材料和锡锗直接带隙相材料的具体种类可以根据实际需求进行设置。

[0069] 示例性的,上述硅直接带隙相材料的晶向包括:oF16-Si相、tP16-Si相、oC12-Si

相、mC12-Si相、C2/c-Si相、I4/mcm-Si相、P21/m-Si相和P4/mbm-Si相。

[0070] 其中，oF16和tP16分别为正交晶系中的两个空间群。oC12和mC12分别为三斜晶系中的两个空间群。C2/c为单斜晶系中的一个空间群，I4/mcm为四方晶系中的一种空间群，P21/m为单斜晶系中的一种空间群，P4/mbm为四方晶系中的一种空间群。另外，空间群是晶体内部结构中全部对称要素的集合。不同晶系中的不同空间群对应不同的对称要素组合方式，因此不同晶系中的不同空间群对应不同的晶体结构。在此情况下，上述硅直接带隙材料的晶体结构可以具有上述oF16、tP16、oC12、mC12、C2/c、I4/mcm、P21/m和P4/mbm这些属于不同晶系的多种空间群。而具有不同空间群的硅直接带隙相材料可能具有不同的发光复合概率或导电性能，因此可以根据实际应用场景选择合适的空间群，提高本发明实施例提供的太阳能电池在不同应用场景下的适用性。另外，还可以根据第一光吸收层的材料选择合适的空间群，以降低第一光吸收层与第二光吸收层之间的晶格失配程度，提高第二光吸收层的成膜质量，进而可以提高太阳能电池的工作性能。

[0071] 示例性的，上述硅锗直接带隙相材料为应变 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ， $0 \leq x \leq 0.25$ 。例如：硅锗直接带隙相材料为应变Ge、应变 $\text{Si}_{0.95}\text{Ge}_{0.05}$ 、应变 $\text{Si}_{0.9}\text{Ge}_{0.1}$ 、应变 $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$ 、应变 $\text{Si}_{0.75}\text{Ge}_{0.25}$ 。在上述情况下，硅锗直接带隙相材料中硅元素和锗元素的化学计量比为大于等于0、且小于等于0.25的范围值，可以根据第一光吸收层的材料、以及实际应用场景的要求设置硅锗直接带隙相材料中硅元素和锗元素的化学计量比，提高本发明提供的太阳能电池在不同应用场景下的适用性。同时，还可以防止因硅锗直接带隙相材料中硅元素和锗元素的化学计量比为某一固定值，而必须严格要求形成第二光吸收层的各材料的比例和/或形成条件，降低太阳能电池的制造难度。另外，还可以根据第一光吸收层的材料选择合适的硅元素和锗元素的化学计量比，以降低第一光吸收层与第二光吸收层之间的晶格失配程度，提高第二光吸收层的成膜质量，进而可以提高太阳能电池的工作性能。

[0072] 示例性的，上述硅锡直接带隙相材料为 $\text{Si}_{1-y}\text{Sn}_y$ ， $0.9 \leq y \leq 1$ 。例如：硅锡直接带隙相材料可以为 $\text{Si}_{0.1}\text{Sn}_{0.9}$ 、 $\text{Si}_{0.08}\text{Sn}_{0.92}$ 、 $\text{Si}_{0.06}\text{Sn}_{0.94}$ 、 $\text{Si}_{0.04}\text{Sn}_{0.96}$ 、 $\text{Si}_{0.02}\text{Sn}_{0.98}$ 或Sn等。该情况下具有的有益效果可以参考前文所述的上述硅锗直接带隙相材料为应变 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 的有益效果分析，此处不再赘述。

[0073] 示例性的，上述锡锗直接带隙相材料为 $\text{Sn}_{1-z}\text{Ge}_z$ ， $0 \leq z \leq 0.45$ 。例如：锡锗直接带隙相材料为Sn、 $\text{Sn}_{0.9}\text{Ge}_{0.1}$ 、 $\text{Sn}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$ 、 $\text{Sn}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ 、 $\text{Sn}_{0.6}\text{Ge}_{0.4}$ 或 $\text{Sn}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}$ 等。该情况下具有的有益效果可以参考前文所述的上述硅锗直接带隙相材料为应变 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 的有益效果分析，此处不再赘述。

[0074] 作为一种可能的实现方式，上述第二光吸收层的厚度为5nm至50nm。例如：第二光吸收层的厚度可以为5nm、10nm、15nm、20nm、30nm、40nm或50nm等。在上述情况下，第二光吸收层的厚度适中，可以防止因第二光吸收层的厚度较小使得第二光吸收层对入射光的吸收深度不足导致大部分入射光被第一光吸收层所利用，进而导致在第一光吸收层的向光面堆积了高浓度的非平衡载流子，因此可以降低第一光吸收层向光面处的俄歇复合概率，进一步改善太阳能电池的短波响应。同时，因直接带隙材料的晶向大多为亚稳态相，而较薄的厚度可以保持亚稳态相的稳定性，故将第二光吸收层的厚度设置为5nm至50nm还可以防止因第二光吸收层的厚度较大而导致在第一光吸收层上形成第二光吸收层时会因晶格失配导致应力等问题，降低太阳能电池的制造难度。

[0075] 当然,也可以根据不同的实际应用场景,将第二光吸收层的厚度设置为除5nm至50nm之外的其它合适数值,此处不做具体限定。

[0076] 作为一种可能的实现方式,如图3和图4所示,上述太阳能电池还包括第一功能层13。第一功能层13形成在第二光吸收层12背离第一光吸收层111的一面上,第一功能层13包括第一表面钝化层131、第一载流子选择性层132和第一减反射层133中的至少一种。

[0077] 具体来说,上述第一功能层所包括的膜层的种类可以根据太阳能电池的具体结构进行确定。

[0078] 从正、负电极的相对位置方面来讲,例如:如图3所示,在太阳能电池为双面接触太阳能电池的情况下,第一功能层13可以至少包括第一载流子选择性层132。又例如:如图4所示,在太阳能电池为背接触电池的情况下,第一功能层13可以包括第一表面钝化层131和第一减反射层133中的至少一种。

[0079] 从钝化方面来讲,例如:当太阳能电池为未设置有钝化层的太阳能电池时,第一功能层包括第一载流子选择性层和第一减反射层中的至少一种。又例如:当太阳能电池为形成有钝化层的太阳能电池时,第一功能层至少包括第一表面钝化层。

[0080] 其中,当上述第一功能层仅包括第一表面钝化层、第一载流子选择性层和第一减反射层中的一种时,第一功能层形成在第二光吸收层背离第一光吸收层的一面上。

[0081] 当上述第一功能层包括第一表面钝化层、第一载流子选择性层和第一减反射层时,第一减反射层形成在太阳能电池的向光面。第一表面钝化层和第一载流子选择性层之间的位置关系可以根据实际需求进行设置。例如:第一表面钝化层可以形成在第一载流子选择性层和第一减反射层之间。此时,第一表面钝化层可以对第一载流子选择性层的向光面进行钝化,降低该表面处的载流子复合速率。又例如:第一载流子选择性层可以形成在第一表面钝化层和第一减反射层之间。此时,第一载流子选择性层和第一表面钝化层所组成的结构能够实现优异的界面钝化和载流子的选择性收集,进一步提升太阳能电池的光电转换效率。

[0082] 当上述第一功能层包括第一表面钝化层、第一载流子选择性层和第一减反射层中的任意两种时,第一功能层所包括的这两层膜层之间的相对位置关系可以参考前文,此处不再赘述。

[0083] 另外,上述第一表面钝化层的材料可以为氧化硅、氧化铝、氧化钛、二氧化铪、氧化镓、五氧化二钽、五氧化铌、氮化硅、碳氮化硅、氮化铝、氮化钛、氮碳化钛等隧穿钝化材料,也可以为本征非晶硅。

[0084] 上述第一载流子选择性层的材料可以根据其所传输的载流子的类型进行确定。例如:在第一载流子选择性层为电子传输层的情况下,第一载流子选择性层的材料可以为掺杂有N型杂质的半导体材料,也可以为N型过渡金属化合物等。又例如:在第一载流子选择性层为空穴传输层的情况下,第一载流子选择性层的材料可以为掺杂有P型杂质的半导体材料,也可以为P型过渡金属化合物等。

[0085] 上述第一减反射层的材料可以为氮化硅、二氧化硅、二氧化钛或氟化镁等材料。

[0086] 再者,上述第一表面钝化层、第一载流子选择性层和第一减反射层的厚度可以根据实施需求进行设置,此处不做具体限定。

[0087] 采用上述技术方案的情况下,上述第一功能层包括第一表面钝化层、第一载流子

选择性层和第一减反射层中的至少一种。其中,第一表面钝化层可以对第二光吸收层背离第一光吸收层的一面进行钝化,降低载流子在该表面的复合速率。第一载流子选择性层可以实现相应载流子的选择性传输,加速载流子在第二光吸收层背离第一光吸收层一面处的分离速率,利于导出该类型载流子。另外,第一减反射层可以降低太阳能电池受光面对入射光的反射,可以使得更多的入射光可以透射至第二光吸收层和第一光吸收层内,提高太阳能电池对入射光的利用率。由上述内容可知,在太阳能电池还包括上述第一功能层时,可以进一步提高太阳能电池的光电转换效率。

[0088] 作为一种可能的实现方式,如图3和图4所示,上述太阳能电池还包括第二功能层14。第二功能层14形成在第一光吸收层111背离第二光吸收层12的一面上,第二功能层14包括第二表面钝化层141、第二载流子选择性层142和第二减反射层143中的至少一种。具体的,第二功能层14的具体结构和材料等信息可以参考前文所述的第一功能层的具体结构和材料进行确定,此处不再赘述。

[0089] 在实际的应用过程中,除了第一光吸收层外,上述半导体基底还可以包括哪些结构,可以根据太阳能电池的结构进行确定。

[0090] 例如:如图4所示,在本发明实施例提供的太阳能电池为背接触电池的情况下,半导体基底11还可以包括第一掺杂半导体层112和第二掺杂半导体层113。该第一掺杂半导体层112和第二掺杂半导体层113交替间隔形成在第一光吸收层111的背光面。第一掺杂半导体层112和第二掺杂半导体层113的导电类型相反。第一掺杂半导体层112和第二掺杂半导体层113的材料可以为硅、锗硅或锗等半导体材料。

[0091] 或者,在半导体基底包括上述第一光吸收层、第一掺杂半导体层和第二掺杂半导体层的情况下,半导体基底还可以包括第一钝化层和/或第二钝化层。第一钝化层形成在第一光吸收层和第一掺杂半导体层之间。第二钝化层形成在第一光吸收层和第二掺杂半导体层之间。第一钝化层或第二钝化层的材料可以为前文所述的隧穿钝化材料或本征非晶硅。

[0092] 第二方面,本发明实施例还提供了一种光伏组件。该光伏组件包括上述实施例提供的太阳能电池。

[0093] 与现有技术相比,本发明实施例提供的光伏组件的有益效果,可以参考上述实施例提供的太阳能电池的有益效果分析,此处不再赘述。

[0094] 在以上的描述中,对于各层的构图、刻蚀等技术细节并没有做出详细的说明。但是本领域技术人员应当理解,可以通过各种技术手段,来形成所需形状的层、区域等。另外,为了形成同一结构,本领域技术人员还可以设计出与以上描述的方法并不完全相同的方法。另外,尽管在以上分别描述了各实施例,但是这并不意味着各个实施例中的措施不能有利地结合使用。

[0095] 以上对本公开的实施例进行了描述。但是,这些实施例仅仅是为了说明的目的,而并非为了限制本公开的范围。本公开的范围由所附权利要求及其等价物限定。不脱离本公开的范围,本领域技术人员可以做出多种替代和修改,这些替代和修改都应落在本公开的范围之内。

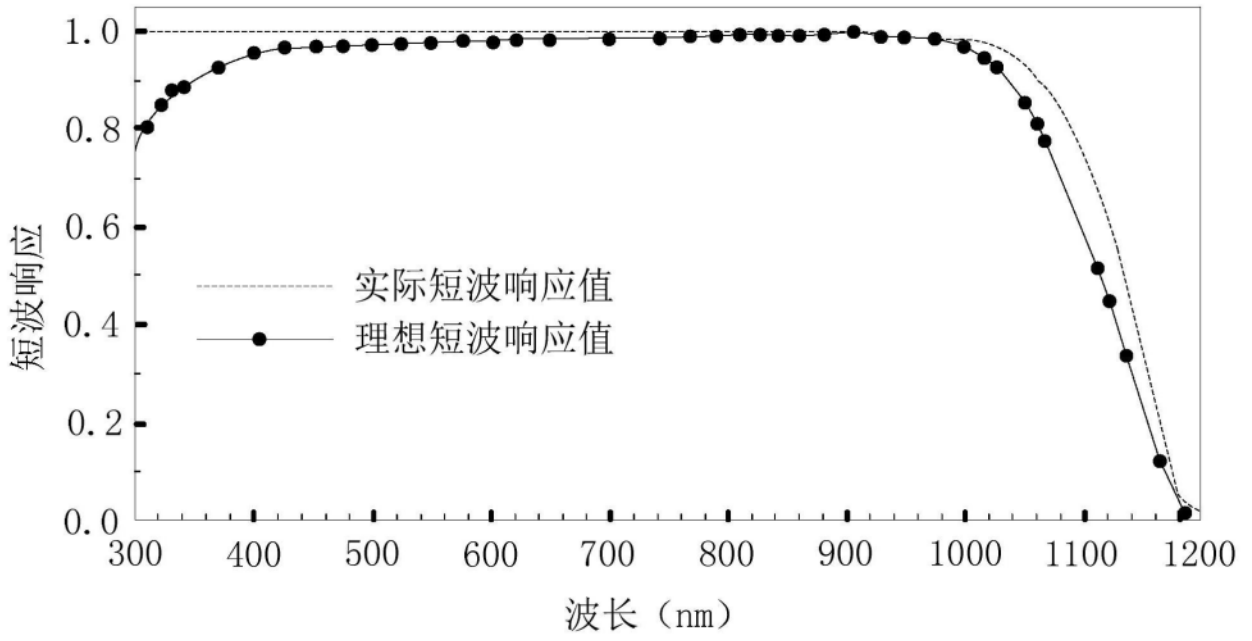


图1

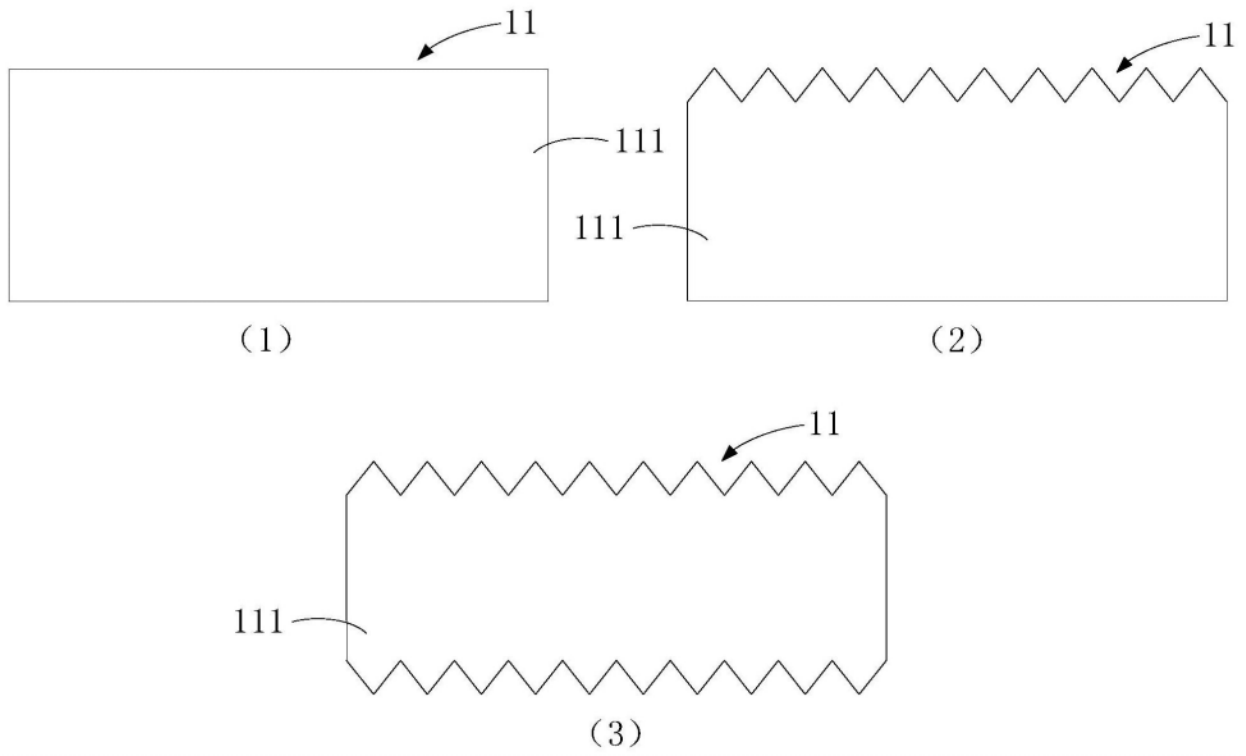


图2

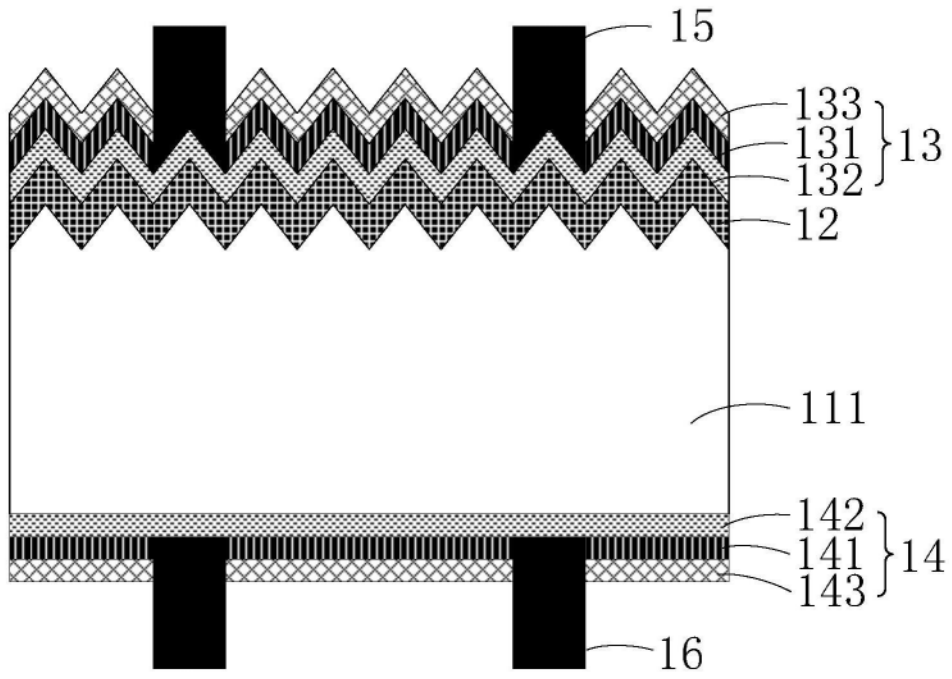


图3

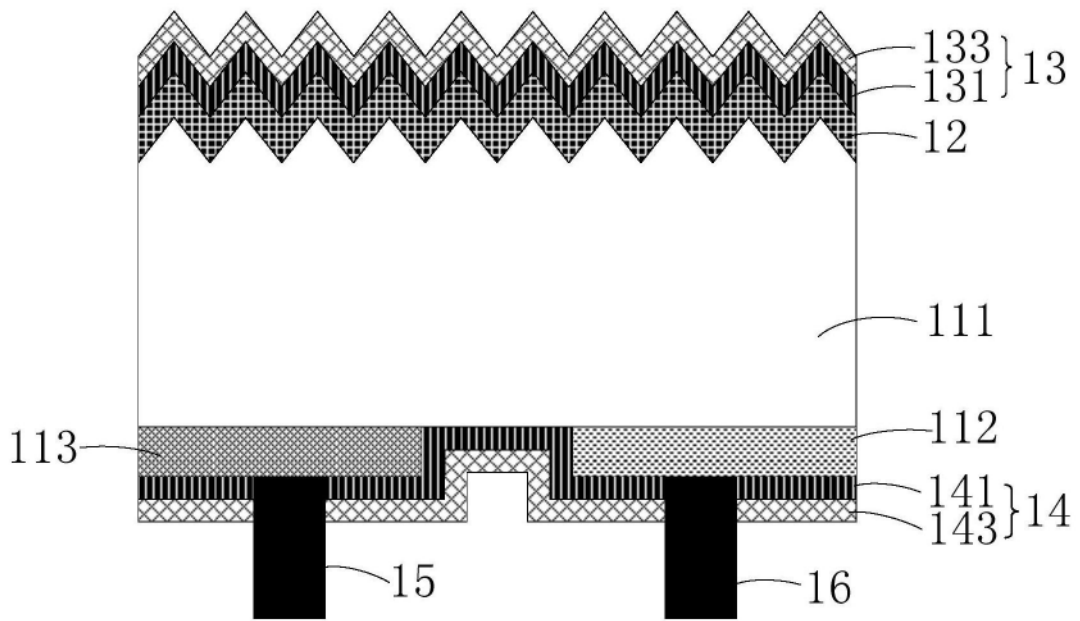


图4