



## (12)发明专利



(10)授权公告号 CN 104718630 B

(45)授权公告日 2017.10.31

(21)申请号 201380052522.X

(22)申请日 2013.06.24

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104718630 A

(43)申请公布日 2015.06.17

(30)优先权数据

13/601,521 2012.08.31 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2015.04.08

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2013/047422 2013.06.24

(87)PCT国际申请的公布数据

W02014/035538 EN 2014.03.06

(73)专利权人 光城公司

地址 美国加利福尼亚

(72)发明人 谢志刚 J·B·衡 傅建明 徐征

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所 11038

代理人 刘偶

(51)Int.Cl.

H01L 31/18(2006.01)

H01L 31/0352(2006.01)

H01L 31/0747(2012.01)

H01L 31/072(2012.01)

(56)对比文件

US 2009/0283145 A1, 2009.11.19,

CN 1442909 A, 2003.09.17, 全文.

WO 03/083953 A1, 2003.10.09, 全文.

审查员 廉海峰

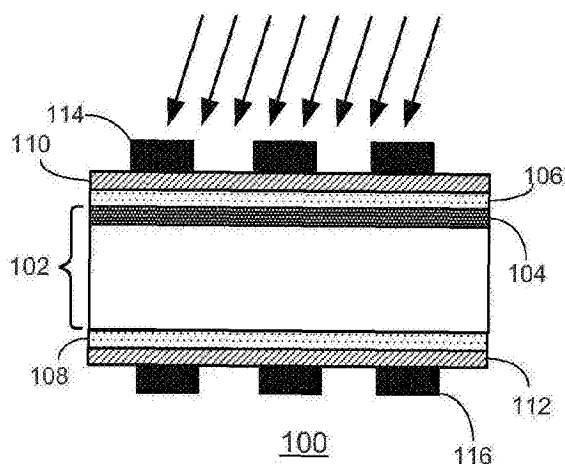
权利要求书2页 说明书7页 附图6页

### (54)发明名称

在基板中具有浅反掺杂层的隧穿结太阳能电池

### (57)摘要

本发明的一个实施例提供了隧穿结太阳能电池。太阳能电池包括基极层、位于与浅反掺杂层相邻的发射极层、位于与浅反掺杂层相对的基极层一侧相邻的表面场层、前侧电极及背侧电极。基极层包括具有与基极层的剩余部分相反导电掺杂类型的浅反掺杂层。发射极层具有比基极层的带隙更宽的带隙。



1. 一种隧穿结太阳能电池,包括:  
硅基极层,具有第一导电掺杂类型;  
发射极,包括具有与第一导电掺杂类型相反的第二导电掺杂类型的非晶硅层;  
隧穿电流增强层,位于硅基极层和发射极之间,其中隧穿电流增强层包括具有第二导电掺杂类型的外延硅层,其中外延硅层与硅基极层的第一表面直接接触并且被配置为增强发射极和硅基极层之间的隧穿电流;  
第一量子隧穿势垒层,位于外延硅层和非晶硅层之间并且与外延硅层和非晶硅层直接接触;  
表面场层,位于硅基极层的第二表面上;  
第一电极,位于发射极的第一侧上;及  
第二电极,位于表面场层的第二侧上。
2. 如权利要求1所述的太阳能电池,其中外延硅层为以下至少一个:  
外延生长的晶体硅(c-Si)薄膜;及  
具有分级掺杂的外延生长的晶体硅(c-Si)薄膜。
3. 如权利要求1所述的太阳能电池,其中外延硅层具有分级掺杂浓度,并且其中分级掺杂的峰值在 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 和 $5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 之间的范围内。
4. 如权利要求1所述的太阳能电池,其中外延硅层是利用以下至少一个形成的:  
通过掺杂剂的热驱入掺杂硅酸盐玻璃;  
通过掺杂剂的热驱入掺杂a-Si;  
通过掺杂剂的热驱入掺杂多晶硅;  
离子注入;及  
外延生长掺杂的c-Si的层。
5. 如权利要求1所述的太阳能电池,还包括位于硅基极层和表面场层之间的第二量子隧穿势垒层。
6. 如权利要求5所述的太阳能电池,其中第一和/或第二量子隧穿势垒层包括以下至少一个:  
氧化硅( $\text{SiO}_x$ );  
氢化的 $\text{SiO}_x$ ;  
氮化硅( $\text{SiN}_x$ );  
氢化的 $\text{SiN}_x$ ;  
氧化铝( $\text{AlO}_x$ );  
氮氧化硅( $\text{SiON}$ );以及  
氢化的 $\text{SiON}$ 。
7. 如权利要求5所述的太阳能电池,其中第一和/或第二量子隧穿势垒层包括一种或多种宽带隙半导体材料。
8. 如权利要求5所述的太阳能电池,其中第一和/或第二量子隧穿势垒层具有1和50埃之间的厚度。
9. 如权利要求5所述的太阳能电池,其中第一和/或第二量子隧穿势垒层是利用以下技术中的至少一种形成的:

热氧化；

原子层沉积；

湿或水蒸气氧化；

低压自由基氧化；及

等离子体增强的化学气相沉积 (PECVD)。

10. 如权利要求1所述的太阳能电池，其中发射极和/或表面场层包括以下至少一个：

非晶硅 (a-Si)；

多晶硅；及

一种或多种宽带隙半导体材料。

11. 如权利要求10所述的太阳能电池，其中发射极和/或表面场层包括具有在 $1 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ 和 $5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 之间范围的掺杂浓度的分级掺杂非晶硅 (a-Si) 层。

12. 如权利要求1所述的太阳能电池，其中硅基极层的第一侧被配置为接收直接入射的太阳光。

## 在基板中具有浅反掺杂层的隧穿结太阳能电池

### 技术领域

[0001] 本公开一般而言涉及太阳能电池。更具体而言,本公开涉及在基板中具有浅反掺杂层的隧穿结太阳能电池。

### 背景技术

[0002] 由使用化石燃料造成的负面环境影响及其提高的成本已导致对更清洁、更廉价的备选能源的迫切需求。在不同形式的备选能源中,太阳能已经由于其清洁性和广泛的可用性而受到青睐。

[0003] 太阳能电池利用光电效应把光转换成电。有许多太阳能电池结构,并且典型的太阳能电池包含包括p型掺杂层和n型掺杂层的p-n结。此外,有其它类型的不基于p-n结的太阳能电池。例如,太阳能电池可以基于包括位于金属或高导电层和掺杂的半导体层之间的超薄电介质或绝缘界面隧穿层的金属-绝缘体-半导体(MIS)结构。

[0004] 在各种类型的太阳能电池中,硅异质结(SHJ)太阳能电池由于其高效率而引人注目。例如,美国专利No.5,705,828公开了一种双侧异质结太阳能电池,它利用优良的表面钝化实现了高效率。双侧异质结太阳能电池的关键改进是更高的开路电压( $V_{oc}$ ),诸如大于715mV(与常规基于晶体硅的太阳能电池的600mV  $V_{oc}$ 相比)。

[0005] 已经提出了通过改进发射极(emitter)表面的钝化获得高效太阳能电池的其它方法。美国专利No.5,705,828和美国专利No.7,030,413描述了使用本征半导体层(诸如本征a-Si的层)的表面钝化方法。通过减少表面悬空键的数量并且降低少数载流子浓度,本征a-Si层可以为晶体硅发射极提供优良的钝化。后者的效果是(由价带偏移形成的)表面场的结果,这把少数载流子推离界面和发射极。

[0006] 此外,美国专利No.5,213,628和美国专利No.7,737,357描述了可以从场效应和表面钝化的组合提供优良开路电压( $V_{oc}$ )的基于隧穿的异质结装置。然而,因为隧穿势垒不可避免地阻塞多数载流子的流动,所以这些基于隧穿的异质结装置常常遭受更低的短路( $J_{sc}$ )电流。

### 发明内容

[0007] 本发明的一个实施例提供了隧穿结太阳能电池。该太阳能电池包括基极层、设置得与浅反掺杂层相邻的发射极层、设置为与基极层的与浅反掺杂层相对的一侧相邻的表面场层、前侧电极以及背侧电极。基极层包括浅反掺杂层,其具有与基极层其余部分相反的导电掺杂类型。发射极层具有比基极层的带隙宽的带隙。

[0008] 在该实施例的变体中,基极层包括以下至少一个:单晶硅晶片、外延生长的晶体硅(c-Si)薄膜,以及具有分级掺杂的外延生长的晶体硅(c-Si)薄膜。

[0009] 在该实施例的变体中,浅反掺杂层具有分级掺杂浓度,并且分级掺杂的峰值在 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 和 $5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 之间的范围内。

[0010] 在该实施例的变体中,浅反掺杂层具有小于300nm的厚度。

[0011] 在该实施例的变体中,浅反掺杂层是利用以下至少一个形成的:通过掺杂剂的热驱入掺杂硅酸盐玻璃、通过掺杂剂的热驱入掺杂a-Si、通过掺杂剂的热驱入掺杂多晶体硅、离子注入,以及外延生长掺杂的c-Si的层。

[0012] 在该实施例的变体中,太阳能电池还包括以下至少一个:在基极层和发射极层之间的第一量子隧穿势垒(QTB)层,以及在基极层和表面场层之间的第二QTB层。

[0013] 在进一步种变体中,第一和/或第二QTB层包括以下至少一个:氧化硅( $\text{SiO}_x$ )、氢化的 $\text{SiO}_x$ 、氮化硅( $\text{SiN}_x$ )、氢化的 $\text{SiN}_x$ 、氧化铝( $\text{AlO}_x$ )、氧氮化硅( $\text{SiON}$ )、氢化的 $\text{SiON}$ ,及一种或多种宽带隙半导体材料。

[0014] 在进一步变体中,第一和/或第二QTB层具有在1和50埃之间的厚度。

[0015] 在进一步变体中,其中第一和/或第二QTB层是利用以下技术中的至少一种形成的:热氧化、原子层沉积、湿或水蒸气氧化、低压自由基氧化,以及等离子体增强的化学气相沉积(PECVD)。

[0016] 在该实施例的变体中,发射极层和/或表面场层包括以下至少一个:非晶硅(a-Si)、多晶硅,以及一种或多种宽带隙半导体材料。

[0017] 在进一步变体中,发射极层和/或表面场层包括具有在 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 和 $5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 之间范围的掺杂浓度的分级掺杂的非晶硅(a-Si)层。

[0018] 在该实施例的变体中,发射极层位于基极层的面向入射的太阳光的前侧。

[0019] 在该实施例的变体中,发射极层位于基极层的面向远离入射的太阳光的背侧。

## 附图说明

[0020] 图1A给出了示出根据本发明的实施例在基板中具有浅反掺杂层的示例性隧穿结太阳能电池的图。

[0021] 图1B给出了示出根据本发明的实施例对于在基板中有和没有浅反掺杂的太阳能电池在发射极-基极界面处的能量图的图。

[0022] 图1C给出了示出根据本发明的实施例对于在基板中有和没有浅反掺杂的太阳能电池在发射极-基极界面处的能量图的图。

[0023] 图1D给出了示出根据本发明的实施例对于在基板中有和没有浅反掺杂的太阳能电池的隧穿电流和漂移电流比较的图。

[0024] 图1E给出了示出根据本发明的实施例对于在基板中有和没有浅反掺杂的太阳能电池的隧穿电流和漂移电流比较的图。

[0025] 图1F给出了示出基板中没有浅反掺杂的太阳能电池的载流子密度的图。

[0026] 图1G给出了示出根据本发明的实施例在基板中有浅反掺杂的太阳能电池的载流子密度的图。

[0027] 图2给出了示出根据本发明的实施例制造在基板中具有浅反掺杂层的隧穿结太阳能电池的过程的图。

[0028] 图3给出了示出根据本发明的实施例在基板中具有浅反掺杂层的示例性隧穿结太阳能电池的图。

## 具体实施方式

[0029] 给出以下描述是为了使本领域技术人员能够实现和利用实施例,并且是在特定应用及其需求的背景下提供的。对所公开的实施例的各种修改对本领域技术人员来说将是很显然的,并且,在不背离本公开内容的精神和范围的情况下,在此定义的一般原理可以适用于其它实施例和应用。因此,本发明不限于所示出的实施例,而是要符合以与在此所公开的原理和特征一致的最广范围。

#### [0030] 概述

[0031] 本发明的实施例提供了在晶体硅(c-Si)基板中具有浅反掺杂层的基于c-Si的太阳能电池。该太阳能电池还包括量子隧穿势垒(QTB)层。可以通过利用具有与c-Si基板相反导电类型的掺杂剂掺杂c-Si的表面来实现反掺杂。掺杂深度尽可能浅,以便实现短路电流( $J_{sc}$ )的最大提升效果。

#### [0032] 在基板中具有浅反掺杂的异质结太阳能电池

[0033] 当与其它类型的太阳能电池相比时,基于异质结的太阳能电池已表现出卓越的性能。为了进一步增强性能,一些异质结太阳能电池获得(reap)在发射极-基极界面处弯曲的带的优点,这产生有效钝化发射极表面的“场效应”钝化。但是,异质结需要具有非常低的内部和界面复合率。为了实现该目的,常常在异质结界面处形成电介质膜或者低导电率半导体材料(诸如具有较宽带隙、较低迁移率和较低掺杂的半导体材料)的薄层,以充当QTB层。

[0034] 在常规的异质结太阳能电池中,多余的载流子被强制朝发射极流动并被其收集,通常在异质结的相对侧上。除非内部多余的载流子浓度高于一定水平并被俄歇(Auger)复合限制(capped),否则大部分复合是肖克莱-里德-霍尔(Shockley-Read-Hall (SRH))复合。因此,期望在太阳能电池内具有低少数载流子浓度以保持复合率低。基于隧穿的异质结太阳能电池通过阻塞少数载流子的流动来提供较低的少数载流子浓度,从而导致降低的复合率。然而,尽管能够提供较高的 $V_{oc}$ ,但是常规的基于隧穿的异质结太阳能电池遭受较低的 $J_{sc}$ ,这是因为多数载流子的流动也被阻塞了。

[0035] 而且,隧穿电流受界面处多数载流子浓度的影响。由于因为基板常常被轻掺杂成某种导电类型(p或n)而使得基板中缺陷态的数目常常低的事实,常规的基于隧穿的异质结太阳能电池倾向于具有非常低的隧穿电流。虽然可以在钝化层和发射极层沉积的过程中控制多数载流子浓度,但是这种方法在某些情况下可能不是期望的,因为它可能在高掺杂区域导致高的吸收损失或低的膜质量,或者在掺杂剂热激活的过程中导致热损伤。常规的基于隧穿的异质结太阳能电池所面临的其它问题包括在发射极-基极界面处载流子耗尽区域的存在。

[0036] 为了减轻在基于隧穿的太阳能电池中负面影响 $J_{sc}$ 的这些效应,本发明的实施例提供了一种通过浅反掺杂太阳能电池基板来显著增强 $J_{sc}$ 的解决方案。更具体而言,在制造过程中,用具有与基板相反的导电类型的掺杂剂掺杂基板面向发射极的一侧。掺杂剂的穿透深度被仔细控制,以获得最佳的 $J_{sc}$ 提升效果。在一个实施例中,从表面到掺杂浓度衰减至其峰值(在基板表面)的 $1/e$ 的位置之间的距离小于100nm,并且结深度(到掺杂浓度衰减至背景水平的距离)小于300nm。在进一步实施例中,该反掺杂的最大浓度(或者在基板表面处的掺杂浓度)在 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 和 $5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 之间。

[0037] 图1A给出了示出根据本发明的实施例在基板中具有浅反掺杂层的示例性隧穿结太阳能电池的图。太阳能电池100包括基板102,该基板包括浅反掺杂层104;分别覆盖基板

102的前和背表面的可选的超薄QTB层106和108;发射极层110;背表面场(BSF)层112;前电极114;及背电极116。箭头指示太阳光。

[0038] 应当指出,为了确保高效率,基板102常常包括以一种导电类型(n型或p型)的轻掺杂的晶体硅(c-Si)基板。基板102的主体的大部分具有小于 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 的掺杂浓度。QTB层106和108可以包括电介质或宽带隙材料。发射极110还包括具有与基板102相反的导电类型的重掺杂的宽带隙材料。应当指出,与c-Si基板102相比,QTB层106和发射极110都具有更宽的带隙。因此,在能带图中,发射极/QTB层的导带的底部比基板的导带的底部高得多。类似地,发射极/QTB的价带的顶部比基板的价带的顶部低得多。较宽带隙与较低迁移率相结合使得隧穿成为对于太阳能电池100的占主导地位的导通机制,同时提供优良的钝化。

[0039] 如以上所讨论的,由于发射极/QTB层的宽带隙属性,所以多数载流子扩散到体c-Si基板中。由于耗尽,这对于具有与基板相反的掺杂的发射极来说会更糟。例如,对于具有 $n^-$ 掺杂的c-Si基板和 $p^+$ 掺杂的宽带隙(诸如a-Si)发射极的太阳能电池来说,在 $p^+-n^-$ 异质结界面处存在相当宽的空间电荷区(耗尽区)。应当指出,不像同质结,在异质结界面处,即使没有QTB层,对于多数载流子也存在隧穿势垒。这种位于典型异质结( $p^+-n^-$ 或者 $n^+-p^-$ )界面处的隧穿势垒会贡献直至 $J_{sc}$ 的3%的损耗。人为引入的QTB层也使得多数载流子的隧穿更难并且会贡献直至 $J_{sc}$ 的2%的损耗。

[0040] 另一方面,异质结通过增加多数载流子浓度和抑制少数载流子浓度来钝化发射极-基极界面。这种钝化依赖于带弯曲,其受限于发射极/QTB膜的属性并且没有什么改进空间。

[0041] 在本发明的实施例中,通过在基板面向发射极的一侧上引入浅反掺杂区域,由于该反掺杂提供更多缺陷态,除去对多数载流子的阻塞,同时继续在界面处抑制少数载流子,所以可以显著增加隧穿电流。图1B给出了示出根据本发明的实施例的对于在基板中有和没有浅反掺杂的太阳能电池在发射极-基极界面处的能量图的图。在图1B中,通过轻掺杂的或本征的宽带隙半导体膜,形成隧穿势垒。在一个太阳和短路条件下计算能带图。如可以看到的,在界面处存在三角形势垒。在没有浅掺杂(实线)的情况下,电场几乎是跨界面连续的并且没有足够的表面电荷。在有浅反掺杂(虚线)的情况下,空穴(在基板是n型掺杂的情况下)将填充界面缺陷态并且帮助从右向左的隧穿(如箭头所示的)。应当指出,因为须满足边界条件,所以右侧(基板侧)的电场低得多。

[0042] 图1C给出了示出根据本发明的实施例对于在基板中有和没有浅反掺杂的太阳能电池在发射极-基极界面处的能量图的图。在图1C中,隧穿势垒是通过轻掺杂的或本征的宽带隙半导体膜和绝缘电介质膜形成的。在一个太阳和短路条件下计算能带图。类似于图1B,隧穿电流(从右向左移动的空穴)从浅反掺杂得到提升。

[0043] 图1D给出了示出根据本发明的实施例对于在基板中有和没有浅反掺杂的太阳能电池的隧穿电流和漂移电流比较的图。在图1D中,隧穿势垒是通过轻掺杂的或本征宽的带隙半导体膜形成的。如可以看到的,电流大部分是基于隧穿,但是也存在少量的漂移-扩散电流。图1D也证明接近势垒的浅反掺杂提升空穴隧穿电流,如由虚线示出的。

[0044] 图1E给出了示出根据本发明的实施例对于在基板中有和没有浅反掺杂的太阳能电池的隧穿电流和漂移电流比较的图。在图1E中,隧穿势垒是通过轻掺杂的或本征的宽带隙半导体膜和绝缘电介质膜形成的,并且全部电流都是基于隧穿的。就像图1D,图1E也证明

短路电流被浅反掺杂提升。应当指出,图1D-1E只绘出了通过或者漂移扩散或者隧穿的空穴电流。存在对势垒的基板侧上的总电流起作用的小百分比的电子电流。

[0045] 图1F给出了示出基板中没有浅反掺杂的太阳能电池的载流子密度的图。图1G给出了示出根据本发明的实施例在基板中有浅反掺杂的太阳能电池的载流子密度的图。在图1F和1G中,载流子密度都是在 $V=0.6V$ 和一个太阳的条件下计算的,这是接近于最大功率输出的条件。在这两个图中,底部的线是以对数坐标的少数载流子浓度,中间的线是多数载流子浓度。如可以看到的,在图1G中,界面处的少数载流子浓度比图1F中的低2至3倍,这说明浅反掺杂显著降低界面处的复合。图1B-1G全都是对n型基板绘出的。

#### [0046] 制造方法

[0047] 可以使用n或p型掺杂的高质量太阳能级硅(SG-Si)晶片来构建所述太阳能电池。在一个实施例中,选择n型掺杂的SG-Si晶片。图2给出了示出根据本发明的实施例制造在基板中具有浅反掺杂层的隧穿结太阳能电池的过程的图。

[0048] 在操作2A中,准备SG-Si基板200(诸如SG-Si晶片)。SG-Si基板200的厚度可以在20和300 $\mu m$ 之间的范围内。SG-Si基板200的电阻率通常在1ohm-cm和10ohm-cm的范围内,但不限于此。在一个实施例中,SG-Si基板200具有在1ohm-cm和2ohm-cm之间的电阻率。准备操作包括典型的除去大约10 $\mu m$ 的硅的锯切损伤蚀刻以及表面纹理化。表面纹理可以具有各种图案,包括但不限于:六角棱锥、倒棱锥、圆柱体、圆锥体、环以及其它不规则形状。在一个实施例中,表面纹理化操作导致随机的棱锥纹理的表面。之后,SG-Si基板200经历广泛的表面清洁(extensive surface cleaning)。

[0049] 在操作2B中,通过利用具有与SG-Si基板200相反的导电类型的掺杂剂掺杂SG-Si基板200的表面,或者通过外延生长具有相反的掺杂类型的c-Si的薄层,在SG-Si基板200的表面上形成浅的反掺杂层202。例如,如果SG-Si基板200是n型掺杂的,则通过利用p型掺杂剂重掺杂(在 $1 \times 10^{18}/cm^3$ 和 $1 \times 10^{20}/cm^3$ 之间)SG-Si基板200的表面形成浅反掺杂层202,反之亦然。各种技术可以被用来形成浅反掺杂层202,包括但不限于:利用掺杂剂的热驱入掺杂硅酸盐玻璃、利用掺杂剂的热驱入掺杂非晶/多晶体Si、离子注入,以及具有相反掺杂类型的c-Si层的外延生长。应当指出,如果浅反掺杂层202是利用外延生长形成的,则表面纹理化可能需要在生长之后执行。为了实现优化的 $J_{sc}$ 提升,浅反掺杂层202的厚度(或者穿透深度)保持尽可能小。在实际中,掺杂浓度总是在表面处最高并且随着深度增加而减小。在一个实施例中,从基板表面到掺杂浓度衰减至其峰值的 $1/e$ 的位置之间的距离小于100nm,并且结深度(到掺杂浓度衰减至基板的背景水平的距离)小于300nm。在进一步实施例中,这种反掺杂的峰值(或者在基板表面处的掺杂浓度)在 $1 \times 10^{18}/cm^3$ 和 $5 \times 10^{20}/cm^3$ 之间。

[0050] 在操作2C中,高质量(缺陷态密度小于 $1 \times 10^{11}/cm^2$ )的电介质材料的薄层沉积在SG-Si基板200的前和背表面上,以分别形成前钝化/隧穿层和背钝化/隧穿层204和206。在一个实施例中,只有SG-Si基板200的前表面(面向发射极的表面)沉积有电介质材料的薄层。各种类型的电介质材料可以被用来形成钝化/隧穿层,包括但不限于:氧化硅( $SiO_x$ )、氢化的 $SiO_x$ 、氮化硅( $SiN_x$ )、氢化的 $SiN_x$ 、氧化铝( $AlO_x$ )、氮化铝( $AlN_x$ )、氧氮化硅( $SiON$ )及氢化的 $SiON$ 。除了电介质材料,钝化/隧穿层204和206还可以包括轻掺杂的或本征的宽间隙半导体材料,或者二者的组合。此外,各种沉积技术可以被用来沉积钝化/隧穿层,包括但不限于:热氧化、原子层沉积、湿或水蒸气氧化、低压自由基氧化、等离子体增强的化学气相沉积

(PECVD), 等等。钝化/隧穿层204和206的厚度可以在1和50埃之间。在一个实施例中, 钝化/隧穿层204和206具有在1和15埃之间的厚度。应当指出, 钝化/隧穿层204和206的良好控制的厚度确保了良好的钝化和隧穿效果。

[0051] 在操作2D中, 在前钝化/隧穿层204的表面上沉积具有与SG-Si基板200相反的掺杂类型的氢化的分级掺杂的a-Si的层, 以形成发射极层208。因此, 发射极层208位于太阳能电池的面向入射的太阳光的前侧。应当指出, 如果SG-Si基板200是n型掺杂的, 则发射极层208是p型掺杂的, 反之亦然。在一个实施例中, 发射极层208是利用硼作为掺杂剂p型掺杂的。发射极层208的厚度在1和20nm之间, 并且发射极层208的掺杂浓度在 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 和 $5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 之间的范围。在一个实施例中, 发射极层208中与前钝化/隧穿层204相邻的区域具有较高的掺杂浓度, 而远离前钝化/隧穿层204的区域具有较低的掺杂浓度。除了a-Si, 还可以使用其它材料来形成发射极层208, 包括但不限于: 一种或多种宽带隙半导体材料, 以及多晶硅。

[0052] 在操作2E中, 具有与SG-Si基板200相同掺杂类型的氢化的分级掺杂的a-Si的层沉积在后钝化/隧穿层206的表面上, 以形成背表面场(BSF)层210。应当指出, 如果SG-Si基板200是n型掺杂的, 则BSF层210也是n型掺杂的, 反之亦然。在一个实施例中, 利用磷作为掺杂剂n型掺杂BSF层210。在一个实施例中, BSF层210的厚度在1和30nm之间。在一个实施例中, BSF层210的掺杂浓度从 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 变化到 $5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 。除了a-Si, 还可以使用其它材料来形成BSF层210, 包括但不限于: 宽带隙半导体材料和多晶硅。

[0053] 在操作2F中, 在发射极层208的表面上沉积TCO材料的层, 以形成前侧导电抗反射层212, 其确保良好的欧姆接触。TCO的例子包括但不限于: 氧化铟锡(ITO)、氧化铟(InO)、氧化铟锌(IZO)、掺杂钨的氧化铟(IWO)、氧化锡( $\text{SnO}_x$ )、掺杂铝的氧化锌( $\text{ZnO:Al}$ 或者AZO)、 $\text{Zn-In-O}$ (ZIO)、掺杂镓的氧化锌( $\text{ZnO:Ga}$ ), 及其它大带隙的透明导电氧化物材料。

[0054] 在操作2G中, 在BSF层210的表面上形成背侧TCO层214。背侧TCO层214形成良好的抗反射涂层, 以允许太阳光到太阳能电池中的最大透射。

[0055] 在操作2F中, 分别在TCO层212和214的表面上形成前侧电极216和背侧电极218。在一个实施例中, 前侧电极216和背侧电极218包括Ag指状物网格(finger grid), 可以利用各种技术(包括但不限于: Ag糊剂的丝网印刷、Ag墨的喷墨或气溶胶印刷, 以及蒸发)来形成所述指状物网格。在进一步实施例中, 前侧电极216和/或背侧电极218可以包括利用各种技术(包括但不限于: 化学镀、电镀、溅射和蒸发)形成的Cu网格。

[0056] 应当指出, 图2中所示出的制造过程仅仅是示例性的, 并且各种变化也是可能的。例如, 除了使用c-Si晶片, SG-Si基板200还可以包括具有均匀或梯度掺杂浓度的外延生长的c-Si膜。外延生长的c-Si膜的掺杂浓度可以在 $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ 和 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 之间, 并且c-Si膜的厚度可以在 $20\mu\text{m}$ 和 $100\mu\text{m}$ 之间。此外, 代替让发射极层在太阳能电池的前侧(面向入射的光的一侧), 可以在太阳能电池的背侧(面向远离入射的光的一侧)上形成发射极层。应当指出, 在这种情况下, 也在基板的背侧上形成浅反掺杂层, 以面向发射极。此外, 在基板的前侧上形成前表面场(FSF)层。图3给出了示出根据本发明的实施例在基板中具有浅反掺杂层的示例性隧穿结太阳能电池的图。太阳能电池300包括: 基板302, 该基板包括浅反掺杂层304; 分别覆盖基板302的前和背表面的可选的超薄QTB层306和308; 发射极层310; 前表面场(FSF)层312; 前和后TCO层314和316; 前电极318; 及背电极320。箭头指示太阳光。

[0057] 用于制造隧穿结太阳能电池的各种制造方法的详细描述可以在发明人Jiunn Benjamin Heng、Chentao Yu、Zheng Xu和Jianming Fu于2010年11月12日提交的标题为“Solar Cells with Oxide Tunneling Junctions”的美国专利申请No.12/945,792(代理人案号SSP10-1002US)中找到,通过引用将其全部公开并入于此。

[0058] 已经仅仅为了说明和描述的目的给出各种实施例的前述描述。它们不意图是详尽的或者要把本发明限定到所公开的形式。因此,许多修改和变化对本领域技术人员都将是显然的。此外,以上公开内容不意图要限制本发明。

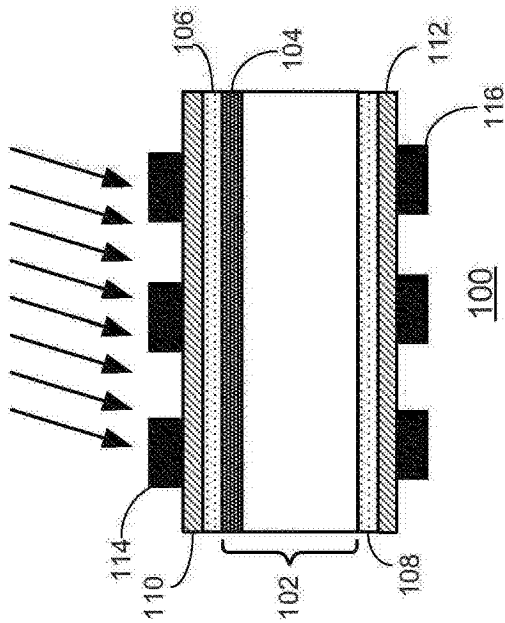


图1A

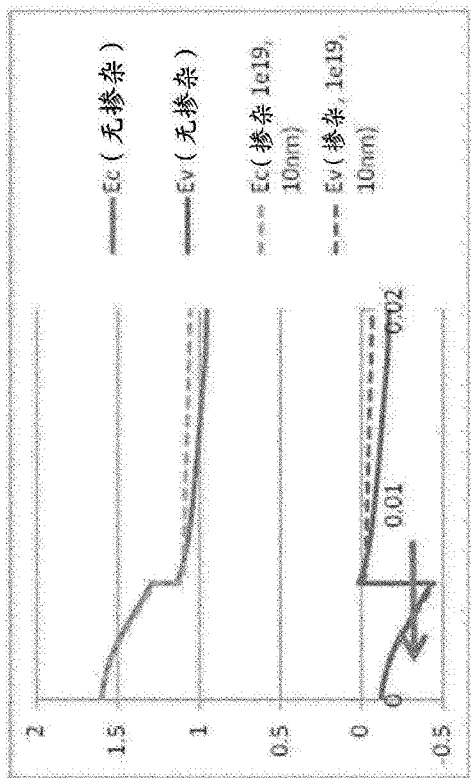


图1B

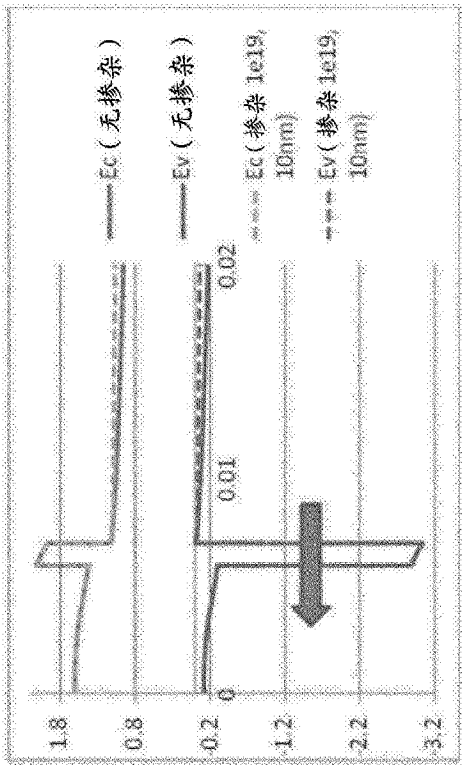


图1C

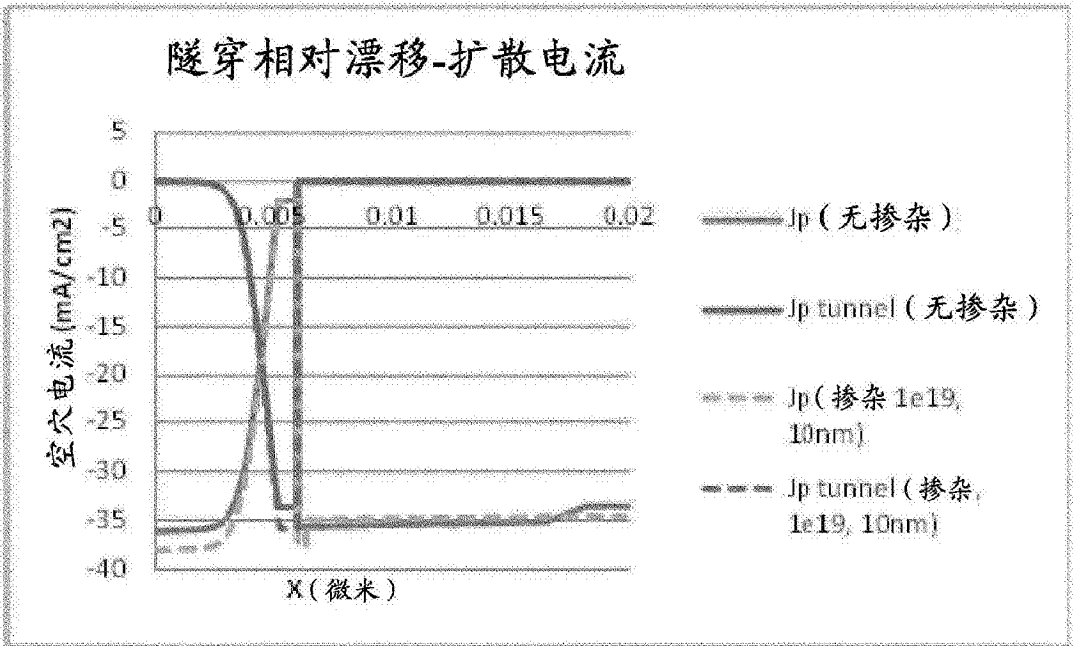


图1D

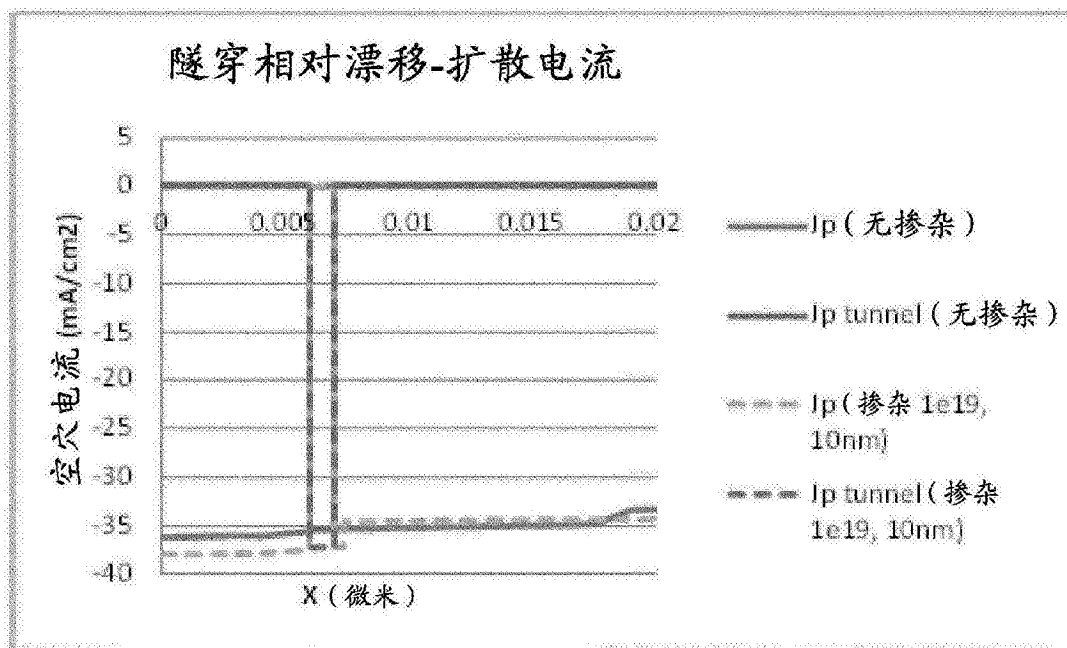


图1E

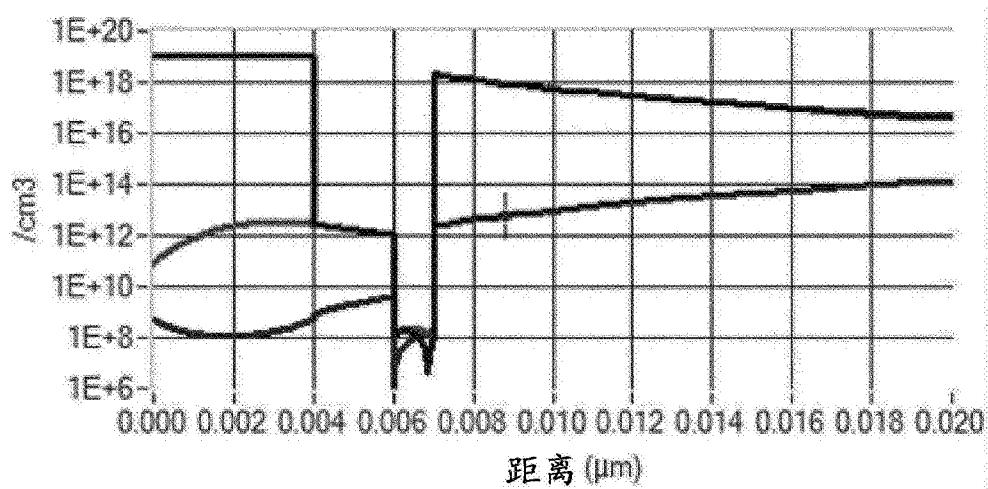
**载流子密度**

图1F

载流子密度

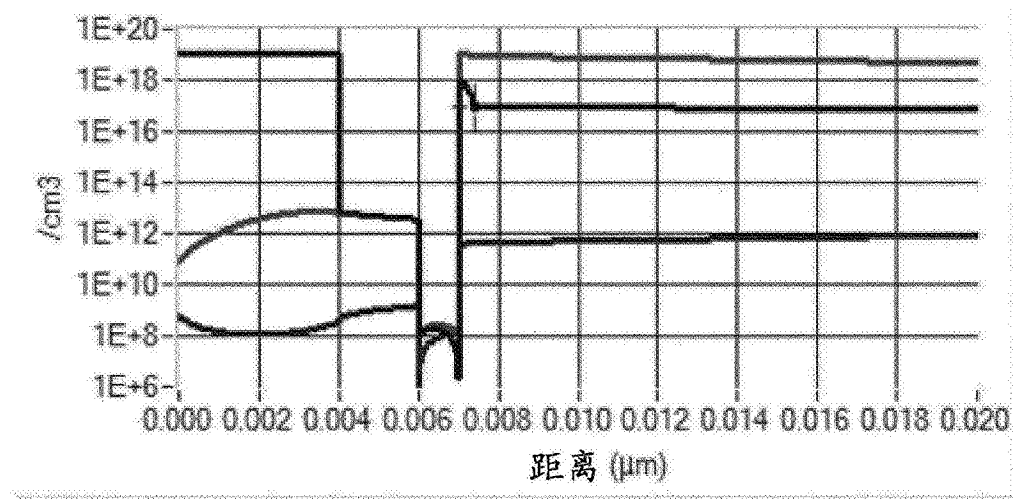


图1G

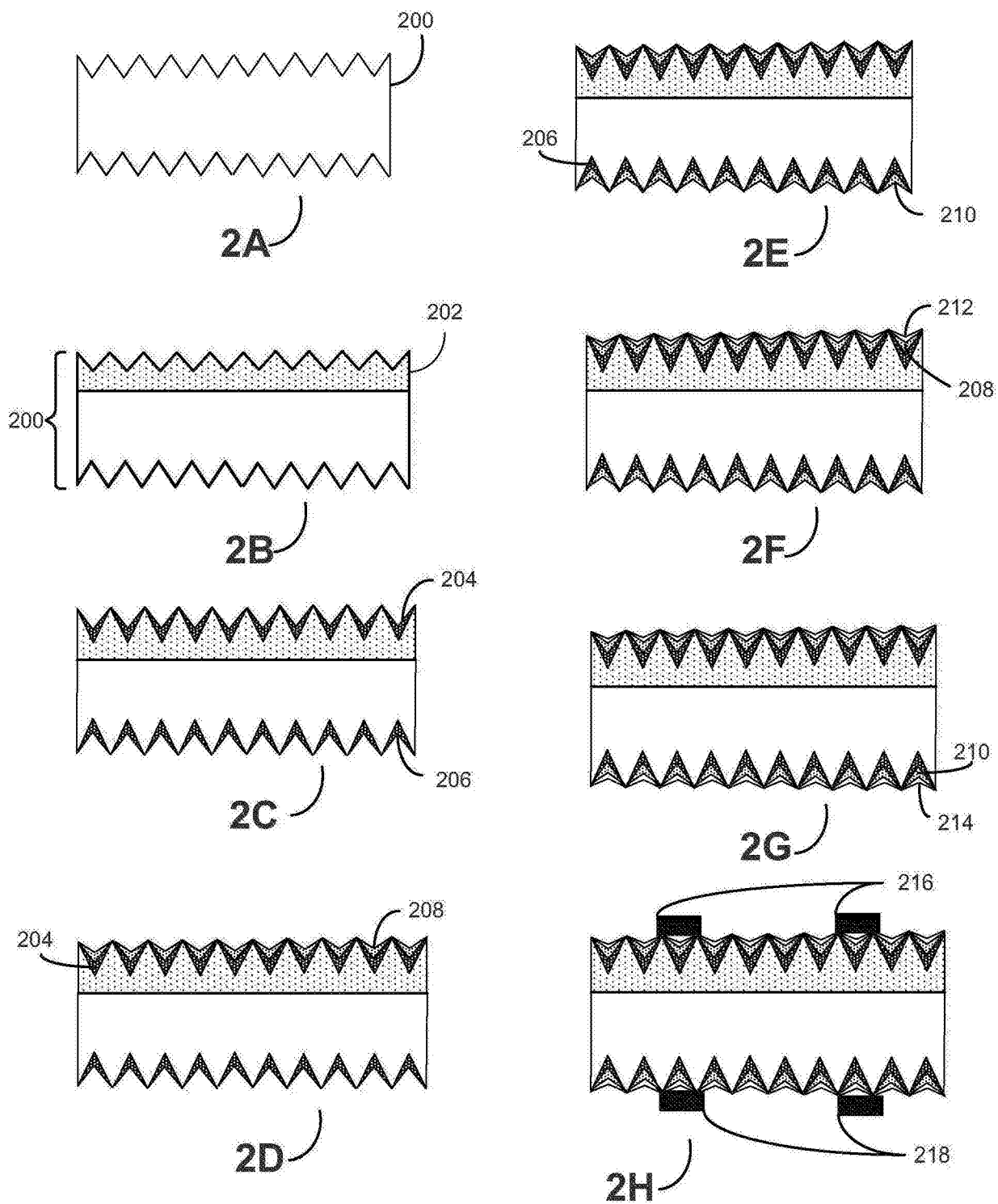


图2

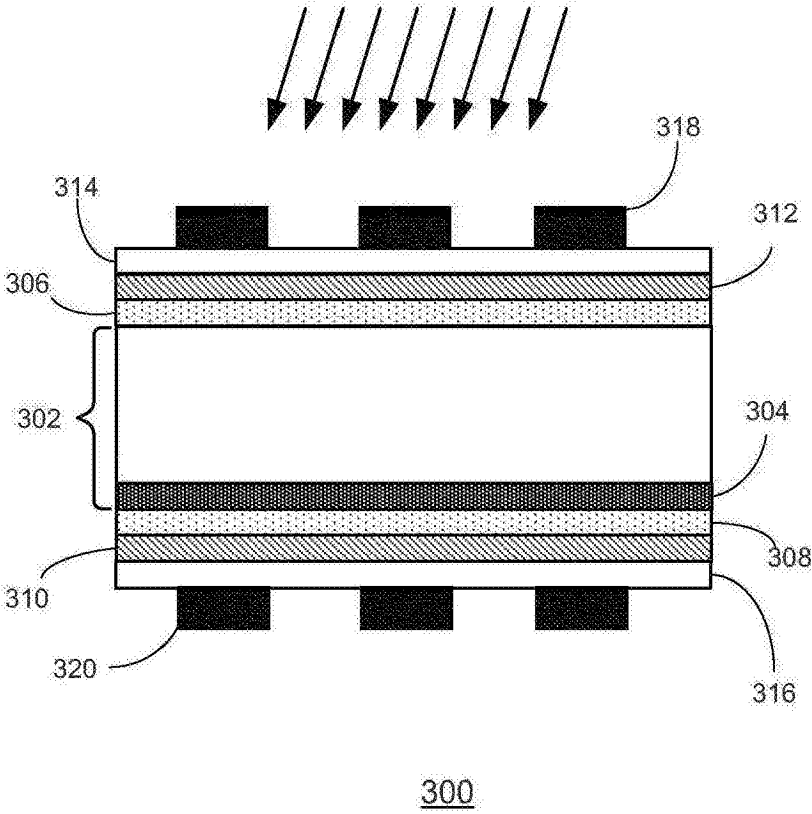


图3