



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104733548 B

(45)授权公告日 2017.03.01

(21)申请号 201510076532.8

H01L 31/076(2012.01)

(22)申请日 2015.02.13

H01L 31/18(2006.01)

H01L 31/20(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104733548 A

(56)对比文件

US 2009/0194152 A1,2009.08.06,全文.

CN 1929153 A,2007.03.14,说明书第1页第

6段-第2页第2段,说明书第3-6页.

(43)申请公布日 2015.06.24

(73)专利权人 湖南共创光伏科技有限公司

地址 421001 湖南省衡阳市雁峰区白沙洲

工业园区鸿园路1号

审查员 刘莉

(72)发明人 李廷凯 李晴风 钟真

(74)专利代理机构 长沙正奇专利事务所有限责

任公司 43113

代理人 马强 刘佳芳

(51)Int.Cl.

H01L 31/0352(2006.01)

H01L 31/046(2014.01)

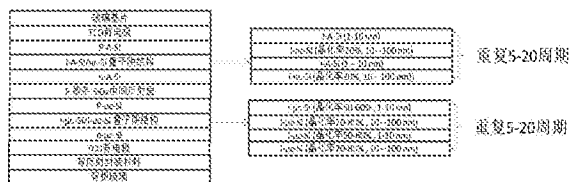
权利要求书2页 说明书9页 附图4页

(54)发明名称

具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池及其制造方法

(57)摘要

本发明公开了一种具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池及其制造方法,在多结薄膜太阳能电池中,每一结的pin结构的i层均采用晶体结构相同而能隙不同的材料形成量子阱结构。这种量子阱能够分离和捕捉游离电子,在太阳光的激发下,形成较大电流而提高薄膜太阳能电池的效率。量子阱的势垒高度可通过其相匹配材料的能隙来调节。量子阱的势垒宽度可通过其相匹配材料的厚度来调节。同时每一结的pin结构的i层的量子阱结构避免了晶粒的异常长大和孔洞和裂缝的形成,制备了致密的、晶粒尺寸大小均匀、能隙匹配的高质量的薄膜,同时,量子阱结构有利于对太阳光的充分吸收。因而,进一步提高了硅基薄膜太阳能电池的效率。



1. 一种具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池,其特征是,所述硅基薄膜太阳能电池的每一结pin结构中的i层均包括由多个周期所形成的量子阱结构,其中每一个周期包括晶体结构相同而能隙不同的上下两层,上层为高能隙层,下层为低能隙层;所述高能隙层和低能隙层的材料分别选自掺杂或者未掺杂的非晶SiC、纳米晶SiC、非晶Si、纳米晶Si、非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 < X \leq 1$)、微晶Si;所述掺杂非晶SiC、纳米晶SiC、非晶Si、纳米晶Si、非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 < X \leq 1$)、微晶Si 中掺杂材料为磷或硼。

2. 根据权利要求1 所述具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池,其特征是,所述一个周期的上下两层材料选自以下组合中的任意一种:能隙为2.1-2.3eV 的非晶SiC/能隙为1.8 -2.1eV的纳米晶SiC、能隙为1.7eV的非晶Si/能隙为1.7eV到1.2eV的纳米晶Si、能隙为1.2eV到1.7eV的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 < X \leq 1$)/能隙为1.2eV 到1.5eV的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 < X \leq 1$)、能隙为1.2eV到1.7eV的纳米晶Si/能隙为1.1eV到1.5eV的纳米晶Si,能隙为1.2eV到1.5eV的纳米晶Si/能隙为1.1eV的微晶Si,“/”表示两层之间的界面。

3. 根据权利要求1 或2 所述具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池,其特征是,所述量子阱结构的势垒高度通过组成量子阱结构材料的能隙差来调节,能隙差为0.1-0.5eV。

4. 根据权利要求1 或2 所述具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池,其特征是,所述量子阱结构的势垒宽度通过高能隙层和低能隙层的厚度为调节,所述高能隙层的厚度为1-10nm,所述低能隙层的厚度为10-100nm。

5. 根据权利要求1 所述具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池,其特征是,所述每一结pin结构中的i层均包括由5-20个周期所形成的量子阱结构。

6. 权利要求1-5 之一所述具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池的制备方法,其特征是,所述每一个周期的上下两层由能隙为2.1-2.3eV的非晶SiC/能隙为1.8-2.1eV的纳米晶SiC构成时:所述非晶SiC采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160°C-200°C的条件下, SiH_4/H_2 气体体积流量比为0.5~5.0 的混合气体,通过掺杂 CH_4 ,并采用等离子体增强化学气相沉积方法形成,其中 CH_4/SiH_4 气体体积流量比为0.02~3.0,反应室气体的压强为0.3mbar~1.0mbar,射频功率密度为10mW/cm²~350mW/cm²,带隙宽度为2.1eV~2.3eV;所述纳米晶SiC采用13.56-40.68MHz PECVD 方法在温度为160-200°C的条件下,采用 SiH_4/H_2 气体体积流量比为 0.02~3.0的混合气体,通过掺杂 CH_4 ,并采用等离子体增强化学气相沉积方法形成,其中 CH_4/SiH_4 气体体积流量比为 0.02~3.0,反应室的反应气体压强为0.3 mbar~3.0mbar,射频功率密度为10 mW/cm²~350mW/cm²,带隙宽度为1.8 eV~2.1eV。

7. 权利要求1-5 之一所述具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池的制备方法,其特征是,所述每一个周期的上下两层由能隙为1.7eV的非晶Si/能隙为1.7eV到1.2eV的纳米晶Si构成时:所述非晶Si采用13.56 - 40.68MHz PECVD方法在温度为160-200°C的条件下沉积i-a-Si薄膜,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.2~5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²;所述纳米晶Si采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200°C的条件下沉积nc-Si薄膜,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.02~1,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。

8. 权利要求1-5之一所述具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池的制备方法,其特征是,所述每一个周期的上下两层由能隙为1.2eV到1.7eV的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 < X \leq 1$)/能隙为1.2eV到1.5eV的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 < X \leq 1$)构成时:所述能隙为1.2eV到1.7eV的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 < X \leq 1$)

$0 < X \leq 1$) 采用 13.56-40.68MHz PECVD 方法在温度为 160-200℃ 的条件下沉积高能隙的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 薄膜, 氢稀释比 $\text{SiH}_4 + \text{GeH}_4 / \text{H}_2$ 为 0.2~5, 反应腔室气压为 0.3~2.0mbar, 射频功率密度为 $10 \sim 350 \text{mW}/\text{cm}^2$; 所述能隙为 1.2eV 到 1.5eV 的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 < X \leq 1$) 采用 13.56-40.68MHz PECVD 方法在温度为 160-200℃ 的条件下沉积 nc-Si 薄膜, 氢稀释比 $\text{SiH}_4 + \text{GeH}_4 / \text{H}_2$ 为 0.02~3, 反应腔室气压为 0.3~2.0mbar, 射频功率密度为 $10 \sim 350 \text{mW}/\text{cm}^2$ 。

9. 权利要求 1-5 之一所述具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池的制备方法, 其特征是, 所述每一个周期的上下两层由能隙为 1.2eV 到 1.7eV 的纳米晶 Si/能隙为 1.1eV 到 1.5eV 的纳米晶 Si 构成时: 所述能隙为 1.2eV 到 1.7eV 的纳米晶 Si 采用 13.56-40.68MHz PECVD 方法在温度为 160-200℃ 的条件下沉积, 氢稀释比 $\text{SiH}_4 / \text{H}_2$ 为 0.05~1, 反应腔室气压为 0.3~2.0mbar, 射频功率密度为 $10 \sim 350 \text{mW}/\text{cm}^2$; 所述能隙为 1.1eV 到 1.5eV 的纳米晶 Si 采用 13.56-40.68MHz PECVD 方法在温度为 160-200℃ 的条件下沉积, 氢稀释比 $\text{SiH}_4 / \text{H}_2$ 为 0.01~0.5, 反应腔室气压为 0.3~2.0mbar, 射频功率密度为 $10 \sim 350 \text{mW}/\text{cm}^2$ 。

10. 权利要求 1-5 之一所述具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池的制备方法, 其特征是, 所述每一个周期的上下两层由能隙为 1.2eV 到 1.5eV 的纳米晶 Si/能隙为 1.1eV 的微晶 Si 构成时: 所述能隙为 1.2eV 到 1.5eV 的纳米晶 Si 采用 13.56-40.68MHz PECVD 方法在温度为 160-200℃ 的条件下沉积, 氢稀释比 $\text{SiH}_4 / \text{H}_2$ 为 0.01~0.5, 反应腔室气压为 0.3~2.0mbar, 射频功率密度为 $10 \sim 350 \text{mW}/\text{cm}^2$; 所述能隙为 1.1eV 的微晶 Si 采用 13.56-40.68MHz PECVD 方法在温度为 160-200℃ 的条件下沉积, 氢稀释比 $\text{SiH}_4 / \text{H}_2$ 为 0.01~0.05, 反应腔室气压为 0.3~2.0mbar, 射频功率密度为 $10 \sim 350 \text{mW}/\text{cm}^2$ 。

11. 权利要求 1-5 之一所述具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池的制备方法, 其特征是, 采用等离子体增强化学气相沉积方法对所述太阳能电池进行磷或硼掺杂时, 工艺控制参数为: TMB/ SiH_4 气体体积流量比为 0.001~0.5, $(0.5\% \text{PH}_3 / \text{H}_2) / \text{SiH}_4$ 流量比为 0.3~5, 其中 0.5% PH_3 / H_2 表示 PH_3 混合于载气 H_2 中的总体积分数为 0.5%; 使用 0.5~2mbar 的工艺压力, 射频功率密度 $50 \sim 250 \text{mW}/\text{cm}^2$, 且所述量子阱结构中掺杂磷或硼的浓度应低于磷或硼在 n 层或 p 层中的掺杂浓度。

具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及太阳能电池和具有量子阱结构的薄膜太阳能电池及其制造方法，特别是具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池结构及其制造方法。

背景技术

[0002] 自从法国科学家AE.Becquerel在1839年发现光电转换现象以后,1883年第一个以半导体硒为基片的太阳能电池诞生。1946年Russell获得了第一个太阳能电池的专利(US.2,402,662),其光电转换效率仅为1%。直到1954年,贝尔实验室的研究才发现了掺杂的硅基材料具有高的光电转换效率。这个研究为现代太阳能电池工业奠定了基础。在1958年,美国Haffman电力公司为美国的卫星装上了第一块太阳能电池板,其光电转换效率约为6%。从此,单晶硅及多晶硅基片的太阳能电池研究和生产有了快速的发展,2006年太阳能电池的产量已经达到2000兆瓦,单晶硅太阳能电池的光电转换效率达到24.7%,商业产品达到22.7%,多晶硅太阳能电池的光电转换效率达到20.3%,商业产品达到15.3%。另一方面,1970年苏联的Zhores Alferov研制了第一个GaAs基的高效率III-V族太阳能电池。由于制备III-V族薄膜材料的关键技术MOCVD(金属有机化学气相沉积)直到1980年左右才被成功研发,美国的应用太阳能电池公司在1988年成功地应用该技术制备出光电转换效率为17%的GaAs基的III-V族太阳能电池。其后,以GaAs为基片的III-V族材料的掺杂技术,多级串联太阳能电池的制备技术得到了广泛的研究和发展,其光电转换效率在1993年达到19%,2000年达到24%,2002年达到26%,2005年达到28%,2007年达到30%。2007年,美国两大III-V族太阳能电池公司Emcore和SpectroLab生产了高效率III-V族太阳能商业产品,其光电转换率达38%,这两家公司占有全球III-V族太阳能电池市场的95%,最近美国国家能源研究所宣布,他们成功地研发了其光电转换效率高达50%的多级串联的III-V族太阳能电池。由于这类太阳能电池的基片昂贵,设备及工艺成本高,主要应用于航空、航天、国防和军工等领域。国外的太阳能电池研究和生产,大致可以分为三个阶段,即有三代太阳能电池。第一代太阳能电池,基本上是以单晶硅和多晶硅基单一组元的太阳能电池为代表。仅注重于提高光电转换效率和大规模生产,存在着高的能耗、劳动密集、对环境不友善和高成本等问题,其产生电的价格约为煤电的2~3倍;直至2014年,第一代太阳能电池的产量仍占全球太阳能电池总量的80-90%。第二代太阳能电池为薄膜太阳能电池,是近几年来发展起来的新技术,它注重于降低生产过程中的能耗和工艺成本,专家们称其为绿色光伏产业。与单晶硅和多晶硅太阳能电池相比,其薄膜高纯硅的用量为其的1%,同时,低温(大约200℃左右)等离子增强型化学气相沉积沉积技术,电镀技术,印刷技术被广泛地研究并应用于薄膜太阳能电池的生产。由于采用低成本的玻璃、不锈钢薄片,高分子基片作为基板材料和低温工艺,大大降低了生产成本,并有利于大规模的生产。目前已成功研发的薄膜太阳能电池的材料为:CdTe,其光电转换效率为16.5%,而商业产品约为12%左右;CuInGaSe(CIGS),其光电转换效率为19.5%,商业产品为12%左右;非晶硅及微晶硅,其光电转换效率为8.3~15%,商业产品为7~12%,近年来,由于液晶电视的薄膜晶体管的研发,非晶硅

和微晶硅薄膜技术有了长足的发展,并已应用于硅基薄膜太阳能电池。围绕薄膜太阳能电池研究的热点是,开发高效、低成本、长寿命的光伏太阳能电池。它们应具有如下特征:低成本、高效率、长寿命、材料来源丰富、无毒,科学家们比较看好非晶硅薄膜太阳能电池。目前占最大份额的薄膜太阳能电池是非晶硅太阳能电池,通常为pin结构电池,窗口层为掺硼的P型非晶硅,接着沉积一层未掺杂的i层,再沉积一层掺磷的N型非晶硅,并镀电极。专家们预计,由于薄膜太阳能电池具有低的成本,高的效率,大规模生产的能力,在未来的10~15年,薄膜太阳能电池将成为全球太阳能电池的主流产品。非晶硅电池一般采用PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition—等离子增强型化学气相沉积)方法使高纯硅烷等气体分解沉积而成的。此种制作工艺,可以在生产中连续在多个真空沉积室完成,以实现大批量生产。由于沉积分解温度低,可在玻璃、不锈钢板、陶瓷板、柔性塑料片上沉积薄膜,易于大面积化生产,成本较低。在玻璃衬底上制备的非晶硅基太阳能电池的结构为:Glass/TCO/p-a-SiC/i-a-Si/n-a-Si/TCO,在不锈钢衬底上制备的非晶硅基太阳能电池的结构为:SS/ZnO/n-a-Si/i-a-Si/p-na-Si/ITO。国际公认非晶硅/微晶硅叠层太阳能电池是硅基薄膜电池的下一代技术,是实现高效低成本薄膜太阳能电池的重要技术途径,是薄膜电池新的产业化方向。微晶硅薄膜自从1968年被Veprek和Maracek采用氢等离子体化学气相沉积在600℃首次制备以来,人们开始对其潜在的优良性能有了初步认识,直到1979年,日本的Usui和Kikuchi通过采用极高的氢硅比的工艺方法和低温等离子体增强化学气相沉积技术,制备出掺杂微晶硅,人们才逐渐对微晶硅材料及其在太阳能电池中的应用进行研究。1994年,瑞士M.J.Williams和M.Faraji团队首次提出以微晶硅为底电池,非晶硅为顶电池的叠层电池的概念,这种电池结合了非晶硅优良特性和微晶硅的长波响应及稳定性好的优点。2005年日本三菱重工和钟渊化学公司的非晶硅/微晶硅叠层电池组件样品效率分别达到11.1%(40cm×50cm)和13.5%(91cm×45cm)。日本夏普公司2007年9月实现非晶硅/微晶硅叠层太阳能电池产业化生产(25MW,效率8%~8.5%),欧洲Oerlikon(欧瑞康)公司2009年9月宣布其非晶/微晶叠层太阳能电池实验室最高转换效率达11.9%、在2010年6于横滨开幕的太阳能电池展会“PVJapan 2010”上,美国应用材料(AMAT)宣布0.1m×0.1m模块的转换效率达到了10.1%,1.3m×1.1m模块的转换效率达到了9.9%。提高电池效率最有效的途径是尽量提高电池的光吸收效率。对硅基薄膜而言,采用窄带隙材料是必然途径。如Uni-Solar公司采用的窄带隙材料为a-SiGe(非晶硅锗)合金,他们的a-Si/a-SiGe/a-SiGe三结叠层电池,小面积电池(0.25cm²)效率达到15.2%,稳定效率达13%,900cm²组件效率达11.4%,稳定效率达10.2%,产品效率达7%~8%。对于薄膜太阳能电池而言,一个单结的,没有聚光的硅电池,理论上最大光电转化效率为31%(Shockley-Queisser限制)。按照带隙能量减少的顺序,双结的没有聚光的硅电池,理论上最大光电转化效率可增加到41%,而三结的可达到49%。因此,发展多结薄膜太阳能电池是提升太阳能电池效率的重要途径。对于碲化镉薄膜太阳能电池,与碲化镉相匹配的高或低带隙材料的熔点很低,且不稳定,难以形成多结高效串联太阳能电池。对于CIGS薄膜太阳能电池,与CIGS相匹配的高或低带隙材料难以制备,也不易形成多结高效串联太阳能电池。对于硅基薄膜太阳能电池,晶体硅和非晶硅的带隙为1.1eV和1.7eV的,而纳米硅的带隙依据晶粒尺寸的大小可在1.1eV和1.7eV之间变化。Si系化合物,如晶体Si_{1-x}Ge_x带隙(0<X≤1)依据Ge的浓度可从1.1eV变到0.7eV,而非晶SiGe可在1.4,非晶SiC约1.95eV,这种组合正好是与太阳的光谱相匹配。在另一方面,

如何充分地吸收光能,提高太阳能电池的光电转化效率,让尽可能多的电子能被光激发而转变为电能,这样,电池材料的能级匹配和少的缺陷是至关重要的。从技术层面来说,薄膜沉积的技术难点在于实现高速沉积的同时保证薄膜的高质量和均匀性,因为薄膜晶粒尺寸,晶粒生长过程及生长的基底材料都对薄膜的质量和均匀性有强烈的影响,从而影响整个电池性能表现。在薄膜晶粒生长过程中,由于晶粒的异常长大,导致晶粒大小不均匀,极易形成孔洞和裂缝。充斥于薄膜中的孔洞和裂缝增加了载流子的复合,并且导致漏电流,严重降低了Voc和FF值。因此,解决这一技术难题,是制备高效薄膜太阳能电池的重要途径。我们在专利ZL200910043930-4,ZL200910043931-9和ZL200910226603-2中已经从技术方面,制造了高效率的a-Si/ μ C-Si,和a-Si/nC-Si/ μ C-Si双结和三结硅基薄膜太阳能电池,高密度(HD)和超高频(VHF)-PECVD技术已经开发并用于了高质量,大尺度的a-Si,a-SiGe,nC-Si, μ C-Si,A-SiC薄膜沉积。以a-SiC作为窗口层,以及p型掺杂富硅氧化硅薄膜用于顶部a-Si和底部 μ C-Si电池之间中间反射层已经用来增加a-Si/ μ C-Si双结和a-Si/nC-Si/ μ C-Si三结硅基薄膜太阳能电池的效率。高质量的B掺杂ZnO_x的CVD工艺优化,提高了其雾度和电导率,并研究了其他的光捕获技术。三结硅基薄膜太阳能电池的实验室样品效率可以达到15%,具有稳定效率大于10%及以上的商业化的a-Si/ μ C-Si(1.1米x1.3米)太阳能电池组件已经制备。本申请在专利ZL200910043930-4,ZL200910043931-9和ZL200910226603-2的基础上继续研究,旨在提供一种具有量子阱结构的薄膜太阳能电池及其制造方法。

发明内容

[0003] 本发明要解决的技术问题是,针对现有技术存在的薄膜材料与太阳能光谱能隙匹配、晶粒形成和生长过程中产生的缺陷的问题,以及如何充分吸收太阳光并提高光电转化效率,提出具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池及其制造方法。为实现上述目的,本发明的技术方案是:一种具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池,所述硅基薄膜太阳能电池的每一结pin结构中的i层均包括由多个周期所形成的量子阱结构,其中一个周期的结构包括晶体结构相同而能隙不同的上下两层,上层为高能隙层,下层为低能隙层;所述高能隙层和低能隙层的材料分别选自掺杂或者未掺杂的非晶SiC、纳米晶SiC、非晶Si、纳米晶Si、非晶Si_{1-x}Ge_x(0<X≤1)、微晶Si。优选方案:所述一个周期的上下两层材料选自以下组合中的任意一种:能隙为2.1-2.3eV的非晶SiC/能隙为1.8-2.1eV的纳米晶SiC、能隙为1.7eV的非晶Si/能隙为1.7eV到1.2eV的纳米晶Si、能隙为1.2eV到1.7eV的非晶Si_{1-x}Ge_x(0<X≤1)/能隙为1.2eV到1.5eV的非晶Si_{1-x}Ge_x(0<X≤1)、能隙为1.2eV到1.7eV的纳米晶Si/能隙为1.1eV到1.5eV的纳米晶Si,能隙为1.2eV到1.5eV的纳米晶Si/能隙为1.1eV的微晶Si,“/”表示两层之间的界面。所述量子阱结构的势垒高度通过组成量子阱结构材料的能隙差来调节,能隙差一般0.1-0.5eV。所述量子阱结构的势垒宽度通过高能隙层和低能隙层的厚度为调节,所述高能隙层的厚度一般为1-10nm,所述低能隙层的厚度一般为10-100nm。所述每一结pin结构中的i层均优选包括由5-20个周期所形成的量子阱结构。所述掺杂非晶SiC、纳米晶SiC、非晶Si、纳米晶Si、非晶Si_{1-x}Ge_x(0<X≤1)、微晶Si中掺杂材料优选为磷或硼。所述具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池的制备方法,当一个周期的上下两层由能隙为2.1-2.3eV的非晶SiC/能隙为1.8-2.1eV的纳米晶SiC构成时,优选的控制参数为:所述非晶SiC采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160°C-200°C的条件下,SiH₄/H₂气体体积流量比

为0.5~5.0的混合气体,通过掺杂CH₄,并采用等离子体增强化学气相沉积方法形成,其中CH₄/SiH₄气体体积流量比为0.02~3.0,反应室气体的压强为0.3mbar~1.0mbar,射频功率密度为10mW/cm²~350mW/cm²,带隙宽度为2.1eV~2.3eV;所述纳米晶SiC采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下,采用SiH₄/H₂气体体积流量比为0.02~3.0的混合气体,通过掺杂CH₄,并采用等离子体增强化学气相沉积方法形成,其中CH₄/SiH₄气体体积流量比为0.02~3.0,反应室的反应气体压强为0.3mbar~3.0mbar,射频功率密度为10mW/cm²~350mW/cm²,带隙宽度为1.8eV~2.1eV。当所述一个周期的上下两层由能隙为1.7eV的非晶Si/能隙为1.7eV到1.2 eV的纳米晶Si构成时,优选的控制参数为:所述非晶Si采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积i-a-Si薄膜,氢稀释比SiH₄/H₂为0.2~5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²;所述纳米晶Si采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积nc-Si薄膜,氢稀释比SiH₄/H₂为0.02~1,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。当所述一个周期的上下两层由能隙为1.2eV到1.7eV的非晶Si_{1-x}Ge_x (0<X≤1)/能隙为1.2eV到1.5eV的非晶Si_{1-x}Ge_x (0<X≤1)构成时,优选的控制参数为:所述能隙为1.2eV到1.7eV的非晶Si_{1-x}Ge_x (0<X≤1)采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积高能隙的非晶Si_{1-x}Ge_x薄膜,氢稀释比SiH₄+GeH₄/H₂为0.2~5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²;所述能隙为1.2eV到1.5eV的非晶Si_{1-x}Ge_x (0<X≤1)采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积nc-Si薄膜,氢稀释比SiH₄+GeH₄/H₂为0.02~3,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。当所述一个周期的上下两层由能隙为1.2eV到1.7eV的纳米晶Si/能隙为1.1 eV到1.5eV的纳米晶Si构成时,优选的控制参数为:所述能隙为1.2eV到1.7 eV的纳米晶Si采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比SiH₄/H₂为0.05~1,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²;所述能隙为1.1eV到1.5eV的纳米晶Si采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比SiH₄/H₂为0.01~0.5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述一个周期的上下两层由能隙为1.2eV到1.5eV的纳米晶Si/能隙为1.1eV的微晶Si构成时,优选的控制参数为:所述能隙为1.2eV到1.5eV的纳米晶Si采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比SiH₄/H₂为0.01~0.5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²;所述能隙为1.1eV的微晶Si采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比SiH₄/H₂为0.01~0.05,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。当采用等离子体增强化学气相沉积方法对所述太阳能电池材料进行磷或硼掺杂时,优选的工艺控制参数为:TMB/SiH₄气体体积流量比为0.001~0.5, (0.5%PH₃/H₂)/SiH₄流量比为0.3~5,其中0.5%PH₃/H₂表示PH₃混合于载气H₂中的总体积分数为0.5%;使用0.5~2mBar的工艺压力,射频功率密度50~250mW/cm²,且所述量子阱结构材料中掺杂磷或硼的浓度应低于磷或硼在n层或p层中的掺杂浓度。进一步解释和说明:对于硅基薄膜太阳能电池而言,晶体硅和非晶硅的带隙为1.1eV和1.7eV的,而纳米硅的带隙依据晶粒尺寸的大小可在1.1eV和1.7eV之间变化。Si化合物,如晶体Si_{1-x}Ge_x带隙(0<X≤1)依据Ge的浓度可从1.1eV变到0.7eV,而非晶SiGe可在1.4,非晶SiC约2.2eV,纳米晶SiC可从1.8eV变到2.1eV。因此,对于硅基薄膜太阳能电池

而言,其量子阱结构由以下材料匹配组合形成:非晶SiC(2.1-2.3eV)/纳米晶SiC(1.8-2.1eV),非晶Si(1.7eV)/纳米晶Si(1.7eV到1.2eV),非晶Si_{1-x}Ge_x(0<X≤1,1.7eV到1.2eV)/非晶Si_{1-x}Ge_x(0<X≤1,1.5eV到1.2eV),纳米晶Si(1.2eV到1.7eV)/纳米晶Si(1.1eV到1.5eV),纳米晶Si(1.1eV到1.5eV)/微晶Si(1.1eV)。并按能级递降的顺序制备多结具有量子阱结构的薄膜太阳能电池。本发明的多结具有量子阱结构的薄膜太阳能电池中,利用宽隙材料的量子阱结构做顶电结,将短波长的光能转化为电能;利用窄带材料的量子阱结构做底电结,可将特长波长光能转化为电能。由于更加充分利用了阳光的谱域,多结具有量子阱结构的薄膜太阳能电池具有更高的光电转换效率。如果在多结具有量子阱结构的薄膜太阳能电池中,在具有不同能隙宽度的各结之间,加入中间反射层对各波段的入射光进行逐级的入射和全反射,增加其在电池中的光程从而增加太阳能电池对光的吸收,达到了提高了转换效率的目的。在多结具有量子阱结构的薄膜太阳能电池中,其每一结的pin结构的i层采用量子阱结构。这种量子阱结构由能隙不同的材料通过PECVD,磁控溅射,电子束蒸发等工艺制成交替叠层的方式而形成。量子阱的势垒高度由制成材料之间的能隙差决定,通过其相匹配材料的能隙大小来调节。量子阱的势垒宽度可通过形成量子阱中较大能隙材料的厚度来调节。与现有技术相比,本申请的优势在于:本发明在多结薄膜太阳能电池中,每一结的pin结构的i层采用晶体结构相同而能隙不同的材料形成量子阱结构。这种量子阱能够分离和捕捉游离电子,在太阳光的激发下,形成较大电流而提高薄膜太阳能电池的效率。量子阱的势垒高度可通过其相匹配材料的能隙来调节。量子阱的势垒宽度可通过其相匹配材料的厚度来调节。每一结的pin结构的i层的量子阱结构避免了晶粒的异常长大和孔洞和裂缝的形成,制备了致密的,晶粒尺寸大小均匀,能隙匹配的高质量的薄膜,同时,量子阱结构有利于对太阳光的充分吸收。因而,进一步提高了薄膜太阳能电池的效率。

[0004] 附图说明 图1是具有量子阱结构的多结硅基薄膜太阳能电池结构示意图;图2是具有量子阱结构的非晶/微晶双结硅基薄膜太阳能电池结构示意图;图3是具有量子阱结构的非晶/微晶/微晶三结硅基薄膜太阳能电池结构示意图;图4是具有量子阱结构的多结硅基薄膜太阳能电池制备工艺流程图;图5是具有量子阱结构的双结硅基薄膜太阳能电池制备工艺流程图;图6是具有量子阱结构的三结硅基薄膜太阳能电池制备工艺流程图。

[0005] 具体实施方式 下面结合附图和实施例对本发明做进一步的说明。一种具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池,所述硅基薄膜太阳能电池的每一结pin结构中的i层均包括由多个周期所形成的量子阱结构,其中一个周期的结构包括晶体结构相同而能隙不同的上下两层,上层为高能隙层,下层为低能隙层。如图1-图3所示,图1是具有量子阱结构的多结硅基薄膜太阳能电池结构示意图;图2是具有量子阱结构的非晶/微晶双结硅基薄膜太阳能电池结构示意图;图3是具有量子阱结构的非晶/微晶/微晶三结硅基薄膜太阳能电池结构示意图;其中,所述一个周期的上下两层材料可以为以下任意一种:能隙为2.1-2.3eV的非晶SiC/能隙为1.8-2.1eV的纳米晶SiC、能隙为1.7eV的非晶Si/能隙为1.7 eV到1.2eV的纳米晶Si、能隙为1.2eV到1.7eV的非晶Si_{1-x}Ge_x(0<X≤1)/能隙为1.2eV到1.5eV的非晶Si_{1-x}Ge_x(0<X≤1)、能隙为1.2eV到1.7eV的纳米晶 Si/能隙为1.1eV到1.5eV的纳米晶Si,能隙为1.2eV到1.5eV的纳米晶Si/能隙为1.1eV的微晶Si,“/”表示两层之间的界面。通常高能隙层的厚度为1-10nm,低能隙层的厚度为10-100nm,量子阱的结构周期为5-20。为了降低量

子阱的电阻,其量子阱的结构中的薄膜材料进行适当的磷(P)和硼(B)的掺杂,掺杂浓度应小于pin结中的n层和p层的掺杂浓度。实施例1:对于具有量子阱结构的多结硅基薄膜太阳能电池而言,图1是具有量子阱结构的多结硅基薄膜太阳能电池结构示意图;其量子阱结构由以下材料匹配组合形成:非晶SiC(2.1-2.3eV)/纳米晶SiC(1.8-2.1eV),非晶Si(1.7eV)/纳米晶Si(1.7eV到1.2eV),非晶Si_{1-x}Ge_x(0<X≤1,1.7eV到1.2eV)/非晶Si_{1-x}Ge_x(0<X≤1,1.5eV到1.2eV),纳米晶Si(1.2eV到1.7eV)/纳米晶Si(1.1eV到1.5eV),纳米晶Si(1.1eV到1.5eV)/微晶Si(1.1eV)。如图4所示,所述具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池的制造方法包括:(1)对玻璃基板进行清洗;(2)在基板上制备TCO前电极;(3)采用355nm波长激光器将TCO前电极分割形成子电池的电极;(4)对划刻后的玻璃基板再次进行清洗;(5)在具有导电膜的玻璃基片上,采用等离子体增强化学气相沉积工艺制备SiC,非晶硅,纳米晶硅,微晶硅,Si_{1-x}Ge_x薄膜;所述p-A-SiC接触层沉积,相关工艺参数为:衬底温度150℃~300℃,SiH₄/H₂气体体积流量比为0.5~5.0,CH₄/SiH₄气体体积流量比为0.02~3.0,TMB/SiH₄气体体积流量比为0.01~2.0,反应腔室气压为0.3mbar~1.0mbar,射频功率密度为10mW/cm²~350mW/cm²;所述p-A-SiC接触层厚度为:2nm~10nm;所述p-A-SiC窗口层沉积,相关工艺参数为:衬底温度150℃~300℃,SiH₄/H₂气体体积流量比为0.05~5.0,CH₄/SiH₄气体体积流量比为0.02~3.0,TMB/SiH₄气体体积流量比为0.01~3.0,反应腔室气压为0.3mbar~3.0mbar,射频功率密度为10mW/cm²~350mW/cm²;所述p-A-SiC窗口层厚度为:2nm~10nm;所述p-A-SiC缓冲层沉积,相关工艺参数为:衬底温度150℃~300℃,SiH₄/H₂气体体积流量比为0.02~5.0,CH₄/SiH₄体积比为0.1~2.0,反应腔室气压为1.0mbar~3.0mbar,射频功率密度为10mW/cm²~350mW/cm²;所述p-A-SiC缓冲层厚度为:5nm~15nm;所述量子阱结构的上下两层由能隙为2.1-2.3eV的非晶SiC/能隙为1.8-2.1eV的纳米晶SiC构成时所述叠层i-A-SiC本征层沉积,2.1-2.3eV的非晶SiC相关工艺参数为:衬底温度150℃~300℃,氢稀释比SiH₄/H₂为0.2~5,反应腔室气压为0.3mbar~2.0mbar,射频功率密度为10mW/cm²~350mW/cm²;所述纳米晶-SiC相关工艺参数为:衬底温度150℃~300℃,氢稀释比SiH₄/H₂为0.01~1,反应腔室气压为0.3mbar~2.0mbar,射频功率密度为10mW/cm²~350mW/cm²;所述量子阱结构的上下两层由能隙为非晶Si(1.7eV)/纳米晶Si(1.7eV到1.2eV)构成时:所述非晶硅采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积i-a-Si薄膜,氢稀释比SiH₄/H₂为0.2~5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述纳米晶硅,采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积nc-Si薄膜,氢稀释比SiH₄/H₂为0.02~1,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述非晶Si_{1-x}Ge_x(0<X≤1,1.7eV到1.2eV)/非晶Si_{1-x}Ge_x(0<X≤1,1.5eV到1.2eV)组成的量子阱结构,所述高能隙的非晶Si_{1-x}Ge_x(0<X≤1,1.7eV到1.2eV)采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积高能隙的非晶Si_{1-x}Ge_x薄膜,氢稀释比SiH₄+GeH₄/H₂为0.2~5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述低能隙的非晶Si_{1-x}Ge_x(0<X≤1,1.5eV到1.2eV),采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积nc-Si薄膜,氢稀释比SiH₄+GeH₄/H₂为0.02~3,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述纳米晶Si(1.2eV到1.7eV)/纳米晶Si(1.1eV到1.5eV)组成的量子阱结构,所述高能隙纳米晶Si(1.2eV到1.7eV)采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200

℃的条件下沉积,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.05~1,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述低能隙的纳米晶Si (1.1eV到1.5eV),采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.01~0.5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述纳米晶Si (1.1eV到1.5eV)/微晶Si (1.1eV)组成的量子阱结构,所述纳米晶Si (1.1eV到1.5eV)采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.01~0.5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述微晶Si (1.1eV)采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.01~0.05,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述p-型SiC,非晶,纳米晶,微晶硅, $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 薄膜,采用硼掺杂制备,相关工艺参数为:采用13.56MHz-40.68MHz PECVD方法,衬底温度150℃~300℃,TMB/ SiH_4 气体体积流量比为0.01~2.0,反应腔室气压为0.3mbar~3.0mbar,射频功率密度为10mW/cm²~350mW/cm²;p型掺杂层厚度为2~30nm。所述n-型SiC,非晶,纳米晶,微晶硅, $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 薄膜,采用磷掺杂制备,相关工艺参数为:衬底温度150℃~300℃,0.5-2%PH₃/H₂与 SiH_4 气体体积流量比为0.01~2.0,反应腔室气压为0.3mbar~2.0mbar,射频功率密度为10 mW/cm²~350mW/cm²;n型掺杂层厚度范围2nm~30nm;(6)采用532nm波长激光器划刻镀膜后的玻璃基片,便于TCO背电极作为导线连接子电池;(7)制备TCO背电极;(8)采用532nm波长激光器划刻硅基薄膜和TCO背电极,形成单个的子电池;(9)对电池边缘进行激光划线处理;(10)对电池进行电路连接及封装。实施例2:对于双结硅基薄膜太阳能电池而言,图2是具有量子阱结构的非晶/微晶双结硅基薄膜太阳能电池结构示意图;其量子阱结构由以下材料匹配组合形成,非晶Si (1.7eV)/纳米晶Si (1.7eV到1.2eV),纳米晶Si (1.2eV到1.7eV)/纳米晶Si (1.1eV到1.5eV)和非晶Si (1.7eV)/纳米晶Si (1.7eV到1.2 eV),纳米晶Si (1.2eV到1.5eV)/微晶Si (1.1eV);并按能级递降的顺序制备多结具有量子阱结构的薄膜太阳能电池。通常高能隙材料的厚度为1-10nm,低能隙材料的厚度为10-100nm,量子阱的结构周期为5-20。为了降低量子阱的电阻,其量子阱的结构中的薄膜材料进行适当的磷(P)和硼(B)的掺杂,掺杂浓度应小于pin结中的n层和p层的掺杂浓度。如图5所示,所述具有量子阱结构的双结硅基薄膜太阳能电池的制造方法,其工艺过程如下:(1)对玻璃基板进行清洗;(2)在基板上制备TCO前电极;(3)采用355nm波长激光器将TCO前电极分割形成子电池的电极;(4)对划刻后的玻璃基板再次进行清洗;(5)在具有导电膜的玻璃基片上,采用等离子体增强化学气相沉积工艺制备非晶,纳米晶薄膜;所述非晶硅采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积i-a-Si薄膜,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.2~5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述纳米晶硅,采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积nc-Si薄膜,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.02~1,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述纳米晶Si (1.2eV到1.7eV)/纳米晶Si (1.1eV到1.5eV)组成的量子阱结构,其特征是,所述高能隙纳米晶Si (1.2eV到1.7eV)采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.05~1,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述低能隙的纳米晶Si (1.1eV到1.5eV),采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.01~0.5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述纳米晶Si (1.1eV到1.5eV)/微晶Si (1.1eV)

组成的量子阱结构,其特征是,所述纳米晶Si (1.2eV到1.7eV)采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.01~0.5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述微晶Si (1.1eV),采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.01~0.05,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述p-型非晶,纳米晶薄膜,采用硼掺杂制备,相关工艺参数为:采用13.56MHz-40.68MHz PECVD方法,衬底温度150℃~300℃,TMB/SiH₄气体体积流量比为0.01~2.0,反应腔室气压为0.3mbar~3.0mbar,射频功率密度为10mW/cm²~350mW/cm²;p型掺杂层厚度为2~30nm。所述n-型非晶,纳米晶薄膜,采用磷掺杂制备,相关工艺参数为:衬底温度150℃~300℃,0.5-2%PH₃/H₂与SiH₄气体体积流量比为0.01~2.0,反应腔室气压为0.3mbar~2.0mbar,射频功率密度为10mW/cm²~350mW/cm²;n型掺杂层厚度范围2nm~30nm;(6)采用532nm波长激光器划刻镀膜后的玻璃基片,便于TCO背电极作为导线连接子电池;(7)制备TCO背电极;(8)采用532nm波长激光器划刻硅基薄膜和TCO背电极,形成单个的子电池;(9)对电池边缘进行激光划线处理;(10)对电池进行电路连接及封装。实施例3:对于三结硅基薄膜太阳能电池而言,图3是具有量子阱结构的非晶/微晶/微晶三结硅基薄膜太阳能电池结构示意图;其量子阱结构由以下材料匹配组合形成:非晶Si (1.7eV)/纳米Si (1.2eV到1.7eV),高能纳米晶Si (1.2eV到1.7 eV)/纳米晶Si (1.1eV到1.5eV),纳米Si (1.1eV到1.5eV)/微晶Si (1.1eV)。并按能级递降的顺序制备多结具有量子阱结构的薄膜太阳能电池。通常高能隙材料的厚度为1-10nm,低能隙材料的厚度为10-100nm,量子阱的结构周期为5-20。为了降低量子阱的电阻,其量子阱的结构中的薄膜材料进行适当的磷(P)和硼(B)的掺杂,掺杂浓度应小于pin结中的n层和p层的掺杂浓度。如图6所示:所述具有量子阱结构的硅基薄膜太阳能电池的制造方法包括:(1)对玻璃基板进行清洗;(2)在基板上制备TCO前电极;(3)采用355nm波长激光器将TCO前电极分割形成子电池的电极;(4)对划刻后的玻璃基板再次进行清洗;(5)在具有导电膜的玻璃基片上,采用等离子体增强化学气相沉积工艺制备非晶,纳米晶,微晶硅薄膜;所述非晶硅采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积i-a-Si薄膜,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.2~5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述纳米晶硅,采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积nc-Si薄膜,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.02~1,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述纳米晶Si (1.2eV到1.7eV)/纳米晶Si (1.1eV到1.5eV)组成的量子阱结构,所述高能隙纳米晶Si (1.2eV到1.7eV)采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.05~1,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述低能隙的纳米晶Si (1.1eV到1.5eV),采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.01~0.5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述纳米晶Si (1.1eV到1.5eV)/微晶Si (1.1eV)组成的量子阱结构,所述纳米晶Si (1.1eV到1.5eV)采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.01~0.5,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述微晶Si (1.1eV),采用13.56-40.68MHz PECVD方法在温度为160-200℃的条件下沉积,氢稀释比 SiH_4/H_2 为0.01~0.05,反应腔室气压为0.3~2.0mbar,射频功率密度为10~350mW/cm²。所述p-型非晶,纳米晶,微晶硅薄膜,采用硼掺

杂制备,相关工艺参数为:采用13.56MHz-40.68MHz PECVD方法,衬底温度150℃~300℃,TMB/SiH₄气体体积流量比为0.01~2.0,反应腔室气压为0.3mbar~3.0mbar,射频功率密度为10mW/cm²~350mW/cm²;p型掺杂层厚度为2~30nm。所述n-型非晶,纳米晶,微晶硅薄膜,采用磷掺杂制备,相关工艺参数为:衬底温度150℃~300℃,0.5-2%PH₃/H₂与SiH₄气体体积流量比为0.01~2.0,反应腔室气压为0.3mbar~2.0mbar,射频功率密度为10mW/cm²~350mW/cm²;n型掺杂层厚度范围2nm~30nm;(6)采用532nm波长激光器划刻镀膜后的玻璃基片,便于TCO背电极作为导线连接子电池;(7)制备TCO背电极;(8)采用532nm波长激光器划刻硅基薄膜和TCO背电极,形成单个的子电池;(9)对电池边缘进行激光划线处理;(10)对电池进行电路连接及封装。

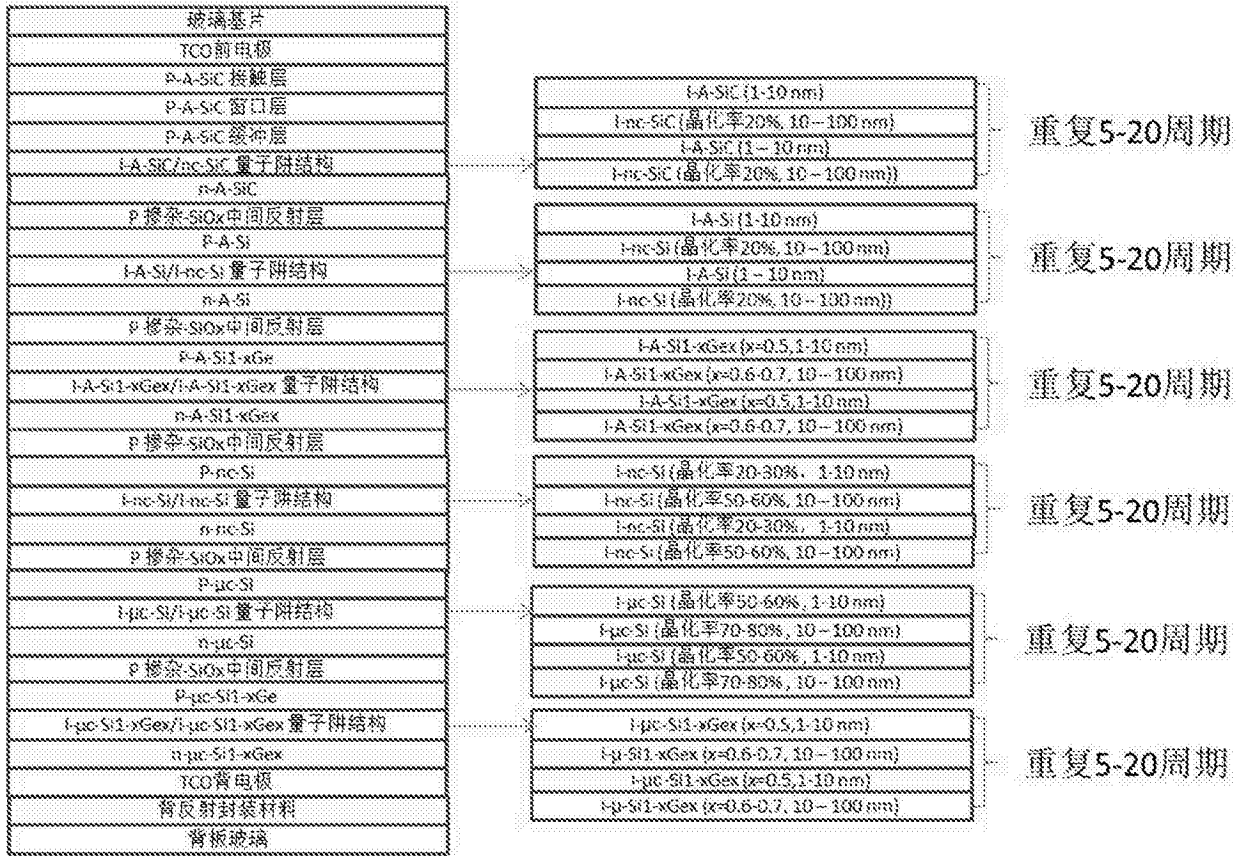


图1

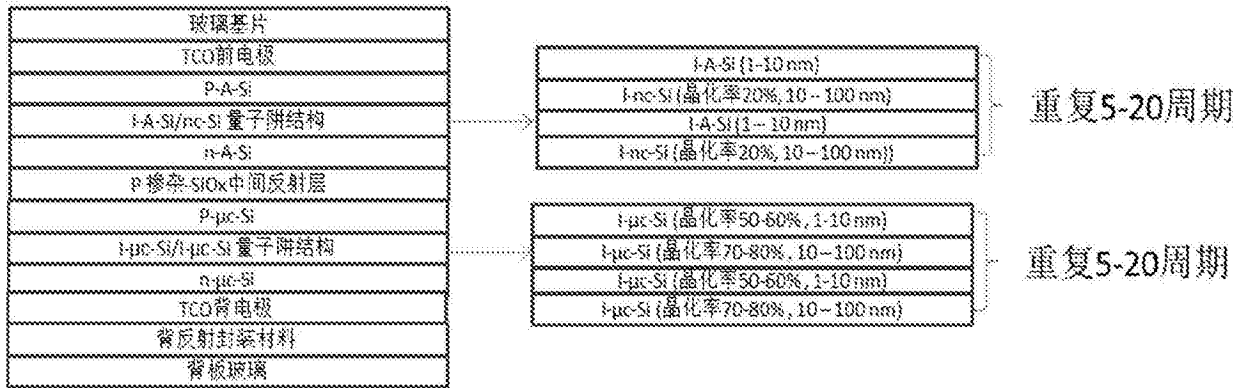


图2

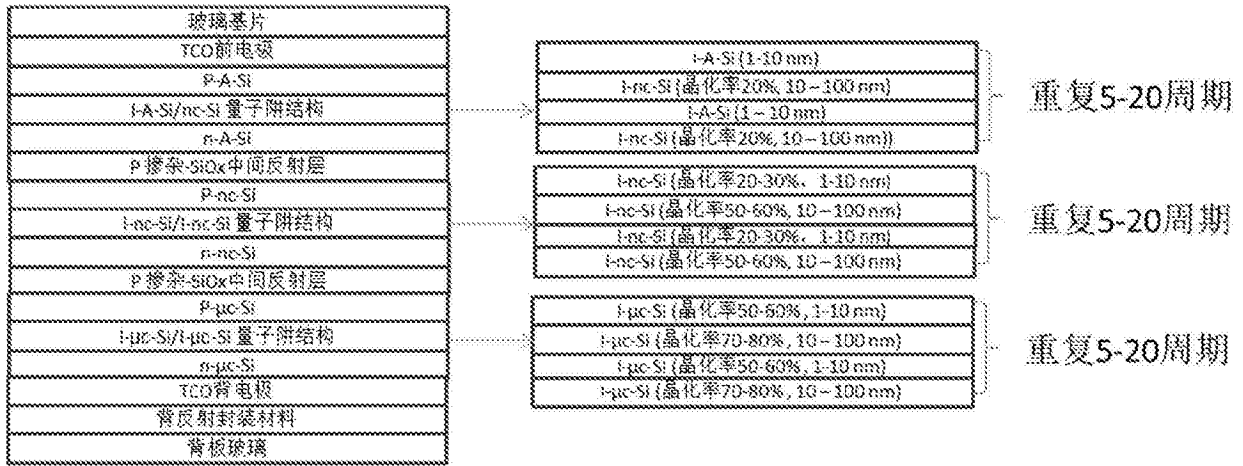


图3

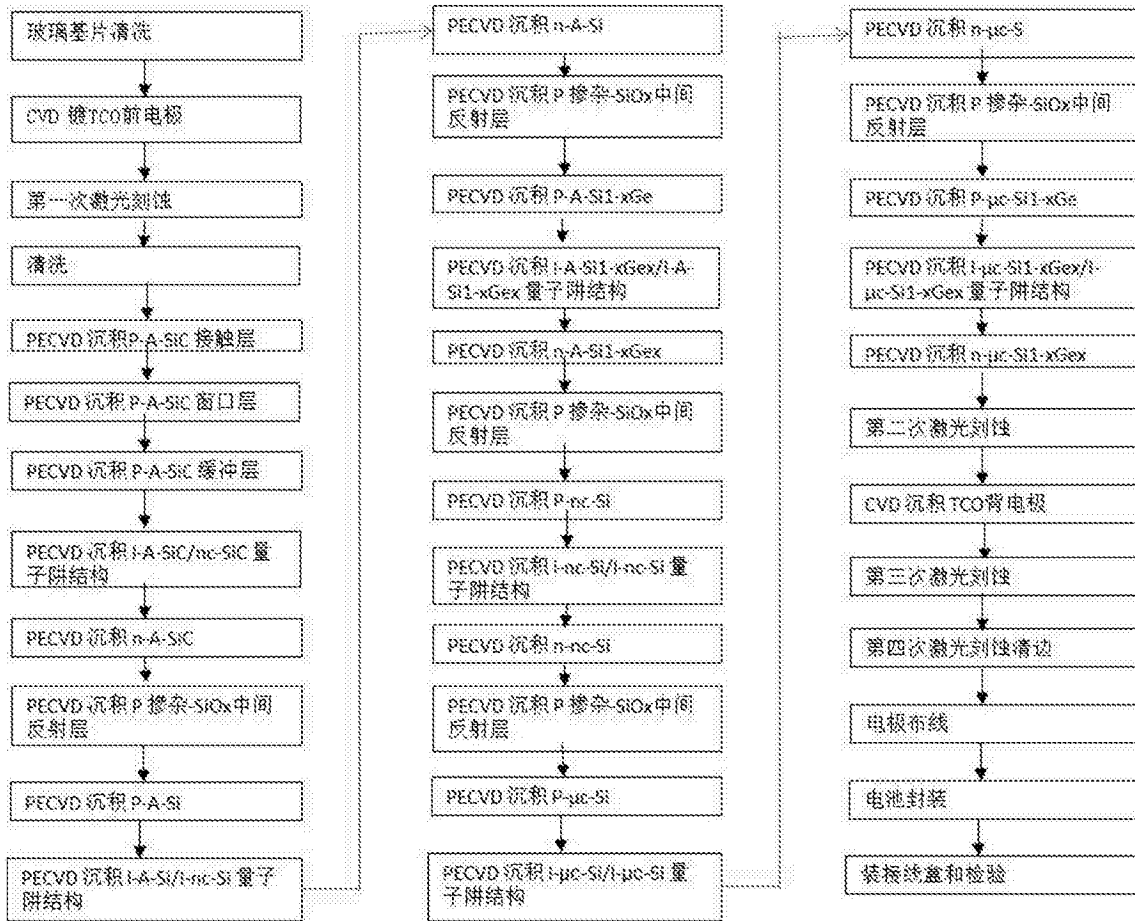


图4

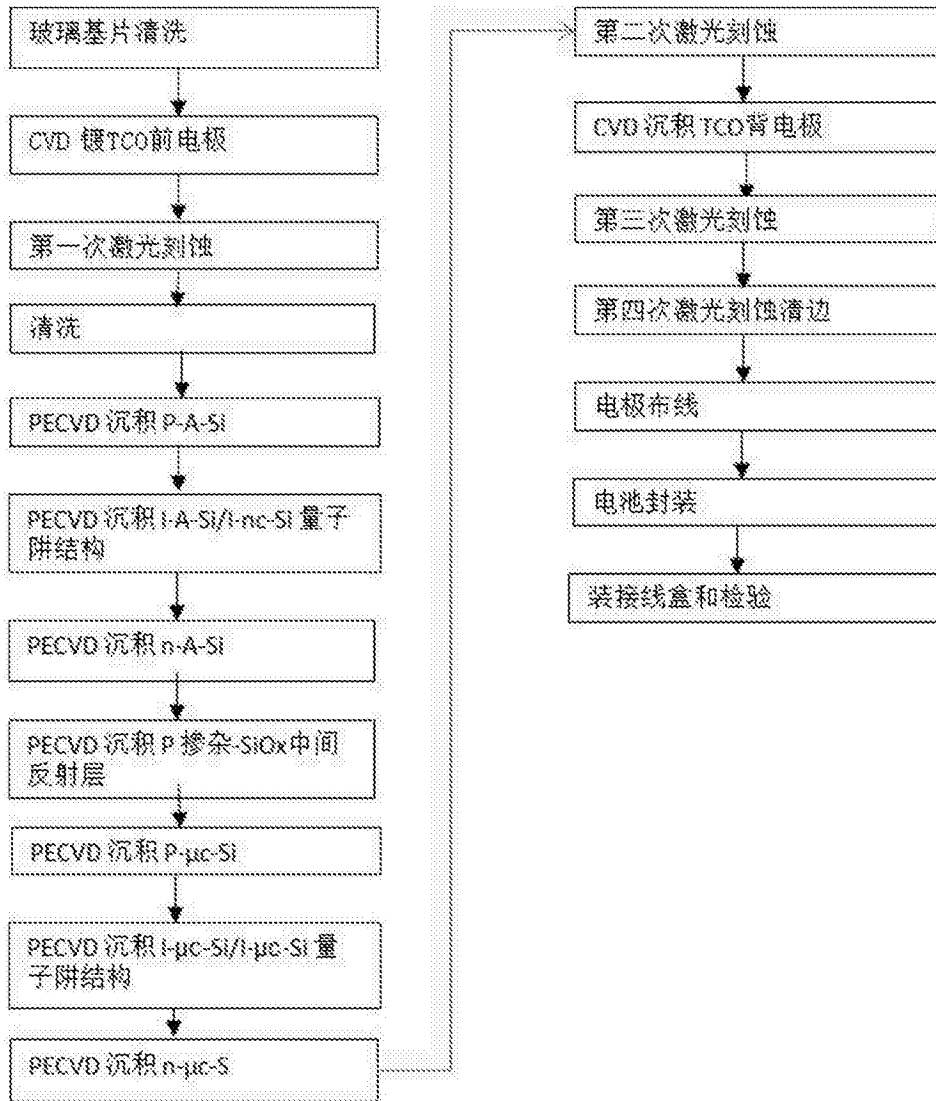


图5

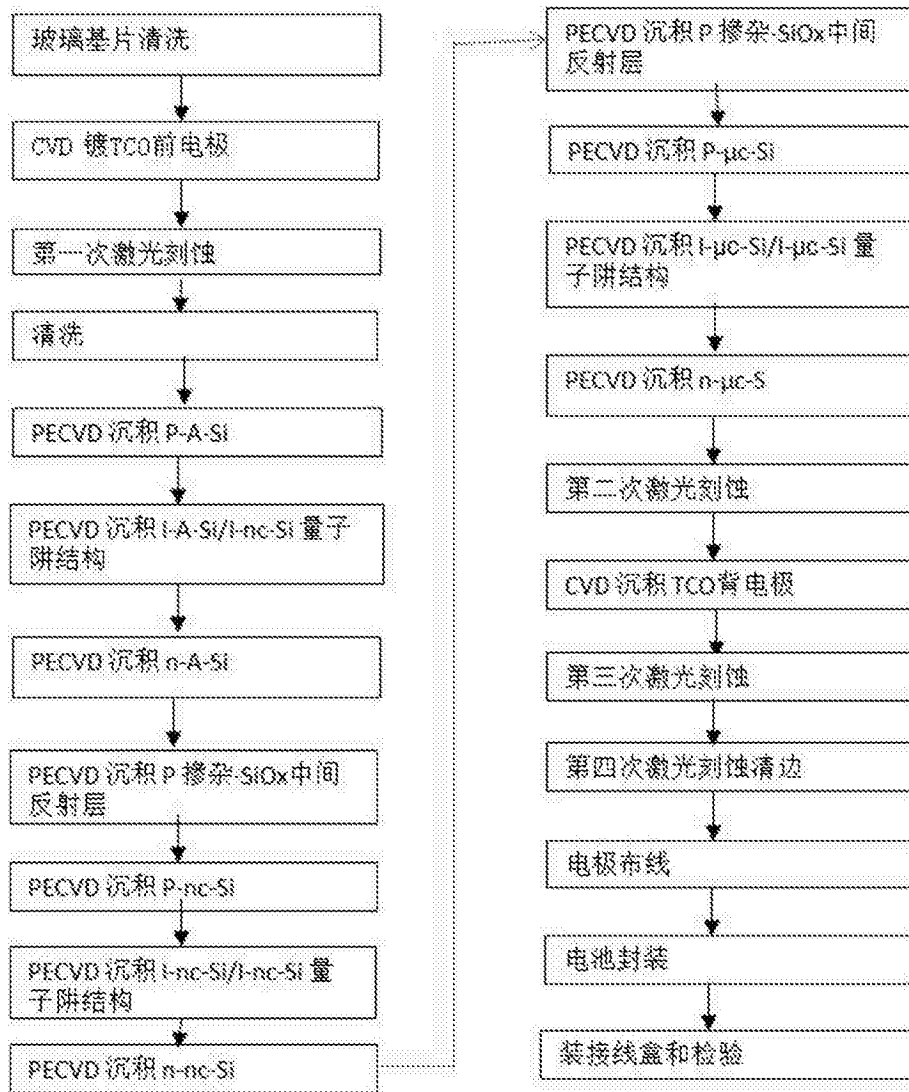


图6