



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 204668317 U

(45) 授权公告日 2015. 09. 23

(21) 申请号 201520222956. 6

(22) 申请日 2015. 04. 14

(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

(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 31/028(2006. 01)

H01L 31/0352(2006. 01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

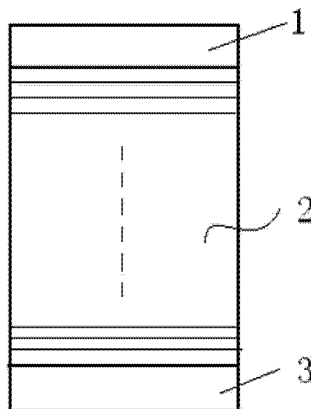
权利要求书1页 说明书7页 附图4页

(54) 实用新型名称

具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池

(57) 摘要

本实用新型公开了一种具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池,在多结薄膜太阳能电池中包括至少一个pin结,所述pin结中的i层为晶体结构相同且具有能隙梯度的多层结构。这种梯度结构的太阳能电池具有较宽的能谱范围,能够吸收更多的太阳光并转化为电能,形成较大电流而提高薄膜太阳能电池的效率。同时所述pin结中的i层的梯度结构的工艺控制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,晶粒尺寸大小均匀可控,与太阳能谱较好匹配的高质量的薄膜,同时,梯度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。



1. 一种具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池,包括至少一个 pin 结,其特征是,所述 pin 结中的 i 层为晶体结构相同且具有能隙梯度的多层结构;所述多层结构从首层至末层由高能隙层向低能隙层排列,且任意相邻两层之间的能隙差在 0.01 - 0.1eV 之间。

2. 根据权利要求 1 所述具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池,其特征是,所述多层结构选自以下五种结构之一:

(1) 能隙为 2.1-2.3eV 的非晶 SiC 层向能隙为 1.8-2.1eV 的纳米晶 SiC 层均匀过渡的梯度结构;

(2) 能隙为 1.7eV 的非晶 Si 层向能隙为 1.7eV 到 1.2eV 的纳米晶 Si 层均匀过渡的梯度结构;

(3) 能隙为 1.7eV 到 1.2eV 的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) 层向能隙为 1.5eV 到 1.2eV 的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) 层均匀过渡的梯度结构;

(4) 能隙为 1.7eV 到 1.2eV 的纳米晶 Si 层向能隙为 1.5eV 到 1.1eV 的纳米晶 Si 层均匀过渡的梯度结构;

(5) 能隙为 1.5eV 到 1.2eV 的纳米晶 Si 层向能隙为 1.1eV 的微晶 Si 层均匀过渡的梯度结构。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池,其特征是,所述多层结构的总厚度在 0.1 微米到 3 微米之间。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池,其特征是,所述多层结构内每一层的厚度为 1nm-100nm 之间。

5. 根据权利要求 4 所述具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池,其特征是,所述多层结构内每一层的厚度为 1nm-10nm 之间。

6. 根据权利要求 1 或 2 所述具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池,其特征是,所述多层结构按照能隙差在 0.01 - 0.02eV 之间的形式均匀降低。

7. 根据权利要求 2 所述具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池,其特征是,在所述纳米晶和微晶的多层结构中插入至少一层掺杂或者非掺杂的非晶层,所述非晶层厚度为 1nm-10nm,所述掺杂的非晶层为磷或硼掺杂的非晶层。

具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池

技术领域

[0001] 本实用新型涉及太阳能电池和具有梯度结构的薄膜太阳能电池,特别是具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池结构。

背景技术

[0002] 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。

[0003] 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%。

[0004] 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究, 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。

[0005] 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。

[0006] 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Neuchâtel 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月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%。

[0007] 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。

[0008] 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。

[0009] 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/μC-Si, 和 a-Si/nC-Si/μC-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, μC-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 μc-Si 电池之间中间反射层已经用来增加 a-Si/μC-Si 双结和 a-Si/nC-Si/μC-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

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 x 1.3 米) 太阳能电池组件已经制备。

[0010] 本申请在专利 ZL200910043930-4, ZL200910043931-9 和 ZL200910226603-2 的基础上继续研究,旨在提供一种具有梯度结构的薄膜太阳能电池。

实用新型内容

[0011] 本实用新型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,提出具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池。

[0012] 为实现上述目的,本实用新型的技术方案是:

[0013] 一种具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池,包括至少一个 pin 结,所述 pin 结中的 i 层为晶体结构相同且具有能隙梯度的多层结构;所述多层结构从首层至末层由高能隙层向低能隙层排列,且任意相邻两层之间的能隙差在 0.01 - 0.1eV 之间。

[0014] 所述多层结构优选选自以下五种结构之一:

[0015] (1) 能隙为 2.1-2.3eV 的非晶 SiC 层向能隙为 1.8-2.1eV 的纳米晶 SiC 层均匀过渡的梯度结构;

[0016] (2) 能隙为 1.7eV 的非晶 Si 层向能隙为 1.7eV 到 1.2eV 的纳米晶 Si 层均匀过渡的梯度结构;

[0017] (3) 能隙为 1.7eV 到 1.2eV 的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) 层向能隙为 1.5eV 到 1.2eV 的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) 层均匀过渡的梯度结构;

[0018] (4) 能隙为 1.7eV 到 1.2eV 的纳米晶 Si 层向能隙为 1.5eV 到 1.1eV 的纳米晶 Si 层均匀过渡的梯度结构;

[0019] (5) 能隙为 1.5eV 到 1.2eV 的纳米晶 Si 层向能隙为 1.1eV 的微晶 Si 层均匀过渡的梯度结构。

[0020] 所述梯度结构是指具有能隙梯度的多层结构。

[0021] 所述多层结构的能隙优选按照能隙差在 0.01 - 0.05eV 之间的形式均匀降低,更优选按照能隙差在 0.01 - 0.02eV 之间的形式均匀降低。

[0022] 所述多层结构的总厚度优选在 0.1 微米到 3 微米之间。

[0023] 所述多层结构内每一层的厚度优选为 1nm-100nm 之间,进一步优选为 1nm-10nm。

[0024] 还可以在所述纳米晶和微晶的多层结构中插入至少一层掺杂或者非掺杂的非晶层,所述非晶层厚度为 1nm-10nm,所述掺杂的非晶层为磷或硼掺杂的非晶层。

[0025] 进一步解释和说明:

[0026] 对于硅基薄膜太阳能电池而言,非晶(指晶粒大小从 0-1 纳米),能隙为 1.7eV,纳米晶(指晶粒大小从 1-100 纳米),调节晶粒尺寸的大小其能隙可以在 1.7-1.1eV 之间变化,微晶(指晶粒大小从 0.1 微米 - 几个微米)为 1.1eV。Si 系化合物,如晶体 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 带隙 ($0 \leq x \leq 1$) 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,其梯度结构可以为:非晶 SiC(2.1-2.3eV) 过渡到纳米晶 SiC(1.8-2.1eV) 形成梯度结构,非晶 Si(1.7eV) 过渡到纳米晶 Si(1.7eV 到 1.2eV) 形成梯度结构,非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$,

1.7eV 到 1.2eV) 过渡到非晶 Si_{1-x}Ge_x ($0 \leq X \leq 1$, 1.5eV 到 1.2eV) 形成梯度结构, 纳米晶 Si (1.7eV 到 1.2eV) 过渡到纳米晶 Si (1.5eV 到 1.1eV) 形成梯度结构, 纳米晶 Si (1.5eV 到 1.1eV) 过渡到微晶 Si (1.1eV) 形成梯度结构。

[0027] 并按能级递降的顺序制备多结具有梯度结构的薄膜太阳能电池。本实用新型的多结具有梯度结构的薄膜太阳能电池中, 利用宽隙材料的梯度结构做顶电结, 将短波长的光能转化为电能; 利用窄带材料的梯度结构做底电结, 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, 多结具有梯度结构的薄膜太阳能电池具有更高的光电转换效率。如果在多结具有梯度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。

[0028] 在多结具有梯度结构的薄膜太阳能电池中, 其所述 pin 结中的 i 层采用梯度结构。这种梯度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。梯度结构变化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。每级梯度结构变化宽度可通过形成同一能隙材料的厚度来调节。

[0029] 与现有技术相比, 本申请的优势在于:

[0030] 本实用新型在多结薄膜太阳能电池中, 所述 pin 结中的 i 层采用晶体结构相同而能隙不同的材料形成梯度结构。这种梯度结构的太阳能电池具有较宽的能谱范围, 能够吸收更多的太阳光并转化为电能, 形成较大电流而提高薄膜太阳能电池的效率。能隙梯度的范围可通过其相匹配材料的能隙来调节。能隙梯度的均匀过渡可通过其工艺参数来控制。同时所述 pin 结中的 i 层的梯度结构的工艺控制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, 晶粒尺寸大小均匀可控, 与太阳能谱较好匹配的高质量的薄膜, 同时, 梯度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。

附图说明

[0031] 图 1 是梯度结构说明示意图; 其中 1 是高能隙层、2 是能隙均匀降低的多层过渡层, 3 是低能隙层。

[0032] 图 2 是具有梯度结构的多结硅基薄膜太阳能电池结构示意图;

[0033] 图 3 是具有梯度结构的非晶 / 微晶双结硅基薄膜太阳能电池结构示意图;

[0034] 图 4 是具有梯度结构的非晶 / 微晶 / 微晶三结硅基薄膜太阳能电池结构示意图;

[0035] 图 5 是具有梯度结构的多结硅基薄膜太阳能电池制备工艺流程图;

具体实施方式

[0036] 下面结合附图和实施例对本实用新型做进一步的说明。

[0037] 一种具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池, 包括至少一个 pin 结, 所述 pin 结中的 i 层为晶体结构相同且具有能隙梯度的多层结构; 如图 1 所示, 所述多层结构从首层至末层由高能隙层向低能隙层排列, 且任意相邻两层之间的能隙差在 0.01 - 0.1eV 之间。

[0038] 所述多层结构可以选自以下五种结构之一:

[0039] (1) 能隙为 2.1-2.3eV 的非晶 SiC 层向能隙为 1.8-2.1eV 的纳米晶 SiC 层均匀过渡的梯度结构;

[0040] (2) 能隙为 1.7eV 的非晶 Si 层向能隙为 1.7eV 到 1.2eV 的纳米晶 Si 层均匀过渡的梯度结构；

[0041] (3) 能隙为 1.7eV 到 1.2eV 的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) 层向能隙为 1.5eV 到 1.2eV 的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) 层均匀过渡的梯度结构；

[0042] (4) 能隙为 1.7eV 到 1.2eV 的纳米晶 Si 层向能隙为 1.5eV 到 1.1eV 的纳米晶 Si 层均匀过渡的梯度结构；

[0043] (5) 能隙为 1.5eV 到 1.2eV 的纳米晶 Si 层向能隙为 1.1eV 的微晶 Si 层均匀过渡的梯度结构。

[0044] 所述梯度结构是指具有能隙梯度的多层结构。

[0045] 实施例 1：

[0046] 如图 2 所示,对于具有梯度结构的多结硅基薄膜太阳能电池而言,所述梯度结构包括:非晶 SiC(2.3eV) 过渡到纳米晶 SiC(1.8eV),非晶 Si(1.7eV) 过渡到纳米晶 Si(1.2eV),非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$,1.7eV) 过渡到非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$,1.2eV),纳米晶 Si(1.7eV) 过渡到纳米晶 Si(1.1eV),纳米晶 Si(1.5eV) 过渡到微晶 Si(1.1eV),任意相邻两层之间的能隙差为 0.05eV。并按能级递降的顺序制备多结具有梯度结构的薄膜太阳能电池。

[0047] 如图 5 所示,所述具有梯度结构的硅基薄膜太阳能电池的制造方法包括：

[0048] (1) 对玻璃基板进行清洗；

[0049] (2) 在基板上制备 TCO 前电极；

[0050] (3) 采用 355nm 波长激光器将 TCO 前电极分割形成子电池的电极；

[0051] (4) 对划刻后的玻璃基板再次进行清洗；

[0052] (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,纳米晶,微晶硅, $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 薄膜；

[0053] 所述 p-A-SiC 接触层沉积,相关工艺参数为：

[0054] 衬底温度 150℃~300℃, SiH_4/H_2 气体体积流量比为 0.5~5.0, CH_4/SiH_4 气体体积流量比为 0.02~3.0, TMB/ SiH_4 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; 所述的 p-A-SiC 接触层厚度为:2nm~10nm；

[0055] 所述 p-A-SiC 窗口层沉积,相关工艺参数为：

[0056] 衬底温度 150℃~300℃, SiH_4/H_2 气体体积流量比为 0.05~5.0, CH_4/SiH_4 气体体积流量比为 0.02~3.0, TMB/ SiH_4 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; 所述的 p-A-SiC 窗口层厚度为:2nm~10nm；

[0057] 所述 p-A-SiC 缓冲层沉积,相关工艺参数为：

[0058] 衬底温度 150℃~300℃, SiH_4/H_2 气体体积流量比为 0.02~5.0, CH_4/SiH_4 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; 所述的 p-A-SiC 缓冲层厚度为:5nm~15nm；

[0059] 所述叠层 i-A-SiC 本征层沉积,相关工艺参数为：

[0060] 衬底温度 150℃~300℃, 叠层数量为 1~3 层, 叠层总厚度为 100~300nm, 氢稀

释比 SiH_4/H_2 为 0.2 ~ 5, 反应腔室气压为 0.3mbar ~ 2.0mbar, 射频功率密度为 $10\text{mW}/\text{cm}^2 \sim 350\text{mW}/\text{cm}^2$; 所述的叠层 i-A-SiC 本征层厚度为: 100nm ~ 300nm; 通过调整氢稀释比形成非晶 SiC (2.1-2.3eV) 过渡到纳米晶 SiC (1.8-2.1eV) 梯度结构。

[0061] 所述非晶 Si (1.7eV) 过渡到纳米晶 Si (1.7eV 到 1.2eV) 的梯度结构, 非晶硅采用 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 $10 \sim 350\text{mW}/\text{cm}^2$ 。所述纳米晶硅, 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 $10 \sim 350\text{mW}/\text{cm}^2$ 。通过调整氢稀释比形成非晶 Si (1.7eV) 过渡到纳米晶 Si (1.7eV 到 1.2eV) 梯度结构。

[0062] 所述的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.7eV 到 1.2eV) 过渡到非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.5eV 到 1.2eV) 组成的梯度结构, 其特征是, 所述的高能隙的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.7eV 到 1.2eV) 采用 13.56-40.68MHz PECVD 方法在温度为 160 - 200°C 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 $10 \sim 350\text{mW}/\text{cm}^2$ 。所述低能隙的非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.5eV 到 1.2eV), 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 $\text{SiH}_4+\text{GeH}_4/\text{H}_2$ 为 0.02 ~ 3, 反应腔室气压为 0.3 ~ 2.0mbar, 射频功率密度为 $10 \sim 350\text{mW}/\text{cm}^2$ 。通过调整氢稀释比形成非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.7eV 到 1.2eV) 过渡到非晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq X \leq 1$, 1.5eV 到 1.2eV) 组成的梯度结构。

[0063] 所述的纳米晶 Si (1.7eV 到 1.2eV) / 纳米晶 Si (1.5eV 到 1.1eV) 组成的梯度结构, 其特征是, 所述的高能隙纳米晶 Si (1.7eV 到 1.2eV) 采用 13.56-40.68MHz PECVD 方法在温度为 160 - 200°C 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 $10 \sim 350\text{mW}/\text{cm}^2$ 。所述低能隙的纳米晶 Si (1.5eV 到 1.1eV), 采用 13.56-40.68MHz PECVD 方法在温度为 160 - 200°C 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 $10 \sim 350\text{mW}/\text{cm}^2$ 。通过调整氢稀释比形成纳米晶 Si (1.7eV 到 1.2eV) / 纳米晶 Si (1.5eV 到 1.1eV) 组成的梯度结构。

[0064] 所述的纳米晶 Si (1.5eV 到 1.1eV) 过渡到微晶 Si (1.1eV) 组成的梯度结构, 所述的纳米晶 Si (1.5eV 到 1.1eV) 采用 13.56-40.68MHz PECVD 方法在温度为 160 - 200°C 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 $10 \sim 350\text{mW}/\text{cm}^2$ 。所述的微晶 Si (1.1eV), 采用 13.56-40.68MHz PECVD 方法在温度为 160 - 200°C 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 $10 \sim 350\text{mW}/\text{cm}^2$ 。通过调整氢稀释比形成纳米晶 Si (1.5eV 到 1.1eV) 过渡到微晶 Si (1.1eV) 组成的梯度结构。

[0065] 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°C ~ 300°C, 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 $10\text{mW}/\text{cm}^2 \sim 350\text{mW}/\text{cm}^2$; p 型掺杂层厚度为 2 ~ 30nm。

[0066] 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 $150^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ ， $0.5 - 2\%$ PH_3/H_2 与 SiH_4 气体体积流量比为 $0.01 \sim 2.0$ ，反应腔室气压为 $0.3\text{mbar} \sim 2.0\text{mbar}$ ，射频功率密度为 $10\text{mW}/\text{cm}^2 \sim 350\text{mW}/\text{cm}^2$ ；n 型掺杂层厚度范围 $2\text{nm} \sim 30\text{nm}$ ；

[0067] (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；

[0068] (7) 制备 TCO 背电极；

[0069] (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；

[0070] (9) 对电池边缘进行激光划线处理；

[0071] (10) 对电池进行电路连接及封装。

[0072] 实施例 2：

[0073] 对于双结硅基薄膜太阳能电池而言，如图 3 所示，所述梯度结构包括：非晶 Si (1.7eV) 过渡到纳米晶 Si (1.2eV)，纳米晶 Si (1.7eV) 过渡到纳米晶 Si (1.1eV) 双结硅基薄膜太阳能电池和非晶 Si (1.7eV) 过渡到纳米晶 Si (1.2eV)，纳米晶 Si (1.5eV) 过渡到微晶 Si (1.1eV) 双结硅基薄膜太阳能电池，任意相邻两层之间的能隙差为 0.02eV ；并按能级递降的顺序制备多结具有梯度结构的薄膜太阳能电池。制备方法同实施例 1。

[0074] 实施例 3：

[0075] 对于三结硅基薄膜太阳能电池而言，如图 4 所示，所述梯度结构包括：非晶 Si (1.7eV) 过渡到纳米 Si (1.2eV)，高能纳米晶 Si (1.7eV) 过渡到纳米晶 Si (1.1eV)，纳米 Si (1.5eV) 过渡到微晶 Si (1.1eV)，任意相邻两层之间的能隙差为 0.01eV 。并按能级递降的顺序制备多结具有梯度结构的薄膜太阳能电池。制备方法同实施例 1。

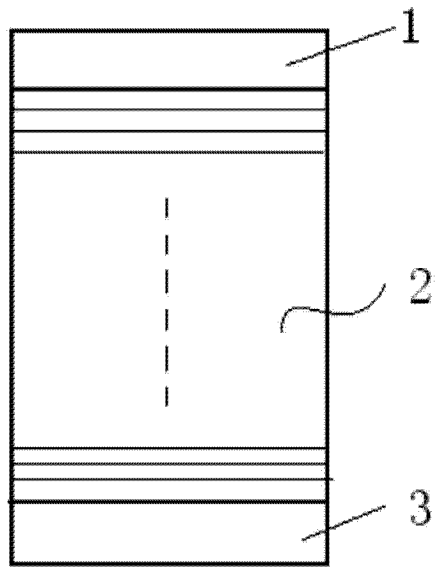


图 1



图 2

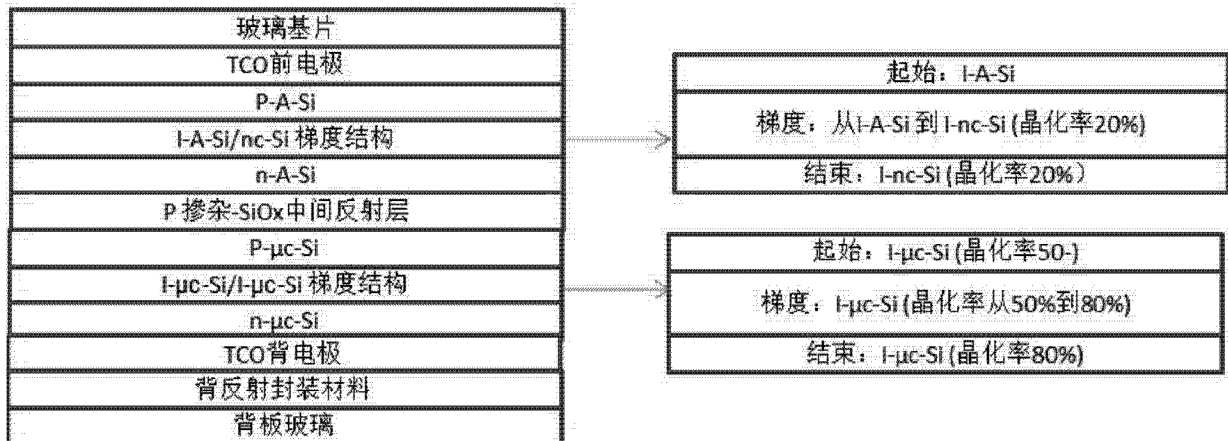


图 3

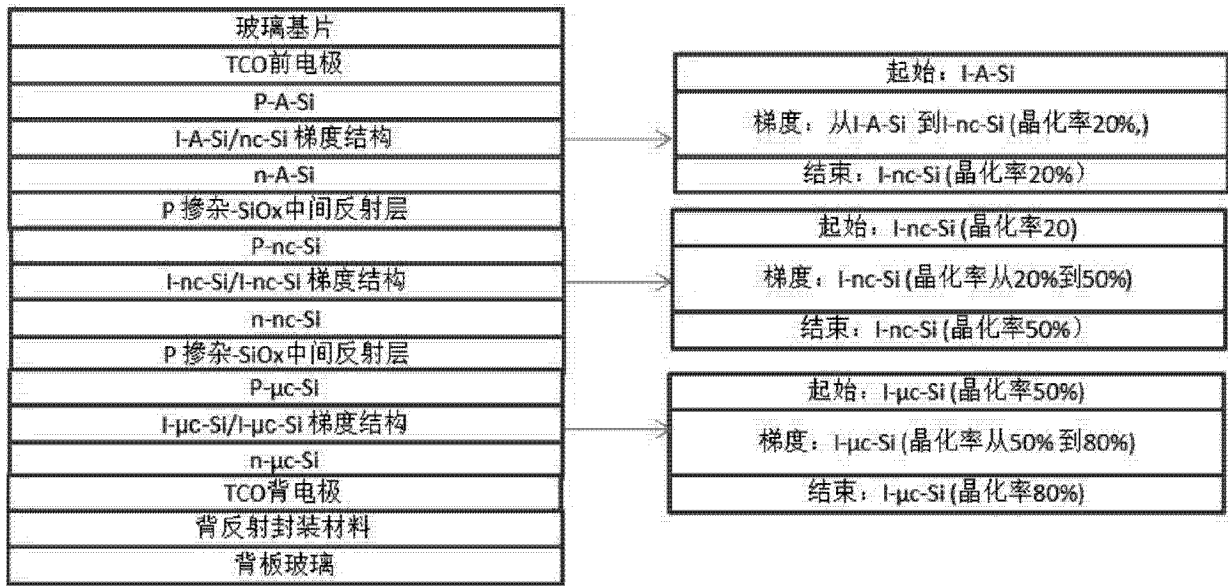


图 4

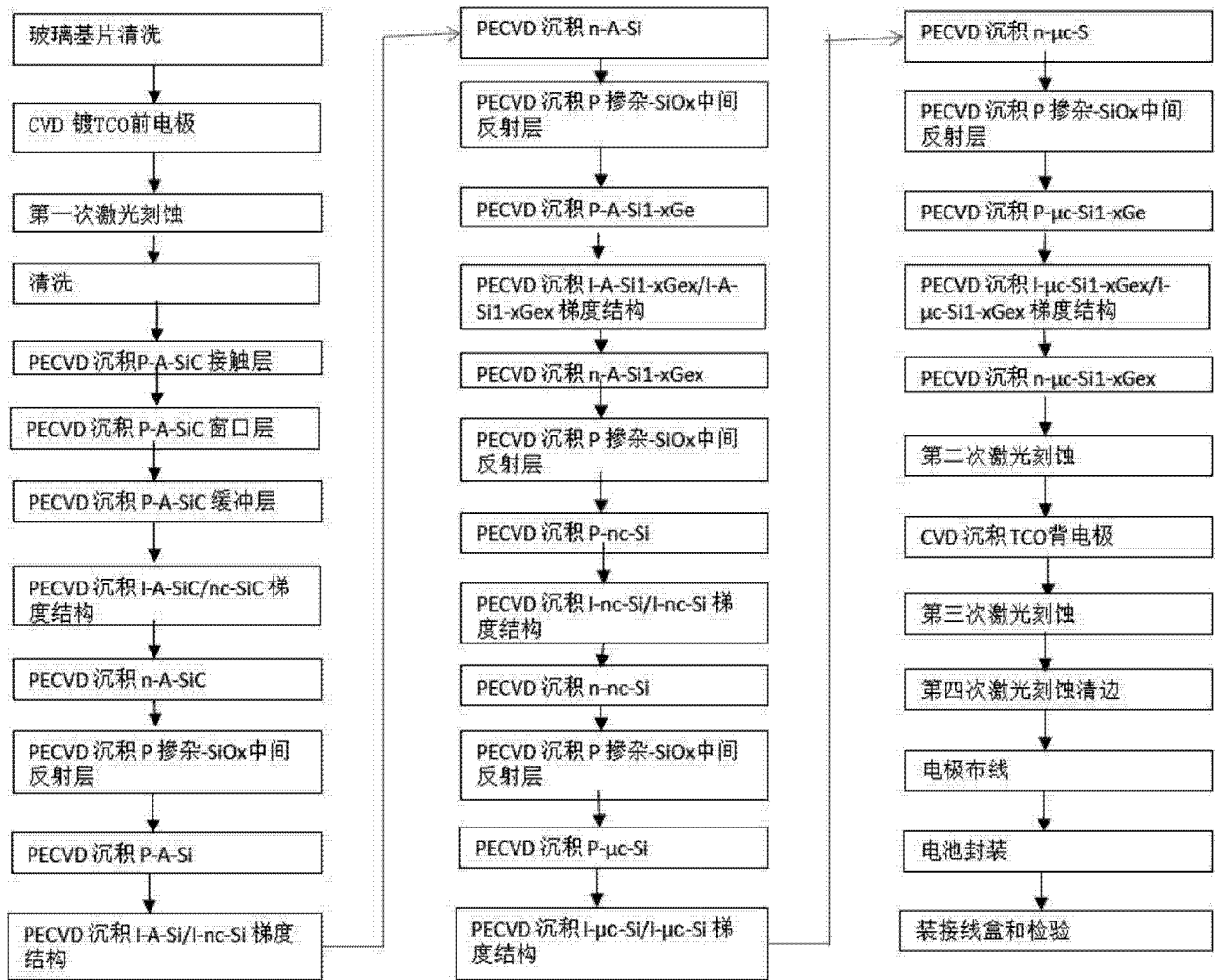


图 5