



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105304820 A

(43) 申请公布日 2016. 02. 03

(21) 申请号 201510827183. 9

(22) 申请日 2015. 11. 24

(71) 申请人 杨秋香

地址 528248 广东省佛山市南海区大沥镇浔峰洲路 8 号中山大学附属外国语学校

(72) 发明人 杨秋香

(51) Int. Cl.

H01L 51/42(2006. 01)

H01L 51/46(2006. 01)

H01L 51/48(2006. 01)

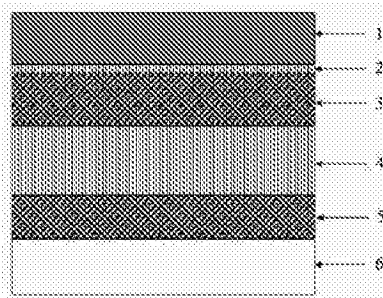
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种石墨烯增强的钙钛矿太阳能电池及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种石墨烯增强的钙钛矿太阳能电池及其制备方法。该钙钛矿太阳能电池包括依次层叠的透光 / 透明电极层、电子传输层、吸光层、电子吸收层、空穴传输层和顶电极,其中:所述吸光层为具有钙钛矿结构的材料;所述电子吸收层是由石墨烯与氧化石墨烯构成;所述空穴传输层由三元氧化物构成,所述顶电极由导电性能良好的材料构成。本发明有效地利用了钙钛矿材料的性能,将钙钛矿太阳能电池的光电转化效率达到了 17% 以上,适于批量生产。



1. 一种石墨烯增强的钙钛矿太阳能电池及其制备方法,该电池包括依次层叠的透光 / 透明电极层、电子传输层、吸光层、电子吸收层、空穴传输层和顶电极,其中: 所述电子传输层由硫化锰组成;所述吸光层为具有钙钛矿结构的材料;所述电子吸收层是由石墨烯与氧化石墨烯构成;所述空穴传输层由三元氧化物构成,所述顶电极由导电性能良好的材料构成。

2. 一种如权利要求 1 所述的太阳能电池,其特征在于,所述空穴传输层为三元氧化物,由 Ti、Nb、O 三种元素构成,且 Nb / Ti 的摩尔比介于 1:30 与 1:10 之间;所述电子传输层厚度在 10-50nm 之间,所述吸光层厚度在 50-500nm 之间,所述电子吸收层厚度在 30-150nm 之间,所述顶电极厚度在 50-300nm 之间。

3. 一种如权利要求 1 所述的太阳能电池,其特征在于,其制备方法包含以下步骤:

1) 采用导电玻璃作为透光 / 透明电极层;

2) 制备得到电子传输层:采用蒸镀或气相沉积的方法在导电玻璃上制备硫化锰;厚度控制在 10-50nm 之间;

3) 制备吸光层:

a. 配制 PbI₂ 溶液, PbI₂ 的浓度为 0.5-3.0mol/L, 溶剂为二甲基甲酰胺;

b. 配制 CH₃NH₃I 溶液: 浓度 5-10mg/mL, 溶剂为异丙醇;

采用溶液法原位合成钙钛矿材料:先在电子传输层上旋涂 PbI₂ 溶液,烘干后放入 CH₃NH₃I 溶液中浸泡生长出钙钛矿材料,得到钙钛矿吸光层;通过控制 PbI₂ 与 CH₃NH₃I 反应溶液的浓度,控制钙钛矿的形貌与厚度,厚度控制在 50-500nm 之间;

4) 制备电子吸收层:

将石墨粉加入装有浓硫酸的容器中,容器置于冰浴中,搅拌均匀,再加入的高锰酸钾粉末,保持温度 20℃ 以下搅拌均匀,将搅拌均匀后的溶液升温到 35℃ 持续搅拌 30 分钟,接着缓慢的向溶液中加入去离子水以及浓度为 30% 的双氧水,并把混合物升温到 98℃ 持续搅拌 15 分钟,直到混合物颜色变为亮黄色;然后将上述溶液在超声分散仪中振荡分散,得到稳定的分散液;然后滴加水合肼,并将此溶液放入油浴中加热到 100℃ 后,恒温反应 10-20 分钟,然后用半透膜过滤,将得到的产物分别用去离子水、甲醇、乙醇洗涤,旋涂于钙钛矿材料之上,最后在 60℃ 条件下充分干燥,得到的产物就是石墨烯与氧化石墨烯的混合物;控制反应时间、溶液的浓度与涂布厚度,使电子吸收层的厚度在 30-150nm 之间,氧化石墨烯的重量百分比含量介于 5-30%;

5) 制备空穴传输层:

将异丙氧基钛(或双(乙酰丙酮基)二异丙基钛酸酯前驱体溶液)与乙醇铈的混合,搅拌均匀,旋涂于电子吸收层上;

6) 顶电极的制备:

采用真空热蒸镀、喷涂、沉积等方法,在器件上表面蒸镀 50-300nm 的导电金属层或碳层。

4. 如权利要求 1 所述的太阳能电池,其特征在于,透明电极的材料为透明且能导电的材料组成,包括但不限于铟锡氧化物(ITO, Indium Tin Oxides)、氟锡氧化物(FTO, fluorine doped tin oxide)、铝锌氧化物(AZO, aluminium-doped zinc oxide)等透明电极材料。

5. 如权利要求 1 所述的太阳能电池,其特征在于,所述钙钛矿结构光伏材料为 ABX_3 型晶体结构的有机无机杂化钙钛矿;其中,B 为铅、锡、铋,X 为卤素。

6. 如权利要求 1 所述的太阳能电池,其特征在于,所述顶电极为金属电极或碳材料电极。

一种石墨烯增强的钙钛矿太阳能电池及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于钙钛矿太阳能电池领域,特别是一种石墨烯增强的钙钛矿太阳能电池及其制备方法。

背景技术

[0002] 目前太阳能电池市场绝大部分由晶体硅太阳能电池占据,但由于晶体硅价格高昂,制约了光伏产业的应用发展。钙钛矿太阳能电池是一类新兴的太阳能电池,其价格相对便宜得多,利用具有钙钛矿结构的光伏材料来实现光电转换,具有原材料来源广泛、结构简单、可制备成柔性电池等优点,具有广泛的应用前景。但是,目前该类电池光电转化效率偏低,现阶段的研究重点是提高其光电转换效率。

[0003] 中国发明专利 CN104134711 A 公开了一种钙钛矿太阳能电池及其溶液法制备方法。该钙钛矿太阳能电池包括依次层叠的衬底、透明电极、电子传输层、吸光层、空穴传输层和顶电极。其中吸光层为具有钙钛矿结构的光伏材料吸光层,其电子传输层、钙钛矿材料吸光层和空穴传输层均可在低温(200° C 以下)的空气环境下实现溶液法制备,尤其是电子传输层不需要高温(450° C 以上)处理或合成的纳米颗粒,有利于简化工艺流程,降低成本,提高电池的制备效率,便于实现规模化生产。该发明电池的转化光电效率低于 11%。

[0004] 中国发明专利 CN 104795501 A 公开了一种钙钛矿太阳能电池及其制备方法,该钙钛矿太阳能电池由 FTO 透明导电玻璃衬底、电子传输层、吸光层、空穴传输层和金属电极组成,其吸光层为二维层状结构的钙钛矿材料,该发明采用旋涂法制备层状类钙钛矿吸光层,制备方法简单,成膜性能佳,所述吸光层材料随着层数的变化,其带隙可调,并且具有较好的化学稳定性,该材料在较高的空气湿度(50-80%)下暴露 30 天无化学分解,并仍然保持良好的层状结构,性能优异且稳定,不过其转化效率比较低。

[0005] 中国发明专利 CN 103855307 A 公开了一种钙钛矿太阳电池及其制备方法。所述钙钛矿太阳电池包括透明电极、空穴传输层、钙钛矿吸光层、电子传输层和金属电极,其中所述空穴传输层包括 PEDOT:PSS、P3HT、PTAA、PThTPTI、金属氧化物和氧化石墨烯中的至少一种。该发明的钙钛矿太阳电池具有较低的成本;所述制备方法工艺简单,能够进行规模化生产。其转化效率低于 14%。

[0006] 中国发明专利 CN104810479A 公开了一种太阳能电池以及制作方法。避免了现有钙钛矿电池制作工艺对高温的需要,同时避免了目前钙钛矿电池要使用铅的缺点。该发明提供了一种锡钙钛矿结构柔性太阳能电池,从下到上依次为导电衬底、阳极、电子传输层、吸收层、空穴传输层、银,其中电子传输层为纳米氧化铝薄膜,吸收层为锡钙钛矿结构吸收层。该发明采用纳米氧化铝做电子传输层,以锡钙钛矿结构做吸收层,其电子传输层在 150° C 下操作即可完成,同时减少了铅的使用。其转化效率低于 14%。

[0007] 上述发明逐步将钙钛矿太阳能电池向产业化不断推进,不过,目前还不能大规模生产。其原因主要是当前的钙钛矿电池的转化效率还不够高,一般在 15% 以下。寻找更效率的太阳能电池结构是人们一致努力的目标。

发明内容

[0008] 发明目的:为了充分利用钙钛矿材料的性质,制备可用于生产的钙钛矿太阳能电池,本发明提供了一种石墨烯增强的钙钛矿太阳能电池及其制备方法。采用本发明的电池材料及其结构,能够大幅提高太阳能电池对光子的吸收及其转化效率,从而提高太阳能电池的光电转化效率,改善器件性能。

[0009] 本发明的技术方案如下:

1) 采用导电玻璃作为透光/透明电极层;

2) 制备得到电子传输层:采用蒸镀或气相沉积的方法在导电玻璃上制备硫化锰层;厚度控制在10-50nm之间;

3) 制备吸光层:

a. 配制 PbI₂ 溶液, PbI₂ 的浓度为 0.5-3.0mol/L, 溶剂为二甲基甲酰胺;

b. 配制 CH₃NH₃I 溶液: 浓度 10mg/mL, 溶剂为异丙醇;

采用溶液法原位合成钙钛矿材料:先在电子传输层上旋涂 PbI₂ 溶液,烘干后放入 CH₃NH₃I 溶液中浸泡生长出钙钛矿材料,得到钙钛矿吸光层。通过控制 PbI₂ 与 CH₃NH₃I 反应溶液的浓度,控制钙钛矿的形貌与厚度,厚度控制在 50-500nm 之间;

4) 制备电子吸收层:

将石墨粉加入装有浓硫酸的容器中,容器置于冰浴中,搅拌均匀,再加入的高锰酸钾粉末,保持温度 20℃ 以下搅拌均匀,将搅拌均匀后的溶液升温到 35℃ 持续搅拌 30 分钟,接着缓慢的向溶液中加入去离子水以及浓度为 30% 的双氧水,并把混合物升温到 98℃ 持续搅拌 15 分钟,直到混合物颜色变为亮黄色;然后将上述溶液在超声分散仪中振荡分散,得到稳定的分散液。然后滴加水合肼,并将此溶液放入油浴中加热到 100℃ 后,恒温反应 10-20 分钟,然后用半透膜过滤,将得到的产物分别用去离子水、甲醇、乙醇洗涤,旋涂于钙钛矿材料之上,最后在 60℃ 条件下充分干燥,得到的产物就是石墨烯与氧化石墨烯的混合物。控制反应时间、溶液的浓度与涂布厚度,使电子吸收层的厚度在 30-150nm 之间,氧化石墨烯的重量百分比含量介于 5-30%;

5) 制备空穴传输层:

将异丙氧基钛(或双(乙酰丙酮基)二异丙基钛酸酯前驱体溶液)与乙醇铈的混合,搅拌均匀,旋涂于电子吸收层上;

6) 顶电极的制备:

采用真空热蒸镀、喷涂、沉积等方法,在器件上表面蒸镀 50-300nm 的导电金属层或碳层。

[0010] 本发明的钙钛矿太阳能电池透光/透明电极层的材料为透明且能导电的材料组成,包括但不限于铟锡氧化物(ITO, Indium Tin Oxides)、氟锡氧化物(FTO, fluorine doped tin oxide)、铝锌氧化物(AZO, aluminium-doped zinc oxide)等常用的透明电极材料。电子传输层为硫化锰;吸光层为具有钙钛矿结构的材料,所采用的钙钛矿结构光伏材料为 ABX₃ 型晶体结构的有机无机杂化钙钛矿。其中,B为铅、锡、锑,X为卤素元素。电子吸收层为石墨烯与氧化石墨烯的混合物。空穴传输层由三元氧化物构成,包含 Ti、Nb、O 三种元素,且 Nb / Ti 的摩尔比介于 1:30 与 1:10 之间。顶电极为金属电极或导电碳材料电

极,如银、金、铜、石墨、石墨烯等等。

[0011] 有益的效果:采用本发明的材料与结构,能够充分利用钙钛矿材料的性能,并挖掘其潜能,形成 P-I-N 异质结,充分吸收太阳光能并提高其转化率,其转化效率可达 17% 以上。本发明采用了纳米级独特的电子传输层-吸光层-电子吸收层,能够提升 P-I-N 异质结捕获-吸收光子的能力。本发明采用含硫化锰作为电子传输层,能够高效地传递钙钛矿材料因吸收的太阳能产生的电子。不过相对于氧化物而言,其成本略高。本发明采用了石墨烯与氧化石墨稀,使相邻层的能级更加接近,也有利于提高转化效率。石墨烯相对于富勒烯更容易制备,降低了成本。总体而言,本发明主要采用工业上成熟的涂布法,适合产业化生产大尺寸、高效率的太阳能电池的生产。然而,现有的钙钛矿太阳能电池尚未得到大面积可用于生产的样品,本发明解决了这一问题,所发明的技术适合于制备大面积、高效率的太阳能电池,其成本只有传统硅太阳能电池的三分之一。

[0012] 下面通过结合附图与实施例详细描述本发明的器件及其制备方法,但不构成对本发明的限制。

附图说明

[0013] 图 1 为本发明的结构示意图。图中 1 为透光/透明电极层、2 为电子传输层、3 为吸光层、4 为电子吸收层、5 为空穴传输层和 6 为顶电极。

[0014] 实施例 1

- 1) 采用铝锌氧化物 AZO 导电玻璃作为透光/透明电极层;
- 2) 采用热蒸镀的方法,在 ITO 上制备硫化锰薄膜,厚度 38 纳米;
- 3) 制备吸光层:
 - a. 配制 PbI₂ 溶液,浓度为 2.0mol/L,溶剂为二甲基甲酰胺;
 - b. 配制 CH₃NH₃I 溶液:浓度 8mg/mL,溶剂为异丙醇;

采用溶液法原位合成钙钛矿材料:先在电子传输层上旋涂 PbI₂ 溶液,烘干后放入 CH₃NH₃I 溶液中浸泡生长出钙钛矿材料,得到钙钛矿吸光层;厚度 312nm;

4) 制备电子吸收层

将石墨粉加入装有浓硫酸的容器中,容器置于冰浴中,搅拌均匀,再加入的高锰酸钾粉末,保持温度 15℃ 搅拌均匀,将搅拌均匀后的溶液升温到 35℃ 持续搅拌 30 分钟,接着缓慢的向溶液中加入去离子水以及浓度为 30% 的双氧水,并把混合物升温到 98℃ 持续搅拌 15 分钟,直到混合物颜色变为亮黄色;然后将上述溶液在超声分散仪中振荡分散,得到稳定的分散液;然后滴加水合肼,并将此溶液放入油浴中加热到 100℃ 后,恒温反应 20 分钟,然后用半透膜过滤,将得到的产物分别用去离子水、甲醇、乙醇洗涤,旋涂于钙钛矿材料之上,最后在 60℃ 条件下充分干燥,得到的产物就是石墨烯与氧化石墨烯的混合物,厚度为 34nm,氧化石墨烯的重量百分比含量为 6.2%;

5) 制备空穴传输层:

将异丙氧基钛与乙醇铋按 30:1 的比例的混合,搅拌均匀,旋涂于电子吸收层上,得到空穴传输层;

6) 顶电极的制备:

采用化学沉积的方法在空穴传输层上蒸镀 125nm 的碳层。

[0015] 进行电池性能测试,实验过程中采用在 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 太阳能模拟器 (Newport) AM1.5G 光照下进行,测得光电转化率为 18.4%。

[0016] 实施例 2

1) 采用 ITO (Indium Tin Oxides) 导电玻璃作为透光 / 透明电极层;

2) 采用真空蒸镀的方法,在 AZO 上制备硫化锰薄膜,厚度 45 纳米;

3) 制备吸光层:

a. 配制 PbI_2 溶液,浓度为 $2.3\text{Mol}/\text{L}$,溶剂为二甲基甲酰胺;

b. 配制 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 溶液:浓度 $7.5\text{mg}/\text{mL}$,溶剂为异丙醇;

采用溶液法原位合成钙钛矿材料:先在电子传输层上旋涂 PbI_2 溶液,烘干后放入 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 溶液中浸泡生长出钙钛矿材料,得到钙钛矿吸光层;厚度 441nm ;

4) 制备电子吸收层

将石墨粉加入装有浓硫酸的容器中,容器置于冰浴中,搅拌均匀,再加入的高锰酸钾粉末,保持温度 15°C 搅拌均匀,将搅拌均匀后的溶液升温到 35°C 持续搅拌 30 分钟,接着缓慢的向溶液中加入去离子水以及浓度为 30% 的双氧水,并把混合物升温到 98°C 持续搅拌 15 分钟,直到混合物颜色变为亮黄色;然后将上述溶液在超声分散仪中振荡分散,得到稳定的分散液;然后滴加水合肼,并将此溶液放入油浴中加热到 100°C 后,恒温反应 10 分钟,然后用半透膜过滤,将得到的产物分别用去离子水、甲醇、乙醇洗涤,旋涂于钙钛矿材料之上,最后在 60°C 条件下充分干燥,得到的产物就是石墨烯与氧化石墨烯的混合物,厚度在 55nm ,测量氧化石墨烯的重量百分比含量为 29%;

5) 制备空穴传输层:

将异丙氧基钛与乙醇铌按 25 : 1 的比例的混合,搅拌均匀,旋涂于电子吸收层上,得到空穴传输层;

6) 顶电极的制备:

采用真空热蒸镀的方法在空穴传输层上蒸镀 52nm 的银层。

[0017] 进行电池性能测试,实验过程中采用在 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 太阳能模拟器 (Newport) AM1.5G 光照下进行,测得光电转化率为 18.1%。

[0018] 实施例 3

1) 采用氟锡氧化物 (FTO, fluorine doped tin oxide) 导电玻璃作为透光 / 透明电极层;

2) 采用物理气相沉积的方法,在 ITO 上制备硫化锰薄膜,厚度 10 纳米;

3) 制备吸光层:

a. 配制 PbI_2 溶液,浓度为 $3.0\text{Mol}/\text{L}$,溶剂为二甲基甲酰胺;

b. 配制 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 溶液:浓度 $5\text{mg}/\text{mL}$,溶剂为异丙醇;

采用溶液法原位合成钙钛矿材料:先在电子传输层上旋涂 PbI_2 溶液,烘干后放入 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 溶液中浸泡生长出钙钛矿材料,得到钙钛矿吸光层;厚度 55nm ;

4) 制备电子吸收层

将石墨粉加入装有浓硫酸的容器中,容器置于冰浴中,搅拌均匀,再加入的高锰酸钾粉末,保持温度 15°C 搅拌均匀,将搅拌均匀后的溶液升温到 35°C 持续搅拌 30 分钟,接着缓慢的向溶液中加入去离子水以及浓度为 30% 的双氧水,并把混合物升温到 98°C 持续搅拌 15 分

钟,直到混合物颜色变为亮黄色;然后将上述溶液在超声分散仪中振荡分散,得到稳定的分散液;然后滴加水合肼,并将此溶液放入油浴中加热到 100℃后,恒温反应 15 分钟,然后用半透膜过滤,将得到的产物分别用去离子水、甲醇、乙醇洗涤,旋涂于钙钛矿材料之上,最后在 60℃条件下充分干燥,得到的产物就是石墨烯与氧化石墨烯的混合物,厚度为 36nm,氧化石墨烯的重量百分比含量为 17%;

5) 制备空穴传输层:

将双(乙酰丙酮基)二异丙基钛酸酯前驱体溶液与乙醇铌的混合按 10:1 的比例的混合,搅拌均匀,旋涂于电子吸收层上,得到空穴传输层;

6) 顶电极的制备:

采用真空热蒸镀的方法在空穴传输层上蒸镀 277nm 的银层。

[0019] 进行电池性能测试,实验过程中采用在 100mW/cm² 太阳能模拟器(Newport) AM1.5G 光照下进行,测得光电转化率为 18.7%。

[0020] 实施例 4

1) 采用 ITO 导电玻璃作为透光/透明电极层;

2) 采用物理气相沉积的方法,在 FTO 上制备硫化锰薄膜,厚度 15 纳米;

3) 制备吸光层:

a. 配制 PbI₂ 溶液,浓度为 1.5mol/L,溶剂为二甲基甲酰胺;

b. 配制 CH₃NH₃I 溶液:浓度 8.5mg/mL,溶剂为异丙醇;

采用溶液法原位合成钙钛矿材料:先在电子传输层上旋涂 PbI₂ 溶液,烘干后放入 CH₃NH₃I 溶液中浸泡生长出钙钛矿材料,得到钙钛矿吸光层;厚度 488nm;

a. 配制 PbI₂ 溶液,浓度为 1.5mol/L,溶剂为二甲基甲酰胺;

b. 配制 CH₃NH₃I 溶液:浓度 8.5mg/mL,溶剂为异丙醇;

采用溶液法原位合成钙钛矿材料:先在电子传输层上旋涂 PbI₂ 溶液,烘干后放入 CH₃NH₃I 溶液中浸泡生长出钙钛矿材料,得到钙钛矿吸光层;厚度 493nm;

4) 制备电子吸收层

将石墨粉加入装有浓硫酸的容器中,容器置于冰浴中,搅拌均匀,再加入的高锰酸钾粉末,保持温度 15℃搅拌均匀,将搅拌均匀后的溶液升温到 35℃持续搅拌 30 分钟,接着缓慢的向溶液中加入去离子水以及浓度为 30%的双氧水,并把混合物升温到 98℃持续搅拌 15 分钟,直到混合物颜色变为亮黄色;然后将上述溶液在超声分散仪中振荡分散,得到稳定的分散液;然后滴加水合肼,并将此溶液放入油浴中加热到 100℃后,恒温反应 10 分钟,然后用半透膜过滤,将得到的产物分别用去离子水、甲醇、乙醇洗涤,旋涂于钙钛矿材料之上,最后在 60℃条件下充分干燥,得到的产物就是石墨烯与氧化石墨烯的混合物,厚度为 144nm,氧化石墨烯的重量百分比含量为 28%;

5) 制备空穴传输层:

将异丙氧基钛与乙醇铌按 20:1 的比例的混合,搅拌均匀,旋涂于电子吸收层上,得到空穴传输层;

6) 顶电极的制备:

采用真空热蒸镀的方法在空穴传输层上蒸镀 161nm 的银层。

[0021] 进行电池性能测试,实验过程中采用在 100mW/cm² 太阳能模拟器(Newport)

AM1.5G 光照下进行,测得光电转化率 19.7%。

[0022] 实施例 5

- 1) 采用铝锌氧化物 AZO 导电玻璃作为透光 / 透明电极层 ;
- 2) 采用物理气相沉积的方法,在 AZO 上制备硫化锰薄膜,厚度 50 纳米 ;
- 3) 制备吸光层 :

- a. 配制 PbI_2 溶液,浓度为 0.5mol/L, 溶剂为二甲基甲酰胺 ;
- b. 配制 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 溶液 : 浓度 10mg/mL, 溶剂为异丙醇 ;

采用溶液法原位合成钙钛矿材料 :先在电子传输层上旋涂 PbI_2 溶液,烘干后放入 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 溶液中浸泡生长出钙钛矿材料,得到钙钛矿吸光层 ;厚度 493nm ;

- 4) 制备电子吸收层

将石墨粉加入装有浓硫酸的容器中,容器置于冰浴中,搅拌均匀,再加入的高锰酸钾粉末,保持温度 15℃ 搅拌均匀,将搅拌均匀后的溶液升温到 35℃ 持续搅拌 30 分钟,接着缓慢的向溶液中加入去离子水以及浓度为 30% 的双氧水,并把混合物升温到 98℃ 持续搅拌 15 分钟,直到混合物颜色变为亮黄色 ;然后将上述溶液在超声分散仪中振荡分散,得到稳定的分散液 ;然后滴加水合肼,并将此溶液放入油浴中加热到 100℃ 后,恒温反应 20 分钟,然后用半透膜过滤,将得到的产物分别用去离子水、甲醇、乙醇洗涤,旋涂于钙钛矿材料之上,最后在 60℃ 条件下充分干燥,得到的产物就是石墨烯与氧化石墨烯的混合物,厚度为 79nm,氧化石墨烯的重量百分比含量为 5.8% ;

- 5) 制备空穴传输层 :

将异丙氧基钛与乙醇铌按 10 :1 的比例的混合,搅拌均匀,旋涂于电子吸收层上,得到空穴传输层 ;

- 6) 顶电极的制备 :

采用热蒸镀的方法在空穴传输层上蒸镀 322nm 的银层。

[0023] 进行电池性能测试,实验过程中采用在 100mW/cm² 太阳能模拟器 (Newport) AM1.5G 光照下进行,测得光电转化率 17.6%。

[0024] 以上所述仅是本发明实施方式的一些例子,应当指出 :对于本技术领域的技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,例如,在透光 / 透明电极层外在加上一层玻璃类的透明材料加以保护,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

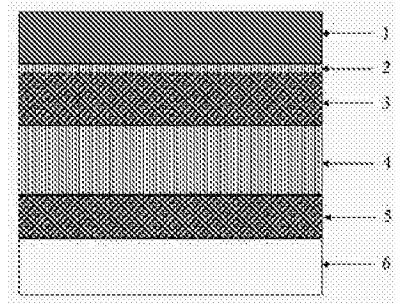


图 1