



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111223990 A

(43)申请公布日 2020.06.02

(21)申请号 201911200856.2

(22)申请日 2019.11.29

(71)申请人 西南石油大学

地址 610500 四川省成都市新都区新都大道8号

(72)发明人 胡滔滔 于华 章文峰

(74)专利代理机构 西安铭泽知识产权代理事务所(普通合伙) 61223

代理人 徐云侠

(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5页

(54)发明名称

含碱金属卤化物空穴修饰层的反型钙钛矿太阳能电池及制备方法

(57)摘要

本发明公开了一种含碱金属卤化物空穴修饰层的反型钙钛矿太阳能电池,包括依次层叠设置的导电衬底、空穴传输层、钙钛矿吸光层、电子传输层以及金属电极,所述空穴传输层所用材料为氧化镍,且所述空穴传输层与所述钙钛矿吸光层之间还设有空穴传输层修饰层,所述空穴传输层修饰层所用材料为碱金属卤化物。本发明还提供了上述含碱金属卤化物空穴修饰层的反型钙钛矿太阳能电池的制备方法。本发明通过增加碱金属卤化物空穴修饰层,增强了氧化镍与钙钛矿层之间的粘合力,减少了氧化镍薄膜表面的针孔、降低了载流子的界面复合损失,从而有效提高了钙钛矿太阳能电池的整体性能。本发明制备钙钛矿太阳能电池的方法简单,成本低,使钙钛矿太阳能电池的性能有较大提升。

1. 一种含碱金属卤化物空穴修饰层的反型钙钛矿太阳能电池,包括依次层叠设置的导电衬底、空穴传输层、钙钛矿吸光层、电子传输层以及金属电极,其特征在于,所述空穴传输层所用材料为氧化镍,且所述空穴传输层与所述钙钛矿吸光层之间还设有空穴传输层修饰层,所述空穴传输层修饰层所用材料为碱金属卤化物。

2. 根据权利要求1所述的反型钙钛矿太阳能电池,其特征在于,所述碱金属为铯。

3. 根据权利要求2所述的反型钙钛矿太阳能电池,其特征在于,所述碱金属卤化物为CsI、CsCl或CsBr。

4. 根据权利要求1所述的反型钙钛矿太阳能电池,其特征在于,所述空穴传输层的厚度为10-30nm,所述空穴传输层修饰层厚度为20-30nm。

5. 根据权利要求1所述的反型钙钛矿太阳能电池,其特征在于,所述钙钛矿吸光层和所述电子传输层之间还设有电子传输层修饰层,所述电子传输层所用材料为PCBM、C60、SnO₂、TiO₂、ZnO中的任意一种,厚度为15-25nm;所述电子传输层修饰层所用材料为BCP,厚度为2-5nm。

6. 一种权利要求1所述的反型钙钛矿太阳能电池的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、在导电衬底上制备空穴传输层

S2、在空穴传输层上制备空穴传输层修饰层

将碱金属卤化物溶于有机溶剂中,制成修饰层溶液,再将修饰层溶液旋涂于S1的空穴传输层上,于125-140℃退火5-15min,制得空穴传输层修饰层;

S3、在空穴传输层修饰层上制备钙钛矿吸光层

制备钙钛矿前驱液,在S2的空穴传输层修饰层上旋涂所述钙钛矿前驱液,经退火处理后,制备得到钙钛矿吸光层薄膜;

S4、在钙钛矿吸光层上制备电子传输层

在钙钛矿吸光层薄膜表面旋涂PCBM溶液,形成PCBM电子传输层;

S5、在电子传输层上制备金属电极

在电子传输层表面蒸镀金属银,即制备得到所述反型钙钛矿太阳能电池。

7. 根据权利要求6所述的反型钙钛矿太阳能电池的制备方法,其特征在于,S2的具体过程如下:

用于溶解碱金属卤化物的有机溶剂为DMSO或DMF或二者的混合液,将碱金属卤化物溶于有机溶剂中,在55-60℃温度下搅拌使其充分溶解,制成溶液浓度为15-25mg/ml修饰层溶液;再将所述修饰层溶液旋涂于空穴传输层上,于140℃退火10min,制得空穴传输层修饰层。

8. 根据权利要求6所述的反型钙钛矿太阳能电池的制备方法,其特征在于,S3中,所述钙钛矿前驱液是通过如下方法制备得到的:

以MAPbI₃或FAMAPbI₃作为钙钛矿前驱体,使用DMF、DMSO中的至少一种作为有机溶剂对所述钙钛矿前驱体进行溶解,制备浓度为1.15-1.3mol/L的钙钛矿前驱液。

9. 根据权利要求8所述的反型钙钛矿太阳能电池及其制备方法,其特征在于,所述钙钛矿前驱体为MAPbI₃,所述有机溶剂为体积比DMF:DMSO=7:3的混合溶液。

10. 根据权利要求9所述的反型钙钛矿太阳能电池的制备方法,其特征在于,S3中,所述

钙钛矿吸光层的制备过程如下：

按照DMF:DMSO=7:3的体积比例制备有机溶剂,以MAPbI₃或FAMAPbI₃作为钙钛矿前驱体,制备浓度为1.15-1.3mol/L的钙钛矿前驱液;将所述钙钛矿前驱液旋涂于所述氧化镍空穴传输层上,旋涂速度为4000rpm,时间为30-40s,在开始旋涂后第25s冲击氯苯,旋涂完成后静置10min,随后在60℃下退火3min,再在100℃下退火10min,得到高覆盖度、大晶粒、带镜面效果的CH₃NH₃PbI₃钙钛矿吸光层薄膜。

含碱金属卤化物空穴修饰层的反型钙钛矿太阳能电池及制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及太阳能电池技术领域,具体涉及一种含碱金属卤化物空穴修饰层的反型钙钛矿太阳能电池及其制备方法。

背景技术

[0002] 随着社会的发展,传统能源所引发的资源短缺和环境污染问题日趋严重,开发利用清洁可再生的能源成为科学研究的重大课题之一。而太阳能作为地球上总量最大的可再生能源成为重要研究方向;目前,技术已经成熟的晶硅太阳能电池,其转换效率和稳定性较高,但是对SiO₂的纯度要求非常高,使得其成本高居不下;新型太阳能电池具有成本低、耗能少、环境友好等特点,得到了大家的青睐。其中钙钛矿太阳能电池更是被评论为“光伏领域的明日之星”。

[0003] 在钙钛矿太阳能电池中,由于界面复合、铁电效应等,使得正型钙钛矿太阳能电池具有较大的迟滞效应,因此无法正确评估其转换效率;反型钙钛矿太阳能电池具有较小甚至没有迟滞效应使得这一问题得到有效解决。

[0004] 空穴传输层的存在有助于钙钛矿太阳能电池性能的提升。目前钙钛矿太阳能电池广泛使用的空穴传输材料是有机空穴导电层,比如Spiro-OMeTAD,高纯Spiro-OMeTAD的价格是铂、金的10倍以上。昂贵的价格将使得其大规模制备和商业化的道路更加艰难,因此,稳定性好使用较多,价格便宜的氧化镍(NiO_x)成为了替代的空穴传输材料;然而,氧化镍的导电性远逊于Spiro-OMeTAD,可通过掺杂金属元素提高其导电性;一方面,在氧化镍薄膜表面存在大量的针孔,另一方面,氧化镍与钙钛矿之间的粘合力较弱,界面复合较为严重,使得钙钛矿不能完全覆盖基底,产生较大的漏电流,因此限制了电池的性能。针对这些问题,本发明提出了使用含有使用碱金属卤化物空穴修饰层增强氧化镍与钙钛矿层之间的粘合力,减少氧化镍(NiO_x)薄膜表面的针孔、降低载流子的界面复合损失,同时提高钙钛矿太阳能电池的性能。

发明内容

[0005] 鉴于以上所述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供一种含碱金属卤化物空穴修饰层的反型钙钛矿太阳能电池,以改善氧化镍与钙钛矿的结合性能,提高钙钛矿太阳能电池的效率。

[0006] 本发明的第一个目的是提供一种含碱金属卤化物空穴修饰层的反型钙钛矿太阳能电池,包括依次层叠设置的导电衬底、空穴传输层、钙钛矿吸光层、电子传输层以及金属电极,所述空穴传输层所用材料为氧化镍,且所述空穴传输层与所述钙钛矿吸光层之间还设有空穴传输层修饰层,所述空穴传输层修饰层所用材料为碱金属卤化物。

[0007] 优选地,所述碱金属为铯。

[0008] 更优选地,所述碱金属卤化物为CsI、CsCl或CsBr。

[0009] 更优选地,所述空穴传输层的厚度为10-30nm,所述空穴传输层修饰层厚度为15-25nm。

[0010] 更优选地,所述钙钛矿吸光层和所述电子传输层之间还设有电子传输层修饰层,所述电子传输层所用材料为PCBM、C60、SnO₂、TiO₂、ZnO中的任意一种,厚度为15-25nm;所述电子传输层修饰层所用材料为BCP,厚度为2-5nm。

[0011] 本发明的第二个目的是提供一种含碱金属卤化物空穴修饰层的反型钙钛矿太阳能电池的制备方法,包括以下步骤:

[0012] S1、在导电衬底上制备空穴传输层

[0013] S2、在空穴传输层上制备空穴传输层修饰层

[0014] 将碱金属卤化物溶于有机溶剂中,制成修饰层溶液,再将修饰层溶液旋涂于S1的空穴传输层上,于125-140℃退火5-15min,制得空穴传输层修饰层;

[0015] S3、在空穴传输层修饰层上制备钙钛矿吸光层

[0016] 制备钙钛矿前驱液,在S2的空穴传输层修饰层上旋涂所述钙钛矿前驱液,经退火处理后,制备得到钙钛矿吸光层薄膜;

[0017] S4、在钙钛矿吸光层上制备电子传输层

[0018] 在钙钛矿吸光层薄膜表面旋涂PCBM溶液,形成PCBM电子传输层;

[0019] S5、在电子传输层上制备金属电极

[0020] 在电子传输层修饰层表面蒸镀金属银,即制备得到所述反型钙钛矿太阳能电池。

[0021] 优选地,S2的具体过程如下:

[0022] 用于溶解碱金属卤化物的有机溶剂为DMSO或DMF或二者的混合液,将碱金属卤化物溶于有机溶剂中,在55-60℃温度下搅拌使其充分溶解,制成溶液浓度为15-25mg/ml修饰层溶液;再将所述修饰层溶液旋涂于空穴传输层上,于140℃退火10min,制得空穴传输层修饰层。

[0023] 优选地,S3中,所述钙钛矿前驱液是通过如下方法制备得到的:

[0024] 以MAPbI₃或FAMAPbI₃作为钙钛矿前驱体,使用DMF、DMSO中的至少一种作为有机溶剂对所述钙钛矿前驱体进行溶解,制备浓度为1.15-1.3mol/L的钙钛矿前驱液。

[0025] 更优选地,所述钙钛矿前驱体为MAPbI₃,所述有机溶剂为体积比DMF:DMSO=7:3的混合溶液。

[0026] 优选地,S3中,所述钙钛矿吸光层的制备过程如下:

[0027] 按照DMF:DMSO=7:3的体积比例制备有机溶剂,以MAPbI₃或FAMAPbI₃作为钙钛矿前驱体,制备浓度为1.15-1.3mol/L的钙钛矿前驱液;将所述钙钛矿前驱液旋涂于所述氧化镍空穴传输层上,旋涂速度为4000rpm,时间为30-40s,在开始旋涂后第25s冲击氯苯,旋涂完成后静置10min,随后在60℃下退火3min,再在100℃下退火10min,得到高覆盖度、大晶粒、带镜面效果的CH₃NH₃PbI₃钙钛矿吸光层薄膜。

[0028] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0029] 本发明提供的反型钙钛矿太阳能电池通过增加碱金属卤化物作为空穴修饰层材料,显著增强了氧化镍与钙钛矿吸光层之间的粘合力,减少了氧化镍薄膜表面的针孔、降低了载流子的界面复合损失,从而有效提高了钙钛矿太阳能电池的整体性能。此外,本发明提供的该反型钙钛矿太阳能电池的制备方法简单,成本低,得到的太阳能电池的性能有较大

提升。

附图说明

[0030] 图1为现有技术中常规的反型钙钛矿太阳能电池的结构示意图；

[0031] 图2为本发明实施例提供的含碱金属卤化物空穴修饰层的反型钙钛矿太阳能电池的结构示意图；

[0032] 图3为实施例1中使用溶液旋涂法制备的氧化镍扫描电镜图3-a以及添加碱金属卤化物修饰层后的扫描电镜图3-b；

[0033] 图4为实施例1和对比例1分别制备出的钙钛矿电池的电化学阻抗对比图；

[0034] 图5为对比例1未加空穴修饰层的电池器件的最高效率5-a及效率分布图5-b；

[0035] 图6为实施例1添加碱金属卤化物修饰后的电池器件的最高效率6-a及效率分布图6-b。

具体实施方式

[0036] 为了使本领域技术人员更好地理解本发明的技术方案能予以实施,下面结合具体实施例和附图对本发明作进一步说明,但所举实施例不作为对本发明的限定。所述药品与溶剂纯度均大于99%。

[0037] 实施例1

[0038] 一种反型钙钛矿太阳能电池,包括导电衬底、以及在部分所述导电衬底上设置的叠层结构,该叠层结构包括从下到上依次层叠设置的空穴传输层、空穴传输层修饰层、钙钛矿吸光层、电子传输层和金属电极,且所述导电衬底上还另设有一部分金属电极,这部分金属电极与所述叠层结构不接触设置。

[0039] 上述导电衬底为FTO导电玻璃,空穴传输层所用材料为氧化镍,氧化镍的厚度为20nm;空穴传输层修饰层所用材料为碱金属卤化物CsI,厚度为25nm;钙钛矿吸光层所用材料为 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 钙钛矿吸光层,厚度为300nm;电子传输层所用材料为PCBM,厚度为20nm;金属电极为银电极,厚度为100nm。

[0040] 上述器件的制备过程具体如下:

[0041] S1、在导电衬底上制备空穴传输层

[0042] 对FTO玻璃进行预处理,具体将FTO玻璃依次采用玻璃清洗剂、去离子水、无水乙醇、丙酮、异丙醇、无水乙醇清洗表面,氮气吹干待用;再将25mg四水合乙酸镍、6 μl 乙醇胺、1ml无水乙醇混合并在60 $^\circ\text{C}$ 搅拌8h,得到氧化镍前驱体溶液;在预处理后的FTO玻璃表面旋涂镍前驱体溶液,旋涂速度为4000rpm,时间为40s,然后在280 $^\circ\text{C}$ 退火1h,制得氧化镍空穴传输层。

[0043] S2、在空穴传输层上制备空穴传输层修饰层

[0044] 首先,将20mg CsI溶于1ml DMSO溶液中,60 $^\circ\text{C}$ 搅拌8h。再在上述空穴传输层上旋涂CsI溶液修饰层,转速及时间为4000rpm/40s;旋涂结束在140 $^\circ\text{C}$ 退火10min,制得空穴传输层修饰层。

[0045] S3、在空穴传输层修饰层上制备钙钛矿吸光层

[0046] 将553.2mg PbI_2 和190.8mg $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 溶于1mL DMF与DMSO的混合溶液中,DMF与DMSO

的混合比例为体积比为7:3,匀速搅拌8h,得到浓度为1.2mmol/ml的 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 前驱液;在上述氧化镍空穴传输层上旋涂 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 前驱液,旋涂速度为4000rpm,时间为35s,在开始旋涂后第25s冲击氯苯200 μl ,旋涂完成后静置10min,随后在60 $^\circ\text{C}$ 下退火3min,再在100 $^\circ\text{C}$ 下退火10min,即可得到高覆盖度、大晶粒、带镜面效果的 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 钙钛矿吸光层薄膜。

[0047] S4、在钙钛矿吸光层上制备电子传输层

[0048] 将22.5mg PCBM加入到1mL氯苯中,配制得到的PCBM溶液;在得到的吸光层薄膜表面采用旋涂法制备PCBM电子传输层;旋涂溶液为22.5mg PCBM加入1ml氯苯中配制得到的,转速时间为2000rpm/40s,并在70 $^\circ\text{C}$ 退火10min;PCBM、氯苯纯度大于99%。

[0049] S5、在电子传输层上制备金属电极

[0050] 在电子传输层修饰层表面蒸镀100nm厚的银,得到银电极。

[0051] 实施例2

[0052] 一种反型钙钛矿太阳能电池,器件结构如图2所示,包括导电衬底、以及在部分所述导电衬底上设置的叠层结构,该叠层结构包括从下到上依次层叠设置的空穴传输层、空穴传输层修饰层、钙钛矿吸光层、电子传输层、电子传输层修饰层和金属电极,且所述导电衬底上还另设有一部分金属电极,这部分金属电极与所述叠层结构不接触设置。

[0053] 上述导电衬底为FTO导电玻璃,空穴传输层所用材料为氧化镍,氧化镍的厚度为20nm;空穴传输层修饰层所用材料为碱金属卤化物CsI,厚度为25nm;钙钛矿吸光层所用材料为 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 钙钛矿吸光层,厚度为300nm;电子传输层所用材料为PCBM,厚度为20nm;电子传输层修饰层所用材料为BCP,厚度为2nm;金属电极为银电极,厚度为100nm。

[0054] 上述器件的制备过程和实施例1相同,不同之处仅在于:还包括电子传输层修饰层的制备,其制备过程为:在PCBM电子传输层表面旋涂浓度为0.5mg/ml的BCP溶液,旋涂速度为4000rpm,时间为40s,旋涂完毕得到修饰层。然后再在电子传输层修饰层表面蒸镀100nm厚的银,得到银电极。

[0055] 实施例3

[0056] 一种反型钙钛矿太阳能电池,器件结构如图2所示,包括从下到上依次层叠设置的导电衬底、空穴传输层、空穴传输层修饰层、钙钛矿吸光层、电子传输层以及金属电极。

[0057] 上述导电衬底为FTO导电玻璃,空穴传输层所用材料为氧化镍,氧化镍的厚度为20nm;空穴传输层修饰层所用材料为碱金属卤化物CsCl,厚度为25nm;钙钛矿吸光层所用材料为 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 钙钛矿吸光层,厚度为300nm;电子传输层所用材料为PCBM,厚度为20nm;金属电极为银电极,厚度为100nm。

[0058] 上述器件的制备过程和实施例1相同,不同之处仅在于,在空穴传输层上制备空穴传输层修饰层的方法略有不同,具体是将20mg CsCl溶于1ml DMSO溶液中,60 $^\circ\text{C}$ 搅拌8h。再在上述空穴传输层上旋涂CsCl溶液修饰层,转速及时间为4000rpm/40s;旋涂结束在140 $^\circ\text{C}$ 退火10min,制得空穴传输层修饰层。

[0059] 实施例4

[0060] 一种反型钙钛矿太阳能电池,包括从下到上依次层叠设置的导电衬底、空穴传输层、空穴传输层修饰层、钙钛矿吸光层、电子传输层以及金属电极。

[0061] 上述导电衬底为FTO导电玻璃,空穴传输层所用材料为氧化镍,氧化镍的厚度为20nm;空穴传输层修饰层所用材料为碱金属卤化物CsBr,厚度为25nm;钙钛矿吸光层所用材

料为 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 钙钛矿吸光层,厚度为300nm;电子传输层所用材料为PCBM,厚度为20nm;金属电极为银电极,厚度为100nm。

[0062] 上述器件的制备过程和实施例1相同,不同之处仅在于,在空穴传输层上制备空穴传输层修饰层的方法略有不同,具体是将20mg CsBr溶于1ml DMSO溶液中,60℃搅拌8h。再在上述空穴传输层上旋涂CsBr溶液修饰层,转速及时间为4000rpm/40s;旋涂结束在140℃退火10min,制得空穴传输层修饰层。

[0063] 实施例5

[0064] 一种反型钙钛矿太阳能电池,具体器件结构和实施例1相同。该器件结构的制备方法略有不同,不同之处在于,制备钙钛矿吸光层的方法略有不同,本实施例提供的方法具体如下:

[0065] 将553.2mg PbI_2 和190.8mg $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 溶于1ml DMF有机溶剂中,匀速搅拌8h,得到浓度为1.2mmol/ml的 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 前驱液;在上述氧化镍空穴传输层上旋涂 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 前驱液,旋涂速度为4000rpm,时间为35s,在开始旋涂后第25s冲击氯苯200 μl ,旋涂完成后静置10min,随后在60℃下退火3min,再在100℃下退火10min,同样得到高覆盖度、大晶粒、带镜面效果的 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 钙钛矿吸光层薄膜。

[0066] 对比例1

[0067] 一种反型钙钛矿太阳能电池,器件结构如图1所示,包括从下到上依次层叠设置的导电衬底、空穴传输层、钙钛矿吸光层、电子传输层、电子传输层修饰层以及金属电极。

[0068] 上述导电衬底为FTO导电玻璃,空穴传输层所用材料为氧化镍,氧化镍的厚度为20nm;钙钛矿吸光层所用材料为 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 钙钛矿吸光层,厚度为300nm;电子传输层所用材料为PCBM,厚度为20nm;电子传输层修饰层所用材料为BCP,厚度为2nm;金属电极为银电极,厚度为100nm。

[0069] 对比例2

[0070] 一种反型钙钛矿太阳能电池,包括从下到上依次层叠设置的导电衬底、空穴传输层、空穴传输层修饰层、钙钛矿吸光层、电子传输层、电子传输层修饰层以及金属电极。

[0071] 上述导电衬底为FTO导电玻璃,空穴传输层所用材料为氧化镍,氧化镍的厚度为20nm;空穴传输层修饰层所用材料为CsI,CsI的厚度为25nm;钙钛矿吸光层所用材料为 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 钙钛矿吸光层,厚度为300nm;电子传输层所用材料为PCBM,厚度为20nm;电子传输层修饰层所用材料为BCP,厚度为2nm;金属电极为银电极,厚度为100nm。

[0072] 上述钙钛矿太阳能电池的制备过程具体如下;

[0073] 将FTO玻璃依次采用玻璃清洗剂、去离子水、无水乙醇、丙酮、异丙醇、无水乙醇清洗表面,氮气吹干待用。

[0074] 将25mg四水合乙酸镍、6 μl 乙醇胺、1ml无水乙醇混合并搅拌8h,得到氧化镍前驱体溶液。

[0075] 在吹干的FTO玻璃表面旋涂镍前驱体溶液,然后在280℃退火1h制得氧化镍空穴传输层。

[0076] 将20mgCsI溶于1mlDMSO溶液中,搅拌8h。

[0077] 在空穴传输层上旋涂CsI溶液修饰层,转速及时间为4000rpm/50s;旋涂结束在140℃退火10min,制得空穴传输层修饰层。

[0078] 在空穴传输层修饰层上滴加吸光层前驱液 MAPbI_3 ,在开始旋涂后第10s冲击氯苯 $200\mu\text{l}$,旋涂完成后,将玻璃片静置15min,其中前驱体溶液浓度为 1.2mol/L ,转速为 $4000\text{rpm}/35\text{s}$,随后,将钙钛矿薄膜在 60°C 下退火3min,再在 100°C 下退火10min,得到吸光层薄膜。

[0079] 在得到的吸光层薄膜表面采用旋涂法制备PCBM电子传输层;旋涂溶液为 22.5mgPCBM 加入 1ml 氯苯中配制得到的,转速时间为 $2000\text{rpm}/40\text{s}$,并在 70°C 退火10min;所述PCBM、氯苯纯度大于99%。

[0080] 电子传输层修饰层为BCP,浓度为 0.5mg/ml ,转速及时间为 $4000\text{rpm}/40\text{s}$ 。

[0081] 在电子传输层修饰层表面蒸镀 100nm 厚的银,作为对电极。

[0082] 上述实施例1-6均制备除了性能优异的反型钙钛矿太阳能电池,为了验证本发明实施例1-6制备出的含碱金属卤化物空穴修饰层的反型钙钛矿太阳能电池的优异性能,本发明对制备出的含碱金属卤化物空穴修饰层的反型钙钛矿太阳能电池的性能进行了检测,具体结果见图3-6。

[0083] 图3为实施例1中使用溶液旋涂法制备的氧化镍扫描电镜图3-a以及添加碱金属卤化物修饰层后的扫描电镜图3-b;通过氧化镍与修饰后的氧化镍形貌进行对比,修饰后的缺陷明显减少;可以看出这与其效率中缺陷态密度减少使得填充因子提高是一致的。

[0084] 图4为实施例1和对比例1分别制备出的钙钛矿电池的电化学阻抗对比图;通过电化学阻抗图进行修饰前后的阻抗分析可以得到,通过添加修饰层后,电池的阻抗与之前相比明显降低,说明添加碱金属卤化物修饰层对于提高电池性能是一种行之有效的办法。

[0085] 图5为对比例1未加空穴修饰层的电池器件的最高效率5-a及效率分布图5-b;图6为实施例1添加碱金属卤化物修饰后的电池器件的最高效率6-a及效率分布图6-b。通过添加修饰层最高效率从 15.79% 增加到 17.52% ,有一定提升;从效率分布图看,器件效率在添加修饰层之后提升约 12.6% 。图5-a、6-a为实施例1和对比例1得到的钙钛矿太阳能电池的JV曲线对比图;分别将实施例1得到的钙钛矿太阳能电池和对比例1得到的钙钛矿太阳能电池,在 AM1.5G , $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 的氙灯照射下采用三电极法进行IV测试,其中扫描电压为 $-0.2\sim 1.2\text{V}$,扫描速度为 $10\text{mV}/\text{s}$ 。由图6可知,在相同扫描速度下,实施对比例1的钙钛矿太阳能电池相比比例1的钙钛矿太阳能电池的填充因子明显增加,表明实施对比例1得到的钙钛矿太阳能电池具有更好的性能。

[0086] 本发明描述了优选实施例及其效果。但本领域内的技术人员一旦得知了基本创造性概念,则可对这些实施例作出另外的变更和修改。所以,所附权利要求意欲解释为包括优选实施例以及落入本发明范围的所有变更和修改。

[0087] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

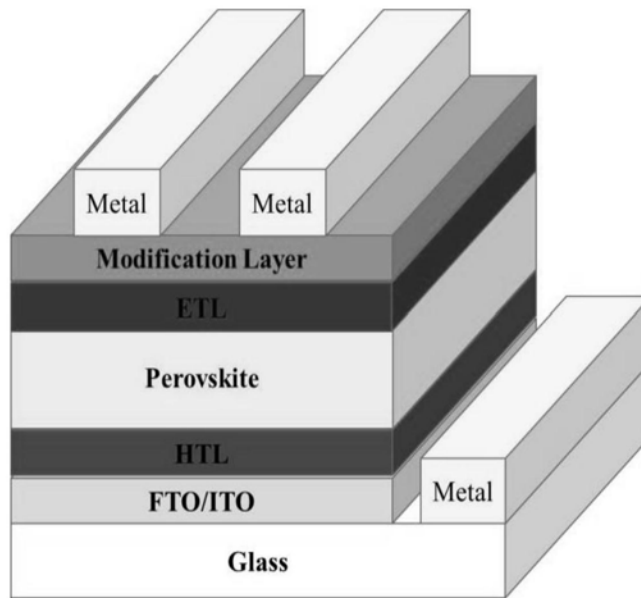


图1

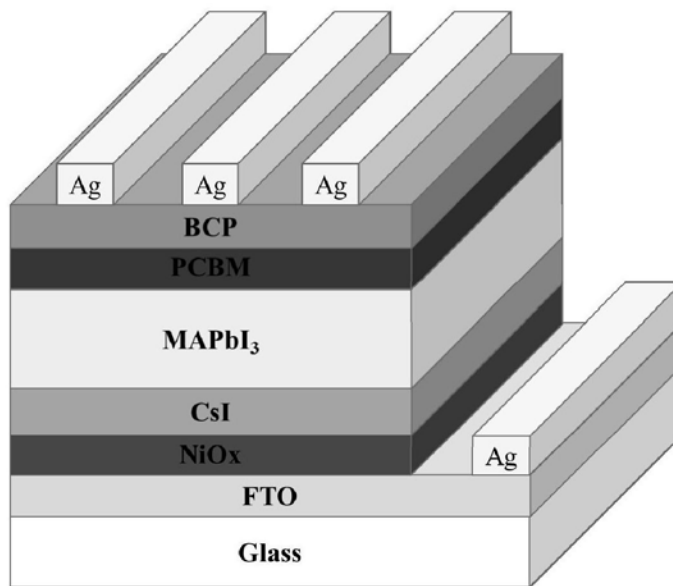
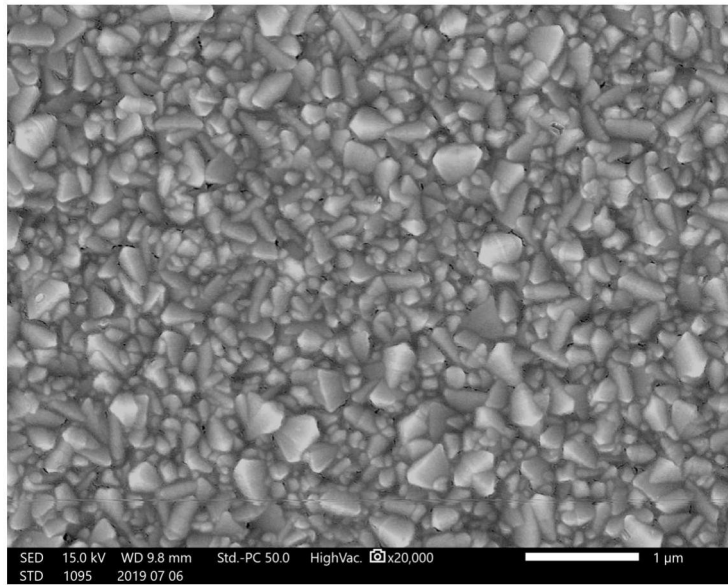
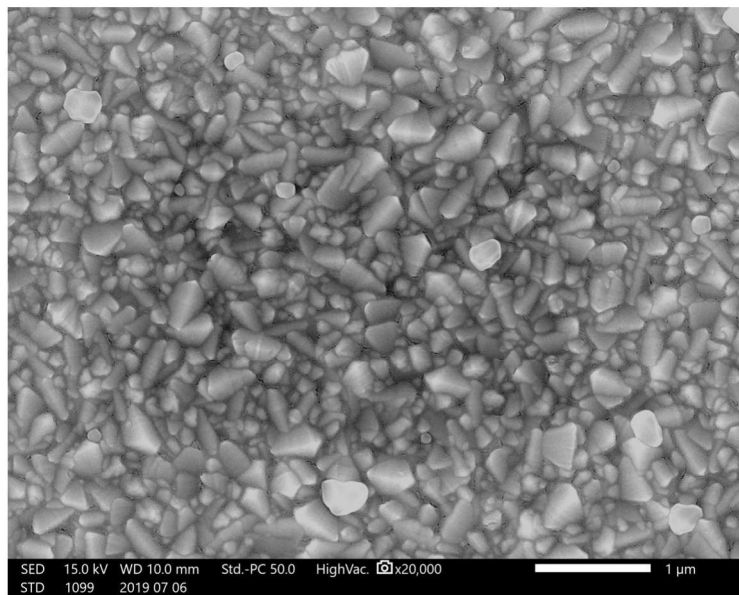


图2



(3-a)



(3-b)

图3

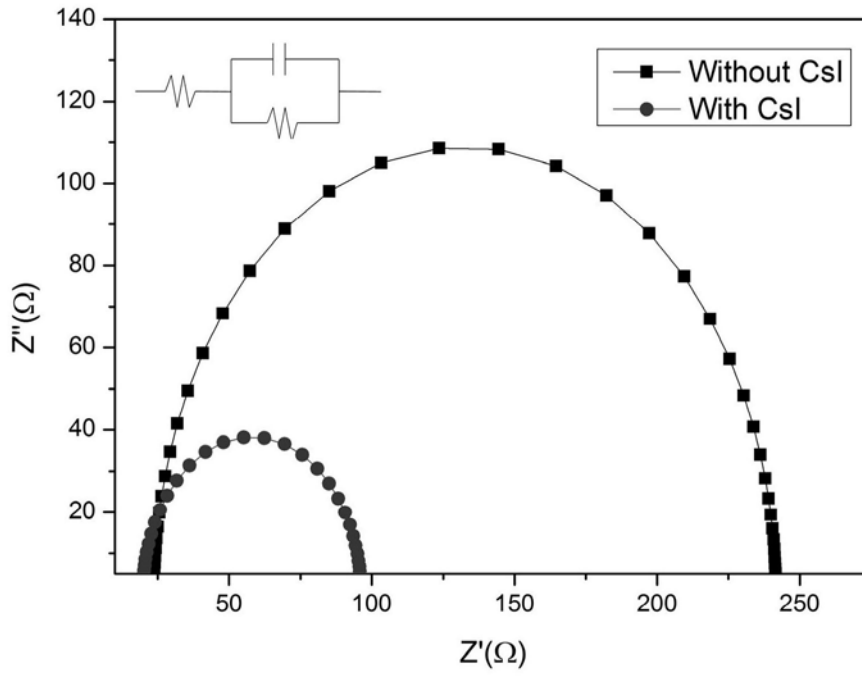
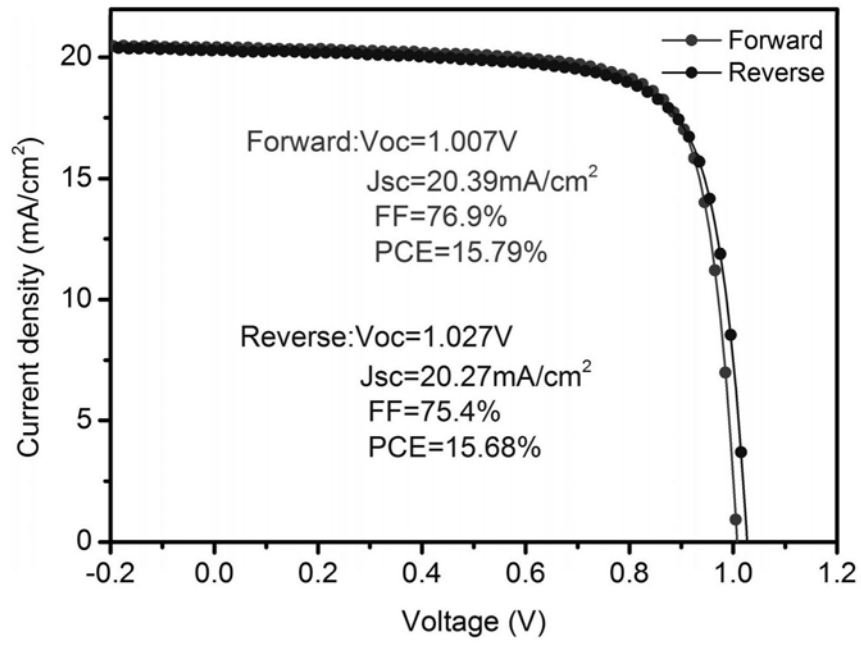
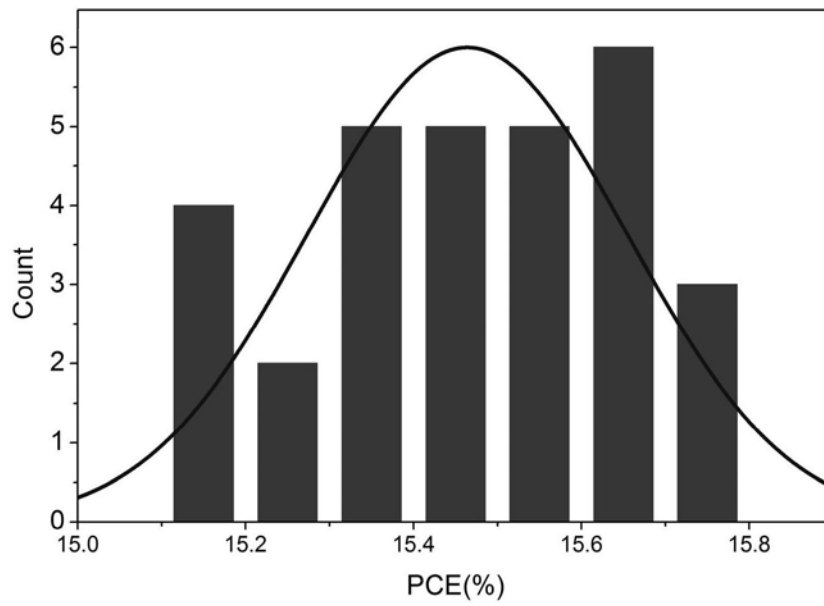


图4

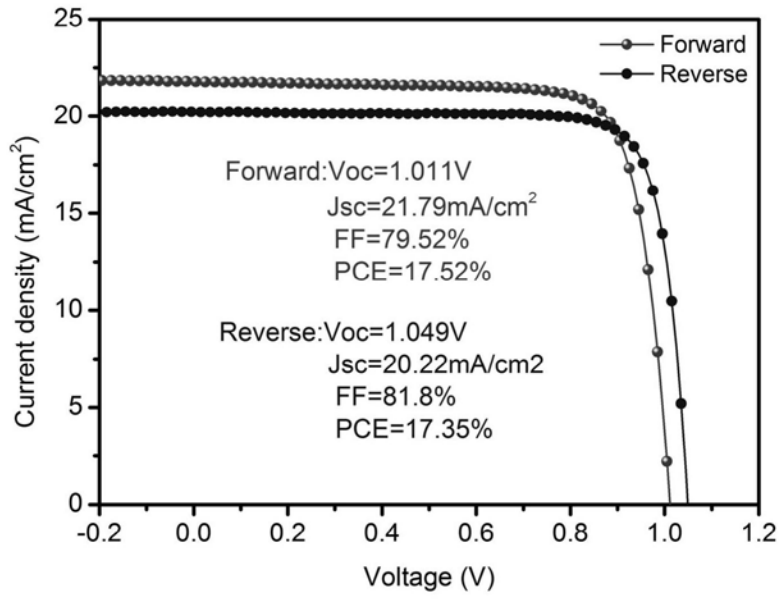


(5-a)

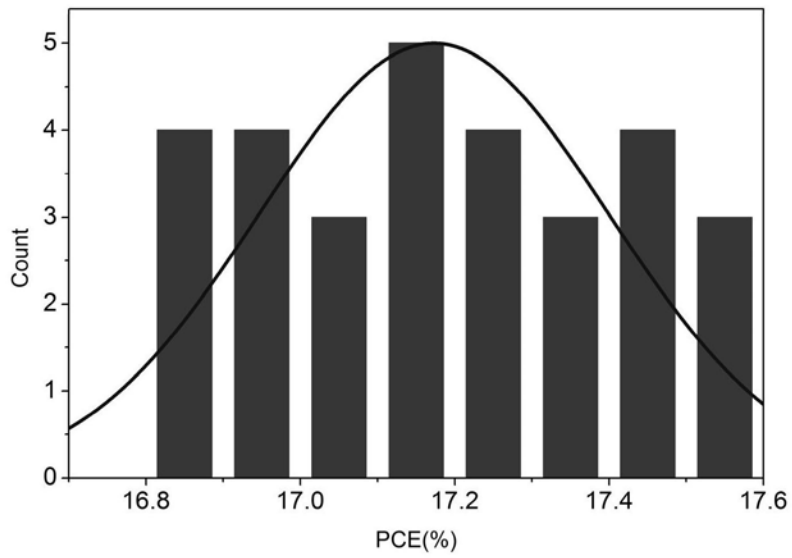


(5-b)

图5



(6-a)



(6-b)

图6