(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119364982 A
(43)申请公布日 2025.01.24

(21)申请号 202411270069.6

(22)申请日 2024.09.11

(71)申请人 中国大唐集团科学技术研究总院有限公司华东电力试验研究院
地址 236000 安徽省合肥市高新区柏堰科技园明珠大道669号
申请人 大唐三亚未来能源研究所有限公司

(72)发明人 刘尧 张剑峰 盛明珺 戴申华 胡月鹏 芮志刚 白卫东 彭荣

(74)专利代理机构 合肥市浩智运专利代理事务所(普通合伙) 34124
专利代理师 王宏平

(51)Int.Cl.
H10K 30/50(2023.01)
H10K 30/87(2023.01)
H10K 30/82(2023.01)
H10K 71/00(2023.01)
H10K 71/12(2023.01)
H10K 71/40(2023.01)
H10K 71/60(2023.01)
H10K 85/50(2023.01)

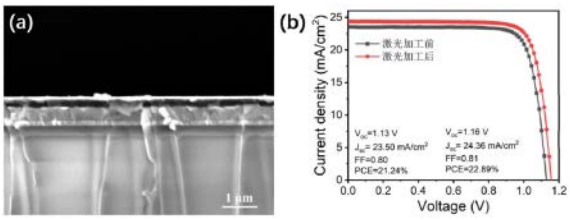
权利要求书1页 说明书7页 附图5页

(54)发明名称

一种具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池及其制备方法

(57)摘要

本发明提供了一种具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池,所述钙钛矿太阳能电池包括光陷阱阵列透明导电层;所述光陷阱阵列透明导电层是在处理后透明导电玻璃沉积一层金属In薄膜层,然后在其表面进行激光加工刻蚀金属In层和透明导电玻璃,形成一定图案的阵列得到光陷阱阵列透明导电层。本发明通过激光刻蚀过程中的高能热量将部分In金属融入透明导电玻璃中进行晶化掺杂,提高透明导电层的电导率,提高电荷的传输效率,所述晶化掺杂形成光陷阱结构,让入射光在透明导电层经过多次反射,进而实现提高钙钛矿薄膜对入射光的吸收效率和电荷传输速率的提升,增强电池光电转换效率。



CN 119364982 A

1.一种具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池,其特征在于,所述钙钛矿太阳能电池包括光陷阱阵列透明导电层;所述光陷阱阵列透明导电层是在处理后透明导电玻璃沉积一层金属In薄膜层,然后在其表面进行激光加工刻蚀金属In层和透明导电玻璃,形成一定图案的阵列得到光陷阱阵列透明导电层。

2.根据权利要求1所述的具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池,其特征在于,所述处理具体为将透明导电玻璃经过清洗、干燥后,采用紫外-臭氧表面处理。

3.根据权利要求1所述的具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池,其特征在于,所述金属In薄膜层的厚度为10-30nm,所述一定图案包括圆孔、矩形和多边形。

4.根据权利要求3所述的具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池,其特征在于,所述一定图案为圆孔,圆孔直径为100nm-100um。

5.根据权利要求1所述的具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池,其特征在于,所述透明导电玻璃包括ITO导电玻璃、FTO导电玻璃、AZO导电玻璃和PEN/ITO柔性透明导电玻璃中的一种。

6.根据权利要求1所述的具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池,其特征在于,所述沉积金属In薄膜层方法包括磁控溅射、热蒸发和电子束。

7.根据权利要求1-6任一项所述具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

在光陷阱阵列透明导电层旋涂SnO_2溶液,进行退火后形成电子传输层,在电子传输层旋涂钙钛矿前驱体溶液,并进行退火,形成钙钛矿薄膜,在钙钛矿薄膜旋涂Spiro-OMeTAD前驱体溶液制备空穴传输层,在空穴传输层通过热蒸发工艺沉积金属电极,最终制得具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池;

或在光陷阱阵列透明导电层旋涂PEDOT:PSS前驱体溶液,进行退火后形成空穴传输层;在空穴传输层旋涂钙钛矿前驱体溶液,并进行退火,形成钙钛矿薄膜;在钙钛矿薄膜通过热蒸发工艺制备电子传输层,在电子传输层通过热蒸发工艺沉积金属电极;最终制得具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池。

8.根据权利要求7所述的制备方法,其特征在于,所述电子传输层的退火温度为150~500℃,时间30~60min。

9.根据权利要求7所述的制备方法,其特征在于,所述钙钛矿薄膜和空穴传输层退火温度为150℃,时间为10min。

10.根据权利要求7所述制备方法,其特征在于,所述沉积金属电极的厚度为100nm。

一种具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于太阳能电池技术领域,涉及一种具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池及其制备方法。

背景技术

[0002] 新型卤化物钙钛矿太阳能电池是具有载流子扩散长度长、带隙可调控、光电转换效率高、制备成本低廉、工艺简单等特点。新型卤化物钙钛矿太阳能电池其主要结构为透明导电层、功能层1(电子传输层或空穴传输层)、钙钛矿层、功能层2(空穴传输层或电子传输层)及背电极。其中透明导电玻璃,不仅作为光透入层,也是电极材料。在光照条件下,入射光通过透明导电基底,进入钙钛矿电池功能层,再进入钙钛矿薄膜活性层,产生电子-空穴对,并经功能层(电子传输层和空穴传输层)分别导出电子和空穴。最后通过加入负载,形成完整回路。传统钙钛矿太阳能电池中的光是依次穿过透明电极、功能层进入钙钛矿层,对入射光的利用率较低,限制电池光电流的进一步提升。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题在于如何提高入射光的利用率。

[0004] 本发明通过以下技术手段实现解决上述技术问题的:

[0005] 本发明第一方面提供了一种具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池,所述钙钛矿太阳能电池包括光陷阱阵列透明导电层;所述光陷阱阵列透明导电层:在处理后透明导电玻璃沉积一层金属In薄膜层,然后在其表面进行激光加工刻蚀金属In层和透明导电玻璃,形成一定图案的阵列得到光陷阱阵列透明导电层。

[0006] 有益效果:本发明采用激光加工刻蚀透明导电玻璃,形成具有一定图案结构的阵列,替代传统平面导电层;本发明通过激光刻蚀过程中的高能热量将部分In金属融入透明导电玻璃中进行晶化掺杂,提高透明导电层的电导率,提高电荷的传输效率,所述晶化掺杂形成光陷阱结构,让入射光在透明导电层经过多次反射,进而实现提高钙钛矿薄膜对入射光的吸收效率和电荷传输速率的提升,增强电池光电转换效率。

[0007] 优选的,所述处理具体为将透明导电玻璃经过清洗、干燥后,采用紫外-臭氧表面处理。

[0008] 优选的,所述透明导电玻璃包括ITO导电玻璃、FTO导电玻璃和AZO导电玻璃和PEN/ITO柔性透明导电玻璃中的一种。

[0009] 优选的,所述金属In薄膜层的厚度为10-30nm;所述一定图案包括圆形、矩形和多边形。

[0010] 优选的,所述一定图案为圆形,圆形直径为100-1000nm。

[0011] 优选的,所述沉积金属In薄膜层方法包括磁控溅射、热蒸发和电子束。

[0012] 本发明第二方面提供上述具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池的制备方法,包括以下步骤:

[0013] 在光陷阱阵列透明导电层旋涂SnO_2溶液,进行退火后形成电子传输层,在电子传输层旋涂钙钛矿前驱体溶液,并进行退火,形成钙钛矿薄膜,在钙钛矿薄膜旋涂Spiro-OMeTAD前驱体溶液制备空穴传输层,在空穴传输层通过热蒸发工艺沉积金属电极,最终制得具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池;

[0014] 或在光陷阱阵列透明导电层旋涂PEDOT:PSS前驱体溶液,进行退火后形成空穴传输层;在空穴传输层旋涂钙钛矿前驱体溶液,并进行退火,形成钙钛矿薄膜;在钙钛矿薄膜通过热蒸发工艺制备电子传输层,在电子传输层通过热蒸发工艺沉积金属电极;最终制得具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池。

[0015] 有益效果:本发明是通过图案化刻蚀晶化掺杂制备透明导电层,不仅能够提高钙钛矿薄膜对入射光的吸收,增强透明导电电极的电导率,还能提高钙钛矿太阳能电池的光电流密度及转换效率,制备出实现光电转换效率超过24%的钙钛矿太阳能电池。

[0016] 优选的,所述电子传输层的退火温度为150~500℃,时间30~60min。

[0017] 优选的,所述钙钛矿薄膜和空穴传输层退火温度为150℃,时间为10min。

[0018] 优选的,所述沉积金属电极的厚度为100nm。

附图说明

[0019] 图1是本发明实施例中一种具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池的透明导电层的平面图和立体图;

[0020] 图2是本发明实施例中制备具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池流程图;

[0021] 图3是本发明实施例与对比例制得具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池结构示意图、光传输路径和电荷传输效率,其中a表示未进行沉积金属In的钙钛矿太阳能电池,b表示进行沉积金属In的钙钛矿太阳能电池;

[0022] 图4是本发明实施例1制得钙钛矿太阳能电池的SEM截面图和伏安特性(J-V)曲线图;

[0023] 图5是本发明实施例2制得钙钛矿太阳能电池的SEM截面图和伏安特性(J-V)曲线图;

[0024] 图6是本发明实施例3制得钙钛矿太阳能电池的SEM截面图和伏安特性(J-V)曲线图;

[0025] 图7是本发明实施例4制得钙钛矿太阳能电池的SEM截面图和伏安特性(J-V)曲线图;

[0026] 图8是本发明实施例5制得钙钛矿太阳能电池的SEM截面图和伏安特性(J-V)曲线图;

[0027] 图9是本发明实施例6制得钙钛矿太阳能电池的SEM截面图和伏安特性(J-V)曲线图;

[0028] 图10是本发明实施例7制得钙钛矿太阳能电池的SEM截面图和伏安特性(J-V)曲线图。

具体实施方式

[0029] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例,

对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0030] 下述实施例中所用的试验材料和试剂等,如无特殊说明,均可从商业途径获得。

[0031] 实施例中未注明具体技术或条件者,均可以按照本领域内的文献所描述的技术或条件或者按照产品说明书进行。

[0032] 实施例1

[0033] 参考图2,本实施例提供了一种具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池和制备方法,本实施例制备n-i-p正式结构钙钛矿薄膜太阳能电池,具体包括以下步骤:

[0034] (1)将ITO导电玻璃依次采用去垢剂、异丙醇和去离子水进行超声波清洗;随后,将清洗干净的ITO导电玻璃吹干,并放置在紫外-臭氧设备中进行表面处理,提高ITO导电玻璃与金属薄膜材料之间的界面接触性能。

[0035] (2)在处理后的ITO导电玻璃采用磁控溅射技术沉积一层厚度为20nm的金属In薄膜层,然后采用飞秒激光加工刻蚀金属In薄膜层和ITO导电玻璃,所刻蚀的图案为圆孔,圆孔直径约为5um,所述飞秒激光功率为50mW,波长1064nm,最终制得光陷阱阵列透明导电层,如图1所示。

[0036] (3)将二氧化锡纳米颗粒与去离子水按照体积比为1:5配制成溶液,并旋涂在光陷阱阵列透明导电层上,旋涂转速设定为3000rpm,时间30s。旋涂结束后,将样品放置于加热台上进行退火,退火的温度为150℃,时间为60min,最终形成电子传输层。

[0037] (4)将461mg的碘化铅PbI_2和172mg的碘甲脒FAI溶于N,N-二甲基甲酰胺DMF溶剂中,配成2mol/mL的$FAPbI_3$钙钛矿前驱溶液,并用0.45μm聚四氟乙烯过滤器过滤待用,然后取100μL钙钛矿前驱体溶液滴在电子传输层上,并旋涂,放置在加热台上进行退火处理,退火温度150℃,时间10min,获得$FAPbI_3$钙钛矿薄膜层。

[0038] (5)将36.6mg的Spiro-OMeTAD溶解在0.5mL的氯苯中,配成Spiro-OMeTAD溶液;将520mg的双三氟甲基磺酸亚酰胺锂LiTFSI溶解在1mL的乙腈溶液中,并取17.6μL,加入到Spiro-OMeTAD溶液中;再向Spiro-OMeTAD溶液加入14.4μL的4-叔丁基吡啶TBP溶液配成Spiro-OMeTAD前驱体溶液;取100μL的Spiro-OMeTAD前驱体溶液,滴至钙钛矿薄膜层表面,通过旋涂工艺,转速3000rpm,时间30s,形成空穴传输层。

[0039] (6)将上述制备好的样品放置在掩膜版中,通过热蒸发工艺沉积一层厚度为100nm的金属电极Au,沉积速率为0.5 Å/s,待金属沉积结束后,获得钙钛矿太阳能电池。

[0040] 实施例2

[0041] 本实施例提供了一种具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池和制备方法,本实施例制备p-i-n反式结构钙钛矿太阳能电池,具体包括以下步骤:

[0042] (1)将ITO导电玻璃依次采用去垢剂、异丙醇和去离子水进行超声波清洗;随后,将清洗干净的ITO导电玻璃吹干,并放置在紫外-臭氧设备中进行表面处理,提高ITO导电玻璃与金属薄膜材料之间的界面接触性能。

[0043] (2)在处理后的ITO导电玻璃采用磁控溅射技术沉积一层厚度为20nm的金属In薄膜层,然后采用飞秒激光加工刻蚀金属In薄膜层和ITO导电玻璃,所刻蚀的图案为圆孔,圆孔直径约为5um,所述飞秒激光功率为50mW,波长1064nm,最终制得光陷阱阵列透明导电层。

[0044] (3)将PEDOT:PSS前驱体溶液用0.45μm的过滤器过滤待用,并取100μL滴在光陷阱阵列透明导电层上,旋涂转速设定为3000rpm,时间30s,经过旋涂后,置于150℃加热台上,退火10min,最终形成空穴传输层。

[0045] (4)将461mg的碘化铅PbI_2和172mg的碘甲脒FAI溶于DMF溶剂中,配成2mol/mL的$FAPbI_3$钙钛矿前驱溶液,并用0.45μm过滤器过滤待用;然后取100μL钙钛矿前驱体溶液滴在空穴传输层上,并旋涂,放置在加热台上进行退火处理,退火温度150℃,时间10min,获得$FAPbI_3$钙钛矿薄膜层。

[0046] (5)在钙钛矿薄膜层上采用热蒸发技术制备电子传输层,所述电子传输层厚度为20nm,蒸发速率0.5 Å/s;

[0047] (6)将上述制备好的样品放置在掩膜版中,通过热蒸发工艺沉积一层厚度为100nm的金属电极Au,沉积速率为0.5 Å/s,待金属沉积结束后,获得钙钛矿太阳能电池。

[0048] 实施例3

[0049] 本实施例提供了一种具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池和制备方法,本实施例制备n-i-p正式结构钙钛矿薄膜太阳能电池,具体包括以下步骤:

[0050] (1)将ITO导电玻璃依次采用去垢剂、异丙醇和去离子水进行超声波清洗;随后,将清洗干净的ITO导电玻璃吹干,并放置在紫外-臭氧设备中进行表面处理,提高ITO导电玻璃与金属薄膜材料之间的界面接触性能。

[0051] (2)在处理后的ITO导电玻璃采用磁控溅射技术沉积一层厚度为20nm的金属In薄膜层,然后采用飞秒激光加工刻蚀金属In薄膜层和ITO导电玻璃,所刻蚀的图案为圆孔,圆孔直径约为5um,所述飞秒激光功率为50mW,波长1064nm,最终制得光陷阱阵列透明导电层。

[0052] (3)将二氧化锡纳米颗粒与去离子水按照体积比为1:5配制成溶液,并旋涂在光陷阱阵列透明导电层上,旋涂转速设定为3000rpm,时间30s。旋涂结束后,将样品放置于加热台上进行退火,退火的温度为160℃,时间为45min,最终形成电子传输层。

[0053] (4)将461mg的碘化铅PbI_2溶于DMF中,配成1mol/mL的PbI_2前驱溶液,并用0.45μm PTFE过滤器过滤;取100μL滴电子传输层上,并旋涂,获得PbI_2薄膜;将一定量的FAI或MAI或MAI/FAI混合粉末溶于异丙醇中,配置成1mol/mL的溶液,旋涂在PbI_2薄膜上,形成钙钛矿前驱体薄膜;并放置在加热台上进行退火处理,温度150℃,时间10min,获得$FAPbI_3$钙钛矿薄膜。

[0054] (5)将36.6mg的Spiro-OMeTAD溶解在0.5mL的氯苯中,配成Spiro-OMeTAD溶液;将520mg的双三氟甲基磺酸亚酰胺锂LiTFSI溶解在1mL的乙腈溶液中,并取17.6μL,加入到Spiro-OMeTAD溶液中;再向Spiro-OMeTAD溶液加入14.4μL的4-叔丁基吡啶TBP溶液配成Spiro-OMeTAD前驱体溶液;取100μL的Spiro-OMeTAD前驱体溶液,滴至钙钛矿薄膜层表面,通过旋涂工艺,转速3000rpm,时间30s,形成空穴传输层。

[0055] (6)在空穴传输层上放置在掩膜版中,通过热蒸发工艺沉积一层厚度为100nm的金属电极Au,沉积速率为0.5 Å/s,待金属沉积结束后,获得钙钛矿太阳能电池。

[0056] 实施例4

[0057] 本实施例提供了一种具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池和制备方法,本实施例制备p-i-n反式结构钙钛矿太阳能电池,具体包括以下步骤:

[0058] (1)将ITO导电玻璃依次采用去垢剂、异丙醇和去离子水进行超声波清洗;随后,将

清洗干净的ITO导电玻璃吹干,并放置在紫外-臭氧设备中进行表面处理,提高ITO导电玻璃与金属薄膜材料之间的界面接触性能。

[0059] (2)在处理后的ITO导电玻璃采用磁控溅射技术沉积一层厚度为20nm的金属In薄膜层,然后采用飞秒激光加工刻蚀金属In薄膜层和ITO导电玻璃,所刻蚀的图案为圆孔,圆孔直径约为5um,所述飞秒激光功率为50mW,波长1064nm,最终制得光陷阱阵列透明导电层。

[0060] (3)将PEDOT:PSS前驱体溶液用0.45μm的过滤器过滤,并取100μL滴在光陷阱阵列透明导电层上,旋涂转速设定为3000rpm,时间30s,经过旋涂后,置于150℃加热台上,退火10min,最终形成空穴传输层。

[0061] (4)将461mg的碘化铅PbI_2溶于DMF中,配成1mol/mL的PbI_2前驱溶液,并用0.45μm PTFE过滤器过滤;取100μL滴电子传输层上,并旋涂,获得PbI_2薄膜;将一定量的FAI或MAI或MAI/FAI混合粉末溶于异丙醇中,配置成1mol/mL的溶液,旋涂在PbI_2薄膜上,形成钙钛矿前驱体薄膜;并放置在加热台上进行退火处理,温度150℃,时间10min,获得$FAPbI_3$钙钛矿薄膜。

[0062] (5)在钙钛矿薄膜层上采用热蒸发技术制备电子传输层;厚度20nm,蒸发速率0.5 Å/s;

[0063] (6)在电子传输层上放置在掩膜版中,通过热蒸发工艺沉积一层厚度为100nm的金属电极Au,沉积速率为0.5 Å/s,待金属沉积结束后,获得钙钛矿太阳能电池。

[0064] 实施例5

[0065] 本实施例提供了一种具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池和制备方法,本实施例制备n-i-p正式结构钙钛矿薄膜太阳能电池,具体包括以下步骤:

[0066] (1)将PEN/ITO柔性透明导电玻璃依次采用去垢剂、异丙醇和去离子水进行超声波清洗;随后,将清洗干净的ITO导电玻璃吹干,并放置在紫外-臭氧设备中进行表面处理,提高PEN/ITO柔性透明导电玻璃与金属薄膜材料之间的界面接触性能。

[0067] (2)在处理后的PEN/ITO柔性透明导电玻璃采用磁控溅射技术沉积一层厚度为20nm的金属In薄膜层,然后采用飞秒激光加工刻蚀金属In薄膜层和PEN/ITO柔性透明导电玻璃,所刻蚀的图案为圆孔,圆孔直径约为5um,所述飞秒激光功率为50mW,波长1064nm,最终制得光陷阱阵列透明导电层。

[0068] (3)将二氧化锡纳米颗粒与去离子水按照体积比为1:5配制成溶液,并旋涂在光陷阱阵列透明导电层上,旋涂转速设定为3000rpm,时间30s。旋涂结束后,将样品放置于加热台上进行退火,退火的温度为170℃,时间为45min,最终形成电子传输层。

[0069] (4)将461mg的碘化铅PbI_2和172mg的碘甲脒FAI溶于N,N-二甲基甲酰胺DMF溶剂中,配成2mol/mL的$FAPbI_3$钙钛矿前驱溶液,并用0.45μm聚四氟乙烯过滤器过滤,取100μL钙钛矿前驱体溶液滴在电子传输层上,并旋涂,并放置在加热台上进行退火处理,退火温度150℃,时间10min,获得$FAPbI_3$钙钛矿薄膜层。

[0070] (5)将36.6mg的Spiro-OMeTAD溶解在0.5mL的氯苯中,配成Spiro-OMeTAD溶液;将520mg的双三氟甲基磺酸亚酰胺锂LiTFSI溶解在1mL的乙腈溶液中,并取17.6μL,加入到Spiro-OMeTAD溶液中;再向Spiro-OMeTAD溶液加入14.4μL的4-叔丁基吡啶TBP溶液配成Spiro-OMeTAD前驱体溶液;取100μL的Spiro-OMeTAD前驱体溶液,滴至钙钛矿薄膜层表面,通过旋涂工艺,转速3000rpm,时间30s,形成空穴传输层。

[0071] (6)在空穴传输层上放置在掩膜版中,通过热蒸发工艺沉积一层厚度为100nm的金属电极Au,沉积速率为0.5 Å/s,待金属沉积结束后,获得钙钛矿太阳能电池。

[0072] 实施例6

[0073] 本实施例提供了一种具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池和制备方法,本实施例制备n-i-p正式结构钙钛矿薄膜太阳能电池,具体包括以下步骤:

[0074] (1)将ITO导电玻璃依次采用去垢剂、异丙醇和去离子水进行超声波清洗;随后,将清洗干净的ITO导电玻璃吹干,并放置在紫外-臭氧设备中进行表面处理,提高ITO导电玻璃与金属薄膜材料之间的界面接触性能。

[0075] (2)在处理后的ITO导电玻璃采用热蒸发技术沉积一层厚度为20nm的金属In薄膜层,然后采用飞秒激光加工刻蚀金属In薄膜层和ITO导电玻璃,所刻蚀的图案为圆孔,圆孔直径约为5um,所述飞秒激光功率为50mW,波长1064nm,最终制得光陷阱阵列透明导电层。

[0076] (3)将二氧化锡纳米颗粒与去离子水按照体积比为1:5配制成溶液,并旋涂在光陷阱阵列透明导电层上,旋涂转速设定为3000rpm,时间30s。旋涂结束后,将样品放置于加热台上进行退火,退火的温度为180℃,时间为30min,最终形成电子传输层。

[0077] (4)将461mg的碘化铅PbI_2和260mg的碘化铯CsI溶于DMF中,配成1.5mol/mL的$CsPbI_3$钙钛矿前驱溶液,并用0.45μm聚四氟乙烯PTFE过滤器过滤;取100μL钙钛矿前驱体溶液滴在电子传输层上,并旋涂,并放置在加热台上进行退火处理,温度150℃,时间10min,获得$CsPbI_3$钙钛矿薄膜。

[0078] (5)将36.6mg的Spiro-OMeTAD溶解在0.5mL的氯苯中,配成Spiro-OMeTAD溶液;将520mg的双三氟甲基磺酸亚酰胺锂LiTFSI溶解在1mL的乙腈溶液中,并取17.6μL,加入到Spiro-OMeTAD溶液中;再向Spiro-OMeTAD溶液加入14.4μL的4-叔丁基吡啶TBP溶液配成Spiro-OMeTAD前驱体溶液;取100μL的Spiro-OMeTAD前驱体溶液,滴至钙钛矿薄膜层表面,通过旋涂工艺,转速3000rpm,时间30s,形成空穴传输层。

[0079] (6)在空穴传输层上放置在掩膜版中,通过热蒸发工艺沉积一层厚度为100nm的金属电极Au,沉积速率为0.5 Å/s,待金属沉积结束后,获得钙钛矿太阳能电池。

[0080] 实施例7

[0081] 本实施例提供了一种具有光陷阱阵列钙钛矿太阳能电池和制备方法,具体包括以下步骤:

[0082] (1)将ITO导电玻璃依次采用去垢剂、异丙醇和去离子水进行超声波清洗;随后,将清洗干净的ITO导电玻璃吹干,并放置在紫外-臭氧设备中进行表面处理,提高ITO导电玻璃与金属薄膜材料之间的界面接触性能。

[0083] (2)在处理后的ITO导电玻璃采用电子束技术沉积一层厚度为20nm的金属In薄膜层,然后采用飞秒激光加工刻蚀金属In薄膜层和ITO导电玻璃,所刻蚀的图案为圆孔,圆孔直径约为5um,所述飞秒激光功率为50mW,波长1064nm,最终制得光陷阱阵列透明导电层。

[0084] (3)将二氧化锡纳米颗粒与去离子水按照体积比为1:5配制成溶液,并旋涂在光陷阱阵列透明导电层上,旋涂转速设定为3000rpm,时间30s。旋涂结束后,将样品放置于加热台上进行退火,退火的温度为160℃,时间为45min,最终形成电子传输层。

[0085] (4)将461mg的碘化铅PbI_2和172mg的碘甲脒FAI溶于N,N-二甲基甲酰胺DMF溶剂中,配成2mol/mL的$FAPbI_3$钙钛矿前驱溶液,并用0.45μm聚四氟乙烯过滤器过滤待用,然后

取100μL钙钛矿前驱体溶液滴在电子传输层上,并旋涂,放置在加热台上进行退火处理,退火温度150℃,时间10min,获得$FAPbI_3$钙钛矿薄膜层。

[0086] (5)将上述制备的样品采用刮涂印刷工艺印刷碳电极,最终得到钙钛矿太阳能电池。

[0087] 由图1可知,采用激光加工制备光陷阱阵列可以实现不同尺寸,不同光陷阱图案制备。本实施例1提供的是一种圆孔设计,本领域技术人员通过控制激光加工可以设计矩形、多边形或者其他图案。

[0088] 由图2可知,采用激光加工制备一种具有光陷阱阵列的钙钛矿电池,能够在激光刻蚀光陷阱阵列的同时利用激光产生的热量将金属In熔融并实现其对ITO导电玻璃的掺杂,在提高入射光在钙钛矿电池中的多次反射的同时提高ITO导电玻璃的电导率。

[0089] 由图3可知,相比于传统TCO导电基底,采用激光加工制备一种具有光陷阱阵列的TCO导电基底,其入射光可以经过多次反射,让钙钛矿吸收层能够充分吸收入射光,提高钙钛矿电池的光电流密度。

[0090] 由图4-10可知,相比于传统TCO导电基底,采用激光加工制备一种具有光陷阱阵列的TCO导电基底或PEN/ITO导电基底,并制备钙钛矿太阳能电池,能够显著提高钙钛矿太阳能电池的光电转换效率。本实施例1-7中光电转换效率最高的是23.34%。

[0091] 由图4-7可知,钙钛矿薄膜太阳能电池的不同结构对光电转换效率影响不大。

[0092] 由图4-10可知,实施例1-6与实施例7相比可知,实施例7的光电转换效率最低,电极对钙钛矿太阳能电池有一定的影响。

[0093] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

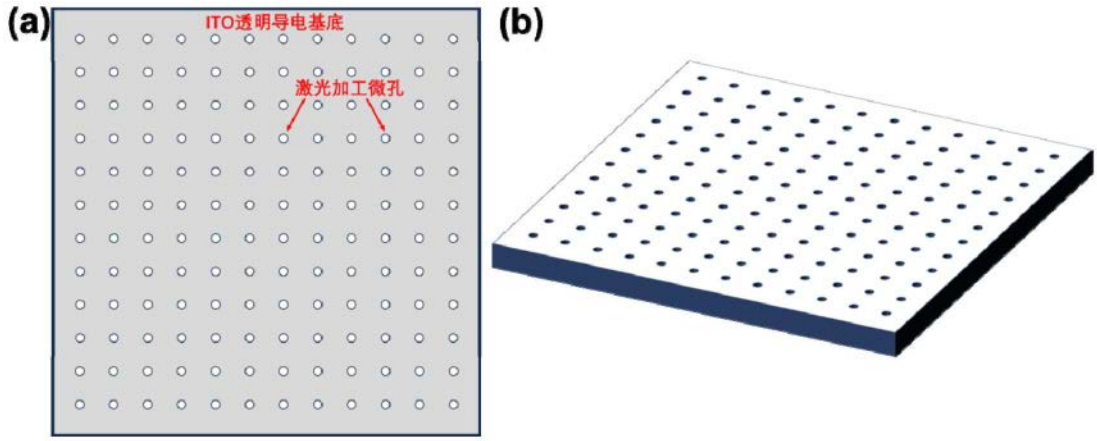

(a)
ITO透明导电基底
激光加工微孔
(b)

图1

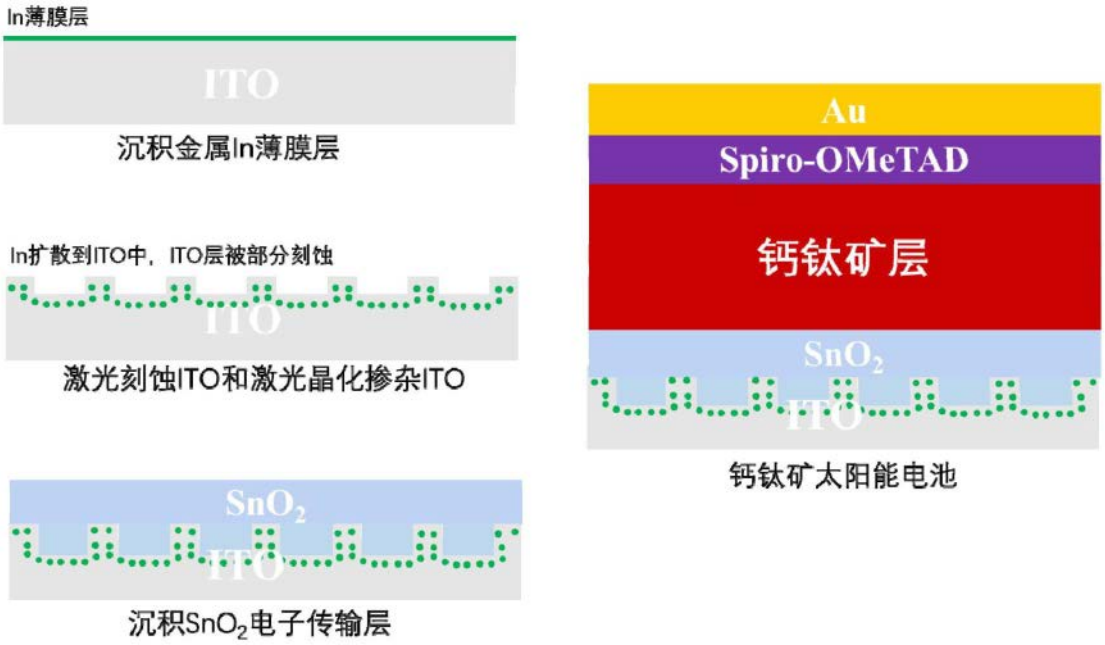

In薄膜层
ITO
沉积金属In薄膜层
In扩散到ITO中，ITO层被部分刻蚀
ITO
激光刻蚀ITO和激光晶化掺杂ITO
SnO2
ITO
沉积SnO2电子传输层
Au
Spiro-OMeTAD
钙钛矿层
SnO2
ITO
钙钛矿太阳能电池

图2

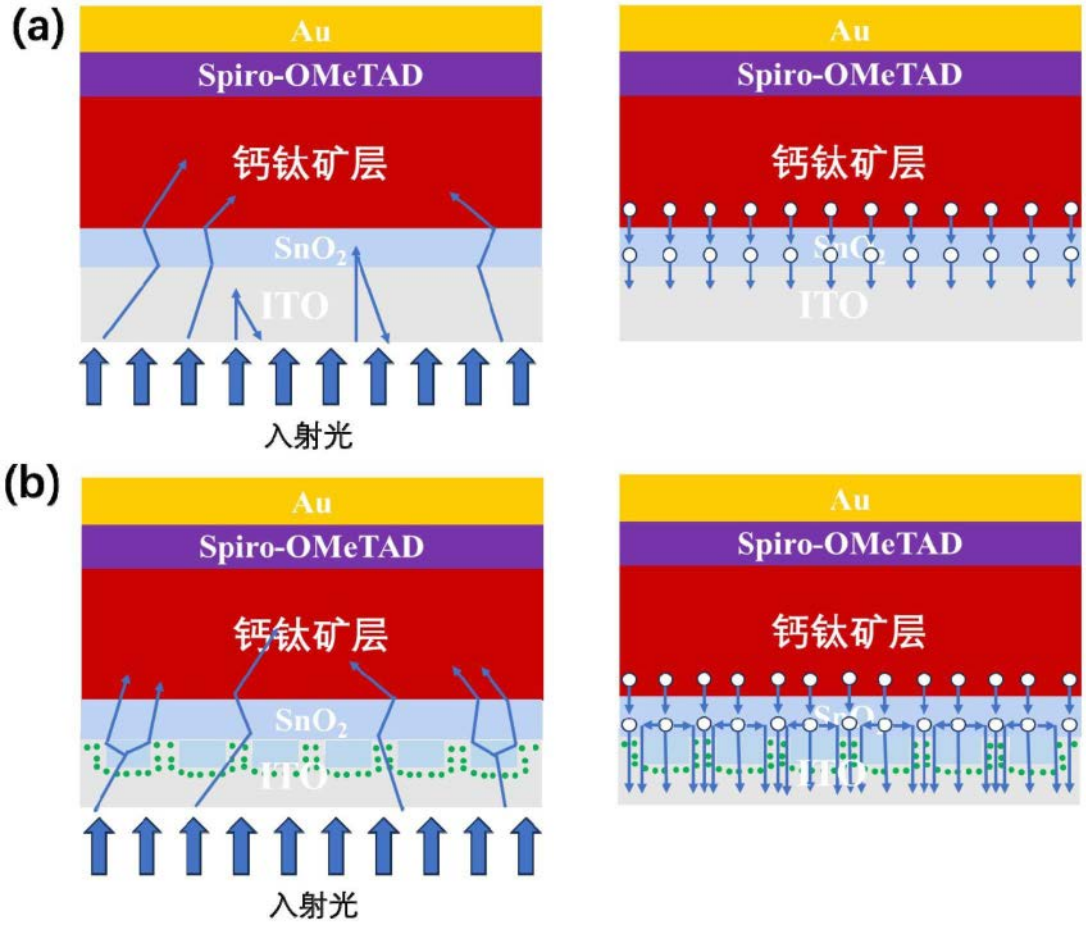

(a)
Au
Spiro-OMeTAD
钙钛矿层
SnO2
ITO
入射光
Au
Spiro-OMeTAD
钙钛矿层
ITO
(b)
Au
Spiro-OMeTAD
钙钛矿层
SnO2
ITO
入射光
Au
Spiro-OMeTAD
钙钛矿层

图3

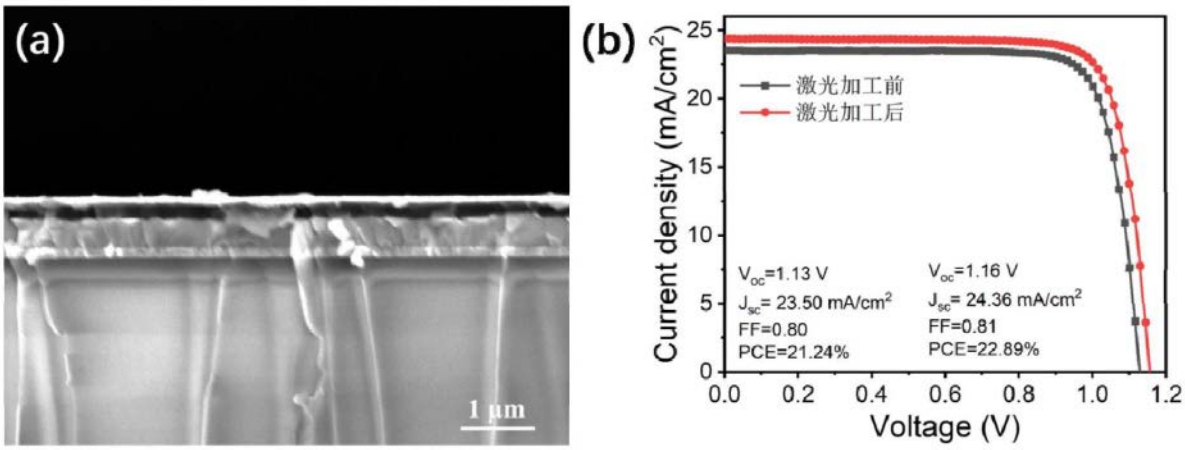

(a)
1 μm
(b)
激光加工前
激光加工后
Current density (mA/cm2)
Voltage (V)
Voc=1.13 V
Jsc= 23.50 mA/cm2
FF=0.80
PCE=21.24%
Voc=1.16 V
Jsc= 24.36 mA/cm2
FF=0.81
PCE=22.89%

图4

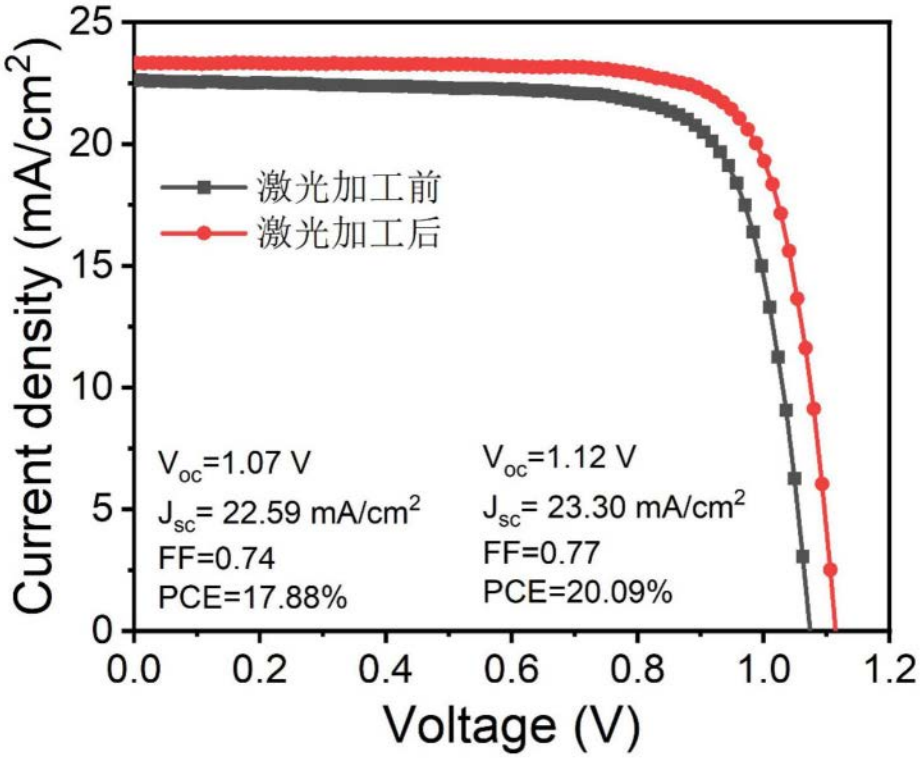

Current density (mA/cm²)
Voltage (V)
激光加工前
激光加工后
Voc=1.07 V
Jsc= 22.59 mA/cm²
FF=0.74
PCE=17.88%
Voc=1.12 V
Jsc= 23.30 mA/cm²
FF=0.77
PCE=20.09%

图5

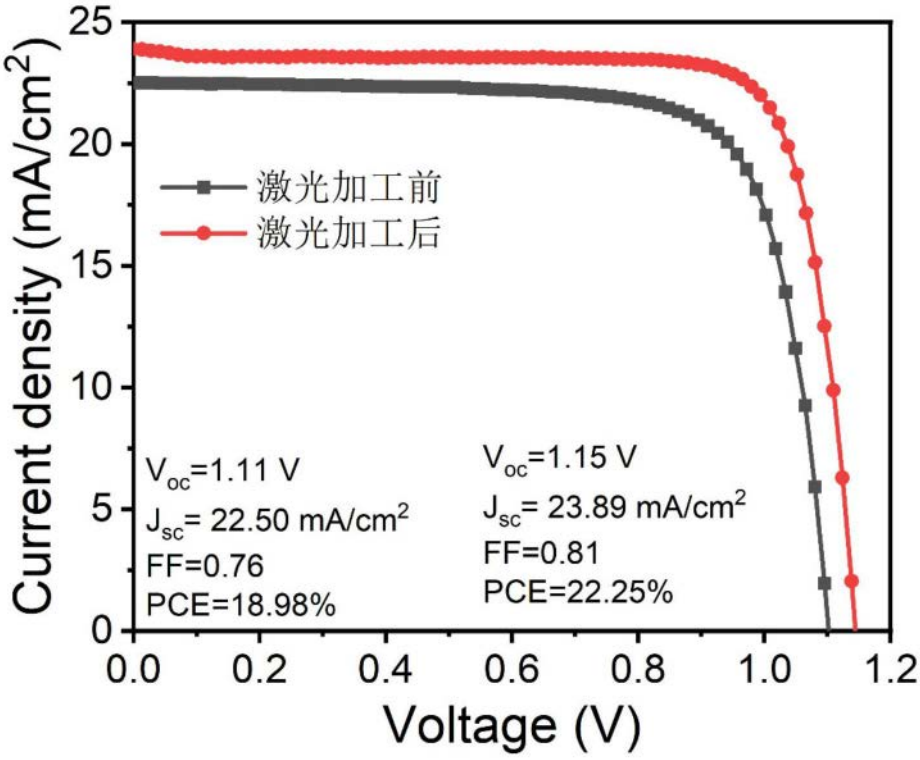

Current density (mA/cm²)
Voltage (V)
激光加工前
激光加工后
Voc=1.11 V
Jsc= 22.50 mA/cm²
FF=0.76
PCE=18.98%
Voc=1.15 V
Jsc= 23.89 mA/cm²
FF=0.81
PCE=22.25%

图6

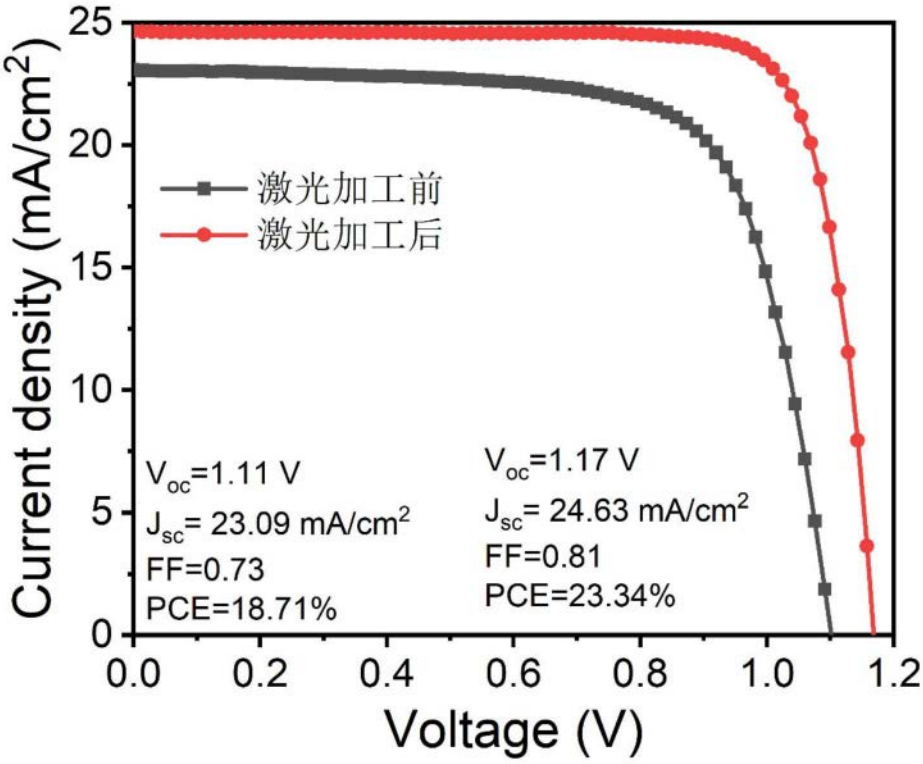

Current density (mA/cm^2)
Voltage (V)
激光加工前
激光加工后
V_{oc}=1.11 V
J_{sc}= 23.09 mA/cm^2
FF=0.73
PCE=18.71%
V_{oc}=1.17 V
J_{sc}= 24.63 mA/cm^2
FF=0.81
PCE=23.34%

图7

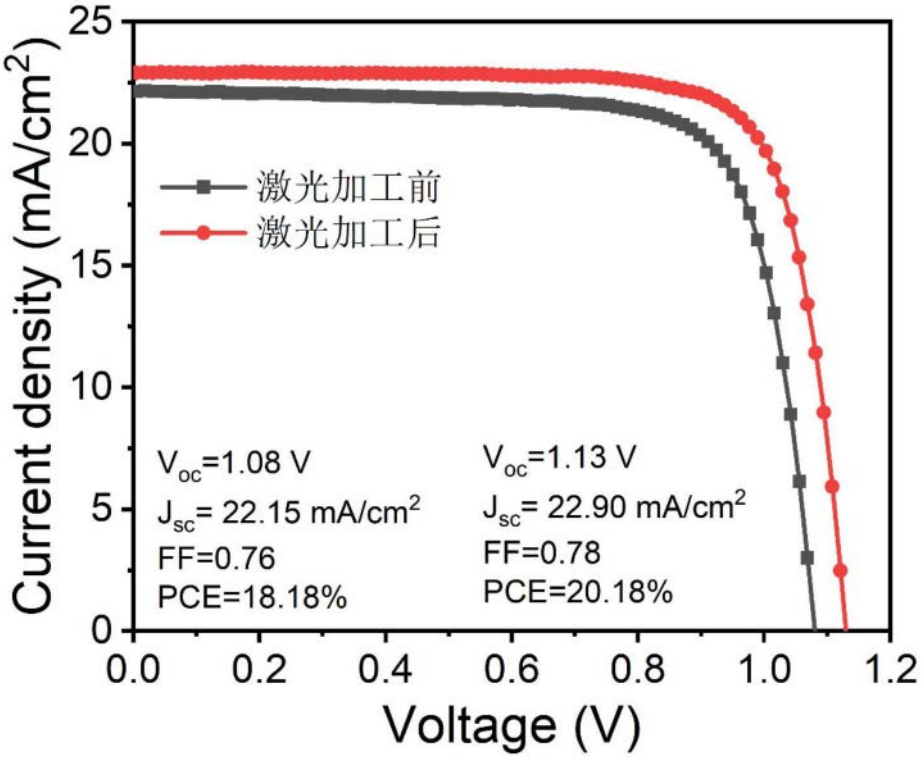

Current density (mA/cm^2)
Voltage (V)
激光加工前
激光加工后
V_{oc}=1.08 V
J_{sc}= 22.15 mA/cm^2
FF=0.76
PCE=18.18%
V_{oc}=1.13 V
J_{sc}= 22.90 mA/cm^2
FF=0.78
PCE=20.18%

图8

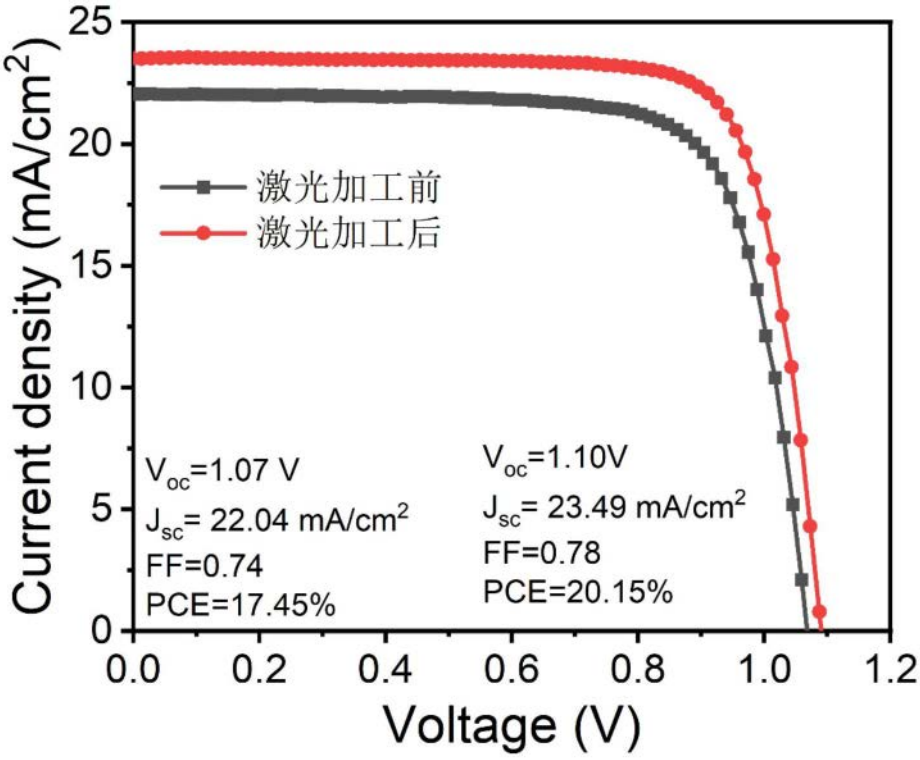

Current density (mA/cm^2)
Voltage (V)
激光加工前
激光加工后
V_{oc}=1.07 V
J_{sc}= 22.04 mA/cm^2
FF=0.74
PCE=17.45%
V_{oc}=1.10V
J_{sc}= 23.49 mA/cm^2
FF=0.78
PCE=20.15%

图9

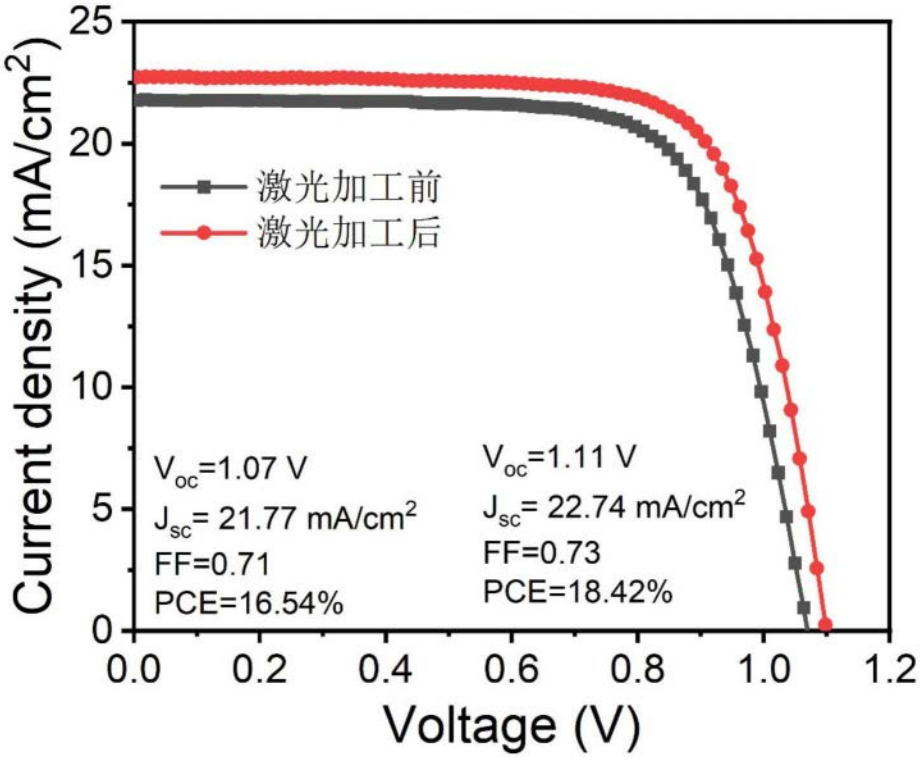

Current density (mA/cm^2)
Voltage (V)
激光加工前
激光加工后
V_{oc}=1.07 V
J_{sc}= 21.77 mA/cm^2
FF=0.71
PCE=16.54%
V_{oc}=1.11 V
J_{sc}= 22.74 mA/cm^2
FF=0.73
PCE=18.42%

图10