

文章编号:1673-9981(2021)01-0041-07

# CsPbIBr<sub>2</sub> 钙钛矿太阳能电池的制备及光电性能研究

杨 哲, 钱艳楠, 张海燕

广东工业大学 材料与能源学院, 广东 广州 510006



**摘 要:**通过改变二氧化钛浆料和无水乙醇的质量比( $m_{18\text{NRT}} : m_{\text{EtH}} = 1 : 4, 1 : 8, 1 : 10, 1 : 12$ ), 并调节钙钛矿薄膜的退火温度(160, 190, 220 °C)探究钙钛矿太阳能电池最优制备条件. 结果显示, 当质量比为 1 : 10 且钙钛矿薄膜退火温度为 190 °C 时, 薄膜晶粒大且致密, 缺陷密度低, 最终电池效率为 5.43%, 短路电流密度( $J_{\text{sc}}$ )为 10.05 mA/cm<sup>2</sup>, 开路电压( $V_{\text{oc}}$ )为 1.14 V, 填充因子(FF)为 45.29 %.

**关键词:**全无机钙钛矿太阳能电池; 介孔层二氧化钛; 退火温度

中图分类号: TM914.4

文献标识码: A

**引文格式:** 杨哲, 钱艳楠, 张海燕. CsPbIBr<sub>2</sub> 钙钛矿太阳能电池的制备及光电性能研究[J]. 材料研究与应用, 2021, 15(1): 41-46.

YANG Zhe, QIAN Yannan, ZHANG Haiyan. Study on preparation and photoelectric properties of CsPbIBr<sub>2</sub> perovskite solar cells[J]. Materials Research and Application, 2021, 15(1): 41-46.

有机-无机杂化卤化铅钙钛矿由于其优异的光吸收性能、载流子迁移率和使用寿命, 已成为一类极具应用前景的光电材料, 光电转化效率(PCE)从 3.8 %快速提高到 25.5 %<sup>[1]</sup>. 然而, 由于有机阳离子(MA<sup>+</sup>, FA<sup>+</sup>等)的挥发性, 杂化钙钛矿的热、光、湿稳定性较差, 严重阻碍了钙钛矿太阳能电池的商业进展<sup>[3]</sup>. 目前看来, 用无机元素铯(Cs)取代有机成分来解决湿、热不稳定是最好的选择.

最近, 全无机铯卤化铅钙钛矿(CsPbX<sub>3</sub>, X = Cl, Br, I)(PSCs)由于合适的带隙, 优良的载流子输运性质和超过 400 °C 的热稳定性而备受关注<sup>[4]</sup>. 其中 CsPbBr<sub>3</sub> 作为 PSCs 中首次被报道的无机吸光层, 已得到充分的研究, 并被证明具有优异的热稳定性、光稳定性(包括紫外线照射)和防潮性<sup>[5]</sup>. 目前, 已报道的基于 CsPbBr<sub>3</sub> 的 PSCs 最高 PCE 已接近 10%, 然而它 2.3 eV 的宽带隙极大地限制了光吸收

性能, 只能吸收 540 nm 的光, 影响了光伏性能的进一步提高<sup>[6]</sup>. 相比之下, 另一种全无机钙钛矿 CsPbI<sub>3</sub> 具有合适的 1.73 eV 带隙, 可吸收 710 nm 的光, 但是 CsPbI<sub>3</sub> 的光活性  $\alpha$  相(黑色相)在室温或者微量水分的影响下易转变为非钙钛矿  $\beta$  相(黄色相)的不稳定问题对 PSCs 的应用依然是一个障碍<sup>[7]</sup>. 虽然有一系列的策略如掺杂<sup>[8]</sup>、表面钝化<sup>[9]</sup>被提出用来稳定  $\alpha$  相的 CsPbI<sub>3</sub>, 但其固有的低相稳定性和低容忍因子为今后的应用带来了困难. 在平衡过带隙和稳定性之后, CsPbIBr<sub>2</sub> 似乎成了最佳选择. 然而 CsPbIBr<sub>2</sub> PSCs 通常表现出相对较低的开路电压( $V_{\text{oc}} < 1.2$  V)和低短路电流密度( $J_{\text{sc}} < 12$  mA/cm<sup>2</sup>), 导致 PCE 通常不超过 10%. 造成  $V_{\text{oc}}$  和  $J_{\text{sc}}$  偏低的原因是器件中还存在相当高密度的缺陷和不匹配的能级, 这也造成了钙钛矿薄膜内部和界面的非辐射复合损失. 已报道的 CsPbIBr<sub>2</sub> PSCs

收稿日期: 2021-01-22

作者简介: 杨哲(1995-), 男, 河南漯河人, 硕士研究生, 研究方向: 钙钛矿太阳能电池, E-mail: 137003078@qq.com

通讯作者: 钱艳楠(1982-), 女, 广东广州人, 副教授, 研究方向: 上转换材料, 钙钛矿材料, E-mail: qianyannanhit@126.com

的效率与理论效率相比还差很多,所以  $\text{CsPbIBr}_2$  PSCs 仍然具有非常大的提升空间<sup>[10]</sup>.

通过引入介孔二氧化钛层并改变钙钛矿层的退火温度,来获得致密无孔的高质量钙钛矿薄膜. 探究了使用不同二氧化钛浆料(18-NRRT)和无水乙醇(Eth)质量比的介孔层二氧化钛( $m\text{-TiO}_2$ )对钙钛矿薄膜的影响,并组装成电池测试器件的效率. 探究了不同退火温度下的钙钛矿薄膜的形貌特征,并组装成电池测试了器件的效率. 最终发现,当介孔层二氧化钛( $m\text{-TiO}_2$ )的质量比( $m_{18\text{NRRT}} : m_{\text{Eth}}$ )为 1 : 10,且钙钛矿薄膜退火温度为 190 °C 时,所制备的钙钛矿薄膜晶粒尺寸大、缺陷密度低. 此时最优光电转化效率(PCE)为 5.43%,短路电流( $J_{\text{sc}}$ )为 10.23 mA/cm<sup>2</sup>,开路电压( $V_{\text{oc}}$ )为 1.15 V,填充因子(FF)为 46.15 %.

## 1 实验部分

### 1.1 主要药品与试剂

FTO 玻璃片,丙酮( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ),异丙醇( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ ),无水乙醇(Eth)( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ),二氧化钛浆料(18-NRT),氢铅碘( $\text{HPbI}_3$ ),溴化铯( $\text{CsBr}$ ),溴化铅( $\text{PbBr}_2$ ),二甲基亚砜(DMSO)( $\text{C}_2\text{H}_6\text{OS}$ ),碳浆料.

### 1.2 钙钛矿太阳能电池的制备

采用一步旋涂法组装钙钛矿太阳能电池,将购买的 FTO 玻璃分别用无水乙醇、丙酮和异丙醇清洗,并在使用前用紫外臭氧机处理 15 min. 将二氧化钛( $c\text{-TiO}_2$ )以 4 000 r/min 旋涂 20 s 制备一层致密层,然后在空气环境下 500 °C 退火 60 min<sup>[11]</sup>. 将二氧化钛浆料和无水乙醇混合溶液按质量比( $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$ )为 1 : 4, 1 : 8, 1 : 10, 1 : 12, 以 4000 r/min 旋涂 30 s 旋涂于  $c\text{-TiO}_2$  上,然后在空气环境下 450 °C 退火 30 min,获得二氧化钛介孔层. 取适当摩尔比的  $\text{HPbI}_3$ ,  $\text{CsBr}$  及  $\text{PbBr}_2$  充分溶解于 DMSO 中,配成  $\text{CsPbIBr}_2$  前驱体旋涂液. 在  $m\text{-TiO}_2$  衬底上滴加适量的旋涂液,先以 1500 r/min 旋涂 20 s,再 4000 r/min 旋涂 50 s,之后放在一定温度(160, 190, 220 °C)的热台上退火一定时间,以去除残余溶剂. 最后用丝网印刷在钙钛矿层上方刮涂一定厚度的碳浆料,在 120 °C 烘干 15 min.

### 1.3 钙钛矿太阳能电池结构

图 1 为一步旋涂法组装的全无机钙钛矿太阳能电池的结构示意图及测试的 SEM 图. 从图 1 可见,电池一共分为五层,从下到上分别为 FTO 导电玻璃、致密二氧化钛层( $c\text{-TiO}_2$ )、介孔二氧化钛层( $m\text{-TiO}_2$ )及  $\text{CsPbIBr}_2$  钙钛矿层、碳层,其中  $c\text{-TiO}_2$  作为电子传输层传输电子, $m\text{-TiO}_2$  作为支撑层支撑钙钛矿层, $\text{CsPbIBr}_2$  作为吸光层产生电子和空穴,碳层为对电极. 使用碳电极替代价格昂贵的空穴传输层和贵金属作为对电极,极大的节约了成本,同时由于碳的疏水性,可以隔绝空气中的水氧,进一步提高了电池的稳定性.

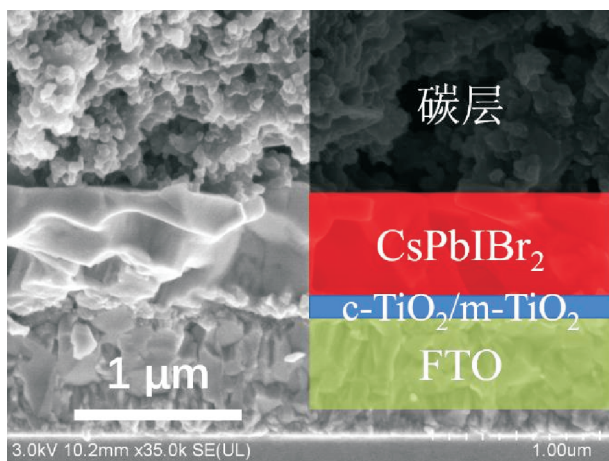


图 1 全无机钙钛矿太阳能电池 SEM 图及结构示意图

Fig. 1 Structure of all-inorganic perovskite solar cell

## 2 实验结果与分析

### 2.1 不同质量比( $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$ )二氧化钛介孔层对钙钛矿太阳能电池的影响

#### 2.1.1 $\text{CsPbIBr}_2$ 钙钛矿薄膜形貌表征

用扫描电子显微镜(SEM)观察了退火温度为 160 °C, 不同质量比( $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$ )  $m\text{-TiO}_2$  的  $\text{CsPbIBr}_2$  钙钛矿薄膜. 图 2 为不同质量比( $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$ )  $m\text{-TiO}_2$  的钙钛矿薄膜 SEM 图. 从图 2(a)可以看出,当无  $m\text{-TiO}_2$  时,钙钛矿薄膜表面针孔多,这些针孔的存在会导致电子传输层和碳层的接触,而引起电子和空穴直接复合,进而大幅降低器件的效率<sup>[12]</sup>. 从图 2(b)~图 2(f)可以看出:随着  $m_{18\text{-NRT}} :$

$m_{\text{Eth}}$  比例的减小,钙钛矿薄膜的针孔数量先减少后增加;当  $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$  为 1 : 10 时(见图 2(d)),钙钛矿薄膜晶粒致密且几乎无针孔;从图 2(e)高倍放大图看,晶粒尺寸均在微米级别,这种高质量的钙钛矿

薄膜对高性能器件来说是必不可少的;图 2(f)是使用  $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$  为 1 : 12 的  $m\text{-TiO}_2$  的钙钛矿薄膜,从图中可以看出薄膜针孔较多,这将降低器件的整体性能。

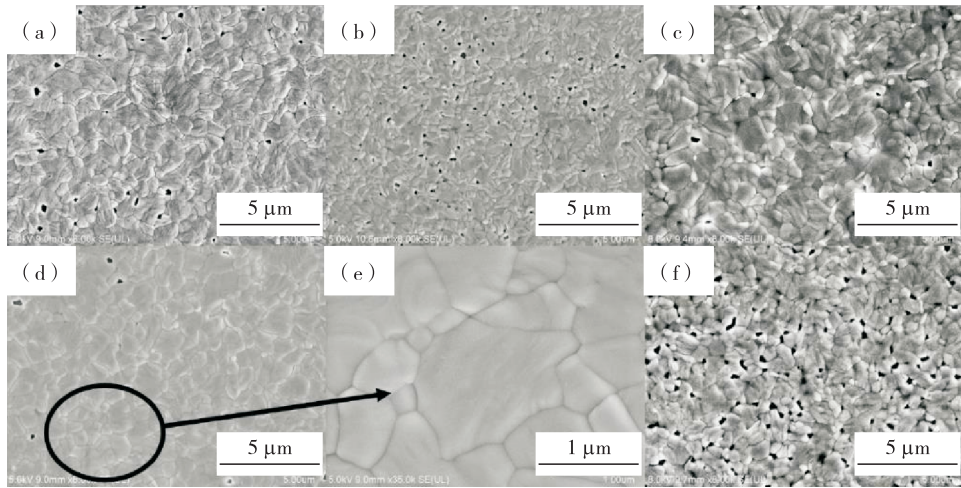


图 2 不同质量比( $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$ )的  $m\text{-TiO}_2$  钙钛矿薄膜 SEM 图

(a)无  $m\text{-TiO}_2$ ; (b)1 : 4; (c)1 : 8; (d)(e)1 : 10; (f)1 : 12

Fig. 2 SEM images of  $m\text{-TiO}_2$  perovskite films with different mass ratios ( $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$ )

(a)no mesoporous layer; (b)1 : 4; (c)1 : 8; (d)(e)1 : 10; (f)1 : 12

### 2.1.2 钙钛矿薄膜物相结构表征

用 X-射线衍射仪(XRD)对 CsPbIBr<sub>2</sub> 钙钛矿薄膜进行物相结构表征. 图 3 是使用无  $m\text{-TiO}_2$  和  $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$  为 1 : 10 的  $m\text{-TiO}_2$  的钙钛矿薄膜 XRD 图. 从图 3 可以观察到:主要衍射峰的位置是 14.82, 21.06, 29.92, 33.64 和 36.86°, 分别对应 (100), (110), (200), (210) 和 (211) 晶面, 这与已报道的文献[13-14]一致, 且在 XRD 图谱中并未发现其他杂质峰, 说明所制备的薄膜为钙钛矿纯相; 同时, 观察到使用  $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$  为 1 : 10 的  $m\text{-TiO}_2$  的钙钛矿薄膜的特征峰强度要高于无  $m\text{-TiO}_2$  的, 说明适当引入介孔层有助于钙钛矿的结晶, 这与 SEM 图也有较好的吻合。

### 2.1.3 钙钛矿太阳能电池性能的表征

用太阳光模拟器测试 CsPbIBr<sub>2</sub> 钙钛矿太阳能电池的效率. 图 4 是使用不同质量比 ( $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$ ) 的  $m\text{-TiO}_2$  的电池的  $J\text{-}V$  曲线, 表 1 是对应电池的性能参数. 从图 4 中可以看出, 随着  $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$  比例的下降, 电池效率先上升后下降, 当  $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$  为 1 : 10 时, 电池有最优效率为

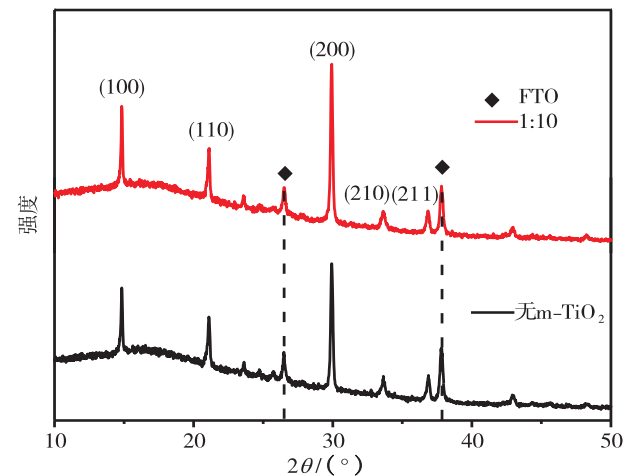


图 3 无  $m\text{-TiO}_2$  和  $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$  为 1 : 10 的  $m\text{-TiO}_2$  的钙钛矿薄膜 XRD 图

Fig. 3 XRD patterns of perovskite films without  $m\text{-TiO}_2$  and mass ratio ( $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$ ) 1 : 10  $m\text{-TiO}_2$

5.19%, 此时  $J_{\text{sc}}$  为 10.05 mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{\text{oc}}$  为 1.14 V, FF 为 45.29% (表 1); 在无  $m\text{-TiO}_2$  和  $m_{18\text{-NRT}} : m_{\text{Eth}}$  为 1 : 4 的电池中,  $J\text{-}V$  曲线出现了明显的“S”型, 这可能是由于电池中界面电荷的运输受到限制,

随着  $m_{18-NRT} : m_{Eth}$  比例的减小,这种情况得到明显的改善;当  $m_{18-NRT} : m_{Eth}$  的比例减小到 1 : 12 时,电池效率出现了明显的下降,这是因为钙钛矿层中的电子和空穴直接复合,漏电电流增大,这与图 2(f)观察到的结果一致.

2.2 不同退火温度对钙钛矿电池的影响

2.2.1 钙钛矿薄膜形貌表征

图 5 为使用  $m_{18-NRT} : m_{Eth}$  为 1 : 10 的  $m-TiO_2$ , 不同退火温度下 CsPbIBr<sub>2</sub> 钙钛矿薄膜的 SEM 图. 从图 5 可以看出,当钙钛矿薄膜退火温度从 160 ℃ 提升至 190 ℃ 时,钙钛矿晶粒变得致密无孔且大小更加均匀,进一步提升退火温度至 220 ℃ 时,钙钛矿表面针孔增多,这可能是因为温度过高导致的. 同时这些针孔也将会导致效率下降.

表 1 不同质量比 ( $m_{18-NRT} : m_{Eth}$ ) 的  $m-TiO_2$  的 CsPbIBr<sub>2</sub> 钙钛矿电池参数  
Table 1 Different mass ratios ( $m_{18-NRT} : m_{Eth}$ ) of  $m-TiO_2$  CsPbIBr<sub>2</sub> perovskite cell efficiency parameter

$m_{18-NRT} : m_{Eth}$	效率 PCE/%	短路电 $J_{sc}/(mA \cdot cm^{-2})$	开路电压 $V_{oc}/V$	填充因子 FF/%
无介孔层	0.60	3.80	0.86	18.35
1 : 4	2.81	6.53	1.11	38.76
1 : 8	4.60	9.32	1.05	47.01
1 : 10	5.19	10.05	1.14	45.29
1 : 12	3.15	7.02	1.11	40.42

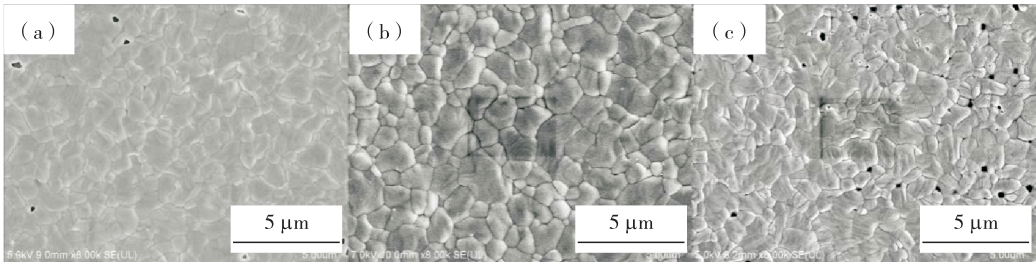


图 5 不同退火温度钙钛矿薄膜表面 SEM 图  
(a)160 ℃;(b)190 ℃;(c)220 ℃

Fig. 5 SEM images of the surface of the perovskite film at different annealing temperatures

2.2.2 钙钛矿薄膜物相结构分析

图 6 为不同退火温度下 CsPbIBr<sub>2</sub> 钙钛矿薄膜 XRD 图. 从图 6 可见,薄膜为钙钛矿纯相,当温度为 190 ℃ 时 (200) 晶面的衍射强度明显高于 160 ℃ 和 220 ℃,这说明钙钛矿薄膜在 190 ℃ 时结晶度更好,晶界散射和晶内缺陷减少,这与 SEM 的观察结果相同.

2.2.3 钙钛矿太阳能电池性能的表征

图 7 为不同退火温度下 CsPbIBr<sub>2</sub> 钙钛矿电池

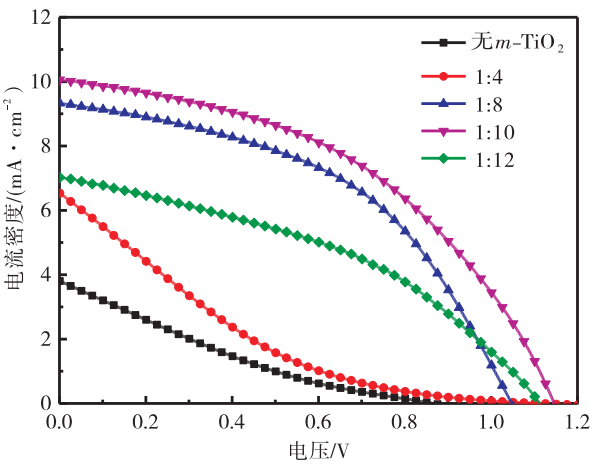


图 4 不同质量比 ( $m_{18-NRT} : m_{Eth}$ ) 的  $m-TiO_2$  的 CsPbIBr<sub>2</sub> 钙钛矿电池的  $J-V$  曲线

Fig. 4  $J-V$  curves of CsPbIBr<sub>2</sub> perovskite cells with different mass ratios ( $m_{18-NRT} : m_{Eth}$ ) of  $m-TiO_2$

$J-V$  曲线图,表 2 为不同退火温度的钙钛矿电池效率参数及电化学阻抗拟合结果. 从图 7 可以看出,当退火温度从 160 ℃ 升高至 190 ℃ 时效率从 5.19 % 提升到 5.43 % (表 2),短路电流明显增大. 这可能是因为升温促进了钙钛矿晶体的生长,减少了钙钛矿薄膜的非辐射复合. 当继续升高退火温度时,效率开始下降. 这与 XRD 和 SEM 的分析结果一致.



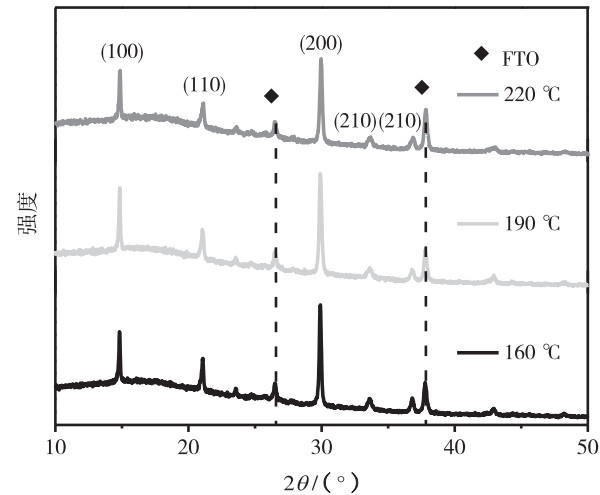


图 6 不同退火温度钙钛矿薄膜 XRD 图

Fig. 6 XRD patterns of perovskite films at different annealing temperatures

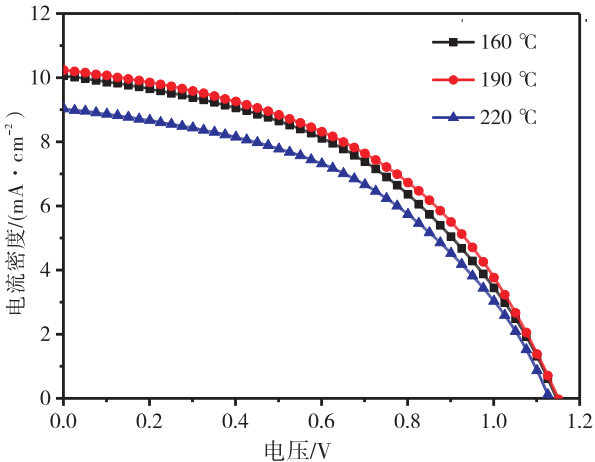


图 7 不同退火温度下电池效率图

Fig. 7 Cell efficiency diagram at different annealing temperatures

表 2 不同退火温度的钙钛矿电池效率参数及电化学阻抗拟合结果

Table 2 The efficiency parameters and electrochemical impedance fitting results of perovskite cells at different annealing temperatures							
温度/℃	效率 PCE/%	短路电流 $J_{sc}/(\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2})$	开路电压 $V_{oc}/\text{V}$	填充因子 FF/%	$R_s$	$R_{rec}$	
160	5.19	10.05	1.14	45.29	31.75	272.7	
190	5.43	10.23	1.15	46.15	27.7	1083	
220	4.69	9.02	1.13	46.01	28.97	665.1	

2.2.4 钙钛矿太阳能电池电化学阻抗表征

图 8 为 CsPbIBr<sub>2</sub> 钙钛矿电池的奈奎斯特 (Nyquist) 图,是由电池电化学阻抗图经过拟合简化等效电路(图 8 中插图)模型得到的,拟合结果列于表 2,其中  $R_s$  为电池的串联电阻,  $R_{rec}$  为钙钛矿层中电子与空穴的复合电阻, CPE 为电池中的化学电容. 高效太阳能电池的  $R_s$  通常较小,且通过比较  $R_{rec}$  的大小能说明电池中的电荷复合情况,  $R_{rec}$  的值越大,意味着钙钛矿层中的电荷复合情况越少<sup>[15]</sup>. 由表 2 可知,当钙钛矿薄膜退火温度为 190 °C 时的  $R_{rec}$  远大于 160 °C,这说明升高退火温度,电池电子和空穴的复合被明显抑制,同时这也是开路电压增长的原因,这与 XRD 和 SEM 的分析结果是一致的. 当继续升高退火温度至 220 °C,  $R_{rec}$  出现了明显的下降,这是因为升温导致钙钛矿薄膜表面出现了较多的针孔,这些针孔会作为复合中心增大非辐射复合.

3 结 论

引入介孔层二氧化钛并提高钙钛矿钙钛矿薄膜

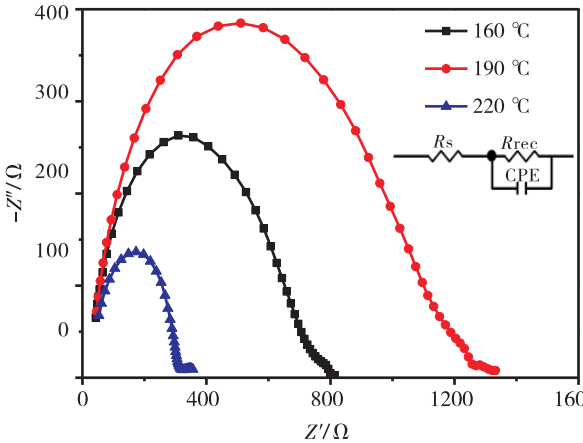


图 8 不同退火温度电池在 1 V 偏压黑暗条件下的奈奎斯特图

Fig. 8 Nyquist plots of cells with different annealing temperatures under 1 V bias and darkness conditions

的退火温度可提高电池的 PCE. 改变介孔层浆料和无水乙醇的质量比,结果显示当  $m_{18-NRT} : m_{EtH}$  为 1 : 10 时,有最佳 PCE 为 5.19 %,  $J_{sc}$  为 10.05 mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{oc}$  为 1.14 V, FF 为 45.29 %. 钙钛矿薄膜的退火温度为 190 °C 时,所得的致密无孔钙钛矿

层可进一步提高 PCE 至 5.43 %,此时  $J_{sc}$  为 10.23 mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{oc}$  为 1.15 V, FF 为 46.15 %.

## 参考文献:

- [1] AKIHIRO K, KENJIRO T, YASUO S, et al. Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells [J]. Journal of the American Chemical Society, 2009, 131(17): 6050-6051.
- [2] LIANG J, LIU Z, QIU L, et al. Enhancing optical, electronic, crystalline, and morphological properties of cesium lead halide by mn substitution for high-stability all-inorganic perovskite solar cells with carbon electrodes [J]. Advanced Energy Materials, 2018, 8 (20): 1800504.
- [3] ZHANG W, XIONG J, LI J, et al. Organic dye passivation for high-performance all-inorganic CsPbI<sub>1.5</sub>Br<sub>1.5</sub> perovskite solar cells with efficiency over 14% [J]. Advanced Energy Materials, 2021, 11(5): 2003585.
- [4] STOUMPOS C C, MALLIAKAS C D, PETERS J A, et al. Crystal growth of the perovskite semiconductor CsPbBr<sub>3</sub>: A new material for high-energy radiation detection [J]. Crystal Growth & Design, 2013, 13(7): 2722-2727.
- [5] DUAN J, ZHAO Y, HE B, et al. High-purity inorganic perovskite films for solar cells with 9.72 % efficiency [J]. Angewandte Chemie, 2018, 130: 3849-3853.
- [6] CHEN W, CHEN H, XU G, et al. Precise control of

crystal growth for highly efficient csPbI<sub>2</sub>Br perovskite solar cells [J]. Joule, 2019, 3(1): 304.

- [7] HU Y, BAI F, LIU X, et al. Bismuth incorporation stabilized  $\alpha$ -CsPbI<sub>3</sub> for fully inorganic perovskite solar cells [J]. ACS Energy Letters, 2017, 2 (10): 2219-2227.
- [8] WANG Y, ZHANG T, KAN M, et al. Efficient  $\alpha$ -CsPbI<sub>3</sub> photovoltaics with surface terminated organic cations [J]. Joule, 2018, 2(10): 2065-2075.
- [9] ZHANG Q, ZHU W, CHEN D, et al. Light processing enables efficient carbon-based, all-inorganic planar CsPbIBr<sub>2</sub> solar cells with high photovoltages [J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2019(11): 2997-3005.
- [10] 夏伟. CsMX<sub>3</sub> 无机钙钛矿薄膜的制备及光电性能研究 [D]. 合肥:合肥工业大学, 2017.
- [11] 何正言, 白帆, 毛彩霞, 等. 甲苯作为绿色反溶剂制备钙钛矿太阳能电池 [J]. 鲁东大学学报: 自然科学版, 2021, 37(1): 27-33.
- [12] ZHU W, ZHANG Q, CHEN D, et al. Intermolecular exchange boosts efficiency of air-stable, carbon-based all-inorganic planar CsPbIBr<sub>2</sub> perovskite solar cells to over 9% [J]. Advanced Energy Materials, 2018, 30 (8): 1802080.
- [13] LIN J, LAI M, DOU L, et al. Thermochromic halide perovskite solar cells [J]. Nature Materials, 2018, 17: 261-267.
- [14] 张倩妮. 全无机 CsPbIBr<sub>2</sub> 钙钛矿平面异质结太阳电池研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2019.

## Study on preparation and photoelectric properties of CsPbIBr<sub>2</sub> perovskite solar cells

YANG Zhe, QIAN Yannan, ZHANG Haiyan

School of Materials and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China

**Abstract:** The optimal preparation conditions of perovskite solar cells were explored by changing the mass ratio of 18-NRT slurry to anhydrous ethanol (1 : 4, 1 : 8, 1 : 10 and 1 : 12) and adjusting the annealing temperature of the perovskite film (160 °C, 190 °C and 220 °C). The results show that when the mass ratio of 18-NRT slurry to anhydrous ethanol is 1 : 10, and the annealing temperature of perovskite film is 190 °C, the efficiency of CsPbIBr<sub>2</sub> is 5.43%, the short-circuit current density ( $J_{sc}$ ) is 10.05 mA/cm<sup>2</sup>, the open-circuit voltage ( $V_{oc}$ ) is 1.14 V, and the filling factor (FF) is 45.29 %. This is because the grains size of the CsPbIBr<sub>2</sub> film is large and dense, and the defect density is low.

**Key words:** All-inorganic perovskite solar cell; mesoporous layer titanium dioxide; annealing temperature