

反溶剂对钙钛矿薄膜与电池性能的影响

贾祥瑞¹,白帆²,毛彩霞³,张树芳^{1,2}

(1. 鲁东大学 物理与光电工程学院,山东 烟台 264039;2. 南京理工大学 材料科学与工程学院,南京 210094;
3. 湖北科技学院 电子与信息工程学院,湖北 咸宁 437100)

摘要:钙钛矿太阳能电池效率在近十年来增长迅速,表现出了十分可观的应用潜力。而作为这类太阳能电池中至关重要的组成部分,钙钛矿薄膜对改善电池性能起着关键性的作用。利用传统一步溶液法制备的钙钛矿薄膜容易出现晶粒尺寸较小、覆盖度较差的问题,导致电池效率低、稳定性差,从而不利于其商业化发展。若要显著地提高薄膜的质量,可以在一步溶液法制备的过程中引入反溶剂。本文在大气环境下使用疏水性的溶剂(甲苯、氯苯、乙酸乙酯)作为反溶剂来研究不同反溶剂对钙钛矿薄膜以及电池性能的影响。

关键词:钙钛矿薄膜;反溶剂;一步沉积法;光电性能;稳定性

中图分类号:TM914.4⁺2 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-8020(2020)04-0321-06

在过去的十年间,一种新型太阳能电池——铅卤钙钛矿太阳能电池,因其优异的性能进入人们的研究视野。最常使用的吸光材料是 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 不仅具有很强的光吸收能力,而且具有较低的激子束缚能(0.19 eV)、较高的载流子迁移率(电子 $7.5\text{ cm}^2\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 和空穴 $12\sim66\text{ cm}^2\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)、较长的载流子扩散距离(100 nm~1 μm)以及相对较低的制备成本,因此在太阳能电池领域引起了广泛关注^[1]。

钙钛矿薄膜对电池性能起着至关重要的作用,它的优劣直接影响电池的转换效率和稳定性。在制备钙钛矿吸光层薄膜时,最常使用的方法是溶液法,如一步溶液法以及两步顺序沉积法等^[2-4]。一步溶液法比两步顺序沉积法更简单、更方便,是钙钛矿薄膜沉积程序中应用最普遍,也是最具有前景的方法。然而,使用这种传统方法制备的钙钛矿薄膜极易产生枝晶和大面积的针孔,这种形貌特征会导致 TiO_2 基底覆盖不完全,并且会出现粒度不均匀的问题,这极其不利于太阳光的收集,而且在微观层面会加速复合载流子,导致太阳能电池的光电性能的下降和电池的不稳

定性。传统一步溶液法制备钙钛矿薄膜质量太低的主要原因是钙钛矿前驱体溶液中的溶剂N,N-二甲基甲酰胺(DMF)沸点(153 $^{\circ}\text{C}$)远高于退火温度(100 $^{\circ}\text{C}$),在退火过程中溶剂挥发过慢,缓慢的形核速率引起晶体的生长不均匀。Huang等^[5]在传统一步溶液法的基础上,使用反溶剂诱导溶剂快速挥发,从而加快形核和晶体生长过程,即在旋涂钙钛矿薄膜的过程中滴加氯苯。因为氯苯和二甲基甲酰胺(DMF)具有良好的互溶性,但氯苯并不会溶解钙钛矿薄膜,因此在旋涂过程中氯苯可以萃取薄膜中的DMF并因为旋涂过程中的离心力而离开钙钛矿薄膜,从而使得薄膜快速形核。使用这种方法可以在1 min内制备出薄膜,并且钙钛矿薄膜的致密度高,粒径分布非常均匀,形貌无针孔。然而,由于钙钛矿薄膜的不稳定性,通常需要在充满氮气的手套箱中制备,增加了制备工艺的复杂性和成本,如果实现了在大气环境下制备高质量钙钛矿薄膜,将会极大促进钙钛矿太阳能电池的生产与规模化应用。

基于上述认识,为了改善薄膜的质量,本文通过在一步溶液法制备 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 薄膜时引入疏

收稿日期:2020-07-22;修回日期:2020-08-23
基金项目:山东省泰山学者青年专家计划项目(tsqn201812098);湖北科技学院校级科研项目(2020-21X26);咸宁市自然科学基金项目(XNKJ-28)
第一作者简介:贾祥瑞(1995—),男,山东泰安人,硕士研究生,研究方向为新型太阳能电池。E-mail:mrjxr@foxmail.com
通信作者简介:张树芳(1979—),女,内蒙古丰镇人,教授,硕士研究生导师,博士,研究方向为新能源材料及器件。E-mail:zhangshufang98@126.com

水性的反溶剂(甲苯、氯苯、乙酸乙酯)来调控 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 薄膜的结晶过程^[6],在大气环境下制备晶粒尺寸均匀且覆盖度高的钙钛矿薄膜,将样品制成完整的电池并且测试其光伏性能的参数。

1 实验

1.1 实验原料与试剂

本实验所采用的主要化学试剂和原材料如下:

分析纯规格的无水乙醇($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)、甲苯($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$)、乙酸乙酯($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$)、异丙醇($(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$)、NN-二甲基甲酰胺($\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}$)、二甲基亚砜($\text{C}_2\text{H}_6\text{OS}$)、松油醇($\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$)、丙酮(CH_3COCH_3)、99.8%规格的氯苯($\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$)、38%规格的盐酸(HCl)、化学纯规格的 Spiro-OMeTAD、99.9%规格的碘化铅(PbI_2)、碘化甲基铵($\text{CH}_3\text{NH}_2\text{I}$)、 $15\ \Omega\cdot\text{cm}^{-2}$ 规格的 FTO、75%规格的二异丙氧基双乙酰丙酮钛、96%规格的 4-TPB($\text{C}_9\text{H}_{13}\text{N}$)、99.95%规格的 LiTFSI($\text{C}_2\text{F}_6\text{LiNO}_4\text{S}_2$)。

1.2 钙钛矿薄膜的制备

先准备好实验所需的溶液和涂有电子传输层的基片,将加热板升温到 $110\ ^\circ\text{C}$ 。先将钙钛矿前驱体溶液吸入注射器,调整旋涂仪转速在 $1000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 参数下旋涂 10 s,转速为 $4000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 参数下旋涂 35 s。随后将基片放于旋涂仪上,并用注射器滴加 2~3 滴钙钛矿溶液进行旋涂。进行高速旋转时,在第 10 s 用移液枪吸取 $700\ \mu\text{L}$ 的反溶剂(氯苯、甲苯以及乙酸乙酯)在 10 s 内快速滴加,完成反溶剂的萃取过程。待旋涂结束后,将样品置于加热板上进行退火处理,退火时间为 20 min。退火结束后将样品收于盒中备用。

1.3 钙钛矿太阳能电池的制备

1) FTO 玻璃基片的清洗

依次用自来水、去离子水、乙醇清洗 FTO 玻璃各 15 min,用丙酮溶液干燥后,放置在 $\text{UV}-\text{O}_3$ 中处理 30 min。

2) 电子传输层的制备

采用旋涂制备的方式,将预先配置好的浓度为 $0.1\ \text{mol}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的 TiO_2 致密层用 $0.22\ \mu\text{m}$ 规

格的水系过滤头旋涂到上一步清洗过的 FTO 玻璃基体的表面,设置仪器参数如下: $1000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 转速旋转 10 s, $3500\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 转速旋转 35 s;随后将旋涂了第一层电子传输层的玻璃基片在 $100\ ^\circ\text{C}$ 温度下退火 10 min,待基片降至室温时,再按照以上的步骤继续旋涂第二层;第二层旋涂结束后,将基片先在 $100\ ^\circ\text{C}$ 温度下加热 10 min,再按照 $2\ \text{min}/25\ ^\circ\text{C}$ 的速度将温度缓缓升到 $500\ ^\circ\text{C}$,随后加热 2 h,结束后待冷却至室温,收入盒子备用。^[7]

3) 空穴传输层的制备

取 $0.167\ \text{g}$ Spiro-OMeTAD 溶解于 $1\ \text{ml}$ 氯苯中,然后向其加入作为添加剂的 $0.0298\ \text{g}$ 4-叔丁基吡啶(4-TPB)和 $0.0103\ \text{g}$ 三氟甲烷磺酰亚胺锂(LiTFSI),制备成 Spiro-OMeTAD 旋涂液,设置参数为 $5500\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 转速下旋转 30 s。

4) 金属电极的制备

在空穴传输层上面,通过掩膜版,真空蒸镀约 $100\ \text{nm}$ 的 Au 电极。

2 结果与讨论

2.1 反溶剂对钙钛矿薄膜表面形貌与结构的影响

在使用一步溶液法旋涂钙钛矿薄膜时,依次使用甲苯、氯苯和乙酸乙酯用作反溶剂,研究不同的反溶剂对 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 薄膜结晶过程的影响,其样品的电子显微镜(SEM)扫描图,如图1所示。SEM 结果表明:当未滴加反溶剂时,钙钛矿薄膜表面存在很多树枝晶,平整度很差。经过反溶剂萃取后的钙钛矿薄膜中晶粒尺寸均匀,覆盖率较好。使用甲苯和氯苯制备的钙钛矿薄膜的形貌比较接近,薄膜平整度相对较高,晶粒尺寸也明显较大,薄膜致密且不存在有如针孔等的缺陷^[8]。但是使用乙酸乙酯制备的钙钛矿薄膜缺陷较多,会导致空穴传输层与电子传输层发生导通,产生漏电电流,降低光电转化效率;而且薄膜表面出现了白色固体颗粒,这可能与乙酸乙酯疏水性较差有关,这些白色的颗粒很有可能是钙钛矿遇水分解产生的 PbI_2 颗粒^[9]。因为相比于 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$, PbI_2 在 DMSO/DMF 的混合液中拥有较低的溶解度,而且乙酸乙酯比甲苯和氯苯拥有更强的萃取能力,因此使用乙酸乙酯制备钙钛矿薄膜时,会造成 PbI_2 的大量析出。

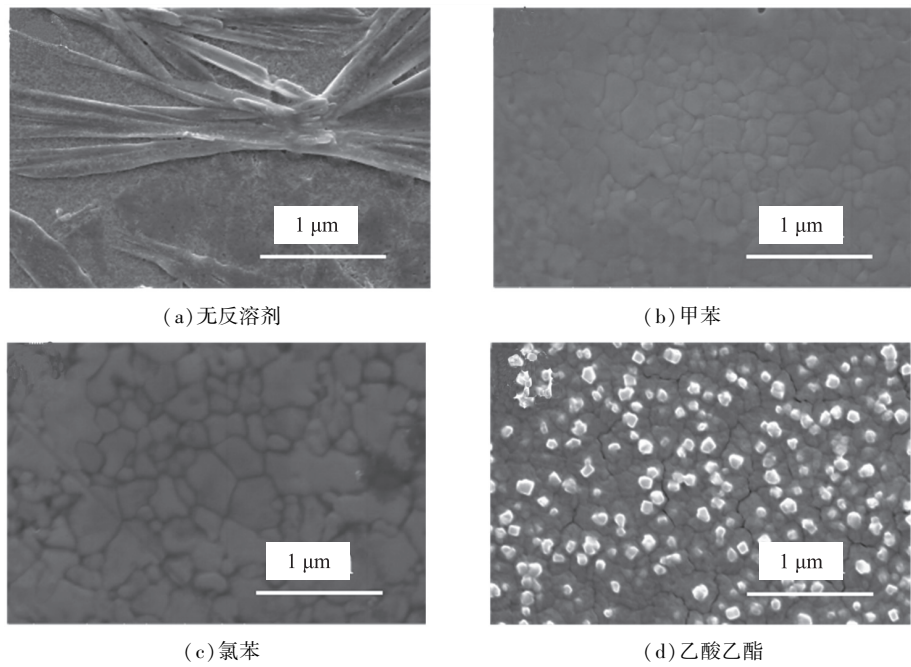


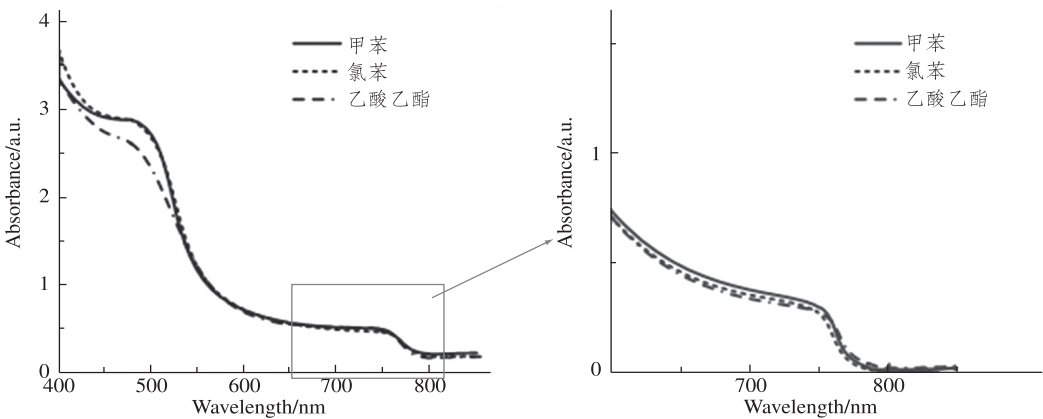
图 1 使用不同反溶剂制备的 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 薄膜微观形貌

Fig. 1 Microstructure of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ thin films prepared by different anti-solvent

2.2 反溶剂对钙钛矿薄膜光电性能的影响

为了研究使用不同反溶剂萃取对钙钛矿薄膜的光学吸收性能的影响,对制备的钙钛矿薄膜进行了紫外—可见光谱测试。如图 2 所示,制备的钙钛矿薄膜对 400 ~ 750 nm 波长范围内的可见光有较强的吸收,这与文献中报道的一致^[10]。将 600 ~ 850 nm 波长的吸收图谱放大并作出了切线,图示切线与横坐标交点处的波长在 780 nm 左右。其禁带宽度可以通过计算得知为 1.5 eV,该结果与典型的 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 的禁带宽度是一致

的^[11]。在 550 ~ 850 nm 波长范围里,用上文 3 种反溶剂制备的 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 薄膜,它们的光吸收强度基本一致;观察放大图,相比于使用氯苯以及乙酸乙酯制备的钙钛矿薄膜,使用甲苯作为反溶剂制备的薄膜吸收强度稍高;在 400 ~ 550 nm 波长范围里,使用乙酸乙酯作为反溶剂萃取所得薄膜的光吸收强度明显要低于使用其他两种反溶剂制备的钙钛矿薄膜;这是因为使用乙酸乙酯萃取的薄膜晶粒尺寸相对较小,薄膜形貌比较粗糙,并且薄膜中存在数量很多的 PbI_2 颗粒,降低了薄膜在短波范围内对光的吸收^[12]。



(a) 薄膜的光吸收谱 (b) 局部放大图

图 2 经过不同反溶剂萃取的薄膜的光吸收谱和局部放大图

Fig. 2 Optical absorption spectra and partial enlarged drawing by different anti-solvent extraction

为了进一步研究反溶剂对钙钛矿薄膜导电性能的影响,在使用不同反溶剂制备的钙钛矿薄膜表面,进行了蒸镀一层金属电极的处理,然后测量这几种薄膜的电化学阻抗谱(EIS),测量结果在图 3 中给出,该样品结构为 FTO/TiO₂/CH₃NH₃PbI₃/Au。通过奈奎斯特图可以看出,使用甲苯作为反溶剂时,制备得到的 CH₃NH₃PbI₃ 薄膜的电阻值最小,数值为 2028 Ω。随后是使用氯苯制备的薄膜,它的电阻大小是 3036 Ω。而使用乙酸乙酯作反溶剂制备的薄膜阻值最大,

为 5127 Ω。由此可见,载流子(电子和空穴)在甲苯制备的钙钛矿薄膜中传输较快,载流子有较高的响应速度。这与 CH₃NH₃PbI₃ 薄膜中的晶粒尺寸密切相关,结合 SEM 图片可知,使用甲苯作为反溶剂制备的钙钛矿薄膜晶粒尺寸相对较大,因此薄膜中的晶界密度就相对较小,导致电子和空穴在晶界处的复合一并随之减少,这对于电子和空穴的传输是非常有利的,可以显著提高光生电流密度^[13]。因此,本文实验选取的 3 种溶剂中,甲苯的效果最佳。

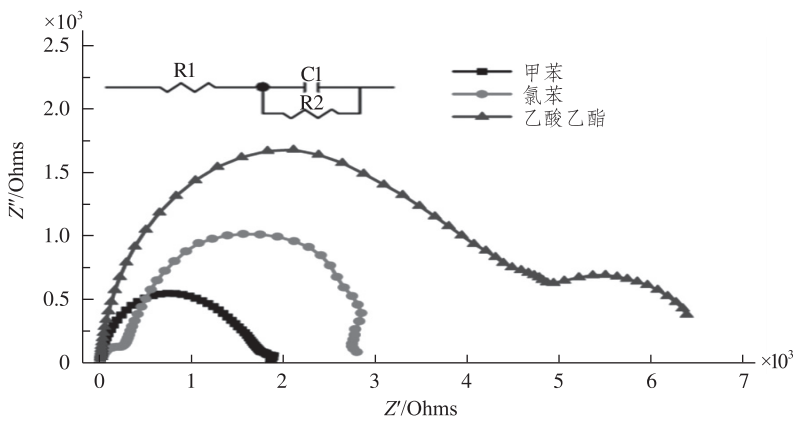


图 3 经过不同反溶剂萃取的薄膜的电化学阻抗谱

Fig. 3 Electrochemical impedance spectroscopy of thin films extracted by different anti-solvent

2.3 反溶剂对钙钛矿太阳能电池效率的影响

为了研究反溶剂是否对钙钛矿太阳能电池有显著的影响,分别使用甲苯、氯苯和乙酸乙酯制备了钙钛矿薄膜,并制备成钙钛矿太阳能电池来研究其光伏特性,所制备的电池结构为 FTO/TiO₂/ perovskite/ Spiro-OMeTAD/ Au, 让其在温度 25 ~ 30 ℃, 大气质量 AM1.5, 太阳光光照强度为 100 mW · cm⁻² 的标准条件下进行了光伏特性测试,具体数据见表 1,所得电池的 J-V 曲线如图 4 所示。由图 4 可知:使用甲苯作为反溶剂,制得电池的效率 13.90% 是最高的,其短路电流密度与开路电压分别为 20.89 mA · cm⁻² 和 1.03 V;并且电池效率的增大主要表现为短路电流密度的增大,这是由于使用甲苯作为反溶剂时,

薄膜对光的吸收较强,产生的光生载流子更多。XRD 结果表明:使用甲苯时晶体的结晶度更高,晶粒更大,较大的晶粒表明晶界密度较小,载流子的传输电阻较小,这与后面通过电化学阻抗谱中得到的结果是一致的。使用乙酸乙酯制备的薄膜中存在较多的针孔,产生了较大的漏电电流,电流密度下降较大,导致电池效率下降。为了验证实验的准确性,对每一组情况分别作了 15 个样品进行测试,测试所对应电池的效率,以分布直方图的形式在图 4(b) 给出。在直方图中可以直观看到,当用甲苯作为反溶剂制备电池时,效率分布非常集中,超过 9 个样品的效率分布在 13.7% ~ 14.1% 之间,这表明使用甲苯作为反溶剂时制备的薄膜具有良好的重现性。

表 1 不同反溶剂制备的电池的光伏特性参数表

Tab. 1 Photovoltaic characteristic parameters of cells prepared by different anti-solvent

反溶剂	V_{oc}/V	$J_{sc}/(mA \cdot cm^{-2})$	FF	PCE/%
甲苯	1.03	20.89	0.64	13.90
氯苯	1.03	20.28	0.59	12.46
乙酸乙酯	1.04	19.77	0.55	11.33

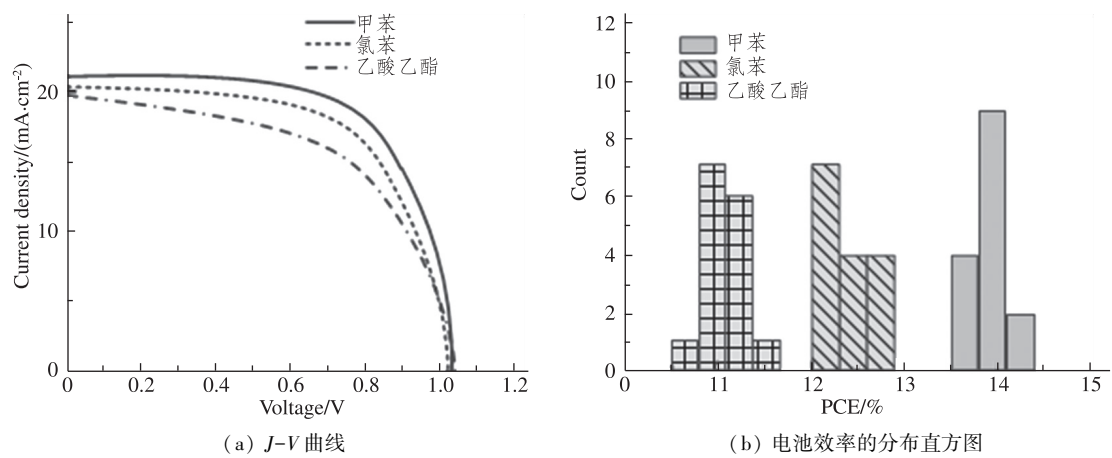


图 4 不同反溶剂萃取后的电池
Fig. 4 Battery after different anti-solvent extraction

2.4 反溶剂对钙钛矿薄膜的稳定性影响

为了进一步研究不同反溶剂对钙钛矿薄膜的稳定性产生的影响,本文使用不同反溶剂制备了钙钛矿薄膜并将其置于特定的环境下(湿度为 30% ~ 40%, 温度为 25 ~ 30 ℃),定期对钙钛矿薄膜的吸光性能进行了测试。由于使用乙酸乙酯

制备的钙钛矿薄膜中存在较多的 PbI_2 杂质,并且制得的薄膜质量较差,所以本文直接将使用乙酸乙酯制得的薄膜剔除掉。如图 5 所示,在放置期间,使用甲苯和氯苯作为反溶剂制备的钙钛矿薄膜都有不同程度的下降,尤其是放置超过 21 d 后,钙钛矿薄膜在短波长的吸收值都有明显的下降,表明此时钙钛矿薄膜已发生部分降解。

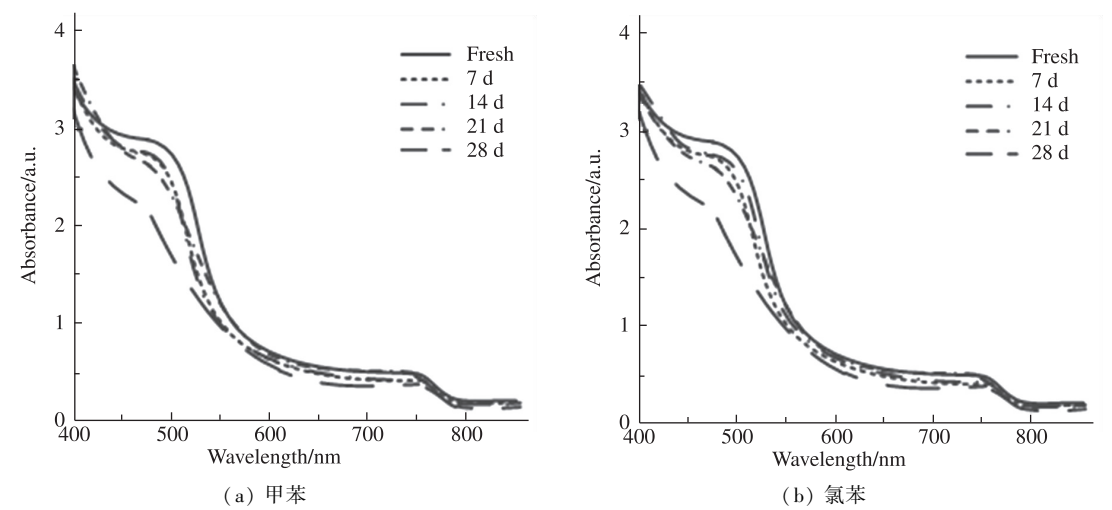


图 5 使用不同的反溶剂制备的薄膜在放置 28 d 后的 UV 稳定性数据
Fig. 5 UV stability data of films prepared with different anti-solvent after 28 days

2.5 反溶剂对钙钛矿太阳能电池的稳定性影响

本节研究反溶剂的使用对钙钛矿太阳能电池稳定性所产生的影响,将使用不同的反溶剂制备的钙钛矿薄膜进一步组装成完整的钙钛矿电池,并将它们置于温度 25 ~ 30 ℃,湿度为 30% ~ 40% 的环境中,测试其电池效率的变化。如图 6

所示,经过 10 d 的稳定性测试,使用甲苯和氯苯制备的电池的稳定性比较接近,而且使用甲苯作为反溶剂制备的电池的稳定性稍稍强于使用氯苯作为反溶剂制备的电池。使用乙酸乙酯作反溶剂制备的太阳能电池从第 3 天开始,效率就有了较大幅度的下降,这与钙钛矿薄膜的晶体质量有较大的关系。水汽和氧对钙钛矿薄膜的侵蚀首先是

从晶界和针孔等一些缺陷处开始的。使用乙酸乙酯制备的钙钛矿薄膜中存在大量的针孔,晶界密度也比较大,而且薄膜中存在较多的 PbI_2 颗粒,这些颗粒很有可能会成为位点使得氧和水汽结合,进一步加速薄膜的降解,从而使电池的效率严重下降。随后经过 10 d 放置,使用甲苯以及氯苯制备的钙钛矿太阳能电池的效率仍能达到初始值的 60% 以上,但是使用乙酸乙酯作反溶剂制备的太阳能电池效率不到原来效率的 50%,该现象也说明电池器件的稳定性与其薄膜微观结构之间有密不可分的联系。

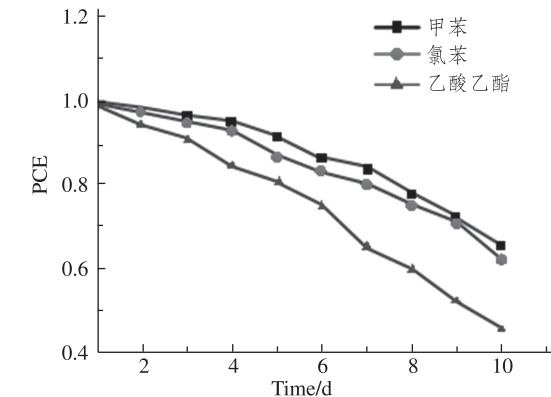


图 6 使用不同反溶剂制备的电池效率的稳定性
Fig. 6 Stability of cell efficiency prepared with different anti-solvent

3 结语

以上实验表明,使用不同的反溶剂(甲苯、氯苯、乙酸乙酯)对钙钛矿薄膜的质量影响很大,薄膜的覆盖度和晶粒尺寸差异明显,特别是当使用甲苯作为反溶剂萃取薄膜时,薄膜晶粒尺寸较大而且没有针孔,同时其覆盖率和平整度也最高,这些都利于电池中载流子的抽取与传输,从而实现更高的光电转化效率。

参考文献:

[1] STOUMPOS C C, MALLIAKAS C D, KANATZIDIS M G. Semiconducting tin and lead iodide perovskites with organic cations: phase transitions, high mobilities, and near-infrared photoluminescent properties [J].

Inorganic Chemistry, 2013, 52(15): 9019-9038.

[2] BURSCHKA J, PELLET N, MOON S J, et al. Sequential deposition as a route to high-performance perovskite-sensitized solar cells[J]. Nature, 2013, 499: 316.

[3] LIU M, JOHNSTON M B, SNAITH H J, et al. Efficient planar heterojunction perovskite solar cells by vapour deposition[J]. Nature, 2013, 501: 395.

[4] CHEN Q, ZHOU H P, HONG Z R, et al. Planar heterojunction perovskite solar cells via vapor-assisted solution process[J]. Journal of the American Chemical Society, 2014, 136(2): 622-625.

[5] XIAO M D, HUANG F Z, HUANG W C, et al. A fast deposition-crystallization procedure for highly efficient lead iodide perovskite thin-film solar cells[J]. Angewandte Chemie International Edition, 2014, 53(37): 9898-9903.

[6] LEE J W, KIM D H, KIM H S, et al. Formamidinium and cesium hybridization for photo and moisture-stable perovskite solar cell[J]. Advanced Energy Materials, 2015, 5(20): 1501310.

[7] 邱婷. APbI_3 型钙钛矿材料的组分优化与光伏性能研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2019.

[8] YU W L, LI F, WANG H, et al. Ultrathin Cu_2O as an efficient inorganic hole transporting material for perovskite solar cells[J]. Nanoscale, 2016, 8(11): 6173-6179.

[9] HE Y Y, LEI Y, YANG X G, et al. Using elemental Pb surface as a precursor to fabricate large area $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ perovskite solar cells [J]. Applied Surface Science, 2016, 389(10): 540-546.

[10] JEON N J, NA H, JUNG E H, et al. A fluorene-terminated hole-transporting material for highly efficient and stable perovskite solar cells[J]. Nature Energy, 2018, 3(8): 682-689.

[11] BOYD C C, CHEACHAROEN R R, BUSH K A, et al. Barrier design to prevent metal-induced degradation and improve thermal stability in perovskite solar cells [J]. ACS Energy Letters, 2018, 3(7): 1772-1778.

[12] 白帆. 反溶剂对 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 钙钛矿薄膜及器件性能的影响[D]. 南京: 南京理工大学, 2019.

[13] NIE W Y, HSINHAN T, REZA A, et al. High-efficiency solution-processed perovskite solar cells with millimeter-scale grains[J]. Science, 2015, 347(6): 521-522.

(下转第 352 页)

Role of MicroRNAs in Breast Carcinogenesis

SHE Weiwei^{1,2}, HUANG Qingrong¹, LI Yanmin¹, ZHANG Guichun¹, ZHOU Juhua¹

(1. Institute for Tumor Immunology, School of Life Sciences, Ludong University, Yantai 264039, China;
2. Shanghai Vocational College of Agriculture and Forestry, Shanghai 201699, China)

Abstract: MicroRNAs (miRNAs) are a group of non-coding single-stranded RNAs, which are composed of 20 ~ 24 nucleotides. In eukaryotes, miRNAs are highly conservative and tissue-specific. miRNAs usually induce mRNA degradation or post-transcriptional inhibition by completely or incompletely complementary pairing with their target mRNAs, leading to target gene silencing. Recent studies have confirmed that the dysregulation of miRNA expression is associated with breast cancer development. miRNAs play an important role in tumor formation, differentiation, invasion and metastasis. Recent studies on the expression, function and underlying mechanisms of specific miRNAs in breast cancer pathogenesis are discussed. The results presented here will provide solid evidences for the development of novel effective diagnosis, prognosis and treatment for breast cancer.

Keywords: microRNAs; breast cancer; mechanism of action; diagnosis; therapy
(责任编辑 李维卫)

(上接第 326 页)

Abstract ID:1673-8020(2020)04-0321-EA

Effect of Anti-solvent on the Performance of Perovskite Thin Films and Solar Cells

JIA Xiangrui¹, BAI Fan², MAO Caixia³, ZHANG Shufang^{1,2}

(1. School of Physics and Optoelectronic Engineering, Ludong University, Yantai 264039, China;
2. School of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210094, China;
3. School of Electronics and Information Engineering, Hubei University of Science and Technology, Xianning 437100, China)

Abstract: The efficiency of perovskite solar cells has increased rapidly in a few years, showing a great potential for application. As the most important part of this kind of battery, perovskite thin film is very important to the performance of the battery. Perovskite thin films prepared by traditional one-step solution method are prone to small grain size and poor coverage, which lead to low efficiency and poor stability of the battery and are not conducive to its commercial development. The quality of perovskite thin films can be effectively improved by introducing anti-solvent in the one-step solution method. In this paper, hydrophobic solvents (toluene, chlorobenzene, ethyl acetate) were used as anti-solvent to study the effect of different anti-solvents on the performance of perovskite thin film and battery.

Keywords: perovskite thin film; anti-solvent; one-step deposition method; photoelectric property; stability
(责任编辑 李秀芳)