DOI:10.20038/j.cnki.mra.2023.000317

基于逐层气相沉积制备的钙钛矿薄膜调控和器件性能优化

杨进海1,罗钦荣2,吴绍航2*,李阳1*

(1. 五邑大学智能制造学部,广东江门 529020; 2. 暨南大学信息科学与技术学院新能源技术研究所,广东广州 510632)

摘要:真空气相沉积法具有致密性好、均匀性好、膜厚可控等优点,被认为是一种制备大面积、高质量钙钛 矿薄膜的关键技术,在工业化生产上有着巨大的应用潜力。但相较于溶液法,气相沉积存在薄膜晶粒尺寸 小,结晶度低等缺点,导致器件光电转换效率较低。采用逐层交替气相沉积法制备钙钛矿薄膜,对碘化铅 (PbI₂)含量进行调控,使用氯化甲胺和碘化甲铵混合溶液进行表面后处理,钝化了薄膜缺陷,提升了薄膜质 量。PbI₂含量的优化调控了钙钛矿薄膜的化学计量比,器件光电性能得到提高。表面后处理引入的氯离 子,使钙钛矿晶粒尺寸增大,结晶度提高。器件的短路电流密度明显提升,最终获得17.76%的光电转换效 率以及82.1%的填充因子。

关键词:钙钛矿太阳能电池;逐层气相沉积;PbI₂含量;表面后处理气相沉积钙钛矿
 中图分类号:O484.5
 文献标志码:A
 文章编号:1673-9981(2023)03-0544-08

引文格式:杨进海,罗钦荣,吴绍航,等.基于逐层气相沉积制备的钙钛矿薄膜调控和器件性能优化[J].材料研究与应用, 2023,17(3):544-551.

YANG Jinhai, LUO Qinrong, WU Shaohang, et al. Perovskite Film Regulation and Device Performance Optimization Based on Layer-by-Layer Vapor Deposition[J]. Materials Research and Application, 2023, 17(3):544-551.

有机无机杂化钙钛矿太阳能电池由于高效率、 低成本的优点,拥有很好的发展潜力,已经成为太阳 能电池领域的研究热点。经过十几年的迅猛发展, 其光电转换效率(PCE)已经从最初的3.8%^[1]提升 到25.7%^[2]。真空气相沉积在2013年首次被应用 于制备钙钛矿太阳能电池^[3],主要分为单源沉积 法^[4-5]、多源共蒸法^[6-9]和顺序沉积法^[10-12]。与传统的 旋涂法相比,真空气相沉积法制备的钙钛矿薄膜更 加均匀致密,其制备过程避免了溶剂污染,适用于大 面积生产^[13-16]。但因其存在钙钛矿晶粒尺寸小、结 晶度不高的缺点,如何提高真空沉积钙钛矿薄膜质 量成为了国内外研究人员关注的课题。

碘化铅(PbI₂)作为制备钙钛矿太阳能电池的关 键材料,其相对含量直接影响着钙钛矿薄膜的形成 和化学计量比。有研究表明^[17-20]:过量的 PbI₂可以 钝化钙钛矿晶界缺陷,有利于器件效率提升;PbI₂的 不足则将导致反应不完全,有机物在表面堆积影响器件性能。但也有研究认为,过量的PbI₂在持续的 太阳光照射下会分解成金属铅和I₂,加速钙钛矿太 阳能电池的老化,从而降低钙钛矿太阳能电池的效 率和稳定性^[21-24]。对于气相沉积法而言,调控PbI₂ 含量对实现高效稳定的钙钛矿太阳能电池有着重要 意义。

研究者们采用了许多方法来改善气相沉积法制 备的钙钛矿薄膜质量。Jang等^[25]开发了单源蒸发 法制备钙钛矿薄膜,通过反复旋涂碘化甲胺(MAI) 溶液来控制MAPbI_{3-x}Cl_x薄膜中Cl和I的比例,钙钛 矿平均晶粒尺寸增加到1.2 μm,最终获得PCE为 19.1%的器件。Han等^[26]优化了顺序沉积法制备 钙钛矿薄膜,在蒸发MAI的同时引入苯乙基碘化铵 (PEAI)蒸汽对钙钛矿薄膜表面进行钝化,抑制了蒸 发过程中甲基铵(MA)的损失和水氧分子的扩散性

收稿日期:2023-02-24

基金项目:广东省重点领域研发计划项目(2019B010132004);广东省基础与应用基础研究粤佛联合基金重点项目 (2021B1515120003)

作者简介:杨进海,硕士研究生,研究方向为钙钛矿太阳能电池,E-mail: jinhaiyang96@163. com。

通信作者:吴绍航,博士,副研究员,研究方向为有机无机杂化钙钛矿太阳能电池,E-mail:wushaohang@jnu.edu.cn; 李阳,博士,教授,研究方向为平板显示(LCD、LED及OLED)、绿色光源(LED照明)及新能源等相关的光电子 半导体材料及器件、第三代半导体材料与器件、新能源材料与光伏器件产业化及光伏系统有限元法多物理场建 模与分析等,E-mail:insidesun51@163.com。

吸附,薄膜的稳定性和寿命得到提升。简单的溶液 处理技术可以促进二次生长来减少器件的非辐射复 合。Luo等^[27]采用溴化胍溶液后处理促进二次生 长,产生了更宽的带隙顶层以提升开路电压,最终获 得接近21%的PCE。2020年,Li等^[28-30]采用MAI 和醋酸钾(KAc)的混合溶液对共蒸发钙钛矿薄膜进 行处理,钙钛矿薄膜显示出更大的晶粒尺寸,更少的 针孔,最终获得了PCE为19%的器件。

本研究在逐层交替沉积法制备钙钛矿薄膜的基础上,优化PbI2含量参数以提升器件性能;使用氯化甲胺(MACl)和MAI混合溶液对薄膜进行表面后处理以增大晶粒尺寸,改善薄膜质量。最终,器件的最佳效率从15.87%提升至17.76%,且迟滞现象减小,填充因子(FF)达到82.1%。

1 实验部分

1.1 实验试剂

碘化铅(PbI₂,纯度>99.99%)、氯化铯(CsCl, 纯度>99.0%)、碘化甲胺(MAI,纯度≥99.5%)、 氯化甲胺(MACl,纯度≥99.5%)、聚[双(4-苯基)-(2,4,6-三甲基苯基)胺(PTAA,纯度≥99.5%)、氧 化铝(纳米颗粒,粒径<50 nm (DLS),质量分数 20%,溶剂异丙醇)、氯苯(纯度≥99%)]和丙二醇 (IPA, 纯度≥99.5%), 均购自Sigma-Aldrich。
[6,6]-苯基C₆₁丁酸甲酯(PCBM, 纯度≥99.5%)和
(2,9-二甲基-4,7-联苯-1,10-菲罗啉(BCP, 纯度≥
99.5%),均购自西安聚光有限公司。

1.2 器件的制备

将刻蚀好的 ITO 分别用清洗剂、去离子水和无水乙醇依次超声清洗 20 min,待烘箱烘干后用等离子体处理 10 min。将提前配备的 1.5 mg·mL⁻¹的 PTAA 溶液以 5 000 r·min⁻¹转速旋涂 30 s,再在 105°C 的氮气环境下退火 10 min。待 ITO 冷却后,将其放入有机-无机太阳能电池制备系统中,在 PTAA 基底上制备钙钛矿薄膜。

图1为钙钛矿薄膜的逐层交替沉积方法图。首 先,在蒸发坩埚中加入适量的MAI、PbI₂和CsCl,随 即关紧阀门开始抽真空,当真空度达到6×10⁻⁴ Pa 时,采用共蒸发通过无机物(PbI₂、CsCl)制备无机前 驱体薄膜,温度分别设置为270和420°C,对应速 率分别为165和36 pm·s⁻¹。然后,通过单源蒸发将 有机物(MAI)蒸发沉积到无机物薄膜上,加热至 130°C,待速率稳定后沉积30 min。上述步骤循环3 次,共沉积3层,蒸发速率和厚度由蒸发腔室内的石 英晶体监测仪实时监测。



(a)一真空逐层交替沉积示意图;(b)一逐层交替沉积步骤示意图(黄色、绿色和红色分别对应于无机体薄膜 (PbL2+CsCl)、MAI薄膜和钙钛矿薄膜)。

(a) —schematic diagram of alternating layer-by-layer vacuum deposition ; (b) —schematic diagram of alternating layer-by-layer deposition steps, with yellow (green and red corresponding to inorganic body films (PbI₂+CsCl), MAI films and perovskite films, respectively).

图1 逐层交替沉积方法图

Figure 1 Schematic diagram of alternating layer-by-layer deposition

沉积完毕后,氮气环境中在以120°C下退火20min。将提前配备的15mg·mL⁻¹PCBM溶液以2000r·min⁻¹旋涂30s,在70°C的氮气环境退火10min。采用热蒸发方式沉积银(Ag)电极,

速率保持在 0.1 nm·s⁻¹, 共沉积 200 nm。制备 得到的钙钛矿太阳能电池结构为 ITO/ PTAA/钙钛矿 (Perovskite)层/PCBM/BCP/Ag (见图2)。



Figure 2 Trans device structure diagram

1.3 仪器表征

采用X射线衍射仪(XRD, Bruker D8 Advance) 在电压40 kV、电流40 mA的CuKα辐射下表征晶体结构。采用扫描电子显微镜(SEM, FEI ApreoLoVac)对薄膜的表面形态进行表征。使用紫 外可见分光光度计(SHIMADZUUV-2450)分析薄 膜的紫外可见吸收光谱。使用Keithley 2400数字源 测量仪记录电流密度-电压(*J-V*)特性曲线,该测量 仪带有与AM1.5G辐照(mW·cm⁻²)相匹配的太阳 能模拟器(AAA级,94023A-U,Newport),利用标准 硅电池(Oriel)校准光强度。使用光谱对应系统 (Enlitech QE-R)测量PSCs的EQE,以硅太阳能电 池作为参考确定光谱响应。

2 结果与讨论

2.1 不同 Pbl₂含量对钙钛矿太阳能器件的影响

为了研究每层无机前驱体中PbI2含量对钙钛矿 太阳能电池器件的影响,分别制备了每层PbL2厚度 为130 nm、160 nm、190 nm、220 nm、250 nm 的钙钛 矿太阳能电池器件。图 3 为在 100 mW·cm⁻² AM1.5G模拟太阳光下测试器件的J-V特性曲线 图和EQE曲线图,其对应的器件正反扫性能参数列 于表1。从图3(a)和表1可见:PbL含量对钙钛矿太 阳能电池器件的短路电流密度(Jsc)有着较大的影 响。当 PbI₂厚度为 130 nm 时,器件 PCE 最低,为 12.63%, *J*_{sc}为15.12 mA·cm⁻², 开路电压(*V*_{oc})为 1.083 V;随着 PbI。厚度的增加,器件 Jsc 逐渐增加, 当 PbI,厚度为 220 nm 时,器件 PCE 最佳,为 15.87%, $J_{\rm SC}$ 为19.34 mA·cm⁻², $V_{\rm oc}$ 为1.083 V, $V_{\rm oc}$ 没有较大变化, Jsc呈现增加趋势;继续增加 PbI2厚 度到 250 nm 时, J_{sc}下降, PCE 为 14.85%, 且有较大 的迟滞。结合图 3(b)可见:不同 PbI2含量的器件在 波长 600-800 nm 区间中的光吸收能力有着较大区 别,过多或过少的PbI2都会导致EQE曲线产生塌 陷,当PbI。厚度为220 nm时,光吸收能力最强,积分 电流为 20.06 mA·cm⁻²,这也与之前 J-V 测试的结 果基本相符。上述结果表明,PbI。含量对钙钛矿太 阳能电池的器件有着较大的影响,PbI2含量过少会 导致生成较少的钙钛矿晶体从而导致薄膜吸光性 差,短路电流密度降低;当PbI2厚度达到220 nm时, 有机盐可以跟PbI2充分反应形成更多钙钛矿,使器 件Jsc的增加,且其造成的迟滞可忽略不计。





图3 不同 Pbl₂含量下的器件 J-V特性曲线图和 EQE 光谱图。

Figure 3 Curves of J-V characteristics and EQE spectra of devices with different Pbl₂ contents

表1 不同 Pbl。含量下制备的钙钛矿电池性能参数

Table 1 Performance parameters of perovskite cell

	chonnance	paramete	is of pero	Janic Con			
prepared with different Pbl ₂ contents							
PbI_2	PCE/%	$V_{\rm oc}/{ m V}$	$J_{ m SC}/$ (mA•cm ⁻²)	FF			
130 nm-fs	12.63	1.083	15.12	0.771			
130 nm-rs	11.71	1.083	14.75	0.732			
160 nm-fs	12.80	1.057	17.65	0.685			
160 nm-rs	12.74	1.057	18.12	0.667			
190 nm-fs	15.00	1.083	18.24	0.759			
190 nm-rs	15.09	1.083	18.31	0.760			
220 nm-fs	15.87	1.083	19.34	0.758			
220 nm-rs	15.62	1.07	19.09	0.764			
250 nm-fs	14.85	1.07	17.99	0.771			
250 nm-rs	12.78	1.07	17.70	0.675			

forward scan(fs) reverse scan(rs)

2.2 表面后处理对钙钛矿薄膜和器件的影响

2.2.1 对钙钛矿薄膜的影响

表面后处理作为一种有效改善钙钛矿薄膜质

量、钝化缺陷的方法,在溶液法中已经被广泛使用。 通过对比不同的表面后处理策略,在蒸发后的钙钛 矿薄膜上分别用 MAI溶液、MACI溶液及 MAC1和 MAI(物质的量之比1:1)混合在 IPA 溶液进行后处 理,达到改善薄膜质量的目的。图4为经过不同溶 液后处理的钙钛矿薄膜表面形态 SEM 图。从图4 可见:未经后处理的薄膜晶粒尺寸较小,随着后处理 中 MACI溶液的加入,晶体尺寸明显增大,薄膜致 密、平整;当只有 MAC1后处理时,晶粒尺寸最大,同 时薄膜上开始出现针孔。

为了进一步探究不同后处理对钙钛矿薄膜结晶 度的影响,对样品进行了XRD和UV-Vis测试(见图 5)。从图5可见,在经过表面处理后,钙钛矿的衍射 峰增强,结晶度增大;与未经后处理相比,经过后处 理的样品薄膜光吸收能力都有所增强,特别是有加 入MACl的,同时MACl条件薄膜的光吸收峰向左 偏移,这主要是因为MACl中的加入使得Cl⁻替代 了薄膜中部分的I⁻,从而导致带隙变宽。上述结果 表明,在钙钛矿薄膜表面采用MACl和MAI的混合 溶液进行后处理能够增大钙钛矿晶粒尺寸、提高钙 钛矿结晶度,提升钙钛矿薄膜质量。



(a)—未处理;(b)—MAI;(c)—MACl+MAI;(d)—MACl。 (a)—control;(b)—MAI;(c)—MACl+MAI;(d)—MACl.







(a)—XRD图;(b)—紫外-可见吸收光谱图。

(a)—XRD patterns; (b)—UV-vis absorption spectra.

图5 不同溶液后处理下钙钛矿薄膜的 XRD 图和紫外-可见吸收光谱图。

Figure 5 XRD patterns and UV-vis absorption spectra of perovskite films under different solution post-treatments

2.2.2 对钙钛矿器件的影响

图 6 为 100 mW·cm⁻²AM1.5G 的模拟太阳光 下测试经不同溶液后处理制备器件的 *J-V*特性曲线 图和 EQE 曲线图,其对应的器件性能参数列于表 2。 从图 6(a)和表 2 可见:经过溶液后处理的器件性能 优于未经过后处理的器件,*J*sc和 *V*sc均有提升。其中, 经过MACl和MAI混合溶液后处理的器件最高PCE 达到17.76%, J_{sc} 从未经后处理的18.65 mA·cm⁻² 提升至20.45 mA·cm⁻², 填充因子最高达到0.821; 经过MACl溶液后处理的器件 V_{oc} 提升至1.122 V。 从图6(b)可见:钙钛矿器件的EQE曲线左移,这可 能得益于带隙变宽,从而造成 V_{oc} 的提升。



图 6 不回溶液后处理的寄件 J-V 曲线图和 EQE 曲线图 Figure 6 J-V curves and EQE curves of post-treated devices with different solutions

	表 2 不同溶液后处理下制备的钙钛矿器件性能参数							
Table2	Performance	parameters	of perovskite	devices	prepared	under different	t solution post-	
	treatments							
	山田波流	DCE	/ 0 /	T7 /T7	τ /	(

后处理溶液	PCE/%	$V_{ m oc}/{ m V}$	$J_{SC}/(\mathrm{mA}\mathrm{\cdot cm}^{-2})$	FF
Control-fs	15.69	1.07	18.65	0.786
Control-rs	14.84	1.07	18.11	0.766
MAI-fs	15.46	1.07	18.45	0.783
MAI-rs	15.41	1.07	18.45	0.780
MACl+MAI-fs	17.76	1.057	20.45	0.821
MACl+MAI-rs	17.15	1.031	20.68	0.804
MACI-fs	16.14	1.122	18.77	0.767
MAC1-rs	16.88	1.122	18.86	0.798

图 7 为不同溶液处理下的多个不同器件的性能 参数统计图。从图 7 可见,通过后处理,器件的 PCE、J_{sc}和 FF 均有提升,迟滞也明显减小,这表明 MACl和MAI混合溶液后处理有效改善钙钛矿薄膜质量,提升钙钛矿器件性能。



Figure 7 Statistical charts of performance parameters of post-processing devices with different solutions.

3 结论

在逐层交替沉积法制备钙钛矿薄膜的基础上, 探究了顺序气相沉积中每层 PbI₂含量对器件性能的 影响。合适的 PbI₂含量能够使气相沉积的无机前驱 体与有机盐(MAI)充分反应,增强钙钛矿薄膜的光 吸收能力,从而影响器件的性能。此外,通过 MACl 和 MAI 混合溶液后处理策略有效改善了钙钛矿薄 膜质量,钝化了薄膜表面缺陷,提升了器件的 J_{sc}和 FF。经过 MACl和 MAI 混合溶液处理的器件最高 PCE 达到 17.76%,较未处理提升了 13.2%。以上 实验结果表明溶液法中常用的表面钝化在真空沉积 法也同样有效,有助于通过界面工程策略进一步提 高真空沉积法器件性能的后续研究。

参考文献:

- [1] KOJIMA A, TESHIMA K, SHIRAI Y, 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] MIN H, LEE D Y, KIM J, et al. Perovskite solar cells with atomically coherent interlayers on SnO₂ electrodes
 [J]. Nature, 2021, 598(7881): 444-450.
- [3] LIU M, JOHNSTON M B, SNAITH H J. Efficient planar heterojunction perovskite solar cells by vapour deposition[J].Nature,2013, 501(7467): 395-398.

- [4] PENG H, SU Z, ZHENG Z, et al. High-quality perovskite CH₃NH₃PbI₃ thin films for solar cells prepared by single-source thermal evaporation combined with solvent treatment [J]. Materials, 2019, 12 (8) : 1237.
- [5] LI J, GAO R, GAO F, et al. Fabrication of efficient CsPbBr₃ perovskite solar cells by single-source thermal evaporation [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2020, 818: 152903.
- [6] LEI J, GAO F, WANG H, et al. Efficient planar CsPbBr₃ perovskite solar cells by dual-source vacuum evaporation[J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2018, 187: 1-8.
- [7] CHIANG Y H, ANAYA M, STRANKS S D. Multisource vacuum deposition of methylammoniumfree perovskite solar cells [J]. ACS Energy Letters, 2020, 5(8): 2498-2504.
- [8] LIU M, JOHNSTON M B, SNAITH H J. Efficient planar heterojunction perovskite solar cells by vapour deposition[J]. Nature, 2013, 501(7467): 395-398.
- [9] GIL-ESCRIG L, DREESSEN C, PALAZON F, et al. Efficient wide-Bandgap mixed-cation and mixed-Halide perovskite solar cells by vacuum deposition [J]. ACS Energy Letters, 2021, 6(2): 827-836.
- [10] ZHANG Y, LUO L, HUA J, et al. Moisture assisted CsPbBr₃ film growth for high-efficiency, all-Inorganic solar cells prepared by a multiple sequential vacuum deposition method [J]. Materials Science in

Semiconductor Processing, 2019, 98: 39.

- [11] FENG J, JIAO Y, WANG H, et al. High-throughput large-area vacuum deposition for highperformance formamidine-based perovskite solar cells[J]. Energy &. Environmental Science, 2021, 14(5): 3035-3043.
- [12] LI H, ZHOU J, TAN L, et al. Sequential vacuumevaporated perovskite solar cells with more than 24% efficiency [J]. Science Advances, 2022, 8 (28) : eabo7422.
- [13] FENG J, JIAO Y, WANG H, et al. High-throughput large-area vacuum deposition for high-performance formamidine-based perovskite solar cells[J]. Energy & Environmental Science, 2021, 14(5): 3035-3043.
- [14] ONO L K, WANG S, KATO Y, et al. Fabrication of semi-transparent perovskite films with centimeter-scale superior uniformity by the hybrid deposition method
 [J]. Energy & Environmental Science, 2014, 7(12): 3989-3993.
- [15] BORCHERT J, MILOT R L, PATEL J B, et al. Large-area, highly uniform evaporated formamidinium lead triiodide thin films for solar cells[J]. ACS Energy Letters, 2017, 2(12): 2799-2804.
- [16] LIANG G, LAN H, FAN P, et al. Highly uniform large-area (100 cm²) perovskite CH₃NH₃PbI₃ thinfilms prepared by single-source thermal evaporation[J]. Coatings, 2018, 8(8): 256.
- [17] KIM Y C, JEON N J, NOH J H, et al. Beneficial effects of PbI₂ incorporated in organo-lead halide perovskite solar cells[J]. Advanced Energy Materials, 2016, 6(4): 1502104.
- [18] JACOBSSON T J, CORREA-BAENA J P, HALVANI A E, et al. Unreacted PbI₂ as a doubleedged sword for enhancing the performance of perovskite solar cells [J]. Journal of the American Chemical Society, 2016, 138(32): 10331-43.
- [19] PARK BW, KEDEM N, KULBAK M, et al. Understanding how excess lead iodide precursor improves halide perovskite solar cell performance [J]. Nature Communications, 2018, 9(1): 3301.
- [20] AHMAD Z, SCHEIDT R A, HAUTZINGER M P, et al. Understanding the effect of lead iodide excess on the performance of methylammonium lead iodide

perovskite solar cells[J]. ACS Energy Letters, 2022, 7(6): 1912-1919.

- [21] MERDASA A, KILIGARIDIS A, REHERMANN C, et al. Impact of excess lead iodide on the recombination kinetics in metal halide perovskites [J]. ACS Energy Letters, 2019, 4(6): 1370-1378.
- [22] TUMEN-ULZII G, QIN C, KLOTZ D, et al. Detrimental effect of unreacted PbI₂ on the long-term stability of perovskite solar cells [J]. Advanced Materials, 2020, 32(16): 1905035.
- [23] HU Z L, AN Q Z, XIANG H G, et al. Enhancing the efficiency and stability of triple-cation perovskite solar cells by eliminating excess PbI₂ from the perovskite/ hole transport layer interface [J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2020, 12(49): 54824-54832.
- [24] LIANG J W, HU X Z, WANG C, et al. Origins and influences of metallic lead in perovskite solar cells[J]. Joule, 2022, 6(4):816-833.
- [25] JANG J, CHOE G, YIM S. Effective control of chlorine contents in MAPbI_{3-x}Cl_x perovskite solar cells using a single-source vapor deposition and anionexchange technique [J]. ACS Applied Materials &-Interfaces, 2019, 11(22): 20073-20081.
- [26] HAN S, HYEONG S K, LEE S K, et al. Sequential surface passivation for enhanced stability of vapordeposited methylammonium lead iodide thin films [J]. Chemical Engineering Journal, 2022, 439: 135715.
- [27] LUO D, YANG W, WANG Z, et al. Enhanced photovoltage for inverted planar heterojunction perovskite solar cells[J]. Science, 2018, 360(6396): 1442-1446.
- [28] LI J, WANG H, DEWI H A, et al. Potassium acetate-based treatment for thermally co-evaporated perovskite solar cells [J]. Coatings, 2020, 10 (12) : 1163.
- [29] 杨哲,钱艳楠,张海燕.CsPbIBr₂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.
- [30] 符祥,周凯,钱艳楠.In³⁺掺杂显著提高碳基CsPbI₂Br
 钙钛矿太阳能电池性能[J].材料研究与应用,2022, 16(5):819-823.

Perovskite Film Regulation and Device Performance Optimization Based on Layer-by-Layer Vapor Deposition

YANG Jinhai¹, LUO Qinrong², WU Shaohang^{2*}, LI Yang^{1*}

(1. School of Intelligent Manufacturing, Wuyi University, Jiangmen 529020, China; 2. Institute of New Energy Technology, College of Information Science and Technology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: The vacuum vapour deposition method has the advantages of good denseness, uniformity and controllable film thickness, and is considered a key technology for preparing large-area, high-quality perovskite films, which has great potential for industrial production. However, compared with the solution method, vapour phase deposition has the disadvantages of small film grain size and low crystallinity, resulting in lower device photoelectric conversion efficiency. In this paper, we use layer-by-layer alternating vapour deposition method to prepare perovskite thin films, and the PbI₂ content is regulated and the surface post-treatment of MACl and MAI mixed solution can passivate the defects and improve the quality of the films. The chloride ions introduced by the surface post-treatment increase the size of the perovskite grains and improve the crystallinity. The short-circuit current density of the device was significantly increased, resulting in a final photovoltaic conversion efficiency of 17.76% and a fill factor of 82.1%.

Keywords: perovskite solar cells; layer-by-layer vapor deposition; PbI_2 content; surface post-treatment vapor deposition perovskite

(学术编辑:黎小辉)