

基于聚多巴胺/氧化锌复合阴极缓冲层的倒置聚合物太阳能电池的研究

李琦 章勇

Mechanism of inverted polymer solar cells based on poly(dopamine)/ZnO as composite cathode buffer layer

Li Qi Zhang Yong

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 66, 198201 (2017) DOI: 10.7498/aps.66.198201

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.198201>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2017/V66/I19>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

ZnO 电子传输层对于反型结构聚合物太阳电池光浴效应的影响

Effect of ZnO electron-transport layer on light-soaking issue in inverted polymer solar cells

物理学报.2015, 64(8): 088401 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.088401>

有机无机杂化固态太阳能电池的研究进展

Recent progress in research on solid organic-inorganic hybrid solar cells

物理学报.2015, 64(3): 038405 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.038405>

胆甾液晶掺杂活性层对有机太阳能电池性能的影响

Efficiency improvement in organic solar cells by doping cholesteric liquid crystal

物理学报.2014, 63(24): 248403 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.248403>

利用 Ag₂O/PEDOT:PSS 复合缓冲层提高 P3HT:PCBM 聚合物太阳能电池器件性能的研究

Enhancement of performance of P3HT:PCBM based polymer solar cell by Ag₂O/PEDOT:PSS composite buffer layer

物理学报.2014, 63(6): 068402 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.068402>

氟化时间对环氧树脂绝缘表面电荷积累的影响

Influence of fluorination time on surface charge accumulation on epoxy resin insulation

物理学报.2012, 61(15): 158201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.158201>

基于聚多巴胺/氧化锌复合阴极缓冲层的倒置聚合物太阳能电池的研究*

李琦¹⁾ 章勇^{1)2)†}

1) (华南师范大学光子材料与技术研究所, 微纳光子功能材料与器件重点实验室, 广州 510631)

2) (广东省低碳与新能源材料工程技术研究中心, 广州 510631)

(2017年4月28日收到; 2017年6月20日收到修改稿)

利用多巴胺氧化自聚合形成聚多巴胺 (PDA) 与 ZnO 结合形成 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层, 制备了以 P3HT:PC₆₁BM 为活性层的倒置结构聚合物太阳能电池, 通过改变 PDA 的自聚合时间来分析复合阴极缓冲层对器件性能的影响. 实验发现, 随着 PDA 的自聚合时间的增加, 聚合物太阳能电池的光电转换效率先增大后减小, 当自聚合时间为 10 min 时, 相应器件光伏性能达到最优值, 其开路电压 V_{oc} 为 0.66 V, 短路电流密度 J_{sc} 为 9.70 mA/cm², 填充因子 FF 为 68.06%, 光电转换效率 PCE 为 4.35%. 器件性能改善的原因是由于 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层减小了 ZnO 与 ITO 之间的接触电阻, 同时 PDA 中存在大量的氨基有利于倒置太阳能电池阴极对电子的收集.

关键词: 聚多巴胺, 复合阴极缓冲层, 倒置聚合物太阳能电池, 交流阻抗谱

PACS: 82.35.-x, 84.60.Jt, 85.60.Bt, 88.40.Hj

DOI: 10.7498/aps.66.198201

1 引言

聚合物太阳能电池由于具有低成本、重量轻、柔性化并可容易印刷加工制备成大面积器件等优势而受到科研工作者的广泛关注与研究, 成为当今最有前景的可再生能源的之一^[1,2]. 为了获得高效率和高稳定性的聚合物太阳能电池, 倒置太阳能电池的溶液加工过程可避免具有强酸性的 PEDOT:PSS 对 ITO 的腐蚀, 同时避免了易氧化的低功函数阴极金属材料, 使其比正装太阳电池更稳定而逐渐受到更加广泛的关注与研究. 阴极界面修饰层作为改善倒装太阳电池性能的一个重要研究方向而发展很快, 比如氟化铯^[3]、二氧化钛^[4]、氧化锌^[5]、水/醇溶性共轭聚合物^[6,7]、具有自组装功能

的材料^[8]等. 其中, 以无机金属氧化物结合一层有机薄膜层组成的双阴极界面层在倒装太阳能电池的应用中显示出特殊作用, 如 ZnO/PFN-Br^[9], ZnO/PEIE^[10] 和 ZnO/PEI^[11] 共同作为阴极界面层应用于倒装太阳能电池中而实现高效率器件. 但是 ITO 层和 ZnO 阴极修饰层之间并没有形成非常牢固的界面接触, 且电子从 ZnO 层较难注入到器件阴极, 这些都说明了 ZnO 阴极修饰层还有很大的优化空间, 特别是牢固的界面接触对柔性聚合物太阳能电池器件的商业化应用非常重要.

针对以上存在的问题, 本文通过在 ITO 阴极和 ZnO 层之间引入聚多巴胺 (PDA, polydopamine) 薄膜, 组成复合阴极缓冲层来优化倒置聚合物太阳能电池的器件性能. PDA 是一种环境友好的生物

* 国家自然科学基金 (批准号: 61377065, 61574064) 和广东省科技计划项目 (批准号: 2013CB040402009, 2014B090915004, 2015B010132009) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: zycq@scnu.edu.cn

大分子, 结构中含有大量的酚羟基和氨基, 使其具有一定的还原性和黏附力, 通过多巴胺溶液的自聚合反应使浸入其中的固体材料表面涂覆一层PDA薄膜, 从而可以实现材料表面的功能化改性^[12,13], 多巴胺及PDA的分子结构如图1所示. Lee等^[14]认为多巴胺的氧化自聚合作用会使浸入其溶液的固体表面形成不可逆的共价键, 从而具有较强的黏附力. Xiao等^[15]利用PET衬底浸入多巴胺溶液在其表面自聚合形成PDA薄膜, 并利用PDA的还原性和黏附力制作了柔性透明导电薄膜. 本文通过改变PDA的自聚合时间, 在ITO表面引入不同厚度的PDA薄膜, 利用其与ZnO结合成复合阴极缓冲层来改善ITO和活性层之间的接触性能, 并提高电子的收集能力, 减少阴极处的电子空穴复合概率, 从而提高倒置太阳能电池的器件性能.

2 实验部分

所有器件制作在预先刻蚀好的ITO导电玻璃上. 将方阻为11—15 Ω 的ITO玻璃依次用丙酮、去离子水和异丙醇分别超声清洗15 min, 将洗好的ITO玻璃置于烘箱中干燥以备用. 首先利用多巴胺盐酸盐($C_8H_{11}NO_2 \cdot HCl$)和三(羟甲基)氨基甲烷(Tris, tris(hydroxymethyl) aminomethane)共同调节制备浓度为2 mg/mL, pH值为8.5的多巴胺水溶液^[16,17], 其中, $C_8H_{11}NO_2 \cdot HCl$ 和Tris均购买于Alfa Aesar公司. 在室温条件下, 将备用的ITO玻璃分别浸入配制好的多巴胺水溶液中, 通过浸入的时间长短来调控在ITO玻璃表面自聚合形成的PDA的厚度, 然后将ITO/PDA玻璃用去离子

水充分冲洗后, 在60 $^{\circ}C$ 下干燥20 min, 并移入水和氧气含量少于10 ppm的布劳恩氮气手套箱中. 接着将制备好的ZnO前驱液以2000 r/min, 50 s的转速旋涂于ITO/PDA玻璃衬底上, 150 $^{\circ}C$ 退火10 min. P3HT和PC₆₁BM均购买于Luminescence Technology Corp., 配制成质量比为1 : 0.8, 总浓度为26 mg/mL的混合溶液, 溶剂为邻二氯苯. 将P3HT:PC₆₁BM溶液以800 r/min, 45 s的转速旋涂于ZnO阴极界面层上, 在手套箱内静置7 h后在150 $^{\circ}C$ 退火15 min. 最后将上述器件放入真空热蒸发镀膜机中蒸镀MoO₃ (5 nm)/Ag(100 nm)电极, 所制备的倒置器件结构如图1所示.

PDA薄膜的吸收光谱由安捷伦公司的Agilent 8453型紫外-可见分光光度计测量, 光伏性能是在AM1.5G (100 mW/cm²)的太阳模拟光源下由Keithley 2450半导体测试系统测得, 薄膜形貌由俄罗斯NT-MDT公司的SOLVER PRO-M型原子力显微镜(AFM)测得, 交流阻抗谱由美国惠普(HEWLETT PACKARD)公司的HP4192 A阻抗分析仪测得.

3 结果与分析

3.1 不同聚合时间下PDA薄膜的吸收光谱

测试了不同聚合时间下PDA薄膜的吸收光谱, 如图2所示. 从图2中可知, PDA薄膜在200 nm处有一个特征吸收峰, 并随着聚合时间的增加, 吸收峰值逐渐增大, 这也意味着PDA薄膜的存在而且厚度逐渐增大.

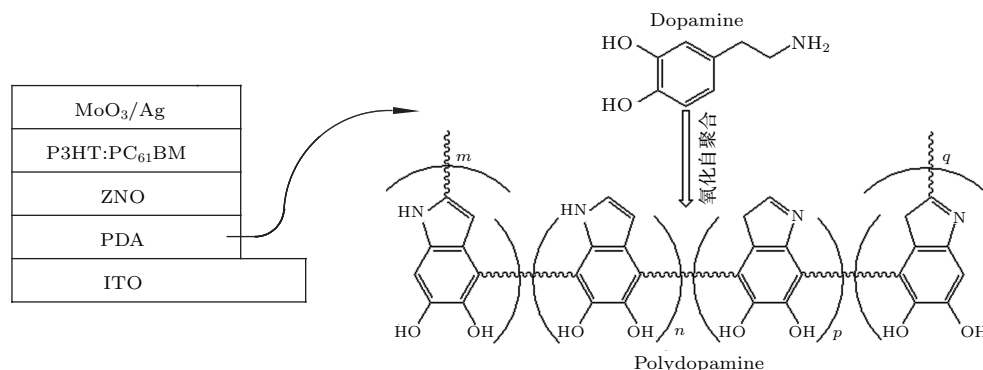


图1 基于PDA/ZnO复合阴极缓冲层的倒置聚合物太阳能电池的结构示意图和相应的多巴胺及PDA分子结构图
Fig. 1. Structure schematic diagram of inverted polymer solar cells based on PDA/ZnO composite cathode buffer layer and the corresponding molecular structures of dopamine and PDA.

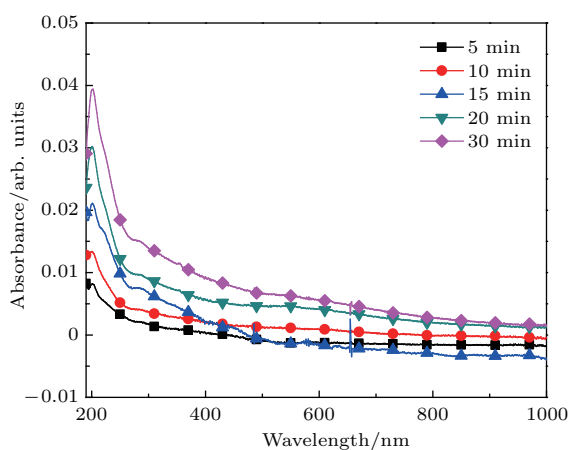


图2 (网刊彩色) 不同自聚合时间下的PDA薄膜的吸收光谱图

Fig. 2. (color online) The absorption spectra of PDA thin film under different self-polymerization time.

3.2 基于PDA/ZnO复合阴极缓冲层的ITO的表面形貌

为了研究PDA对阴极界面形貌的影响, 我们采用AFM测试了不同阴极的表面形貌. 图3为不同阴极的AFM图. 其中, ITO和ITO/PDA(10 min)的表面平均粗糙度分别为1.01

nm和1.13 nm, 结果表明, PDA的存在使得阴极表面的平均粗糙度略有增加, 这也进一步证明了PDA薄膜层的形成. 而ITO/ZnO和ITO/PDA(10 min)/ZnO的表面平均粗糙度分别为6.84 nm和5.67 nm, 这说明PDA(10 min)和ZnO组成复合阴极缓冲层获得了更加平整的表面形貌, 对ITO的表面进行PDA功能化处理能够使得ZnO纳米颗粒更好地扩展.

3.3 基于PDA/ZnO复合阴极缓冲层的倒置太阳能电池的光伏性能

首先研究了不同自聚合时间的PDA/ZnO复合阴极缓冲层对倒置太阳能电池器件性能的影响. 制备的器件结构为: ITO/PDA(χ min), 并进行了 J - V 测试. 图4为采用PDA(0, 5, 10, 15, 20, 30 min)/ZnO复合阴极缓冲层的太阳能电池器件的 J - V 曲线, 表1为对应的性能参数. 从图4(a)和表1中可知, 不同自聚合时间的PDA薄膜对器件性能影响很大. 无PDA层的倒置太阳能电池器件的 V_{oc} , J_{sc} , FF 和 PCE 分别为0.64 V, 8.86 mA/cm²,

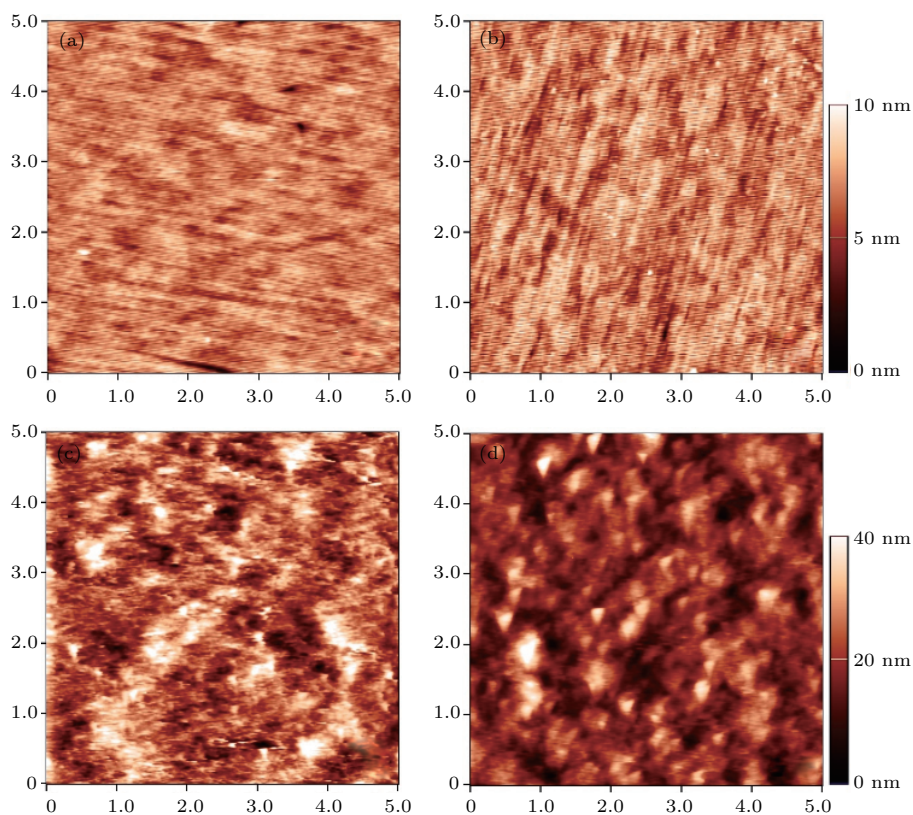


图3 (网刊彩色) 不同阴极缓冲层的AFM图 (a) ITO; (b) ITO/PDA; (c) ITO/ZnO; (d) ITO/PDA/ZnO

Fig. 3. (color online) The AFM figures of different cathode buffer layers (a) ITO; (b) ITO/PDA; (c) ITO/ZnO; (d) ITO/PDA/ZnO.

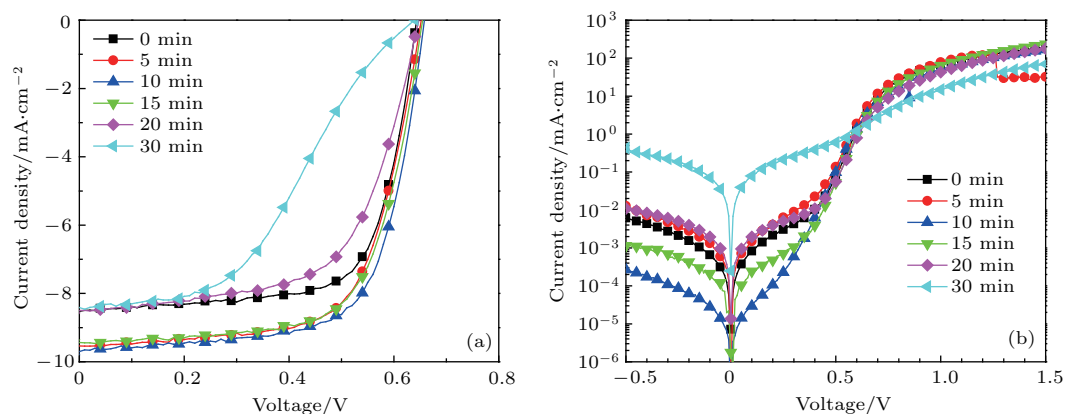


图4 (网刊彩色) 基于不同聚合时间 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层的倒置太阳能电池的光伏性能曲线 (a) 在光照下; (b) 在暗导电下

Fig. 4. (color online) The photovoltaic performance curve of inverted polymer solar cells based on PDA/ZnO composite cathode buffer layer with different self-polymerization time: (a) Under illumination; (b) in the dark.

63.86% 和 3.85%。随着 PDA 自聚合时间的增加, 采用复合阴极缓冲层的太阳能电池器件的光伏性能均得到了大幅增加而后逐渐减小。在 PDA 自聚合时间为 10 min 时, 倒置太阳能电池器件的光伏性能达到最佳, V_{oc} , J_{sc} , FF 和 PCE 分别为 0.66 V, 9.70 mA/cm², 68.06% 和 4.35%。其中 V_{oc} 基本保持不变, 这是由于聚合物太阳能电池的开路电压主要由给体的最高占据分子轨道(HOMO)与受体的最低未占据分子轨道(LUMO)的差值决定^[18]。器件的 J_{sc} , FF 和 PCE 均有不同程度的增大, 这是由于在 ITO 表面形成了 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层, PDA 中存在大量的氨基有利于倒置太阳能电池阴极对电子的收集而使 J_{sc} 的增大, 从而使 PCE 也得到改善。但是当 PDA 自聚合时间进一步增加时,

其本身的电阻性逐渐占主导而使光生载流子很难穿过缓冲层到达阴极, 如 30 min 时, 出现了明显的“S”形状的 $J-V$ 曲线而导致器件性能的大幅降低。

器件的暗电流主要来自于活性层与界面层的载流子复合电流, 即电子与空穴复合越多, 暗电流越大。如图 4 (b) 所示, 基于自聚合时间为 10 min 的 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层的倒装太阳电池比无 PDA 的情况有更小的暗电流, 这意味着 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层改善了活性层与界面层的接触, 降低了电子和空穴在界面层的复合。这可能与图 3 中 AFM 测试观察到的 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层的形貌得到了改善有关, 同时说明了 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层提高了阴极对电子的收集, 从而减小了电子与空穴的复合, 这和前面的分析是一致的。

表 1 基于不同聚合时间的 PDA 的倒置太阳能电池器件的性能参数

Table 1. The performance parameters of inverted polymer solar cells based on PDA/ZnO composite cathode buffer layer with different self-polymerization time.

PDA 聚合时间	V_{oc}/V	$J_{sc}/\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$	$FF/\%$	$PCE/\%$	$R_s/\Omega\cdot\text{cm}^2$	$R_{sh}/\Omega\cdot\text{cm}^2$
0 min	0.64	8.86	63.86	3.85	11.9	853.2
5 min	0.65	9.54	66.57	4.14	10.4	957.8
10 min	0.66	9.70	68.06	4.35	8.3	986.9
15 min	0.66	9.44	67.41	4.16	9.7	996.1
20 min	0.65	8.50	61.64	3.39	14.1	664.3
30 min	0.64	8.41	42.69	2.30	48.5	743.4

R_s : 串联电阻, 是由 $J-V$ 曲线靠近 V_{oc} 处的反向斜率推算得到的; R_{sh} : 并联电阻, 是由 $J-V$ 曲线靠近 J_{sc} 处的反向斜率推算得到的。

聚合物太阳能电池器件的串联电阻 (R_s)^[19] 主要来源于有机半导体和电极之间的接触电阻以及各层材料的体电阻. 如表 1 所列, 随着 PDA 自聚合时间的增加, R_s 先减小后迅速增大, 这是由于 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层减小了 ZnO 与 ITO 之间的接触电阻, 但当 PDA 的自聚合时间超过 20 min 后, R_s 增大明显, 这是由于 PDA 厚度达到一定时, 其电阻性占主导而使 R_s 迅速增大, 30 min 时, R_s 为 $48.5 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 表现出明显的电阻性. 器件的并联电阻 (R_{sh}) 来源于器件内部或界面处载流子的各种复合通道和薄膜缺陷带来的漏电通道等. 从表 1 中可知, 基于 PDA 自聚合 10 min 的 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层的 R_{sh} 大于基于 ZnO 阴极界面层的器件, 这说明一定聚合时间的 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层能够使 ITO 阴极与活性层之间的缺陷更少, 这与器件的暗电流的分析相一致.

3.4 基于 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层的太阳能电池器件的交流阻抗谱

交流阻抗谱分析是研究载流子在半导体体内和电极界面传输及分离的电化学过程的工具^[20]. 为了更好地理解载流子在聚合物太阳能电池活性层和电极之间的传输过程, 我们进一步在非光照条件下挑选测试了无 PDA 和有 PDA 自聚合 10 min 时的 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层的太阳能电池器件的交流阻抗谱. 图 5 为器件在 0.8 V 偏压和频率范围为 10 Hz—10 MHz 下测得的交流阻抗谱的奈奎斯特图^[21] 及其拟合电路, 拟合值见表 2. 其中串联电阻 R_s 主要是由电极和活性层的体电阻和界面的接触电阻组成. 而 R_p 主要体现了载流子在各界面间的传输过程. CPE-P 值反映了电池界面的理想程度^[22]. 从表 2 可知, 有 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层的太阳能器件的 R_s 相对要稍小一点, 这是由于 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层减小了 ZnO 与 ITO 之间的接触电阻, 这和前面对 $J-V$ 的分析相一致. 另外, PDA 的存在使得 R_p 明显增大, 这说明了有 PDA 的太阳能电池器件中界面的电子和空穴的复合通道减少, 而 CPE-T 的减小意味着界面层中光生电子的积累减少, 即光生电子得到了很好的传输, 使得电子与空穴在界面层的复合减少, 从而使器件的 J_{sc} 得到了提高, 这和前面对伏安特性的分析相符合.

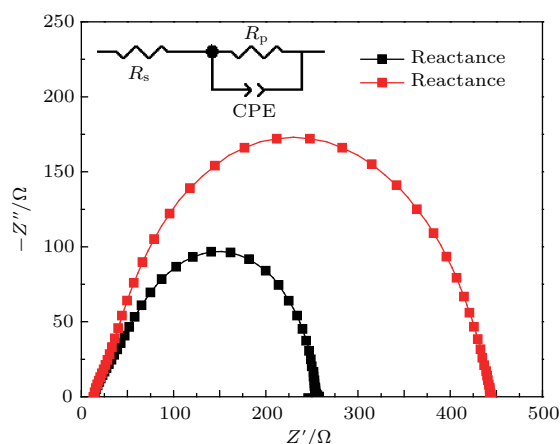


图 5 (网刊彩色) 非光照条件下挑选的基于不同复合阴极缓冲层的倒置太阳能电池器件的交流阻抗谱及其拟合电路图

Fig. 5. (color online) Ac impedance spectroscopy in the dark of the selected inverted solar cells based on different composite cathode buffer layers and the corresponding fitting circuit diagram.

表 2 相对应倒置太阳能电池进行交流阻抗谱拟合后的性能参数

Table 2. The fitting performance parameters of ac impedance spectrum corresponding to inverted solar cells.

器件	R_s/Ω	R_p/Ω	CPE-T/nF	CPE-P
PDA(0 min)	33.2	222.7	133	0.90
PDA(10 min)	26.8	415.8	115	0.89

3.5 基于 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层的太阳能电池器件的稳定性研究

聚合物太阳能电池的稳定性也是衡量器件性能好坏的重要条件之一. 我们首先采用 0.2 mm 厚度的涂有环氧树脂的盖玻片直接盖在聚合物太阳能电池的有效部分, 然后用紫外灯照射使其固化, 从而简单地使太阳能电池隔绝了水氧. 为了方便比较, 我们对器件的光伏参数做了归一化处理. 图 6 为挑选的无 PDA 和 PDA 自聚合 10 min 时 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层的太阳能电池器件在实验室环境下的光伏参数随时间的衰减变化情况. 从图 6 可看出, 在 600 h 内, 两种样品的 V_{oc} 基本保持稳定, J_{sc} 均随时间不断下降, 且两者的下降趋势相当. 相比无 PDA 的情况, 有 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层的太阳能电池器件的 PCE 性能下降得更慢. 综合比较, 我们可以得出有 PDA/ZnO 复合阴极缓冲层的太阳能电池器件表现出更好的稳定性.

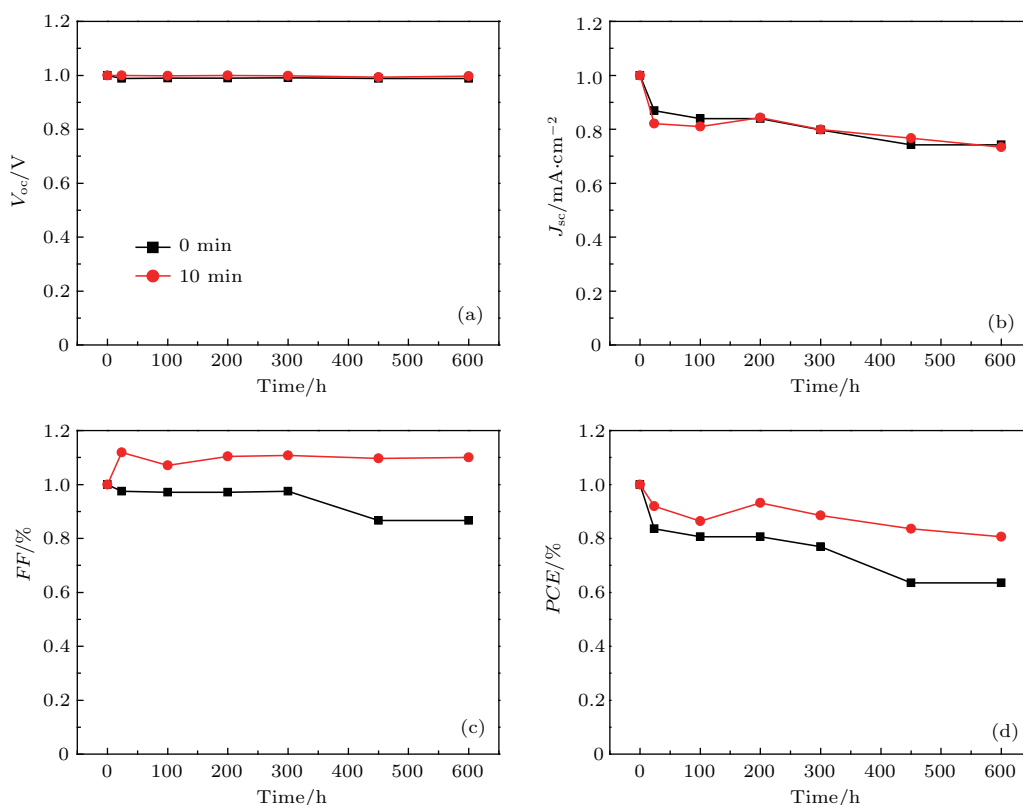


图6 (网刊彩色) 挑选的基于不同复合阴极缓冲层的电池器件的光伏参数随时间衰减曲线 (a) V_{oc} ; (b) J_{sc} ; (c) FF ; (d) PCE
 Fig. 6. (color online) The photovoltaic parameters attenuation curve over time of the selected inverted solar cells based on different composite cathode buffer layers: (a) V_{oc} ; (b) J_{sc} ; (c) FF ; (d) PCE .

4 结 论

采用PDA/ZnO复合阴极缓冲层制备了以P3HT:PC₆₁BM为活性层的倒置聚合物太阳能电池, 重点研究了不同PDA自聚合时间对太阳能电池器件性能的影响. 结果表明: 当PDA自聚合时间为10 min时组成的PDA/ZnO复合阴极缓冲层减小了ZnO与ITO之间的接触电阻, 同时PDA中存在大量的氨基有利于倒置太阳能电池阴极对电子的收集, 从而改善了电子在器件界面中的传输过程, 提高了太阳能电池的短路电流以及光电转化效率. 而且相比无PDA的情况, 有PDA/ZnO复合阴极缓冲层的太阳能电池器件表现出更好的光伏稳定性. 此外, PDA具有的较强黏附力使得在其上的ZnO界面层不易脱落, 从而为制备更加耐折的柔性太阳能电池器件提供一种全新思路.

参考文献

[1] Li Z, Wong H C, Huang Z, Zhong H, Tan C H, Tsoi W C, Kim J S, Durrant J R, Cabral J T 2013 *Nat. Commun.*

4 2227
 [2] He Z C, Xiao B, Liu F, Wu H B, Yang Y L, Xiao S, Wang C, Russell T P, Cao Y 2015 *Nat. Photon.* **9** 174
 [3] Jiang X X, Xu H, Yang L G, Shi M M, Chen H Z 2009 *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **93** 605
 [4] Lee K, Kim J Y, Park S H, Kim S H, Cho S, Heeger A J 2007 *Adv. Mater.* **19** 2445
 [5] Park S, Tark S J, Lee J S, Lim H, Kim D 2009 *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **93** 1020
 [6] Luo J, Wu H B, He C, He C, Li A Y, Yang W, Cao Y 2009 *Appl. Phys. Lett.* **95** 043301
 [7] Huang F, Wu H B, Cao Y 2010 *Chem. Soc. Rev.* **39** 2500
 [8] Yip H L, Hau S K, Baek N S, Ma H, Jen A K 2008 *Adv. Mater.* **20** 2376
 [9] Yang T B, Wang M, Duan C H, Hu X W, Huang L, Peng J B, Huang F, Gong X 2012 *Energy Environ. Sci.* **5** 8208
 [10] Kyaw A K K, Wang D H, Gupta V, Zhang J, Chand S, Bazan G C, Heeger A J 2013 *Adv. Mater.* **25** 2397
 [11] Woo S, Kim W H, Kim H, Yi Y, Lyu H K, Kim Y 2014 *Adv. Energy Mater.* **130** 1692
 [12] Lee H, Dellatore S M, Miller W M, Messersmith P B 2007 *Science* **318** 426
 [13] Ye Q, Zhou F, Liu W 2011 *Chem. Soci. Rev.* **40** 4244
 [14] Lee H, Scherer N F, Phillip B M 2006 *PANS* **103** 12999
 [15] Jin Y X, Cheng Y R, Deng D Y, Jiang C J, Qi T K, Yang D L, Xiao F 2014 *Appl. Mater. Interf.* **6** 1447
 [16] Lee H, Lee B P, Messersmith P B 2007 *Nature* **448** 338

- [17] Jiang J H, Zhu L P, Zhu L J, Zhu B K, Xu Y Y 2011 *Langmuir* **27** 14180
- [18] Lu L, Xu T, Chen W, Landry E S, Yu L 2014 *Nat. Photon.* **8** 716
- [19] Cai P, Zhong S, Xu X F, Chen J W, Chen W, Huang F, Ma Y G, Cao Y 2014 *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **123** 104
- [20] Kuwabara T, Kawahara Y, Yamaguchi T, Takahashi K 2009 *ACS Appl. Mater. Inter.* **10** 2107
- [21] Wagner N, Schnurnberger W, Müller B, Lang M 1998 *Electrochim. Acta* **43** 3785
- [22] Zhu G, Xu T, Lv T, Pan L K, Zhao Q F, Sun Z 2011 *J. Electroanal. Chem.* **650** 248

Mechanism of inverted polymer solar cells based on poly(dopamine)/ZnO as composite cathode buffer layer*

Li Qi¹⁾ Zhang Yong^{1)2)†}

1) (Laboratory of Nanophotonic Functional Materials and Devices, Institute of Optoelectronic Materials and Technology, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

2) (Guangdong Engineering Technology Research Center of Low Carbon and Advanced Energy Materials, Guangzhou 510631, China)

(Received 28 April 2017; revised manuscript received 20 June 2017)

Abstract

Inverted polymer solar cells with P3HT:PCBM as active layer are fabricated based on poly(dopamine)/ZnO (PDA/ZnO) as composite cathode buffer layer. Effects of PDA/ZnO composite cathode buffer layer with the different self-polymerization times on the device performance are investigated. According to the results, the short circuit current and photoelectric conversion efficiency of polymer solar cells first increase then decrease with the increase of the self-polymerization time of PDA. For 10-min PDA self-polymerization, the photovoltaic performance of the device achieves the optimal values: open circuit voltage 0.66 V, short circuit current density 9.70 mA/cm², fill factor 68.06%, and power conversion efficiency 4.35% under irradiation of light with a strength of 100 mW/cm². We conclude that the improvement of device performance is due to the PDA/ZnO composite cathode buffer layer reduced the contact resistance between the ZnO and ITO, at the same time, the presence of a large number of nitrogen groups in PDA is advantageous for the electronic collection of the inverted polymer solar cells. Meanwhile, polymer solar cell with PDA/ZnO as composite cathode buffer layer also exhibits excellent stability. In addition, PDA has a strong adhesive force that makes the ZnO interface layer on its surface not easy to fall off. This provides a new way of fabricating the flexible polymer solar cell devices.

Keywords: poly(dopamine), composite cathode buffer layer, inverted polymer solar cells, AC impedance spectroscopy

PACS: 82.35.-x, 84.60.Jt, 85.60.Bt, 88.40.Hj

DOI: 10.7498/aps.66.198201

* Project supported by the National Nature Science Foundation of China (Grant Nos. 61377065, 61574064) and the Science and Technology Planning Project of Guangdong Province, China (Grant Nos. 2013CB040402009, 2014B090915004, 2015B010132009).

† Corresponding author. E-mail: zycq@scnu.edu.cn