

# PEDOT:PSS 薄膜的山梨醇掺杂对 光电池性能的影响\*

李 蛟<sup>1)2)</sup> 刘俊成<sup>1)†</sup> 高从培<sup>2)</sup>

1) (山东理工大学材料科学与工程学院, 淄博 255049)

2) (中国海洋大学化学化工学院, 青岛 266100)

(2010年8月18日收到; 2010年10月9日收到修改稿)

采用共混-旋涂技术在 ITO 导电玻璃上制备出经山梨醇掺杂的 PEDOT:PSS 导电膜, 将所制得的薄膜作为空穴传输层用于有机太阳能电池研究. 通过对比分析掺杂前后光电池暗电流曲线与光电流曲线的变化, 考察了山梨醇掺杂对器件光伏性能的影响, 并就其中的影响机理进行了讨论分析. 结果表明, 山梨醇的加入, 可以明显提高光电池的短路电流, 填充因子以及能量转换效率. 较未掺杂器件, 8wt% 山梨醇掺杂条件下, 器件短路电流由 8.82 mA/cm<sup>2</sup> 增加至 11.27 mA/cm<sup>2</sup>, FF 由 0.43 增加至 0.491, 能量转换效率由 2.12% 提高到 2.93%, 提高幅度约 38.2%. 上述器件性能改善主要在于山梨醇掺杂提高了 PEDOT:PSS 薄膜电导率与透光率, 前者可以有效降低器件串联电阻, 后者则有利于器件中光生载流子数量的增多.

**关键词:** PEDOT:PSS 薄膜, 山梨醇, 有机太阳能电池, 性能

**PACS:** 88.40. jr, 88.40. hj, 73.61.-r, 78.66.-w

## 1. 引言

有机太阳能电池 (organic solar cells, OSC) 具有制造成本低、制备原料丰富、加工性能好、便于制造等优点, 近年来备受研究人员关注<sup>[1-4]</sup>. 然而, 目前困扰 OSC 发展的主要瓶颈是其能量转换效率偏低, 如何提高 OSC 的能量转换效率是其能否商业化和与传统无机光伏电池竞争的关键.

制约有机太阳能电池能量转换效率的因素有很多, 其中, 器件阳极的选择及其表面修饰是主要影响因素之一. 目前, OSC 阳极一般使用导电性能优良、透光性能好且硬度较高的氧化锡透明导电膜 (indium-tin oxide, ITO). 然而, 作为 OSC 的阳极材料, ITO 也存在明显缺陷, 如 ITO 功函为 4.6 eV<sup>[5]</sup>, 与目前常用的几种电子给体材料的能级均无法很好匹配, 限制了空穴向阳极的传输, 降低了器件的能量转换效率, 因此, 需要对其表面进行必要的修饰.

聚 3,4-乙撑二氧噻吩: 聚(对苯乙烯磺酸)根阴离子 (PEDOT:PSS) 薄膜是一种高透明导电膜, 其能级约为 5.2 eV, 高于 ITO 的 4.7 eV, 用于修饰 ITO 阳极以弥补 ITO 阳极存在的缺陷, 效果相当明显, 目前作为 ITO 修饰层已被广泛用于有机太阳能电池研究领域<sup>[6-8]</sup>. 然而, 有研究人员发现, 用于器件中的 PEDOT:PSS 薄膜电导率普遍较低, 一般均在 0.8 S/cm 以下<sup>[9,10]</sup>, 因此, PEDOT:PSS 薄膜的加入无形中会增大器件的串联电阻, 降低短路电流, 从而影响器件效率<sup>[11]</sup>. 通过共混掺杂方式, 向 PEDOT:PSS 水溶液中加入某些多羟基有机物, 如乙二醇、二甘醇等均可有效提高 PEDOT:PSS 薄膜的导电性能<sup>[12-13]</sup>.

山梨醇是一种带有甜味的多元糖醇类物质, 其无臭、无毒, 较之乙二醇, 二甘醇等化合物, 其分子中含有较多羟基, 可用于提高 PEDOT:PSS 薄膜的导电性能<sup>[14]</sup>, 其结构简式如图 1 所示.

本文在前期工作基础上, 拟将山梨醇掺杂后的薄膜用于有机太阳能电池中, 通过对掺杂前后器件

\* 教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (批准号: NCET-04-0648) 资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: haiyan9943@163.com

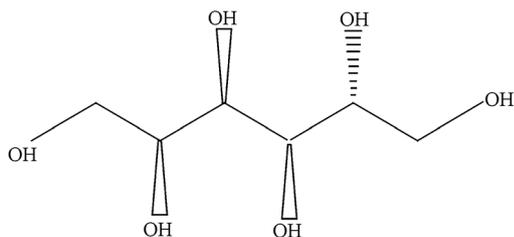


图1 山梨醇结构简式

暗电流曲线与光电流曲线的对比分析,进一步深入研究经山梨醇掺杂处理的 PEDOT:PSS 薄膜对 OSC 光伏性能的影响,并就其中的影响机理进行分析.上述研究结果对于进一步提高有机太阳能电池的光伏性能,探索其内部机理有一定的指导意义.

## 2. 实验

### 2.1. 药品及试剂

聚乙撑二氧噻吩:聚(对苯乙烯磺酸)根阴离子(PEDOT:PSS)水溶液(美国 Aldrich 公司),山梨醇(98%,美国 Aldrich 公司),聚(3-己基噻吩)(P<sub>3</sub>HT)(美国 Aldrich 公司),1-(3-甲氧基羧基)-丙基-1-苯基-(6,6)C<sub>61</sub>(PCBM)(美国 Aldrich 公司),其它实验用化学试剂均为分析纯.

### 2.2. PEDOT:PSS

PEDOT 是一种新型导电聚合物材料,为聚噻吩类衍生物,属电子导电型聚合物.经 PSS 掺杂的 PEDOT,可以很好的分散在水溶液中,形成一种稳定的 PEDOT:PSS 悬浮液,易于旋涂成膜. PEDOT:PSS 结构简式如图 2 所示.

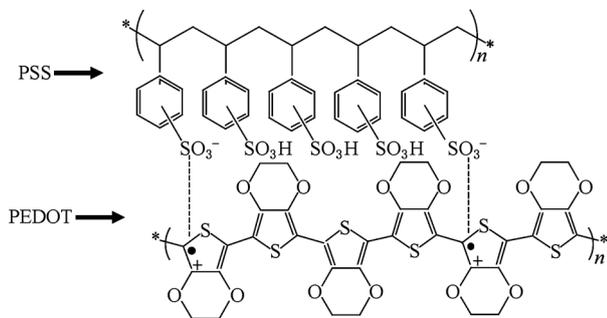


图2 PEDOT:PSS 化学结构式(“●”与“+”分别代表 PEDOT 主链上未成对电子与正电荷)

### 2.3. 有机太阳能电池的制备

#### 2.3.1. 山梨醇-PEDOT:PSS 旋涂液的制备

准确称取适量山梨醇,溶于 1 mL PEDOT:PSS 水溶液中,超声波处理 30 min,配制成一定质量分数的山梨醇-PEDOT:PSS 共混旋涂液,用孔径为 0.45 μm 的注射过滤器进行过滤处理,备用.

#### 2.3.2. 有机太阳能电池制备

在超净室中依次用洗涤液,丙酮,异丙醇,去离子水超声清洗氧化铟锡膜(ITO)玻璃各 10 min 后,放入烘箱中 80 °C 烘干,然后用臭氧灯对清洗后的 ITO 基片照射处理 20 min. 利用涂旋技术将上述制备的山梨醇-PEDOT:PSS 旋涂液旋涂于预处理后的 ITO 片上,薄膜厚度为 90—100 nm,放入真空烘箱内高温干燥处理,之后将其转移至充满高纯氩气的手套箱内. 准确量取不同质量的 P<sub>3</sub>HT 与 PCMB,分别放入 5 mL 二氯苯溶剂中. 常温磁力搅拌 72 h 后,使用 0.45 μm 的注射过滤器过滤. 利用旋涂技术,将上述滤液旋涂在已经制备好的 PEDOT:PSS 薄膜上. 取下样品,放在平板烘炉上,进行干燥处理. 将涂有光电转换层的器件转移至真空镀膜机中. 真空度 1.0 × 10<sup>-4</sup> Pa 条件下,采用自制掩遮板,在器件上蒸镀 ~100 nm 铝电极完成器件制备. 所得器件结构如图 3 所示.

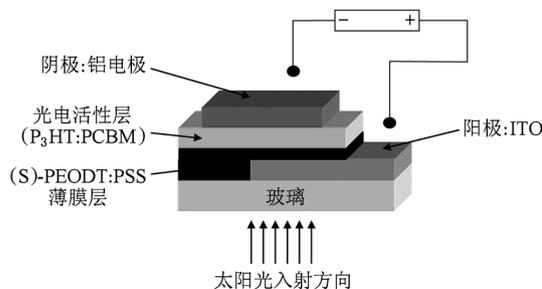


图3 掺杂山梨醇有机太阳能电池结构图

#### 2.3.3. 薄膜与器性能测试仪器

利用紫外—可见光谱仪在 550—900 nm 范围内测定薄膜透光率. 薄膜厚度用 SGC-10 型薄膜测厚仪(测量精度 < 1 nm)完成. 太阳能模拟光源北京畅拓科技公司提供,其主要由 CHF 高亮度点光源系统、平行光套筒、光路转向等几部分组成. 光强度用辐射计进行标定. 太阳能电池在暗态和 100 mW/cm<sup>2</sup> AM1.5 模拟太阳光模拟器照射下的电流-电压特性由美国 Keithley 公司的 Keithley 2400 数字源表

测定.

### 2.3.4. 薄膜与器件性能的计算

550—850 nm 范围内薄膜平均透光率的计算按下式进行:

$$\text{平均透光率} = \frac{T_{850} + T_{849} + T_{848} + \dots + T_{550}}{301}$$

填充因子 FF 是全面衡量光电池品质的重要参数,其定义为光电池提供最大输出功率  $P_{\max}$  ( $V_m \times I_m$ ) 与  $V_{oc} \times I_{sc}$  的比值,

$$FF = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}} \times 100\%$$

其中  $I_m, V_m$  分别为对应最大功率的电流和电压.  $V_{oc}, I_{sc}$  为开路电压、短路电流.

光电池的能量转换效率  $\eta$ , 为最大输出功率  $P_{\max}$  与入射的光照强度  $P_{in}$  之比, 即

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} = \frac{I_m \times V_m}{P_{in}} = \frac{I_{sc} \times V_{oc} \times FF}{P_{in}}$$

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 山梨醇掺杂对 PEDOT:PSS 薄膜导电性能的影响

前期研究结果表明<sup>[14]</sup>, 山梨醇掺杂可以明显提高 PEDOT:PSS 薄膜的导电性能, 其影响曲线如图 4 所示.

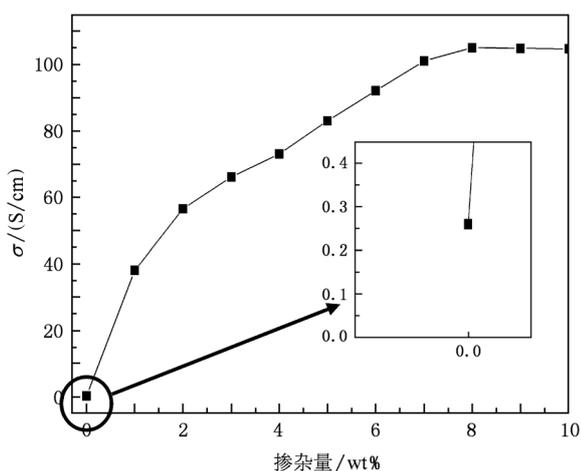


图4 山梨醇掺杂量对薄膜导电性能的影响曲线<sup>[12]</sup>

### 3.2. 山梨醇掺杂对 PEDOT:PSS 薄膜透光性能的影响

PEDOT:PSS 薄膜透光性能的优劣会影响到入

射至活性层中光子数量, 进而影响器件中光生空穴载流子数量. 考虑到地表太阳光的能量主要集中在 700 nm 左右<sup>[15]</sup>, 因此, 我们对比较观察了掺杂前后四种组成不同的 PEDOT:PSS 薄膜在 550—850 nm 范围内的平均透光率. 结果如表 1 所示.

表 1 550—850 nm 范围内组成不同薄膜的平均透光率

山梨醇掺杂量/wt%	0	4	8	10
平均透光率/%	92.81	93.46	94.03	94.70

比较发现, 在上述波段, 经山梨醇掺杂处理后的三种 PEDOT:PSS 薄膜透光性能均要略好于 PEDOT:PSS 薄膜, 其平均透光率为 93.46%, 94.03%, 94.70%, 较之 PEDOT:PSS 薄膜的 92.81%, 分别提高了约 0.7%, 1.3%, 2.0%. 这种薄膜透光性能的变化有利于器件内部光生空穴载流子的增多<sup>[15]</sup>.

### 3.3. 山梨醇掺杂对有机太阳能电池暗电流曲线的影响

一般来说, 器件的暗电流曲线可以反映出器件串联电阻和并联电阻的变化情况, 在评估器件性能优劣方面具有重要的参考价值.

每个太阳能器件的暗导  $I-V$  曲线均可分为正向偏压与负向偏压二部分, 其中, 在正向偏压范围内, 曲线又可分为三部分, 在低电压时, 曲线与负向偏压低压区曲线几乎对称, 此时表明器件中存在很小的电流, 该电流为通过光电池的漏电流, 由光电池中的并联电阻决定. 随着外加电压的增大, 电流会成指数形式增长, 此时表明器件具有二极管的特性. 电压继续增大 ( $> 1$  V), 由于隧道效应和空间电荷的受限输运, 电流的增长幅度开始下降<sup>[16]</sup>, 此时电流与电压关系由光电池串联电阻决定. 此外, 负向偏压高压区电流密度变化也是由光电池中的并联电阻决定, 电流密度越大, 说明器件内部并联电阻越小.

图 5 是不同器件结构光电池在无光照时的  $I-V$  特性曲线图. 对比分析四种器件在负向偏压  $-2$  V 处的电流密度发现, 器件 A 的电流密度最小, 器件 B, C, D 的电流密度均大于器件 A, 且这种趋势随着山梨醇掺杂量的增大而增大. 说明器件结构在引入山梨醇后, 内部并联电阻有所降低, 这应该与山梨醇加入后增大了器件内部漏电流有关. 此处漏电流增加的原因或与山梨醇的加入在 PEDOT:PSS 薄膜内部产生严重的膜缺陷有关<sup>[17]</sup>.

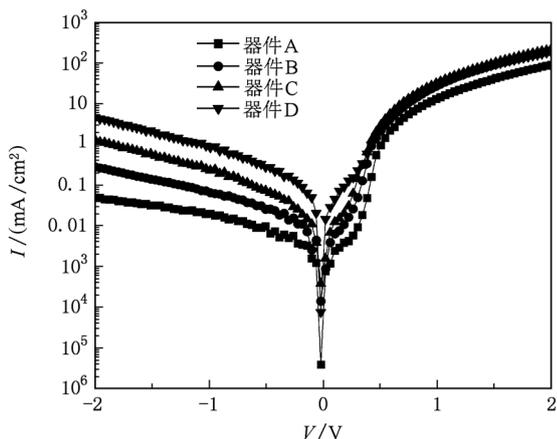


图5 不同器件结构的暗电流曲线(器件 A: PEDOT:PSS 薄膜; 器件 B,S(4wt%)-PEDOT:PSS 薄膜; 器件 C,S(8wt%)-PEDOT:PSS 薄膜; 器件 D,S(10wt%)-PEDOT:PSS 薄膜)

器件在低压部分对称曲线的变化情况与上述结论基本符合. 器件 A 的漏电流最小, 器件 B, C, D 的漏电流随着山梨醇掺杂量的增加而增大.

高压部分 (>1 V), 器件 A 的电流随着电压的增大增加速度明显变缓, 说明此时器件具有较大的串联电阻, 对比分析, 器件 B, C, D 的电流增长速度则明显大于器件 A, 说明 PEDOT:PSS 薄膜在经一定量的山梨醇掺杂处理后, 电阻率降低, 使器件串联电阻减小, 内部载流子在器件中的传输变得容易. 同时, 器件 B, C, D 的电流增加速度基本一致, 说明器件 B, C, D 中串联电阻大小相差不大.

### 3.4. 山梨醇掺杂对有机太阳能电池光电流曲线的影响

图 6 是不同山梨醇掺杂量的 PEDOT:PSS 薄膜所制备器件在 AM1.5 光照下的  $I-V$  曲线图. 不同结构器件的性能参数汇总于表 2 中. 对比图表可知, 由于山梨醇掺杂导致的不同器件结构, 光电池性能不同.

开路电压方面, 未经山梨醇掺杂处理的器件 A, 其  $V_{oc}$  为 0.56 V, 而器件 B, C, D 的  $V_{oc}$  分别为 0.54 V, 0.54 V, 0.53 V. 显然器件结构中在引入山梨醇后, 其  $V_{oc}$  数值明显降低. 研究表明, 在体相异质结型 OSC 中, 开路电压的影响因素有二个, 一是电池正、负极材料的功函数<sup>[18,19]</sup>, 二是器件光电转换层间中给体材料 HOMO 能级与受体材料 LUMO 能级的差值<sup>[20-23]</sup>. 在光电转换层组成未发生变化的情况下, 高的阳极功函与低的阴极功函有利于器件开路电

压的增加<sup>[19,22,23]</sup>. 本实验中, 器件开路电压的变化与阳极修饰层 PEDOT:PSS 薄膜功函数变化有很大关系. Nardes 等<sup>[24]</sup>利用开尔文探针研究了山梨醇掺杂对 PEDOT:PSS 薄膜功函数的影响, 结果表明山梨醇加入可明显降低薄膜功函数.

短路电流方面, 器件 B, C, D 的短路电流密度 ( $I_{sc} = 10.10 \text{ mA/cm}^2$ ,  $I_{sc} = 11.27 \text{ mA/cm}^2$ ,  $I_{sc} = 11.04 \text{ mA/cm}^2$ ) 比器件 A 的短路电流密度 ( $I_{sc} = 8.82 \text{ mA/cm}^2$ ) 分别增加了约 14.5%, 27.8%, 25.2%. 器件短路电流密度的增大主要与 PEDOT:PSS 薄膜性能变化有关. 首先, PEDOT:PSS 薄膜经山梨醇掺杂处理后, 薄膜电导率增加, 导致器件串联电阻减小, 器件中空穴载流子由光电活性层经 PEDOT:PSS 薄膜易于向阳极 ITO 注入. 第二, 山梨醇掺杂提高了薄膜的透光性能, 导致活性层中光生载流子数量增加, 从而提高了器件内部空穴载流子的数量. 此外, PEDOT:PSS 薄膜表面粗糙度的增大会直接导致活性层与空穴层接触面积增大, 这也有利于空穴载流子由活性层向空穴传输层的注入<sup>[14,25]</sup>. 至于器件 D 相比较于器件 C, 短路电流密度有所下降, 或与薄膜内部较多的膜缺陷有关.

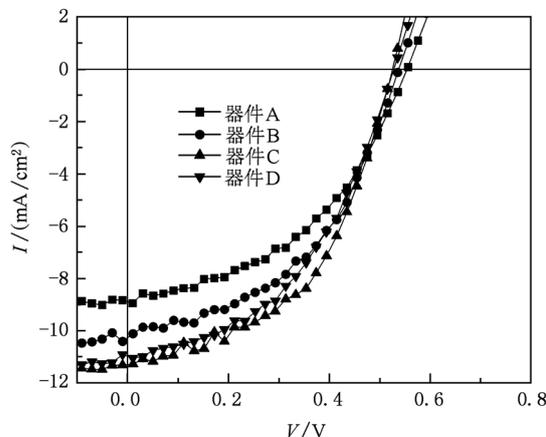


图6 不同器件结构的光电流曲线(器件 A: PEDOT:PSS 薄膜; 器件 B,S(4wt%)-PEDOT:PSS 薄膜; 器件 C,S(8wt%)-PEDOT:PSS 薄膜; 器件 D,S(10wt%)-PEDOT:PSS 薄膜)

器件的填充因子主要是由串、并联电阻决定, 较小的串联电阻及较大的并联电阻会使器件的填充因子有所提高<sup>[26]</sup>. 对比分析四种器件的填充因子发现, 器件 B, C, D 的填充因子 (FF = 46.0, 49.1, 44.7) 均高于器件 A (FF = 43.0). 这与器件 B, C, D 内部串联电阻的降低有关. 此外, 器件 D 相比较于器件 C, 填充因子有所下降, 这与器件中过多的漏电

流产生有关. 漏电流增加, 器件并联电阻减小, 导致器件填充因子降低.

四种器件的光电转换效率分别为 2.12%, 2.51%, 2.93% 以及 2.62%, 其中, 最佳条件下的器件效率为 2.93%, 较之器件 A 增加了约 38.2%. 说

明器件空穴传输层经适量山梨醇掺杂处理后, 完全可以达到有效提高器件光电效率的实验目的. 不过, 山梨醇的加入会增加器件的漏电流, 减小器件并联电阻, 这对于器件效率的改善是不利的一面, 因此, 山梨醇的掺杂应该在一定范围内进行.

表2 不同结构器件的性能参数值

器件组成	$V_{oc}/V$	$I_{sc}/(mA/cm^2)$	FF/%	$\eta/\%$
ITO/PEDOT:PSS/P <sub>3</sub> HT:PCBM/Al	0.56	8.82	43.0	2.12
ITO/S(4wt%) - PEDOT:PSS/P <sub>3</sub> HT:PCBM/Al	0.54	10.10	46.0	2.51
ITO/S(8wt%) - PEDOT:PSS/P <sub>3</sub> HT:PCBM/Al	0.53	11.27	49.1	2.93
ITO/S(10wt%) - PEDOT:PSS/P <sub>3</sub> HT:PCBM/Al	0.53	11.04	44.7	2.62

#### 4. 结 论

本文研究了经山梨醇掺杂处理的 PEDOT:PSS 薄膜对有机太阳能电池光伏性能的影响, 并对其中的影响机理进行了讨论分析, 结论如下:

1. 山梨醇的加入可以明显提高有机太阳能电池短路电流, 填充因子以及能量转换效率. 较未掺杂器件, 8wt% 山梨醇掺杂条件下, 器件短路电流由 8.82 mA/cm<sup>2</sup> 增加至 11.27 mA/cm<sup>2</sup>, FF 由 0.43 增

加至 0.491, 能量转换效率由 2.12% 提高到 2.93%, 提高幅度约 38.2%.

2. 器件效率改善原因主要在于山梨醇的加入, 提高了 PEDOT:PSS 薄膜的电导率与透光率, 从而使得器件串联电阻减小, 器件中光生载流子数量增多, 导致器件短路电流与填充因子增加.

3. 山梨醇的加入易引起器件漏电流的增大, 降低器件并联电阻, 不利于器件效率的提高, 且这种负面效应随着山梨醇掺杂量的增大而增大, 因此, 山梨醇的掺杂应该在一定范围内进行.

- [1] Nielsen T D, Cruickshank C, Foged S, Thorsen J, Krebs F C 2010 *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **94** 1553
- [2] Yu H Z, Peng J B, Liu J C 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 669 (in Chinese) [於黄忠, 彭俊彪, 刘金成 2009 物理学报 **58** 669]
- [3] Helgesen M, Sondergaard R, Krebs F C 2010 *Energy Environ. Sci.* **3** 36
- [4] Feng Z H, Hou Y B, Shi Q M, Qin L F, Li Y, Zhang L, Liu X J, Teng F, Wang Y S, Xia R D 2010 *Chin. Phys. B* **19** 8601
- [5] Kim D Y, So F, Gao Y L 2009 *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **93** 1688
- [6] Brown T M, Kim J S, Friend R H, Cacialli F, Daik R, Feast W J 1999 *Appl. Phys. Lett.* **75** 1679
- [7] Boucle J, Chyla S, Shaffer M S P, Durrant J R, Bradley D D C, Nelson J 2008 *Adv. Funct. Mater.* **18** 622
- [8] Steirer K X, Reese M O, Rupert B L, Kopidakis N, Olson D C, Collins R T, Ginley D S 2009 *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **93** 447
- [9] Jönsson S K M, Birgersson J, Crispin X, Greczynski G, Osikowicz W, Denier van der Gon A W, Salaneck W R, Fahlman M 2003 *Synth. Met.* **139** 1
- [10] Kim J Y, Jung J H, Lee D E, Joo J 2002 *Synth. Met.* **126** 311
- [11] Aernouts T, Geens W, Poortmans J, Heremans P, Borghs S, Mertens R 2002 *Thin Solid Films* **403** - **404** 297
- [12] Crispin X, Jakobsson F L E, Crispin A, Grim P C M, Andersson P, Volodin A, Haesendonck C van, Auweraer M Van der, Salaneck W R, Berggren M 2006 *Chem. Mater.* **18** 4354
- [13] Wichiansee W, Sirivat A 2009 *Mater. Sci. Eng. C* **29** 78
- [14] Li J, Liu J Ch, Gao C J, Sun H B *Mater. Sci. Technol* (in Chinese) accepted [李 蛟, 刘俊成, 高从培, 孙海滨 材料科学与工艺] 录用
- [15] Saunders B R, Turner M L 2008 *Adv. Colloid Interface Sci.* **138** 1
- [16] Braun D, Heeger A J, Kroemer H 1991 *J. Electron. Mater.* **20** 945
- [17] Ko Ch J, Lin Y K, Chen F C, Chu C W 2007 *Appl. Phys. Lett.* **90** 3509
- [18] Yu H Z, Peng J B, Liu J C 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 669 (in Chinese) [於黄忠, 彭俊彪, 刘金成 2009 物理学报 **58** 669]
- [19] Li Y W, Liu P Y, Hou L T, Wu B 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 1248 (in Chinese) [李艳武, 刘彭义, 侯林涛, 吴冰 2010 物理学报 **59** 1248]
- [20] Gadisa A, Svensson M, Andersson M R 2004 *Appl. Phys. Lett.* **84** 1609

- [21] Yamanari T, Taima T, Sakai J, Saito K 2009 *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **93** 759
- [22] Hummelen J C, Brabec C J, Cravino A, Meissner D, Sariciftci N S, Fromherz T, Rispeens M T, Sanchez L 2001 *Adv. Funct. Mater* **11** 374
- [23] Frohne H, Shaheen S E, Brabec C J, Müller D C, Sariciftci N S, Meerholz K 2002 *Chem. Phys. Chem.* **3** 795
- [24] Nardes A M, Kemerink M, de Kok M M, Vinken Maturova E, Janssen K R A J 2008 *Org. Electron* **9** 727
- [25] Cartera S A, Scott J C, Brock P J 1997 *Appl. Phys. Lett.* **71** 1145
- [26] Yu H Z, Peng J B 2007 *Acta Phys. Chim. Sin.* **23** 1637 [於黄忠、彭俊彪 2007 物理化学学报 **23** 1637]

## Influence of PEDOT:PSS film doped with sorbitol on performances of organic solar cells \*

Li Jiao<sup>1)2)</sup> Liu Jun-Cheng<sup>1)†</sup> Gao Cong-Jie<sup>2)</sup>

1) (School of Materials Science and Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

2) (College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

(Received 18 August 2010; revised manuscript received 9 October 2010)

### Abstract

In this article, the PEDOT:PSS doped with sorbitol film is fabricated on an ITO substrate by blending-spin coating method and used as a hole-extraction layer for organic solar cell (OSC). The effect of sorbitol concentration on the photovoltaic performance of the device is investigated based on P<sub>3</sub>HT:PCBM blend. Compared with a pristine device (i. e., without sorbitol), the sorbitol-doped (8wt%) OSC shows that the short-circuit current density, the fill factor and the power conversion efficiency are increased from 8.82 to 9.03 mA/cm<sup>2</sup>, 0.43 to 0.474 and 2.12% to 2.39% (i. e., by about 13%), respectively. The cause of the improvement on performance of the device is discussed, showing that the increase in conductivity and transmittance of composite films is due to the improvement on OSC performances achieved through the incorporation of sorbitol into hole-extraction layer of PEDOT:PSS. The former leads to a lower series resistance of the device, while the latter gives rise to the improvement on the photo-induced carriers of the photovoltaics cells.

**Keywords:** PEDOT:PSS film, sorbitol, organic solar cells, performance

**PACS:** 88.40.jr, 88.40.hj, 73.61.-r, 78.66.-w

\* Project supported by the Program for the New Century Excellent Talents in University of Ministry of Education, China (Grant No. NCET-04-0648).

† Corresponding author. E-mail: haiyan9943@163.com