

碳纳米管掺杂对聚合物聚(2-甲氧基-5-辛氧基)对苯乙炔-PbSe 量子点复合材料性能的影响*

屈俊荣[†] 郑建邦[‡] 王春锋 吴广荣 王雪艳

(西北工业大学应用物理系, 陕西省光信息技术重点实验室, 西安 710072)

(2013年1月22日收到; 2013年3月4日收到修改稿)

基于碳纳米管的良好导电性、激子传输性能和量子点聚合物复合材料高的光电转换性能, 采用原位缩合法制备了聚合物聚(2-甲氧基-5-辛氧基)-对苯乙炔(MOPPV)功能化碳纳米管(SWNT)-PbSe量子点复合材料, 通过对复合材料的X射线衍射、透射电子显微镜和紫外可见吸收光谱研究, 发现MOPPV, SWNT与PbSe量子点可以有效地复合, 且SWNT与MOPPV形成网状结构; PbSe量子点尺寸为5.75 nm, 其可均匀地分散在MOPPV-SWNT基体中形成包覆或镶嵌结构, 并发生了光诱导电荷转移. 通过对复合材料的光电性能研究发现, 当MOPPV, SWNT, PbSe三者的质量比为1:0.3:1时其光电性能最好, 开路电压为0.556 V, 短路电流为2.133 mA, 填充因子为34.48%, 转换效率为0.452%, 与聚合物MOPPV-PbSe量子点复合材料材料相比, 光电性能提高了2—3倍.

关键词: 量子点, 碳纳米管, 复合材料, 转换效率

PACS: 88.40.jp, 78.67.Hc, 75.40.Mg

DOI: 10.7498/aps.62.128801

1 引言

D/A互穿网络理论的逐渐成熟, 使得有机/聚合物太阳能电池的研究进入了新的阶段. 从有机太阳能电池的机理可知, 活性层吸收光子后产生激子, 激子分离的效率对电池的光电转化效率有重大的影响, 提高载流子在有机聚合物材料中的迁移率是改善器件性能的主要途径^[1]. 载流子的迁移与太阳能电池活性层的微观结构有密切关系, 设计合理的电池活性层微观结构, 可以提高载流子在有机聚合物材料中的迁移率, 进而提高太阳能电池的效率^[2,3]. 近年来, 将无机半导体纳米晶与共轭聚合物共混, 制成“无机纳米晶-导电聚合物”复合材料活性层光电器件引起了人们的普遍关注, 使得无机纳米晶在太阳能电池方面的应用有了新的突破^[4,5].

聚对苯乙炔(PPV)是一类研究较早的空穴传输型有机光电材料, 引入烷氧官能团可使PPV分子

主链共轭体系的离域性增强, 使其在有机溶剂中的溶解性得到改善, 在掺入功能化碳纳米管(SWNT)后发现聚合物聚(2-甲氧基-5-辛氧基)对苯乙炔(MOPPV)的激子传输性能得到急剧提高, 其导电能力提高两个数量级以上. Kymakis和Amaratunga^[6], Pradhan等^[7]研究了P3HT掺杂SWNT后形成网络结构, 光电性能得到很大的提高; Yun等^[8]和Feng等^[9]研究了SWNT掺杂MOPPV, 发现掺杂SWNT可以提高MOPPV的光电性能; Vigolo等^[10], Lamela等^[11]发现聚合物掺杂SWNT后薄膜对光的吸收和激子传输能力得到数量级的提高. 硒化铅(PbSe)作为一种重要的半导体量子点材料, 它是典型的IV-VI族, 具有立方氯化钠型结构的直接带隙, 其禁带宽度为1.49 eV, 光谱吸收范围为285—550 nm, 波长在400 nm时量子效率最大, 并且PbSe量子点材料具有荧光寿命长、量子产率高、载流子传输特性好、光学稳定性好、尺寸可调等优点, 已被广泛应用于光电领域. 在聚合物中掺入半导体

* 西北工业大学博士论文创新基金(批准号: CX201324)资助的课题.

[†] 通讯作者. E-mail: qujunrong2011@163.com

[‡] 通讯作者. E-mail: zhengjianbang@nwpu.edu.cn

量子点材料, 不同于传统有机/无机复合光电材料, PbSe 量子点材料在复合材料体系中不但可以保持其无机材料特性, 而且利用其尺寸效应、量子点效应等可以提高复合材料的光电性能和物理性能. 由于平面异质结载流子只能在结附近空间电荷区域分离, 迁移率低, 研究人员在平面异质结的基础上设计了激子可以在整个活性层分离、提高激子解离效率、激子传输过程中能量损失小的混合异质结活性层. 混合结构既保留了高分子材料良好的柔韧性和可加工性, 又利用了无机半导体高迁移率和近红外吸收的特点, 使得电池的转换效率超过 8%^[12-14].

本文在无水四氢呋喃溶液中通过原位缩合法制备 SWNT 和 PbSe 量子点材料均匀分布在 MOPPV 基体中的复合材料, 研究了掺杂 SWNT 后复合材料的光电性能变化, 并对复合材料光电性能的变化进行了讨论和分析.

2 材料的制备和表征

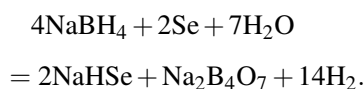
2.1 复合材料的制备

2.1.1 实验试剂

醋酸铅 (Pb(AC)₂), 硒粉 (Se), 硼氢化钠 (NaBH₄), 无水四氢呋喃 (THF), 浓硝酸 (HNO₃), 单壁碳纳米管 (SWNT), 二氯亚砷, 二甲基甲酰胺, 蒸馏水等.

2.1.2 实验步骤

1) 称取一定量 Se 粉于 250 mL 的三颈瓶中, 加入相应量 NaBH₄, 在 N₂ 保护下冰浴反应至无色澄清, 生成所需的 NaHSe 溶液. 反应原理如下:



2) 称取一定量的经酸化和酰氯化处理后的 SWNT^[14] 放入三颈瓶中, 加入无水 THF 溶液, 超声分散 30 min. 取一定量叔丁醇钾于 250 mL 的三颈瓶中, 使其完全溶解, 对溶液体系通 N₂ 30 min 以除去溶解氧, 在 N₂ 保护下搅拌加入新制备的 NaHSe 溶液, 称取一定量的双氯苄 (双氯苄与叔丁醇钾的摩尔比为 1:3) 和 Pb(AC)₂ (Pb(AC)₂ 与 Se 粉摩尔比为 1:1) 溶于 10 mL 无水 THF 溶液中, 以 2 滴/s 的速度滴加到上述反应液中, 常温反应 15 min 后

加热至 60 °C 回流反应 6 h, 自然冷却至室温, 离心、真空 50 °C 干燥 8 h, 得到灰黑色固体聚合物 MOPPV-SWNT-PbSe 量子点的复合材料^[15,16].

2.2 MOPPV-SWNT-PbSe 的 X 射线衍射

聚合物 MOPPV-SWNT-PbSe 复合材料、聚合物 MOPPV-PbSe 量子点复合材料、SWNT 的 X 射线衍射谱如图 1 所示. 从图中可以看出, 聚合物 MOPPV-PbSe 量子点复合材料有八个衍射峰, 它们分别位于 $2\theta = 25.12^\circ, 29.03^\circ, 41.69^\circ, 49.29^\circ, 51.60^\circ, 60.57^\circ, 68.41^\circ, 76.26^\circ$ 处. 通过和 JCPDSNO.060354 标准卡片对照, 可以将八个衍射峰归属为 NaCl 型结构 PbSe 材料的 (111), (200), (220), (311), (222), (400), (420) 和 (422) 晶面, 这与标准的硒化铅 XRD 谱图符合, 证实复合材料中确实含有硒化铅量子点材料. 谱图中没有杂质峰出现, 也没有其他结构的 PbSe 形成. 此外, 与体材料相比, 图中衍射峰有明显的宽化现象, 这是由于 PbSe 量子点的量子尺寸效应以及光波衍射所引起的.

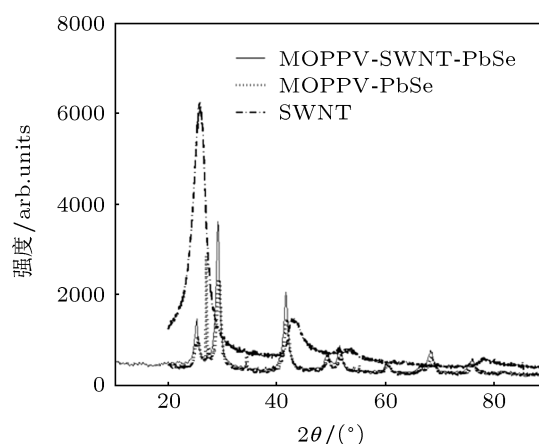


图 1 样品的 XRD 谱图

由 Debye-Scherrer 公式可以计算得 PbSe 量子点的颗粒尺寸. Debye-Scherrer 公式为^[17]

$$D = \frac{K\lambda}{B_{1/2} \cos \theta}, \quad (1)$$

式中 D 为沿晶面垂直方向的厚度, 一般认为是晶粒大小; K 为衍射峰形 Scherrer 常数, 常取 0.89; λ 为 X 射线波长 (Cu, 0.154056 nm); $B_{1/2}$ 为衍射峰的半高宽, 单位为弧度; θ 为布拉格衍射角. 通过计算得到利用原位缩合法所制备的 PbSe 量子点颗粒尺寸约为 5.75 nm (在聚合物 MOPPV-PbSe 量子点

复合材料中 PbSe 量子点尺寸为 6.63 nm). MOPPV-SWNT-PbSe 复合材料的衍射峰的强度要比聚合物 MOPPV-PbSe 量子点复合材料衍射峰强度大, 分析认为是加入 SWNT 后 PbSe 量子点材料在合成过程中受到 SWNT 网状结构的约束, 使 PbSe 量子点材料的尺寸变得更小的缘故. 从 MOPPV-SWNT-PbSe 复合材料的衍射谱我们可以发现三元复合材料的衍射峰的位置与 MOPPV-PbSe 复合材料衍射峰位置相对应, 且在 $2\theta = 27.28^\circ$ 处显示出 SWNT 的本征衍射峰, 表明使用原位缩合法合成的 MOPPV-SWNT-PbSe 没有其他的杂质出现. 在 MOPPV-SWNT-PbSe 复合材料中 SWNT 的衍射强度降低, 分析认为 SWNT 与 MOPPV 形成共价键或者包覆结构, 两种材料间发生能量传递使 SWNT 在复合材料的衍射强度低于单体的衍射强度; MOPPV-SWNT-PbSe 三元复合材料中 PbSe 量子点尺寸得到控制, 分析认为是通过原位聚合反应, SWNT 与聚合物 MOPPV 形成网状结构, 使 PbSe 量子点材料在合成过程中的约束增多, 减少了其自由生长的空间, 使得粒径得到很好的控制, 并且 PbSe 量子点材料被包覆或镶嵌在 MOPPV-SWNT 聚合物网状基体中; 衍射峰变得平滑是由于 SWNT 与 MOPPV 形成共价键使聚合物的能带宽度得到调整, PbSe 量子点的能带宽度随着尺寸的变化得到改变, 使聚合物 MOPPV-SWNT 与 PbSe 量子点能级失配得到修正, 发生光诱导电荷转移引起的, 这表明 PbSe 量子点、SWNT 与 MOPPV 能有效地复合在一起.

2.3 MOPPV-SWNT-PbSe 复合材料的扫描电子显微镜 (SEM)、透射电子显微镜 (TEM) 和原子力显微镜 (AFM) 测试

图 2(a) 为 MOPPV-SWNT-PbSe 复合材料薄膜的低分辨扫描电子显微镜图像. 从图中我们可以看出复合材料的整体成膜均匀致密, 图中薄膜表面呈均匀的凹凸状为被包覆或镶嵌在 MOPPV 中的 SWNT 和 PbSe 量子点材料, 分布较为均匀. 图 2(b) 为复合材料的高分辨 SEM, 可以看到碳纳米管在 MOPPV 基体中相互交错形成网状结构.

图 3(a), (b) 为 MOPPV-SWNT-PbSe 复合材料薄膜的 TEM 图像, 从图 3(a) 中可以看到 SWNT 被聚合物 MOPPV 缠绕包覆形成网状结构, 同时 PbSe 量子点材料也被包覆或镶嵌在 MOPPV-SWNT 基体中. 从图 3(b) 可以发现 PbSe 量子点尺寸约为 5.75 nm, PbSe 量子点材料周围被有机分子紧紧包覆. 此外, 还可以看到纳米晶有明显的晶格条纹, 说明纳米晶在聚合物中仍然保持良好的结晶性 [18].

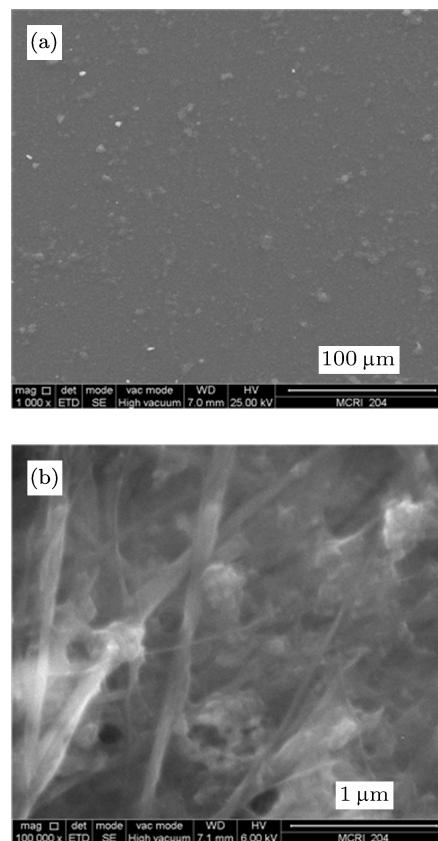


图 2 MOPPV-SWNT-PbSe 复合材料的 SEM 测试 (a) 低分辨率 TEM 测试; (b) 高分辨率 SEM 测试

图 3(c), (d) 为 MOPPV-SWNT-PbSe 复合材料 AFM 的二维平面图像. 从图 3(c) 中可以看出, 复合材料的成膜性较好, 且 SWNT 在 MOPPV 基体中形成了网状结构. 图 3(d) 显示较明亮的区域是 PbSe 量子点, 附近的网状结构是碳纳米管, 而较暗的区域是 MOPPV, 从图中明暗区域及网状结构的分布可以发现, PbSe 量子点和碳纳米管在基体 MOPPV 中分布较为均匀. 复合材料中形成的网状结构不仅为载流子在活性层中提供了最大的解离面积, 也为电子和空穴的传输提供了最大的分离界面和最便捷的通道.

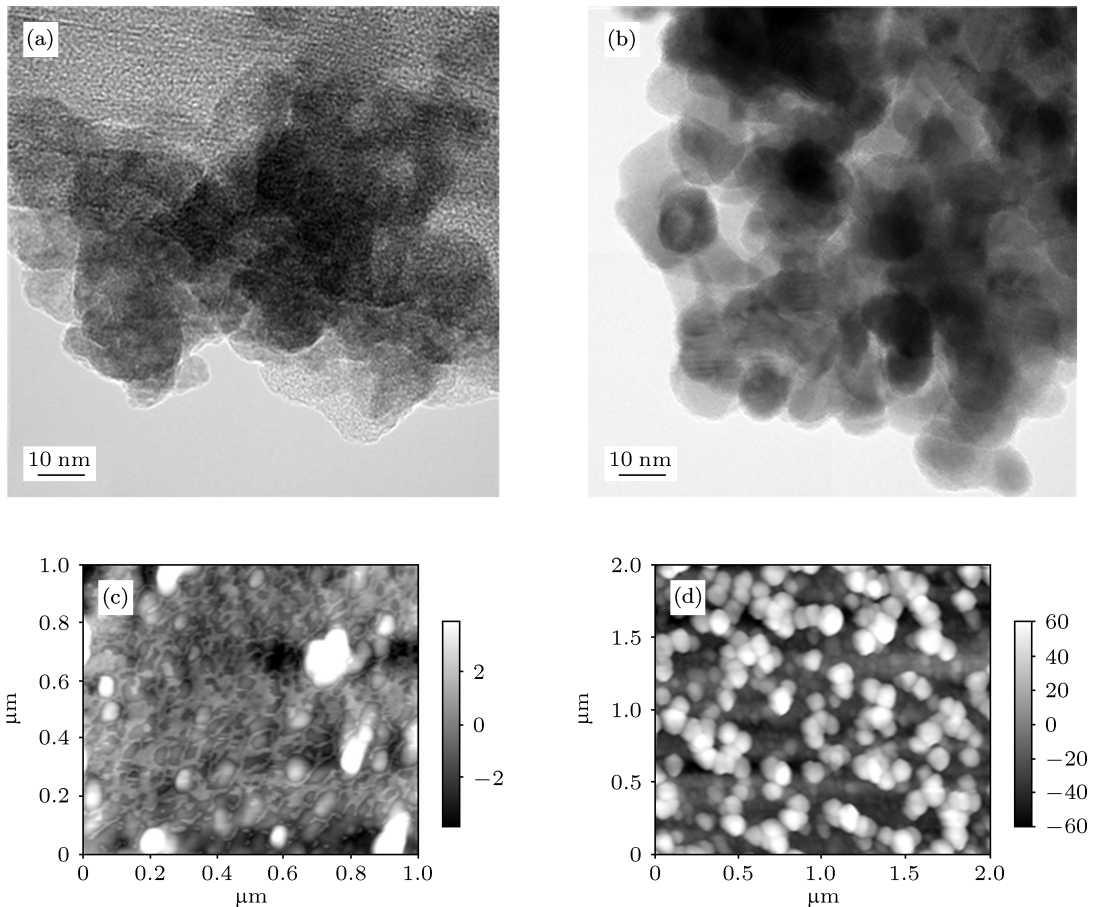


图3 MOPPV-SWNT-PbSe 复合材料的 TEM 和 AFM 测试 (a) 低分辨率 TEM 测试; (b) 高分辨率 TEM 测试; (c) 低分辨率 AFM 测试; (d) 高分辨率 AFM 测试

3 太阳能电池器件的性能测试

3.1 复合材料薄膜太阳能电池制备

首先将按一定尺寸 ($2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$) 预先裁好的 ITO (indium tin oxide) 基片放在烧杯中, 用四氢呋喃、丙酮、无水乙醇、去离子水超声清洗各 30 min, 在真空环境干燥. 将清洗好的 ITO 放在匀胶机吸盘中央, 将阳极修饰材料 PEDOT: PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrene-sulfonate)) 旋涂在 ITO 上. 真空状态下 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 干燥 20 min 除去 PEDOT:PSS 中的水分和有机溶剂. 自然冷却后, 将制备好的聚合物 MOPPV-SWNT-PbSe 量子点复合材料的 THF 溶液, 旋涂在阳极修饰层上. 根据太阳能电池结构优化理论^[18] 将复合材料厚度控制在 90 nm 左右, 完成后放在真空干燥箱中, 在真空状态经不同温度和时间退火处理. 最后在掩模板的情况下在高真空光学镀膜机把 2 nm 阴极修饰材料 LiF 蒸镀到复合材料薄膜上, 然后蒸镀电

极 Al 制成器件, 在高真空下 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 退火处理, 待温度恢复到室温后从镀膜机中取出, 并使用导电银胶将导线粘贴在器件上, 完成太阳能电池的初步制作^[19-21].

3.2 有机薄膜太阳能电池的性能测试

聚合物 MOPPV-SWNT-PbSe 量子点复合材料的紫外可见吸收光谱如图 4 所示. 从图中可以看出, PbSe 量子点在 420 nm 附近有吸收峰, 而 MOPPV-PbSe 量子点复合材料在 400—600 nm 中没有出现明显的吸收峰, 只是出现吸收强度不断增强的趋势; 聚合物 MOPPV-SWNT-PbSe 量子点复合材料的吸收主峰位置随着 SWNT 掺杂质量比例的增大逐渐发生红移, 对光的吸收范围逐渐拓宽, 吸收峰变得宽而平滑, 其在 310 nm 左右的吸收峰基本不发生移动. 分析认为由于 PbSe 量子点和 SWNT 之间都有介电限域效应, 减弱了量子尺寸效应, 使复合材料间的带隙得到改善, 对光的吸收发生红移; SWNT

在 MOPPV 中形成网状结构更有利于 PbSe 在复合材料中的分散, 由于 PbSe 量子点对光的吸收范围可延伸至红外, 在复合材料中 PbSe 量子点材料在聚合物中形成包覆或者镶嵌结构, 尤其是在 SWNT 附近的 PbSe 量子点材料可以镶嵌在碳纳米管的网状结构之中, 吸收光子后很快与 MOPPV 和 SWNT 之间发生光诱导电荷转移和非辐射能量的传递, 从而使吸收峰变得宽而平滑 [22].

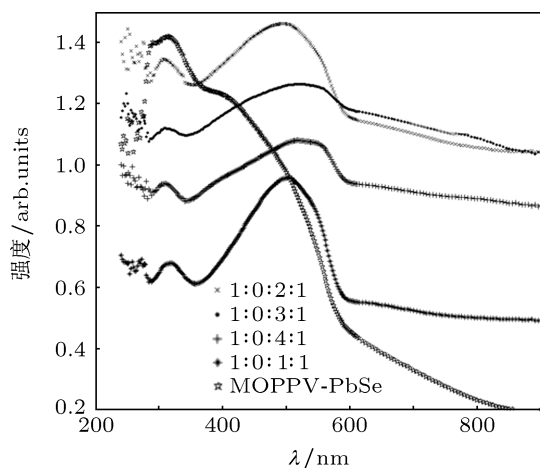


图 4 MOPPV-SWNT-PbSe 复合材料的紫外可见吸收谱

表 1 MOPPV-SWNT-PbSe 复合材料太阳能电池性能变化

	V_{oc}/V	I_{sc}/mA	$FF/\%$	$\eta/\%$
1:0.1:1	0.423	1.032	27.83	0.328
1:0.2:1	0.447	1.296	27.69	0.362
1:0.3:1	0.556	2.133	34.48	0.452
1:0.4:1	0.563	1.974	32.36	0.410

表 2 MOPPV-PbSe 复合材料太阳能电池性能变化

	V_{oc}/V	I_{sc}/mA	$FF/\%$	$\eta/\%$
1:0.6	0.3214	2.299	0.229	0.169
1:0.8	0.2857	3.459	0.237	0.234
1:1	0.3264	2.661	0.232	0.277
1:1.2	0.2156	1.486	0.267	0.086

掺入不同质量比例的 SWNT 后聚合物 MOPPV-SWNT-PbSe 量子点复合材料太阳能电池性能变化曲线如图 5 所示 (入射光功率约为 100 mW/cm^2). 从图 5 中发现, 聚合物 MOPPV-SWNT-PbSe 量子点复合材料太阳能电池的性能随 SWNT 掺杂质量比例的增大, 开路电压呈逐渐增大趋势, 短路电流、转换效率、填充因子呈先增

加后减小的趋势, 且当 MOPPV, SWNT, PbSe 掺杂质量比例为 1:0.3:1 时 (如表 1 所示), 其开路电压 $V_{oc} = 0.556 \text{ V}$, 短路电流 $I_{sc} = 2.133 \text{ mA}$, 填充因子 $FF = 34.48\%$, 转换效率 $\eta = 0.452\%$; 而未掺杂 SWNT 的聚合物 MOPPV-PbSe 量子点复合材料的光电性能最佳时为开路电压 $V_{oc} = 0.3264 \text{ V}$, 短路电流 $I_{sc} = 2.661 \text{ mA}$, 填充因子 $FF = 23.2\%$, 转换效率 $\eta = 0.277\%$ (如表 2 所示). 可见聚合物 MOPPV-SWNT-PbSe 量子点复合材料与聚合物 MOPPV-PbSe 量子点复合材料相比光电性能提高了 2—3 倍.

聚合物 MOPPV-SWNT-PbSe 量子点复合材料太阳能电池性能变化, 分析认为可能有以下原因: 1) SWNT 具有很好的激子传输性能和导电性, 在聚合物 MOPPV 基体中形成互相穿插的网络结构, 提高聚合物 MOPPV 激子传输能力, 为激子的传输提供最便捷的通道, 减小激子的复合概率, 提高复合材料的性能; 2) PbSe 量子点材料被包覆或镶嵌在 MOPPV-SWNT 中, 量子点材料介电限域效应增强, 使材料的能隙得到调整, 不同材料间的能级失配减小, 减小激子在传输过程中的能量损失, 增大激子在复合材料中的扩散长度, 从而提高复合材料的性能; 3) 当掺杂 SWNT 质量比例增加时, PbSe, MOPPV 和 SWNT 的最低未占据分子轨道能级和最高占据分子轨道能级之间形成中间带, 使得活性层对光的吸收也增强, 产生激子数量增多, 从而使得开路电压和短路电流密度增加. 当 SWNT 的含量达到一定比例时, 中间带的激子数量处于饱和状态, 电池性能最好. 当 SWNT 含量的超过这个上限时, 中间激子的数量处于过饱和状态, 不能及时传输到电极, 反而延长了激子在中间带的滞留时间, 增加了激子间的复合概率, 电池效率降低 [9,23,24].

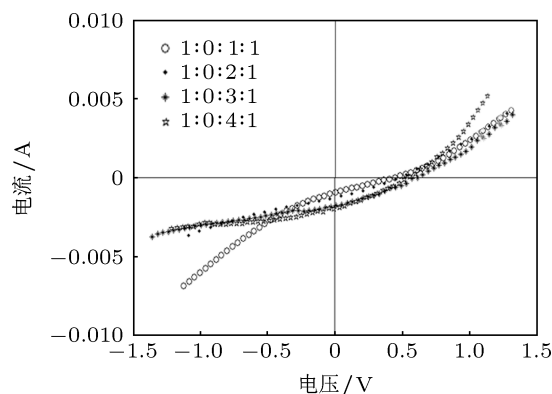


图 5 MOPPV-SWNT-PbSe 复合材料伏安特性

4 结论

本文在无水 THF 溶液中通过原位缩合法制备 SWNT 和 PbSe 量子点材料均匀分布在 MOPPV 基体中的复合材料. 通过对聚合物 MOPPV-SWNT-PbSe 量子点复合材料的研究发现, SWNT 与 MOPPV 形成了相互穿插的网络结构, 且 PbSe 量子点的尺寸被控制在 5.75 nm 左右, 在 MOPPV-SWNT 基体中形成包覆或者镶嵌结构, 分布均匀, 材料间的能级失配因量子点的介电限域效应而得到较好的改善; 紫外可见吸收光谱发生较大的红移表明了 MOPPV, SWNT, PbSe 量子点材料之间发生

了能量的传递. 复合材料当 MOPPV, SWNT, PbSe 掺杂的质量比例为 1 : 03 : 1 时, 聚合物 MOPPV-SWNT-PbSe 量子点复合材料的光电性能最佳, 开路电压 $V_{oc} = 0.556$ V, 短路电流 $I_{sc} = 2.133$ mA, 填充因子 $FF = 34.48\%$, 转换效率 $\eta = 0.452\%$, 这与未掺杂 SWNT 的聚合物 MOPPV-PbSe 量子点复合材料相比, 其光电性能提高了 2—3 倍. 由此可见, 通过在 MOPPV 中引入激子传输性能好的 SWNT 成分, 既能有效地改变聚合物的导电性和激子传输性能, 又能改善材料间的能级失配, 增大激子在激活层的扩散长度, 减小激子复合概率, 提高太阳能电池效率.

- [1] Declerck P, Houbertz R, Jakopic G 2008 *Mater. Res. Soc. Symposium Proc.* **1007** 15
- [2] Ren J, Zheng J B, Zhao J L 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 2868 (in Chinese) [任驹, 郑建邦, 赵建林 2007 物理学报 **56** 2868]
- [3] Jiang B Y, Zheng J B, Wang C F, Hao J, Cao C D 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 138801 (in Chinese) [姜冰一, 郑建邦, 王春锋, 郝娟, 曹崇德 2012 物理学报 **61** 138801]
- [4] Peng Y C, Fu G S 2009 *Chin. J. Mater. Res.* **23** 449
- [5] Zhao Y, Xiong S Z, Zhang X D 2010 *Acta Phys. Sin.* **39** 314 (in Chinese) [赵颖, 熊绍珍, 张晓丹 2010 物理学报 **39** 314]
- [6] Kymakis E, Amaratunga G A J 2002 *Appl. Phys. Lett.* **80** 112
- [7] Pradhan B, Batabyal S K, Pal A J 2006 *Appl. Phys. Lett.* **88** 093106
- [8] Yun D Q, Feng W, Wu H C, Li B M, Liu X Z, Yi W H, Qiang J F, Gao S, Yan S L 2008 *Synthetic Met.* **158** 977
- [9] Feng Y Y, Yun D Q, Zhang X Q, Feng W 2010 *Appl. Phys. Lett.* **96** 093301
- [10] Vigolo B, Mamane V, Valsaque F, Le T N H, Thabit J, Ghanbaja J, Aranda L, Fort Y, McRae E 2009 *Carbon* **47** 411
- [11] Lamela H, Ehsan D, Frédéric G, Mohan B K, Jean L C 2011 *Proc. SPIE* **81010G** 7
- [12] Kang P, Liu R B, Wang S, Zhang Q M 2011 *Mater. Rev.* **135** 1019
- [13] Trukhanov V A, Bruevich V V, Yu D P 2011 *Phys. Rev. B* **84** 205318
- [14] Du Z, Zhang N, Wang J H 2008 *Chem. J. Chin. Univ.* **29** 902 [杜卓, 张娜, 王建华 2008 高等学校化学学报 **29** 902]
- [15] Chen W B, Yang W F, Zou H J, Tang J X, Deng L F, Li P T 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 117107 (in Chinese) [陈卫兵, 杨伟丰, 邹豪杰, 汤建新, 邓林锋, 黎沛涛 2011 物理学报 **60** 117107]
- [16] Hou C Q, Zheng J B, Yang M Y 2008 *Acta Photo. Sin.* **37** 224
- [17] Huang H Z 2003 *Nanmaterial Analysis* (1st Ed.) (Beijing: Chemical Industry Press) p243
- [18] Hao Z H, Hu Z Y, Zhang J J, Hao Q Y, Zhao Y 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 117106 (in Chinese) [郝志红, 胡子阳, 张建军, 郝秋艳, 赵颖 2011 物理学报 **60** 117106]
- [19] Liu R X, Zhang L N, Li X Y 2012 *Sci. China* **42** 810 [刘任晓, 张丽娜, 李学毅 2012 中国科学 **42** 810]
- [20] Feng W, Gao Z K 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 2567 (in Chinese) [封伟, 高中扩 2008 物理学报 **57** 2567]
- [21] Christoph J B, Sean E S, Christoph W N S S 2001 *Appl. Phys. Lett.* **80** 1288
- [22] Liu Z, Zhao Z F, Guo H M, Wang Y Q 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 217303 (in Chinese) [刘柱, 赵志飞, 郭浩民, 王玉琦 2012 物理学报 **61** 217303]
- [23] Einosuke K, Seiki K, Akira O, Shinji A, Shinya M 2008 *Appl. Phys. Lett.* **92** 173307
- [24] Voicu P, Gabriel B, Mark C H, Andrew G N, Alex Z 2008 *Phys. Rev. B* **78** 205321

Effect of carbon nanotubes on the properties of polymer MOPPV-PbSe quantum dot composites*

Qu Jun-Rong[†] Zheng Jian-Bang[‡] Wang Chun-Feng
Wu Guang-Rong Wang Xue-Yan

(*Shaanxi Key Laboratory of Optical Information Technology, Department of Applied Physics,
Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China*)

(Received 22 January 2013; revised manuscript received 4 March 2013)

Abstract

According to single-walled carbon nanotube good conductivity, baryon transmission performance, and high photoelectric conversion performance of quantum dot composite material, in this letter, we use in situ condensation method to prepare polymer/poly (2-methoxy, 5-oc-toxy)-1, 4-phenylenevinylene (MOPPV)-single walled carbon nanotubes/PbSe quantum dot composites and use X-ray diffraction, transmission electron microscope, UV-vis absorption spectroscopy to study their characteristics. The results indicate that MOPPV, SWNT and PbSe quantum dots can be effectively combined, especially the SWNT and MOPPV form a network structure in MOPPV matrix, and PbSe quantum dots, each with an average size of 5.75 nm, can be dispersed to form a coating or mosaic structure in the polymer substrate of MOPPV-SWNT, producing the light induced charge transfer phenomenon. The study of composite photoelectric performance shows that when the polymer MOPPV, SWNT, PbSe have their mass ratio of 1 : 0.3 : 1, the composite photoelectric performance is best: open circuit voltage is 0.556 V, short circuit current is 2.133 mA, fill factor is 34.48%, conversion efficiency is 0.452%. Compared with the polymer MOPPV-PbSe quantum dots composite materials, the optoelectronic properties are increased by 2–3 times.

Keywords: quantum dot, carbon nanotubes, composite materials, power conversion efficiency

PACS: 88.40.jp, 78.67.Hc, 75.40.Mg

DOI: 10.7498/aps.62.128801

* Project supported by the Innovation Fund of Doctoral Dissertation of Northwestern Polytechnical University, China (Grant No. CX201324).

[†] Corresponding author. E-mail: qujunrong2011@163.com

[‡] Corresponding author. E-mail: zhengjianbang@nwpu.edu.cn