综 述

共轭聚合物/C_{60}复合体系及其在光伏打电池中的应用

黄红敏, 贺庆国, 蔺洪振, 杨俊林, 白凤莲
(中国科学院 化学研究所 分子科学中心 有机固体开放实验室, 北京 100080)

摘 要: 共轭聚合物/C_{60}复合体系在有机太阳能电池中的应用引起了化学工作者的广泛兴趣. 本文介绍了共轭聚合物/C_{60}复合体系的光诱导电子转移, 以及近年来该体系在光伏打电池中的研究进展.

关 键 词: 光伏打电池; 共轭聚合物; 光诱导电子转移
文章编号: 1000-3231(2002)01-0069-09 中图分类号: O644 文献标识码: A

太阳能作为一种能源, 具有无污染、使用方便、不影响地球的生态平衡等优点, 必将成为人类能源中最为重要的组成部分. 在过去几十年中, 无机半导体太阳能电池得到了很大的发展, 但是由于它对材料纯度的要求非常高, 且价格昂贵, 因此其应用受到很大限制. 有机太阳能电池由于具有价格低廉、易于加工、适于制作大面积柔性器件等优点而备受关注. 遗憾的是单纯由有机小分子或共轭聚合物制成的太阳能电池效率只有10^{-3}—10^{-2}[1-3], 远远不能达到实用的水平. 近年来, 科研工作者发现将电子给体与电子受体以一定的形式复合, 可以显著提高光电转换的效率. 1992年, Sariciftci等人[4]发现poly(2-methoxy-5(2'-ethylhexyloxy)-1, 4-phenylene vinylene)(MEH-PPV)与C_{60}复合体系中存在着光诱导电了转移现象, 引起了人们的极大兴趣, 随之共轭聚合物/C_{60}体系在太阳能电池中的应用也得到了迅速的发展, 本文将就这方面的情况进行简要的介绍.

1 聚合物/C_{60}体系的光诱导电子转移

Hochstrasser等人[5]发现二烷基苯胺和C_{60}混合体系中存在着快速光诱导电荷转移现象, 他们认为是富勒烯吸收光能产生激子, 发生了C_{60}向苯胺的空穴转移.

收稿日期: 2001-04-20; 修回日期: 2001-04-27; 通讯联系人: 白凤莲, Tel: 010-62577367, E-mail: baifl@infoc3.icas.ac.cn
基金项目: 国家自然科学基金(29992530和50083002)及国家重点基础研究发展规划资助(G2000028200)
作者简介: 黄红敏(1974-), 男, 博士生, 主要从事光电材料及其性质研究.

Wang[6,7] 发现 C_{60} 的加入可以提高聚乙烯咔唑的光电导, 他们认为光电导增加的原因是由于给体和受体之间发生了部分电荷转移($\delta < 1$) 形成了电荷转移复合物.

Heeger 小组[4] 在对 MEH-PPV/C_{60} 复合体系的研究中发现二者在基态没有相互作用, 但是 C_{60} 对 MEH-PPV 的荧光却有很强的猝灭作用, 并提出体系中存在如图 1 所示的光诱导电子转移过程:

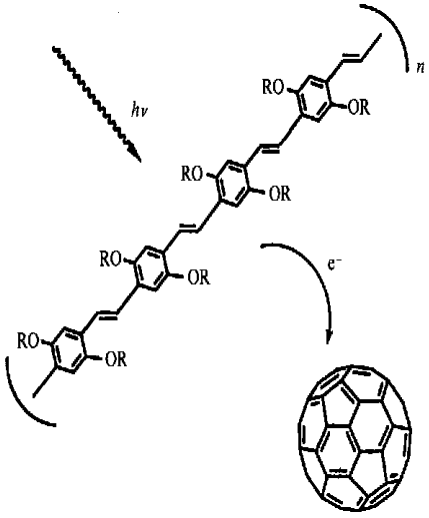


图 1 聚合物向 C_{60} 光诱导电子转移示意图

上述电子转移的过程可具体描述如下:

给体激发: $D + A \xrightarrow{h\nu} {}^{1,3}D^{*} + A$ (1)

激发态给体与受体形成激基复合物: ${}^{1,3}D^{*} + A \longrightarrow {}^{1,3}(D + A)^{*}$ (2)

引发电荷转移: ${}^{1,3}(D + A)^{*} \longrightarrow {}^{1,3}(D^{\delta+} + A^{\delta-})^{*}$ (3)

离子自由基对的形成: ${}^{1,3}(D^{\delta+} + A^{\delta-})^{*} \longrightarrow {}^{1,3}(D^{+\cdot} + A^{-\cdot})$ (4)

电荷分离: ${}^{1,3}(D^{+\cdot} + A^{-\cdot}) \longrightarrow D^{+\cdot} + A^{-\cdot}$ (5)

当共轭聚合物吸收与其能级匹配的光能时, 产生 π-π^{*} 跃迁, 即电子由价带激发至导带. 由于聚合物的导带能级高于 C_{60} 的最低空轨道能级, 聚合物导带上的电子将会进一步跃迁到 C_{60} 的最低空轨道.

共轭聚合物 C_{60} 体系的光诱导电子转移理论提出以后, 引起了科学工作者的极大兴趣, 他们采用多种实验方法, 对不同的复合体系进行深入研究, 证明了光诱导电子转移的存在.

Sariciftci 等人[4,8] 研究了 MEH-PPV、C_{60} 以及二者复合物的吸收光谱. 发现复合体系的吸收是 MEH-PPV 和 C_{60} 吸收光谱的线性叠加, 表明它们在基态时没有相互作用. 但是 C_{60} 的加入对 MEH-PPV 的荧光却有着强烈的猝灭作用, 具体表现为荧光强度大大降低, 寿命由 $\tau_0 \approx 550$ ps 减小至 $\tau_{rad} << 60$ ps, 猝灭常数大于 10^3, 电荷转移速率 $1/\tau_{CT} \approx 10^{12}$ s^{-1}, 即电荷转移时间约为皮秒级. Morita 等人[9] 在实验中发现 C_{60} 对 poly(3-octylthiophene)(P3OT) 的荧光有较强的猝灭作用. Smilowitz[10] 又研究了 C_{60} 的衍生物

PCBCa(结构见图 2)与 P3OT 的复合体系,结果同样表明基态时二者没有相互作用,而 PCBCa 对 P3OT 的激发态有强烈的猝灭作用.

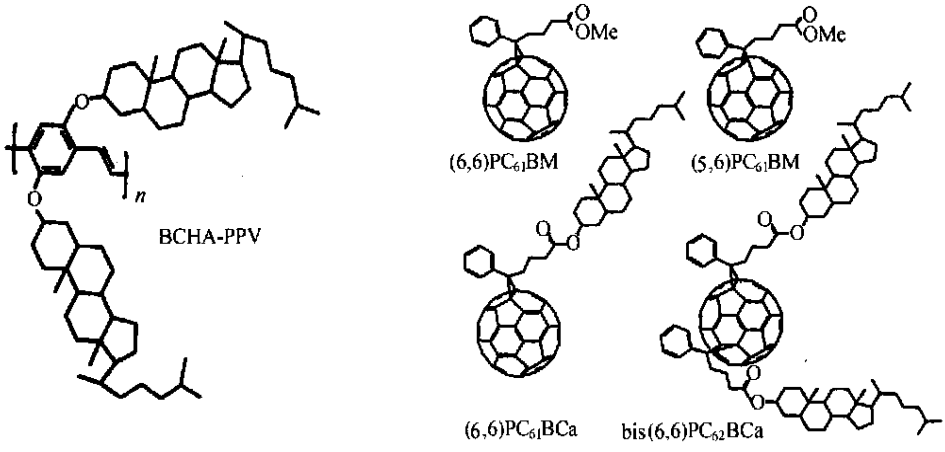


图 **2**　部分聚合物和C_{60}衍生物的分子结构

Lee[11]发现 1% C_{60}的加入就可使 P3OT 的光电流提高一个数量级,认为光诱导电子转移不仅增加了载流子的数目,而且提高了电荷分离态的稳定性,减少了复合几率.

光诱导磁共振吸收(photoinduced absorption detected magnetic resonance)实验发现 MEH-PPV 在未加入 C_{60}时激发态主要为"中性"三重激发态,C_{60}加入后三重态信号被完全猝灭,而随之出现的是 MEH-PPV^{+}和C_{60}^{-}的强顺磁信号. 这表明光诱导电子转移进行得非常快,足以抑制单重态向三重态的系间窜跃[12].

MEH-PPV、P3OT、BCHA-PPV(结构见图 2)与 C_{60}衍生物复合体系的亚皮秒光诱导吸收实验结果表明,电子转移在 1 ps 内就已经完成,电荷分离状态可持续在毫秒级的时间间隔[13].

红外光谱的研究表明,P3OT 与 C_{60}在基态没有相互作用,但是激发态 IRAV(infrared activated)振动模式吸收强度大大提高,并且观察到了 C_{60}^{-}的振动吸收[14].

LESR[4,10,15](light induced electron spin resonance)为电荷分离态的存在提供了有力的证据. 在 P3OT 与 C_{60}的复合体系中,检测到了 g= 1.99 和 g= 2.00 两个信号,它们分别归属于 C_{60}^{-}阴离子和 P3OT 阳离子自由基. poly(2-methoxy-5-(3', 7'-dimethyloctyloxy)-1, 4-phenylenevinylene)(MDMO-PPV/C_{60})体系中也检测到 g= 1.999 5 和 g= 2.002 5 两个信号,同样分别归属于 C_{60}^{-}阴离子和 MDMO-PPV 阳离子自由基.

上述实验结果表明,复合体系中存在着聚合物向 C_{60}的光诱导电子转移,转移的过程在 1 皮秒内就可完成. 电子转移的结果形成了 C_{60}^{-}阴离子和聚合物阳离子自由基,且能够比较稳定地存在.

2　基于共轭聚合物/C_{60}复合体系的太阳能电池

有机半导体在光照下产生电子-空穴对,它在具有不同电子亲合势和电离势的材料界

面上发生分离. 在电场作用下电子、空穴分别迁移到不同功函电极上进行收集, 产生光电效应. 在共轭聚合物/C_{60}的复合体系中, 由于共轭聚合物和 C_{60}之间的超快光诱导电子转移, 其速率比激发态的辐射及非辐射跃迁过程快 10^3 倍[4], 使得电荷分离的效率接近 100%, 且电荷分离态比较稳定, 寿命较长, 这对于减少电子与空穴的复合几率, 提高有机太阳能电池的效率具有重要意义.

伴随着共轭聚合物和 C_{60}之间的光诱导电子转移的现象发现及理论研究, 科学工作者利用太阳能, 积极探索了复合体系在光电器件中的应用研究.

1993 年, Yamashita[16] 以四硫富瓦烯(TTF) 为电子给体, C_{60}为受体制得双层结构的器件, 其结构如图 3 所示:

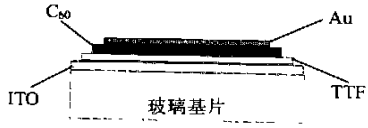


图 **3** 器件结构示意图

研究发现 Au/ C_{60}/ TTF/ Au、ITO/ C_{60}/ TTF/ Au 光电二极管在暗处没有整流效应, 但在光照条件下却能够表现出较大的整流比和光电流.

Yoshino[17,18] 研究了 P3OT/ C_{60}双层异质结的性能, 并且进一步对器件进行改进, 提出了一个 3 层的结构: D/ M/ A. 其中 D 为电子给体, A 为电子受体, M 为吸光层. 他们认为这种结构对电子转移更为有利, 被称为 PDB(polarization double barrier), 结构见图 4.

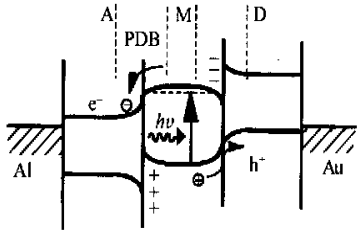


图 **4** PDB 结构示意图

Kallinger[19] 在共轭聚合物 Ladder-type poly(p-phenylene) (LPPP) 和 C_{60}间加入 polyallylamine hydrochloride(PAH)/ polystryrenesulfonate(SPS) 作为空间层, 发现空间层厚度越大, 聚合物的荧光就越强. 这是由于激子的扩散距离只有十几纳米, 随着空间层厚度的增加, 激子越来越难以扩散到异质结进行解离, 因而导致 C_{60}对聚合物荧光的猝灭作用减弱.

Sariciftci[20] 对 ITO/ MEH-PPV/ C_{60}/ Au 器件的光电性能进行了深入的研究, 发现其整流比最大可达 10^4, 并且证明了器件的整流效应来自 C_{60}和共轭聚合物界面的异质结. 得到光电池的 V_{oc} = 0. 44 V, I_{sc} = 2. 08 × 10^{-6} A/ cm^2, FF = 0. 48, 能量转换效率为 0. 04%.

激子在异质结处发生电荷分离的效率接近于 100%, 但是目前双层或多层结构光电

池的效率仍然远远小于 1. Heeger 认为制约效率提高的因素主要有两个方面: 一是激子扩散的限制. 激子只有在电子给体和受体的界面即异质结处才能发生电荷分离, 而其扩散距离往往只有几到十几纳米, 因此光照层产生的激子大多在未到达异质结之前就已经复合. 二是分离电荷必须在电极上被收集才有效, 即能量转换效率还要受到载流子收集效率的限制, 这种双层或多层膜结构不利于载流子的传输与收集, 因此光电效率比较低. 基于上述原因, 他们采用了一种新的互穿网络(interpenetrating network) 结构, 其结构如图 5 所示:

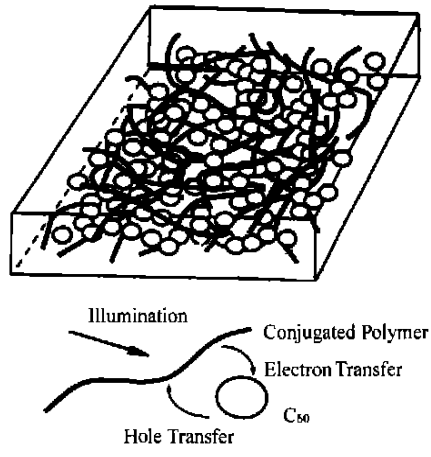


图 5　互穿网络结构示意图

这种结构增大了给、受体界面, 使异质结更加分散, 减小了激子的扩散距离, 更多的激子得以到达界面进行电荷分离, 这种异质结被称作体相异质结(bulk-heterojunction) . 另外, 在这种互穿网络中, 空穴可以通过供体网络传输到高功函的电极(如 ITO、Au) , 电子通过受体网络传输到低功函的电极(如 Al、Mg 等) , 更有利于载流子的传输与收集. 1995 年 Yu[21] 制得 MEH-PPV/C_{60}互穿网结构的太阳能电池, 电荷收集效率达 29%, 能量转换效率为 2. 9% , 二指标均较双层或多层膜结构有了很大提高.

近年来, Brabec[22-24] 等人用 PET 取代玻璃制作大面积柔性太阳能电池, 发现器件的效率并没有降低, 复合体系中掺入适量(约 10%) 其它聚合物, 如 polystyrene(PS) 、polyvinylcarbazole(PVK) 、polyvinylbenechloride(PVBC) 、polycarbonate(PC) , 也可在不影响器件效率的条件下改善其成膜性能. 他们发现通过将共轭聚合物/C_{60}体系掺杂于其它聚合物中, 可以减小共轭聚合物的链间作用, 增强稳定性, 改善其加工性能, 调节体系成膜后的形貌, 并可利用主体聚合物来改善体系电荷传输性能.

3　有关材料的研究现状及展望

在研究复合体系结构对器件性能影响的同时, 化学工作者也从材料的角度出发, 探索不同的共轭聚合物和C_{60}衍生物在器件中的应用, 以求获得综合性能良好的光电器件.

3.1 共轭聚合物

共轭聚合物可以通过掺杂使其电导率在绝缘体-半导体-金属范围内变化, 具有金属和半导体的电学性质与光学性质, 此外还具有高分子的分子结构多样化、易于加工以及比重小等优点. 因此, 在制作大面积柔性太阳能电池方面, 共轭聚合物具有非常好的应用前景.

TTF 与 C_{60}的复合体系[16]较早被用于光电器件的研究, 在光照条件下, 表现出较大的整流效应和光电流. 聚苯胺[5]是一类性能优良的导电高分子, 它们与 C_{60}的复合体系也被用于光电转换的研究, 但利用这些体系都没有得到令人满意的效率. PPV[25, 26]具有较好的空穴传输性能, 它与 C_{60}的复合体系得到了广泛的研究, 光电效率较高, 但是由于其溶解性差, 限制了它在大面积光电器件中的应用. 其衍生物 MDMO-PPV、MEH-PPV 等[4, 8, 21, 23, 24]在普通溶剂中具有较好的溶解性, 并且易于成膜, 更适于器件的制作. 其中 MEH-PPV/C_{60}之间的光诱导电子转移现象较早被发现并在光电池中得到应用, 其光电转换效率为 2.9%, 是效率最高的有机太阳能电池之一; 利用 MDMO-PPV/C_{60}体系制作的大面积柔性太阳能电池的电荷收集效率达 20%, 能量转换效率超过 1%. 聚噻吩及其衍生物也是近年来在有机太阳能电池中研究较多的一类共轭聚合物, 其中研究较多且性能好的有 poly(3-alkylthiophene)(P3AT)[22, 24]等. 它与 C_{60}复合体系器件的能量转换效率达 1.5%, 在不同的聚噻吩衍生物中 P3OT 比双烷氧基取代的衍生物, 如 poly(3, 4-dihexyloxythiophene)(PDHT), 具有更强的给电子能力和更高的光电效率.

作为一种好的有机太阳能电池材料, 除了具有良好的溶解性和加工性能以外, 还应当有以下的特点: 这类聚合物有较宽的 π-π^* 带隙, 在基态是弱的电子给体, 但激发态容易发生向受体的电子转移; 生成的阳离子自由基能够在共轭聚合物链上离域, 可以较稳定地存在; 具有高的载流子迁移率; 吸收光谱范围宽, 吸收系数大. 这些特点对于充分吸收太阳能, 提高光电转移效率具有重要的意义.

从共轭聚合物材料的角度考虑, 如何通过结构修饰(衍生物、接枝、共聚等)来调节其链结构及能级, 以得到性能更加优良的有机半导体光电材料, 是对材料化学工作者提出的一个挑战.

3.2 C_{60}及其衍生物

Tang[27]用两种不同的有机化合物作为电子给体和受体, 研究了其复合体系的光电器件, 发现能量转换效率较单一有机半导体光电器件有很大的提高. 但是有机半导体接受电子的能力不强, 且电子传输能力较差, 因而限制了器件效率的进一步提高.

C_{60}具有三维共轭结构完美的对称性和小的重组能, 以其独特的结构和性能引起了光电科学工作者的极大兴趣. 作为一个好的电子受体, 它最多可以接受六个电子. C_{60}相对于共轭聚合物有高的电子亲合势和电离势, 以及较好的电子传输能力, 因此它作为电子受体与共轭聚合物复合可以使有机太阳能电池的效率更高. 1992 年 Sariciftci[4]将 C_{60}作为电子受体与共轭聚合物电子给体复合, 大大提高了光伏打电池的电荷分离和能量转换效率. 但是由于 C_{60}在常用有机溶剂中的溶解度较小, 其应用受到很大限制. Gao[28]发现1, 2-二氯苯对 C_{60}具有较好的溶解性, 可得到较高的 C_{60}/聚合物浓度比. 总的来讲, 由于 C_{60}在

有机溶剂中的溶解性差, 成膜过程中易结晶, 难以实现高的掺杂浓度, 因此限制了其加工性能和光电转换效率的进一步提高. Saricifici 等人[23,24] 采用了不同的 C_{60}衍生物, 如 1-(3-methoxycarbonyl)-propyl-1-phenyl-(6,6) C_{61}(PCBM)(结构见图 2) 等, 发现它们具有较好的溶解性, 在聚合物中的掺杂浓度大大提高, 甚至可达 80%, 且更加易于成膜, 且使两组分混合均匀, 减小了单组分的聚集和相分离, 有利于互穿网结构即体相异质结的形成, 提高了光电转换的效率. Fromherz[29] 研究了 C_{60}及其不同衍生物对器件性能的影响, 在 C_{60}、PCBM 单加成及多加成产物与 MDMO-PPV 的复合体系中, 器件的开路电压均为 0.72 V, 但 PCBM 单加成产物在三者中却具有最大的短路电流, 其次为 C_{60}, 多加成产物最小. 另外, Feldrapp 等[26] 将 C_{60}做成树枝状结构以改善其溶解性能, 也得到了较好的结果.

除了 C_{60}及其衍生物以外, 科学工作者也在不断探索其它的电子受体, 近年来已经有人将碳纳米管与聚合物的复合体系用于光电转换的研究[30].

4　结束语

共轭聚合物/C_{60}复合可使体系电荷分离的效率接近 1, 兼之具有制作大面积柔性器件的特点, 因此在光伏打电池领域有着非常好的应用前景. 目前 Linz 大学等已利用这类体系成功地制作了大面积柔性太阳能电池(6×6 cm, 15×10 cm)[31], 但其能量转换效率仅为 3% 左右, 较无机半导体光伏打电池还有很大差距. 为了提高其效率, 进一步的研究工作应当涉及以下几个方面: 对共轭聚合物进行结构修饰, 使其吸收尽可能与太阳光谱匹配, 且具有大的吸光系数; 使共轭聚合物和 C_{60}的能级更为匹配, 增强光诱导电子转移; 提高共轭聚合物和 C_{60}衍生物的载流子传输能力; 优化复合材料的结构, 增大异质结界面的面积, 使电荷的分离和传输更为有利; 此外, 还应注意电极材料与共轭聚合物和 C_{60}的能级匹配, 以形成欧姆接触, 提高电荷收集效率.

参考文献:

[1] Karg S, Riess W, Dyakonov V, *et al*. Electrical and optical characterization of poly(phenylene-vinylene) light emitting diodes[J]. *Synth. Met.*, 1993, **54**: 427.

[2] Yu G, Zhang C, Heeger A J. Dual-function semiconducting polymer devices: light emitting and photodetecting diodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**: 1540.

[3] Yu G, Pakbaz K, Heeger A J. Semiconducting polymer diodes: large size, low cost photodetectors with excellent visible-ultraviolet sensitivity[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**: 3422.

[4] Saricifici N S, Smilowitz L, Heeger A J, *et al*. Photoinduced electron transfer from a conducting polymer to Buckminsterfullerene[J]. *Science*, 1992, **258**: 1474.

[5] Sension R J, Szarka A Z, Smith G R, *et al*. Ultrafast photoinduced electron transfer to C_{60}[J]. *Chem. Phys. Lett.*, 1991, **185**: 179.

[6] Wang Y. Photoconductivity of fullerene-doped polymers[J]. *Nature*, 1992, **356**: 585.

[7] Wang Y. Photophysical properties of fullerene and fullerene/N, N-diethylaniline charge-transfer complexes[J]. *J. Phys. Chem.*, 1992, **96**: 764.

[8] Sariciftci N S, Smilowitz L, Heeger A J, *et al*. Semiconducting polymers (as donors) and Buckminsterfullerene (as acceptor): photoinduced electron transfer and heterojunction devices[J]. *Synth. Met.*, 1993, **59**: 333.

[9] Morita S, Zarkhidov A A, Yoshino K. Doping effect of Buckminsterfullerene in conducting polymer: change of absorption spectrum and quenching of luminescence[J]. *Solid State Commun.*, 1992, **82**: 249.

[10] Smilowitz L, Sariciftci N S, Wu R, *et al*. Photoexcition spectroscopy of conducting polymer-C_{60} fullerene composites: photoinduced electron transfer[J]. *Phys. Rev., B: Condens. Matter.*, 1993, **47**: 13835.

[11] Lee C H, Yu G, Sariciftci N S, *et al*. Sensitization of the photoconductivity of conducting polymers by C_{60}: photoinduced electron transfer[J]. *Phys. Rev., B: Condens. Matter.*, 1993, **48**: 15425.

[12] Wei X, Vardeny Z V, Sariciftci N S, *et al*. Absorption-detected magnetic resonance studies of photoexciton in conjugated-polymer/C_{60} composites[J]. *Phys. Rev., B: Condens. Matter.*, 1996, **53**: 2187.

[13] Kraabel B, Mcbranch D, Sariciftci N S, *et al*. Ultrafast spectroscopic studies of photoinduced electron transfer from semiconducting polymers to C_{60}[J]. *Phys. Rev., B: Condens. Matter.*, 1994, **50**: 18.

[14] Lee K H, Janssen R A J, Sariciftci N S, *et al*. Direct evidence of photoinduced electron transfer in conducting polymer-C_{60} composites by infrared photoexcitation spectroscopy[J]. *Phys. Rev., B: Condens. Matter.*, 1994, **49**: 5781.

[15] Sariciftci N S, Heeger A J. Conjugated polymer-acceptor heterojunctions; diodes, photodiodes and photovoltaic cells [J]. *Int. J. Mod. Phys. B*, 1994, **8**: 237.

[16] Yamashita Y, Takashima W, Kaneto K. Characteristics of heterojunction diode of fullerene (C_{60})/tetrathiafulvalene (TTF)[J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1993, **32**: L1017.

[17] Morita S, Zakhidov A A, Yoshino K. Wavelength dependence of junction characteristics of poly(3-alkylthiophene)/C_{60} fullerene layer[J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1993, **32**: L873.

[18] Zakhidov A A, Taka K, Yoshino K. Organic multilayered photocell with enhanced separation of charges at polarization double barriers[J]. *Synth. Met.*, 1995, **71**: 2113.

[19] Kallinger C, Handeer M, Haugeneder A, *et al*. Control of electron transfer in conjugated polymer/fullerene heterostructures[J]. *Synth. Met.*, 1999, **101**: 285.

[20] Sariciftci N S, Broun D, Zhang C, *et al*. Semiconducting polymer-Buckminsterfullerene heterojunctions: Diodes, photodiodes and photovoltaic cells[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, **62**: 585.

[21] Yu G, Gao J, Hummelon J C, *et al*. Polymer photovoltaic cells: Enhanced efficiencies via a network of internal Donor-Acceptor heterojunctions[J]. *Scienœ*, 1995, **270**: 1789.

[22] Johansson H, Brabec C J, Neugebauer H, *et al*. Photoinduced FT-IR spectroscopy of conjugated polymer/fullerene composites embedded into conventional host polymer matrices[J]. *Synth. Met.*, 1999, **101**: 192.

[23] Brabec C J, Padinger F, Hummelen J C, *et al*. Realization of large area flexible fullerene-conjugated polymer photocells: a route to plastic solar cells[J]. *Synth. Met.*, 1999, **102**: 861.

[24] Brabec C J, Johansson H, Padinger F, *et al*. Photoinduced FT-/IR spectroscopy and CW-photocurrent of conjugated polymers and fullerenes blended into conventional polymer matrices[J]. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2000, **61**: 19.

[25] Halls J J M, Pichler K, Friend R H, *et al*. Exciton dissociation at a poly(p-phenylenevinylene)/C_{60} heterojunction[J]. *Synth. Met.*, 1996, **77**: 277.

[26] Feldrapp K, Brutting W, Schwoerer M, *et al*. Photovoltaic effect in blend systems and heterostructures of poly(p-phenylenevinylene)[J]. *Synth. Met.*, 1999, **101**: 156.

[27] Tang C W. Two-layer organic photovoltaic cell[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1986, **48**: 183.

[28] Gao J, Hide F, Wang H. Efficient photodetectors and photovoltaic cells from composites of fullerenes and conjugated polymers: photoinduced electron transfer[J]. *Synth. Met.*, 1997, **84**: 979.

[29] Fromherz T, Padinger F, Gebeyehu D, *et al*. Comparison of photovoltaic devices containing various blends of polymers and fullerene derivates[J]. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2000, **63**: 61.

[30] Ago H, Petritsch K, Shaffer M S P, *et al*. Composites of carbon nanotubes and conjugated polymers for photovoltaic devices[J]. *Adv. Mater.*, 1999, **11**: 1281.

[31] Sariciftci N S. Polymeric photovoltaic materials. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*[J], 1999, **4**: 373.

CONJUGATED POLYMER/C_{60} COMPOSITES AND THEIR APPLICATION IN PHOTOVOLTAIC CELLS

HUANG Hong-min, HE Qing-guo, LIN Hong-zhen, YANG Jun-lin, BAI Feng-lian

(Laboratory of Organic Solids, Center for Molecular Science, Institute of Chemistry, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, P. R. China)

Abstract: The composites of conjugated polymer/C_{60} system have attracted much interest in the field of organic solar cells. Studies on photoinduced electron transfer and recent advancements of conjugated polymer/C_{60} composites in photovoltaic cells are reviewed.

Key words: photovoltaic cell; conjugated polymer; photoinduced electron transfer

Corresponding author: BAI Feng-lian