



论文

向列相液晶 4-氰基-4'-庚基联苯和 4-氰基-4'-戊基联苯在准固态染料敏化太阳能电池中的应用

王猛, 潘旭, 郭磊, 李文欣, 霍志鹏, 戴松元*

中国科学院新型薄膜太阳能电池重点实验室, 中国科学院等离子体物理研究所, 合肥 230031

*通讯作者, E-mail: sydai@ipp.ac.cn

收稿日期: 2010-12-04; 接受日期: 2010-12-31; 网络版发布日期: 2011-04-19

doi: 10.1360/032010-898

摘要 将两种向列相液晶, 4-氰基-4'-庚基联苯和 4-氰基-4'-戊基联苯, 引入到染料敏化太阳能电池(DSC)用偏氟乙烯-六氟乙烯共聚物基准固态电解质中, 以期提高 DSC 的光电转化效率. 研究了液晶的引入对电解质中 Γ/I_3^- 的氧化还原行为、DSC 中 TiO_2 /电解质界面的暗反应以及 DSC 光伏性能的影响. 结果表明, 尽管液晶的引入会降低电解质中 Γ/I_3^- 的传输并且使得 DSC 中暗反应加快, 但是 DSC 的短路电流密度却显著地提高, 使 DSC 的光电转化效率增加. 这可能是由于液晶的引入改善了 DSC 中的界面接触以及增加染料的光吸收引起的.

关键词染料敏化太阳能电池
准固态
液晶

1 引言

染料敏化太阳能电池(以下简称 DSC)^[1]自 1991 年取得重大突破以来, 因其低成本、易制作等优点而引起学术界和产业界的广泛关注, 并取得了巨大的成果. 含有 Γ/I_3^- 的电解质是 DSC 的重要组成部分^[2, 3], 直接决定着 DSC 的光伏性能以及稳定性. 目前基于常规有机液体电解质的 DSC 的光电转化效率已经超过 11%^[4]. 然而液体电解质的易挥发、易泄漏等特点使得其在 DSC 中应用时会造成 DSC 的电极腐蚀、稳定性降低等问题^[5]. 因此大量的研究致力于研发其他种类的电解质以代替 DSC 用液体电解质. 例如, 离子液体基电解质^[6], 基于聚合物^[7]、纳米颗粒^[8]、小分子凝胶的准固态电解质^[9]以及基于空穴传输材料的全固态电解质. 其中准固态电解质因其独特的高效率和相对稳定等优点受到广泛关注. 然而, 液体电解质被固化后不可避免地会对 DSC 的光伏性能造成负面的影响. 因此, 提高基于准固态电解质的 DSC 的光伏性能成为 DSC 研究领域的重要方向之一.

液晶介于液体和固体之间, 既具有液体的流动性同时又具固体的取向有序的性质, 在有机催化合成、构建功能纳米材料^[10]以及聚合物分散液晶显示^[11]等方面有着广泛应用. 近年来一些研究表明, 当液晶引入到 DSC 用电解质中时可以提高电解质的电导率, 故而提高 DSC 的光伏性能^[12]. 此外, 液晶的光散射性质也有利于 DSC 中染料的光吸收. 本文中, 我们将向列相的液晶引入到基于偏氟乙烯-六氟乙烯共聚物(PVDF)的聚合物凝胶电解质中并组装成 DSC, 利用循环伏安法研究了液晶的引入对聚合物凝胶电解质中 Γ/I_3^- 的电化学行为的影响; 利用暗态伏安以及电化学阻抗研究了 DSC 中 TiO_2 /电解质界面的暗反应; 最后研究了液晶的引入对 DSC 光伏性能的影响并对其作用原理进行了分析.

2 实验部分

2.1 试剂

无水碘化锂、单质碘、*N*-甲基苯并咪唑(NMBI)、

向列相液晶(4-氰基-4'-庚基联苯(7CB)和 4-氰基-4'-戊基联苯(5CB))(见图 1)购买于 Fluka 公司. 1-丙基-3-甲基咪唑碘(MPII)是利用 1-甲基咪唑(Aldrich)和碘丙烷(Fluka)通过季铵化反应制备, 其纯度经 $^1\text{H NMR}$ 证实符合要求, 聚合物凝胶剂 PVDF 从 Solvay 购买.

2.2 电解质的制备

液体电解质 A(用作参照)以乙腈为溶剂, 包含 1.0 mol L^{-1} MPII、 0.10 mol L^{-1} I_2 、 0.10 mol L^{-1} LiI 以及 0.45 mol L^{-1} NMBI. 向液体电解质 A 中加入质量分数为 10% 的 PVDF, 并在 80°C 下持续搅拌 12 h, 冷却至室温则形成 PVDF 基聚合物凝胶电解质 B. 分别向聚合物凝胶电解质 B 中加入质量分数为 20% 的向列相液晶 4-氰基-4'-庚基联苯(7CB)和 4-氰基-4'-戊基联苯(5CB)并在 80°C 下持续搅拌 12 h, 冷却至室温则形成准固态电解质 C 和 D.

2.3 DSC 的制作

DSC 参照文献[13]制作, 其中 TiO_2 的薄膜厚度为 $10 \mu\text{m}$, 同时覆盖一层约 $3 \mu\text{m}$ 厚的大颗粒(400 nm)散射层. 染料是 N719, 电池有效面积为 0.25 cm^2 .

2.4 测试方法

电解质的结构通过场发射扫描电子显微镜(Sirion 200, FEI)来观察. 电解质的循环伏安图是通过电化学工作站(CHI660A, CH Instruments, Inc. Austin, TX)来测量: 循环伏安测量采用两电极体系, 以半径为 $5 \mu\text{m}$ 的铂超微圆盘电极(CHI107)作工作电极, 半径为 1 mm 的铂圆盘电极作为对电极和参比电极, 采用 5 mV s^{-1} 扫描速率以获得稳态伏安特性曲线. 电导率参照文献测量^[9]. 电池的电化学阻抗谱图是在暗态下采用 IM6e(Zahner, Germany)测量, 频率范围是 $20 \text{ MHz} \sim 1000 \text{ kHz}$, 偏压 -0.67 V . 测量结果通过选择合适的等效电路用 Z-View 软件进行拟合. DSCs 的 $I-V$ 特性曲线的测试是利用太阳模拟器(solar AAA simulator, oriel USA)和美国 Keithley 2420

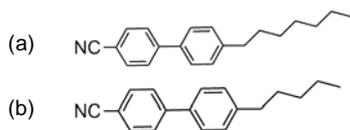


图 1 向列相液晶 (a) 4-氰基-4'-庚基联苯、(b) 4-氰基-4'-戊基联苯的分子结构式

型数字源表, 通过 Testpoint 伏安特性测试软件自动完成性能的测试和数据输出. IPCE 测试采用 Newport 公司的 IPCE 测试系统完成, 所有的部件和整个测量过程由 Oriel[®] Tracq Basic V5.0 软件控制自动进行.

3 结果与讨论

3.1 电解质中 I_3^-/I^- 的氧化还原行为的研究

图 2 是不同电解质中 I_3^-/I^- 的稳态伏安曲线. I_3^- 和 I^- 的表观扩散系数(D)可以由电解质的阴极和阳极的稳态电流并经下面公式计算得到^[14, 15]:

$$I_s = 4nFDrc \quad (1)$$

其中 n 为电子转移数, F 为法拉第常数, c 是体积摩尔浓度, r 是超微电极的半径. 表 1 列出了 I_3^- 和 I^- 在不同电解质 A-D 中的表观扩散系数. 图 2 和表 1 的结果表明: 准固态电解质(B-D)中的 I_3^- 和 I^- 的质量传输低于液体电解质; 当液晶 7CB 和 5CB 分别引入到聚合物凝胶电解质中时, I_3^- 的扩散系数从 $5.34 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ 分别降到了 4.22×10^{-6} 和 $4.35 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$; I^- 的扩散系数则从 $3.70 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ 分别降到了

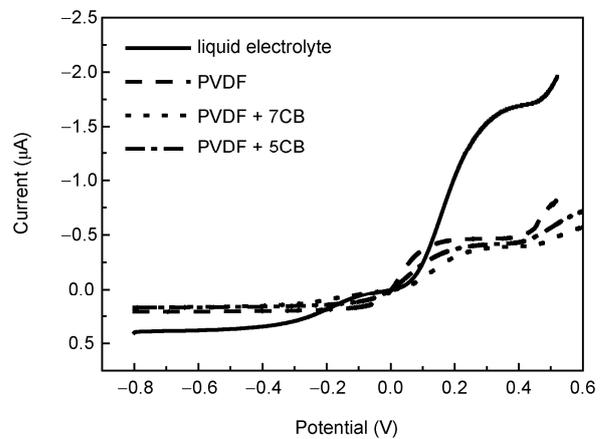


图 2 不同电解质的稳态伏安曲线

表 1 不同电解质中 I_3^- 和 I^- 的表观扩散系数

电解质	$I_s(\text{I}_3^-)$ (10^{-7} A)	$D(\text{I}_3^-)$ ($10^{-6} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	$I_s(\text{I}^-)$ (10^{-7} A)	$D(\text{I}^-)$ ($10^{-6} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
A	3.81	9.87	16.2	12.6
B	2.06	5.34	4.75	3.70
C	1.63	4.22	4.03	3.14
D	1.68	4.35	4.31	3.36

注: (A) 液体电解质(liquid electrolyte); (B) PVDF; (C) PVDF+7CB; (D) PVDF+5CB

3.14×10^{-6} 和 $3.36 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. 也就是说具有各向异性的液晶分子引入到聚合物凝胶电解质中时会降低准固态电解质中 Γ/I_3^- 的传输.

先前的研究表明^[15], 在基于 PVDF 的准固态电解质中, 聚合物 PVDF 形成 3D 的网状结构(如图 3), 溶剂分子通过分子间作用力填充在聚合物的网状结构中, 形成准固态电解质. 此外这种 3D 网状结构的存在还有利于加快电解质中的 Grotthus-like 交换反应, 因此尽管基于 PVDF 的聚合物凝胶的电解质的黏度非常大, 但是 Γ/I_3^- 的扩散系数并没有急剧下降. 当液晶化合物 7CB、5CB 引入到聚合物凝胶电解质后, 液晶分子填充在聚合物的网络结构中形成微米级或者亚微米级的液晶微滴. 由于 7CB、5CB 对于电解质中的 I_3^- 、 Γ 不溶解, 因此这种液晶小微滴的存在阻碍了准固态电解质中 Γ/I_3^- 的扩散传输使得对应的扩散系数有所降低. 这与电导率测定的结果一致(见表 2).

3.2 DSC 中 TiO_2 /电解质界面暗反应的研究

图 4 是室温下基于不同电解质的 DSC 在暗态、偏压为 -0.67 V 下的电化学阻抗谱图. Nyquist 图中三个半圆弧分别对应着 DSC 中 Pt 对电极/电解质界面、 TiO_2 /电解质界面的界面转移反应以及电解质中的扩散电阻^[16]. 这里我们主要关注 TiO_2 /电解质界面的电子转移反应. 经选用合适的等效电路对其进行拟合后发现: 基于 PVDF 基聚合物凝胶电解质的 DSC 中 TiO_2 /电解质界面的界面反应电阻为 33.9Ω ; 当液晶化合物 7CB、5CB 引入到聚合物凝胶电解质后, 对应的界面反应电阻分别为 25.5Ω 和 24.0Ω . 这些结果表明, 当液晶化合物引入到聚合物凝胶电解质中并应用于 DSC 时会使得 TiO_2 /电解质界面的界面反应电阻减小, 复合反应加快. 由于液晶的引入会降低电解质

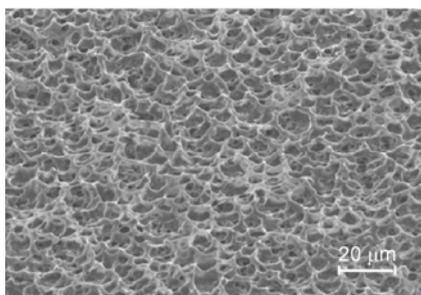


图 3 基于 PVDF 的聚合物凝胶电解质的 FE-SEM 图片

表 2 不同电解质的电导率

电解质	A	B	C	D
电导率($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)	34.53	28.21	24.64	25.21

注: (A) 液体电解质(liquid electrolyte); (B) PVDF; (C) PVDF + 7CB; (D) PVDF+5CB

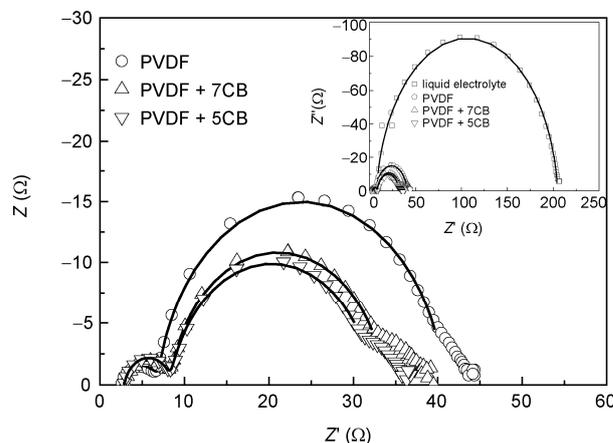


图 4 基于不同电解质的 DSC 的电化学阻抗谱. 数据点表示实验结果, 实线表示拟合值

中 I_3^- 的扩散系数, 使得 TiO_2 /电解质界面的 I_3^- 向 Pt 对电极的扩散速率降低, 从而加快了 DSC 中的暗反应.

线性伏安扫描法也可以用来研究 DSC 中 TiO_2 /电解质界面的暗反应. 图 5 是基于不同电解质的 DSC 在暗态下的线性伏安扫描曲线. 从图 5 中可以看出当液晶引入到聚合物凝胶电解质中时会使得对应的 DSC 的暗电流有所增加, 这与电化学阻抗谱的结果相一致.

3.3 DSC 光伏性能的研究

图 6 是基于不同电解质的 DSC 在光强为 100 mW cm^{-2} 下的 $I-V$ 曲线, 对应的 DSC 的光伏性能参数列于表 3 中. 从图 6 和表 3 可以看出, 当液晶引入到 PVDF 基聚合物凝胶电解质中后, 对应的 DSC 的开路电压(V_{oc})以及填充因子(FF)略有降低, 但是对应的 DSC 的短路电流密度(J_{sc})却显著增加, 使得对应 DSC 的光电转化效率(η)提高了约 10%. 图 7 是基于不同电解质的 DSC 的 IPCE 曲线. 从图 7 可以看出当液晶 7CB、5CB 引入到 PVDF 基聚合物电解质中并应用于 DSC 时使得 DSC 的 IPCE 显著增加, 甚至于超过了基于液体电解质的 DSC 的 IPCE 值.

一般来说, 从热力学角度来讲, DSC 的 V_{oc} 取决

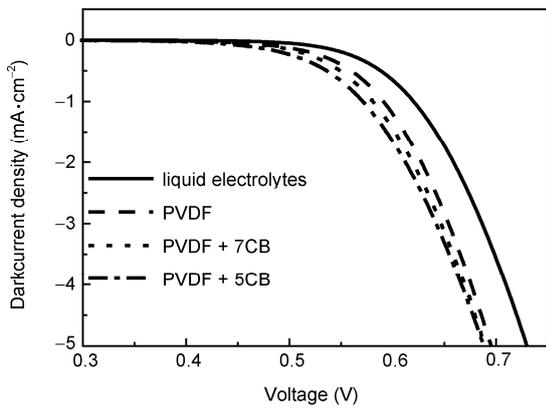


图5 基于不同电解质的 DSC 的暗电流-电压曲线

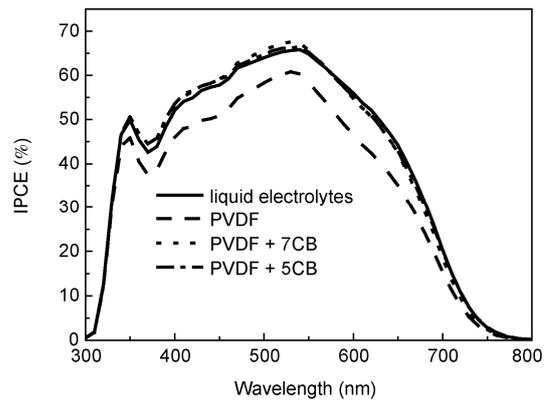


图7 基于不同电解质的 DSC 的 IPCE 曲线

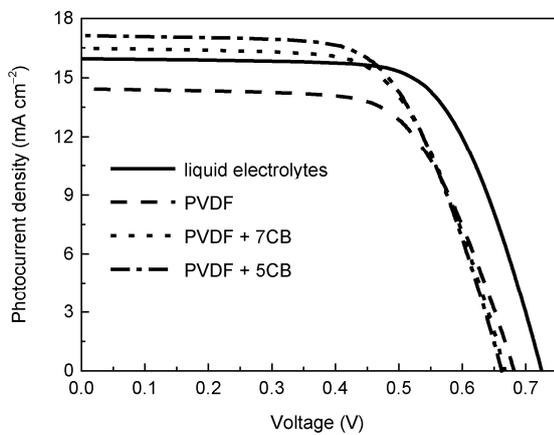


图6 基于不同电解质的 DSC 的光电流-电压曲线

表3 基于不同电解质的 DSC 的光伏性能参数

电解质	J_{sc} (mA cm^{-2})	V_{oc} (V)	FF	η (%)
A	16.06 ± 0.60	0.725 ± 0.010	0.674 ± 0.010	7.76 ± 0.12
B	14.34 ± 0.42	0.682 ± 0.008	0.683 ± 0.006	6.66 ± 0.14
C	16.50 ± 0.51	0.667 ± 0.013	0.666 ± 0.005	7.44 ± 0.20
D	17.09 ± 0.85	0.662 ± 0.010	0.648 ± 0.016	7.34 ± 0.11

注: (A) 液体电解质(liquid electrolyte); (B) PVDF; (C) PVDF + 7CB; (D) PVDF+5CB

于纳米 TiO_2 薄膜的费米能级与电解质中氧化还原电对电势的差值^[17]; 同时它还受到动力学因素的限制, 即 TiO_2 薄膜导带中的电子与电解质中 I_3^- 的复合^[9]. 当液晶分子 7CB、5CB 引入到 PVDF 基聚合物凝胶电解质中时, 由于联苯氰类的液晶中不含能与 TiO_2 作用的原子或基团, 因此其对 TiO_2 导带的影响微乎其微. 所以 V_{oc} 的变化主要受动力学控制, 即 TiO_2 薄膜导带中的电子与电解质中 I_3^- 的复合. 由于液晶的引入会

加快 DSC 中的暗反应, 因而使得对应的 DSC 的 V_{oc} 有所降低. 此外, 由于液晶的引入会造成电解质中电导率的降低以及 TiO_2 薄膜导带中的电子与电解质中 I_3^- 的复合反应的加快, 因而使得 DSC 中的串联电阻增加而并联电阻减小, 造成了 DSC 的 FF 有所减小^[18].

从图 6 和表 2 还可以看出, 液晶的引入对 DSC 的效率的提高作用主要是由于 J_{sc} 的提高所引起的. 为了具体研究液晶对 J_{sc} 的影响, 我们首先测量了 DSC 的 J_{sc} 随光强的变化关系, 如图 8 所示. 显然 DSC 的 J_{sc} 均与入射光强度呈线性关系变化, 这表明 DSC 的 J_{sc} 并不受电解质中 Γ/I_3^- 的传输的控制. 也就是说尽管液晶的引入会降低电解质中 I_3^-/Γ 的传输, 但是并没有降低 DSC 的 J_{sc} , 反之却使 J_{sc} 有明显的增加. 相对于 PVDF 基准固态电解质, 液晶的引入可以加强电解质向 TiO_2 多孔薄膜的渗透, 改善 TiO_2 多孔薄膜和电解质的界面接触^[12], 提高染料的再生速率, 因而能够提高 DSC 的 J_{sc} .

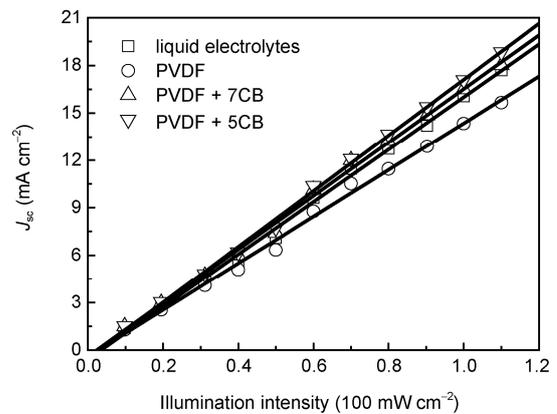


图8 基于不同电解质的 DSC 的 J_{sc} 随入射光强的变化曲线

但是从图 6、表 2 以及图 7 可以看出, 当液晶引入到 PVDF 基准固态电解质中并应用于 DSC 时, 其 J_{sc} 和对应的 IPCE 比基于液体电解质的 DSC 的还要高, 这说明可能还有其他方面的因素会造成 J_{sc} 的升高. 根据先前的报道, J_{sc} 的表达式可以由下式计算得到^[19]:

$$J_{sc} = \int qF(\lambda)[1-r(\lambda)]IPCE(\lambda)d\lambda \quad (2)$$

其中 q 为电子电量, $F(\lambda)$ 是波长为 λ 时入射光的光通量, $r(\lambda)$ 是入射光到达 TiO_2 薄膜前的光损失. 从方程式(2)中可以看出, J_{sc} 主要取决于 IPCE 的变化. IPCE 的表达式如下^[20]:

$$IPCE(\lambda) = LHE(\lambda)\phi_{inj}\eta_c \quad (3)$$

其中 $LHE(\lambda)$ 是光吸收效率, ϕ_{inj} 电子注入效率, η_c 是基底的收集效率. 显然液晶 7CB、5CB 的引入不会改变 ϕ_{inj} 和 η_c , 因此, IPCE 的增大主要是由于 $LHE(\lambda)$ 的提高引起的. 一般情况下, $LHE(\lambda)$ 取决于两个方面: 一是染料的消光系数; 一是入射光的光程. 这里染料的影响可以忽略, 因此 $LHE(\lambda)$ 的提高主要是由于入射光的光程增加引起的. 当液晶引入到 PVDF 基聚合物凝胶电解质中后, 由于 PVDF 提供稳定的网络结构, 液晶以微米或亚微米级的微滴填充在聚合物的网络结构中. 在这种微滴中充满着各向异性液晶分子使得这种微滴双折射系数不同于周围各向同性的

聚合物或者有机溶剂, 具有光学各向异性, 能够对光产生散射^[11, 21]. 同时, 在 DSC 中由于染料的吸附不均匀现象以及其他原因总有一部分入射光透过光阳极损失掉, 当液晶引入到 PVDF 基聚合物凝胶电解质中时, 透过的入射光被液晶微滴散射后可能再次被染料吸收, 从而提高了 DSC 的 IPCE 以及 J_{sc} .

4 结论

本文将两种向列相液晶, 4-氰基-4'-庚基联苯和 4-氰基-4'-戊基联苯, 分别引入到 PVDF 基聚合物凝胶电解质中, 并应用于 DSC. 研究了液晶的引入对电解质中 Γ/Λ_3^- 传输的影响; 对准固态 DSC 中 TiO_2 /电解质界面的暗反应的影响以及对 DSC 光伏性能的影响. 结果表明, 液晶的引入将会在一定程度上降低电解质中的 Γ/Λ_3^- 扩散传输, 同时一定程度上加快准固态 DSC 中的暗反应, 从而使得 DSC 的开路电压以及填充因子有所降低. 但是液晶的引入可以显著地提高准固态 DSC 的 IPCE, 使得 DSC 的短路电流密度提高了 15%~19%, 进而使得 DSC 光电转化效率提高了约 10%. 造成这种现象的原因可能有两方面, 一是液晶的引入能够改善 DSC 中的界面接触, 另一方面可能是因为液晶的引入能够提高电解质的光散射性能, 提高了 DSC 中染料的光吸收.

致谢 本工作得到国家重点基础研究发展计划(973 计划, 2011CBA00700、国家高技术研究发展计划(863 计划, 2009AA050603)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KGCX2-YW-326)和合肥物质科学研究院创新项目(075FCQ0125)资助, 特此一并致谢.

参考文献

- 1 Oregan B, Grätzel M. A low-cost, high efficiency solar-cell based on dye-sensitized colloidal TiO_2 films. *Nature*, 1991, 353: 737-740
- 2 林琳, 林建明, 康世杰, 李清华. 染料敏化太阳能电池中电解质的研究进展. *材料导报*, 2007, 21: 292-295
- 3 Lan Z, Wu JH, Lin JM, Huang ML. A highly efficient electric additive for enhancing photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells. *Sci China Chem*, 2010, 53: 1352-1357
- 4 Grätzel M. Conversion of sunlight to electric power by nanocrystalline dye-sensitized solar cells. *J Photochem Photobio A: Chem*, 2004, 164: 3-14
- 5 Kubo W, Murakoshi K, Kitamura T, Yoshida S, Haruki M, Hanabusa K, Shirai H, Wada Y, Yanagida S. Quasi-solid-state dye-sensitized TiO_2 solar cells: Effective charge transport in mesoporous space filled with gel electrolytes containing iodide and iodine. *J Phys Chem B*, 2001, 105: 12809-12815
- 6 潘旭, 戴松元, 王孔嘉, 史成武, 郭力. 染料敏化纳米薄膜太阳能电池中离子液体基电解质的研究进展. *物理化学学报*, 2005, 21: 697-702
- 7 郭力, 戴松元, 王孔嘉, 方霞琴, 史成武, 潘旭. P(VDF-HFP)基凝胶电解质染料敏化纳米 TiO_2 薄膜太阳能电池. *高等学校化学学报*, 2005, 26: 1934-1937
- 8 Huo ZP, Dai SY, Wang KJ, Kong FT, Zhang CN, Pan X, Fang XQ. Nanocomposite gel electrolyte with large enhanced charge transport

- properties of an I_3^-/I^- redox couple for quasi-solid-state dye-sensitized solar cells. *Sol Energy Mater Sol Cells*, 2007, 91: 1959–1965
- 9 Huo ZP, Dai SY, Zhang CG, Kong FT, Fang XQ, Guo L, Liu WQ, Hu LH, Pan X, Wang KJ. Low molecular mass organogelator based gel electrolyte with effective charge transport property for long-term stable quasi-solid-state dye-sensitized solar cells. *J Phys Chem B*, 2008, 112: 12927–12933
 - 10 Binnemans K. Ionic liquid crystals. *Chem Rev*, 2005, 105: 4148–4204
 - 11 Li WB, Cao H, Kashima M, Liu F, Cheng ZH, Yang Z, Zhu SQ, Yang H. Control of the microstructure of polymer network and effects of the microstructures on light scattering properties of UV-cured polymer-dispersed liquid crystal films. *J Polym Sci Polym Phys*, 2008, 46: 2090–2099
 - 12 Vijayakumar G, Lee MJ, Song M, Jin SH, Lee JW, Lee CW, Gal YS, Shim HJ, Kang Y, Lee GW, Kim K, Park NG, Kim S. New liquid crystal-embedded PVDF-co-HFP-based polymer electrolytes for dye-sensitized solar cell applications. *Macromol Res*, 2009, 17: 963–968
 - 13 Dai SY, Weng J, Sui YF, Shi CW, Huang Y, Chen SH, Pan X, Fang XQ, Hu LH, Kong FT, Wang KJ. Dye-sensitized solar cells, from cell to module. *Sol Energy Mater Sol Cells*, 2004, 84: 125–133
 - 14 史成武, 戴松元, 王孔嘉, 郭力, 潘旭, 孔凡太, 胡林华. 染料敏化纳米薄膜太阳能电池中 DMPII 浓度的优化. *物理化学学报*, 2005, 21: 534–538
 - 15 Wang P, Zakeeruddin SM, Moser JE, Nazeeruddin MK, Sekiguchi T, Grätzel M. A stable quasi-solid-state dye-sensitized solar cell with an amphiphilic ruthenium sensitizer and polymer gel electrolyte. *Nature Materials*, 2003, 2: 402–407
 - 16 Wang Q, Moser JE, Grätzel M. Electrochemical impedance spectroscopic analysis of dye-sensitized solar cells. *J Phys Chem B*, 2005, 109: 14945–14953
 - 17 Hagfeldt A, Grätzel M. Light-induced redox reactions in nanocrystalline systems. *Chem Rev*, 1995, 95: 49–68
 - 18 Koide N, Islam A, Chiba Y, Han LY. Improvement of efficiency of dye-sensitized solar cells based on analysis of equivalent circuit. *J Photochem Photobiol A: Chem*, 2006, 182: 296–305
 - 19 Tachibana Y, Hara K, Sayama K, Arakawa H. Quantitative analysis of light-harvesting efficiency and electron-transfer yield in ruthenium-dye-sensitized nanocrystalline TiO_2 solar cells. *Chem Mater*, 2002, 14: 2527–2535
 - 20 Nazeeruddin MK, Kay A, Rodicio I, Humphrybaker R, Muller E, Liska P, Vlachopoulos N, Grätzel M. Conversion of light to electricity by *cis*-X2bis (2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate) Ruthenium(II) charge-transfer sensitizers (X = Cl⁻, Br⁻, I⁻, Cn⁻, and SCN⁻) on nanocrystalline TiO_2 electrodes. *J Am Chem Soc*, 1993, 115: 6382–6390
 - 21 Higgins DA, Hall JE, Xie AF. Optical microscopy studies of dynamics within individual polymer-dispersed liquid crystal droplets. *Acc Chem Res*, 2005, 38: 137–145

Application of nematic liquid crystals, 4-cyano-4'-heptylbiphenyl and 4-cyano-4'-pentylbiphenyl, in quasi-solid-state dye-sensitized solar cells

WANG Meng, PAN Xu, GUO Lei, LI WenXin, HUO ZhiPeng & DAI SongYuan

Key Laboratory of Novel Thin Film Solar Cells, Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China

Abstract: Two nematic liquid crystals, 4-cyano-4'-heptylbiphenyl and 4-cyano-4'-pentylbiphenyl, are introduced into the poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) (PVDF) based polymeric gel electrolyte for quasi-solid-state dye-sensitized solar cells (DSC), aiming to improve the photovoltaic performance of quasi-solid-state DSC. The influence of addition of liquid crystal on the redox behavior of I^-/I_3^- , the recombination reaction at the TiO_2 /electrolyte interface and the photovoltaic performance of quasi-solid-state DSC are studied. It is found that although the addition of liquid crystals in PVDF based polymeric gel electrolyte would decrease the transport of I^-/I_3^- and accelerate the recombination reaction of the quasi-solid-state DSC, it still benefits the short-circuit current density remarkably, resulting in higher photo-electric conversion efficiency. This may be associated with the improvement of interfacial contact and the enhancement of light harvesting efficiency of quasi-solid-state DSC due to the addition of liquid crystal.

Keywords: dye-sensitized, solar cells, quasi-solid-state, liquid crystal