

染料敏化太阳能电池用聚苯胺/石墨复合对电极的 制备与性能研究*

丁雨田** 尚兴记 王 璟 胡 勇 张增明 谢荣艳

(兰州理工大学材料学院 甘肃省有色金属新材料省部共建国家重点实验室 兰州 730050)

摘 要 引入一种具有网状结构的导电聚苯胺为催化材料,以导电石墨为填充材料,并对其共混后丝网印刷在 FTO 导电面上,制备了聚苯胺/石墨复合对电极.主要解决对电极催化活性和导电特性不能有效兼顾,制作工艺复杂的问题.扫描电镜(SEM)结果表明,通过二者简单的共混后,导电聚苯胺的网状结构依然存在,石墨的加入有效填充了聚苯胺之间的空隙,在不影响原来催化活性的基础上增强了对电极的导电性.利用循环伏安(CV)和电化学阻抗(EIS)对复合对电极的催化和导电特性进行研究.对该复合对电极组装成的 DSSCs 进行光电性能测试,结果表明,当石墨的质量分数达到 10% 时,基于聚苯胺/石墨复合对电极组装成 DSSCs 的光电转换效率达到了 8.5%,为同等条件下传统 Pt 电极的 123%.

关键词 染料敏化太阳能电池,对电极,聚苯胺,网状多孔结构

随着化石燃料等常规能源的日益枯竭,开发利用可再生能源已成为世界各国政府持续发展新能源的战略决策.太阳能作为一种清洁的可再生能源,具有其他能源无可比拟的优势.染料敏化太阳能电池(dye-sensitized solar cells, DSSCs)是新型太阳能电池中最具有代表性的一类电池.自 Grätzel 于 1991 年提出 DSSCs 以来,其以无污染、成本低廉、制作工艺简单、转化效率高等一系列优点而成为太阳能电池研究的热点^[1].目前,DSSCs 的最高转化效率已达到了 12.3%^[2]. DSSCs 通常有光阳极、电解液、对电极三部分组成.对电极作为 DSSCs 的重要组成部分,其主要作用是收集和输送外电路的电子并把他快速、低耗的传递给电解质中的 I^-/I_3^- 氧化还原电对,催化 I_3^- 还原,该反应过程越快,光电响应越好;但是在 I_3^- 被还原的过程中,往往由于对电极的电阻过大使该反应过程进行缓慢,这就要求对电极材料具有较小的电阻和较高的催化活性;而且,对电极还有反射和阻碍透过光的作用,阻碍从工作电极透过的太阳光穿过对电极,把透过光反射回工作电极,提高入射光的利用率.现阶段研究比较深入的是 Pt 对电极.这类对电极虽然具有较高的催化活性,但是 Pt 容易与含有 I^-/I_3^- 的电解液发生反应而被腐

蚀^[3],导致电池寿命降低.另外,Pt 价格昂贵加大了 DSSCs 的生产成本,不适宜应用于产业化生产.为了降低成本,人们开始寻找价格低廉的对电极材料.目前应用最广泛的有导电性好、比表面积大、耐热性好、不易被腐蚀的碳材料,稳定性好、催化活性高的导电高分子材料.如石墨^[4,5]、炭黑^[6,7]、聚吡咯^[8,9]、聚苯胺^[10]等.这些都是很好的替代材料,均可制成具有很高催化活性和导电性能的对电极,已在电化学工业中得到了很好的应用.但它们在制备过程中都有一些致命的弱点,比如碳材料与导电基底的结合力不强,催化活性相对较弱,高分子材料的导电性较差等问题,这些都严重制约着 DSSCs 的发展.因此,如何使这两种材料简单有效结合起来,并使它们充分发挥各自的特性是提高电池整体性能的一个重要课题. Ho 等^[11]利用电化合成聚苯胺并与石墨烯聚合制得复合对电极,取得了 7.17% 的转换效率.但这种制备方法比较繁琐,而且石墨烯比较昂贵,不利于 DSSCs 的大规模应用.

本文着眼于网状多孔结构聚苯胺的高催化活性和石墨颗粒的高导电性,通过二者简单的混合来提高对电极的导电性能和催化活性,简化对电极的制备工艺,减小光生电子的俘获和复合损失,

* 2013-11-08 收稿,2014-01-25 修稿.

** 通讯联系人,E-mail:dingyutian@126.com

doi:10.3724/SP.J.1105.2014.13383

整体改善 DSSCs 的光电性能. 利用具有网状多孔结构的导电聚苯胺为基底材料, 导电石墨为填充材料, 通过超声破碎和球磨等方法制备均匀分散的浆料, 并用丝网印刷法在 FTO 导电玻璃的表面制得聚苯胺/石墨复合对电极, 将制得的复合对电极组装成电池, 并与标准的 Pt 对电极组装成的 DSSCs 进行对比.

1 实验部分

1.1 仪器及设备

浆料使用行星式齿轮球磨机 (QM-1SP, 南京大学仪器厂) 球磨; 对电极膜的表面形貌采用扫描电镜 (SEM) 表征 (Quanta FEG-450); 对电极的电化学性能利用电化学工作站 (CHI660D, 上海辰华仪器有限公司) 测定; 复合材料的吸光度利用 Lambda35 紫外可见分光光度计 (PerkinElmer) 测定.

1.2 药品及试剂

导电玻璃 (FTO, $15 \Omega \cdot \square^{-1}$, 大连七色光科技开发有限公司), 导电聚苯胺 (苏州亚科化学试剂股份有限公司), 石墨 (北京特保防静电器材厂), Triton X-100 (Amresco), 聚乙烯吡咯烷酮 (PVP), *N*-甲基吡咯烷酮 (分析纯, 天津市光复精细化工研究所), 乙腈 (分析纯, 天津市凯信化学工业有限公司), DHS-N719 染料 (大连七色光科技开发有限公司).

1.3 电解液

电解液为含 0.06 mol LiI、0.6 mol 1-丁基-3-甲基咪唑碘盐、0.03 mol I_2 、0.5 mol 4-叔丁基吡啶和 0.1 mol 异硫氰酸胍的乙腈溶液.

1.4 对电极的制备

将聚苯胺、石墨按一定质量比混合, 加入 0.4 g 聚乙烯吡咯烷酮 (PVP)、0.2 mL *N*-甲基吡咯烷酮 (NMP) 和适量 OP 乳化剂 (Triton X-100), 再加入 10 mL 蒸馏水, 超声振荡 5 min, 倒入球磨罐球磨 10 h 得到浆料, 利用丝网印刷技术在 FTO 导电玻璃上成膜 ($0.4 \text{ cm} \times 0.5 \text{ cm}$), 自然干燥后在空气中于 70°C 热处理 30 min, 即得到聚苯胺/石墨复合对电极.

1.5 电池的组装

以 TiO_2 粉体 (P25) 为原料, 利用丝网印刷技术在 FTO 导电玻璃上成膜, 于 450°C 烧结 30 min, TiCl_4 处理后冷却到 80°C , 迅速置于 N719 溶液中浸泡 24 h. 将经过 N719 染料敏化的 TiO_2 光

阳极用无水乙醇进行冲洗并烘干. 然后把敏化后的 TiO_2 光阳极和制备好的聚苯胺/石墨复合对电极用夹子相对夹好, 中间用热封膜 (EVA) 进行热封, 在中间间隙部位加入液态电解质, 即得测试所用的电池.

1.6 性能表征

采用 CHF-XM500 型氙灯光源 (北京畅拓科技有限公司) 模拟太阳光, CHI660D 型电化学工作站 (上海辰华仪器有限公司) 对组装成的电池进行光电性能测试, 采用 FZ-A 型辐照计 (北京师范大学光电仪器厂) 对光源 ($\text{AM1.5}, 100 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$) 进行标定. 循环伏安测试采用三电极体系得到 CV 曲线, 以 Ag/Ag^+ 为参比电极, 聚苯胺/石墨复合电极为工作电极, Pt 为对电极. 电解液为含有 LiI ($10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)、 I_2 ($1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)、 LiClO_4 ($0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 的乙腈溶液, 扫描速度为 $100 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$. 染料敏化太阳能电池的交流阻抗测试频率范围为 $0.01 \sim 100 \text{ kHz}$, 采用 Z-View 软件对阻抗谱图进行拟合分析.

2 结果与讨论

2.1 聚苯胺/石墨复合对电极的形貌表征

聚苯胺/石墨复合薄膜的 SEM 微观形貌如图 1 所示. 从图 1 中可以看出所制备的聚苯胺/石墨复合薄膜比较均匀, 表面平整, 无开裂现象, 薄膜厚度约为 $7 \mu\text{m}$ 左右, 整体呈现清晰的枝状长链交错网状结构, 且导电石墨有效填充了聚苯胺的较大孔洞, 在连接各条支链的同时也提高了电池的整体导电性. 这种结构的电子传输路径较多, 能够最大限度的收集和传输外电路电子, 减少电荷在电极材料界面的复合机会, 为液态电解质的吸附提供很好的网状骨架结构. 此外, 与无序的多孔膜结构相比, 各网络路线之间具有更高的连通率, 更容易满足电子的传输动力学要求. 同时附着力较大的聚苯胺有利于薄膜电极与基底表面的紧密接触, 由此可以提高电池的光电转化效率.

根据阻抗谱图中频区段最大相位角对应的峰值频率计算出相应的电子寿命^[12], 并列于表 1. 从表 1 中的电子寿命 (τ_n) 数据可以看出, 当石墨的含量超过 10% 时, 随着石墨含量的不断增加聚苯胺的较大孔洞就会被完全填充, 致使这种清晰的枝状长链交错网状结构变得模糊, 使电子的传输路径变得无序, 增大了电荷在电极材料界面被复合的机会.

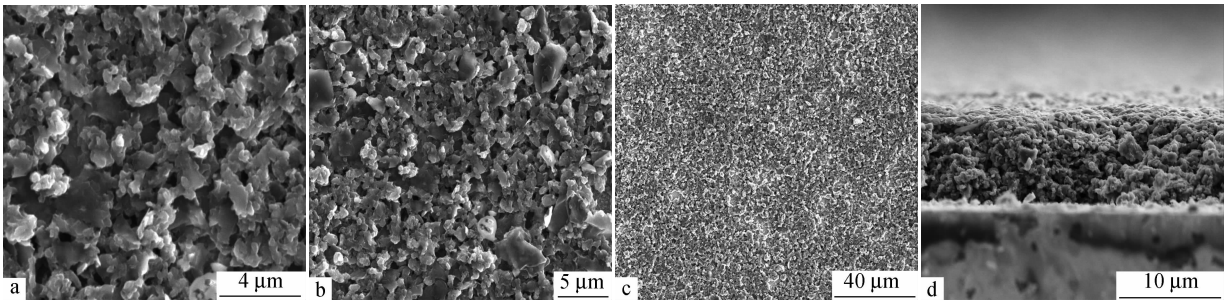


Fig. 1 SEM images of surface (a ~ c) and cross-section (d) of the polyaniline/graphite composite counter electrode (graphite content of 10%) films

Table 1 Performance parameters of the DSSCs based on different graphite content composite counter electrodes

Counter electrode	Graphite content (wt%)	V_{oc} (V)	J_{sc} ($\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$)	FF	η (%)	R_s ($\Omega\cdot\text{cm}^2$)	R_{ct} ($\Omega\cdot\text{cm}^2$)	τ_n (ms)
Pt	0	0.719	24.30	0.40	6.93	0.29	3.40	59.69
PANI	0	0.715	19.99	0.36	5.16	3.85	7.46	53.23
PANI/Graphite	1	0.728	21.31	0.35	5.41	2.11	6.91	54.57
PANI/Graphite	3	0.728	26.11	0.32	5.97	2.99	4.70	57.89
PANI/Graphite	5	0.721	21.83	0.37	5.85	3.21	4.45	63.62
PANI/Graphite	7	0.736	23.39	0.35	6.00	3.01	4.26	73.48
PANI/Graphite	9	0.741	25.26	0.39	7.25	3.11	3.85	83.04
PANI/Graphite	10	0.761	25.54	0.44	8.50	3.60	3.73	85.07
PANI/Graphite	15	0.766	27.36	0.38	8.05	5.57	5.14	65.96
PANI/Graphite	20	0.756	24.44	0.42	7.73	4.22	4.06	57.89
PANI/Graphite	25	0.730	21.84	0.43	6.77	2.99	4.36	51.56

2.2 不同对电极组装成 DSSCs 的光电性能

用不同石墨含量的对电极与吸附有染料的光阳极组装成电池,进行光电性能测试,测得的 J - V 曲线如图 2 所示,光电性能参数如表 1 所示.从图 2 中可以看出,不同石墨含量的对电极组装成 DSSCs 的光电转换性能,以石墨含量为 10% 的对电极组装成的 DSSCs 性能最优.对比表 1 中的数据,可以看出石墨含量为 10% 的对电极组装成 DSSCs 的光电转换效率达到了 8.5%,同等条件下为传统 Pt 电极效率的 123%.在聚苯胺/石墨复合对电极组装成的 DSSCs 中,随着石墨含量的提高,其光电转换效率整体呈现先增大后减小的趋势.石墨的含量增加到总质量分数的 10% 时,光电转换效率达到了最高.这主要是由于导电石墨的加入填充了网状聚苯胺间的一些空隙,提高了聚苯胺材料间的接触,改进了对电极的导电性,使外电路的电子快速地对对电极的导电基底传递到对电极的表面,这样可以有效抑制暗电流的产生^[13].而石墨含量过大时,对电极的性能反而有所降低,这主要是石墨含量过高会完全填充网状聚苯胺材料之间的空隙,进而减少了聚苯胺的催

化活性枝点,降低了聚苯胺/石墨复合对电极的催化能力.

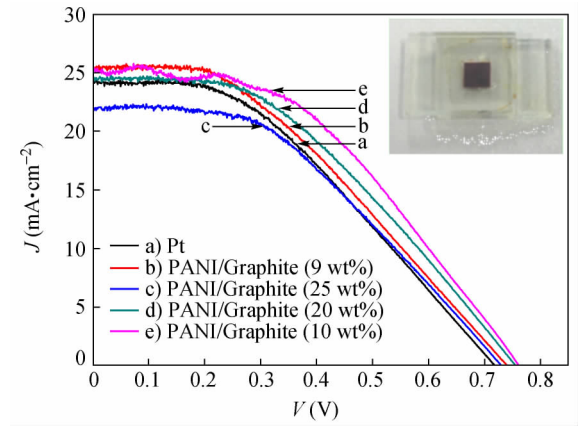


Fig. 2 J - V curves of DSSCs assemblies with different counter electrodes

在染料敏化太阳能电池中,暗电流的产生主要来自于光阳极^[14],一部分由 FTO 导电玻璃表面的电子与电解液中的 I_3^- 复合产生,一部分由 TiO_2 多孔膜中的电子与电解液中的 I_3^- 复合产生.从图 3 不同对电极组装成的 DSSCs 在暗态下测得的 J - V 曲线可以看出,石墨质量分数为 10%

的复合对电极的暗态电流比较大,其次为 Pt 电极的暗态电流.这主要是因为与 FTO 导电玻璃紧密接触的网状结构聚苯胺,可以提供更多的催化活性枝点,使 I^- 在对电极表面被快速氧化,并扩散到 TiO_2 表面,而且有效导电石墨的加入可以加速该反应过程的进行.但随着石墨含量的不断增加,大颗粒的导电石墨逐渐填充了网状聚苯胺的多孔结构,使聚苯胺能提供的有效催化活性枝点较少,进而复合对电极的整体光电性能得到下降,这些特征在暗电流-电压曲线上表现为复合电流和电压的降低.

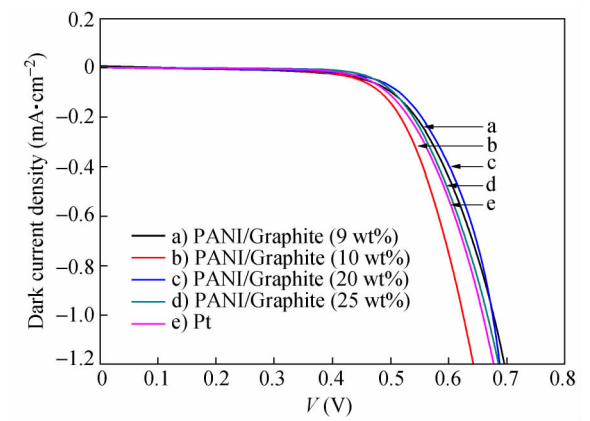


Fig. 3 J - V curves of DSSCs using different counter electrodes in dark

2.3 入射单色光光电转换效率

在染料敏化太阳能电池中,入射单色光光电转换效率 (IPCE) ^[15] 可以描述为光捕获效率 $[LHE(\lambda)]$ 、电子注入效率 (Φ_{inj}) 和电子收集效率 (η_e) 的乘积:

$$IPCE(\lambda) = LHE(\lambda) \cdot \Phi_{inj} \cdot \eta_e \quad (1)$$

在不同波长光的照射下,其有不同的光电转换效率.因此,入射单色光光电转换效率又可描述为外回路中产生的电子数与入射光子数的比值 ^[16]:

$$IPCE(\lambda) = \frac{1.25 \times 10^3 J_{sc}}{\lambda \phi_o} \quad (2)$$

J_{sc} ($\mu A/cm^2$), λ (nm) 和 ϕ_o (W/m^2) 分别为 DSSCs 的短路电流密度、入射光波长和入射光通量.从上面公式中可以看出,在同一波长光的照射下,当 DSSCs 的有效面积相同时,IPCE (λ) 的值可在一定程度上反映光电流密度的变化趋势 ^[17].结合图 4 和图 5 可以看出,这种复合材料对电极对入射光具有很大程度的反射作用,使电池整体对入射光有了充分的利用,这主要是由于多孔网状结构的聚苯胺在导电玻璃表面形成了一个类似蜂窝状

结构的绒面,对透过工作电极的入射光形成了一层反射层,提高了入射光的利用率.从图 5 中可以看出,随着石墨含量的不断增加,复合材料对电极对可见光的吸收度呈现先减小后增大的趋势,根据公式 (2) 可以得出光电流密度在一定程度上也会做出相应的变化,从表 1 中电池的光电流密度数据可以看出,这与公式 (2) 得出的结论是完全相符的.

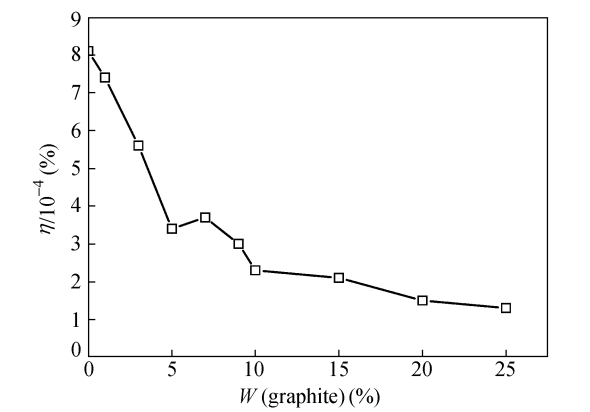


Fig. 4 Energy conversion efficiency of the DSSCs based on different graphite content composite counter electrodes under irradiation from counter electrodes surface

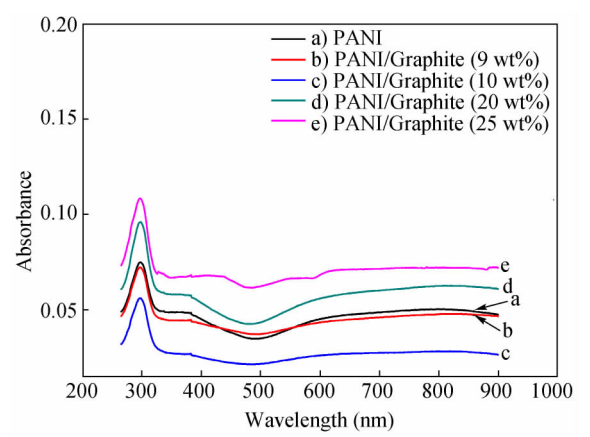


Fig. 5 Absorption spectra of different graphite content composite counter electrodes

2.4 对电极的透光性研究

对电极作为 DSSCs 的一个重要组成部分,其除了具有收集和输运电子、吸附并催化 I_3^- 之外,它还有一个非常重要的作用就是阻碍透过光的通过 ^[18],把从工作电极透过的光反射回光阳极薄膜,进一步提高入射光的利用率.图 6 为不同石墨含量的聚苯胺/石墨复合对电极组装成的 DSSCs 测得的 J - V 曲线.为了验证这种复合材料对电极阻碍透过光的特性,采取在同样光照强度的情况

下入射光从反面照射,即从对电极面照射,来测得电池的 J - V 曲线.

结合图 4 中的不同对电极的能量转换效率曲线,图 5 的吸光主曲线和图 6 的 J - V 曲线可以看出,采取反面照射时这种复合材料对电极的能量转换效率普遍很低,进一步说明这种材料对阻碍光的透过起到了一定的积极作用.

为进一步说明这种复合材料对入射光的有效利用率,对这种复合材料在可见光范围内进行了光的吸收度测试,并且结合图 5 可以看出,这种复合材料在可见光范围内对光的吸收率普遍偏低,这也从另一方面说明了这种聚苯胺/石墨复合对电极对从工作电极透过的入射光起到了有效的反射作用.

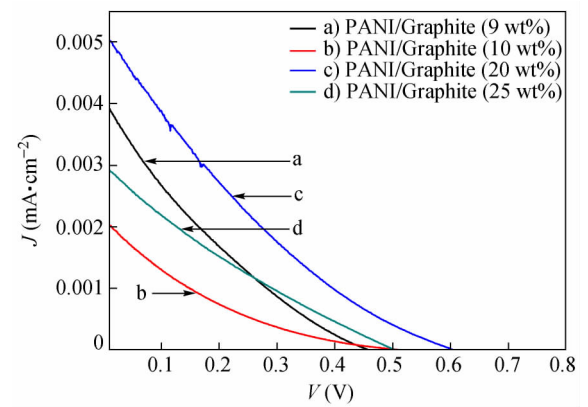


Fig. 6 J - V curves of DSSCs using different counter electrodes under irradiation from counter electrode surface

2.5 复合对电极的电催化性能

图 7 为聚苯胺/石墨复合电极和 Pt 电极在 I_3^-/I^- 电解液体系中的循环伏安曲线. 从图 7 中可以看出,各种对电极都表现出很强的氧化还原峰,说明对 I_3^-/I^- 氧化还原电对都有很好的氧化还原作用. 通常情况下,处于负电位的峰值对应的为还原反应,处于正电位的峰值对应的为氧化反应. 氧化还原电流密度越大, I_3^-/I^- 电对在复合对电极表面的反应速度就会越快. 也就是说,在同等条件下对电极的电荷转移阻力越小. 结合图 7 可以看出,聚苯胺/石墨复合对电极与传统 Pt 电极相比,氧化还原电流密度普遍偏大,这主要是由于长链交错网状结构的聚苯胺可以为电子的传输提供快速的通道,并且导电石墨的有效填充使各支链得到连接,减小了电子被复合的机会. 这种多孔网状结构使这种复合对电极具有很高的比表面积和催化活性枝点,有利于 I_3^-/I^- 离子电对的吸

附. 所以和传统 Pt 电极相比这种复合对电极具有更好的催化特性.

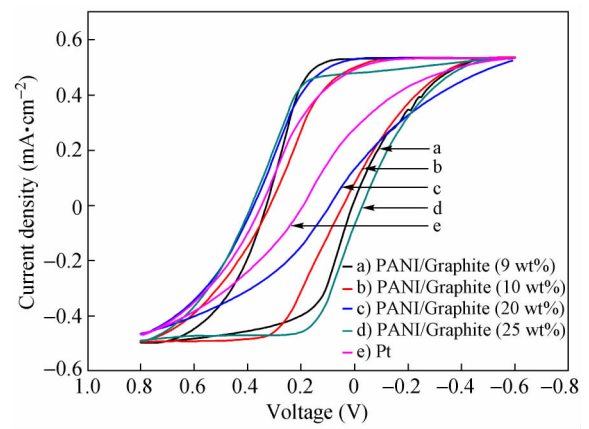


Fig. 7 Cyclic voltammograms of different counter electrodes

2.6 不同对电极组装成染料敏化太阳能电池的交流阻抗

为了研究电子在电池内部的传输情况,分别测试了不同石墨含量对电极组装成的 DSSCs 的电化学交流阻抗谱(EIS),并结合电池实际得出了电池的等效电路图,如图 8(b)所示. 图 8(a) 是它们的 Nyquist 阻抗图,EIS 各参数由等效电路拟合得到,结果如表 1 所示. 其中, R_s 表示串联电阻, R_{et} 和 C_{et} 表示电子在对电极中的传输电阻和电容, R_{TiO_2} 和 C_{TiO_2} 表示电子在 TiO_2 薄膜内的传输电阻和电容, R_{solid} 和 C_{solid} 表示薄膜材料与 FTO 导电基底界面间的电子传输电阻和电容. 一般情况下,阻抗谱的高频区对应的是对电极材料与 FTO 导电基底界面间的电荷转移电阻^[19],在图中表现为第一段容抗弧. 结合阻抗谱图可以看出,对电极薄膜材料与 FTO 导电基底界面间的电荷转移阻抗较大,这主要是由于薄膜材料与导电基底的结合能力不够,这一点可以从图 1 复合对电极薄膜横断面的 SEM 图和表 1 中的填充因子得到验证. 另外,封装技术的不成熟使电解质在性能测试过程中发生了挥发导致染料的脱附、降解^[20],薄膜材料与导电基底之间的附着力较弱,也导致了电池的填充因子普遍较低,这也是影响电池转换效率的主要因素,有待进一步改善.

第二段容抗弧一般对应的为对电极与电解质界面间的电荷转移电阻^[21],从图 8(a)中可以看出,复合对电极的电阻普遍较小,并随着石墨含量的不断增加呈现先减小后增大的趋势,当石墨含量达到总质量分数的 10% 时,复合对电极的电荷转移电阻达到了最小,为 $3.7 \Omega \cdot cm^2$. 在同等条件

下与传统 Pt 电极的电荷转移电阻相当. 这主要是由于导电石墨的加入有效填充了网状聚苯胺间的过大空隙,使整个网状通路充分连接起来,为外电路电子向对电极表面快速传递提供了更多的捷

径,大大降低了电子在传递过程被复合的机会. 但随着石墨含量的不断增加,网状聚苯胺间的一些空隙被完全填充,虽说导电性能得到一定程度的提高,与此同时,复合对电极的网状多孔结构也得到很大程度的破坏,比表面积下降,不利于电解质离子的吸附,进一步表现为对氧化还原对 I_3^-/I^- 的催化活性降低,复合对电极的电荷转移电阻变大.

3 结论

以具有网状结构的导电聚苯胺和导电石墨为原料,采用丝网印刷法在 FTO 导电玻璃表面制备聚苯胺/石墨复合对电极,并观察了该对电极的光电性能和对透过光的阻碍作用. 结果表明,这种复合对电极具有很好的催化活性和很强的导电能力,并对透过光可以起到有效的阻碍作用,当加入石墨的质量分数为 10% 时,用该对电极组装成 DSSCs 的光电转换效率达到了 8.5%,为同等条件下传统 Pt 电极的 123%. 这些研究为染料敏化太阳能电池的工业化进程提供了一个新的思路.

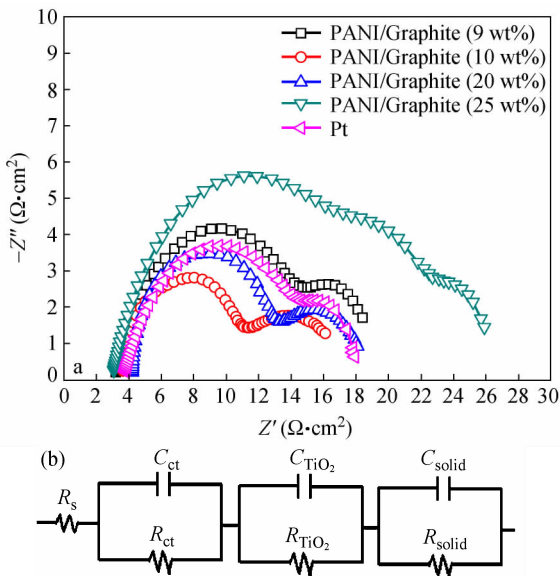


Fig. 8 (a) Nyquist plots of DSSCs using different counter electrodes and (b) equivalent circuit diagram

REFERENCES

- 1 O' Regan B, Grätzel M. Nature, 1991, 353: 737 ~ 742
- 2 Yella A, Lee H W, Tsao H N, Yi C Y, Aravind K C, Nazeeruddin M K, Diau W G, Yeh C Y, Zakeeruddin S M, Grätzel M. Science, 2011, 334: 629 ~ 634
- 3 Syrokostas G, Siokou A, Lefthieriotis G, Yianoulis P. Sol Energy Mater, 2012, 103: 119 ~ 127
- 4 Liu G H, Wang H, Li X, Rong Y G, Ku Z L, Xu M, Liu L F, Hu M, Yang Y, Xiang P, Shu T, Han H W. Electrochim Acta, 2012, 69: 334 ~ 339
- 5 Battumur T, Mujawar S H, Truong Q T, Ambade S B, Lee D S, Lee W J, Han S H, Lee S H. Current Applied Physics, 2012, 12: e49 ~ e53
- 6 Xu S J, Liu G W, Li J, Qiao G J. Electrochim Acta, 2012, 76: 504 ~ 511
- 7 Xu M, Liu G H, Li X, Wang H, Rong Y G, Ku Z L, Hu M, Yang Y, Liu L F, Liu T F, Chen J Z, Han H W. Org Electron, 2013, 14: 628 ~ 634
- 8 Bu C H, Tai Q D, Liu Y M, Guo S S, Zhao X Z. J Power Sources, 2013, 221: 78 ~ 83
- 9 Towannang M, Pimanpang S, Thiangkaew A, Rutphonsan P, Maiaugree W, Harnchana V, Jar-ernboon W, Amornkitbamrung V. Synth Met, 2012, 162: 1954 ~ 1960
- 10 Park S H, Shin K H, Kim J Y, Yoo S J, Lee K J, Shin J Y, Choi J W, Jang J, Sung Y E. J Photochem Photobio A: Chem, 2012, 245: 1 ~ 8
- 11 Liu C Y, Huang K C, Chung P H, Wang C C, Chen C Y, Vittal R, Wu C G, Chiu W Y, Ho K C. J Power Sources, 2012, 217: 152 ~ 157
- 12 Liu Y M, Sun X H, Tai Q D, Hu H, Chen B L, Huang N, Bobby S, Zhao X Z. J Power Sources, 2011, 196: 475 ~ 481
- 13 Li Z Y, Akhtar M S, Jin H K, Kong B S, Yang O B. Mater Lett, 2012, 86: 96 ~ 99
- 14 Li Q H, Wu J H, Tang Q W, Lan Z, Li P J, Lin J M, Fan L Q. Electrochem Commun, 2008, 10: 1299 ~ 1302
- 15 Grätzel M. Inorg Chem, 2005, 44(20): 6841 ~ 6851
- 16 van de Lagemaat J, Park N G, Frank A J. Phys Chem B, 2000, 104(9): 2044 ~ 2052
- 17 Hu Linhua(胡林华), Mo Li-e(莫立娥), Li Wenxin(李文欣), Ding Yong(丁勇), Dai Songyuan(戴松元). Chemical Journal of Chinese Universities(高等学校化学学报), 2013, 34(9): 2196 ~ 2201
- 18 Li Jing(李靖), Sun Mingxuan(孙明轩), Zhang Xiaoyan(张晓艳), Cui Xiaoli(崔晓莉). Acta Phys Chim Sin(物理化学学报), 2011, 27(10): 2255 ~ 2268
- 19 Halme J, Toivola M, Tolvanen A, Lund P. Sol Energy Mater Sol Cells, 2006, 90: 872 ~ 886
- 20 Fang Shibi(方世璧), Lin Yuan(林原), Zhou Xiaowen(周晓文), Zhang Jingbo(张敬波), Li Xueping(李学萍), Xiao Xurui(肖绪瑞). Acta Polymerica Sinica(高分子学报), 2008, (6): 507 ~ 516

21 Xi Xiaowang(奚小网), Kou Dongxing(寇东星), Hu Linhua(胡林华), Dai Songyuan(戴松元). Chemical Journal of Chinese Universities (高等学校化学学报), 2013, 34(1): 175 ~ 179

Preparation and Performance of Polyaniline/Graphite Composite Counter Electrodes for Dye-sensitized Solar Cells

Yu-tian Ding^{*}, Xing-ji Shang, Jing Wang, Yong Hu, Zeng-ming Zhang, Rong-yan Xie

(State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-ferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050)

Abstract The aim of this study is to balance the conductive properties with catalytic activity of the counter electrodes effectively and to resolve the complexity of production process. Using a kind of network conductive polyaniline as the catalyst and graphite filler as the conductive material, by means of screen printing the mixture of the two components on the FTO surface the polyaniline/graphite composite counter electrodes were fabricated successfully. The structure and catalytic and conductive characteristics of the electrodes were investigated with the scanning electron microscopy (SEM), cyclic voltammetry (CV) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). According to the SEM results, the network structure of conducting polyaniline still exists in the composite. The addition of graphite fills the space of the polyaniline matrix effectively. Based on the same original catalytic activity, the electrical conductivity of the counter electrode has been enhanced. With the aid of CV and EIS, the catalytic and conductive characteristics of the composite counter electrode were speculated. Tests on the photoelectric performance of the DSSCs with the composite counter electrodes show that when the graphite mass fraction reaches 10%, the dye-sensitized solar cell (DSSC) based on the polyaniline/graphite composite counter electrode may have the photoelectric conversion efficiency of 8.5%. It is 123% of the efficiency with traditional Pt electrode under the same conditions.

Keywords Dye-sensitized solar cells, Counter electrode, Polyaniline, Mesh porous structure

^{*} Corresponding authors: Yu-tian Ding, E-mail: dingyutian@126.com