

大面积染料敏化太阳电池的 串联阻抗特性研究^{*}

黄 阳^{1,2)} 戴松元^{1,2)†} 陈双宏^{1,2)} 胡林华^{1,2)} 孔凡太^{1,2)} 寇东星³⁾ 姜年权³⁾

1) 中国科学院新型薄膜太阳电池重点实验室, 合肥 230031)

2) 中国科学院等离子体物理研究所, 合肥 230031)

3) 温州大学物理与电子信息学院, 温州 325035)

(2009 年 1 月 5 日收到, 2009 年 3 月 30 日收到修改稿)

在电子扩散微分方程的基础上, 研究了染料敏化太阳电池光生电流和光生电压随光照强度不同的变化关系. 提出敏化太阳电池串联阻抗功率损耗模型. 理论模拟了大面积电池(有效面积 $> 1 \text{ cm}^2$) 光电转换效率随多孔薄膜有效面积宽度变化的曲线、透明导电基底膜与银栅极的比接触电阻以及在不同入射光强下银栅极体电阻对大面积染料敏化太阳电池光伏性能的影响. 结果表明透明导电基底膜的方块电阻和银栅极体电阻对大面积染料敏化太阳电池的性能有很大影响, 而这种影响随光强的减弱逐渐减小.

关键词: 染料敏化, 太阳电池, 串联阻抗, 光电转换效率

PACC: 8250C, 7340C, 8610K, 8630J

1. 引言

染料敏化太阳电池(DSC)以其较低的成本、简单的制作工艺和高光电转换效率等特点成为国内外太阳电池领域研究的热点之一. 其工作原理是: 染料分子吸收太阳光后从基态跃迁到激发态, 快速注入电子到 TiO_2 导带, 自身变为氧化态, 氧化态染料被 I^- 还原而回到基态, 它使 I^- 变成 I_3^- ; 同时, I_3^- 扩散至反电极被还原成 I^- ; TiO_2 导带中的电子被透明导电氧化膜(TCO)收集至外回路到达反电极, 从而形成光电压和光电流^[1,2]. 通过十几年的研究, 目前实验室小面积 DSC 光电转化效率已经超过 11%^[3], 使得这一技术具有较好的商业应用前景^[4-6].

在从小面积 DSC 到大面积 DSC 电池板的制作过程中, 不可避免地伴随着效率的降低^[7].

为了提高电子的收集效率, 通常在大面积 DSC 中引入银栅极^[8]. 银栅极的引入缩短了电子在 TCO 膜上传输路径, 电子能够通过银栅极快速导出, 从而大大降低了电子在 TCO 膜上的损耗. 在大面积 DSC 中 TCO 表面阻抗、银栅极体电阻及两者之间的接触

电阻构成了 DSC 的串联阻抗. 随着研究的深入, 串联阻抗对 DSC 性能的影响引起了研究人员的关注^[8-14]. 其中 Ngamsinlapasathian 等^[15]为减小导电基底膜的方块电阻开发了 ITO/SnO_2 双层膜, 获得 6.01% 的光电转换效率, 性能大大优于基于 ITO 导电膜的电池性能. Kawashima 等^[16,17]开发了 FTO/ITO 双层导电膜, 获得最低电阻率为 $1.4 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$, 可见光透过率达到了 80% 的导电膜. 研究人员都在尽量的减小 DSC 中串联阻抗以降低能量的损耗, 然而至今很少有文献从理论上定量分析 DSC 中串联阻抗对大面积电池光电性能的影响.

本文结合大面积 DSC 的结构和制作工艺^[18], 在自由电子扩散微分方程的基础上, 研究了光生电流密度和光生电压随光照强度变化的关系, 第一次建立了 DSC 串联阻抗功率损耗模型, 并在此基础上模拟计算了 TCO 表面阻抗、金属/半导体接触电阻及金属栅极体电阻的变化对 DSC 性能的影响. 通过对条状 DSC 模型的模拟计算获得了制作大面积高效 DSC 的工艺参数, 为大面积 DSC 结构优化及电池制作提供了理论指导.

^{*} 国家重点基础研究发展计划项目(批准号: 2006CB202600)资助的课题.

[†] 通讯联系人. E-mail: sydai@ipp.ac.cn

2. 理论分析

2.1. 光生电流密度及光生电压

近些年来,随着 DSC 理论研究的不断深入,电子扩散微分方程^[19,20]常被研究人员用于模拟计算光生电子在 DSC 内传输、扩散过程.这个方程重点考虑了光生电子的产生、扩散及复合过程:

$$\frac{\partial n(x,t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n(x,t)}{\partial x^2} - \frac{n(x,t) - n_0}{\tau} + \eta_{inj} \alpha I_0 \exp(-\alpha x). \tag{1}$$

在稳态光照下

$$D \frac{\partial^2 n(x)}{\partial x^2} - \frac{n(x) - n_0}{\tau} + \eta_{inj} \alpha I_0 \exp(-\alpha x) = 0, \tag{2}$$

其中, $x=0$ 为导电基底膜处, $n(x,t)$ 为半导体 TiO_2 膜内 x 处 t 时刻导带电子的浓度, D 为电子在半导体膜内的扩散系数, n_0 为暗态电子浓度, τ 为 TiO_2 膜内电子寿命, η_{inj} 为光电子的注入效率, α 是电池的光吸收系数,是入射光波长的函数 $\alpha(\lambda)$, I_0 为入射光通量.在这个模型中,不考虑离子在体系中的传输,忽略半导体膜内内建电场的影响,电子的复合过程主要以半导体导带电子与 I_3^- 的复合为主,忽略其他复合路径的影响^[21-26].对于方程(2)短路情况下有如下边界条件:

$$\left. \frac{dn(x)}{dx} \right|_{x=d} = 0, \tag{3a}$$

$$D \left. \frac{\partial n}{\partial x} \right|_{x=0} = k_{ext}(n - n_0), \tag{3b}$$

(3b) 式中 K_{ext} 为电子的收集系数^[27],解方程(2)可得到 $n(x)$ 在 TiO_2 膜内的分布:

$$n(x) = \frac{\eta_{inj} L_n^2 \alpha I_0}{D(1 - \alpha^2 L_n^2)} \exp(-\alpha x) + n_0 + C_1 \exp(x/L_n) + C_2 \exp(-x/L_n), \tag{4}$$

其中

$$C_1 = \frac{L_n^3 \alpha I_0}{D(1 - \alpha^2 L_n^2)} \times [(\alpha D + k_{ext}) \times e^{-d/L_n} + \alpha(L_n k_{ext} + D) \times e^{-\alpha d}] \\ [(D - L_n k_{ext}) \times e^{-d/L_n} - (L_n k_{ext} + D) \times e^{d/L_n}], \\ C_2 = \frac{L_n^3 \alpha I_0}{D(1 - \alpha^2 L_n^2)} \times [(\alpha D + k_{ext}) \times e^{d/L_n} + \alpha(D - L_n k_{ext}) \times e^{-\alpha d}]$$

$$[(D - L_n k_{ext}) \times e^{-d/L_n} - (L_n k_{ext} + D) \times e^{d/L_n}].$$

(4) 式中 $L_n = \sqrt{D\tau}$ 为电子扩散长度,其值^[28]与光照强度关系为 $L_n \propto I_0^{0.085}$ ^[29].忽略导电基底与 TiO_2 界面处影响,对于由 TiO_2 一侧照射,在 $x=0$ 处有

$$J_{photo} = -eD \left. \frac{dn}{dx} \right|_{x=0}, \tag{5}$$

$$V_{photo} = \frac{k_B T}{q} \ln \frac{n(x=0)}{n_0}. \tag{6}$$

(5)(6) 式中 J_{photo} 为 $x=0$ 处光生电流密度, V_{photo} 为 $x=0$ 处光生电压, k_B 为玻尔兹曼常数, T 为绝对温度.

图 1 为通过电子扩散微分方程模拟计算所得 J_{photo} 与 V_{photo} 随入射光强变化的曲线,在入射光强从 $20 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ 到 $110 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ 变化的过程中, J_{photo} 和 V_{photo} 都逐渐增加,其中 V_{photo} 与入射光强成对数关系, J_{photo} 随着光照强度的变化近似线性关系,这与文献中报道的实验数据相符^[2,30].光生电流密度与光生电压随入射光强的这种变化主要是由于光强的增加,染料可以吸收的光子数增多,光生电子数增大,注入到薄膜中的电子数增多,电池电流密度增大,同时也由于薄膜费米能级提高,使电池的电压也随光强而增大.

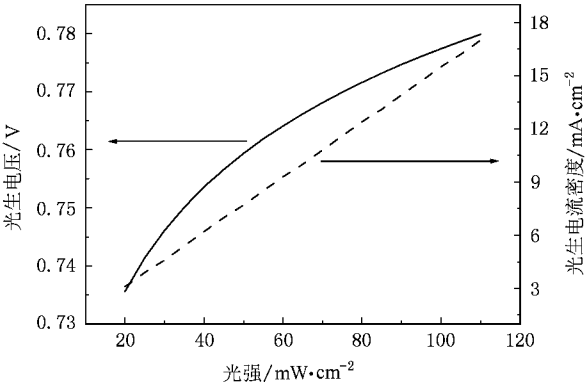


图 1 计算不同光照强度下电池光生电流和光生电压的值 ($I_0 = 10^{17} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ^[31], $\eta_{inj} = 99.9\%$ ^[2], $\alpha = 5000 \text{ cm}^{-1}$ ^[31], $d = 10^{-3} \text{ cm}$ ^[5], $D = 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ^[27], $T = 300 \text{ K}$, $\tau = 10^{-2} \text{ s}$ ^[27], $n_0 = 10^{16}$ ^[32])

2.2. DSC 串联阻抗功率损耗

DSC 中电子的传输和收集主要是靠电池正负极的透明导电膜进行,对于单个小面积电池来说,由于电流小,有无银栅极对电池性能影响不大.对于有效面积在 1 cm^2 以上的电池来说,光生电子被电极

的收集速率和效率将对电池的性能影响较大^[31].在透明导电膜上制作银栅极使电子通过银栅极快速导出,银栅极的引入将大大降低光生电子在TCO膜传输时的损耗,加快电子传输和收集过程.同时,由图1的模拟计算结果可以看出,随着光强的增强,光生电子数明显增多,此时如银栅极的体电阻太大,将影响光生电子的快速收集,因而,在强光照射时,应减小银栅极的体电阻以降低其对电子收集效率的影响.

对如图2所示条状DSC^[18]进行内部阻抗特性的研究,作以下假设:1)忽略TCO膜与半导体TiO₂膜

之间的界面效应,2)忽略电流产生的不均匀性,由此可以认为DSC短路电流密度 $J_{sc}=J_{photo}$,开路电压 $V_{oc}=V_{photo}$,3)假设在TCO膜内电流流动为欧姆型.根据上述假设,由于DSC的宏观尺寸远大于TCO膜的厚度,电子在TCO膜内流动可简化成一维(沿垂直银栅极方向)流动,有 $J=\sigma \cdot E$ (σ 为TCO膜的电导率),由于在TCO膜内没有净的电子存在, $\nabla \cdot E(x,y,z)=0$ 结合 $E(x,y,z)=-\nabla \varphi$ 和电流的一维假设,可得到拉普拉斯方程

$$\nabla^2 \varphi(x) = -\rho \frac{J}{t}, \tag{7}$$

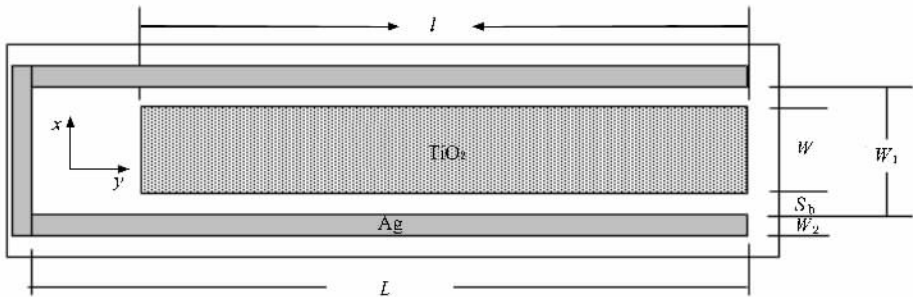


图2 条状电池结构

(7)式中 φ 为TCO膜内电势分布, t 为TCO膜的厚度.解方程(7),可知电子通过TCO膜时的损耗 ΔP_{TCO} 为

$$\begin{aligned} \Delta P_{TCO} &= \int dI \times U \\ &= 4 \left\{ \int_{S_b}^{W_1/2} J l \cdot dx \cdot \varphi + \left[J l \frac{1}{2} W \cdot \Delta \varphi \right] \right\} \tag{8} \end{aligned}$$

同时可得出电子通过TCO膜与银栅极接触电阻部分的损耗 ΔP_{con} 及电子通过银栅极的损耗 ΔP_{Ag} :

$$\begin{aligned} \Delta P_{con} &= \int I^2 \times dR \\ &= \int_0^l [J W dy]^2 \cdot \frac{\rho_c}{W_2 \cdot dy}, \tag{9} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{Ag} &= \int I^2 \times dR \\ &= \int_{L-l}^L [J \cdot W \cdot (L-y)]^2 \cdot dR \\ &\quad + (J \cdot W \cdot l)^2 \cdot \frac{\rho_{Ag}(L-l)}{h \cdot W_2}. \tag{10} \end{aligned}$$

(8)(9)(10)式中, W_1 为两银条间距, W 为有效面积(TiO₂)宽度, W_2 为银栅极宽度, S_b 为TiO₂边到银栅极距离, l 为TiO₂长度, L 为银栅极长度, ρ_c 为比

接触电阻 $\Omega \cdot \text{cm}^2$, ρ_{Ag} 为银栅极电阻率, x 为沿垂直于银栅极方向, y 为沿银栅极方向.

3. 分析与讨论

以图2所示结构的条状电池为例,讨论了电池有效面积宽度、比接触电阻及银栅极体电阻的变化对DSC性能的影响.

根据实验中对图2所示结构电池的设计,列出各参数的取值,如表1所示.

表1 参数值列表	
银栅极长度 L/cm	19
TiO ₂ 长度 l/cm	18
有效面积(TiO ₂)宽度 W/cm	0.2—1
TiO ₂ 边到银栅极距离 S_b/cm	0.15
银栅极宽度 W_2/cm	0.1
导电基底膜方块电阻 $\rho_{TCO}(\Omega/\square)$	8~15
银栅极电阻率 $\rho_{Ag}/\Omega \cdot \text{cm}$	3×10^{-6}
比接触电阻 $\rho_c/\Omega \cdot \text{cm}^2$	0.01—5
银栅极厚度 h/cm	0.0002—0.003

在TCO的选择上,由于导电基底透光率与其方

块电阻存在竞争关系^[11],低方块电阻伴随着低的光透过率,所以,低方块电阻不一定能提高电池的转换效率.模拟计算中采用了三种组合形式:1)正反电极均采用方块电阻为 $8\ \Omega/\square$ 的 TCO 膜,2)正电极采用方块电阻为 $15\ \Omega/\square$ 的 TCO 膜,反电极采用方块电阻为 $8\ \Omega/\square$ 的 TCO 膜,3)正反电极均采用方块电阻为 $15\ \Omega/\square$ 的 TCO 膜,光强均为 $100\ \text{mW}/\text{cm}^2$. 根据(4)–(8)式,DSC 光电转换效率随有效面积宽度(W)变化的模拟计算结果如图 3 所示,这三种形式电池的效率随 W 值的增加而不同程度的下降.当正反电极的方块电阻都为 $15\ \Omega/\square$ 时,电池效率降低的最为显著.当 W 值较小时,DSC 方块电阻为 $15\ \Omega/\square$ 时的效率要高于方块电阻为 $8\ \Omega/\square$ 时的效率,而当 W 值大于 $0.7\ \text{cm}$ 时,应选用低方块电阻的 TCO 膜. W 值低于 $0.7\ \text{cm}$ 时,为了进一步提高效率,可以采用正电极为光高透过率的导电基底而反电极为低方块电阻的导电基底.该模拟计算结果为我们今后进行不同面积高效 DSC 研制提供了参考.同时,在更大面积($300\ \text{cm}^2$)^[18]DSC 中,减小 W 值固然可以降低能量在 TCO 膜内的损耗,但是电池的有效面积却大幅下降,所以并不能有效提高整个电池的输出功率.在提高电池有效面积与减小有效面积宽度之间应该有一个平衡点.同样,通过该模拟计算将这一关键问题的解决提供理论指导,这将在以后的工作中做进一步的研究.

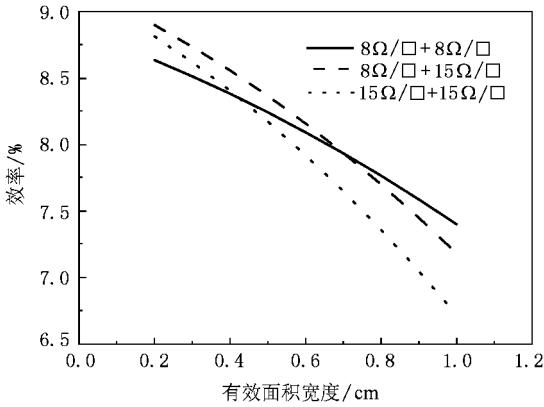


图 3 理论模拟的不同阻抗基底 DSC 有效面积宽度对效率的影响 ($L = 19\ \text{cm}$, $l = 18\ \text{cm}$, $S_b = 0.15\ \text{cm}$, $W_2 = 0.1\ \text{cm}$, $\rho_{\text{Ag}} = 3 \times 10^{-6}\ \Omega \cdot \text{cm}$, $\rho_c = 0.01\ \Omega \cdot \text{cm}^2$, $h = 0.001\ \text{cm}$)

光强不同,对应 DSC 的光电流和光电压也不同,尤其是随光强减弱光电流迅速减小,电子在导电膜内传输时的损耗将大大降低.图 4 是在入射光强分别为 $100\ \text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$, $50\ \text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$, $20\ \text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ 时,

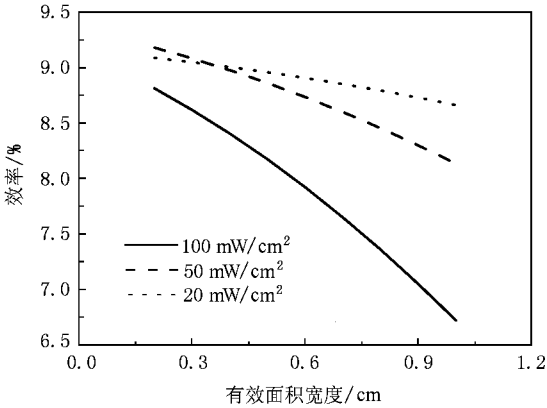


图 4 理论模拟不同光强下 DSC 有效面积宽度对效率的影响 ($\rho_{\text{TCO}} = 15\ \Omega/\square$, $L = 19\ \text{cm}$, $l = 18\ \text{cm}$, $S_b = 0.15\ \text{cm}$, $W_2 = 0.1\ \text{cm}$, $\rho_{\text{Ag}} = 3 \times 10^{-6}\ \Omega \cdot \text{cm}$, $\rho_c = 0.01\ \Omega \cdot \text{cm}^2$, $h = 0.001\ \text{cm}$)

DSC 有效面积宽度对其转换效率的影响,随着光强的减弱,DSC 转换效率随有效面积宽度增加而降低的幅度不再像强光下那么明显,弱光下电池的转换效率比在强光下要大得多.在大面积 DSC 实际应用过程中,室外的太阳光光强是不断变化的,该模拟计算结果为将来大面积 DSC 有效面积宽度的设计提供了参考.

比接触电阻作为 DSC 中串联阻抗的一部分,其大小直接影响 DSC 性能.图 5 描述了在入射光强为 $100\ \text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ 时,DSC 中导电基底与金属栅极比接触电阻大小对其性能的影响,在比接触电阻小于 $0.1\ \Omega \cdot \text{cm}^2$ 时 DSC 转化效率仅有微小的变化,随着其增大到 $1\ \Omega \cdot \text{cm}^2$ 时 DSC 效率大幅下降.可见,要想获得较高的转化效率必须尽量减小比接触电阻,目前实验测得比接触电阻的数值一般小于 $0.1\ \Omega \cdot \text{cm}^2$,

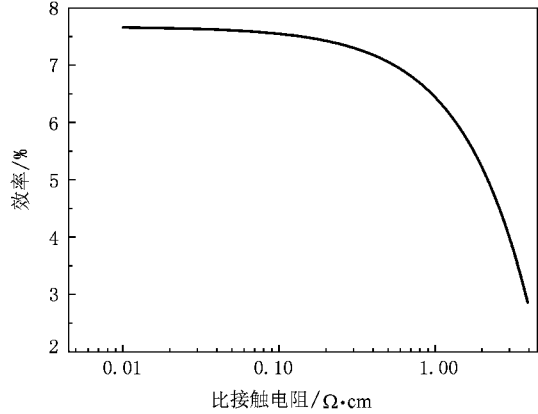


图 5 理论模拟导电基底与金属栅极比接触电阻大小对 DSC 性能影响 ($\rho_{\text{TCO}} = 15\ \Omega/\square$, $L = 19\ \text{cm}$, $l = 18\ \text{cm}$, $W = 0.7\ \text{cm}$, $S_b = 0.15\ \text{cm}$, $W_2 = 0.1\ \text{cm}$, $\rho_{\text{Ag}} = 3 \times 10^{-6}\ \Omega \cdot \text{cm}$, $h = 0.001\ \text{cm}$)

基本满足了制作高效 DSC 的要求.

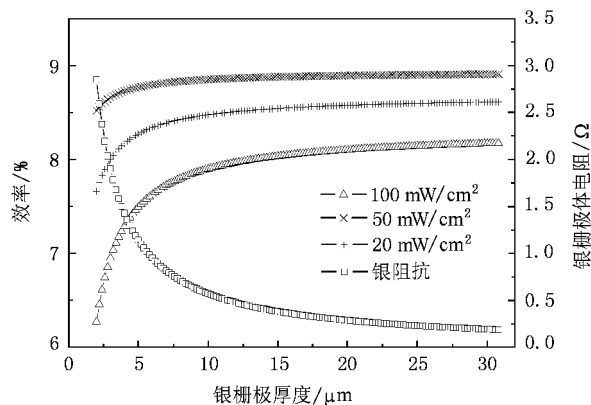


图6 理论模拟银栅极厚度对效率的影响($\rho_{\text{TCO}} = 15 \Omega/\square$, $L = 19 \text{ cm}$, $l = 18 \text{ cm}$, $W = 0.7 \text{ cm}$, $S_b = 0.15 \text{ cm}$, $W_2 = 0.1 \text{ cm}$, $\rho_{\text{Ag}} = 3 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$, $\rho_c = 0.01 \Omega \cdot \text{cm}^2$)

银栅极体电阻增加到一定程度,将影响到光生电子的快速收集,因而在大面积 DSC 制作过程中,对银栅极体电阻应有适当的要求和控制.图6显示在三种不同入射光强下电池银栅极体电阻对转换效率影响的曲线图,入射光强分别为 $100 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$, $50 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ 和 $20 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$.从图6中明显可以看出,随着银栅极厚度增加,其体电阻迅速减小,当其厚度增加到 $15 \mu\text{m}$ 后,其体电阻已低于 0.5Ω ,栅极体电阻进一步减小对电池效率没有明显的提高.同时,随着入射光强的减弱,银栅极体电阻对电池效率的影

响逐渐减小.入射光强为 $20 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ 时,当银栅极体电阻从 2.8Ω 减小到 0.4Ω 其厚度从 $2 \mu\text{m}$ 增加到 $15 \mu\text{m}$,效率仅提高了 5% ,而在 $100 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ 的光照下,其效率提高了 36% .可见在强光下为了获得高的转换效率,在银栅极厚度满足电池制作要求的情况下,应尽量减小其体电阻.然而在本模型中,当银栅极厚度从 $15 \mu\text{m}$ 增加到 $30 \mu\text{m}$ 其效率仅仅提高了 2% .结合电池制作工艺与成本等诸多因素,银栅极的体电阻应保证在 0.5Ω 左右.

4. 结 论

在大面积 DSC 中,串联阻抗起着至关重要的作用.利用自由电子扩散微分方程模拟计算了电池性能随不同光照强度的变化关系,并对串联阻抗部分进行了理论模拟.随入射光强减弱,DSC 光电流近似线性关系减小、光电压以一定的对数关系下降.在弱光下电池中串联阻抗部分对电池性能影响很小,而在强光下串联阻抗部分对电池性能有很大影响,这主要是由于强光下高的电流密度引起的.在该模型中,模拟结果表明:DSC 正电极应采用光透过率高的导电基底,反电极应采用低方块电阻导电基底,金属银栅极的体电阻应保持在 0.5Ω 以下,该模型计算为大面积 DSC 制作和设计提供了参考.

- [1] O'Regan B, Grätzel M 1991 *Nature* **353** 737
- [2] Nazeeruddin M K, Kay A, Rodicio I, Humphry-Baker R, Müller E, Liska P, Vlachopoulos N, Grätzel M 1993 *J. Am. Chem. Soc.* **115** 6382
- [3] Nazeeruddin M K, De Angelis F, Fantacci S, Seeloni A, Viscardi G, Liska P, Ito S, Takeru B, Grätzel M 2005 *J. Am. Chem. Soc.* **127** 16835
- [4] Men Q B, Lin Y, Dai S Y 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 177 (in Chinese)[孟庆波、林 原、戴松元 2004 物理学报 **53** 177]
- [5] Dai S Y, Weng J, Sui Y F, Shi C W, Huang Y, Chen S H, Pan X, Fang X Q, Hu L H, Kong F T, Wang K J 2004 *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **84** 125
- [6] Spath M, Sommeling P M, van Roosmalen J A M, Smit H J P, van der Burg N P G, Mahieu D R, Bakker N J, Kroon J M 2003 *Progress in Photovoltaics* **11** 207
- [7] Weng J, Xiao S F, Chen S H, Dai S Y 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 3602 (in Chinese)[翁 坚、肖尚锋、陈双宏、戴松元 2007 物理学报 **56** 3602]
- [8] Dai S Y, Wang K J, Sui Y F, Weng J, Huang Y, Hu L H, Kong F T, Chen S H, Xiao S F, Wang W G, Pan X, Shi C W, Guo L 2004 *Acta Energetica Sol. Sin.* **25** 807 (in Chinese)[戴松元、王孔嘉、隋毅峰、翁 坚、黄 阳、胡林华、孔凡太、陈双宏、肖尚锋、王卫国、潘 旭、史成武、郭 力 2004 太阳能学报 **25** 807]
- [9] Han L Y, Koide N, Chiba Y, Islam A, Mitate T 2006 *Comptes Rendus Chimie* **9** 645
- [10] Fang X M, Zhang Z G, Ma T L 2006 *Acta Energetica Sol. Sin.* **27** 111 (in Chinese)[方晓明、张正国、马婷丽 2006 太阳能学报 **27** 111]
- [11] Dai S Y, Kong F T, Hu L H, Shi C W, Fang X Q, Pan X, Wang K J 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 1919 (in Chinese)[戴松元、孔凡太、胡林华、史成武、方霞琴、潘 旭、王孔嘉 2005 物理学报 **54** 1919]
- [12] Mathew X, Thompson G W, Singh V P 2003 *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **76** 293
- [13] Lindstrom H, Holmberg A, Magnusson E, Malmqvist L, Hagfeldt A 2001 *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* **145** 107

- [14] Kay A , Grätzel M 1996 *Sol . Energy Mater . Sol . Cells* **44** 99
- [15] Ngamsinlapasathian S , Sreethawong T , Suzuki Y , Yoshikawa S 2006 *Sol . Energy Mater . Sol . Cells* **90** 2129
- [16] Kawashima T , Ezure T , Okada K 2004 *J . Photochem . Photobio . A : Chem .* **164** 199
- [17] Kawashima T , Matsui H , Tanabe N 2003 *Thin Solid Films* **445** 241
- [18] Dai S Y , Wang K J , Weng J , Sui Y F , Huang Y , Xiao S F , Chen S H , Hu L H , Kong F T , Pan X , Shi C W , Guo L 2005 *Sol . Energy Mater . Sol . Cells* **85** 447
- [19] Södergren S , Hagfeldt A , Olsson J , Lindquist S E 1994 *J . Phys . Chem .* **98** 5552
- [20] Nelson J 2003 *Phys . Rev . B* **67**
- [21] Ito S , Ishikawa K , Wen C J , Yoshida S , Watanabe T 2000 *Bulletin of the Chemical Society of Japan* **73** 2609
- [22] Kopidakis N , Schiff E A , Park N G , van de Lagemaat J , Frank A J 2000 *J . Phys . Chem . B* **104** 3930
- [23] Bisquert J , Zaban A , Salvador P 2002 *J . Phys . Chem . B* **106** 8774
- [24] Green A N M , Palomares E , Haque S A , Kroon J M , Durrant J R 2005 *J . Phys . Chem . B* **109** 12525
- [25] Mora-Seró I , Anta J A , Dittrich T , Garcia-Belmonte G , Bisquert J 2006 *J . Photochem . Photobio A : Chem .* **182** 280
- [26] Noma Y , Kado T , Ogata D , Hara Y , Hayase S 2008 *Japanese Journal of Applied Physics* **47** 505
- [27] Dloczik L , Illeperuma O , Lauermann I , Peter L M , Ponomarev E A , Redmond G , Shaw N J , Uhlendorf I 1997 *J . Phys . Chem . B* **101** 10281
- [28] Liang L Y , Dai S Y , Fang X Q , Hu L H 2008 *Acta Phys . Sin .* **57** 1956 (in Chinese) [梁林云、戴松元、方霞琴、胡林华 2008 物理学报 **57** 1956]
- [29] Peter L M , Wijayantha K G U 2000 *Electrochimica Acta* **45** 4543
- [30] Huang S Y , Schlichthorl G , Nozik A J , Grätzel M , Frank A J 1997 *J . Phys . Chem . B* **101** 2576
- [31] Lee J J , Coia G M , Lewis N S 2004 *J . Phys . Chem . B* **108** 5282
- [32] Ferber J , Stangl R , Luther J 1998 *Sol . Energy Mater . Sol . Cells* **53** 29

Model for series resistance photovoltaic performance of large-scale dye-sensitized solar cells^{*}

Huang Yang^{1 2)} Dai Song-Yuan^{1 2)†} Chen Shuang-Hong^{1 2)} Hu Lin-Hua^{1 2)}
Kong Fan-Tai^{1 2)} Kou Dong-Xing³⁾ Jiang Nian-Quan³⁾

¹ *Key Lab of Novel Thin Film Solar Cells , Chinese Academy of Sciences , Hefei 230031 , China)*

² *Institute of Plasma Physics , Chinese Academy of Sciences , Hefei 230031 , China)*

³ *Department of Physics , Wenzhou University , Wenzhou 325035 , China)*

(Received 5 January 2009 ; revised manuscript received 30 March 2009)

Abstract

The dependence of photocurrent and photovoltage of dye-sensitized solar cell on the incident light intensity were investigated based on the electron continuity diffusion equation. For the first time a model was presented for power loss of series resistance in dye-sensitized solar cell , and were simulated the influence of the active-area width of nanoporous film , the effect of special contact resistance on the photo-electric conversion efficiency , as well as the silver impedance in lager-scale solar cells with active area greater than 1 cm² under different illuminations. It was found that the efficiency strongly depends on the width of active area and the silver impedance under strong illumination , nevertheless , this dependence is not obvious under poor illumination.

Keywords : dye-sensitized , solar cell , series impedance , photo-electric conversion efficiency

PACC : 8250C , 7340C , 8610K , 8630J

^{*} Project supported by the National Key Development Program for Basic Research of China (Grant No. 2006CB202600).

[†] Corresponding author. E-mail : sydai@ipp.ac.cn