

p(a-SiC:H)/i(a-Si:H) 异质界面分析*

陈之章 韩茂畴 王宗畔 徐温元

(南开大学电子科学系)

1985年9月6日收到

本文讨论 Glass/ITO/p(a-SiC:H)/i(a-Si:H)/n(a-Si:H)/Al 结构太阳电池中 i 层 C 污染对开路电压 V_{oc} 、填充因子 FF 、收集长度 L_c 及收集效率 η 的影响,并从机理上做了比较详细地分析。我们的实验结果表明:解决好 p/i 界面问题和减少 i 层中 C 的污染是制备出高效率 a-SiC:H 窗口非晶硅 pin 结构太阳电池的关键之一。

一、引言

众所周知, a-SiC:H 做为非晶硅 pin 结构太阳电池的窗口材料对提高电池的转换效率起了很大的作用^[1,2],但也需指出:尽管 a-SiC:H 作为电池的窗口材料有其优点,但也给电池制备带来了一些新的物理问题,特别是对 p-i 界面提出了新要求。本文着重讨论 i 层 C 污染对 V_{oc} 、 FF 以及光生载流子的收集长度 L_c ($L_c = \bar{\mu}\tau E$) 等影响的实验结果。我们的实验结果表明:如果不能控制 C 对 i 层的污染,不仅不能发挥 a-SiC:H 窗口材料的优点,反而会使电池性能大大降低。因此,控制 C 对 i 层的污染是制备高转换效率非晶硅 pin 结构太阳电池的关键。目前国内大多数实验室非晶电池制备系统是单室生长系统,这个问题就更为突出。

二、实验方法

Glass/ITO/p(a-SiC:H)/i(a-Si:H)/n(a-Si:H)/Al 结构电池是用辉光放电法在长有 ITO 减反射膜的玻璃上在单室连续生长系统中依次淀积上 p^+ 型 a-SiC:H。本征型 a-Si:H 及 n^+ 型 a-Si:H。它们的厚度分别为 100—150Å、4000—6000Å、300—500Å。pin 三层所用的汽源分别是: $SiH_4 + CH_4 + B_2H_6$ 、 SiH_4 、 $SiH_4 + PH_3$ 。最后在 n^+ 型层上面蒸发一薄层铝镍膜为电极, p^+ 层为受光面。

利用标准锁相技术和光学系统在 0.44—0.68 μm 波长范围测得光生载流子的收集效率,所使用的单色光斩波频率为 3.2Hz。在固定单色光波长下给 pin 电池加上正反偏置电压,利用光生电流随外偏置电压变化的关系曲线可得到光生载流子的收集长度 L_c 。

C 在 i 层中的分布由多功能电子能谱仪的俄歇分析得到。我们利用一个已知厚度的样品得到溅射时间与剥离深度的关系。为易于分析,在俄歇分析结果中我们直接给出 i

* 本工作得到中国科学院基金会的资助

层深度而不是溅射时间。

三、结果与讨论

图 1 给出三种典型的 $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ 窗口材料电池的 $I-V$ 曲线, 图 2 给出这三种电池 i 层 C 分布俄歇分析结果(表 1 列出这三种电池的典型参数)。从实验结果看出 i 层中 C 污染对 V_{oc} 、 FF 、 I_{sc} 都有不同程度的影响。

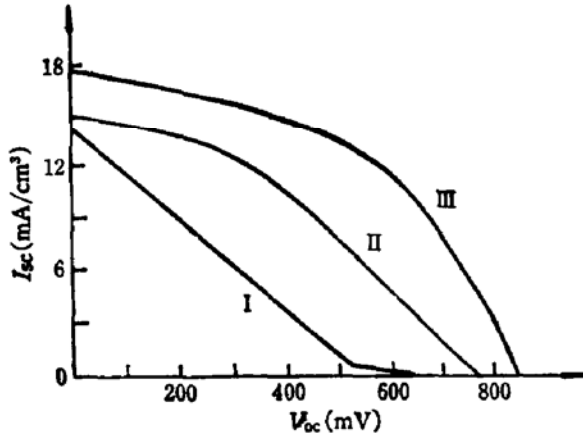


图 1 i 层 C 污染程度不同的三个电池的 $I-V$ 曲线

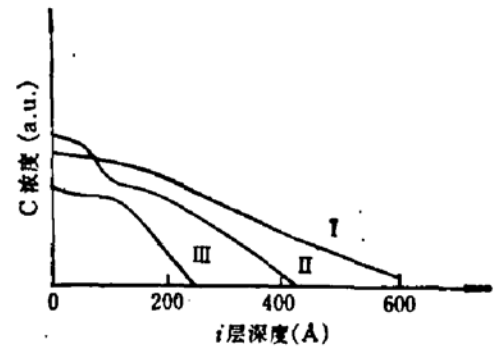


图 2 电池 I、II、III 的 i 层 C 分布的俄歇分析结果

表 1

	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA/cm ²)	FF	η (%)
I	650	13.0	0.21	1.8
II	770	15.0	0.37	4.9
III	840	17.4	0.50	7.3

提高填充因子 FF 是制备出高效电池的难点, 影响填充因子的因素很多, 对 $a\text{-SiC:H}/a\text{-Si:H}$ 异质结电池如对 C 的分布控制不好往往造成电池的 FF 降低。为分析其原因, 我们研究了 C 对 $a\text{-Si:H}$ 膜光电导特性的影响(如图 3 所示), 少量 C 的掺入可使 $a\text{-Si:H}$ 膜的光电导 $\Delta\sigma$ 有数量级的下降。这样就在 $p-i$ 界面 i 层一侧产生一高阻区, 使电池的串联电阻增大。我们还研究了 i 层中不同 C 污染对电池的收集长度的影响。我们利用锁相技术测量电池 II、III 在单色光 ($\lambda=5000\text{\AA}$) 条件下光电流 J 与外加偏压 V_A 的关系来研究 i 层中不同 C 污染对电池收集长度的影响。图 4 中的实线是测量出的实验曲线。从实验结果上可以明显看出 i 层 C 污染程度较深的电池其光电流 J 趋于饱和所对应的负偏置也较大, 这反映出 i 层的 $\overline{\mu\tau}$ 式 L_c 较小。其光电流 J 可表达为^[4,5]

$$J = eGL_c(1 - e^{-V/L_c}) \quad (1)$$

其中

$$L_c = L_n + L_p = (\mu_n\tau_n + \mu_p\tau_p)E = \mu\tau E$$

L 为 i 层厚度。

由光电流的表达式(1), 并注意到

$$\lim_{L_c \rightarrow \infty} J = eGL_c \quad (2)$$

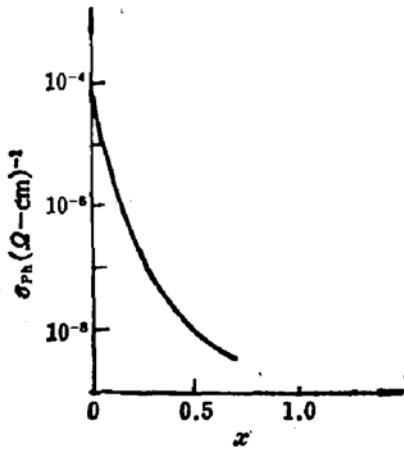


图 3 光电导率 σ_{ph} 与 x 的实验曲线

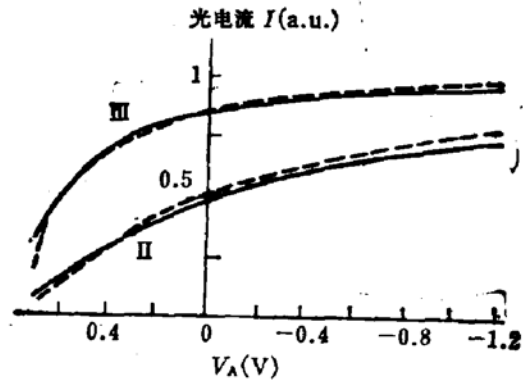


图 4 理论曲线与实验曲线的比较

就可以对图 4 的实验曲线进行拟合, 图 4 中的虚线为理论拟合结果. 通过拟合得到电池 III 的 $\overline{\mu\tau} = 6.7 \times 10^{-9} \text{cm}^2/\text{V}$, 电池 II 的 $\overline{\mu\tau} = 1.75 \times 10^{-9} \text{cm}^2/\text{V}$.

根据以上实验和分析可以认为 i 层污染使得电池串联电阻增大, 同时也使电池的光生载流子的收集长度减小. 这两个因素极大地影响了 FF 值.

由图 1 和表 1 我们还可以看到 i 层污染对 V_{oc} 也有很大的影响. 从一般异质结能带图^[6]出发, 可以把 V_{oc} 表示为:

$$V_{oc} = - \int_0^L \frac{\Delta\sigma}{\sigma} E_0 dx + \int_0^L \frac{\Delta\sigma_n}{\sigma} \frac{d\chi}{dx} dx + \int_0^L \frac{\Delta\sigma_p}{\sigma} \frac{d(\chi + E_g)}{dx} dx. \quad (3)$$

其中 L 为激活区长度, E_0 为自建电场.

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_n + \Delta\sigma_p = c(\mu_n\Delta n + \mu_p\Delta p), \quad \sigma = \sigma_0 + \Delta\sigma,$$

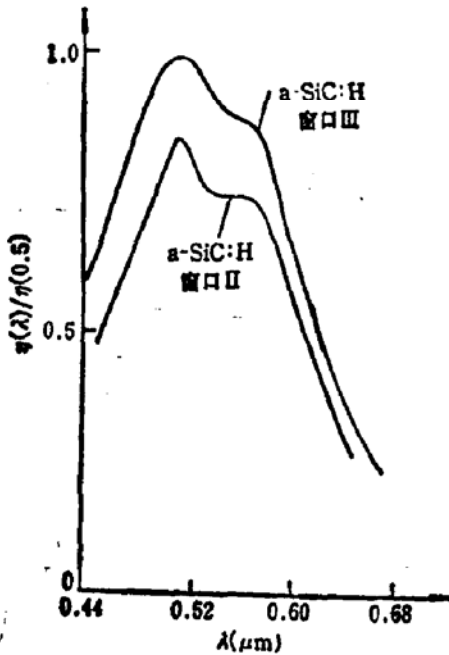


图 5 i 层 C 污染程度不同的两个电池的收集效率曲线

χ , $\chi + E_g$ 分别为电子和空穴的亲势.

由 (3) 式可知, V_{oc} 的第二项强烈依赖于激活区的光电导, 如把 i 层分为两个部分, 即 C 污染区 $0-L'$, 未被 C 污染区 $L'-L''$, 则 (3) 式可写成:

$$V_{oc} = \int_0^{L'} (E - E_0) dx + \int_{L'}^{L''} (E - E_0) dx. \quad (4)$$

由图 3 结果已知少量 C 使材料光电导迅速下降, 使载流子的 $\overline{\mu\tau}$ 有数量级的降低, 这就表明 C 对 i 层的污染程度越严重, 在 i 层中分布越深, 则对 V_{oc} 的影响也就越大.

图 5 给出 a-SiC:H 窗口电池 II、III 实测的收集效率曲线, 它表明 i 层 C 污染严重的电池收集效率差. 图中出现的肩部, 可能是由于干涉引起的, 对 i 层厚度较大的电池则不出现这种情况.

四. 结 论

1. C 对 i 层的污染使电池的串联电阻增大,同时使 $\overline{\mu\tau}$ 及收集长度 L_c 下降,从而使 FF 受到影响.
2. C 对 i 层的污染使得 i 层 C 污染区域的光电导 $\Delta\sigma$ 下降,导致 V_{oc} 下降.
3. 要制备出以 a-SiC:H 为窗口材料的高效率非晶太阳电池,其关键之一是控制 C 在 p-i 界面 i 层一侧的污染.

作者感谢熊绍珍老师的有益讨论和热情帮助. 感谢徐乐、阎宝杰同学在测试工作中给予的大力协助.

参 考 文 献

- [1] Y. Tawada, M. Kondo, H. Okamoto and Y. Hamakawa, Proceedings of the 13th Conference on Solid State Devices, Tokyo, 1981.
- [2] Y. Tawada, K. Tsuge, M. Kondo, H. Okamoto and Y. Hamakawa, *J. Appl. Phys.*, **53**, (1982).
- [3] P. Sichenugrist, M. Konagai, and K. Takahashi, *J. Appl. Phys.*, **55**, 15(1984).
- [4] Brian W. Faughnan and Richard S. Crandall, *Appl. Phys. Lett.*, **44**, 1(1984).
- [5] S. Nonomura, H. Okamoto, H. Kida and Y. Hamakawa, Proceedings of 3rd Photovoltaic Science and Engineering Conference in Japan, 1982.
- [6] S. J. Fonash and S. Ashok, *Appl. Phys. Lett.*, **35**, 1(1979).
- [7] S. J. Fonash, *CRC Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.*, **9**, 107(1980).

Analysis of the Heterogeneous Interface of p(a-SiC:H)/i(a-Si:H)

Chen Zhichang, Han Maochou, Wang Zhongpan and Xu Wenyan

(Department of Electronic Science, Nankai University)

Abstract

This paper deals with the phenomena that the contamination of C in i layer of Glass/ITO/p(a-SiC:H)/i(a-Si:H)/n(a-Si:H)/Al solar cell will seriously influence the open circuit voltage V_{oc} , fill factor FF , length of Collection L_c and coefficient of collection η . A detailed analysis of the phenomena is given in the paper. Our experimental results indicate that the key to make high conversion efficiency pin amorphous solar cell is to control the contamination of C in i layer and prepare a good interface of p/i.