

小面积高效率非晶硅单结太阳能电池

廖显伯 郑怀德 李海峰 刁宏伟
熊华 孔光临

(中国科学院半导体研究所, 北京, 100083)

1991年4月5日收到

本文报道我们在非晶硅单结太阳能电池方面进一步的研究成果。我们在透明 SnO_2 电极与 p a-SiC₂:H 层之间增加了一层高掺杂的超薄接触层(CL),用 MIS 背面隧道接触取代 MS 接触,使单结非晶硅电池的能量转换效率在 1cm^2 面积上达到 11.19% (AM1.5, 100mW/ cm^2)。

一、引言

Pin 型非晶硅 (a-Si:H) 单结太阳能电池的能量转换效率在达到 10%^[1] 以后,如何进一步去提高呢? 这是我们在完成“七五”攻关任务的过程中急待要解决的问题。

从我们过去的实验结果看, a-Si:H 电池的三个光伏参数: 开路电压 V_{oc} , 短路电流密度 J_{sc} 和填充因子 $F.F.$ 都还有提高的潜力。例如, 这三个光伏参数的最高值, 我们曾分别达到 $V_{oc} = 0.925\text{V}$, $J_{sc} = 19.4\text{mA}/\text{cm}^2$, $F.F. = 0.769$ 。问题在于, 这三个参数往往是相互制约的。我们在改善某一个参数时, 需要兼顾其他两个参数, 以便使它们的乘积达到最大。

本文报道我们从改善异质界面的匹配衔接着手, 在进一步提高 a-Si:H 电池性能方面所取得的进展。

二、电池结构和生长工艺的改进

a-Si:H 电池样品是用射频 (13.56MHz) 辉光放电法在一套半无油超高真空三室系统中生长的。该系统由本征室、掺杂室和装卸室组成, 是我们所与中科院沈阳科仪厂联合研制的。本征 a-Si:H 层采用高纯 SiH_4 (99.99%) 气体 (广州半导体材料研究所提供) 在本征室生长, 而 p a-SiC₂:H 层和 n μc -Si:H 层均在掺杂室生长, 气源分别采用高浓度 H_2 稀释的 SiH_4 (2%) 加 B_2H_6 (0.5%) 和 CH_4 , 或加 PH_3 (0.5%)。这些气体都是大连光明化工研究所制备的。电池的衬底为淀积了绒面结构 SnO_2 膜的玻璃片 (美国 Solarex 公司提供)。有关电池生长系统和生长工艺的特点, 我们曾作过报道^[2]。

为了进一步改善 a-Si:H 电池的性能, 我们主要在 p a-SiC₂:H/i a-Si:H 界面,

$\text{SnO}_2/\text{p a-SiC}_x\text{:H}$ 界面以及 $\text{n}\mu\text{c-Si:H/Ag}$ 界面的过渡衔接上下功夫。

1. p a-SiC_x:H/i a-Si:H 界面

在 p a-SiC_x:H 层与 i a-Si:H 层之间引入界面组分(碳)缓变层(IG),可以改善界面的电场分布,降低界面的复合速率,从而改善电池的性能,这方面的研究已很受重视,并有较多的报道^[2,3]。我们通过适当增加 IG 层的厚度和碳组分缓变梯度,在保持电池填充因子基本不变的前提下,使开路电压从 0.85V 提高到 0.90V。

2. SnO₂/p a-SiC_x:H 界面

我们发现,不仅 p a-SiC_x:H 层与 i a-Si:H 层接触需要过渡层,而且 P 层与 SnO₂ 膜接触也需要过渡衔接。实验证明^[4],在 SnO₂ 膜与 p a-SiC_x:H 层之间存在着阻碍光生空穴抽出的肖特基势垒 ($\phi_b \approx 0.65\text{eV}$),仅当 P 层中 B₂H₆ 的掺杂浓度较高时(比如 B₂H₆/(CH₄ + SiH₄) $\approx 0.5\%$),此势垒对光生空穴的隧穿才变得透明,使电池的串联电阻 (R_s) 减小,填充因子改善。图 1 示出电池的 R_s , $F.F.$, J_{sc} , V_{oc} 随 p a-SiC_x:H 层中 B₂H₆ 浓度的变化关系,其中 p a-SiC_x:H 层的带隙宽度 E_g 为 2.24—1.98eV。可以看出,随着生长气体中硼烷浓度的增加, $F.F.$ 得到改善,但 J_{sc} 却明显地下降了,这是因为 B₂H₆ 掺杂使 p a-SiC_x:H 层的 E_g 收缩,增大了 P 层的光吸收。因此,我们在低掺杂的 p a-SiC_x:H 层与 SnO₂ 层之间引入了一超薄的高掺杂接触层(CL),改善了电池的填充因子,却使短路电流密度基本保持不变。

3. nμc-Si:H/Ag 界面

我们在 nμc-Si:H 层与 Ag 背面电极之间蒸发了一薄层 SiO_x 层,在背面形成了 MIS 隧道接触。我们发现,这样用 MIS 接触取代 MS 接触可以改善背面电极的接触特性^[5]。同时,也因为 SiO_x 层的散射作用而使电池的 J_{sc} 略有提高。接触特性改善的原因,估计是由于 SiO_x 层引入了正性电荷(氧化层电荷或界面电荷),将 n 层中电子吸引向表面,从而改善了欧姆接触特性。

在采取了这些措施之后,我们研制的 a-Si:H 单结电池具有以下的结构层次和能带结构,如图 2(a)、(b) 所示。引人注目的是,在 SnO₂/p a-SiC_x:H 界面处 CL 的引入和在 nμc-Si:H/Ag 处 SiO_x 层的引入,改善了电池两面电极的欧姆接触特性。

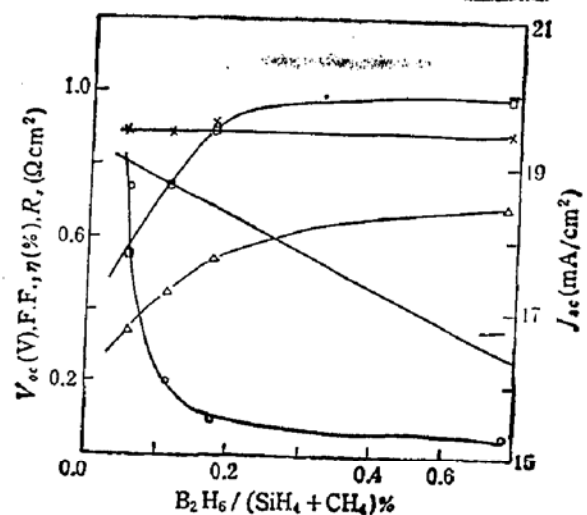


图 1 a-Si:H 电池的 R_s (\circ), $F.F.$ (Δ), J_{sc} (\bullet), η (\square) 随 p a-SiC_x:H 层 ($E_g = 2.24-1.98\text{eV}$) 中硼掺杂浓度的变化关系

三、测试结果

这样制备的 a-Si:H 单结太阳能电池其性能得到进一步的提高。1cm² 面积电池的转换效率最高达到 11.19%,如表 1 所示。表 1 所列数据是按“七五”攻关该项目的规定在

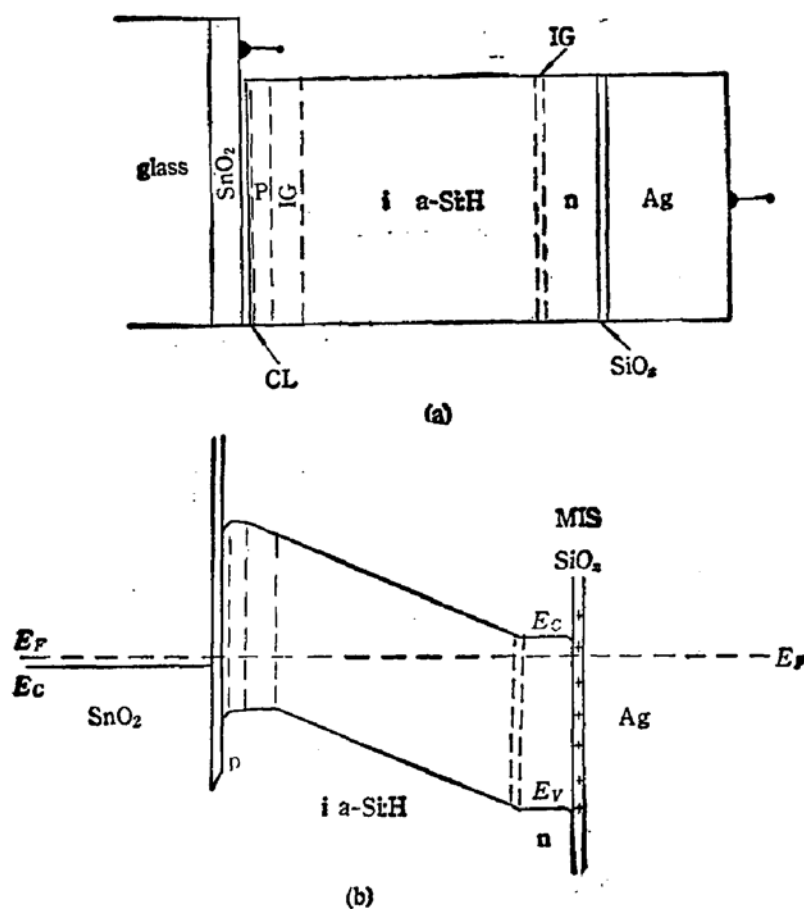


图 2 我们研制的 a-Si:H 单结电池的结构层次 (a) 及相应的能带结构图 (b)

南开大学统一汇测的结果。

表 1 1.0cm² a-Si:H 单结电池性能

样品号	$V_{oc}(V)$	$J_{sc}(mA/cm^2)$	$F.F.$	$EFF.(%)$
SO11221	0.888	18.26	0.690	11.19
SO12101	0.890	17.95	0.690	11.02
SO12102	0.886	18.24	0.683	11.04
SO12091	0.893	17.46	0.700	10.92

测试是在标准条件下进行的。采用的光源为符合国际 A 级标准的 AM1.5 (100mW/cm²) 模拟太阳光源, 其他测试仪器均经过国家有关计量单位检验合格。测试温度为 25°C ± 2°C。

参 考 文 献

- [1] 廖显伯, 熊华, 李海峰, 刁宏伟, 郑怀德, 半导体学报, 11, 479(1990).
- [2] M. Konagai, H. Takei, W. Y. Kim and K. Takahashi, proc. 2nd Inter. Photovoltaic Science and Engineering Conf. p. 437(1986).
- [3] R. R. Arya, 1st inter. Symp. on physics and Appl. of Amorphous Semiconductors, p.263(1987).

- [4] X. B. Liao, H. Xiong, H. F. Li, H. W. Diao and H. D. Zheng, Technical Digest of the Inter. PVSEC-5, p.363(1990).
- [5] 李海峰,熊华,刁宏伟,郑怀德,廖显伯,半导体学报, **12**, (No.9)(1991).

High Efficiency Single Junction a-Si:H Solar Cells with an area of 1.0cm²

Liao Xianbo, Zheng Huaide, Li Haifeng, Diao Hongwei,
Xiong Hua and Kong Guanglin

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Beijing, 100083)

Abstract

This paper reports the new results in improving energy conversion efficiencies of a-Si:H solar cells. Owing to introducing an ultrathin contact layer heavily doped between the SnO₂ and the p a-SiCx:H layers, and utilizing an MIS tunnelling rear contact instead of an MS contact, the conversion efficiency of a-Si:H single junction solar cells has been increased to 11.19% on an area of 1.0cm² (AM1.5, 100mW/cm²).