

微晶硅太阳电池*

张晓丹 高艳涛 赵颖 朱锋 魏长春 孙建 耿新华 熊绍珍

(南开大学光电子薄膜器件与技术研究所, 天津市光电子薄膜器件与技术重点实验室,
光电信息技术科学教育部重点实验室(南开大学, 天津大学), 天津 300071)

摘要: 采用 VHF-PECVD 技术制备了系列微晶硅太阳电池. 综合测试结果表明: 硅烷浓度、热阱温度和前电极都对微晶硅太阳电池的性能有影响. 在湿法腐蚀的 ZnO 衬底上制备的电池的效率比在 ZnO/SnO₂ 复合膜上制备的电池的效率 1.5%. 在优化了沉积条件后, 制备出效率达 6.7% 的微晶硅太阳电池 ($J_{sc} = 18.8 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc} = 0.526 \text{ V}$, $FF = 0.68$), 电池的结构是 glass/ZnO/p($\mu\text{-Si H}$)/i($\mu\text{-Si H}$)/(a-Si H)/Al, 没有 ZnO 背反射电极.

关键词: 甚高频等离子体增强化学气相沉积; 微晶硅太阳电池; X 射线衍射

PACC: 8115H; 3220R

中图分类号: TN304.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2005)08-1582-04

1 引言

为降低成本, 薄膜太阳电池的研究目前已经成为光伏领域关注的焦点^[1~3], 而硅太阳电池是研究热点. 虽然非晶硅薄膜太阳电池一直占据着薄膜太阳电池的主要地位, 但其目前存在着尚未解决的 SWE 问题^[4]. 自从 1994 年瑞士 IMT 小组制备出第一只单结微晶硅太阳电池以来^[5], 对其研究逐步展开, 因为微晶硅太阳电池几乎不存在 SWE 问题. 将微晶硅和非晶硅结合起来组成的非晶硅/微晶硅叠层电池^[6,7] 能充分地利用太阳光谱, 这既降低了非晶硅叠层电池的光致不稳定性, 也解决了非晶硅/非晶硅叠层电池的高成本. 因此, 很有必要制备高效率的微晶硅太阳电池并对其结构进行研究.

2 实验

实验中所有样品都是在我们新研制的多功能系统(cluster CVD system)中制备的, 其中取、放片的机械手在中央传输室. 电池的 P 层和 I 层以及材料制备所用的电源激发频率为 60MHz. 电池 N 层采用传统的 13.56MHz 射频电源. 其中 I 材料硅烷浓

度($SC = [\text{SiH}_4] / [\text{SiH}_4 + \text{H}_2]$) 为 4% ~ 6%, 热阱温度在 270 ~ 300 之间变化. 沉积材料所用衬底是经过 5% HF 酸腐蚀的 corning7059 玻璃. 电池所用的前电极 ZnO/SnO₂ 复合膜, 是在 13% 绒度的 SnO₂ 衬底上溅射的厚度为 20nm 左右的 ZnO. 而湿法腐蚀的 ZnO 前电极由德国 Jülich 光伏研究小组提供.

材料的厚度通过 XP-2 台阶仪测试. 光、暗电导通过 Keithly617 繁用表测试, 其中光电导和电池的光态 $I-V$ 测试所用光强为 AM1.5, 100mW/cm². X 射线衍射是用 PAN algtical X 'Pert PRO 测试的.

3 结果与讨论

3.1 硅烷浓度对材料和电池的影响

图 1 给出了所制备薄膜的光敏性和沉积速率随硅烷浓度的变化. 从图中可看出: 随着硅烷浓度的逐渐增大, 制备薄膜的光敏性从 7 增加到 1.3×10^6 , 这表明材料的电学特性随硅烷浓度变化很明显. 单从光敏性的结果就可判断, 材料随硅烷浓度的变大逐渐由微晶转变为非晶. 根据以前的研究结果^[8] 可初步判断出适用于微晶硅太阳电池的硅烷浓度范围在 4.5% ~ 5% 之间. 样品的 XRD 测试结果如图 2

*国家重点基础研究发展规划(批准号: G2000028202, G2000028203)和国际科技合作资助项目(批准号: 2002DFG00051)

2004-12-29 收到, 2005-03-21 定稿

©2005 中国电子学会

所示,选取的测试模式是 / XRD^[9]. 从结果可以看出:在硅烷浓度为 4 % 的条件下,制备薄膜在 220 方向出现了一个很强的衍射峰;而对于硅烷浓度为 5 % 的条件,制备薄膜仍在 220 方向有一个衍射峰,但其强度明显小于 4 % 制备的薄膜;当硅烷浓度超过 5 % 后,XRD 测试结果表明制备的材料已经是非晶硅.

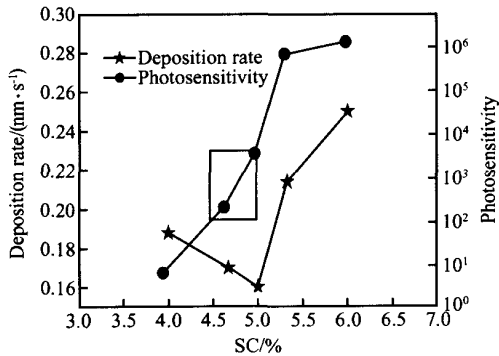


图 1 不同硅烷浓度制备材料的光敏性和沉积速率

Fig.1 Photosensitivity and deposition rate of samples prepared at different silane concentrations

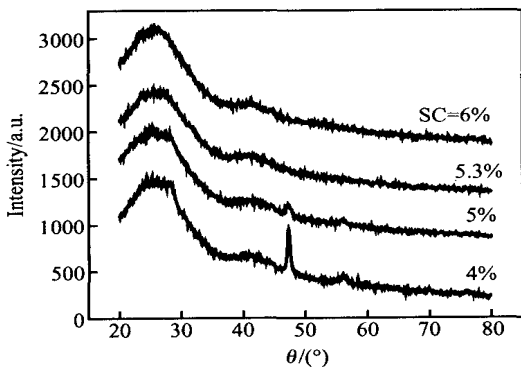


图 2 不同硅烷浓度制备材料的 X-Ray 衍射谱

Fig.2 XRD spectra of samples prepared at different silane concentrations

结合光敏性和 XRD 的测试结果,制备了相应硅烷浓度的单结微晶硅太阳能电池,前电极选用的是 ZnO/ SnO₂ 复合膜.具体的 *I-V* 特性测试结果如图 3 所示.从测试结果可看出:随硅烷浓度的增大,制备电池的开路电压逐渐变大,但在研究的硅烷浓度范围内短路电流密度变化不是很明显.在硅烷浓度为 4.75 % 时,制备电池的效率最高为 5.1 %.

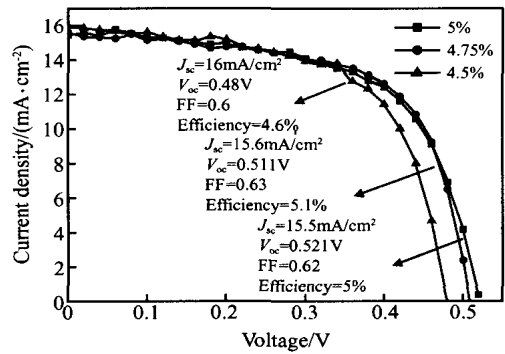


图 3 不同硅烷浓度制备电池的 *I-V* 曲线

Fig.3 *I-V* graph of solar cells prepared at different silane concentrations

3.2 温度对微晶硅太阳能电池的影响

通常微晶硅薄膜的制备除了很敏感地依赖硅烷浓度外,也受温度的影响.为此我们改变热阱温度制备了系列微晶硅太阳能电池(前电极是 ZnO/ SnO₂ 复合膜).热阱温度在 270 ~ 300 之间变化.从图 4 的测试结果可初步看出:在所研究的温度范围内,电池的短路电流密度先逐渐变大,然后略微有点降低;而开路电压在 270 和 280 两个温度条件下都在 0.5V 以上,当温度升高到 290 和 300 时,电池的开路电压则小于 0.5V.以上结果是由于所制备电池的结构发生变化.随着衬底温度的升高,制备电池有源层的晶化程度逐渐提高,因而短路电流密度增大,而开路电压略有降低.而对于 300 条件下电池电流密度降低的原因可能是由于材料晶化程度过强,使得制备电池有源层中有很多裂纹等,从而使电池漏电增大,一方面电流密度降低,另一方面开路电压和填充因子也减小.总的结果是在热阱温度为 290 的条件下,制备电池的效率最高达 5.5 %.

3.3 前电极对微晶硅太阳能电池的影响

作为电池结构的一部分,前电极也对电池的性能参数有一定的影响.选择上面优化的硅烷浓度和温度条件,换成湿法腐蚀的 ZnO 做前电极,制备了微晶硅太阳能电池,测试了其 *I-V* 特性,结果如图 5 所示.从图中可看出:采用湿法腐蚀制备的 ZnO 做前电极,制备电池的性能参数都有了一定程度的提高,结果电池的效率也增加了,但电池的开路电压不是很大.为提高电池的开路电压,把热阱温度降低到 280 ,测试其 *I-V* 特性,结果如图 6 所示.很明显对

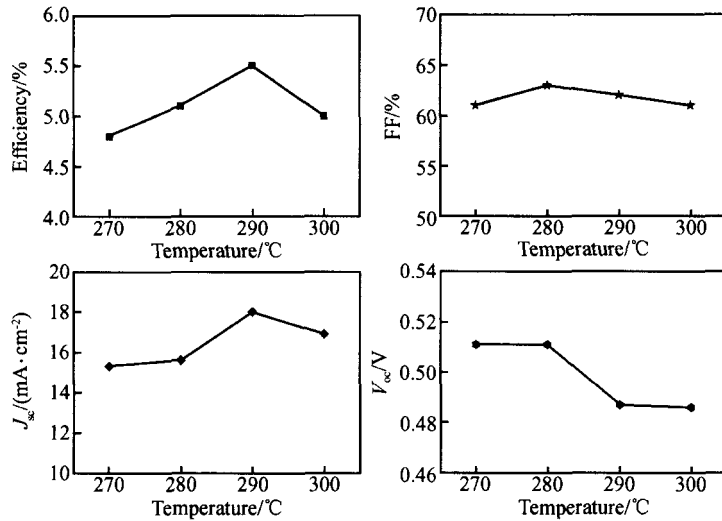


图 4 电池的各个性能参数随热阱温度的变化

Fig. 4 Characteristic properties of solar cells varied with potential well temperature

于前电极为湿法腐蚀的 ZnO 衬底,制备电池的的性能参数都有了很大程度的提高,结果制备出了效率达 6.7% 的微晶硅太阳能电池. 需要指出的是:这里制备的所有微晶硅太阳能电池, I 层的厚度都是 1.0 μ m, 并且没有加背反射电极,相信提高 I 层的厚度和使用背反射电极,电池的效率会进一步提高.

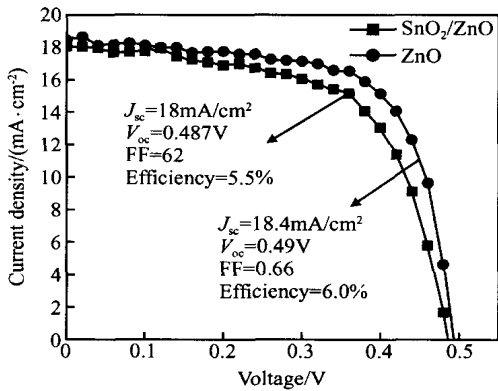


图 5 不同衬底制备电池的 J-V 曲线(290)

Fig. 5 J-V graph of solar cells deposited on different substrates(290)

4 结论

采用 VHF-PECVD 技术制备了本征微晶硅材料和电池. 结果表明:(1)随硅烷浓度的增大,制备材料的光敏性逐渐变大;在所研究的硅烷浓度范围内,薄膜的沉积速率在 0.15nm/s 以上. XRD 的测试结

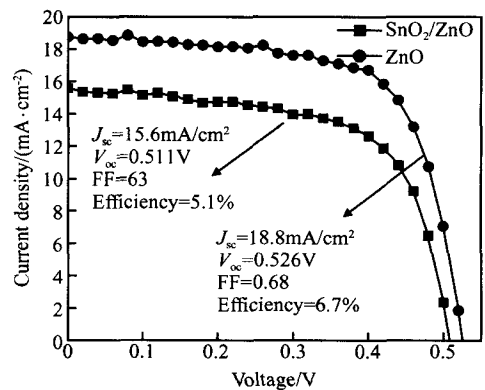


图 6 不同衬底制备电池的 J-V 曲线(280)

Fig. 6 J-V graph of solar cells deposited on different substrates(280)

果表明,在硅烷浓度为 4%~5% 的范围内,薄膜给出了 220 方向择优;当硅烷浓度大于 5% 后制备出的材料是非晶硅. (2)单结微晶硅太阳能电池的开路电压随硅烷浓度的变化比较明显,即硅烷浓度大时开路电压也稍微大一点,综合电池的各个性能参数,硅烷浓度为 4.75% 时,制备电池的效率最高为 5.1%. (3)微晶硅太阳能电池也受温度的影响,温度过低和过高制备出的电池的性能参数都不是很好,而且前电极对微晶硅太阳能电池的性能也有很大的影响. 通过优化制备出了效率达 6.7% 的单结微晶硅太阳能电池.

参考文献

[1] Hamakawa Y. Recent advances in amorphous silicon technol-

- ogies and its application to solar cells. *Renewable Energy*, 1996, 8:10
- [2] Deb S K. Thin-film solar cells:an overview. *Renewable Energy* 1996,8:375
- [3] Shah A,Meier J,Vallat-Sauvain E,et al. Microcrystalline silicon and 'micro-morph' tandem solar cells. *Thin Solid Films*, 2002,403/404:179
- [4] Stabler D L,Wrongski C R. Reversible conductivity changes in discharge-produced amorphous Si. *Appl Phys Lett*,1977,31:292
- [5] Meier J,Flückiger R,Keppner H,et al. Complete microcrystalline p-i-n solar cell-crystalline or amorphous cell behavior. *Appl Phys Lett*,1994,65:860
- [6] Platz R,Hof C,Fischer D,et al. High T_s amorphous top cells for increased top cell currents in micromorph tandem cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*,1998,53:1
- [7] Meier J,Vallat-Sauvain E,Dubail S,et al. Microcrystalline/micromorph silicon thin-film solar cells prepared by VHF-GD technique. *Solar Energy Materials and Solar Cells*,2001,66:73
- [8] Zhang X D,Zhao Y,Zhu F,et al. Fabrication of high growth rate solar-cell-quality $\mu\text{-Si H}$ thin films by VHF-PECVD. *Chinese Physics*,2004,13(8):1370
- [9] Zhang Xiaodan,Gao Yantao,Zhao Ying,et al. Fabrication of microcrystalline silicon thin films and its structural study by X-ray diffraction. The 8th China Photovoltaic Conference, 2004:730 (in Chinese) [张晓丹,高艳涛,赵颖,等.微晶硅薄膜的制备及其结构的 X-ray 衍射分析.第八届全国光伏会议,2004:730]

Study of Microcrystalline Silicon Solar Cells *

Zhang Xiaodan, Gao Yantao, Zhao Ying, Zhu Feng, Wei Changchun,
Sun Jian, Geng Xinhua, and Xiong Shaozhen

(*Institute of Photonic Electronics Thin Film Devices and Technique, Nankai University, Key Laboratory of Photonic Electronics Thin Film Devices and Technique of Tianjin, Key Laboratory of Optoelectronic Information Science and Technology of Ministry of Education (Nankai University and Tianjin University), Tianjin 300071, China*)

Abstract: A series of microcrystalline silicon thin film and solar cells are fabricated by VHF-PECVD. The results show that characteristics of microcrystalline silicon solar cells intensively depend on silane concentration, thermal-well temperature, and the type of front electrode. In this experiment, microcrystalline silicon solar cells fabricated on an etching ZnO front electrode have higher efficiency than those on a ZnO/SnO₂ front electrode. Through optimization of technological conditions, a microcrystalline silicon solar cell with a conversion efficiency of 6.7% is fabricated by VHF-PECVD ($J_{sc} = 18.8 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc} = 0.526 \text{ V}$, $\text{FF} = 0.68$). The structure of the solar cells is glass/ZnO/p($\mu\text{-Si H}$)/i($\mu\text{-Si H}$)/(a-Si H)/Al. There is no ZnO back reflect electrode.

Key words: very high frequency plasma enhanced chemical vapor deposition; $\mu\text{-Si H}$ solar cells; X-ray diffraction

PACC: 8115H; 3220R

Article ID: 0253-4177(2005)08-1582-04

* Project supported by the State Key Development Program for Basic Research of China (Nos. G2000028202, G2000028203), and the International Science and Technology Cooperation Project (No. 2002DFG00051)

Received 29 December 2004, revised manuscript received 21 March 2005

©2005 Chinese Institute of Electronics