

甚高频等离子体增强化学气相沉积制备 微晶硅太阳能电池的研究*

张晓丹[†] 赵 颖 高艳涛 朱 锋 魏长春 孙 建 王 岩 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 300071)

(光电子薄膜器件与技术天津市重点实验室, 天津 300071)

(南开大学光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300071)

(2004 年 7 月 15 日收到, 2004 年 12 月 15 日收到修改稿)

采用甚高频等离子体增强化学气相沉积技术成功地制备了不同硅烷浓度和辉光功率条件下的微晶硅电池. 电池的 $J-V$ 测试结果表明: 在实验的硅烷浓度和功率范围内, 随硅烷浓度的降低和功率的加大, 对应电池的开路电压逐渐变小, 硅烷浓度的不同对电池的短路电流密度有很大的影响, 但功率的影响在实验研究的范围内不是很显著. 对于微晶硅电池, N 层最好是非晶硅. 这是因为一方面可以降低对电流的横向收集效应, 另一方面也降低了电池的漏电概率, 提高了电池的填充因子.

关键词: 微晶硅太阳能电池, 甚高频等离子体增强化学气相沉积

PACC: 8115H, 8630J

1. 引 言

微晶硅太阳能电池和非晶硅/微晶硅叠层太阳能电池已成为当前光伏领域研究的热点^[1-3], 国际上在这方面的研究已经取得了阶段性的成果^[4,5]. 目前, 我们的实验室在这一领域也开展了相关的研究^[6-9], 但对于微晶硅太阳能电池的研究和认识还不是很深刻. 本文围绕着影响材料晶化程度的硅烷浓度和辉光功率两大工艺参数, 采用甚高频等离子体增强化学气相沉积(PECVD)技术制备了系列微晶硅太阳能电池, 并详细分析了两大工艺参数的变化对电池性能的影响. 同时, 就掺杂层对微晶硅太阳能电池性能的影响也进行了初步的研究.

2. 实 验

实验中所有电池都是在三室连续的 PECVD 系统中制备. 其中 P 腔室和 I 腔室电源的激发频率为 60 MHz, 而 N 腔室电源激发频率则为 13.56 MHz. P

腔室、I 腔室和 N 腔室的电极间距分别为 2.25, 2.0 和 2.0 cm. 本文如没有特别指明, 电池 P 层选择的条件是 P1(P1 的硅烷浓度为 0.5%, 气压为 120 Pa, P2 的硅烷浓度是 P1 的 2 倍, 气压为 100 Pa). I 层硅烷浓度为 3%—6%, 功率变化为 9—26 W. 为了研究非晶 N 层和微晶 N 层对电池性能的影响, 实验同时制备了这两种 N 层的电池. 所有电池的 P 层、I 层和 N 层的厚度分别为 20, 1000 和 20 nm 左右. 实验所用的衬底为 ZnO/SnO₂ 复合膜. 电池的 $J-V$ 特性测试所用光强为 AM1.5(100 mW/cm²). 电池的晶化率通过拉曼光谱测试计算得到. 拉曼光谱测试采用的是波长为 632.8 nm 的氦氖激光器.

3. 结果和讨论

3.1. 硅烷浓度对微晶硅太阳能电池性能的影响

图 1 给出了不同硅烷浓度条件下制备微晶硅太阳能电池的性能参数. 从图 1 可以看出, 随硅烷浓度的逐渐增大, 电池的短路电流密度逐渐变小, 而开路电

* 国家重点基础研究发展规划(批准号: G2000028202, G2000028203) 教育部国际科技合作项目(批准号: 2002DFG00051) 和国家高技术研究发展计划(批准号: 2002AA303261) 资助的课题.

[†]E-mail: xdzhang@nankai.edu.cn

压则逐渐增加.这是因为随硅烷浓度的逐渐增大,制备硅薄膜材料的结构逐渐从微晶向非晶转变^[10](见图2).从图2能够明显看出,随硅烷浓度的逐渐增大电池的晶化率^[7]逐渐降低,当硅烷浓度为6%时,电池拉曼测试结果表明电池完全是非晶硅,其晶化率为零.另外,电池的填充因子随硅烷浓度的增大而相对变大一点.这是因为:硅烷浓度越大制备电池中非晶成分就越多,使得电池漏电减少,从而并联电阻相对增大,表现为填充因子增大.实验发现,硅烷浓度为6%条件下制备电池的效率最低,其原因是电池中非晶成分较多,电池的短路电流密度太小.

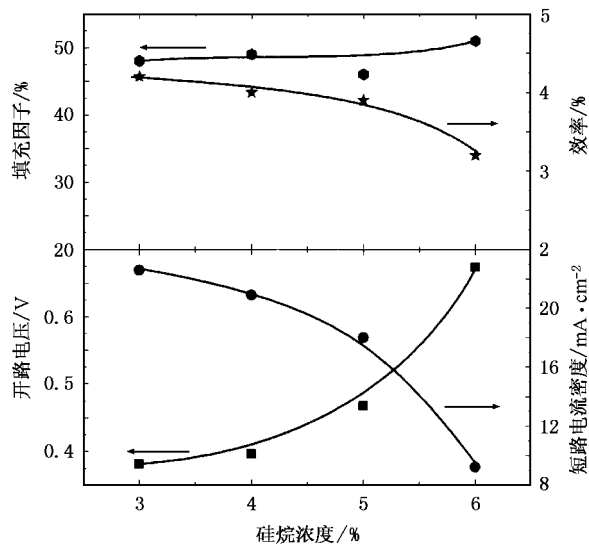


图1 不同硅浓度条件下制备电池的性能参数

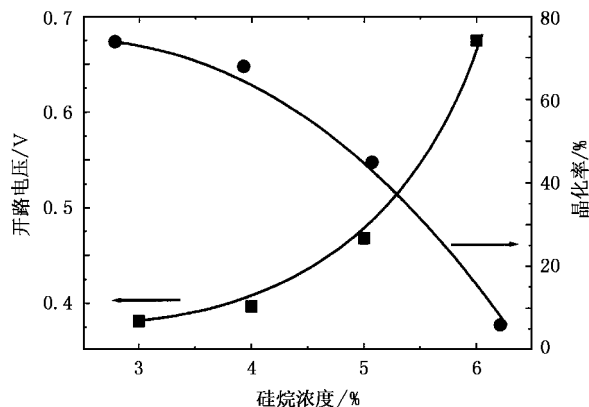


图2 不同硅烷浓度条件下电池的开路电压和晶化率

图3给出了不同硅烷浓度条件下制备电池的量子效率(QE)测试结果.从QE曲线中可明显看出:硅烷浓度为5%条件下制备的电池在长波方向有一突起,这表明此工艺条件下制备的是微晶硅电池,而硅

烷浓度为6%条件下制备的则是非晶硅电池.

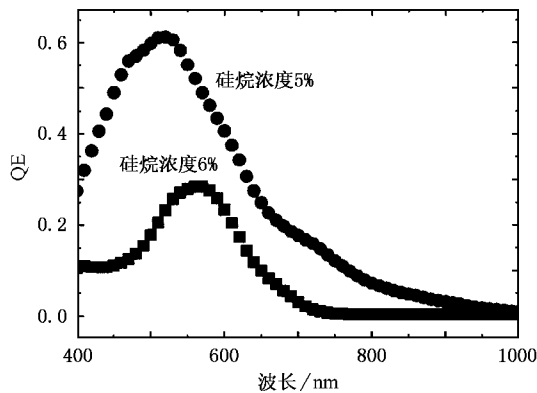


图3 不同硅烷浓度条件下制备电池的QE曲线

3.2. 辉光功率对微晶硅太阳能电池性能的影响

图4给出了不同辉光功率条件下两个不同P层制备微晶硅太阳能电池的性能参数.从图4可以看出,随功率逐渐增大,电池的效率先增大然后逐渐减小.这说明在其他工艺条件确定的情况下,辉光功率对电池性能也有一定的影响.我们具体分析了与电池效率相关的三个参数.首先看填充因子.从图4可看出,随辉光功率的增大,填充因子变化不是很明显,都在50%左右,这样低的填充因子说明电池的各个界面情况不是很好.通常微晶硅太阳能电池的I层存在纵向不均匀性,随厚度的增加薄膜的晶化率也逐渐增大^[9].如果电池的N层是微晶硅材料,则在晶化程度很高的I层基础上,电池N层的晶化率会更高.这样电池的N层表面可能会有一些空洞或晶粒间界,这种电池就很容易后氧化,从而表现为在环境中自然衰退.而且由于微晶硅材料中会存在一定的缺陷、空洞等,使得制备的电池由于并联电阻小而导致电池的填充因子低.电池的电流密度也随辉光功率发生了变化.对于P层为P1条件的系列电池,当功率较小(9W)和较大(26W)时,电池的电流密度相对都小一些,而当功率在12—14W时,电池的电流密度则比较大.而对于P2系列电池,比较大的电流密度是出现在当辉光功率为11—13W之间.另外值得注意的是辉光功率与电池开路电压的关系.从图4可看出,随功率逐渐增大电池的开路电压逐渐降低.这是由于加大功率增加了等离子体中氢原子数量,氢原子的刻蚀使得材料逐渐由非晶向微晶转变,结果表现为开路电压逐渐变小.

图5给出了三个不同辉光功率条件下制备电池

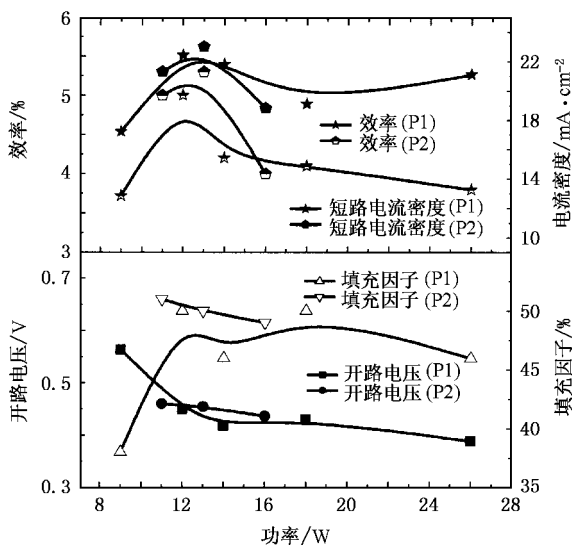


图 4 不同功率条件下制备电池的各个性能参数

的 QE 测试结果(P1 条件).从图 5 可以看出,低功率(9 W)和高功率(26 W)条件下制备电池的长波响应都不如中等功率(12 W)条件下制备的电池.这也说明为获得高效率的微晶硅电池,在其他条件确定的情况下,功率过低和过高都不好.因此,需要选择合适的辉光功率范围.

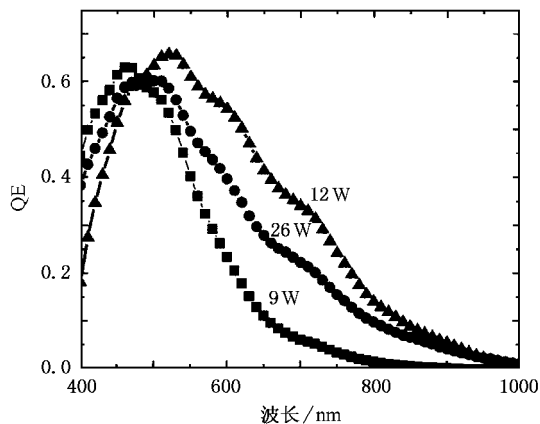


图 5 不同功率条件下制备电池的 QE 曲线

3.3. N 层对微晶硅太阳能电池性能的影响

掺杂层(这里主要研究 N 层)对微晶硅太阳能电池也有很大的影响.图 6 给出了相同的 I 层条件下,选取不同 N 层制备微晶硅太阳能电池的 J-V 特性曲线.从图 6 曲线中可明显看出,当 N 层为微晶硅时,制备电池的短路电流密度较大,而当 N 层为非晶硅时,制备电池的短路电流密度相对较小,这可能是由

于 N 层为微晶硅时的横向收集效应引起的.另外,从图 6 也可看出,电池的并联电阻有所提高.这说明在制备微晶硅太阳能电池时,N 层最好选用非晶硅材料.这样在电池并联电阻得以改善的同时也会降低电池电流的横向收集.

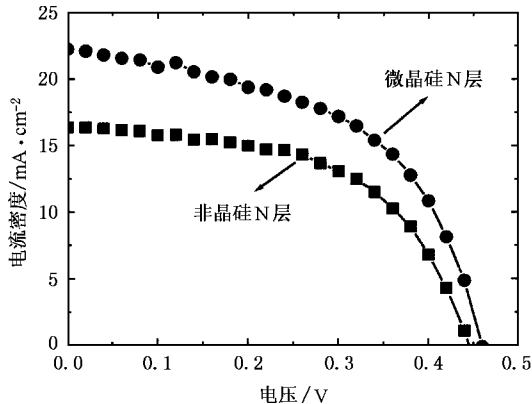


图 6 不同 N 层条件下制备电池的光态 J-V 曲线

图 7 给出了不同 N 层条件下制备电池的暗态 J-V 曲线.从图 7 可看出,与非晶硅 N 层电池相比,微晶硅 N 层电池的 J-V 曲线在正偏压的低压端 (<0.1 V)明显偏离曲线的指数型拟合(如图中的直线所示).这一偏离程度与电池 I/N 界面有很大的关系.由于上述原因,在很大程度上导致微晶硅 N 层制备电池的填充因子较小.

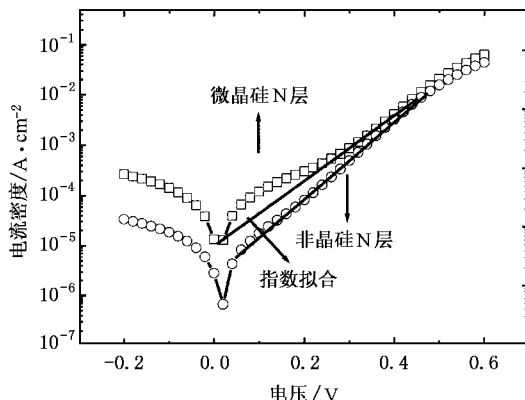


图 7 不同 N 层条件下制备电池的暗态 J-V 曲线

4. 结 论

本文采用甚高频 PECVD 技术制备了不同硅烷浓度和功率的系列微晶硅太阳能电池.测试结果表明:电池的开路电压随硅烷浓度的加大而增大,因为硅

烷浓度越大电池中的非晶成分越多,从而表现为开路电压变大.而短路电流密度却是随硅烷浓度加大而逐渐变小,这也是和材料的结构变化相一致的.电池的开路电压随辉光功率的增大而逐渐降低,其原

因是由于电池的晶化程度发生了变化,趋势是随着晶化程度的提高电池的开路电压逐渐降低.另外, n 层如果为非晶硅则能明显提高电池的填充因子,降低微晶硅太阳电池电流的横向收集效应.

-
- [1] Rech B , Roschek T , Repmann T *et al* 2003 *Thin Solid Films* **427** 157
- [2] Kepper H , Meier J , Torres P *et al* 1999 *Appl. Phys. A* **69** 169
- [3] Shah A V , Meier J , Vallat-Sauvain E *et al* 2003 *Solar Energy Mater. Solar Cells* **78** 469
- [4] Ogawa K , Saito K *et al* 2001 *Technical Digest of the International PVSEC-12* (Jeju : 12th International PVSEC Organizing Committee) p343
- [5] Yamamoto K , Nakajima A *et al* 2003 *Proceeding of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion* (Osaka : WCPEC-3 Organizing Committee)
- [6] Yang H D , Wu C Y *et al* 2004 *Acta Ener. Solaris Sin.* **25** 127 (in Chinese) [杨恢东、吴春亚等 2004 太阳能学报 **25** 127]
- [7] Zhang X D , Zhao Y *et al* 2004 *J. Optoelectronics · Laser* **15** 507 (in Chinese) [张晓丹、赵颖等 2004 光电子·激光 **15** 507]
- [8] Zhu F , Zhao Y *et al* 2004 *J. Optoelectronics · Laser* **15** 381 (in Chinese) [朱锋、赵颖等 2004 光电子·激光 **15** 381]
- [9] Zhang X D , Zhao Y *et al* 2004 *J. Syn. Cryst.* **33** 960 (in Chinese) [张晓丹、赵颖等 2004 人工晶体学报 **33** 960]
- [10] Zhang X D , Zhao Y , Zhu F *et al* 2004 *Chin. Phys.* **13** 1370

Study of microcrystalline silicon solar cells fabricated by very high frequency plasma-enhanced chemical vapor deposition *

Zhang Xiao-Dan Zhao Ying Gao Yan-Tao Zhu Feng Wei Chang-Chun

Sun Jian Wang Yan Geng Xin-Hua Xiong Shao-Zhen

(*Institute of Photo-electronics Thin Film Devices and Technique* , Nankai University , Tianjin 300071 , China)

(*Key Laboratory of Photo-electronics Thin Film Devices and Technique of Tianjin* , Tianjin 300071 , China)

(*Key Laboratory of Opto-electronic Information Science and Technology of Ministry of Education* , Nankai University , Tianjin 300071 , China)

(Received 15 July 2004 ; revised manuscript received 15 December 2004)

Abstract

Microcrystalline silicon solar cells with the variation of silane concentration (SC) and discharge power were fabricated by very high frequency plasma-enhanced chemical vapor deposition. The results of J - V measurements showed that open circuit voltage (V_{oc}) of solar cells decreases with the decrease of silane concentration and the increase of power in the range of experiments. Influence of SC on short-circuit current density (J_{sc}) is more evident than power. As for microcrystalline silicon solar cells , the optimum choice for N layer is amorphous , because it can decrease the lateral collection effect of current on the one hand and increase the fill factor on the other hand.

Keywords : microcrystalline silicon solar cells , very high frequency plasma-enhanced chemical vapor deposition

PACC : 8115H , 8630J

* Project supported by the State Key Development Program for Basic Research of China (Grant Nos. G2000028202 , G2000028203) , International Science and Technology Cooperation Program of Ministry of Education , China (Grant No. 2002DFG00051) , and the National High Technology Development Program of China (Grant No. 2002AA303261).