

# 太阳能电池掩膜窗口宽度与电极宽度比对光生电流性能的影响

王强<sup>1</sup> 徐影<sup>2</sup> 花国然<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>南通大学电子信息学院, 江苏 南通 226019

<sup>2</sup>南通大学机械工程学院, 江苏 南通 226019

**摘要** 提出了一个有效工艺设计参数——选择性扩散掩膜窗口宽度与电极宽度的比值 $T$ 。研究表明,对不同的衬底浓度和掺杂浓度均存在一个最佳 $T$ 值可以获得最大短路电流。选择性扩散浓度为 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 时,其最佳 $T$ 值为1;选择性扩散浓度为 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 时,最佳 $T$ 值小于0.5。电极宽度的增加减小了光生电流,但对最佳 $T$ 值影响较小。选择性掺杂浓度的增加会使得最佳 $T$ 值减小。

**关键词** 太阳能电池; 选择性掺杂; 掩膜窗口宽度; 电极宽度

中图分类号 TK514 文献标志码 A doi: 10.3788/LOP51.081601

## Impact of the Ratio Between Solar Mask Window Width and Electrode Width on the Performance of Light-Generated Current

Wang Qiang<sup>1</sup> Xu Ying<sup>2</sup> Hua Guoran<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Electronic Information, Nantong University, Nantong, Jiangsu 226019, China

<sup>2</sup>School of Mechanical Engineering, Nantong University, Nantong, Jiangsu 226019, China

**Abstract** An efficient process design parameter  $T$ , the width ratio of the selective diffusion mask window and the electrode, is presented. The results show that there always exists an optimum  $T$  value for different substrate concentrations and doping concentrations to obtain the maximum short-circuit current. As the selective doping concentration is  $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ , the optimal  $T$  value is 1; when the selective doping concentration is  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ , the optimal  $T$  value is less than 0.5. Increase of the electrode width makes the photocurrent decrease, but it has little effect on the optimal  $T$  value. Increasing the selective doping concentration causes decrease of the optimal  $T$  value.

**Key words** solar cell; selective doping; mask window width; electrode width

**OCIS codes** 160.6030; 350.6050

## 1 引言

选择性掺杂太阳能电池(SE电池)具有短波响应效果好,制备成本低,转换效率高等优点<sup>[1-3]</sup>。一般来说,SE电池的选择方法主要有两步扩散法<sup>[4-5]</sup>、丝网印刷磷浆法<sup>[6]</sup>、扩散掩膜法<sup>[7]</sup>等,目前SE电池的主要制备方法为扩散掩膜法<sup>[8-9]</sup>。扩散掩膜法是先进行受光面的全面掺杂,再利用掩膜保护非电极区,然后对电极区进行选择掺杂,该方法由于先进行了轻掺杂,降低了电极区进行选择掺杂时与衬底的杂质浓度差,可以较好地控制电池的选择性掺杂区域<sup>[10-11]</sup>。

由于太阳能电池的串联电阻会直接影响电池的短路电流和填充因子<sup>[12-13]</sup>,因此需要对SE电池的扩散层电阻进行研究。杂质浓度分布决定了扩散层的电阻值。对于SE电池,衬底杂质分布是一定的,但选择性掺杂

收稿日期: 2013-10-09; 收到修改稿日期: 2014-01-14; 网络出版日期: 2014-07-21

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(11204145)、南通大学拔尖人才计划(201106)、南通市应用研究计划(BK2012045)

作者简介: 王强(1978—),男,讲师,博士研究生,主要从事太阳能电池器件与工艺等方面的研究。

E-mail: wang-q@ntu.edu.cn

导师简介: 沈明荣(1968—),男,博士,教授,博士生导师,主要从事材料方面的研究。E-mail: mrshen@suda.edu.cn

\* 通信联系人。E-mail: huagr@ntu.edu.cn

的二次扩散会存在横向和纵向扩散,这必然导致电池电极附近杂质浓度的变化。选择性发射区内杂质浓度的分布由以下几个因素决定:衬底浓度、扩散杂质浓度和掩膜窗口区的尺寸<sup>[15]</sup>。

由于以上3点因素必然会对电池的性能产生影响,本文研究了选择性掺杂掩膜的窗口尺寸与电池电极尺寸的关系及其在不同选择性扩散浓度下扩散后的关系,得到了优化的掩膜窗口尺寸与电池电极和选择性扩散浓度的参数。为了便于研究,假设参数 $T$ 表示掩膜窗口宽度与电极宽度的比值。

## 2 选择性掺杂电池模型的建立

设计的选择性掺杂太阳电池结构如图1所示。电池的顶电极为Ag,体电池由晶体Si构成,底电极为Al, p型衬底,电阻率为 $3 \Omega \cdot \text{cm}$ ,在电池的顶电极下形成重掺杂区,即选择性掺杂区<sup>[16]</sup>。

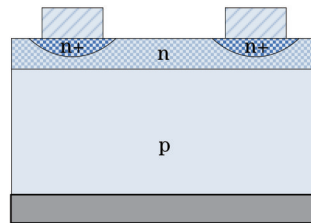


图1 选择性掺杂太阳电池的结构

Fig.1 Structure of SE solar cell

## 3 选择性掺杂掩膜窗口宽度与电池电极宽度的关系

图2所示为 $T$ 的增加对电池性能的影响。从图2中可以看出,随着 $T$ 的增加,电池的光生电流先增加后减小。在电池电极宽度一定时,掩膜窗口的宽度会直接影响电池的光生电流。当 $T=1$ 时,电池获得最大短路电流( $I_{sc}$ )。当 $T>1$ 或 $T<1$ 时,电池的电流减小,这说明掩膜窗口宽度过大或过小都会导致电池性能的下降。电极宽度的增加未改变电流的变化趋势,但增加电极,增加了电池的遮光面积,导致电池的短路电流降低。

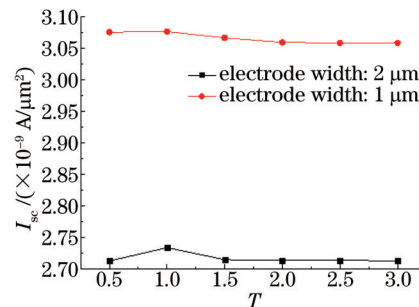


图2 电池短路电流随 $T$ 的变化

Fig.2 Variation in short circuit current of solar cell with  $T$

在相同的衬底浓度、电极宽度和工艺参数条件下,掩膜窗口宽度的增加必然导致电池选择性扩散区的宽度增加,如图3所示。从图3中可以看出,随着扩散窗口尺寸的增加,电池的选择性扩散区增大。而电池的选择性扩散区增大,特别是横向扩散区的增加必然导致光生电流流过高杂质浓度的选择性扩散区距离增

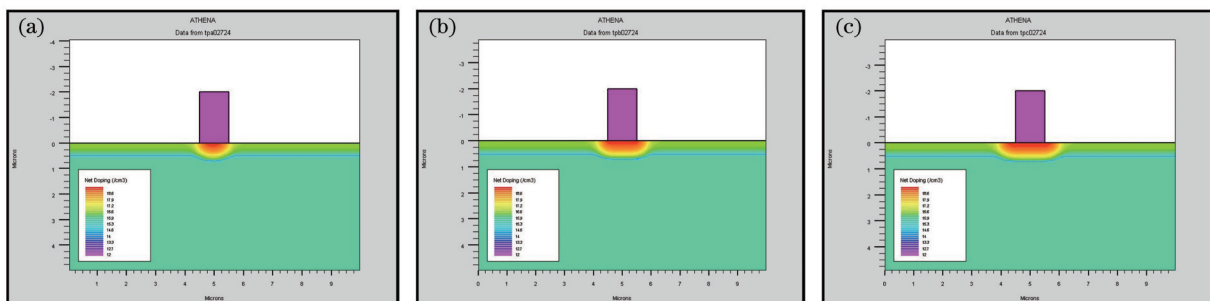


图3 掩膜窗口宽度对扩散区的影响。(a)  $T=0.5$ ; (b)  $T=1$ ; (c)  $T=1.5$

Fig.3 Impact of mask window width on the diffusion zone. (a)  $T=0.5$ ; (b)  $T=1$ ; (c)  $T=1.5$

加。由于高掺杂区为高复合区,高掺杂区过大会导致电流的负荷增加,必然降低电池的光生电流。因此,当  $T > 1$  时,会导致电池的性能降低。但是,如果当  $T < 1$  时,电池的选择性扩散区宽度过小,这样必然会导致电池串联电阻的增加,从而减小了电池的短路电流,形成如图2所示的变化趋势。因此可以通过控制膜窗口宽度获得最佳电池性能。

#### 4 选择性扩散浓度对电池性能的影响

由于电池衬底浓度与选择性扩散时杂质浓度之间的差值会对电池选择性扩散区的大小产生影响,因此,需要研究不同的选择性扩散浓度与电池  $T$  值之间的关系。分别选取扩散气体浓度为  $1 \times 10^{20}$ 、 $1 \times 10^{19}$ 、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  进行了研究,如图4所示。从图4中可以看出,不同的选择性扩散浓度随着  $T$  值增加的变化趋势不同。当选择性扩散浓度为  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  时,电池的短路电流强度随着  $T$  增加而增加,这是由于电池的衬底浓度设定为  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  与电池的选择性扩散浓度  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  相比浓度差较大,电池的选择性扩散区大,在最小的掩膜窗口区下也可以形成较大的扩散区域,并且随着电池掩膜窗口尺寸的增加电池的选择性扩散区增大,所以电池的电流减小。当选择性扩散浓度设定为  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  和  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  时,与电池的衬底浓度差降低,因此,电池的短路电流强度随着  $T$  的增加而先增加后降低。但  $T$  为 0.5 时,  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  的选择性扩散浓度形成的电池电流小于  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ,这与其形成的电池选择性扩散区较小有关。

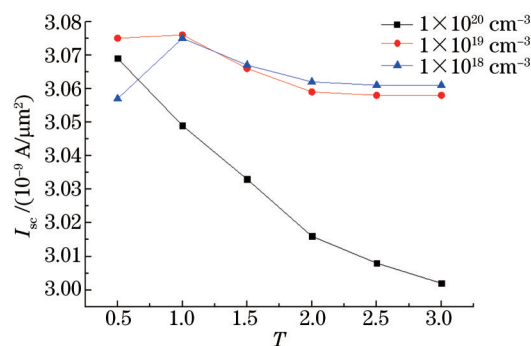


图4 不同选择性扩散浓度条件下电池短路电流与  $T$  的关系

Fig.4 Relationship between the short circuit current and  $T$  at different selective diffusion concentrations

#### 5 结 论

对太阳能电池进行选择性发射极扩散时的掩膜窗口尺寸与电极尺寸的关系进行了研究。在此基础上提出了一个有效的工艺设计参数  $T$ ,并仿真了  $T$  与电池短路电流和选择性扩散浓度的关系。仿真研究表明,存在一个最优化  $T$  值,可以使得电池获得最大的短路电流。随着  $T$  值的增加,在选择性扩散浓度为  $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  时,太阳能电池的短路电流随着  $T$  值先增加后降低,其最佳  $T$  值为 1;当选择性扩散浓度为  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  时,太阳能电池的短路电流随着  $T$  值的增加而降低,其最佳  $T$  值应小于 0.5。最佳  $T$  值会随着扩散浓度的增加向减小的  $T$  值方向移动。电池电极尺寸的增加,不会改变电池短路电流随  $T$  值的变化趋势。

#### 参 考 文 献

- 1 Wang Qiang, Zhang Zhuqing, Shen Mingrong, *et al.*. Study on selective emitter solar cell fabrication process with  $\text{Si}_3\text{N}_4$  mask layer[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2013, 34(2): 259-263.  
王 强, 张竹青, 沈明荣, 等. 基于  $\text{Si}_3\text{N}_4$  掩膜的太阳能电池选择性掺杂工艺研究[J]. 半导体光电, 2013, 34(2): 259-263.
- 2 Zhou Zhen, Shi Linxing. Optimized design of plasmonic thin film solar cells with metal nanogratings[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2012, 49(11): 112303.  
周 朕, 史林兴. 金属纳米栅格薄膜等离子体太阳能电池的优化设计[J]. 激光与光电子学进展, 2012, 49(11): 112303.
- 3 Zhou Tao, Lu Xiaodong, Zhang Ming, *et al.*. Crystalline silicon solar-cell development status and trends[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2013, 50(3): 030002.  
周 涛, 陆晓东, 张 明, 等. 晶硅太阳能电池发展状况及趋势[J]. 激光与光电子学进展, 2013, 50(3): 030002.
- 4 Da Ming Chen, Zong Cun Liang, Lin Zhuang, *et al.*. A novel method to achieve selective emitter for silicon solar cell

- using low cost pattern-able a-Si thin films as the semi-transparent phosphorus diffusion barrier[J]. *Applied Energy*, 2012, 92: 315-321.
- 5 Wu Yuzhi. Research on Selective Diffusion and Surface Passivation for Crystalline Silicon Solarcell[D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2002.  
吴瑜之. 晶体硅太阳能电池选择性扩散及表面钝化研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2002.
- 6 Sophie Ledru, Nadine Ruille. One-step screen-printed electrode modified in its bulk with HRP based on direct electron transfer for hydrogen peroxide detection in flow injection mode[J]. *Biosensors and Bioelectronics*, 2006, 21(8): 1591-1598.
- 7 Hai Bo. Studies on Selective Emitting Mono-Crystalline Silicon Solar Cells by Etching[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011.  
海博. 腐蚀法制备选择性发射极单晶硅太阳能电池的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- 8 Yang Shaopeng, Zhao Yanxin, Han Lingjie, *et al.*. High-efficiency polymer solar cells without optical spacer[J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, 32(5): 0531001.  
杨少鹏, 赵艳新, 韩凌洁, 等. 免光学间隔层的高效聚合物的太阳能电池[J]. *光学学报*, 2012, 32(5): 0531001.
- 9 Cao Jing, Zhan Zhen, Liu Pengyi. Optical simulation based on P3HT: PCBN bulk-heterojunction solar cells: a comparison of normal and inverted structures of device[J]. *Acta Optica Sinica*, 2013, 33(3): 0323004.  
曹婧, 詹真, 刘彭义. 基于P3HT:PCBN体异质结的正置和倒置太阳能电池性能的数值研究[J]. *光学学报*, 2013, 33(3): 0323004.
- 10 Zhou Jian, Li Hongfei, Liu Yucheng, *et al.*. Design and fabrication of an irregularlyshaped distributed Bragg reflector for hetero-junction with intrinsic thin layer solar cells[J]. *Acta Optica Sinica*, 2013, 33(9): 0931003.  
周健, 李红飞, 刘毓成. 太阳能电池光管理用异型分布布拉格反射镜设计与制作技术[J]. *光学学报*, 2013, 33(9): 0931003.
- 11 Stephen A Campbell. The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication (Sencond Edition) [M]. Zeng Ying, Yan Liren, Wang Jimin, Trans.. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003. 418-422.  
Stephen A Campbell. 微电子制造科学原理与工程(第二版)[M]. 曾莹, 严利人, 王纪民, 译. 北京: 电子工业出版社, 2003. 418-422.
- 12 Qu Sheng, Chen Tingjin. Study on the selective emitter structure of solar cells[J]. *Journal of Yunnan Normal University (Natural Science Edition)*, 2005, 25(3): 21-24.  
屈盛, 陈庭金. 太阳电池选择性发射极结构的研究[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2005, 25(3): 21-24.
- 13 Liu Enke, Zhu Bingsheng, Luo Jinsheng, *et al.*. Semiconductor Physics[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1994. 120-194.  
刘恩科, 朱秉升, 罗晋生, 等. 半导体物理学(第四版)[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994. 120-194.
- 14 ASTM F1529-97. Standard test method for sheet resistance uniformity evaluation by in-line-point probe with the dual-configuration procedure[S]. *Annual Book of ASTM Standards*, 1999.
- 15 Shi Min, Zhao Heming. Physics and Process of Semiconductor Device[M]. Suzhou: Suzhou University Press, 2004.  
施敏, 赵鹤鸣. 半导体器件物理与工艺[M]. 苏州: 苏州大学出版社, 2004.
- 16 Wu Yuzhi, Peng Yinsheng. Research on selective diffusion of crystalline silicon solar cell[J]. *Acta Energiae Solaris Sinica*, 2005, 26(5): 635-638.  
吴瑜之, 彭银生. 晶体硅太阳电池选择性扩散的研究[J]. *太阳能学报*, 2005, 26(5): 635-638.