

利用离子注入技术研制新型抗辐照太阳电池*

王兴民 王大椿

(北京师范大学低能核物理研究所 北京 100875)

摘要 利用离子注入技术在电池表面层形成密集的垂直PN结, 缩短光生载流子到达PN结的距离, 提高PN结的收集效率, 从而研制成一种新型的抗辐照太阳电池。

关键词 离子注入, 太阳电池, 抗辐照

卫星用太阳电池一直延用硅平面结电池。这种电池在各种空间射线(主要是质子、中子、电子射线)的轰击下, 其晶体结构受到损伤, 光生载流子的扩散长度变短, 使很大一部分光生载流子未扩散到PN结, 在构成光电流之前就被复合掉, 从而导致电池输出功率的大幅度下降。为使卫星上的仪器能在较长时间内维持正常工作, 势必要加大电池板阵列, 这就增加了卫星重量。为了使电池板能在强辐照环境中长时间地提供足够的电力, 而又不增加卫星重量, 必须解决太阳电池的抗辐照问题。

Wise提出了研制垂直结太阳电池的设想^[1]。实验表明垂直结电池在辐照环境下比常规平面结电池使用寿命长^[2]。然而电池所处的空间环境不仅是一个高辐照区, 同时又是一个冷热急剧变化区。当电池向着太阳时, 其表面温度高达100℃以上, 而背着太阳时, 温度却骤然降到零下100℃以下。这就要求卫星用太阳电池要具有足够的抗热冲击性能。常规平面结电池能够经受得起这种热冲击, 而垂直结电池却在热冲击过程中受到破坏, 使输出功率急剧下降^[3]。产生这种现象的原因主要是由于垂直结电池是利用硅晶体异向腐蚀在硅片表层形成沟槽、扩散杂质制造而成。由于沟槽破坏了原来的完整晶体结构, 加之沟槽中封装胶与晶体热膨胀系数的不匹配, 造成了垂直结电池在热冲击中损坏。

我们利用高能离子注入, 在硅片表层形成有一定深度的垂直结, 在保持晶体完整结构(即具有硅平面结电池抗热冲击性能)的同时, 使其具有较好的抗辐照性能。

1 设计思想

光进入硅晶体是以指数衰减的, 虽在100 μm深层以下仍有光生载流子形成, 而硅晶体20 μm厚的表面层吸收了约80%的可利用光子(即能量在1.1eV以上的光子)。光生载流子被PN结收集构成光电流也是随距PN结的远近成指数下降。鉴于这样两个指数关系, 如在硅太阳电池表面层缩短光生载流子到达PN结几个μm的距离, 将有效地改善PN结对光生载流子的收集。可以利用高能离子注入形成深入硅电池表面层几个μm的垂直PN结, 再扩散一个浅平面结制成一个平面结-垂直结太阳电池。这样的电池在高辐照环境中光生载流子扩散长度下降的情况下仍将有较大的功率输出。

* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期:1994-04-23, 修回日期:1994-09-23

2 实验方法

采用电阻率 $6-8\Omega\cdot\text{cm}$ 的P型 $\langle 100 \rangle$ 硅单晶片,在表面热氧化形成一个薄的 SiO_2 层,其上溅射一层钨掩蔽膜,光刻、刻蚀形成一定的钨掩膜图形。其注入区线宽 $\sim 2\mu\text{m}$,掩蔽间隔宽 $\sim 3\mu\text{m}$ 。磷离子叠加注入的能量、剂量分别为 0.38MeV , $3\times 10^{14}/\text{cm}^2$; 0.6MeV , $3\times 10^{13}/\text{cm}^2$; 1.3MeV , $5\times 10^{13}/\text{cm}^2$; 3MeV , $8\times 10^{13}/\text{cm}^2$; 6MeV , $1\times 10^{14}/\text{cm}^2$,经过 580°C 退火 1h ,保护氮气流量 $0.7\text{L}/\text{min}$ 。接着在氮气保护下, 950°C 扩磷 13min 。在完成上述工艺后,按照常规工艺制备电极和减反射膜。与此同时用同一衬底材料制作常规平面结电池作为对照样品。

3 结果与讨论

对经过磷离子叠加注入和低、高温扩散退火无掩膜图形的样品陪片用扩展电阻仪测量其载流子浓度剖面分布(见图1)。从图1看出叠加注入结深可达到 $6\mu\text{m}$ 。用磨角染色法观察有掩膜图形样品的结形状(见图2)。从图2可看出利用离子注入技术已形成比较密集而整齐的垂直PN结。

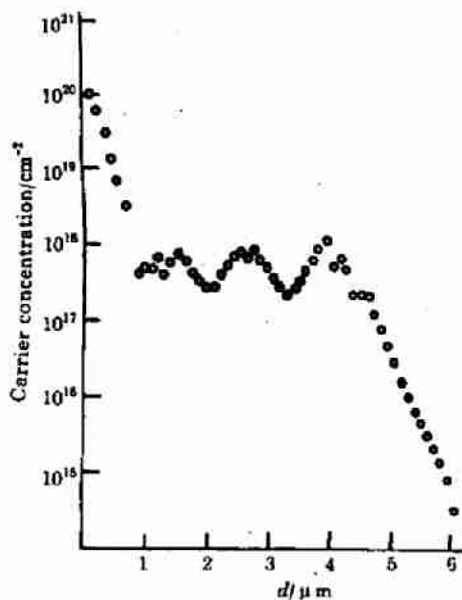


图1 载流子浓度剖面分布

Fig.1 The carrier concentration profiles

对垂直结电池和常规平面结电池(对照样品)辐照前后在AMo条件下进行了测试。垂直结电池的起始转换效率——即辐照前的转换效率为 10.6% ,常规平面结电池为 13.8% 。经过 5MeV 、 $2.5\times 10^{13}\text{e}/\text{cm}^2$ 辐照后,垂直结电池下降了 5.5% ,而常规平面结电池下降了 21.6% 。从测试结果看出垂直结电池的抗辐照性能较好,不足的是它的起始转换效率较低。

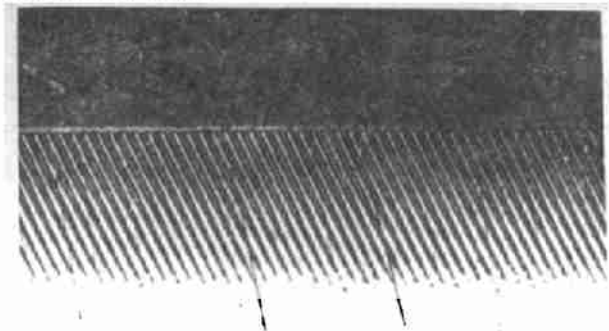


图2 光学显微镜下的垂直PN结

Fig.2 The vertical PN junction observed with an optical microscope

造成垂直结电池起始转换效率低的主要原因是由于垂直结密度过高,离子注入区域占整个电池表面积比例过大,高能注入离子所引起的晶体损伤在工艺过程中没有得到好的恢复。这些晶体损伤使光生载流子寿命变短,影响了PN结对光生载流子的收集。PN结区的晶体损伤也使PN结漏电流变大,开路电压下降。

4 结 论

利用离子注入技术所研制的新型抗辐照太阳电池,虽然起始转换效率较低,但它却具有比常规平面结电池更好的抗辐照性能,并具有常规平面结电池的抗热冲击性能,克服了一般抗辐照垂直结电池抗热冲击性差的缺点。起始转换效率较低主要是由于在工艺过程中注入损伤未能得到很好的恢复。如果能在电池结构设计中适当加大垂直结间的间隔,在光刻和等离子刻蚀中形成较窄的离子注入区,并在注入后进行适当时间的低、高温退火后再扩磷,这样一方面可以减少注入区所占电池面积,另一方面在高温退火和高温扩磷过程中会使晶体损伤得到较好的恢复,并有可能把垂直PN结推向非注入区从而减小PN结漏电流。总之,只要在结构设计和工艺上作进一步改进,是会研制出更好的抗辐照太阳电池的。

参 考 文 献

- 1 Wise F J. AD/A 00/084/3GA
- 2 Masloski Lt Ken. Electron radiation tests on the vertical junction silicon cell. In: Fifteenth IEEE photovoltaic specialists conference, 1981:233
- 3 Wohlgemuth J H, Wrigley C Y. Non-reflecting vertical junction silicon solar cell optimization, Technical report AFAPL-TR-78-91, 1978

Development of a new type anti-irradiation solar cell by ion implantation

Wang Xingmin Wang Dachun

(Institute of Low Energy Nuclear Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract

Presented is a method to form a crowded vertical PN junction in the surface layer of a solar cell by ion implantation. After the processing the distance from the light-generated carrier to the PN junction is shortened and the collection efficiency of the cell is improved. A new type anti-irradiation solar cell has been developed.

Key words Ion implantation, Solar cell, Anti-irradiation