

磷铝吸杂在多晶硅太阳能电池中的应用

赵 慧^{1,2} 徐 征¹ 励旭东² 李海玲² 许 颖² 赵玉文² 王文静²

(1 北京交通大学光电子技术研究所, 北京 100044)

(2 北京市太阳能研究所, 北京 100083)

摘要: 研究了多晶硅的浓磷扩散吸杂、铝吸杂、磷-铝联合吸杂(双面蒸铝). 采用准稳态光电导衰减法测试了吸杂前后多晶硅片的有效少数载流子寿命, 发现磷-铝联合吸杂于硅片少子寿命的提高最大达 30 μ s 以上, 其次是磷吸杂, 铝吸杂再次之. 采用吸杂后的多晶硅片制备了 1cm \times 1cm 的太阳电池, 与相同条件下未经吸杂制备的电池相比, 发现三种吸杂方式都能提高电池的各项电学特性, 其中磷-铝联合吸杂提高电池效率最大, 达 40% 以上, 最差为铝吸杂, 只有 15% 左右的提高, 这与吸杂后所测得的少子寿命的变化趋势一致. 实验说明三种吸杂方式在不同程度上促成了硅片界面晶格应力对重金属杂质的吸附作用, 减少了载流子的复合中心, 从而提高了有效少数载流子的寿命; 而有效少数载流子的寿命直接影响到电池的效率.

关键词: 磷/铝吸杂; 少子寿命; 多晶硅太阳能电池

PACC: 7220; 7280; 7820

中图分类号: TN304

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2005)02-0341-04

1 前言

多晶硅太阳能电池具有价格低、可制成方片、利于组件排列等优点, 在近几年光伏市场中所占的比重已经超过 50%. 我国多晶硅电池研究与国外相比有一定差距. 目前, 国际上小面积多晶硅电池最高转换效率已经达到 19.8%. 工业化生产的大面积电池平均效率也在 14% 以上, 而国内多晶硅电池的效率比此约低了 2 个百分点.

多晶硅中存在大量的微缺陷和较多的铜、铁、镍、锰、钛等金属杂质, 由于这些微缺陷和金属杂质形成了一些深能级, 并成为光生少数载流子的复合中心, 严重影响了电池的效率. 如何消除这些杂质对多晶硅电池的影响就成为当前研究的主要课题之一.

虽然磷吸杂在硅太阳能电池中已属常规工艺, 但吸杂的效果对不同的样品差别很大, 有时会有相反的结果. 由于晶界的影响, 多晶硅的扩散机制与单晶硅有明显的不同. 因此, 定性而言, 在同样的扩散条件下, 多晶硅中磷的扩散浓度和结深都要高于单晶硅. 目前这方面的研究没有统一的结果, 也没有完整

的理论.

关于铝吸杂, 目前主要有两种机制可以解释, 即分凝机制(杂质在 Al/Si 合金和硅之间分凝, 而在合金中的固溶度高)和沉积机制(合金层中有大量缺陷, 杂质与缺陷结合能量更低). 实验方面, 也有大量关于铝吸杂的报道^[1], 但和磷吸杂一样, 这方面的研究没有定论.

另外, 近年已有关于磷-铝联合吸杂的报道, 即背面有铝时, 在同一个高温过程中完成磷吸杂和铝吸杂. 目前, 国内关于两面蒸铝然后再扩磷的研究不多, 国外有些初步的尝试^[2,3], 一些文献认为该方法不但减少了一次高温过程, 而且效果比单独的铝或磷吸杂要好^[4].

鉴于以上分析, 由于目前国内没有对于多晶硅磷吸杂、铝吸杂以及磷-铝吸杂(双面蒸铝)的系统研究, 也没有统一的定论, 因此系统地研究磷、铝以及磷-铝吸杂(双面蒸铝)对于多晶硅电池的影响很有必要.

本文研究了浓磷扩散吸杂、铝吸杂以及磷-铝联合吸杂(双面蒸铝)对于多晶硅的影响并在此基础上制备多晶硅太阳电池. 测量吸杂前后硅片的有效少数载流子寿命的变化趋势, 同时, 采用吸杂后的多晶

硅片制备 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 的太阳电池,与未吸杂的多晶硅太阳电池比较,研究多晶硅太阳电池的电学特性变化.

2 实验

本文实验使用抛光的 p 型多晶硅片,厚度约 $280\mu\text{m}$,电阻率约 $1\ \Omega\cdot\text{cm}$,掺杂浓度约 10^{16}cm^{-3} .

2.1 吸杂实验

(1) 磷吸杂

多晶硅片 清洗,测量少子寿命,磷扩散 $930\ ^\circ\text{C}$, 45min ; $980\ ^\circ\text{C}$, 75min 去除扩散层,测量少子寿命.

(2) 铝吸杂

多晶硅片 清洗,测量少子寿命,蒸铝 $980\ ^\circ\text{C}$, 5h 烧结 去除 Al/Si 合金层,测量少子寿命.

(3) 磷-铝联合吸杂

多晶硅片 清洗,测量少子寿命,双面蒸铝 磷扩散 $930\ ^\circ\text{C}$, 30min ; $980\ ^\circ\text{C}$, 75min 去除 Al/Si 合金层和扩散层,测量少子寿命.

所镀铝层厚度最好能达到 $2\mu\text{m}$ 或以上.因为根据分凝模型,铝层厚度越厚,则吸杂效果越好.每次蒸铝要保持厚度的一致.

2.2 制备多晶硅太阳电池

实验所用多晶硅具有相同的物理参数,其少子寿命的原始平均值为 $2.7\mu\text{s}$.在相同的制备条件下进行了吸杂与未吸杂多晶硅太阳电池的制备.所制备的电池面积为 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$,上电极是 Ti/Pd/Ag,背面是 Al 背场.

(1) 普通多晶硅太阳电池的制备

多晶硅片 清洗 扩散制结 做铝背场 做上下电极 去周边,测量电学特性.

(2) 吸杂后的多晶硅太阳电池的制备

多晶硅片 清洗 按 2.1 所述的吸杂方式分别进行吸杂处理 去除吸杂层 扩散制结 做铝背场 做上下电极 去周边,测量电学特性.

3 实验结果与分析

3.1 吸杂前后多晶硅少子寿命的比较

准稳态光电导衰减法 QSSPCD (quasi-steady

state photoconductance decay) 是国际上经常使用的测量寿命的方法,特别适用于硅片和硅薄膜性能的测量.此法使用电感耦合方式,不需要切割处理样品,测量简便迅速,是一种很有效的无接触测量手段.

表 1 列出了吸杂前后多晶硅片少子寿命的变化.从表中可以看出,三种吸杂方式对多晶硅的少子寿命都有所提高,其中,磷-铝吸杂对少子寿命提高最大,超过 $30\mu\text{s}$;其次为磷吸杂,效果最差的是铝吸杂,提高也有 $10\mu\text{s}$ 以上.

表 1 吸杂前后少子寿命的比较

Table 1 Comparison of lifetime of wafer before and after different getterring

吸杂类型	吸杂前寿命/ μs	吸杂后寿命/ μs	吸杂后寿命平均提高/ μs
磷吸杂	2.3	28.7	26
	2.6	27.4	
	3.3	29.3	
铝吸杂	2.7	15.9	14
	3.4	17.7	
	2.4	16.9	
磷-铝吸杂	2.8	38.5	34.5
	2.5	37.1	
	3.3	36.5	

3.2 未经吸杂制备的多晶硅太阳电池性能的测量

表 2 列出了常规多晶硅太阳电池的各项性能指标.从表 2 可以看出,未经吸杂处理的常规多晶硅电池效率偏低,短路电流和开路电压等性能也比较差.

表 2 未吸杂多晶硅太阳电池的性能

Table 2 Electric properties of polycrystalline silicon solar cells before getterring

编号	I_{sc}/mA	V_{oc}/mV	填充因子	$\eta/\%$
a	25.3	577.9	0.617	9.05
	24.92	571.1	0.663	9.44
b	22.8	576.2	0.725	9.52
	24.84	577.2	0.661	9.47
a	26.1	583.7	0.692	10.5
	25.37	592.5	0.712	10.7

注: a, b 为硅片代号; a, b 为电池代号.

3.3 吸杂后电池性能的测量

表 3 是多晶硅经过磷、铝以及磷-铝联合(双面蒸铝)吸杂后所制备太阳电池的电学特性一览表.从表 3 可以看出,三种吸杂方式对电池的各项电学特性都有所提高,其中效果最好的是磷-铝联合(双面蒸铝)吸杂,使多晶硅太阳电池的效率提高达 40%

以上,对短路电流以及开路电压等电学特性也有所提高;最差的为铝吸杂,只使电池效率提高 15 % 左右.这与吸杂后所测得的少子寿命的变化趋势相一致.

表 3 吸杂后多晶硅电池的性能

Table 3 Electric properties of polycrystalline silicon solar cells after different gettering

编号		I_{sc}/mA	V_{oc}/mV	填充因子	/ %
磷 吸 杂	a	29.69	603.8	0.677	12.2
	b	29.61	603.9	0.682	12.19
	a	29.76	610.8	0.693	12.6
	b	29.74	611.9	0.689	12.54
	a	29.62	605.8	0.695	12.47
	b	29.65	606.7	0.691	12.43
铝 吸 杂	a	26.57	593.8	0.652	10.28
	b	26.48	596.2	0.645	10.18
	a	26.23	597.1	0.685	10.73
	b	27.65	593.3	0.682	11.19
	a	28.64	599.6	0.680	11.67
	b	27.44	595.5	0.689	11.26
磷 铝 吸 杂	a	29.62	632.3	0.754	14.12
	b	29.59	628.5	0.762	14.17
	a	29.47	619.7	0.751	13.72
	b	29.6	621.2	0.758	13.94
	a	29.63	629.4	0.764	14.25
	b	29.54	626.9	0.767	14.20

3.4 实验分析

以上数据表明:三种吸杂方式在不同程度上促进了硅片界面晶格应力对重金属杂质的吸附作用,减少了载流子的复合中心,从而提高了有效少数载流子的寿命;而有效少数载流子的寿命直接影响到电池的效率.

一般来讲,吸杂应分三步将有害杂质从硅中活跃区域带入缺陷密集区域或杂质溶解度较大的区域,杂质必须经过如下过程:从原始或非理想状态中释放,在晶体中扩散,被吸杂中心捕获.经过浓磷扩散吸杂、铝吸杂以及磷-铝联合吸杂,非平衡少数载流子提高程度不同,其原因可以解释如下:

(1) 关于 Al 吸杂,主要有两种机制可以解释,即分凝机制和沉积机制.杂质在 Al/Si 合金和硅之间分凝,而在合金中的固溶度高,所以虽然有很多氧及微缺陷参与沉淀的生成,但是被 Al-Si 合金层有效吸除^[5,6],此即分凝机制.沉积吸杂则是因为合金层中有大量缺陷,杂质与缺陷结合能量更低,从而有效吸除硅中的重金属杂质.

(2) 浓磷扩散吸杂主要是利用杂质原子与硅原

子的结构差异,将其扩散到硅片背面引起失配位错,因而形成应力吸杂中心.同时浓磷扩散层还可以提供其它吸杂方式:费米能级效应和离子增加固溶度(分凝机制)及硅自间隙原子的注入吸杂,因此浓磷扩散吸杂的效果较铝吸杂优越.

(3) 磷-铝联合吸杂结合了磷吸杂以及铝吸杂的优点,同时磷-铝的互扩散还加强了对重金属杂质的吸收作用,更有利于产生较深的发射结^[7].

4 结论

经过对于磷、铝以及磷-铝联合(双面蒸铝)吸杂的系统研究,发现:

(1) 磷-铝联合吸杂对于硅片少子寿命的提高最大,达 30 μs 以上,其次是磷吸杂,铝吸杂再次之.

(2) 采用吸杂后的多晶硅片制备了 1cm \times 1cm 的太阳电池,与相同条件下未经吸杂制备的电池相比,发现三种吸杂方式都能提高电池的各项电学特性,其中磷-铝联合吸杂对电池效率提高最大,达 40 % 以上,最差为铝吸杂,只提高 15 % 左右,这与吸杂后所测得的少子寿命的变化趋势一致.

(3) 实验说明三种吸杂方式在不同程度上促进了硅片界面晶格应力对重金属杂质的吸附作用,减少了载流子的复合中心,从而提高了有效少数载流子的寿命;而有效少数载流子的寿命直接影响到电池的效率.

参考文献

[1] Narayanan S, Wenhan S R, Green M A. 17.8 percent efficiency polycrystalline silicon solar cells. IEEE Tans Election Devices, 1990, 37:382

[2] Elgamel H E A. High-efficiency polycrystalline silicon film solar cells. Solar Energy Materials and Solar Cells, 1998, 53:269

[3] Elgamel H E A, Nijs J, Mertens R, et al. Hydrogen in polycrystalline silicon solar cell material: its role and characteristics. Solar Energy Materials and Solar Cells, 1998, 53:277

[4] Mahfoud K, Pivac B, Muller J C. P/Al co-gettering effectiveness in various polycrystalline silicon. Solar Energy Materials and Solar Cells, 1997, 46:123

[5] Xia Yushan, Chen Yi, Zong Xiangfu, et al. Analysis for mechanism of soft damage gettering. Research and Progeress of Solid-State Electronics, 2000, 20:223 (in Chinese) [夏玉山, 陈一, 宗祥福, 等. 软损伤吸杂作用机构的分析. 固体电子学研究与发展, 2000, 20:223]

- [6] Liu Peidong ,Zhu Aiping ,Zhang Jinxin ,et al. Effect of carbon and nitrogen atoms to oxygenprecipitation. Chinese Journal of Semiconductors ,1999 ,20 (2) : 107 (in Chinese) [刘培东 ,朱爱平 ,张锦心 ,等. 碳和氮原子在氧沉淀中的作用. 半导体学报 , 1999 ,20(2) :107]
- [7] Kuznicki Z T ,Sidibe S ,Morel J. AluminumrBSF profile realized by diffusion implantation and thermal annealing. 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference ,1997

Applied P/ Al Gettering on Polycrystalline Solar Cells

Zhao Hui^{1,2} , Xu Zheng¹ , Li Xudong² , Li Hailing² , Xu Ying² ,
Zhao Yuwen² , and Wang Wenjing²

(1 Institute of Optoelectronic Technology , Beijing Jiaotong University , Beijing 100044 , China)

(2 Institute of Solar Energy , Beijing 100083 , China)

Abstract : A series research of heavy phosphorous diffusion gettering ,aluminum gettering ,and combination of aluminum and phosphorous gettering (evaporation of aluminum on the front and the back of wafers) for polycrystalline silicon are reported. It is found that the minority carrier lifetime of the polycrystalline silicon wafers is improved greatly after gettingting (by QSSPCD). The electric performances of 1cm ×1cm polycrystalline silicon solar cells are tested and contrasted after different gettingting. The phosphorous/ aluminum co-gettering is found to be the most effective way in improving the minority carrier lifetime of the polycrystalline silicon wafers and consequently ,the efficiency of the solar cells. It concludes that while gettingting ,the crystal lattice stress absorbs the heavy metal impurities and decreases the compounds of electronrcavity ,thus increases the minority carrier lifetime and even improves the efficiency of the solar cells.

Key words : phosphorous/ aluminum gettering ; the minority carrier lifetime ; polycrystalline silicon solar cell

PACC : 7220 ; 7280 ; 7820

Article ID : 0253-4177(2005)02-0341-04