

# 激光改善太阳能材料电学特性的研究

王涛 郑启光 陶星之 辜建辉 赵宁

(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉, 430074)

**摘要:** 在制备多晶硅太阳能电池材料的过程中, 离子注入和机械加工往往使材料表层微结构产生缺陷, 恶化了材料的电学性能, 降低了少数载流子寿命。针对这一问题, 本实验采用高功率 CO<sub>2</sub> 激光扫描硅材料, 通过晶粒外延生长消除了缺陷, 降低了材料表面方块电阻, 提高了少数载流子寿命。本文还分析了激光扫描后材料的反型现象。

**关键词:** 太阳能 方块电阻 少子寿命

## Electronic characteristics of solar material improved by laser processing

Wang Tao, Zheng Qiguang, Tao Xingzhi, Gu Jianhui, Zhao Ning

(National Lab. of Laser Tech., HUST)

**Abstract:** In process of making polycrystalline silicon solar cell material, the microstructure defect of material surface worsens electric character of material and reduces minority carrier life because of ion injecting and machining. To solve this problem, the silicon material was scanned by high power CO<sub>2</sub> laser, and crystal extension was obtained and defect was eliminated in experiment. The block resistance of material surface was reduced and minority carrier life was increased. The type reversal of material scanned by laser was also analysed.

**Key words:** solar block resistance minority carrier life

### 一、引言

在太阳能材料中, 单晶硅所占的比例逐年下降, 多晶硅所占的比例逐年上升<sup>[1]</sup>。多晶硅成本低, 由多晶硅制作的太阳能电池效率可达到 10% 以上<sup>[2]</sup>。因而, 其应用将日益广泛。然而, 硅片的机械加工和 Be, Al, Ga 等掺杂离子的注入过程均使基片形成错位、层错及各种类型的点缺陷, 这些缺陷在禁带中形成附加能级, 对于少数载流子来说即形成了大量的复合中心。复合中心使禁带宽度产生收缩, 并以指数形式影响少数载流子寿命。针对这一问题, 本研究工作采用高功率 CO<sub>2</sub> 激光照射并溶化基片表层, 以消除微观缺陷, 提高多晶硅材料的电性能。

当波长为 10.6 μm 的 CO<sub>2</sub> 激光照射到硅材料上时, 因光子能量较小难以被价带电子吸收, CO<sub>2</sub> 光子主要由硅材料中的载流子吸收, 而载流子是通过非线性过程来获得。如热激励、多光子电离和碰撞电离, 获得的载流子进一步吸收光子能量 (free-carrier absorption) 并将能量以声子形式传给晶格, 提高材料温度。在激光扫描过程中, 浅表层发生溶化, 随后溶化层在基体晶粒上外延生长形成整齐而无缺陷的晶粒, 消除了电池 PN 结附近大量的少数载流子复合中心。提高了少数载流子寿命, 同时使材料表面的体电阻得到降低。

## 二、实验及讨论

我们采用 P 型半导体多晶硅片, 硅的纯度达到 7 至 8 个 9, 厚度为 0.42mm。连续多模 CO<sub>2</sub> 激光器输出最高激光功率为 2kW。激光束经透镜聚为  $\varnothing 5\text{mm}$  的光斑对试样进行扫描。扫描部分采用 Ar 气保护以防止硅材料表面氧化。激光扫描前, 硅片表面受机械加工的影响具有许多微观裂纹, 表面晶粒结构遭到破坏, 宏观上表现为表面光洁度低。经激光扫描后受破坏的表面层再结晶, 消除了表面微观缺陷, 晶粒结构整齐光洁度很高。

我们用四点探针法测量了两个硅试样的体电阻值, 见表 1。两者的激光功率均为 900W, 扫描速度为 40mm/s。试样经激光照射扫描后体电阻值均有较大的下降。原因可解

Table 1 The block resistance of sample scanned by laser

sample	thickness (mm)	current (mA)	voltage (mV)	block resistance ( $\Omega/\text{cm}^2$ )	
				unirradiated	irradiated
1	0.42	0.336	0.076	3101.07	86.63
2	0.42	0.346	0.05	3083.92	56.99

释为: 掺杂时由于杂质离子能量高, 进入基片后会使得基片形成错位、层错及各种类型的缺陷, 注入层遭到破坏; 加之注入的杂质未进入晶格位置, 导电性能较差。激光扫描部分消除了材料表面的缺陷, 改善了晶格结构, 同时使杂质离子进入晶格位置, 硅的体电阻值下降, 改善了硅材料的电性能。同时利用少数寿命测量仪测量了表 1 中试样 1 的少数寿命, 激光照射前后测得少数寿命分别约为 0.13ms 和 0.18ms。因表面层缺陷被消除, 相应地消除了少子的复合中心, 少数寿命得以提高。

Table 2 The type reversal of P type silicon material scanned by laser

sample	power (W)	speed (mm/s)	$P/v$ ( $\text{W}\cdot\text{s}/\text{mm}$ )	types		
				strong N	weak N	weak P
1	1320	15	88	✓		
2	1200	20	60	✓		
3	1200	40	30		✓	
4	900	33	27.32		✓	
5	1260	50	25.2		✓	
6	900	40	22.5			✓

用热探针检测材料 PN 特性时发现, 经激光扫描后材料表层出现反型现象。激光扫描前的材料和激光束没有扫描到的部分材料呈 P 型, 而激光扫描的部分则呈现出弱 N 或强 N 型, 见表 2。这是因为在材料内部和加工后的表面均含有 P 型掺杂的离子, 材料呈 P 型。激光扫描后表面层硅原子吸复

的 P 型掺杂金属被蒸发, 一部分硅原子出现断键使表面出现活性层。它吸附空气中的氮和 N 型金属杂质, 使材料表面呈 N 型<sup>[3]</sup>。从表 2 中明显地看到随单位表面入射激光能量的增加 ( $P/v$  值的增加) 材料趋向于强 N 型, 通过以上的分析可知: 随入射激光功率的提高, 表面微量金属蒸发增加, 硅原子断键增多, 更易吸附空气中氮和其它 N 型金属杂质, 使材料反型趋势增强。这一现象为形成一种新的 PN 结生成方法提供了可能。

### 参 考 文 献

- 1 Aberger N. The photovoltaic industry today and tomorrow. GMBHB urghousen: Federal Republic of Germany, 1984:5
- 2 赵富鑫, 魏彦章主编. 太阳能电池及其应用. 北京: 国防工业出版社, 1985:263
- 3 赵富鑫, 魏彦章主编. 太阳能电池及其应用. 北京: 国防工业出版社, 1985:45