新型结构线锯切割晶体硅片特性研究

摘要：通过双向结构线锯切割晶体硅片试验，分析了切片表面的微观形貌特点，研究了砂浆用量与进给速度对硅片表面粗糙度(Ra)、总厚度偏差(TTV)、翘曲度的影响大小。结果表明：结构线锯切割晶体硅片表面参数正常，符合检测标准，为切割效率提高，成本降低开辟了一条新的道路。

1引言

目前，太阳能硅片制造工艺主要流程为：单晶拉直或多晶浇铸—开方—磨面和倒角—硅晶棒切片——清洗—分拣包装。切片是把硅晶棒变为硅晶片的一道重要工序，其切片质量的好坏直接影响后续加工工序及最终加工质量。目前，切片的主要方法有两种：一是利用钢线锯高速运行带动悬浮在PEG中的碳化硅磨削晶棒实现切片；二是直接利用钢线表面镶嵌或电镀有金刚石的金刚线锯磨削晶棒块实现切片。由于第二种切片方式需要对现有设备进行改造，费用昂贵，且还需要改进电池片工艺，因此没有广泛推广利用。而第一种工艺也存在切片质量不稳地，成本偏高的缺点，因此，如何提高硅片切割质量，降低成本是各个硅片生产厂家迫切需要解决的问题。

本文进行了结构线锯双向切割硅片的实验，分析了切片表面微观形貌特点及形成原因，研究了工艺参数对硅片的表面粗糙度、总厚度偏差(TTV)、翘曲度与亚表面损伤层厚度(SSD)的影响，并对实验结果进行了分析。

2试验

2.1试验方法

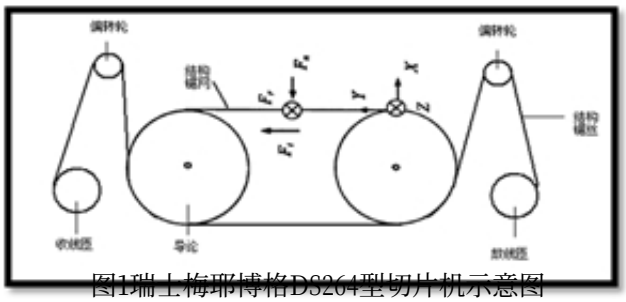

图1瑞士梅耶博格DS264型切片机示意图

本实验选用瑞士梅耶博格DS264型切片机进行双向结构线锯试验。图1为此切割装置的示意图。

2.2实验方案与硅片质量评价

因为结构线锯具有降低砂浆用量，提高切割效率的优点，所以本文实验方案将以砂浆用量和切割进给进行两因子两水平进行试验。试验后检测硅片厚度和表面粗糙，以及切割后钢线锯和碳化硅磨损值，并与直钢线锯切割进行对比分析。

加工参数与切割条件如表1所示。使用基恩士3D扫描显微镜观察切割的硅片表面形貌；利用蔡司电子显微镜观查碳化硅形貌；采用TR200型表面粗糙度测量仪沿工件进给方向测量硅片的表面线痕深度(Rt值)；采用WA-200硅片厚度电阻率测试仪测量硅片厚度差值(TTV值)；采用EXPLOIT塞尺测量硅片翘曲度。

表1结构线锯切割条件与加工参数

加工条件	加工参数
线锯直径 d/mm	0.12
碳化硅型号	1500
晶棒长度 l/mm	780
进给速度 $v/mm.s^{-1}$	0.31,0.34
砂浆用量 m/kg	270,330
砂浆密度 $\rho/kg.l^{-1}$	1.635

3结果与讨论

3.1切割硅片表面形貌分析

图2是分别采用不同切割条件切割的硅片表面形貌图。由图可知，硅片表面存在凹槽和损伤层。原因是钢线锯和硅锭同时挤压碳化硅，产生较大的摩擦力，形成碳化硅磨削切割硅锭造成。结构线锯切割产生的凹槽和损伤层与直钢线锯切割硅片相比没有太大差别，不需要对后续太阳电池片的生产工艺进行调整，更不会对硅片效率产生影响。

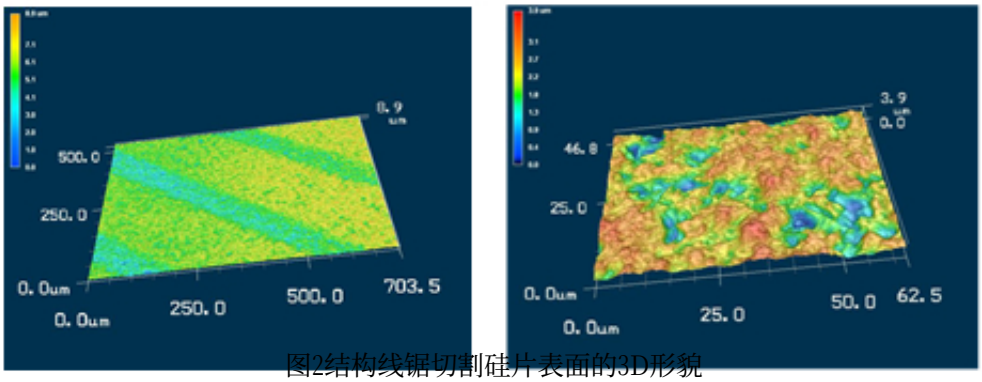

图2结构线锯切割硅片表面的3D形貌

3.2砂浆用量对硅片Rt和TTV的影响

众所周知，砂浆用量的减少，将导致切割硅片质量波动，甚至会增大断线风险。而断线的主要原因是硅粉导致砂浆粘度上升，碳化硅无法进入切割区域，钢线磨损增大产生断线。

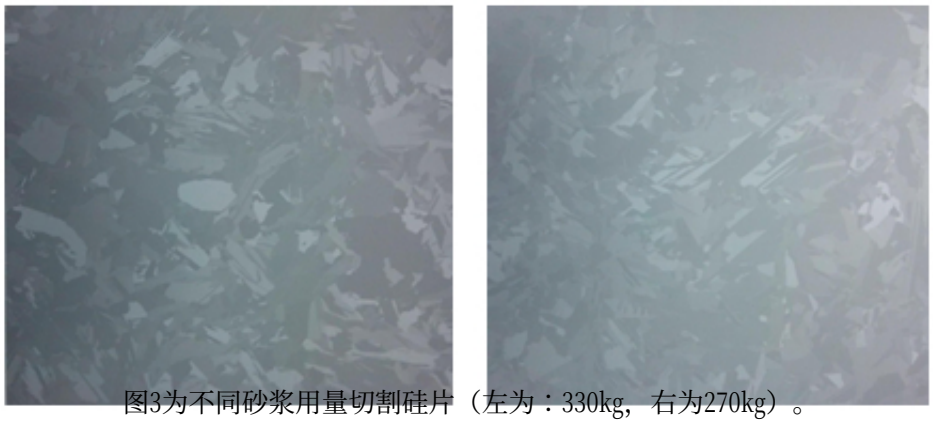
图3为不同砂浆用量切割硅片（左为：330kg，右为270kg）。

上图为结构线锯在不同砂浆用量下切割的硅片照片，由图可知，硅片表面没有异常线痕。检测硅片表面Rt和TTV值

，当砂浆用量为330kg时，Rt值在8.52-10.62微米之间，TTV值在4.31-5.42微米之间；当砂浆用量为270kg是，Rt值在9.16-10.25微米之间，TTV值在4.25-6.23微米之间。Rt值和TTV值随着砂浆用量降低而略有增加，但是最高不超过11，符合A类片标准。

3.3进给速度对硅片Rt和TTV的影响

众所周知，切割进给速度将加大对钢线的压力，提高切割效率的同时，也增加了断线的风险。而断线的主要原硅锭对钢线的压力加大，摩擦力增加，钢线磨损加大，超出了钢线承受范围导致断线。

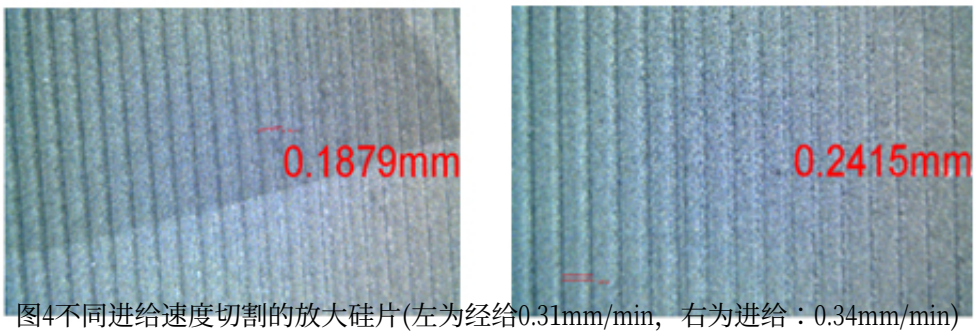

图4不同进给速度切割的放大硅片(左为经给0.31mm/min，右为进给：0.34mm/min)

由图可知，进给速度由0.31mm/min提高到0.34mm/min时，硅片线间距由0.18mm增加到0.24mm，但硅片没有异常线痕。检测硅片表面Rt和TTV值得出，当切割进给0.31mm/min时，Rt值在7.25-8.12微米之间，TTV值在3.47-6.68微米之间；当切割进给速度为0.34mm/min时，Rt值在8.57-10.60微米之间，TTV值在4.32-6.85微米之间；Rt值和TTV值随着切割进给速度略有增加。即进给速度增加，结构线锯也能切割出满足质量要求的硅片。

3.4锯切工艺参数对硅片翘曲度的影响

硅片的翘曲会导致在后续电池片上产过程中产生碎片，造成二次损失。同时，结构线锯与直钢线锯的外观形貌由很大区别，因此对其切割硅片的翘曲度进行测量。结果显示，结构线锯切割晶片的翘曲度值在20-30微米之间，当切割进给速度由0.31mm/min增加到0.34mm/min时，硅片翘曲度增大了2.24微米，增加幅度不大。

晶片产生翘曲的主要原因是锯切时，锯丝与工件接触区域长度的变化带来切割区温度的变化，导致硅棒的热膨胀变化，因此锯切区域的温度对晶片的翘曲度有很大的影响。结构线锯切割进给增加时，硅片翘曲度并没有明显增大的原因有两方面，一方面是试验中切割钢线速度没有变化；另一方面，结构线锯特殊的形貌使其带砂能力相比直钢线来说更强，进入切割区域的砂浆量增加，对切割区域的冷却性能的到加强，可以缓解进给速度提高导致摩擦热上升的问题。

3.5结构线锯及磨损情况

线锯切割机在切割硅棒时，锯丝由于高压和强烈的摩擦，以及可能的高温作用，碳化硅微粒的运动切割以及大的拉力和循环往复运动使锯丝产生拉断和疲劳断裂，降低锯丝的使用寿命。因此，必须关注不同切割条件下，线锯和碳化硅的磨损情况，规避断线风险。

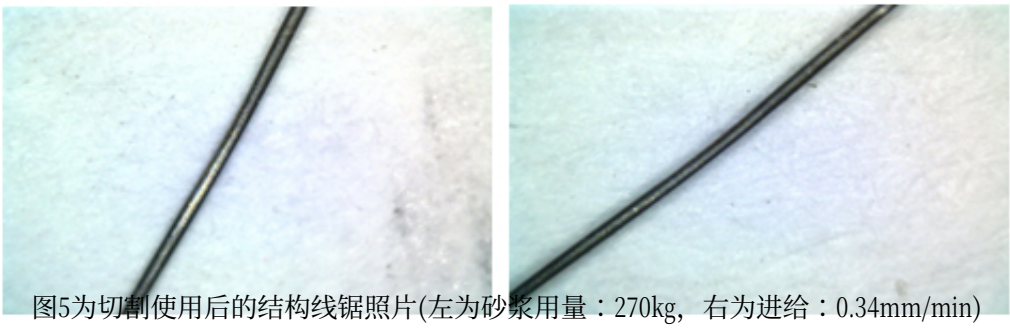
图5为切割使用后的结构线锯照片(左为砂浆用量：270kg，右为进给：0.34mm/min)

由图5右可知，270kg切割时结构线锯表面的铜锌镀层还留存一部分，而在0.34mm/min进给下，铜锌镀层已经完全磨

损掉。

表2结构线锯磨损和椭圆度检测数据

序号	切割条件	切割后直径（微米）	磨损值（μm）	椭圆度	结构线锯直径（μm）
1	砂浆:270 kg	108.8	12.2	2.34	120
2	进给:0.34 mm.min^{-1}	107.5	13.5	3.24	120

序号切割条件切割后直径（微米）磨损值（μm）椭圆度结构线锯直径（μm）

1砂浆:270kg108.812.22.34120

2进给:0.34mm.min-1107.513.53.24120

表2为结构线锯切割前后线径检测数据。由表可知，砂浆用量为270kg时，磨损值为11.2微米，椭圆度为2.34；切割进给速度为0.34mm/min时，磨损值为12.5微米，椭圆度为3.24。切割进给速度增加比砂浆用量降低对钢线磨损和椭圆度的影响略大，与相同切割条件下直钢线的磨损和椭圆度相比较更低。

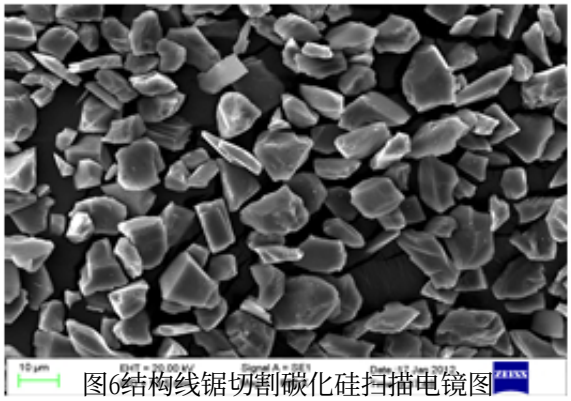

图6结构线锯切割碳化硅扫描电镜图

由图6可知，结构线锯切割后的碳化硅（1500#）的形貌保持较好，其中粒径（D50）由8.3微米降低为8.05微米，磨损了0.25微米，与直钢线相比略有减少。

主要原因是结构线锯带砂能力较直钢线更好，切割时其表面附带有更多砂浆，硅棒直接接触和磨损表面的机会下降导致其磨损和椭圆度更低，同时，碳化硅的磨损值也略有下降，切割硅片外观质量更好。

4结论

结构线锯切割时，砂浆用量降低和进给速度提高后，硅片的Rt值、TTV值和翘曲度略有增加，符合A类片标准，而且，切割后结构线锯磨损和椭圆度，以及碳化硅磨损值可以控制在正常范围内，可以降低砂浆用量，提高切割效率。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/63477.html