

金刚石线切片制绒工艺研究

摘要：目前业界单晶硅片存在两种切割方式砂浆切割硅片和**金刚石线**切割硅片，砂浆切割为传统的切割方式故在电池端有很成熟的清洗制绒方式，但金刚石线切片表面形貌与其大不同。本文通过对金刚石线切片的表面形貌观察研究，尝试在目前的砂浆单晶硅片制绒方式的基础上采取配方调整、增加工艺等措施研究金刚石线切片良好金字塔绒面的形成。

1、引言

近几年随着光伏太阳能市场的发展变化，太阳能电池不断地向高效率低成本发展。考虑到硅片方面产业规模的扩张以及成本增长的压力，业内不断寻求高效率低成本的硅片切割方式。现国际光伏行业晶体硅片的切割方式主要有两种。一种是砂浆切割，即利用涂有碳化硅和油浆的多根不锈钢细钢丝（SW）丝环绕在驱动轮和紧张轮上高速转动，以聚乙二醇和碳化硅微粉为主体的磨削浆料高速带入切割区域并对磨料施加载荷，磨料对硅料进行磨削切割。另一种是金刚石线（DW）切片，即采用电镀或树脂固定的方法将金刚石颗粒镶嵌在不锈钢丝上，这种不锈钢丝高速运转以一定的压力对硅料进行磨削切割。从电池制作工艺角度比较，砂浆切割对硅片表面摩擦断裂损伤剧烈，会使硅片表面出现较多小而不规则凹坑（如图1），容易导致后续清洗制绒工艺复杂且控制不稳定，金字塔绒面变化范围大，单片金字塔绒面均匀度差，成核率低。



图1 金刚石线单晶切片表面形貌(伏



图2 砂浆单晶切片表面形貌(摩尔光伏

金刚石线切割后硅片表面除存在较轻的表面摩擦断裂损伤外还有由塑性磨削切割形成的光滑切割纹,硅片表面呈现塑性光滑纹和脆性破碎断裂轻微凹坑的混合形貌(如图2),这种硅片表面不易腐蚀出金字塔。但从切片工艺上比较,相比于砂浆切割加工成本高,切割效率低下,切割后废砂浆的排放污染大等缺点,金刚石线切割不使用昂贵且难以处理的砂浆,操作简单,切割速度可以快2~3倍,提升了机器生产率超过1.5倍,同时硅片表面损伤较轻,单片耗材远远低于砂浆切割。

基于以上金刚石线切割硅片的种种优势,金刚石线切片制绒工艺的研究很有必要。本文通过在目前单晶硅片清洗制绒工艺的基础上从工艺流程和药液成分上尝试调整,研究适合单晶金刚石线切片的制绒工艺。

2、实验

2.1 实验原料及仪器

实验的硅片为金刚石线切割的太阳能级P型单晶硅片156mm*156mm,电阻率为1-3 Ω ·cm。实验用化学品NaOH、异丙醇、表面活性剂、HF等化学试剂都为电子级,实验所用设备捷佳创单晶碱制绒机、RENA酸制绒机、反射率测试为HITACH公司的

D-4100球型积分测试仪。金字塔结构由扫描电镜进行观察,型号为S-4800、光学显微镜ScopeA1。

2.2 实验过程

单晶金刚石线切片以采用金刚石颗粒镶嵌在不锈钢丝上不断循环磨削切割形成，切割工艺的不同导致硅片表面形貌如断裂损伤等有较大的区别，故硅片外观不同于常规砂浆切片（图 1、2）。

如图砂浆切片表面呈现较多不规则损伤凹坑，金刚石线切片表面存在较多塑性磨削切割形成的光滑切割纹俗称线痕，单片硅片上这种光滑割纹占据约 65%的面积，在腐蚀液中腐蚀速率较慢，所以一般砂浆单晶硅制绒工艺不适用于该金刚石线切片。

2.2.1 方案一提高碱腐制绒液浓度

目前最广泛用于生产的单晶硅制绒工艺体系为碱液腐蚀晶硅<100>面，具体为质量浓度约 1.3%NaOH 溶液，有效降低溶液表面张力增加硅片浸润性并帮助反应产物氢气泡脱附的 IPA，用于优化金字塔大小和成核密度的表面活性剂，水浴温度 75°C~82°C，反应时间 1000s~1500s 简称单晶常规碱制绒体系。对于金刚石线单晶切片制绒尝试在此工艺基础上提高腐蚀液 NaOH 的浓度至 1.7%~2.3%，同步降低添加剂用量约 15%。

目的在不影响生产产量的情况下提高金刚石线切片的腐蚀速率以有效去掉硅片表面损伤层，并能形成大小良好、成核密度良好的金字塔（如图 3）。其表面线痕仍较明显。

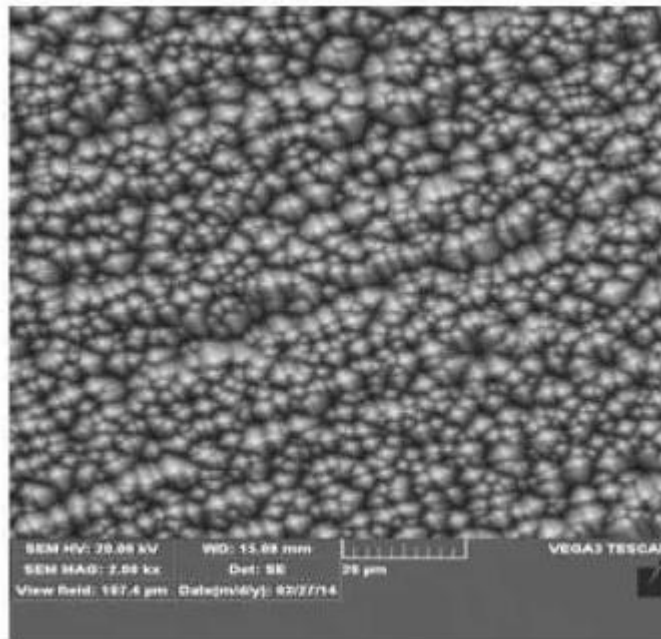


图 3 碱腐蚀工艺调整后制绒硅片形貌

2.2.2 方案二高浓度碱抛光后再碱液制绒

以上制绒工艺后仍不能有效去除金刚石线切片的线痕，然而这种线痕很容易引发丝网印刷不良。故尝试在腐蚀制绒前采用碱抛的方式优先去除线痕，然后采用以上提到的单晶常规碱制绒体系进一步进行金字塔生长。

第一种用质量浓度约 8%NaOH，温度 65°C碱腐蚀液粗抛 3mins 后用去离子水冲洗（如图 4）；第二种用质量浓度约 12%NaOH，温度 65°C碱腐蚀液粗抛 8mins 用去离子水冲洗后再进行常规碱制绒（如图 2.2.3 方案三酸液腐蚀后再碱液制绒对金刚石线切片表面形貌观察发现硅片上每条塑性光滑切割纹之间均会有少量摩擦断裂损伤处，这种损伤处与切割纹底部形成粗糙度差，所以腐蚀速率有较大差异。

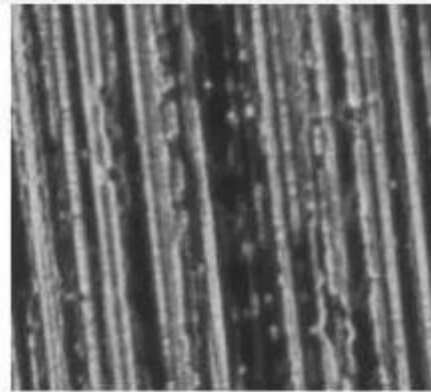


图4 10%NaOH腐蚀后形貌

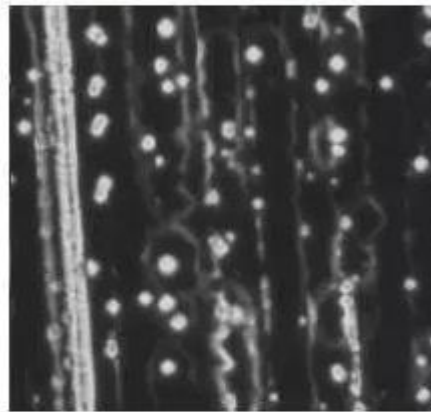


图5 15%NaOH腐蚀后形貌

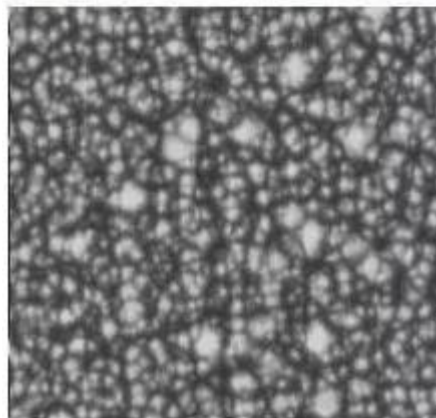


图6 金字塔形貌 摩尔

蚀 (156mm*156mm 硅片腐蚀量约 0.18g~0.25g) 缩小光滑切割纹底部与断裂损伤面的粗糙差异, 用去离子水冲洗后再对其进行单晶常规碱制绒体系腐蚀制出大小均匀、粗糙度较好、成核密度高、光学显微镜观察硅片表面无明显线痕的单晶硅绒面。对各工艺制绒后硅片用 HITACH 公司的 D-4100 球型积分测试仪测试反射率(如图 11), 结果证明方案三反射率最低。

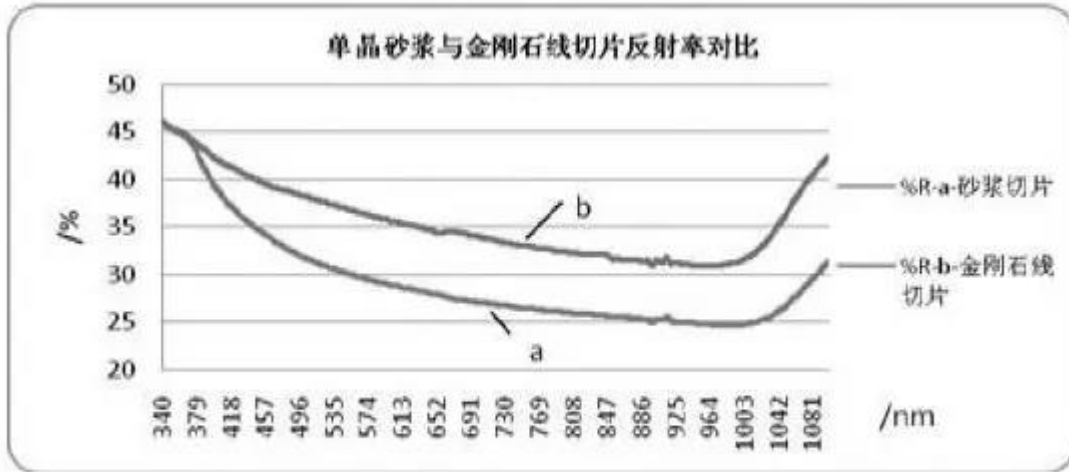


图 10 单晶硅金刚石线切片和砂浆切片反射率对比

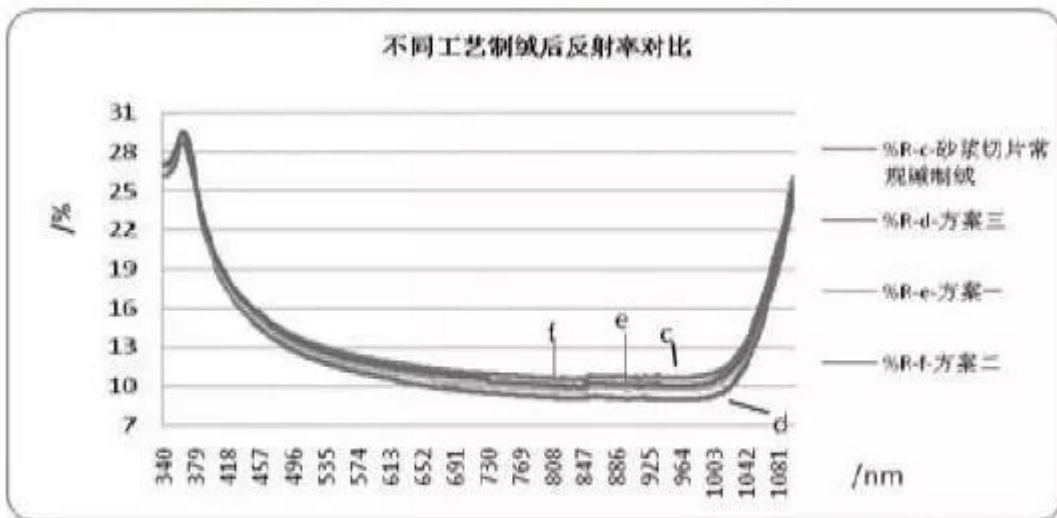


图 11 单晶硅金刚石线切片各工艺制绒后以及砂浆切片常规制绒后反射率对比

4、结论

本文通过在常规碱制绒体系的基础上调整碱浓度、反应时间, 甚至增加前处理工艺等不同角度尝试对单晶金刚石线切片进行制绒, 发现当仅仅是在原工艺的基础上提高碱浓度、延长反应时间不能有效去除硅片表面切割线痕不利于印刷; 当对该硅片碱抛光后制绒, 减重较大且制绒后金字塔粗糙度极差不利于印刷; 当对该硅片进行酸腐后再制绒, 可以有效去除硅片表面线痕, 制绒后金字塔成核密度高、粗糙度较好, 硅片表面绒面平整度好利于印刷。