

# 准单晶技术总结

E-Mail: [pineyf@163.com](mailto:pineyf@163.com) QQ:120166808

本人把现有的准单晶技术类资料进行总结。欢迎大家交流，探讨。

## 一，准单晶的概念：

准单晶（Mono Like）是基于多晶铸锭的工艺，在长晶时通过部分使用单晶籽晶，获得外观和电性能均类似单晶的多晶硅片。这种通过铸锭的方式形成单晶硅的技术，其功耗只比普通多晶硅多 5%，所生产的单晶硅的质量接近直拉单晶硅。简单地说，这种技术就是用多晶硅的成本，生产单晶硅的技术。

## 二，准单晶的生产工艺

准单晶主要有两种铸锭技术：

（1）无籽晶铸锭。无籽晶引导铸锭工艺对晶核初期成长控制过程要求很高。一种方法是使用底部开槽的坩埚。这种方式的要点是精密控制定向凝固时的温度梯度和晶体生长速度来提高多晶晶粒的尺寸大小，槽的尺寸以及冷却速度决定了晶粒的尺寸，凹槽有助于增大晶粒。因为需要控制的参数太多，无籽晶铸锭工艺显得尤为困难。**其要点是精密控制定向凝固时的温度梯度和晶体生长速度来提高多晶晶粒的尺寸大小**，形成所谓的准单晶。这种准单晶硅片的晶界数量远小于普通的多晶硅片。**无籽晶的单晶铸锭技术难点在于控温。**

（2）有籽晶铸锭。当下量产的准单晶技术大部分为有籽晶铸锭。这种技术先把籽晶、硅料掺杂元素放置在坩埚中，籽晶一般位于坩埚底部，再加热融化硅料，并保持籽晶不被完全融掉，最后控制降温，调节固液相的温度梯度，确保单晶从籽晶位置开始生长。**这种技术的难点在于确保在熔化硅料阶段，籽晶不被完全融化，还有控制好温度梯度的分布**，这个是提高晶体生长速度和晶体质量的关键。

## 三，准单晶产品的优势

1. 转换效率高于普通多晶，接近直拉单晶电池片。
2. 与普通多晶电池片相比 LID 基本无变化，性能稳定。
3. 比起普通多晶，组件功率提升明显，单位成本降低。
4. 可封装 250 瓦（60 片排布），或 300 瓦（72 片排布）的大组件。
5. 适用于对安装面积有限制要求的特殊场合。

单晶硅电池虽然具备晶体缺陷少、织结构工艺下反射率低、机械强度高优势，但其成本较高、光衰严重、电耗也高。多晶硅电池较单晶硅电池相比能耗少、衰减低、成本低，不过转换效率较差。

## 直拉单晶和准单晶铸锭对比:

- 1.直拉单晶方法生产的单晶硅制造的太阳能电池最高转换效率为 18.5%，采用准单晶铸锭生产的硅材料所制造的太阳能电池转换效率为 18.3%；
- 2.直拉单晶硅每炉的投料约为 100 公斤，准单晶硅铸锭炉的单次投料达到 430 公斤，投料量增加为前者的四倍；
- 3.基于直拉单晶硅材料生产的电池片的衰减率为 2%以上，基于准单晶铸锭所生产的电池片衰减率降低至 0.5%以下，并且性能更稳定；
- 4.通过直拉法生产的单晶硅棒为圆柱形，制作太阳能电池片时需要将四周切掉，所有硅料利用率仅由 50%左右，而准单晶铸锭法生产的方形单晶硅锭为方形，所以硅料利用率可以提升至 65%；
- 5.工艺成本上，直拉单晶成本为 160 元人民币/公斤，准单晶铸锭的成本仅为 60 人民币/公斤，因此可以影响整个生产链的生产成本降低 10%左右。

## 准单晶硅铸锭技术和普通多晶技术相比有如下优势:

- 1.电池片效率高，大晶粒硅片（100）面积大于 70%，平均效率大于 17.6%，较同条线普通多晶硅高出 1.0%~1.3%；
- 2.制绒后可在表面得到焰光作用较好的金字塔结构，减少反射率；
- 3.整锭平均效率较常规锭高出 0.5%~1.0%。

## 四，准单晶研发与量产的决定性因素

### 1. 准单晶技术研发要点

- (1) 温度梯度改进。针对热场研发以改良温度梯度，同时还要注意热场保护；
- (2) 晶种制备。研究发现，准单晶晶种制备方向将朝着超大超薄的方向发展；
- (3) 精确熔化控制。这一环节非常难以控制，它决定准单晶是否能够稳定生产，因此需要一个与之对应的精准熔化控制设备。据了解，为获得稳定的控制工艺，凤凰光伏开发了一套针对准单晶专用的晶种融化控制设备，可以在 0.5mm 的时候进入长晶阶段；
- (4) 位错密度。在很多生产过程中，效率衰减总是不可避免，为此把位错密度控制到最低，是此项工艺的关键；
- (5) 边角多晶控制，即合理有效控制边角多晶的比例；
- (6) 铸锭良率提升。目前良率大约在 40%~60%之间，还有待提高。

### 2. 准单晶量产决定性因素

- (1) 可行的工艺路线。如果开发出的准单晶没有可行的工艺路线，准单晶产品将只能处于实验室阶段；
- (2) 是稳定的控制方法；
- (3) 精准熔化控制设备；
- (4) 低廉的改造成本及生产成本，即在原有铸锭炉的基础上实现转型，从而降低成本。

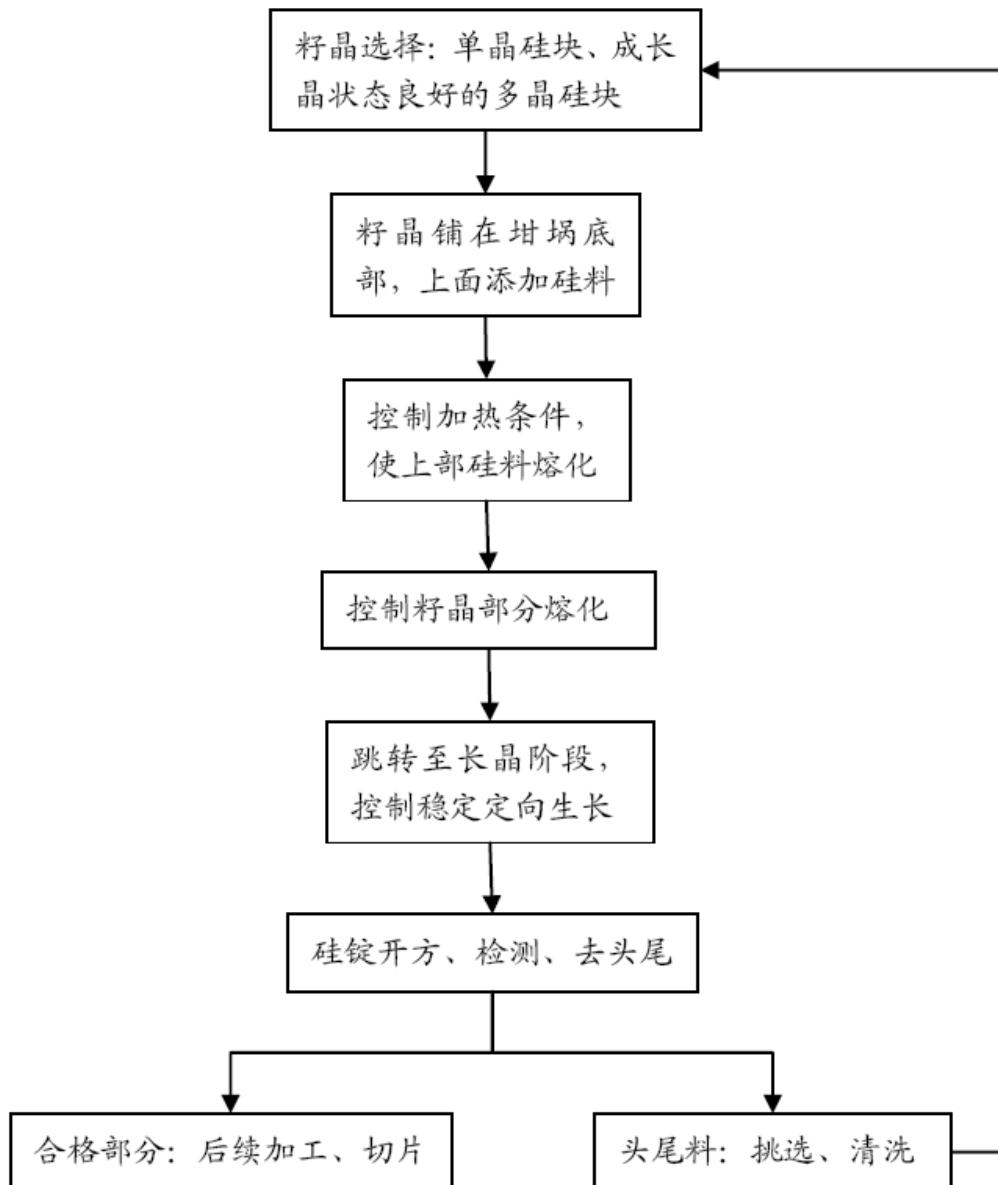
## 五，工艺流程

将直拉法得到的(100)晶向单晶棒进行开方，得到断面尺寸为 156×156mm 的方柱，将其切成 40~50mm 厚的块状籽晶。将 25 块籽晶按 5×5 的方式紧密排列平铺在内部尺寸为 840×840×400mm 的标准石英坩埚内。

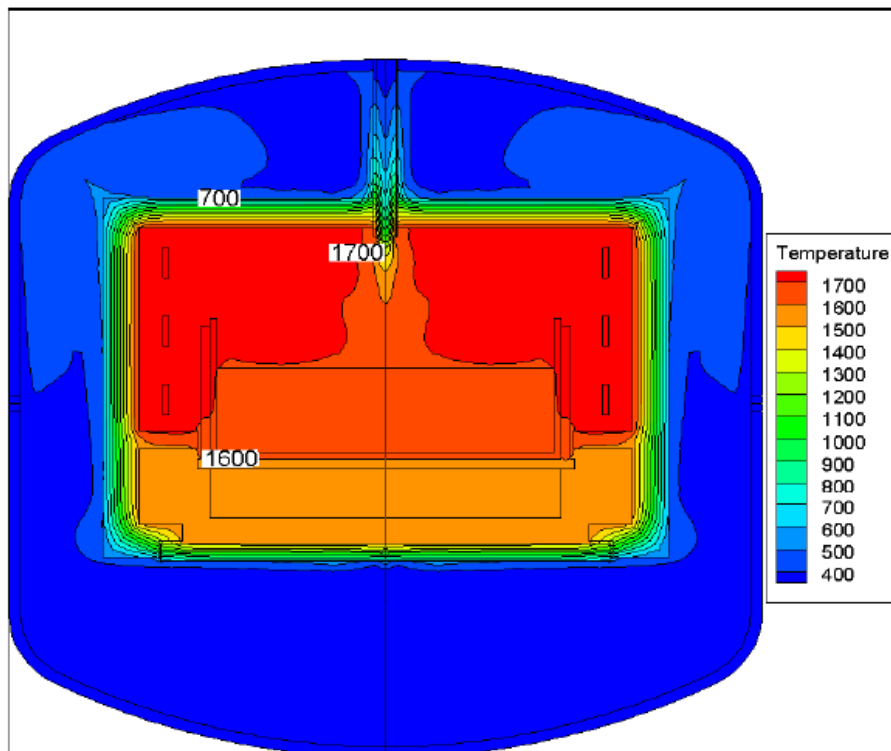
在坩埚底部，放置时尽量使籽晶居中，即周边籽晶的最边沿面距坩埚内壁尺寸相近。籽晶上面再放置原生多晶，包括籽晶在内共装料 430kg，掺杂剂为硼、稼或磷，掺杂后目标晶体的电阻率为 1.50~2.0Ω.cm。

装料后抽真空，控制功率进行加热;进入熔化阶段后，采用温度控制分段加温，到熔化最后一步将加热器控制温度调节至 1540℃，保持至籽晶熔化阶段，待坩埚底部温度为 1350℃，且底部升温速率为 0.07℃/min 上下时，结束熔化步骤，跳转至长晶阶段。进入长晶阶段，快速将温度由 1540℃降至 1440℃，并关闭隔热板(笼)保持 1h，之后将隔热板(笼)快速打开 5cm，底部散热实现定向凝固，待界面生长平稳后，再分段将温度降 1415℃，隔热板(笼)打开速度先后按 0.5cm/h、0.7cm/h 的速度打开至 20cm，达到稳定长晶。

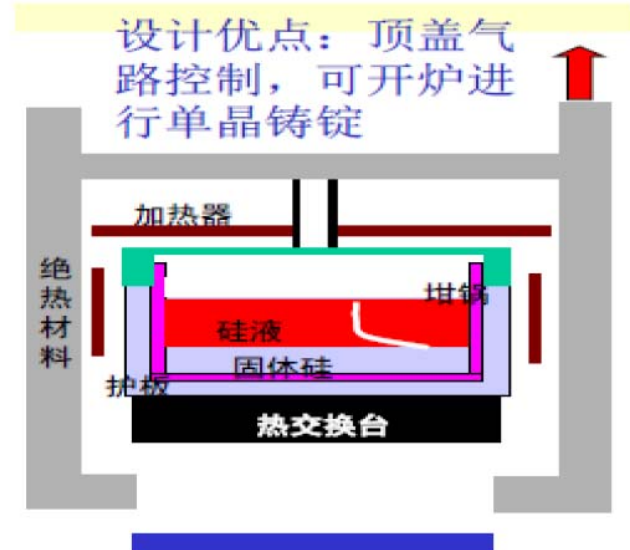
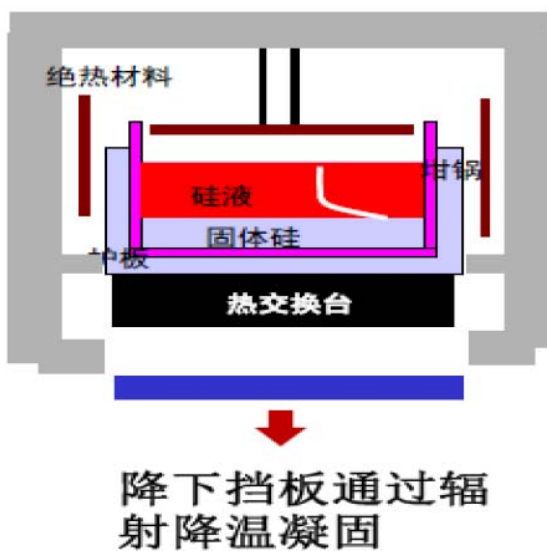
将上述长成后的硅晶体，经退火、冷却得到硅锭。



整场温度分布（计算机模拟）：



原理：



其原理为移动下绝热板，通过开口与冷壁热交换，通过增大开口或降低加热器功率产生定向凝固。这一代炉子的特点为底部大热交换台（被动式的）。热流从底部排出。其中包括HEM方法，DSS方法，ALD方法。虽然设计不同，但理念大体一致。都是让侧面热流减小，底部热流增大。传统HEM通过底部通氩气冷却，DSS通过底部辐射换热，ALD通过底部水冷。都是被动冷却。

## 六，技术信息

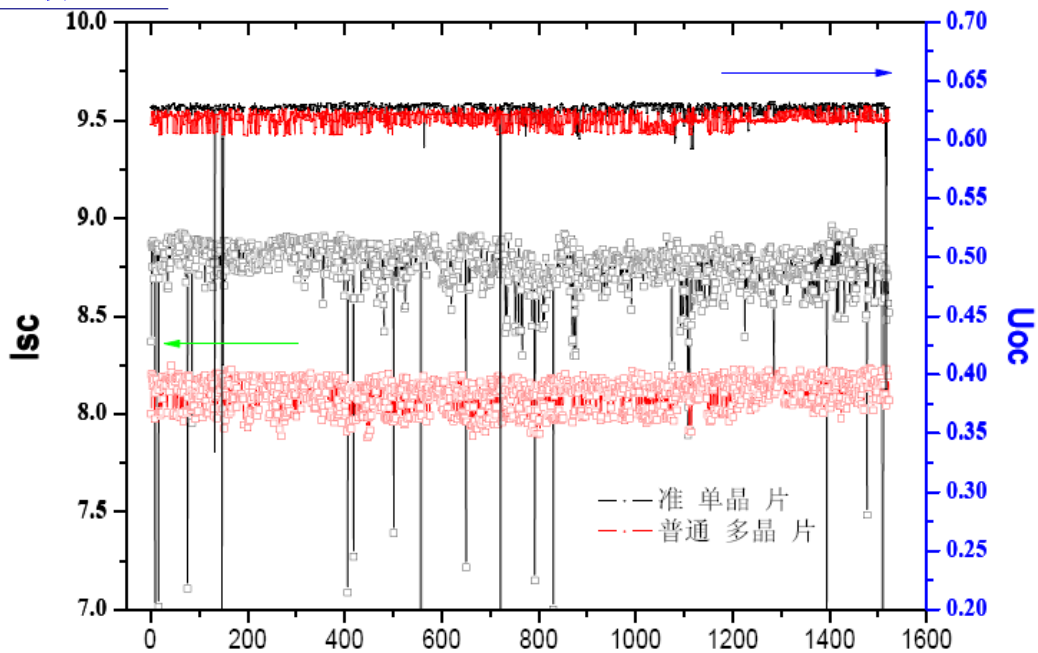
### 基本参数：

- 1)导电类型：P 型
- 2)尺寸为 156×156mm
- 3)电阻为 0.5—3Ω.cm
- 4)少子寿命≥2μs
- 5)厚度为 200μm±20 和 180μm±20 两种
- 6)TTV≤30μm
- 7)弯曲度≤15μm
- 8)大晶粒晶向<100>±5°

### 准单晶不同质量等级区域

区域	占硅锭比例	同一晶向晶粒面积占硅片面积	电池转化效率
A 区	16%	50%以上	16.61%
B 区	48%	70%以上	17.02%
C 区	36%	90%以上	17.32%

### 电池性能比较：

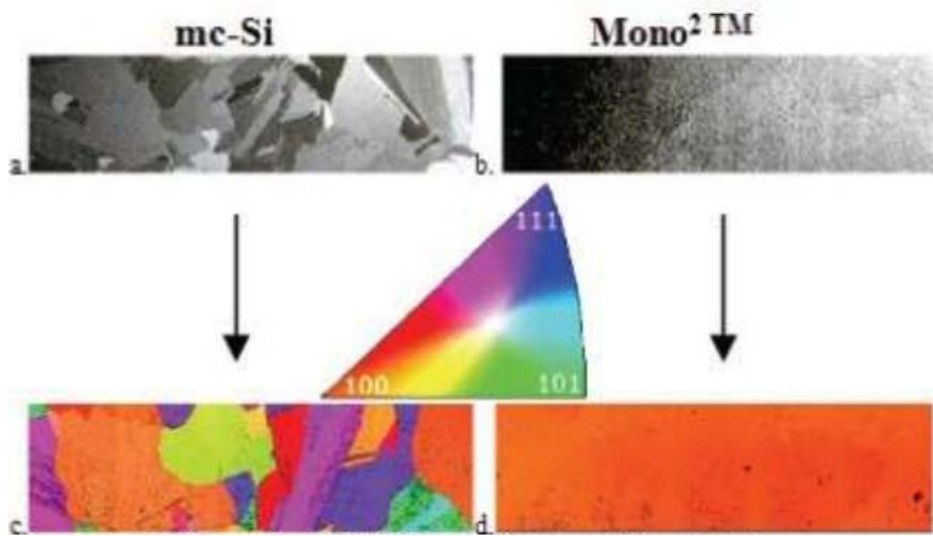


与普通多晶相比较，准单晶片的Isc及Uoc均相对较高，特别是Isc优势明显。

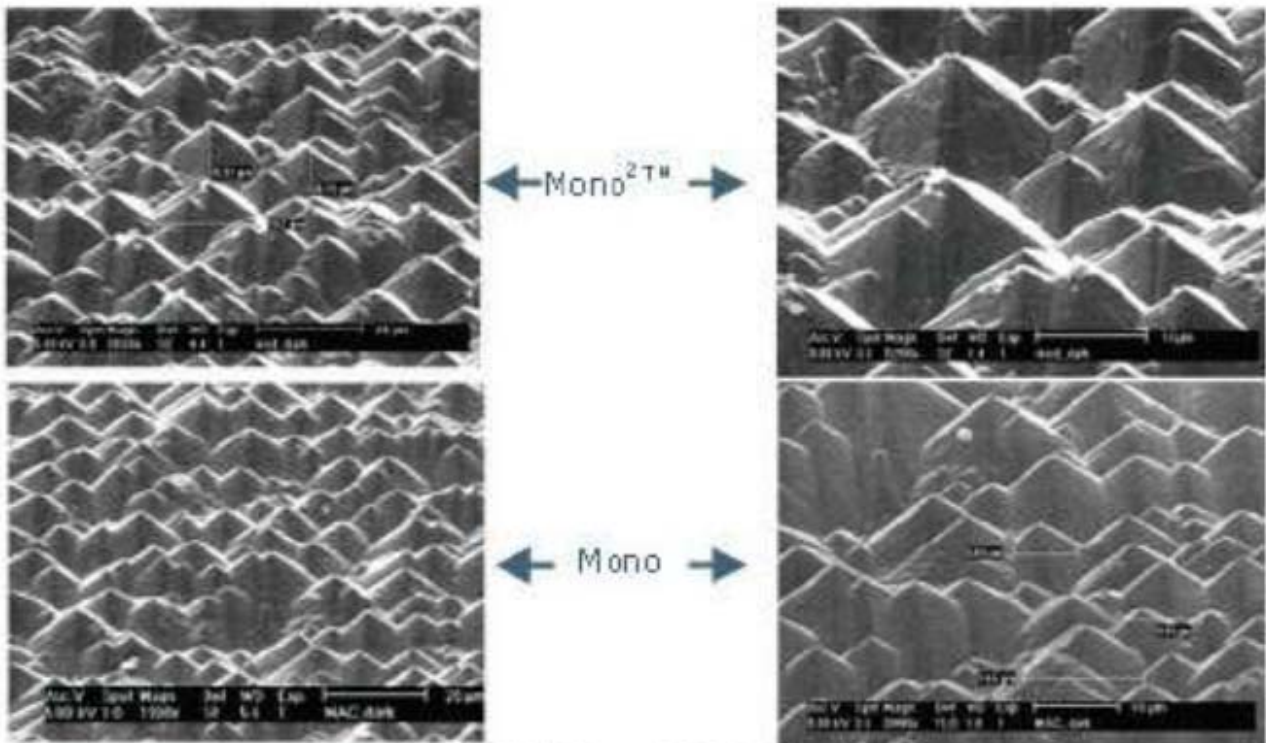
Performance parameters	Monolike Wafer	Poly Wafer	Mono Wafer
conduct type	P	P	P
resistivity	0.8-3Ω·cm	0.8-3Ω·cm	1-3Ω·cm
lifetime	≥2μS	≥2μS	≥3μS
oxygen content	5 * 10 <sup>17</sup>	5 * 10 <sup>17</sup>	1 * 10 <sup>18</sup>
carbon content	5 * 10 <sup>16</sup>	5 * 10 <sup>16</sup>	5 * 10 <sup>16</sup>

Average Cell Results

TYPE-THICKNESS (# CELLS)	AREA [cm <sup>2</sup> ]	J <sub>sc</sub> [mA/cm <sup>2</sup> ]	V <sub>oc</sub> [mV]	FF [%]	η [%]
Cz-Mono-180 μm (8)	148	37.1	637	77	18.1
<b>Mono<sup>2</sup>™-130 μm (&gt;40)</b>	<b>156</b>	<b>36.8</b>	<b>626</b>	<b>75</b>	<b>17.2</b>
Multi- 180 μm (8)	156	33.5	623	72	14.9



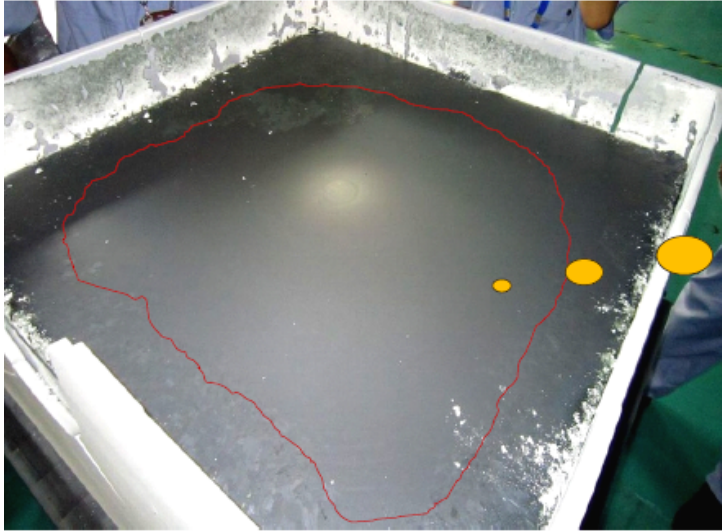
制绒后对比:





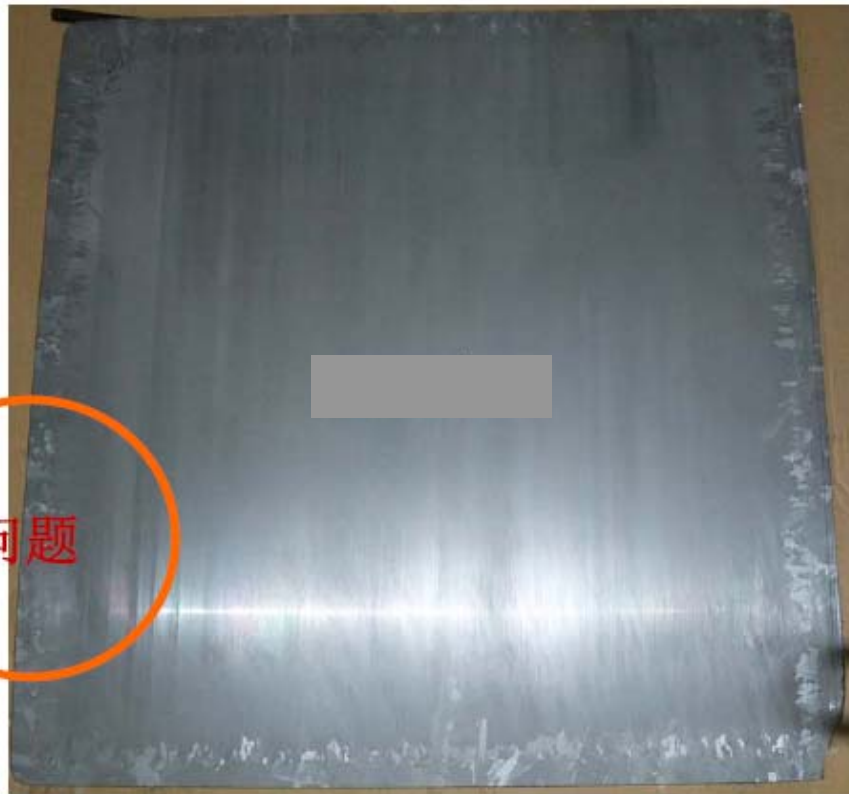
准单晶图片:

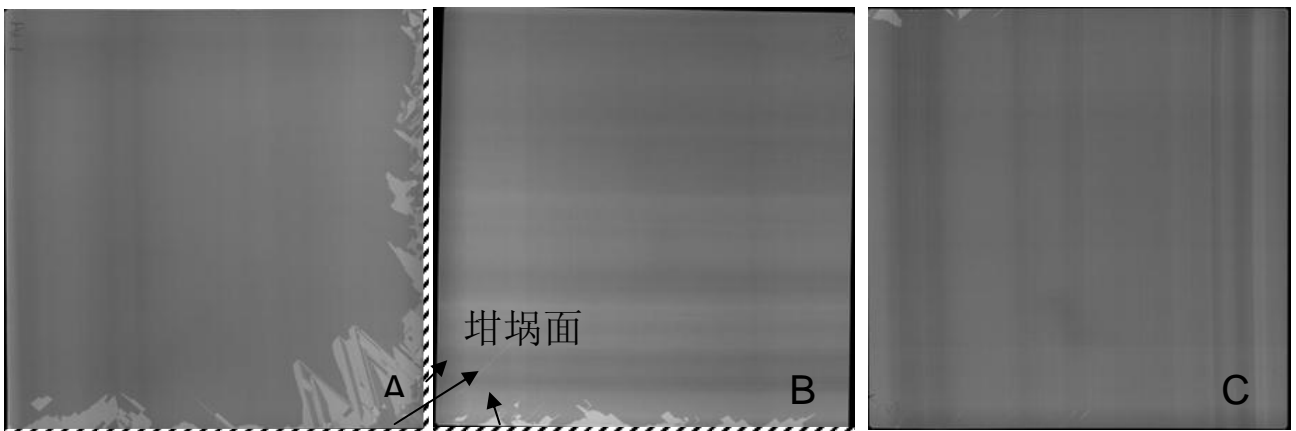
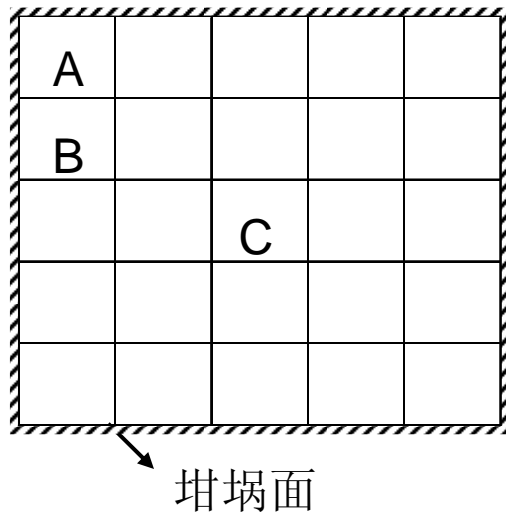
标准830mmx830mm方坩埚铸锭



边部少量多晶，中间整个区域为超大晶粒。

侧边问题





结论：靠近坩埚面的区域为多晶，其它区域根据长晶体情况，若长晶情况较好则基本为单晶，如图 C。

