

太阳能电池准单晶技术概况

Solarzoom 编辑部

引言

在快速发展的光伏产业中，高效率 and 低成本，一直是两个主要的竞争点。号称拥有着与多晶硅相当成本，与单晶硅相媲美的电池转换效率的准单晶产品一直以来为大家所关注。而 2011，无疑是准单晶技术的一个里程碑。6月8日，德国 Intersolar 展会上，晶澳宣布其 Maple 系列产品正式量产；6月18日，凤凰光伏宣布其准单晶硅片全球首发；7月，昱辉宣布其完成 54.8mw virtus 硅片及 20mw virtus 组件的出货；紧接着协鑫宣布其准单晶完成商业化量产；其他厂家如 LDK、尚德、天合和晶科等也紧随其后，纷纷发布其准单晶产品的进展。那么，准单晶到底是什么？有什么优势？是怎样做出来的？现就这些问题做一个科普性的介绍。

1. 准单晶技术简介

1.1 传统的单晶硅和多晶硅技术

我们知道，单晶硅一般是采用直拉法（CZ法）制得，用特定晶向的单晶籽晶进行引晶，经过旋转提拉得到目标晶向的单晶硅棒，所得产品仅含一个晶粒，具有低缺陷、高转换效率等特点。目前，单晶硅电池片大规模生产的转换效率已经达到 18%，但是该方法对原料及操作要求高，且单次投料少，产品成本较高，太阳能电池衰减较大。多晶硅主要是采用定向凝固方法制得，单次投料量大，具有易操作、低成本等特点，电池片衰减比单晶硅片小很多，但在传统铸锭条件下，在铸锭多晶中往往含有大量晶界及缺陷，使得多晶硅太阳能电池的转换效率较单晶硅电池约低 1.5%~2%。

1.2 准单晶技术

准单晶技术的核心是单晶铸锭技术，采用铸锭工艺生产出的类似单晶甚至全单晶的产品，将单晶硅及多晶硅的优势相合。相较于多晶，准单晶硅片晶界少，位错密度低；太阳能电池转换效率高 17.5% 以上。与单晶硅片相比，准单晶电池的光致衰减低约 1/4 ~ 1/2；投炉料大，生产效率高，切片工艺简单，成本低。

2. 准单晶铸锭技术

2.1 实现方法

实现铸锭单晶的方法有两种，如下：

(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。

(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。

2.2 温度控制和工艺控制

准单晶铸锭对温度控制和工艺控制提出了很高的要求。为了满足准单晶铸锭的要求，铸锭炉必须有严格的温度梯度及凝固速度控制，适合的界面形状，成核或单晶控制，流动控制。目前已有多个厂家可以提供准单晶铸锭设备，如绍兴精功 JJL500/JJL660/JJL800(G6)，美国 GT DSS450HP/DSS650(G5)，北京京运通 JZ460/JZ660(G6)，德国 ALD SCU450/SCU800，法国 Cyberstar 650/800。另外，欧美日厂家如 REC(ALD 改进型)，Schott Solar (VGF)，京瓷 (VGF 类型) 都有专门设计的炉子，效果不错。

其中 ALD 早期为 BP solar 产品研发过设备。早在 2006 年，Bp solar 已围绕铸锭单晶这一主题做了较多工作，并开发了 MONO2 产品，其专利 US2007/0169684A1 报道了多种方法。其中有一种方法是将籽晶与硅料分开放置，将熔融硅液倒入铺有籽晶的容器中进行长晶。后由于其总公司将重点放在了化石燃料方面，Bpsolar 终止了铸锭单晶的研究。

准单晶产品单个晶粒面积可达整张硅片的 90% 以上，位错密度比较低，部分硅片约 95% 及以上区域几乎无位错，边缘存在“带状”分布高位错区域，部分硅片中含亚晶现象。以昱辉 virtus wafer 产品为例：靠近坩埚面的区域为多晶，其他区域根据长晶体情况，若长晶体情况较好的话基本为单晶，如图 1C 所示。

硅锭各个区域硅片照片 (以下为某个硅锭底部各个区域的硅片照片)



·晶体大小在硅锭中的横向分布

图1 晶体大小在硅锭中的横向分布

3. 电池工艺的改进

准单晶产品也引发了各个企业对电池工艺的改进。硅片的晶向控制、位错密度、碳氧浓度和杂质分布,以及侧边问题会直接影响电池片效率。不同于普通多晶,准单晶产品更适合碱制绒工艺,形成倒金字塔型织构化表面,可显著提高成品电池片效率。晶澳太阳能针对准单晶电池片发明了先酸制绒后碱制绒的特殊工艺,目前 maple 系列电池片效率已经达到了 18.2%。然而由于碱制绒的各项异性,准单晶中尤其边缘,非指定晶向处无法腐蚀,会在电池表面形成高亮区域,影响组件成品的外观。

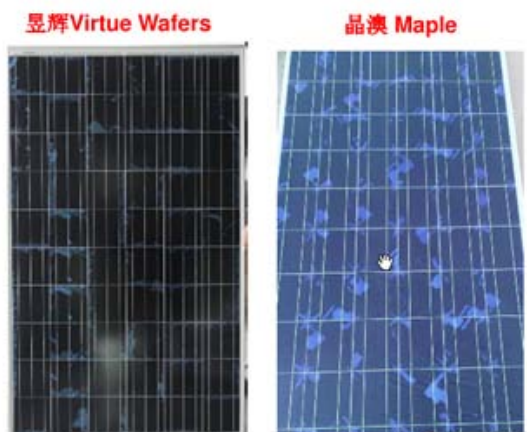


图2 昱辉和晶澳准单晶电池片

4. 准单晶技术的决定性因素

4.1 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。

4.2 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。凤凰光伏日前宣布,该公司通过改造 GTSolarDDS450 型号炉,成功实现全球准单晶第一次量产,且成本低于晶硅电池。

5. 准单晶技术的意义

准单晶不仅是高效硅片的一种可行性方式,同时也是铸锭厂降低成本的一个途径。关于成本控制问题,众所周知,在电池组件的利用率上,直拉单晶硅的硅棒呈圆柱状,制作的光伏电池片需将四周切掉,组成的电池组件成品率为 50% 左右。相比较而言,准单晶硅铸锭为方形铸锭,制作电池片的切片也是直角方形,组成的电池组件成品率约为 65%。在工艺成本上,直拉单晶硅为 160 元/公斤,而准单晶硅为 60 元/公斤。从光伏电池总成本上考虑,在硅原料、切片、组件等其他成本一定的前提下,整个生产链的成本可因准单晶硅铸锭技术降低 10%。但要做到该技术的低成本,不仅需要掌握相关工艺及理论知识,熟练的实际操作也必不可少。最后一个因素即高可靠性,核心表现为生产出来的产品能不能承受那么大的温度差。

虽然准单晶具有各项优势,但从上述技术难点来看,其发展还存在诸多制约,还需要更多的技术突破以实现长远发展。

6. 结语

光伏设备制造商们在未来将面临巨大压力。多方面研究生产工艺,用先进设备满足光伏行业的发展需求,是光伏设备制造商们的重要出路。目前,在单晶提拉、多晶铸锭,尤其是准单晶铸锭技术上,中国已经超越了西方国家。国内的几家著名制造商均对准单晶生产工艺与技术有着不同程度的研究与实践应用。受益于准单晶,起步较早的企业将进一步巩固其在铸锭炉市场的地位,为竞争日益激烈的光伏设备市场增添了筹码。从长远发展来看,随着准单晶产品的持续、规模化的生产,必将有越来越多的新技术陆续投入量产,如金刚线切割、全单晶铸锭、直接薄硅片等等。

