

# 晶片体硅切割技术

在太阳能光伏电池制造中的应用



# 晶体硅片切割技术

## 在太阳能光伏电池制造中的应用

### 简介

晶体硅片切割，也叫做“晶片切割”，是太阳能光伏（PV）电池制造工艺中的关键组成部分。工艺的原料为单晶硅或多晶硅材料制成的硅锭。用线锯将硅锭裁成方块，然后再切割成很薄的硅片 [图1]。这些晶体硅片就是制造光伏电池的基板。

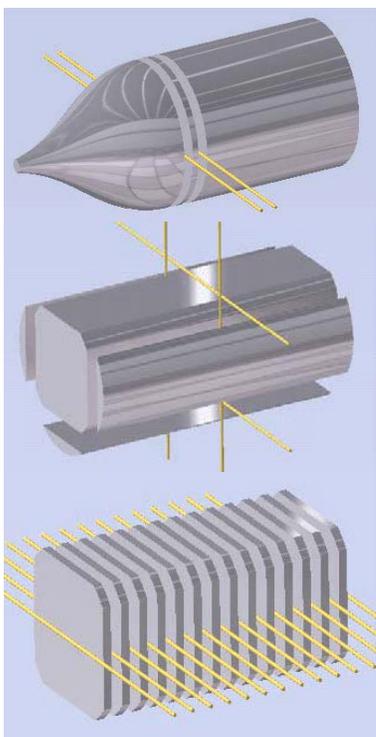


图1：切割过程共分为三个步骤：  
裁切、切方及切割

硅片供应商和集成晶体硅光伏组件制造商都需要使用线锯设备来管理他们自己的晶体硅片切割工艺。单晶硅和多晶体硅光伏技术同样也需要线锯设备。

Applied HCT B5是业内最成功的硅片切割系统，已成为光伏晶体硅片制造业的标准设备，目前已经有1000多套投入使用，而且这一数字还在增长之中。

因为晶体硅片是晶体硅光伏技术中最昂贵的部分，占据超过50%的晶体硅模块成本，所以降低制造成本对于实现让太阳能与传统电网相比具有竞争性的目标来说至关重要。本文档简要介绍了晶体硅片切割工艺、制造业面临的挑战以及新一代线锯技术如何有助于降低晶体硅片的成本。

### 线锯的历史

第一批光伏硅片切割机以瑞士HCT成型系统公司（HCT Shaping Systems）的创始人Charles Hauser博士的开创性研究为基础研制而成，于上个世纪八十年代投入使用。HCT成型系统公司就是如今应用材料公司的HCT硅片切割系统部门。这些设备率先使用涂有研磨浆料的切割线，通过切割线运动来切割硅片。目前，裁切和切割晶体硅片较为常用的线锯仍然保留了与Charles Hauser博士的原型机器相同的基本结构，但是载荷、切割速度和精度都得到了大幅提升。

### 硅片的线锯切割工艺

现代线锯的核心组件是极细的高强度钢制切割线，上面涂有切割所需的浆料。缠绕在导线轮上的切割线构成一张水平的、多达1000条平行切割线的“切割网”。当电机转动导线轮时，整张切割网就会以每秒5米到25米的速度运行。在整个切割过程中切割线的速度及其线性（往复）运动可进行调整。同时，喷嘴会持续向运动中的切割线喷洒通常含有悬浮碳化硅颗粒的浆料。将硅块安装到切割台上。接下来，切割台纵向运动并穿过移动的切割网，将硅块切割成硅片 [图2]。



图2：裁切好的硅块通过切割网。

虽然线锯切割原理浅显易懂，但是真正的挑战来自于实际操作。线锯必须准确地平衡切割台速度和硅块载荷长度，以实现更高的生产率，同时最小化硅片厚度偏差，避免切割线断裂。必须通过越来越细的切割线和越来越薄的硅片来实现这个目标。

## 降低成本

对于基底为晶体硅片（c-Si）的太阳能光伏电池来说，构成硅片总成本的晶体硅原材料费用和切割成本占模块总成本的50%以上。对于给定晶体硅原材料费用，硅片制造商们可通过各种方式降低成本，从原材料和优质成品率，到耗材使用和设备生产率。

通过减少锯缝损失（由于切割动作而导致的材料损耗）和减少晶体硅片厚度来节省硅原料，是原材料成品率的核心所在。在过去十年中，光伏晶体硅片的厚度已经从330 $\mu\text{m}$ 减小到如今常见的180 $\mu\text{m}$ 至220 $\mu\text{m}$ 。然而，在进一步减小硅片厚度之前，需要解决电池和模块的加工限制。锯缝损失是切割线直径引起的，切割线直径最初在180  $\mu\text{m}$ 至160  $\mu\text{m}$ 之间，如今已经缩短到常见的140  $\mu\text{m}$  至120 $\mu\text{m}$ 之间。然而，通过减小切割线直径带来的成本节约会被较低的生产率和较高的切割线价格抵消。虽然线锯切割平台需要做好使用更细的切割线的准备，但进一步减小切割线直径的效果还将受到多晶硅价格趋势的影响。

无论晶体硅片厚度如何，晶体硅光伏电池制造商对晶体硅片的优质成品率要求极高，包括尽量减少表面损伤（微小裂痕、锯痕等）、晶体缺陷（扭曲、

弯曲、厚度不一致）以及无需抛光等下游加工。高质量成品率是降低成本的有力方式，不能有丝毫妥协。

降低硅片制造成本的另一个关键因素是耗材成本，主要是浆料和切割线的使用。制造商们将增加可回收浆料的混合比例作为降低耗材成本的主要方式。设备生产率的定义是每年的硅片产量（又称MW/Y），是降低硅片成本的最后一个关键因素，设备生产率如果结合以更小的工厂设备使用空间则可以进一步得以改进。更高的生产率不但可以降低硅片生产的成本，还可以改进每天每个设备产生的现金流。

我们已经看到，制造商们面临的挑战是，各种成本降低方式往往相互对立，需要进行利弊权衡。通过提高切割台速度来提高生产率会对高质量成品率构成挑战。而使用超细切割线降低原材料成品率将对生产率构成挑战。最佳的线锯设计能为硅片制造商们提供所需的工艺优化窗口，以最大化成品率和生产率。

## 工艺优化

最小化硅片成本的主要工艺窗口驱动因素是超细切割线直径和硅块载荷尺寸的灵活度。

正如我们所看到的，取决于多晶硅市场的波动，线锯应该能够适应超细切割线直径。Applied HCT B5 完全有能力处理120  $\mu\text{m}$ 以及更细的超细切割线。

灵活的硅块载荷尺寸，即线锯能够加工的硅块长度，是启动高生产率同时维持高成品率的另一个关键因素。生产率定义为一定时间内制造出的硅片数量，对于给定硅片和切割线尺寸，与硅块载荷和切割台速度的乘积成正比。硅块载荷尺寸是一个有力的杠杆，因为它可以显著降低切割台速度，同时增加载荷长度，从而保持高成品率，增加设备总生产率 [图3]。

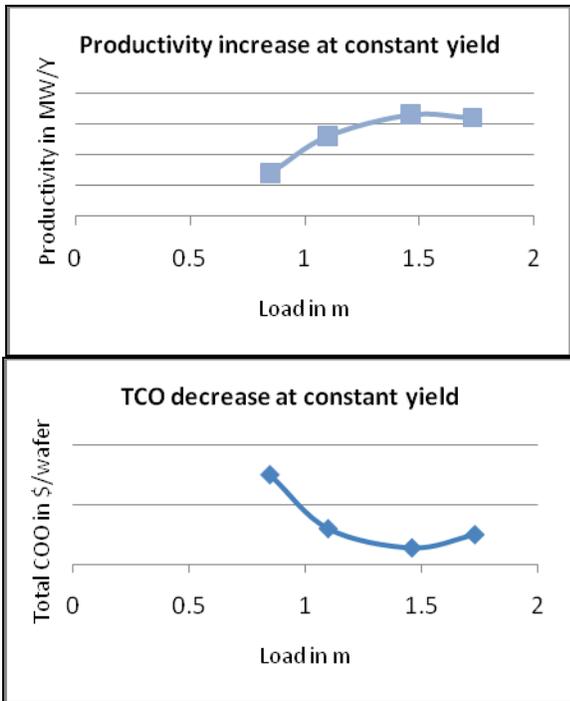


图3: 拥有成本和生产率图示

增加载荷的“回报”对1到2米之间的硅块载荷尺寸最高，因此Applied HCT B5独特地设计为带有2米的硅块载荷尺寸窗口。

增加载荷尺寸的另一个效果是提高工具可用性，因为更换载荷的次数减少，从而进一步推动了净生产率 [图4]。

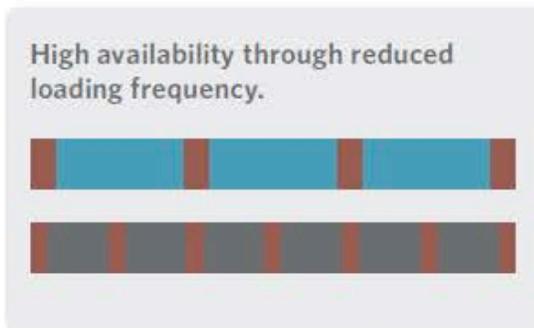


图4: 加载频率

Applied HCT B5是市场上唯一能够加工最大2米载荷的系统，可为制造商提供必要的工艺窗口，以优

化生产率和成品率。最终效果是降低总拥有成本，提高投资回报率。

### 先进的线锯切割技术

B5是一个经过验证的平台，已有将近1000套系统用于大规模硅片生产。这种系统的超细切割线直径低至120 $\mu$ m或更细，能够轻松扩展为使用Applied HCT所推崇的先进的结构化切割线和钻石切割线技术。

结构化切割线 [图5] 硅片切割是Applied HCT开发的一项改进技术，使用双轴卷曲切割线和现有浆料，提供更为高效的浆料输送和更快的切割速度。该技术最初是针对HCT切方机开发的，已经迅速成为行业标准。Applied HCT现在正进一步推动该项技术的发展，为切方机提供更高的生产率增益，并在业内首次将其应用于硅片切割。



图5: 结构化切割线

在Applied HCT切方机上转为使用较厚的结构化切割线已被证实可将生产率提高70%，同时将拥有成本降低20%。这些成效已经让人赞叹，但对结构化切割线的更多硬件和工艺革新必将在不久的将来带来甚至更高的生产率表现。

将结构化切割线切割技术应用到硅片切割是一个自然的趋势，同样有望带来显著的硅片切割生产率增益，同时为硅片制造商们提供一个低风险升级路径。该项技术在Applied HCT的初步发展有希望将切割速度提高10-20%，并达到业内最佳的成品率。



图6 : Applied HCT B5硅片切割系统

生产率较高的线锯设备使用更少的机器但是却能实现相同的硅片产出，从而帮助硅片制造商们显著降低固定成本，比如厂房空间、设施、操作人员和维护成本。较高的生产率还可让制造商们最大化每年产生的现金流，从而提高设备投资的回报率。结构化线锯切割技术有望在2011年底前将太阳能硅片成本降低最高0.05美元。

革命性的钻石切割线技术设计通过大幅提高切割速度（2-3倍）、减少切割线消耗，以及消除浆料中的碳化硅颗粒，来进一步降低成本。钻石切割线通过改变切割线的物理结构，标志着硅片切割工艺历史上的重大革新。钻石切割线实际上是涂有钻石颗粒的切割线。钻石颗粒作为研磨原料，取代传统切割线切割技术中的碳化硅颗粒。虽然钻石切割线技术有望大幅提高生产量、降低成本，但依然有待进一步发展完善。该项技术可成熟应用于切方，但用于硅片切割依然存在风险，有着重要和未知的在电池加工方面的影响。

改进的结构化切割线切割技术和革命性的钻石切割线切割技术是一个有效的双重方法，推动着Applied HCT提出的独一无二的先进切割线技术蓝图。两项技术都将作为升级实施，在可预见的未来将扩展B5平台的功能。此独特的双重方法平衡了风险与回报，承诺了在2011年以及今后为生产率的改进和制造成本的降低提供更可靠的途径。

## 结论

在光伏制造行业中，线锯切割技术经过发展已经能够在线锯切割操作过程中减少材料消耗的同时切割出更薄的晶体硅片，从而减少产生太阳能电力所需的硅原料（降低每瓦所需的硅原料克数）。目前原材料费用大约占晶体硅太阳能电池总成本的三分之一，因此线锯技术对于降低每瓦成本并让太阳能光伏价格与传统电力能源持平来说至关重要。为了降低每瓦成本，最新和最先进的线锯设备采用了很多提高生产率、优化工艺的创新方法。

应用材料公司  
3050 Bowers Avenue  
P.O. Box 58039  
Santa Clara, CA 95054-3299  
U.S.A.  
电话: +1-408-727-5555

应用材料瑞士有限公司  
Route de Geneve 42  
CH-1033 Cheseaux sur Lausanne  
瑞士  
电话: +41 21-731-9100

[solar\\_sales@amat.com](mailto:solar_sales@amat.com)  
[www.appliedmaterials.com/zh-hans/technologies/solar](http://www.appliedmaterials.com/zh-hans/technologies/solar)