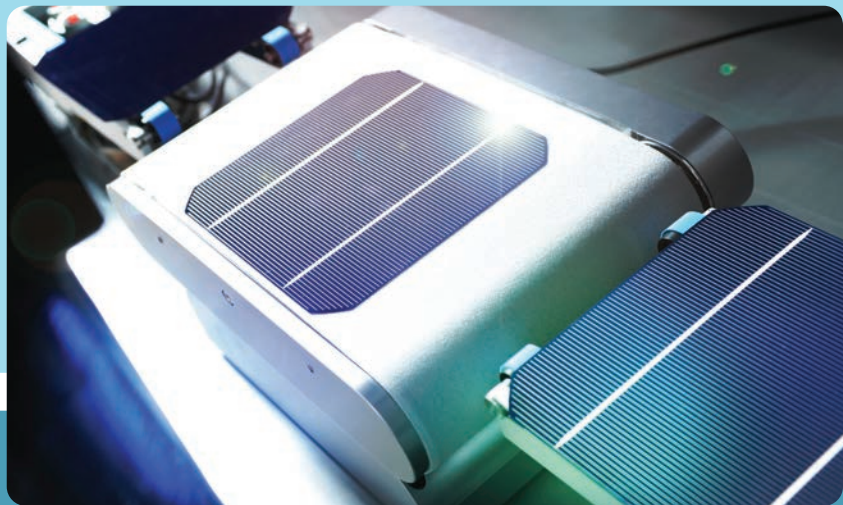


# 丝网印刷

## 在晶体硅太阳能电池制造中的应用



# 丝网印刷

## 在晶体硅太阳能电池制造中的应用

### 简介

制造晶体硅太阳能电池最为关键的一步就是在晶体硅片的正面和背面印制非常精细的电路电网，以便从太阳能电池中导出光生电子。这种金属喷镀工艺在大多数情况下是通过丝网印刷技术实现的，即通过丝网的网孔将含有金属的导电浆料印刷在晶体硅片形成电路或电极。

在典型的晶体硅太阳能电池制造工艺流程中，需要在生产流程的后期多次进行丝网印刷处理。一般来说，晶体硅片正面（副栅线电极和主栅线电极）和背面（副栅线电极/钝化处理和主栅线电极）需要分别进行印刷（图1）。

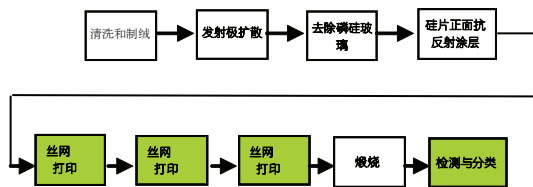


图1: 在晶体硅太阳能电池的制造过程中要多次进行丝网印刷。Applied Baccini可实现图中标为绿色的步骤。

经过多年的发展，太阳能电池丝网印刷设备的精度与自动化程度已经大大提高，实现了以微米级精度重复多层印刷的能力。这一进步带来了全新的先进应用，例如双层丝网印刷电极栅线以及选择性发射极金属沉积处理工艺。

Baccini Spa公司持有多项先进技术，从上个世纪七十年代开始，这家公司就已经开始研发微电子丝网印刷技术，并且在上个世纪八十年代将研发扩展到了太阳能电极金属沉积处理。

Baccini Spa，也就是今天应用材料公司旗下的Baccini集团。

### 太阳能电池丝网印刷的基本步骤

印刷的第一步是将晶体硅片放置到印刷台上。然后将镶有精细印刷丝网的网框放于晶体硅片之上；这样丝网遮挡住了一部分区域，而浆料就能流过丝网上的通透的部分浸到电池表面（图2）。这时要精确地控制晶体硅片和丝网



V之间的距离（也被称为“网间距”（snap-off））。用于硅片正面印刷的丝网

图2: 印刷丝网上带有遮挡与通透区域，浆料能穿过通透区域并印到晶体硅片上。

一般来说电池正面必须使用较为精细的金属栅线进行导电，所以其丝网要比背面更加精细。

将适量的浆料放到丝网上后，刮板会将浆料均匀地填充在丝网的网孔中。当刮板刮过丝网时会把浆料压穿过丝网的网孔并压到晶体硅片的表面（图3）。应用这种工艺时必须严格控制温度、压力、速度以及其它许多因素。



图3: 当导电浆料被涂在丝网的表面后, 刮板会在丝网上摊开浆料并将其压穿过网孔并印到晶体硅片上。

每完成一步印刷工艺, 晶体硅片都会被送到干燥炉中煅烧, 以便固化浆料。接下来, 晶体硅片会被传送到另一台印刷机中, 在正面与背面印刷更多的线路。在完成所有印刷步骤后, 晶体硅片会被送到高温烧结炉中进行“共烧”。

### 在晶体硅片的正面与背面印刷

每块太阳能电池的正面和背面都装有丝网印刷沉积而成的导电路路, 不同的线路具有不同的功能(图4)。电路的正面比背面的线路更窄、更容易损坏; 有些生产商先在晶体硅片的背面进行丝网印刷, 然后翻转硅片, 在正面沉积印刷电路, 这样可尽量减少处理过程中可能造成的损坏

大多数晶体硅太阳能设计在晶体硅片的正面(向着阳光的一面)使用带有精细电路线的网格(“副栅线”), 向更大的采集线, 即“主栅线”, 传输在有效区域采集到的光生电子, 然后再传输到太阳能组件的电路系统中。晶体硅片正面的副栅线(最细可达 $80\ \mu\text{m}$ )比背面的电路线细得多, 因此硅片的正面印刷工艺对精度与准确度有极高的要求。

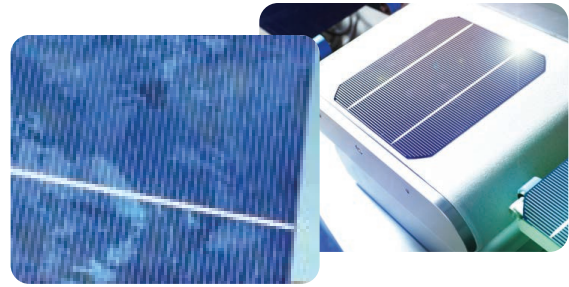


图4: 印刷后, 晶体硅片正面上能看到从有效区域采集电能的电极线有粗有细。

在晶体硅片的背面印刷时, 印刷要求也有所不同, 从技术角度来看, 没有硅片正面印刷那么严格。在晶体硅片的背面印刷时, 第一步不是放置极细的电路线网格, 而是均匀地沉积一层铝基导电材料, 这样就能将未能被电池吸收到的光线再次折射到电池内。这一层涂料还能起到“钝化”太阳能电池的作用, 从而填充了可以捕捉到流动电子的分子悬浮键。晶体硅片背面印刷的第二步工作制作主栅线, 使其通过接口连接外部电力系统(第5步)。

### 新一代丝网印刷技术的应用

晶体硅太阳能电池的发展目标是将平均效率从目前的16%提高到20%以上。丝网印刷工具可以通过多种方法实现这一目标。在单晶硅片工业生产中, 经过丝网印刷处理并带有共烧金属电极的传统太阳能光伏电池已经实现了18%以上的效率。提高效率的关键在于以下两个领域: 太阳能电池制造工艺和金属电极沉积工艺。

## 在晶体硅片的正面与背面印刷

晶体硅片正面电路的负面效应之一就是阴影：金属线会遮挡一小部分阳光，使其无法照射到太阳能电池的有效区域上，从而降低转化效率（图6）。为了尽量减少这种阴影效果，必须将金属线的宽度控制在最窄。然而，为了保证充分的导电性，金属线必须具有一定的高度才能具有一致的横截面积。

解决这一问题的方法就是多次印刷金属线来制造宽度又窄、截面又高的金属线。这意味着丝网印刷机必须能够准确地反复重叠印刷宽度极窄的金属线 - 目前使用的标准金属线宽度为  $80\ \mu\text{m}$ ，相当于普通人一根头发的直径。

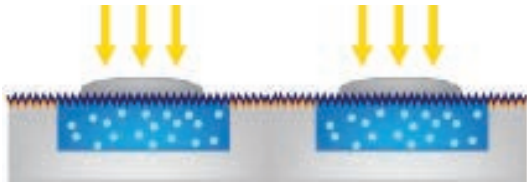


图5: 导电的金属线挡住了光线，使其无法照射到太阳能电池的有效区域上。

如今，大多数煅烧后的金属电路宽度为  $110\ \mu\text{m}$  至  $120\ \mu\text{m}$ 、厚度为  $12\ \mu\text{m}$  到  $15\ \mu\text{m}$ 。如果要减少这种损失，必须要降低金属线的宽度；同时，必须通过增加金属线的厚度来优化导电性（图7）。如果将金属线的宽度和高度从  $120\ \mu\text{m}$  和  $12\ \mu\text{m}$  调整到  $70\ \mu\text{m}$  和  $30\ \mu\text{m}$ ，那么转化效率就能实现0.5%的绝对增益。

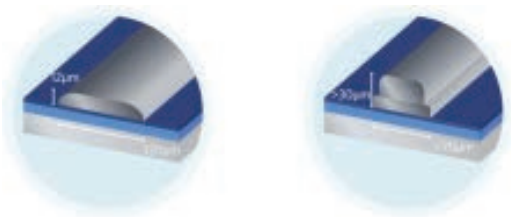


图6: 降低金属线的宽度能够减少有效区域的阴影，提高潜在的效率。

Applied Baccini采用的方法是用两台印刷机分别进行来实现双层重叠印刷。最新工艺可以在生产环境中制造出宽为  $70\ \mu\text{m}$ 、平均高度大于  $30\ \mu\text{m}$  的金属线。这种方法大约能将阴影导致的效率损失降低20%，同时也降低了电阻系数。只要在现有的生产线上增加一台丝网印刷机和干燥箱就能简单、经济地实现这种多层印刷法。

校准精度是双重电极印刷（以及其它先进的印刷应用）中最为关键的因素，因为第二层印料必须完全与第一层印料对齐。Applied Baccini的Esatto技术能够将第二层印料的校准精度控制在  $15\ \mu\text{m}$  以内。这种Esatto技术凭借多个高分辨率摄像头、高级照明系统以及最新的软件算法可以实现一流的校准精度，这种最新的软件算法同时还具备特殊的自动调校程序来进一步控制初始印刷阶段。先进的印后图像检测系统可以进一步将校准精度提高到  $10\ \mu\text{m}$ 。

双重印刷要求仔细地同时优化浆料配方和丝网设计，以求最大限度地提高丝网印刷硬件和工艺效能。浆料和丝网必须相互作用才能够印制出预期的丝印图案。

双重印刷不仅能通过提高太阳能电池的效率来降低每瓦成本，而且还能减少浆料消耗。通过优化主栅线结构，至少能将浆料消耗降低15%。

## 选择性发射极

另一种新型应用工艺被称为选择性发射极。这种工艺将重掺杂n+型区域精准地放置在丝网印刷的金属线下，以便进一步降低接触电阻，从而提高效率（图8）。

几种可用的制造发射极区域的工艺都需要在进行多次重叠印刷时保证高精度和可重复性。

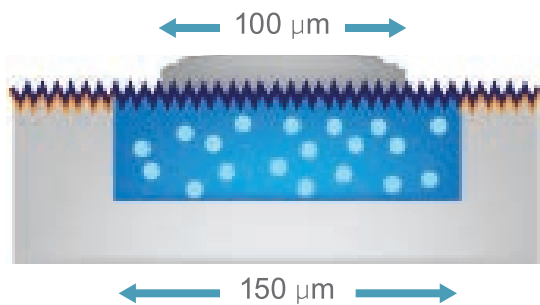


图7: 选择性发射极是直接放置在金属线下的  
高浓度掺杂区域。

选择性发射极工艺所提高效率必须与附加的加工步骤产生的附加成本相互平衡。应用材料公司选择性发射极工艺用以解决这一问题的方法是用标准印刷机将掺杂浆料沉积为网状图案, 这样使标准单级掺杂物扩散既可以在局部形成一种低电阻发射极, 也可以在其它区域形成高电阻发射极, 同时提高光电流和光电压 (图9)。



图8: 选择性发射极掺杂浆料的工艺流程

无论使用何种技术, 发射极区域必须略宽于其上方的金属线; 例如金属线的宽度为 $100\ \mu\text{m}$ , 则发射极区域的最佳宽度为 $150\ \mu\text{m}$ 。最为重要的是, 之后直接印刷到发射极区域上的金属线必须准确地上下对齐, 否则就会失去高效率这一优势。应用材料公司的Esatto选择性发射极解决方案可以将太阳能电池的效率提高0.5%

正如双层印刷以及其它高级丝网印刷流程一样, 选择性发射极使用的浆料和丝网必须满足一定的要求。非金属丝网必须与掺杂浆料配合使用, 以免造成金属污染, 同时丝网必须符合严格的质量标准。

如果与双层印刷机配合使用, 选择性发射极能够最大限度地提高太阳能电池的效率 (图10)。由于成熟的技术、精确地校准、极低的成本以及高速稳定, Applied Baccini的丝网印刷技术是适合这几类太阳能电池设计的最佳选择。此外, Esatto技术的校准精度、高品质耗材以及BKM工艺为太阳能电池制造商提供了一套简单易用的选择性发射极解决方案, 极大地缩短了产品上市周期。

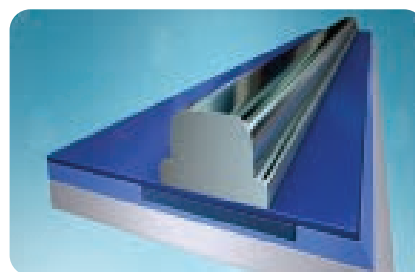


图9: 选择性发射极上的双层印刷。

## 先进的太阳能电池结构

太阳能设备的占地面积已经得到充分优化, 这要求制造商转而选用先进的太阳能电池结构, 这样才能在保证低成本的同时实现更高的效率。只有深入了解设备和工艺之间的配合才能顺利地向批量生产结构先进的太阳能电池过渡。设备供应商必须提供可随时进行批量生产的综合解决方案, 其中包括先进的技术设备、高品质的耗材以及优化的工艺配方。

就技术和市场份额来说, Baccini系统在太阳能电池批量制造领域处于领先地位, 其标准生产线和柔性生产线是多家国际太阳能电池制造商的基石。40多年来, 应用材料公司一直是半导体及显示器领域的领军企业, 拥有丰富的工艺创新经验。

Baccini在设备工程领域的卓越表现以及应用材料公司的专业工艺知识和全球研发能力构成了独一无二的强大组合。Applied Baccini的定位在

的定位在于借助以一流的设备、专业工艺知识以及耗材管理为核心的全局解决方案, 让太阳能电池制造商进一步提升自身的能力。

## 结论

晶硅太阳能电池丝网印刷是一种成本收益高、技术扩展性强, 并可用于金属沉积印刷或其它应用。而最新的丝网印刷系统不仅实现了高度自动化, 和高生产量操作, 包括加工超薄晶硅片。先进的Applied Baccini丝网印刷机以及Esatto技术解决方案具备出色的校准能力与精细金属电极的印刷能力, 能够支持包括双重印刷技术和选择性发射极技术等在内的多种可提高太阳能电池效率的新兴应用。

Applied Materials, Inc.  
3050 Bowers Avenue  
P.O. Box 58039  
Santa Clara, CA 95054-3299  
U.S.A.  
Tel: 408-727-5555

应用材料公司  
中国上海张江高科技园区  
张东路1388号22幢  
邮编: 201203  
电话: (86.21) 3861.6000

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

© 应用材料公司2011年。应用材料公司、应用材料公司徽标和其它指定或指示作为产品名称或服务的商标是应用材料公司在美国和其他国家的商标。保留所有权利。2011年4月。