

飞兆半导体特稿

2009年3月

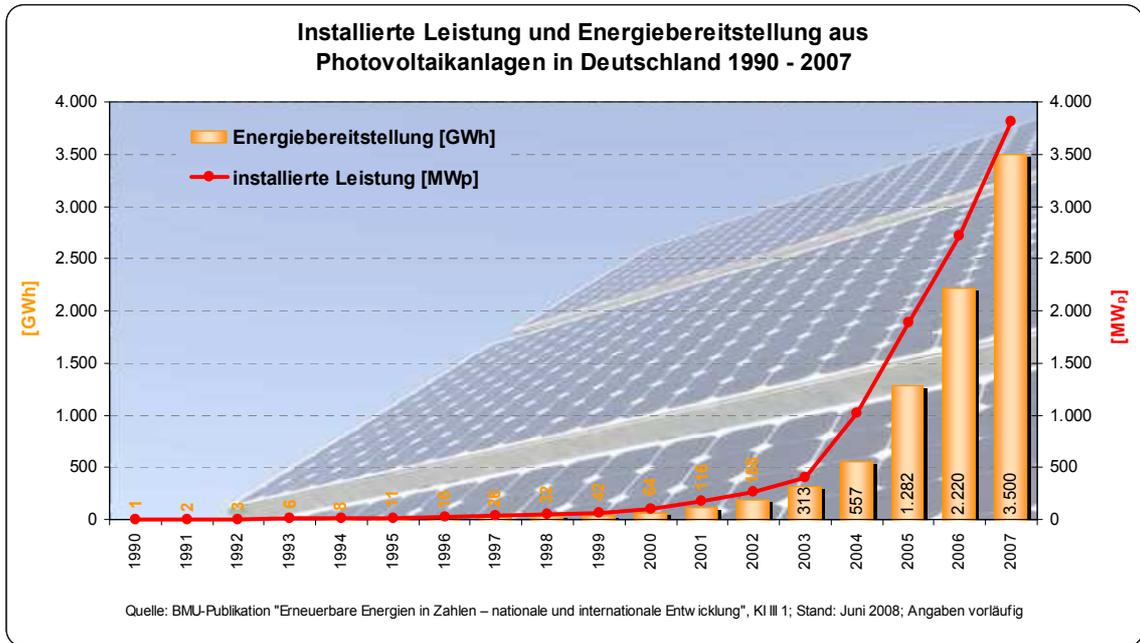
太阳能发电市场持续增长动力十足

摘要:

除了采用效率更高的功率电子产品来实现节能之外，其实在发电方面我们也有许多工作可以做。正是在这种想法下，光伏 (photovoltaic, PV) 发电市场会全面上扬，增长率惊人，而且创新层出不穷。但在不同国家之间，这一市场的推动力量也有很大的差异。不过，这些推动力量中有一项是共同的，即必需尽量提高效率，这就使太阳能电池和光伏逆变器成为绿色高科技的楷模。

太阳能是一个快速增长的市场，过去两年中其年复合平均增长率 (CAGR) 达 35%。这种现象并不让人惊讶，因为太阳能电池板的效率在迅速提高，越来越多的国家实行强制光伏上网电价 (feed-in tariff) 政策，而很重要的是，太阳能是“清洁”能源，使用期间无噪声无污染，这些因素都在推动太阳能市场的发展。相比其他可再生能源，太阳能拥有一些显著的优势：它几乎无处不在；其装置从普通家庭用的小型系统到大型发电厂规模不一；无需供给维持工作；此外没有或者只有极少可移动部件，因而可靠性大为增强。目前所用的其它能源，比如石油、煤，或核能，都存在着可用性和可持续性方面的缺陷，并对环境有不良影响。

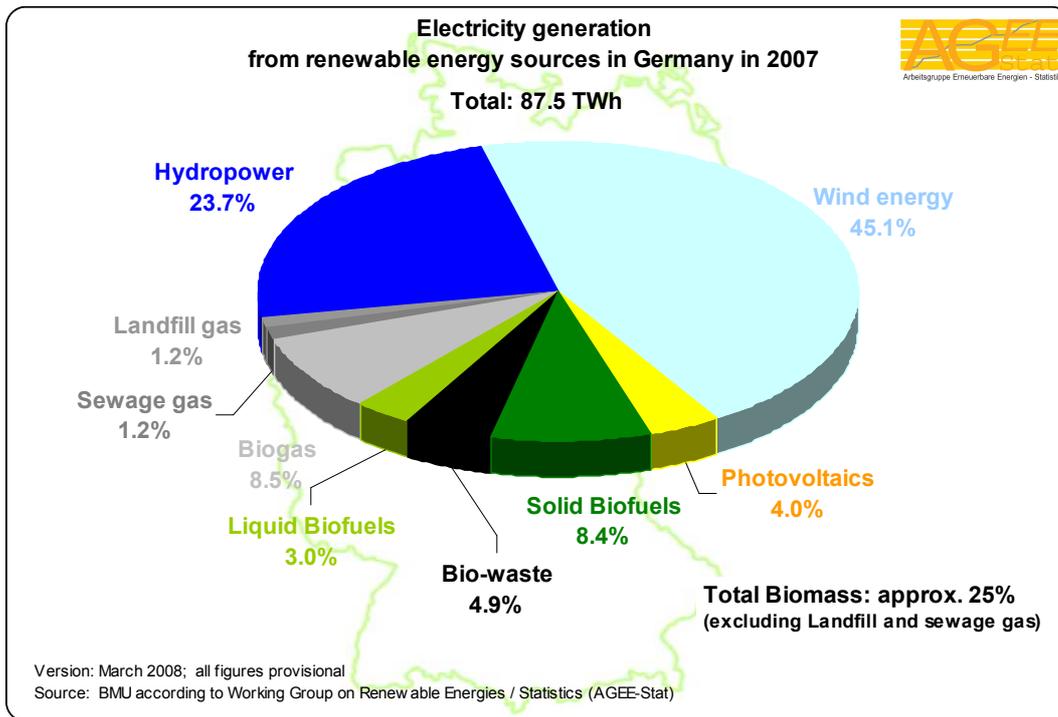
所以，预计接下来数年内，太阳能市场仍将保持强劲的增长势头。太阳能发电无疑代表着一个全面上扬的市场。下图所示为德国太阳能安装容量 (红线) 和供电能力 (柱形图) 的发展。



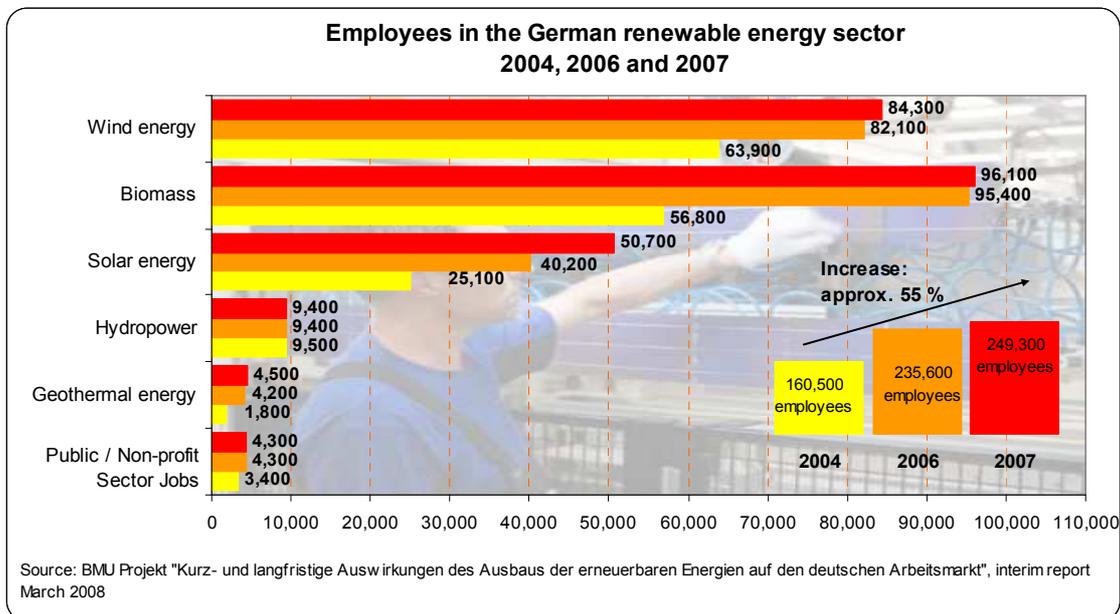
(数据源：BMU June 2008)

太阳能市场的光明前景吸引了所有的大型太阳能电池制造商积极兴建大型工厂，共同推动这一市场的强劲发展。除了如此多的外部推动因素之外，太阳能市场本身也在技术上取得了巨大的进步，电池效率不断提高。事实上，市场的强劲发展已致使基本材料之一的原始硅出现短缺，而这种材料也是半导体行业所需的基本原料。

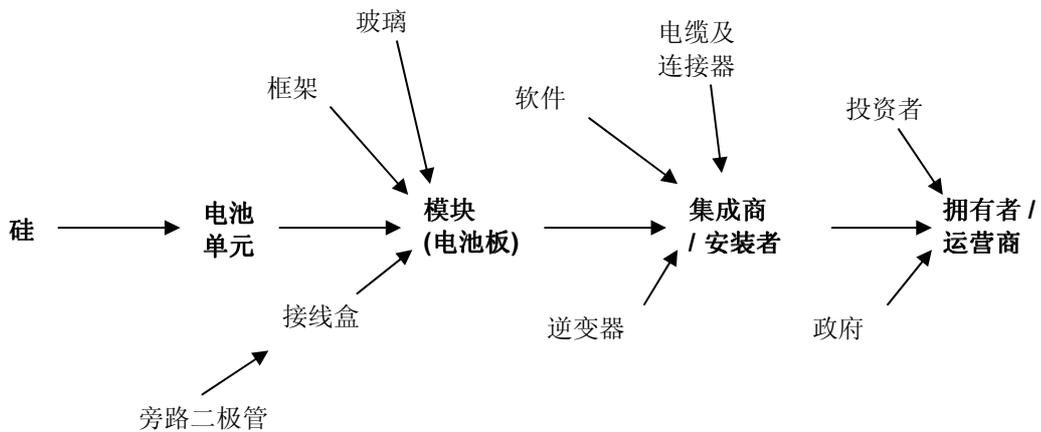
同时，以德国为例，其太阳能发电量在可再生能源中的份额只有 4%，这意味着有巨大的增长空间：



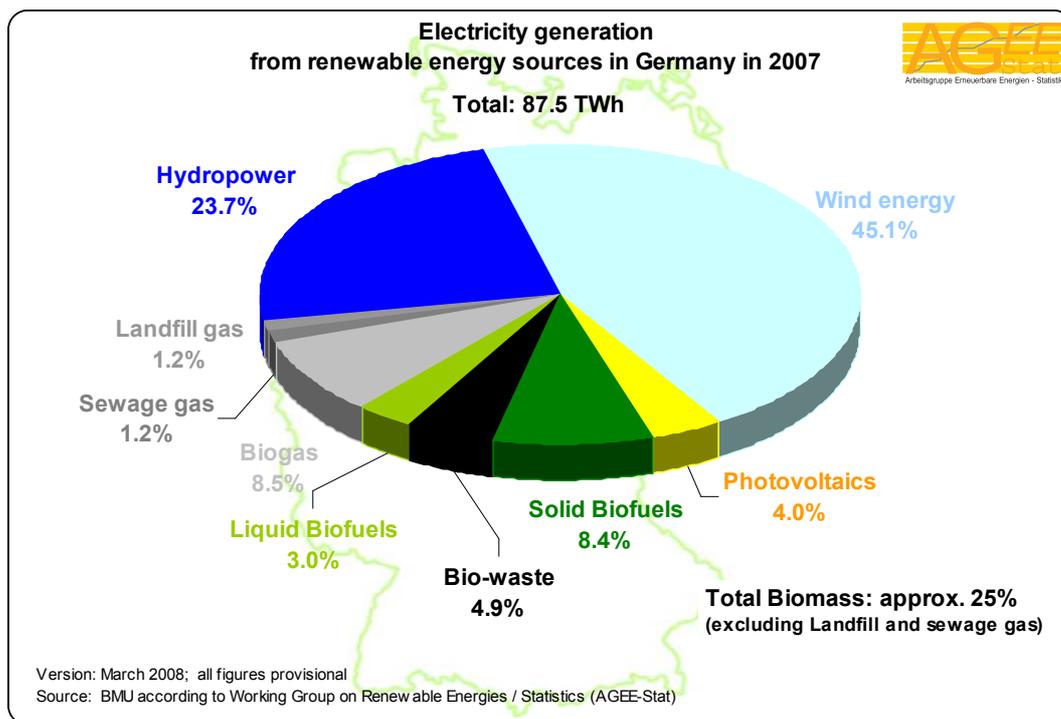
可再生能源产业同时带来了一大批新的就业机会，如下图所示：



值得注意的是，在能源份额一定时，由于复杂价值链的众多中间步骤以及规模经济(大型设施的安装)的推动，太阳能领域带来的工作机会将急剧增多，而整个太阳能产业在结构上更为细化。下图所示为 PV 产业的价值链草图：



同时，以德国为例，太阳能发电量在可再生能源中的份额只有 4% (只占总发电量的 0.6%)，这意味着有巨大的增长空间：

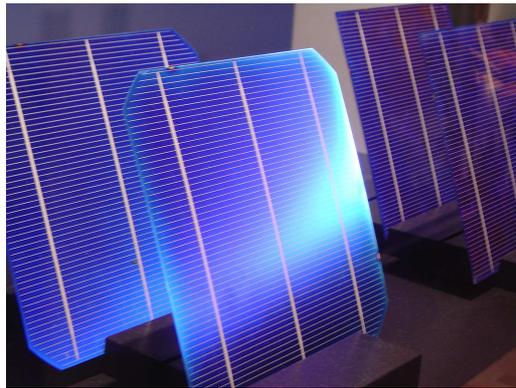


比较德国市场和西班牙市场 (欧洲第二大太阳能市场)，我们可发现二者间有着重大的区别：

- 西班牙的太阳辐射强度高出很多
- 西班牙以直接辐射为主，德国则以间接辐射为主
- 西班牙人口密度较低

因此，两国安装的系统类型也大相径庭。在德国，许多家庭在自家屋顶上安装规模较小的系统 (功率范围在 5kW- 20kW 间)；而西班牙的主要设施是兆瓦级的大型发电厂，这些电厂带有可以跟踪太阳移动并优化产能的跟踪系统，同时还整合了大型逆变器。这样的电厂需要占用大面积土地，这在西班牙可谓轻而易举。不过，德国也有较大规模的太阳能发电厂。

这些差异也意味着电池类型有所不同。对西班牙而言，大型太阳能聚光电池发电厂是一个很受关注的新概念，因为这些电池很适用于光照强度较高的环境。



单晶太阳能电池

目前市面上主要有四种不同类型的电池板：

	效率
a-Si，或多晶硅	10%
CdTe (碲化镉)	12%
CIGS (铜铟镓硒)	14%
c-Si，或单晶硅	16%
CPV (采用三结电池的聚光型 PV)	25% (原型)

这里的效率值是业内大规模生产的平均估值，只是一个相对指标。今天，大约 85% 的电池板是采用 c-Si 构建的。如上所述，作为基本材料的原始硅已变得十分紧缺，但最近业界取得的一项突破性技术有可能改变这种现状。已有多家公司开发出了能够提供太阳能冶金级硅 (upgraded metallurgical silicon, umg-Si) 的工艺。这种 umg-Si 纯度不如用于半导体的硅，但对太阳能电池已经足够，而且更高成本效益性价比，也更易于生产。这意味着太阳能电池板可能变得更便宜，沉重的成本压力将被转移到太阳能系统的其它重要组件，即逆变器上，然后再寻求类似的成本降低途径。

PV 系统的输出可能会遇到各种问题。其中大多数都与光到达电池的路径有关，比如投射阴影、散射阴影，或者是模块上的灰尘或其它微粒。下图所示为小型发电厂是如何产生重大的输出功率损耗的：

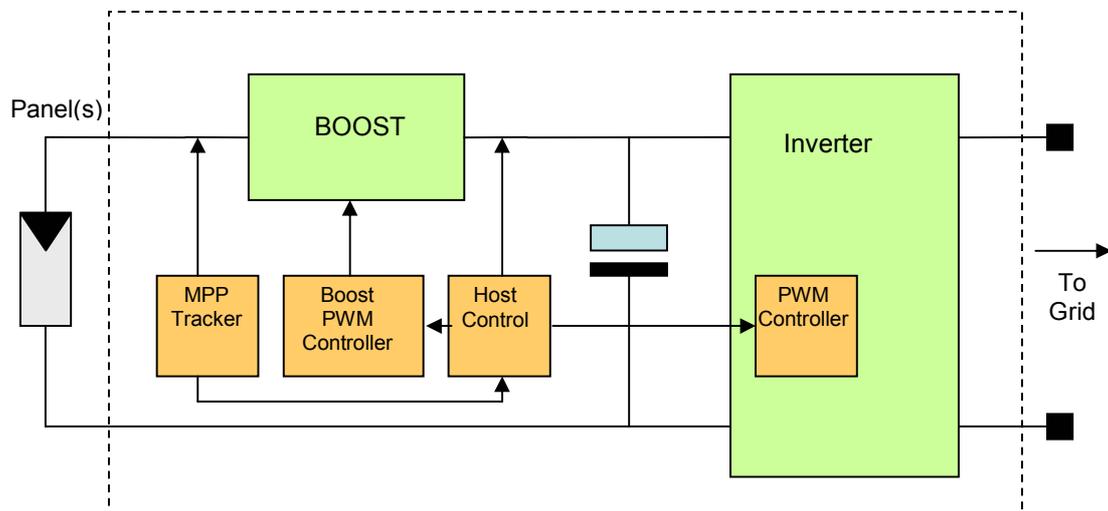


树木和建筑物造成的阴影

为什么这会构成挑战呢？50V 的典型电池板输出电压是由许多电池单元的串联来获得，这些单元都相当于小的电流源。如果其中之一被阴影遮住了，它的内阻就会大幅增加，从而导致仅有很少量的电流流经整个串联链路，也就是说一个电池单元就可以有效地切断一整串电池单元。在电池板级，虽然可以采用旁路二极管来防止这种情况引发更大的问题，但电池板本身的功率输出会大大降低。

第二大类挑战与电池板内的电池单元损坏或失配有关。而且，电池单元与逆变器的匹配，对确保系统在大多数时间内以最大效率工作至关重要。

第三，电池的腐蚀也是一大问题，因为系统的寿命通常超过 20 年，而一旦水或灰尘侵入电池板，连接器或逆变器就可能很早就发生故障。



逆变器是连接电池板和电网之间的主要部件。它为电池单元提供适当的负载，吸取最大功率，再将之转换为交流输出电流，为此需要使用最大功率点 (MPP) 跟踪器。电池单元可被视为带有非线性内阻的电压源，通过改变升压转换器的输入阻抗，MPP 跟踪器随负载变化而变化，直到电压和电流的乘积最大化。在第二

级，这个直流电流被转换为所需的交流输出电流。这时，逆变器将监控电网的电压和频率，以及它自己的输出电流，适当地控制逆变器级的运作。逆变器实际上相当于一个交流电流源在工作，驱动电网阻抗。中间电压必须高于所需的峰值输出电压，并有一定裕量。比如， $220V_{RMS}$ 时，峰值电压为 $308V$ ，故中间电压通常选在 $350V$ 到 $390V$ 间，这意味着第二个逆变器可以作为纯步降电路，从而简化了拓扑。数个升压转换器并联是常见的事，这可以连接多个电池板串。它们全都“馈入”到一个逆变器中。



输出功率为 $3kW_p$ 的小型逆变器

上图所示即为一个主功率板专用于功率转换的逆变器。在图中央，可看到功率 IGBT 被弹夹压在散热器上。在右边，电解电容用作升压转换器和逆变器之间的中间储能电容，用以存储输出所需的能量。这是一个无变压器的逆变器，顶部的大电感是输出电感。



几个大功率逆变器并联工作的机柜

在上图所示的较大规模系统中，几个逆变器被整合在多个机柜上，总输出功率可达 500kW。图中一个逆变器被拉出机柜，可见替换起来十分容易。中间的单元是监控单元，用来控制所有的逆变器并监控太阳能发电厂各分部的性能。

逆变器或逆变器的直流到交流部分可采用多种不同的拓扑来构建，其中相当一部分是某些逆变器厂商的专有技术。其中一种“经典”拓扑是采用全桥结构，驱动输出电感降低 EMI。这时，有些器件可以在工频下进行开关；而另一些则以转换频率进行开关在高频变换下工作。如果做得够聪明，就可以利用一类器件来实现最低的传导损耗，比如飞兆半导体的非穿通型 (Non Punch Through, NPT) 场截止 IGBT；然后选用另类器件来实现最低的开关损耗，如飞兆半导体的新型 NPT 场截止沟槽型器件。这里，不同的 IGBT，乃至 IGBT 和 MOSFET 的组合使用有助于提高整体效率。而且，为了正确驱动功率开关，可以采用光隔离栅极驱动器，如飞兆半导体的 FOD3180，以提高系统可靠性，因为在电网发生故障的情况下，很可能突然出现高 dv/dt 。

在太阳能逆变器等应用中，关键的性能参数是转换效率，因此采用 IGBT、MOSFET 和二极管来提高开关器件的性能是非常重要的。此时，尽管主要关注的是如何正确驱动开关、如何避免寄生振荡和过压现象 (高效率和高稳健性的两个大

敌) 和不良 EMI 行为, 以获得尽可能高的增益, 但电压降和开关能耗仍是可以改进的。

这种要求实际上使太阳能逆变器可与服务器电源相比拟, 因为二者都必须获得最高效率。前者是基于成本原因; 而后者则是由于尺寸大小之故 (成本也是原因之一)。因此, 除控制方案之外, 在拓扑选择、正确的功率开关及其驱动器方面涌现出大量的创新技术。

最后, 很重要的一点是, 进一步把子系统集成在智能功率模块中的确大有帮助。由于驱动器和功率开关彼此紧靠且理想匹配, 所以可以重复实现最好的开关行为。飞兆半导体正在推动功率开关技术和模块集成技术向前发展, 以进一步提高这些绿色高科技应用的性能。

作者简介:

Alfred Hesener 为飞兆半导体公司应用及市场推广总监, 负责欧洲市场。

