

碳化硅(SiC)如何赋能更高能效的分布式太阳能发电

作者: Brandon Becker

消费者、各行业和政府都在采取措施增加对可再生能源的利用。这正在推动发电和配电系统从以集中式的轮辐式为主的架构, 重塑为更网格化的本地化发电和用电, 通过智能电网互连来平稳供需。

根据国际能源署(IEA)2019年10月的燃料报告, 到2024年, 可再生能源发电量将增长50%。这意味着全球可再生能源发电量将增加1200GW, 相当于美国目前的装机容量。该报告预测, 可再生能源发电量其中增长的60%将采用太阳能光伏(PV)设备的形式。

该报告还强调了分布式光伏发电系统的重要性, 因为消费者、商业建筑和工业设施开始自行发电。它预测, 到2024年, 分布式光伏发

电量将翻一番以上, 超过500GW。这意味着分布式光伏发电将占太阳能光伏发电增长总量的近一半。

太阳能优势

为何在可再生能源发电量的增长中, 太阳能光伏发电占如此领先的地位? 一个明显的原因是太阳光照在我们所有人身上, 因此它的能量被大量广泛应用。这使发电量更接近耗电量, 将电力输送到离网点, 这点对于减少配电损耗特别有用。

另一个明显的原因是有大量的太阳能。计算地球从太阳接收多少能量有许多细微差别, 一条经验法则, 晴天时在海平面为平均每平方米1kW, 或当考虑日/夜周期、入

射角、季节性等因素, 平均为每天每平方米6kWh。

太阳能电池利用光电效应将入射光以光子流的形式转化为电能。光子被掺杂的硅等半导体材料吸收, 它们的能量将电子从其分子或原子轨道激发出来。然后, 这些电子可自由地将多余的能量耗散为热量并返回其轨道, 或者传播到电极并成为电流的一部分, 以抵消其在电极上产生的电势差。

与所有能量转换过程一样, 并非所有输入到太阳能电池的能量都以首选的电能形式输出。实际上, 多年来, 单晶硅太阳能电池的能效一直徘徊在20%至25%之间。但是, 太阳能光伏的机会如此大, 以至于研究团队几十年来一直致力于使用日益复杂的结构和材料来提高电池转换效率, 如NREL的这张图所示。

要实现所示的更高能效, 通常以使用多种不同材料和更复杂、更昂贵的制造技术为代价。

许多太阳能光伏设备基于各种形式的晶体硅或硅、碲化镉或硒化铜铟镓的薄膜, 其转换效率在20%至30%。电池内置在模块中, 安装人员可使用这些模块为基本单元, 构建太阳能光伏发电系统。

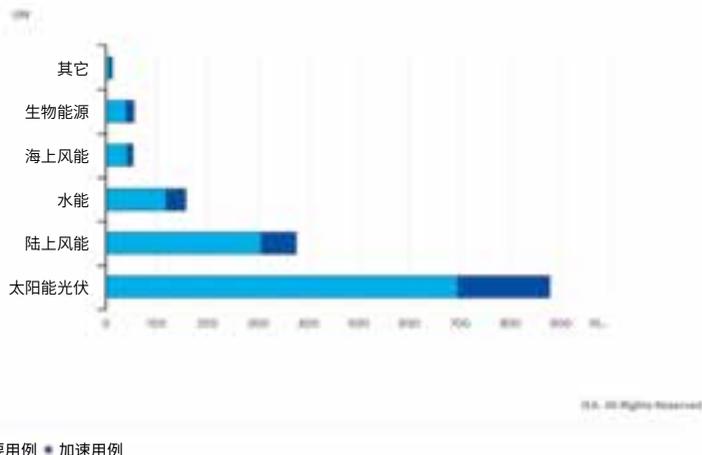


图1: 2019-2024年可再生能源发电量增长(按技术分类)

能效挑战

光伏转换把入射到地球每平方米表面上千瓦的太阳能转换为200W至300W的电能。当然，这是在理想条件下。但是可能会因以下原因转换效率会降低：雨、雪和灰尘沉积在电池表面、半导体材料的老化的影响，以及由于如植被的生长或新建筑物的建造等环境变化而增加的被遮挡的阴影。

因此，现实是，尽管太阳能是免费的，但利用太阳能产生有用的电能，需要仔细优化采集、存储和最终转换为电能的每个阶段。提高能效的最大机会之一是逆变器的设计，它将太阳能电池阵列(或其电池

存储)的直流输出转换为交流电流，以便直接使用或通过电网传输。

逆变器改变直流输入电流的极性，使其接近交流输出。开关频

率越高，转换效率越高。简单的开关可产生方波输出，可以驱动电阻负载，但具有谐波，它会损坏由纯正弦波AC供电的更复杂的电子设

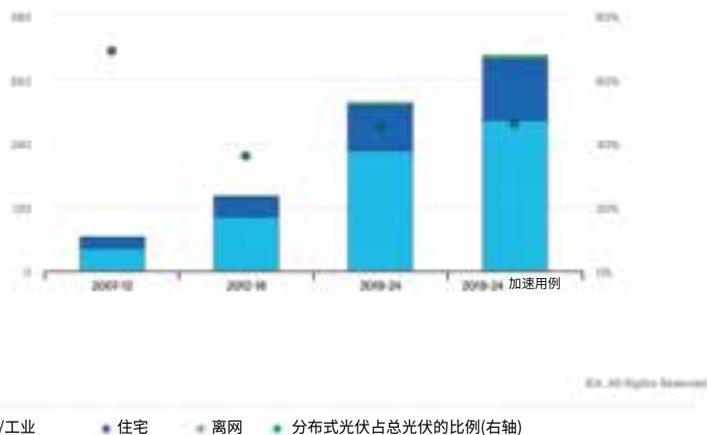


图2: 2007-2024分布式光伏(PV)发电量增长(按细分市场分类)

备。因此，逆变器设计成为一个平衡的关键，

一方面增加开关频率以提高能效、工作电压和发电量，另一方面将平滑方波所用的辅助元器件的成本降至最低。

SiC的优势

碳化硅(SiC)因带隙宽，在太阳能管理中比硅具有多种材料优势，导热率几乎是硅的3倍。这意味着SiC器件承受的击穿电场几乎是硅的10倍，从而使SiC器件与类似结构的硅相比，能够在高得多的电压下高效地工作。SiC器件还具有比硅低得多的导通电阻、栅极电荷和反向恢复电荷特性，以及更高的热导率。这些特性意味着SiC器件与硅同等器件相比，可以以更高的电

压、频率和电流来开关，同时更高效地管理热量累积。

SiC用来制造不宜用硅制造的器件。MOSFET在开关应用中受到青睐，因为它们是单极器件，这意味着它们不使用少数载流子。硅双极型器件既使用多数载流子又使用少数载流子，可以在比硅MOSFET更高的电压下工作，但由于它们在开关时需要等待电子和空穴重新结合以及耗散重组能量，因此其开关速度变慢。

硅MOSFET广泛用于高达约300V的开关应用中，高于该电压时，器件的导通电阻上升的程度使设计人员不得不转向速度较慢的双极器件。SiC的高击穿电压意味着它可以用来制造比硅更高电压的MOSFET，同时保留了低压硅器件

的快速开关优势。开关性能也相对不受温度影响，从而在系统升温时实现稳定的性能。

由于功率转换效率与开关频率直接相关，因此，SiC既能比硅处理更高的电压，又能确保高转换效率所需的高速开关。

SiC的导热系数是硅的三倍，因此可以在更高的温度下工作。硅在175°C左右不再充当半导体，在200°C左右成为导体，而SiC直到达到1000°C时才会变成导体。SiC的热特性优势可用于两方面。首先，它可用于制造比等效硅系统需要更少冷却的功率转换器。另外，SiC在较高温度下的稳定运行可用于制造极高密度的电源转换系统，适于空间非常宝贵的应用，如车辆和蜂窝基站。

电池最佳转换效率

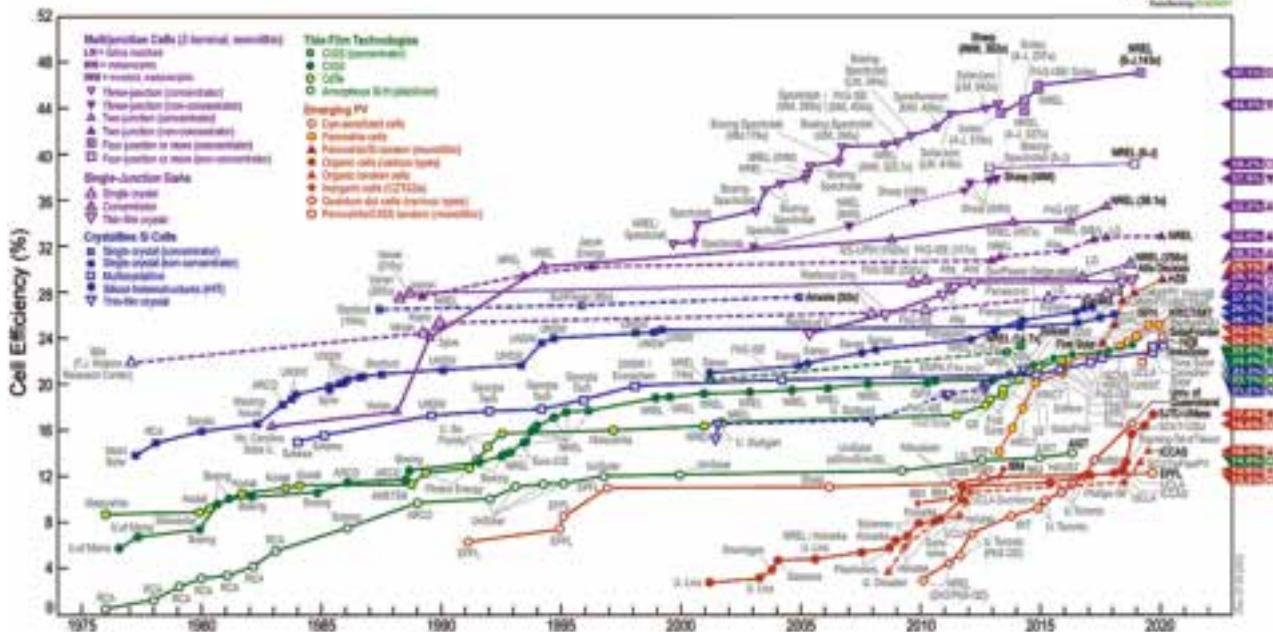


图3：全球太阳能电池最佳转换效率-1976年至2020年(NREL)

(来源：美国科罗拉多州戈尔登的国家可再生能源实验室)

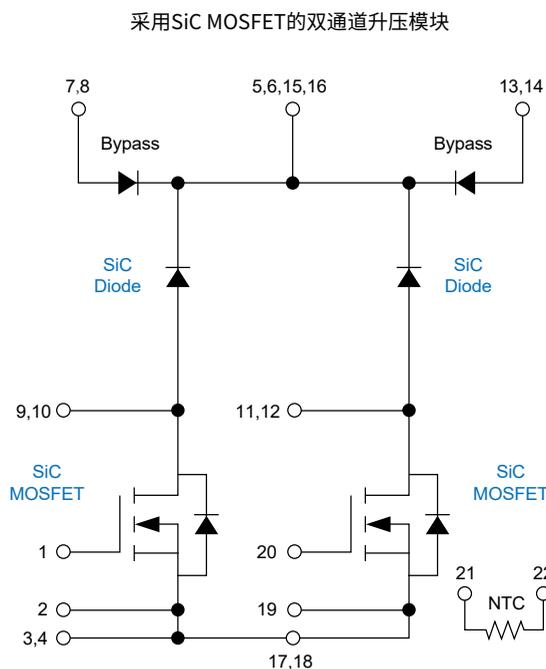


图4: 引入SiC器件以提高太阳能升压电路的转换效率 (安森美半导体)

我们可看到SiC这些优势在功率升压电路中发挥了作用, 它使太阳能转换的效率更高。

该电路设计用于使太阳能电池阵列的输出阻抗(随入射光的水平而变化)与逆变器所需的输入阻抗相匹配, 以实现最高效的转换。

最左图显示了成本最低的方法, 使用硅二极管和MOSFET。第一个优化方案如中图所示, 是用SiC二极管取代硅二极管, 这将提高电路的功率密度和转换效率, 从而降低系统成本。也可以用SiC等效替代硅MOSFET, 如右图所示, 这为设计人员提供更多的开关频率选择, 从而进一步提高了电路的转换效率和功率密度。

针对想要在太阳能光伏设备

中利用SiC的需求, 安森美半导体还开发了一系列两通道或三通道的SiC升压模块, 用于太阳能逆变器。

SiC功率器件具有比硅器件更胜一筹, 包括它们能够高速切换高压和电流, 具有损耗低, 热性能好。 尽管目前它们可能比等效硅产品更昂贵(如果可以使用硅替代产品), 但它们的系统级性能可以节省成本, 使冷却的复杂性得以优化。还有一个关于转换效率的预估: 如果部署SiC可提高所有分布式太阳能光伏系统的功率转换效率, IEA预计到2024年就算仅安装2%, 也将多产生惊人的10GW发电量。 **EET**

