

多晶硅太阳能电池生产工艺技术探讨 及应用前景分析

钟文建

(湖南省国际工程咨询公司 长沙 410011)

1 太阳能电池概述

1.1 太阳能电池简介

太阳能电池是一种能量转换的光电元件,它是由太阳光照射后,把光的能量转换成电能,此种光电元件称为太阳电池。从物理学的角度来看,有人称之为光伏电池。

太阳电池的种类很多,依材料的种类来分,可分为单晶硅、多晶硅、非晶硅、Ⅲ-V族(如砷化镓 GaAs、磷化铟 InP、磷化镓铟 InGaP)、Ⅱ-VI族(如碲化镉 CdTe、硒化铟铜 CuInSe)等。

最早的太阳能电池是在1954年由贝尔实验室制造出来的,当时研究的动机是希望能替偏远地区有通讯系统提供电源,不过由于效率太低(只有6%),造价太高(357美元/瓦),缺乏商业价值。与此现时,世界超级大国美国、苏联正如火如荼在实施着太空计划,因为太阳能电池具有不可取代的重要性,使得太阳能电池找到了新的发展领域。从1957年苏联发射第一颗人造卫星开始至1969年美国人登陆月球,太阳能电池在太空飞行任务中肩负着重要的角色,其发展也达到了一个颠峰的境界。但因为太阳能电池造价昂贵,制约了其应用范围。

1970年代初期,由于中东战争爆发,石油禁运,工业化国家必需的石油供应中断,出现能源危机,

迫使人们不得不再度重视将太阳能电池应用于电力系统的可行性。

1990年代以后,人们开始将太阳能电池发电与居民生活用电相结合,在美国、日本德国等发达国家开始推广与城市发电系统相并联的太阳能电池发电系统。此一发电系统的建立大大地缓解了筹建大型发电厂的压力,节约了用地,也减少了对环境的破坏。

近年来,太阳能电池生产技术不断得到研究开发,生产成本不断降低,电池转换效率不断提高,太阳能电池的应用日益普及并拓展,已日渐成为电力供应的重要来源。

1.2 太阳能电池原理

太阳能电池发电是基于电子——空穴移动原理。正面以单晶硅太阳能电池为例。单晶硅是指硅原子与硅原子间按照顺序规则的排列。硅(Si)的原子序数为14,其电子组态为1S 2S 2P 3S 3P,其中内层的10个电子(1S 2S 2P),被原子核紧密的束缚着,而外层的4个电子(3S 3P)受到原子核的束缚较小,如果得到足够的能量,则可使其脱离原子核的束缚而成为自由电子,硅原子外层的这4个电子又称为价电子,而硅的晶体结构是属于钻石晶体结构,每个原子与邻近的四个硅原子形成共价键,如果在纯硅之中掺入三价的杂质原子,例如硼原子(B),此三价的杂质原子,将取代硅原子的位置,因



为硼原子只有三个电子可供与邻近的硅原子形成共价键，所以硼原子的周围会产生一个空缺，可供电子填补，这个可填补电子的空穴即称为电洞。电洞在电学中可视为一可移动且带正电的载子。因为电洞可接受一个电子，所以掺入三价杂质原子又称为受体，而一个掺入三价杂质的半导体，即称为P型半导体。

同理，如果在纯硅之中掺入五价的杂质原子，例如磷原子(P)，此五价的杂质原子，将取代硅原子的位置，因为磷原子具有五个价电子，其中四个价电子分别与邻近的四个硅原子形成共价键，而多出一个自由电子，该电子为一带负电的载子，因为五价的杂质原子可提供一个自由电子，故称此五价的杂质原子为施体，而掺了杂质的半导体称为N型半导体。

一般太阳能电池就是以掺杂少量硼原子的P型半导体作基板，然后再用高温热扩散的方法，把浓度略高于硼的磷掺入P型基板内，形成P-N界面，这一P-N界面是由带正电的施体离子与带负电的受体离子所组成，在该正、负离子所在的区域中，存在内建电位，这一内建电位，可驱赶在此区域中的可移动电载子，故此区域称之为空乏区。当太阳能光照射到P-N结构的半导体时，光子所提供的能量把半导体中的电子激发出来，产生电子-电洞对，电子与电洞均受内建电位的影响，电洞往电场的方向移动，而电子则与相反的方向移动。用导线将此太阳能电池与一负载连接，形成一个回路，就产生电流流过负载，此即为太阳能电池发电原理。

1.3 太阳能电池材料

太阳能辐射光谱主要以可见光为中心，其分布范围从0.3微米的紫外光到数微米的红外光为主，若以光子的能量来换算，则约在0.4eV(电子伏特)到4eV之间，经实验，只有当光子能量大于半导体能隙的能量时，光子才被半导体吸收，且被吸收的光子能量也只相当于半导体能隙的能量，使半导体产生电子-电洞，而其余的能量以热的形式散发。一般来说，理想的太阳能电池材料必须具有如下特性：

能隙在1.1eV到1.7eV之间；

直接能隙半导体或易于得到的间接能隙半导

体；

组成的材料无毒性；

可利用薄膜沉积的技术，并可规模化生产；

有良好的光电转换效率；

具有长时间的稳定性。

据测定，硅的能隙为1.12eV，且是地球上蕴含量居第二的元素，本身无毒性，它的氧化物既稳定又不具水溶性，因此硅在半导体工业的发展中担负着重要的角色，具备了深厚的基础，目前太阳能电池硅仍为主要原料。

2 多晶硅生产工艺

2.1 不同硅原子种类太阳能电池商业化的比较

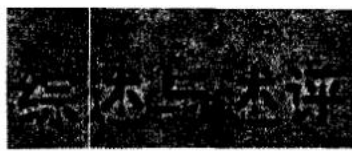
依据硅原子不同的结构方式，区分为单晶硅、多晶硅、非晶硅三类。

应用于商业化生产的太阳电池，目前市场上主要有单晶硅、多晶硅和非晶硅三大类。单晶硅和多晶硅产品已成为目前太阳能电池产品应用的主流。

单晶硅电池以其转换效率高(24.7%)、质量稳定等特点在国际市场上得到了广泛的应用。单晶硅产品的技术发展有很大的空间，国际上许多生产厂家和研发机构在努力进行科学研究，可用于商业化生产的高效率产品不断出现。但单晶硅对原料的纯度要求高(99.99999999%)，生产成本居高不下，制约了单晶硅在普通领域的广泛推广应用。

多晶硅太阳电池以其转换效率较高(19.8%)、性能稳定和成本适中而得到越来越广泛的应用。多晶硅太阳电池对原料的纯度要求低，原料的来源渠道也较为广阔，可由铸锭而成，适合大规模商业化生产，多线切割工艺可为电池生产提供不同规格的硅片，以适应不同用途，并使生产成本大大降低。目前多晶硅太阳电池已超越单晶硅的产量，占据市场的主导地位。

非晶硅太阳电池转换效率较低(14.5%)，目前，市场上规格品种比较单一。非晶硅电池的生产成本低廉，非常适合低价市场的要求。但由于该产品的性能极不稳定，电池衰减快，效率低下等因素的影响，其应用市场受到了制约。鉴于上述未解



首先焊接电池片正面(负极)连接线。焊接时先在电池片的主栅上用棉签涂少量助焊剂,焊带的焊接部分也涂上主焊剂,把焊带放在电池片的主栅线上,左手拿焊带,右手执烙铁,先把焊带的最右边用烙铁轻轻焊在电池上,以利于对齐,然后从左到右把烙铁头在焊带上拖过。注意速度要掌握好,太快不能可靠焊接,太慢也会影响焊接质量。

(4) 电池片串联

把已经焊好正面的电池片正面朝下摆放好,如下图所示。焊接电池片背面。

焊接时可以把电池片紧靠在不锈钢直尺的边上,一方面可以保证边缘整齐,另一方面可以用直尺上的刻度保证两个电池片之间的间隔。焊接时注意各个电池片串的长度保持一致。

(5) 排板

把四个电池片串带按照正确的方向和一定的间距背面朝上在操作台上排列一起,各排之间对齐。为了以后容易移动,电池片之间可以使用透明胶带在电池片背面粘结在一起。

(6) 汇流条焊接

各个电池串之间使用汇流条焊接到一起,注意焊接时不要把各个电池串的正负极接错。同时焊上引出用的汇流条作为电池板的引出线。引出线和汇流条的位置在电池片后面的,应该使用透明胶带作绝缘处理。

(7) 铺设

铺设时注意 T.P.T 和 EVA 要比玻璃稍大。大约每边留 10 到 15 毫米。

(8) 引出

在层 1 和层 2 的适当位置用刀片切出合适的缝隙,把引出线从缝隙穿出。把引出线在外面用透明胶带固定。

(9) 检验

对连接好的电池板应当进行电气检查和外观检查

(10) 层压

按照使用说明中的步骤打开层压机。以下主要说明如何放入和取出电池板。

层压机内有两块聚四氟玻璃纤维布,先铺一块在层压机内,在上面放入电池板,再盖一块聚四

氟玻璃纤维布在上面。盖上层压机,层压机自动开始层压过程(在自动状态下)。过程完成后层压机会自动打开上盖。

层压机上盖自动打开后,把两层聚四氟玻璃纤维布和电池板一起取出。待温度稍低后揭下聚四氟玻璃纤维布。然后把聚四氟玻璃纤维布上的 EVA 清除干净。

聚四氟玻璃纤维布在使用过程中应当始终用同一面接触电池板,这样不容易把 EVA 粘到层压机上。

(11) 切边

待电池板的温度降低以后,用裁纸刀切下玻璃边外的 EVA 和 T.P.T。

(12) 固化

电池板层压完成后,应按照 EVA 的特性进行固化(胶联)。一个典型的固化温度为 140 度,30 分钟。温度和时间应参照 EVA 的技术参数确定。固化过程在固化炉内进行。

也可以把层压和固化放在一个层压过程内完成,具体参数要根据具体情况制定。一个参考的参数如下:层压机温度 150 度,抽空时间 6 分钟,层压固化时间 7 分钟。

(13) 装边框

使用铝合金边框可以在铝合金边框内涂玻璃胶,也可以把 EVA 裁成 2 厘米左右宽的长条裹在电池板玻璃边上装入铝合金框体,然后加热使之热熔到一起。

(14) 安装接线盒

(15) 测试

多晶硅生产工艺的特点:

1) 采用了长晶凝铸技术和标准化的坩埚设备,可以凝铸大型(240 公斤)的晶锭,大幅度提高了产量,并减少了能源消耗;与单晶硅相比,多晶硅能用较低纯度的原材料,降低了成本和原材料的采购难度。

2) 采用了氮化硅抗反射膜,较之传统的氧化碲稳定;同时,除了抗反射外,氮化硅膜内的氢原子也发挥很大的表面与内部钝化作用。

3) 五英寸与六英寸的多晶硅正方形太阳能电池与近方形的单晶硅太阳能电池相比较,在成本及模

板封装密度上具有更强的竞争力。

4) 采用了多线锯技术, 多线锯的采用与制程设备自动化大大提高了多晶硅太阳能电池相对于薄膜太阳能电池的竞争力。与传统的内径锯相比, 多线锯的产能高、切割损失小, 对芯片表面的伤害少, 同时又可切较薄的芯片, 这样可节省约30%的材料成本。

2.3 多晶硅太阳能电池影响因素分析

判别多晶硅太阳能电池的好坏, 最重要的是其转换效率(η), 转换效率可定义为:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \times 100\% = \frac{I_m V_m}{P_{in}} \times 100\%$$

其中 P_{in} 为太阳光入射功率, P_m 为最大输出功率, I_m 与 V_m 分别为在最大输出功率时的电流与电压。

在光电转换的过程中, 事实上, 并非所有的人射光谱都能被太阳能电池所吸收, 并完全转成电流。有一半左右的光谱因能量太低(小于半导体的能隙), 对电池的输出没有贡献, 而在另半被吸收的光子中, 除了产生电子-电洞对所需的能量外, 约有一半左右的能量以热的形式释放掉, 所以单一电池的最高效率约在 25% 左右, 目前实验室所制作出的电池, 几乎可达到理论值的最高水准。但由于制造过程复杂, 不能规模化生产, 制作成本极高, 不符合经济效益。

如何制造才能提升太阳能电池的转换效率, 一直是学术界努力的目标。目前除开发多晶硅大晶锭熔铸技术、采用多线锯切割, 减少材料损耗、降低成本外, 还可以从以下几方面提高其光电转换效率:

1) 将不透光的金属电极作成手指状或是网状, 以减少光线的反射, 使大部分的人射阳光都能进入半导体材料中;

2) 将表面制成金字塔型的组织结构, 并加入抗反射层, 以减少光的反射量;

3) 将金属电极埋入基板中, 以增加接触面积, 减少串联电阻;

4) 点接触式太阳能电池, 此电池的特点是电极均做在同一面, 如此可增加入射光的面积, 且易于焊线;

5) 将太阳能电池制成串叠型电池, 把两个或两个以上的元件堆叠起来, 能够吸收较高能量光谱的电池放在上层, 吸收较低能量光谱的电池放在下层, 透过不同材料的电池将光子的能量层层吸收。实验室制造出来的多界面串叠型电池的转换效率可达 33.3%。

3 多晶硅电池应用前景分析

人类发展太阳能电池的最终目标, 就是希望取代目前以煤、石油、天然气为主的传统能源。太阳能取之不尽、用之不竭, 是地球上人人均可分享的绿色自然可再生能源。据估算, 陆地表面每年接受的太阳辐射能约为 2.4 万亿吨标准煤。世界各地太阳平均辐射能达 335~837KJ/cm².a。若把太阳表面所放射出来的能量换算成电力约 3.8×10^{23} KW, 若考虑太阳光经过一亿五千万公里距离的良师衰减, 穿过大气层到达地球表面也约有 1.8×10^{14} KW, 这个值大约为全球平均电力的十万倍之大。如果人类能够有效的利用太阳能, 则不仅能解决人类生存和发展所需的能源消耗问题, 同时也将解决人类赖以生存和发展所需的生态环保问题。

由此可知, 多晶硅太阳能电池有着广阔的应用前景和巨大的发展空间。