

太阳能电池工作原理与种类

李崇华

(贵州师范大学机电工程学院, 贵阳 550014)

摘要 电能是一种高品位能量, 利用、传输和分配都比较方便。将太阳能转换为电能是大规模利用太阳能的重要技术基础, 世界各国都十分重视, 其转换途径很多。本文主要介绍光电直接转换器件——太阳能电池及它的工作原理和种类。

关键词: 太阳能电池; 工作原理

Work Principle and Type of Solar Cells

Li Chonghua

(Guizhou Normal University, College of Mechanical and Electrical Engineering, Guiyang 550014)

Abstract Energy is a high-grade energy. Its use, transmission and distribution are more convenient. Transforming solar energy into electric energy is an important technological base of large-scale use solar. It gets attention in the world. There are many ways of its transformation. This paper mainly introduces the switching device of photoelectric directly-solar cells, and its working principle and types.

Key words: solar cells; work principle

1 引言

太阳能作为一种巨量可再生能源, 是人类取之不尽、用之不竭的可再生能源, 是地球上最直接最普遍也是最清洁的能源。将太阳能转换为电能是大规模利用太阳能的重要技术基础, 其转换途径很多, 有光电直接转换, 有光热间接转换等。但利用太阳能电池进行光电直接转换是运用最为广泛的方式。

2 太阳能电池的原理

太阳能电池是通过光电效应或者光化学效应直接把光能转化成电能的装置。由于光化学效应工作的太阳能电池则还处于萌芽阶段, 没有进行大面积推广使用。因此我们这里所指的太阳能电池是指利用光电效应使太阳的辐射光通过半导体物质转变为电能的装置。这种光电转换过程通常叫做“光生伏打效应”, 太阳能电池又称为“光伏电池”。

能产生光伏效应的材料有许多种, 如: 单晶硅, 多晶硅, 非晶硅, 砷化镓, 硒铜钢等。它们的发电原理基本相同, 现以晶体硅为例描述光发电过程。

当太阳光线照射太阳能电池表面由P、N型两种不

同导电类型的同质半导体材料构成的P-N结上时, 一部分光子被硅材料吸收; 光子的能量传递给了硅原子, 使电子发生了越迁, 形成新的空穴由-电子对。在p-n结电场的作用下, 空穴由n区流向p区, 电子由p区流向n区, 形成内建静电场。如果从内建静电场的两侧引出电极并接上适当负载, 就会产生一定的电压和电流, 对外部电路产生一定的输出功率。这个过程的实质是: 光子能量转换成电能的过程。

为了获得较高的输出电压和较大容量, 往往把多片太阳能电池连接在一起。太阳能电池的输出功率是随机的。不同时间、不同地点、不同安装方式下, 同一块太阳能电池的输出功率也是不同的。目前, 太阳能电池的光电转换率一般在百分之十几以上, 个别发达国家的太阳能电池光电转换率已经达到30%左右。

3 太阳能电池种类

根据所用材料的不同, 太阳能电池可分为多种类型。由于硅太阳能电池技术相对较成熟, 半导体材料的禁带不是太宽, 光电转换率较高, 材料本身不造成污染, 所以硅是目前最理想的太阳能电池材料。以其他材料为基础的太阳能电池也正在研制和

发展过程中。

太阳能电池按硅材料的结晶状态不同可分为结晶硅系薄式和非结晶硅系膜式两大类，而前者又分为单结晶形和多结晶形。

(1) 硅太阳能电池

1) 单晶硅电池

单晶硅太阳能电池以高纯的单晶硅棒为原料，纯度要求99.999%。单晶硅太阳能电池板使由许多由单晶硅棒切成厚约0.3mm的圆薄片，再经抛磨、掺杂、扩散、烧结、成型等步骤制成的单体片，用串联或并联的方法构成的，可输出一定的电压和电流。用户也可根据具体要求将太阳能电池板组成各种大小不同的太阳能电池方阵，也称太阳能电池阵列。

目前，单晶硅太阳能电池是开发得最快的一种太阳能电池，技术最为成熟，光电转换率为15%左右，使用年限较长，单晶硅太阳能电池广泛用于道路照明、交通信号等室外照明中处所。但由于单晶硅太阳能电池的生产需要消耗大量的价格高昂的高纯硅材料，制造工艺繁琐，损耗大，造成单晶硅成本价格居高不下，阻碍了单晶硅太阳能电池的发展，现在正在逐渐被多晶硅薄膜太阳能电池和非晶硅薄膜太阳能电池等取代。

2) 多晶硅电池

目前多晶硅太阳能电池使用的多晶硅材料，多半是含有大量单晶颗粒的集合体，或用废次单晶硅料和冶金级硅材料熔化压铸而成。其工艺过程是选择电阻率为100~300Ω·cm的多晶块料或单晶硅头尾料，经破碎、掺杂、扩散、熔化冷却定型后，即得多晶硅锭。这种硅锭可铸成立方体，以便切片加工成方形太阳能电池片，可提高材料利用率和方便组装。多晶硅薄膜电池由于所使用的硅比单晶硅少很多，不存在效率衰退等问题，而且有可能在廉价衬底材料上制备。多晶硅薄膜太阳能电池的成本远低于单晶硅电池，光电转换率近20%，高于非晶硅薄膜电池。因此，多晶硅薄膜电池将有望成为太阳能电池的主导产品。多晶硅太阳能电池在室外照明中的应用将越来越广泛。

因为普通晶体硅太阳能电池单个只有0.5V左右的电压，现在日本生产的非晶硅串联太阳能电池可达2.4V。目前非晶硅太阳能电池存在的问题是光电转换效率偏低，国际先进水平为10%左右，且不够稳定，常有转换效率衰减的现象，所以尚未大量用于作大型太阳能电源，而多半用于弱光电源，如袖珍式电

子计算器、电子钟表及复印机等方面。

3) 非晶硅电池

非晶硅太阳能电池是1976年有出现的新型薄膜式太阳能电池，它与单晶硅和多晶硅太阳能电池的制作方法完全不同。非晶硅太阳能电池很薄，可以制成叠层式，或采用集成电路的方法制造，在一个平面上，用适当的掩模工艺，一次制作多个串联电池，以获得较高的电压。由于非晶硅太阳能电池的结构多样化，因此制造非晶硅太阳能电池的方法也有很多种。

非晶硅薄膜太阳能电池制作简单，硅材料消耗很少，重量轻，电耗低，成本较低，便于大规模生产，普遍受到人们的重视并得以迅速的发展，光电转换率在14.5%以上，但稳定性较差。提高转换率和稳定性是非晶硅薄膜太阳能电池的发展方向。目前，非晶硅电池在低功率电力系统中应用较多。

(2) 其他太阳能电池

1) 纳米晶化学太阳能电池：纳米晶化学太阳能电池是新型太阳能电池，目前仍在研制过程中，其中纳米晶TiO₂太阳能电池倍受关注。纳米晶TiO₂太阳能电池光电效率在10%以上，制作成本为硅太阳能电池的1/5~1/10，寿命可达到20年以上。

2) 聚合物多层修饰电极型太阳能电池：原材料为有机材料，柔性好，制作容易，材料来源广泛，成本较低。性能和寿命远不如硅电池，但有可能提供廉价电能。此项研究刚刚起步。

3) 多元化合物薄膜太阳能电池：有些金属化合物如硫化镉、碲化镉多晶薄膜电池的效率比非晶硅薄膜太阳能电池效率高，成本较单晶硅电池低，并且也易于大规模生产，但由于镉有剧毒，会造成严重污染，因此，不能开发应用。

4 太阳能电池基本性质

(1) 光电转换效率 $\eta\%$ 评估太阳能电池好坏的重要因素。

目前：实验室 $\eta\approx 24\%$ ，产业化： $\eta\approx 15\%$ 。

(2) 单体电池电压 V ：0.4~0.6V由材料物理特性决定。

(3) 填充因子 $FF\%$ ：评估太阳能电池负载能力的重要因素。

$$FF = (I_m V_m) / (I_{sc} V_{oc})$$

其中， I_{sc} 为短路电流； V_{oc} 为开路电压； I_m 为最佳工作电流； V_m 为最佳工作电压。

(4) 标准光强与环境温度地面：AM1.5光强，1000W/m²， $t=25^\circ\text{C}$ 。

(5) 温度对电池性质的影响, 例如: 在标准状况下, AM1.5光强, $t=25^{\circ}\text{C}$ 某电池板输出功率测得为 100Wp , 如果电池温度升高至 45°C 时, 则电池板输出功率就不到 100Wp 。

(6) 太阳能电池的容量选择: 太阳能电池功率必须比负载功率高出 4 倍以上, 系统才能正常工作。

太阳能电池参数有: 空载电压和短路电流, 两者乘积为太阳能电池的功率, 即 $P=UI$, P 为电功率, U 为电压, I 为电流。还有工作电压和工作电流, 工作电压一般为空载电压的 $80\%\sim 90\%$, 工作电流一般为短路电流的 $80\%\sim 90\%$ 。

5 太阳能电池的发展趋势

(1) 提升电池板的光电转换率。

(2) 加大系统容量, 满足大功率室外照明灯的要求。

(3) 降低成本。目前, 一套太阳能照明灯(全套)是普通照明灯(全套)的几倍, 影响了太阳能照明的推广使用。

(4) 延长蓄电池等器件的寿命, 从而延长太阳

能照明系统的寿命。

(5) 减小电池板、蓄电池等的体积, 美化杆型。

(6) 逐步淘汰严重污染的铅酸蓄电池、Ni-Cd 蓄电池等, 加快开发研制无污染蓄电池, 实现真正意义的环保。

(7) 太阳能照明在经过技术进步和降低价格后, 将成为新世纪的主导光源之一。

参考文献

- [1] 胡汛.非晶硅太阳能电池背电极制作技术的改进[J].新能源,1993(15).
- [2] HAQUE, NASEEM H A, BROWN WD. Aluminium induced degradation and failure mechanisms of a-Si:H solar cell [J].Solar Energy Materials and Solar Cells,1996,41/42:543-555.

作者简介

李崇华(1967-), 女, 副教授, 主要研究方向是工业自动控制。

(上接第 127 页)

$K_x=0.92$; 还有三台设备未投入, 即 9#建筑变压器 $K_x=0.92$ 还嫌小, 根据实际使用状况, 结论是 9#建筑的变压器应该取 $K_x=1$; 在此基础上再取 1.2 的设备安全系数, 才能达到合理的容量配置。

3.2 实际使用情况原因分析与优化设计

实际生产调试运行发现三期工程变电所 1#与 2#变压器(二台均为 1000kVA) 过负荷, 原因调查如下:

(1) 负荷数据统计表(见表 5)

表 5

| 变压器 | 电力设计额定功率/kW | 电气设计额定功率/kW | 实际额定功率/kW | 设备最大功率/kW |
|-----|-------------|-------------|-----------|-----------|
| 1# | 1720 | 1728 | 1655 | 1711 |
| 2# | 1800 | 1661 | 1346 | 1857 |

从以上实际使用情况与 9#建筑全部是感性负载看, 1#与 2#变压器设计选取 1000kVA 的容量计算得 $K_x=0.57$, 计算过程是: $\{(1000+1000)/(1720+1800)\}$, 以上设计阶段的 K_x 取值偏小很多。

(2) 优化设计

根据实际调试使用状况, 决定新上 1600kVA 变压器一台, 使得总 $K_x=1.2$, 计算过程是:

$$\{(1000+1000+1600)/(1655+1346)\}$$

增加变压器后, 经过近一年的使用运行, 设备使用正常。

4 结论

太阳能电池片生产厂房的电力设计, 其最核心的系数是变压器 K_x 的取值, 单纯的将动力站的设备(感性负载)独立供电, $K_x=1.2$ 为好。生产车间的设备变压器 K_x 的取值 $K_x=0.6$ 。

如果在设计厂房时, 不将动力站与生产设备单独分开, 核心的系数是变压器 K_x 的取值 $K_x=0.7$ 。

本文阐述的重要系数 K_x 的选取是电力设计的一个核心环节, 该系数的大小是根据太阳能电池工厂设备特点得出, 在保证安全的前提下 K_x 要尽可能的小, 有利于企业的投资合理化及企业运营费用开支的节约。

参考文献

- [1] 刘天琪.电力系统分析理论[M].北京:科学出版社,2005.
- [2] 何仰赞.电力系统分析(上下册) [M].武汉:华中科技大学出版社,2008.
- [3] 陈珩.电力系统稳态分析[M].北京:水利电力出版社,1995.
- [4] 李光琦.电力系统暂态分析[M].北京:水利电力出版社,2007.