

太阳能光伏电池综述

成志秀, 王晓丽

(中国乐凯胶片集团公司, 保定 071054)

摘要:近几年来,由于能源减少和环境污染的双重压力,使得光伏产业迅猛发展。详细叙述了薄膜光伏电池的发展历程、种类和光伏电池的制备工艺,以及薄膜光伏电池产业发展的瓶颈问题,并对光伏产业进行了展望。

关键词: 太阳能; 光伏效应; 光伏电池; 薄膜

中图分类号: TK02 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009 - 5624 - (2007) 02 - 0041 - 07

1 前言

人类在 21 世纪面对的最大困难是什么? 答案是不可再生能源的日渐减少和环境污染的日益严重。如何解决这一对难题成为困扰世界经济发展的首要任务。各种可再生能源的优越性日渐突出。于是, 人们将目光纷纷投向了太阳。

太阳时时刻刻都在向地球发送着能量, 并且这种能量是取之不尽, 用之不竭的。如果仅仅将太阳发射到地球的总辐射功率换算成电功率, 可以高达 1.77×10^{12} 千瓦, 比目前全世界平均消费电力还要大数亿倍。太阳能不但数量巨大, 而且源于太阳的各种绿色能源, 如: 风能、潮汐能、生物质能、水力能都属于可再生能源, 只要有太阳的存在, 能源就像阳光一样源源不断。太阳能的利用有很多种, 可以利用光的热效应, 将太阳辐射转化成热能; 也可以利用光的伏特效应, 将太阳辐射直接转换成电能等。在太阳能的有效利用中, 太阳能的光电利用成为近些年发展最快、最具活力的研究领域。太阳能电池的研究发展也日益迅速起来。

太阳能电池是利用太阳光和材料相互作用直接产生电能, 不需要消耗燃料和水等物质, 使用中不

释放包括二氧化碳在内的任何气体, 是对环境无污染的可再生能源。这对改善生态环境、缓解温室气体的有害作用具有重大意义。因此太阳能电池有望成为 21 世纪的重要新能源。目前一些发达国家采用太阳能电池发出的电并入电网的措施, 既能部分平衡高峰用电, 又可省去储电的费用。太阳能发电系统一般没有发电机具有的转动部件, 所以也不会产生噪音, 不容易损坏。太阳能发电装置规模可大可小, 小的可以是数瓦或数十瓦, 如便携式太阳能手电筒和太阳能手机充电器, 大的可以是数兆瓦或数十兆瓦, 例如大型发电站等。

2 光伏电池简介

作为太阳能电池工作基本原理的光伏效应 (Photovoltaic Effect 缩写 PV) 是 1839 年被发现的。由太阳光的光量子与材料相互作用而产生电势, 从而把光的能量转换成电能, 此种进行能量转化的光电元件称为太阳电池 (Solar Cell), 也可称之为光伏电池。1954 年 Bell 实验室研发出第一个太阳能电池, 不过由于效率太低, 造价太高, 缺乏商业价值。随着航天技术的发展, 使太阳能电池的作用不可替代, 太阳能电池成为太空飞行器中不可取代的重要部分。1958 年 3 月发射的美国 Vanguard 1 号上首次装设了太阳能电池。1958 年 5 月苏联发射的第 3 颗人造卫星上也开始装设太阳能电池。到 1969 年美国人登陆月球, 这使得太阳

收稿日期: 2006 - 10 - 18

作者简介: 成志秀 (1977 -), 女, 工程师, 主要从事膜林科方面的研究。

能电池的发展达到了第 1 个巅峰期。此后，几乎所有发射的人造天体上都装设太阳能电池。20 世纪 70 年代初期，由于中东战争，石油禁运，使得工业国家的石油供应中断，出现了“能源危机”，人们开始认识到不能长期依靠传统能源。特别是近年来地面能源面临的矿物燃料资源的减少与环境污染的问题，于是太阳能电池的应用已被提上了各国政府的议事日程。1990 年以后，太阳能的发展开始与民用电相结合，“grid-connected photovoltaic system”（与市电并联型太阳能电池发电系统）开始推广，太阳能电池不断有新的结构与制造技术被研发出来。

至今太阳能电池已经发展到了第 2 代。第 1 代太阳能电池包括单晶硅和多晶硅 2 种，工业化产品效率一般为 13% ~ 15%，目前可工业化生产、可获得利润的太阳能电池就是指第 1 代电池。但是由于生产工艺等因素使得该类型的电池生产成本较高。第 2 代太阳能电池是薄膜太阳能电池，其成本低于第 1 代，可大幅度增加电池板制造面积，但是效率不如第 1 代。在将来的第 3 代太阳能电池应该具有以下特征：薄膜化、高效率、原材料丰富和无毒性。可望实现的第 3 代电池效率的途径包括：叠层电池、多带光伏电池、碰撞离化、光子下转换、热载流子电池、热离化、热光伏电池等。

太阳能电池（光伏）材料主要包括：产生光伏效应的半导体材料、薄膜用衬底材料、减反射膜材料、电极与导线材料、组件封装材料等。其中用来制作太阳能电池所用的半导体材料有元素半导体、化合物半导体和各种固体溶体。从半导体材料使用的形态来看，有晶片、薄膜、外延片。按化学组成及产生电力的方式，太阳能电池可分为无机太阳能电池、有机太阳能电池和光化学电池 3 大类。按形态分可以分成块状（Bulk）光伏电池和薄膜（Thin-film）光伏电池 2 大类。

块状（Bulk）光伏电池一般指晶体硅太阳能电池，主要包括单晶硅、多晶硅。其电池发电层的厚度一般在 250 ~ 450 μm 之间。其光电转化率一般为 13% ~ 15%。目前空间用的太阳能电池中单晶硅电池占重要地位，在今后几十年内仍具有重要地位。薄膜（Thin-film）光伏电池，主要包括硅薄膜型、化合物半导体薄膜型以及新材料薄膜型。其薄膜厚度一般在 2 ~ 3mm。非晶硅太阳能电池是 20 世纪 70 年代中期发展起来的一种新型薄膜太阳能电池，

其最大的特点是在降低成本方面有很大的优势，便于大面积连续生产等优点。其应用市场，一是弱光电池市场，二是功率型应用市场。

下图是一般太阳能组件结构：

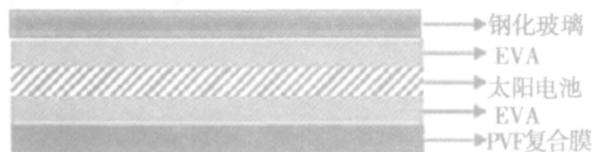


图 1 一般太阳能组件结构

Fig 1 The structure of normal solar energy

据文献资料报导，目前太阳能电池的光电转化率：单晶硅为 24.7%；多晶硅为 19.8%；非晶硅为 14.5%；GaAs 为 25.7%；CIGS 为 18.8%；多界面串联型（InGaP/GaAs//InGaAs, multijunction tandem cell）33.3%。

近年来，光伏电池产业发展迅速。据 2004 年数据分析，各种太阳能电池中硅基太阳能电池占总产量的 98%，晶体硅太阳能电池占总产量的 84.6%，多晶硅太阳能电池占总量的 56%。2005 年，世界太阳能电池总产量 1656MW，其中日本仍居首位，762MW，占世界总产量的 46%；欧洲为 464MW，占总产量的 28%；美国 156MW，占总产量的 9%；其他 274MW，占总产量的 17%。2005 年，世界光伏市场安装量 1460MW，比 2004 年增长 34%，其中德国安装最多，为 837MW，比 2004 年增长 53%，占世界总安装量的 57%；欧洲为 920MW，占全世界安装量的 63%，日本安装量 292MW，增幅为 14%，占世界总安装量的 20%；美国安装量为 102MW，占世界总安装量的 7%，其他安装量为 146MW，占世界总安装量的 10%。全球光伏电池产量预测如图 2 所示，其中纵坐标表示光伏发电占总发电的百分比。图 3 是 PV 主要生产国近 10 年来产量变化趋势图。据统计，2005 ~ 2010 年世界太阳能电池平均年增长率在 25%。

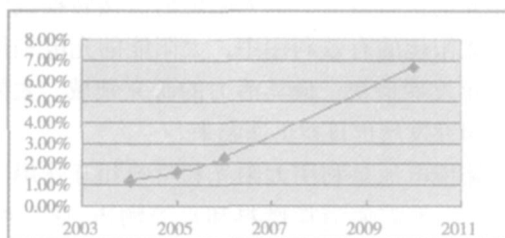


图 2 全球光伏电池产量预测图

Fig 2 The output forecast of global photovoltaic cell

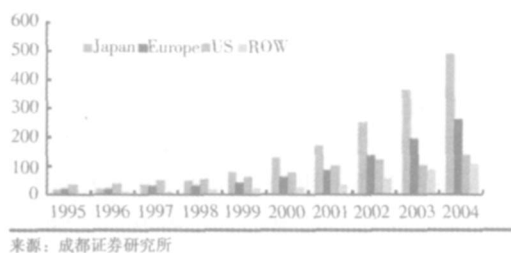


图 3 近 10 年 PV 主要生产国家产量变化趋势

Fig 3 The output trend of PV chief manufacturing country nearly ten years

3 块状光伏电池

块状光伏电池一般指晶体硅光伏电池,是目前市场上的主导产品。晶体硅光伏电池按材料形态主要分为单晶硅太阳能电池和多晶硅太阳能电池。其中单晶硅太阳能电池在太阳电池中研究最早、最先进入应用。晶体硅光伏电池以硅半导体材料制成大面积的pn结进行工作。一般采用n+/p同质结的结构,即在10cm见方的硅片上用扩散法制作出一层很薄的经过重掺杂的n型结,然后在n型结上面制作金属栅线,作为正面电极。在整个背面也制作金属膜,作为背面欧姆接触电极。这样就形成了晶体硅太阳电池。为了减少光的反射,一般在整个表面上再覆盖一层减反膜或在硅表面制作绒面。现分述如下:

3.1 单晶硅太阳能电池

单晶硅能太阳电池是当前开发得最快的一种太阳能电池,它的结构和生产工艺已定型,产品已广泛用于空间和地面。这种太阳电池以高纯的单晶硅棒为原料,纯度要求99.999%。为了降低生产成本,现在地面应用的太阳能电池等采用太阳能级的单晶硅棒,材料性能指标有所放宽。有的也可使用半导体器件加工的头尾料和废次单晶硅材料,经过复拉制成太阳能电池专用的单晶硅棒。

将单晶硅棒切成片,一般片厚约0.3mm。硅片经过形、抛磨、清洗等工序,制成待加工的原料硅片。加工太阳能电池片,首先要在硅片上掺杂和扩散,一般掺杂物为微量的硼、磷、锑等。扩散是在石英管制成的高温扩散炉中进行。这样就硅片上形成P/N结。然后采用丝网印刷法,精配好的银浆印在硅片上做成栅线,经过烧结,同时制成背电极,并在有栅线的面涂覆减反射源,以防大量的光子被光滑的硅片表面反射掉。因此,单晶硅太阳能

电池的单体片就制成了。单体片经过抽查检验,即可按所需要的规格组装成太阳电池组件(太阳电池板),用串联和并联的方法构成一定的输出电压和电流。最后用框架和组装材料进行封装。用户根据系统设计,可将太阳能电池组件组成各种大小不同的太阳能电池方阵,亦称太阳能电池阵列。目前单晶硅太阳能电池的光电转换效率为15%左右,实验室成果也有20%以上的。

单晶硅太阳能电池的生产需要消耗大量的高纯硅材料,而制造这些材料工艺复杂,电耗很大,在太阳能电池生产总成本中已超1/2。加之拉制的单晶硅棒呈圆柱状,切片制作太阳能电池也是圆片,组成太阳组件平面利用率低。因此,80年代以来,欧美一些国家投入了多晶硅太阳能电池的研制。

3.2 多晶硅太阳能电池

目前,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浇铸而成。其工艺过程是选择电阻率为 $100 \sim 300 \Omega \cdot \text{cm}$ 的多晶块料或单晶硅头尾料,经破碎,用1:5的氢氟酸和硝酸混合液进行适当的腐蚀,然后用去离子水冲洗呈中性,并烘干。用石英坩埚装好多晶硅料,加入适量硼硅,放入浇铸炉,在真空状态中加热熔化。熔化后应保温约20min,然后注入石墨铸模中,待慢慢凝固冷却后,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电池片,可提高材料利用率和方便组装。多晶硅太阳能电池的制作工艺与单晶硅太阳电池差不多,其光电转换效率约12%左右,稍低于单晶硅太阳能电池,但是材料制造简便,节约电耗,总的生产成本较低,因此得到大量发展。

4 薄膜光伏电池

薄膜(Thin-film)光伏电池,其薄膜厚度一般在 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 。其中包括硅薄膜型(主要包括多晶硅、非晶硅和微晶硅)、化合物半导体薄膜型(主要包括非结晶型(a-Si:H, a-Si:H:F, a-Si_{1-x}Ge_x:H等)、III-V族(GaAs, InP等)、II-V族(Cds系)和磷化锌(Zn₃P₂)等)、新材料薄膜型电池(主要包括聚合物薄膜太阳能电池和染料敏化太阳能电池。)

4.1 多晶硅薄膜光伏电池

典型硅薄膜光伏电池基本结构示意图：

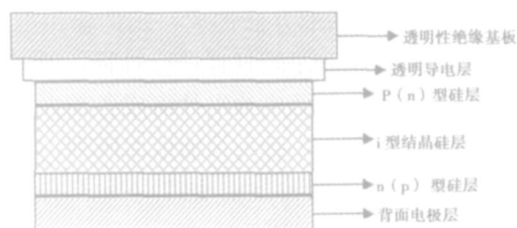


图 4 典型硅薄膜光伏电池基本结构示意图

Fig 4 The basic structure of typical Si-thin film PV cell

从 70 年代中期人们就已经开始在廉价衬底上沉积多晶硅薄膜，但由于生长的硅膜晶粒太小，未能制成有价值的太阳能电池。目前制备多晶硅薄膜电池多采用化学气相沉积法，包括低压化学气相沉积 (LPCVD) 和等离子增强化学气相沉积 (PECVD) 工艺，另外还有液相外延法 (LPPE) 和溅射沉积法。

化学气相沉积主要是以 SiH_2Cl_2 、 SiHCl_3 、 SiCl_4 或 SiH_4 ，为反应气体，在一定的保护气氛下反应生成硅原子并沉积在加热的衬底上，衬底材料一般选用 Si 、 SiO_2 、 Si_3N_4 等。但是，在非硅衬底上很难形成较大的晶粒，并且容易在晶粒间形成空隙。解决这一问题办法是先用 LPCVD 在衬底上沉一层较薄的非晶硅层，再将这层非晶硅层退火，得到较大的晶粒，然后再在这层籽晶上沉积厚的多晶硅薄膜，这就是再结晶技术，目前采用的技术主要有固相结晶法和中区熔再结晶法。多晶硅薄膜电池除采用了再结晶工艺外，另外采用了几乎所有制备单晶硅光伏电池的技术，这样制得的光伏电池转换效率明显提高。

液相外延 (LPE) 法的原理是通过将硅熔融在母体里，降低温度析出硅膜。

由于多晶硅薄膜电池所使用的硅远较单晶硅少，又无效率衰退问题，并且可以在廉价衬底材料上制备，其成本远低于单晶硅电池，而效率高于非晶硅薄膜电池。因此，多晶硅薄膜电池将成为薄膜太阳能中发展速度最快的。

4.2 非晶硅薄膜太阳能电池

非晶硅太阳能电池是 1976 年出现的新型薄膜太阳能电池，它与单晶硅和多晶硅太阳能电池的制作方法完全不同，硅材料消耗少、电耗低。制造非晶硅太阳能电池最常见的方法有辉光放电法、反应溅

射法、化学气相沉积法、电子束蒸发法和热分解硅烷法等。

辉光放电法是将一石英容器抽成真空，充入氢气或氩气稀释的硅烷，用射频电源加热，使硅烷电离，形成等离子体。非晶硅膜就沉积在被加热的衬底上。若硅烷中掺入适量的氢化磷或氢化硼，即可得到 N 型或 P 型的非晶硅膜。衬底材料一般用玻璃或不锈钢板。这种制备非晶硅薄膜的工艺，主要取决于严格控制气压、流速和射频功率，对衬底的温度的要求也很严格。

非晶硅太阳能电池有各种不同的结构，其中有一种经典的结构叫 PN 型，它是在衬底上先沉积一层掺磷的 N 型非晶硅，再沉积一层未掺杂的 i 层，然后再沉积一层掺硼的 P 型非晶硅，最后用电子束蒸发一层减反射膜，并蒸镀银电极。此种制作工艺，可以采用一连串沉积室，在生产中构成连续程序，以实现大批量生产。同时，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。

非晶硅可以生长在很薄的不锈钢和塑料衬底上，制备出超轻量级的太阳能电池。这种电池具有很高的电功率/重量比，首先被用在太阳功率飞机上，并在 1990 年完成了首次跨越美国的飞行，创造了太阳功率飞行的新记录。

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，制约着非晶硅电池作为大型太阳能电源，只能应用于弱光电源。估计效率衰减问题克服后，非晶硅太阳能电池将促进太阳能利用的大发展，因为它成本低，重量轻，应用更为方便，它可以与房屋的屋面结合构成住户的独立电源。

4.3 多元化合物薄膜太阳能电池

在发展硅系太阳能电池的同时，为了避开硅系太阳能电池存在的普遍问题，人们也在研制其它材料的太阳能电池。这其中主要包括砷化镓 III-V 族化合物、硫化镉及铜铟硒薄膜电池等。砷化镓 III-V 化合物及铜铟硒薄膜电池由于具有较高的转换效率受到人们的普遍重视。

砷化镓属于 III-V 族化合物半导体材料，其能隙 1.4eV，并且耐高温性强，在二百多度的温度下，光电转换性能仍不受到太大的影响，并且由于其最高光电转换，效率约 30%，特别适合做高温

聚光太阳能电池。因此,是一种很理想的电池材料。已研究的砷化镓系列太阳能电池有单晶砷化镓、多晶砷化镓、镓铝砷——砷化镓异质结、金属半导体砷化镓、金属绝缘体半导体砷化镓太阳能电池等。砷化镓等 III-V 化合物薄膜电池的制备类似硅半导体材料的制备,有晶体生长法、直接拉制法、气相生长法、液相外延法等。

除砷化镓外,其它 III-V 化合物如 GaSb、GaInP 等电池材料也得到了开发。1998 年德国费莱堡太阳能系统研究所制得的砷化镓太阳能电池转换效率为 24.2%,为欧洲最高记录。首次制备的 GaInP 电池转换效率已经达到为 14.7%。另外,该研究所还采用堆叠结构制备 GaAs、GaSb 电池,该电池是将 2 个独立的电池堆叠在一起, GaAs 作为上电池,下电池用的是 GaSb,所得到的电池效率达到 31.1%。

铜铟硒 CuInSe₂ 简称 CIGS。是以铜、铟、硒三元化合物半导体为基本材料制成的太阳能电池。它是一种多晶薄膜结构, CIS 材料的能隙为 1.1 eV,适于太阳光的光电转换。另外, CIS 薄膜太阳能电池不存在光致衰退问题。CIS 电池薄膜的制备一般采用真空镀膜、硒化法、电沉积、电泳法或化学气相沉积法等工艺来制备,材料消耗少,成本低,性能稳定,光电转换效率在 10% 以上。真空蒸镀法是采用各自的蒸发源蒸镀铜、铟和硒。硒化法是使用 H₂Se 叠层膜硒化,但这种方法很难得到组分均匀的 CIS。近来还发展用铜铟硒薄膜加在非晶硅薄膜之上,组成叠层太阳能电池,提高了太阳能电池的效率,并克服了非晶硅光电效率的衰减问题。CIS 薄膜电池从 80 年代最初 8% 的转换效率发展到目前的 15% 左右。预计到 2000 年 CIS 电池的转换效率将达到 20%,相当于多晶硅太阳能电池。CIS 作为太阳能电池的半导体材料,具有价格低廉、性能良好和工艺简单等优点。

1954 年雷诺兹发现了硫化镉具有光生伏打效应。1960 年采用真空蒸镀法制得硫化镉太阳能电池,光电转换效率为 3.5%。1964 年美国制成的硫化镉太阳能电池,光电转换效率提高到 4%~6%。除了烧结型的块状硫化镉太阳能电池外,人们更着重研究薄膜型硫化镉太阳能电池。它是用硫化亚铜为阻挡层,构成异质结,按硫化镉材料的理论计算,其光电转换效率可达 16.4%。尽管非晶硅薄膜电池在国际上有较大影响,但是至今有些国家仍指望发展硫化镉太阳能电池,因为它在制造工艺上

比较简单,设备问题容易解决。

碲镉薄膜电池在薄膜电池中历史是最久的,典型的 CdTe 光电池结构的主体是由约 2 μm 层的 p 型 CdTe 层与后仅 0.1 μm 的 n 型 CdS 形成。CdS 层的上沿先结合 TCO,再连接基材 CdTe 上沿接合背板,以形成一个光电池架构。CdTe 光电池的制备方法目前有多种工艺可以采用。最常见的方法有溅镀法、化学蒸镀、ALE、丝网印刷、电流沉积、化学喷射、密集堆积升华法等,其中电流沉积法是最便宜的方法之一,沉积操作需要的温度较低,所耗用碲元素也最少,也是工业界采用的主要方法。

综上所述,尽管多元化合物薄膜太阳能电池的效率较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,但由于其组成元素大都剧毒,会对环境造成严重的污染,有的元素比较稀有。因此,这种电池并不是晶体硅太阳能电池最理想的替代品。

4.4 聚合物薄膜太阳能电池

在太阳能电池中以聚合物代替无机材料是刚刚开始的一个太阳能电池的研究方向。其原理是利用不同氧化还原型聚合物的不同氧化还原电势,在导电材料(电极)表面进行多层复合,制成类似无机 P-N 结的单向导电装置。其中一个电极的内层由还原电位较低的聚合物修饰,外层聚合物的还原电位较高,电子转移方向只能由内层向外层转移;另一个电极的修饰正好相反,并且第 1 个电极上 2 种聚合物的还原电位均高于后者的 2 种聚合物的还原电位。当 2 个修饰电极放入含有光敏化剂的电解液中时,光敏化剂吸光后产生的电子转移到还原电位较低的电极上,还原电位较低电极上积累的电子不能向外层聚合物转移,只能通过外电路通过还原电位较高的电极回到电解液,因此外电路中有光电流产生。

聚合物薄膜太阳能电池的制备的关键步骤是聚合物半导体的层的形成。目前主要有 3 种技术:

(1) 真空技术是目前制备薄膜普遍采用的方法之一,主要包括真空镀膜溅射和分子束外延生长技术;(2) 溶液处理成膜技术。常用的溶液成膜技术主要有电化学沉积技术、甩膜技术、铸膜技术、预聚物转化技术、Langmuir-Blodgett 技术、分子组装技术、印刷技术等;(3) 单晶技术。制备聚合物半导体单晶的方法有:电化学法、扩散法和气相法。

由于有机材料柔性好,制作容易,材料来源广

泛, 成本底等优势, 从而对大规模利用太阳能, 提供廉价电能具有重要意义。但以有机材料制备太阳能电池的研究仅仅刚开始, 不论是使用寿命, 还是电池效率都不能和无机材料特别是硅电池相比。能否发展成为具有实用意义的产品, 还有待于进一步研究探索。

4.5 染料敏化太阳能电池

染料敏化电池的原理是 TiO_2 表面吸附一层对可见光具有良好的吸收性能的染料光敏化剂后, 染料分子在可见光的作用下, 通过吸收光能而跃迁到激发态, 通过染料分子和 TiO_2 表面的相互作用, 电子跃迁到较低能级的导带, 进入 TiO_2 导带的电子被导电电极薄膜收集, 通过外回路, 回到反电极产生光电流。

染料敏化薄膜太阳能电池主要由以下几部分组成: 透明导电玻璃、纳米 TiO_2 多孔半导体薄膜、染料光敏化剂、电解质和反电极。

透明导电玻璃作为导电电极, 就是在普通玻璃上镀上一层掺 F 或 Sb 的 SnO_2 的透明导电膜, 也可以是 ITO 薄膜, 在导电膜和玻璃之间最好扩散一层几纳米的 SnO_2 。正、负电极电子的传输和收集主要是通过导电玻璃进行的, 其制备方法主要有: 磁控溅射、化学气相沉积等。光阳极通常是由纳米 TiO_2 多孔半导体薄膜组成。很多成熟的薄膜制备方法都可以用于制备光阳极。反电极也称为光阴极, 是有透明半导体膜构成, 主要用于收集电子和催化作用, 加速 I^-/I_2 以及阴极电子之间电子交换速度。另外, 光阴极中厚厚的一层铂还起光反射作用。染料的性能决定电池的光电转换效率。电解质主要作用是传输 I^- 和 I_2 。

典型染料敏化纳米晶薄膜太阳能电池结构示意图:

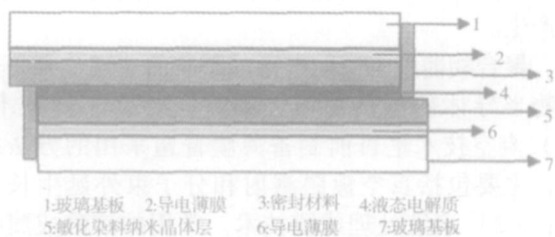


图 5 典型染料敏化薄膜太阳能电池结构图

Fig 5 The structure of typical dye-sensitized thin film solar cell

纳米晶 TiO_2 太阳能电池的优点在于它廉价的成本和简单的工艺及稳定的性能。其光电效率稳定

在 10% 以上, 制作成本仅为硅太阳能电池的 1/5 ~ 1/10, 寿命能达到 20 年以上。

4.6 柔性光伏电池的发展

传统的硅基太阳能电池容量大, 对太阳光的转换率可以达到 20%, 技术成熟, 但是它存在的最大问题就是必须加工成坚硬的板块状电池板, 这就限制了它的许多用途。柔性太阳能电池重量轻, 而且可以折叠、卷曲, 甚至可以粘贴在其他物体表面, 例如: 汽车玻璃、衣服等。

2002 年美国加利福尼亚大学的科学家借助纳米技术和聚合物研制出一种太阳能电池, 整个太阳能电池两侧的电极之间夹着几百纳米的有机薄膜, 最关键的是其中的硒化镉纳米棒, 这种纳米棒受到特定波长的光的照射后产生电子空穴对, 从而产生电势差, 其太阳能的利用率为 1.9%。

在荷兰、法国和葡萄牙的科学家在从事一项命名为 H-Alpha Solar (H-AS) 的柔性电池的研制工作, H-AS 的效率约为 13%, 生产成本低、通用性好。研制人员称其产品将在 3 年内出现。

日本夏普公司 2004 年发明出一种如纸张一般薄的电池, 这种太阳能电池像 2 张名片一样大, 厚 200um, 重 1g, 发电能力为 2.6 瓦, 光电转换效率高达 28.5%。佳能公司发明了一种由新材料制成的柔性太阳能电池, 其特点是: 由树脂封装的非晶硅作为主要光电转换层平铺在柔性材料制成的底版上。

2005 年 7 月韩国电子和电信研究所太阳能电池研究小组开发出了全球效率最高的柔性太阳能电池的原型产品。据介绍, 这种太阳能电池只有 0.4mm 厚。

美国 Iwa Thin Film 公司利用太阳能电池制造技术生产 PowerFilm 光伏系列产品, 这种技术允许半导体层沉积在一种如纸张一样薄的耐用柔性聚合物的衬底上, 从而实现卷曲制造工艺。

柔性太阳能电池具有成本低、重量轻、应用范围广、携带方便等优点, 只要光电转换率达到应用水平, 市场前景非常广泛。

5 结束语

目前, 太阳能电池产业发展的瓶颈主要有 2 方面的问题: 第 1 个是价格问题: 首先要研制能稳定获得高效率且低成本的半导体材料。其次是能用低成本工艺路线生产这种光伏电池。

从成本上讲, 太阳能电池仍然是目前常规能源

中成本最高的。当前的成本对比如下 (表 1):

表 1 常规能源成本对比

Table 1 The cost comparison of common energy

电力形式	煤	天然气	石油	风能	核能	太阳能
成本 (f/KWh)	1 - 4	2 3 - 5	6 - 8	5 - 7	6 - 7	25 - 50

另一个是效率问题。

在光电转换的过程中,并不是所有的入射光谱都能被电池所吸收,并完全转成电流。有一半的光谱因能量小于半导体的能隙,对电池的输出没有贡献。而另一半被吸收的光子中,除了产生电子-空穴对所需要的能量外,大概有一半左右的能量以热量的形式浪费掉。所以,单一电池的最高效率约在 25%左右,目前实验室所研发出来的电池的效率几乎可以达到理论的最高值。但是因为制造工艺过程复杂,产量太低,造成价格偏高,不符合经济效益,所以这成为光伏电池发展的最大瓶颈。

薄膜光伏电池不但存在块状光伏电池产业化发展中遇到的普遍问题,还存在着现有薄膜技术无法达到的要求:沉积薄膜的速率在每分钟 $1\mu\text{m}$ 以上;沉积的温度在 600°C 以下;薄膜的厚度在 $10\mu\text{m}$ 以下;成长的晶粒大小在 $1\mu\text{m}$ 以下;少数载子的扩散长度超过 $10\mu\text{m}$ 。所以虽然电池的薄膜技术已经被人们广泛接受,被认为是最具有潜力的方式。但是目前为止仍然没有任何一种技术可以进入产业化。

另外,由材料来源看,由于 III-V 族化合物及 CIS 等系由稀有元素所制备,即使它们所制备的

太阳能电池转换效率很高,将来也不可能占据主导地位。而另外 2 类电池,纳米晶太阳能电池和聚合物修饰电极太阳能电池,它们的研究刚刚起步,技术不是很成熟,转换效率还比较低,这 2 类电池还处于探索阶段,短时间内不可能替代硅系太阳能电池。因此,从转换效率和材料的来源角度讲,今后发展的重点仍是硅太阳能电池特别是硅薄膜电池。

参 考 文 献

- [1] 陈振兴. 高分子电池材料书籍 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003. 10.
- [2] 何艳荣. 世界太阳能行业发展趋势 [J]. 太阳能信息光伏专刊, 总第 138 期, 2006. 5.
- [3] 非晶硅太阳电池的发展机遇凸显 [J]. 阳光能源, 2006, 8.
- [4] 杨金焕, 邹乾林, 谈蓓月, 等. 各国光伏路线图与光伏发电的进展 [J]. 阳光能源, 2006 (8): 51.
- [5] 王斯成. 世界最新光伏动态 (参加第 31 届 LEEE 光伏专家会议和超大规模光伏主题会议的情况介绍) [C]., 北京市计科能源新技术开发公司.
- [6] 性能优异的异质结超薄太阳能电池 [J]. 光伏专刊, 2006 - 8 - 17.

The Expatiates of the Solar Energy Photovoltaic Cell

CHENG Zhi-xiu, WANG Xiao-li

(Lucky Film Group Corp, Baoding 071054, China)

Abstract: In recent years, under the double pressure of the decrease of energy source and environment pollution, the photovoltaic industry is developing rapidly. The detail description about the development process, type and making technology about the thin film photovoltaic cells, and the bottle-neck problem in photovoltaic industry development, and the prospects about photovoltaic industry is presented.

Key words: solar energy; photovoltaic effect; photovoltaic cell; thin film