

# 太阳能电池研究的新进展

倪 萌, M K Leung, K Sumathy

(香港大学机械工程系, 香港)

**摘 要:** 简要回顾了第一代晶体硅和第二代薄膜太阳能电池的发展状况, 并介绍了基于薄膜技术的第三代高性能太阳能电池的基本原理和发展趋势。

**关键词:** 太阳能电池; 硅; 薄膜; 第三代太阳能电池

**中图分类号:** TM615 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5292(2004)02-0009-03

## Progress on solar cell research

NI Meng, M K Leung, K Sumathy

(Department of Mechanical Engineering, University of Hong Kong, Pokfulam Road, Hong Kong)

**Abstract:** The development of the "first generation" silicon solar cells and the "second generation" thin film solar cells was reviewed in this paper, and the basic theory and development status of the "third generation" high efficiency solar cells based on thin film technology were also given in this paper.

**Key words:** solar cells; silicon; thin film; third generation solar cell

### 1 第一代太阳能电池

1954 年, 美国贝尔实验室研制出第一块半导体太阳能电池, 开始了利用太阳能发电的新纪元。由于太阳能电池价格昂贵, 因此其发展缓慢, 当时主要用于航天科技工程。20 世纪 70 年代, 由于石油危机, 使人们对于可再生能源的兴趣越来越浓, 太阳能电池也进入了快速发展的阶段。近几年太阳能电池市场以每年 30% 的速度递增(见图 1)。

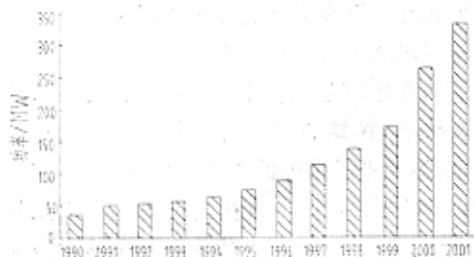


图 1 1990-2001 年太阳能电池市场的发展情况

目前, 第一代太阳能电池约占太阳能电池产品市场的 86%<sup>[1]</sup>。第一代太阳能电池基于硅晶片

基础之上, 主要采用单晶硅、多晶硅及 GaAs 为材料, 转换效率为 11%~15%<sup>[2]</sup>。

单晶硅生长技术主要有直拉法和悬浮区熔法。直拉法是将硅材料在石英坩锅中加热熔化, 使籽晶与硅液面接触, 向上提升以长出柱状的晶棒。直拉法的研究方向是设法增大硅棒的直径(目前硅棒的直径已经达到 100~150 mm<sup>[3]</sup>)。用区熔法生长单晶硅技术是将区熔提纯和制备单晶结合在一起, 可以得到纯度很高的单晶硅, 但成本很高。目前, 在所有太阳能电池中此种硅片的效率是最高的, 因此, 采用低成本的方式改进区熔法生长太阳能电池用单晶硅也是目前的发展方向。为了进一步提高太阳能电池效率, 近年来大力发展高效化电池工艺, 主要有发射极钝化及背面局部扩散工艺、埋栅工艺和双层减反射膜工艺等<sup>[4]</sup>。

多晶硅材料生长主要运用定向凝固法及浇铸法工艺。定向凝固法是将硅材料在坩锅中熔融后, 使坩锅形成由上而下逐渐下降的温度场或从坩锅

收稿日期: 2003-12-01

基金项目: 香港中华电力公司资助项目

作者简介: 倪 萌(1977-), 男, 四川彭山人, 工学硕士, 研究领域: 氢能源。

底部通冷源以造成温度梯度,使固液界面从坩锅底部向上移动而形成晶体。浇铸法是将熔化后的硅液倒入模具内形成晶锭,铸出的方形硅锭被切成方形硅片做成太阳电池。目前使用最广泛的是浇铸法。此法简单,能耗低,利于降低成本,但容易造成错位、杂质等缺陷,而导致光电转换效率低于单晶硅太阳电池。还有一种用于制做太阳电池的多晶硅材料是片状硅(又称硅带)。片状硅是从熔体硅中直接生长出来,可以减少切片的损失,片厚约 100~200  $\mu\text{m}$ 。目前比较成熟的制作片状硅的方法有限边喂膜法(Edge-Defined-Film-Fed Growth)、枝蔓膜状晶法(WEB)、边缘支撑晶法(ESP)、小角度带状生长法、激光区熔法和颗粒硅带法等,其中以限边喂膜法技术最为成熟。限边喂膜法是从特制的模具中拉出筒状硅,筒状硅用激光切割成单片来制作电池,目前已能拉出每面宽 10 cm 的 10 面体筒状硅,硅片厚度达 300  $\mu\text{m}$ 。

由于多晶硅太阳电池存在杂质问题,光电转换效率比单晶硅电池低<sup>[9]</sup>,但成本有所降低。目前阻碍太阳电池推广应用的最大障碍就是成本问题,为进一步降低成本,基于薄膜技术的第二代太阳电池登上了历史舞台。

## 2 第二代太阳电池

第二代太阳电池是基于薄膜技术之上的一种太阳电池。在薄膜电池中,很薄的光电材料被铺在衬底上,大大地减小了半导体材料的消耗(薄膜厚度仅 1  $\mu\text{m}$ ),也容易形成批量生产(其单元面积为第一代太阳电池单元面积的 100 倍),从而大大地降低了太阳电池的成本。薄膜太阳电池材料主要有多晶硅(Multicrystalline silicon)、非晶硅(a-Si)、碲化镉(CdTe)以及 CIS(Copper Indium Diselenide)。多晶硅薄膜太阳电池技术较为成熟。澳大利亚新南威尔士大学太阳电池研究小组对薄膜电池进行了大量研究;Pacific Solar 公司也于 1998 年开始多晶硅薄膜太阳电池的生产,并计划于 2005 年进行全面生产。目前多晶硅薄膜生长技术主要有液相外延生长法、低压化学气相沉淀法、快热化学气相沉淀法、催化化学气相沉淀法、等离子增强化学气相沉淀法、超高真空化学气相沉淀法、固相晶化法和区熔再结晶法等。薄膜电池在很大程度上解决了太阳电池的成本问题,但是效率很低,目前商用薄

膜电池的光电转换效率只有 6%~8%<sup>[6]</sup>。为了进一步提高太阳能电池的光电转换效率,各国学者开始研究太阳能电池的效率极限和能量损失机理,并在此基础上提出了第三代太阳电池的概念。

## 3 第三代太阳电池

太阳能转换成电能的卡诺循环效率可以达到 95%<sup>[7]</sup>,而目前标准太阳电池的理论转换效率上限为 33%,这说明提高太阳能电池的效率还有很大的空间。为了进一步提高太阳能电池的转换效率,新南威尔士大学对太阳电池中能量损失机理进行了研究。

图 2 是太阳电池能量损失机理的示意图。图中①为热损失;②和③为 PN 结和接触电压损失;④为电子-空穴结合所造成的损失。



图 2 太阳电池能量损失机理

由图 2 可见,造成太阳能电池的能量损失主要是热损失,光生载流子对能很快将能带多余的能量以热的形式损失掉;另一主要的能量损失是由电子-空穴对的重新结合引起的;还有一部分能量损失是由 PN 结和接触电压损失引起的。为减少热损失,可以设法让通过太阳能电池的光子能量刚刚大于能带能量,使得光子的能量激发出的光生载流子没有多余的能量可以损失。为减少电子-空穴结合所造成的损失,可设法延长光生载流子的寿命,这可以通过消除不必要的缺陷来实现。减小 PN 结的接触电压损失,可以通过聚集太阳光,加大光子密度的方法来实现。基于以上分析,澳大利亚和美国分别提出了第三代太阳电池的概念,当然,目前第三代太阳电池主要还在进行概念和简单实验研究。第三代太阳电池主要有前后重叠电池(Tandem Cells)、多能带电池(Multiple Band Cells)、热太阳电池(Thermophotovoltaics solar Cells)、热载流子电池(Hot Carrier Cells)和冲击离子化太阳电池(又叫量子点电池 Quantum Dot Solar Cells)等。

前后重叠电池的基本原理是设法使光子的能量刚好高于电池能带一点,这是通过使用多层电池来实现的。每层电池的能带都不同,最高能带的电池位于最高位置,往下能带依次减小。

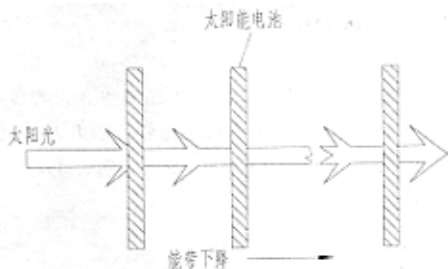


图3 重叠电池机理

由图3可见,随着能带降低,被吸收的太阳光子能量可以得到很好的过滤,能量高的光子被能带高的电池吸收,能量低些的光子被能带低的电池吸收,有效地提高了太阳能电池的效率。据分析,依此方法无限增加太阳能电池的层数,理论上可获得最高效率为86.8%<sup>[7]</sup>。

多能带电池也被称为不纯能带电池,最简单的就是3能带电池,基本原理如图4所示。

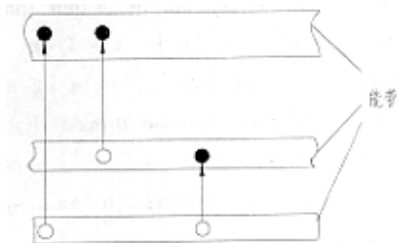


图4 3能带太阳能电池

由图可见,不同能量的光子被吸收后可以将电子激发到不同的能带,从而有效利用了太阳光子的能量。据分析,3能带太阳电池的极限效率可以达到63.2%,随着能带数的增大,效率还可以进一步提高,这取决于掺杂能带的性质<sup>[8]</sup>。

在图2的太阳电池能量损失机理分析中,高能量的电子一空穴对会很快以热的形式将高出能带的能量损失掉,如果将这部分能量利用起来去冲击别的电子,以产生更多的电子一空穴对,将会大大地提高光子能量的利用率和电池的转换效率,这就是冲击离子化电池(量子点电池)的机理。据分析,采用冲击离子化产生多个电子一空穴对的极限转换效率为85.9%<sup>[9]</sup>。

热载流子电池(Hot Carrier Cells)则是采用

避免光生载流子的非弹性碰撞的方式来减小能量的损失,达到提高效率的目的,其极限效率约为86.8%。热太阳电池则是利用加热体作为光源而非太阳光,这种电池的效率可达85.4%。

#### 4 结语

太阳能光伏发电是太阳能利用的最佳途径。目前正在进行着从第一代基于硅晶片技术的太阳能电池向基于半导体薄膜技术的第二代半导体太阳能电池的过渡。第一代太阳能电池转换效率为11%~15%,但成本太高。第二代太阳能电池成本大大降低,但转换效率只有6%~8%。为进一步提高效率,同样基于薄膜技术的第三代太阳能电池已经开始研制,其转换效率将是第一代和第二代太阳能电池的数倍。它的问世将使人类在太阳能利用的历史上翻开新的一页。

#### 参考文献:

- [1] 席珍强,陈君,杨德仁.太阳能电池发展现状及展望[J]. 新能源,2000,22(12):100-102.
- [2] ROY, SZWEDA. Third generation solar cells [J]. *Photovoltaics*,2003,16(6):53-55.
- [3] 王晓晶,班群,沈辉.硅太阳电池材料的研究进展[J]. 能源工程,2002,(4):28-31.
- [4] MARTIN A GREEN, KEITH EMERY, DAVID L KING, *et al.* Solar cell efficiency tables (Version 22) [J]. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*,2003, (11): 347-352.
- [5] ADOLF GOETZBERGER,CHRISTOPHER HEBLING, HANS-WERNER SCHOCK. Photovoltaic materials, history,status and outlook[J]. *Materials Science and Engineering*,2003,40;1-46.
- [6] MARTIN A GREEB. Third generation photovoltaics: solar cells for 2020 and beyond [J].*Physica E*,2002, 14:65-70.
- [7] ANTONIO MARTI, GERARDP L ARAUJO. Limiting efficiencies for photovoltaic energy conversion in multigap systems [J]. *Solar Energy Materials and Solar Cells*,1996,43:203-222.
- [8] MARTIN A GREEB. Multiple band and impurity photovoltaic solar cells:general theory and comparison to tandem cells [J]. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*,2001,9:137-144.
- [9] A J NOZIK. Quantum dot solar cell[J].*Physica E*, 2002,14:115-120.