

13  
45-48

# 非晶硅太阳能电池效率研究

廊坊师专 (河北廊坊市 102849)

魏笑竹 王忠安

TM 914.41

A

**摘要** 介绍了近年来用辉光放电法制备的 a-Si:H 太阳能电池的效率问题, 文中讨论有效光电能量转换的条件; a-Si:H 电池的结构; 新型的高效率非晶硅太阳能电池的改进; 非晶硅 a-Si:H 太阳能电池的展望等。

**关键词** 辉光放电 非晶硅 填充因子 转换效率 太阳能电池

## 1 引言

用辉光放电法制备的 a-Si:H 膜, 具有良好的光电导特性, 且在可见光范围内其光吸收系数很大。另外, a-Si:H 是在低温下 (250~350 C) 淀积, 故可做在任何廉价的衬底上, 如不锈钢、玻璃及特种塑料薄膜等, 并可大面积生产。因此作为廉价的太阳能电池新材料, 非晶硅有其强大的生命力。据近几年报导<sup>[1,2]</sup>, 单结 a-Si:H 电池的效率可达近 12%~16.4%。另外, 还制出了大面积的 a-Si:H 电池组件, 日本制造出了大面积的 a-Si:H 电池阵列, 其功率达 2.5kW。

## 2 有效光电能量转换的条件

太阳能电池是一种将光能转换成电能的器件, 太阳能电池的光电转换效率  $\eta$  被定义为:

$$\eta = \frac{J_m V_m}{P_i} = \frac{(F \cdot F) J_{sc} V_{oc}}{P_i} \quad (1)$$

其中  $J_m$  和  $V_m$  是电池在最大输出功率条件下工作的电流密度和电压,  $P_i$  是光入射到电池上的总功率密度,  $J_{sc}$  是电池的短路电流密度,  $V_{oc}$  是开路电压,  $F \cdot F$  是电池的填充因子。

由 (1) 式可见  $(F \cdot F) = J_m V_m / J_{sc} V_{oc}$ , 对理想的二极管其值可达 0.85~0.90。

## 3 a-Si:H 电池的结构

工艺和版图结构进行剖析。这方面的实例也很多, 例如某公司所做的 1 兆位平面型 ROM 是最典型的例子。这是一种完全新型的 ROM 结构, 工艺和版图结构有许多特殊之处, 在国内还未曾见到过。原先他们在解剖国外芯片的基础上根据自己的分析判断, 设计了自己的 ROM 版图已准备去制版, 由于有不少疑点, 便要求我们为他们染色, 经染色后发现原先的判断有许多错误。染色不仅纠正了他们的错误, 挽回了损失, 而且对全新的平面型 ROM 结构有了深刻的认识, 学到了国外的先进技术。

6 年来的实践证明, 该染色识别技术在学

习和借鉴国外 IC 先进技术方面, 发挥了重要作用, 具有明显的社会效益, 许多单位不仅从中获取了宝贵的先进技术, 而且在此基础上开发了自己的新产品, 从而也产生了明显的经济效益。

可以预见, 本染色技术在促进我国集成电路技术水平的提高, 缩小与国外先进技术的差距方面将会显示出更大的威力。

## 参 考 文 献

- 1 John G. Rauch Foley, Lardner. The law on reverse engineering IEEE Spectrum August 1993, 47~48

(收稿日期 19960201)

pin之所以有不掺杂的i层,是由于在a-Si:H电池中,光生载流子的收集靠电池内自建电场的作用,为了保证有效地吸收入射光子,同时有足够强的内建电场,使之能够有效地收集光生载流子,必须在p层和n层之间夹个i层(如图1所示)。

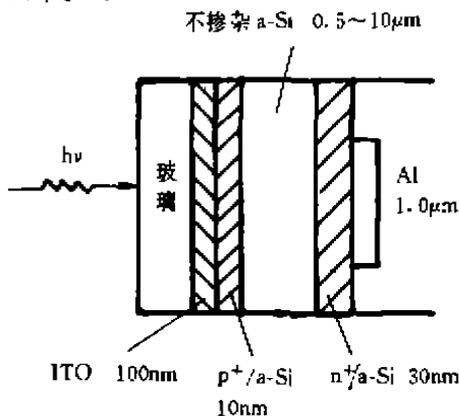


图1

另外,重掺杂的p<sup>+</sup>和n<sup>+</sup>层可以与电极形成良好的欧姆接触。

pin 电池表面掺杂层的少子扩散长度很小,尤其是表面p型层的光吸收较为严重。这些表面的光生载流子不能被收集,使电池的短波响应变坏,改进的方法是将p型层作薄到5~10nm,或用宽光学带隙的材料,如p型a-SiC:H代替p型a-Si:H作为窗口材料,这会使电池的短波响应得到明显的提高。近几年的研究表明<sup>[3,4]</sup>,p-i-n 电池已成为a-Si 电池最主要的结构,用pin结构能容易地制出重复性良好的大面积电池,实际上目前所制作的大部分电池都是这种结构<sup>[3]</sup>。

据报导,采用玻璃/ITO-SnO<sub>2</sub>/pin 背电极结构面积为1.05cm<sup>2</sup>的电池,在AM<sub>1</sub>(100mW/cm<sup>2</sup>)的光照条件下,其光电转换效率已达14.5%。各参量数为: I<sub>sc</sub>=19.22mA, V<sub>oc</sub>=832mV, F·F=0.6893。

此外,如美国ECD公司和日本的一些公司已实现了a-Si:H 电池的自动化大面积连续生产,衬底为不锈钢片,效率达到8%~10%,成本较单晶硅太阳能电池大为降低。

#### 4 新型的高效率非晶硅太阳能电池的改进

自1981年以来,随着对非晶半导体薄膜性

能的提高和对太阳能电池制作工作的不断改进(如图2所示),特别是利用了a-SiC:H、a-SiGe:H、μC-Si:H(微晶硅)等新材料,非晶硅太阳能电池的转换效率提高很快。

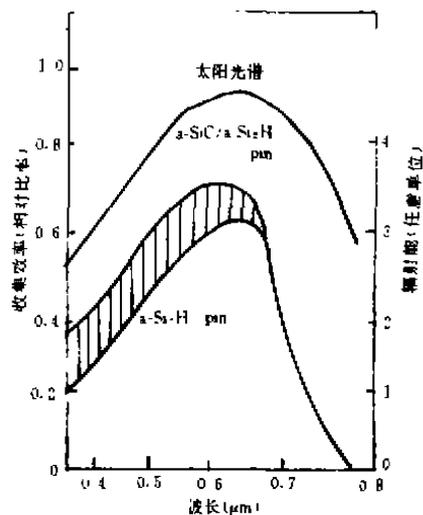


图2

a-SiC:H 的一个很大优点是增加碳的含量,可以在较大范围内(1.76~2.2eV)可控地调节其能隙宽度。用辉光放电法制备的a-SiC:H,具有优良的光电导性能和宽的光学能隙,p型的a-SiC:H对于pin结构电池,是一种比较理想的窗口材料,使电池的短波响应得到明显的改善<sup>[5,6]</sup>(如图2所示)。

另外,掺杂的微晶硅(μC-Si:H)具有高的电导率,特别是n型μC-Si:H对于形成良好的接触是非常有用的,这已被广泛地用于制作高效率的太阳能电池。

图3中a、b、c曲线给了出了a-SiC/a-Si 异质结电池以及一般a-Si 电池结和光电特性的比较。

电池a是背电极用n型μC-Si/Ag结构的a-SiC/a-Si pin 电池,其中 V<sub>oc</sub>=880.1mV, I<sub>sc</sub>=15.9mA/cm<sup>2</sup>, F·F=66.9%, η=9.39%。

电池b是p型a-SiC代替p型的a-Si层以后形成的a-SiC/a-Si pin 结构电池,各参数为: V<sub>oc</sub>=880.3mV, I<sub>sc</sub>=15.21mA/cm<sup>2</sup>, F·F=60.09%, η=8.04%。

电池c是一般的a-Si:H的pin结构电池,各参数为: V<sub>oc</sub>=80.1mV, I<sub>sc</sub>=11.02mA/

$\text{cm}^2$ ,  $F \cdot F = 64.7\%$ ,  $\eta = 5.71\%$ 。

以上3个电池的面积均为  $0.033\text{cm}^2$ , 比较电池 a 和 b, 可见短路电流和填充因子得到了明显的改善, 这可能是由于  $\mu\text{C-Si}/\text{Ag}$  背电极对长波范围内的光的反射以及使电池的串联电阻减少所造成的。将电池 a、b 和 c 比较可见, 用 p 型 a-SiC 代替 p 型 a-Si 层之后, 电池的性能得到很大提高<sup>[3]</sup>。

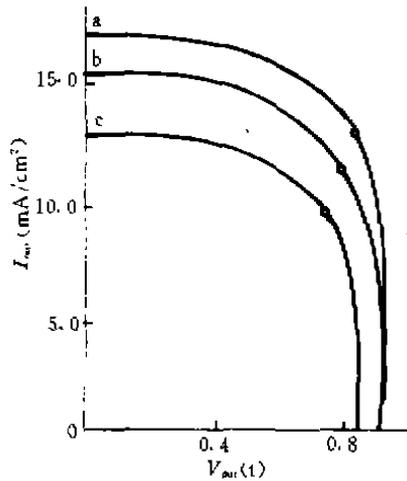


图3

提高 a-Si 电池性能的另一重要问题是如何能够更有效地吸收在 a-Si 光学能隙附近及以下能量的长波光光子。内建电场要求 a-Si 层的最佳厚度为  $0.6 \sim 8\mu\text{m}$ , 这种情况下, 若 a-Si 的光吸收系数为  $10^4\text{cm}^{-1}$  左右, 则已能有效地吸收太阳光谱中的短波光光子能量。然而在光学能隙附近的长波光光子能不能被有效地吸收, 例如,  $1.8\text{eV}$  能量光子, 穿透深度为  $5\mu\text{m}$  左右, 通常大部分低能光子被背电极吸收而损耗, 对光生载流子的产生没有贡献。这是限制 a-Si 电池光电转换效率的一个重要因素。

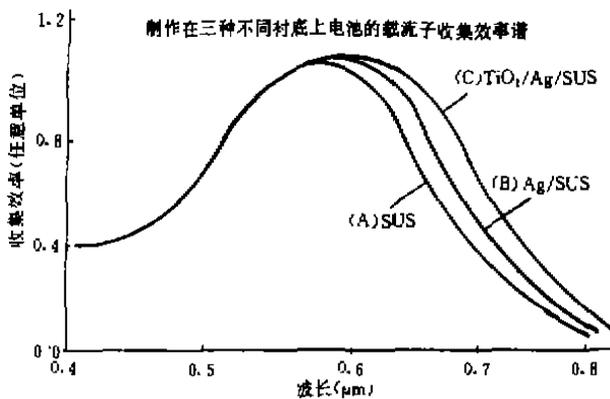


图4

为了增加对低能光子的吸收, 需要在衬底的内表面形成对长波光子的强反射, 以阻挡这些长波光子的泄漏。图4给出了背电极的光反射对载流子收集效率的影响, 图4中(A)是直接 SUS (抛光的镜面不锈钢衬底) 上制作的 pin 电池, 而 (B) 和 (C) 分别是以 Ag/SUS 和  $\text{TiO}_2/\text{Ag}/\text{SUS}$  作为衬底的 pin 电池 (如图5所示)。

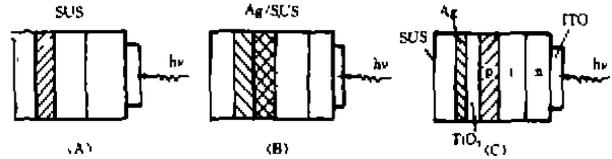


图5

可见在 SUS 衬底上先镀一层 Ag, 再蒸发一层  $\text{TiO}_2$  作为强反射阻挡层, 使电池的长波响应特性有明显的改善。电池 (C) 与 (A) 相比, 短路电流增大了  $20\%$ 。图6给出了以  $\text{TiO}_2/\text{Ag}/\text{SUS}$  为衬底的 a-Si 电池的典型 I-V 特性。光照条件为  $\text{AM}_1$ , 电池面积为  $0.032\text{cm}^2$ , 效率  $\eta = 9.17\%$ ,  $V_{oc} = 881.0\text{mV}$ ,  $I_{sc} = 16.1\text{mA}/\text{cm}^2$ ,  $F \cdot F = 64.5\%$ , Hamakawa 等人报导了光电转换效率为  $12.37\%$  的非晶硅/多晶硅层迭电池, 在  $\text{AM}_1$  光照条件下, 电池各参量为:  $V_{oc} = 1419\text{mV}$ ,  $I_{sc} = 13.4\text{mA}$ ,  $F \cdot F = 65.1\%$ 。面积为  $0.25\text{cm}^2$ 。

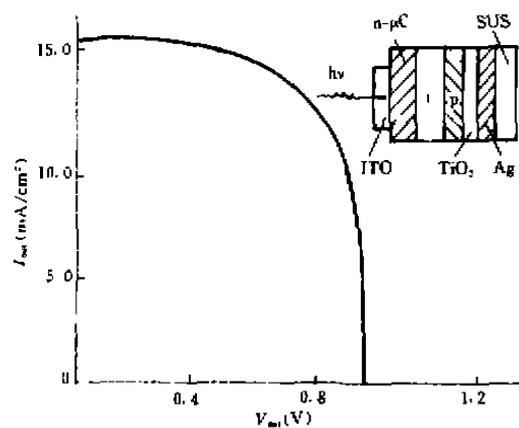


图6

另外, 人们还研制了串联型 a-Si 电池和集成式多能隙结构的电池, 并认为多种材料的层迭电池是 a-Si 电池的发展方向。理论预测最佳单结 a-Si 电池的参数是: 转换效率为  $20\%$ , 开

路电压为 1.0V, 短路电流为 22mA/cm<sup>2</sup> 填充因子为 0.87。

但在实际中, 由于光生载流子的损失以及串联电阻等因素的作用, 短路电流最大为 17~18mA/cm<sup>2</sup>, 填充因子为 0.72~0.77, 转换效率最高到 14%~16.4%。提高非晶硅太阳电池的转换效率, 其关键在于: ①通过优化淀积条件或发展新制作系统以改善膜的质量及结的形成技术。②用象 a-Si, a-SiGe,  $\mu$ C-Si 这样新材料发展异质结太阳电池。③详细研究 a-Si 电池载流子的传输机理, 并指导电池的设计、制造等。

### 5 非晶硅 a-Si:H 太阳电池的展望

1988 年 9 月在美国召开的第二十届国际光伏专家会议及 1989 年 2 月在澳大利亚召开的第四届光伏科学及工程会议的资料表明, 经 10 多年的努力, 不论在电池的转换效率和电池面积上都取得很大的进展。

从国际光伏电池市场销售量来看, 非晶硅电池去年已销售 30MW, 占太阳电池市场的 38%。目前, 电池的转换效率与理论推算方面尚有一定差距, 单结电池转换效率理论值可达 18.7%, 叠层 Si/CIS 电池转换效率理论值可达 26.6%。要进一步提高电池的转换效率, 需要搞清许多基础物理问题, 例如, 提高宽带隙和窄带合金材料的质量, 使这类材料的光电导率加大, 提高材料载流子的迁移率以及掺杂效率等。另外, 对不同材料的接触界面特性及载流子通过界面的输运特性的进一步了解, 也是提高转换效率的关键。对于如何解决非晶硅电池转换效率的初期衰退问题也是科学家们关注的问题。要想进一步降低成本就得扩大生产规模, 目前国际上非晶硅电池生产规模年产量为 3MW。若能解决年产几百 MW 的工程技术设计和资

金问题, 预计在 1995 年到本世纪末可望把电池的价格降到 4~5 元/峰瓦(峰瓦表示在 AM15 光照下可产生的功率)。若以电池能使用 20 年计算, 则每度电价格可降到 0.2~0.25 元。

非晶硅太阳电池与晶体硅太阳电池相比, 其优点为: (1) 吸收光谱更接近太阳光谱, 吸收系数比晶体硅大一个数量级。(2) 薄膜制备工艺简单<sup>[7]</sup>, 易制成大面积且形状随意。(3) 成本低。非晶硅太阳电池已用于计算器、手表、收音机、便携日光灯等电源, 在美国、日本等国都有商品出售。现在, 单结非晶硅太阳电池的转换效率的国际水平: 小面积 (1cm<sup>2</sup>) 约为 14%, 大面积 (100cm<sup>2</sup>) 约为 12%; 我国: 小面积 (1cm<sup>2</sup>) 约为 10%, 大面积 (100cm<sup>2</sup>) 约为 7%。进一步提高转换效率的主要途径是叠层集成电池<sup>[5,6]</sup>, 将不同带隙宽度的材料依次叠起来, 以充分利用各种波长的光能。最近有人预计, 一种包括非晶硅的叠层电波效率可达 15%。今后太阳电池的主要研究目标很可能是薄膜叠层电池。

### 参 考 文 献

- 1 Birecki H et al. Proceedings of SPIE, 1988; 80~110
- 2 Mansuripur M et al. Proceedings of SPIE, 1989; 140~170
- 3 Mcfarlancer et al. Optical Engineering, 1990; 250~310
- 4 Ermer J et al. 4th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (NSW Australia), 1989; 164~180
- 5 毛友德. 非晶态半导体. 上海: 上海交通大学出版社, 1985; 140~200
- 6 郭贻斌, 王震西. 非晶态物理学. 北京: 科学出版社, 1984; 220~300
- 7 沃森 J, L 克恩 W. 薄膜加工工艺. 北京: 机械出版社, 1987; 158~200
- 8 布罗德斯基 M H. 朱琼瑞等译. 非晶态半导体. 北京: 国防工业出版社, 1995; 180~300

(收稿日期 19951016)

### 简 讯

## 333MHz Pentium 微处理器

美国英特尔公司正在开发 333 MHz Pentium 微处理器, 采用 0.25 $\mu$ m 工艺技术, 预计 1997 年初可出产品。该产品是下一世纪 Pen-

tium Triton PC 用微处理器。

羽冬

摘自: 电子材料 (日) Vol. 35, No. 3, P. 15, 1996.