

文章编号: 1672-8785(2012)12-0022-05

非晶硅薄膜太阳能电池特性研究

王振文 付朝雪 吴国盛 刘淑平

(太原科技大学应用科学学院, 山西太原 030024)

摘 要: 介绍了太阳能电池的工作原理, 并给出了太阳能电池的物理模型。设计了室内测试非晶硅薄膜电池输出特性的实验, 并对实验结果进行分析。搭建了小型独立光伏发电系统, 给出系统的工程设计结构。实验结果表明, 太阳能电池的转换效率与室内实验所测得的结果相吻合, 证明该系统具有可靠性和高效性。

关键词: 薄膜太阳能电池; 光伏发电; 太阳模拟器

中图分类号: O433.4; S123 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.12.04

Study of Amorphous Silicon Thin-film Solar Cells

WANG Zhen-wen, FU Chao-xue, WU Guo-sheng, LIU Shu-ping

(College of Applied Science, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The operation principles of solar cells are presented and their physical models are given. An indoor experiment for measuring the output characteristics of amorphous silicon thin-film cells is designed and the experimental result is analyzed. A small separate photovoltaic (PV) power generation system is built. Its engineering structure is given. The experimental result shows that the conversion efficiency of the solar cells is consistent with the result measured in laboratory. The system is proved to be reliable and high efficient.

Key words: thin-film solar cell; PV power generation; solar simulator

0 引言

在能源危机和环境污染日益严重的今天, 光伏发电凭其可持续发展和绿色能源的优势, 成为世界各国竞相发展的领域^[1,2]。现阶段用于光伏发电的太阳能电池主要有晶硅电池和非晶硅薄膜电池。非晶硅薄膜电池与晶硅电池相比转换效率较低, 但具有低温度系数和弱光效应好的优点, 有效发电时间比晶硅的长^[3,4]。然而国内外对非晶硅薄膜电池的研究还只是处于起步阶段。本文针对非晶硅薄膜电池, 设计了小型独

立光伏发电系统, 测试了该系统的输出特性, 对非晶硅薄膜电池的发展具有现实意义^[5,6]。

1 太阳能电池理论基础

1.1 太阳能电池的基本原理

光电电池能量转换的本质是半导体 PN 结的光生伏特效应^[7-9]。如图 1 所示, 半导体光伏器件被光照射时, 入射光在结区内产生电子-空穴对。在空间电荷区内产生的光生电子与空穴在结电场的作用下分离。在结附近扩散长度范围产生的光生载流子扩散到空间电荷区后也

收稿日期: 2012-11-19

基金项目: 研究生科技创新项目 (20111027)

作者简介: 王振文 (1988-), 男, 海南临高人, 硕士研究生, 主要研究方向为光电材料与微电子学。

E-mail: wzwfsr_5526@sina.com

在电场作用下分离。P 区的电子在电场作用下漂移到 N 区, N 区空穴漂移到 P 区, 形成自 N 区向 P 区的光生电流。由光生载流子漂移并堆积形成一个与热平衡结电场方向相反的电场, 产生一个与光生电流方向相反的正向结电流。当光生电流与正向结电流相等时, PN 结两端建立稳定的电势差, 这就是光生伏特效应。

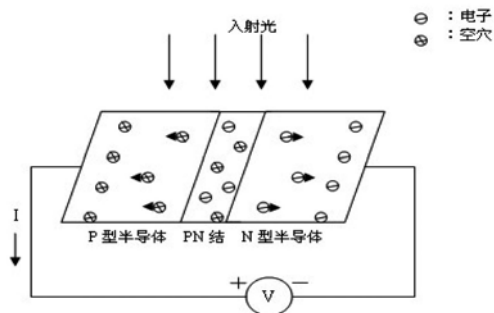


图 1 太阳能电池的工作原理

1.2 太阳能电池的物理模型

为了描述电池的工作状态, 将电池及负载系统用一等效电路来模拟。目前所使用的太阳能电池可以看作是一个 p-n 结二极管。当受到光照射时, 电池产生正向偏压, 这样, 一个理想的 p-n 结同质结太阳能电池的等效电路就可被绘制成如图 2 所示的那样^[10]。

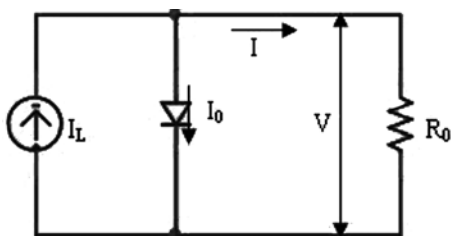


图 2 理想状态下的太阳能电池等效电路

在这个等效电路中, 可以得出加在负载两端的电压 V 和流过负载的电流 I 之间的关系式:

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{qV}{nKT} \right] - 1 \right\} \quad (1)$$

在太阳能电池的实际应用中, 由于前面和背面的电极接触, 加上材料本身具有一定的电阻率, 流经负载的电流经过它们时, 必然会引起损耗。在实际的等效电路中, 可以串联一个电阻 R_s 与并联一个电阻 R_{sh} 。 R_{sh} 通常由电池边缘

的漏电流和电池微裂纹、划痕等引起^[11-14]。等效电路如图 3 所示。

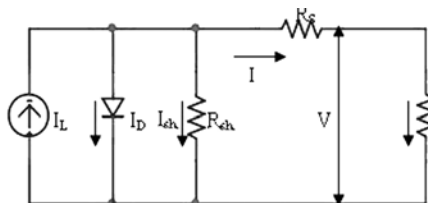


图 3 实际的太阳能电池等效电路

此时, 在这个等效电路中, 输出电流 I 和输出电压 V 之间的关系由下式给出^[15]:

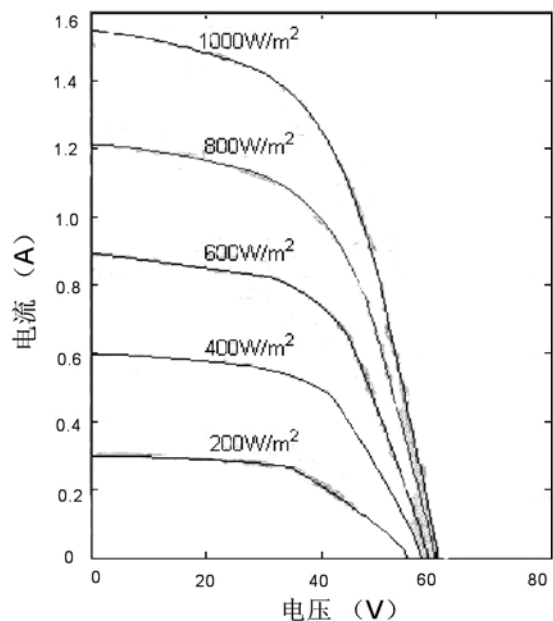
$$I = I_L - I_0 \left[\exp \frac{q(V + IR_s)}{ART} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

式中, I 为输出电流, V 为输出电压, I_L 为光电流, A 为二极管指数, I_0 为二极管反向饱和电流, K 为玻耳兹曼常数, T 为绝对温度, q 为单位电荷。

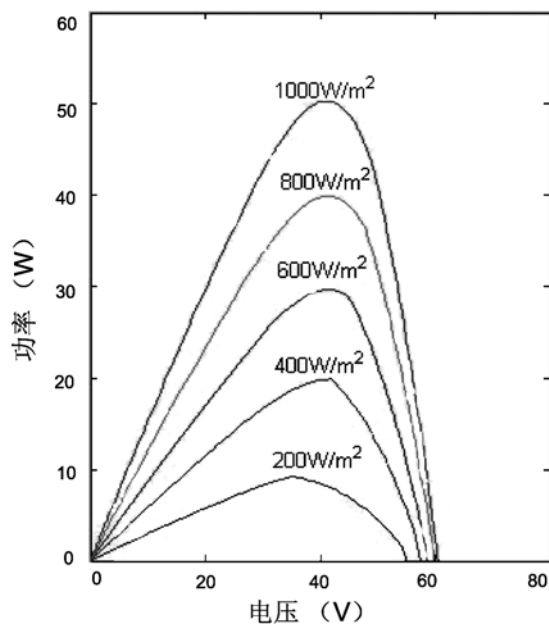
2 室内实验设计

室内实验所用仪器是太阳模拟器和非晶硅薄膜电池。太阳模拟器为 ss2622-AAA 型稳态模拟器, 实验用太阳能电池为某公司生产的峰值功率为 50 W (辐照度 1000 W/m², 光谱 AM1.5, 温度为 25 ℃) 的非晶硅薄膜电池组件^[16,17]。ss2622-AAA 型稳态太阳模拟器测量系统在光谱匹配、均匀性和瞬时不稳定性等重要参数上均优于国际最高标准级的要求, 可在实验室环境下精确获得光伏组件的参数, 满足现有大面积组件的测试需求, 在晶硅和薄膜光伏组件实验室测试领域有明显的领先优势^[18]。

测试共分为五组, 每组实验 (光谱 AM1.5, 温度 25 ℃) 的光照强度依次为 200 W/m²、400 W/m²、600 W/m²、800 W/m²、1000 W/m², 同一光照强度下重复测量五次, 每次测量输出电压从 0 变化到 V_{OC} 。



(a)



(b)

图 4 电池组件的输出特性

由图 4(b) 可知, 当辐照度在 1000 W/m^2 时, 组件功率可达到 50 W , 与该组件所提供的数据相同, 说明本实验可靠性较好。从图 5(d) 看出, 当辐照度为 400 W/m^2 时, 组件的填充因子最大, 接近 0.58 , 说明在辐照度为 400 W/m^2 时电池的转换效率较高。反映在图 5(c) 中, 400 W/m^2 时的转换效率与辐照度为 600 W/m^2 时的转换效率

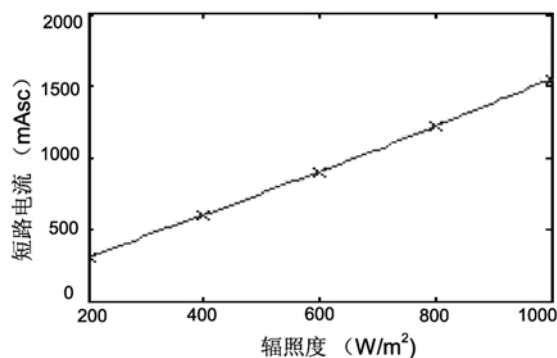
几乎相同, 仍能达到 6.2% 以上的转化效率。

3 室外实验设计

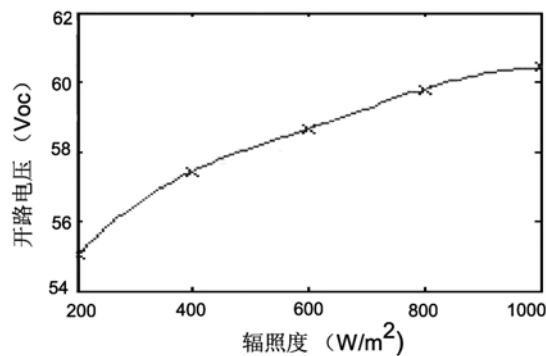
3.1 独立光伏发电系统的设计

独立光伏系统安装地点的纬度为 30.40° 、经度为 104.01° 、海拔为 508 m 、时区为 $+9$ 。系统装机容量为 3200 W , 安装了 64 片非晶硅太阳能电池组件, 采用 8 并 8 串的连接方式 [19-21]。

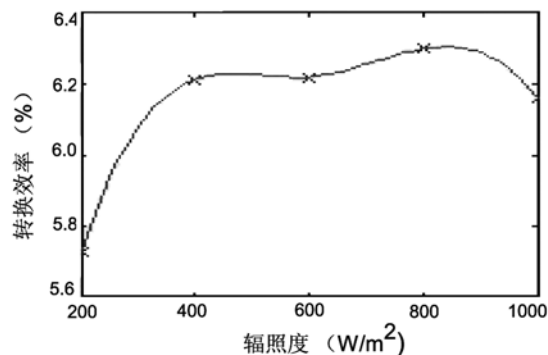
本系统采用交流母线结构设计, 离网独立系统的所有设备包括负载或电源都连接在这条交流母线上 (系统原理如图 6)。逆变器 Sunny Boy 将光伏组件发出的直流电转化成交流电, 可以实现 MPPT 追踪。在发电量比较高的时间段内 (如辐射较强的白天或者负载耗电较少时), Sunny Island 可以将母线中的多余电量充到蓄电池中。在用电较多的时间段内 (如晚上或者负载耗电较多时), Sunny Island 可以将蓄电池存储的直流电逆变为交流, 送入交流母线中。



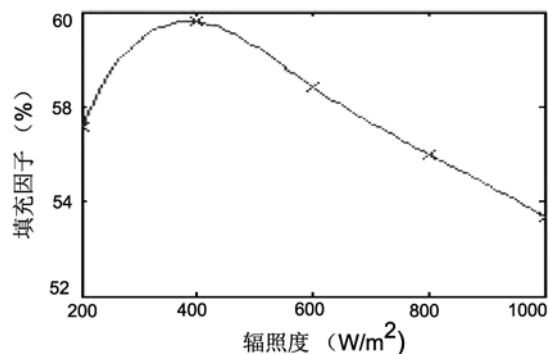
(a)



(b)



(c)



(d)

图 5 不同辐照度下电池组件的短路电路、开路电压、转换效应和填充因子

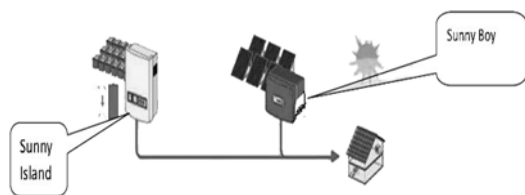


图 6 3KW 独立光伏发电系统结构图

本系统安装于屋顶上, 支架采用角钢, 支架基础为水泥浇筑, 支架朝向为正南, 支架倾斜面角度为 34° 。

3.2 实验数据

由图 7 可以看出:

(1) 数据主要分布于辐照度 $0 \sim 500 \text{ W/m}^2$ 下, 说明光照不好。

(2) 辐照度大于 150 W/m^2 , 电池组件的转化效率大于 6%, 说明组件的弱光效应好。

(3) 辐照度在 $250 \sim 500 \text{ W/m}^2$ 下: 电池组件的转化效率约为 6.2% (如图 7 中的轨迹所示)。这与实验室测量的结果基本吻合。

从图中可以看出:

(1) 当辐照度大于 150 W/m^2 时, MPPT 电压基本落在 $390 \sim 430 \text{ V}$ 之间 (换算成每片组件的 V_{mp} 为 $48.75 \sim 53.75 \text{ V}$), 说明该非晶硅组件的 V_{mp} 在正常情况下基本不随辐照度变化而变化。

(2) 当辐照度小于 150 W/m^2 时, MPPT 电压会急剧下降到 340 V (换算成每片组件的 V_{mp} 为 42.5 V)。

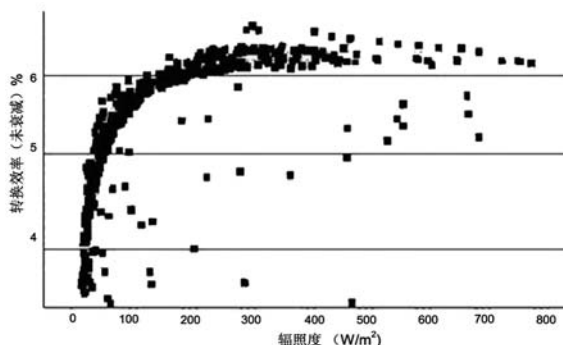


图 7 不同辐照度下非晶硅薄膜电池组件的转化效率分布

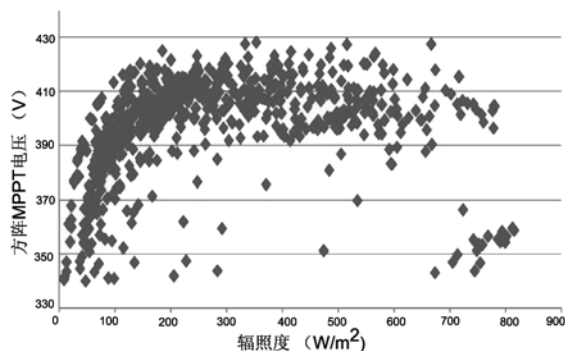


图 8 电池方阵 MPPT 电压和辐照度关系

2 结论

由室内实验和室外实验分析可知, 本文设计的小型独立光伏发电系统具有高可靠性和高效性。与晶硅太阳能电池相比, 非晶硅薄膜太阳能电池是一种用材少、耗能低的新型太阳电池。由于非晶硅薄膜电池具有弱光效应好的优势, 在光照条件差的地区可优先考虑非晶硅薄膜电池, 以提高性价比。

参考文献

- [1] 马丁格林. 太阳能电池工作原理、工艺和系统的应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1987.
- [2] 张玉平. 太阳能独立光伏发电系统的研究 [D]. 保定: 华北电力大学, 2008.
- [3] A W Dau. PV Status Report 2003 [R]. European Union: European Commission JRC, 2003.
- [4] A W Dau. PV Status Report 2007 [R]. European Union: European Commission JRC, 2007.
- [5] 杨忠. 太阳能光伏发电现状与发展趋势 [J]. 金陵科技学院学报, 2008, 24(1): 9-13.
- [6] 王长青. 中国光伏产业发展现状与挑战 [J]. 新材料产业, 2009, 9: 16-20.
- [7] Jacobson, Aa11. BIPV-Built-in Photovoltaics-Solar Energy that Takes The Place Of Conventional Glass And Rfing. EzineArticles [R]. Retrieved November 29, 2007.
- [8] 方荣生. 太阳能应用技术 [M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1985.
- [9] Hong Yang, He Wang, Huacong Yu, et al. Status of photovoltaic industry in China [J]. Energy Policy, 2003, 31: 703-707.
- [10] 杨喜平. 单晶硅太阳能电池磷扩散与烧结工艺的优化 [D]. 江苏: 东南大学, 2010.
- [11] Joachim Benemann. Building-integrated PV modules [J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2001, 67: 345-354.
- [12] 孙韵琳, 杜晓荣, 王小杨, 等. 固定式并网光伏阵列的辐射量计算与倾角优化 [J]. 太阳能学报, 2009, 30(12): 1597-1601.
- [13] 首福俊, 黄念慈, 窦伟. 一种新型的光伏逆变器控制方法 [J]. 电力电子技术, 2004, 38(2): 66-68.
- [14] Duffie J A, Backman W A. Solar engineering of thermal of thermal processes [M]. New York: John Wiley & Sons. INC. 1991: 113-119.
- [15] 刘宏等编著. 家用太阳能光伏电源系统 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [16] 程雅丽. 独立光伏发电系统优化设计 [D]. 天津: 天津大学, 2003.
- [17] 刘莫尘. 独立光伏发电的自动跟踪系统 [D]. 山东: 山东大学, 2005.
- [18] Klein S A. Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces [J]. Solar Energy, 1977, 19(4): 325-329.
- [19] Klien S A. Theilacker J C. An algorithm for calculating monthly-average radiation on inclined surfaces [J]. Journal of Solar Energy Engineering, 1981, 103(1): 29-33.
- [20] 崔容强, 赵春江, 吴达成. 并网型太阳能光伏发电系统 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [21] Yakuo M A H, Malik A Q. Optimum tilt angle and orientation for solar collector in Brunei Darussalam [J]. Renewable Energy, 2001, 24(3): 223-234.

新闻动态 News

美国航空航天局陆地卫星后续星
完成环境测试工作

据 www.nasa.gov 网站报道, 美国轨道科学公司最近在热真空室中完成了陆地卫星后续星 (Landsat Data Continuity Mission Satellite) 的环境测试工作。

在测试期间, 他们先将庞大的实验舱室抽成真空, 然后通过升高和降低室内温度来模拟预期的卫星外部空间环境。陆地卫星后续星的环境测试工作总共持续了 34 天, 直至完成热真空测试后才算正式结束。

工程师们现在准备将陆地卫星后续星运送至发射场。一旦抵达, 该卫星将被安装到 Atlas V 运载火箭上, 并计划于 2013 年 2 月 11 日发射升空。此后, 这颗卫星将被称为 Landsat 8 卫星,

它将像以前的 Landsat 系列卫星那样继续采集全球陆地表面的丰富图像, 从而为人们在农业与森林监测、水资源管理以及土地利用变化情况评估等方面的工作提供便利。



图 1 完成热真空测试后被安装在水平支撑架上的陆地卫星后续星 (来源: 轨道科学公司)

□ 岳桢干