

# 菲涅耳聚光系统下砷化镓电池输出特性研究

王文博<sup>1</sup> 李明<sup>1,2</sup> 季旭<sup>2</sup> 魏生贤<sup>2</sup> 王六玲<sup>1</sup> 杨玉文<sup>2</sup> 范介清<sup>1</sup> 龙星<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 云南师范大学物理与电子信息学院, 云南 昆明 650092)  
(<sup>2</sup> 云南师范大学太阳能研究所, 云南 昆明 650092)

**摘要** 对理论聚光比为 676 的菲涅耳聚光系统下单片砷化镓太阳电池及由六片砷化镓电池的串联组件的输出特性进行分析。建立三结砷化镓电池输出特性的单指数数学模型, 并与实验进行了对比。理论计算与实验吻合较好, 误差在 7.6% 以内。实验结果表明, 在相同理论聚光比下, 单片电池系统能流聚光比为 390, 六片电池组件系统能流聚光比为 281; 聚光后单片电池的短路电流与峰值功率分别放大 322 倍与 316 倍, 六片电池组件系统的短路电流与峰值功率分别放大 275 倍与 272 倍; 电池表面能流密度为 0.321 MW/m<sup>2</sup> 时电池的输出功率达到最大, 电池表面温度高于 323 K 将影响其工作稳定性; 聚光系统的透射率每增加 0.01 系统效率升高约 0.227%。全天累积直射辐照度为 17.212 MJ/m<sup>2</sup> 条件下测得单片电池全天发电量为 0.015 kW·h, 六片电池串联组件的全天发电量为 0.076 kW·h。

**关键词** 光电子学; 菲涅耳聚光光伏系统; 砷化镓太阳电池; 输出特性; 辐照度; 电池温度

**中图分类号** TN304 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201232.0716003

## Investigation of the Output Characteristics of GaAs Solar Cell Based on Fresnel Concentrating System

Wang Wenbo Li Ming<sup>1,2</sup> Ji Xu<sup>2</sup> Wei Shengxian<sup>2</sup> Wang Liuling<sup>1</sup>

Yang Yuwen<sup>2</sup> Fan Jieqing<sup>1</sup> Long Xing<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> School of Physics and Electric Information, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650092, China)  
(<sup>2</sup> Institute of Solar Energy, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650092, China)

**Abstract** The output characteristics on a GaAs solar cell and the components which are composed of six pieces of GaAs solar cells in concentration ratio 676 based on Fresnel concentrating system is analyzed. Single-index model of GaAs solar cell is established and compared with experiments. There is a good agreement of theory and experiments with the error less than 7.6%. The experimental results indicate that, with the same concentration ratio, a GaAs solar cell is in concentration ratio 390, and the six pieces of GaAs solar cells is in concentration ratio 281. The short-circuit current of the monolithic cell is enlarged 322 times, and the max electric power is enlarged 316 times in concentration which of the six pieces of GaAs solar cells system is enlarged 275 times and 272 times. The maximum power output of the solar cell is achieved when the energy-flux density is 0.321 MW/m<sup>2</sup>. The GaAs solar cell works well with a temperature lower than 323 K. The efficiency of the system increases 0.227% as the transmittance of the system improve 0.01. The monolithic GaAs solar cell can generate electric energy 0.015 kW·h and the the cell set of six pieces can generate electric energy 0.076 kW·h for a clear day with daily direct irradiation of 17.212 MJ/m<sup>2</sup>.

**Key words** optoelectronics; Fresnel concentrating photovoltaic system; GaAs solar cell; output characteristics; irradiance; cell temperature

**OCIS codes** 160.6000; 350.4600; 350.6050

收稿日期: 2012-01-20; 收到修改稿日期: 2012-02-20

基金项目: 国家自然科学基金 (50966004, 51106134) 资助课题。

作者简介: 王文博 (1985—), 男, 硕士研究生, 主要从事太阳能高倍聚光光伏方面的研究。E-mail: wenbo998@163.com

导师简介: 李明 (1964—), 男, 博士, 教授, 主要从事太阳能制冷空调、太阳能聚光发电等方面的研究。

E-mail: lmllldy@126.com (通信联系人)

# 1 引言

太阳能电池的材料紧缺和发电成本过高制约着太阳能光伏发电的应用,为降低发电成本,提高太阳能的利用率,近年来国内外学者对聚光光伏发电技术进行了大量研究。目前发展比较成熟的聚光器主要有反射式聚光器和折射式聚光器<sup>[1,2]</sup>。反射式聚光器包括平板、抛物槽和组合抛物面等。折射式聚光器的主要构成元件可以是菲涅耳透镜或普通透镜。与反射式聚光器相比,反射式聚光器聚光倍数较低,体积较大,成本较高,反射层易脱落,聚光效果衰减较快。而折射式聚光器中的菲涅耳透镜具有体积小、重量轻、价格便宜、加工方便、不易脆裂、“光学记忆力”好和透光率高等优点,且在镜面上适当设计齿的角度,可使电池上光强分布更为均匀。因此,发展菲涅耳聚光的光伏发电技术具有一定的实际意义。针对聚光光伏系统,美国 Sandia 实验室于 20 世纪 70 年代中期研制出 50 倍聚光条件下效率为 12.7% 的聚光光伏系统<sup>[3]</sup>;2005 年由 Spectrolab 开发的 GaInP/GaAs/Ge 电池在 66 倍聚光下效率达到 35.2%<sup>[4]</sup>;2008 年美国 NREL 实验室研制出 326 倍聚光下光电转换效率 40.8% 的聚光电池<sup>[5]</sup>;同年,德国的 Fraunhofer 太阳能系统研究所 (FhG-ISE) 研制出 454 倍聚光下光电转换效率为 41.1% 的聚光电池<sup>[6]</sup>;2010 年,美国 Spiresemicon-Ductor 公司研制出 406 倍聚光下光电效率为 42.3% 的三结砷化镓电池<sup>[7]</sup>,这是目前聚光太阳电池的最高光电转换效率。然而,目前对高倍聚光系统下砷化镓电池性能的实验研究主要是基于室内模拟光源条件下进行的,对室外条件下的研究较少。

本文基于菲涅耳高倍聚光系统,对三结砷化镓电池进行了室外实验研究。从太阳能电池聚光前后电流-电压( $I-V$ )特性曲线的变化、辐照度对电池功率的影响、电池表面温度对电池功率与电池效率的影响、单片电池及六片电池串联组件全天发电量的计算 4 个方面对砷化镓太阳电池的输出特性进行分析。

## 2 实验原理

### 2.1 菲涅耳聚光系统及工作原理

菲涅耳透镜利用光通过棱镜后发生折射的原理,将不同曲度的同心圆棱镜组成凸,减小透镜的厚度以大幅度减少材料的使用<sup>[8,9]</sup>。菲涅耳高倍聚光光伏系统原理如图 1 所示。太阳光经菲涅耳透镜后,部分太阳光在透镜表面发生反射、散射和吸收;大部分通过透镜发生折射后聚焦到太阳电池上。聚焦后电池表面的直射辐照度成几十倍至几百倍的放大,单位面积上接收到的能量大幅度增加,达到功率放大的目的。产生的热量可通过导热胶传递到散热片上,主要以对流换热的形式散发到空气中,以降低电池温度,提高电池发电效率。实验所采用的菲涅耳透镜由轻质、低成本的有机玻璃 (PMMA) 制成,尺寸为 138 mm×138 mm,光学透射率可达 80%~85%;支架采用较为轻便的铝合金制成,能够适时地对太阳的高度角和方位角进行二维跟踪;电池为深圳银盛科技有限公司生产的三结砷化镓太阳电池,尺寸为 5 mm×5 mm;散热片由热传导系数为 226 W/(m·K) 的铝合金材料制成。电池和散热片之间用导热系数为 1.5 W/(m·K) 导热胶连接。

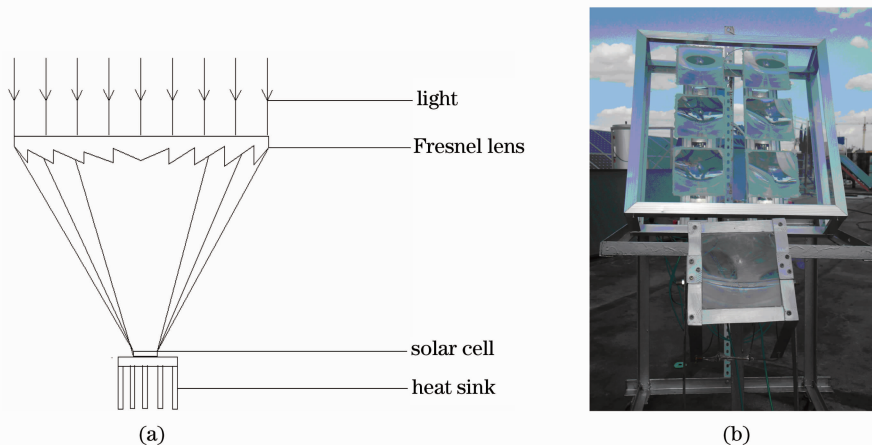


图 1 菲涅耳聚光光伏系统(a)原理图与(b)实物图

Fig. 1 (a) Principle and (b) photo of a Fresnel concentrating photovoltaic system

## 2.2 能流聚光比的测定

菲涅耳聚光器的实际采光面积为  $130\text{ mm} \times 130\text{ mm}$ ，当聚焦后的光斑刚好覆盖电池表面时，光斑形状是直径为  $5\text{ mm}$  的圆，聚光器的理论聚光比为 676。但由于透镜的反射、吸收、散射和透镜表面不清洁、加工质量差引起的损失的影响，透镜的能流聚光比和理论值存在一定的差距。为使实验数据更加精确，菲涅耳聚光器的能流聚光比的测定显得十分重要。

采用北京榜首科技有限公司生产的 VLP-2000 型激光功率计对菲涅耳聚光器的能流聚光比进行测量。该激光功率计能够对波长为  $200 \sim 2000\text{ nm}$  的

光的功率进行直接测量。激光功率计的接收探头的口径  $D=250\text{ mm}$ ，菲涅耳透镜的聚焦光斑的直径  $d=5\text{ mm}$ 。在普通光照和聚光条件下同时将太阳光入射到两个相同激光功率计的探头上，读出激光功率计的读数  $P_1$  和  $P_2$ 。聚光器的能流聚光比  $C$  为

$$C = P_2 D^2 / P_1 d^2, \quad (1)$$

式中  $P_1$  为普通光强下激光功率计的读数， $P_2$  为聚光以后激光功率计的读数。在不同辐照度下进行多次测量，计算得出单片聚光系统能流聚光比的平均值为 390，如表 1 所示；六片砷化镓电池串联组成的组件系统的能流聚光比的平均值为 281，如表 2 所示。

表 1 单片菲涅耳聚光系统能流聚光比

Table 1 Energy-flux concentration ratio of a monolithic Fresnel concentrator

Non-concentrating irradiance $P_1/\text{W}$	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.4
Concentrating irradiance $P_2/\text{W}$	4.82	5.01	5.16	5.31	5.45	5.62	5.77	5.93	6.08	6.25
Concentration ratio	388.7	391.4	390.9	390.4	389.3	390.3	389.9	390.1	389.7	390.6

表 2 六片串联组件菲涅耳聚光系统能流聚光比

Table 2 Energy-flux concentration ratio of the Fresnel concentrating system consisting of six pieces of cells

Non-concentrating irradiance $P_1/\text{W}$	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.4
Concentrating irradiance $P_2/\text{W}$	3.46	3.48	3.67	3.85	3.95	4.07	4.22	4.27	4.4	4.53
Concentration ratio	279	271.8	278.2	283.4	281.5	282.7	285.3	280.9	281.8	283.4

## 2.3 GaAs 电池特性参数模型

非聚光条件下，砷化镓电池的串联电阻可由温度恒定的  $I-V$  曲线中得到。砷化镓电池的串联电阻  $R_s$ 、填充因子  $F_F$ 、发电效率  $\eta$  可表示为<sup>[10,11]</sup>

$$R_s = \frac{AKT}{q} \times \frac{1}{I_2 - I_1} \ln \left[ \frac{m\phi - I_2}{m\phi - I_1} \right] - \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1}, \quad (2)$$

$$F_F = \frac{P}{V_{oc} I_{sc}}, \quad (3)$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in} S}, \quad (4)$$

式中  $A$  为二极管的理想因子， $K$  为波尔兹曼常数， $T$  为电池温度， $q$  为电子电荷常数， $m$  为光电转化系数， $\phi$  为光照强度， $I_1$  和  $V_1$  为工作点 1 的电流和电压， $I_2$  和  $V_2$  为工作点 2 的电流和电压， $P_m$  是太阳能电池的峰值功率， $P_{in}$  为单位面积上入射光的功率， $S$  为太阳能电池的表面积。

聚光条件下的砷化镓电池的串联电阻可表示为<sup>[10,11]</sup>

$$R_c = \frac{V_{o1} - V_{oc}}{I_{sc}}, \quad (5)$$

式中  $V_{o1}$  是光照条件下电池的短路电流  $I_{sc}$  与正向电

流相等时对应电池的正向电压， $V_{oc}$  是聚光条件下太阳电池的开路电压。

太阳电池的  $I-V$  特性和输出功率可表示为<sup>[12,13]</sup>

$$I = I_{sc} - I_0 \exp \left[ \frac{q(V + IR_s)}{AKT} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} + \epsilon, \quad (6)$$

$$V_{oc} = \frac{AKT}{q} \ln \left( \frac{I_{sc}}{I_0} \right), \quad (7)$$

$$P = \frac{AKTI}{q} \ln \left( \frac{I_{sc} - I}{I_0} + 1 \right) - I^2 R_s, \quad (8)$$

式中  $\epsilon$  为拟合误差，可用最小平方和的方法加以确定； $I$  为负载电流； $I_0$  为反向饱和电流。

## 3 实验结果分析

### 3.1 聚光前后砷化镓电池的性能特性

图 2 和图 3 分别为非聚光和聚光条件下单片砷化镓电池的  $I-V$  特性曲线；图 4 和图 5 分别为非聚光和聚光条件下六片砷化镓电池串联组件的  $I-V$  特性曲线。图中模拟部分是根据 (6)~(8) 式建立单指

数数学模型对太阳能电池的  $I-V$  特性曲线进行拟合的,实验部分是根据测得的实验数据绘制的  $I-V$  特性曲线。理论计算与实验吻合较好,误差在 7.6% 以内。由图可看出,非聚光条件下,砷化镓电池实验测得的  $I-V$  曲线比模拟得到的要好;聚光条件下模拟的  $I-V$  曲线比实验测量的好。这主要由于聚光以后电池表面能流密度增加,结电压升高,电池内部载流子再复合率和漏电流增加,使电池输出电流减小,填充因子降低,在最大功率点处曲线急速下降。对于太阳能电池, $I-V$  曲线越接近矩形,其 FF 和  $\eta$  越高。在单片电池系统下,负载电压约为 2.26 V 时,电池输出功率在上述两种情况下均达到最大值  $P_m$ ;在六片电池串联组成的系统下,负载电压约为 15.24 V 时,组件在上述两种情况下输出功率均达到最大值  $P_m$ 。

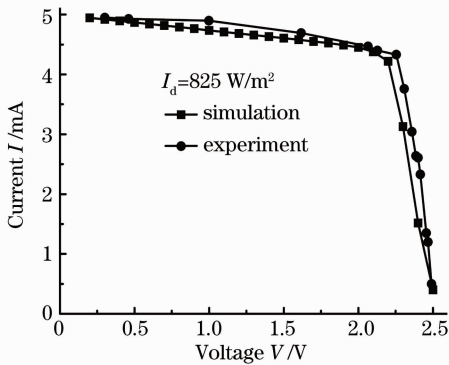


图 2 普通光强下单片砷化镓电池的  $I-V$  特性曲线  
Fig. 2  $I-V$  characteristics curves of a GaAs cell without concentration

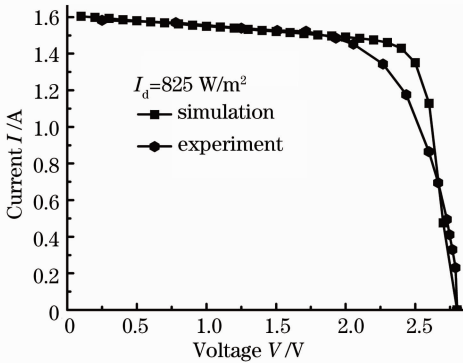


图 3 390 倍聚光下单片砷化镓电池的  $I-V$  特性曲线  
Fig. 3  $I-V$  characteristics curves of a GaAs cell in concentration ratio of 390

通过测试与计算,可得聚光前后砷化镓电池参数的变化如表 3 和表 4 所示。390 倍聚光条件下,单片砷化镓电池的开路电压由 2.61 V 变为 2.8 V,升高 7.3%;电池的短路电流由 0.005 A 变为 1.61 A,放大

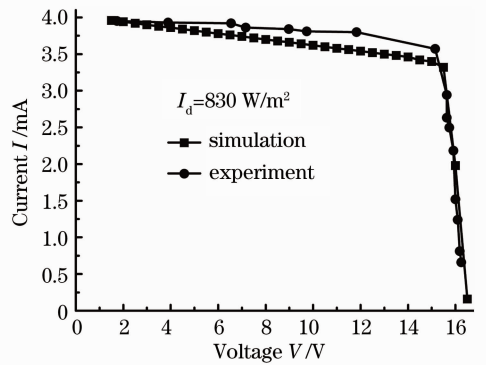


图 4 普通光强下六片砷化镓电池串联  $I-V$  特性曲线  
Fig. 4  $I-V$  characteristics curves of six pieces of GaAs cells without concentration

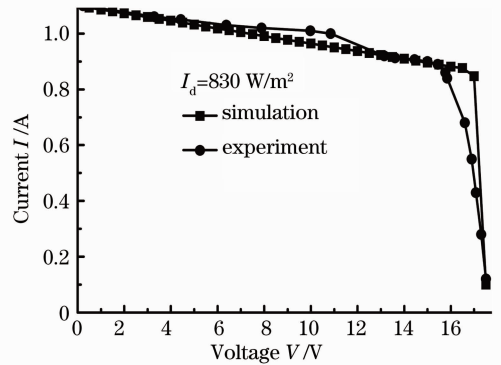


图 5 281 倍聚光下六片砷化镓电池的  $I-V$  特性曲线  
Fig. 5  $I-V$  characteristics curves of six pieces of GaAs cells in concentration ratio of 281

了 322 倍,峰值功率由 0.0098 W 变为 3.1 W,放大了 316 倍。在 281 倍聚光条件下,六片砷化镓电池串联组件的开路电压由 16.63 V 变为 17.54 V,升高 5.5%。六片电池串联组件的短路电流由 0.004 A 变为 1.1 A,放大了 275 倍,峰值功率由 0.0505 W 变为 13.74 W,放大了 272 倍。砷化镓电池的填充因子和电池效率都有负的温度系数,由(3)式与(4)式可知,单片砷化镓电池的填充因子由 73.6% 减小为 69%,下降了 4.6%。电池效率由 42.1% 减小为 38.6%,下降了 3.9%。六片电池串联组件的填充因子由 82.4% 减小为 71.2%,下降了 11.2%。电池效率由 40.5% 减小为 39.4%,下降了 1.1%。这与文献[14~16]中的实验结果相吻合。由(2)式和(5)式可计算出聚光后单片电池的串联电阻由 0.49  $\Omega$  减小到 0.17  $\Omega$ ;六片电池串联组件的串联电阻由 3  $\Omega$  减小到 2.27  $\Omega$ 。在聚光器的理论聚光比为 676 的前提下,六片电池串联组件系统与单片砷化镓电池系统相比,能流聚光比下降了 28%,短路电流下降了 31.7%,电池效率升高了 0.8%,开路电压放大了

6.26倍,峰值功率放大了4.43倍,单片电池串联电阻放大了2.24倍。产生上述变化,主要原因是和单片系统相比,电池串联组件系统在菲涅耳透镜的上面多了一层玻璃盖板,玻璃盖板对入射到其表面的光进行反射和吸收,玻璃盖板和菲涅耳透镜间的空隙进入灰尘,降低了聚光系统的透射率,从而降低了到达电池表面的光的能量,使电池的输出功率下降;

表3 单片砷化镓电池聚光前后的参数比较

Table 3 Parameters comparison of a monolithic GaAs cell in concentration ratio 1 and 390

Concentration ratio	Short-circuit current $I_{sc}/A$	Open-circuit voltage $V_{oc}/V$	Peak power $P_m/W$	Filling factor $F_F/\%$	Efficiency $\eta/\%$	Series resistance $R_s/\Omega$
1	0.005	2.61	0.0098	73.6	42.1	0.49
390	1.61	2.8	3.1	69	38.6	0.17

表4 六片砷化镓电池串联组件聚光前后的参数比较

Table 4 Parameters comparison of the component based on six pieces of cells in concentration ratio 1 and 281

Concentration ratio	Short-circuit current $I_{sc}/A$	Open-circuit voltage $V_{oc}/V$	Peak power $P_m/W$	Filling factor $F_F/\%$	Efficiency $\eta/\%$	Series resistance $R_s/\Omega$
1	0.004	16.63	0.0505	82.4	40.5	3
281	1.1	17.54	13.74	71.2	39.4	2.27

### 3.2 辐照度、温度、玻璃盖板透射率对电池功率的影响

表5为温度恒定时单片砷化镓电池的峰值功率 $P_m$ 随直射辐照度 $I_d$ 的变化。当 $T=321\text{ K}$ 时,直射辐照度在 $530\sim 824\text{ W/m}^2$ 范围内,随着 $I_d$ 的增加,电池的峰值功率 $P_m$ 呈线性增加趋势;直射辐照度在 $824\sim 900\text{ W/m}^2$ 范围内,电池峰值功率随 $I_d$ 的增加变化不明显。直射辐照度 $I_d$ 达到 $824\text{ W/m}^2$ 时,聚光后电池表面的能流密度为 $0.321\text{ MW/m}^2$ 。此时电池

表5 温度恒定时砷化镓电池的峰值功率 $P_m$ 随直射辐照度 $I_d$ 的变化

Table 5 Peak power of a GaAs solar cell versus beam direct irradiance at constant temperature

Variables	Values											
$I_d/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	530	550	649	703	763	793	824	851	865	871	879	900
$P_m/W$	1.97	2.07	2.33	2.56	2.68	2.82	2.89	2.89	2.88	2.89	2.9	2.89
$\eta/\%$	38.1	38.6	36.8	37.3	36	36.5	35.9	34.8	34.1	34	33.9	32.9

图6为温度 $T_1=300\text{ K}$ 与 $T_2=320\text{ K}$ 时单片砷化镓电池的 $I-V$ 特性曲线。温度升高后电池的填充因子降低,峰值功率点处电流和电压所围成矩形面积减小,砷化镓电池开路电压随温度的变化率为 $-1.75\text{ mV/K}$ ,与文献[17]中所记载的 $-1.6\text{ mV/K}$ 相差8.6%。由文献[17,18]相关公式计算可知:温度每升高1K,砷化镓电池的短路电流升高0.04%,峰值功率下降3.5mW。图7为玻璃盖板的透射率对组件的系统效率的影响。从图中可以看出,随着玻璃透射率的增加,系统效率明显升高,在不加玻璃盖板的情况下系统效率达到最大22.1%,玻璃透射率

六片电池串联起来,由于电池表面能流密度不均匀性及电池内部参数的微小差别的影响,各片电池的短路电流及开路电压略有不同,影响整个串联组件系统的输出功率。因此提高聚光系统的光学透射率、增强电池表面能流密度的均匀性对于提高整个聚光光伏系统的效率是非常必要的。

内部载流子浓度很大,载流子的俄歇复合率增加(俄歇复合率与载流子浓度的平方成正比);又由于负载电流 $I$ 的增加,电池串联电阻消耗的热功率增加。故电池表面能流密度达 $0.321\text{ MW/m}^2$ 后,继续增加直射辐照度,电池的峰值功率 $P_m$ 呈平稳状态。 $0.321\text{ MW/m}^2$ 是实验中所采用的砷化镓电池峰值功率达到最大时对应的能流密度。当直射辐照度 $I_d$ 为 $550\text{ W/m}^2$ 时,电池表面的能流密度为 $0.214\text{ MW/m}^2$ ,电池的效率达到最大值(38.6%)。

每增加0.01系统效率升高约0.227%。

表6为直射辐照度恒定时砷化镓电池的峰值功率 $P_m$ 随电池温度 $T$ 的变化。从表6中可看出,当直射辐照度 $I_d=820\text{ W/m}^2$ ,电池表面温度在 $310\text{ K}\sim 323\text{ K}$ 时,电池的峰值功率变化不明显,其温度系数为 $-4.9\text{ mW/K}$ ;当电池表面的温度达到 $323\text{ K}$ 后峰值功率急剧下降,其温度系数为 $-78.5\text{ mW/K}$ 。当电池表面的温度达到 $348\text{ K}$ 后,电池表面用来封装的硅胶会被烧毁。要想使电池更好更安全的工作,应将电池表面的温度控制在 $323\text{ K}$ 以下。

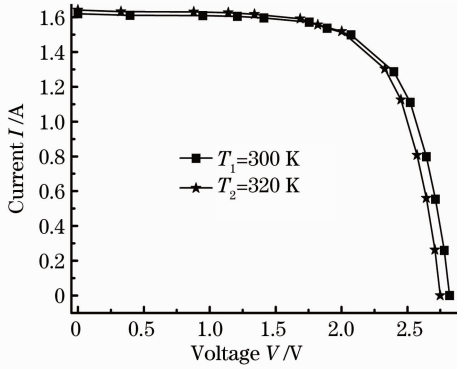


图 6 温度对砷化镓电池  $I-V$  曲线的影响  
Fig. 6 Effect of temperature on the  $I-V$  curves of GaAs solar cell

表 6 直射辐照度恒定时砷化镓电池的峰值功率  $P_m$  随电池温度  $T$  的变化

Table 6 Peak power of a GaAs solar cell versus cell temperature with constant direct irradiance

Variables	Values											
$T / K$	310.96	313.16	314.56	316.16	319.36	322.16	323.16	324.18	325.16	326.16	329.16	330.16
$P_m / W$	2.91	2.9	2.89	2.9	2.89	2.89	2.85	2.79	2.65	2.55	2.36	2.3
$\eta / \%$	36.4	36.3	36.1	36.3	36.1	36.1	35.6	34.9	33.1	31.9	29.5	28.8

### 3.3 菲涅耳聚光系统下砷化镓电池全天发电量的计算

为进一步对砷化镓电池的适用性进行研究,对菲涅耳聚光系统下单片砷化镓电池及六片砷化镓电池串联组件系统的全天发电量进行了计算分析。2010-12-29 从 09:30~15:30 每隔 7 min 对砷化镓电池的  $I-V$  特性进行一次测量,计算出砷化镓电池峰值功率  $P_m$ ,通过功率对时间的积分得出砷化镓电池全天的发电量。

图 8 为砷化镓电池输出功率随时间的变化。由于天气、电池温度、电池表面聚光不均匀性等因素的影响,砷化镓电池全天内的峰值功率波动较大。13:16 时,单片电池的功率达到全天最大值 2.93 W,

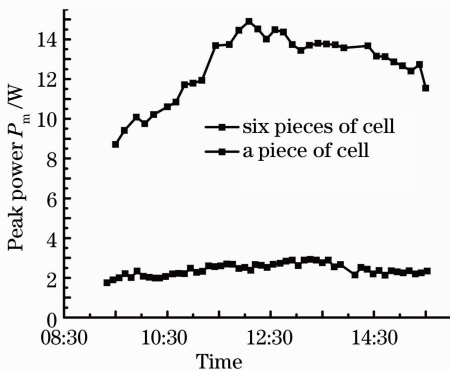


图 8 砷化镓电池系统全天最大输出电功率  
Fig. 8 Maximum daily output electric power curves of GaAs solar cell

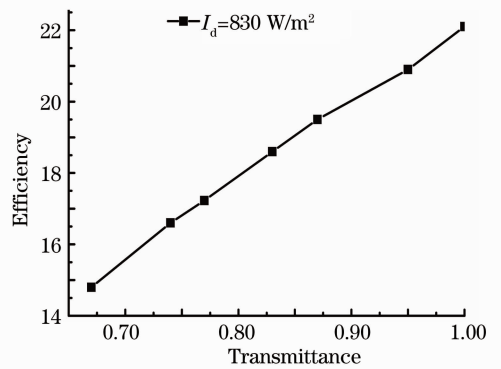


图 7 玻璃盖板透射率对六片电池串联组件效率的影响  
Fig. 7 Effect of transmittance of glass cover on the system efficiency of GaAs solar cell set of six pieces

在 12:05 时六片串联组件的功率达到全天的最大值 14.6 W。图 9 给出了砷化镓电池在 09:30~15:30 6 h 内,全天累积直射辐照度为 17.212 MJ/m<sup>2</sup> 时,单片电池全天发电量为 0.015 kW·h,六片电池串联系统全天发电量为 0.076 kW·h。整个六片组件系统的采光面积为 0.1 m<sup>2</sup>,其全天发电量比相同辐照度下 0.1 m<sup>2</sup> 的单晶硅、多晶硅电池阵列分别高 12% 和 36.6%,节约了大量材料。

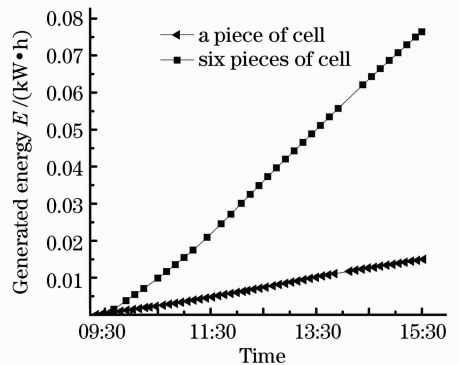


图 9 砷化镓电池系统全天发电量变化曲线  
Fig. 9 Daily ion nergy generated curves of GaAs solar cell

## 4 结 论

基于理论方法,建立三结砷化镓电池输出特性的单指数数学模型,并与实验进行了对比。理论计算与实验吻合较好,误差在 7.6% 以内。390 倍聚光

以后单片砷化镓太阳电池的短路电流放大 322 倍, 峰值功率放大 316 倍, 填充因子下降 4.6%, 电池效率下降 3.9%, 串联电阻变为原来的 34.7%。在 281 倍聚光以后, 六片砷化镓电池串联组件的短路电流放大了 275 倍, 峰值功率放大了 272 倍, 填充因子下降 11.2%, 电池效率下降了 1.1%, 串联电阻变为原来的 75.7%。聚光条件下, 对太阳辐照度和电池表面温度对砷化镓电池最大输出功率、输出效率的影响的分析, 与实验所用的砷化镓电池相匹配的入射能流密度的最优值为  $0.321 \text{ W/m}^2$ , 电池稳定的工作的温度应小于 323 K。随着电池表面温度的升高, 电池的短路电流增大, 开路电压减小, 最大输出功率减小。电池的开路电压越大, 温度对输出功率的影响越小。聚光系统的透射率每增加 0.01 系统效率升高约 0.227%; 直射辐照度全天累积值为  $17.212 \text{ MJ/m}^2$  时单片砷化镓电池的全天发电量为  $0.015 \text{ kW}\cdot\text{h}$ , 六片电池串联系统全天发电量为  $0.076 \text{ kW}\cdot\text{h}$ , 比相同采光面积下的单晶硅、多晶硅电池阵列分别高 12% 和 36.6%。

### 参 考 文 献

- 1 Liu Ying, Dai Jingmin, Lang Zhiguo *et al.*. Finite-element analysis for flux distribution on focal plane of rotating parabolic concentrators [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27** (10): 1775~1778  
刘颖, 戴景民, 郎治国等. 旋转抛物面聚光器焦面能流分布的有限元分析[J]. *光学学报*, 2007, **27**(10): 1775~1778
- 2 Du Chunxu, Wang Pu, Ma Chongfang *et al.*. Optical geometric method for LFR mirror field arrangement without shading and blocking[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(11): 3276~3282  
杜春旭, 王普, 马重芳等. 线性菲涅耳聚光系统无遮挡镜场布置的光学几何方法[J]. *光学学报*, 2010, **30**(11): 3276~3282
- 3 A. Bett, F. Ferrazza, A. Marti *et al.*. Concentration photovoltaics [R]. EU Photovoltaic Technology Platform, October 2006
- 4 R. R. King, C. M. Fetzer, P. C. Colter *et al.*. Lattice-matched and metamorphic GaInP/GaInAs/Ge concentrator solar cells [C]. Presented at the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion-Osaka, Japan, May 11~18, 2003
- 5 J. F. Geisz, D. Friedman. Engineering the world's most efficient solar cells[C]. *SPIE*, 2009, **1645**:
- 6 W. Guter, J. Schöne, Simon P. Philipps *et al.*. Current-matched

- triple-junction solar cell reaching 41.1% conversion efficiency under concentrated sunlight [J]. *Appl. Phys.*, 2009, **94**(22): 223504
- 7 Zhang Zhongmo. The highest efficiency of GaAs solar cell in the world comes out in US [J]. *J. Functional Materials Information*, 2010, **7**(5-6): 77  
张忠模. 全球效率最高的 GaAs 太阳能电池在美问世[J]. *功能材料信息*, 2010, **7**(5-6): 77
- 8 Han Yanmin. Theoretical and Experimental Study on Transmission and Utilization of High Concentrated Solar Energy [D]. School of Mechanical Engineering Shanghai Jiao Tong University, 2007  
韩延民. 太阳能高倍聚光能量传输利用理论及试验研究[D]. 上海交通大学机械与动力工程学院, 2007
- 9 K. Ryu, J. G. Rhee, K. M. Park *et al.*. Concept and design of modular Fresnel lenses for concentration solar PV system [J]. *Solar Energy*, 2006, **80**(12): 1580~1587
- 10 Xu Yongfeng, Li Ming, Wang Liuling *et al.*. Experimental study on solar cell arrays of trough concentrating solar system [J]. *Chin. J. Semiconductors*, 2008, **29**(12): 2421~2426  
徐永峰, 李明, 王六玲等. 槽式聚光太阳能系统太阳能电池阵列 [J]. *半导体学报*, 2008, **29**(12): 2421~2426
- 11 Zhao fuxin, Wei Yanzhang. Solar Cell and Application [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1985. 327  
赵富鑫, 魏言章. 太阳能电池及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985. 327
- 12 K. Araki, M. Yamaguchi, T. Takamoto *et al.*. Characteristics of GaAs-based concentrator cells [J]. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2001, **66**(1-4): 559~565
- 13 A. Cheknane, H. S. Hilal, J. P. Charles *et al.*. Modelling and simulation of InGaP solar cells under solar concentration; series resistance measurement and prediction[J]. *Solid State Sciences*, 2006, **8**(5): 556~559
- 14 M. K. EL-Adwi, I. A. Al-Nuaim. A method to determine the solar cell series resistance from a single *I-V* characteristic curve considering its shunt resistance; new approach [J]. *Vacuum*, 2001, **64**(1): 33~36
- 15 K. Araki, M. Yamaguchi. An Si concentrator cell by single photolithography process [J]. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2001, **65**(1-4): 437~443
- 16 H. Ohtsuka, T. Kitatani, Y. Yazawa *et al.*. Numerical prediction of InGaAs/GaAs MQW solar cell characteristics under concentrated sunlight [J]. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 1998, **50**(1-4): 251~257
- 17 E. Radziemska. Thermal performance of Si and GaAs based solar cells and modules; a review [J]. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2003, **29**(5): 407~424
- 18 E. Radziemska. The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells [J]. *Renewable Energy*, 2003, **28**(1): 1~12

栏目编辑：韩峰