

槽式聚光太阳能系统太阳电池阵列*

徐永锋¹ 李 明^{1,2,†} 王六玲¹ 何建华¹ 张兴华¹ 王云峰¹ 项 明¹

(1 云南师范大学物理与电子信息学院, 昆明 650092)

(2 云南师范大学太阳能研究所, 昆明 650092)

摘要: 基于槽式聚光太阳能系统分别对单晶硅电池阵列、多晶硅电池阵列、空间太阳电池阵列和砷化镓电池阵列进行测试实验. 结果表明, 聚光后, 前 3 种电池阵列的 $I-V$ 曲线都趋于直线, 输出功率急剧减少, 系统效率下降较快. 而砷化镓电池阵列有较好的 $I-V$ 曲线, 其效率由聚光前的 23.66% 增加到 26.50%, 理论聚光比为 16.92 时, 输出功率放大 11.2 倍, 聚光光伏系统中可采用砷化镓电池阵列以提高效率. 砷化镓电池阵列 P_m 、FF 和 η 的温度系数分别为 -0.12W/K 、 $-0.10\%/K$ 和 $-0.21\%/K$, 为避免温度的影响须采用强制冷却方式保证电池效率, 同时对外供热. 研究表明, 10 片单晶硅电池串联阵列最佳工作时的理论聚光比为 4.23; 16 片空间太阳电池串联阵列最佳工作时的理论聚光比为 8.46. 研究工作对提高槽式聚光系统效率和大规模利用聚光光伏发电提供了依据.

关键词: 聚光太阳能系统; 输出功率; 填充因子; 温度系数

EEACC: 8230G; 8250; 8420

中图分类号: TN304

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2008)12-2421-06

1 引言

目前, 开发利用太阳能已成为世界各国可持续发展的主要战略决策, 但是, 太阳能的分散性却成为利用太阳能的主要障碍^[1]. 采用聚光方法, 几倍乃至几百倍地提高太阳能辐射功率密度, 以提高单位面积太阳电池的输出功率, 降低光伏发电成本, 具有较好的应用前景^[2]. 国际上, 20 世纪 70 年代末至 80 年代初, 美国 MIT 的 Hendire 及美国 Brown 大学的 Russell 教授最先涉及光伏与光热的研究^[3,4]; 1995 年挪威学者对 PV/T 系统进行了实验研究^[5,6]; 而希腊学者于 2002 年对 PV/T 系统进行了实验研究^[7,8], 较为详细地报道了用水或用空气作为太阳电池板冷却工质时, 系统的供电与供热特性; 澳大利亚国立大学可再生能源研究中心采用 80 个槽式抛物面跟踪太阳反射镜系统, 聚 22 倍光作用于太阳电池板, 此时电池的效率达到 22% 以上, 在同等功率输出条件下, 采用槽式抛物面聚光太阳能光伏发电的成本仅为非聚光平板太阳能光伏发电成本的 60%, 该大学在 2004 年对槽式聚光系统在热电联供方面做了较系统的研究^[9]. 目前国内只是对单片常规电池进行实验和模拟计算研究, 并没有相关的实验研究. 因此本文基于槽式聚光太阳能系统, 汇集高密度太阳能对单晶硅电池阵列、多晶硅电池阵列、空间太阳电池阵列、砷化镓电池阵列进行实验研究, 根据太阳电池阵列的特性曲线分析电池性能, 找出影响电池阵列输出特性的因素, 并分析了不同光照情况下的 $I-V$ 曲线. 为保证电池效率及

防止电池温度过高, 采用冷却方法, 控制冷却流体的流速来调节电池的温度, 同时得到热能. 研究工作对槽式聚光太阳能系统进一步优化提供依据.

2 实验

槽式聚光太阳能系统集热装置如图 1 所示, 采用结构简单、跟踪方便、应用最广泛的槽式抛物面反射聚光器, 集热器内腔体为纯铝型材, 内腔体与外腔体之间用保温层隔开, 太阳电池由导热绝缘胶贴在集热器下表面. 太阳光由镜面反射汇集在电池上, 成倍增加单位面积电池的输出功率, 通过背面圆形管道中的水强制冷却电池温度, 热水流出导管后被存储起来对外供热. 在聚光条件下, 太阳电池阵列输出电功率, 同时得到热能, 系统可实现热电联供.

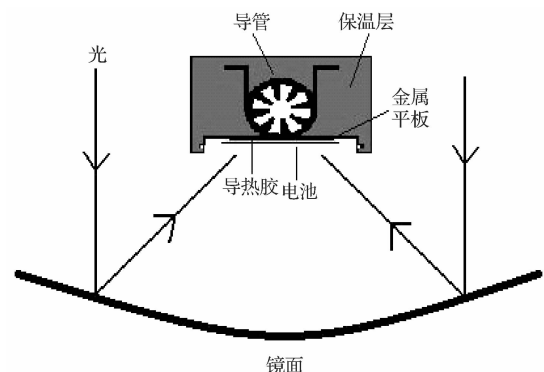


图 1 槽式聚光太阳能系统集热装置图

Fig.1 Diagram of collector of the trough concentrating solar energy system

* 国家高技术研究发展计划(批准号:2006AA05Z410), 国家基础研究发展规划计划前期研究专项(批准号:2007CB216405), 云南省自然科学基金重点资助项目(批准号:2007C0016Z, 2005E0031M)及教育部出国留学回国人员基金资助项目

† 通信作者. Email: lmdocyn@public.km.yn.cn

2008-06-14 收到, 2008-07-15 定稿

表 1 聚光前后不同波长光子转化的电流

Table 1 Current translated by photons of different wavelengths

波长/nm	普通光强下光子转化的电流/ μA	聚光光强下光子转化的电流/ μA
488	14	141
514.5	57	577
632.8	50	511
904.0	35	360
1064.0	27	280
总值	19936	204722

3 结果与分析

3.1 聚光光强的测定

槽式抛物反射面由背面镀铝的玻璃热弯而成,实际采光面积为 $1440\text{mm} \times 1450\text{mm}$,理论聚光比为 16.92 倍. 镜子厚度引起的光折射会导致部分光线偏离焦点,再加上热弯工艺的误差,会引起聚焦比的变化,因此对实际聚光光强的测量显得十分必要. 本文采用激光功率计来测量光强,其光子接受器能接受 5 种不同波长的光子(488.0, 514.5, 632.8, 904.0, 1064.0nm)并将其转化成电流. 让两个光子接受器同时分别在普通光强下和在槽式聚光系统的聚焦线上照射,测得的数据如表 1 所示.

由上表数据,用 Lagerre 插值法,对由 400 ~ 1100nm 波长的光子产生的相应电流数进行拟合,并对拟合曲线进行积分,得出总电流数. 两种条件下的总电流数相比,得聚光后的平均光强为 10.269.

3.2 聚光前后太阳电池阵列的主要参数

所采用电池阵列的规格如表 2 所示.

太阳电池阵列的参数在聚光前后是不同的,根据测量的 I_{sc} 、 V_{oc} 和 $I-V$ 曲线来确定电池聚光前后的 R_s 、FF 和 η . 非聚光情况下晶体硅太阳电池串联内阻的数值可以从一条定温的 $I-V$ 曲线中获得^[10]:

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

其中 R_s 为电池的串联内阻; A 为二极管理想因子; k 为玻尔兹曼常数; T 为电池工作温度; q 为电子电荷常数; m 为光电转化系数; Φ 为光照强度; I_1 、 V_1 为工作点 1 的电流和电压; I_2 、 V_2 为工作点 2 的电流和电压. 聚光情况下,用一般计算方法获得的电池串联电阻,总是比聚光电池实际工作状态下的数值大. 这是由于高光强

表 2 电池阵列的规格

Table 2 Standard of cell arrays

	单晶硅电池阵列	多晶硅电池阵列	空间太阳电池阵列	砷化镓电池阵列
面积/ mm^2	103×51.5	117×75	71×62	40×30
片数	10	10	16	5
连接方式	串联	串联	串联	串联

表 3 聚光前后不同种类电池阵列的参数

Table 3 Parameters of different cell arrays

电池的参数	光强	单晶硅电池阵列	多晶硅电池阵列	空间太阳电池阵列	砷化镓电池阵列
FF/%	普通光强	59.22	40.90	75.34	78.52
	聚光光强	25.60	33.98	36.28	73.74
η /%	普通光强	7.5	7.66	13.28	23.66
	聚光光强	1.77	1.12	6.67	26.50
P_m /W	普通光强	3.8988	6.5031	8.8265	1.3631
	聚光光强	9.1793	9.5152	44.3166	15.264
R_s / Ω	普通光强	0.88255	0.96305	0.41942	0.06667
	聚光光强	0.99201	0.98671	0.43184	0.08597

对电池扩散层和基体载流子浓度的影响所引起的,可以用有效电阻 R_{es} 来表示. 电池负载实际工作状态下的串联电阻可以用明暗特性曲线比较法、二次光照法等来测定. T_1 表示高光强下电池的工作温度, T_2 表示暗特性曲线法测得的电池温度. V_{oc1} 是电池在 x 个太阳下的开路电压, V_o 是正向特性曲线的开路电压.

在 x 个太阳下,晶硅电池的串联电阻 R_s 可用有效串联电阻 R_{es} 代替,由公式(2)和(3)求得^[11]:

$$R_{es} = \frac{V_o - V_{oc1}}{I_{scx}} - \frac{\Delta V_{oc}}{I_{scx}} \quad (2)$$

$$\Delta V_{oc} = (T_1 - T_2) \frac{dV_{oc}}{dT} \quad (3)$$

空间太阳电池是硅基电池中的一种,聚光后其串联电阻的计算方法和常规晶硅电池的计算方法一样.

砷化镓电池的串联电阻可由公式(4)求得^[12]:

$$R_s = \frac{V_{oi} - V_{oc}}{I_{sc}} \quad (4)$$

V_{oi} 是暗场下电池正向电流的大小与光照下电池的短路电流 I_{sc} 相等时的正向电压.

电池的填充因子和效率可由公式(5)和(6)求得:

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad (5)$$

$$\eta = \frac{P_m}{A_t P_{in}} \quad (6)$$

其中 FF 为太阳电池的填充因子; η 为电池效率; P_m 为电池的最大输出功率; A_t 为包含栅线图面积在内的太阳电池面积; P_{in} 为单位面积入射光面积. V_{oc} 和 I_{sc} 分别为太阳电池的开路电压和短路电流. 据上述公式计算得到的数据如表 3 所示.

由表 3 可知,聚光后所有电池阵列的 FF 都变小, P_m 和 R_s 都增加. 因为聚光后,太阳能密度增加,电池中的光生载流子变多,电池的短路电流变大,同时引起电池温度升高, R_s 增加,当 R_s 增加,电池的 FF 降低. 聚光后,前 3 种晶硅电池阵列的 FF 和 η 下降较多,FF 分别下降了 33.62%, 6.92% 和 39.06%; η 分别下降了 5.73%, 6.54% 和 6.61%; 在理论聚光比为 16.92 时,最大功率分别放大了 2.35, 1.46 和 5.02 倍. 砷化镓电池阵列的 FF 由 78.52% 下降到 73.74%, 下降了 4.78%, 叠层砷化镓电池的极限效率可以达到 40% 左右^[13], 本系统采用砷化镓电池阵列聚光后效率增加了 2.84%, 最大输出功率放大了 11.2 倍. 由表 3 可得,在同种聚光

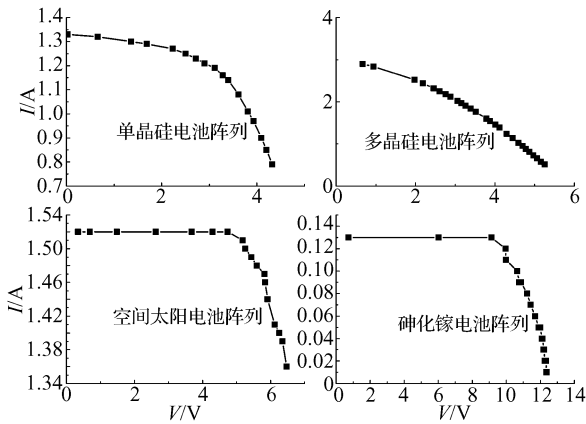


图 2 普通光强下不同类型电池阵列的 $I-V$ 曲线

Fig.2 $I-V$ curve of different cell arrays in common irradiance

条件下,晶硅电池阵列的 R_s 越大,其输出功率会越小,并且 η 会越低.

3.3 不同光强下各种太阳电池阵列的 $I-V$ 曲线

图 2 是各种太阳电池在普通光强下的 $I-V$ 曲线对比图.在不聚光情况下,砷化镓电池阵列的 $I-V$ 曲线最好,多晶硅电池阵列的 $I-V$ 曲线最差.该种多晶硅太阳电池阵列的串联内阻大,在普通光强下其 $I-V$ 曲线都接近直线,输出性能不高,若用在聚光太阳能系统中会影响系统的效率.对于太阳电池,自身的 $I-V$ 曲线越接近矩形,则其 FF 和 η 会越高.因此 FF 和 η 的高低顺序依次是砷化镓电池阵列、空间太阳电池阵列、单晶硅电池阵列、多晶硅电池阵列,与表 2 计算值顺序相符.图 3 为聚光后各种太阳电池阵列的 $I-V$ 曲线对比图.由图可知,晶硅电池阵列的 $I-V$ 曲线都接近直线,而砷化镓电池阵列的 $I-V$ 曲线图形与聚光前比变化不大,仍接近矩形.

太阳电池阵列的 $I-V$ 特性公式为:

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q}{nAKT} (V + IR_s) \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (7)$$

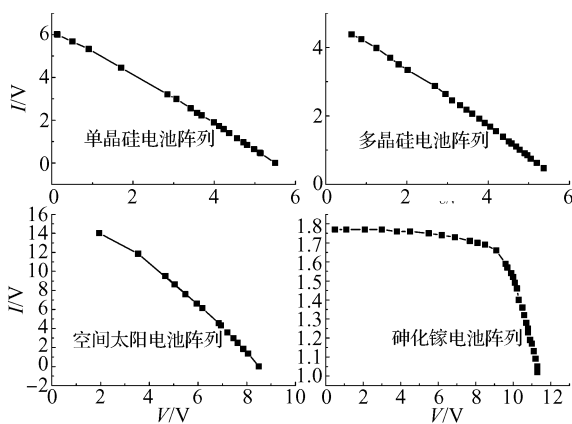


图 3 聚光光强下不同类型电池阵列的 $I-V$ 曲线

Fig.3 $I-V$ curve of different cell arrays in concentrating irradiance

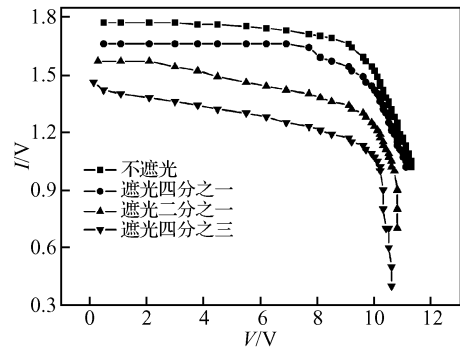


图 4 不同聚光光强下砷化镓电池阵列的 $I-V$ 曲线

Fig.4 $I-V$ curve of GaAs cell array in different irradiance

由(7)式可得电池阵列的输出功率公式为:

$$P_m = \frac{nAKTI}{q} \ln \left(\frac{I_L - I}{I_0} + 1 \right) - I^2 R_s \quad (8)$$

其中 I_L 为光生电流; I_0 为反向饱和电流; I 为负载电流; R_s 为电池的并联电阻; n 为太阳电池串联的片数.由(8)式可知当有大电流通过时,如果电池的串联内阻大,内阻上损失的功率多,则输出功率相应较小.晶硅电池阵列串联内阻大,聚光后其 P_m 上不去,FF 和 η 也急剧下降.另外由于抛物镜面的制造工艺精度和镜面厚度引起光强的不均匀性,对电池阵列的输出特性也有严重影响,为减小光强不均匀性的影响,尽量用自身内阻小和单片面积小的太阳电池.砷化镓电池阵列串联内阻小,其 P_m 、FF 和 η 品质较高.

由图 2 和 3 可知砷化镓电池阵列在聚光前后都保持好的 $I-V$ 特性曲线, I_{sc} 由 0.15A 放大到 1.80A, V_{oc} 由 12.59V 变为 11.50V,略有下降.因为砷化镓材料具有带宽 ($E_g = 1.43\text{eV}$) 与太阳光谱匹配良好、吸收系数大、抗辐射能力强、高温性能好等优点^[14].砷化镓电池在阳光的激发下,其光生载流子属直接跃迁型,相应的吸收系数很大,砷化镓电池阵列的 I_{sc} 会增大.聚光后太阳电池温度升高,而电池的 V_{oc} 随温度的升高而降低,砷化镓电池阵列的 V_{oc} 在聚光后会有所下降.

为较好地开发利用聚光光伏发电系统,需找出聚光后晶硅电池阵列光伏发电系统最佳聚光比,因此,采用遮光方法进行实验研究.由图 4 可知,随着光强的增加,砷化镓电池阵列的 $I-V$ 特性曲线图形始终保持不变, I_{sc} 随着光强的增加逐渐增加,最大功率点逐步升高.

单晶硅电池可以工作在 10~20 倍太阳下,但聚光光伏发电系统中电池阵列由许多单片电池组成,阵列的整体内阻比单片电池的内阻要大,因此研究电池阵列的最佳聚光比具有较高的实用价值.从图 5 和 8 可以看出,在 0.25 倍聚光光强(理论聚光比为 4.23)下,该种单晶硅电池阵列有较好的 $I-V$ 曲线,且在此聚光倍数下,其效率最高,为 5.67%.由图 6 可知,在 0.5 倍聚光光强(理论聚光比为 8.46)下,该种空间太阳电池阵列有较好的输出特性,由图 8 可知空间太阳电池阵列的效率随着光强的增加先增加然后减小,在 0.5 倍聚光光强时达到最大值为 8.66%.

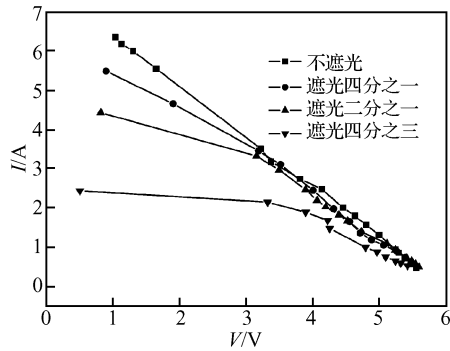


图 5 不同聚光光强下单晶硅电池阵列的 $I-V$ 曲线
Fig.5 $I-V$ curve of single crystalline silicon solar cell array in different irradiance

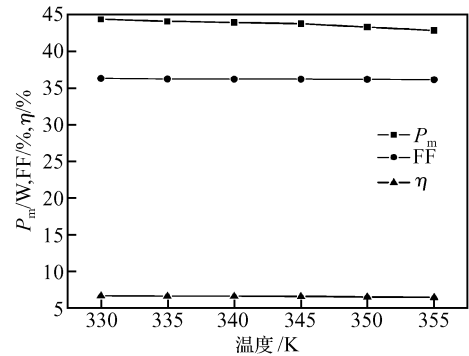


图 9 空间太阳电池阵列的 P_m , FF 和 η 随温度的变化
Fig.9 Change of P_m , FF and η of super cell array at different temperatures

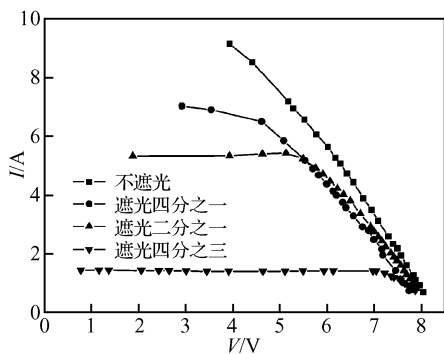


图 6 不同聚光光强下空间太阳电池阵列的 $I-V$ 曲线
Fig.6 $I-V$ curve of super cell array in different irradiance

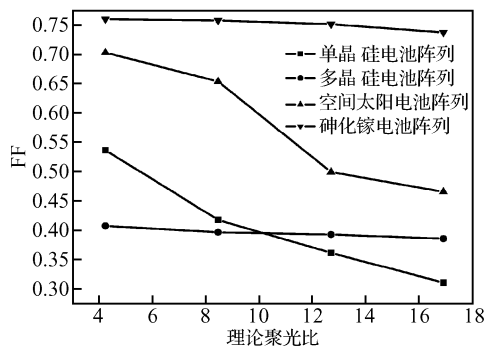


图 7 各种太阳电池阵列的 FF 随理论聚光比的变化
Fig.7 Change of FF of different cell arrays in different theoretic concentrating irradiance

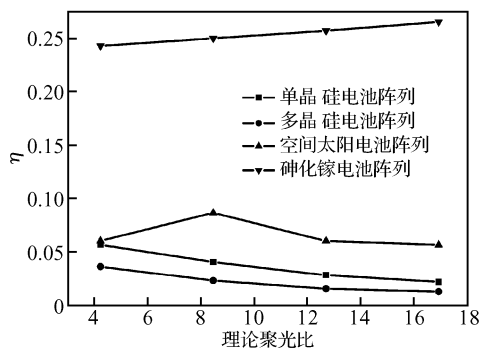


图 8 各种太阳电池阵列的 η 随理论聚光比的变化
Fig.8 Change of η of different cell arrays in different theoretic concentrating irradiance

在该聚光太阳能系统中,10 片单晶硅电池串联阵列最佳工作时的理论聚光比为 4.23;16 片空间太阳电池串联阵列最佳工作时的理论聚光比为 8.46.由图 7 和图 8 可知,砷化镓电池阵列的 FF 随光强的变化不大,且其效率随光强的增加而增加,因此综合性能较好的砷化镓电池阵列是聚光光伏系统最优的选择.

聚光后温度对电池的负面影响很大, V_{oc} , FF 和 η 均有负的温度系数.文献[2,15,16]已对常规晶硅电池在聚光条件下温度的影响作了研究,本文只对空间太阳电池阵列和砷化镓电池阵列进行温度实验.实验结果如图 9 和 10 所示,聚光后,这两种电池的 P_m , FF 和 η 都随着温度升高而减少,空间太阳电池阵列 P_m , FF 和 η 的温度系数分别为 -0.07W/K , $-0.007\%/K$ 和 $-0.01\%/K$;砷化镓电池阵列 P_m , FF 和 η 的温度系数分别为 -0.12W/K , $-0.10\%/K$ 和 $-0.21\%/K$.空间太阳电池用作空间卫星电源系统,其抗高温能力强,输出性能受温度影响小;砷化镓电池阵列的输出性能受温度的影响也不是很大,考虑其有较高效率,在聚光太阳能系统中,砷化镓电池阵列是较好的选择.为了高效率利用太阳能,必须采用换热系数高的工质对太阳电池阵列进行强制对流以提高电效率,并根据工质带来热量的品质进行热能的梯级利用.实验测试表明,采用空间太阳电池阵列后,系统的热效率为 42.03%,由于砷化镓电池阵列是由 5 片串联,并未覆盖整个腔体,只能测得

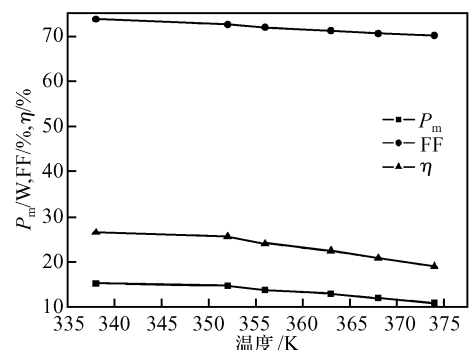


图 10 砷化镓电池阵列的 P_m , FF 和 η 随温度的变化
Fig.10 Change of P_m , FF and η of GaAs cell array at different temperatures

电效率为 26.50%, 但是其内腔体和太空电池阵列的内腔体一样, 测试条件也相同, 若忽略两种电池导热系数的差别, 则采用砷化镓电池阵列的太阳能聚光系统的太阳能利用效率可达到 68.53% 左右。

4 结论

(1) 基于槽式聚光太阳能系统, 对单晶硅电池阵列、多晶硅电池阵列、空间太阳能电池阵列、砷化镓电池阵列进行测试实验并分析, 得知砷化镓电池阵列是理想的聚光光伏发电电池阵列; 对电池阵列在不同光强下的研究表明, 低倍聚光光伏发电系统中, 可以采用单晶硅电池阵列和空间太阳能电池阵列。

(2) 串联内阻的影响是聚光光伏发电系统的一大障碍, 常规单片电池可以工作在 10~20 倍的太阳下, 10 片单晶硅电池串联后却只能工作在 4.23 倍的太阳下, 再加上光强不均匀性的影响, 因此在大规模聚光光伏发电系统中必须用自身内阻小和单片面积小的电池。

(3) 在聚光光伏发电系统中, 温度对电池的输出特性影响巨大, 采用强制冷却的方式保证电池效率的同时又对外供热。采用砷化镓电池阵列后系统太阳能的利用率达到 68.53% 左右, 做到了高效合理的利用太阳能。

(4) 本实验通过对电池阵列在聚光后的特性研究, 分析输出功率和效率的影响因素。研究工作对槽式聚光系统进一步优化提供依据, 为聚光光伏发电提供较好的科学依据和参考。

致谢 本项目研究工作中, 得到可再生能源材料先进技术与制备教育部重点实验室、云南省“十一五”重点学科、云南师范大学创新团队等的帮助, 在此表示感谢。

参考文献

- [1] Ning Duo. Developments of parabolic trough for solar energy system. *Actas Energy Solaris Sinica*, 2003, 24(5): 616 (in Chinese) [宁铎. 折面形抛物柱太阳能聚光器的研制. *太阳能学报*, 2003, 24(5): 616]
- [2] Huang Guohua, Shi Yuchuan, Yang Hong, et al. The performance of conventional crystalline silicon solar cells with low concentra-
- tor. *Actas Energy Solaris Sinica*, 2006, 27(1): 19 (in Chinese) [黄国华, 施玉川, 杨宏, 等. 常规太阳能电池聚光特性实验. *太阳能学报*, 2006, 27(1): 19]
- [3] Hendrie S D. Photovoltaic/thermal collector development program: Final Report MIT. New York: Lincoln Laboratory, 1982
- [4] Russell T, Beall J, Loferski J J, et al. Combined photovoltaic/thermal collector panels of improved design. *Proceedings of IEEE Photovoltaic Specialist Conference*, 1981
- [5] Zondag H A, Devries D W, van Helden W G J. The yield of different combined PV-thermal collector designs. *Solar Energy*, 2003, 74: 253
- [6] Sandnes B, Pekstad J. A photovoltaic/thermal (PV/T) collector with polymer absorber plate, experimental and analytical model. *Solar Energy*, 2002, 72: 63
- [7] Bengene T, Lovvik O. Model calculation on a flat-plate solar heat collector with integrated solar cells. *Solar Energy*, 1995, 55: 453
- [8] Tripanagnostopoulos Y, Nouis T, Soulists M. Hybrid photovoltaic/thermal solar systems. *Solar Energy*, 2000, 72: 217
- [9] Coventry J. Performance of concentrating photovoltaic/thermal solar collector. *Solar Energy*, 2005, 78: 211
- [10] EL-Adwi M K, Al-Nuaim I A. A method to determine the solar cell series resistance from a single *I-V* characteristic curve considering its shunt resistance; new approach. *Vacuum*, 2001, 64 (1): 33
- [11] Zhao Fuxin, Wei Yanzhang. *Solar cell and application*. Beijing: National Defence Industry Press, 1985: 327 (in Chinese) [赵富鑫, 魏言章. 太阳能电池及其应用. 北京: 国防工业出版社, 1985: 327]
- [12] Rohatgi A, Davis J R, Hopkine R H, et al. Effect of titanium, copper and iron on silicon solar cells. *Solid State Electron*, 1980, 23: 415
- [13] Zahler M, Morral F I, Ahn C G, et al. Wafer bonding and layer transfer processes for high efficiency solar cells. *NCPV and Solar Program Review Meeting*, 2003: 723
- [14] Li Biao, Xiang Xianbi, You Zhipu, et al. High efficiency $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ solar cell: fabrication, irradiation and annealing effect. *Chinese Journal of Semiconductors*, 1995, 16(10): 741 (in Chinese) [李标, 向贤碧, 游志朴, 等. 高效 AlGaAs/GaAs 太阳能电池的研制及辐照效应. *半导体学报*, 1995, 16(10): 741]
- [15] Wu Yuting, Zhu Hongye, Ren Jianxun, et al. Study of the thermal and power characteristics of solar cells in concentration. *Acta Energy Solaris Sinica*, 2004, 25(3): 337 (in Chinese) [吴玉庭, 朱宏晔, 任建勋, 等. 聚光条件下太阳能电池的热电特性分析. *太阳能学报*, 2004, 25(3): 337]
- [16] Yuan Jinshe. Applications of conventional silicon cells with solar booster. *Acta Energy Solaris Sinica*, 2003, 24(2): 253 (in Chinese) [苑进社. 常规晶硅太阳能电池在低倍聚光条件下应用研究. *太阳能学报*, 2003, 24(2): 253]

Experimental Study on Solar Cell Arrays of Trough Concentrating Solar System^{*}

Xu Yongfeng¹, Li Ming^{1,2,†}, Wang Liuling¹, He Jianhua¹, Zhang Xinghua¹,
Wang Yunfeng¹, and Xiang Ming¹

(1 School of Physics and Electronic Information, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China)

(2 Solar Energy Research Institute, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China)

Abstract: A series experiment works have been done with single crystalline silicon solar cell array, polysilicon solar cell array, super cell array and GaAs cell array through the trough concentrating solar system. The experimental results show that the I - V curve of the crystalline silicon, polysilicon and super cell arrays are beeline in the concentrating solar irradiance, which reduce the efficiency and decrease the output power. However the I - V curve of GaAs cell array is very good in the concentrating solar irradiance, the efficiency of GaAs cell array increases from 23.66% to 26.50%, and the output of GaAs magnifies 12 times. So it is considerable to improve the efficiency if the GaAs cell has been adopted in the concentrating PV system. The temperature coefficients of P_m , FF and η of GaAs cell array are -0.12W/K , $-0.10\%/K$, and $-0.21\%/K$. In order to keep better efficiency, the forced cooling must be applied. At the same time, the quantity of heat can be recovered for using. All those work are benefits to further study in improving the efficiency of trough concentrating solar system and cosmically making use of concentrating PV system.

Key words: concentrating solar system; output power; fill factor; temperature coefficient

EEACC: 8230G; 8250; 8420

Article ID: 0253-4177(2008)12-2421-06

^{*} Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China (No. 2006AA05Z410), the Earlier Special Research Program of the State Key Development Program for Basic Research of China (No. 2007CB216405), the Key Program of the Natural Science Foundation of Yunnan Province (Nos. 2007C0016Z, 2005E0031M), and the Foundation of the Chinese Ministry of Education for Returned Scholars

[†] Corresponding author. Email: lmdocyn@public.km.yn.cn

Received 14 June 2008, revised manuscript received 15 July 2008

©2008 Chinese Institute of Electronics