

Proceedings of the 11th China Solar Photovoltaic Conference and Exhibition

# 第十一届中国光伏大会暨展览会

# 会议论文集

(下册)

魏启东 袁竹林 主编



东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

# 第十一届中国光伏大会暨展览会 会议论文集

(下册)

魏启东 袁竹林 主编

东南大学出版社  
·南京·

## 内 容 提 要

本论文集收录了第十一届中国光伏大会论文 330 篇,内容涵盖了高纯度多晶硅材料、多晶硅和单晶硅电池、薄膜电池、新型电池和组件、生产设备、辅助材料、系统集成及政策法规等。论文全面反映了我国光伏产业的发展、技术进步和最新成果。本论文集突出了“低碳减排、抓住机遇、发展光伏、引领未来”的主题,不仅指导我国光伏产业的发展,同时可供管理人员、科研人员、工程技术人员、教育工作者和相关人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

第十一届中国光伏大会暨展览会会议论文集/魏启东,袁竹林主编. -- 南京:东南大学出版社,2010.10  
ISBN 978-7-5641-2474-8

I. ①第… II. ①魏… ②袁… III. ①太阳能发电—  
电力工业—经济发展—中国—文集 IV. ①F426.61-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 198081 号

### 第十一届中国光伏大会暨展览会会议论文集(上、下册)

---

出版发行 东南大学出版社  
出 版 人 江 汉  
网 址 <http://www.seupress.com>  
电子邮箱 [press@seu.edu.cn](mailto:press@seu.edu.cn)  
社 址 南京市四牌楼 2 号  
邮 编 210096  
电 话 025-83793191(发行) 025-57711295(传真)  
经 销 全国各地新华书店  
印 刷 江苏凤凰盐城印刷有限公司  
开 本 889mm×1194mm 1/16  
印 张 96  
字 数 2 960 千  
版 次 2010 年 10 月第 1 版  
印 次 2010 年 10 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5641-2474-8  
定 价 398.00 元(上、下册)

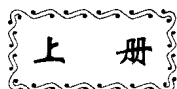
---

本社图书若有印装质量问题,请直接与读者服务部联系。电话(传真):025-83792328

低碳减排 抓住机遇

发展光伏 引领未来

## 目 录



## 主题报告

走可持续发展之路——博弈时代的光伏产业创新之道 .....	施正荣( 3 )
我国光伏产业发展现状及前景思考 .....	赵玉文( 8 )
太阳级多晶硅材料技术概况 .....	杨德仁等( 13 )
HIGH EFFICIENCY c-Si CELL TECHNOLOGY DEVELOPMENT IN RESEARCH AND PRODUCTION .....	Zhao Jianhua et al.( 18 )
薄膜电池技术现状与发展趋势 .....	赵 颖等( 22 )
光伏系统技术及发展趋势 .....	徐永邦等( 29 )
新型太阳能电池与光伏技术 .....	沈文忠等( 36 )
中国光伏发电平价上网发展路线图探讨 .....	李俊峰等( 49 )
高质量是光伏行业健康发展之本 .....	高纪凡( 61 )
聚光光伏光热技术进展 .....	张耀明( 64 )

## 第一部分 晶硅材料、晶硅太阳能电池

磁场对硅太阳能电池基体材料杂质的能级调控及其对转换效率的影响 .....	孙 煜等( 69 )
太阳能电池制备中高填充因子的实现及控制 .....	汤叶华等( 72 )
双层 PECVD 氮化硅膜晶体硅太阳能电池 .....	屈 盛等( 76 )
硅烷氨气比对 PECVD 氮化硅薄膜性能的影响 .....	屈 盛等( 81 )
单晶硅太阳能电池表面织构的正交实验验证 .....	王立娟等( 84 )
硅太阳能电池铝背场(BSF)常见问题探讨 .....	付 明等( 88 )
晶体硅太阳能电池正面栅线银浆研究 .....	丁 骁等( 92 )
太阳能用晶体硅中铁杂质及其磷吸杂研究 .....	朱笑东等( 97 )
低表面掺杂浓度高效晶体硅太阳能电池研究 .....	郝子龙等( 101 )
研究丝网制版方式对晶体硅太阳能电池的影响 .....	蔡希松等( 104 )
晶体硅电池的氧化硅-氮化硅双层薄膜特性研究 .....	冯 鑫等( 107 )
一种优化的多晶硅扩散工艺 .....	李钟华等( 109 )
晶体硅电池的非晶硅薄膜钝化特性研究 .....	李钟华等( 112 )
不同电阻率太阳能电池制作工艺探索及电性能研究 .....	屈 莹等( 114 )
烧结炉网带对太阳能电池片性能的影响 .....	黎慧华等( 118 )
激光技术和喷墨打印技术在高效晶体硅电池上的应用 .....	刘金宁等( 121 )
关于 ASYS 印刷线产能提升的改进措施 .....	季九江等( 125 )

高粘度太阳能电池正面银浆的研制 .....	王海艳等(128)
温度对多晶酸制绒的影响 .....	何 焱等(131)
对太阳能电池背电极的研究 .....	吴 昊等(134)
利用腐蚀阻挡层方法制作选择性发射极太阳能电池的研究 .....	宋 佳等(137)
单晶硅太阳能电池的背场钝化技术研究 .....	朱丹庆等(140)
晶体硅太阳电池的暗电流类型分析 .....	黄 洁等(144)
丝网印刷生产选择性发射极太阳电池的关键问题 .....	吴 坚等(149)
晶体硅电池表面钝化技术进展 .....	朱彦斌等(153)
湿化学腐蚀法制备选择性发射极太阳电池 .....	曾 飞等(157)
太阳电池精确分选问题及解决方法 .....	王国峰等(161)
太阳电池用单晶硅片一次缺陷及二次缺陷浅谈 .....	孙世龙等(166)
多晶硅太阳电池制绒过程的质量控制 .....	覃榆森等(170)
用于高效太阳电池的链式氧化工艺探索 .....	唐 宁等(174)
AZO 膜制备工艺对 AZO/Ag/AZO 复合膜光电性能的影响 .....	王淑珍等(178)
19.1% EFFICIENCY ON n-TYPE CZOCHRALSKI SILICON SOLAR CELLS .....	Yang Hui et al.(183)
偏置白光对太阳电池外量子效率测试的影响 .....	马 逊等(187)
纳米柱状 SiO <sub>2</sub> 减反射膜的模拟计算及其制备研究 .....	张 磊等(190)
晶体硅表面的碘酒/乙醇溶液钝化 .....	王 朋等(195)
Forming Gas 退火对太阳电池性能的影响分析 .....	李海玲等(198)
RIE 制绒在多晶高效太阳能电池中的应用分析 .....	陈 亮等(202)
低衰减太阳电池硅单晶的各种制备方法比较 .....	陈 雪等(206)
多晶 RIE 制绒工艺与高方阻工艺结合的应用前景与产业化分析 .....	盛 健等(210)
THE EFFECT OF FINE-GRAIN IN THE mc-Si SOLAR CELL MANUFACTURING .....	Li Zhiwei et al.(215)
高效低成本 SE 单晶电池的研究 .....	许 艳等(222)
高折射率对晶体硅太阳能电池电性能的影响 .....	巢芳家等(225)
太阳能电池减反射膜的工艺研究 .....	徐华浦等(229)
EWT 硅太阳电池背面 pn 区域界定的几种实现方法 .....	赵恒利等(232)
PLASMA IMMERSION ION IMPLANTATION TREATMENT ON CRYSTALLINE SILICON AND AMORPHOUS SILICON SOLAR CELLS .....	H. C. Sun et al.(236)
晶体硅太阳电池前电极中的光诱导电镀方法的分析 .....	陈奕峰等(240)
新型表面活性剂在单晶硅太阳电池制绒工艺中的应用 .....	张 简(245)
晶体硅太阳能电池生产厂房设计/施工要点 .....	徐湘华等(250)
银纳米颗粒减反射特性的理论研究 .....	韩 涛等(256)
磷吸杂对多晶硅片性能的影响 .....	朱敏杰等(261)
以 SiN <sub>x</sub> 为扩散阻挡层的选择性发射极电池技术 .....	季根华等(265)
正极银浆对高方阻浅结单晶硅太阳电池的影响 .....	朱敏杰等(269)
156 mm×156 mm 大面积多晶硅双面电池的制备及其电学性能 .....	张高洁等(272)
超纯氨杂质分析 .....	谭 云等(277)
硅块表面抛光对切割良率及碎片率的影响 .....	张存新等(279)
铸锭多晶硅底部低少子寿命区域的研究 .....	刘林艳等(282)
铸锭过程中硅液溢流分析及防溢流堵漏剂的开发 .....	胡动力等(285)

光诱导电镀选择性发射极多晶硅太阳能电池花片原因及改善 .....	李 涛等 (289)
西门子法多晶硅绿色生产工艺 .....	吴 锋等 (295)
多晶硅还原沉积优化研究 .....	陈其国 (299)
高效多晶硅太阳能电池的表面织构 .....	石建伟等 (303)
TBA 制作单晶硅小绒面研究 .....	林荣超等 (308)
背面钝化的晶体硅太阳能电池关键理论和工艺 .....	陈达明等 (314)
TCOS 高转换效率的太阳能光伏电池技术 .....	石熙熙等 (321)
HIT 电池表面钝化技术的研究 .....	陈肖静等 (325)
晶体硅太阳能电池 PECVD 工艺研究 .....	刘志平等 (329)
高方块电阻发射结对 M156 电池性能的影响 .....	钱 峰等 (335)
TMAH 织构在硅异质结太阳能电池中的应用 .....	周玉琴等 (340)
多晶硅太阳能电池表面“暗纹”及其对太阳电池性能的影响 .....	曹育红等 (344)
加热光照对晶体硅太阳能电池光衰性能的影响 .....	董 仲等 (349)
应用于薄膜硅/晶体硅异质结电池中 $\text{Na}_3\text{PO}_4$ 织构的研究 .....	周玉琴等 (355)
太阳能级多晶硅材料发展势态 .....	昌金铭等 (359)
太阳能电池电性能异常分析 .....	郭建东 (364)
制作高效电池中的扩散工艺探讨 .....	陈 琼等 (368)

## 第二部分 硅基薄膜太阳能电池

低成本硅薄膜太阳能电池制造技术研究 .....	耿新华等 (375)
微晶硅薄膜甚高频高速沉积初期的生长控制 .....	陈永生等 (379)
p 层带隙对微晶硅太阳能电池性能的影响 .....	刘石勇等 (383)
2 nm/s 高速微晶硅材料及其在单室电池中的应用 .....	李 杨等 (388)
界面相对微晶硅太阳能电池性能影响的研究 .....	彭文博等 (393)
RF-PECVD 法制备微晶硅籽晶层的研究 .....	靳 果等 (398)
单室沉积高效微晶硅基薄膜太阳能电池的研究 .....	张晓丹等 (402)
等离子体增强化学气相沉积微晶硅薄膜的气相反应模拟 .....	何宝华等 (408)
单室沉积 pin 型全硅三叠层薄膜太阳能电池的研究 .....	郑新霞等 (414)
准单晶硅薄膜的制备与太阳能电池研究 .....	沈鸿烈等 (418)
p 型微晶硅的研究及其在柔性衬底太阳能电池中的应用 .....	胡居涛等 (423)
射频激发热丝化学气相沉积制备硅薄膜过程中光发射谱的研究 .....	李天微等 (428)
RF-PECVD 法制备非晶硅薄膜的耗尽模式研究 .....	唐道远等 (433)
不同氢气分压下氢化非晶硅薄膜的制备与表征 .....	赵青南等 (436)
利用四极杆质谱监测硅薄膜沉积过程中的硅烷利用率 .....	许盛之等 (443)
INFRARED SPECTRA OF SILICON—HYDROGEN BONDS IN HYDROGENATED AMORPHOUS SILICON THIN FILM .....	Dou Yanan et al. (447)
射频频率对 p 型氢化非晶硅薄膜性能的影响 .....	袁文辉等 (451)
n 型微晶硅氧薄膜在非晶硅太阳能电池中的应用 .....	岳 强等 (456)
电化学钝化治疗硅基薄膜太阳能电池缺陷的研究 .....	刘 成等 (460)
PERFORMANCE OF HYDROGENATED AMORPHOUS SILICON SOLAR CELLS DEPOSITED ON TEXTURED ZINC OXIDE WITH DIFFERENT RMS ROUGHNESSES .....	Zhang Liping et al. (464)



柔性非晶硅/微晶硅叠层太阳能电池技术研究·····	周丽华等( 469 )
柔性衬底非晶硅薄膜太阳能电池 i/p 界面的研究 ·····	陶 科等( 473 )
柔性衬底非晶硅太阳能电池中 Ag/ZnO 背反射电极的研究 ·····	刘 成等( 477 )
柔性衬底硅基薄膜太阳能电池的研究 ·····	蔡宏琨等( 482 )
柔性衬底非晶硅/微晶硅叠层太阳能电池隧穿复合结研究·····	姚文杰等( 486 )
柔性硅基薄膜太阳能电池 1 MeV 电子辐照特性研究 ·····	周丽华等( 490 )
PET 塑料衬底上低温制备硅基薄膜太阳能电池 ·····	倪 华等( 495 )
柔性薄膜太阳能电池非晶硅层的激光刻蚀研究 ·····	马宁华等( 499 )
MOCVD 技术柔性衬底上生长绒面 ZnO-TCO 薄膜及其薄膜太阳能电池应用研究 ·····	林 泉等( 503 )
RF-PECVD 法制备柔性衬底非晶硅锗薄膜太阳能电池 ·····	杨君坤等( 507 )
大面积喷淋式电极 VHF-PECVD 反应室等离子体模拟·····	葛 洪等( 512 )
批量生产的微晶硅薄膜沉积技术: 一室多片、高均匀度和微晶成分可调 ·····	何祝兵等( 518 )
PERFORMANCE EVALUATION OF A DOUBLE PANE WINDOW INTEGRATED WITH SEE-THROUGH a-Si PV CELLS IN SUBTROPICAL HONG KONG ·····	Han Jun et al. ( 523 )
非晶硅薄膜太阳能电池温度系数的测试与研究 ·····	何凤琴等( 528 )
反应气体流量对大面积 p 型微晶硅窗口层材料性能的影响 ·····	任慧志等( 532 )
薄膜太阳能电池用 TCO 薄膜制造技术特性研究 ·····	陈新亮等( 536 )
太阳能电池用透明导电 AZO 薄膜室温生长及其性能研究 ·····	王钰萍等( 541 )
冰乙酸对超声喷雾热分解法制备 ZnO:In 影响 ·····	焦宝臣等( 545 )
TCO 镀膜玻璃及其光伏应用技术 ·····	刘志斌等( 551 )
水热法制备 ZnO 透明导电薄膜及特性研究 ·····	王业勤等( 556 )
氢气对脉冲磁控溅射掺铝氧化锌薄膜性能的影响 ·····	李林娜等( 561 )
基于提高太阳能电池效率的光管理研究 ·····	张晓丹等( 566 )
n 型氢化微晶硅氧中间反射层的初步研究 ·····	岳 强等( 572 )
MOCVD-ZnO 中间层在非晶硅/微晶硅叠层电池中的应用 ·····	樊正海等( 576 )
电流失配对多结硅薄膜太阳能电池性能的影响 ·····	张 鹤等( 580 )
降低表面等离子激元在薄膜电池中引入寄生损失的途径研究 ·····	黄 茜等( 586 )
STRESS EFFECT STUDY OF SILICON QUANTUM DOT IN SILICON RICH CARBIDE (SiC <sub>x</sub> ) FILM BY RAMAN MEASUREMENT FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATION ·····	Wan Zhenyu et al. ( 590 )
多晶硅薄膜电池的二维模型结构模拟 ·····	王 烁等( 595 )
功率梯度法制备微晶硅锗太阳能电池 ·····	曹 宇等( 600 )
脉冲放电法制备硅微球的机理及试验研究 ·····	洪 捐等( 604 )
以 n 型硅为衬底的异质结太阳能电池优化设计的数值模拟 ·····	赵会娟等( 610 )
n 型晶体硅/p 型非晶硅异质结太阳能电池的研制 ·····	柳 琴等( 614 )
不同衬底对 HWCVD 制备多晶硅薄膜结晶性能的影响·····	张 磊等( 618 )
氢等离子处理衬底上硼掺杂微晶硅薄膜的椭圆光谱分析 ·····	李新利等( 622 )
纳米晶硅薄膜材料的技术发展 ·····	吴大维等( 628 )
ITO/AZO 透明导电薄膜制备及在太阳能电池中的应用 ·····	王 超等( 633 )
电子束沉积 In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 基 W、Mo 共掺薄膜及其特性研究 ·····	任世荣等( 638 )
纳米 Ag 颗粒表面高能电场对硅基薄膜拉曼散射信号的增强效应研究 ·····	黄 茜等( 642 )
直流磁控溅射 ZnO:Ga 薄膜的性能研究 ·····	谢 轲等( 646 )
热处理对 ZnO:Ga 薄膜性能的影响 ·····	宋玲彦等( 651 )

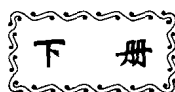


超声喷雾法制备大面积绒面  $\text{SnO}_2:\text{F}$  薄膜及特性的研究 ..... 赵庚申等(655)

### 第三部分 化合物半导体电池及新型电池(含染料敏化电池和聚光电池)

#### HIGH EFFICIENCY POLYMER SOLAR CELLS TECHNOLOGIES

- ..... Mabrouk J. Abdrhaman(663)
- 菲涅耳透镜点聚焦的太阳能电池的性能研究 ..... 黄护林等(666)
- X 射线光电子谱方法研究  $\text{CdTe}/\text{CdS}$  异质结界面 ..... 韩俊峰等(670)
- 化学水浴法制备 CIGS 薄膜太阳电池缓冲层  $\text{CdS}$  薄膜的研究 ..... 曹章秩等(674)
- 高转换效率  $\text{CdTe}$  薄膜太阳能电池研究和制备 ..... 白治中等(679)
- 铜铟镓硒薄膜太阳电池光学特性研究 ..... 钱峰伟等(685)
- 原位拉曼研究染料敏化太阳能电池  $\text{TiO}_2$  电极吸附染料的降解 ..... 吴昆杰等(690)
- $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$  薄膜材料织构取向及其对电池性能的影响 ..... 徐传明等(696)
- 多孔纳米  $\text{TiO}_2$  薄膜的制备及其光催化活性 ..... 那日苏等(700)
- 前电极结构对  $\text{CdTe}$  薄膜太阳电池稳定性的影响 ..... 汪 灵等(704)
- 纳米硅薄膜的特殊性能及其应用前景 ..... 何宇亮等(708)
- PET/ITO/ $\text{ZnO}$  薄膜的制备及其性能研究 ..... 张 兴等(713)
- 用颗粒  $\text{CdTe}$  制备大面积薄膜及其太阳电池性质的研究 ..... 黄 征等(717)
- 硅基黄铜矿类半导体异质结太阳能电池结构及 AMPS-1D 模拟 ..... 吴 坚等(720)
- 基于 MIS 系统对有机太阳电池中  $\text{LiF}$  阴极修饰层机理的分析以及最优厚度的控制 ..... 席 曦等(726)
- 掺杂对  $\text{CdS}$  多晶薄膜电学性能影响 ..... 曾广根等(731)



- 晶体硅光伏聚光电池性能特性 ..... 舒碧芬等(735)
- $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}(x=0.4)$  多晶薄膜的制备及其性能研究 ..... 狄 霞等(740)
- 氧化锌薄膜的制备、表征及其碲化镉薄膜太阳电池应用 ..... 王 波等(743)
- $\text{CuInSe}_2(112)$  表面结构的研究 ..... 尹 博等(747)
- 三结  $\text{GaAsP}/\text{GaAs}/\text{Ge}$  量子阱太阳能电池的研究 ..... 娄朝刚等(752)
- 快速热处理对电沉积 CIGS 预置层薄膜结构的影响 ..... 张 超等(755)
- Fe 对柔性不锈钢衬底上沉积铜铟镓硒薄膜电池的影响 ..... 李博研等(760)
- 金属 Ni 在铜铟镓硒薄膜太阳电池中阻挡作用研究 ..... 张 毅等(765)
- 掺钠工艺对聚酰亚胺衬底  $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$  薄膜特性的影响 ..... 何静婧等(769)
- 纳米颗粒非真空方法制备 CIGS 薄膜电池的研究进展 ..... 李光旻等(772)
- $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$  太阳电池中 Ga 含量梯度分布的研究 ..... 刘芳芳等(777)
- 低温生长  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  薄膜太阳电池主要复合路径分析 ..... 刘 玮等(781)
- 衬底温度对  $\text{Ga}_2\text{Se}_3$  化合物薄膜的成分及结构的影响 ..... 王 赫等(785)
- 磁控溅射 ZAO 薄膜的磁场研究 ..... 宋瑞良等(789)
- $\text{NiTe}_x$  化合物的制备 ..... 王文武等(793)
- $\text{GaSb}$  薄膜特性的研究 ..... 阮建明等(797)
- $\text{Cu}_2\text{Te}$  薄膜的制备及其性质的研究 ..... 谢晗科等(801)

PECVD 生长硅纳米线太阳能电池 .....	谢小兵等 (805)
CIGS 薄膜太阳能电池的干法制备及光电特性 .....	夏存军等 (809)
Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> 薄膜及 Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> /SnS 异质结电池的制备研究 .....	高超等 (814)
$\beta$ -FeSi <sub>2</sub> /c-Si 异质结太阳电池的计算机模拟 .....	袁吉仁等 (818)
两步法制备太阳能电池吸收层材料 SnS 薄膜的研究 .....	江丰等 (822)
热丝 CVD 制备纳米晶 SiC 薄膜及其在太阳能电池中的应用 .....	吴天如等 (826)
EFFECTS OF DEPOSITION PARAMETERS ON MICROSTRUCTURE PROPERTIES OF Cu(In,Ga)Se <sub>2</sub> FILMS PREPARED BY CO-EVAPORATION PROCESS .....	Huang Chiahua et al. (832)
低倍聚光条件下常规单晶硅电池发射极电阻的数值分析 .....	葛文君等 (838)
THE HIGH EFFICIENT LASER DOPING SOLAR CELL .....	Y. -Y. Chen et al. (842)
Cu 衬底上化学水浴法生长 In <sub>2</sub> S <sub>3</sub> 制备 CuInS <sub>2</sub> 薄膜 .....	盛夏等 (846)
铋化铝太阳电池研究进展 .....	冯良桓等 (849)
添加剂在离子液体电解质体系中的作用机理研究 .....	蔡墨朗等 (855)
染料敏化太阳电池最新研究和产业进展 .....	戴松元等 (859)
Cu(In, Ga)Se <sub>2</sub> 薄膜太阳电池低成本新技术的进展 .....	敖建平 (866)
不同结构的大面积染料敏化太阳电池的研究 .....	肖尚锋等 (871)
CBD 硫化铟薄膜后补铜制备 CuInS <sub>2</sub> 薄膜 .....	陈官璧等 (874)
晶化硅纳米棒的定向生长及在有机-无机太阳电池中的应用 .....	郭万武等 (877)
TiCl <sub>4</sub> 水解法制备的阻挡层对 DSSC 光电性能的影响 .....	陈东坡等 (881)
掺杂 PEDOT:PSS 对聚合物太阳电池性能的影响 .....	郝志红等 (886)
柔性染料敏化太阳电池的初步研究 .....	纪伟伟等 (891)
纳米 ZnO 形貌调整及在染料敏化电池上的应用 .....	刘岩等 (896)
宽光谱吸收上转换材料的合成及其在太阳电池中的应用 .....	王东丰等 (901)
纳米 Ag 颗粒表面等离子激元对 np 隧穿结电阻特性的影响研究 .....	黄茜等 (906)
CdTe 薄膜太阳电池背接触层的理论模拟及设计 .....	武莉莉等 (910)
聚光条件下非均匀照射对太阳电池性能影响的研究现状 .....	梁齐兵等 (914)
基于 AFORS-HET 的高效异质结太阳电池的模拟 .....	汪礼胜等 (919)
染料敏化太阳电池高效敏化剂的研究与开发 .....	张宪玺等 (925)
超过 30% 光电转换效率应变平衡量子阱结构 GaInP/GaInAs/Ge 三结太阳电池 .....	高伟等 (930)
离子液晶电解质在染料敏化太阳电池中的应用 .....	王猛等 (933)
单源共蒸发制备 CuInS <sub>2</sub> 薄膜 XRD 分析 .....	谢俊叶等 (939)

#### 第四部分 光伏组件、制造设备及辅料

旁路二极管热性能测试以及其结果不确定度分析 .....	武耀忠等 (945)
某些“免洗”原生多晶硅料需再酸洗之谜 .....	曾世铭等 (949)
基于虚拟仪器的聚光型硅基太阳电池组件性能测试系统 .....	张继彬等 (953)
太阳电池组件 I-V 特性曲线的测试 .....	孔凡建 (958)
晶体硅旧组件性能与衰减原因分析 .....	郑海兴等 (966)
户外正常使用 23 年晶体硅旧组件的材料分析 .....	董娴等 (971)
晶体硅光伏组件用 EVA 胶膜的阻水性对组件性能的影响 .....	冯前名等 (977)
18 英寸直拉硅单晶炉热场的数值模拟 .....	叶淑娅等 (980)

SiC 切割能力的表征及与多线切割的相关性研究 .....	张 华等(984)
单晶炉热场设计与优化 .....	张志强等(987)
晶体硅太阳能电池电性能参数不匹配对功率输出损耗分析 .....	张 臻等(992)
多晶铸锭质量的分布特点 .....	李毕武等(996)
多线切割硅片损伤层研究 .....	陈志军等(1000)
多线切割砂浆密度变化规律及其主要影响因素研究 .....	陈志军等(1003)
多线切割用砂浆悬浮机理研究 .....	陈志军等(1006)
光伏组件热斑效应的研究 .....	高晓妮等(1010)
基于 VB 模拟平台的 BIPV 光伏电池在低辐射条件下的性能模拟与分析 .....	丁 宽等(1014)
直拉单晶炉的热场节能改造 .....	张晓洪等(1019)
切割液在带锯开方的应用及性能研究 .....	刘焕焕等(1022)
切削液性能的表征及在多线切割中的相关性研究 .....	张 华等(1025)
砂浆 pH 对硅片切割性能的研究 .....	冯 萍等(1028)
磨削砂轮对提高晶棒表面质量的探讨 .....	卜辉静等(1031)
THE RESEARCH OF PHOTOVOLTAIC CELL DESIGN TO REDUCE THE MODULE ENCAPSULATION LOSS .....	Liu Yafeng(1036)
直拉单晶硅中氧含量与热场结构关系初探 .....	王 伟等(1042)
隐裂电池片在标准测试后的变化的分析 .....	李 娜等(1044)
关于实验室程控绝缘电阻测试仪的期间核查研究 .....	赵长瑞等(1049)
用标准组件评估电子负载测试范围的方法研究 .....	朱雪梅等(1052)
多晶晶锭不同位置对应硅片的质量及电池效益的研究和改善 .....	贺 洁等(1058)
掺镓单晶硅光伏组件长期光致衰减跟踪测试 .....	张光春等(1064)
不同结构太阳能电池背板的比较研究 .....	李 氏(1070)
太阳能玻璃压花结构设计的研究 .....	窦如凤(1074)
一种用 DSC 来测定 EVA 交联度的方法研究 .....	彭丽霞等(1079)
背板失效与 PET 结晶度的关系 .....	唐 景等(1082)
一种屋顶光伏电站快速安装太阳能组件的研制 .....	尉元杰等(1085)
太阳能电池组件封装损失的研究 .....	王 祺等(1088)
太阳能电池组件返修时除去背膜方法的研究 .....	张 明等(1093)
温度对砂浆性能及切片良率影响的研究 .....	张 华等(1098)
硅原料检测仪的开发研究 .....	王财喜等(1101)
一种提高多晶铸锭质量新方法 .....	李毕武等(1103)
低损耗光伏组件性能测试 .....	刘祖明等(1106)
焊带电阻对组件封装功率损失的影响 .....	董 仲等(1109)
低压化学气相沉积(LPCVD)系统用 DEZ 的分析 .....	裴 凯等(1114)
480 kg 铸锭工艺的研究 .....	王沛涛等(1118)
基于 ANSYS 的光伏组件结构设计研究 .....	付传国等(1122)

## 第五部分 光伏系统、平衡部件及并网工程

基于 LabVIEW 的太阳能光伏发电系统监测平台的设计与实现 .....	李光涛等(1129)
智能光伏电池组件 .....	叶明宝等(1133)
屋顶并网光伏发电系统设计实践 .....	鲍仁强等(1137)

中大功率组合型逆变器的优势 .....	时 剑等(1141)
基于 DSP+FPGA 的单相 Z 源型光伏并网逆变器的研究 .....	赵 耀等(1144)
10 kW 建筑一体化屋顶 PV 发电系统的研制 .....	赵春江等(1149)
光伏建筑一体化存在的问题和解决办法探讨 .....	李世民(1153)
太阳能地球能共乘“和谐号”,处处绽放“光伏花”——再探太阳能光伏并网工程 .....	张竞若等(1158)
多种材料光伏组件并网发电系统的比较 .....	戚长江等(1164)
屋顶光伏并网发电系统设计的探索 .....	孙邦伍等(1170)
离网 Z 源逆变器的直通零矢量控制策略的研究 .....	程如岐等(1176)
高倍聚光光伏系统构成概述 .....	成 松等(1180)
国外屋顶高倍聚光光伏发电系统相关问题研究: Energy Innovations 公司的 设计理念 .....	成 松等(1185)
聚光光伏发电系统的历史发展及产业现状 .....	成 松等(1189)
风光互补发电系统智能协调控制器的研究 .....	郭天勇等(1195)
低阻抗光伏电缆在光伏发电系统中的应用 .....	宋洪坡(1199)
屋顶式太阳能光伏并网发电系统设计 .....	王 峰等(1202)
单相户用型太阳能光伏逆变器系统 .....	汪雪峰等(1208)
光伏离网逆变器输出软启动 .....	陈云峰等(1212)
中国新能源的应用和智能电网的发展 .....	刘 俊等(1216)
太阳能路灯设计与安装 .....	骆海雄(1220)
太阳能逆变器优化设计之一——磁性元件 .....	邹晓春(1224)
光照突变时的并网发电的 MPPT 改进算法研究 .....	李小燕等(1230)
太阳能路灯的最佳设计与工程实践 .....	刘祖明等(1235)
液体封装胶透明建筑光伏组件研制 .....	李杰慧等(1239)
太阳能计算软件在光伏系统集成领域内的应用 .....	张宏祥等(1242)
光伏并网检测技术与特性研究 .....	贺 敬等(1245)
并网光伏发电现存问题及探讨 .....	徐永邦等(1250)
太阳跟踪系统的应用前景 .....	邹 新等(1255)
遮挡对光伏阵列性能的影响 .....	王 芳等(1260)
光伏发电系统中电缆的选型及敷设 .....	万 宏等(1266)
基于滑模控制的光伏电池阵列 MPPT 系统仿真研究 .....	史君海等(1270)
光伏阵列可调支架的技术研究 .....	邓 霞等(1274)
全天候自适应太阳跟踪系统及其控制方法 .....	王 峰等(1277)
光伏专用直流汇流箱智能仪表的设计与应用 .....	沈恂如等(1280)
光伏电站组件清洗效果及方法初探 .....	邹 新等(1285)
利用 DC/DC 变换器降低阴影遮挡对光伏系统发电效率的影响 .....	刘小宝等(1290)
大型屋顶并网光伏发电系统设计 .....	支少锋等(1293)
大型地面光伏发电场的防雷 .....	肖名珍等(1298)
大型地面光伏项目站址选择所需考虑的问题 .....	朱 鹏等(1302)
大型并网光伏电站 EPC 建设模式探讨 .....	于 耘等(1306)
徐州协鑫 20 MW 并网光伏电站系统设计 .....	陈世明等(1311)
基于 C# 的光伏工程 CAD 计算机软件的开发 .....	田顺庆等(1316)
大型地面光伏电站组件支座基础的研究与体会 .....	仲明明等(1321)
大型屋顶光伏发电结构网架设计 .....	杨林青等(1326)

光伏电站施工工艺之体会 .....	伍 思等(1331)
太阳能聚光光伏光热(CPV/T)系统研究 .....	孙利国等(1335)
大型光伏电站对电网电能质量的影响分析 .....	马乃兵等(1340)
并网光伏电站发电量的估算 .....	杨金焕(1347)
光伏系统设计中若干问题的分析 .....	杨金焕(1352)
太阳能路灯控制系统的设计 .....	温宗周等(1356)
聚光光伏跟踪器电气系统 .....	钱 毅等(1360)
聚光光伏发电系统 .....	成佰新等(1363)
光伏发电对蓄电池的基本要求及理想储能方法 .....	孟昭渊(1369)
光伏照明三大技术瓶颈——控制器、镇流器、储能装置 .....	孟昭渊(1376)
非晶硅薄膜光伏发电系统应用 .....	乔 琦等(1381)
中日合作 300 kWp 大型太阳能光伏并网电站 .....	刘 宏等(1384)
DIgSILENT 软件在光伏发电系统建模中的应用 .....	施 涛等(1388)
单级并网光伏发电系统的仿真研究 .....	茹心芹等(1392)
分布式发电系统低电压穿越检测试验设备研究 .....	潘庆山等(1396)
两级式光伏并网逆变器控制策略仿真研究 .....	王俊辉等(1400)
适应多种类型光伏电站的综合通信平台技术研究 .....	姚虹春(1405)
建筑一体化太阳能电池组件实际发电性能分析研究 .....	姜 猛等(1410)
2009 江苏省光伏产品省级专项质量监督检查结果分析 .....	王顺权等(1414)
光伏发电系统中并网逆变技术的综述 .....	马 磊等(1418)
光伏发电系统中 MPPT 技术发展情况 .....	马 磊等(1423)

## 第六部分 市场及政策法规、标准

光伏系统并入低压电网的技术政策分析 .....	王斯成(1431)
藏区建国内最大光伏市场的对策建议 .....	尼玛江才(1437)
加快太阳能光伏发电技术的推广应用 .....	缪同春等(1441)
光伏组件测试标准内容对比 .....	郭素琴等(1445)
光伏建筑一体化性能评价标准体系研究 .....	刘正权(1449)
光伏并网发电标准现状与发展趋势 .....	居蓉蓉(1455)
标准化在光伏企业发展中的作用 .....	肖桃云等(1459)
江苏省光伏产业发展现状与展望 .....	熊源泉等(1463)
开拓市场、促进光伏产业发展的激励措施与政策建议 .....	马胜红等(1470)
我国光伏发电战略布局和发展规划的研究与建议	
——兼论近期实施“华光计划”及实施路线图 .....	陈东兵等(1477)
政策:启动光伏产业发展的第一动力 .....	许瑞林等(1483)
推进光伏产业标准化水平对策研究——以浙江省为例 .....	朱培武等(1487)

## 晶体硅光伏聚光电池性能特性

舒碧芬 沈辉 梁齐兵 郑海兴 葛文君 陈美国

(中山大学太阳能系统研究所, 广州 510006)

Werner Platzer Volker Wittwer

(Fraunhofer Institute for solar Energy Systems, Freiburg, Germany)

**摘要** 本文利用简化的聚光硅电池模型,对晶体硅聚光电池的性能特性进行了数值模拟计算,得出了影响聚光电池效率的主要因素及其影响规律。在此基础上提出了串联电阻的温度特性对电池效率的影响不可忽视的观点,修正了聚光电池性能参数半经验计算模型,并利用实验数据进行了验证。

**关键词** 光伏聚光; 晶体硅电池; 性能特性; 串联电阻

## The Performance and Characterization of Silicon Cells for Photovoltaic Concentrator

Shu Bifen Shen Hui Liang Qibing Zheng Haixing Ge Wenjun Chen Meiyuan

(Institute for Solar Energy Systems, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, China, 510006)

Werner Platzer Volker Wittwer

(Fraunhofer Institute for solar Energy Systems, Freiburg, Germany)

**Abstract** In this paper, a simplified electric model for silicon concentrator photovoltaic (CPV) cells is used for calculations and the performance affecting factors are analyzed. According to the calculating result, a new view is presented that the effect of the variation of cell series resistances with temperature on the CPV cell efficiency can not be ignored. Then a modified silicon CPV cell electric model is put forwarded and the variations of the cell series resistance with temperature are measured for two types of silicon cell. The modified model is used for the calculating of the two types of cell. The results have good agreement with their measuring performance data.

**Keywords** concentrator photovoltaic; silicon cells; characterization; series resistance

### 1 引言

由于聚光条件下光伏电池理论模型的复杂性,使得人们无法对聚光电池性能特性有一个直观清晰的了解,造成了认识上的模糊或误解,导致在聚光光伏系统应用中因设计不当造成系统发电

效率的损失。

为了便于对聚光条件下电池性能特性有一明了的认识,同时利于聚光光伏系统设计应用, D. J. Mbewe 等人利用硅电池在非聚光标准工况下的经验数据,并假设电池串联电阻  $R_s$  为电池的物性与温度无关,利用双二极管电池模型,简化得出了一套半经验聚光硅电池特性半经验表达式<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2010-08-02

基金项目: 国家自然科学基金(50476039)

通讯作者: 舒碧芬(1966年—),女,博士,教授。主要研究方向: 太阳能光伏、节能技术。E-mail: shubifen@sysu.edu.cn

然而,在聚光条件下,串联电阻  $R_s$  的微小变化对聚光电池性能有很大的影响。本文在研究串联电阻  $R_s$  的温度和光强特性的基础上,提出了串联电阻的温度特性对电池效率的影响不可忽视的观点,修正了聚光电池性能参数半经验计算模型,并利用实验数据进行了验证。

## 2 聚光硅电池简化模型

D. J. Mbewe 等人得出的半经验聚光硅电池特性半经验表达式如下<sup>[1]</sup>:

太阳辐射  $G = 0.1 \text{ W/cm}^2$ , 电池面积  $A_{\text{cell}}$  单位  $\text{cm}^2$ , 电池温度  $T$  单位  $\text{K}$ , 串联电阻  $R_s$  单位  $\Omega$ :

$$I = I_{sc} \left[ 1 - \exp\left(\frac{V + IR_s - V_{oc}}{8.7 \times 10^{-5} T}\right) \right]$$

$$I_{sc} = 0.034 A_{\text{cell}} \times C [1 + 3.0 \times 10^{-4} (T - 300)]$$

$$V_{oc} = 1.25 - \left( \frac{0.63 - 0.06 \log_{10} C}{300} \right) T$$

$$FF = [0.8 - 0.0006(T - 300)] (1 - 0.05 C A_{\text{cell}} \cdot R_s)$$

$$\eta = \frac{I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{0.1 A_{\text{cell}} \cdot C}$$

本文应用上述半经验公式,进行数值计算了,结果如图 1。

从图 1、图 2 可见,短路电流随着聚光倍率的增加而线性增加,且随着温度上升有微小的增加,但几乎可以忽略。开路电压则随着聚光倍率的增加而成对数关系增加,但随着温度的升高而下降。

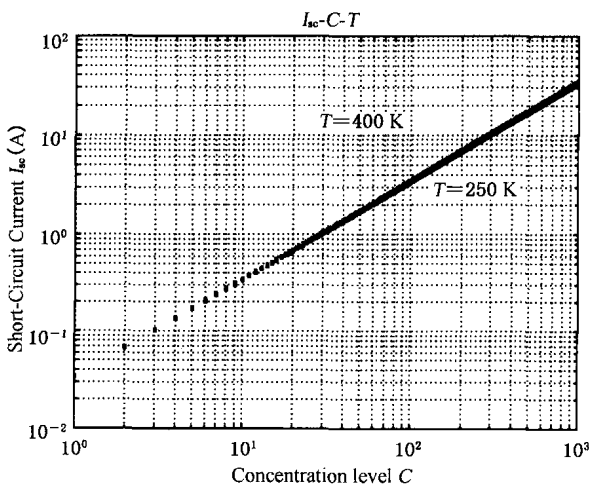


图 1 短路电流  $I_{sc}$  在不同电池温度下随聚光率  $C$  的变化关系

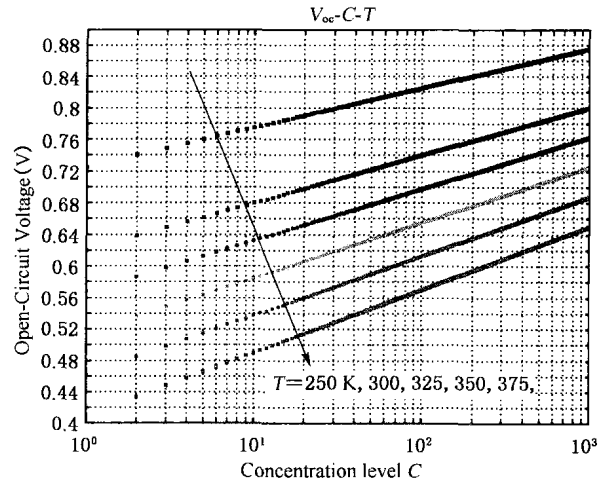


图 2 开路电压  $V_{oc}$  在不同电池温度下随聚光率  $C$  的变化关系

由图 3 可见,当  $R_s = 0$  时,填充因子  $FF$  与聚光率  $C$  无关,但随着温度上升而下降。当  $R_s$  不为零时,  $FF$  随着  $C$  的增大单调急速下降,且随着  $(A_{\text{cell}} R_s)$  的逐渐增大,  $FF$  下降速率越大。

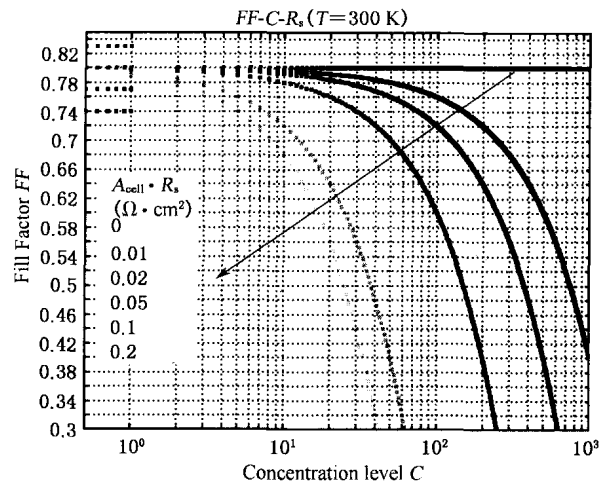


图 3 填充因子  $FF$  在不同串联电阻时随聚光率  $C$  的变化关系 ( $T = 300 \text{ K}$ )

由图 4 可见,当  $R_s = 0$  时,转换效率  $\eta$  与聚光率  $C$  成对数关系单调上升。当  $R_s$  不为零时,存在着最大  $C_{\text{max}}$ , 对应着  $\eta_{\text{max}}$ 。当  $C < C_{\text{max}}$  时,随着  $C$  的增加而增加;当  $C > C_{\text{max}}$  时,急速下降。且随着  $(A_{\text{cell}} R_s)$  的逐渐增大,  $C_{\text{max}}$  和  $\eta_{\text{max}}$  下降速率越大。这说明,降低电池串联电阻  $R_s$  或电池面积能使电池工作在较大的聚光倍率  $C_{\text{max}}$  下,并获得更高的电池转换效率  $\eta_{\text{max}}$ 。而对于一定的  $R_s$ , 为了获得最大的  $\eta_{\text{max}}$ , 电池必须工作在  $C_{\text{max}}$  以下。



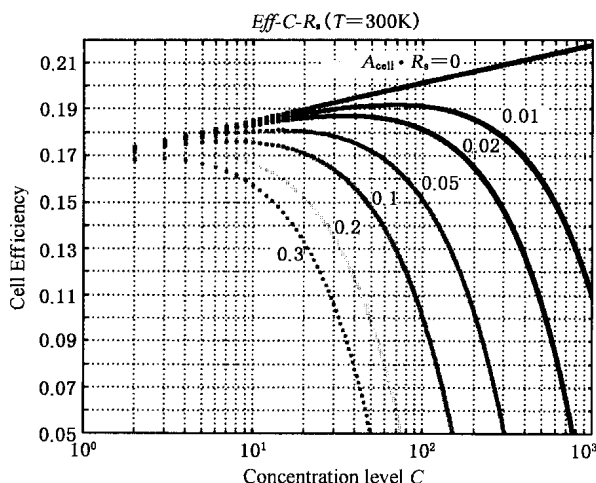


图4 不同串联电阻时电池效率随聚光率C的变化关系 (T=300 K) ( $A_{cell} \times R_s = 0, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 \Omega \text{cm}^2$ )

### 3 串联电阻的温度特性和光强特性

上节的计算模型的假设前提是, 电池内部串联电阻  $R_s$  与温度无关, 是电池的物性参数。从上述计算结果可知, 对于聚光电池而言, 填充因子对于串联电阻的变化很敏感。串联电阻的微小升高将造成填充因子的大幅度下降从而导致电池效率的下降。而串联电阻的温度和光强特性如何呢? 本节将通过实验, 给出的串联电阻随温度变化关系。

为了确定串联电阻的温度特性和光强特性, 就涉及串联电阻的确定方法。太阳电池的串联内阻  $R_s$  主要包括: 主栅线的电阻、细栅线的电阻、前电极的接触电阻、发射区的薄层电阻、基区的内阻和背接触电阻。它可由各组成部分采用公式直接计算, 但接触电阻难于精确计算, 而且在发射区薄层中电流的不均匀性也给这部分内阻的计算带来困难。因此, 一般采用测量太阳电池的  $I-V$  曲线并利用电池模型进行计算。

主要方法包括: ①暗特性曲线法<sup>[2-4]</sup>; ②明特性曲线法<sup>[5]</sup>; ③明-暗特性曲线法<sup>[6, 7]</sup>; ④双明特性曲线法<sup>[6, 7]</sup>等。经过对测试方法的研究, 我们认为, 相比较而言, 明-暗特性曲线法最适合本文情况下的测试<sup>[8]</sup>。

本文测试所采用的单晶硅太阳电池为本实验室聚光光伏系统采用的细栅线电池, 其尺寸和相

关参数为:  $103 \text{ mm} \times 33 \text{ mm}$ ,  $R_s = 25 \text{ m}\Omega$ ,  $\eta = 16.14\%$ 。构造和普通单晶硅太阳电池一样, 只是表面栅线细而紧密, 可用于低倍线性聚光系统。测试仪器为 Optosolar 电池测试仪。

图5得到的是用明暗法计算的  $R_s$  随温度变化的关系。

$$R_s = 31.6885 - 162.1117777 \exp(-T/17.39286) \quad (1)$$

式中:  $R_s$  单位为  $\text{m}\Omega$ ;  $T$  单位为  $\text{K}$ 。拟合相关系数为 0.99833, 方差为 0.0867。

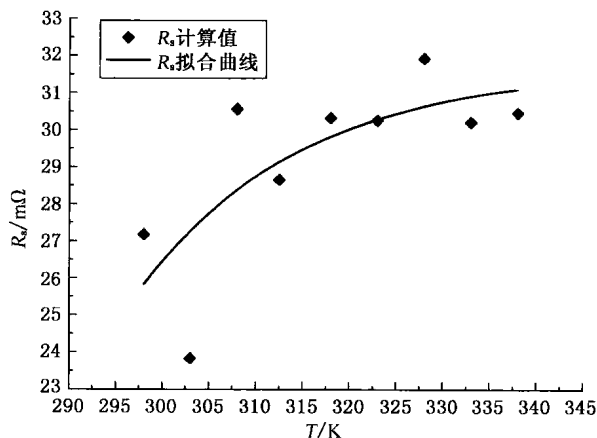


图5 明暗法确定的  $R_s$  随温度变化的关系

图6为室温为 300 K,  $R_s$  随光强的变化关系。用单指数拟合, 关系如下:

$$R_s(E) = 30.189 - 137.671 \exp(-E/503.07864) \quad (2)$$

相关度为 0.99189, 方差为: 0.00055。式中:  $R_s$  单位为  $\text{m}\Omega$ ;  $E$  单位为  $\text{W}/\text{m}^2$ 。

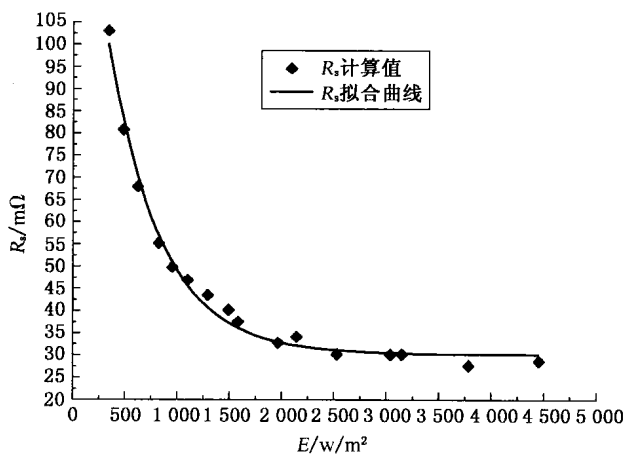


图6 300 K 下明暗法确定的  $R_s$  随光强变化的关系

由此可见,  $R_s$  随温度的升高而增加, 在 40 K 变化范围内  $R_s$  最大为 8 mΩ 的变化。这对于聚光电池而言是个不小的数目, 引起的电池效率下降也不可忽略。

$R_s$  随光强的增加呈单指数衰减, 在小于 1 000 W/m<sup>2</sup> 时  $R_s$  随光强的增加迅速减少, 从 340.1 W/m<sup>2</sup> 的 103 mΩ 减少到 1 098.9 W/m<sup>2</sup> 的 46.9 mΩ, 而在 2 528 W/m<sup>2</sup> 以后随光强的增加逐渐平稳。因此当聚光率  $C \geq 2$  时, 可忽略  $R_s$  随光强的变化。

另外, 我们同样采用明暗法在德国 Fraunhofer-ISE 实验室对 BP Solar 生产的某刻槽埋栅 (LGBG) 电池 (SATURN cell), 96 mm × 40 mm,  $R_s = 1.657$  mΩ 进行测试, 得到的串联电阻温度特性为

$$R_s(T) = 0.09748 \exp(0.0094438T) \quad (3)$$

拟合相关系数为 0.9993, 方差为: 0.0021。式中:  $R_s$  单位为 mΩ;  $T$  单位为 K。

#### 4 改进的聚光电池模型

如第 1 部分所述的聚光电池简化模型的假设前提是: 电池内部串联电阻  $R_s$  与温度无关, 是电池的物性参数。下面将考虑串联电阻随温度的变化关系, 利用第 2 部分实验测定与计算结果, 对第 1 部分聚光电池简化模型中的填充因子进行修正。修正后的填充因子为

$$FF = [0.8 + 0.0006(T - 300)] \cdot [1 - 0.05CA_{cell}R_s(T)]$$

式中:  $R_s(T)$  由所用电池的串联电阻温度特性决定。

图 7 和图 8 是利用修正前后的两个模型, 以及两种电池串联电阻温度特性关联式(1)、(3)计算所得的结果, 分析如下:

(1) 从图 7 和图 8 可知, 当考虑串联电阻的温度特性时, 电池效率随温度的升高而下降的程度越加严重, 而且随着聚光率的升高, 其下降趋势缓解的程度大大降低。

(2) 从图 7 可知, 当考虑串联电阻的温度特性时, 计算所得的获得最大电池效率所对应的最

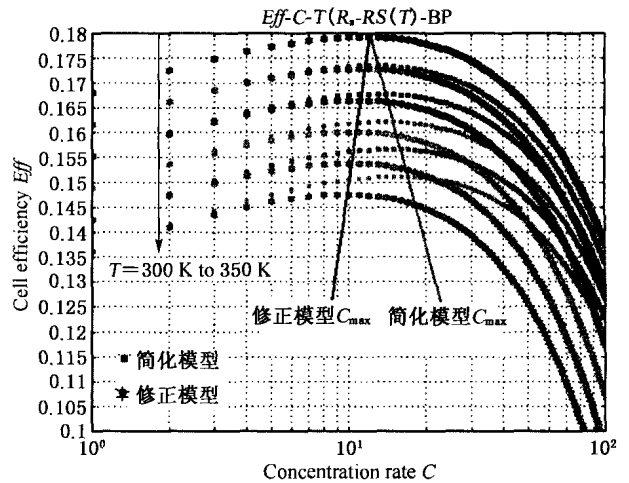


图 7 模型修正前后计算结果比较 (BP 电池)

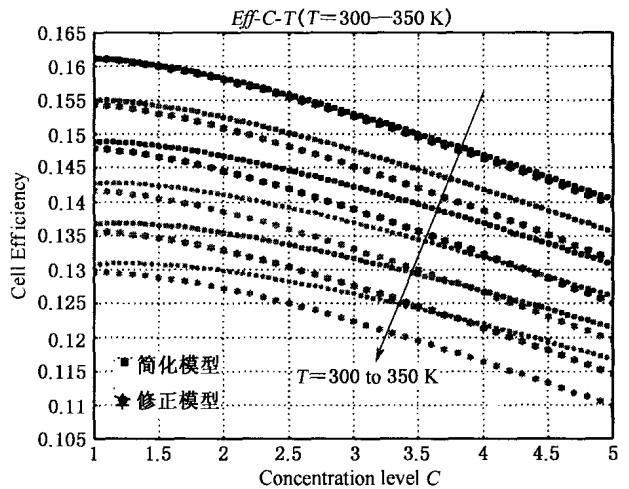


图 8 模型修正前后结果比较 (本实验室聚光电池)

大聚光率  $C_{max}$  有所下降, 而且随温度的升高下降程度增大。

(3) 从图 8 可知, 由于该电池总体串联电阻太大, 聚光条件下无法获得最佳的电池效率。随着聚光率的增大, 电池效率加速下降。

#### 5 聚光电池改进模型实验检验

图 9 是考虑电池串联电阻温度特性时, BP 聚光电池 (96 mm × 40 mm,  $R_s = 1.657$  mΩ,  $T = 300$  K) 不同温度下电池效率随聚光率的变化关系。图中测试数据由文献[9]中得到。计算结果与实测数据误差范围为 +0.6% ~ 4%。