

☀ 21世纪新能源 · 新型太阳能电池译



薄膜太阳能电池

Thin Film Solar Cells

[比] Jef Poortmans

[俄] Vladimir Arkhipov

著

高扬 译



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

新型太阳能电池译丛

薄膜太阳能电池

Thin Film Solar Cells

[比] Jef Poortmans 编
[俄] Vladimir Arkhipov 译
高扬

上海交通大学出版社

内容提要

本书论述了各种薄膜太阳能电池的概念结构、制备工艺和特征性能。涵盖的薄膜太阳能电池类型可以分为硅基薄膜太阳能电池、多晶薄膜太阳能电池和有机太阳能电池。外延晶体硅薄膜太阳能电池、异质衬底晶体硅薄膜太阳能电池、多晶硅薄膜太阳能电池、微晶硅薄膜太阳能电池和非晶硅薄膜太阳能电池属于硅基薄膜太阳能电池,铜铟镓硒薄膜太阳能电池和碲化镉薄膜太阳能电池属于多晶薄膜太阳能电池,而染料敏化太阳能电池和体异质结太阳能电池属于有机太阳能电池。本书可以作为一本教材或参考书,适合物理系、动力与能源系、材料系、电子工程系、化学系或其他相关专业的本科生、研究生和教师学习研究薄膜太阳能电池技术。本书也可以作为相关研究机构科学家或相关企业工程师的参考资料,为研究开发各种类型薄膜太阳能电池提供帮助。

图书在版编目(CIP)数据

薄膜太阳能电池/(比)波特曼斯,(俄)阿尔希波夫主编;高扬译. —上海:上海交通大学出版社,2012

(新型太阳能电池译丛)

ISBN 978-7-313-08499-6

I. ①薄… II. ①波…②阿…③高… III. ①太阳能电池 IV. ①TM914.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 096970 号



薄膜太阳能电池

编者:[比] Jef Poortmans [俄] Vladimir Arkhipov

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出版人:韩建民

印制:浙江云广印业股份有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

字数:858千字

版次:2014年8月第1版

书号:ISBN 978-7-313-08499-6/TM

定价:98.00元

译者:高扬

地址:上海市番禺路951号

电话:021-64071208

经销:全国新华书店

印张:34.75

印次:2014年8月第1次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0573-86577317

前 言

“绿色产业飘扬着中国红。”2006年和2007年,中国先后有近十家的晶体硅太阳能电池制造企业登陆纳斯达克或纽约证券交易所。自从2007年,中国太阳能产业凭借着快速降低成本的规模化生产优势成为世界第一大太阳能电池生产国。自从2009年,中国新增风电装机量也达到世界第一,且风电设备国产化率达到70%以上。

美国为首的西方发达国家以“创新精神”自我标榜,并且自信“高投入高产出”的成功投资模式,在中国晶体硅太阳能电池取得阶段性胜利之后,希望通过高度风险投资结合高强度研发的战略模式,凭借薄膜太阳能电池、聚光太阳能电池、太阳能光热发电、甚至第三代太阳能电池等新型太阳能电池技术夺回在21世纪具有无限潜力的太阳能电池市场。

美国First Solar公司的碲化镉薄膜太阳能电池技术确实取得了巨大的商业成就,国际上随后提出了“Who is second solar?”的问题。在2007年—2009年三年间,西方资本市场在薄膜太阳能电池初创企业的风险投资总额超过了30亿美金,这种天文数字般的风险投资使新型太阳能电池技术的产业化成为一场资本的游戏。

也在这个时期,为了应对高昂的多晶硅原材料价格,国内除了投资多晶硅生产的潮流,也涌现出了投资“第二代非晶硅薄膜太阳能电池”的浪潮,这是回答“Who is second solar?”的“中国声音”。

在太阳能电池的学术领域,薄膜太阳能电池可以说是研究开发最为广泛、技术细分最为多样的新型太阳能电池类型。《薄膜太阳能电池》的各个章节分别介绍了一种细分类型的薄膜太阳能电池技术,各章节的顺序按照有源层晶粒尺寸由大到小排列。

在涵盖各种硅基薄膜太阳能电池的前5章中,Si的晶粒尺寸从第1章和第2章的mm量级,到第3章和第4章的 μm 量级,再到第5章的非晶硅。

第1章论述了低成本Si衬底上外延生长的晶体硅薄膜太阳能电池。第2章将技术扩展到陶瓷或玻璃的非硅衬底上沉积晶体硅薄膜,再经过高温处理使Si层熔化后再结晶,从而减少了晶界的密度。第3章介绍的多晶硅薄膜太阳能电池技术不使用熔化工序,多晶硅薄膜太阳能电池的有源层晶粒尺寸在 μm 量级。第1章到第3章的技术也可以统称为

晶体硅薄膜太阳能电池技术,发展成为当前相当流行的薄硅技术,得到的硅片替代物可以用成熟的晶体硅太阳能电池工艺加工为电池,以降低传统的硅片成本。

第4章和第5章的微晶硅薄膜太阳能电池和非晶硅薄膜太阳能电池的有源层沉积温度很低,小于 400°C ,其电学特性决定载流子的收集需要p-i-n结在有源层中形成较宽的内建电场,非微晶叠层电池技术可以有效地提升非晶硅薄膜太阳能电池的转换效率。

前5章涵盖了基于Si的薄膜太阳能电池技术,而第6章和第7章介绍的铜铟镓硒薄膜太阳能电池和碲化镉薄膜太阳能电池基于2种多晶化合物半导体,晶粒尺寸在 μm 量级,这2种多晶薄膜太阳能电池技术都受到商业化追捧。

第8章到第10章是关于有机太阳能电池。第8章讨论了无机材料和有机材料关于载流子产生的根本区别,从理论上阐述了激子的产生和分离,这为第9章和第10章中理解有机太阳能电池的器件概念打下基础。在第9章和第10章中,我们将讨论染料敏化太阳能电池和体异质结太阳能电池,其典型的有源层晶粒尺寸在nm量级。有机太阳能电池的载流子收集与其他类型的薄膜太阳能电池不同,载流子的收集在整个有源层体积内进行,没有了“少数载流子”的概念。

最后的第11章不是关于特定的薄膜太阳能电池技术,而从行业战略的视角,阐述了薄膜太阳能电池的产业化潜力,给出了数GW薄膜太阳能电池产能可以实现的成本结构,并且讨论了太瓦挑战和平价上网的问题。

译者翻译《新型太阳能电池译丛》的初衷是想解决国外创新太阳能电池技术对国内晶体硅太阳能电池技术的挑战问题。原本还计划翻译关于聚光太阳电池CPV、太阳能光热发电CSP、甚至第三代太阳能电池的书籍。但是,国际上新型太阳能电池的创新企业并没有因为获得巨额风险投资而走向成功,太阳能电池市场仍然属于晶体硅太阳能电池技术。

人们难免要进行反思。一个产品的性能和成本往往不可兼得。要生产高性能的产品,往往拉高成本。要生产低成本的产品,性能可能一般。对于Intel的芯片和Google的搜索引擎,性能最重要,成本不重要,美国的研发水平有无与伦比的优势。而对于太阳能电池,成本最重要,性能并不是那么重要,中国晶体硅太阳能产业大规模生产降低成本的速度被证明远远快于美国太阳能产业通过研发降低成本的速度。

太阳能原本被认为是一个技术问题,但是现在看更加是一个商业问题,甚至是一个政治问题。

译者出版《新型太阳能电池译丛》是想解决太阳能的技术问题。但是创新的太阳能电池技术发展空间有限,而成熟的晶体硅太阳能电池的工艺也已经不是企业需要重点解决的问题。

在国内太阳能行业,稳健的企业经营战略往往使优秀的大型生产型企业胜出,独特且创新的商业模式往往使轻资产的中小型商业企业胜出,而那些新进入行业的简单生产型企业往往面临着品牌不被认可的困境,所以太阳能更像是一个商业问题。

2012年美国 and 欧洲对我国太阳能产品进行的反倾销反补贴调查已经把太阳能上升为一个政治问题。由于投资新型太阳能电池技术失败,欧美政府将自身的战略投资错误归咎于中国晶体硅太阳能电池产品的低价倾销。石油一直是一个政治问题,而可再生能源被认为要在21世纪很大程度上能够取代人类对传统石化能源的需求,“绿色经济”被西方政府认为是促进就业、提高国家竞争力的最佳驱动力。国际太阳能电池产业仍然是一个依赖于补贴的行业,当年欧美政府对补贴的决定是国内太阳能企业发展的驱动力。而国内太阳能发电补贴政策也可能是不少国内太阳能企业未来继续生存的保障。所以,太阳能产业的政治经济学可能还将继续。

高 扬

2012年11月

Clean Energy Associates

P3HT	poly (3 - hexylthiophene)	
PAT	poly (alkylthiophene)	
PCBM	1-(3-methoxycarbonyl) propyl-1-phenyl-(6,6)-C ₆₁	
PCNEPV	poly(oxa-1,4-phenylene-(1-cyano-1,2-vinylene)- (2-methoxy-5-(3,5-dimethyloctyloxy)-1,4-phenylene)-1,1-(2-cyanovinylene)-1,4-phenylene)	调制势垒光电二极管
PdI	perylene diimide	
PDS	photothermal deflection spectroscopy	光热偏折光谱
PECVD	plasma enhanced chemical vapor deposition	等离子体增强化学气相沉积
PEDOT	poly (3,4-ethylene dioxythiophene)	
PEDOT-PSS	poly (3,4-ethylenedioxythiophene)-poly (4-styrenesulfonate)	
PES	photoelectron spectroscopy	光电子光谱
PET	polyethylene terephthalate	
PHASE	PHysics and Applications of SEMiconductors laboratory	半导体物理和应用实验室(法国)
photo-CELIV	photoinduced charge extraction by linearly increasing voltage	线性增加电压光诱导电荷提取
PhPPV	phenylenevinylene type with phenyl alkoxy substituents	
PIA	photoinduced absorption	光诱导吸收
PIADMR	photoinduced absorption detected magnetic resonance	光诱导吸收探测磁共振
PIRA	photoinduced reflection/absorption	光诱导反射吸收
PL	photoluminescence	光致发光
pm-Si:H	polymorphous silicon	多形硅
PTPTB	poly-N-dodecyl-2,5-bis(2'-thienyl) pyrrole-2,1,3-benzothiadiazole	
PTV	poly (thienylene vinylene)	
PVD	physical vapor desposition	物理气相沉积
Q-DLTS	charge version of DLTS	电荷式 DLTS
QNR	quasi neutral region	准中性区
RBSiC	reaction bonded silicon carbide	反应结合碳化硅
RBSiN	reaction bonded silicon nitride	反应结合氮化硅
R-EBIC	remote electron beam induced current	远距离电子束诱导电流
rf PECVD	radio frequency plasma enhanced chemical vapor desposition	射频等离子体增强化学气相沉积
RGS	ribbon growth on substrate	衬底生长带硅
RPECVD	remote plasma enhanced chemical vapor desposition	远距离等离子体增强化学气相沉积
RPH	remote plasma hydrogenation	远距离等离子体氢化
RPHP	remote plasma hydrogen passivation	远距离等离子体氢钝化
RRa-MD-MO-PPV	regiorandom MDMO-PPV	
RR-MD-MO-PPV	regioregular MDMO-PPV	
RR-P3HT	regioregular poly (3-hexyl-thiophene)	
RR-PAT	regioregular polyalkylthiophene	
RTA	rapid thermal annealing	快速热退火
RT-CVD	rapid thermal chemical vapor deposition	快速热化学气相沉积
RTP	rapid thermal processing	快速热处理
SAXS	small angle X-ray scattering	小角度 X 光散射
SCAF	Series Connection through Apertures formed on Film	薄膜孔径串联

SCAPS	Solar cell CAPacitance Simulator	SCAPS 程序
scem	standard cubic centimeters per minute	标况毫升每分
SCL	space charge layer	空间电荷层
SCLC	space charge limited current	空间电荷限制电流
SCM	scanning capacitance microscopy	扫描电容显微镜
SEL	stacked elemental layer	堆积元素层
SEM	scanning electron microscopy	扫描电子显微镜
SER	stacked epitaxial reactor	堆积外延反应腔
SG	solution growth	溶液生长
SiAlON	silicon aluminum oxynitride	赛伦
SIMOX	Separation by IMplantation of OXYgen	注氧隔离
SIMS	secondary ion mass spectrometry	二次离子质谱
Si-SiAlON	silicon infiltrated silicon aluminum oxynitride	渗硅氧氮化硅铝
SiSiC	silicon infiltrated silicon carbide	渗硅碳化硅
SLS	sequential lateral solidification	连续横向凝固
SOG	spin on glass	旋涂玻璃法
SOI	silicon on insulator	绝缘体上硅
SPC	solid phase crystallization	固相晶化
SPE	solid phase epitaxy	固相外延
SPICE	Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis	SPICE 程序
SPV	surface photovoltage	表面光生电压
SSN	sintered silicon nitride	烧结氮化硅
SSP	silicon sheets from powder	粉末生长带硅
SSPG	steady state photocarrier grating	稳态光生载流子栅线
STAR	Surface Texture and enhanced Absorption with back Reflector	绒面背反射镜增强吸收
STC	standard test conditions	标准测试条件
STM	scanning tunneling microscopy	扫描隧道显微镜
TA	transient absorption	瞬态吸收
TA - CVD	thermally assisted chemical vapor deposition	热辅助化学气相沉积
TCO	transparent conductive oxide	透明导电氧化物
TDM	temperature difference method	温度差法
TEM	transmission electron microscopy	透射电子显微镜
TFT	thin film transistors	薄膜晶体管
TNF	trinitrofluorenone	
ToF	time of flight	飞行时间
TOF - SIMS	time of flight secondary ion mass spectrometry	飞行时间二次质谱仪
TREBLE	ThRee-dimensional Emitter Based on Locally Enhanced diffusion	基于局域增强扩散三维发射极
TSL	thermally stimulated luminescence	热激发发光
TW	terawatt	太瓦
UHV - MBE	ultra high vacuum molecular beam epitaxy	超高真空分子束外延
UMG - Si	upgraded metallurgical grade silicon	高纯冶金级硅
UNSW	University of New South Wales	新南威尔士大学(澳大利亚)
UPS	ultraviolet photoelectron spectroscopy	紫外光电子光谱
VEST	Via-hole Etching for the Separation of Thin films	通路孔蚀刻分离薄膜
VHF - GD	very high frequency glow discharge	甚高频辉光放电
VHF - PE-CVD	very high frequency plasma enhanced chemical vapor deposition	甚高频等离子体增强化学气相沉积
XPS	X-ray photoelectron spectroscopy	X 射线光电子光谱

ZIR	ZnO intermediate reflector	氧化锌中间反射镜
ZMR	zone-melting recrystallization	区熔再结晶
ZnO:Al	aluminum doped ZnO	掺铝氧化锌
ZnPc	zinc-phthalocyanine	
$\mu\text{c-Si:H}$	microcrystalline silicon	微晶硅或氢化微晶硅

参数符号表

符号	中文名称	英文名称	单位
a	晶粒尺寸	grain size 或 crystallite size	μm
a	晶格常数	lattice constant	\AA
A	吸收率	absorbance	%
A	面积	area	cm^2
A	反向偏置电压斜坡	reverse bias voltage ramp	V/s
AS	全年日照	annual sunlight	$\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2/\text{a}$
B	光学带隙前因子	optical gap prefactor	$\text{cm}^{-1/2} \text{eV}^{-1/2}$ 或 $\text{cm}^{-1/3} \text{eV}^{-2/3}$
BOM	组件平衡	balance of module	$\$/\text{m}^2$ 或 $\$/W_p$
BOS	系统平衡	balance of system	$\$/\text{m}^2$ 或 $\$/W_p$
C	电容	capacitance	F
C_c	接触电容	contact capacitance	F
CF	容量因子	capacity factor	%
C_{HF}	高频率电容	high frequency capacitance	F
C_i	固有氧化层单位面积电容	capacitance per unit area for native oxide layer	F/cm^2
C_j	结电容	junction capacitance	F
C_{LF}	低频率电容	low frequency capacitance	F
CRF	资本回收系数	capital recovery factor	
C_{ss}	表面态单位面积电容	capacitance per unit area for surface states	F/cm^2
D	扩散长度	diffusion length	μm
d	电极间距	electrode separation	cm
D_n	电子扩散系数	electron diffusion coefficient	cm^2/s
D_{ss}	表面态能量密度	energy density of surface state	eV/cm^2
E_0	乌尔巴赫能量	Urbach energy	eV
E_A	暗电导率激活能	dark conductivity activation energy	eV
E_c	导带底	conduction band edge	eV
E_{ch}	电子-空穴对束缚能	electron-hole pair binding energy	eV
E_F	费米能级	Fermi level	eV
E_F^e	电子费米能级	electron Fermi level	eV
E_F^h	空穴费米能级	hole Fermi level	eV
E_g	带隙	bandgap	eV
E_i	界面态能级	interface energy level	eV

E_{opt}	光学带隙	optical bandgap	eV
E_p	声子能量	phonon energy	eV
E_p	势能	potential energy	eV
EPBT	能源回收期	energy payback time	yr
EPD	蚀刻坑密度	etch pit density	cm ⁻²
EQE	外部量子效率	external quantum efficiency	%
ES&H	环境保护费用	environment, safety and health	\$/m ² 或 \$/W _p
E_t	陷阱能级	trap energy level	eV
E_v	价带顶	valence band edge	eV
F	电场强度	electric field intensity	V/cm
F	法拉第常数	Faraday constant	C/mol
FF	填充因子	fill factor	%
G	产生率	generation rate	cm ⁻³ s ⁻¹
G_{sh}	分流电导	shunt conductance	Ω^{-1}
i	利率	interest rate	%
ICC	安装容量成本	installed capacity cost	\$/W _p
I_{DF}	延迟荧光强度	delayed fluorescence intensity	W/cm ²
I_{HSM}	高拉伸模积分吸收强度	integrated absorption strength of high stretching mode	W/cm ²
I_{LSM}	低拉伸模积分吸收强度	integrated absorption strength of low stretching mode	W/cm ²
IPCE	光电转化效率	incident photon to current conversion efficiency	%
I_{ph}	光生电流	photocurrent	A
IQE	内部量子效率	internal quantum efficiency	%
I_r	复合电流	recombination current	A
I_s	入射光强	incident light intensity 或 illumination	W/cm ²
J_0	反向饱和电流密度	reverse saturation current density	A/cm ²
J_c	接触电流密度	contact current density	A/cm ²
J_{cs}	接触饱和电流密度	contact saturation current density	A/cm ²
J_d	漂移电流密度	drift current density	A/cm ²
J_j	结电流密度	junction current density	A/cm ²
J_n	电子电流密度	electron current density	A/cm ²
J_p	空穴电流密度	hole current density	A/cm ²
J_{ph}	光生电流密度	photocurrent density	A/cm ²
J_{sc}	短路电流密度	short circuit current density	A/cm ²
k_B	玻尔兹曼常数	Boltzmann constant	eV/K
k_b	逆反应速率常数	rate constant of back reaction	cm ⁻³ s ⁻¹
K_d	相关因子	correlation factor	cm ⁻² eV ⁻¹
k_d	双生对分离速率常数	rate constant of geminate pair dissociation	cm ⁻³ s ⁻¹
k_{deact}	失活速率常数	rate constant of deactivation	cm ⁻³ s ⁻¹
k_{ex}	激发态副反应速率常数	rate constant of excited state side reaction	cm ⁻³ s ⁻¹
k_{inj}	电子注入速率常数	rate constant of electron injection	cm ⁻³ s ⁻¹
k_{ox}	氧化态副反应速率常数	rate constant of oxidized state side reaction	cm ⁻³ s ⁻¹
k_{rec}	单分子复合速率常数	rate constant of monomolecular recombination	cm ⁻³ s ⁻¹
k_{reg}	再生速率常数	rate constant of regeneration	cm ⁻³ s ⁻¹
L	少子扩散长度	minority carrier diffusion length	μm
L_{amb}	双极扩散长度	ambipolar diffusion length	μm
L_d	漂移长度	drift length	μm
LEC	平准能量成本	levelized energy cost	\$/kW·h
L_{eff}	有效扩散长度	effective diffusion length	μm

<i>LHE</i>	光收获效率	light harvesting efficiency	%
L_n	电子扩散长度	electron diffusion length	μm
L_{rapp}	表观扩散长度	apparent diffusion length	μm
L_p	空穴扩散长度	hole diffusion length	μm
M	分子质量	molecular mass	g/mol
m_e	自由电子质量	free electron mass	kg
m_e^*	电子有效质量	electron effective mass	kg
m_{eff}	有效质量	effective mass	kg
m_h^*	空穴有效质量	hole effective mass	kg
$m_{\text{eff}}^{\text{inst}}$	瞬态有效质量	instantaneous effective mass	kg
$m_{\text{eff}}^{\text{rel}}$	弛豫有效质量	relaxed effective mass	kg
N	掺杂浓度	doping density	cm^{-3}
n	折射率	refractive index	
n	电子浓度	electron density	cm^{-3}
n	二极管理想因子	diode ideality factor	
n	系统寿命	system lifetime	yr
n^*	复折射率	complex refractive index	
N_A	受主浓度	acceptor density	cm^{-3}
N_{Ac}	背接触掺杂浓度	doping density at back contact	cm^{-3}
N_{Aj}	结区掺杂浓度	doping density at junction	cm^{-3}
N_c	电子有效状态密度	electron effective density of states	cm^{-3}
N_D	施主浓度	donor density	cm^{-3}
N_d	缺陷密度	defect density	cm^{-3}
N_f	外延层表面掺杂浓度	doping level at epilayer surface	cm^{-2}
N_i	界面态密度	interface state density	cm^{-2}
N_r	衬底-外延层界面掺杂浓度	doping level at substrate-epilayer interface	cm^{-2}
N_t	晶界缺陷密度	grain boundary defect density	cm^{-2}
N_t	陷阱密度	trap density	cm^{-3}
N_v	空穴有效状态密度	hole effective density of states	cm^{-3}
<i>O&M</i>	运行和维护费用	operation and maintenance	\$/kW·h
<i>OD</i>	光学密度	optical density	
p	空穴浓度	hole density	cm^{-3}
P_{ex}	激发态副反应分支比	branching ratio of excited state side reaction	%
P_{ox}	氧化态副反应分支比	branching ratio of oxidized state side reaction	%
Q	表面迁移激活能	activation energy for surface migration	eV
q	单位电荷	unit charge	C
<i>QE</i>	量子效率	quantum efficiency	%
QE_{ideal}	理想量子效率	ideal quantum efficiency	%
R	复合率	recombination rate	$\text{cm}^{-3}\text{s}^{-1}$
R	反射率	reflectivity	%
R	生长速率	growth rate	$\mu\text{m}/\text{min}$
R	氢气-硅烷稀释比例	hydrogen-silane dilution ratio	%
R	理想气体常数	ideal gas constant	eV/K/mol
r	反应速率常数	reaction rate constant	$\text{cm}^{-3}\text{s}^{-1}$
R^*	微结构参数	microstructure parameter	
R_{\square}	方块电阻	sheet resistance	Ω/\square
R_c	接触电极电阻	resistance of contact	Ω
r_c	俘获半径	capture radius	\AA

r_c	库仑半径	Coulomb radius	\AA
R_j	结电阻	junction resistance	Ω
R_p	平行电阻	parallel resistance	Ω
R_s	串联电阻	series resistance	Ω
R_{sh}	分流电阻	shunt resistance	Ω
SC	硅烷浓度	silane concentration	%
S_{gb}	晶界复合速度	recombination velocity at the grain boundary	cm/s
S_i	界面复合速度	interface recombination velocity	cm/s
T	温度	temperature	K
T	透射率	transmissivity 或 transmission	%
TD	散射光透射率	transmissivity of diffused light	%
t_{del}	延迟时间	delay time	s
TEC	热膨胀系数	thermal expansion coefficient	K^{-1}
T_m	熔点	melting point	K
t_{max}	最大值时间	maximum time	s
TQE	温度依赖量子效率	temperature-dependent quantum efficiency	%
T_s	升华点	sublimation point	K
T_{source}	固体源温度	solid source temperature	K
TT	总透射率	total transmissivity	%
U	相关能量	correlation energy	eV
U	库仑势	coulombic potential	eV
U_{max}	最大电压	maximum voltage	V
U_{offset}	正向偏压抵消电压	forward bias offset voltage	V
U_{osc}	抛物线振动势	parabolic oscillatory potential	eV
V	偏置电压	bias voltage	V
V_{bi}	内建电压	built-in voltage	V
V_{bic}	接触内建电压	contact built-in voltage	V
V_{bij}	结内建电压	junction built-in voltage	V
V_c	接触电压	contact voltage	V
v_d	漂移速度	drift velocity	cm/s
v_{eff}	有效速度	effective velocity	cm/s
V_{ext}	外加电压	external voltage 或 applied voltage	V
V_j	结电压	junction voltage	V
V_{oc}	开路电压	open circuit voltage	V
v_r	发射速度	emission velocity	cm/s
W	耗尽宽度	depletion width	μm
W_{sc}	过冷却区域深度	depth of supercooled region	μm
X_{gb}	晶界掺杂剂扩散深度	dopant diffusion depth along the grain boundary	μm
Z	最佳共价键数	optimum number of covalent bonds	
z	配位数	coordination number	
α	吸收系数	absorption coefficient	cm^{-1}
α	暗电荷转移参数	dark charge transfer parameter	
β	双分子复合系数或朗之万复合强度	bimolecular recombination coefficient 或 Langevin recombination strength	cm^3/s
ΔE_c	导带错位	conduction band misalignment	eV
ΔE_r	寿命激活能	activation energy of lifetime	eV
ϵ_0	真空介电常数	vacuum permittivity	F/cm
ϵ_∞	光学介电常数	optical dielectric constant	

ϵ_s	半导体介电常数	semiconductor permittivity	
η	转换效率	efficiency	%
η	量子产率	quantum yield	%
η	分离产率	dissociation yield	%
η_{coll}	电子收集效率	electron collection efficiency	%
η_g	载流子产生量子效率	quantum efficiency for carrier generation	%
$\eta_g \mu \tau$	量子效率迁移率寿命乘积	quantum efficiency mobility lifetime product	$\text{cm}^2 \text{V}^{-1}$
θ_c	临界角	critical angle	($^\circ$)
κ	消光系数	extinction coefficient	
Λ	栅线周期	grating period	μm
λ	波长	wavelength	nm
λ_g	截止波长	cut-off wavelength	nm
μ	迁移率	mobility	$\text{cm}^2 \text{s}^{-1} \text{V}^{-1}$
μ	化学产率	chemical yield	%
μ_0	前因子迁移率	prefactor mobility	$\text{cm}^2 \text{s}^{-1} \text{V}^{-1}$
μ_n	电子迁移率	electron mobility	$\text{cm}^2 \text{s}^{-1} \text{V}^{-1}$
μ_p	空穴迁移率	hole mobility	$\text{cm}^2 \text{s}^{-1} \text{V}^{-1}$
$\mu \tau$	迁移率寿命乘积	mobility lifetime product	cm^2 / V
ρ	电阻率	resistivity	Ωcm
ρ	密度	density	g/cm^3
ρ_{ds}	深能级电荷密度	deep energy level charge density	cm^{-3}
Σ	位置无序参数	positional disorder parameter	
σ	俘获截面	capture cross section	cm^2
σ	方差	variance	eV
σ	光学截面	optical cross section	cm^2
σ	高斯状态密度宽度	width of Gaussian density of states	eV
σ_0	电导率前因子	conductivity prefactor	$\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$
σ_d	暗电导率	dark conductivity	$\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$
σ_g	光干涉图形光电导率	photoconductivity in light interference pattern	$\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$
σ_n	电子俘获截面	electron capture cross section	cm^2
σ_p	空穴俘获截面	hole capture cross section	cm^2
σ_{ph}	光电导率	photoconductivity	$\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$
σ_{RT}	室温电导率	room temperature conductivity	$\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$
τ_{B}	有效双分子寿命	effective bimolecular lifetime	s
τ_n	电子寿命	electron lifetime	s
τ_{tr}	跃迁时间	transit time	s
τ_s	介电弛豫时间	dielectric relaxation time	s
Φ	功函数	work function	eV
ϕ	逃逸概率	escape probability	%
Φ_0	费米能级钉扎势垒	barrier for Fermi level pinning	eV
Φ^0	入射光子通量	incident photon flux	$\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
Φ_b	接触势垒	contact barrier	eV
ϕ_b	晶界势垒高度	height of potential barrier at a grain boundary	eV
ϕ_{inj}	电子注入量子产率	quantum yield for electron injection	%
Φ_{m}	金属功函数	work function of metal	eV
χ	电子亲和能	electron affinity	eV
ψ	静电势	electrostatic potential	V

名词缩写表

缩写	英文全称	中文全称
AES	Auger electron spectroscopy	俄歇电子光谱
AFM	atomic force microscopy	原子力显微镜
AIC	aluminum induced crystallization	铝诱导晶化
ALCVD	atomic layer chemical vapor deposition	原子层化学气相沉积
ALD	atomic layer deposition	原子层沉积
ALE	atomic layer epitaxy	原子层外延
ALICE	ALuminum-Induced Crystallization solid-phase Epitaxy	铝诱导结晶固相外延
ALICIA	ALuminum-Induced Crystallization Ion-Assisted deposition	铝诱导结晶离子辅助沉积
ALILE	ALuminum-Induced Layer Exchange	铝诱导层交换
APCVD	atmospheric pressure chemical vapor deposition	常压化学气相沉积
APIVT	atmospheric pressure iodine vapor transport	常压碘气相运输
ARC	anti-reflective coating	减反射膜
a - Si; H	hydrogenated amorphous silicon	非晶硅或氢化非晶硅
a - SiC; H	hydrogenated amorphous silicon carbon	氢化非晶硅碳
a - SiGe; H	hydrogenated amorphous silicon germanium	氢化非晶硅锗
BIPV	building integrated photovoltaics	光伏建筑一体化
BNL	Brookhaven National Laboratory	布克海文国家实验室(美国)
BSF	back surface field	背表面场
C ₆₀	fullerene 或 buckminsterfullerene	富勒烯
CBD	chemical bath deposition	化学水浴沉积
CCD	charge coupled device camera	CCD 摄像机
CELIV	charge extraction in a linearly increasing voltage	线性增加电压电荷提取
CL	cathodoluminescence	阴极发光
CMOS	complementary metal oxide semiconductor	互补金属氧化物半导体
CMP	chemical mechanical polishing	化学机械抛光
CoCVD	convection assisted chemical vapor deposition	对流辅助化学气相沉积
ConCVD	continuous chemical vapor deposition	连续化学气相沉积
CP133	Chemical Polish 133	
CPM	constant photocurrent method	稳恒光生电流法
CPV	concentrated photovoltaics	聚光光伏
CSG	Crystal Silicon on Glass	玻璃上晶体硅
CSS	close spaced sublimation	近空间升华

CSVT	close space vapor transport	近空间气相运输
CVD	chemical vapor deposition	化学气相沉积
CVD- OGL	chemical vapor deposition on glassy layers	玻璃层上化学气相沉积
CVDOLL	chemical vapor deposition on liquid layer	液相层化学气相沉积
DBP	dual beam photoconductivity	双光束光电导率
DIC	differential interference contrast microscopy	微分干涉相差显微镜
DLARC	double layer anti reflection coating	双层减反膜
DLC	diamond-like carbon	类金刚石碳
DLTS	deep level transient spectroscopy	深能级瞬态谱
DOE	Department of Energy	能源部(美国)
DPA	decylphosphonic acid	
DPECVD	direct plasma enhanced chemical vapor desposition	直接等离子体增强化学气相沉积
DPM	defect pool model	缺陷池模型
DSS	directional solidification system	定向凝固系统法
EBIC	electron beam induced current	电子束诱导电流
ECN	Energy Research Centre of the Netherlands	荷兰能源研究中心
ECR - CVD	electron cyclotron resonance chemical vapor deposition	电子回旋共振化学气相沉积
EDS	energy dispersive X-ray spectroscopy	X 射线能量色散谱
EEG	Renewable Energy Law 或 Erneuerbare - Energien - Gesetz	可再生能源法
EFG	edge-defined film-fed growth	边缘限制薄膜生长
EGE	electron gun evaporation	电子枪蒸发
ELA	excimer laser annealing	准分子激光退火
ESR	electron spin resonance	电子自旋共振
ETA	extremely thin absorber	极薄吸收层
ETHZ	Swiss Federal Institute of Technology Zurich	苏黎世理工学院(瑞士)
ETL	Electrotechnical Laboratory	电子技术综合研究所(日本)
ETPCVD	expanding thermal plasma chemical vapor desposition	膨胀热等离子体化学气相沉积
EVA	ethylene vinyl acetate	
EVA	solid phase crystallization of EVAporated Si	蒸发硅固相结晶
FET	field effect transistor	场效应晶体管
FhG - ISE	Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems	弗劳恩霍夫太阳能系统研究所(德国)
FIB	focused ion beam	聚焦离子束
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy	傅里叶变换红外光谱仪
FTO	fluorine doped tin dioxide	氟掺杂二氧化锡
FTPS	Fourier transform photocurrent spectroscopy	傅里叶变换光生电流光谱
GDMS	glow discharge mass spectrometry	辉光放电质谱
GE	General Electronic	通用电气(美国)
GS - MBE	gas source molecular beam epitaxy	气体源分子束外延
HIT	Heterojunction with Intrinsic Thin layer	本征薄层异质结
HMI	Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH	柏林哈恩迈特纳研究所(德国)
HOMO	highest occupied molecular orbital	最高已占轨道
HPD - CVD	high pressure depletion chemical vapor deposition	高压耗尽化学气相沉积
HRVTD	high rate vapor transport deposition	高速率气相运输沉积
HSM	high stretching mode	高拉伸模
HWCVD	hot wire chemical vapor deposition	热丝化学气相沉积
IAD	ion assisted deposition	离子辅助沉积
ILGAR	ion layer gas reaction	离子层气相反应
IMEC	Interuniversity Microelectronics Centre	校际微电子研究中心(比利时)

InESS	Institut d'Electronique du Solide et des Systèmes	固态电子学与系统研究所(法国)
IPCE	incident photon to current conversion efficiency	光电转化效率
IPES	inverse photoemission spectroscopy	反光电子发射能谱
IPHT	Institute of PHotonic Technology	光电子技术学院(德国)
ITO	indium tin oxide	氧化铟锡
KPFM	Kelvin probe force microscopy	开尔文力显微镜
LDV	laser Doppler velocimetry	激光多普勒测速法
LED	light emitting diode	发光二极管
LEPECVD	low-energy plasma-enhanced chemical vapor deposition	低能量等离子体增强化学气相沉积
LESR	light induced electron spin resonance	光诱导电子自旋共振
LFA	laser-fired rear access	激光烧结背通路
LIOS	Linz Institute for Organic Solar Cells	林茨有机太阳能电池研究所(奥地利约翰开普勒林茨大学)
LLC	layered laser crystallization	分层激光晶化
LPCVD	low pressure chemical vapor deposition	低压化学气相沉积
LPE	liquid phase epitaxy	液相外延
LPPP	ladder type poly (paraphenylenes)	阶梯型聚对苯
LSM	low stretching mode	低拉伸模
LUMO	lowest unoccupied molecular orbital	最低未占轨道
MBE	molecular beam epitaxy	分子束外延
MBP	modulated barrier photodiode	调制势垒光电二极管
MDMO-PPV	poly (2 - methoxy - 5 -(3, 7 - dimethyl octyloxy)- 1, 4 - phenylene)	
MEH - PPV	poly (2 - methoxy, 5 -(2' - ethylhexoxy)- 1,4 - phenylenevinylene)	
MeLPPP	methyl-substituted ladder-type poly (p-phenylene)	
Me - Ptdi	N, N' - dimethyl-perylene - 3,4,9,10 - dicarboxi mide	
MG - Si	metallurgical grade silicon	冶金级硅
MIM	metal-insulator-metal	金属-绝缘体-金属
MLCT	metal to ligand charge transfer	金属到配体电荷转移
MOCVD	metal organic chemical vapor deposition	金属有机物化学气相沉积
MOS	metal oxide semiconductor	金属氧化物半导体
MTHF	5,10 - methenyltetrahydrofolate	
MW - PECVD	microwave plasma enhanced chemical vapor deposition	微波等离子体增强化学气相沉积
NAIST	NARA Institute of Science and Technology	奈良先端科学技术学院(日本)
ND→D	nondispersive to dispersive transition	非离散到离散的转变
NMR	nuclear magnetic resonance	核磁共振
NREL	National Renewable Energy Laboratory	国家可再生能源实验室(美国)
OBIC	optical beam induced current	光束诱导电流
OC ₁ C ₁₀ - PPV	poly (2 - methoxy - 5 -(3 - 7 - dimethyl-octyloxy)- 1,4 - phenylenevinylene)	
OLED	organic light emitting diode	有机发光二极管
OTF	Outdoor Test Facility	户外测试研究室(美国国家可再生能源实验室)
OVC	ordered vacancy compound	有序空位化合物
P1	patterning 1	第一次刻划
P2	patterning 2	第二次刻划
P3	patterning 3	第三次刻划