

聚光背结背接触太阳电池发射区半宽度的优化研究^①

周 涛^② 陆晓东 吴元庆 李 媛

(渤海大学新能源学院 锦州 121000)

摘要 利用 TCAD 半导体器件仿真软件对中低倍聚光光伏系统中应用的 N 型叉指背接触(IBC)单晶硅太阳电池的电学性能进行了仿真研究。全面系统地分析了在不同聚光比情况下,单元电池发射区半宽度对聚光 IBC 太阳电池短路电流密度、开路电压、填充因子及转换效率的影响。仿真结果表明:聚光 IBC 太阳电池的电学性能受到单元电池发射区半宽度和聚光比的显著影响。在不同的聚光比情况下,存在最优的发射区半宽度,使得聚光 IBC 太阳电池转换效率最高。随着聚光比的增大,最优的发射区半宽度减小。虽然增大聚光比可提高聚光 IBC 太阳电池的转换效率,但同时减小了最优的发射区半宽度及参考范围,增加了聚光 IBC 太阳电池的制备难度。

关键词 背接触, 太阳电池, 聚光比, 发射区半宽度, 转换效率, 优化

0 引言

聚光光伏发电是利用聚光的形式使太阳电池在较高的光强条件下工作,可提高太阳电池的转换效率,降低光伏发电的成本,因此聚光光伏发电具有良好的应用前景。常规太阳电池的辐照度为一个太阳(1sun , 光强为 1000W/cm^2),而聚光太阳电池的辐照度则为 n 个太阳($n > 1$, 定义其为聚光比)。对于低倍聚光应用,聚光比 $1 < n \leq 10$ 。对于中倍聚光应用,聚光比 $10 < n \leq 100$ 。对于高倍聚光应用,聚光比 $n > 100$ 。

在聚光光伏系统中,选择高效太阳电池可以大大降低光伏发电成本^[1,2]。电池效率越高,发电成本越低。不论是实验室研究,还是产业化大规模生产,目前应用于线性聚光的中低倍聚光光伏系统中最有效的硅单结太阳电池是叉指背接触(interdigitated back contact, IBC)太阳电池^[1,2]。IBC 太阳电池的结构特点是发射区及所有金属电极均位于电池背

表面,完全消除了栅线电极的遮蔽损耗。由于电极接触不在太阳电池前表面,因此不需要在前表面制备重掺杂区来降低接触电阻,从而降低了前表面光生载流子的复合速率。由于所有电极都位于电池背面,因此可通过优化电极尺寸来降低电极串联电阻。IBC 太阳电池是目前唯一可以用于聚光的商品化的高效单晶硅太阳电池。研究结果表明:2004 年 Amonix 公司研制的 IBC 太阳电池在聚光条件下的转换效率已高达 27.6% (1cm^2 , 92suns, AM1.5D, 25°C), 是迄今为止聚光硅电池所达到的最高效率^[3]。

虽然关于太阳电池结构设计和电学性能研究的文献报道有很多,但针对中低倍聚光光伏系统中应用的 IBC 太阳电池结构参数优化的文献报道较少^[4-7]。在大部分文献资料中,通常是在 1sun 条件下对太阳电池的结构参数进行优化研究,而没有考虑光强变化对电池电学性能的影响,并且在对太阳电池进行电学性能分析时多采用一维模型,忽略了光生载流子在发射区中水平传输对电池电学性能产

^① 国家自然科学基金(11304020)资助项目。

^② 男,1983 年生,硕士,讲师;研究方向:晶硅太阳能电池和功率半导体器件相关技术研究;联系人,E-mail: bhuzhoutao@163.com
(收稿日期:2016-09-20)

生的影响。目前在太阳电池研究领域广泛使用的模拟软件(如 PC1D、AMPS1D 等)只能对太阳电池进行一维仿真,无法对背结背(back junction back)接触太阳电池等复杂结构的高效电池进行精确仿真。本文利用在半导体器件研究领域广泛应用物理模型准确、器件结构设定精细^[8]的 TCAD 半导体器件仿真软件对中低倍聚光 N 型 IBC 单晶硅太阳电池的电学性能进行了仿真研究,全面系统地分析了聚光比和单元电池发射区半宽度对短路电流密度、开路电压、填充因子及转换效率的影响,并给出在一定聚光比情况下的最优的单元电池发射区半宽度,仿真结果可为聚光 IBC 太阳电池设计及制备提供有意义的参考信息。

1 太阳电池结构的计算模型及参数选择

利用 TCAD 仿真软件建立了叉指背接触(IBC)太阳电池单元结构,如图 1 所示。具体参数为^[6,9-11]:N 型单晶硅衬底厚度为 180 μm,与产业化单晶硅太阳电池的厚度一致。少子寿命为 1ms,衬底电阻率为 2Ω · cm。电池单元宽度(相邻阳极与阴极中点之间的距离)随发射区半宽度的变化而变化。N 型背表面场半宽度为 30 μm,表面浓度为 3 × 10¹⁹/cm³,扩散深度为 1 μm,杂质分布呈高斯分布。发射区与背表面场间隔为 20 μm。P⁺发射区半宽度为变量,变化范围为 50 μm ~ 950 μm,表面浓度 5 × 10¹⁹/cm³,结深为 1 μm,杂质分布呈高斯分布。阴极和阳极接触孔半宽度均为 20 μm。N 型前表面场表面掺杂浓度为 5 × 10¹⁷/cm³,扩散深度为 2 μm,杂质分布呈高斯分布。为简化仿真过程,IBC 太阳电池上表面没有设置金字塔绒面结构。上表面采用 Si₃N₄ 钝化-减反射膜,Si₃N₄ 厚度为 79 nm。当发射区表面掺杂浓度高于 1 × 10¹⁹/cm³ 时,金属电极的接触电阻率小于 1 × 10⁻⁵ Ω · cm²^[8],本文发射区和背表面场的表面浓度均高于 1 × 10¹⁹/cm³,因此,在仿真过程中假设电极接触电阻为 0。假设前表面场和发射区表面载流子复合速率 S 只与表面浓度有关,所采用的表面复合速率的表达式为^[12]

$$S = S_0 \left(\frac{N_s}{N_0} \right)^{\alpha} \quad (1)$$

式中 $\alpha = 1$, $N_0 = 1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$, $S_0 = 100 \text{cm/s}$, N_s 为前表面场或发射区表面浓度。计算得到前表面场表面复合速率为 50 cm/s,发射区表面复合速率为 5 × 10³ cm/s,假设电极接触区域硅表面复合速率为 1 × 10⁷ cm/s。

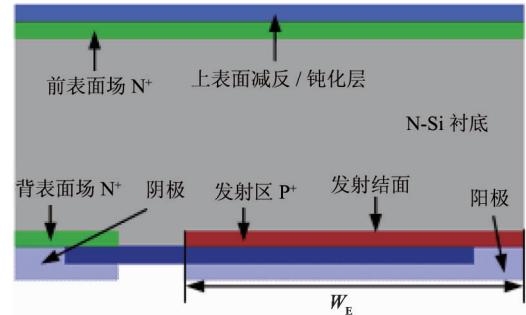


图 1 聚光 IBC 太阳电池单元结构

载流子复合率和迁移率是影响载流子输运的两个重要参数,其模型选择对仿真结果影响较大。迁移率模型考虑了与掺杂浓度相关的迁移率模型和与平行(横向)电场相关的迁移率模型。默认器件工作温度为 300K。载流子迁移率与温度和掺杂浓度之间的关系可表示为^[13,14]

$$\mu_{n1} = 55.24 + \frac{1429.23 \left(\frac{T_L}{300} \right)^{-2.3} - 55.24}{1 + \left(\frac{T_L}{300} \right)^{-3.8} \cdot \left(\frac{N}{1.072 \times 10^{17}} \right)^{0.73}} \quad (2)$$

$$\mu_{p1} = 49.7 + \frac{479.37 \left(\frac{T_L}{300} \right)^{-2.2} - 49.7}{1 + \left(\frac{T_L}{300} \right)^{-3.7} \cdot \left(\frac{N}{1.072 \times 10^{17}} \right)^{0.7}} \quad (3)$$

式中, N 为半导体材料掺杂浓度, T_L 是晶格温度。

载流子迁移率与横向电场之间的关系可表示为^[13,14]

$$\mu_{n2} = 1000 \left(\frac{T_L}{300} \right)^{-1.5} \left[1/1 + \left(\frac{1000 \left(\frac{T_L}{300} \right)^{-1.5} \cdot E}{1.03 \times 10^7} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\mu_{p2} = 500 \left(\frac{T_L}{300} \right)^{-1.5} \left[1/1 + \left(\frac{500 \left(\frac{T_L}{300} \right)^{-1.5} \cdot E}{1.03 \times 10^7} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

复合模型考虑了与掺杂浓度相关的 Shockley-Read-Hall (SRH) 复合和俄歇复合。少子寿命与掺杂浓度相关的 SRH 复合模型的表达式为^[15-17]

$$R_{SRH} =$$

$$\frac{pn - n_i^2}{\tau_p \left[n + n_i \exp\left(\frac{ETRAP}{kT_L}\right) \right] + \tau_n \left[p + n_i \exp\left(-\frac{ETRAP}{kT_L}\right) \right]} \quad (6)$$

式中, n 为电子浓度, p 为空穴浓度, n_i 为本征载流子浓度。 $ETRAP$ 是本征费米能级与复合中心能级之差, 默认认为 $ETRAP = 0$ 。与掺杂浓度有关的电子寿命 τ_n 和 τ_p 分别表示如下:

$$\tau_n = \frac{\tau_{n0}}{1 + \frac{N}{5 \times 10^{16}}} \quad (7)$$

$$\tau_p = \frac{\tau_{p0}}{1 + \frac{N}{5 \times 10^{16}}} \quad (8)$$

式中 N 是掺杂浓度, τ_{n0} 和 τ_{p0} 分别是 300K 时无掺杂半导体中的电子寿命和空穴寿命, 本文令 τ_{n0} 和 τ_{p0} 均为 1ms。

俄歇复合模型的表达式为^[15-17]

$$R_{AUGER} = 8.3 \times 10^{-32} (pn^2 - nn_i^2) + 1.8 \times 10^{-31} (np^2 - pn_i^2) \quad (9)$$

另外还考虑了重掺杂引起的禁带变窄(band gap narrowing, BGN) 效应和能带简并效应(FERMI)。模拟测试条件为: 25°C, AM1.5G 光谱, 入射光垂直电池上表面入射, 光强为 0.1W/cm² ~ 10W/cm²。

2 仿真结果与分析

利用图 2 所示的太阳电池等效电路模型对聚光 IBC 太阳电池的电学性能进行研究。图 2 中 I_L 为光生电流, I_D 为暗电流, R_s 为总串联电阻, R_L 为负载电阻。当 $R_L = 0$ 时, 表示电池处于短路状态, 当 $R_L = \infty$ 时, 表示电池处于开路状态。 V 为负载两端电压, I 为负载电流。太阳电池伏安特性可表示为^[18]

$$V = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_L - I}{I_s} + 1\right) - IR_s \quad (10)$$

式中 n 为二极管影响因子, K 为玻尔兹曼常数, T 为绝对温度。 $I \times R_s$ 表示电池串联电阻损耗。

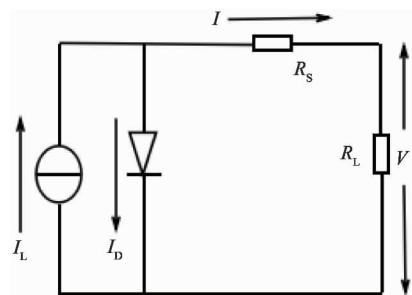


图 2 太阳电池等效电路模型

图 3 为仿真得到的单元电池发射区半宽度 (W_e) 和聚光比对聚光 IBC 太阳电池短路电流密度 J_{sc} (短路电流与太阳电池面积的比值) 的影响。由图 3 可见: 当聚光比一定时, 随着 W_e 的增大, 聚光 IBC 太阳电池 J_{sc} 先增大后减小, 即存在短路电流密度的峰值 J_{SCP} 。 W_e 在一定范围内, 随着 W_e 的增大, J_{sc} 首先迅速增大, 然后增大的幅度逐渐减小。当聚光比不同时, J_{SCP} 所对应的 W_e 有所不同。当聚光比较低(1sun、5suns 以及 10suns) 时, J_{SCP} 所对应的 W_e 较大, 为 1300 μm。当聚光比较高(>10suns) 时, 随着聚光比的增大, J_{SCP} 对应的 W_e 减小。在 50suns 条件下, J_{SCP} 对应的 W_e 为 550 μm; 在 100suns 条件下, J_{SCP} 对应的 W_e 为 450 μm。原因是波长为 λ 的入射光在太阳电池中激发产生的光生电流密度 $J_{sc}(\lambda)$ 可表示为^[18]

$$J_{sc}(\lambda) = q\phi(\lambda)QE(\lambda) \quad (11)$$

式中 $QE(\lambda)$ 为硅材料对波长为 λ 的入射光的量子效率, q 为单位电荷, $\phi(\lambda)$ 为光子通量密度。太阳电池短路电流密度 J_{sc} 是全部入射光波段贡献的总和。光子通量密度 $\phi(\lambda)$ 可表示为^[18]

$$\phi(\lambda) = \frac{2\pi\lambda hc^2}{hc\lambda^5(e^{h\lambda/KT} - 1)} \quad (12)$$

式中 h 、 K 、 T 分别为普朗克常数、玻尔兹曼常数、绝对温度。太阳电池短路电流与发射结面积成正比, 发射结面积越大, 短路电流越大。当 IBC 太阳电池背表面场、背表面场与发射区间隔的面积与发射区面积按相同比例增大时, 在一维情况下, 电池短路电流密度将保持不变。由于在结构定义中, 令背表面场、背表面场与发射区间隔的横向尺寸保持不变, 因此, W_e 在一定范围内, 随着 W_e 的增大, 聚光 IBC 太阳电池 J_{sc} 增大。当光生载流子穿过发射结空间电

荷区垂直进入发射区后,光生空穴并不是同时均匀地水平输运至阳极,越靠近阳极的光生空穴,越容易被阳极收集。当靠近阳极的光生空穴被收集后,靠近阳极的光生空穴浓度降低,由于光生空穴的水平扩散运动,在发射区内部水平方向上将产生由发射区边缘指向发射区中心的“内建电场”^[19]。该“内建电场”提高了发射区中光生空穴的收集效率。 W_e 越小,该水平“内建电场”对光生空穴的作用越显著,因此, W_e 在一定范围内,随着 W_e 的增大, J_{sc} 首先迅速增大,然后增大的幅度逐渐减小。当太阳电池工作于短路状态下,且光照条件一定时,发射结正向偏压越大,电池暗电流越大,输出短路电流越小。

随着聚光比的增大,发射区内部光生空穴载流子浓度和光生空穴电流增大,光生空穴电流在发射结上所产生的正向压降增大,导致正向暗电流增大。当聚光比一定时, W_e 越大,发射区串联电阻越大,发射结正向压降越大。当 W_e 增大到一定值时,由光生空穴电流导致的发射结正偏(暗电流)将对电池 J_{sc} 产生显著影响。从而导致随着 W_e 增大,聚光 IBC 太阳电池 J_{sc} 出现降低的变化特点。聚光比越大,太阳电池光生空穴电流越大,随着 W_e 的增大,发射结正向压降增大的越迅速,导致随着聚光比增大, J_{sc} 对应的 W_e 减小。

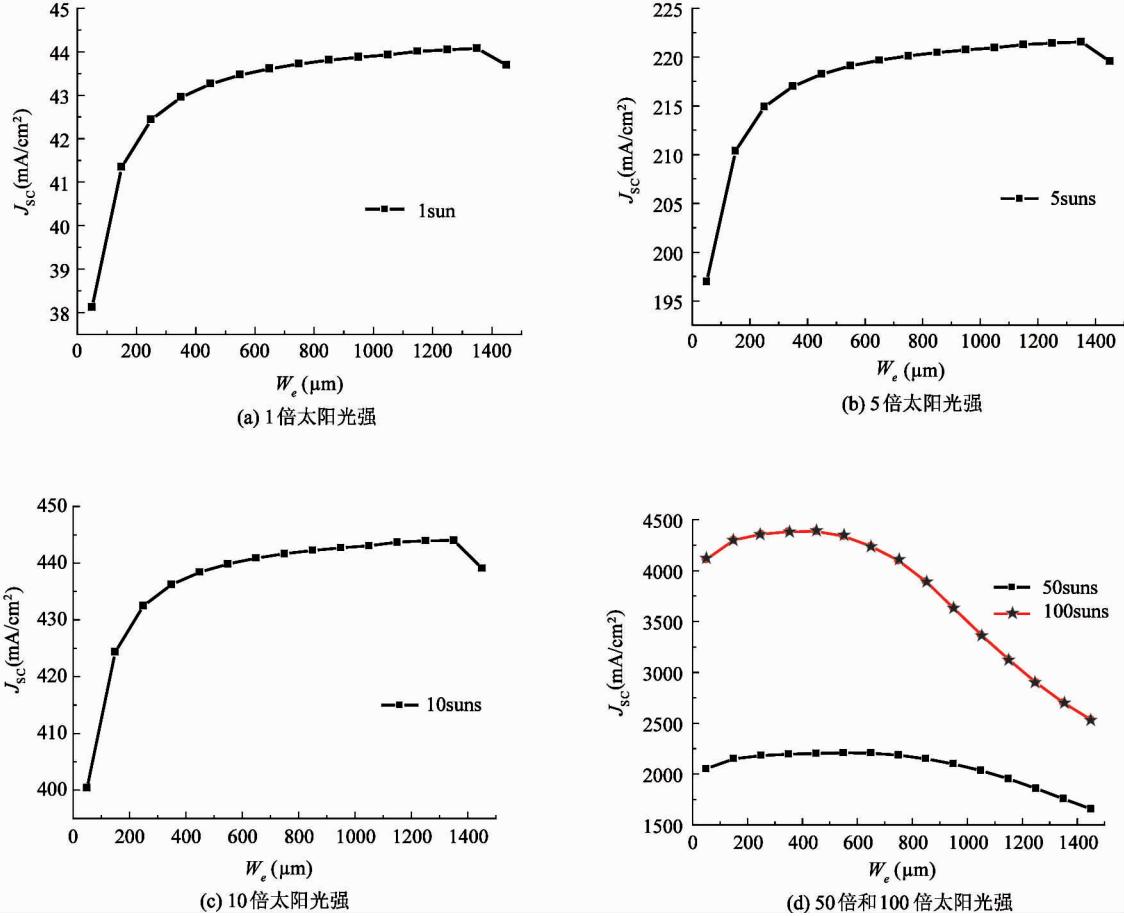


图 3 聚光比和单元电池发射区半宽度对聚光 IBC 太阳电池短路电流密度的影响

图 4 为仿真得到的聚光比和单元电池发射区半宽度对聚光 IBC 太阳电池开路电压(V_{oc})的影响。由图 4 可见:当聚光比一定时, W_e 越大,聚光 IBC 太阳电池 V_{oc} 越大。当 W_e 一定时,聚光比越大,聚光 IBC 太阳电池 V_{oc} 越大。原因是太阳电池 V_{oc} 可表示

为^[18]

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right) \quad (13)$$

其中, I_0 为太阳电池反向饱和电流。 I_L 为太阳电池光生电流。 n 为与发射区掺杂浓度相关的常数。由

式(13)可知,太阳电池 V_{oc} 主要由光生电流与反向饱和电流的比值决定, I_L/I_0 越大, 太阳电池 V_{oc} 越大。当聚光比一定时, 随着 W_e 的增大, 聚光 IBC 太阳电池光生电流随之线性增大。IBC 太阳电池反向饱和电流为发射区少子电子饱和电流 I_{0n} 和衬底少子空穴饱和电流 I_{0p} 之和。 I_{0n} 和 I_{0p} 可表示为^[18]

$$I_{0n} = qA_E \frac{n_i^2}{N_E} \frac{D_n}{(W_p - x_p)} \frac{S_B}{S_B + D_n/(W_p - x_p)} \quad (14)$$

$$I_{0p} = qA_E \frac{n_i^2}{N_B} \frac{D_p}{(W_n - x_n)} \frac{S_B}{S_B + D_p/(W_n - x_n)} \quad (15)$$

其中, N_E 为发射区平均掺杂浓度, N_B 为衬底掺杂浓度。 D_n 为少子电子扩散系数, D_p 为少子空穴扩散系数。 W_n 为衬底厚度, W_p 为发射结结深。 x_n 为发射结空间电荷区在衬底一侧的扩展宽度, x_p 为发射结空间电荷区在发射区一侧的扩展宽度。 A_E 为发射结面积, S_B 为发射区表面非金属接触区域复合速率。由式(14)、(15)可知, 反向饱和电流与发射结面积成正比, 而与发射区、衬底掺杂浓度成反比。随着 W_e 的增大, 发射区中的光生空穴浓度和衬底中的光生电子浓度增大。当光生电子浓度增大到一定值时, 衬底有效掺杂浓度将受到光生电子浓度的影响^[19]。 W_e 越大(I_L 越大), 光生电子浓度对衬底有效掺杂浓度的影响越显著, 使得衬底有效掺杂浓度高于原始掺杂浓度 N_B (发射区由于重掺杂, 其有效掺杂浓度受光生空穴浓度的影响较小), 因此, 随着 W_e 的增大, I_L/I_0 增大, 聚光 IBC 太阳电池 V_{oc} 增大。

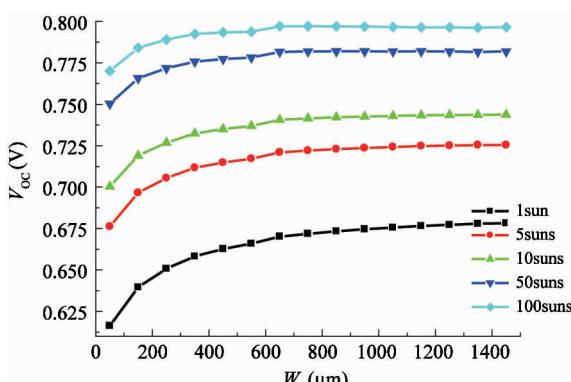


图 4 聚光比和单元电池发射区半宽度对聚光 IBC 太阳电池开路电压的影响

当 W_e 一定时, 聚光比越大, 光生空穴和光生电子浓度越高, 太阳电池 I_L 越大, 同时衬底有效掺杂浓度越高, 太阳电池 I_0 越小, 因此, 随着聚光比的增大, I_L/I_0 增大, 聚光 IBC 太阳电池 V_{oc} 增大。

图 5 为仿真得到的聚光比和单元电池发射区半宽度对聚光 IBC 太阳电池填充因子(FF)的影响。由图 5 可见, 当聚光比一定时, 随着 W_e 的增大, 聚光 IBC 太阳电池 FF 随之降低, 当 W_e 一定时, 随着聚光比的增大, 聚光 IBC 太阳电池 FF 随之降低, 当 W_e 较大($W_e > 1000 \mu\text{m}$)时, 随着 W_e 的增大, 100suns 条件下的 FF 与 50suns 条件下的 FF 之间的差别逐渐减小。原因是太阳电池填充因子 FF 可表示为^[18]

$$FF = \frac{I_{\max} V_{\max}}{I_{SC} V_{OC}} \quad (16)$$

式中 I_{\max} 和 V_{\max} 分别为太阳电池最大功率点所对应的输出电流和输出电压。FF 主要由太阳电池的串联电阻损耗决定, 串联电阻损耗越大, FF 越小^[1]。电池串联电阻损耗可表示为光生电流与总串联电阻的乘积。当电极串联电阻、电极接触电阻一定时, 电池总串联电阻主要由电池体区串联电阻(发射区等效串联电阻和衬底等效串联电阻之和)决定。当聚光比一定时, W_e 越大(光生载流子水平传输路径越长), 体区等效串联电阻越大, 且光生空穴浓度和光生电子浓度越大。发射半宽度的增大导致了由光生电流和串联电阻乘积决定的串联电阻损耗($I \times R_S$)增大, 电池最大输出功率($I_{\max} \times V_{\max}$)降低。因此, 随着 W_e 的增大, FF 随之降低。当 W_e 一定时, 随着聚光比的增大, 光生电流随之增大。在聚光比较低(≤ 10 suns)的情况下, 随着聚光比的增大, 光生电流随之增大, 导致由光生电流和串联电阻乘积决定的串联电阻损耗增大, 电池最大输出功率降低, FF 随之减小。在聚光比较高(≥ 50 suns)且 W_e 较大($W_e > 1000 \mu\text{m}$)的情况下, 随着聚光比和 W_e 的增大, 增大的光生载流子浓度对衬底有效掺杂浓度的影响较显著, 衬底等效串联电阻随聚光比和 W_e 的增大而降低, 串联电阻降低在一定程度上补偿了光生电流增大对电池串联电阻损耗的不利影响。因此, 当 W_e 较大($W_e > 1000 \mu\text{m}$)时, 随着 W_e 的增大, 100suns 条件下的 FF 与 50suns 条件下的 FF 之间的差别逐渐

减小。

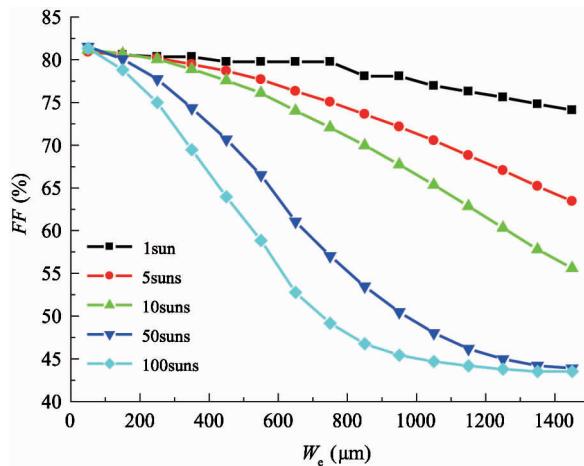


图 5 聚光比和单元电池发射区半宽度对聚光 IBC 太阳电池填充因子的影响

太阳电池转换效率(E_{ff})可表示为^[18]

$$E_{ff} = \frac{J_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{P_{in}} \quad (17)$$

其中, P_{in} 为入射光功率密度。IBC 太阳电池的短路电流密度、开路电压和填充因子的乘积越大, 电池转换效率越高。根据式(17)及上述计算得到的 J_{sc} 、 V_{oc} 及 FF 电参数值, 可直接计算得到不同聚光比和 W_e 情况下的聚光 IBC 太阳电池 E_{ff} , 如图 6 所示。由图 6 可见: 当聚光比一定时, 随着 W_e 的增大, 聚光 IBC 太阳电池 E_{ff} 先增大后减小, 即存在最优的 W_e , 使得聚光 IBC 太阳电池的 E_{ff} 最大。且随着聚光比的增大, 最优的 W_e 减小。在 1sun 条件下, 最优的 W_e 为 650 μm, 最大电池 E_{ff} 为 23.0729%; 在 5suns 条件下, 最优的 W_e 为 450 μm, 最大电池 E_{ff} 为 24.5484%; 在 10suns 条件下, 最优的 W_e 为 350 μm, 最大电池 E_{ff} 为 25.2068%; 在 50suns 条件下, 最优的 W_e 为 150 μm, 最大电池 E_{ff} 为 26.3634%; 在 100suns 条件下, 最优的 W_e 为 150 μm, 最大电池 E_{ff} 为 26.5691%。综上所述可知, 在一定聚光比条件下, 通过优化单元电池发射区半宽度, 可在一定程度上提高聚光 IBC 太阳电池的电学性能。同时发现, 在聚光比较大(50suns 和 100suns)条件下, 当 W_e 大于最优值时, 随着 W_e 增大, 电池 E_{ff} 呈现出较大幅度的降低。因此, 提高聚光比虽然可以最大限度的提高聚光 IBC 太阳电池的转换效率, 但聚光比越大, 最优

的单元电池发射区半宽度及参考范围越小, 这在一定程度上增大了聚光 IBC 太阳电池实际制造的难度。

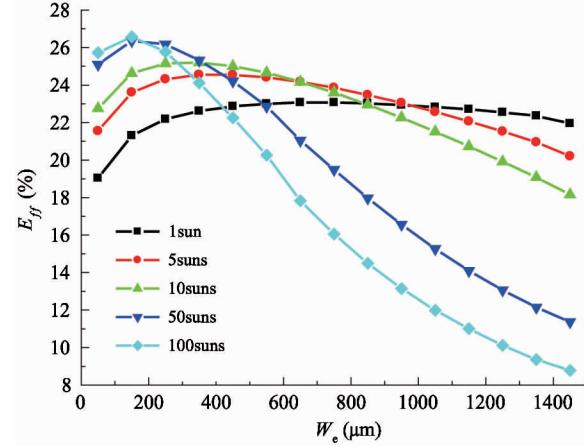


图 6 聚光比和单元电池发射区半宽度对聚光 IBC 太阳电池转换效率的影响

3 结 论

在不同聚光比条件下, 利用 TCAD 半导体器件仿真软件对中低倍聚光应用的叉指背接触(IBC)太阳电池单元发射区半宽度进行了优化。同时详细地分析了聚光比和单元电池半宽度对影响聚光 IBC 太阳电池转换效率的关键电学参数(短路电流密度、开路电压及填充因子)的影响。随着聚光比的增大, 最优的单元电池发射区半宽度及可提供的参考范围减小。当聚光比一定时, 随着单元电池发射区半宽度的增大, 聚光 IBC 太阳电池转换效率先增大后减小, 即存在最优的单元电池发射区半宽度, 使得聚光 IBC 太阳电池的转换效率最大。且随着聚光比的增大, 最优的单元电池发射区半宽度减小。虽然提高聚光比可以最大限度的提高聚光 IBC 太阳电池的转换效率, 但聚光比越大, 最优的单元电池发射区半宽度及可提供的参考范围越小。

参 考 文 献

- [1] Markvart T, Castaner L 著. 梁骏吾译. 太阳电池: 材料、制备工艺及检测. 北京: 机械工业出版社, 2010. 4-7
- [2] 韩新月, 屈健, 郭永杰. 聚光太阳电池及其研究进展. 半导体光电, 2015, 36(04): 527-532
- [3] Zubi G, Bernal-Agustín J L, Fracastoro G V. High con-

centration photovoltaic systems applying III-V cells. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13 (9) : 2645-2652

- [4] Tobias O, Udo R, Yevgeniya L, et al. High fill-factors of back-junction solar cells without front surface field diffusion. In: Proceedings of the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Frankfurt, Germany, 2012. 866-869
- [5] Giuseppe G, Valentin D, Razvan R, et al. Large-area back-contact back-junction solar cell with efficiency exceeding 21%. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 2013, 3 (1) :560-565
- [6] Padilla M, Hoffler H, Reichel C, et al. Surface recombination parameters of interdigitated-back-contact silicon solar cells obtained by modeling luminescence images. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2014, 120 (1) : 363-375
- [7] Batoul B, Abdellatif Z. Optimal design of buried emitter of EWT silicon solar cells type by numerical simulation. *Energy Procedia*, 2014 (44) : 126-131
- [8] Xing Y P, Han P D, Fan Y J, et al. Optimization of the emitter region and the metal grid of a concentrator silicon solar cell. *Journal of Semiconductors*, 2013, 34 (5) : 54005-54012
- [9] Renshaw J, Rohatgi A. Device optimization for screen printed interdigitated back contact solar cells. In: Proceedings of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Seattle, USA, 2011. 002924-002927
- [10] Zhang W, et al. Optimization of metal coverage on the emitter in n-type interdigitated back contact solar cells

using a PC2D simulation. *Chinese Physics Letters*, 2013, 30(7) : 8801-8805

- [11] Franklin E, Fong K, McIntosh K, et al. Design, fabrication and characterisation of a 24.4% efficient interdigitated back contact solar cell. In: Proceedings of the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdam, Netherlands, 2014. 2556-2572
- [12] Cuevas A, Russell D A, Cuevas A, et al. Co-optimisation of the emitter region and the metal grid of silicon solar cells. *Progress in Photovoltaics Research & Applications*, 2000, 8(6) :603-616
- [13] Caughey D M, Thomas R E. Carrier mobilities in silicon empirically related to doping and field. *Proceedings of the IEEE*, 1967, 55(12) : 2192-2193
- [14] Selberherr S. Process and device modeling for VLSI. *Microelectronics Reliability*, 1984, 24(2) :225-257
- [15] Shockley W, Read W T. Statistics of the recombinations of holes and electrons. *Physical Review*, 1952, 87(5) : 835-842
- [16] Hall R N. Electron-hole recombination in germanium. *Proceedings of the Physical Society*, 1953, 24(1) :221-229
- [17] Dziewior J, Schmid W. Auger coefficients for highly doped and highly excited silicon. *Applied Physics Letters*, 1977, 31(5) :346-348
- [18] 熊绍珍,朱美芳. 太阳能电池基础与应用. 北京:科学出版社, 2009. 95-98
- [19] 陈星弼,张庆中. 晶体管原理与设计. 北京:电子工业出版社, 2006. 143-152

Optimization of the emitter half width of concentrator back junction back contact solar cells

Zhou Tao, Lu Xiaodong, Wu Yuanqing, Li Yuan

(School of New Energy, Bohai University, Jinzhou 121000)

Abstract

The electrical properties of N-type interdigitated back contact (IBC) mono-crystalline silicon solar cells used in medium and low concentrating photovoltaics (CPV) systems were studied by using the TCAD semiconductor device simulation software. The influences of the emitter half width on concentrator IBC solar cells' short-circuit current density, open-circuit voltage, filling factor and conversion efficiency were analyzed comprehensively and systematically under different concentration ratios. The simulation results show that the concentrator IBC solar cells' electrical properties are significantly affected by the emitter half width of unit solar cells and the concentration ratio. Under the variation of the concentration ratio, there is an optimal emitter half width to make concentrator IBC solar cells' conversion efficiency reach maximum. With the increasing of the concentration ratio, the optimal emitter half width decreases. Although the concentrator IBC solar cells' conversion efficiency can be improved by the concentration ratio's increasing, but the optimal emitter half width and its range decrease simultaneously, which increases the preparation difficulty of concentrator IBC solar cells.

Key words: back contact, solar cell, concentration ratio, emitter half width, conversion efficiency, optimize