

高效背接触太阳电池反向热击穿特性研究^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 基于非等温能量平衡传输模型,利用 TCAD 半导体器件仿真软件对 N 型插指背接触(IBC)单晶硅太阳电池反向输出特性进行了仿真研究。通过光电转换效率和反向热击穿特性对 IBC 太阳电池的性能进行综合评价。全面系统地分析了不同衬底电阻率、发射区表面浓度、发射结结深对 IBC 电池反向热击穿特性和转换效率的影响。借鉴双极功率半导体器件的抗二次击穿技术并应用于 IBC 电池,详细分析了发射区边缘刻蚀结构对 IBC 电池反向热击穿特性的影响。仿真结果表明:高晶硅衬底电阻率、低发射区表面浓度有利于改善 IBC 电池的反向热击穿特性,但不利于电池转换效率的提高。深结发射区不仅有利于改善 IBC 电池的热击穿特性,而且有利于电池转换效率的提高。当发射区边缘柱面结未被完全刻蚀时,不具有改善 IBC 电池反向热击穿特性的作用。当发射区边缘柱面结被完全刻蚀时,随着横向刻蚀距离的增大,热击穿临界电压增大。

关键词 背接触, 太阳电池, 电阻率, 发射区, 表面浓度, 结深, 刻蚀, 热击穿

0 引言

N 型插指背接触(interdigitated back contact, IBC)太阳电池是转换效率最高的电池结构之一。IBC 晶硅太阳电池在光吸收、电极收集效率及电极接触方面的性能均优于传统 P 型晶硅太阳电池,因而它已成为晶硅电池领域的研究热点^[1-3]。美国 SUNPOWER 公司可进行 IBC 太阳电池的大规模生产,目前产业化 IBC 电池的转换效率可达到 22%^[4]。2014 年,SUNPOWER 公司宣布在实验室研制的大面积($125\text{mm} \times 125\text{mm}$) IBC 太阳电池转换效率达到 25%,这是目前已报道的效率最高的 N 型单结大面积晶硅太阳电池^[5]。

由于单体太阳电池的输出电压和输出电流较小,一般不能单独作为电源使用,需根据使用要求将若干个单体电池进行适当的连接,封装成可单独对

外供电的光伏组件。当应用领域需要更高的输出电压和输出电流且单个组件不能满足要求时,可把多个组件按串联或并联的方式进行连接,以获得所需要的电压和电流。太阳电池串联的片数越多,输出电压越高;并联的片数越多,输出电流越大。因此,欲获得较高的组件输出功率,除了采用高效太阳电池片进行组件封装外,还应适当增加光伏组件中串联、并联电池片的数量。然而,当光伏组件中的某一位置被遮挡或掺有低效率电池片时,由于与之串联的其它电池的作用,被遮挡位置或低效电池片处能够形成一个超过 $(N - 1) \times V_{\text{out}}$ (N 为阵列中串联的太阳电池数量, V_{out} 为单体太阳电池的输出电压) 的反向偏压^[6,7]。如果这个电压产生的反向电流足够大,其产生的热量可导致电池局部发生热击穿的现象,可烧毁电池甚至整个光伏组件。因此,单体太阳电池的热击穿是影响光伏组件可靠性的主要因素之一。对于具有较高输出功率要求的光伏组件,除了

^① 国家自然科学基金项目(No. 11304020)。

^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;联系人,E-mail: bhuzhoutao@163.com
(收稿日期:2015-07-17)

要求各单体太阳电池具有较高的光电转换效率且电性能一致外,同时要求单体太阳电池具有良好的抗热击穿的能力。因此,通过对太阳电池结构进行精细的设计和优化来改善太阳电池热击穿特性,对提高光伏组件的可靠性具有较大意义。目前,尽管关于各种不同材料、结构的太阳电池优化设计及制备工艺研究的文献报道有很多,但是针对高效 IBC 晶硅太阳电池反向热击穿特性的研究报道较少^[8-12]。本文基于非等温能量平衡传输模型,利用 TCAD 半导体器件仿真软件对 N 型 IBC 晶硅太阳电池的反向热击穿特性进行了仿真研究,通过光电转换效率和反向热击穿特性对 IBC 太阳电池的性能进行了综合评价与分析,全面系统地分析不同衬底电阻率、发射区表面浓度、结深对 IBC 太阳电池反向热击穿特性和转换效率的影响,详细分析了发射区边缘刻蚀结构对 IBC 太阳电池反向热击穿特性的影响。

1 IBC 晶硅太阳电池结构的计算模型及参数选择

利用 TCAD 半导体器件仿真软件建立 IBC 晶硅太阳电池单元结构,如图 1 所示。具体参数如下^[8-13]:N 型晶硅衬底厚度为 180 μm,少子寿命为 500 μs,衬底电阻率 (ρ),变化范围为 0.1 ~ 5 Ω·cm。电池单元宽度为 1000 μm;N⁺ 背表面场半宽度为 150 μm,表面浓度为 $3 \times 10^{19}/\text{cm}^3$,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 75 μm;P⁺ 发射区半宽度为 775 μm,表面浓度为 $5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$;结深,变化范围为 0 ~ 1 μm,杂质分布呈高斯分布;阴极和阳极接触孔半宽度均为 75 μm;N 型前表面场表面掺杂浓度为 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$,扩散深度为 2 μm,杂质分布呈高斯分布;电池上表面采用 SiO₂/Si₃N₄ 双层增透膜,SiO₂ 和 Si₃N₄ 厚度分别为 94 nm 和 67 nm;电池上表面由 Si₃N₄ 钝化,表面复合速率为 $1.5 \times 10^3 \text{ cm/s}$ 。下表面二氧化硅钝化区域硅表面复合速率为 $1 \times 10^4 \text{ cm/s}$,金属电极接触区域硅表面复合速率为 $1 \times 10^7 \text{ cm/s}$;电极-发射区接触电阻为 0.083 Ω。

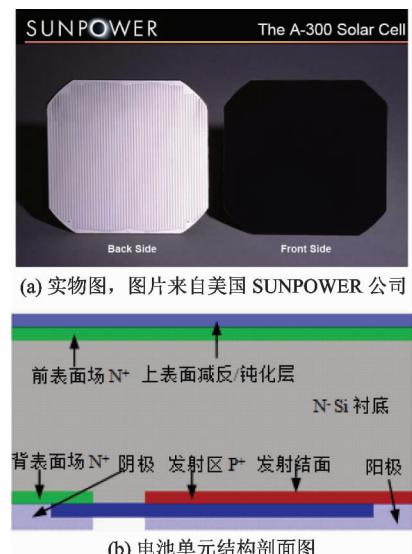


图 1 IBC 晶硅太阳电池结构

仿真热击穿特性需要考虑 IBC 太阳电池的自热效应。计算由自热引起的器件内部的温度分布需要求解下面的热传导方程^[14,15]:

$$\begin{aligned} c \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot \kappa \nabla T = & - \nabla \cdot [(P_n T + \phi_n) J_n \\ & + (P_p T + \phi_p) J_p] \\ & - \left(E_C + \frac{3}{2} \kappa_B T \right) \nabla \cdot J_n \\ & - \left(E_V - \frac{3}{2} \kappa_B T \right) \nabla \cdot J_p \\ & + qR(E_C - E_V + 3\kappa_B T) \end{aligned} \quad (1)$$

其中 T 是温度, c 是晶格热容, k 是热导率, P_n 和 P_p 分别表示电子和空穴的绝对热电功率, ϕ_n 和 ϕ_p 分别为电子和空穴准费米势, J_n 和 J_p 分别代表电子和空穴电流密度, k_B 是玻尔兹曼常数, E_C 和 E_V 分别表示导带底和价带顶能级, q 为基本电荷, R 为复合率。

为了精确模拟自热效应对 IBC 太阳电池性能的影响,需要考虑电池内部温度分布对载流子输运过程的影响,因此,本文利用非等温能量平衡传输 (non-isothermal energy balance, NEB) 模型模拟载流子的输运过程。非等温能量平衡传输模型对漂移-扩散模型在非等温情况下进行了扩展,它考虑了晶格温度梯度对电流密度的贡献。考虑晶格温度梯度影响后的电子和空穴电流密度方程为^[14,15]:

$$J_n = -nq\mu_n(\nabla\phi_n + P_n\nabla T) \quad (2)$$

$$J_p = -pq\mu_p(\nabla\phi_p + P_p\nabla T) \quad (3)$$

其中 n 和 p 分别表示为电子和空穴浓度, μ_n 和 μ_p 分别表示电子和空穴迁移率。

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, 其模型选择对模拟结果影响较大。仿真过程中, 复合模型考虑了与掺杂浓度相关的 SRH 复合和俄歇复合; 迁移率模型考虑了与温度、掺杂浓度、横向及纵向电场对载流子迁移率的影响。另外还考虑了重掺杂引起的禁带变窄效应和能带简并效应。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 1000W/m²。假设 IBC 太阳电池左右边界和上边界与外界无热量的交换。

2 结构参数对 IBC 太阳电池热击穿特性的影响

太阳电池热击穿机理可由双极型半导体器件二次击穿机理解释^[16]。对于处于反向偏置状态的电池片, 当反向偏压(V_R)增大到某一数值时, 电池反向电流(I_R)急剧上升, 出现通常的雪崩击穿。当反向偏压进一步增大, 电池反向电流增大到某一临界值时(如图 2 所示), 太阳电池反向偏压突然降低, 电池反向电流仍继续增大, 这个现象称为热击穿。由于局部雪崩击穿形成了局部大电流, 使得发射结

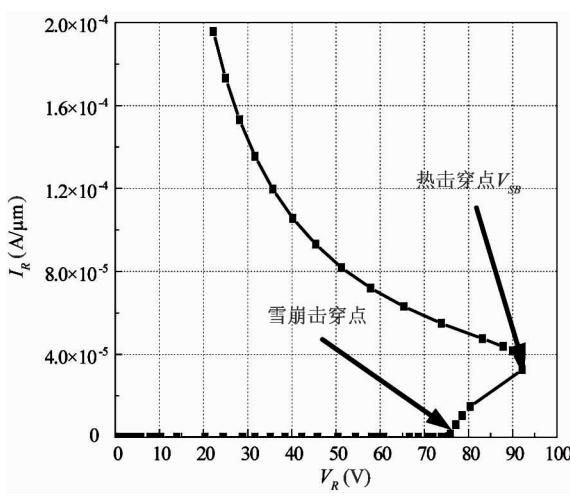


图 2 IBC 太阳电池热击穿特性曲线

融通, 在衬底和发射区之间形成一个低电阻率通道, 从而使反向偏压快速下降。输出特性曲线从高电压低电流区急速地过渡到低压大电流区, 出现明显的负阻现象。

2.1 衬底电阻率对电池热击穿特性的影响

当 IBC 太阳电池施加反向偏压后, 发射结($P^+ N$)势垒区主要向杂质浓度较低的衬底一侧扩展。衬底杂质浓度越低(电阻率越高), 则势垒区扩展宽度越大, $P^+ N$ 结界面处的峰值电场越小, 就越不容易达到雪崩击穿所要求的临界击穿电场, IBC 太阳电池的雪崩击穿电压和热击穿临界电压(V_{SB})越高(如图 3 所示)。因此, 提高晶硅衬底电阻率可显著改善 IBC 太阳电池的反向热击穿特性。

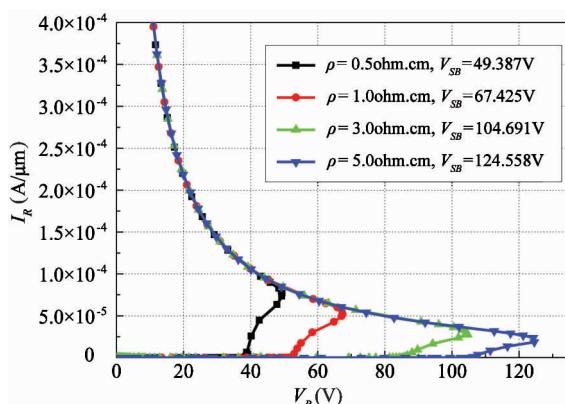


图 3 不同衬底电阻率对 IBC 太阳电池反向热击穿特性的影响 ($C_{ES} = 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$, $x_{je} = 1 \mu\text{m}$)

表 1 为计算得到的不同衬底电阻率对 IBC 太阳电池光电转换特性的影响。由表 1 可见: 衬底电阻率越大, IBC 太阳电池短路电流密度(J_{SC})、开路电压(V_{oc})越高, 太阳电池填充因子(FF)随着衬底电阻率的增大而减小。原因是衬底电阻率越大, 少子扩散长度越大, 光生载流子复合损耗越小, J_{SC} 越高; 影响 V_{oc} 的主要因素之一是反向饱和电流。当太阳电池材料、结构以及光照条件确定时, V_{oc} 随着反向饱和电流的增加而减小。而反向饱和电流与少数载流子在太阳电池中的复合速率有关。晶硅衬底电阻率越小, 少数载流子在太阳电池中的复合速率越大, 反向饱和电流越大, V_{oc} 越小, 串联电阻损耗是影响 FF 的最主要因素。串联电阻损耗越大, FF 越小。

串联电阻损耗主要由发射区、衬底串联电阻损耗及金属半导体接触电阻损耗三部分构成。晶硅衬底电阻率越高,串联电阻、短路电流越大,从而太阳电池串联电阻损耗越大,FF 越小。太阳电池转换效率(Eff)决定于 J_{sc} 、 V_{oc} 和 FF 三者的乘积,乘积越大, Eff 越高。在所讨论的衬底电阻率范围内,当衬底电阻率为 $0.3\text{ohm}\cdot\text{cm}$ 时, Eff 最高,可达 23.26% 。但此时 IBC 电池雪崩击穿电压和热击穿临界电压均较低(由图 3 可见)。由上述分析可知,IBC 太阳电池热击穿特性和光电转换特性对衬底电阻率的要求是相互矛盾的,对衬底电阻率的选择应折中考虑其对 IBC 电池正、反向输出特性的影响。

表 1 不同衬底电阻率对 IBC 太阳电池光电转换特性的影响

($C_{ES} = 5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$, $x_{je} = 1\mu\text{m}$)

$\rho(\text{ohm}\cdot\text{cm})$	$J_{sc}(\text{mA}/\text{cm}^2)$	$V_{oc}(\text{V})$	$FF(\%)$	$Eff(\%)$
0.1	38.274	0.6520	84.641	22.002
0.2	40.389	0.6578	83.931	23.230
0.3	40.787	0.6597	82.992	23.264
0.4	40.945	0.6611	82.128	23.159
0.5	41.054	0.6624	81.286	23.026
1	41.198	0.6643	79.454	22.654
3	41.347	0.6660	77.593	22.257
5	41.406	0.6663	77.297	22.215

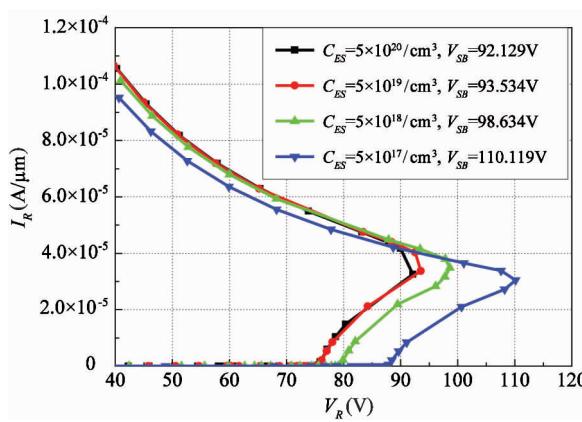
2.2 发射区结构参数对电池热击穿特性的影响

图 4 为计算得到的不同发射区表面浓度(C_{ES})和结深(x_{je})对 IBC 太阳电池热击穿特性的影响,在

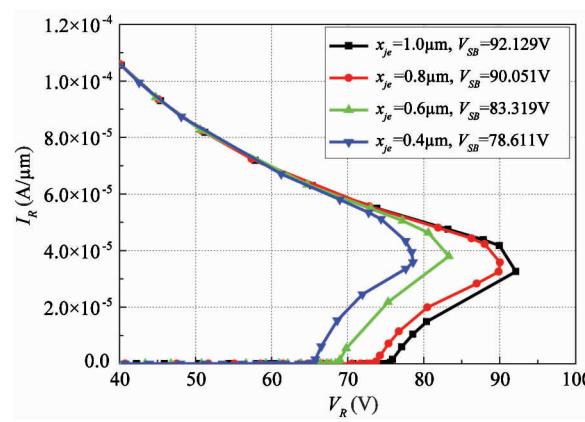
仿真过程中,晶硅衬底电阻率区取为 $2\text{ohm}\cdot\text{cm}$ 。由图 4(a)可见;当 x_{je} 一定时,随着 C_{ES} 的增大,IBC 电池雪崩击穿电压和热击穿临界电压均有所降低。当 C_{ES} 较高($\geq 5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$)时,随着 C_{ES} 的增大,雪崩击穿电压和热击穿临界电压降低的幅度减小。原因是当 PN 结反向偏压 V 一定时,势垒区总宽度 x_d 为^[16]

$$x_d = \left[\frac{2\epsilon_s(N_A + N_D)(V_{bi} - V)}{qN_A \cdot N_D} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

其中 N_A 为发射区平均掺杂浓度(结深一定时,发射区表面浓度越大, N_A 越大), N_D 为衬底杂质浓度, V_{bi} 为 PN 结接触电势差, ϵ_s 为硅的介电系数。发射区表面浓度越小, N_A 越小, x_d 越大, $P^+ N$ 结界面处的峰值电场越小,IBC 电池的雪崩击穿电压和热击穿临界电压越高。当 C_{ES} 较高($\geq 5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$)时, $P^+ N$ 结越接近理想的单边突变结,电池雪崩击穿电压主要由衬底一侧掺杂浓度决定,因此,随着 C_{ES} 的增大,电池雪崩击穿电压和热击穿临界电压降低的幅度越小。由图 4(b)可见,当 C_{ES} 一定时,随着 x_{je} 的增加,IBC 太阳电池雪崩击穿电压和热击穿临界电压均有所增加。原因是当 C_{ES} 不变时, x_{je} 越深,发射区中杂质浓度梯度越小,在反向偏压作用下 PN 结耗尽区在发射区一侧展宽越宽,PN 结峰值电场越低,太阳电池雪崩击穿电压越高,相应的热击穿临界电压也越高^[16]。由上述分析可知,轻掺杂、深结发射区有利于改善 IBC 太阳电池的热击穿特性,可提高光伏组件的长期可靠性。



(a) C_{ES} 变化, $x_{je} = 1\mu\text{m}$;



(b) x_{je} 变化, $C_{ES} = 5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$

图 4 不同发射区表面浓度和结深对 IBC 太阳电池热击穿特性影响($\rho = 2\text{ohm}\cdot\text{cm}$)

图 5 为计算得到的不同发射区表面浓度和结深情况下, IBC 太阳电池 Eff 曲线, 在仿真过程中, 衬底电阻率为 $2\text{ohm}\cdot\text{cm}$ 。由图 5 可见, C_{ES} 对 IBC 太阳电池 Eff 产生显著的影响。当 x_{je} 一定时, 随着 C_{ES} 的增大, IBC 太阳电池 Eff 显著增大。当 C_{ES} 一定时, 随着 x_{je} 的增加, Eff 增大。 C_{ES} 越低 ($\leqslant 5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$), Eff 受 x_{je} 变化的影响越显著。当 C_{ES} 为 $5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$, x_{je} 为 $1\mu\text{m}$ 时, IBC 电池的 Eff 高达 22.49% 。原因是发射区表面浓度和结深的增大虽然会对太阳电池长波段量子效率产生不利的影响, 在一定程度上会降低 IBC 太阳电池的短路电流密度。但随着发射区表面浓度和结深的增大, 由于电池反向少数载流子饱和暗电流密度和串联电阻损耗降低, 因此, 有利于 IBC 太阳电池开路电压和填充因子的提高。且开路电压和填充因子对电池转换效率的影响更为显著, 从而导致随着发射区表面浓度和结深的增大, IBC 电池转换效率随之增大。因此, 综合考虑 C_{ES} 和 x_{je} 对 IBC 电池热击穿特性和光电转换特性的影响, 表明增大 C_{ES} 虽可显著提高 IBC 太阳电池的光电转换效率, 但不利于改善电池的热击穿特性。而增加 x_{je} 对于电池转换效率和热击穿特性均具有改善作用。

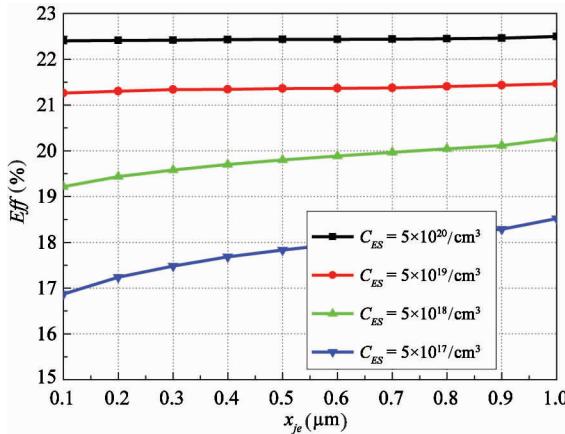


图 5 不同发射区表面浓度和结深对 IBC 太阳电池转换效率的影响

2.3 IBC 太阳电池发射区边缘特殊结构设计

IBC 太阳电池发生热击穿时, 过热点位于靠近阴极一侧发射结边缘柱面结区域。原因是发射结边缘柱面结处的曲率半径小, 反向偏置电场强度高, 因此雪崩击穿首先在该区域发生。为进一步提高 IBC

太阳电池芯片抗热击穿的能力, 借鉴大功率半导体器件抗热击穿发射区/阴极区版图设计方法^[17], 可对 IBC 太阳电池发射区边缘进行特殊的结构设计。即利用湿法或干法刻蚀工艺将发射区边缘柱面结区域完全刻蚀去除, 在 IBC 太阳电池背表面形成台面结构, 如图 6 所示。在工艺仿真过程中, 所选择的刻蚀类型为各向同性刻蚀, 即横向刻蚀距离和纵向刻蚀深度相同。其中虚线①~④表示 IBC 太阳电池发射区边缘柱面结区域的刻蚀程度。虚线①与②表示发射区边缘柱面结区域未完全刻蚀, 横向刻蚀距离分别为 $0.4\mu\text{m}$ 和 $0.8\mu\text{m}$ 。虚线③与④表示发射区边缘柱面结区域完全刻蚀, 横向刻蚀距离分别为 $1.2\mu\text{m}$ 和 $1.6\mu\text{m}$ 。

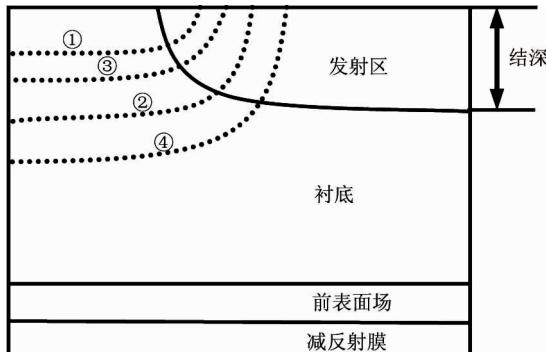


图 6 IBC 晶硅太阳电池发射区边缘刻蚀结构

图 7 为计算得到的不同发射区边缘横向刻蚀距离对 IBC 电池热击穿特性的影响, 在计算过程中, $C_{ES} = 5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$, $x_{je} = 1\mu\text{m}$ 。由图 7 可见, 当发射区边缘柱面结区域未完全刻蚀时, 随着横向刻蚀距离的增大, IBC 电池热击穿临界电压减小; 当发射区边缘柱面结区域完全刻蚀时, 随着横向刻蚀距离的增大, IBC 电池热击穿临界电压增大。原因是 IBC 电池电极结构与产业化 P 型晶硅太阳电池、功率半导体器件(如整流管)的电极结构不同。由于 IBC 电池阴极和阳极均位于电池背面同侧。该特殊电极结构会使得靠近阴极一侧的发射区边缘柱面结对 IBC 电池热击穿特性产生显著影响。靠近阴极一侧的发射区边缘柱面结面积越大, IBC 电池雪崩击穿电压和热击穿临界电压越高。当发射区边缘柱面结区域未完全刻蚀时, 随着发射区横向刻蚀距离增大

(发射区纵向刻蚀深度也同时增大),导致靠近阴极一侧的发射区边缘柱面结面积减小,IBC电池雪崩击穿电压和热击穿临界电压降低。因此,当在发射区边缘柱面结不完全刻蚀的情况下,该特殊发射区结构与设计的初衷是相违背的,并不能改善IBC电池热击穿特性,相反会影响IBC电池的可靠性。然而当发射区边缘横向刻蚀距离较大时,由于曲率较小的发射区边缘柱面结区域完全被去除,发射结近乎理想的平面结,因此,该发射区边缘刻蚀结构可显著增大电池的雪崩击穿电压和热击穿临界电压。且由于发射区边缘柱面结区域结面积较小(若将二维柱面结区域假设为四分之一圆周,则柱面结占总发射结长度的比例约为0.2%),因此可忽略对IBC太阳电池光电转换特性的影响。

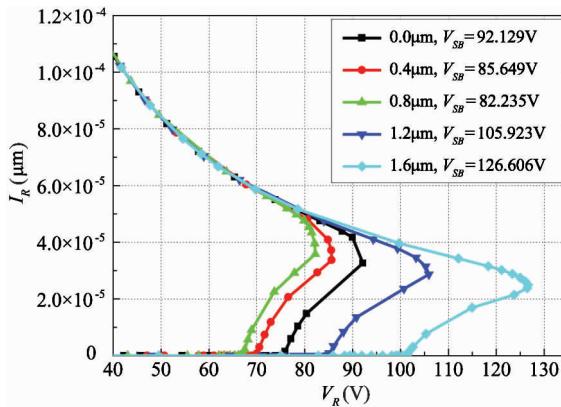


图7 不同发射区边缘横向刻蚀距离对IBC太阳电池热击穿输出特性的影响

3 结 论

基于非等温能量平衡传输模型,利用TCAD半导体器件仿真软件对N型插指背接触单晶硅太阳电池反向输出特性进行了仿真研究。通过光电转换效率和反向热击穿特性对IBC太阳电池的性能进行综合评价。全面系统地分析了不同衬底电阻率、发射区表面浓度、发射结结深对IBC电池反向热击穿特性和转换效率的影响。借鉴双极功率半导体器件的抗二次击穿技术并应用于IBC电池,详细分析了发射区边缘刻蚀结构对IBC电池反向热击穿特性的影响。仿真结果表明:高晶硅衬底电阻率、低发

射区表面浓度有利于改善IBC电池的反向热击穿特性,但不利于电池转换效率的提高。深结发射区不仅有利于改善IBC电池的热击穿特性,而且有利于电池转换效率的提高。当发射区边缘柱面结未完全刻蚀时,随着横向刻蚀距离的增大,热击穿临界电压降低。当发射区边缘柱面结完全刻蚀时,随着横向刻蚀距离的增大,热击穿临界电压增大。从而提高IBC电池及组件的安全可靠性。本文研究结果为IBC太阳电池结构参数优化和可靠性设计提供有意义的参考信息。

参 考 文 献

- [1] Batoul B, Abdellatif Z. Optimal design of buried emitter of EWT silicon solar cells type by numerical simulation. *Energy Procedia*, 2014 (44): 126-131
- [2] 宋登元,熊景峰. 高效率n型Si太阳电池技术现状及发展趋势. *半导体光电*,2013,34(3):351-354
- [3] 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
- [4] Green M A, Emery K, Hishikawa Y, et al. Solar cell efficiency tables (version 44). *Progress in Photovoltaics Research & Applications*, 2014, 22(7):701 - 710
- [5] Smith D, Cousins P, Westerberg S, et al. Towards the practical limits of silicon solar cells. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 2014, 6(4):1465-1469
- [6] 李剑,汪义川,李华等. 单晶硅太阳电池组件的热击穿. *太阳能学报*,2011,32(5):690-694
- [7] Breitenstein O, Bauer J, Wagner J, et al. Physical mechanisms of breakdown in multi-crystalline silicon solar cells. In: Proceedings of the 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Philadelphia, USA, 2009. 181-186
- [8] 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
- [9] 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

- [10] 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. 2924-2927
- [11] Castano F J, Morecroft D, Cascant M, et al. Industrially feasible >19% efficiency IBC cells for pilot line processing. In: IEEE Photovoltaic Specialists Conference. Seattle, USA, 2011. 1038-1042
- [12] Duttagupta S, Lin F, Shetty K D, et al. Excellent boron emitter passivation for high-efficiency Si wafer solar cells using AlOx/SiNx dielectric stacks deposited in an industrial inline plasma reactor. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 2013, 21(4):760-764
- [13] Schroder D K, Meier D L. Solar cell contact resistance-A review. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1984, 31(5):637-647
- [14] Simpson R N, Borda S P A, Asenoy A, et al. Enriched residual free bubbles for semiconductor device simulation. *Computational Mechanics*, 2012, 50:119-133
- [15] Ahmad A Z, Gunther B. Comparative study of thermal flows with different finite volume and lattice Boltzmann schemes. *International Journal of Modern Physics C*, 2004, 15:307-319
- [16] 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
- [17] 尹光, 周涛, 石广源. 晶体管二次击穿特性研究. 辽宁大学学报自然科学版, 2009, 36(1):30-35

The reverse thermal breakdown characteristics of high efficiency back contact Solar cells

Zhou Tao, Lu Xiaodong, Wu Yuanqing, Li Yuan

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

Abstract

Based on the non-isothermal energy balance transfer model, a simulation study of the reverse out characteristics of n-type interdigitated back contact (IBC) monocrystalline silicon solar cells was conducted by using the TCAD semiconductor devices simulation software. The performance of IBC solar cells was synthetically evaluated by using the photoelectric conversion efficiency and reverse thermal breakdown characteristic. The influences of the substrate resistivity, emitter surface concentration and emitter junction depth on IBC solar cells' reverse thermal breakdown characteristic and conversion efficiency were studied in detail. The influence of the edge etching structure of the emitter on the characteristics of reverse thermal breakdown of IBC solar cells was analyzed in detail by drawing on the technique of resisting secondary breakdown for bipolar power semiconductor devices and by applying this technique to IBC solar cells. The simulation results show that high crystalline silicon resistivity and low emitter surface concentration help to improve IBC solar cells' reverse thermal breakdown characteristics, but can not help to improve the cell conversion efficiency; The deeper emitter junction is beneficial to improving the thermal breakdown characteristic of IBC cells, as well as the solar cell conversion efficiency; When the emitter edge cylinder junction is incompletely etched, emitter edge's etching structure can not improve IBC solar cells' thermal breakdown characteristic; When the emitter edge cylinder junction is completely etched, the thermal breakdown threshold voltage increases with the increase of lateral etching distance.

Key words: back contact, solar cell, resistivity, emitter, surface concentration, junction depth, etching, thermal breakdown