

IBC 太阳能电池非均匀掺杂衬底结构参数的优化研究^①

周 涛^② 陆晓东 吴元庆 张金晶

(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设计了一种具有非均匀掺杂衬底结构的 N 型插指背结背接触(IBC)单晶硅太阳能电池。全面系统地分析了非均匀掺杂衬底结构的表面浓度和扩散深度对 IBC 太阳能电池外量子效率、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:非均匀掺杂衬底结构在一定程度上可提高 IBC 太阳能电池的转换效率;非均匀掺杂衬底结构当扩散深度一定时,存在最优的表面浓度,使得 IBC 太阳能电池的转换效率最高,且非均匀掺杂衬底结构的扩散深度越浅,最优的表面浓度越高。当扩散深度为 $1.9\mu\text{m}$ 时,最优的表面浓度为 $3\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$,电池效率为22.86%;当扩散深度减小到 $1.1\mu\text{m}$ 时,最优的表面浓度大于 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$,电池效率大于23.092%。当非均匀掺杂衬底结构的表面浓度一定时,随着扩散深度的增大,IBC 太阳能电池转换效率随之降低。

关键词 背接触,太阳能电池,非均匀掺杂,衬底,表面浓度,扩散深度,转换效率

0 引 言

N 型插指背结背接触(interdigitated back contact,IBC)太阳能电池是目前转换效率最高的大面积太阳能电池之一。由于其在光吸收、电极收集效率及电极接触特性方面的性能均优于传统 P 型单晶硅太阳能电池,其已成为单晶硅电池领域的研究热点^[1-3]。美国 Sunpower 公司可进行 IBC 太阳能电池的大规模生产,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 太阳能电池转换效率达到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能电池^[5]。为进一步提高 IBC 单晶硅太阳能电池的转换效率,必须对 IBC 单晶硅太阳能电池的结构参数和工艺条件进行精细的设计和 optimization。由于太阳能电池吸收不同波长入射光的深度不一样,衬底结构参数(电阻率、厚度、少子寿命等)的变

化将对太阳能电池直接吸收的太阳辐射光谱范围产生影响,且在光生载流子的收集过程中,衬底结构参数将对光生载流子复合损耗(缺陷引发的 Shockley-Read-Hall 辐射复合、俄歇复合)和串联电阻功率损耗产生显著影响。因此从理论上深入研究并优化衬底结构参数对提高 IBC 太阳能电池的转换效率具有重要意义。

本目前期已针对单晶硅衬底参数(电阻率、衬底厚度及少子寿命)对 IBC 太阳能电池输出特性的影响进行了研究^[6],发现当衬底厚度和少子寿命一定时,提高单晶硅衬底的电阻率虽然有利于电池短路电流密度的提高,但不利于电池开路电压和填充因子的提高。随着衬底电阻率的增大,电池转换效率存在峰值,即存在最优的衬底电阻率。基于此,本文结合 IBC 太阳能电池自身的结构特点提出了一种电池背表面局部衬底非均匀掺杂的新型 IBC 太阳能电池结构,即在原始均匀掺杂的 N 型衬底背表面的发射区区域,制备出掺杂浓度高于衬底浓度但低于

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:2016-04-15)

发射区浓度的 N^+ 层。该结构用于改善在较高衬底电阻率的情况下, 电池开路电压和填充因子较低的问题。利用 TCAD 仿真软件, 通过计算不同非均匀掺杂衬底结构的表面浓度和扩散深度对 IBC 太阳能电池输出特性的影响, 对非均匀掺杂衬底结构进行参数优化。结果表明采用非均匀掺杂衬底结构可以在一定程度上提高 IBC 单晶硅太阳能电池的转换效率。本文仿真结果可为高效 IBC 单晶硅太阳能电池结构设计及优化提供有意义的参考信息。

1 具有非均匀掺杂衬底结构的 IBC 太阳能电池工艺流程及结构参数选择

图 1 为具有非均匀掺杂衬底结构的 IBC 太阳能电池单元结构及工艺流程。IBC 太阳能电池的非均匀掺杂衬底结构在工艺上比较容易实现。不需要额外增加光刻掩膜版(或丝网印刷网版), 可采用与 P^+ 发射区相同的掩膜版(或网版), 在制备发射区之前利用常规热扩散工艺制备 N^+ 型非均匀掺杂区域。具有非均匀掺杂衬底结构的 IBC 太阳能电池工艺流程如下: ① N 型 FZ 单晶硅片去损伤和金字塔绒面的制备 → ② N^+ 背表面场的制备 → ③ N^+ 局部非均匀掺杂衬底结构的制备 → ④ P^+ 发射区的制备 → ⑤ N^+ 前表面场的制备 → ⑥ 电池上表面减反射膜(anti-reflection coating, ARC)的制备 → ⑦ 电池背面钝化层的制备, 并刻蚀阴极和阳极引线孔 → ⑧ 电极的制备。

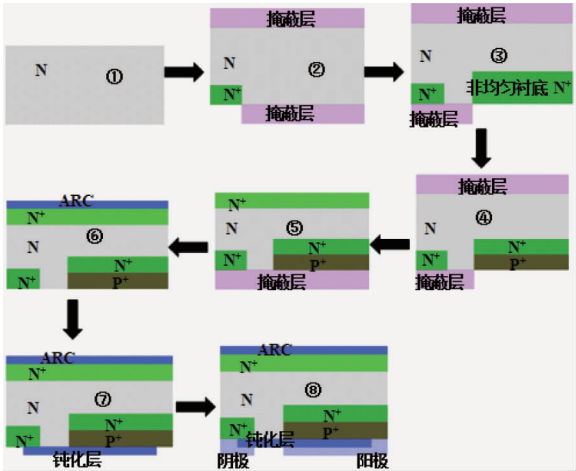


图 1 具有非均匀掺杂衬底结构的 IBC 太阳能电池单元结构及制备工艺流程

IBC 单元电池结构参数如下^[7-11]: N 型单晶硅衬底厚度($180\mu\text{m}$), 少子寿命(1ms), 原始单晶硅衬底电阻率($1\Omega\cdot\text{cm}$), 掺杂浓度($5\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$)。非均匀掺杂衬底结构的表面浓度(C_B)变化范围为 $5\times 10^{15}\text{cm}^{-3}\sim 1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, 扩散深度变化范围为 $1.1\mu\text{m}\sim 2.0\mu\text{m}$ 。电池单元宽度为 $1000\mu\text{m}$ 。 N 型背表面场半宽度为 $150\mu\text{m}$, 表面浓度为 $5\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$, 扩散深度为 $1\mu\text{m}$, 杂质分布呈高斯分布。发射区与背表面场间隔为 $75\mu\text{m}$ 。 P^+ 发射区半宽度为 $775\mu\text{m}$, 表面浓度 $5\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$, 结深为 $1\mu\text{m}$, 杂质分布呈高斯分布。阴极和阳极接触孔半宽度均为 $75\mu\text{m}$ 。 N 型前表面场表面浓度为 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, 扩散深度为 $2\mu\text{m}$, 杂质分布呈高斯分布。电池上表面采用氮化硅钝化-减反射膜。氮化硅减反射厚度为 79nm , 对中心波长(550nm)的折射率为 2.05 。电池上表面复合速率为 $1.5\times 10^3\text{cm/s}$ 。下表面二氧化硅钝化区域硅表面复合速率为 $1\times 10^3\text{cm/s}$, 金属电极接触区域硅表面复合速率为 $1\times 10^8\text{cm/s}$ 。在器件仿真过程中, 选用以下模型: 与掺杂浓度相关的 Shockley-Read-Hall 复合模型和俄歇复合模型; 与掺杂浓度相关的迁移率模型, 重掺杂导致的带隙变窄模型。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/m^2 。

2 结果与讨论

2.1 外量子效率和短路电流密度

外量子效率(external quantum efficiency, EQE)是太阳能电池的电荷载流子数目(阳极或阴极电流)与外部入射到太阳能电池表面的一定能量的光子数目(光源等效电流)之比^[12]。光源等效电流 I_s 可表示为

$$I_s = q \frac{B\lambda}{hc} W \tag{1}$$

式中 B 表示光强, λ 表示入射光波长, h 表示普朗克常量, c 表示光速, W 表示二维太阳能电池单元宽度。图 2 为计算得到的非均匀掺杂衬底结构的表面浓度和扩散深度对 IBC 太阳能电池外量子效率的影响。其中 Δd 表示非均匀掺杂衬底结构的扩散深度与发射区结深之差。由图 2 可见: 当非均匀掺杂衬底结

构的扩散深度较浅 ($\Delta d = 0.1 \mu\text{m}$) 时,在 $300\text{nm} < \lambda < 1200\text{nm}$ 波段范围内,随着非均匀掺杂衬底结构表面浓度的增大,IBC 太阳能电池外量子效率几乎保持不变。而当非均匀掺杂衬底结构的扩散深度较深 ($\Delta d = 1 \mu\text{m}$) 时,在 $300\text{nm} < \lambda < 1200\text{nm}$ 波段范围内,随着非均匀掺杂衬底结构表面浓度的增大,IBC 太阳能电池外量子效率减小。原因是非均匀掺杂衬底结构处于 IBC 太阳能电池的背表面,虽然大部分波段范围 ($300\text{nm} < \lambda < 1000\text{nm}$) 的入射光不在该区域内吸收^[13],但不同波长入射光在衬底中激发产生的光生空穴在输运过程中都需穿过该区域才能被阳极收集,因此该区域的表面浓度和扩散深度对光生载流子在输运过程中的复合损耗产生显著影响。非均匀掺杂衬底结构的表面浓度和扩散深度越小,少子扩散长度越大,光生载流子复合损耗越小,IBC 太阳能电池全波段外量子效率越高。

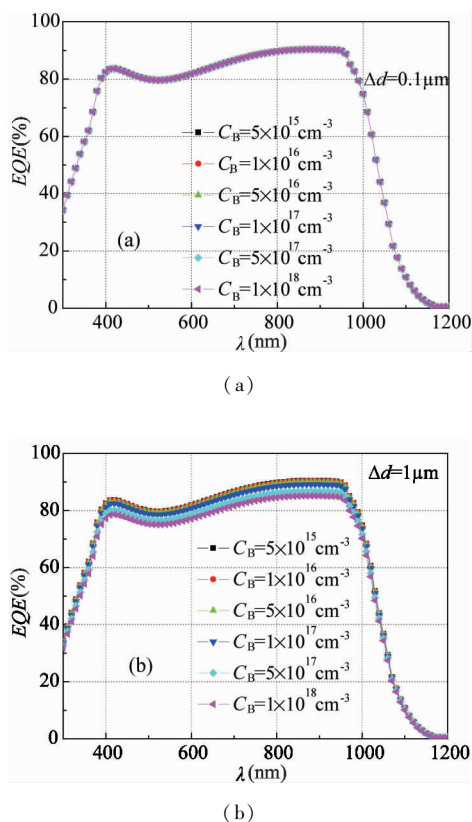


图 2 不同的非均匀掺杂衬底结构参数对 IBC 太阳能电池外量子效率的影响

太阳能电池短路电流密度 J_{sc} 是全部入射光波段贡献的总和,因此,可由全波段外量子效率计算得到

太阳能电池短路电流密度 (如图 3 所示)。不同入射光波长 λ 情况下的短路电流密度可表示为^[12]

$$J_{sc}(\lambda) = qEQE(\lambda)\varphi(\lambda) \quad (2)$$

式中: $\varphi(\lambda)$ 为入射光子流谱密度, q 为电荷电量。由图 3 短路电流密度曲线可见: 当非均匀掺杂衬底结构的扩散深度一定时,随着表面浓度的增大,短路电流密度随之减小。当非均匀掺杂衬底结构扩散深度为 $1.1 \mu\text{m}$ ($\Delta d = 0.1 \mu\text{m}$) 时,随表面浓度的增大 ($5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$),短路电流密度略有降低。非均匀掺杂衬底结构的扩散深度越深,随着表面浓度的增大,短路电流密度降低越显著。当非均匀掺杂衬底结构的扩散深度为 $1.9 \mu\text{m}$ ($\Delta d = 0.9 \mu\text{m}$) 时,随着表面浓度的增大 ($5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$),相比于常规 IBC 太阳能电池的短路电流密度降低约 $2.24 \text{mA}/\text{cm}^2$ 。因此,从提高 IBC 太阳能电池短路电流的角度考虑,应降低非均匀掺杂衬底结构的表面浓度和扩散深度。

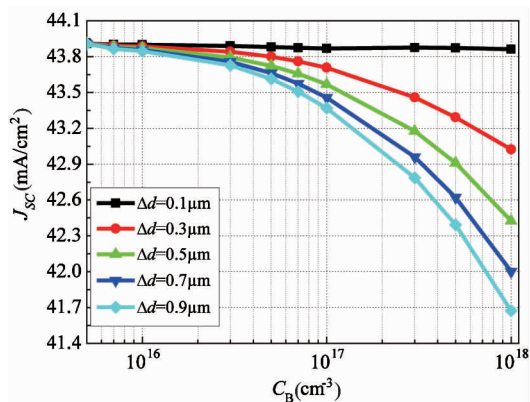


图 3 不同的非均匀掺杂衬底结构参数对 IBC 太阳能电池短路电流密度的影响

2.2 开路电压和填充因子

图 4 为计算得到的非均匀掺杂衬底结构的表面浓度和扩散深度对 IBC 太阳能电池开路电压的影响。由图 4 可见: 当非均匀掺杂衬底结构的扩散深度一定时,随着表面浓度的增大,电池开路电压呈现出先增大后减小的变化特点。即对于不同的扩散深度,开路电压存在最大值,且最大开路电压所对应的表面浓度不同。非均匀掺杂衬底结构的扩散深度越深,最大开路电压所对应的表面浓度越低。原因是太阳能电池开路电压 V_{oc} 可表示为^[12]

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right) \tag{3}$$

其中, I_0 为太阳能电池反向饱和电流。 I_L 为太阳能电池光生电流。 n 为与发射区掺杂浓度相关的常数。由式(3)可知, 开路电压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, 开路电压越大。 IBC 太阳能电池衬底少子空穴饱和电流 I_{op} 可表示为^[12]

$$I_{op} = qA_E \frac{n_i^2}{N_B} \frac{D_p}{(W_n - x_n)} \frac{S_B}{S_B + D_p/(W_n - x_n)} \tag{4}$$

其中, N_B 为衬底平均掺杂浓度(对于非均匀掺杂衬底结构, 表面浓度越大, 扩散深度一定时平均掺杂浓度 N_B 越大); D_p 为少子空穴扩散系数。 A_E 为发射结面积; W_n 为衬底厚度; x_n 为发射结空间电荷区在衬底一侧的扩展; S_B 为表面复合速率。由式(4)可知, 当非均匀掺杂衬底结构的扩散深度 W_n 一定且表面浓度低于最大开路电压所对应的表面浓度时, 随着表面浓度的增大, IBC 太阳能电池反向饱和空穴电流减小。随着 N_B 的增大, 虽然少子扩散长度降低, 光生载流子复合损耗增大, 导致光生电流下降。但光生电流降低的倍数低于少子饱和电流降低的倍数。从而随着非均匀掺杂衬底结构表面浓度的增大, I_L/I_0 增大, 电池开路电压随之增大。当非均匀掺杂衬底结构的表面浓度高于最大开路电压所对应的表面浓度时, 随着表面浓度的增大, 虽然反向饱和电流进一步降低, 但是此时光生载流子的复合损耗较严重, 光生电流降低的倍数高于少子饱和电流降

低的倍数, 导致 I_L/I_0 减小, 电池开路电压随之减小。当非均匀掺杂衬底结构表面浓度一定时, 扩散深度越深, 对光生载流子复合损耗的影响越严重, IBC 太阳能电池光生电流越小。相比于扩散深度较浅的情况, 随着表面浓度的增大, 光生电流降低的幅度更加显著。因此, 当非均匀掺杂衬底结构扩散深度较深时, I_L/I_0 达到最大值(最大开路电压)时所对应的表面浓度较低。

太阳能电池最大输出功率与 $(V_{oc} \times I_{sc})$ 之比称为填充因子(FF), 用以衡量太阳能电池串联电阻损耗的重要指标。填充因子可表示为^[12]

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} \tag{5}$$

式中: V_m 为最佳工作电压, I_m 为最佳工作电流, I_m 和 V_m 之乘积为最大输出功率。图 5 为计算得到的非均匀掺杂衬底结构的表面浓度和扩散深度对 IBC 太阳能电池填充因子的影响。由图 5 可见: 非均匀掺杂衬底结构的表面浓度和扩散深度对 IBC 太阳能电池填充因子的影响较显著, IBC 太阳能电池的最高填充因子可达 81.108%。当非均匀掺杂衬底结构的表面浓度一定时, 扩散深度越深, IBC 太阳能电池的填充因子越大。当非均匀掺杂衬底结构的扩散深度一定时, 表面浓度越高, IBC 太阳能电池的填充因子越大。原因是填充因子 FF 主要与太阳能电池的串联电阻功率损耗有关^[14]。串联电阻功率损耗主要由电池串联电阻和电池输出光电流两者的乘积决定, 两者乘积越大, 串联电阻功率损耗越大, 太阳能电池填充

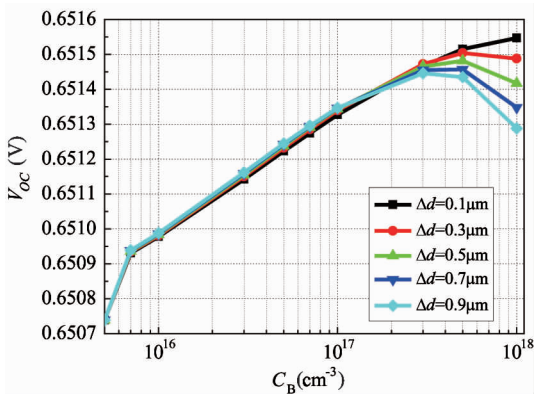


图 4 不同的非均匀掺杂衬底结构参数对 IBC 太阳能电池开路电压的影响

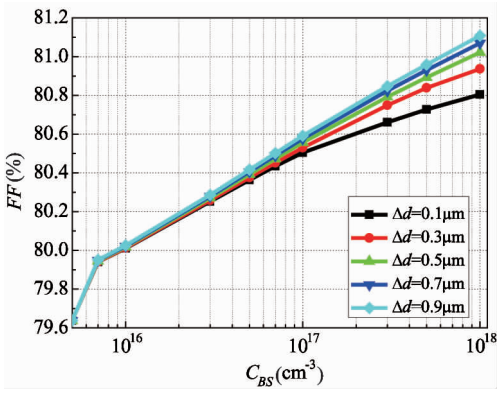


图 5 不同的非均匀掺杂衬底结构参数对 IBC 太阳能电池填充因子的影响

因子越低。非均匀掺杂衬底结构的表面浓度越高,扩散深度越深,光生载流子输运路径的串联电阻越小。同时光生载流子复合损耗越大,太阳能电池输出光电流越小。因此,非均匀掺杂衬底结构的表面浓度越高,扩散深度越深,串联电阻和输出光电流两者的乘积越小,IBC 太阳能电池串联电阻损耗越小,电池填充因子越高。

2.3 转换效率

由于太阳能电池转换效率 Eff 可表示为^[12]

$$Eff = \frac{J_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{P_{in}} \quad (5)$$

(其中 P_{in} 为单位面积入射光的功率),因此 IBC 太阳能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。由上述 IBC 电池短路电流密度、开路电压和填充因子的计算结果,可直接计算得到电池的转换效率曲线,如图 6 所示。由图 6 可见,非均匀掺杂衬底结构的表面浓度和扩散深度对 IBC 太阳能电池转换效率产生显著的影响。当非均匀掺杂衬底结构的扩散深度一定时,随着表面浓度的增大,IBC 太阳能电池转换效率变化特点与开路电压相似,亦呈现出先增大后减小的变化特点。即当非均匀掺杂衬底结构的扩散深度一定时,存在最优的表面浓度,使得 IBC 太阳能电池转换效率最大。且非均匀掺杂衬底结构的扩散深度越深,最大转换效率所对应表面浓度越小。当非均匀掺杂衬底结构扩散深度为 $1.1\mu\text{m}$ 时,最优的表面浓度大于 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$,最大转换效率大于 23.092% ;当非均匀掺杂衬底结构扩散深度为 $1.5\mu\text{m}$ 时,最优的表面浓度为 $5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$,最大转换效率为 22.891% ;当非均匀掺杂衬底结构扩散深度为 $1.9\mu\text{m}$ 时,最优的表面浓度为 $3 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$,最大转换效率为 22.86% 。IBC 太阳能电池转换效率呈现上述变化特点的原因是当非均匀掺杂衬底结构的扩散深度一定时,增大表面浓度虽不利于 IBC 太阳能电池短路电流密度的提高,但却有利于 IBC 太阳能电池填充因子的改善(忽略开路电压对转换效率的影响)。因此,随着表面浓度的增大,IBC 太阳能电池转换效率存在最大值。当非均匀

掺杂衬底结构的扩散深度较深时,随着表面浓度的增大,短路电流密度降低幅度较大。而填充因子则随着表面浓度的增大比较平缓的增大。因此,非均匀掺杂衬底结构的扩散深度越深,短路电流密度降低的倍数与填充因子增大的倍数相等时(最大转换效率)所对应表面浓度越小。

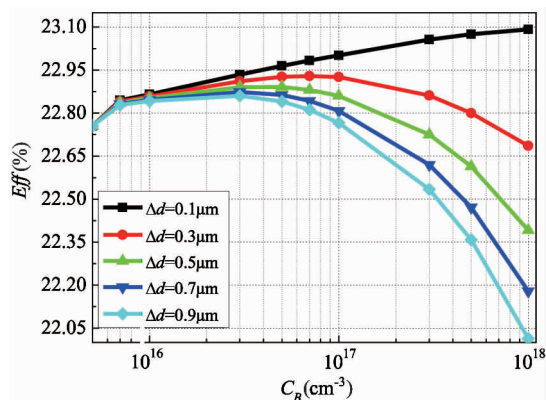


图 6 不同的非均匀掺杂衬底结构参数对 IBC 太阳能电池转换效率的影响

表 1 为利用优化非均匀掺杂衬底结构的方法得到的 IBC 太阳能电池电学性能与利用优化衬底电阻率($\rho = 1\Omega \cdot \text{cm}$)的方法得到的常规均匀衬底 IBC 太阳能电池电学性能的比较。由表 1 可知,当 $\Delta d = 0.1\mu\text{m}$, $C_B = 1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 时,相比于常规的 IBC 太阳能电池,具有非均匀掺杂衬底结构的 IBC 太阳能电池短路电流密度下降最少,降低了 $0.047\text{mA}/\text{cm}^2$ 。开路电压相比于常规 IBC 太阳能电池提高的幅度较小,仅提高 0.84mV 。而填充因子及转换效率相比于常规 IBC 太阳能电池有较大幅度的提高,填充因子提高了 1.166% ,转换效率提高了 0.338% 。综上所述,非均匀掺杂衬底结构可在一定程度上改善当衬底电阻率较高时,电池开路电压和填充因子较低的问题,从而提高电池的转换效率。为最大限度地发挥非均匀掺杂衬底结构对常规 IBC 太阳能电池转换效率的改善作用,应根据优化结果,实现表面浓度和扩散深度的匹配。

表 1 常规电池与非均匀掺杂衬底结构电池电学性能比较

太阳电池结构	$J_{sc}(\text{mA}/\text{cm}^2)$	$V_{oc}(\text{V})$	$FF(\%)$	$Eff/\%$
常规电池结构	43.908	0.65071	79.638	22.754
$\Delta d=0.1\mu\text{m}, C_B=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$	43.861	0.65155	80.804	23.092
$\Delta d=0.3\mu\text{m}, C_B=7\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$	43.760	0.65129	80.451	22.929
$\Delta d=0.5\mu\text{m}, C_B=5\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$	43.723	0.65124	80.392	22.891

3 结 论

优化研究衬底结构参数对提高 IBC 太阳电池光谱响应和输出特性意义重大。利用 TCAD 半导体器件仿真软件设计了一种具有非均匀掺杂衬底结构的 IBC 单晶硅太阳电池,并对其电学性能进行了仿真研究。全面系统地分析了非均匀掺杂衬底结构的表面浓度和扩散深度对 IBC 太阳电池外量子效率、短路电流、开路电压、填充因子及转换效率的影响。结果表明:当非均匀掺杂衬底结构扩散深度一定时,存在最优的表面浓度,使得 IBC 太阳电池转换效率最大。且非均匀掺杂衬底结构的扩散深度越深,最大转换效率所对应表面浓度越小。当非均匀掺杂衬底结构扩散深度为 $0.1\mu\text{m}$ 时,最优的表面浓度大于 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$,最大转换效率大于23.092%;当非均匀掺杂衬底结构扩散深度为 $0.5\mu\text{m}$ 时,最优的表面浓度为 $5\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$,最大转换效率为22.891%;当非均匀掺杂衬底结构扩散深度为 $0.9\mu\text{m}$ 时,最优的表面浓度为 $3\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$,最大转换效率为22.86%。

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] 周涛, 陆晓东, 张鹏等. 晶硅衬底参数对背接触太阳电池性能的影响. *半导体技术*, 2015, 4(6): 443-451

[7] 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

[8] 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

[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. 2924-2927

[10] Castano F J, Morecroft D, Cascant M, et al. Industrially feasible >19% efficiency IBC cells for pilot line processing. In: *Proceedings of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, Seattle, USA, 2011. 001038-001042

[11] 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

[12] 熊绍珍, 朱美芳. 太阳能电池基础与应用. 北京: 北京科学技术出版社, 2009. 97-98

[13] Green M A, Keevers M J. Optical properties of intrinsic silicon at 300K. *Progress in Photovoltaics Research & Applications*, 1995, 3(3): 189-192

[14] Tom Markvart, Luis Castaner 等, 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

Structure parameter optimization of the non-uniform doped substrate of IBC solar cells

Zhou Tao, Lu Xiaodong, Wu Yuanqing, Zhang Jinjing
(School of New Energy, Bohai University, Jinzhou 121000)

Abstract

A N-type interdigitated back contact (IBC) crystalline silicon solar cell with the non-uniform doped substrate structure was designed by using the TCAD semiconductor device simulation software. The influences of the surface concentration and the diffuse depth of the non-uniform doped substrate structure on the IBC solar cell's external quantum efficiency, short-circuit current density, open-circuit voltage, fill factor and conversion efficiency were studied comprehensively and systematically. The simulation results show that the non-uniform doped substrate structure can improve the IBC solar cell conversion efficiency to a certain extent; when the diffuse depth of the non-uniform doped substrate structure remains a fixed value, there is an optimal surface concentration, which makes the IBC solar cell reach the maximum conversion efficiency. With the diffuse depth decreasing, the optimal surface concentration increases. When the diffusion depth was $1.9\mu\text{m}$, the optimal surface concentration was $3 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$, and the solar cell conversion efficiency was 22.86%; When diffusion depth decreased to $1.1\mu\text{m}$, the optimal surface concentration was greater than $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, and the solar cell conversion efficiency was more than 23.092%. When the non-uniform doped substrate's surface concentration remains a fixed value, the IBC solar cell conversion efficiency decreases with the increase of the diffusion depth.

Key words: back contact, solar cell, non-uniform doped, substrate, surface concentration, diffuse depth, conversion efficiency