

イオン注入法で作製した結晶シリコン太陽電池セルの キャリア分布の観察

棚橋克人・森谷正昭・木田康博・鈴木信隆・福田哲生・白澤勝彦・高遠秀尚
産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 太陽光チーム

研究の目的

- 結晶シリコン太陽電池セルの効率化と低コスト化に向けたプロセス技術としてイオン注入がある。
- 太陽電池セルはテクスチャー構造を有するため、イオン注入とアニール後のキャリア(アクティブなドーパント)分布の予測は非常に困難であり、直接観察が不可欠である。今回我々は、走査型静電容量顕微鏡法を用いてn型(リン)エミッタのp-n接合領域のキャリア分布を観察した。

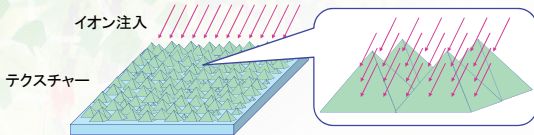


図1. テクスチャーへのイオン注入の模式図

実験

(1) セル作製フロー

- 基板
p-type (ボロンドープ)、156 × 156 mm²
- イオン注入
P⁺, 25 keV, 4E+15 / cm², チルト7°
- アニール
850°C、15分
- 窒化膜
- SCM観察

(2) 走査型静電容量顕微鏡法

(SCM: Scanning Capacitance Microscopy)

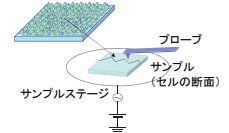


図2. SCM観察の模式図

- 高周波電圧V_{ac}の印加により、プローブ直下のキャリア濃度に依存する合成容量Cが変動する。
- プローブを走査させながらCの変動により生じる高周波共振器の信号を測定する。

結果と考察

(1) リンイオン注入セルの二次元キャリア分布

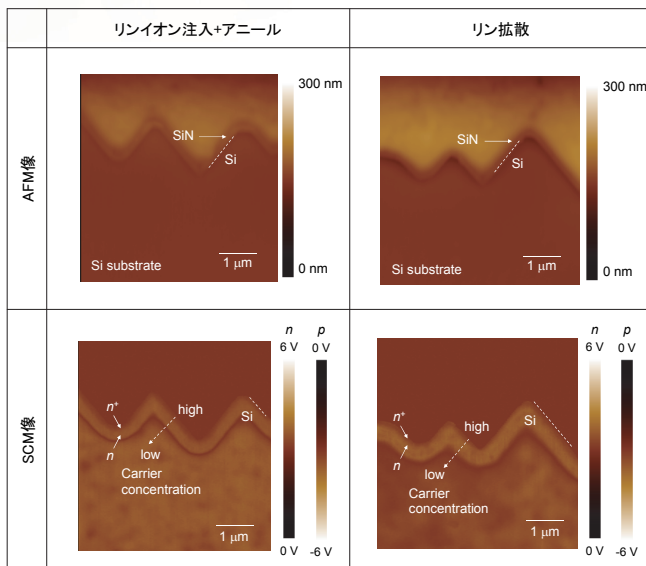


図3. リンイオン注入とリン拡散で作製したセル断面のAFM像とSCM像

- テクスチャー構造へのイオン注入において、as-implantationでは凹凸部と側壁部で注入深さに違いが生じるが、ダメージ回復のアニール後はテクスチャーの凹凸のコーナーでのキャリアの偏折も見られず、深さ方向にほぼ一定の接合深さをもつ拡散層が形成されていることが分かった。

(3) テクスチャー構造における接合形成

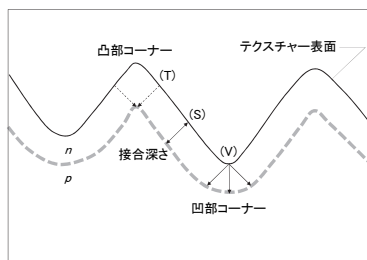


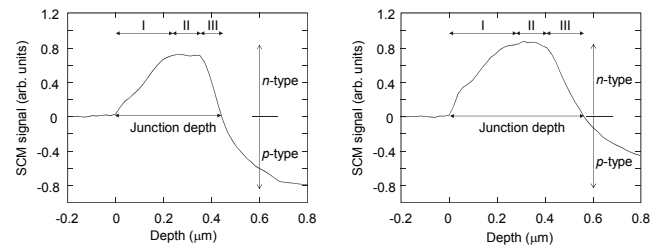
図6. 図3のSCM像(イオン注入)に基づくp-n接合の模式図

- テクスチャーの側壁部では側壁から垂直方向に一定の接合深さをもつキャリア分布が形成されている(矢印S)。
- 凸部のコーナーを通る垂直方向の接合深さは、側壁からの拡散によって決まる(矢印T)。
- 凹部では曲率一定の拡散層が形成されており、凹部のコーナーを基準とすると接合深さが一定である(矢印V)。
- 本実験のイオン注入条件における平均投影飛程(R_p)が0.04 μmであるのに対して接合深さは0.4 μmであることから、イオン注入後の850°C/10分のアニールがキャリア分布の形成に大きく寄与しているものと考えられる。

結論

- SCMによりイオン注入で作製したセルの二次元キャリア分布を初めて観察した。
- 本実験のイオン注入・アニール条件ではテクスチャー表面からほぼ均一な深さに拡散層が形成されていることが分かった。テクスチャーの側壁と凹凸部における接合深さの特徴を明らかにした。
- SCMによればテクスチャー近傍のキャリア分布を高精度、高感度に観察できるため、セルプロセス最適化の有効なツールになることが分かった。

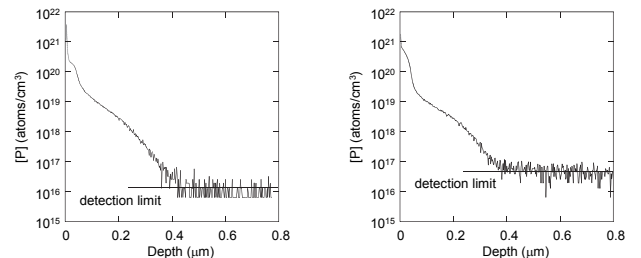
(2) SCM信号の深さ方向プロファイル



(a) リンイオン注入+アニール

(b) リン拡散

図4. SCM信号の深さプロファイル(図3のSCM像の点線の矢印)



(a) リンイオン注入+アニール

(b) リン拡散

図5. (100)Si(フラット基板)へイオン注入および拡散したときのリン濃度の深さ方向分布

- SCM信号は[P]=10¹⁷~10¹⁸ atoms/cm³において高感度であるが(region II)、高濃度領域([P]>10¹⁸ atoms/cm³)ではリン濃度の増加に伴い信号強度は低下する(region I)。
- SCM信号の深さ方向プロファイルより図3の点線矢印の箇所を求めたところ、リンイオン注入+アニールでは0.41 μm、リン拡散では0.55 μmであった。