

室温大気中での太陽電池作製の実現

京都大学 工学研究科 化学工学専攻
田辺克明

1. はじめに

太陽電池は、1839年にフランスの科学者アンリ・ベクレルにより見出された、光起電力効果によって太陽光エネルギーを電気に変換する装置である。入射光子のエネルギーが光起電力を生み出す半導体材料のエネルギー・バンドギャップを乗り越えて電子-正孔対が生成され、材料に内蔵された電位勾配に従って電流が流れる。太陽電池は、特に1970年代の石油危機以降、重要な代替電源として認識されてきた。太陽電池は、地球温暖化を抑制するカーボンフリーのエネルギー源としても期待されている。しかし、これまでのところ、太陽電池は、高いコストと時間および手間のかかる製造工程のために、特に世界の過疎地域で、主要な代替発電源として十分に広く利用されるには至っていない。このような状況の主な理由は、太陽電池の製造が一般に、制御された大気または真空と高温の一連の工程から成り立っており、そのため高価な設備と長いマシナタイムが要求されることにある^{1,2)}。そのため、太陽電池デバイスの生産には、シンプルで低コスト、かつ高スループットの生産技術が強く求められており、例えば、液相プロセスがその代表的なものであると言える。

最も一般的なSi太陽電池でさえ、発電層形成のためにSiウェハへのドーピング工程と、その表裏面への金属電極蒸着工程が必要である。ドーピング工程には、真空または制御雰囲気（不活性ガスなど）チャンバー内での一連の加熱手順が必要である。電極形成工程は、還元雰囲気中で複数の焼結工程を伴う。さらに、電極形成のために、電気伝導性の高いSiに電極を実装することは容易であるが、良好な性能を持つ発電層を形成するためには、ベース層となるSiウェハを比較的絶縁性（ドーピング濃度 $\sim 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ）にしておく必要があることがよく知られている。このジレンマのために、金属電極/Si界面に十分な導電性の界面を形成するには、電極装着後にアニーリング工程を追加する必要がある。例えばNayakらは、非対称性ヘテロコンタクトというコンセプトに基づいて室温でのSiセルの作製を試みたが、それでも真空熱蒸着およびスパッタリング装置、さらに加熱前処理を採用しなければならなかった³⁾。

PEDOT:PSS/Siヘテロ接合太陽電池（PEDOT:PSSはpoly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrenesulfonate)）は、材料コストが低く、作製が容易であることから有望視されている^{4,5)}。金属-絶縁体-半導体太陽電池と同様に、このカテゴリーの太陽電池は、高温でのドーパント拡散による接合形成工程を省略できるなど、通常のp-nホモ接合型太陽電池に比べてシンプルな製造が可能である。本研究では、PEDOT:PSS発電層が、高濃度ドーピングのSi基板（ドーピング濃度： 10^{17} cm^{-3} 台半ば）上でも良好に駆動できることを見出した。この性質を活用することで、電極実装に必要な条件を大幅に緩和することができるのではとの気付きから、我々は上記の問題の解決に貢献すべく、これまでに前例のない、素材のSiウェハから大気中および室温という条件のみでの太陽電池の作製に取り組んだ。