

低コスト化に向けた高速プラズマプロセス技術の開発

高効率微結晶シリコン太陽電池

数十ナノメートルサイズの結晶相とアモルファス相が混成した微結晶シリコンは、モノシラン(SiH_4)/水素(H_2)混合ガスのグロー放電(プラズマ化学気相堆積法)などで低温製膜(~ 150°C)することができ、これまで同様のプロセス技術で培われてきたアモルファスシリコンに比べて、スペクトル感度領域が広く、しかも光安定性に優れた太陽電池材料である。微結晶シリコン太陽電池は光吸収層(i層)をp型およびn型半導体層で挟んだp-i-nダイオード接合を基本構造とし、i層にできる内蔵電界を利用して表面透明電極(TCO)と裏面電極から光電流と光起電力を取り出す(図1)。基板から入射する太陽光は透明電極の表面凹凸により散乱され、太陽電池に閉じ込められるよう工夫されているが、高い光電変換効率(8~10%)を期待するためには少なくとも $2\mu\text{m}$ 以上の吸収膜厚を必要とする。しかし、これまで報告されている高効率太陽電池は、i層の製膜速度が $0.2\sim 0.5\text{ nm/s}$ の限られた範囲でのみ実現され、製膜プロセスに数時間も要するという問題があった。そこで我々は、微結晶シリコン太陽電池の量産に必要なハイスループットプロセス技術の開発とデバイス特性の

改善を目指した材料物性制御に関する研究を行っている。

我々は、高密度 $\text{SiH}_4\text{-H}_2$ プラズマの電子温度や原子状水素、気相反応の制御を検討し、これまでより約5~15倍速い $2\sim 3\text{ nm/s}$ の製膜速度で高品質微結晶シリコンの作製を試みた。その結果、従来に比べて一桁高いガス圧力でプラズマ分解を促進すると、膜微細構造が緻密で優先配向した柱状結晶となることを発見した。さらにこのような結晶組織は膜中の酸素不純物の拡散と結晶粒界の酸化(post-oxidation)を抑制できることを見出した。ホール測定や電子スピン共鳴測定による評価から、結晶粒界の酸化を防いだ微結晶シリコンは、結晶粒界の電気的活性度が小さく、欠陥密度が低い真性半導体であることが明らかとなった。実際、太陽電池に適用してみると、赤外感度領域の量子効率が大幅に改善され、光生成キャリアの再結合損失が極めて小さいことが解った。これまでに得られたシングルセルの最高変換効率は9.13%で(図2)、高速製膜化高効率微結晶シリコン太陽電池を実証することができた。今後、企業との共同研究を通して産業化を図っていく予定である。

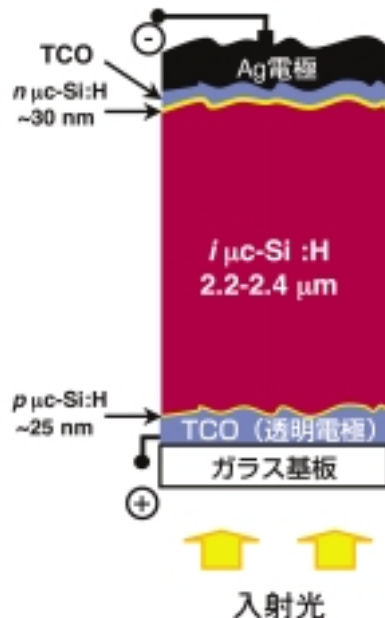


図1 微結晶シリコン($\mu\text{c-Si:H}$)太陽電池の構造概念図

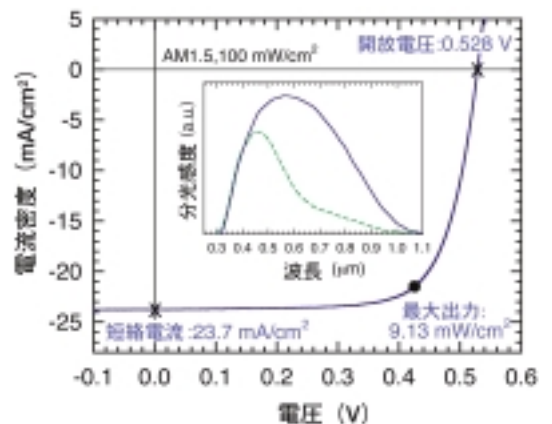


図2 光吸収層(i層)の製膜速度を 2.3 nm/s で作製した微結晶シリコン太陽電池の光照射電流電圧特性

挿入図は太陽電池の分光感度特性を示す(点線:改良前、実線:改良後)。



まついたくや
松井卓矢

t-matsui@aist.go.jp
太陽光発電研究センター

関連情報

- T. Matsui, M. Kondo, A. Matsuda: Jpn. J. Appl. Phys. Part 2, Vol. 42, L901 (2003).