

「太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出」
平成21年度採択研究代表者

H24 年度 実績報告

岡本 博明

大阪大学大学院基礎工学研究科・教授

アモルファスシリコンの光劣化抑止プロセスの開発

§1. 研究実施体制

(1)「岡本」グループ

- ① 研究分担グループ長: 岡本 博明 (大阪大学大学院基礎工学研究科、教授) (研究代表者)
- ② 研究項目
 - ・光劣化抑止製膜プロセスの開発
 - ・光劣化・構造変化の評価解析

(2)「カネカ」グループ

- ① 研究分担グループ長: 山本 憲治 ((株)カネカ太陽電池・薄膜研究所、所長) (主たる共同研究者)
- ② 研究項目
 - ・光劣化抑止処理プロセスの開発

§2. 研究実施内容

プラズマCVD製膜過程の制御、ならびに製膜後の物理化学的処理によって「アモルファスシリコンの光劣化抑止プロセス」を開発することを目的として以下の研究を実施した。

① 光劣化抑止製膜プロセスの開発

光劣化の主要な要因であると考えられる Si-H₂結合の低減には高温プロセスによる太陽電池の作製方法が本質的であることから、高温プロセスによる太陽電池作製における問題点の抽出と解決法の提案を優先的に行った。まず、光活性層であるi層については、400～500℃の高温で作製された膜中の Si-H₂結合が赤外分光法における検出限界である 0.3 at.%以下に低減できることを確認し、光誘起ダングリングボンド欠陥密度が大きく低減されていることも検証した。500～600℃領域では光誘起欠陥密度の上昇が観測されており、「研究項目②」で述べるネットワーク乱れの増大に起因したものであると考えられる。なお、400℃以上の高温で作製された膜中には 10¹⁶ cm⁻³以上の初期欠陥密度が存在していることから、欠陥密度の低減方法として以前に提案した PADS (Precursor Assisted Defect Suppression)法を採用することを予定している。この方法は、高温において膜成長表面から熱離脱する結合水素熱離脱速度を製膜支配種である SiH₃の供給速度(製膜速度に対応)によって凌ぐという方法であり、初期欠陥密度を低減させるとともに、ネットワーク乱れの改善に繋がるものと期待している。さて、上記の高温プロセスによる単純 pin 単接合太陽電池の初期・光劣化後変換効率挙動の精査を、p→i→n 層と形成したスーパーストレート(pin型)、n→i→p 層と形成したサブストレート(nip型)構造の両者において行った。nip 構造の場合を例にとると、400℃程度で、高い変換効率保持率・光劣化後変換効率を得られており、これは、単膜評価結果と整合した挙動であると言える。今後、高温製膜プロセスに耐えるデバイス構造、形成プロセスに関する総合的検討を含めて、実用に資する太陽電池デバイスでの光劣化抑止に向けた研究開発を加速する。

② 光劣化・構造変化の評価解析

高温で製膜された低水素含有 a-Si:H 膜の Si-H 赤外吸収スペクトルを、内部多重反射 FTIR 法を採用することにより、通常の FTIR 測定に比較して70倍以上の感度を得られ、10¹⁹cm⁻³オーダーの Si-H₂ 結合の観測が可能となった。この手法を駆使(低水素含有領域)して得られた膜中の Si-H₂ 結合密度、および偏光エレクトロアブソープション法で見定められたネットワーク乱れが、製膜温度とともにどのように変化するかを吟味し、製膜温度を高めることにより含有水素量が減少し、Si-H₂ 結合密度も単調に減少しているが、ネットワーク乱れは、製膜表面の水素カバレッジが低下し製膜種である SiH₃ ラジカルの表面拡散が阻害される高温領域において上昇する傾向が見いだされている。光劣化が、膜中 Si-H₂ 結合とネットワーク乱れと強く相関をもつとの考えから、現在の標準的高温製膜環境では、400～500℃程度の製膜温度で低劣化 a-Si:H 膜が得られるものと推察が成り立つ。これらの情報は、光劣化抑止のためのさらなる製膜プロセス改善への指針を与え

るものである。

③ 光劣化抑止処理プロセスの開発

第3年次(平成23年度)までに導入した「非平衡光加熱処理装置」、「超臨界流体処理装置」及び「高安定高周波電源」等を用いた新規ポスト処理による a-Si:H 太陽電池の安定化後変換効率の向上を確認し、更に向上させるべく処理方法及び被処理 a-Si:H 膜の最適状態の検討を行ってきた。開発した新規ポスト処理を a-Si:H pin 単接合太陽電池に対して行うことで、9.35%の安定化後変換効率を得た。ここで「低劣化条件」とは、製膜環境を調整して、膜中 Si-H₂ 結合密度を低減させた条件である。また、更に興味深い結果として、新規ポスト処理は太陽電池製膜が終わった後の処理であるが、新規ポスト処理をp層製膜後にいったん実施し、その後 i 層、n層を製膜することで 9.30%の安定化後変換効率を得られ、新規ポスト処理をどの段階で実施するか、つまり各層及び各接合部に対してそれぞれ効果が異なる傾向にあり、またどの時点で処理を行うかでも大きく変化する傾向が見られ、このような観点も重要な検討項目であることを示唆する結果を得た。今後、ポスト処理の物理化学過程を明確にするとともに、チーム間の協働を活性化させ、光劣化後変換効率のさらなる改善を目指す。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

Yasushi Sobajima, Hirotaka Muto, Yoshihiro Shinohara, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, and Hiroaki Okamoto, Fundamental Properties of Titanium-Doped Indium Oxide and Its Application to Thin-Film Silicon Solar Cells", Jpn. J. Appl. Phys. **51** (2012) 10NB05. (DOI: 10.1143/JJAP.51.10NB05)