

「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

H23 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 研究代表者 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)
- 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 主たる共同研究者 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)
- 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

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

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

光劣化との関係が指摘されているアモルファスシリコン薄膜中の $\text{Si}\cdot\text{H}_2$ 結合量については、製膜プロセスに大きく依存する。製膜中において、プラズマ中に発生する高次シラン系反応種の寄与

によるものが原因の一つとして考えられ、これについては高次シラン系反応種の強制排気を可能とする装置開発を行い、装置の運用を開始した。また、より本質的である $\text{Si}\cdot\text{H}_2$ 含有の原因として、製膜支配種である SiH_3 ラジカルによるものが考えられる。これは SiH_3 ラジカルによるアモルファスシリコネットワーク形成時において **subsurface** で起こるとされる水素離脱反応の不十分さに起因するものである。これを克服するためには、プロセス温度(基板温度)の高温化が必要となり、 450°C 程度の高温製膜が可能な装置も同時に開発を行い、製膜試験を開始した。

光劣化の抜本的な制御を目指し、太陽電池構造における光活性層の高温製膜を行い、高効率太陽電池を構成するための光活性層作製に必要な要素技術の開発を行っている。昨年度、高温製膜に耐えうる太陽電池構成として **substrate** 型(**n-i-p** 型)が適当であることを指摘した。その **n-i-p** 型太陽電池の下地層として、高温製膜されたn型微結晶シリコン層が有効であることも示すことができた。

今年度は **n-i-p** 型太陽電池における、**n/i**、**i/p**、そして **p/TCO** 各界面の太陽電池特性に及ぼす影響について検討した。その結果、**n-i-p** 型太陽電池においては、**i/p** 界面および **p** 層に広光学ギャップを有する新規材料の適用が必要であることを指摘することができた。広光学ギャップを有する材料としてアモルファスシリコン酸素膜(**a-SiO:H**)を選択し、「膜作製プロセスの診断による膜特性制御」を材料研究の基本概念として、**a-SiO:H** 膜の高品質化に向けた基礎研究を開始した。また、**p/TCO** 界面においては、太陽電池と逆方向の整流特性が存在する場合があることを見出し、この原因と制御に向けた研究を開始した。

以上、アモルファスシリコン太陽電池の光劣化制御に必要な高品質光活性層の高温製膜、太陽電池構成における高品質広光学ギャップ薄膜材料の開発や各層界面制御等の要素技術開発を行い、光劣化が制御された高効率アモルファスシリコン太陽電池の実現に向け、着々と成果を挙げている。次年度には、新規プラズマ **CVD** 装置が本格稼働することから、高温製膜や高次シラン系反応種強制排気などのプロセス的特徴を活かして超光安定な光劣化が抑止されたアモルファスシリコンを創成し、実際の太陽電池構造において、高効率・高安定性が得られることを実証する。

② 光劣化・構造変化の評価解析

アモルファスシリコン膜における結合水素の量および結合形態についての重要な情報が得られると期待される昇温脱離スペクトル計測装置の改造を行い、 0.1mg 程度の少量試料で、 10^{19}cm^{-3} 以下の $\text{Si}\cdot\text{H}_2$ 結合を特定・検出することが可能となった。次年度からは、様々な条件で製膜された試料の製膜後初期、ポスト処理後、ならびに光照射後の水素昇温脱離スペクトルを系統的に測定し、光劣化と結合水素量・形態との関連を明確にすることにより、光劣化抑止製膜プロセス、ならびにポスト処理プロセスの開発の支援を行う。

③ 光劣化抑止処理プロセスの開発

昨年度までに導入した超臨界流体試験装置および非平衡光加熱処理装置を用いて、アモルファスシリコン膜を発電層に採用したp-i-n単接合太陽電池のポスト処理による低劣化検討を実施し、安定化後変換効率9.35%（初期値:11.18%）を達成した。この値は、ポスト処理を行わない場合に比較して、変換効率絶対値において、0.2%高いものである。また、このようなポスト処理検討過程で、p層製膜後のみの処理でも、ある程度の劣化低減効果が見られ、かつ、i層が薄いほど劣化低減効果が顕著であるなど、ポスト処理の物理化学を見極める上で、重要な結果が得られている。次年度からは、最適ポスト処理環境をさらに突き詰めるとともに、阪大・岡本グループで作製されるn-i-p型太陽電池へのポスト処理実験を開始することとする。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

1. Yasushi Sobajima, Chitose Sada, Akihisa Matsuda and Hiroaki Okamoto, "Control of Materials and Interfaces in $\mu\text{-Si:H}$ -based Solar Cells Grown at High Rate", MRS(Mater. Res. Soc. Symp.) Proceedings 2011,1321, (Symposium A- Amorphous and Polycrystalline Thin-Film Silicon Science and technology): mrss11-1321-a02-01, 2011. (DOI: 10.1557/opl.2011.1247)
2. Yasushi Sobajima, Shirou Kamanaru, Hirotaka Muto, Jakapan Chantana, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto, "Effect of thermal annealing and hydrogen-plasma treatment in boron-doped microcrystalline silicon", Journal of Non-Crystalline Solids (2012). (DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2011.12.010) (in press).
3. Jakapan Chantana, Yanqiu Yang, Yasushi Sobajima, Chitose Sada, Akihisa Matsuda, Hiroaki Okamoto, "Localized Surface Plasmon Enhanced Microcrystalline-Silicon Solar Cells", Journal of Non-Crystalline Solids (2012). (DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2011.12.038) (in press).