

PVSEC18 ショート速報[薄膜シリコン]

宮島晋介、小長井誠（東京工業大学）

会議名：The 18th International Photovoltaic Science and Engineering Conference

開催期間：2009年1月19日－23日

開催場所：Science City Convention Center (Kolkata, インド)

*****要 約*****

薄膜シリコン太陽電池のセッションでは、タンデム型太陽電池（アモルファスシリコン/微結晶シリコン）に関する報告が行われ、特に、光閉じ込め技術（新規テクスチャ基板、中間反射層）が注目を集めた。また、アモルファスシリコンゲルマニウムやアモルファスシリコンオキサイドなどの材料開発についても着実な進展が見られた。

1. はじめに

原料使用量の少ない薄膜シリコン系太陽電池は近年注目を集めており、特にアモルファスシリコン(a-Si:H)太陽電池と($\mu\text{c-Si:H}$)微結晶シリコン太陽電池を積層したタンデム太陽電池の研究開発が盛んである。大規模生産に向けた大面積モジュールの開発が進む一方で、変換効率向上のための技術開発も並行して続けられている。今回の会議では全体的に発表数が若干少なめであり、変換効率の更新などの目新しい成果が少ないとの印象を受けた。本稿では、“Amorphous and Nano/Microcrystalline Silicon”のセッションで注目を集めた光閉じ込め技術および材料開発について報告する。なお、今回の PVSEC AWARD は薄膜シリコン太陽電池分野から United Solar（米国）の Guha が受賞した。

2. 光閉じ込め技術

タンデム太陽電池の高効率化においては短絡電流密度の改善が非常に重要な課題である。光劣化の抑制のためにトップセルを薄型化することによる、トップセルの短絡電流密度の低下を補うため、中間反射層が使用される。これまで、カネカなどが中間反射層を用いたセルを報告してきたが、その作製条件などの詳細は明かされてはいなかった。Neuchâtel 大（スイス）からは SiO_x 中間反射層の作製条件および膜特性と太陽電池特性の関連が詳細に報告された。製膜パラメータを調整することにより、良好な電気的特性を有し、かつ屈折率 1.7(@600 nm)を有する中間反射層が作製できることが明らかにされた。Oerlikon Solar-lab（スイス）および Jülich（ドイツ）も同様に SiO_x 中間反射層を用いたタンデム太陽電池の報告を行っている。また、Neuchâtel 大は PEN 上にタンデム太陽電池を作製する場合の中間反射層として、LPCVD (MOCVD) を用いた ZnO を提案している。彼らはこれを“Asymmetric intermediate reflector”と呼んでいる。比較的厚い(1.6 μm) LPCVD- ZnO 表面に形成されるテクスチャ構造により、中間反射層での光の散乱を促進している。この中間反射層を用いたタンデム太陽電池（PEN 基板上）で安定化効率 9.8%が実現できることが報告された。

産総研からは、アルミニウムの陽極酸化を用いた周期的なテクスチャを有する基板の報告がなされた。こ

の手法の特徴は、陽極酸化時の印加電圧を変化させることにより、テクスチャの周期を制御できる点である。この基板上に微結晶シリコン太陽電池（膜厚 1 μm ）を作製した結果、テクスチャの周期を増大させるとともに短絡電流密度が増加し、周期 0.9 μm において短絡電流密度 24.3 mA/cm^2 という大きな値が得られている。ただし、更なる周期の増大は短絡電流密度の増加に寄与せず、テクスチャ形状の更なる改善が必要である。

3. 材料開発

薄膜シリコン太陽電池の研究開発において、新たな材料の探索は極めて重要である。2 接合タンデム太陽電池の場合には a-Si:H と $\mu\text{c-Si:H}$ の組み合わせが最適であるが、トリプルタンデム太陽電池においては新たな材料開発が必要になる。トップ層においては高電圧化が課題であり、その克服のためにはワイドギャップ材料（2.0 eV程度）の開発が重要である。東工大からは $\text{a-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ および $\text{a-Si}_{1-x}\text{O}_x\text{:H}$ を光吸収層（i層）に用いたシングル接合太陽電池が報告された。CおよびOの添加量、水素希釈量を最適化することにより、開放電圧 1.04 Vが得られたことが報告された。さらなる高電圧化のためには、i層の高品質化とともに窓層（p層）およびp/iバッファ層の改善が重要である。一方、i層のワイドギャップ化に伴う短絡電流密度の低下が問題であり、効率のよい光閉じ込め技術との組み合わせが重要である。また、ミドル層についてはアモルファスシリコンゲルマニウム($\text{a-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$)が使用されている。United Solar（米国）は $\text{a-Si:H}/\text{a-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}/\mu\text{c-Si:H}$ のトリプルタンデム太陽電池（サブストレート型）で変換効率 15.39%をすでに報告しているが、Jülich（ドイツ）からは $\text{a-Si:H}/\text{a-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}/\mu\text{c-Si:H}$ のトリプルタンデム太陽電池（スーパーストレート型）において初期効率 11.7%が報告された。

光吸収層の改善も重要であるが、窓層の高品質化および低損失化も重要な課題である。Jülich（ドイツ）からはホットワイヤーCVD法で作製したn型ナノ結晶シリコンカーバイド（ nc-3C-SiC:H ）を窓層に用いた微結晶シリコン太陽電池において、短絡電流密度 28.1 mA/cm^2 が実現できることが報告された。また、 nc-3C-SiC:H に関して、東工大からはp型膜のVHF-PECVD法による作製が報告された。光学的・電気的特性の検討より、薄膜シリコン系太陽電池の窓層として理想的であることが明らかにされ、この材料がワイドギャップ（2.0 eV程度）i層を用いたトップ層の高電圧化のために重要であるというシミュレーション結果が報告された。

アモルファスシリコンを熱アニールにより結晶化させた薄膜多結晶シリコンを用いた太陽電池についても近年注目が集まっている。北陸先端大からはホットワイヤーCVD法により作製した a-Si:H をフラッシュランプアニールにより結晶化する技術が報告された。表面反射率を劇的に低減する技術についての報告が注目を集めた。ニューサウスウェールズ大（オーストラリア）からは、薄膜多結晶シリコン太陽電池の光閉じ込め技術に関する報告がなされた。ガラス基板にテクスチャを作製する手法として”Aluminum Induced Texture 法”を提案している。この手法ではガラス上にアルミニウムを堆積させる。その後、熱アニールによりアルミニウムとガラスを反応させた後、ウェットエッチングを行うことでテクスチャがガラス上に作製される。この基板上に薄膜多結晶シリコンを作製し、光閉じ込めの効果を確認したことが報告された。

4. おわりに

薄膜シリコン太陽電池はすでに大規模生産の段階に入りつつあるが、その高効率化は十分ではない。高効率化に向けて、特に光閉じ込め技術（基板テクスチャ、中間反射層）の向上や材料面での改善が強く望まれ

る。また、今回は目立った成果が報告されなかったが、 $\mu\text{c-Si:H}$ の高速製膜技術の進展にも期待したい。昨年のムンバイでのテロの影響のためか、今回の会議では米国・欧州勢の発表が少なく、地元のインドからの報告が 1/3 程度を占めた。日本・米国・欧州と比較すると技術的にはまだまだとの印象を受けたが、急激に技術を進歩させつつある。また、コルカタの強烈な大気汚染を目の当たりにし、インドが太陽電池の巨大マーケットに成長する素地を備えていることをまざまざと見せつけられた会議であった。