

## 2014 年秋季講演会シンポジウム報告 薄膜シリコン太陽電池技術の現状と課題

本シンポジウムは、大分類 16「非晶質・微結晶」の分科内シンポジウムとして、9月17日に開催された。

薄膜 Si 太陽電池は、バルク結晶 Si 太陽電池などの躍進に押され、市場における存在感が薄くなりつつある。一方で、薄膜 Si 太陽電池の開発で培われた、プラズマ化学気相堆積 (PECVD) に代表される Si 系薄膜の堆積技術は、非晶質 Si(a-Si) と結晶 Si の接合からなる Si ヘテロ接合太陽電池に応用され、本年パナソニック社から 25.6% の最高変換効率が報告されるなど、Si 太陽電池の高効率化の礎となっている。本シンポジウムは、この両太陽電池に携わる研究者が、横断的に議論できる場となった。

冒頭に、産総研・松井（敬称略、以下同様）より、薄膜 Si および Si ヘテロ接合太陽電池の歴史、現状などが紹介された。その後、産業界を代表して、カネカ・山本から、タンデムセルにおける光マネジメントの基盤技術となっている透明中間層の開発、ヘテロ接合太陽電池への展開など、同社の太陽電池開発について招待講演が行われた。NEDO 革新的太陽光発電技術研究開発のテーマである、波長分割を利用した特性向上の検討において、a-Si セルとヘテロ接合セルの利用により、トータルでの変換効率 25.0% が実現できることも報告された。また、光閉じ込めによる効率向上に頼らない、光吸収層の材料開発の重要性に関して、熱いメッセージもいただいた。

PVTEC・吉田からは、NEDO 委託事業「次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発」の研究開発成果に関する招待講演があった。a-Si 単接合セル（光劣化後）、a-Si/微結晶 Si タンデムセル（劣化後）において、それぞれ最高効率更新の報告がなされた。また、G5 サイズ(1.1 m×1.4 m)の大面积装置において、微結晶 Si 膜の堆積速度 2.3 nm/s も達成している。一方で、他種の太陽電池と競争できる水準には未達であり、成果に関する厳しい指摘もあった。関連の招待講演として、産総研・齋から、ハニカムテクスチャを用いた光閉じ込めにより、微結晶 Si 単接合セルにおいて、最高効率である 11.4% を達成した報告がなされた。

a-Si の光劣化は、膜中の  $\text{SiH}_2$  結合量と強い相関があることが知られている。阪大・傍島からは、a-Si の光劣化とその抑制に関する取り組みとして、 $\text{SiH}_3$  を高速供給することによる  $\text{SiH}_2$  結合密度低減法である precursor assisted defect suppression (PADS) の研究の現状について解説がなされた。岐阜大・藤原の招待講演においては、エリプソメトリーによる評価を手掛けた各種太陽電池用材料についての比較が紹介された。ほぼ同等のバンドギャップをもつペロブスカイト材料と a-Si において、太陽電池で得られる開放電圧に大きな差がある理由として、Urbach エネルギーの差が影響している可能性が示された。また、高効率薄膜セルである CIGS は、セレン化に 2 時間程度を要するため生産性の面で課題があり、ペロブスカイト太陽電池は耐久性に劣ることから、変換効率における差を埋めることができれば、薄膜

Si の優位性を再度主張できるとの展望が示された。さらに、a-Si の特性低下を引き起こす SiH<sub>2</sub>結合を多量に含むマイクロボイド低減のために、Mg など電気陰性度の異なる原料を混入させる手法が紹介された。

ヘテロ接合太陽電池に関する招待講演は、東工大・宮島により行われた。結晶 Si 太陽電池におけるパッシベーションの重要性、通常の結晶 Si セルと a-Si/c-Si ヘテロ接合セルの本質的な違いなど、パッシベーション膜に関するチュートリアルの解説があり、他分野の参加者にも有益な内容であった。加えて、同機関におけるパッシベーション膜開発の取り組みについても紹介がなされた。

関連の一般講演も、興味深い内容が多く、聴講者の興味を引いた。岐阜大・村田からは、従来の光学アドミッタンス法に、テクスチャによる光散乱がもたらす実効的な吸収係数の増大を考慮するスケーリング因子を加えることで、テクスチャ上 a-Si 太陽電池の分光感度を、実際のデバイスから得られる反射スペクトルを用いて計算する新規手法が紹介された。三菱電機・品川からは、ワイドギャップ透明導電膜である Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O の開発の現状として Mg 組成の最適化により光透過率の向上に成功し、Zn<sub>0.65</sub>Mg<sub>0.35</sub>O/ITO/ZnO の積層透明導電膜を用いることにより、a-Si 単接合セルにおける短波長感度の向上が報告された。産総研・布村からは、PECVD での a-Si 成膜中、成膜後の光電流測定の際の観察を行う手法が紹介された。異なる波長の励起光を用いることでキャリア伝導特性と欠陥によるトラップ電流の切り分けが可能で、特に、膜厚 20 nm 未満のキャリア輸送特性が、欠陥によって強く制限されているという興味深い知見が示された。岐阜大・松木からは、陽電子消滅を利用したヘテロ接合太陽電池用極薄 a-Si 膜のボイド構造に関する調査結果が発表された。豊田工大・神岡からは、裏面電極ヘテロ接合セルのシミュレーションに関する報告がなされた。縦に電流が流れる通常のセル構造とは異なり、裏面電極セルにおいては、エミッタ、コレクタ端部に電流が集中する現象があり、この制御が重要であることが主張された。

近年発表件数が伸び悩んでいる分野であるが、会場が狭かったことも重なり、立ち見でも会場に入れない聴講者もいるほどの大盛況となった。現在の Si 太陽電池を支える薄膜堆積技術のルーツである薄膜 Si 太陽電池分野の衰退は、Si 太陽電池研究全体の停滞にもつながりかねず、薄膜 Si 太陽電池分野の研究の重要性を、参加者に再認識してもらうことも意図した企画であったが、一定の成功を収めたものと思われる。今後も、大分類内の講演を充実させ、当分野の発展に寄与していきたい。

(北陸先端科学技術大学院大学・大平圭介)