

講演概要

「薄膜Si タンデム電池の特徴」



低炭素化社会の実現を目差して、各国において急速に自然エネルギー利用の取り組みが進行中である。中でも、太陽光エネルギーは地球上に無限大、無尽に供給されており、この活用に大きな注目が注がれている。太陽光発電は一切の温暖化ガスを排出する事無く、又、騒音の発生、有害物質の排出等も無く、更に長期に亘って殆ど設備の保守点検を必要としない。

現在の課題は設備が高価であるが、近年急速に低コスト化の技術開発が進んでおり、従来の液晶型に対し薄膜型が期待に応えつつある。この様な背景を踏まえ、薄膜シリコン電池で低コスト化を狙った高変換効率の微結晶Si タンデム電池の特徴を紹介する。

1971年3月鹿児島大学大学院機械工学科修士課程修了

1971年4月三菱重工業(株)長崎造船所に入社

1998年4月本社原動機事業本部新製品開発部長アモルファス太陽電池開発に従事

2001年4月太陽電池事業室長

2002年10月年産10MWの生産開始

2005年4月工学博士

2005年9月効率15%微結晶トリプル電池開発着手(国プロ)

2006年12月効率12%の微結晶タンデム電池の開発完了

2007年7月年産40MWの微結晶タンデム電池の生産開始

2007年4月年産50MWの微結晶タンデム電池の第2工場着工

2007年4月大阪大学大学院基礎工学研究科招聘教授

2007年9月年産14MWのアモルファス電池増設工場完成

2007年10月台湾明道大学 客員教授

現在は開発・事業統括者として現在に至る。

NEDO太陽電池開発技術委員

PVTEC太陽電池技術研究組合運営委員

SEMI 太陽電池標準化委員会 CO-Chair

特集論文

# 高効率微結晶タンデム型太陽電池の量産化への取り組み

## Mass Production Start-up Activities on High Efficiency-microcrystalline Tandem Solar Cells



守井 淳<sup>\*1</sup> 高塚 汎<sup>\*2</sup> 山内 康弘<sup>\*3</sup>  
 Aitsushi Morii Hiromu Takatsuka Yasuhiro Yamauchi  
 田頭 健二<sup>\*4</sup> 竹内 良昭<sup>\*5</sup> 坂井 智嗣<sup>\*6</sup>  
 Kenji Tagashira Yoshiaki Takeuchi Satoshi Sakai

地球環境対策の切り札として太陽電池が注目されており、当社ではすでにアモルファス型太陽電池を実用化している。従来よりアモルファス型の出力より1.5倍の出力が得られ、低コスト化が期待できる生産の高い薄膜シリコン太陽電池の研究開発を行ってきたが、平成19年10月より年間40MW生産工場を立ち上げ、生産を開始した。

### 1. 微結晶タンデム型太陽電池の特徴

当社は従来からアモルファス型太陽電池の製造販売<sup>(1)</sup>を行って来たが、この度アモルファス型の効率を大幅に上回る微結晶タンデム型太陽電池の生産を2007年10月より開始した。基板のサイズはアモルファス型と同じで発電出力は130W、140W、150Wの3種類の製品を予定している。

微結晶タンデム型太陽電池は図1に示すように従来のアモルファス電池膜に微結晶電池膜を直列に重ねたものである。図2に微結晶タンデム型太陽電池の分光感度の一例を示すが、アモルファス電池膜で吸収できない長波長の光を微結晶電池膜で吸収するため効率が上がる。しかし、微結晶Si膜は光吸収係数がアモルファスSi膜より低いので、微結晶タンデム型太陽電池のi層の膜厚はアモルファス型太陽電池の5倍以上が必要であり、製膜室の数を増やさずアモルファス

と同じ生産能力を確保するためには、単純には5倍の製膜速度が必要となる。このため当社ではアモルファス型太陽電池で開発したVHFプラズマCVD製膜技術を高機能化させ、微結晶Si膜の超高速製膜技術を開発した<sup>(2)</sup>。

### 2. 高速製膜技術

通常、製膜速度を上げると性能低下を招く。この対策として、当社の共同研究先である(独)産業技術総合研究所では従来よりも製膜圧力を高く(数百Pa)して、かつ電極と基板間隔を狭くして高パワーを投入する製膜方法(高圧枯渇法)を開発して、2~3nm/sの製膜速度にて微結晶Si単体セル効率9%を達成している<sup>(3)</sup>。一方、当社では微結晶タンデム型太陽電池の高効率化開発を5cm角基板対応の小型プラズマCVD装置を用いて実施し、図3に示すようにタンデムセルで初期値13.4%を達成していた<sup>(4)</sup>。これらの技術を

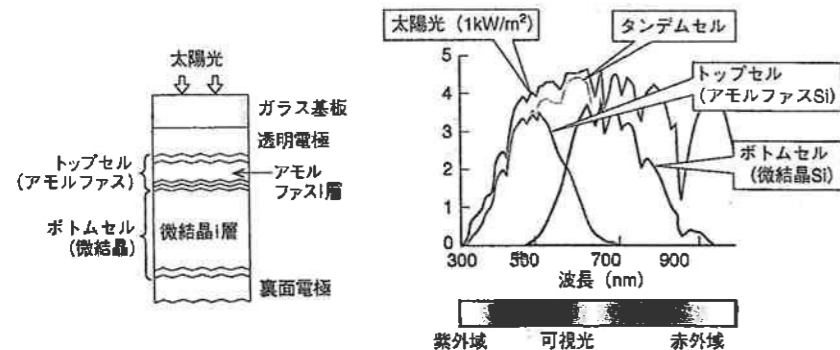


図1 微結晶タンデム太陽電池の構造  
 図2 微結晶タンデム太陽電池の分光感度特性  
 太陽光の波長ごとに電気に変換される光子の密度を示す。

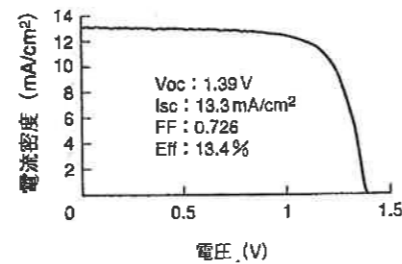


図3 微結晶タンデムセルの発電特性  
 12cm²の小面積微結晶タンデムセルの発電電流・電圧特性を示す。

\*1 長崎造船所太陽電池事業ユニット長  
 \*2 長崎造船所太陽電池事業ユニット技師長 工博  
 \*3 長崎造船所太陽電池事業ユニット次長

\*4 長崎造船所太陽電池事業ユニット製造課主任 工博  
 \*5 技術本部長崎研究所プラズマ・光技術研究室 理博  
 \*6 技術本部先進技術研究センタープロジェクトグループ 主席

融合し、更に前述の高圧条件で生じるプラズマの局在化を抑制するために開発した微結晶Si製膜用の新型電極を適用することで、約2nm/sの高製膜速度でボトムセル(微結晶Si型)効率8.8%を得た。さらに、大面積高速均一製膜技術開発成果に基づき電極冷却構造を適用することで、図4に示すように製膜速度2.5nm/sで効率8.6%を達成した。

### 3. CVD装置の稼働率向上

プラズマCVD装置での電池膜生産能力は、製膜速度だけではなく、基板サイズ、製膜速度、稼働率、効

率、歩留りの掛け算となる。通常、プラズマCVD装置は、製膜を続けると製膜室内の電極やヒータに膜が付着するため、定期的に製膜室を開放して構成部品を取り外し、洗浄したものと交換する必要がある。この時、再組立て後に膜厚分布の調整や、製膜室のベーキングを行う必要があり、稼働率が落ちる一つの原因となっている。そこで当社では半導体製膜装置で用いられるフッ素系ガスを用いたプラズマクリーニング技術を太陽電池製造設備に世界で初めて適用した。これにより、製膜室を数ヶ月にわたり開放せず連続製膜が可能となり、稼働率が相対値で約20%向上した。

タンデム型太陽電池生産設備には、これら技術を用いたプラズマCVD装置を新たに開発した。また、この装置には高速製膜に必要な超高周波電力の供給が出来る電源と電極を新たに開発して適用している。膜分布の均一性を制御するために電極を分割して、それぞれ製膜速度を調整できる機能も持たせた。ガラス基板搬送には特殊なロボットを使用せず、機械的な機構で搬送するシステムを採用して真空中での機械トラブルの低減を図った。また、プラズマCVD装置内での基板の温度管理のためロードロック室からアンロード室までの伝熱シミュレーション計算による予測を行っている。基板の変形に関しては、伝熱シミュレーションと応力解析を組み合わせた解析技術を開発した。この技術を用いることで、ガラス基板に発生する応力が計算できるので、ガラスの破壊強度の解析結果から破損確率を推定できる。図5に解析結果を示す。また、電極

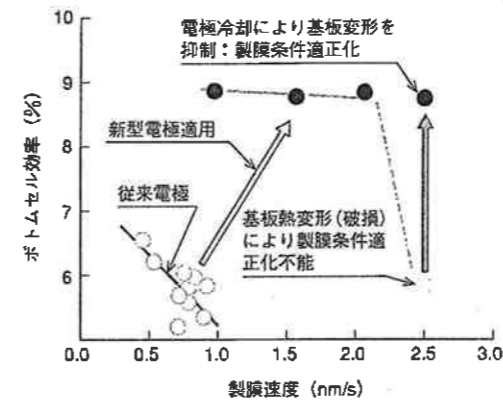


図4 微結晶ボトムセルの製膜速度と効率の関係  
 新型電極は従来型電極に比べ効率が上がることで、電極の冷却でガラス基板変形を抑制した場合に製膜速度が2.5nm/sで効率が下がらないことを示す。

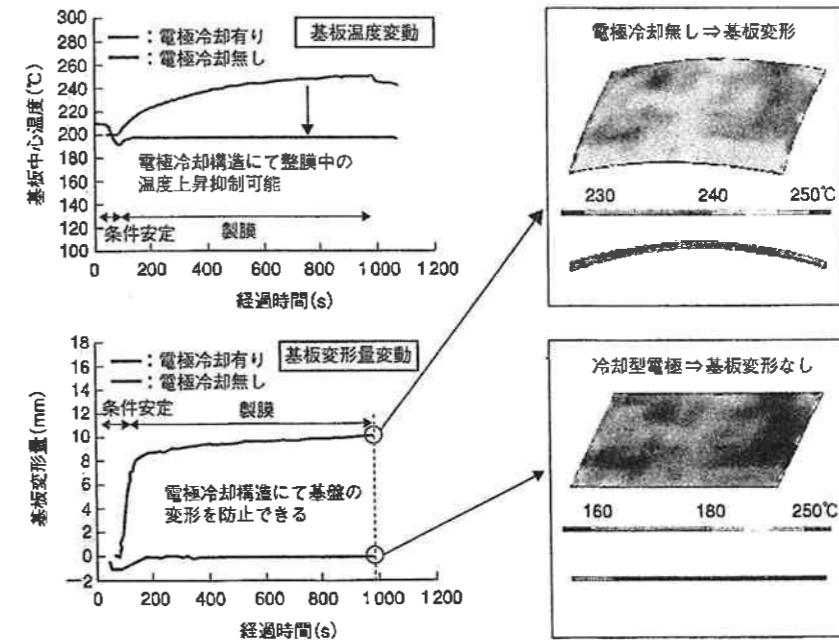


図5 微結晶ボトムセル製膜時のガラス基板温度と変形量解析結果  
 基板冷却の有無による製膜中のガラス基板温度の変化と変形量のシミュレーション計算結果を示す。

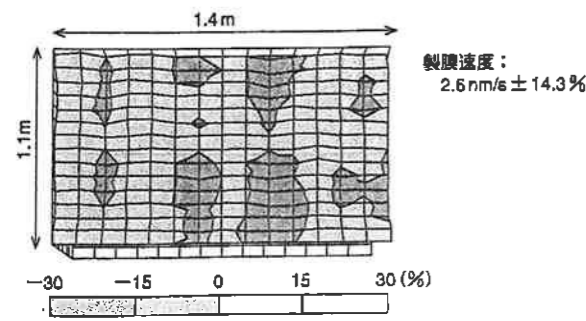


図6 微結晶シリコン膜の製膜速度分布  
1.1 m × 1.4 m 基板の微結晶シリコン膜製膜速度分布を示す。

を冷却して放電で発生する熱を電極より除去する構造を採用することで基板の変形・割れを抑制することが可能となった。電極冷却がない場合は製膜中に基板温度が40℃以上上昇し、かつ基板表裏や面内温度差により基板割れが1000枚に1枚程度発生することが解析結果で予測できた。これに対して電極冷却を行うことで製膜中の基板温度上昇は10℃以下に抑制され、かつ基板が割れる確率も冷却なしに比べ100分の1以下に抑制できる。

これらの結果により、微結晶高速製膜に必要な大電力を投入した条件にて安定した製膜が可能となり、1.1 m × 1.4 m サイズの大面積基板を用いて図6に示すように2.6 nm/s ± 14.3%の製膜速度で微結晶Siの大面積高速均一製膜を確認した。以上述べたような設計技術の適用によって1.1 m × 1.4 mの基板を安定して搬送、高速で微結晶シリコン膜の製膜が可能となった。

図7に示す新工場は平成19年10月より生産を開始しており、平成20年度から40 MWのフル生産に入る予定である。タイトル写真に微結晶タンデム型太陽電池の外観を示す。

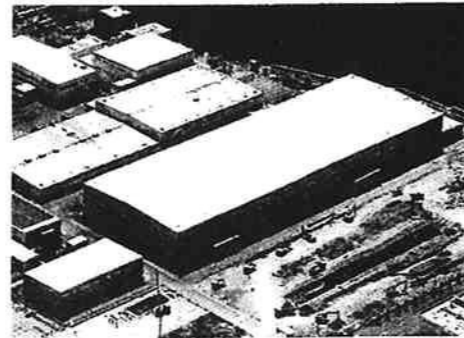


図7 微結晶タンデム生産工場外観  
建設した年産40 MW 微結晶タンデム生産工場の外観写真。

電池の外観を示す。

生産した電池の出力分布を図8に示す。電池の出力は平均値±5%以内に収まっており高い製造再現性を有していることがわかる。平成19年度は130 W製品から販売を始め、生産と並行し電池出力を向上させ、平成20年度中に150 Wの製品を販売する予定である。微結晶タンデム型太陽電池の標準出力当たりの発電量年間変化を図9に示す。このデータはドイツの性能評価機関で計測しているもので、結晶型に比べて高い発電性能が得られている。微結晶シリコンはアモルファスシリコン中に柱状の結晶粒子が充填されている構造で電気的には結晶とアモルファスの中間の特性を持っている。このため出力の温度係数も結晶型とアモルファスの中間の値となるため、温度が高い夏場の発電量が結晶型より多いと考えられる。

#### 4. ま と め

従来発売してきたアモルファス型太陽電池の出力を大幅に更新した微結晶タンデム型太陽電池の生産を2007年10月より開始した。微結晶タンデム型太陽電池の年間発電特性

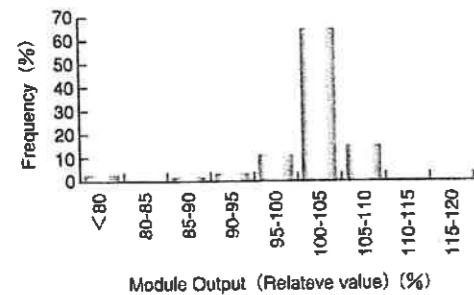


図8 電池の出力分布  
量産時のタンデム太陽電池の出力分布特性を示す。

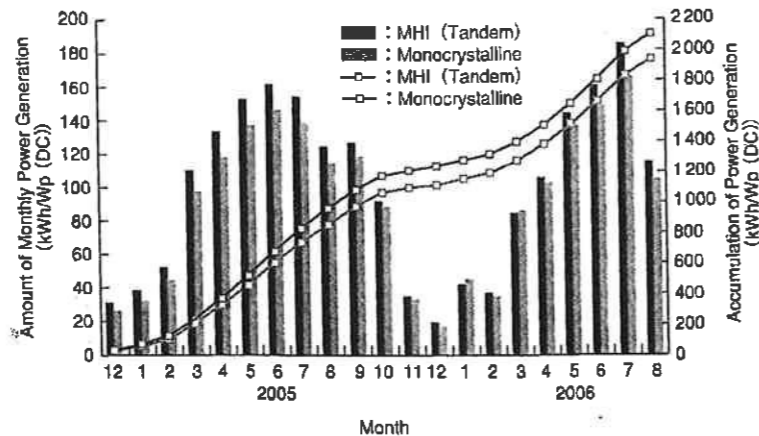


図9 微結晶タンデム太陽電池の年間発電特性  
ドイツKassel屋外で計測した微結晶タンデム太陽電池の発電特性を単結晶シリコン太陽電池との比較を示す。

池の微結晶電池膜の製膜には超高周波を用いて従来の5倍の製膜速度で生産可能なプラズマCVD装置を開発・設計して生産に供している。生産した微結晶タンデム型太陽電池の性能はドイツに於けるフィールドテストの結果、結晶型を上回る年間発電量であることが確認された。今後は電池1枚当たりの出力を向上させ、更に高品質の製品を生産できるよう努力していく所存である。

なお、微結晶タンデム太陽電池及び微結晶Si高速製膜技術は(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託研究により開発したものである。

#### 参 考 文 献

- (1) 高塚, 山内ほか, 三菱重工技報 Vol.41 No.1 (2004)
- (2) 山内, 高塚ほか, 三菱重工技報 Vol.42 No.3 (2005)
- (3) T. Matsui, M. Kondo and A. Matsuda, Proceedings 3rd World Conference on



守井淳



高塚汎



山内康弘



田頭健二



竹内良昭



坂井智嗣

- Photovoltaic Energy Conversion, Osaka (2003) p.1570  
 (4) S. Goya, Y. Nakano, N. Yamashita, et al., Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka (2003) p.1849