

OPTO NEWS

第25回光産業技術 シンポジウム終わる

第21回櫻井賞は細川速美氏、および増原宏氏らのグループに

オプトニュース

2006 No.1

通巻151号

OITDA 財団法人 光産業技術振興協会
OPTOELECTRONIC INDUSTRY AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT ASSOCIATION



球状シリコン太陽電池の開発

1. 球状シリコン太陽電池の特徴

太陽光発電システムは急速に普及が広まっている。そしてその大半は結晶系シリコン太陽電池である。これまで、同太陽電池は高効率化、基板の薄型化、生産性の向上等によりコスト低減を実現し市場の要望にきてきた。しかし、高価なシリコンを多量に使用するため、今後のコスト低減には難しい技術課題が山積している。

このような中で、結晶系シリコン太陽電池と同等の信頼性と性能を持ち、かつ、大幅なコスト低減を目指した球状シリコン太陽電池の開発が進められている。球状シリコン太陽電池は光吸収層に球形のシリコンを用いたものであるが、概ね下記の特徴を有している。

- ①インゴットのスライスなどの工程が無く材料ロスが少ない。且つ、基板の生産性が高い
- ②微小の球状シリコンの使用によりワット当りのシリコン使用量を低減できる
- ③結晶系のシリコンであるために、高変換効率・高信頼性を期待できる
- ④フレキシブルな基板の使用で、薄膜系太陽電池なみにフレキシブル化が可能である

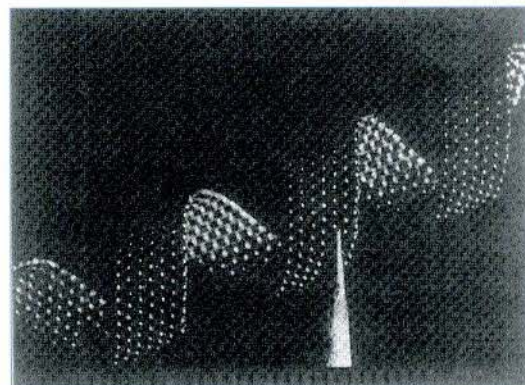


図2 TI社の球状シリコン太陽電池の外観³⁾

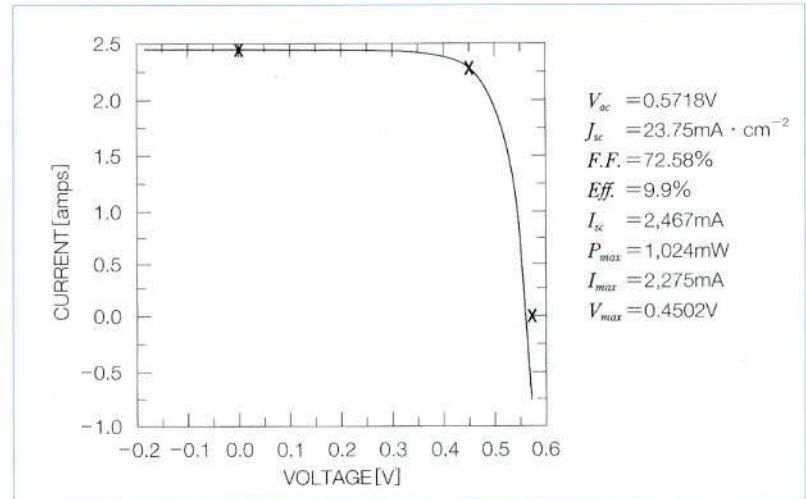


図1 TI社の100cm²サイズセルのI-V特性³⁾

2. TI社の球状シリコン太陽電池の概要

1980年代TI社は球状シリコン太陽電池の本格的な事業化開発を行なっている。TI社から同太陽電池に関わる重要な特許が多数出願されている¹⁾。TI社は金属グレードのシリコン粒を出発材料とし、シリコン粒を溶融し内部から固化させることにより、偏析を利用し不純物を表皮部分に集め、同表皮部を研磨除去し高純度化することを試みた。その結果、同工程を数回繰り返すことにより太陽電池として使用可能な純度の球状シリコンを得ることに成功している²⁾。

同シリコン球はp型で直径約750 μ m

であり、表面に拡散によりn型層を形成した後、60 μ m厚のアルミホイルの貫通孔に挿入される。その後、上下面を加熱されたラバーバックで挟み、インパクトプレスにより約530 $^{\circ}$ Cの温度でアルミとシリコンを共晶反応させ、電気的および機械的に接合させる。その後、同シリコン球の底部のn型拡散層を研磨除去しp型基板を露出させ、アルミホイルを含むセルの裏面全面に絶縁層を形成する。そして、同絶縁層の一部を除去し、同除去部分にp電極を形成することによりセルは完成する。同プロセスによる100cm²サイズのセル性能を図1に示す³⁾。同太陽電池は

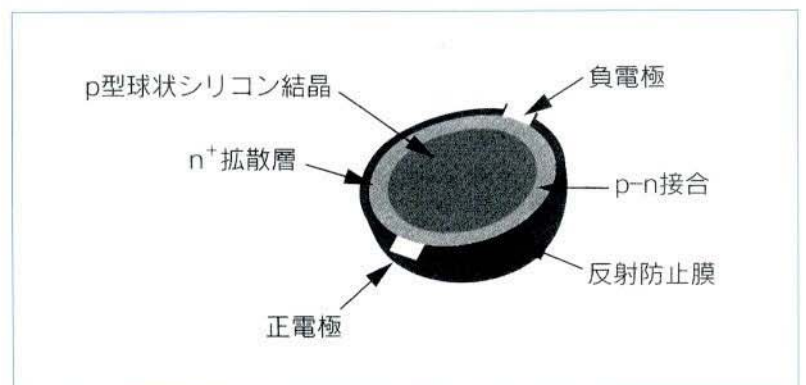


図3 京セミ社の球状シリコンセル

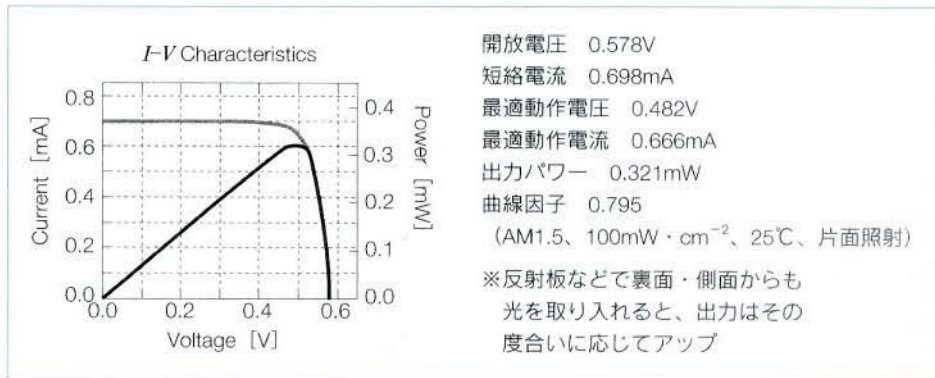


図4 京セミ社の球状セルの特性

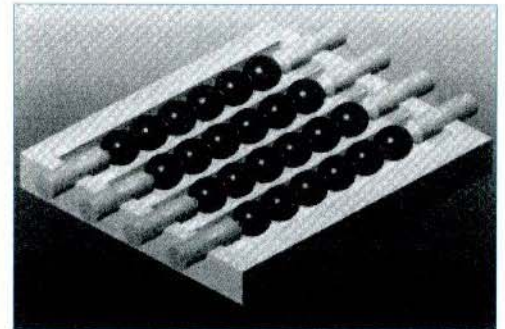


図5 京セミ社のモジュール

日本でも新聞雑誌等でセンセーショナルに紹介された⁴⁾。しかし、その後TI社で事業化されることはなかった。

参考のため、図2に新聞に掲載されたセルの外観写真を示す。

3. 京セミ社の球状シリコン太陽電池の概要

図3に京セミ社の球状セルの事例を示す⁵⁾。また、図4に同球状セルの性能を、図5に前記単セルを複数個接合したモジュールの外観を示す⁵⁾。同球状セルは電極が球の中心に対して対称の位置に対向して設けられている⁵⁾。また、本球状セルの裏面に簡単な反射板を置き反射光を取り込むだけで出力は1.5倍にアップし、側面散乱光も取り込むと約2倍にアップする⁵⁾。前述したTI社の球状セルが並列接続であるのに対し、本セルは直列接続であることも大きな特徴である。

4. クリーンベンチャー21社の球状シリコン太陽電池の概要

球状シリコン太陽電池の製造技術は大きく、①球状シリコンの製造技術、②セル化の製造技術に分けられる。以下それぞれについて開発現状を説明する。

4.1 球状シリコンの製造技術

球状シリコンの製造方法は、シリコンを一旦溶融させ同溶融シリコンから均一な液滴を造り同液滴を自然落下させ凝固させる手法が一般的である。この手法は無容器で結晶核の無い凝固反応により球状シリコンを得るものであり、結晶核の生成タイミング、凝固過程の温度コントロール等を最適化すること⁶⁾、⁷⁾ および不純物の混入の少ない部材を使用することが重要となる。

図6にシリコンを坩堝内で一旦溶融させ同溶融シリコンから均一な液滴を造り、同液滴を凝固させ球状シリコンを製造する装置の概要を示す⁸⁾。図より明らかなように、坩堝内でシリコンが溶融され同坩堝の下端部には直径約0.3 mmのノズルが設けられている。この状態で、坩堝表面が不活性ガスにより加圧され、同加圧によりノズルから溶融シリコンが滴下する。溶融シリコンは不活性ガス中を自然落下し途中で凝固する。

図7に同手法で得られた球状シリコンの外観を示す。(a)、(b)共に金属光沢を持っており(a)は表面に角(100 μ m

程度)を持ち、(b)は10 μ m程度の微細な凹凸を持っている。(a)の表面状態がZ.Jian⁹⁾らが報告した過冷却度の比較的浅い($\Delta T=70K$)で固化させたシリコン表面と似ており、(b)が同じく比較的深い($\Delta T=129K$)で固化されたシリコン表面に似ていることから、(a)は比較的浅い過冷却で結晶成長し、(b)は比較的深い過冷却で結晶成長したものと推測される⁸⁾。また、同シリコン球はX線pole figure法により解析された結果、(a)は2~4個の結晶で構成されており、(b)は多くの結晶粒から構成

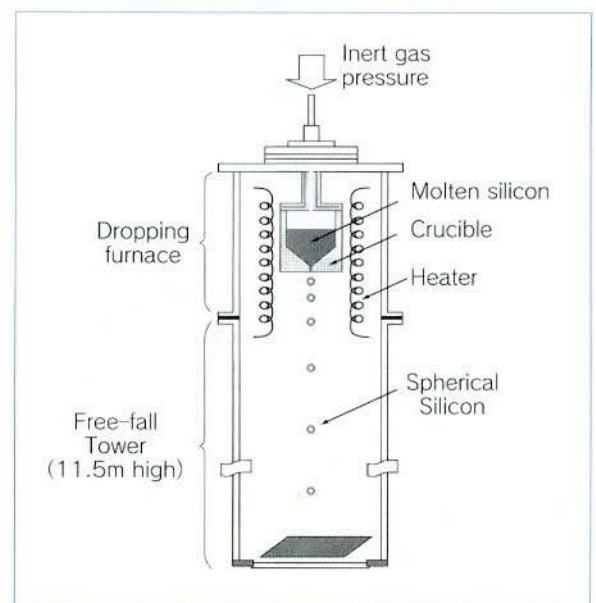


図6 球状シリコンの製造装置の概要

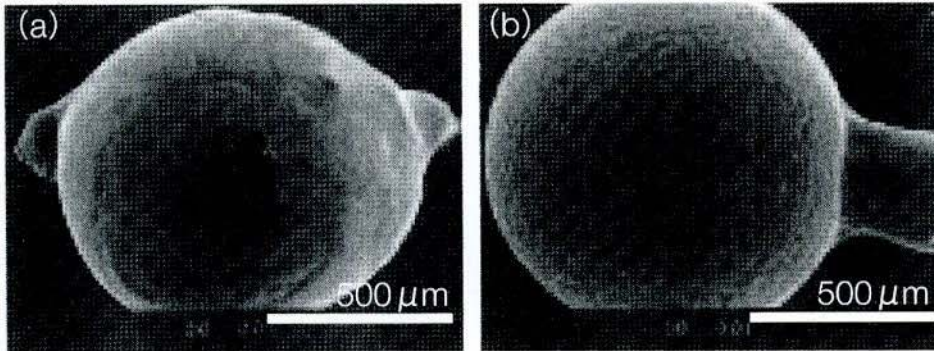


図7 球状シリコンの外観

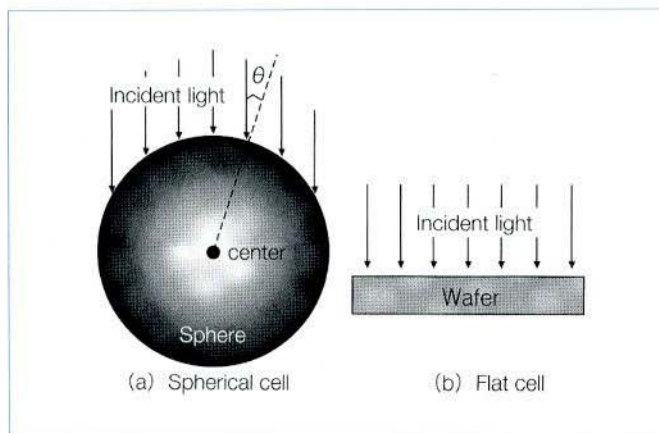


図8 球状セルと平板セルへの光入射

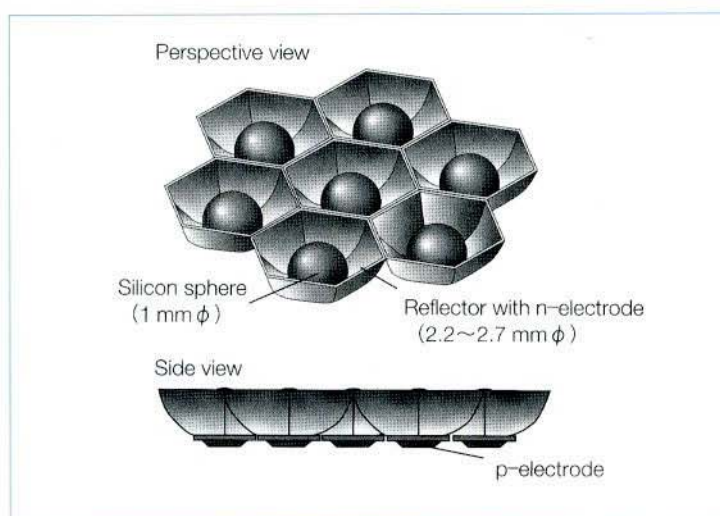


図9 球状シリコン太陽電池の事例

されていることが分かっている¹⁰⁾。

4.2 球状シリコンのセル化の製造技術

球状のセルは一見、無指向性で高い

出力が得られるように思われがちであるが、同じ品質で同じ投影面積をもつ円盤状の平板セルと比較した場合、セルの形状に起因する出力の低下があ

る¹²⁾。図8に示すような(a)球状セルと同一投影面積を持つ円盤状(b)平板セルに、上方から光が入射する場合について考えてみる。まず、電流については、(b)の平板セルでは全入射光がセル面に垂直に入射するのに対し、球状セルの場合、周辺部では入射角が大きくなり反射損が増加する。同反射損による出力電流の減少は約10%になる¹²⁾。次に、電圧については(b)の平板セルではp-n接合全面に均一に光が入射するが、(a)の球状セルでは球の表面積が断面積の4倍であることから、p-n接合全面積に対する平均入射エネルギー密度は平板セルの四分の一ということになる。つまり、(a)と(b)のセルが同一のp-n接合の品質を持つと仮定すると、球状セルは平板セルの四分の一の入射強度下で電圧を計測することになる。電圧の値は当然小さくなり、その減少幅は約10%になる¹⁴⁾。さらに、球状セルの場合、同セルを多数個配列すると球状セル間に約10%程度のデッドスペースが生じる。これも性能低下の要因となる。このことから、球状セルの出力は平板セルの出力に比べ少なくとも30%は低くなる。

図9にこれらの問題を解決した集光型球状セルの事例を示す^{13)、14)}。同セルは、連続して形成され微小なお椀状の反射鏡兼基板の底部に直径約1.0 mmの球状シリコンセルが実装され、集光倍率は約5倍に設定されている。この球状セルは「マイクロ集光型球状シリコン太陽電池」と呼ばれている¹⁴⁾。通常の集光型太陽電池に比べ集光倍率が低いのは、追尾式ではなく固定式であるためである。単に垂直光だけ考えた場合には、集光倍率をもっと大きくても良いが、集光倍率が大きくなると指向性が増し、年間発生電力量の低下を招く¹⁵⁾。尚、本「マイクロ集光型球

