

(様式第9 別紙2：公開版)

## 養成技術者の研究・研修成果等

1. 養成技術者氏名：中村 俊之

2. 養成カリキュラム名：球状シリコン太陽電池の研究開発

3. 養成カリキュラムの達成状況

① 球状シリコンへの超高温拡散技術（達成度 100%）

拡散後の低温アニールなどで変換効率を 20%向上させることができた。今後はより高効率な太陽電池を得るために拡散技術とアニール技術の更なる確立を図る

② 球状シリコンからの電極取り出し技術（達成度 100%）

p 型シリコンからの電極取り出し後に、さらに電極部分に処理を加えることで実装工程短縮の可能性を見出した。今後は再現性、及び、密着強度などの信頼性を高める。

③ 球状シリコンの基板への実装技術（達成度 100%）

プレス工法により反射鏡兼基板の最小評価ユニットである 7セルモデルを製作した。プレス工法において球状シリコン実装基板の製作が可能であることが確認でき、また、球状シリコン実装前後の太陽電池特性比較より集光型の球状シリコン太陽電池の有効性を確認した。今後は、実用サイズの製作と実装技術に取り組む。

4. 成果

別紙添付資料通り。

5. 成果の対外的発表等

(1) 論文発表（論文掲載済、または査読済を対象。コピーを添付。）

なし

(2) 口頭発表（発表済を対象。予稿集のコピーを添付。）

なし

(3) 特許等（出願番号を記載）

出願用原稿作成中（特許事務所に提出済） 4/19 現在

#### 4. 成果

##### 4. 1 研究の目的と概要

本研究開発の「マイクロ集光型球状シリコン太陽電池」は、多結晶シリコン太陽電池と性能的には同等以上であり、価格的には約20%のコストダウンが見込める。また、フレキシブル型モジュールおよび軽量モジュールも製造可能であり、技術が完成すれば、これまで主流であった多結晶シリコン太陽電池に置き換わることが期待できる。本研究開発業務は、①球状シリコンへの超高温拡散技術、②球状シリコンからの電極取り出し技術、③球状シリコンセルの基板への実装技術、以上の技術を習得することを目的とした。

##### 4. 2 成果の概要

###### 4.2.1 球状シリコンへの超高温拡散技術

球状シリコン太陽電池に必要な内部電界は気相拡散法によって形成する。気相拡散法とは約800~1250°C程度にしておいた炉内に、n型不純物であるリンを含んでいる塩化ホスホリル( $\text{POCl}_3$ )を酸素と同時に流し込む(deposition)。炉内に設置されたp型シリコンは酸素と熱の影響で酸化する。その際にn型不純物であるリンを取り込み、リンガラス( $\text{P}_2\text{O}_5$ )を形成する。取り込まれたリンはシリコン内部に拡散していく(drive-in)。このような反応を行うことによって基板であるp型シリコンはn型化され、太陽電池に必要なpn接合が形成される。拡散炉の立ち上げを行い気相拡散法による最適化を行った。沢山のデータの結果からリンの気相拡散はリンの拡散層が浅く、表面濃度が高い状態を作るとするのが理想であると考えられる。そのため、高温短時間depositionを提案した。925°C10分のdepositionを行い850°Cまで降温し直ちに取出したもの(A)と、同deposition条件でdrive-inを850°C30分アニールしたもの(B)との太陽電池特性の比較を行った。その結果を図1に示す。

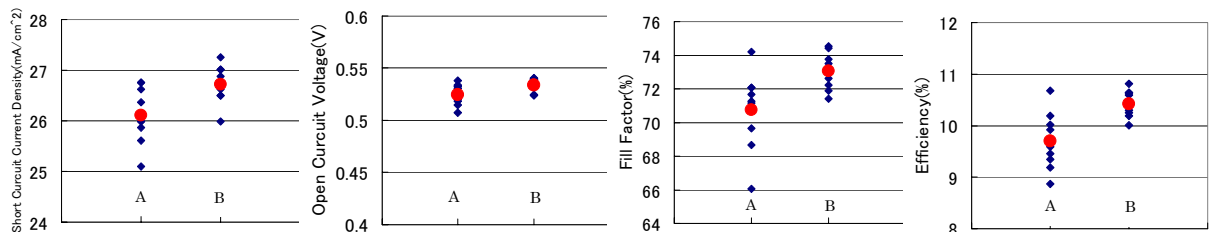


図1 条件(A)と条件(B)との太陽電池特性比較

条件(B)では接合深さが深くなっていると予想されるのにも関わらず条件(A)より、 $J_{sc}$ 、 $V_{oc}$ の両方が高い値を示し低温でのアニールがセル特性向上に大きな影響を与えることがわかった。図2はリンガラスのdeposition時間変化による太陽電池の反射率である。時間30分と50分の時にAR効果が得られており、また、反射スペクトルより算出される膜厚よりdeposition時間を増やすことにより膜厚が増加していることがわかる。図3はその太陽電池性能結果である。deposition時間の増加に伴い $V_{oc}$ 、及び、FF値が高い値を示しバラツキが小さくなっていることから膜厚が厚いほどパッシベーション効果が高いと言える。以上のdeposition条件、アニール条件の最適化によりEff13.4%を達成した。

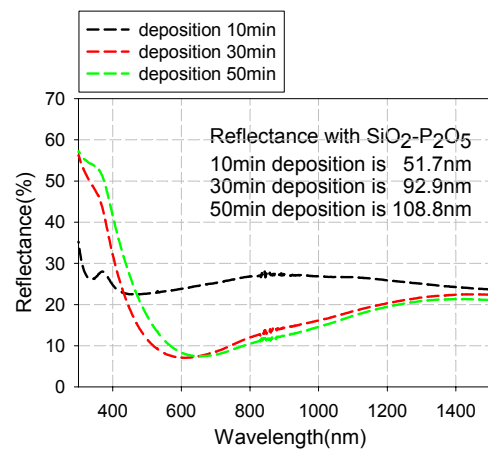


図2 deposition時間変化によるモニターウエハの反射率

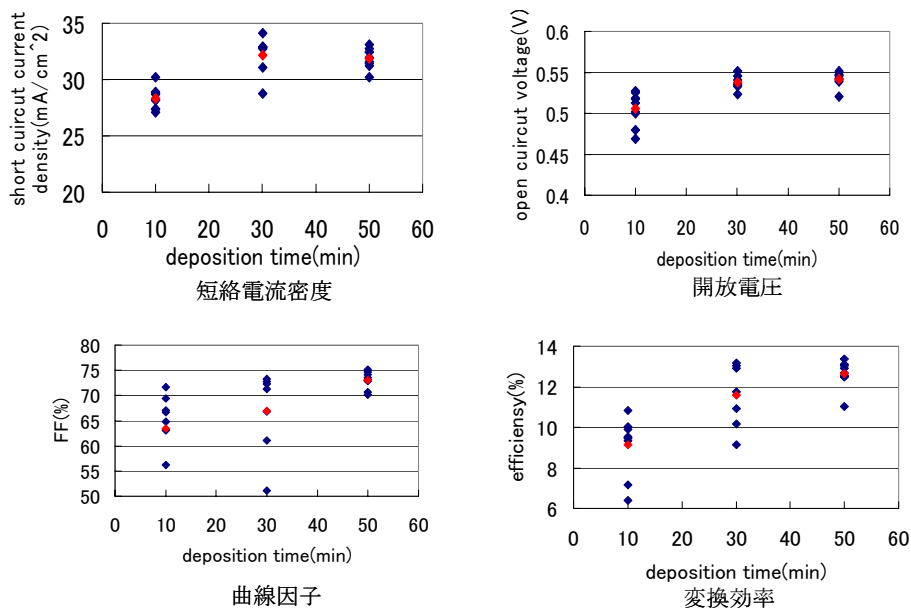


図3 deposition 時間変化による太陽電池特性変化

#### 4.2.2 球状シリコンからの電極取り出し技術

球状シリコンを実装する上で、電極と基板を接続するのに、電極に半田ぬれ性が要求される。球状シリコンからの電極取り出しはp極には5%Al入りの銀電極を、n極には銀電極を塗布、焼成することでオーミックコンタクトを取る。p極はAlを5%含有することより半田付性が悪く接合の信頼性においては不十分であった。よって、Alの含有率を5%以下にすることで半田付性の改善を試みた。Alの含有率を1%程度まで低下させても低抵抗なオーミックコンタクトは保てるが、半田付性が改善されるには至らなかった。新たな手法としてAg電極上に無電解Niめっきを施すことを試み、その結果、Alを含有するAg電極上に半田付け性の良い皮膜を得ることが出来た。

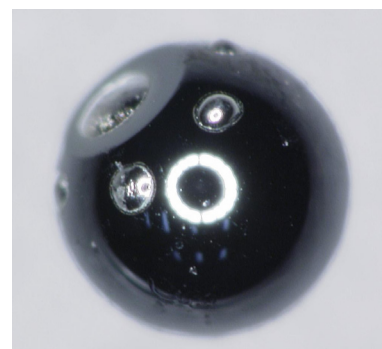


図4 半田付けしたシリコン球

#### 4.2.3 球状シリコンセルの基板への実装技術

球状セル実装のための反射鏡兼基板の試作着手に際し、形状再現性と将来の量産性の観点から、アルミ板を対象に、プレス装置によるコインング加工を得意とし金型設計製作とプレス加工が出来る業者を選定した。反射鏡兼基板のサイズは小型の7セルモデルで試作を開始した。1次試作では反射鏡稜線の幅を一般に加工可能な精度である0.2mmとした。稜線とは各反射鏡間にできるスペースでありこの幅が大きいと太陽光を集光することができず反射鏡として好ましくない。金型（パンチ）が加工時に破損してしまう恐れがあるため1次試作品ではこの値を設定した。図5は1次試作品の観察写真である。材料の伸びによる最外周部のエッジダレ及びピッチの伸びを防ぐためにプレス加工業者と技術検討結果、ヒールと呼ばれる外側への材料逃げ防止を入れることとした。ヒールを入れた結果、以上の問題点を解消することができた。稜線幅を限りなく0にすることは反射鏡の性能向上させるための大きな要因となるが、金型に負担がかかり形状再現性が悪くなる。今後の課題として反射鏡としての性能を維持したまま再現性良く製作できる反射鏡の設計が必要となる。製作した反射鏡の太陽電池特性を評価した。尚、全ての反射鏡兼基板には後述する最適反射膜形成条

件にて同膜を形成して特性の測定を行った。図6には基板に球状シリコンを実装した写真、図7には実装基板に球状セルを実装して単セルとの各太陽電池特性の変化率を示す。実装することで Jsc 値は低下するが、Voc 値がその分増加し、FF 値はほぼ変化せず、結果として総合特性を表す Eff 値は減少していない。以下では反射膜について述べる。同膜は太陽電池に吸収される波長で、且つ、広帯域において高い反射率を有するがあるため Ag を選択した。下地めっきの条件 (光沢度) が異なる平板サンプルに Ag めっきを施すことで下地めっきによる光沢度の有効性を確認でき、最良の条件下において 90%以上の反射率が得られた(図7)。図8は太陽電池特性評価結果である。めっき厚さによって太陽電池特性に変化は見られなかった。光沢度が高いほど太陽電池の性能が向上すると考えていたためこの原因を究明した。

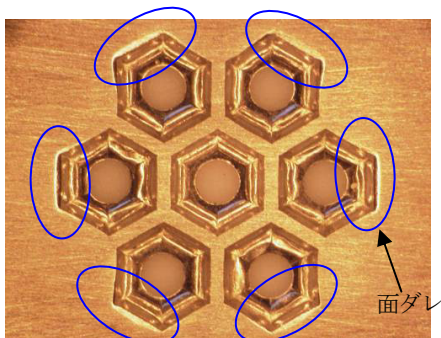


図5 1次試作品観察写真 (観察角度: 左0°, 右30°)

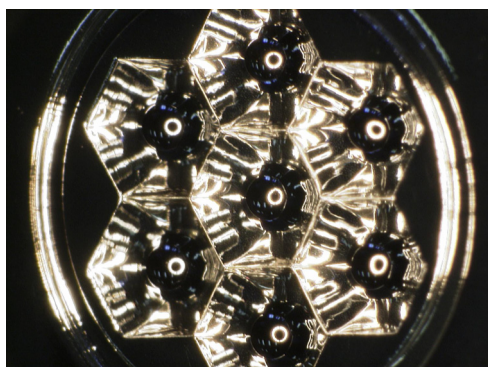
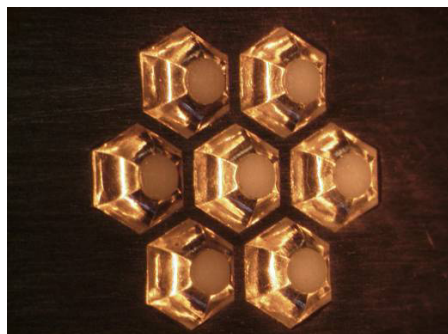


図6 7セル実装写真

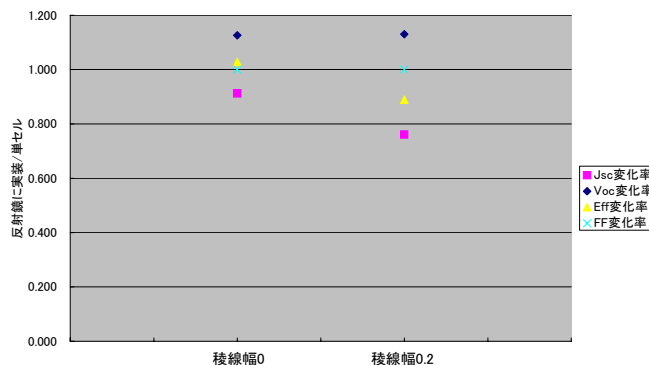


図7 実装前後の太陽電池性能

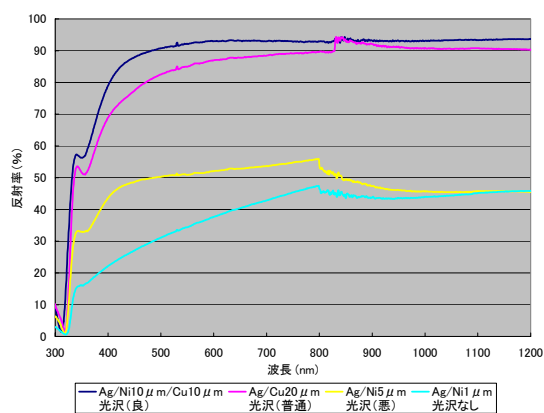


図8 下地めっき条件 (表面光沢度) による光反射率

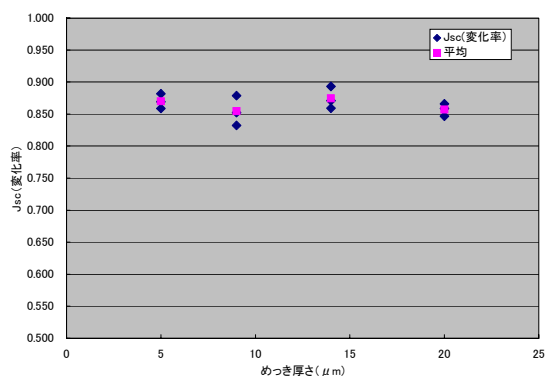


図9 めっき厚さによる太陽電池特性の変化