

結晶系太陽電池の高効率化

High-Efficiency Technologies for Crystalline Silicon Solar Cells

佐賀達男*1
Tatsuo Saga

兼岩実*1
Minoru Kaneiwa

町田智弘*2
Tomohiro Machida

要 旨

太陽光発電が、地球温暖化等の環境問題や、エネルギー問題対策の解の一つに挙げられている。太陽電池の高効率化は重要な課題であり、様々な技術が開発されている。高効率化技術のうち、量産プロセスに導入しているコストパフォーマンスの優れた技術及び製造プロセス技術について解説する。

高効率化技術には、光閉じ込め率改善と発生キャリアの収集効率改善の2方面があり、またコストパフォーマンスの改善には、製造プロセスを簡素化し、製造時のエネルギー使用量を少なくする製造プロセス技術も重要である。

Photovoltaic (PV) system is expected to solve the global environment problems, such as the greenhouse effect, and energy problems. R&D efforts to realize high efficiency solar cell are important, so that various technologies have been developed. This paper describes high cost-performance technologies and production technologies for high efficiency. These technologies have been applied to mass-production process.

The light trapping effect and the collection efficiency of photo-generated carrier must be improved to increase cell efficiency. In order to improve cost-performance, it is necessary to simplify the cell production process and to develop the production technologies for reduction in energy consumption during cell production.

まえがき

近年、地球の温暖化を筆頭とした地球環境問題やエネルギー問題に対して、太陽光発電システムが注目されている。当社では、1959年に太陽電池の開発に着手し、1963年に単結晶シリコン太陽電池を地上用に、

1970年に宇宙用に量産化した。単結晶シリコン太陽電池は、効率高く、資源的にも豊富である。しかし、太陽光発電システム普及のためのコスト低減には、シリコンウエハのコストを下げる必要があり、図1のように多結晶シリコン太陽電池の増産に比重が移ってきている。図2には当社市販モジュールのセル変換効率の推移を示す。単結晶シリコンも多結晶シリコンも同じ結晶系であるが、そのウエハの性質から太陽電池の作製方法は異なっており、主な特徴を比較しながら解説する。

高度(いわゆる実験室レベル)な高効率化技術を用いた太陽電池としては、5cm角の単結晶シリコンセル

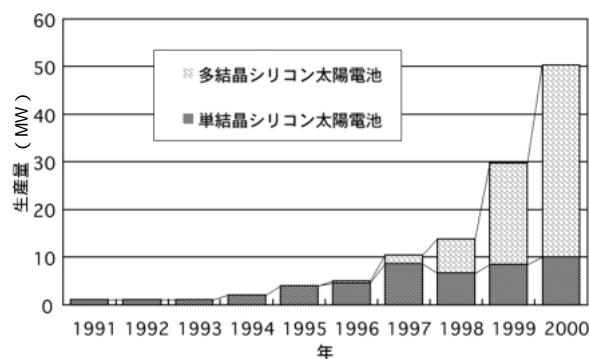


図1 当社の太陽電池生産量の推移

Fig. 1 Crystalline Si PV production by Sharp.

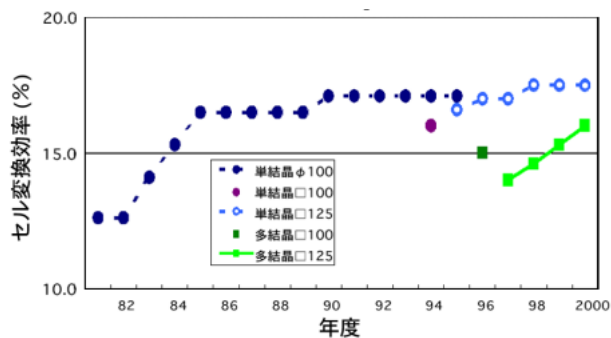


図2 当社市販モジュールのセル変換効率の推移

Fig. 2 Progress in Sharp's production solar cell conversion efficiency.

*1 電子部品事業本部 ソーラーシステム事業部 第1技術部

*2 A1213プロジェクトチーム

で変換効率 23.5%¹⁻³⁾, 10cm 角の多結晶シリコンセルで同 17.2%⁴⁾⁵⁾ を達成しているが, ここでは, 量産を前提とし, コストパフォーマンスの優れた技術, 製造プロセスの簡素化技術を中心に説明する。

1. 結晶系シリコン太陽電池の構造及び量産プロセス

1.1 結晶系シリコン太陽電池の構造

結晶系シリコン太陽電池の断面構造を図3に示す。太陽電池の主な構成としては, p型シリコン基板に対し, 凹凸構造を有する受光側にpn接合, 反射防止膜, グリッド電極が形成されており, 反対側に裏面電界層, 裏面電極が形成されている。単結晶と多結晶で表面形状が異なっているのは, 多結晶シリコンは様々な面方位が存在し, 均一な表面にはなっていないためである。

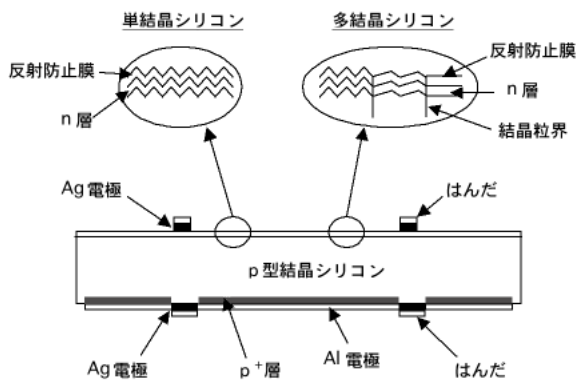


図3 量産している結晶系シリコン太陽電池の構造
Fig. 3 Structure of crystalline silicon solar cells in production.

1.2 結晶系シリコン太陽電池の製造プロセス

多結晶シリコン太陽電池の製造プロセスを図4に示す。

多結晶シリコンウエハは, シリコンの原料を坩堝で溶解・再固化させたインゴットをブロックに切断し, ワイヤソーでスライスすることによって作られる。単結晶シリコンウエハは, CZ法による円筒状のインゴットをワイヤソーでスライスすることによって作られる。

太陽電池製造プロセスは, pn接合形成, 反射防止膜形成, 電極形成等から構成されている。pn接合形成には, リン(P)を含む塗布液を用いた量産性に優れた塗布拡散法を採用している。また, リン(P)に加え反射防止膜材料も含ませた塗布液を用いることにより, pn接合と反射防止膜を同時に形成する方法もある。

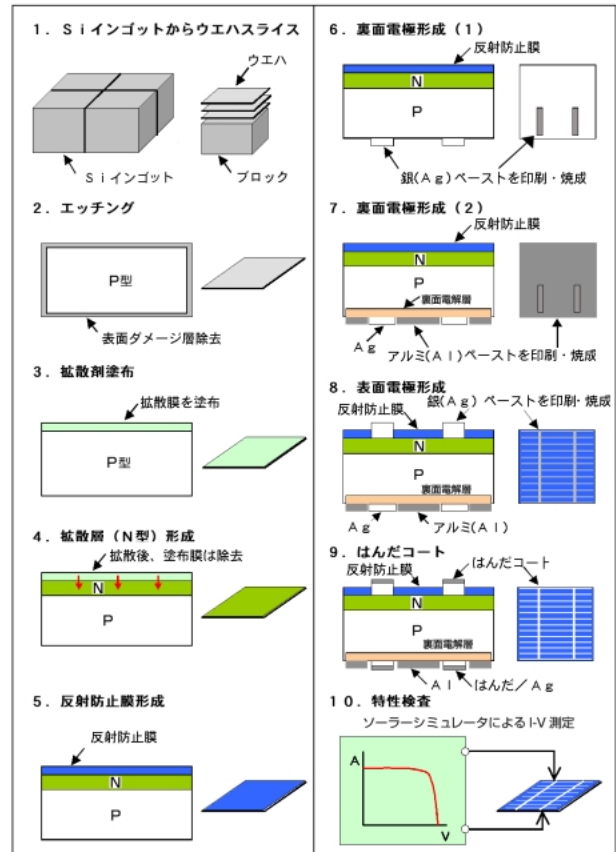


図4 多結晶シリコン太陽電池の量産プロセス

Fig. 4 Production process of polycrystalline silicon solar cell.

2. 高効率化技術

2.1 光閉じ込め技術

太陽電池の効率を高めるためには, まず, 結晶表面で光の反射ロスを低く抑え, 入射する光を有効に太陽電池の中に閉じ込める必要がある。その技術には, テクスチャ構造と反射防止膜形成とがある。

2.1.1 テクスチャ構造

単結晶シリコンの受光面にマイクロなピラミッド構造を形成することができる。結晶表面に入射した光が透過・反射を繰り返し, その結果, フラットな表面よりも多くの光を結晶内に導くことができるようになる。テクスチャ構造を形成する方法としては, シリコンの面方位によるエッチング速度の違いを利用する。アルカリ液を用いたテクスチャエッチングでは, (111)面のエッチング速度が, (100)面より遅い。その結果(100)面をスタートにテクスチャエッチングすると, 表面に(111)面が残り, 低反射表面に適したピラミッド構造を形成することになる。

一方, 多結晶シリコンの場合は, 表面に様々な面方

位が出現しているために、単結晶シリコンのようにウエハ全面に均一なテクスチャ面を形成して、反射ロスを低く抑えることは難しい。

2・1・2 反射防止膜

光の表面反射を減らす方法にテクスチャ構造に加え、反射防止膜を形成する技術がある。これは、シリコンと空気との中間の屈折率を有する透明な膜をシリコン表面に形成することにより、光の干渉効果を利用して反射率を低く抑えるものである。反射防止膜としては、化学気相成長(CVD:Chemical Vapor Deposition)法などで形成される酸化チタン(TiO_2)膜や窒化シリコン(SiN)膜の単層構造のものがある。更に、表面反射率を抑えるために、真空蒸着法を用いて2層構造にしたものもある。

2・2 パッシベーション(欠陥の不活性化)

次に、光キャリアの再結合の中心となるダングリングボンド(不対結合)や偏析不純物のような結晶欠陥をパッシベーションする技術が、高い効率を得るために重要である。単結晶シリコンにおいては、表面欠陥のパッシベーションが重要となっているが、結晶粒の集まりである多結晶シリコンにおいては、ウエハ表面のみでなく結晶粒界におけるパッシベーションも必要になってくる。

ウエハ表面のパッシベーションには、通常、熱酸化によるSi-SiO₂表面を形成する方法で行われている。また、ウエハの中に存在する結晶粒界のパッシベーションには、水素原子をウエハ内に導入させる方法が採られる。これは水素がダングリングボンドをターミネイト(終端)すると考えられている。

2・3 電極形成技術

従来、太陽電池の電極形成には、真空蒸着法が用いられていたが、これに替わる安価な方法として、スクリーン印刷法が広く用いられるようになった。真空蒸着法はバッチ式で材料利用効率が低い欠点があるが、スクリーン印刷法は、金属ペースト(金属粉末、ガラスフリット、樹脂、有機溶剤より成る)の材料消費が少なく、自動化も簡単であるなどの長所があり、太陽電池の量産ラインに適用している。

太陽電池の受光面電極形成には、銀ペーストを用いている。受光面電極は、シリコンウエハとの接触抵抗を含む直列抵抗を低く抑えながら、電極面積をできるだけ少なくして光の入射量を減少させないようにするために、線幅、ピッチ、厚さなどのパターン設計が重要である。また、反射防止膜の上から直接、電極パ

ターン状に銀ペーストのスクリーン印刷を行い、ベルト搬送炉で焼成することにより、この膜を突き破ってシリコン面と良好な電氣的接触できる貫通型電極形成方式が量産ラインで採用されている。

裏面電極としては、初期には単に接触抵抗値の低いオーミック電極が形成されていたが、最近では裏面電界(BSF:Back Surface Field)効果を持つ電極が広く用いられるようになっており、当社もアルミペーストを用いたこのタイプの電極を採用している。裏面にアルミペーストを印刷したシリコンウエハを熱処理するとアルミニウムは溶融してシリコンと合金化し、アルミニウムが拡散したp⁺層がアルミ・シリコン合金層下に形成される。p型シリコンウエハとp⁺層のドーパントの濃度差が、その界面に電位差(電位障壁として働く)をもたらし、光生成されたキャリアが裏面電極付近で再結合するのを防いでいる。この作用により短絡電流(Isc:short circuit current)、開放電圧(Voc:open circuit voltage)が共に向上する。

3. 結晶系シリコン太陽電池の課題

現在、単結晶シリコン太陽電池においては、様々な高効率化技術の中の量産に適した技術、簡素化した量産プロセス技術を駆使することにより、特性をさらに改善させることができ、変換効率19%を実現することができた。

今後、結晶系シリコン太陽電池の本格的な実用化と普及を目指すには、さらに、低コスト量産技術や高効率化技術などの課題が着実に解決されなければならない。図5に示すように、シリコン原料、ウエハ、セル、モジュールでそれぞれの開発課題を克服し、大規模量産による一層の低コスト化を図ることが重要である。

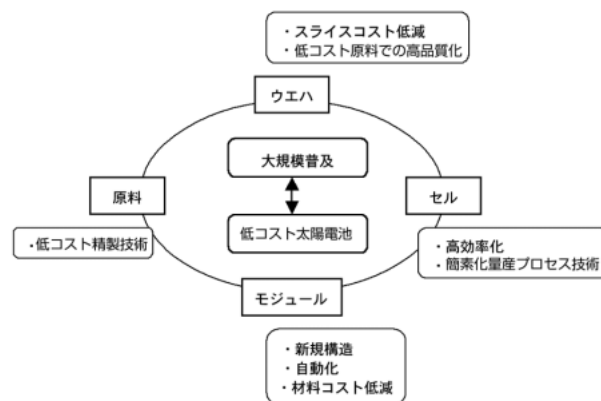


図5 結晶系シリコン太陽電池の課題

Fig. 5 Problems of crystalline silicon solar cell.

むすび

太陽電池の高効率化技術のうち、量産に適応した技術を中心に解説を行った。コストパフォーマンスが優れた技術は、製造時のエネルギー使用が比較的少ない技術であるともいえる。太陽光発電が地球温暖化等の環境問題や、エネルギー問題対策の解の一つに挙げられていても、太陽電池を作製するのに大量のエネルギーを使用していたのでは意味が無い。

今後も、太陽電池の高効率化技術と低コスト化技術の開発を推進し、コストパフォーマンスの優れた太陽光発電システムの普及により、社会貢献を果していきたい。

参考文献

- 1) S. Okamoto et al. , "23.5% EFFICIENT SILICON SOLAR CELL WITH REAR MICRO CONTACTS OF c-Si/ μ c-Si:H HETEROSTRUCTURE" ,Proc. 26th IEEE Photovoltaic Specialist Conf. pp.255-258 (Anaheim ,Oct. 1997) .
- 2) 小松 岡本 進藤 西田 安江 兼岩 南森 , "高効率単結晶シリコン太陽電池" ,第6回高効率太陽電池および太陽光発電システムワークショップ pp.112-115 (草津市 ,1997年7月)
- 3) 小松 岡本 西田 進藤 安江 兼岩 南森 , "23.5%の高変換効率単結晶Si太陽電池" ,シャープ技報 ,70 pp.19-23(1998)
- 4) H. Nakaya et al. , "Polycrystalline silicon solar cells with V-grooved surface" ,Solar Energy Materials and Solar Cells 34 , pp.219-225(1994)
- 5) 布居 , "多結晶太陽電池の高効率技術開発" ,シャープ技報 ,70 , pp.32-36(1998)

(2001年2月1日受理)