

## ブラックソーラー(BLACKSOLAR)

中村京太郎

ソーラーシステム開発本部 次世代要素技術開発センター

地球温暖化とエネルギー問題に対する解決策としての太陽光発電に対して期待と関心が高まるとともにその市場も大きく拡大していますが、一方でメーカー間の競争も激化するなど、それを取り巻く環境は大きく変化しています。本稿では現在の太陽電池業界において主流の位置を占める結晶シリコン太陽電池を中心に、太陽電池業界の現況および今後の展望について概説するとともに、このたび当社が商品化した高効率結晶シリコン裏面電極型太陽電池BLACKSOLARの特長を紹介し、それを実現するために開発した当社の独自技術について解説します。

### 1 はじめに

太陽光エネルギーを直接電気エネルギーに変換する太陽電池は近年、特に地球環境問題の観点から次世代のエネルギー源としての期待と重要性が急激に高まっています。日本では1996年に太陽光発電に対する住宅用補助制度が始まって以降生産量が急激に増加し、生産量、導入量ともに日本が世界一となって太陽電池産業を主導するようになりました。しかしその後、ドイツで再生可能エネルギーの固定価格買取制度、いわゆるフィードインタリフ(Feed-in tariff, FIT)制度が開始されると、瞬く間にドイツが太陽光発電システム導入量で世界一となりました。フィードインタリフとは太陽光発電によって生み出された電力を通常の電力価格の2~3倍の価格で一定期間、電力会社が買い取ることを義務付ける制度です。太陽光発電システム導入者にとっては導入時点で大体の収支を見積もることができ、初期投資に対して確実なリターンが期待できることとなります。この制度を導入したドイツを中心とする欧州諸国では数10MW規模の大規模発電所が建設されるようになり、一気に太陽電池市場が拡大しました。その

結果、太陽光発電産業は2000年代には年率約50%という高い成長を記録する成長産業になり、2000年に290MW程度であった太陽電池の世界生産量は2010年には24GWに達するまでになりました。

太陽電池としては、化合物半導体または有機材料を使ったものなど様々な種類がありますが、現在主流となっているのは結晶シリコンを用いたものです。結晶シリコン太陽電池は大型結晶シリコンインゴットを125mm角あるいは155mm角にブロック化し、そのブロックを薄く(180~200 $\mu$ m厚)スライスして製造されたシリコンウエハを加工して太陽電池セルを作ります。さらにこのセルを数十枚直列に接続して1m四方程度のサイズの太陽電池モジュール(あるいは太陽電池パネルともいいます)として販売します。

2010年の世界の太陽電池生産量のうち、約85%はこの結晶シリコン太陽電池です。その理由としては変換効率が高いこと、屋外設置での安定性が20年以上と優れていることなどがあげられます。当社では1959年に結晶シリコン太陽電池の開発を開始、さらにその4年後、1963年には結晶シリコン太陽電池の量産を開始しており、以来48年

の販売実績があります。

### 2 BLACKSOLAR太陽電池とは

太陽電池セルは、pn接合を有する半導体から構成され、その変換効率は太陽電池からの出力エネルギーを太陽光からの入力エネルギーで割った値で示されますが、この変換効率が高いほど高効率で優れた太陽電池であるといえます。

図1に従来型結晶シリコン太陽電池の構造概略図およびセル・モジュールの外観を示しています。現在最も多く生産・販売されている結晶シリコン太陽電池セルでは、太陽光を受ける表面(受光面)には魚の骨のような形にn電極が、裏面には全面にp電極が設けられています。受光面側に設けられたn電極は電流の取り出しのためには必要不可欠ですが、その電極の下のシリコン基板には太陽光が入射しないため、その部分では発電ができません。したがって電極面積が大きいと変換効率が低下してしまいます。この様に受光面側の電極による損失をシャドウロスといいます。それに対して受光面に電極がなく、p、n両電極を裏面に形成した太陽電池を裏面電極型太陽電池(またはバックコンタクト、

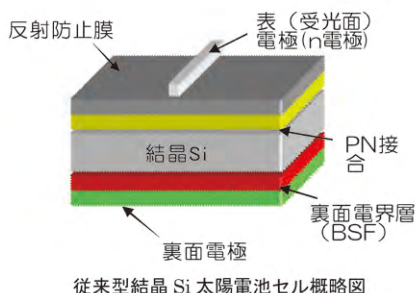
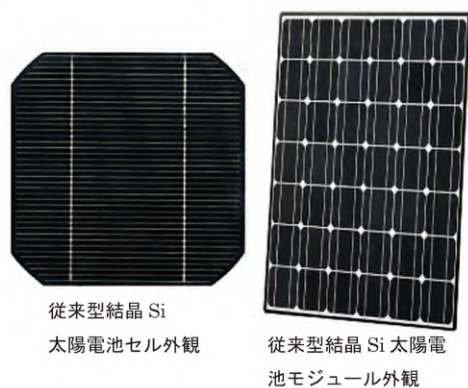


図1 従来型結晶Si太陽電池

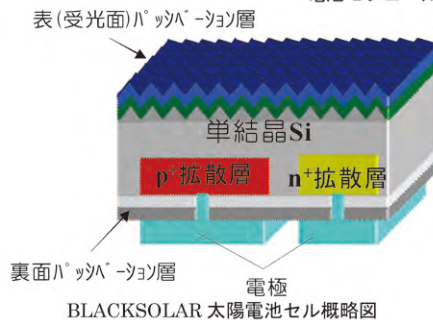
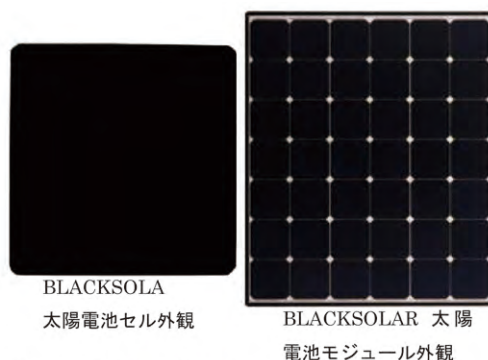


図2 BLACKSOLA太陽電池

Interdigitated Back Contact, IBC) セルと言いますが、このタイプの太陽電池セルは電極によるシャドウロスがなく、入射してくる太陽光を100%太陽電池に取り込むことができるので、原理的に高効率化に適しています。当社がこのたび開発、量産したBLACKSOLA太陽電池はこの裏面電極型太陽電池です。

図2にBLACKSOLA太陽電池の構造概略図およびセル・モジュールの外観を示しています。構造としては図2に示すように裏面に部分的にn+拡散層とp+拡散層が形成され、その上に電極を形成した構造です。さらに表面と裏面すべてをパッシベーション（再結合防止）膜で覆うことによって損失を低減し変換効率を向上させています。また、表面に電極やセル同士を接続するための配線材（インターコネクター）がないので、すっきりした外観の太陽電池モジュールを作ることができるという点も特長です。

当社では以前から上記のような特長を持つ裏面電極型太陽電池に着目して、このタイプの高効率太陽電池

を可能な限りシンプルで大量生産に適したプロセスで製造する技術の開発を行ってきました。そして、その開発の成果として、当社の裏面電極型太陽電池セルが20%の変換効率に達するのに十分なポテンシャルを持っていることを確認するとともに、生産性に優れたスクリーン印刷法を使ってこの太陽電池セルを製造するプロセスを開発して、従来の太陽電池と同等のコストで量産することが可能であることを実証することができました<sup>1)</sup>。

上記の成果を受けて、我々はこの太陽電池セルをさらに低コスト化するための技術開発と、このセルをモジュール化するプロセスの開発を進めました。

結晶シリコン太陽電池セルおよびモジュールの製造コストにおいてシリコンウエハのコストは大きな割合を占めています。これはシリコンウエハに極めて純度の高いシリコン原材料が使用されているためですが、この高純度シリコンの使用量を低減し、シリコンウエハのコストを低減すること、すなわちシリコンウエハを薄くすることが結晶シリコン太陽

電池モジュールのコスト低減にとって最も有効な手段の一つです。

現在、従来型結晶シリコン太陽電池セルに使用されているシリコンウエハの厚さは180~200 $\mu\text{m}$ ですが、これ以上薄くすると下記のような問題が生じます。

- ①入射した太陽光をすべて吸収することができなくなり変換効率が低下する。
- ②ウエハが割れやすくなり特にモジュール化の工程において歩留や品質の低下を招く。

まず①の薄型化に伴う効率低下の問題に対して、BLACKSOLA太陽電池セルにおける変換効率のウエハ厚依存性を調べた結果が図3です。これによると200 $\mu\text{m}$ から120 $\mu\text{m}$ までは効率はほぼ一定であり、120 $\mu\text{m}$ から100 $\mu\text{m}$ まで薄くすると若干の効率低下がみられることが分かります。したがって変換効率の観点からは少なくとも120 $\mu\text{m}$ まではウエハの薄型化が可能であることが確認できました。このようにBLACKSOLA太陽電池セルでは薄型化しても効率が低下しないのは

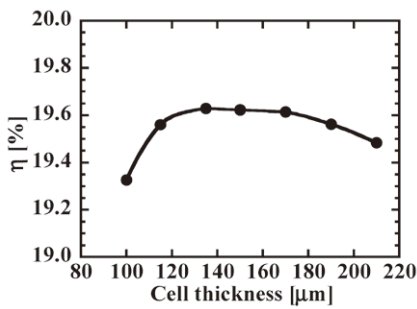


図3 BLACKSOLAR太陽電池変換効率のSi基板厚さ依存性

その構造に起因するものです。図2に示したようにBLACKSOLAR太陽電池セルは裏面もパッシベーション(再結合防止)膜に覆われており、これがいわば鏡のように作用して、裏面まで到達した光を反射させる(これを光閉じ込めと言います)ため、ウエハが薄くても光を十分吸収できるようになるのです。それに対して従来型結晶シリコン太陽電池セルでは裏面電極まで到達した光はそこで吸収されて熱に変わってしまい、損失となるのでウエハを薄くすると効率が低下してしまうのです。

ウエハの薄型化に伴うもうひとつの問題は②に書いたように、どうすればそのような薄く割れやすいセルを使って歩留良く高品質のモジュールを作ることができるか?ということです。

裏面電極型太陽電池セルは通常、図4に示したようにインターコネクター、あるいはタブと呼ばれる配線材を使って、セルの両端に設けられた電極パッドをはんだ付けで相互接続することでモジュール化します。しかしながら、極薄セルを使う場合はこの方法ではモジュール化が困難になります。はんだ付けの際にセルの電極パッドとインターコネクターの間にストレス(応力)が集中して、割れや欠けの原因となるためです。そこで我々は極薄セルに適したモジュール構造とその製造方法について検討を行いました。そこで出てきたアイデアが図5に示したように、

あらかじめ配線パターンを形成したフレキシブル配線板(配線シート)上にBLACKSOLAR太陽電池セルを表面実装し、セル電極を配線に直接接続するという方法です。この方法であればセル裏面全面をセル間接続に用いることができるため、モジュール工程での応力集中を防ぎ、セルにかかるストレスを大幅に低減することができます。これによって極薄セルでも歩留良く高品質のモジュールを製造することが可能になります。その他にもこの方法によって

- ・セル電極の抵抗損失やセル間接続の抵抗損失を低減することができる。
- ・セルに接続用電極パッドを設ける必要がなくなることでその部分の損失を低減でき、セルの効率を向

上させることができる。

などのメリットがあり、この技術によって高変換効率低コスト太陽電池モジュールを実現することができました<sup>2)</sup>。

この配線シートを使ったモジュール製造方法はまったく新しい技術であるため、その開発には様々な困難もありましたが、この技術を用いて本年3月には当社グリーンフロント堺太陽電池工場に年間生産能力200MWのBLACKSOLAR太陽電池セル・モジュール一貫生産ラインを構築、高効率単結晶モジュールNQ-190AA, NQ-135AAを商品化することができました。

### 3 太陽光発電産業の現状

1999年当時3KWの住宅用太陽光

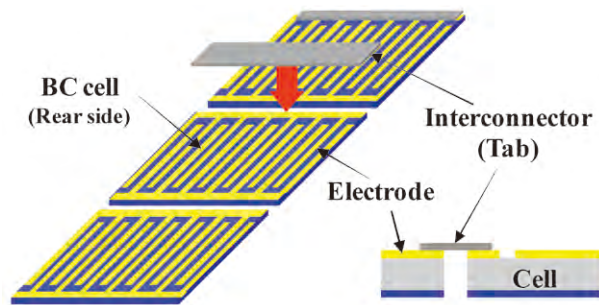


図4 裏面電極型太陽電池のモジュール製造方法

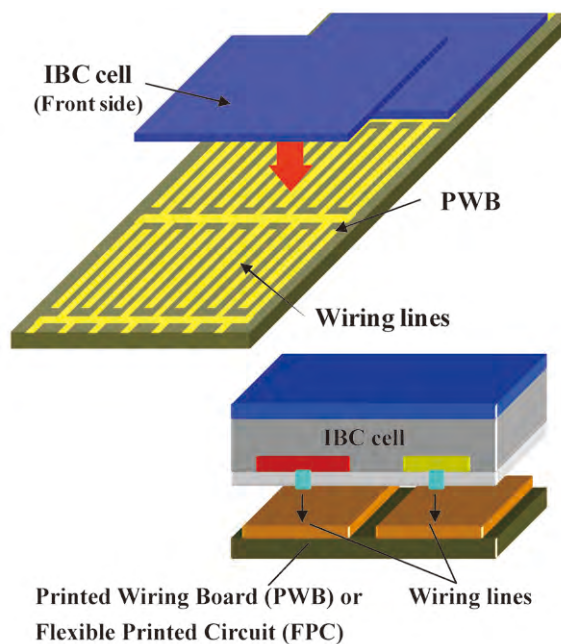


図5 BLACKSOLAR太陽電池のモジュール製造方法

発電システムの販売価格は約300万円でしたが、その後の販売量の拡大で2007年には200万円(666円/W)まで低下しました。これは20年間使用すれば発電コストとしては46円/kWhになる計算ですが、それでも家庭用電力価格(23円/kWh)の2倍に相当しますので、これが昨今の太陽光発電に関する議論において『太陽光は高コスト』と言われるゆえんとなっています。しかしながら、さらにその後の技術改良と生産規模拡大による量産効果、新規参入メーカーの増加による価格競争の激化などで、太陽光発電システム価格は急速に低下しています。2010年の欧州市場ではシステム価格は2.5ユーロ/W(270円/W)が実現されており、3KWシステムに換算して100万円を切る段階に達しています。これは国や地域(日射量と電力価格)にもよりますが、発電コストとしては家庭用電力価格に匹敵するレベルです(これを第一段階グリッドパリティと言います)。今後さらにシステム価格が低下すれば一般家庭では『補助がなくても、電力会社から電気を買うよりも太陽光発電システムをつけた方がお得』ということになりますので、太陽光発電市場はさらに拡大し、これまで以上の勢いで普及が加速していくことでしょう。

## 4 今後の展望

今後、製造コストを更に低下させ、発電所並みの発電コスト(14円/kWh、いわゆる第二段階グリッドパリティ)を実現することが太陽電池メーカーにとっての次の目標となります。そのためには太陽電池の更なる高効率化と高生産性、低コストを実現する新規技術の開発とともに、川上の原材料から川下の施工、サービスに至るバリューチェーン全体にわたってコストを半減させる必要があります。メーカーとしては厳しい道の

りですが、これが実現されれば、太陽光発電もいよいよ主要な電力源の一つとして認知され、さらに普及と市場拡大が加速することでしょう。

このように太陽光発電は今後長年にわたって年10%~25%の高い成長が期待できる非常に有望な産業ですが、それだけにメーカー間の競争は今後さらに熾烈になることが予想されます。なかでも中国・台湾の太陽電池メーカーの勢いには恐るべきものがあります。いずれも2000年以降太陽電池業界に参入した新興メーカーですが、年間1GW超の実生産を行う企業が續出しており、2010年度の太陽電池世界生産量24GWの中で中国・台湾の生産量は14GWと世界の約60%を占めています。一方、日本の生産量は2GWと低迷する事態となっています。これら海外メーカーは日本の住宅市場へも参入しており、2009年には5%であった日本でのシェアは2010年には10%に増加しています。さらに韓国大手メーカーや半導体産業、マイクロエレクトロニクス産業など異業種からの新規参入、業界の枠を超えた合従連衡、事業再編の動きも増えてくるとみられ、太陽電池業界の生き残り競争は苛烈を極めるものとなるでしょう。

このような熾烈な生き残り競争に勝ち残っていくために我々、結晶シリコン太陽電池の開発に携わる者としては、今回のBLACKSOLARに続いて、高変換効率、低コストかつ高品質な太陽電池を実現するオンリーワン技術を開発するとともに、それを迅速に量産化してタイムリーに市場に投入していくことが第一の責務と考えています。

さらに今後は太陽電池デバイス単体としての技術開発だけでなく、エネルギーソリューションの中での一つの商品としての太陽電池モジュールあるいは太陽光発電システムの開発も重要度を増すことでしょう。例

えばHEMS(ホーム・エネルギー・マネジメント・システム)の中のひとつのデバイスとして太陽電池モジュールを位置づけ、スマートグリッド、エコ家電、低コスト大容量蓄電池などと組み合わせて、お客様それぞれのニーズにマッチしたベストソリューションとして家一軒まるごとのエコハウスとして提案していくというビジネスモデルです。これは太陽電池専業メーカーである中国・台湾メーカーには実現できないビジネスモデルであり、彼らとの競争において総合家電メーカーである当社ならではの強みを発揮して差別化することができるのと同時に、

環境貢献という新たな付加価値と快適な生活へのご満足をお客様へご提供する、新しいビジネスとなることでしょう。

## 5 おわりに

地球温暖化問題に対するCO<sub>2</sub>削減の動きに加えて、本年3月に発生した東日本大震災とその後の福島第一原発事故から脱原発への動きも始まり、太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーの大きな普及が世界中で期待されています。当社は日本の太陽電池のリーディングカンパニーとして、その期待にこたえる新たな技術と商品を他社に先駆けて世に送り出していきたいと考えています。

### 参考文献

- 1) 中村, 伊坂, 船越, 殿村, 町田, 岡本, 『高効率シリコン裏面電極型太陽電池』, シャープ技報, 第93号, 2005年, 11-15.  
([http://www.sharp.co.jp/corporate/rd/28/pdf/93\\_03.pdf](http://www.sharp.co.jp/corporate/rd/28/pdf/93_03.pdf))
- 2) K. Nakamura, M. Kohira, Y. Abiko, T. Isaka, Y. Funakoshi, and T. Machida, "Development of Back Contact Si Solar Cell and Module in Pilot Production Line" Proceedings 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2008, 2A01.5, 1006-1009.