

結晶シリコン太陽電池の動向

Michael Adeogun, Technology Analyst, SRI Consulting Business Intelligence

結晶 Si は、太陽電池開発の素材として長年主流を歩んできた。Si が豊富で広く分布し、素性もよく解っており、結晶 Si に優る効率の代替技術も現れず、半導体産業で実績のある装置や生産技術、デバイス構造を流用することができたことがその主要因である。

Industry Structure

結晶 Si 太陽電池モジュールは、ポリ Si 原料からのウエハ作製、セルのデバイス処理を経て製造される。上流は、少数の Si 原料生産者に牛耳られており、特定の技術力と大規模投資が要求される。インゴットやウエハの生産も同様である。しかし、下流に行くと、投資やノウハウの重みは減少し、多くの参入者が現れる。現在、セル/モジュールの生産者は世界で 100 を超え、特にヨーロッパとアジアの動きが顕著である。

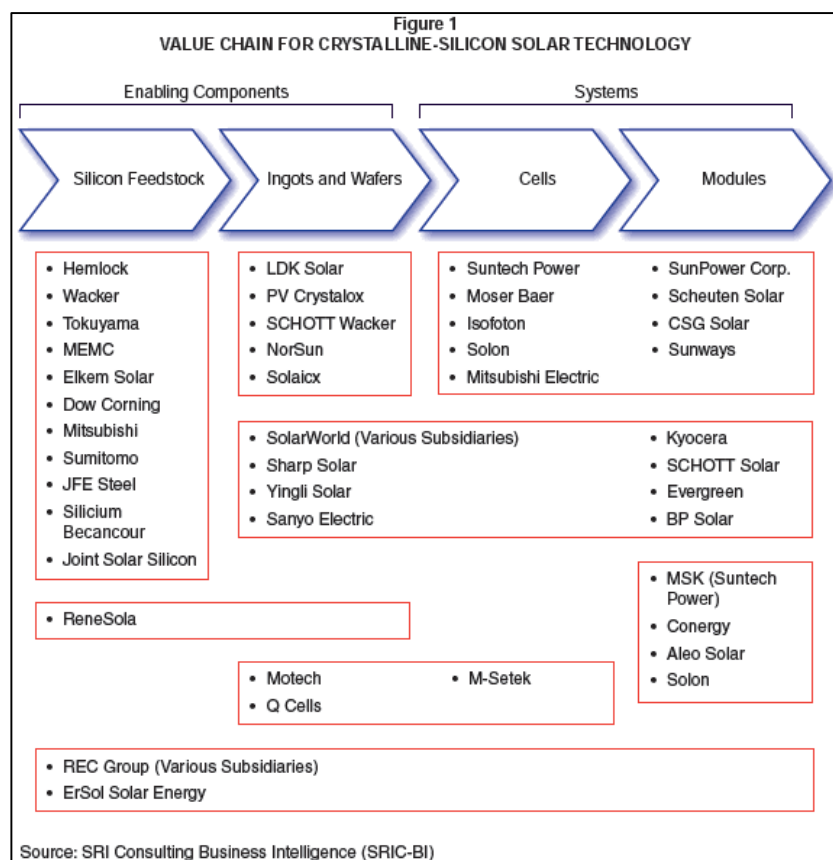
太陽光発電産業は成熟段階にあり、Si 原料の調達が課題で、バリューチェーンの統合が進んでいる。企業間の連携も進み、Q Cells のように多くの企業が、JV を形成し、複数年契約の増加や、社内に Si 処理施設を導入する動きも見られる。Figure 1 に結晶 Si 太陽電池業界のバリューチェーンの概要を示す。

Silicon Feedstock

太陽電池産業の拡大には、Si の供給力とコストが大きな鍵を握る。

太陽エネルギーの需要増により Si 供給が逼迫し、高価な電子グレード Si の調達を余儀なくされている。太陽電池グレード Si の需要増が、世界の Si 精錬を 100% 稼動に追い込んだが、それでも需要を満たせない状況にある。2006 年、世界で生産された電子グレード Si のおよそ 50% が太陽電池産業で消費された。2006 年 1 月までの 18 ヶ月間で、ポリ Si の価格は \$ 30/kg から \$ 60/kg まで跳ね上がった。2007 年、価格帯は \$ 60/kg ~ \$ 80/kg であるが、スポットでは \$ 200/kg 近くになっている。

現在、Si 原料産業は一握りの企業に支配されており、多くが大規模な増産計画を打ち出している。計画実現には、数百万ドルの資金と生産開始までに最低 2 年を要し、資金調達のために前払いの長期契約を締結する例がある。SunPower は、Hemlock と 2010 年から



供給を開始するポリ Si の 10 年におよぶ長期契約を \$ 113 百万で、2007 年 8 月に締結した。世界最大のポリ Si 生産者 Hemlock は、向こう 4 年間で生産規模を 17000 トン増やして 36000 トンにする増産計画を発表しており、これは 2005 年の生産量の 5 倍増にあたる。ポリ Si の合計年間生産量は、2012 年には 10 万トンを超えると予想され、太陽電池セルに換算すれば 10GW 超に相当する。

Si 原料の需給ギャップを埋めるために、太陽電池グレード Si の生産に特化したプラントの建設が幾つかの企業によって計画されている。既存の Siemens 法の他に、トクヤマは溶融析出法を採用し、REC と Wacker は顆粒状シリコンを流動床法で、Dow Corning は冶金法による Si とポリ Si のブレンド品を生産するなど、新しい技術の導入も進んでいる。そして、Dow は、2010 年までにおよそ 10000 トンのブレンド品の生産を計画している。一方で、リサイクルへの取り組みが今後大きな役割を担うことになるだろう。

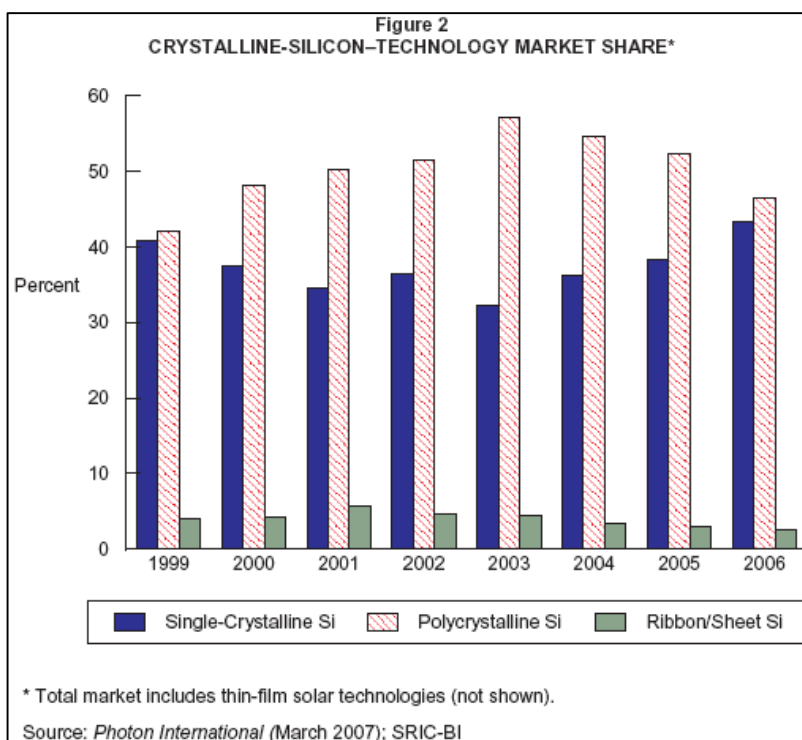
Ingots and Wafer

最近の Si 入手難により、インゴット製造からセル、モジュールまで生産する垂直統合が増えている。太陽電池向けインゴットとウエハの代表的生産者は、ScanWafer、Deutsche Solar、PV Crystalox 等である。2007 年 7 月、SolarWorld は、Freiberg のウエハ製造規模を 500MW から 1GW まで増強する計画を発表した。2007 年 8 月、Wacker と SCHOTT Solar は、太陽電池向け多結晶 Si インゴットとウエハを生産する二つ目の JV ; SCHOTT Wacker Solar GmbH を設立すると発表した。

Solar Cells and Modules

Photon International

誌によると、2006 年のセルの全世界生産量は 2536MW であり、内 92.5% の 2345MW は結晶 Si 系である（その内、90% を単/多結晶の平面セルが占める ; Figure 2 参照）。2006 年のセル世界生産トップ 10 は成長率は異なるが、すべてが生産を拡大しており、セルの生産には結晶 Si を使っている。10 社合計の生産シェアはおよそ 75% に上る (Figure 3 参照)。生産の大部分は、これまで日米欧に集中して



いたが、他国の生産量が欧米を超え、日本に次ぐ 2 位の座を占めている。特に、中国と台湾の生産者、Suntech と Motech が生産規模を著しく拡大した。かつては多結晶 Si が支配的な材料であったが、Si 原料争奪戦の結果、単結晶技術が優勢になっている。単結晶 Si は

多結晶 Si より高価だが、セル/モジュールの効率を上げ、W あたりの使用量も少なくてすむ。

シャープは過去 7 年間太陽電池セルの世界生産 1 位の座にあるが、2006 年の成長率はわずか 1.6% でしかなかった。2005 年には日本企業がトップ 5 の内 4 社を占めていたが、

2006 年には 3 社に減少した。Q Cells は生産世界 2 位の座を堅持し（シェアは 2005 年の 24% から 17% に低下）、日本のシェアを侵食した Suntec が 4 位に入った。特にドイツでは、太陽光発電の推進を助成したため、Q Cells 等は地盤を強固にした。

太陽光発電企業は、太陽エネルギーの需要増を満たすためにモジュールの生産規模を拡大している。主要なモジュール生産者は、シャープ、三洋、MSK、三菱電機、SHOTT Solar、Isoton、Solon、Suntech などである。MSK はモジュールだけを生産する最大の企業であり（生産規模は 100MW 程度；2006 年に Suntec Power が買収）、セルは Q Cells を含む複数企業から調達している。

Commercial Opportunities

結晶 Si は太陽光発電市場を向こう 10 年以上支配することになるだろう。現状、結晶 Si は、太陽電池セル/モジュールのトータルコストの大きな部分を占め（それぞれのおよそ 40% と 25%）、材料消費量の削減は重要な課題である。昨今の Si 高騰は、ウエハやセル/モジュール生産者に生産プロセスの効率化を促す結果となった。結晶 Si の支配を将来も強固にするために、太陽電池生産者に求められているのは；

- ・商品化されたセルやモジュールの効率を 20% 程度にまで向上させること。Suntech は、セルの効率が 1% 向上するごとに、生産コストはおよそ 7% 減少するという。
- ・セルの製造に使用されるシリコンの量を半減（現状、W あたりの使用量 12g 程度を 2010 年までに 6~7g へ）させること。
- ・規模のメリットを享受するには、500MW から 1GW の製造プラントが望ましく、Si 精製や板ガラスのプラントを周辺に建設すれば、さらにコストを削減できる。

結晶 Si 太陽電池産業は成熟し、技術の進歩も続いているが、成長する世界の太陽電池市場において、安価で熟練した労働力、政府の大きな支援を得て、安価で良質な製品を供給できる体制を整えられれば、市場参入の機会は大いに事欠かない。中国の興隆が好例で、LG Group も太陽電池市場への参入を公表した。このような製造面の進歩やセル/モジュールの効率向上が太陽電池全体のコストに及ぼす影響は限定的で、材料価格こそがコスト削減の最大要因である。即ち、材料消費を低減できる代替材料技術（薄膜、選鉱、有機など）は、大幅なコスト削減と高性能、長寿命を実現する大きな可能性を秘めている。

以上

