

CIS/CIGS 太陽電池の最新情報

Technology Analyst : Michael Adeogun, SRI Consulting Business Intelligence

銅・インジウム・セレン (CIS) やガリウムを付加した (CIGS) 太陽電池は、太陽光発電市場において大きな将来性を秘めている。これらのセルやモジュールの効率は、多結晶シリコン太陽電池に匹敵し、低コスト生産の可能性が CIS/CIGS を、化石燃料発電に対して競争力のあるものにしていく。CIS/CIGS は、他の薄膜技術、なかでも、アモルファスシリコンより劣化しにくくセルは高効率で、テルル化カドミウムと違って環境面への悪影響もみられない。加えて、黒い外観 (高い吸収係数) がビルの壁面や屋上へ組み込むのによくマッチしている。

CIS/CIGS の市場環境は、急速に良くなっている。20 以上の企業や大学が精力的に開発や商品化を進め、CIS/CIGS 技術の蓄積を図っている。近年、多くの企業が多額の投資を受けており、これが事業化計画を加速している。ほとんどの企業が、CIS ではなく CIGS を選択しており、吸収層の形成にはさまざまな真空もしくは非真空の堆積プロセスを採用している。ガリウムを加えるのは、セルの効率を高めることができるからである。

Commercialization Activity

現状、Würth Solar と Global Solar の 2 社が、CIS/CIGS モジュールの大規模な商業生産を行っている。一方、ドイツを中心に多くの事業化計画があり、セル/モジュールの大量生産を 07/08 年に始めると報道されている。標準的な初期生産の規模は 20~30MW であるが、Nanosolar のように驚くばかりの規模で参入する企業もある。(Table 1 参照)

Table 1
CIS/CIGS Commercialization Activity (20 余件から抜粋)

Company (Location)	CIS or CIGS?	Absorber-Layer Process Technology	Substrate	Current Production Phase	Batch, Roll to Roll, or Inline	Current Production or Planned Capacity Expansions (Year)
AVANCIS (ShellSolar/ St. Gobain; Germany)	CIGS	Sputtering (selenization/sulfurization)	Glass	Close to commercialization (Shell Solar had limited production in CA)	Inline	20 MW (2008)
CIS Solartechnik (Germany)	CIGS	Electro-deposition	Stainless-steel foil	Pilot production	Roll to roll	20 MW (2008-09)
DayStar Technologies (NY)	CIGS	Sputtering (selenization)	Stainless-steel foil	Building commercial lines	Batch, roll to roll	20 MW (end 2007)
Global Solar Energy (AZ)	CIGS	Co-evaporation	Flexible	Commercial	Roll to roll	4.2 MW (2007); 40 MW (end 2007); 60 MW (2009-10)
ホンダ ソルテック	CIGS	Sputtering (selenization)	Glass	Close to mass production	Batch	27.5 MW (end 2007)
Miasolé (CA)	CIGS	Simultaneous sputtering	Stainless-steel foil	Pilot production	Roll to roll	(Q3 2007)
Nanosolar (CA)	CIGS	Printing	Metal foil	Pilot production	Roll to roll	(2007: with potential capacity of 430 MW)
昭和シェルソーラー	CIGS (sulfide/selenide)	Sputtering (selenization/sulfurization)	Glass	Pilot Production	Batch, inline	20 MW (2007)
Solibro (Sweden)	CIGS	Co-evaporation	Glass	Test production	Inline	25 to 30 MW (2008)
Würth Solar (Germany)	CIS	Co-evaporation	Glass	Commercial	Batch	14.8 MW (end 2006)

07/08年にガラス基板の CIS/CIGS の事業化を考えている企業は、規模と資金力に富み、長年にわたり太陽光発電に取り組み、技術の独自開発や大学、研究機関からの導入を進めてきた。

CIS/CIGS セルの生産には、結晶シリコン太陽電池産業と異なるプロセスが必要になる。生産者は、独自プロセスの開発を余儀なくされ（独自生産装置の開発も必要）、真空/非真空プロセスのいずれかで様々な基板に CIS/CIGS 吸収層を形成する。現状、ガラス基板に真空堆積技術（スパッタリングや同時蒸着）を適用するのが主流である：

- ・真空堆積プロセスの知見は、ディスプレイ産業ではガラス基板が一般的だが、豊富にある（Nanosolar などの非真空アプローチに比較して）。
- ・真空プロセスは大面積で最高の効率と均一性が得られ、同時蒸着を採用すればスパッタリング以上の効率を達成できる。NREL（National Renewable Energy Laboratory）が持つ CIGS セルの効率の世界記録 19.5%（0.43 cm²）は、ガラス基板に同時蒸着したもので、市場に出回っている多結晶シリコンモジュールの効率に匹敵する。
- ・スパッタリングは蒸着より処理速度が速く、値段も若干安い。効率でも、最良のスパッタリングセルは、蒸着セルに迫っている。鍵は、両プロセスがいかに効率を上げ続けられるかであり、向こう数年間勝負である。
- ・真空堆積を採用する企業は、高効率で信頼性の高い製品をいち早く市場に出して、系統接続できる太陽光発電市場で優位に立つことを狙っている。

現在、事業の主流はガラス基板であるが、明らかにロール（連続の）法には不向きで、Global Solar などは、ロール法を使ってフレキシブル基板に真空堆積で吸収層の形成を試みている。この場合、大幅なコスト削減が期待でき、CIS/CIGS の価格上昇抑制につながる。従って、向こう 5~10 年はフレキシブルモジュール化の傾向は続きそうである。特に、建材一体型太陽光発電市場が立ち上がり、薄膜技術の効率が従来の結晶シリコン製品に対抗できるほど向上しなければ、その傾向はより顕著になるだろう。

ロール法の採用により、ガラス被覆が樹脂被覆に変わるなど、多くの改善がラインに取り入れられ、モジュールデザインが向上する。重要なことは：現在、セル/モジュールは、バッチまたはインラインで生産されるが、セル/モジュールの生産者は、概してインラインでモジュールまで一体生産している。これは、薄膜太陽電池企業にとっては一般的なことである。しかし、幾つかの企業は、セルをバッチで生産し、それを自らモジュール化するか、システム・インテグレーターに販売して彼らがモジュール化している。現状、Global Solar だけが商業生産規模でロール法を採用している。

Nanosolar、Miasolé などの多くの企業は、ロール法の早期採用を考えている。実際に、真空プロセスによるガラス基板へのバッチ処理（後でセルのモジュール化が必要）から、非真空プロセスを使ってセル/モジュールをフレキシブル基板にロール法で生産する方式へ移行しつつある。

フレキシブル基板を使ったロール法には、将来、蒸着方式が有力視されている。Global Solar は金属箔への蒸着を考えており、ポリイミドへの蒸着に取り組んでいる企業もある。ロール法には穏やかなプロセスが好ましいと考えられているので、スパッタリングより蒸着のほうが有力視されているが、課題は蒸着面積である。

現状では、ロール法とフレキシブル基板は実証されているとはいいがたく、封止やロール処理装置の未熟さなど、多くの課題が残っている。しかし、ロール法と樹脂基板を使って、後でガラス封止をするのは、フレキシビリティに欠けるが、製造面の優位性がある。

Prospect for Nonvacuum Technologies

CIS/CIGS のセル生産に、少数の企業が非真空堆積によるアプローチ（Nanosolar や ISET の湿式プロセス、そして電着方式）を試みている。事業化では、Nanosolar がライバルの ISET に先行しており、1 億ドルを投資して将来 430MW 規模にまで拡大すると 06 年に報

道している。しかし、多くの企業のフレキシブル基板（金属や樹脂箔）や非真空堆積プロセスの開発はまだ概念実証段階で、大面積化の課題が残っている。さらに、非真空堆積モジュールの効率、真空堆積したガラスモジュールの吸収層の効率より低くなりがちで、非真空プロセスの装置コストが安くついても、低効率は事業化にとって大きな障害となる。重要なのはモジュールの製造コストで、セルの低効率はモジュールのワットあたりのコストに悪影響を及ぼす。セル/モジュールの生産にとって、電着のような非真空処理や印刷（ナノ粒子インクの焼付け）が安くて速いとは言いがたい。ナノ粒子インクの焼付けは未解明であり、処理に時間がかかるし、再現性の問題もある。プロセス革新の多くは、コストだけが残る重要な課題になった段階で、市場に受け入れられることになる。

Challenges and R&D Activity

一般的に、多くの R&D 活動では、薄膜モジュールの効率が結晶シリコンモジュールの効率に追いつく（または追い越す）ことに重点を置いて取り組んでいる。あらゆる企業は、堆積技術のみならず、薄膜太陽電池分野のさまざまな技術的、営利的問題に取り組んでおり、モジュールの効率向上、改良材の使用、標準的設備の利用、優れた封止方法、屋外使用時のセルやモジュールの安定性・信頼性向上、生産性の向上などを進めている。これらの改善は大幅なコスト削減につながり、モジュールのコストを究極の目標である 1 ドル/ワットに近づけることになる。CIS/CIGS の生産者が、R&D 戦略の中で競合者と差別化するために追求していることは、製品を向上させ、大幅なコスト削減を図ることであり、加えて以下のことがあげられる。

- ・ 湿式プロセスの採用
- ・ 吸収層の効率向上
- ・ 吸収層をさらに薄くすることで、使用材料削減によるコスト低減を図る
- ・ 非カドミウムバッファ層の採用
- ・ 生産性の向上（大面積基盤も含めて）
- ・ フレキシブル基板とロール法の採用
- ・ モジュール封止の改善

CIS/CIGS Application Focus

いくつかの企業の楽観的な拡大計画には不確実な要素が多く、さまざまな障害を解決していかなければならない。CIS/CIGS 太陽電池セルは、年々市場シェアを拡大し続けていくだろうが、そのためには生産拡大を順調に進めていくことが鍵になる。多くの開発者は、CIS/CIGS セルやモジュールが、ドイツ、日本、カリフォルニアにおいて、系統接続の有無に拘わらず（消費財や航空産業への適用も含めて）、既存の結晶シリコンベースの太陽電池に競合できると確信している。しかしながら、CIS/CIGS セルとモジュールは系統接続の太陽光発電システム市場への参入に的を絞っており、現状、太陽電池設置のおよそ 80%がこれに該当している。そして、これらは政府等公の助成金で後押しされている。幾つかの企業は、彼らのセルを現状の標準的なモジュールに組み込むことで、市場へ参入しようとしている。さらに、CIS/CIGS セルやモジュールは黒のつや消し仕上げになっているので、BIPV（Built Integrated Photovoltaic System；建材一体型太陽電池システム）には最適であると開発者は考えている。フレキシブル基板の採用は、自由度の大きさゆえに BIPV 用途への太陽電池導入を加速し、ユーザーもこれらのモジュールを独創的な建築物へ適用できることになる。系統接続太陽光発電用途の継続的な高需要は、これらの製品の生産者にとっては魅力的な目標であり、平板の結晶シリコンセルは不利を免れない。今後ワットあたりのコストが最も重要な要因になることは間違いないであろう。

以上