

Techno Scope



マルチワイヤソー装置によるシリコンインゴットの切断工程(上)、使用されるソーワイヤ(下)
(写真提供:旭ダイヤモンド工業(株))

太陽電池の製造に 欠かせないソーワイヤ

再生可能エネルギーの代表格である太陽光発電への期待は世界各国で高まっており、太陽光発電システムの導入量は年々増加している。発電素子である太陽電池は、シリコンインゴットをスライス切断してウェーハを製造するが、この工程で使用される工具がソーワイヤである。太陽電池の生産性や寸法精度に直結するため、ソーワイヤには高い品質が求められ、清浄度に優れた高強度線材が使われている。

太陽光発電の市場環境の変化

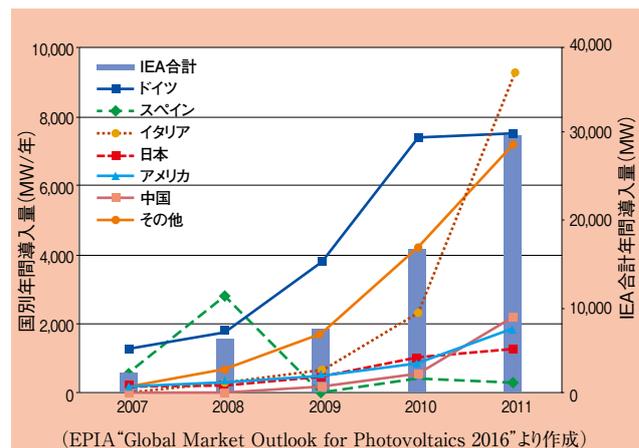
メガソーラーという言葉が広く知られるようになったのは2011年の東日本大震災以降のことだろうか。メガソーラーとは、出力が1MW以上の太陽光発電施設である。メンテナンスが容易、建物屋上にも設置できるなどの利点から、一般企業や自治体が、売電用または自家発電用にメガソーラーを建設する事例が増加している。日本では震災以降、再生可能エネルギーへの社会的な期待が高まり、2012年からは事業目的の全量固定価格買い取りが始まり、メガソーラー普及の後押しとなっている。

今から10年ほど前まで、日本は太陽光発電システムの累積導入量で世界一を維持してきた。しかし2005年にドイツがFIT(Feed-in Tariff:固定価格買取制度)を導入し世界一となった。この広がりがスペインなど欧州各国に波及し、世界的には年率40%以上の成長を遂げた。リーマンショックなど一時的に停滞した時期もあったが、FITの広がりはさらに加速し、その後チェコやイタリアなどで導入量が大きく伸びている。また、パネル

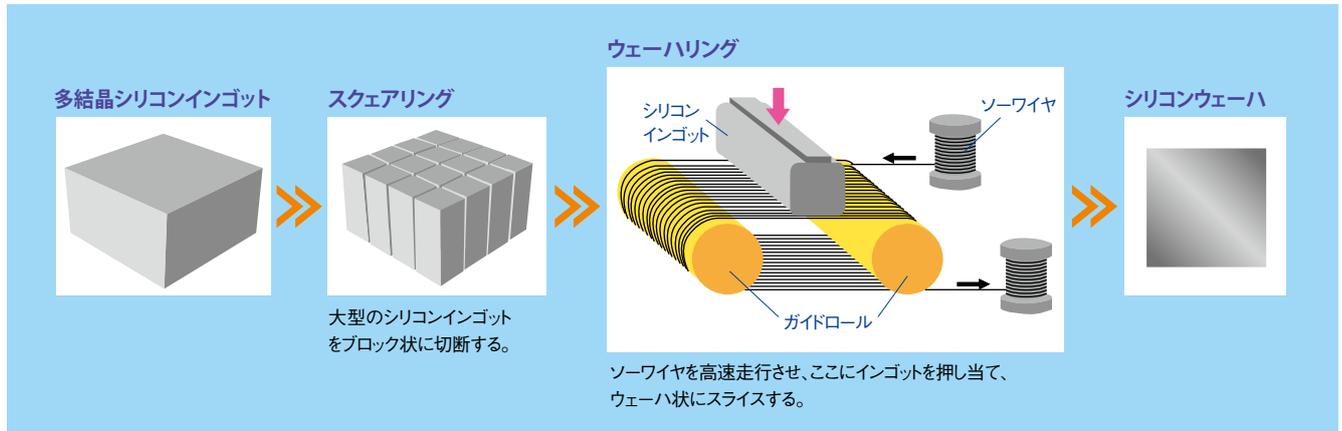
の生産ではここ数年中国メーカーが多数参入し、今では世界の生産量の半分以上を占めるといわれている。

これまでの太陽光発電システムの普及の道のりには、各国の導入支援制度の影響や急速に拡大した市場であることから、その成長は必ずしも安定していない。しかし、世界共通の

■世界各国の太陽光発電システム導入量の推移



■太陽電池用シリコンインゴット(多結晶シリコン)の加工工程



喫緊の課題である地球温暖化対策の有効な対策として、再生可能エネルギーへの期待は大きく、長期的に見れば太陽光発電市場の成長は今後も続くことだろう。

シリコンウェーハをスライスするソーワイヤ

太陽光発電には、太陽電池が必要である。太陽電池は太陽の光エネルギーを吸収して直接電気に変えるエネルギー変換素子であり、素材や構造によって、結晶系(単結晶、多結晶)シリコン、薄膜系シリコン、化合物系、有機物系などいろいろな種類がある。このうち一般的なものは結晶系(単結晶、多結晶)シリコンである。

材料となるシリコンインゴットは、ウェーハリングと呼ばれる工程で薄くスライス切断される。

シリコンインゴットの切断では、以前は内周刃を用いたスライス切断が多く使われていた。これは、ステンレス製の薄板の中央を円形に空いたドーナツ形に加工し、くりぬいた内径に刃先をつ

けた砥石(IDブレード)を用いて1枚ずつ切断するものである。

これに替わり、現在多く使われているのがマルチワイヤソー装置である。マルチワイヤソー装置のスライス切断工程は、針金を張ったゆで卵のスライス器を想像するとわかりやすい。ゆで卵を、平行に張った何本かの針金でスライス切断する。ゆで卵にあたるのがシリコンインゴットで、針金にあたるのがソーワイヤである。ソーワイヤは高強度の線材からできている。

実際のマルチワイヤソー装置では、1本のソーワイヤを2つのガイドロールの間に張り、ソーワイヤを走行させてシリコンインゴットを切断する。ガイドロールには、ソーワイヤが通る溝が約500本以上も平行に付けられるので、約500枚以上のウェーハを1回で作ることができる。ポピンに巻かれた長いソーワイヤは装置の片側から供給され、溝に沿って幾重にも張られ、もう片側で巻き取られる。その長さは、長いものでは50km以上になる。

最近では、高価なシリコンインゴットからより多くのウェーハが得られるように、ウェーハの薄型化が進んでおり、厚さ160~200 μm が主流となっており、多いものでは千数百枚のウェーハを一度に切断することができるものもある。

ソーワイヤで切断するウェーハの種類

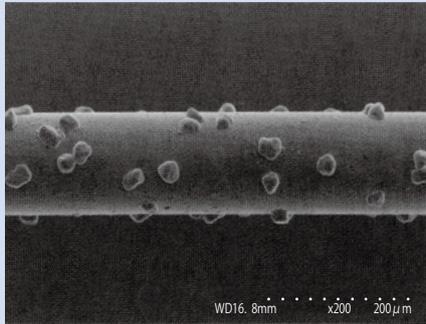
ソーワイヤでスライスするウェーハには、太陽電池や半導体デバイスに使われるシリコンを始め、LEDに使われるサファイヤ、パワーデバイス用に使われるSiCなどがある。同じシリコンでも、太陽電池向けが純度99.9999%(6N)以上なのに対し、半導体向けは99.999999999%(11N)以上と、グレードは異なる。これらのうち量的には圧倒的に太陽電池向けが多い。また、太陽電池向けでは半導体向けに比べ、純度より生産効率が重視される傾向にある。

進化するソーワイヤと切断技術

現在、ソーワイヤの方式としては、オイルと砥粒を混ぜたスラリーをワイヤに絡ませながら走行させて加工する「遊離砥粒ワイヤ」が一般的である。遊離砥粒ワイヤ方式では、多数枚を同時切断できる、大口径化対応がしやすい、基板の薄型化に対応できるなどの特徴がある一方で、廃棄物が発生する(ワイヤ、オイル、砥粒など)、などの問題もある。

遊離砥粒ワイヤに変わるものとして最近注目されているのが「固定砥粒ワイヤ」である。これは、ダイヤモンド砥粒を鋼線に電着固定したワイヤである。固定砥粒ワイヤ方式の長所は、加工時間が短縮できる、細径のワイヤが使用できるため切り代を小さくできる、産業廃棄物が少ない、などである。ただし遊離砥粒

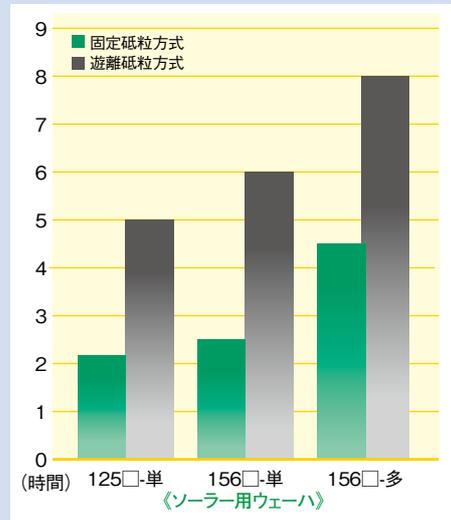
■固定砥粒ワイヤ



固定砥粒ワイヤの形状。鋼線にダイヤモンド砥粒をニッケルめっきによって固定したもので、砥粒保持性が高い。シリコン基板の場合、素線(φ0.12mm)に砥粒(φ0.01~0.02mm)が固定されている。

固定砥粒ワイヤの用途と代表的なスペック

被削材	主な用途	素線径 (mm)	粒度 (μm)	仕上径 (mm)	供給長さ
シリコン	・太陽電池 ・半導体デバイス	φ0.12	10-20	φ0.145	10~50km /リール
サファイヤ	LED	φ0.18	30-40	φ0.250	



固定砥粒ワイヤと遊離砥粒ワイヤの切断時間の短縮例。このワイヤでは、ウェーハの径及び単結晶・多結晶の違いにかかわらず、固定砥粒ワイヤの切断時間は極めて短くなっている。

(資料提供:旭ダイヤモンド工業(株))

ワイヤに比べかなり高価であり、今後の普及のためにはコスト低減も大きな課題となっている。

最近ではマルチワイヤソー装置自体の開発が進み、ワイヤ使用量を節約したり、ワイヤにかかる負担を軽減したりするなどの工夫が行われている。また、のこぎりで材木を切るようにワイヤの角度を変化させながら切断する「揺動式」という切断方法が開発されており、硬度の高いサファイヤウェーハでも、所要時間を従来より大幅に短縮することができる。

断線しないソーワイヤへの挑戦

ソーワイヤを使ったスライス切断工程では、切断時間の短縮やウェーハの歩留り向上などが求められる。これを可能にするため、ソーワイヤには、生産効率向上のための細径化や、薄型ウェーハでもひずみのない良好な切断品質を得るためのワイヤの高強度化などが求められる。

これらの要求に対応し、極めて高強度なソーワイヤ用の線材が供給されている。一般的なソーワイヤ用の線材は、フェライト/セメントが層状に並んだパーライト鋼を伸線加工強化したものであり、0.82%Cの共析鋼などC含有量が多いものが使われている。材料にφ5.5mm程度の熱間圧延線材を使用し、スケール除去、皮膜処理の後、乾式伸線、パテンティング、ブラスめっき、湿式伸線などを行う。ここまでの工程は、高強度ワイヤとして知られるタイヤ補強用のスチールコードと同じである。しか

し、スチールコードの素線はφ0.15~0.38mmであるのに対し、ソーワイヤはそれよりさらに細いφ0.08~0.20mm程度である。

ソーワイヤ用線材に要求される最も重要な特性は「断線しないこと」である。それは、ソーワイヤが極めて細い上、スチールコードのようなより線ではなく単線であること、またスライス切断時にはソーワイヤに繰り返し曲げ応力と引張応力が作用すること、などの理由による。

たとえば、156mm角のシリコンインゴットをワイヤピッチ約0.3mmで切断する場合、ソーワイヤの全長は10kmにおよび、切断時間は固定砥粒ワイヤでも数時間かかる。この工程の途中でもし断線すると、材料のシリコンインゴットはすべて使用できなくなる。高純度のシリコンインゴットにおいて材料の歩留りを確保するには、ソーワイヤが断線しないことが必須条件である。

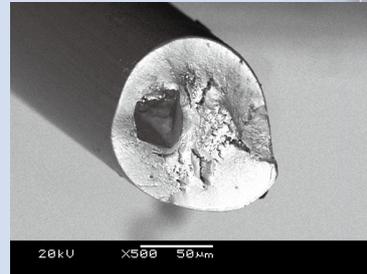
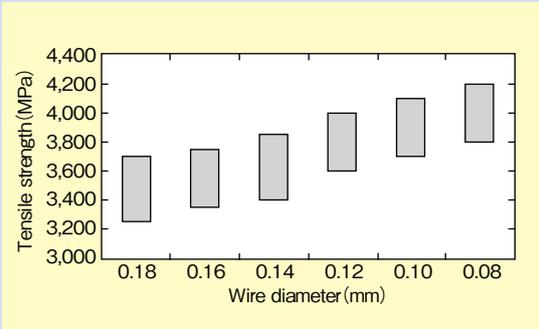
高強度線材に貢献する介在物無害化技術

ソーワイヤの断線を防ぐため、ソーワイヤ用線材ではさまざまな対策が講じられてきた。断線の主な原因は介在物、表面きず、中心偏析などといわれるが、なかでも重要なのは介在物の制御である。線材中の介在物はわずか数十μm程度でも断線の原因となり、ソーワイヤ用線材中の介在物の低減は大きな課題となっていた。

線材中に介在物が混入するルートは、大きく分けて2種類ある。1つ目は、製造工程で耐火物から混入するルートである。し

■ソーワイヤ用線材の開発例

ソーワイヤの引張強度

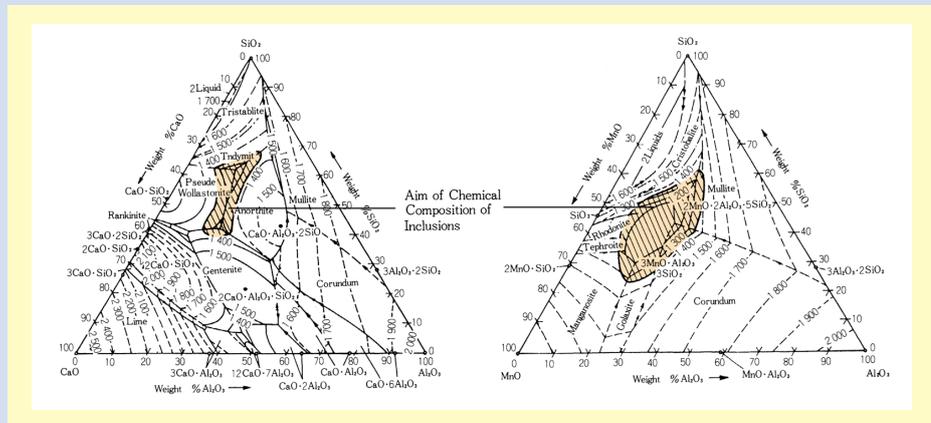


介在物の例。φ0.12mmの中にφ0.03mm程度の非金属介在物が存在する場合があります。



目標介在物組成

ソーワイヤ線材中の介在物は、スラグ起源のCaO-SiO₂-Al₂O₃系と、脱酸生成物起源のMnO-SiO₂-Al₂O₃系に大別される。状態図を見ると、両方の組成系において熱間圧延中に伸長される介在物の組成領域はアルミナ濃度20%近傍である。そこで、スラグ組成をコントロールすることにより、目標とするアルミナ濃度を得て、介在物を無害化することができる。



(資料提供: (株) 神戸製鋼所)

しかし、線材の製造工程では高温の溶鋼を取り扱うため耐火物の使用を避けることは不可能である。そこで、できるだけ溶損しにくい耐火物を選択したり、溶鋼を受ける箇所の耐火物の強度や耐食性を維持する、などの対策が講じられている。

2つ目は、溶鋼に含まれる成分から晶出して介在物となる場合である。代表的な介在物の成分は、硬質のアルミナ (Al₂O₃) などであり、熱間圧延や冷間加工時に伸びにくく壊れにくい性質を持つ。そこで、溶鋼中にあるアルミニウム濃度を低く抑え、さらに、生成する介在物がソーワイヤに害を及ぼさないようにする対策が検討された。

介在物を無害化するための取り組みの1つとして、介在物の融点を低くして延性を高め、それにより介在物をその後の加工工程で小さく破壊された形態とする技術が実用化されている。

ソーワイヤ用線材中の介在物は、スラグ起源のCaO-SiO₂-Al₂O₃系と、脱酸生成物起源のMnO-SiO₂-Al₂O₃系である。両方の組成系において、熱間圧延中に伸長される領域は介在物中のAl₂O₃濃度20%近傍であることが明らかになった。そこで、スラグを目標組成に精度よくコントロールすることにより、硬質のアルミナを無害化することが可能となった。

もちろん高強度線材共通の品質向上技術として、表面欠陥

を防ぐために連続鋳造工程の制御技術や、鋼片検査の精度向上など、各種の作り込み技術が重要であることはいうまでもない。

鉄鋼製品中で最高強度を誇る線材

ソーワイヤは、スチールコードとならび、現在の鉄鋼製品のなかでも最高の強度レベルを持つ。現在使用されているソーワイヤのうち、最も強度の高いものは約4000MPaに及ぶ。高強度で有名な明石海峡大橋のワイヤでも約1900MPaであり、ソーワイヤ用線材はこれをはるかに超えている。

日本のソーワイヤ用線材の品質は、世界的に定評がある。それを支えているのは、高い清浄度を実現する製鋼技術であり、品質を確保するための作りこみの技術である。

太陽光発電のマーケットが今後伸張していく上で、ソーワイヤメーカー間の競争はまだ激化する可能性がある。ソーワイヤの高強度化や細径化のニーズに応えるため、線材の高強度化や線材中の欠陥の改善への取り組みは今後も続くことだろう。

●取材協力 旭ダイヤモンド工業(株)、(株)神戸製鋼所
●文 杉山 香里