

太陽光発電におけるガラスの役割

旭硝子株式会社加工硝子事業本部営業部マーケティンググループ

宮川 博行

The role of glass for use in photovoltaics

Hiroyuki Miyakawa

Asahi Glass Co. Ltd.

温暖化、酸性雨、オゾン層破壊、砂漠化など地球環境問題に関する話題を最近よく耳にする。これらの問題は近代の急速な文明進化に伴う大量のエネルギー消費により引き起こされている。今後はアジアなどの急速な工業化によって世界レベルでますますエネルギー消費が増加すると予想されるため、地球の環境問題は先進国の省エネ論だけでは解決できないところまで来ている。次の世代に豊かな生活環境を残していくためには、石油、石炭などの化石燃料の消費を地球規模で抑制し、かつグリーンで半永久的な代替エネルギーを全人類が手に入れることが不可欠と考えられる。これは人類に課せられた大きなイシューであろう。このイシューを解決する一つの手段として太陽エネルギーの利用がある。太陽エネルギーの利用としてはすでに石油ショックの時代に広く普及した太陽熱温水器などのように太陽熱を有効活用した例が知られているが化石燃料の消費を大幅に抑制するためには、その大きな消費源である発電所の代替を行う必要があり、この観点から電気エネルギー源としての太陽光利用が期待されている。太陽電池は光を利用するものである故に透明なガ

ラスとは非常に密接な関わりを持っている。当然ではあるが太陽電池においては太陽電池セルがその主役でありガラスは脇役である。しかし脇役は主役を引き立てるのみならず、全体の評価を決める重要な役割を担っているのと同様に太陽電池においても脇役のガラスは非常に重要な役割を果たしている。

シリコン系太陽電池には単結晶シリコン、多結晶シリコン、アモルファスシリコン(a-Si)の3つの系に大別される。結晶シリコン系はエネルギー変換効率が高いが高コストである。これに対して、アモルファスシリコン系はモジュールコストが安価であるが変換効率が低く、光劣化の低減が課題となっている。まず、結晶系太陽電池を例にとってガラスの役割について述べてみたい。結晶系太陽電池の構成を図1に示す¹⁾。結晶系太陽電池は基本的にシリコンのウエハー（薄い板状）を平面上に多数枚並べて電氣的に接続し、それをガラスと樹脂の間に封入する構造をとっている。この構造からもわかるようにガラスは太陽電池セルのデバイス部品ではなく、受光面材料（カバーガラス）として用いられている。すなわち封入材料の一部としての機能を果たしている。また、ガラスはその高い耐候性と機械的強度（強化ガラス）故に太陽電池セルを外部の環境変化（風雨、温度、降ひ

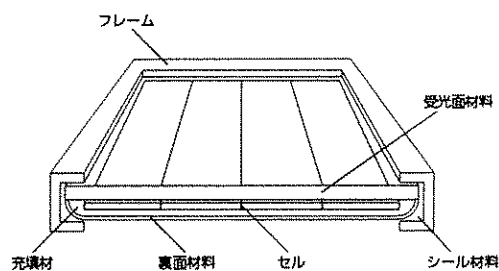


図1 結晶系太陽電池の構成

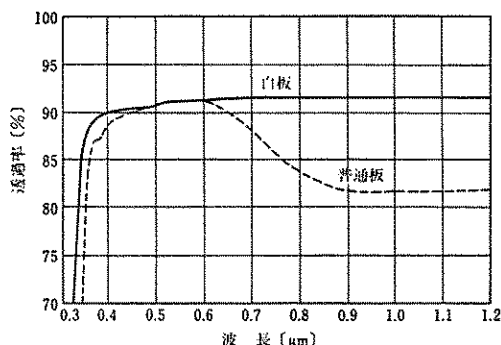


図2 青板（普通板）ガラスと白板ガラスの透過率曲線（3ミリ）

よう）から保護する役割をしている。さらに光透過性が高いガラスの性質は太陽光エネルギーを有効に取り入れるために有用である。ここで重要になるのがガラスの透過率である。現在結晶系太陽電池には通常の建築用に使われている板ガラス（青板/普通板）ではなく、白板と呼ばれる透過率の高いガラスが採用されている。図2に普通の板ガラス（青板）と、結晶系カバーガラスに使用されている白板ガラスの透過率曲線を比較して示す²⁾。図3に地上での太陽光スペクトル（日射エネルギー）と結晶系太陽電池の感度曲線を示すが、図から明かなように800 nmより波長の長い領域で太陽電池は高い感度を有することがわかる。これは通常の板ガラスと比べて、長波長領域で高い透過率を示す白板が結晶系太陽電池の発電効率に及ぼす影響が大きいことを意味する。この透過率の違いによる発電効率の違いをシミュレーションしてみると数%以上の差になると予想される。

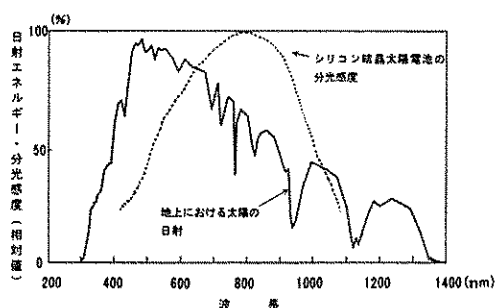


図3 地上での太陽光スペクトルと結晶系太陽電池の感度曲線

太陽電池のセルの効率が白板ガラスの採用により改善されるメリットは大きいですが、効率向上の付加価値に見合う低コストで白板を製造することが重要になる。この白板ガラスは弊社では米国の子会社であるAFG社で生産を行っている。いかにValueを生むガラスであるとしても高価格では市場に受け入れられない。白板ガラスを国内で生産せず、米国外子会社AFGで一括生産しているのも低コスト化を実現するためである。なぜならガラス製造のためには設備に巨額の投資が必要であり、ガラス生産の規模がそのままコストに反映するからである。すなわち少量の品種を多数の設備で生産するのは非常に効率が悪く、コストアップ要因になってしまう。好都合なことに米国にはこの白板を利用する市場が既にあるため、一括生産による低コストでの供給を可能にしている。しかし、もし太陽電池の市場が年間で現在の10倍以上、すなわち年間の世界の太陽電池市場に換算して1000 MW/年クラスになればガラスの生産設備一つを太陽電池向けとして活用することも可能となる。この場合、結晶系太陽電池用に最適なガラス組成を開発し、太陽電池専用で日本で生産することも実現性を帯びてくるであろう。

なお、実用上忘れてはならない機能に防眩機能がある。特に日本では太陽電池の主たるアプリケーションが住宅用（屋根）であることから、ガラスによる反射公害が問題となる可能性がある。現在の白板は型板ガラスという種類のガラ

スを使っており、防眩機能があるため反射公害への影響は少ないと考えられる。このガラスは生産時にエンボス加工されたロールで成型することにより表面に凹凸を付加したものである。防眩性を高めるために表面凹凸度を大きくすると埃やゴミが溜まりやすく、雨でも流れにくくなることが懸念される。そこで弊社の型板ガラスは雨で埃などが除去されやすいような表面凹凸形状としている。

最後の役割はやはり耐久性である。ガラスは紫外線や温度履歴など天然曝露における外部環境の変化に対して化学的耐久性を備えている。建材としての実績からも20年という太陽電池の耐用年数に対しては十分な耐久性を有していると言える。さらにガラスは降ひょうや温度履歴などに対する物理的耐久性に関しても、強化ガラスとすることにより結晶系太陽電池では強化ガラスを採用することで、設置後の割れなどの問題にも対処している。

次に次世代の有力な太陽電池の候補であるアモルファスシリコン (a-Si) 太陽電池について説明する。結晶系太陽電池は自立普及の目安である3KWで150万円という価格を実現することが難しいと言われている。これはセルの原料であるシリコンを低コストで大量に供給することが困難という、いわゆる資源問題を抱えているからである。結晶系太陽電池セルに用いられるウェハーはシリコンを1000℃以上の高温で溶解し、インゴットまたはキャストで成型し、スライスすることにより製造される。1000℃以上の高温を使うために製造ユーティリティ費が高いことに加え、削りだして製造するため原料の利用効率も良くない。また原料を半導体用ウェハーの生産過程で排出されるオフスバックのシリコンに依存することが多い。そのため、その供給は半導体業界の景気変動の影響を受けやすく、大量に安定供給することも不安視されている。一方、a-Si太陽電池はシランガスなどを原料にし、プラズマCVD法で薄膜化して生産するために資源問題が少なく、大

量に製造することにより大幅な低コスト化が期待される。また、結晶系太陽電池の厚みが約300ミクロンであるのに対してa-Si太陽電池は1ミクロン以下であり、材料使用量も100分の1以下で済む。ただし、結晶系太陽電池モジュールの変換効率が10%以上であるのに対して、アモルファスでは8%程度と低くさらなる高効率化が課題である。太陽電池が代替エネルギーとして認知されるためのキーファクターはa-Si太陽電池の普及であると言っても過言ではない。

a-Si太陽電池の構成を図4¹⁾に示す。この構成から明らかなようにガラス、TCO（透明電極）、a-Si層、裏面電極が一体となって構成されている。結晶系太陽電池が個別の部品の集合体とすると、a-Si太陽電池は基板の上に薄膜が積層され、全体として一つの機能商品を構成している。したがってガラスもその機能を実現するための一つの重要な構成要素となっている。結晶系太陽電池の場合、高性能化のためには個別の部品（セル）自体の性能を高めるのが本質

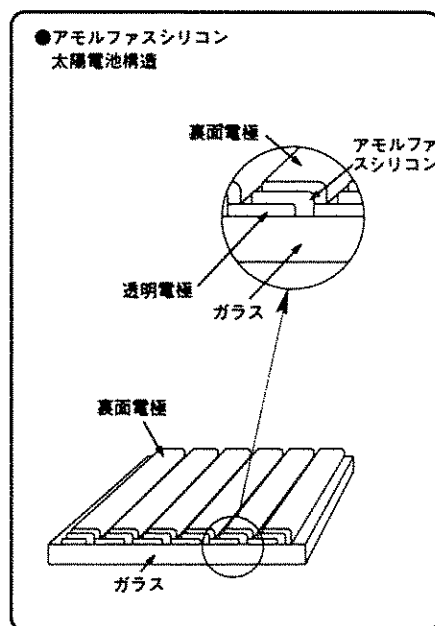


図4 a-Si太陽電池の構成

的な課題であるのに比べ、a-Si 太陽電池では基板や薄膜層単独の性能だけでなく、互いに隣接する部分の性能向上も重要な課題となる。すなわち各構成要素の機能が 100% 発揮されたとしても、隣接する部分がうまく整合しないと全体として高性能化できないのである。

a-Si 太陽電池で使用されるガラス基板には、(1)保護カバー、(2)電極としての透明導電膜、(3)高効率化のための光閉じ込め効果の 3 つの機能が求められている。保護カバーとしての機能は結晶系の場合と同様である。すなわち、長期間の屋外使用に耐え得るための耐候性、高強度が求められている。一方、(2)、(3)を満足するために、高透過率でかつ低抵抗の透明導電 (TCO) 膜と、有効に光を閉じ込めるためのテクスチャー構造の開発がポイントである。TCO は発電層である a-Si 層へいかに有効に太陽の光を通し、そしてそこで発生した電力を輸送する役割を担っている。これは TCO には高い透明性と導電性が求められることを意味する。さらに a-Si は $0.3 \sim 0.4 \mu\text{m}$ と極めて薄い薄膜であるため、光を有効に閉じ込め高い変換効率を得る必要がある。この光閉じ込めのために TCO 表面には凹凸構造 (テクスチャ) が形成されているわけである。

弊社はこれまでに、表面形状の異なる種々のテクスチャ TCO 基板を NEDO の委託研究の中で開発してきた。これらの TCO 基板を通産省・NEDO 国家プロジェクトの各評価機関に提供し、太陽電池基板ガラスとしての評価を受けた結果、ピラミッド型形状を有するテクスチャ基板が変換効率向上に有効であることが判明した。ここではそれらの中から代表的なテクスチャ基板であるタイプ U 基板に絞って述べる。タイプ U は低シート抵抗と高透過率、高テクスチャを両立させた基板である。これらの基板の電気的・光学的特性を表 1 に示す。テクスチャ化により光散乱性となるが、その性能指標となるヘイズ率は約 10% である。

表 1 に示したように、タイプ U のシート抵

表 1 TCO 基板の種類と電気的・光学的特性

タイプ	膜厚 (nm)	シート抵抗 ($\Omega/\square$)		光透過率 (%)	ヘイズ率 (%)
		成膜直後	低抵抗化処理後		
U	800	20	7	85	10

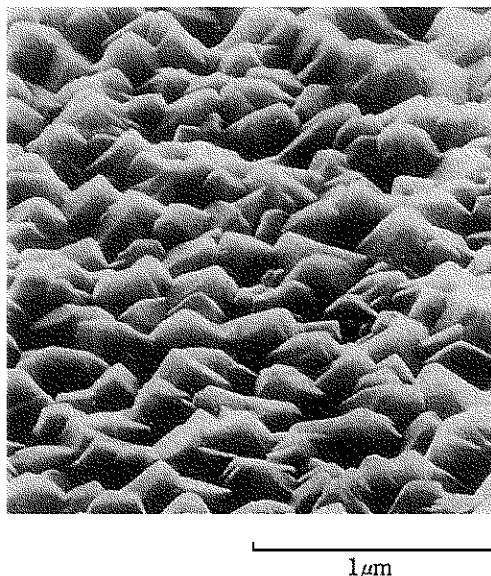
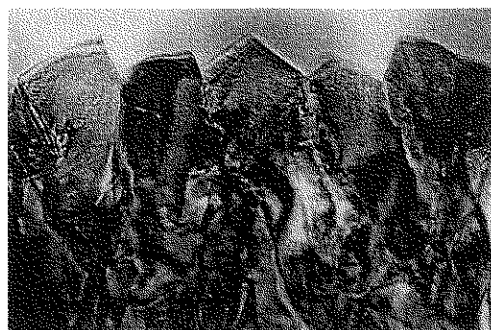


図 5 タイプ U 基板の表面 SEM 写真

抗は成膜直後において高いが、これは膜中の電子密度が低いことに起因する。電子密度が低いのが故に自由電子に起因する光学吸収も減少し、高透過率が得られている。このままでは高抵抗であるが、この基板は水素プラズマにさらされたり窒素等の不活性ガス雰囲気での熱処理により著しくシート抵抗が下がることが判明した。その原因は移動度の増加によるものであり、a-Si 製膜時の還元雰囲気を経た後では充分低シート抵抗になると予想される。

図 5, 6 にタイプ U 基板の表面 SEM 像と断面 TEM 像を示す。タイプ U の表面テクスチャーはピラミッド形状をしている。一般にテクスチャーを急峻にするほど光閉じ込めが有効になるが、逆にショート等の異常を生じやすく、結果的に高効率を再現性よく得ることは困難であった。断面 TEM 像観察の結果から、タイプ



2000Å

図6 タイプU基板の断面 TEM 写真

Uはガラス基板付近から結晶がきれいに垂直方向に成長し、山の頂上も一つの結晶粒から成ることがわかる。この均一な表面テクスチャーが高い光閉じ込め効果と高い再現性を両立さ

せ、高効率 a-Si 太陽電池を得るためのキーファクターと考えられる。a-Si 用 TCO 基板に求められる課題は前述の要求を満たす高効率化および大量生産による低コスト化であろう。

以上、太陽電池におけるガラスの機能を述べてきたが、今後の市場が伸張するに伴い、脇役であるガラスに求められる役割はますます重要性を増すと予想される。今後、各種の太陽電池に求められる要求を満たし、太陽電池という大舞台を引き立てることがガラス製造メーカーの役割ではないかと考えている。

参考資料

- 1) 太陽光発電その発展と展望、太陽光発電技術研究組合編、朝日新聞社、1998.
- 2) 太陽電池ハンドブック、電気学会太陽電池調査専門委員会編、コロナ社、1985.