

フレキシブル太陽電池の高性能化技術開発

— 「フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム」の運営と成果 —

増田 淳

フレキシブル太陽電池開発に必要な要素技術課題を明らかにし、課題解決のための産学官からなるコンソーシアム体制を構築した。フレキシブル薄膜シリコン太陽電池の高効率化に必須のポリマー基材への凹凸形成技術を開発し、ガラス基板上と同等の性能をもつ薄膜シリコン太陽電池をポリマー基材上に作製することに成功した。現在は、コンソーシアム研究の段階から企業内での実用化研究の段階に移行している。当該コンソーシアムの設立過程、運営方針、特許戦略さらには若手人材育成の考え方について概説する。

キーワード: フレキシブル薄膜太陽電池、コンソーシアム、ポリマー基材、凹凸形成技術、若手人材育成

Development of high efficiency flexible solar cells

— Management of “Flexible Solar Cell Substrates Consortium” and its achievements —

Atsushi MASUDA

Elemental technological challenges required for the development of flexible solar cells have been clarified and a consortium system to solve the problems has been established based on industry-academia-government collaboration. The technology to form texture on polymer substrates indispensable for high efficiency has been developed, and we have succeeded in preparation of thin-film silicon solar cells on polymer substrates whose efficiency is comparable with that of cells prepared on glass substrates. The stage has already moved from research within the consortium to practical realization research in individual enterprises. Establishment process, management policy, patent strategy and training of young researchers of the consortium are described in this paper.

Keywords: Flexible thin-film solar cells, consortium study, polymer substrates, texture, training of young researchers

1 フレキシブル太陽電池開発の目的

太陽光発電市場は近年飛躍的な拡大を続けており、成長率は前年度比 40 ~ 50 % 程度を維持し、2010 年の世界の年間生産量は 23 GW を超えた。この値はピークパワーで原子力発電所約 23 基分に相当する。今後も市場は順調に成長を続け、2030 年の年間生産量は少なく見積もっても 100 GW に達するものと予想される。太陽光発電の普及拡大には、軽量化による設置コストの低減ならびに設置場所の拡大も重要である。通常の太陽電池パネルは、受光面にカバーガラスが用いられているため、耐荷重の低い屋根等には設置できない場合も多く、また屋根の補強等で設置コストが高額になる場合もある。一方、基材にポリマーや金属シート等を用いたフレキシブル太陽電池は、ガラスを用いていないために、これまでの太陽電池に比べて重量を数分の 1 ~ 十分の 1 程度にまで軽量化可能であり、設置場所の拡大に資することができる。フレキシブル太陽電池の利点としては、この他にも、曲面への設置が容易であること、

ガラスのように割れることがなく安全であること、ロールトゥロール工程を適用できるために生産性に優れること、輸送や保管が容易であること等が挙げられる。

2 フレキシブル太陽電池開発の戦略とシナリオ

各種フレキシブル太陽電池のうち、フレキシブル薄膜シリコン太陽電池は、すでに国内でも量産が始まり、徐々に普及も進みつつある。薄膜シリコンは光吸収係数がさほど大きくなく、かつ光照射による性能の低下を抑制するためには光吸収層をさほど厚くできないことも知られているため、効率向上のためには、何らかの方法で光吸収層内部へ光を閉じ込めることが重要となる。一般的な薄膜シリコン太陽電池では、透明導電膜表面に形成された凹凸形状を用いた光閉じ込めにより、太陽光を有効活用している。例えば、ガラス基板上に酸化物透明電極、p 型シリコンドープ層、i 型シリコン光吸収層、n 型シリコンドープ層、酸化物透明電極、裏面金属電極の順に形成するスーパーストラー

産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター 〒 841-0052 鳥栖市宿町 807-1
Research Center for Photovoltaic Technologies, AIST 807-1 Shuku-machi, Tosu 841-0052, Japan E-mail: atsushi-masuda@aist.go.jp

Original manuscript received January 31, 2011, Revisions received September 1, 2011, Accepted September 1, 2011

ト型薄膜シリコン太陽電池では、図1に示すように、光をガラス基板側から入射するために、酸化物透明電極表面に凹凸形状を設け、光を散乱させて光吸収層に光を閉じ込めることで、効率向上を実現している。

旭硝子(株)製 Asahi-U は、フッ素添加酸化錫透明電極を形成したガラス基板であるが、アモルファスシリコン太陽電池に最適な凹凸形状を有する酸化錫表面が得られることが知られている。Asahi-U では、最適な凹凸形状を形成するために、フッ素添加酸化錫の製膜時に 500℃程度の基板温度を要する。しかし、500℃程度の耐熱性を有する汎用ポリマー基材は存在せず、ガラス基板を用いる場合と同様の方法でフレキシブル薄膜シリコン太陽電池の高性能化を図ることはできない。

この課題を解決するために、ポリマー基材の耐熱性を上げる戦略も考えられるが、この研究では、ポリマー基材そのものに凹凸形状をもたせる新たな技術を開発することで、酸化物透明電極に凹凸形状を形成した場合と同等の特性を発現させることを検討した。このことにより、酸化物透明電極自体は、凹凸形状の形成に必要な高い基板温度で製膜する必要がなくなるため、製膜条件を大幅に緩和することが可能となる。

このような技術開発は産総研 太陽光発電研究センター(当時)だけで実施できるものではない。太陽電池の作製技術に関しては、太陽光発電研究センターでさまざまな経験やノウハウを持ち合わせているものの、フレキシブル太陽電池に重要なポリマー基材の技術やロールツーロール装置の技術は持ち合わせていないため、研究を円滑かつ迅速に遂行するため、これらの技術を有する部材メーカーや装置メーカーを中心に、広く産学官の知見を結集可能な産学官連携コンソーシアム型の共同研究を実施することを試みた。

コンソーシアム型共同研究の目的は大きく分けて二つあ

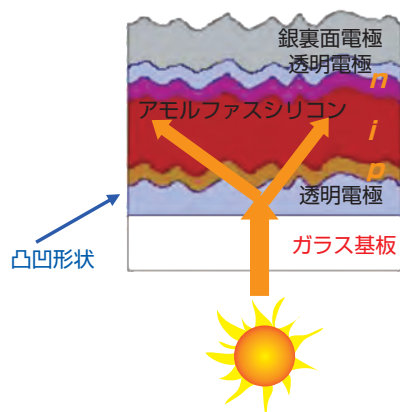


図1 アモルファスシリコン太陽電池における光閉じ込めの原理

る。一つ目は、複数の民間企業と集中研方式で研究課題に取り組むことにより、迅速な技術の集積で開発が加速され、その成果の産業界への移転も加速されることである。二つ目は、民間企業から産総研に派遣された共同研究員のOJTを通じた人材育成であり、複数の企業が連携して研究を行うことにより、研究面での成果のみならず人的ネットワークの構築も期待できる。上記シナリオに基づいて研究開発を遂行するために設立した「フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム」の実施体制について以下に紹介する。

「フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム」第一期の期間は2006年6月～2008年3月で、石川島播磨重工業(株)(期間中に(株)IHIに社名変更)、(株)石川製作所、(株)きもと、筒中プラスチック工業(株)(期間中に住友ベークライト(株)と合併し住友ベークライト(株)に社名変更)、帝人デュボンフィルム(株)、日本合成化学工業(株)、三菱瓦斯化学(株)、(株)麗光(五十音順)の8社が参加し、石川県工業試験場と太陽電池メーカー1社がオブザーバーとして加わった。第一期のコンソーシアムの体制を図2に示す。

第二期の期間は2008年4月～2010年3月で、(株)有沢製作所、(株)きもと、住友ベークライト(株)、帝人デュボンフィルム(株)、東芝機械(株)、日本合成化学工業(株)、三菱瓦斯化学(株)(五十音順)の7社が参加し、第一期と同じ太陽電池メーカー1社がオブザーバーとして加わった。第三期は2010年4月以降継続中であり、(株)きもと、帝人デュボンフィルム(株)、東芝機械(株)、日本合成化学工業(株)、三菱瓦斯化学(株)(五十音順)の5社が参加し、実用化を目指したフェーズでの研究を進めている。図3にはこの論文で紹介する内容に限定して、このコンソーシアムでの実用化シナリオを、当該課題にかかわったメンバーと役割分担を含めて図示する。

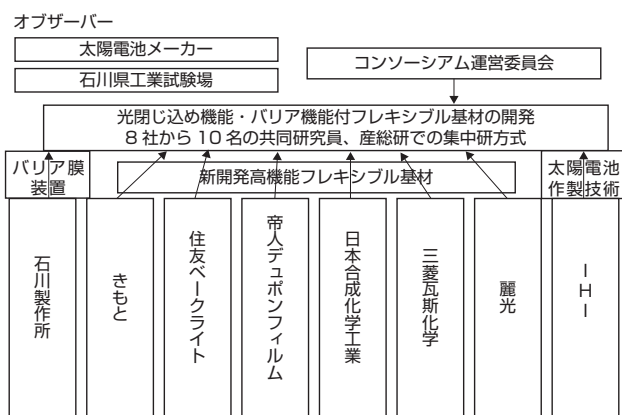


図2 「フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム」(第一期)の体制

3 フレキシブル太陽電池開発に必要な要素技術課題

「フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム」では、薄膜シリコン太陽電池の光閉じ込めに適した凹凸形状をポリマー基材そのものに形成することを基本的な要素技術とした。このことによって、透明電極に凹凸形状をもたせなくともよくなるので、透明電極製膜時の基板温度等の条件が緩和され、耐熱性の低いポリマー基材に適したプロセスになると考えられるからである。ポリマー基材自身に凹凸形状を形成するというアイデア自体は、このコンソーシアムでの研究で初めて得られたわけではなく、これまでもいくつか報告がある^{[1][2]}。例えば、凹凸形状を有するスタンプによる転写や、リソグラフィ等を用いる方法がこれまでに提案されてきた。しかし、スタンプによる転写は、対象が熱可塑性のポリマー基材に限定されるうえ、プリントされた凹凸形状に十分な精度や再現性が得られないことが課題である。また、リソグラフィを用いる方法では、理想的な凹凸形状を得るのが困難なうえ、リソグラフィ装置が高価なことも課題であった。この研究では、ポリマー基材の材料を選択しない汎用的な技術となり得ること、さらには光閉じ込めに適した凹凸形状を正確に転写できることを条件として、ポリマー基材上への凹凸形状の新しい作製法を検討した。その結果、モールド上に形成した凹凸形状を転写した紫外光硬化性アクリル樹脂をラミネートした基材が有効であるとの結論を得た。この論文では Asahi-U の凹凸形状を転写した基材ならびに無反射構造として知られるモスアイ構造の凹凸形状を転写した基材を比較検討した結果を示す。また、この論文では、ポリマー基材としてポリエチレンナフタレート (PEN) フィルムやポリアイミド (PI) フィルムを用いた例を示すが、この方法の対象は、これらのフィルムに限定されるわけではなく、ポリエチレンテレフ

タレート (PET) やポリカーボネート (PC) 等の他のポリマー基材でも有効なことを確認している。さらに、この方法は、ポリマー基材のみならず、ガラス基板に対しても適用できることを見いだしている。

4 コンソーシアムの構成と運営

4.1 コンソーシアムでの役割分担

フレキシブル太陽電池開発に必要な要素技術課題が明らかになったが、この課題を解決するためには、ポリマー基材や紫外光硬化性アクリル樹脂に関する材料技術、両者の貼り合わせに関する加工技術、最適凹凸形状のシミュレーション技術、量産化に必須のロールツーロール装置技術、薄膜シリコン太陽電池作製のためのプロセス技術やデバイス技術等を組み合わせることが必須である。これらの技術は太陽光発電研究センターがすべてを持ち合わせているわけではなく、第2章でも述べたように、産学官連携コンソーシアム型共同研究で実施するのが好適と判断した。本章では、コンソーシアムの具体的な運営方針について紹介する。

「フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム」では、産総研が研究を統括するとともに、ポリマー基材上での透明電極ならびに太陽電池作製条件の検討を担当し、参加企業はポリマー基材開発を担当した。参加企業の役割分担は図3にも示すように、主として、三菱瓦斯化学(株)がシミュレーションによる凹凸形状の設計、帝人デュボンフィルム(株)がPENフィルム(テオネックス[®])の開発とコンソーシアムへの供給、日本合成化学工業(株)が紫外光硬化性アクリル樹脂の開発とコンソーシアムへの供給、(株)きもとがポリマー基材表面へのハードコート、東芝機械(株)が枚葉方式またはロールツーロール方式でのナノインプリント技術によるアクリル樹脂への凹凸形状の転写を担当した。凹凸形状の設計については現在開発中の項目も多く、この論文では Asahi-U ならびにモスアイ構造の凹凸形状を転写した結果についてのみ示す。Asahi-U が自己形成で得られた形状を用いているのに対して、このコンソーシアムで開発した基材は転写により凹凸形状を形成しているため、任意の形状に対応することができる。したがって、凹凸形状の精密設計により、Asahi-U 基板を用いた場合を凌駕する性能の太陽電池が得られる可能性もある。このことは、ガラス基板上に作製された現行の薄膜シリコン太陽電池よりも高効率の太陽電池がポリマー上で得られる可能性を示唆するものである。このため、凹凸形状の設計は極めて重要な研究テーマとなる。

4.2 月次研究会の運営

このコンソーシアムでは、参加企業から産総研に研究員

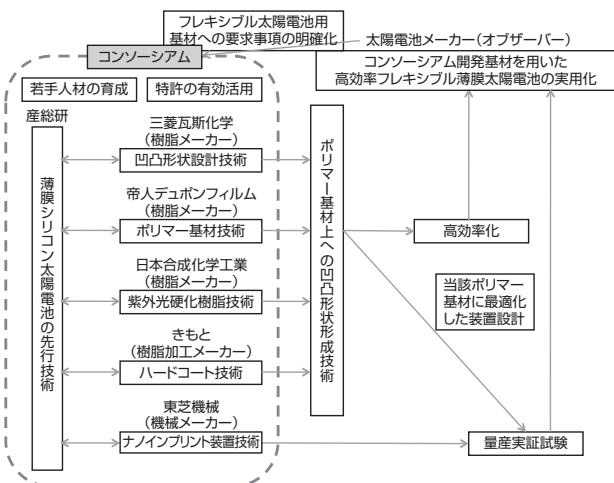


図3 コンソーシアム方式によるフレキシブル薄膜シリコン太陽電池の実用化シナリオ

を派遣する集中研方式を採用した。全社の研究員が参加する月次研究会を開催し、研究成果は全社で共有するとともに、研究会での議論を通じて、参加企業間の協業テーマの設定や、研究テーマの方向性を見直しも臨機応変に進めた。これらのことを通じて研究開始当初は想定していなかった派生的な成果も得られた。したがって、月次研究会での発言は極めて重要であり、発明の認定の証拠と成り得ることもあるので、研究会の議事録は充実させた。

このコンソーシアムには相互に競合となる企業も参加しているため、合同の月次研究会での発表には次のようなルールを設けた。つまり、このコンソーシアムの中心的メンバーである材料・部材メーカーが最も重要視する材料の合成法やノウハウについては研究会で開示しなくともよいこととした。材料の合成は基本的には参加企業が社内で単独で実施するものであり、原則として知見を共有すべきものでないと考えたからである。一方、太陽電池の作製に関する結果は参加企業で共有すべきものと考え、太陽電池性能に影響する部材の特性については開示を原則とした。また、部材を組み合わせる際には、構成材料の合成法等を知ることが必要になる場合もあるが、その場合は限られたメンバーで別途秘密保持契約を締結することで合意を得た。このように、各社が共同で保有する技術と個別に開発する技術を明確に区分することで、コンソーシアム参加の利点を最大限に引き出すとともに、各社の個別の利益も保護できたことが、コンソーシアム成功の一因と考えている。

4.3 運営委員会と特許戦略

さらに、参加企業各社と産総研の代表で構成されるコンソーシアム運営委員会を最高意思決定機関と定義した。成果の取り扱いや発明が生じたときの発明者の認定、さらには利害の調整等について課題が生じた場合には運営委員会を開催し、その裁決に従うこととすることで、コンソーシアム運営の公平性ならびに透明性を高め、円滑な運営が実現できた。コンソーシアムで生じた発明については、発明者の所属する組織が出願人となり、その持ち分比率は寄与度に応じるものとしたが、出願人とはならない参加企業も適正な実施料を支払えば当該発明を実施できるものとした。つまり、特定の企業の独占は認めないことをコンソーシアム参加の動機付けの一つとした。太陽電池に関する成果はコンソーシアムの共有財産であるという考え方と、参加企業の社内での研究開発を原則とする材料そのものに関する知見やノウハウはコンソーシアムに持ち込まないとの考え方の二つを基本とすることで、このような発明の取り扱いを可能にした。さらに、コンソーシアムで得られた研究成果は、特許出願後に速やかに公開することを基本とした。

4.4 若手人材育成の方針

このコンソーシアムは、公的資金は用いずに民間資金で運営されているものの、研究に使用している装置の大半はコンソーシアム設立以前に産総研の研究費で購入されたものであり、研究に適用しているノウハウ等も産総研でこれまでに開発してきたものである。また、民間企業からの共同研究費と同額を上限として、いわゆるマッチングファンドが産総研から支給されている。このような事情に鑑み、公的研究所としての使命を果たすためにも研究成果は積極的に公開しているところである。このような研究成果の公開を通じて、参加企業から派遣された共同研究員が国際会議等の学会で発表したり、英文の論文を執筆したりすることも、若手人材育成の観点から有益と考えている。学会発表の場で得られたコメント等により研究が大いに進展した例や、共同研究員が新たに構築した人脈により参加企業にとってもビジネスの機会が広がった例もあった。また、産総研に派遣された共同研究員が、産総研在籍中に太陽電池の知識を幅広く身につけることを目的に、研究活動の一環として関連のセミナー等も多数実施し、共同研究終了後も社内で太陽電池の専門家として活躍できることを心がけた。

5 コンソーシアム研究の成果

コンソーシアム研究の結果、PEN フィルムや PI フィルム上に、旭硝子(株) 製酸化物質透明電極付ガラス Asahi-U の表面凹凸形状を転写した紫外光硬化性アクリル樹脂をラミネートした基材が開発された。図4には開発した基材の外観写真を示す。当該基材のベースフィルムは PEN であり、転写された凹凸形状により光の散乱が増強され、肉眼では白く見えることがわかる。

図5に基材の作製法の概略を示す。Asahi-U やモスアイ構造をそのまま転写したのでは、図5中に走査電子顕微鏡写真を示すように凹凸形状が逆転するため、所望の構造を



図4 Asahi-Uの凹凸形状を転写したPENフィルムの外観写真

いったん転写した型をモールドとして用いた。まず、モールド上に紫外光硬化性アクリル樹脂モノマーを塗布し、この上にPENやPI等の汎用フィルムをラミネートする。ラミネート後に紫外光を照射することで、モノマーがポリマーに変化する。フィルムをモールドから剥離すると、表面に凹凸形状の転写されたアクリル樹脂がラミネートされたポリマー基材を得ることができる。図5中の原子間力顕微鏡写真に示されるように、基材表面に凹凸形状が存在することがわかる。この方法は、図5に示す枚葉方式のみならず、図6に示すようなロールツーロール方式にも適用可能なことをすでに実証しており、量産化に際しての障害は見当たらない。

PIフィルムならびにPENフィルム上に作製したアモルファスシリコン太陽電池の電流密度-電圧特性を図7に、分光感度特性を図8に示す。アモルファスシリコン太陽電池はサブストレート構造とし、ポリマー基材/凹凸形状を有するアクリル樹脂層/ガリウム添加酸化亜鉛層/銀裏面電極層/ガリウム添加酸化亜鉛層/n型アモルファスシリコンドープ層/i型アモルファスシリコン光吸収層/p型アモルファスシリコンドープ層/酸化インジウム錫透明電極/銀集電

極の構成とした。凹凸形状を形成した基材を用いることにより、ポリマー基材上でも充分な光閉じ込めが実現し、電流密度が増大することが図7から示された。図7からは、凹凸には最適な形状があり、モスアイ構造を転写した形状を用いた場合の電流密度は、Asahi-Uの表面構造を転写した形状を用いた場合の電流密度に及ばないことも明らかとなった。また、図8からは、凹凸形状を形成した基材を用いた場合には、光閉じ込めにより、長波長側の分光感度が増加していることも示された。表1に示すように、ポリマー基材を用いた場合においても、Asahi-U上に作製した場合と同等の太陽電池特性が得られた。つまり、ガラス基板上に作製した場合と同等の性能を有するアモルファスシリコン太陽電池を、ポリマー基材上に作製することに成功した。このコンソーシアムの研究成果等で、参加企業の東芝機械(株)が nano tech 2009 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議にて、nano tech 大賞微細加工技術部門賞を受賞した。また、この論文では詳細は省略するが、コンソーシアム参加企業の住友ベークライト(株)が、同社が開発した有機-無機ハイブリッドフィルムであるスミライ

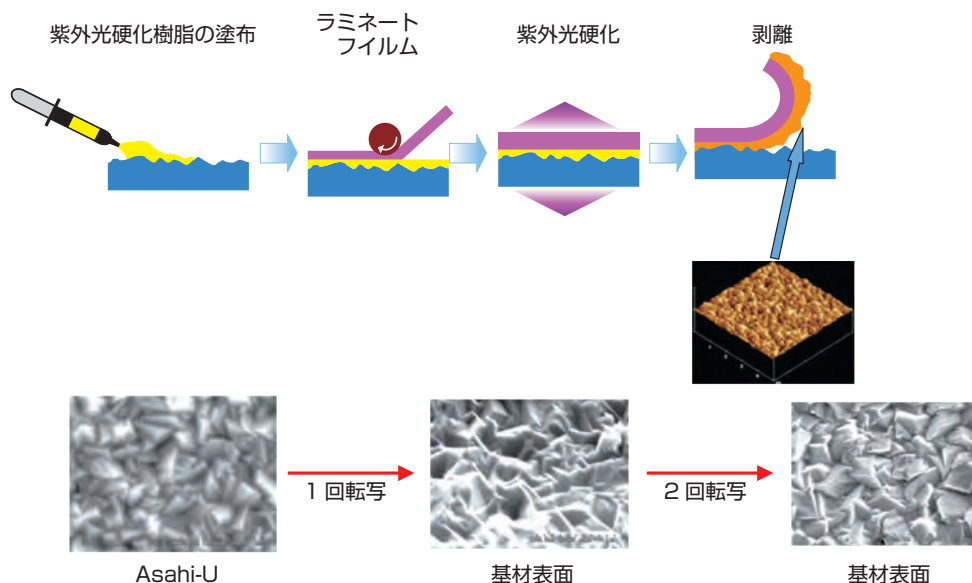


図5 枚葉方式による基材の作製法の概略ならびに Asahi-U および基材表面の顕微鏡写真

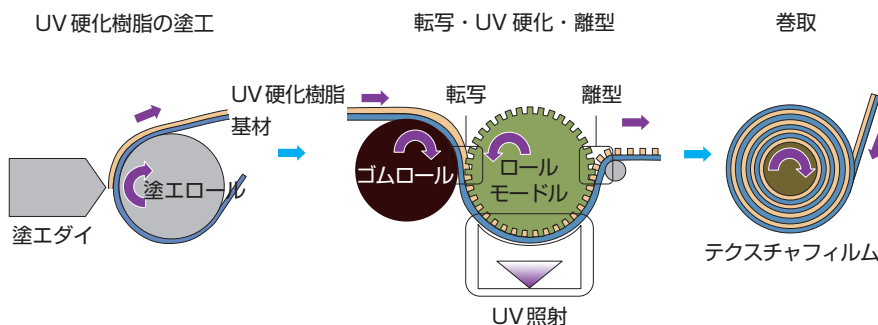


図6 ロールツーロール方式による基材の作製法の概略

表1 各種基材上に作製した太陽電池の特性

基材	短絡電流密度 (mA/cm ²)	開放電圧 (V)	曲線因子	効率 (%)
Asahi-U	15.7	0.88	0.59	8.2
Asahi-U 転写 PI	15.0	0.84	0.65	8.3
平坦 PI	11.7	0.83	0.68	6.5
Asahi-U 転写 PEN	15.6	0.87	0.60	8.1
モスアイ転写 PEN	14.1	0.87	0.62	7.7

ト[®]上に、この転写技術を用いてスーパーストレート構造のアモルファスシリコン太陽電池を作製し、その有効性を実証している^[3]。

この他、耐候性の高いフレキシブル太陽電池の作製を目的に、ポリマー基材上へのバリアー膜形成についても、このコンソーシアムで石川製作所ならびに石川県工業試験場を中心に研究を進めた。部材メーカーへの導入を容易にするために、化学気相成長法による窒化シリコン系バリアー膜の原料ガスに特殊高圧ガスであるモノシランを使わないことを目標とし、ヘキサメチルジシランを原料ガスに用いた場合でも、PEN フィルム上に堆積速度 40 nm/min で形成

したバリアー膜において、水蒸気透過率 0.02 g/m²day を達成した。

6 残された課題

「フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム」は開始から6年目を迎え、産総研とコンソーシアム参加企業の経験、知見を結集することで、研究段階、実験室レベルでの目標はおおむね達成できた。実用化のためには、太陽電池メーカーでの試作が今後重要となる。コンソーシアムで開発した基材を、現行の基材に置き換えるためには、太陽電池デバイス構造の設計変更も必要となる可能性があり、これからの段階では、太陽電池メーカーの意思決定も重要となる。今後は、コンソーシアム研究活動の段階から、オブザーバーとして参加した太陽電池メーカーとの協業による、実用化を視野に入れた開発段階に移行する時期にあり、産総研、コンソーシアム参加企業、太陽電池メーカーの間で、太陽電池メーカーへの技術移転を目的とした検討を開始したところである。また、「フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム」でのコンソーシアム運営方法の経験を活かし、2009年10月1日からは、民間企業33社、太陽光発電技

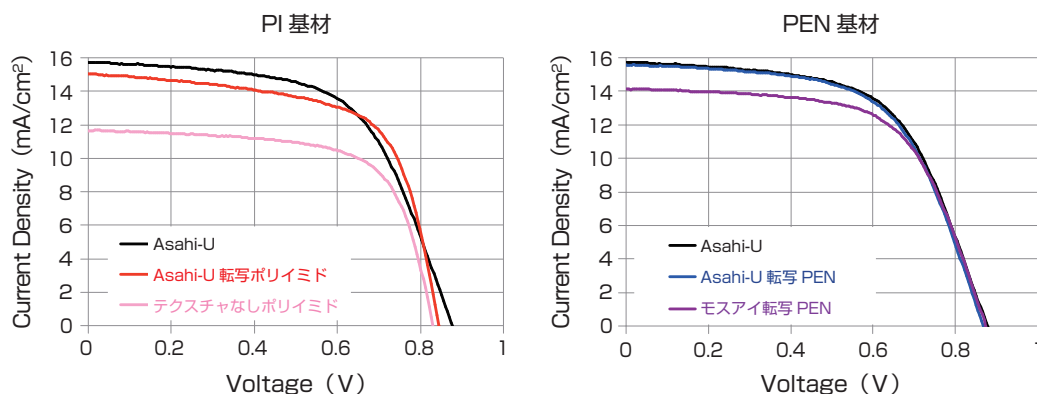


図7 PI フィルムならびに PEN フィルム上に作製したアモルファスシリコン太陽電池の電流密度 - 電圧特性

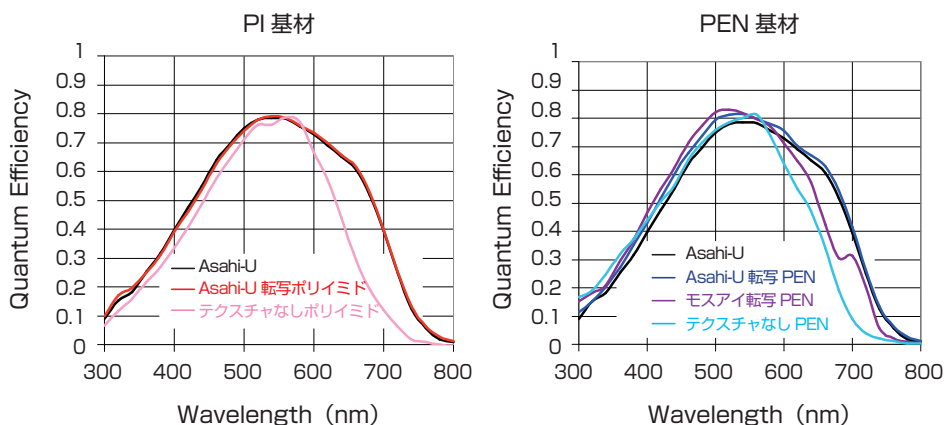


図8 PI フィルムならびに PEN フィルム上に作製したアモルファスシリコン太陽電池の分光感度特性

術研究組合等 44 機関と「高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム」を設立し、太陽電池モジュールの長寿命化・信頼性向上による発電コストの低減ならびに信頼性を正確に可視化可能な試験法の開発に資する研究に取り組んでおり、現在は民間企業等 78 機関と第 II 期コンソーシアムで研究開発を実施している。

太陽光発電の技術開発には、材料、プロセス、デバイスからシステムに至るまで、幅広い分野の知識の融合が必要である。太陽光発電の分野では、第一次石油ショック直後に開始されたサンシャイン計画当初から緊密な産学官連携活動が展開され、今日の産業として花開いたことは周知であるが、太陽光発電産業の一層の発展のためにも、異なる分野の連携による技術開発がこれまで以上に重要になることは言うまでもない。さらには、産学官連携活動での OJT による民間企業の研究員やポスドク、学生といった若手人材の育成が、産業の継続的発展のために、技術開発と同等以上に重要である。産総研 太陽光発電工学研究センターで実施している産学官連携コンソーシアム型共同研究の取り組みが、新規技術開発・技術移転と人材育成の双方に資することができるよう、コンソーシアムの運営に鋭意取り組んでいる。

謝辞

この論文で紹介した「フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム」の研究成果は、(株)石川製作所の仁木敏一氏、(株)きもとの野辺丈司氏、栗嶋進氏、住友ベークライト(株)の井上雄介氏、榎田英雄氏、帝人デュポンフィルム(株)の西尾玲氏、中広貴氏、東芝機械(株)の萩原明彦氏、日本合成化学工業(株)の勝間勝彦氏、早川誠一郎氏、三菱瓦斯化学(株)の徳丸照高氏、産総研の原由希子氏、山本千津子氏、柄澤稔氏、武山洋子氏(現所属、東京工業大学)、保月奈々氏(現所属、太陽光発電技術研究組合)との共同研究によるものである。この研究に関して貴重な助言をいただいた、産総研 太陽光発電工学研究センターの近藤道雄センター長、鯉田崇主任研究員、松井卓矢主任研究員に感謝する。

参考文献

- [1] C. Ballif: *2nd Int. Plastic Electronics Conf. & Showcase, Frankfurt*, 2006, 1.9.5.
- [2] M. Fonrodona, J. Escarré, F. Villar, D. Soler, J.M. Asensi, J. Bertomeu and J. Andreu: PEN as substrate for new solar cell technologies, *Solar Energy Mater. Solar Cells* 89, 37-47 (2005).
- [3] 井上雄介, 榎田英雄, 山本千津子, 増田 淳, 近藤道雄: 有機-無機ハイブリッドフィルムを用いたスーパーストレート型薄膜シリコン太陽電池の作製と特性, *第57回応用物理学関係連合講演会講演予稿集*, 20a-TG-4 (2010).

執筆者略歴

増田 淳(ますだ あつし)

1966 年生まれ。1992 年金沢大学大学院工学研究科修士課程修了。富士ゼロックス総合研究所勤務、日本学術振興会特別研究員を経て、1996 年金沢大学大学院自然科学研究科物質科学専攻博士課程修了。博士(工学)。1996 年北陸先端科学技術大学院大学材料科学研究科物性科学専攻助手。2005 年産業技術総合研究所太陽光発電研究センター産業化戦略チーム長、2010 年同太陽電池モジュール信頼性評価連携研究体長、2011 年同太陽光発電工学研究センター太陽電池モジュール信頼性評価連携研究体長、現在に至る。



査読者との議論

議論 1 標題

コメント(大和田野 芳郎:産業技術総合研究所環境・エネルギー分野)

産総研が独自に企画・組織した大規模な技術開発コンソーシアムの報告として、大変貴重な論文です。

標題の主題と副題を、開発内容とコンソーシアムで運営したことが分かるように修正してはどうでしょうか。

回答(増田 淳)

ご提案のとおり、

フレキシブル太陽電池の高性能化技術開発

—「フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム」の運営と成果—としました。

議論 2 内容の区分け、各章の題目

コメント(大和田野 芳郎)

・背景と技術開発のテーマ設定

・コンソーシアムの構成と運営の仕方

・得られた成果

等の点に分かりやすいように、各章のタイトルを具体的につけ、長い本文を内容ごとに段落分けして、読みやすく整理してはどうでしょうか。

回答(増田 淳)

各章の構成を整理し、題目を具体的に内容がわかるように変更しました。また、4 章につきましてご提案を反映して節に分けるとともに、一部加筆しました。