

平成 28 年 1 0 月 5 日

インクジェット印刷で精密に電極の形を描いて、 新聞紙より薄い曲げられる結晶シリコン太陽電池を作製

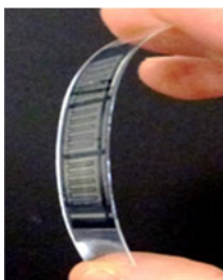
共生システム理工学類では、インクジェット印刷によって精度よく電極の形を描くことにより、新聞紙より薄い厚さ 53 ミクロンの結晶シリコン太陽電池を開発することに成功しました。薄くすることで安価で軽くなるばかりでなく、光を受ける面に電極のない太陽電池としては世界で初めて自立した形で曲げることができ、建築物や携帯機器、自動車などへの幅広い応用が期待されます。

現在太陽光発電用に最も使われている結晶シリコン太陽電池では、通常 200 ミクロン程度の厚さ（新聞紙の厚さは約 60 ミクロン）の固いシリコン基板が用いられています。これを薄くすれば、材料の節約によって安く軽くすることができ、さらに数十ミクロン以下の厚さになると曲げることができるようになります。結晶シリコン太陽電池の中でも、太陽光を受ける面には電気を取り出す電極のない裏面電極型と呼ばれる太陽電池は、光から電力へのパワー変換効率や美観（意匠性）に優れ、配線が容易という特長があります。この電極の形成には精度が必要なため、従来は装置が高価でも半導体の作製と同じフォトリソグラフィという方法が用いられてきました。しかし、薄い基板では作製中に加わる力によって割れてしまうという問題もあり、それに対処するため、シリコン基板を厚い支持基板に貼付けて強化することが必要でした。

これに対し、共生システム理工学類地域イノベーション戦略支援プログラム次世代太陽電池チームでは、**家庭のプリンターと同じ原理で対象物に余計な力を加えないインクジェット印刷を用いて、裏面電極型太陽電池の技術開発を進め、厚さ 53 ミクロンの太陽電池を支持基板なしの自立した状態で作製することに成功しました。**変換効率は現時点で 10.7%ですが、今後の改良により 20%近い変換効率を持った曲げられる結晶シリコン太陽電池の実現が期待されます。

この成果の詳細は、本年 10 月 19、20 日にビッグパレットふくしまで開催される「第 5 回福島復興再生可能エネルギー産業フェア 2016」にて展示予定です。

なお、本研究は文部科学省地域イノベーション戦略支援プログラム「再生可能エネルギー先駆けの地ふくしま」において、国立研究開発法人 産業技術総合研究所の協力を得て実施されました。



（お問い合わせ先）

共生システム理工学類 特任教授 野毛 宏
メール：noge.hiroshi@aist.go.jp

参考資料

【研究の背景】

現在使われている太陽電池の 9 割以上は、材料として結晶シリコンを用いています。その厚さは通常 200 ミクロン程度ですが、それをもっと薄くすれば、材料の節約によるコストの低減や太陽電池の軽量化につながり、さらに数十ミクロン以下の厚さになると曲げられる特性（フレキシブル性）を持たせることができます。フレキシブル性があると、曲面に沿わせて太陽電池の設置ができるため、建築物や携帯機器、自動車などへの応用も期待されます。従来のフレキシブル太陽電池は、アモルファス（非晶質）シリコンや銅・インジウム・ガリウム・硫黄（CIGS）化合物、有機半導体などの薄膜で作製されてきましたが、結晶シリコンに比べて変換効率や安定性、信頼性が劣るという課題がありました。

一方、結晶シリコン太陽電池の中でも、太陽光を受ける表面側に電極のない裏面電極型の太陽電池は、変換効率や美観（意匠性）に優れ、配線が容易という特長から最近普及が進んでいます。特に結晶シリコン(c-Si)とアモルファスシリコン(a-Si)のヘテロ接合を用いた裏面電極型ヘテロ接合シリコン太陽電池では、2014 年にパナソニックが 25.6%、2016 年にはカネカが 26.3%というシリコンベースの太陽電池の変換効率としてはそれぞれ当時の世界記録を達成しています。しかしながら、裏面電極の形成にはある程度の精度が必要で基本的にフォトリソグラフィ技術を用いているため、作製装置自体が高コストであるという問題に加えて、シリコン基板を薄型化しようとする、作製工程中の機械的ストレスで破損してしまうという問題もありました。

このため、裏面電極型太陽電池の薄型化はこれまでほとんど試みられておらず、2009 年にドイツの ISFH が不純物拡散による pn 接合を用いた厚さ 30 ミクロンの裏面電極型太陽電池を、2016 年にベルギーの IMEC が厚さ 57 ミクロンの裏面電極型ヘテロ接合シリコン太陽電池を、それぞれ発表している程度です。これらの作製では、エピタキシャル・リフトオフと呼ばれる特殊な方法で作製したシリコン基板を、機械的強度を増すために別のシリコンやガラスの厚い支持基板に接合した状態で、電極のパターニングを行っていました。

【研究の経緯】

福島大学は、平成 24 年度に文部科学省地域イノベーション戦略支援プログラム「再生可能エネルギー先駆けの地ふくしま」に参画し、2040 年に再生可能エネルギー100%を目指す福島県における関連産業の集積を支援すべく、太陽電池、小型風力発電および人材育成に関わる研究者を招聘して研究開発を進めてきました。特に太陽電池の分野では、飛躍的に低コストで高性能な世界トップレベルの次世代太陽電池を目標に、国立研究開発法人 産業技術総合研究所から設備・装置に関するご支援をいただきながら、インクジェット印刷によるパターンニング技術を用いた薄型の裏面電極型ヘテロ接合シリコン太陽電池の開発を行ってきました。

インクジェット印刷は、一般に普及しているプリンターと全く同じ原理で動作し、非接触で試料に機械的ストレスを与えずにパターンが形成できるばかりでなく、設備コストも非常に安価であることが期待されます。これまで太陽電池の作製に用いられたことはほとんどありませんでしたが、本学ではこの技術を用いてまず厚さ 160 ミクロンの裏面電極型ヘテロ接合シリコン太陽電池を作製することに成功し、この成果に対して、2014 年に欧州太陽光エネルギー会議（EUPVSEC）で最優秀ポスター賞、2015 年には電子情報通信学会のエレクトロニクスソサエティより、レター論文賞を受賞しています。

【研究の内容】

今回は、このインクジェット印刷によるパターンニング技術をより薄型のシリコン基板に適用し、厚さ 53 ミクロンのフレキシブルな裏面電極型ヘテロ接合シリコン太陽電池を支持基板なしで作製することに世界で初めて成功しました。試料は 50mm x 19mm の大きさで、約 10mm 角の太陽電池が 3 個組み込まれています。正（p 型）および負（n 型）の電極は、光を受けるのとは反対側の面に櫛歯状に銀で形成されていて、プリント配線板などに貼付けて太陽電池同士を接続することが容易にできます。図 1 に裏面電極型ヘテロ接合シリコン太陽電池の模式図と断面構造を示します。また、図 2 には、作製した太陽電池の表面と裏面の外観を示します。変換効率は、現時点で 10.7%です。

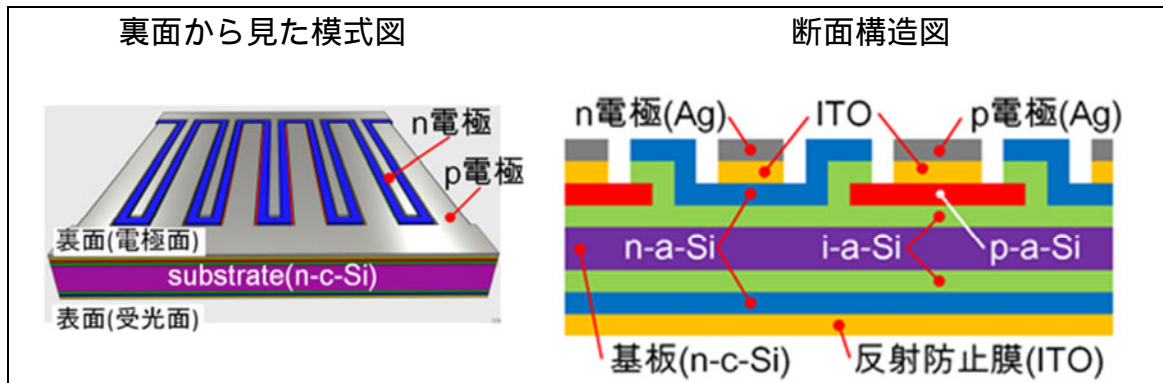


図 1 . 裏面電極型ヘテロ接合シリコン太陽電池の模式図と断面図

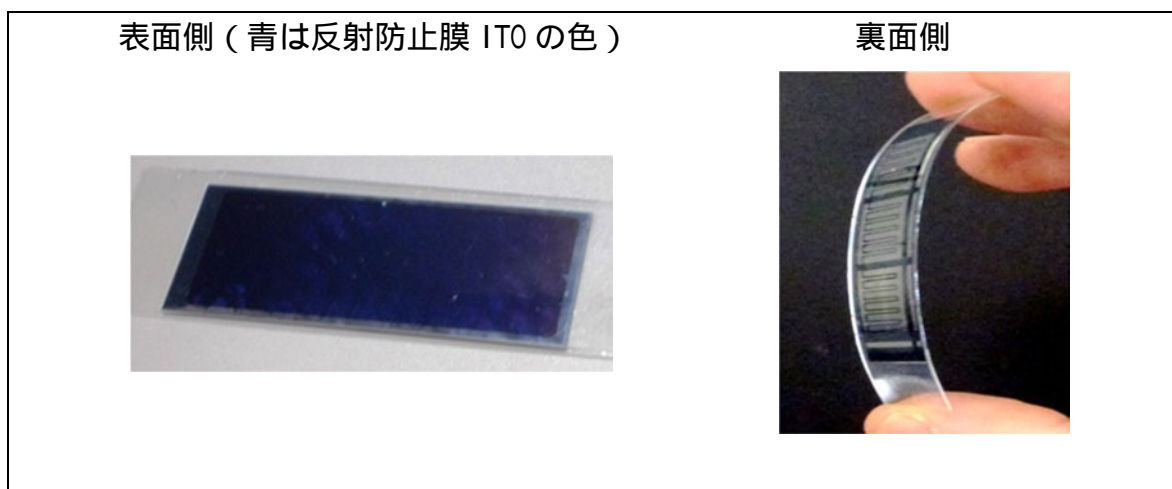


図 2 . 作製した厚さ 53 ミクロンの裏面電極型ヘテロ接合シリコン太陽電池(表面を PET フィルムに貼付け) の表面側と裏面側の外観

図 3 はこの太陽電池の作製工程で、エッチング（腐食処理）用マスクパターンの形成にインクジェット印刷が計 3 回使われています。インクには耐エッチング性をもつ市販のフォトレジストを用い、溶媒や濃度を調整の上、吐出条件や温度をシリコン基板上の印刷に最適化することで±50 ミクロンの印刷精度を実現し、フォトリソグラフィと同等の太陽電池特性を得ることができました。

シリコン基板には、今回は厚さ 280 ミクロンの基板を研磨およびエッチング加工によって薄くした物を用いましたが、一般的なスライス加工による基板などにも適用できます。

また、最終的に機械的保護などの目的で何らかのカバー基板に貼付けて使う場合も、太陽電池自体の作製を完了してから貼付けが行えるので、耐熱性などカバー基板に対する制約は少なくなります。

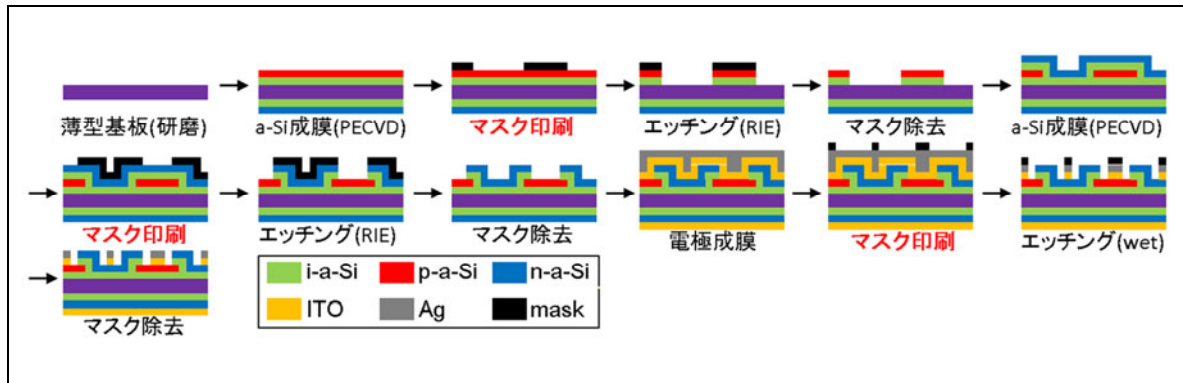


図3. インクジェット印刷によるパターニング技術を用いた裏面電極型ヘテロ接合シリコン太陽電池の作製工程

【今後の展望】

現状の変換効率はまだ十分ではありませんが、厚型の裏面電極型ヘテロ接合シリコン太陽電池で達成されている効率から推定して、厚さ50ミクロンでも20%程度の効率は達成可能であると考えています。このような高効率で薄型フレキシブルな太陽電池を材料として実績のある結晶シリコンで実現できれば、曲面形状を持つ建築物や携帯機器、ウェアラブルデバイスや自動車の屋根など、大型の太陽光発電用とは異なる幅広い分野にも応用が期待されます。

本学では、今後光閉じ込め構造などの採用などによって、変換効率の向上を進める予定です。また、地域イノベーション戦略支援プログラムは平成28年度で終了するため、開発した技術の企業などへの展開も図っていきたいと考えています。

【研究メンバー】

高岸 秀行 特任助教

野毛 宏 特任教授

斉藤 公彦 特任教授

近藤 道雄 客員教授（産業技術総合研究所 上席イノベーションコーディネーター）

【用語の説明】

◆ 地域イノベーション戦略支援プログラム

産学官連携のための大学等の機能強化、地域における産学官共同研究、地域の大学間ネットワークの形成、先端的な融合領域における研究開発拠点形成等を通じて、地域が主体的に実施するイノベーション創出のためのシステム整備を図ることを目的として、関係府省が共同で選定した「地域イノベーション戦

略推進地域」に対し文部科学省が平成 23 年度より実施している事業。福島県では、平成 24 年度に東日本大震災復興支援型の事業として、再生可能エネルギー先駆けの地ふくしまイノベーション戦略推進地域が採択され、福島大学、会津大学、日本大学、いわき明星大学の 4 大学が参画している。

◆ ヘテロ接合シリコン太陽電池

結晶シリコン基板上にアモルファスシリコン膜のヘテロ接合を形成した太陽電池。パナソニックの HIT の商標で知られるように、変換効率が高く、温度特性が良いなどの特徴を持っている。

◆ アモルファスシリコン

結晶シリコンとは異なり、原子の間隔が完全な規則性をもたない非晶質のシリコンで水素を多く含んでいる。通常、シランなどのガス原料から薄膜として形成される。

◆ フォトリソグラフィ

電極などのパターンを形成するため、写真製版を応用した技術。試料に感光性の樹脂（フォトレジスト）を塗布した後、フォトマスクを通して光を照射して露光部と非露光部とを形成し、現像により不要部分を除去する。半導体集積回路や液晶ディスプレイの微細加工には一般に広く用いられているが、印刷法に比べるとコストが高い。

◆ インクジェット印刷

インクを微小な液滴として対象物に吹き付けて印刷する技術。機構が単純で版下が必要でなく、平坦でない対象物にも印刷できるなどの特長がある。

◆ エピタキシャル・リフトオフ (ELO)

結晶シリコンの場合、母材となる結晶シリコン基板の表面を陽極酸化によって多孔質（ポーラス）状に変性し、その上にトリクロルシランガスなどを用いて結晶シリコン層を気相エピタキシャル成長した後、ポーラス部をエッチングなどにより除去して成長した結晶シリコン層を引きはがして薄い基板を得る技術。初期にはキャノンやソニーで開発が行われていたが、現在は欧州の研究機関や米国のベンチャーで開発が進んでいる。

◆ 光閉じ込め構造

太陽電池内部の光の屈折反射によって、特に吸収の小さい長波長域の光の光路長を伸ばす構造。通常、シリコン表面にテクスチャと呼ばれる数ミクロン前後の大きさの多数のピラミッドを形成することによって実現されるが、今回の太陽電池表面は平坦で、光閉じ込め構造を持っていない。