

2011.11.16

1079

NEDO 海外レポート

1	【エネルギー(蓄電池)】リチウムイオン電池の安全性を高めるアルゴンヌ研究所の特許技術 : カソードに対し、高い確率で過充電を回避するレドックスシャトル(米国) 2011/9/15 公表 <関連資料>	1
1-1	(1) 新設された材料工学ラボ(MEF)が早くも研究に成功(米国) (レドックスシャトルの製造 バッチの拡大)	3
2	【エネルギー(蓄電池)】パークレー研究所、より高性能なリチウムイオン電池を開発中(米国) 2011/9/23 公表	6
3	【再生可能エネルギー(太陽電池)】HETSI プロジェクトの成果閲覧が可能!(欧州) 2011/9/26 公表	12
4	【ナノテク材料(磁性材料)】アルゴンヌ研究所の安価なマグネット開発に 300 万ドルを 支援(米国) 2011/9/30 公表	16
5	【再生可能エネルギー(太陽電池)】グリッターサイズの太陽電池、レスキューロボットおよび 大学連携等のサンディア研究所の技術移転資金供与(米国) (太陽電池に係る部分のみ和訳) 2011/10/4 公表	18
	<関連資料>	
5-1	(1) グリッターサイズ太陽電池の優位性ある研究成果(米国)	21
5-2	(2) MEPV (Microsystems-Enabled Photovoltaics): 太陽エネルギー利用拡大への道筋 (米国)	26
5-3	(3) MEPV (Microsystems-Enabled Photovoltaics)セルのマイクロファブリケーション(米国)	35
6	【研究開発(エネルギー)】DOE (ARPA-E) が革新的エネルギー研究プロジェクトに 1 億 5600 万ドルの助成金を供与(米国) 2011/10/5 公表	53
	<関連資料>	
6-1	(1) ARPA-E (DOE の先端研究プロジェクト局) 選定プロジェクト-技術概要リスト(米国)	55
7	【研究開発(太陽電池)】サンショット・イニシアチブの成功例: GE がコロラドの新工場にて PrimeStar Solar 社の技術を用いた太陽電池パネルを製造(米国) 2011/10/14 公表	81
	<関連資料>	
7-1	(1) NREL のシリコンインク活用のための開発戦略(米国)	84
8	【エネルギー(蓄電池)】有能なナトリウム・イオン蓄電池を作る(米国) 2011/10/24 公表	92
9	【電子・情報(半導体)】4つのカラー・レーザーから作られる高品質の白色光(米国) 2011/10/26 公表	95

URL : <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/>

《本誌の一層の充実のため、ご意見、ご要望など下記宛お寄せ下さい。》

NEDO 総務企画部 E-mail : g-nkr@ml.nedo.go.jp Tel.044-520-5150 Fax.044-520-5204

NEDO は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の略称です。

(資料 1)

【エネルギー（蓄電池）】 **リチウムイオン電池** **レドックスシャトル** **過充電****仮訳**

リチウムイオン電池の安全性を高める アルゴンヌ研究所の特許技術（米国）

カソードに対し、高い確率で過充電を回避するレドックスシャトル

【2011年9月15日イリノイ州アルゴンヌ】DOE（米国エネルギー省）アルゴンヌ国立研究所の研究者らは9月14日、非常に安定した4ボルト・レドックスシャトル^{注1}の特許を取得した。何百回もの充電サイクルにわたり、リチウムイオン電池（カソード極材としてリン酸リチウム鉄が用いられているもの）を過充電から保護する。

リチウムイオン電池の過充電は熱暴走(thermal runaway)を起こす可能性があるため、安全面が特に懸念されている。熱暴走は大量の活性物質を含有する大型バッテリー（輸送、衛星、蓄電に使用）にとっても懸念事項の一つとして挙げられる。

アルゴンヌ国立研究所の物質科学者で、当該シャトル開発の研究グループの指導にあたる Khalil Amine 氏は次のように述べている。「バッテリーパックが充電される時、内部にある個々のセルはいろいろなレベルの充電残量を持っていると考えられる。過充電は通常、電池の蓄電容量以上の電気が流された場合に発生し、バッテリーパック全体に損傷を発生させる。」最近のうまく設計されたバッテリーは、セル単位およびバッテリー全体の充電残量を外部からモニタリング、コントロールすることで過充電を防止している。この新素材は、個々のセルの内部で機能するというアプローチから過充電に関する課題を解決する一つの手段となる。

「DBBB（2,5-ジ-ブチル-1,4-ビス(2-メトキシエトキシ)ベンゼン）としても知られるレドックスシャトルは、容量に達した個々のセルの充電プロセスを停止させるよう機能する。セル単位ごとに充電とその停止を調整できることから、バッテリーパック全体を過充電から保護できる。」と Amine 氏は述べている。

DBBBは電解質内に溶解し、リチウム・イオンに替わってアノード極とカソード極の間を移動するように機能する。研究所では、300回までの再充電に対する耐久性が実証されている。Amine氏は、レドックスシャトルは産業界でも検証実験が行われている最中であ

^{注1} レドックスシャトル: リチウムイオンに替わり、カソード極とアノード極を往復移動する物質（本文で後述されている）

るが、その結果は今のところかなり期待できるものだとしている。

アルゴンヌ研究所の研究開発プログラム (Argonne's Advanced Battery Materials Synthesis and Manufacturing Research & Development Program) では、Amine 氏らがベンチスケールの試験用に必要としていた 1 グラム以下の DBBB 製品を、すでに 1.5 キログラムの製造スケールに拡大させている (78-2 参照)。さらに多くのレドックスシャトル材料が、商用化の可能性の高い材料をテストしたいと望む企業から求められている。

この新しいレドックスシャトルの安定性および長期間にわたって繰り返し行われる過充電に対する耐久性は Amine 氏および共同研究者である Zhencheng Zhang 氏、Lu Zhang 氏、Wei Weng 氏らによって実証されている。

本研究は DOE 内にあるエネルギー効率及び再生可能エネルギー局 (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy) からの助成によるもので、アルゴンヌ国立研究所の研究者らによって開発された高機能バッテリー用素材の一つにあたる。

アルゴンヌ国立研究所は、切迫した国内の課題解決を科学技術によってめざす機関であり、あらゆる科学分野において最先端の基礎科学および応用科学の研究を行っている。アルゴンヌの研究者らは何百もの企業や大学、連邦、各州や地方自治体の関係者らと親密に関わりながら課題解決にあたり、科学分野における米国の指導的立場を発展させ、よりよい未来への基盤作りを行っている。DOE との契約の元、シカゴ大学が 100% 出資する研究所管理企業 (UChicago Argonne, LLC) によって運営されており、世界 60 カ国以上からの職員が働いている。

翻訳：NEDO (担当 総務企画部 望月 麻衣)

出典：本資料は、米国アルゴンヌ国立研究所の以下の記事を翻訳したものである。

“Argonne patents technology that increases safety of Li-ion batteries”

http://www.anl.gov/Media_Center/News/2011/reddox_shuttle.html

(関連資料 1-(1))

【エネルギー(蓄電池)】 リチウムイオン電池 材料工学仮訳

新設された材料工学ラボ(MEF)が早くも研究に成功 (米国)

新技術の市場での活用化を早めるプログラム

米国エネルギー省(DOE)所管のアルゴンヌ国立研究所の小さな研究者グループが、わずか数か月の研究を経て、最先端リチウムイオン電池を過充電による発熱から守る新微粒子の量産化に成功した。



アルゴンヌ研究所の研究者 Sabine Gallagher 氏。X線回折用に、バッテリーのカソードサンプルの取り付けを行っている。

アルゴンヌ国立研究所の材料科学者である [Khalil Amine](#) 氏と化学者の Zhengcheng Zhang 氏が、2,5 ジテルトブチル-1,4-ビス(2-メトキシエトキシ)ベンゼンすなわち DBBB として知られる [レドックスシャトル添加剤](#) を発明した際、彼らが作ったこの微粒子材料の量は、研究所でベンチスケールの科学テストや検証を行うには十分な量であった。しかし、この新材料のライセンス取得や製造に関心を持つ企業が認証・テストを行うには、彼らが用いたプロセスで作ることのできる微粒子材料は、1グラム以下とあまりに少なすぎた。

アルゴンヌ国立研究所の先端電池材料の合成および製造に関する研究開発プログラム (Advanced Battery Materials Synthesis and Manufacturing Research & Development Program) の実用化担当の研究者は、この製法を用いて測定可能な改良プロセスを考案し、実際のバッテリーで研究や認証を行うのに十分な量の新材料を、1バッチで 1,576 グラム製造するプロセスで作ったと、アルゴンヌ研究所のシステムエンジニアであり、量産プロセスを開発した研究チームの Greg Krumdick 氏は述べた。

科学者の研究では通常、大量の材料は必要としないが、新材料の製造を希望する企業にはこれが必要である。そして、その点がまさにこの研究の課題であり、大量生産を目指している新たな材料の実行可能性を検証する企業にとっては重要なことである。しかし、DBBB のような特殊な材料を量産することは容易なことではない。ケーキのレシピを 2 倍や 3 倍にするように、化学物質の調合量を 1,000 倍、10,000 倍、またさらにと増量すればよいといったことではないのである。

材料を少量だけ作る場合には考慮する必要のない時間、温度、濃度、混合速度などのそ

他の条件や、化学成分そのものまでもが、商業化に向けたテストや、市場での大量生産を計画する場合には考慮する必要がある。

「十分な量の材料を作るプロセスがなければ、十分な材料は絶対に得られない。」と Krumdick 氏は述べ、こう続ける。「量産化の研究は産業界がやるだろうといった誤った考えがよくみられるが、多くの企業は、量産プロセスを作るための多額の投資を行いたくないものだ。なぜなら、ふさわしい規模の材料を作ることが経済的に成立するかどうか判らないのであれば特に、それはリスクが大きすぎるからである。」

これは、アルゴンヌ研究所の連邦政府が資金援助を行っている上述の先端バッテリーの材料合成および製造の研究開発プログラムのプロセス工学、量産化技術、研究施設が、その効果を発揮しているケースである。

量産化生産プロセスの目標は、材料の経済的な生産方法を見つけることである。DBBB の発見に用いられたベンチスケール・プロセスでは、DBBB を 1 キログラム製造する量産プロセスの 20 倍以上のコストと、50 倍もの廃棄ロスが生じるだろう。また、新しい量産プロセスは、時間も 3 倍早い。しかし、商業規模の材料を作るためにベンチスケールのプロセスを用いることは、決して意図されなかった。

Krumdick 氏はこう述べた。「新材料を発見した時には、確かに目的は生産コストを抑えることではなく、それをいち早く作ることである。新材料が発見され、その将来性が示されたなら、これを量産化することが我々研究グループの仕事である。つまり、その材料を大量生産できる経済的な方法を見つけることである。」「DBBB の研究を終えた後、化学的分析により電子科学的な性能が判定され、初めて合成された材料と同一と分かった材料を、キログラム規模でバッチ生産した。この新しいプロセスはまた、高い収率と純度をバッチ毎に再現できる。」

Krumdick 氏は、製薬業界の Krzysztof Pupek 氏と Trevor Dzwini 氏の両者と共に、材料工学ラボ(Material Engineering Facility:MEF)で、DBBB を量産する量産化プロセスを日常業務として開発しており、この研究所で量産化研究が実施された。

DOE はイノベーションと商業化のタイムラグを埋めるため、米国再生・再投資法の予算から 580 万ドルを投じ、材料工学ラボの建設に資金提供を行った。米国防総省もまた、さらに 400 万ドルを材料工学ラボの建設向けに提供した。

米国防総省は、アルゴンヌ研究所のバッテリー研究にも関心を寄せている。Sharon Burk 国防次官補によれば、72 時間(3 日間)パトロールにあたっている普通の米国軍人は、10～20 ポンド(約 4.5～9kg)のバッテリーを携帯しているという。「米国の軍歩兵がその後に痕跡を残す使い捨てバッテリーによって、その巡回ルートを辿ることができる。」と、Martin Dempsey 陸軍参謀長は、5 月の米陸軍協会陸戦研究所(Institute of Land Warfare)での朝

食会議で述べている。米軍は、戦車の電子システムなど、あらゆる電子機器にバッテリーを使用している。これにより、そのシステムのいくつかが電池で稼働していれば、探知されずに、より長く現場にとどまることができるだろう。

材料工学ラボは、未だに完成していない。この研究所は1月には完成予定で、3つのパイロット規模の研究所と、産業向けの評価のための、特殊な材料を連続して最大100kgまで大量のバッチ生産が出来る質の高い柱間建屋が含まれる予定であると、材料工学ラボの建設を監督する Krumdick 氏は述べた。

アルゴンヌ研究所のエネルギー貯蔵研究イニシアティブを主導する Jeff Chamberlain 氏によると、同研究所は、材料工学ラボをその他の研究開発機関や企業にアクセスできる同じようなユーザー向けの施設にするよう計画している。この研究所と、科学者やエンジニアとの密なチーム体制づくりは、産業が米国のエネルギーイノベーションを市場へと移行させるために、アルゴンヌ研究所が取り入れているフルサークル(研究開発から実用化まで取り組む)アプローチの一つである。

「少なくとも2社のバッテリーメーカーが、DBBB レドックスシャトルに関心を示している。」と Chamberlain 氏は述べ、こう続けた。「グレッグとその研究チームがすでに、この材料の量産化に成功していたことで、アルゴンヌ研究所は、製品開発から、商業ライセンスの取得、製造に至るまでの時間を大幅に短縮できるようになるだろう。研究開発に投じた納税者の投資が返済されるまでの時間が短縮されるだけでなく、米国経済の成長のためのイノベーションへの貢献により、それだけ早く実現するだろう。」

アルゴンヌ国立研究所は、科学技術の国家的な差し迫った課題に対する解決策を模索している。米国初の国立研究所である同研究所は、実質的には全ての科学領域において、基礎科学と応用科学の研究を行っている。アルゴンヌ研究所の研究者たちは、何百もの企業、大学、連邦政府・州・地方自治体の機関の研究者たちと密に連携して研究を行い、具体的な問題解決に力を貸し、よりよい未来のために国家の態勢を整えている。アルゴンヌ研究所は60カ国以上の国籍の職員を抱え、DOEの科学局(Office of Science)の代わりに [UChicago Argonne, LLC](http://www.anl.gov) によって運営されている。

「関連情報：アルゴンヌ国立研究所が、エネルギー貯蔵研究に衝撃を与えている。 [本文を読む](#)」

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 原田 玲子）

出典：本資料は、以下、アルゴンヌ国立研究所の以下の記事を翻訳したものである。

” New materials engineering labs see early success”

http://www.anl.gov/Media_Center/News/2011/news110913.html

(資料 2)

【エネルギー（蓄電池）】 **リチウムイオン電池** **伝導性ポリマー** **シリコンアノード**

仮訳

バークレー研究所、より高性能なりチウムイオン電池を開発中（米国）

革新的な導電性ポリマーにより、次世代のリチウムイオン電池アノード向けに
低価格で高エネルギーなシリコンの利用が可能に

リチウムイオン電池は、スマートフォンやノート型パソコン、その他の様々な家庭用電化製品から最新の電気自動車まで、至る所に使われている。それらは良いものであるが、特にコストが下がり、電気自動車の領域まで広がった時には、さらに良いものとなりうるだろう。それを実現するためには、電池がより多くのエネルギーを蓄電する必要がある。

リチウムイオン電池のエネルギー貯蔵において、重要な部品の一つがアノードである。米国エネルギー省（Department of Energy : DOE）のローレンス・バークレー国立研究所（バークレー研究所）のチームは、新たな仕様のアノードを設計している。このアノードは、現行の仕様の8倍のリチウムを吸収でき、テストから1年以上経ち、何百回もの充放電サイクル後も、エネルギー容量が大幅に増加している状態を保持できる。

この大容量化の秘密は、開発されたポリマーである。このポリマーは電導性で、充電中に3倍以上の容積に膨張し、その後、放電中に再び収縮するにもかかわらず、リチウムを貯蔵するシリコン粒子を密接に結合している。この新たなアノードは低コストの材料で作られ、標準的なリチウムイオンバ

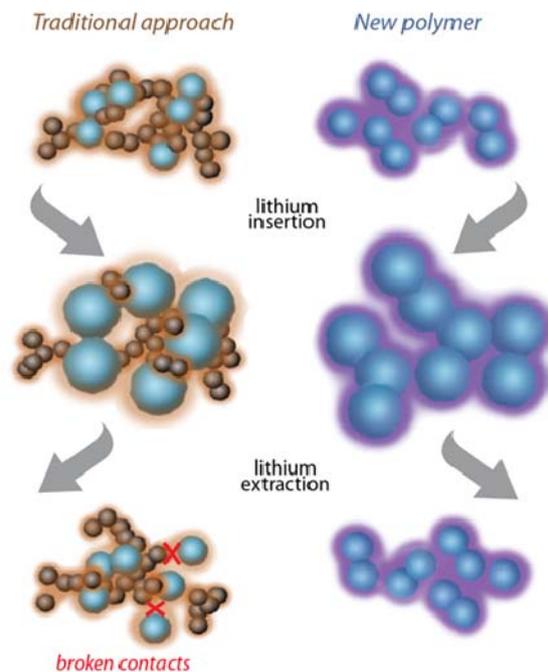


図 1
左：シリコン（青い球体）を使った従来の手法では、より高いエネルギー容量のために、PVDF（薄い茶色）などのポリマー結合体と、電導性の炭素粒子（濃い茶色の球体）を添加する。すると、シリコンはリチウムイオンを獲得・放出している間に膨張・収縮をし、その結果、電導性の炭素粒子間の接触を破壊してしまう。
右：バークレー研究所による新たなポリマー（紫）は、それ自体が電導性で、繰り返される膨張・収縮にもかかわらず、シリコン粒子間を強固に結合させ続ける。

バッテリー製造技術に適用できる。研究チームは、本研究での発見をウェブサイト『Advanced Materials』にて発表しており、現在サイト内で閲覧可能である。

高容量に拡張

バークレー研究所の環境エネルギー技術部門（Environmental Energy Technologies Division : EETD）所属で、バークレー研究所で運営され、DOEの自動車技術局（Office of Vehicle Technologies）の支援を受けるBATT（Batteries for Advanced Transportation Technologies）プログラムの一員であるGao Liu氏は、次のように述べる。「高容量リチウムイオンのアノード材は、電極のリチウム吸収時、常に容積変化（膨張）という課題に直面している。

現在のリチウムイオン電池の多くは、グラファイトから作られるアノードが使用されている。グラファイトは電導性であり、グラフェン層の間にイオンを格納すると、ゆっくりと拡張する。シリコンはさらに10倍貯蔵できる（リチウムイオン貯蔵材の中でずば抜けて高い容量である）が、フル充電時には、その体積は3倍以上に膨張する。」

この種類の膨張は、アノードの中の電気接触を急速に破壊してしまうので、研究者はアノードの電導性を保持しながらシリコンを使用する別の使用方法の発見に注力している。様々な方法が提案されているものの、それらは極めてコストが高い。

比較的成本のかからない方法の1つが、電導性の混合物にカーボンブラックを添加し、柔軟なポリマー結合剤の中にシリコン粒子を混入させる方法である。残念ながら、繰り返し起こるシリコン粒子の膨張や収縮は、リチウムイオンの取り込みや放出につれ、次第に添加されたカーボン粒子を押し出してしまう。カーボンを添加することなく、それ自体で電気を通せる柔軟な結合材が必要とされる。

「導電性ポリマーは、目新しいアイデアではない。しかし、これまでの取り組みでは良い成果は上がらなかった。なぜなら、これまでは導電性ポリマーを絶縁体にしてしまうリチウムイオン電池のアノード側の厳しい還元雰囲気を考慮に入れていなかったからである。」と、Liu氏は語る。

例えば、そのような試行したポリマーの1つに、PAN（ポリアニン）がある。これは正電荷を帯びており、始めは電導体であるが、すぐに電導性を失ってしまう。電子を容易に獲得し、アノードの還元雰囲気の中でも、ポリマーが電導性を保持するのが、理想的な導電性ポリマーである。

期待できるポリマーの特徴は、「最低空分子軌道」と呼ばれる低値の状態であり、そこ

では電子が容易に存在し、自由に動ける。理想的には、最初の充電プロセスの間に、電子がリチウム原子から獲得されることである。Liu氏とEETDの博士研究員Shidi Xun氏は、ポリフルオレンをベースとする導電性ポリマー（略してPFs）を設計した。

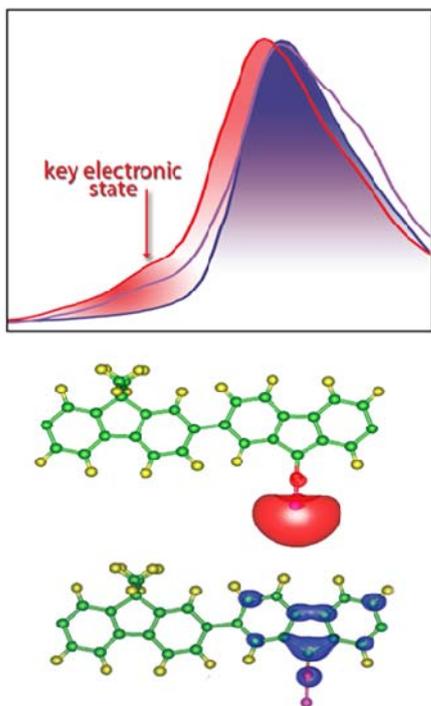


図 2

上：ALSのビームライン8.0.1の軟X線吸収光度法により得られた一連のポリマー吸収スペクトル。バークレー研究所の新たなポリマーPFFOMB（赤）が、他のポリマー（紫）より「最低空分子軌道」がより低くありながら、より高い電導性を示している。ここでの吸収曲線のピークは、キーポイントとなる低電子状態を表している。

下：シミュレーションにより、リチウムイオンが新たなポリマーと結合したとき、完璧な2ステージの電子電荷移動が明らかとなった。

Liu氏と、バークレー研究所の先進光源施設（Advanced Light Source : ALS）のWanli Yang氏が、PFsの優れた性能について討議した際に、新材料を理解すべく、科学共同研究が持ち上がった。キーポイントである電子の特性を特定するために、Liu氏やXun氏が候補に挙げるポリマーに、ALSのビームライン8.0.1を用いる軟X線吸収スペクトル分光を実施することをYang氏は提案した。

Yang氏は、次のように述べる。「Liu氏は、イオンや電子がどこに存在し、どこへ移動するかを知りたがっていた。軟X線分光法には、この種の極めて重要な情報を正確に提供する能力がある。」

PANの電子構造と比較すると、PFsのためにYang氏が獲得した吸収スペクトルは、即座に際立つものであった。これらの違いが最も大きかったのは、炭素・酸素の官能基（カルボニル基）を内蔵するPFsにおいてであった。

「我々には実験的証拠があった。しかし、我々が観察してきたものと、ポリマーとの関連性を見極めるためにも、第一原理からの理論的説明が必要であった。」と、Yang氏は語る。Yang氏はバークレー研究所の材料科学部門（Materials Sciences Division : MSD）のLin-Wang Wang氏に共同研究へ参加するよう要請した。

Wang氏と、同氏が指導する博士号取得研究員Nenad Vukmirovic氏は、バークレー研究所の国立エネルギー研究科学コンピュータセンター（National Energy Research Scientific Computing Center : NERSC）にて、有望視されるポリマーの第一原理計算を行った。Wang氏は、次のように語る。「この計算により、リチウムイオンがポリマーにどのように付着するかや、カルボニル官能基がプロセスを向上する理由などを含め、実際

に何が起きているかの説明がつく。計算が実験と見事に適合したことは、極めて素晴らしいことであった。」

このシミュレーションにより、カルボニル官能基などのPFの種類により「実際に何が起きているか」を確実に明らかにし、システムがうまく機能する理由を示した。リチウムイオンは、最初にポリマーと相互作用し、その後シリコン粒子と結合する。リチウム原子がカルボニル基を通じてポリマーと結合するとき、リチウム原子の電子をポリマーに渡す。このドーピング処理により、ポリマーの電導率を著しく向上させ、電子とイオンをシリコン粒子へ輸送するのを促進する。

成功に向けたサイクル

EETDでの物質合成、ALSの実験解析、そしてMSDでの理論的シミュレーションという一つのサイクルの実施により、肯定的な結果が得られ、改良を受けた新たなサイクルが開始された。電気特性とほぼ同じくらい重要であるのが、ポリマーの物理的特性である。そのため現在、Liu氏は物理的特性に別の官能基を加え、シリコン粒子がリチウムイオンを獲得、または失い、体積の変化を繰り返すときに、シリコン粒子に固着するポリマーを作り出している。

国立電子顕微鏡検査センター（National Center for Electron Microscopy : NCEM）にて、走査電子顕微鏡検査と透過電子顕微鏡検査により、32回の充放電サイクル後のアノードを対象とし、シリコン粒子が膨張や収縮を繰り返すような電池の作動中でも、改善されたポリマーは強く固着することが確認された。ALSでのテストやシミュレーションでは、加えられた機械的特性により、ポリマーの優れた電気特性に影響が及ぶことはないことが確認された。

「ALSやMSDの共同研究者からの情報提供がなければ、次世代のポリマーの何を改善でき、何を変更すべきではないかが明白にはならなかっただろう。」と、EETDの先進エネルギー技術部プログラム・マネージャーのVince Battaglia氏は述べる。

ALS科学的サポート部長補佐、および科学的サポートのグループリーダーであるZahid Hussain氏は、次のように語る。「本研究の成功は、材料開発への斬新なアプローチにおいて、合成、特性評価、そしてシミュレーションという最先端ツールを組み合わせるといって、珍しい事例を示している。このようなサイクル的アプローチは、それらの特性の基本的理解とともに、新たな実質的な材料の発見が可能となる。」

さらに良いことに、新たなPFベースのアノードは優れているだけでなく、安価である。

「商業用シリコン粒子を使用し、電導性の添加物を使わずに、本研究の複合アノードは現段階で最高の性能を示している。製造工程全体が低コストで、従来の製造技術で対応できる。このポリマーの商業価値はすでに大手企業に認識されており、その実用化の可能性はシリコンアノードを超えている。」と、Gao氏は述べる。

アノードはリチウムイオン電池技術の重要な構成部品であるが、決して唯一の課題ではない。共同研究はすでに次の段階に進んでおり、カソードを含む他の電池構成部品の研究を実施している。

###

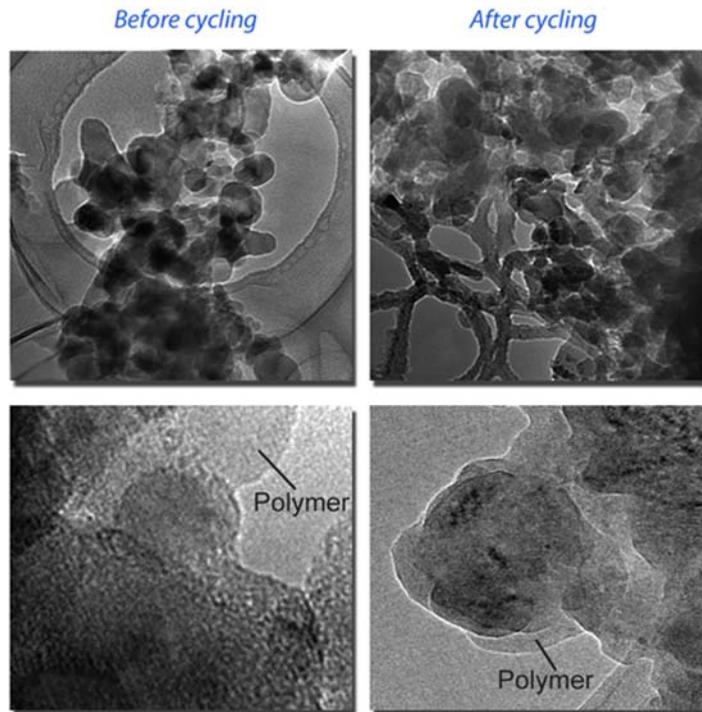


図 3

透過電子顕微鏡検査により、新たな導電性ポリマーの改善された結合特性が明らかになる。

左：充放電を繰り返す前の結合材中のシリコン粒子（下図は拡大画像）

右：32回の充放電後も、ポリマーは依然としてシリコン粒子にしっかりと結合しており、これにより650回以上の充放電サイクル試験後も、新アノードのエネルギー容量がグラファイトアノードより高いままである理由を示される。

『高容量リチウムイオン電池用電極に適した電子構造を有するポリマー (Polymers with Tailored Electronic Structure for High Capacity Lithium Battery Electrodes)』(著者：Gao Liu氏、Shidi Xun氏、Nenad Vukmirovic氏、Xiangyun Song氏、Paul Olalde-Velasco氏、Honghe Zheng氏、Vince S. Battaglia氏、Lin-Wang Wang氏、そしてWanli Yang氏) は、『Advanced Materials』にて掲載されており、ウェブ上で閲覧可能である。

(<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.201102421/abstract>)

BATTプログラムにおける本研究のための材料研究は、DOEエネルギー効率・再生可能エネルギー局 (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy) により支援を受けた。ALS、NCEM、およびNERSCは、DOEの科学局 (Office of Science) により支援を受け

た国立の科学研究用設備である。

DOE科学局は、米国の物理科学における基礎研究を支える唯一最大の支援組織であり、現代における最優先課題に取り組んでいる。詳細情報については<http://science.energy.gov> を参照。

BATT に関する詳細は、<http://batt.lbl.gov/> を参照。ALS に関する詳細は、<http://www.als.lbl.gov/> を参照。NCEMに関する詳細は、<http://ncem.lbl.gov/> を参照。NERSCに関する詳細は<http://www.nersc.gov/> を参照。

ローレンス・バークレー国立研究所では、持続可能なエネルギーの進展、人々の健康の保護、新材料の開発、そして宇宙の起源と終末の解明により、世界で最も緊急を要する科学的課題に取り組んでいる。1931年の創設以来、バークレー研究所の科学的専門性は、12件のノーベル賞により評価されている。カリフォルニア大学はDOEの科学局を管理している。詳しくはウェブサイト (www.lbl.gov) を参照のこと。

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 室井 紗織）

出典：本資料は、米国のローレンス・バークレー国立研究所の以下の記事を翻訳したものである。

“Better Lithium-Ion Batteries Are On The Way From Berkeley Lab”

<http://newscenter.lbl.gov/news-releases/2011/09/23/better-li-ion-batteries/>

(資料 3)

【再生可能エネルギー（太陽電池）】 太陽光発電 ソーラーパネル

仮訳

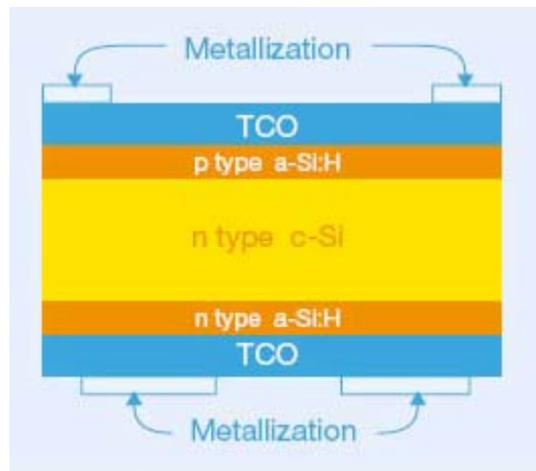
HETSI プロジェクトの成果閲覧が可能！（欧州）

HETSI^{注1}の基本方針：競争力のある太陽電池開発への挑戦は、シンプルかつ高性能で大量生産が可能となるプロセスを構築することで達成される。こうしたニーズに応えるためにデザインされた非常に将来性のあるセルが、超薄膜シリコンの低温成長技術によって製造されたエミッターと裏面電極をもつ、シリコンヘテロ接合太陽電池である。

このセルは、非晶質シリコン（a-Si:H：アモルファスシリコン）が特殊なパッシベーション面をもつエミッターと電極(base-contact)を構成し、薄い結晶シリコン（c-Si：クリスタラインシリコン）基板の両面を覆っている。

プロジェクト開始から 2 年の間に、ワークパッケージ(WP)^{注2}全体において大きな成果が得られている。

キャラクタライゼーション(特性評価)とシミュレーションをテーマに取り組んだ WP2 では意義深い成果が得られた。ドイツのヘルムホルツセンターベルリン(HZB)およびフランスの国立科学研究センター(CNRS)から提供された種類の異なる 2 つのソフトを使った 1 次元シミュレーションそれぞれの結果が、優れた相関関係を示したのだ。



シリコンヘテロ接合太陽電池
(HETSIのWebページのコンセプトより引用
<http://www.hetsi.eu/index.php?id=48>)

AFORS-HET^{注3}は、その汎用性と頑強性から 1 次元シミュレーションに使用されるこ

注1 HETSI: Hetero-junction solar cell based on a-Si/ c-Si (アモルファスシリコンと結晶シリコンを利用したヘテロ接合太陽電池) の略で、ヨーロッパ連合によるプロジェクトの名称

注2 ワークパッケージ: HETSI ではプロジェクト全体を 8 つに分類し、WP 1~WP 8 と呼んでいる

注3 AFORS-HET: automat for simulation of hetero structures の略で、HZB から提供されたソフト

とになった。2次元シミュレーションには、RCC^{注4}-HET構造をもつSILVACO社のソフトが使用される予定だ。この2つのソフトは、後から追加される物理現象を考慮してアップグレードされている。

特性評価の方法には、表裏両面を利用した光起電力法、直流および交流におけるフォトルミネッセンス法、分光偏光解析法、 μ PCD 法、QSSPC 法、キャパシタンス法、平面電導力測定法などが用いられ、バンドオフセットに関するより優れた情報が得られ、ヘテロ界面上での再結合に関する解析が改善された。

WP3 では大きな進展がいくつかあった。調査報告期間内においてはスイス連邦工科大学(EPFL)による湿式化学的処理法の進展が主な成果として挙げられ、 $2 \times 2 \text{cm}^2$ のPVセルにおいて19パーセントを上回る変換効率に至った。CNRSでは、フッ化水素処理するのと同じレベルの表面安定性が保てるよう、c-Siの表面を浄化するためのプラズマ条件が最適化された。さらにヘテロ接合電池のドライクリーニング処理としては初となる成果が得られ、現在までのVoc（開放電圧）最高値は693mVである。最終的にはPVセル前駆物質を用いたパッシベーション処理技術により、開放電圧値720mVも夢ではないレベルに達している。mc-Sの基板に関しては、エッチングで研磨し、洗浄され、20nm (i)a Si:HでパッシベーションされたPhotowatt社のmc-Siサンプルが、空間平均された1015立法センチメートル当たりで314 μ sの担体寿命をもち、1 sun^{注5}あたりの開放電圧値は想定で664mVになるとの結果が得られた。これはmc-Si基板としては優れた数値である。

WP4での透明導電酸化物のラウンドロビン実験はほぼ完了している。特に、酸化インジウムスズ(:ITO)、ZnO:B、ZnO:Al から構成されるさまざまな堆積法で製造されたTCO層のテストとその比較はすべて終了している。反射防止機能をもつ層に関しては、シート抵抗は50 /sqを下回り、関係する波長範囲において85パーセントを上回る透過性をもつシートが得られた。より厚みのある層でも、40cm²/Vsを超える移動度が測定されている。

複数のサプライヤーから様々な低温スクリーン印刷ペーストを仕入れ、メタライズ^{注6}テストも行った。このペースト中に酸化インジウムスズ(ITO)との接触抵抗が目標値を達成するものがあることを実証した。しかし、一度の印刷プロセスでは抵抗がまだ高すぎる。抵抗を一律に十分低くし、かつディスプレイ画面のアスペクト比を高くするためには、マルチ印刷プロセスが検討されるべきである。適切なマルチ印刷を行うことで、

^{注4} RCC : Rear Contact Cell の略で、セル上面の金属を取り除くことで、影を減らして採光を増やす

^{注5} 1 sun : 太陽光の強度を表す単位で、1000w/m²

^{注6} メタライズ : 金属をセラミックスなどの材料に付着、塗布、印刷させること

ついにメタライズが実際の太陽電池に広く採用され、78%までの曲線因子(Fill Factors)が得られるようになった。

コンソーシアムも WP5 において優れた成果を出している。フランス国立太陽エネルギー研究所(INES)では FZ シリコンウェハーで 19.5%、CZ シリコンウェハーで 19%の変換効率をもつ 125mm の角形太陽電池セルが作成された。Mc-Si を使った最初のテストでは 125mm 四方のウェハーを使用し、640mV の電圧で 15.5%の効率性を示した。EPFL も大面積の製膜が可能なプラズマ CVD 装置を使って、2*2 cm²に対して 19%を超える優れた効率性を得た。

RCC-HET 構造に関する研究が行われた WP6 では、目標であった 50cm/s を下回るセル上面のパッシベーションが達成され、1 cm²あたり 15%に達する変換効率を示したことにより RCC-HET 構造の概念が実証された。

モジュール製造プロセス (WP7) も、適用可能な PV セルの数は少ないものの、十分な成果をだしながら進行している。大面積の製膜に用いられるセルを利用した最初のモジュールには、PV セル同士を接続するために伝導性接着材が使用された。湿度と熱に対するテストでは、湿気の侵入を防いで ITO の感度を維持するために背面にアルミニウム箔が必要であることが明らかになった。

オランダのエネルギー研究センター(ECN)とドイツの太陽エネルギー関連会社(SOLON)によって、種々の課題にきちんと対処するために必要とされるセルの最小数量が試算された。INES はコンソーシアムから必要とされる 26 の PV セルを、極力早く提供することに注力する予定である。

最初の両面 NICE (新工業用 PV セルのカプセル化) モジュールは 4 つのセルから成る。このモジュールは高性能で、裏面の変換効率が上面の 85%を示す。しかしながら、PV セル同士の接続およびモジュール内部への圧に問題があるため、曲線因子の改善が必要とされる。

最後の WP8 では、以前よりも正確なプロセスフローが明らかになったため、より現実的な仮定に基づいて、2 度目のコスト試算が研究パートナーらによって実施された。

結論として、全ての WP が順調に進展をしており、期日までにほぼすべての初期成果報告がなされている。

成功プロジェクトにはよくあることだが、mc-Si の有用性、モジュールに対する PV セルの有用性、ストリングリボン法の有用性といった課題に起因する細かい修正は必要であった。

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 望月 麻衣）

出典：本資料は、欧州委員会 CODRIS の以下の記事を翻訳したものである。

“The Project HETSI results are now available!”

<http://cordis.europa.eu/wire/index.cfm?fuseaction=article.Detail&rcn=28110>

(資料 4)

【ナノテク材料(磁性材料)】 マグネット レアアース仮訳**アルゴンヌ研究所の安価なマグネット開発に 300 万ドルを支援(米国)**

ワシントン DC (2011 年 9 月 30 日) - 米国エネルギー省(DOE)は昨日、アルゴンヌ国立研究所が、低コストかつ軽量の、より優れたマグネットの開発をさらに進める研究に対し、300 万ドルの資金提供を行うことを発表した。

DOEのARPA-Eイニシアティブから 1 億 5,600 万ドルの資金提供を受けた 60 件の助成案件の 1 つとして、アルゴンヌ国立研究所の材料科学者、ナノテク技術者、エンジニアから成るチームが、ますます高価となりつつあるレアアース・マグネットに代わる優れた代替品を産業界に提供できると考えられる独特の「交換スプリング」磁石^{注1}の開発に取り組む予定である。

「DOE は、本当にトランスフォーマティブな研究を後押しし、科学者やエンジニアに、米国の繁栄とエネルギーの自給を推進することになる、市場の流れを変える新しい技術を開発する機会を与えるため、ARPA-E イニシアティブを策定した。」とアルゴンヌ研究所の Eric D. Isaacs 所長は述べ、こう続けた。「アルゴンヌ研究所のナノテクノロジーの専門知識を通して、国内で調達できる材料から製造できる手頃な新マグネットの開発をスピードアップし、最終的にはそれが、新たなグリーンエネルギー技術を商業化する上で重要な役割を担えることを望んでいる。」

永久磁石は、風車のジェネレーターや電気モーターによく用いられている。昨今の世界のエネルギー経済の発展は、これらのマグネットの基となるレアアース元素を重んじてきた。アルゴンヌ研究所の研究者たちは、ナノテクノロジーを用いて、これらのレアアース材料を必要としないマグネットを作りたいと願っている。

交換スプリング磁石は、いわゆる「ハード」と「ソフト」の、明らかに異なる 2 つの磁性材料を組み合わせている。「ハード」と「ソフト」の磁性材料を磁氣的にカップリングさせるこ

注1 交換スプリング磁石：サブミクロンの微細な硬質磁性相と軟質磁性相から構成され、これらの両相の間に磁氣的な交換結合作用が働いて、あたかも均一で様な磁石のように振る舞う新しいタイプの磁石。硬質磁性相と軟質磁性相を磁性のスプリングでつないでいるような磁化挙動をすることから、交換スプリング磁石と呼ばれる。(信越レア・アースマグネット社のHPより引用)

http://www.shinetsu-rare-earth-magnet.jp/design/words/e_s_m.html

とによって、それらの合成された磁場強度は増し、高温でも機能する。研究者たちは、「ハード」な外殻と「ソフト」なコアを持つマグネットをナノ構造で作ることにより、両タイプのマグネットの利点が得られることを期待しているのだと、アルゴンヌ研究所の主管プロセスエンジニアの John Hryn 氏は述べた。

産業用途に十分なサイズのナノ構造マグネットを作ることは、決して容易なことではないだろうと、アルゴンヌ研究所のナノテク技術者 Richard Brotzman 氏は述べた。このプロジェクトは、従来からのセラミックの生産に関する技術であり、スリップキャストリング(鋳込み成型)として知られるプロセスを用いてこれらを結合させる前に、ナノスケールで磁性微粒子を集合させる技術に依存することになるだろう。また、「スリップキャストリングにより、これらのナノ微粒子の磁気特性を最大化するよう配列させることができる。」とも述べている。

アルゴンヌ研究所はこの計画について、ペンシルバニア州の Electron Energy Corporation と提携を結んだ。

ARPA-E の使命は、米国のテクノロジー・リーダーシップを促進すると同時に、世界的エネルギー展望を変革させるために、巧妙で、クリエイティブかつ創意に富んだアプローチを展開することである。

ARPA-E は元々、2007年米国競争法(America Competes Act of 2007)の下で設立された。2009年4月、オバマ大統領は ARPA-E 向けに、米国再生・再投資法による第一次資金4億ドルの支援を発表した。今回の出資は、ARPA-E プログラムの下では、4回目の資金提供に相当する。

アルゴンヌ国立研究所は、科学技術の国家的な差し迫った課題に対する解決策を模索している。米国初の国立研究所である同研究所は、実質的には全ての科学領域において、基礎科学と応用科学の研究を行っている。アルゴンヌ研究所の研究者たちは、何百もの企業、大学、連邦政府・州・地方自治体の機関の研究者たちと密に連携して研究を行い、具体的な問題解決に力を貸し、よりよい未来のために国家の態勢を整えている。アルゴンヌ研究所は 60 カ国以上の国籍の職員を抱え、[DOEの科学局\(Office of Science\)](#)の代わりに[UChicago Argonne, LLC](#)によって運営されている。

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 原田 玲子）

出典：本資料は、以下、アルゴンヌ国立研究所の以下の記事を翻訳したものである。

”Argonne receives \$3 million to create cheaper magnets”

http://www.anl.gov/Media_Center/News/2011/news110930.html

(資料 5)

【研究開発(太陽電池)】 技術移転

仮訳

(米国サンディア研究所プレスリリース)
**グリッターサイズの太陽電池、レスキューロボットおよび
 大学連携等のサンディア研究所の技術移転資金供与**
 (太陽電池に係る部分のみ抜粋して和訳)

2011年10月4日

ニューメキシコ州 アルバカーキ - (エネルギー省) サンディア国立研究所(Sandia National Laboratories)は、ゆくゆくは太陽パネルのコストを半減させ、発電効率をほぼ倍増させることのできる、実用規模の太陽光発電システムのごく小さなサイズ(グリッターサイズ)^{注1}のPVセルの利用について研究を開始する。

Microsystems-Enabled Photovoltaic(MEPV)セルの設計、材料や製造プロセスを向上させるためのサンディア研究所と産業界、他の研究所や大学との共同研究は、Federal Laboratory Consortium (FLC) Mid-Continent Regional Excellence in Technology Transfer Award を獲得した。

サンディア研究所はまた、Gemini-Scout Mine Recue Robot およびニューメキシコ大学(University of New Mexico: UNM)との技術移転パートナーシップについて、複数の FLC award を獲得した。同資金は、最近カリフォルニア州モンテレーで供与された。

サンディア研究所の Technology & Economic Development のマネージャーである Jackie Kerby Moore 氏は「これらのプロジェクトによって、サンディア研究所の素晴らしい技術移転活動が認められ、地域の大学と連携した技術の商業化、最初の応答者へのツールの提供や、または太陽エネルギーを収集する革新的な方法の開発などで、サンディア研究所が引き続き影響力を持つ様々な道筋が明らかにされます。」と述べた。

このMEPVプロジェクトのチームリーダーであるGreg Nielson氏によると、サンディア研究所は、ニューヨークのUniversal Instruments Corp. および[Endicott Interconnect Technologies Inc.](#)、ニュージャージー州を拠点とするInternational Micro Industries

^{注1} 訳者注: “glitter-sized”; 「グリッターサイズの」すなわち「光を反射する装飾材料の薄片のような大きさのもの」(glitter: small pieces of light-reflecting decorative material: <http://www.thefreedictionary.com/glitter>)

Inc.、アルバカーキを拠点とするEMCORE Corp.、コロラド州ゴールデンのNational Renewable Energy Laboratory、そしてUniversity of South Floridaと共同でプロジェクトを実施している。今秋、カリフォルニア州を拠点とするDeposition Sciences Inc.およびUniversity of Delawareを含む新しいパートナーが加わる予定である。

プロジェクトのパートナー達は共同で、この極小サイズの太陽電池の生産に商業化が可能な製造技術を応用し、人間の毛髪の直径の3%程度である 2μ の厚さまで縮小する技術を含み、より効率的な生産方法を研究している。また、より効率的な材料と設計の研究も実施していると、Nielson 氏は述べた。



MEPV セルプロジェクトリーダーでサンディア研究所のリサーチャー、Greg Nielson 氏が、FLC Award を受賞したセルのサンプルを掲げている。(撮影: Randy Montoya)

高解像度拡大写

真: https://share.sandia.gov/news/resources/news_releases/images/2011/Nielson

サンディア研究所は 10 月に、グリッター太陽電池の大規模な太陽光発電システムへの適用と、1 フィート四方の MEPV 実証モジュールのプロトタイプ建設を開始する。

「電池がある程度開発されて、良好で安定したパフォーマンスを得られるまでになったので、システムの製作に取りかかります。」と Nielson 氏は述べた。「太陽電池はできたので、次はこれで何をしようかと。」

Nielson 氏によると、単一接合太陽電池をベースとするこの新しい MEPV 太陽光発電システムは、発電効率が 20%まで向上すると予測されている。これは、このシステムが太陽エネルギーの 5 分の 1 を取り込み、ワットピーク(watt-peak)当たり 1.8 ドルというコストになる。ワットピークとは、太陽光のピーク時に太陽光パネルが生産するワット量を計算する太陽光発電システムの評価方法である。概算見積もりには 18%の利ざやと、製造、労働、認可、システム設置のための積み上げと配線のコストが含まれている。

また、現在最も低価格の従来型の実用規模太陽光発電システムは、ワットピーク当たり約 4 ドルであるという。

単一接合の MEPV システムの概算見積もりが、現在消費者が系統からの電力に支払っている金額に対抗できるが、過去 10~15 年の間に開発された技術を利用したイノベーションにより更なるコスト削減と発電効率の向上を Nielson 氏は期待している。

Nielson 氏によれば、研究対象事項には以下が含まれる：太陽光の異なる波長を利用す

ることによりシステム効率を目標の 40%まで向上するための単一接合から多接合の電池への移行、エネルギー生産量を減少させずに生産に必要な太陽電池面積を減少するための太陽光線の集光、熱出力のより優れた管理、モジュール電圧を増大するための同電池の直列配置、設置コスト削減のためのモジュールへのインバーター直接配置、太陽エネルギーを捕捉するために必要な太陽追尾装置に必要とされる精密製をどのように低下させるかというモジュールの追尾設備コストの削減。

Nielson 氏はまた、「私たちが価格を下げるができると思っている根拠としては、私たちは PV 発電システムに対する今までと全く異なるアプローチをとっていることと、それが MEPV 電池技術をベースとしていることです。これは産業界がこれまでに採用していなかった方向なのです。」と述べた。

同氏はまた、プロトタイプ of MEPV 太陽光発電システムは、約 2 年で組立が可能であるが、厳格な信頼性と安全性の試験が要求されるため電力事業者や個人のビル向けのモジュールが商業市場に届くまでには少なくとも 7 年はかかりそうであること、しかしながら数年以内には、消費者はフレキシブルな MEPV パワーデバイスが、テント、衣類や電気製品などに組み込まれた形で利用できるようになるだろうと述べた。

困難な製造技術や研究プロジェクトに挑戦している企業は、Nielson 氏によると「PV セルのより先端的な技術はサンディア研究所が開発する一方で、関連技術の特定の局面の進展に大いに役立っている」という。

(以下、太陽電池に係る部分以外は略)

翻訳：NEDO (担当 総務企画部 松田 典子)

出典：本資料は以下の記事のうち、太陽電池に係る部分のみを抜粋して翻訳したものである。

Sandia Labs Press Release

“Solar glitter, rescue robot and university partnership earn Sandia technology transfer awards”

(https://share.sandia.gov/news/resources/news_releases/flcregionalawards/)

【再生可能エネルギー（太陽電池）】 PVセル 結晶シリコン MEMS

仮訳

グリッターサイズ太陽電池の優位性ある研究成果（米国）

マイクロエレクトロニクスと MEMS の技術が支えるマイクロソーラーへの挑戦

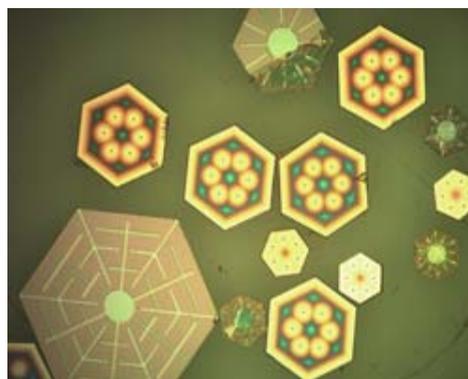
【ニューメキシコ州 アルバカーキー】 サンディア国立研究所の科学者たちは、グリッターサイズ^{注1}すなわち極小サイズのPVセルを開発した。これにより、太陽光を集めて発電に用いる方法に革命がもたらされると考えられる。

この小さな PV セルを、衣服など、普通とは異なる形状を囲むように成形されたフレキシブル基板にしっかりと取り付ければ、人を、歩くソーラーバッテリー充電器に変えることができるかもしれない。

結晶シリコンから作られるこのソーラー発電粒子には、多岐にわたる新たな用途が見込まれる。これらは最終的に、6 インチ(15.24cm) 角のソーラーウェハから構成された現在の光電エネルギー変換装置よりも安価で、変換効率の高い製品になると期待されている。これらの PV セルは、今日のファウンドリ（半導体の製造工場）に共通して見られるマイクロマシン(MEMS)技術を用いて作られている。

サンディア研究所の主任研究員 Greg Nielson 氏は、研究チームが極小 PV セルのサイズ上のメリットを 20 点以上確認したと述べた。これには、新たな用途、性能の向上、今後見込まれるコストの低下や変換効率アップなどがある。

「最終的にこれらの極小 PV セルは大量生産でき、建材一体型ソーラー設備、テント、ひいては衣服のような、普通とは異なる形状を覆うものになりえるかもしれない」と Nielson 氏は言う。こうすることで、野外で活動するハンター(狩猟を行う人)、ハイカー（ハイキングを楽しむ人）、軍人たちは、歩いたり休んだりしながら、携帯電話、カメラ、その他の電子機器の充電ができるようになるだろう。さらに良いことには、そのような微細構造設



写真は、典型的な薄膜型結晶シリコンの PVセル。これらの厚みは、14~20 マイクロメートルで、直径が 0.25~1 ミリメートル (画像提供: Murat Okandan)
[高解像度の画像](#)

^{注1} “glitter-sized”; 「グリッターサイズの」すなわち「光を反射する装飾材料の小片のような大きさのもの」 (glitter: small pieces of light-reflecting decorative material: <http://www.thefreedictionary.com/glitter>)

計が施されたパネルには回路をプリントできると考えられる。その技術は通例、現場での建築設計や許可証を必要とする大型建築に残される他の機能を果たすのに役立つであろう。



サンディア・プロジェクト主任研究員 Greg Nielson 氏が手にしているのは、極小サイズのレンズアレイが固定されているテストプロトタイプソーラーセル。これらを合わせれば、電池とレンズが集光型太陽光発電装置の製造に役立つ。(写真提供: Randy Montoya)
[高解像度の画像](#)

サンディア研究所のフィールドエンジニア Vipin Gupta 氏はこう述べた。「これらの極小 PV セルで作られた住宅や倉庫の屋上向け PV モジュールには、優れた制御機能、インバータ、ストレージまでもチップ単位で組み込むことができるだろう。そのような一体型 PV モジュールは、PV 技術支援を行う我々研究チームがこの分野で常に経験する面倒な設計、入札、許可、グリッド統合のプロセスを大幅にシンプル化することができる。」

大規模な太陽光発電について、サンディア研究所の研究者 Murat Okandan 氏はこう述べている。「サイズ上の最大メリットの一つは、現在の PV 技術を用いた発電に比べ、製造コストと

設置コストが大幅に削減されることである。」

低コスト化が見込まれる理由の1つは、極小 PV セルの場合、制御性に優れた変換効率の高いデバイスの形成に必要な材料が比較的少量で良いことによる。極小 PV セルは、厚さ 14 ~20 マイクロメートル(人毛の厚さは約 70 マイクロメートル)で、従来の 6 インチ (15.24cm)角のれんがサイズ PV セルよりも、厚みが 10 分の 1 の薄さながらも、ほぼ同じ変換効率で機能する。

100 分の 1 のシリコン量で同じ発電量

「このように、100 分の 1 の量のシリコンで同等の発電量が得られるのだ。」と Okandan 氏は言った。「それらはサイズがはるかに小さく、従来の PV セルに比べて、一定の環境で機械的ひずみを生じることは少なく、長期にわたり、より高い信頼性を維持する。」

もうひとつの製造上の利便性は、PV セルの直径がわずかに数百マイクロメートルであるため、現在用いられている直径 12 インチ(30cm)ウェハと将来的に用いられる 18 インチ(45cm)ウェハなど、あらゆるサイズの商業用ウェハから PV セルを製造できる点である。さらに、れんがサイズの PV セルでは、1 個に欠陥が見つければウェハ全体が使用できない可能性がある一方、極小 PV セルでは、その 1 個に製造上の欠陥が見つかって、残りの部分はなおウェハとして使用できる。また、さらに大きいウェハサイズのメリットを活かすために従来の 6 インチ角断面より大きく作ったれんがサイズのユニットでは、その増

加した電力を得るためにさらに大きい電力線を必要とする。その結果、コスト高になるとともに、おそらく、ウェハに太陽光を受けない部分が生じるだろう。このような問題は、極小サイズの PV セルの製造方法や、個別の回路配線にはみられない。

その他のユニークな機能は、PV セルが極小サイズであることによるものである。「我々が開発した PV セルは、影が生じることによる問題点が、従来の PV パネルよりも少ない」と Nielson 氏は述べ、こう続けた。「なぜなら、従来のパネルで部分的に影が生じて電気が完全に消えるかもしれない場合でも、我々が開発した PV セルは、影になっていない部分が電気を送り続けるからである。」

フレキシブル基板は容易に製造できるため、ユビキタスなソーラー発電用の高変換効率の PV セルの実現可能性はさらに高まってきていると Okandan 氏は言う。

極小 PV セルへと移行する市場は、6 インチ(15.24cm)角のウェハのアレイで構成された従来のシリコン PV モジュールから、劇的に変化するだろう。しかし、MEMS、エレクトロニクス、LED の業界で(シリコンの代わりにガリウムヒ素を使用することに伴う追加的な研究)に標準的に用いられている技術を取り入れることで、極小 PV セルへの移行は比較的容易になるはずだと、Gupta 氏は述べた。

各セルは、集積回路や MEMS の技術を取り入れることによって、シリコンウェハ上に形成され、エッチングされ、その後、各 PV セルにあらかじめ作られた電子端子を持つ 6 角形状に低コストに分離される。

従来の大型結晶シリコンウェハに対する同研究所の大きな投資の見返りとして、今ではサンディア研究所で作られた PV セルから、変換効率 14.9%で電気を得ることができる。一方、市販のモジュールの変換効率は、13~20%である。

量産用に広く使用されている「ピックアンドプレース」と呼ばれる機械(電子部品大型組み立ての主流方法となっている)は低温室内で1時間あたり13万個のグリッターを基板上で決められた電気接点(端子)上に配列していくことができる。コストは1モジュールにつき約1/10セントで、1モジュールに使用されるPVセルの数は光学濃度のレベルや金型のサイズによって異なり、1m²あたり1万~5万個のPVセルが使用される。まだ研究



サンディア国立研究所の科学者たち。
左からMurat OKandan、Greg Nielson、
Jose Luis Cruz-Campa (敬称略)。
彼らが手にしているのは、マイクロソーラ
ー電池アレイの入ったサンプル。(写真提
供：Randy Montoya)
[高解像度の画像](#)

所のベンチ試験段階ではあるが、代替技術にはさらに安価なコストでパーツを自己組織化 (self-assembly)する技術が盛り込まれている。

太陽光集光器 (低コスト・既製品・光学効率のよいマイクロレンズアレイを使用したもの) をグリッターサイズの PV セルごとに直接取り付けることで、光電効果により電子に変換される光子の量を増やす。この目的のために、極小サイズの PV セルではより安価で変換効率の高い短焦点マイクロレンズアレイの組み込みが可能となる。

1 つのアレイ内に多数の PV セルがあるため、モジュールから直に高電圧の出力が可能となる。これによりこれまで必要とされた電気配線関連のコストが下がり、高電圧をコントロールする際の抵抗損失も減るはずである。この他に応用可能な技術として、衛星や遠隔測定に関するものがある。

これに関連したプロジェクトに、サンディアのマイクロシステム研究所の 2 グループ (Photovoltaics and Grid Integration Group と Materials, Devices, and Energy Technologies Group)、および再生可能エネルギー研究所(NREL: National Renewable Energy Lab)のグループ(Concentrating Photovoltaics Group)から専門家が集まった。

Nielson 氏、Okandan 氏、Gupta 氏に加えて Jose Luis Cruz-Campa 氏、Paul Resnick 氏、Tammy Pluym 氏、Peggy Clews 氏、Carlos Sanchez 氏、Bill Sweatt 氏、Tony Lentine 氏、Anton Filatov 氏、Mike Sinclair 氏、Mark Overberg 氏、Jeff Nelson 氏、Jennifer Granata 氏、Craig Carmignani 氏、Rick Kemp 氏、Connie Stewart 氏、Jonathan Wierer 氏、George Wang 氏、Jerry Simmons 氏、Jason Strauch 氏、Judith Lavin 氏、Mark Wanlass 氏(NREL)。

本研究は DOE(Solar Energy Technology Program)およびサンディア研究所 (Laboratory Directed Research & Development program)それぞれのプログラムからの助成によって行われており、今年度は 4 つの技術カンファレンスで研究発表を行っている。

光が電子を発生させ、それが電気を生み出すことは 100 年以上も前から知られている。

サンディア国立研究所は複合プログラムを行う研究所で、米国エネルギー省国家核安全保障庁に委託を受けたロッキード・マーティンが 100 パーセントを出資するサンディア社によって運営されている。サンディアはニューメキシコ州アルバカーキーとカリフォルニア州リバーモアに主要施設をもち、国の安全、エネルギー環境技術、経済競争力の研究開発に関して大きな責任を担っている。

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 原田 玲子/ 望月 麻衣）

出典：本資料は、以下サンディア国立研究所の” Glitter-sized solar photovoltaics produce competitive results”の記事を翻訳したものである。

https://share.sandia.gov/news/resources/news_releases/glitter-sized-solar-photovoltaics-produce-competitive-results/

(関連資料 5-(2))

【再生可能エネルギー(太陽電池)】 マイクロセル シリコンセル GaAs(化合物半導体)セル仮訳

MEPV (Microsystems-Enabled Photovoltaics) 太陽エネルギー利用拡大への道筋 (米国)

Vipin Gupta, Jose Luis Cruz-Campa,
Murat Okandan, Gregory N. Nielson
サンディア国立研究所

アブストラクト

太陽エネルギーが主要なエネルギー源となるには、太陽光を利用する様々な技術が他のエネルギー形態よりも安価である必要があり、現行の系統電力に比較して安易かつ迅速に設置可能で、稼働の安全性、信頼性、耐久性においても優れていなければならない。私たちのリサーチ・チームは、半導体、液晶ディスプレイ(LCD: liquid crystal display)やマイクロシステム産業で利用されているマイクロデザインおよびマイクロファブリケーション技術を駆使して、それらを可能とするべく努力している。本稿では、マイクロスケールの結晶シリコンセルと GaAs(Ga: ガリウム、As: ヒ素)(結晶化合物半導体)セルで構成される MEPV(Microsystems-enabled photovoltaic)のコンセプト、即ちそれらのセルの太陽電池「インク」溶液中へのリリース、そして流体的なセルフアセンブリ(自己組織化)のアプローチ利用によるセル基板へのプリントについて説明する。私たちは現在までに、 $3\mu\text{m}$ の厚さで 10%の発電効率を持つ結晶 GaAs(化合物半導体)セルと、 $14\mu\text{m}$ の厚さで 14.9%の発電効率を持つ結晶シリコンセルを生産している。集光に関連したモジュール組立手法に伴うコストは、結晶シリコンと III-V 族半導体の優れた変換効率と耐久性を保持しながらも、ワットピーク当たり 1 ドルを遙かに下回っている。

私たちのビジョン

新たに出現する個人の交通手段の電化、信頼性の高い電力系統の無い場所でのエネルギー生産の分散化、化石燃料による大気放出に益々高まる関心、そして増え続ける電力の世界的需要のため、クリーンな方法で発電するポイント・オブ・ユーズ(point-of-use)な技

術への飽くなき需要がある。

私たちのチームは、そのような電力を提供するための最も効率的、汎用的で安価な MEPV セルを開発する努力をしている。私たちが想定しているものは、電力事業用の高集光の太陽追尾型 MEPV、水平な屋根用の低集光の平板型 MEPV、そして傾斜屋根、車輛、電化製品、人体用のフレキシブルな集積型 MEPV である。

太陽光発電技術をユビキタスな技術とするためには、必要となる高コスト半導体材料使用の低減、高効率なセルの開発、長期的な耐久性と信頼性の獲得、低コストな実装基板の利用、拡張可能な高速アセンブリプロセスの開発、そして系統接続回路の設置と配線を迅速に行う方法の確立など、多くを達成する必要がある。

私たちを含む世界中の数グループ[リファレンス 1~4 参照]が、飛躍的に PV 材料の使用を低減した小型で極薄の PV セルのプロトタイプを開発してきた。それらの極薄セルは、光電変換に必要とされる厚さ以上に厚いセル[4~6]と同等の機能を持ち合わせており、加工、ハンドリング、アセンブリ中のセルの破損を最小限に抑える。

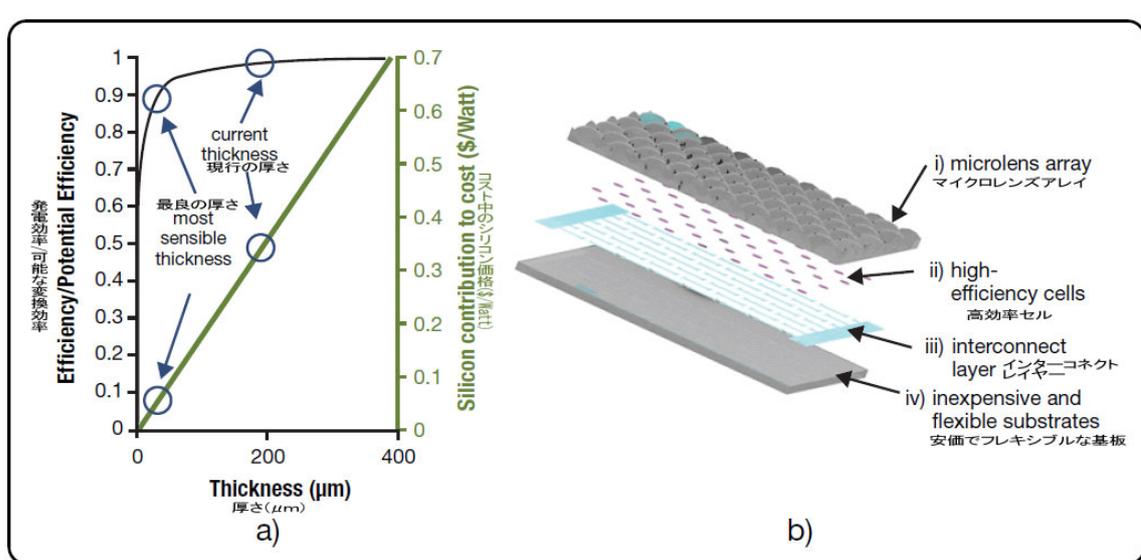


図 1 a) 厚さとシリコン太陽電池のコスト、可能な変換効率との関係
b) 4 層から成る MEPV モジュールのコンセプト

図 1-a)は、規格化されたセル効率(効率/可能な変換効率)とセルの厚さの関係を示す。ここでは、極小セルは 90%の可能な変換効率を保ちながらも、シリコン使用コストを著しく低減できることが示されている。このグラフでは、単色光がセルを通過すると仮定しており、背面反射器とライト・トラップ構造を追加した場合はより高い変換効率を得られ、こ

のカーブの屈曲部が厚さ $10\mu\text{m}$ 以下へと移動する[6]。

私たちの技術には、安価なモジュールを生産するための多様な技術が取り入れられている。図 1-b)は、私たちの取り組みの主要な 4 つの部分を示している： i)セルへ太陽光を集めるマイクロレンズアレイ、ii)極薄、小型の高効率ソーラーセル、iii)インターコネクションレイヤー、そしてiv)フレキシブルな基板に搭載された全体のシステム。

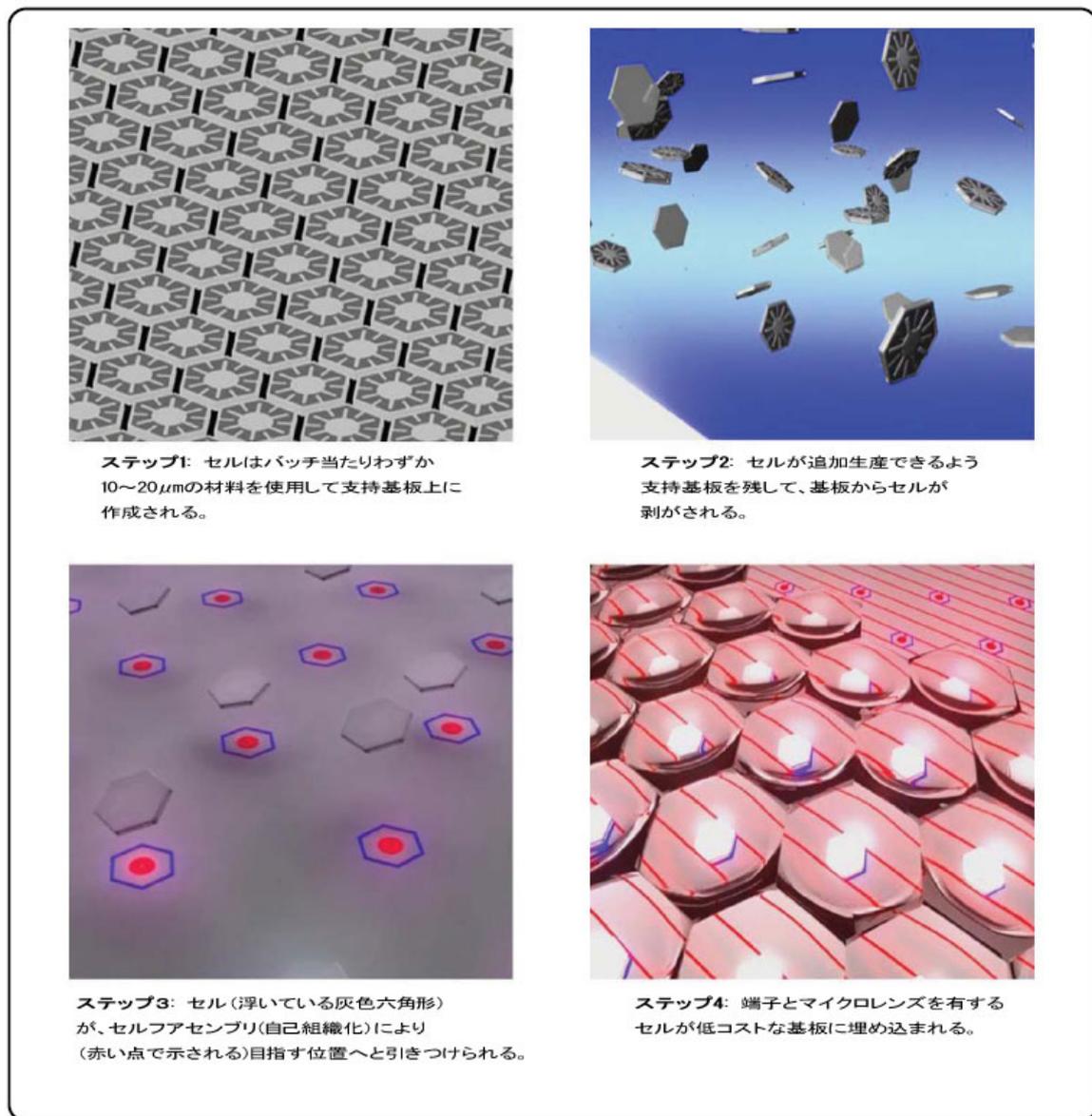


図 2 セルのリリースから最終アセンブリまで、マイクロセルの PV シート製造過程

私たちの取り組みの利点

私たちの取り組みでは、14~20 μm の厚さで、250 μm から 1mm の横寸法を持つ極小のソーラーセルを用いている。これにより PV モジュールコストを低減するための次に示す主要な 3 方法が可能となる[7]:(1)小さな横寸法のセルを作る (2) 薄膜セルを作る (3) マイクロコンセントレーターを作る。(1)に示す短い横寸法により、利用可能なウェハ部(例: 打ち抜きによるエッジロスの削減)のより効率的な使用が可能となり、六角形のセルを生産することにより利用領域が増えて、半導体製造業者が様々なサイズのウェハを利用できるようになる。(2)のセルを薄くすることにより、半導体材料のコストが低減され、キャリア収集が改善され、より高い回路電圧の達成が可能となる。さらに、(3)の小型化によって IC 製造ツールによる加工が可能となり、ほぼ理想的なセル機能を獲得できる(c-Si セル(変換効率): >20%、III- 族元素多接合(化合物半導体)セル(変換効率):>40%)。そして、マイクロ光学素子がそれぞれのセルに太陽光を集光させ、高コストな半導体材料の必要性を削減する。これらの 3 方面からの取り組みにより、高コストな材料が不要となり全体のシステムコストを削減し、使用される PV 材料のグラム当たりの変換効率が高まる。

私たちの手法のもう一つの利点は、マイクロエレクトロニクスやマイクロシステムの生産に利用される成熟した技術とツールを使用しているということである。これにより、従来の広い面積の薄膜セルに比べ、安定した IV 特性と高い変換効率、より優れた堅牢性を備えたマイクロソーラーセルの生産が可能となる。全ての製造工程(パターニング、ディフュージョン、パッシベーション、メタライゼーション)は、ハンドリングを容易にするために、マイクロセルが基板ウェハに貼り付いた状態で実施される。それから、数千枚もの極薄マイクロセルが、犠牲層つまり異方性エッチング(リフトオフ技術)によりウェハから剥がされ、溶液中へとリリースされる。15~25 μm の支持基板のみがそれぞれのバッチで使用され、残った部分はマイクロセルの別のロット生産に再利用される。それぞれの基板ウェハ(例: c-Si や GaAs, Ge)は、一度の製造工程で使用終了とならず、このように何度も再利用が可能である。

マイクロサイズ加工では続いて、決められた場所へセルを配置するために、新規の実施可能なパラレルセルフアセンブリ方法[8]を必要とする。これらのアセンブリコンセプトは、安価な基板の上にセルのアレイを作るためにエネルギー最小化アプローチを利用している。セルは、ほぼ平らなモジュールを作り出す低コストでフレキシブルな材料に埋め込むことができる。図 2 では、この技術を利用した PV シートの製造方法を示す。

セルレベルで得られる利点に加えて、セルのスケールによるモジュールおよびシステムレベルでの複合的な利点がある。まず、小さなセルのサイズにより、フレネルレンズに代わるより高い光学効率が得られて安価なレンズ(技術)[2]の利用が可能となる。また、削減

された厚さとセルの小さな横寸法により(集光設計において特に重要である)PV モジュールの熱負荷の管理が簡易化される。そしてマイクロスケールの PV コンセントレーターにより高精度で高帯域トラッキングが可能となり、トラッキングのコストと複雑さを低減し、同時に強風下でも(トラッカーの高速レスポンスにより)指向精度が得られる [7、10 参照]。そして最後に、積層された面内のトラッカーを具備した小さな形状因子(すなわち薄膜の)のコンセントレーターモジュール(集光モジュール)は、発電での使用時に平面状態にマウントすることができる。

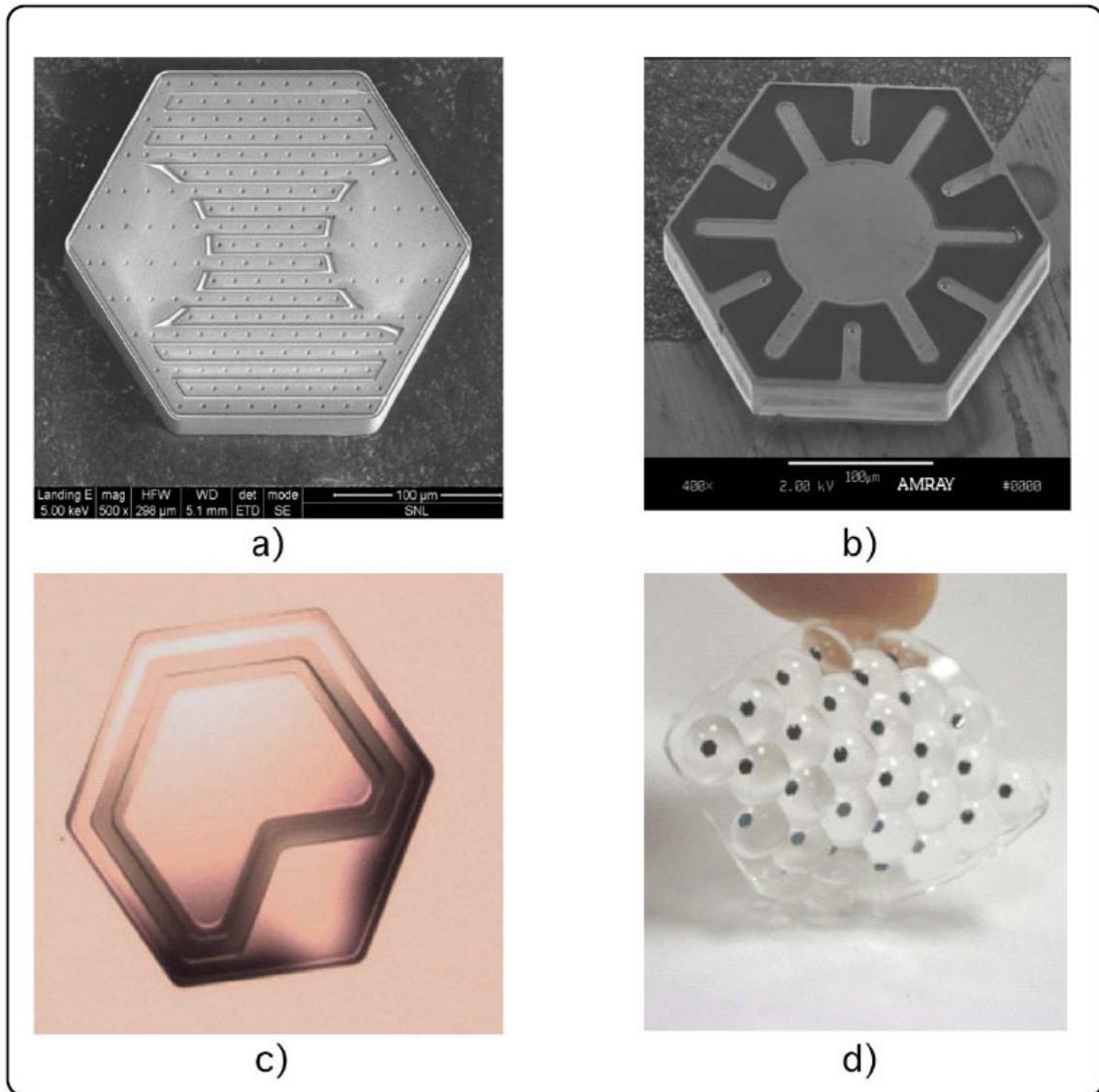


図 3 リリースされた PV セルの写真 : a) 横方向くし形電極を用いて異方性 KOH アンダーエッチングによりリリースされた 250μm 幅のシリコンソーラーセルの走査電子顕微鏡(SEM: scanning electron microscope)によるイメージ ; b)積層された二酸化ケイ素層を利用してリリースされた、放射状の端子を持つ 250μm 幅のシリコンソーラーセルの SEM イメージ ; c)積層された AIAS 層を利用してリリースされた 250μm の GaAs ソーラーセル ; d)セルが埋め込まれマイクロレンズが組み込まれたフレキシブルなメカニカルモデル

現在までの成果

私たちの技術を用いて 250 μ m から 1mm の横寸法の極薄ソーラーセルを作成した。単結晶(111)、または単結晶(100)の結晶方位および単結晶 GaAs を含む様々な材料、手法、デザインを利用した。セルからウェハを引き剥がすために使用した薬品と技術によって、手法は異なる：(100)配向シリコンウェハは、積層された二酸化ケイ素の犠牲層を使用する一方、(111)配向シリコンウェハは、セルを切り取る水酸化カリウム(KOH)による異方性エッチングを活用する。GaAs(化合物半導体)セルの場合、リリースされる犠牲層は AlAs である。

私たちのソーラーセルのデザインには以下が含まれる：

-) 裏面電極付きシリコン放射パターン； ii)シリコン背面接点相互くし形フォーマット；
-) 極薄、単一接合の裏面電極付き GaAs(化合物半導体)セル。図 3 は異なる材料、手法、設計により作成したセルの光学・SEM イメージ、およびマイクロレンズアレイを組み込んだ安価でフレキシブルな基板に積層されたセルを持つメカニカルモデルを示す。

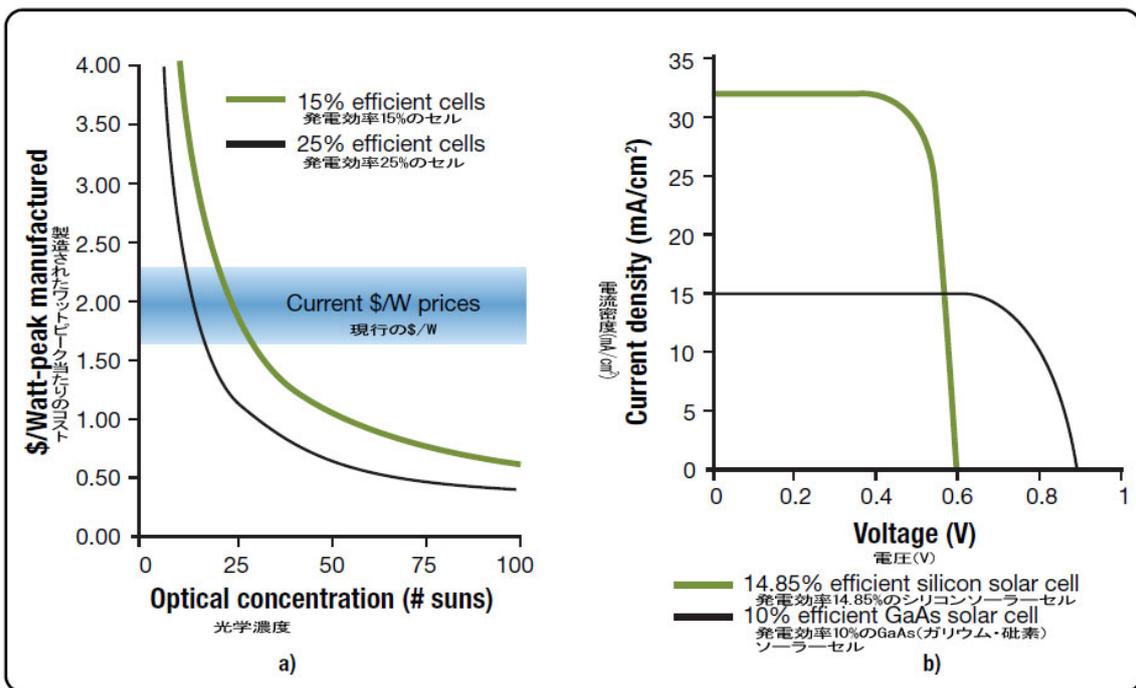


図 4 a) 技術のコスト分析：\$/Watt に対する \$25/m² と組立コストを仮定した異なるセル効率の光学濃度
b) マイクロセルの実験 J-V 測定曲線

MEPV 技術の商業化の可能性を検討するために、コスト分析を実施した。そこでは、太陽光束を 100mW/cm²、ウェハの加工コストを一枚当たり \$150、ウェハの直径を 200mm、組立コストを \$25/m²、回収率を 95%としている。この分析により私たちの開発した技術のコストは、中程度の集光(50 倍以下)と大量パラレルアセンブリを利用することでワットピ

ーク当たり 1\$であることがわかった。

私たちの技術により、これまでに $14\ \mu\text{m}$ ($13.7 \pm 0.38\ \mu\text{m}$) の厚さで変換効率が 14.9% の結晶シリコンセルと、 $3\ \mu\text{m}$ の厚さで変換効率が 10% の GaAs(化合物半導体)セルを開発した[11]。このようなパフォーマンスレベルは、現在市場にある 10~15 倍の厚さの PV セルのシリコンベースモジュールの変換効率に匹敵するものである。図 4 の b) は、私たちの開発したシリコンセルと GaAs(化合物半導体)セルについて電流密度・電圧(J-V) 曲線を示す。それらセルのテストには、基準シリコン太陽電池と $1000\text{W}/\text{m}^2$ にノーマライズした太陽シミュレーターを使用した。

結び

現在、合衆国では電力、ヒーティング、輸送に使用されるエネルギーの 0.1% が PV を含む太陽エネルギー発電によって賄われている。PV の導入が複式による年間成長率(基準年からの成長率)40%の伸びを見せるようになり、その結果合衆国および世界のエネルギーポートフォリオにおいて 1 世代内に 40%を占めるようになれば[12]、PV セルの開発、アセンブリ、設置、稼働および寿命による処分におけるテクノロジーブレークスルーが必要となる。

本稿に記される MEPV のコンセプトは、このような展望を実現するための一つの技術の道筋を示している。私たちのチームが開発した、それぞれ発電効率 10%と 14.9%、厚さ $3\ \mu\text{m}$ と $14\ \mu\text{m}$ の GaAs(結晶化合物半導体)セルと結晶シリコンセルは、この道筋においてブレークスルーの可能性を示唆している。図 2 に示されるパラレルセルフアセンブリ手法、および図 4-a) のコスト分析とともに図 4-b) にプロットする実験成果を組み合わせると、ワットピーク当たりのコストが PV 薄膜技術を含んだ他のエネルギー方式と同程度、またはそれを下回るコストで MEPV 製造手法が開発できる合理的な可能性があるように思われる。

未来的な思想家である Tom Friedman 氏が採用し良く知られる説に反して、世界はフラット化していない[13]。世界は自然地形、人間が作った巨大構造物、携帯用電子機器、車輛や身体などの様々な形や曲線輪郭であふれている。これら全ての PV の使用が見込まれているホスト(機器、設備、物品等)には、重要な機器等に電力を供給する効率的で汎用的かつ安価な PV デバイスを受け入れる体制がこれまで以上に整いつつある。MEPV は、そのようなデバイスを提供することができる。私たちのチームはそれを実現化する技術的な方法を開発する自分たちの任務を果たすことに専心している。

アクナレッジメント

サンディア研究所は、Sandia Corporation、Lockheed Martin Company によって運営されている DE-AC04-94AL85000 契約の下米国エネルギー省(DOE)の NNSA に所属するマルチプログラム研究所である。本稿の研究開発は DOE の Solar Energy Technology Program PV Seed Fund によって支援された。著者は以下の MEPV チームの研究者に対しその貢献に感謝する：Catalina Ahlers, Michael Busse, Craig Carmignani, Peggy Clews, Anton Filatov, Jennifer Granata, Robert Grubbs, Rick Kemp, Judith Lavin, Tom Lemp, Tony Lentine, Kathy Meyers, Jeff Nelson, Mark Overberg, David Peters, Tammy Pluym, Paul Resnick, Carlos Sanchez, Carrie Schrx~idt, Lisa Sena-Henderson, Jerry Simmons, Mike Sinclair. Constantine Stewart, Jason Strauch, Bill Sweatt, Benjarnin Thurston, George Wang, Mark Wanlass, and Jonathah Wierer.

リファレンス

1. W.P. Mulligan, A. Terao, D.D. Sinith, P.J. Verlinden, R.M. Swanson, "Development of chip-size silicon solar cells," Conference record on the 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (2000) 158-163.
2. J. Yoon, A.J. Baca, S.I. Park, P.S. Elvikis, J.B. Geddes 111, L. Li, R.H. Kim, J. Xiao, S. Wang, T.-H. Kim, M.J. Motala, B.Y. Ahn, E.B. Duoss, J.A. Lewis, R.G. Nuzzo, P.M. Ferreira, Y. Huang, A. Rockett, J.A. Rogers, "Ultrathin silicon solar micro cells for semitransparent, mechanically flexible, and microconcentrator module designs," Nature Materials 7 (2008) 907-91S.
3. K.J.Weber, A.W. Blakers, M.J. Stocks, J.H. Babaei, V.A. Everett, A.J. Neuendorf, P.J. Verlinden, "A Novel Low-Cost, High-Efficiency Micromachined Silicon Solar Cell," IEEE Electron Device Letters 25 (2004) 37-39.
4. G.N. Nielson, M. Okandan, P. Resnick, J.L. Cruz-Campa, T. Pluym, P. Clews, E. Steenbergen, V. Gupta, "Microscale c-Si (c)PV cells for low-cost power," Conference record on the 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (2009) 1816-1821.
5. T.H. Wang, T.F. Cizek, C.R. Schwerdtfeger, H. Moutinho, R. Matson, "Growth of silicon thin layers on cast MGSi from metal solutions for solar cells," Solar Energy Materials and Solar Cells 41-42 (1996) 19-30.
6. M.A. Green, "Limiting Efficiency of Bulk and Thin-Film Silicon Solar Cells in the Presence of Surface Recombi-nation," Progress in Photovoltaics: Research And Applications 7 (1999) 327-330.
7. G.N. Nielson, M. Okandan, P. Resnick, J.L. Cruz-Campa, P. Clews, M. Wanlass, W. Sweatt, E. Steenbergen, V. Gupta, "Microscale PV cells for concentrated PV applications," Conference record. of the 24th EU PVSEC (2009) 170-173.
8. S. Shet, R.D. Revero, M.R. Booty, A.T. Fiory, M.P. Lepselter, N.M. Ravindra, "Microassembly Techniques: A Review," Conference record on the Materials Science and Technology (2006) 451-470.
9. J.L. Cruz-Campa, M. Okandan, M. Busse, G.N. Nielson, "Microlens rapid prototyping technique with capability for wide variation in lens diameter and focal length," Microelectronic Engi-neering (2010) in press.

10. W.C. Sweatt, B.H. Jared, G.N. Nielson, M. Okandan, M.B. Sinclair, A. Filatov, A. L. Lentine, "Micro-Optics for High-Efficiency Optical Performance and Simplified Tracking for Concentrated Photovoltaics (CPV)," OSA International Optical Design Conference (IODC), in press.
11. J.L. Cruz-Campa, G.N. Nielson, M. Okandan, M. Wanlass, C. Sanchez, P. Resnick, P. Clews, T. Pluym, V. Gupta. "Back contacted and small form factor GaAs solar cell," Conference record of the IEEE 35th Photovoltaic Specialists Conference (2010) in press
- 12.S. Dwyer, "Solar Growth Rate Projections to Make Solar Mainstream in the United States," DOE Tiger Team Technical Memorandum, August 3, 2009, 1-3.
- 13.Friedman, Thomas L., "The World Is Flat: A Brief History of the Twenty-First Century;" Farrar, Straus and Giroux (2005).

著者詳細

Vipin Gupta is a systems engineer. His work focuses on system functionality, technology innovation, solar technical assistance, human factors engineering, group development and dynamic organizational behavior. Vipin earned his Ph.D. in applied physics from Imperial college London as a U.S. Marshall Scholar.

Jose Luis Cruz-Campa is a Ph.D. student intern, His research explores the scaling effect in silicon and thin film PV. Jose Luis has received 12 awards and scholarships for his academic achievements, and is president of the MRS chapter at the University of Texas El Paso. He has presented his research in 12 conferences, on local television, and has authored and co-authored six technical publications.

Murat Okandan is an electrical Microsystems engineer. His work has focused on solid state device physics, device design, microelectronics processing, and sensors. Murat has authored and co-authored over 30 technical publications, holds 12 patents and has seven patents pending. He received his Ph. D. from Pennsylvania State University in electrical engineering.

Gregory N. Nielson is an optical Microsystems engineer. He is known for successfully demonstrating new techniques for optical MEMS switching that led to world-record switching speeds. Since serving as a Truman Fellow at Sandia National Laboratories, Gregory has explored ways for Microsystems to enable new solar technologies. He received his Ph.D. from MIT in optical Microsystems.

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 松田 典子）

出典：本資料は以下の記事を翻訳したものである。

Microsystems-Enabled Photovoltaics: A Path to the Widespread Harnessing of Solar Energy

http://photovoltaics.sandia.gov/Pubs_2010/2011/Microfab_of_MEPV_Cells_SPIE_2011.pdf

(関連資料 5-(3))

【再生可能エネルギー(太陽電池)】 **MEPV** **マイクロファブリケーション**
マイクロソーラーセル **結晶シリコンセル** **GaAs セル**

仮訳

MEPV (Microsystems-Enabled Photovoltaics)セル のマイクロファブリケーション (米国)

Gregory N. Nielson^a, Murat Okandan^a, Jose L. Cruz-Campaa, Paul J. Resnicka, Mark W. Wanlass^b,
 Peggy J. Clews^a, Tammy C. Pluym^a, Carlos A. Sanchez^a, Vipin P. Gupta^a,
^aサンディア国立研究所 (Sandia National Laboratories)
 1515 Eubank Blvd. SE, Albuquerque, NM USA 87123
^b再生可能エネルギー研究所 (National Renewable Energy Laboratory),
 1617 Cole Boulevard Golden, CO USA 80401

アブストラクト

MEPV(Microsystem-Enabled Photovoltaic)セルによって、太陽光発電システムがそのサイズを縮小させていく課程で得られるスケール効果が生かされる。私たちは厚さ 5~20 ミクロンで幅 250 ミクロンの MEPV セルを開発した。それぞれ 14.9%と 11.36%の太陽光変換効率の c-Si セル(結晶系シリコンセル)および GaAs セル(ヒ化ガリウム(化合物半導体)セル)を開発・実証した。この研究開発活動の中で、私たちは PV システムコストを低減し、パフォーマンスを向上し、または新しい機能性をもたらすという 20 点のスケール効果を確認した。

私たちは、これらのセルを製造するために、様々なマイクロシステム技術からマイクロファブリケーション技術を併用してきた。標準的な機器類とウェハの厚さを利用し、リリース前に高温度下の加工が可能で、リリース後の残ったウェハの再加工と再利用が可能となるプロセスフローの開発に重点を置いた。c-Siセルの接合は、背面の接点PV セルプロセスを利用して製作した。GaAs(化合物半導体)セルはエピタキシャル成長接合を持つ。水平接合にかかわらず、これらはバックコンタクト(裏面電極型)セルである。本稿には直近の開発状況と接合の形成、パッシベーション(表面安定化処理)、メタライズ(メタライゼーション)、そしてリリース^{注1}を含む全工程の詳細を掲載する。

キーワード : Microsystems enabled photovoltaics, micro solar cells, miniature solar cells, fabrication

注1 シリコン基板等でドーピングして作成した半導体(太陽電池セル)をエッチングにより基板より切り離すことを言う(図4参照)

1. 序論

本稿では、マイクロシステムの機器と技術を利用した小型のシリコンソーラーセルの設計と製造について記述する。それらの小型ソーラーセルにより、新しいアプリケーションと、コスト、重量、製作に必要な材料の大幅な低減などの利点を併せ持つ新しいレベルの太陽電池が誕生する。

c-SiおよびGaAsの2種類のセルの作成について説明する。これらのセルはそれぞれ、セルを形成するためにウェハの表面から材料の1~20 μm をリリースし、残った部分を再利用できるメカニズムを利用している。c-Siセルは、SOI(silicon-on-insulator)ウェハ(放射状電極設計と呼ばれる)とフッ化水素酸(HF: hydrofluoric acid)か、または水酸化カリウム(KOH: potassium hydroxide)と(111)配向シリコンウェハ(リニア電極設計と呼ばれる)によってリリースされる。GaAs(化合物半導体)セルは エピタキシャル・リフトオフ¹(ELO: epitaxial lift-off)と同様なヒ化アルミニウムリリース層とHFリリース化学構造を利用してリリースされるが、従来使用されるセルのリリースハンドルを用いない。図1に代表的なc-Siセルのイメージを示す。

特に高コストな結晶系半導体材料で極薄のソーラーセルを製造することには明らかに有利な点がある。十分な吸収を得られる必要最低限まで厚さを薄くすることにより、材料使用量を大幅に節約することができる。図2はシリコンセルの厚さを減少させることにより実現化されるコスト削減について示す。

また、セルの(横)幅を縮小することにより、もう一つのスケール効果による利点が生まれる^{2,3,4,5,6}。これらの利点はPVセル、モジュールおよびシステムパフォーマンスを向上させ、従来のセル技術では得られなかった新しい機能性の発見へと繋がり、最終的にはセル、モジュール、システムコストを削減するための多様な道筋へと繋がる。

*gnniels@sandia.gov; 電話 1 505 284 6378; ファックス 1 505 844 2081;

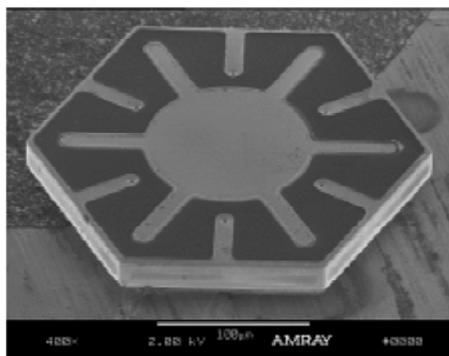


図1 厚さ 20 ミクロン、直径 250 ミクロンの結晶系シリコンセルの走査電子顕微鏡による (SEM: scanning electron microscope) イメージ

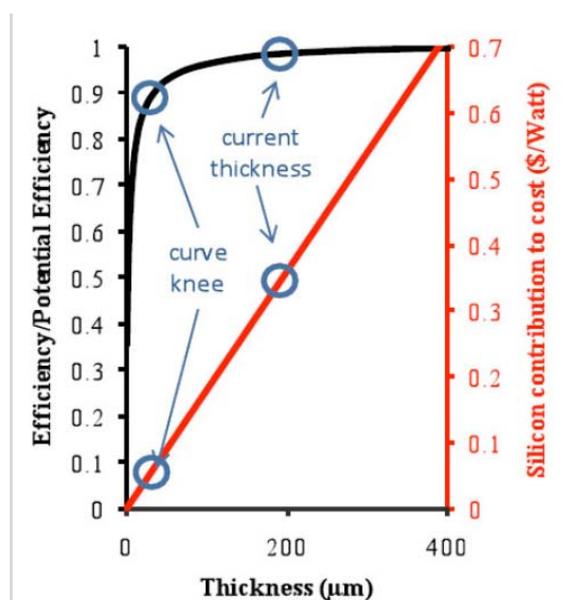


図2 シリコンソーラーセルの厚さとコストと可能な変換効率の関係

2. シリコン・オン・インシュレーター (SOI)^{注2}ベース結晶系シリコンセル

2.1 設計

図3は、放射状形状と呼ばれるSOIベースのセルの数種類の型を示す。セルの中央部にはn-注入(implantation)が、その外縁部にはp-注入が施されている。n-注入された指状のドーパントが、セルの中心部から放射状に外に向かっているが外縁部には触れておらず、p-注入のそれは外縁から中心に向かっているが中心には触れていない。これらのフィンガー電極の役割は、pとnの領域間のスペースを減少させてキャリア(carrier、担体)収集を向上させるためのものである。金属接点層は面下の注入地域と同等の形状をとっているが、半導体とは窒化物層を通して大変狭い部分のみ(ポイント接点)が接合している。

放射状セル構造は、5個のフォト・リソグラフィー・マスクにより構成される。1番目のマスクはp-注入の領域となり、2番目のマスクはn-注入の領域となる。3番目のマスクは、シリコン窒化物パッシベーション層を通して金属がインプラントされたシリコンの部分に接合させる小さな窓となる。4番目のマスクは放射状の相互に嵌合する金属接点パターンを、5番目のマスクはセルの直径と六角形状を定めている。

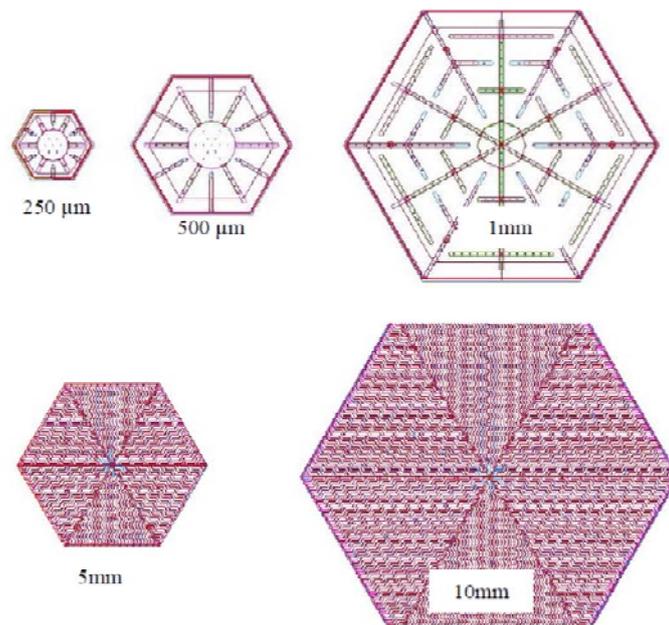


図3 異なる直径の放射状ソーラーセルのマスク設計 CAD 図

^{注2} <http://e-words.jp/w/SOI.html>

2.2 ファブリケーション

接合点を作るための製造プロセスは図4に示す。このプロセスは6インチ、SOIウェハ(20～30Ω-cm、p-タイプ、(100)配向ウェハから始まる。デバイス層は厚さが20μmで、埋め込まれた酸化層(BOX層: buried oxide layer)は厚さが1μmである。

プロセスの最初のステップは、pおよびnタイプドーパントの注入(インプランテーション)である。ホウ素(boron)(エネルギー: 45keV)およびリン(phosphorus)(エネルギー: 12keV)の注入は、両者のドーパントに対し3×10¹⁵ cm²領域に1ドーズ(dose)、傾斜7°、0.15μm領域で実施される。300nmの低圧力でケミカル蒸着された(LPCVD: low pressure chemical vapor deposited)窒化ケイ素および500nmのケミカル蒸着された(CVD)酸化ケイ素の上部のフォトリソグラフィパターンが形成された厚さ1.8μmのフォトレジスト層は、選択的に注入のためにマスクをするのに使用される。ドライブイン(押し込み)^{注3}のステップは、低酸素濃度雰囲気(N₂ 雰囲気)下、900°Cで30分間実施される。

次のステップは、電気ポイントが下層部のシリコンに接触するよう、RIE エッチングによってLPCVD 窒化ケイ素膜に穴をあける。

穴があいたところには、スパッタリングによりメタライズ(metallization layer)が蒸着される。チタニウムケイ化物(Ti silicide)(チタニウムは蒸着され、シリコンと混ざり合わせるために熱アニールされる)、アルミニウム/シリコン、およびチタニウム窒化物(Ti nitride)(それぞれ厚さが52nm、720nm、50nm)を積み重ねてメタライズする。チタニウムケイ化物は、接触抵抗を低減し、ドーパされたシリコンとの接触によるアルミのスパイク(熱拡散)を回避するためのバリアーとなる。アルミニウム/シリコンは主要な伝導体でもあり、チタニウムケイ化物は後続する湿式HFリリースエッチングからの保護の役目を果たす。

次のプロセスでは、セルの側壁を作るために深掘り反応イオンエッチング(DRIE: deep reactive ion etch)つまり「ボッシュプロセス(Bosch process)」が施される。エッチング深さ20μmにするために最適化されたエッチングのプロセスでは、エッチング液として六フッ化硫黄(SF₆)を、マスクとして厚さ2.2μmのパターン化されたフォトレジストを使用する。エッチング処理は、フッティングの影響を避け、顕著な過剰にエッチングすることなくBOX層に到達するよう設計されている。

^{注3} Si基板に添加した導電型不純物を、熱拡散現象(加熱することで広がる現象)を利用して再分布させる。ドライブ・イン(drive in)とも呼ばれる。
(<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/LECTURE/20090326/167798/?ST=print>
<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/LECTURE/20090326/167798/?ST=print>)

金属化と $20\mu\text{m}$ の深さの溝を作った後、最後のエッチングが行われる。このステップでは、ウェハは Tergitol™ (シリコン表面を湿らすための非イオン性界面活性剤)と 49%フッ化水素酸(HF: hydrofluoric acid)溶液に浸される。その溶液は溝とリリース穴を通じてBOXに届く。溝とリリース穴間の距離によるが、約 30 分から 90 分ほどかかる。基板は、重力によってセルが基板から剥がれ落ちるくらいに吊り下げられる。最後に、セルはろ過され、pH が中性となるまで水洗いされ、IPA(イソプロピレン・アルコール)でバイア瓶へと運ばれる。

図 5 は、リリースされた厚さ $20\mu\text{m}$ 、直径 1mm のシリコンセルの SEM と光学式プロファイルメーターによるイメージを示す。元のウェハのデバイス層($20\mu\text{m}$)のみがセルの製造のため使用(消費)され、残ったハンドルウェハがセルの製造で再利用されることが注目される。

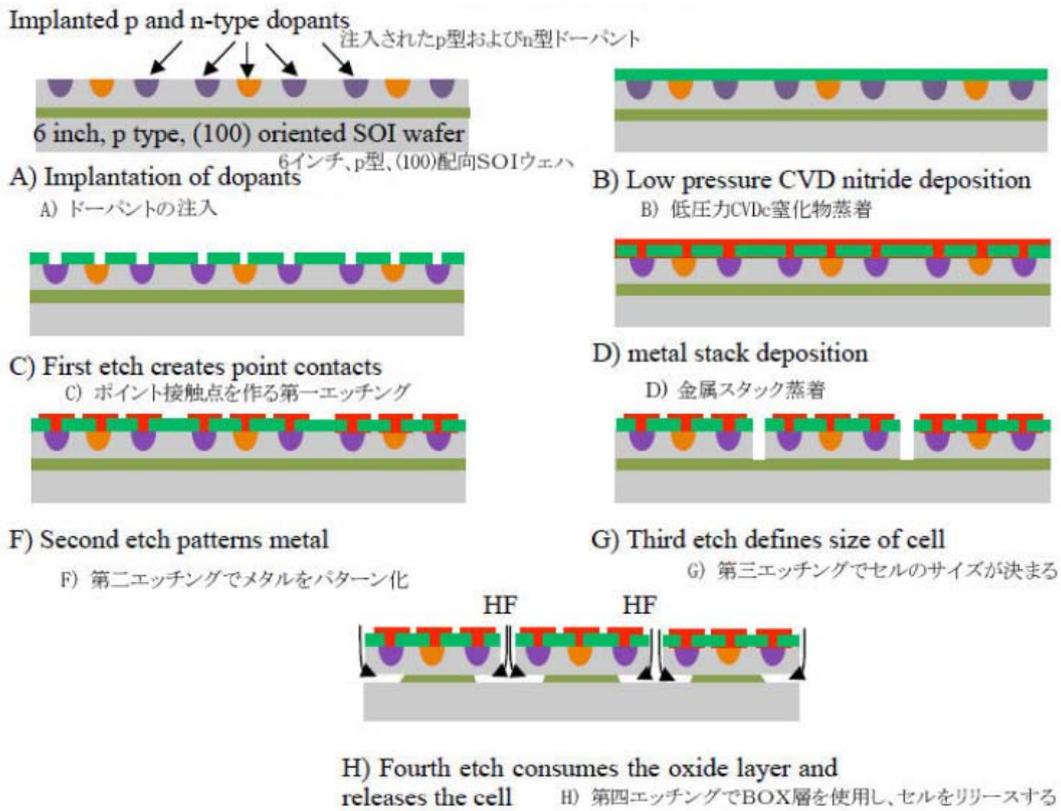


図 4 SOI ウェハを利用したセルの製造とリリースのプロセスフロー断面図

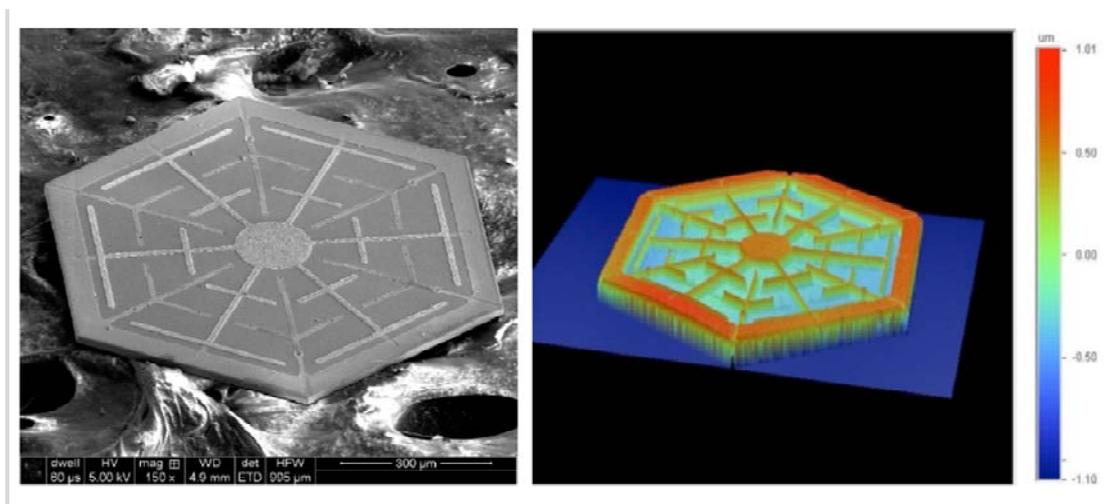


図5 SEMと光学式プロファイルメーターによる1mmソーラーセルのイメージ

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 松田 典子）

3. 結晶方位(111 面)のウェハを用いた結晶シリコン太陽電池セル

デザインの詳細

結晶シリコン太陽電池セルを作るために用いられる 2 つめのアプローチでは、結晶面を選択できる水酸化カリウム(KOH)シリコンエッチング液を利用する。図 6 に、これらの太陽電池セルのさまざまな設計図のデザインが示されている。これらのデザインでは、集められたキャリア(担体)を太陽電池セルの両サイドの接点へと運ぶために、直線状に交互に配置された楕型金属接点フィンガー電極が用いられている。n 型と p 型のドーパントの注入は、太陽電池セル裏面全域に交互の位置のスポットに注入される。図 7 および表 1 が示すように、太陽電池セルのサイズには 2 種類あり、両タイプともに、注入部分にスペースが設けられている。

図 6：楕型フィンガー電極を有するリニアコンタクト太陽電池セル(250 μ m/500 μ m)の設計図

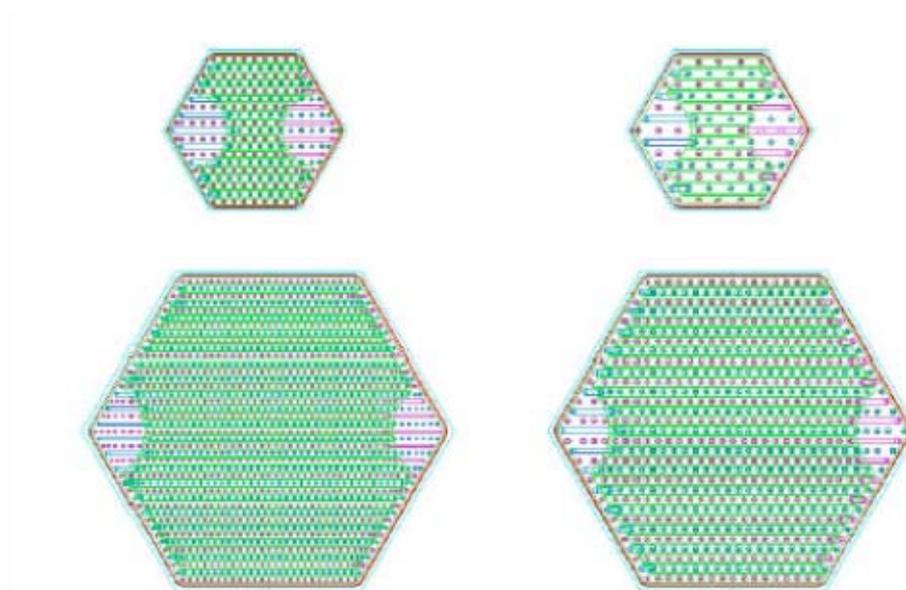


図 7 左図：楕形フィンガー電極が交互に配置された太陽電池セル（幅 250 μm /裏面接続）の AutoCAD デザイン図面／右図：埋め込み部分とフィンガー電極の詳細

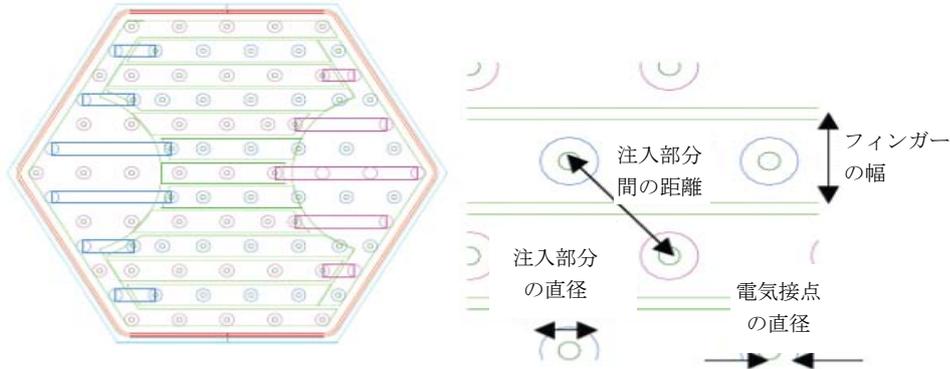


表 1: リニアコンタクト太陽電池セルの外形寸法

太陽電池セルのサイズおよびデザイン	注入部分の間隔(μm)	フィンガーの幅(μm)	注入部分の直径(μm)	接点部分の直径(μm)
250 μm 狭め	13	8.9	6	3
250 μm 緩め	21	13.9	8	3
500 μm 狭め	12.2	8.6	4	2
500 μm 緩め	15.3	11.5	8	3

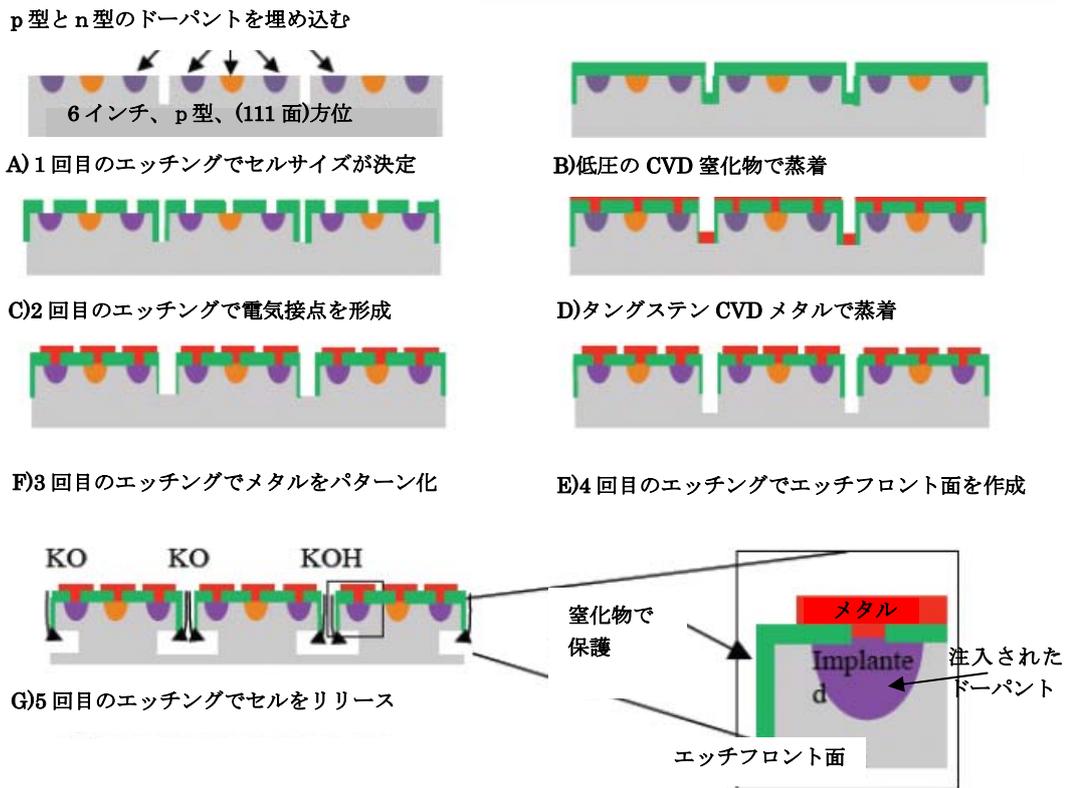
このデザインでは、6枚のフォトマスクが必要である。1枚目のフォトマスクで小さな円形の p 型の注入部分が定められ(指定され)、2枚目のフォトマスクで、n型の注入部分が決定される。3枚目のフォトマスクで、その太陽電池セルの側壁、4枚目のフォトマスクで、パッシベーション層を通した金属部分から注入部分への電気接点用のウィンドウ(開孔部)が定められ、5枚目のフォトマスクで、直線状に交互に配置された金属接点パターンが決められる。そして6枚目のフォトマスクでは、次のリリースを行うため水酸化カリウム(KOH)のアクセス溝を明確にする。

リニアコンタクト太陽電池セルの製造プロセス

図 8 に、リニアコンタクト太陽電池セルの製造プロセスを示すが、まず、6 インチ角、厚さ 700 μm 、3~20 Ω 、C Z グレードの半導体、p 型、積層面に対して(111 面)配列したウェハ上に、p型と n型のドーパントを表 1 に示すサイズの領域に交互に注入することから始める。ホウ素 (エネルギー=45keV)やリン (エネルギー = 120 keV)の注入は、 1×10^{15}

cm²あたり 1 ドース(dose)で、傾斜 7°、両方のドーパントともに 0.15 μm の範囲で用いられる。マスクングによる選択的注入を行うために、厚さ 2.2 μm のフォトリソグラフィ型フォトレジストが用いられている。ドライブイン(押し込み)^{注1}の処理ステップは、窒素雰囲気下の 900℃ の環境で 30 分間実施される。

図 8：(111 面) 方位のウェハを用いて太陽電池セルの製造とリリースを行う処理ステップフローを示す断面図



接合完了後、エッチング深さの目標を 20 μm にし、SF₆ をエッチング液として、フォトリソグラフィでパターン化したフォトレジストをマスクとして用い、DRIE エッチングのステップが実施された。このエッチングにより、幅 2 μm の溝が作られ、これにより太陽電池セルの側壁が決まる。これらの溝は、LPCVD(低圧化学蒸着)法で蒸着された厚さ 1 μm のシリコン窒素等角層で埋められている。この被膜の目的は、以下の 2 点である。

- 1) 水酸化カリウムによるエッチング処理時に、湿式化学反応から太陽電池セルを守る。
- 2) 太陽電池セルの側壁にパッシベーション処理を施す。

次の処理ステップは、厚さ 1.8mm のパターン化されたフォトマスクを通してよく反応するシリコン窒素層のイオンエッチング(RIE)である。これにより、ドーピングされたシ

注4 ドライブイン(drive-in): Si 基板に添加した不純物を熱拡散により押し込むプロセス。

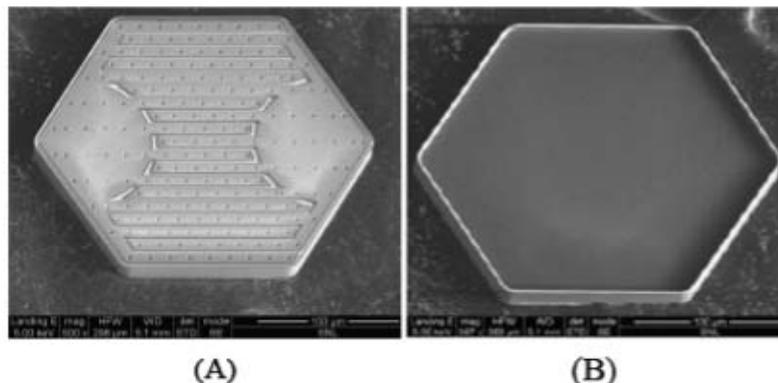
リコン部分に金属接点を作るために、小さなウィンドウ(開孔部)が作られる。このウィンドウが空くと、PECVD (プラズマ促進化学蒸着) 法を用いて厚さ 200nm の低圧タングステンが蒸着される。その後このタングステンがパターン化され、RIE エッチングが施され、太陽電池セル上に、交互に配置されたメタライズ構造ができる。

この処理ステップの次のステップは、深さ $25\mu\text{m}$ を目標に 2 回目の DRIE エッチング処理を行う。このエッチング処理には、リリースエッチング液がシリコン犠牲層に到達できるように、厚さ 1.8mm のフォトレジスト層を用い、各セルの周囲に溝を形成する。

このシリコン太陽電池セルをウェハからリリースする(引き剥がす)には、 85°C に保たれた濃度 6 モルの水酸化カリウム (KOH) 溶液にこの太陽電池セルを 3 時間 45 分浸し、その後、室温で 24 時間放置すればよい。この水酸化カリウム溶液は、3 回目のエッチングで形成されたチャンネルを通して保護されていないシリコン層に到達する。エッチング速度は結晶方位に依存するため、この(111)面(ウェハ表面に平行)のエッチングは、非常にゆっくりと進行する。先に設定された窒化ケイ素の壁が、これにより包まれているシリコン層を保護しており、これがなければ、エッチングによりシリコン層は除去されてしまう。

(111 面) とその他の結晶方位の結晶面ウェハの平均的なエッチング率は 1:19 で、太陽電池セルの厚さは、デザインの値よりも薄くなり、 $20\mu\text{m}$ ではなく約 $13.7\mu\text{m}$ となる。図 9 は、この技術を用いて作られた太陽電池セルの画像である。元のウェハの材料のうち $25\sim 30\mu\text{m}$ のみが太陽電池セルを製造する際に消費され、次の処理用に厚さ $670\mu\text{m}$ のシリコン層が残される。リリース処理で消費されるシリコン量を減らすには、水酸化カリウム (KOH) がリリースするエッチング液の最適化が可能でなければならない。

図 9 : リニアコンタクト太陽電池セル($250\mu\text{m}$) の SEM 画像 : (A) が背面 (B) が前面



翻訳 : NEDO (担当 総務企画部 原田 玲子)

4 ヒ化ガリウム（化合物半導体）太陽電池セル

単一接合の結晶ヒ化ガリウム（GaAs）太陽電池セルは、エピタキシャル成長という従来の方法により製造され、次に金属接点を作る工程が続く。この方法では、通常前面と背面の金属接合の必要性を強いる水平的接合が必要であり、前面の金属接点が光学的ロスにつながる。セルを極めて小さくすることで、全てのメタルを光学的開口の外側に移動させる裏面接合の方法を利用することが可能になる。（セルがあるレベルの密度で用いられると想定している）光学的ロスの回避に加え、裏面接点は片面だけ相互接続させれば良いことから、セルのパッケージをモジュールに組み込みやすくする。私の知っている限り、これらが、最初の実証済の完全な裏面接点 GaAs（化合物半導体）太陽電池セルである。

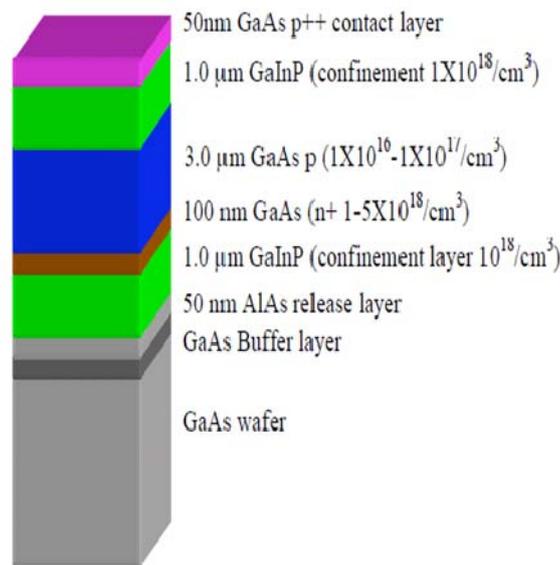


図 10 逆転型 GaAs 単一接合セル向けのエピタキシャル層（提供：米国再生可能エネルギー研究所）

先に述べたエピタキシャル層は、図 10 にて提示されている。注目すべきは、セルが逆さになった状態で設計されている点で、これによりセルの裏面が、裏面接点を作り出すのに必要なマイクロ加工が利用可能な状態となる。セルを構成する層を作るエピタキシーは、米国再生可能エネルギー研究所にて実行された。マイクロ加工やセルのリリースは、米サンディヤ国立研究所にて実施された。セルのリリースは、エピタキシー堆積中にヒ化アルミニウム（AlAs）犠牲層を装入することによって可能となる。AlAs は、セルがリリース後にウェハーに接着してしまう表面の接着効果を低減するために Tergitol が添加された状態で、49%のフッ化水素（HF）水溶液を用いて、選択的なエッチングが実施された。小型のセルのため、分離の工程は 8 分間で完了する（フルウェハーのエピタキシー分離に必要とされるリリース時間が約一日がかりであるのとは対照的）。結晶シリコン処理と同様に、残されているハンドルウェハーは次のセル製造工程で再処理され、成長とリリースが行わ

れる。GaAs の単一接合の設計や製造のさらなる詳細は、Cruz-Campa などにて報告されている。

GaAs（化合物半導体）セルの近年の発展の中には、リリース後のセルの湾曲を低減するため、歪のバランスがとれたセル設計がある。さらに、より高いドーピングレベルを達成する方法が開発され、メタライズとInGaP層の間の接触抵抗の低減に至った。低減された接触抵抗により、セルの性能が改良された。最終的に、GaAsの吸収層の厚みが増加し、さらに性能が改良された。図11に、単一接合GaAs（化合物半導体）セルの代表的画像を示す。

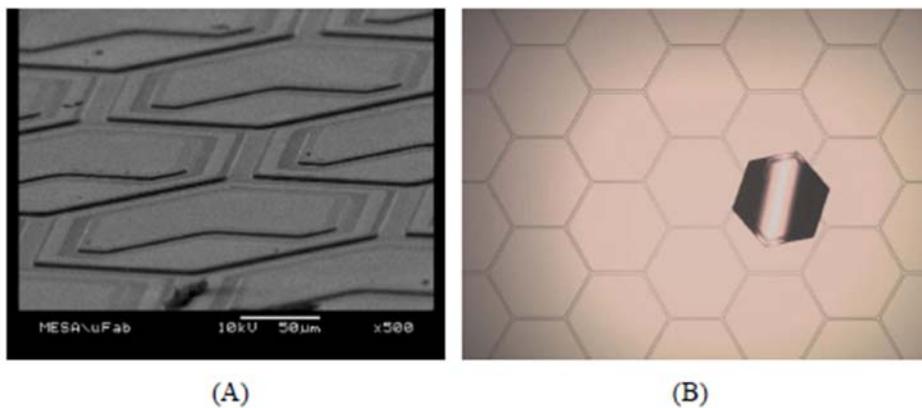


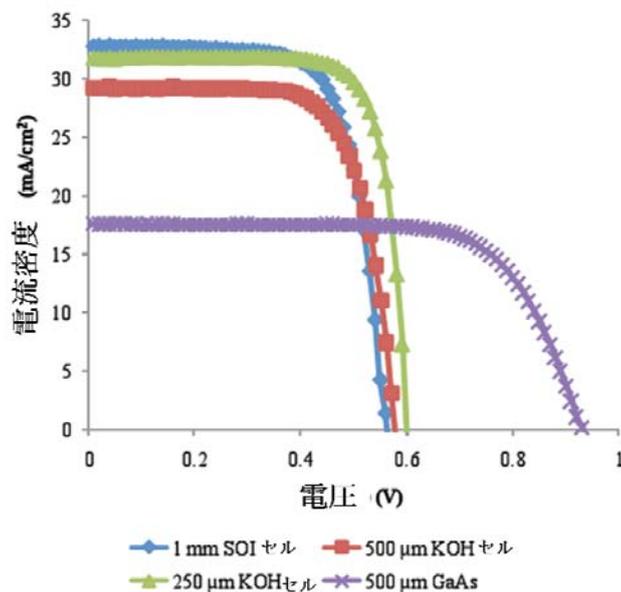
図 11 A) リリース直前の 250 ミクロンの単一接合ヒ化ガリウムセルの SEM 画像
 B) 残った基盤上にあるリリース直後の 500 ミクロン単一接合 GaAs セル(セルの僅かな屈曲に注意)

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 室井 紗織）

5. 太陽電池セルの結果

テスト前に、表面処理が施されていないPVセルを窒化ケイ素パッシベーション膜(silicon nitride passivating film)で被覆した。その後、優れた電気性能を発揮するために被膜の蒸着やアニール条件を実験的にさらに最適化した。被膜の厚さは64~74nmとし、反射防止コーティングとしても機能するようにした。セルに窒化ケイ素を蒸着させた後、450度の形成ガス室で3時間アニール処理を施した。

種類の異なる2つの結晶シリコンセルおよびGaAsセルを、性能テストのために制作し、観測装置に設置した。米国材料試験協会(ASTM)がone sun^{注5}の条件下で行った実験から得られたJV曲線は、セルの種類ごとの性能を示す。この実験ではSpectrolab XT-10モデル、1kWのキセノンショートアークランプ、1000W/m²の太陽光との合致度が高いスペクトルを照射できるソーラーシミュレータ (Aクラス) および、基準となるPVセル(silicon reference cell)を使用した。光線の幅は8μm角で、固定具(chuck)は熱電気(thermoelectrics)によって温度調整される。ケルビンプローブ(導電物や半導体の仕事関数を測定できる装置)を通してケースレー社のソーラーシミュレータにPVセルを組み入れた。図12はGaAsセルとシリコンセルそれぞれが最適に機能した際のJ-V曲線である。



	250 μm KOH	500 μm KOH	1 mm SOI	500 μm GaAs
変換効率 (%)	14.86	12.03	12.87	11.36
V _{oc} (mV)	597	575	562	930
J _{sc} (mA/cm ²)	31.75	29.29	32.07	17.2
FF (%)	78.4	71.2	71.4	71%

図12 素材およびリリース方法の異なるPVセル別の最適結果

注5 one sun : 太陽光の強度を表す単位で、1000w/m²

想定していたとおり、GaAsセルは結晶シリコンセルに比べ、非常に高い解放電圧(Voc)と低い短絡電流密度(Jsc)を示した。これはGaAsセルのバンドギャップが結晶シリコンセルに比べて高いことが直接影響している。GaAsセルの統合効率は、論文などで紹介される他の単一接合GaAsセルに比べて低い。改良後のセルには、20パーセントを上回る変換効率が期待されるだろう。

効率の低下は、1) テストに使用されたセルが反射防止膜を表面にコーティングされておらず、反射によっておそらく30パーセントもの光の損失があったこと、2) セルの表面層にある1 μ mの厚みをもつInGaP (インジウム、ガリウム、リンによる化合物半導体) が、光が接合部分に到達する前に非常に多くの高エネルギー光を吸収し、結果として多くのエネルギー損失を招いていること、3) セル間の接触抵抗が減少したとしても、個々のセル内の直列抵抗は発生しており、エネルギー損失がまだ起きていることなどの原因を含め、様々な影響に起因している。

シリコンセルの中で、linear contactすべくデザインされた水酸化カリウム水溶液(KOH)によりリリースされたセルはフッ化水素処理によってリリースされたSOIセルよりも優れた性能を有している。性能の違いはリリース技術のせいではないようだ(KOHとSOIのどちらの方法を用いても、我々がここで実証したものよりは高性能のセルが生産できるだろう)。フッ化水素処理とメタライズスタックの金属成分に不適合があるため、フッ化水素処理によってリリースされるセルとの金属接触(metal contact)にいくつかの課題が残されている。これがSOI/放射状セルの変換効率の低下を引き起こすVocと曲線因子(fill factor: FF)の低下の原因のようだ。放射状セルのJscはKOH直線配列電極セルのそれを上回る。これは2つのセルに厚みの違いがあるためのようなのだ。KOHセルは14mmよりも薄く、他方でSOIセルの厚みは20mmであった。厚みを加えることで光の吸収が改善され、電気の流れをスムーズにする。どちらのセルにも、キャリア発生(carrier generation)ポイントのすぐ近くにキャリア収集(carrier collection)を有することを示す、優れたキャリア収集結果を観察した。

KOHセルの性能は変換効率およそ15パーセントに達しており、14 μ mの厚さのシリコンセルに非常に適している。

このセルは、市販される大多数の太陽光発電用シリコンセルに匹敵する性能を持ちながら、1/10の薄さである。KOHセルの興味深い性質の一つは、表面に固有のテクスチャー^{注6}を有しており、それがKOHエッチの異方向性により生じたものであるということだ。シリコンセルの表面をテクスチャライジング(模様付け)することによって、光の侵

^{注6} テクスチャー：織り目のような表面の凸凹

入角度を変え、セル内でバウンドさせ、見かけ上含みのあるものに変えることで、セルの発電力が強化されることはよく知られている。 KOHセルの質感は図13で示されているとおり、セルの表面に顕著にみてとれる。

図13はリリースされたKOHセル表面の3D光学形状イメージである。2種類の異なるテクスチャーがみられるが、一方はミクロンレベル、もう一方はミクロン未満レベルのものである。

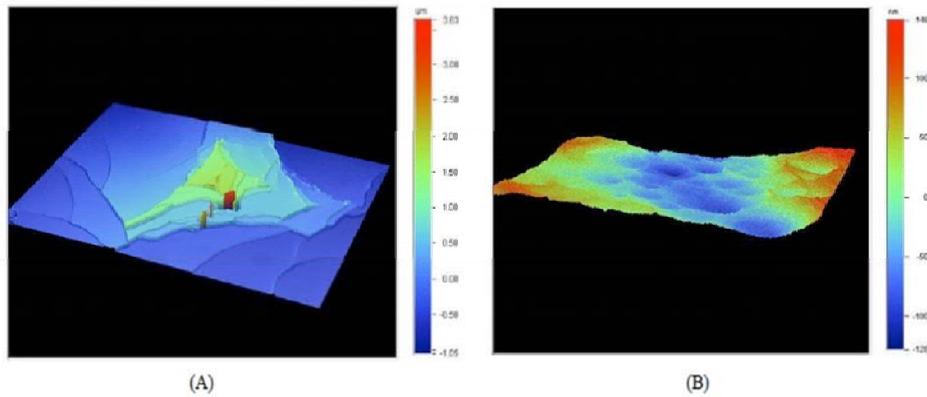


図13 KOHリリースのPVセル表面の光学形状イメージ
A) ミクロンレベルのテクスチャー B) ミクロン未満レベルのテクスチャー

前述したとおり、linear contactするKOHセルはエッチングする結晶面の選択性を下げるために薄くされている。この工程で作成されたセルの厚みを計算するために、合計17種類の厚みのセルの光学形状イメージを調べた。図14はセル表面の3D光学形状イメージで、光吸収材料の厚みがセルの側面を保護する窒化ケイ素被膜よりも薄いことを示している。作成されたセルの高さを突き出るような形で、窒化ケイ素はKOHによるエッチングで残存した。平均して、測定された厚みは13.68 μmで標準偏差は0.379 μmだった。17種類すべてのセルの厚みは12.91 μmから14.3 μmの範囲であった。

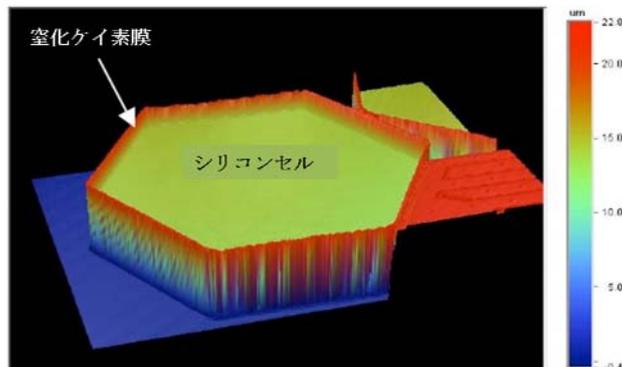


図14 KOHリリースセル表面の3D光学形状イメージ

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 望月 麻衣）

6. 結論と今後の課題

ここまで、2つの異なったタイプの結晶シリコンセル、および単一接合結晶ヒ化ガリウム（化合物半導体）セルの設計や製造の詳細について説明をしてきた。これらのセルは、厚みが5~20ミクロン、横寸法は250ミクロンに至るという極めて小さな形状である。このようにセルの形状が小さく設計されているのは、コスト削減や性能の向上、そして新たな機能性を実現するスケールメリットを効かせるためである。厚み14ミクロンの結晶シリコンセルを利用することで、最高14.9%の太陽光発電の変換効率を実証された。

今後、行ってゆくべき重要な課題がある。それは、より高い効率を達成するセルをさらに最適化することである。シリコン・セル（光トラップを改善したもの）とGaAsセル（Section5で述べられた改良を施したもの）は共に、集光率が高くなることで、20~25%の範囲の変換効率が達成できると予想されている。セルの最適化に加え、これらのセルベースとしたPVモジュールを製造するという、重要な仕事が必要である。セルをモジュールに組み込むには、セルのスケールメリットを活用することだけでなく、組込コストを低価格にすることも考慮して、取り組まれる必要がある。もしこれが達成できれば、PVセルのスケールメリットにより、PVシステム性能の改良と、太陽光発電にとってコストの削減という最重要事項への道筋が得られる。

謝辞

本研究の資金は、米国エネルギー省（DOE）エネルギー効率・再生可能エネルギー局（EERE）太陽エネルギー技術プログラム『Seed Fund』プログラムと、サンディア国立研究所の研究所指定研究開発（LDRD）プロジェクト#141519により、出資された。

サンディア国立研究所は、Sandia Corporation社（Lockheed Martin Corporation社の100%子会社）により管理・運営され、契約番号DE-AC04-94AL85000に準じ、DOEの国家核安全保障局（National Nuclear Security Administration）の研究を行う多重プログラムの研究所である。

参考文献

- [1] Hageman, P. R., Bauhuis, G. J., van Geelen, A., van Rijsingen, P. C., Schermer, J. J., and Giling, L. J., "Thin film, epitaxial lift off III/V solar cells," Proc. 25th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 57-60 (1996).
- [2] Gupta, V. P., Cruz-Campa, J. L., Okandan, M., and Nielson, G. N., "Microsystems-enabled photovoltaics, a path to the widespread harnessing of solar energy", Future Photovoltaics 1(1), 28-36 (2010).

- [3] Cruz-Campa, J. L., Nielson, G. N., Okandan, M., Wanlass, M. W., Sanchez, C. A., Resnick, P. J., Clews, P. J., Pluym, T., and Gupta, V. P., “Back-contacted and small form factor GaAs solar cell,” Proc. 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 001248-001252 (2010).
- [4] Cruz-Campa, J. L., Okandan, M., Resnick, P. J., Clews, P., Pluym, T., Grubbs, R. K., Gupta, V. P., Zubia, D., and Nielson, G. N., “Microsystem enabled photovoltaics: 14.9% efficient 14 μm thick crystalline silicon solar cell,” Solar Energy Materials and Solar Cells 95(2), 551-558 (2011).
- [5] Lentine, A. L., Nielson, G. N., Okandan, M., Sweatt, W. C., Cruz-Campa, J. L., and Gupta, V. P., “Optimal cell connections for improved shading, reliability, and spectral performance of microsystem enabled photovoltaic (MEPV) modules,” Proc. 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 003048-003054 (2010).
- [6] Sweatt, W. C., Jared, B. H., Nielson, G. N., Okandan, M., Filatov, A., Sinclair, M. B., Cruz-Campa, J. L., and Lentine, A. L., “Micro-optics for high-efficiency optical performance and simplified tracking for concentrated photovoltaics (CPV),” Proc. SPIE 7652, 765210-765217 (2010).

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 室井 紗織）

出典：本資料は、サンディア国立研究所の以下の記事を翻訳したものである。

“Microfabrication of microsystem-enabled photovoltaic (MEPV) cells”

http://photovoltaics.sandia.gov/Pubs_2010/2011/Microfab_of_MEPV_Cells_SPIE_2011.pdf

【研究開発(エネルギー)】 SunShot Initiative

仮訳

DOE(ARPA-E)が革新的エネルギー研究プロジェクトに
1億5600万ドルの助成金を供与(米国)

DOEは9月29日、DOEの高度研究プロジェクト(ARPA-E: Advanced Research Projects Agency-Energy)のもと、60の最先端プロジェクトに対して1億5600万ドルを助成すると発表した。新規に選定されたARPA-Eのプロジェクトはクリーン技術革新の加速に焦点をあてる一方で、レアアースの代替物質におけるアメリカの競争力強化や、バイオ燃料、熱貯蔵、グリッド制御、太陽光発電パワーエレクトロニクス^{注1}といった技術分野でのブレークスルーをねらったものである。対象となるプロジェクトは25の州に分布しており、大学関係が50%、小規模企業が23%、大企業が13%、国立研究所が12%、非営利団体が2%の割合を占めている。これまでにARPA-Eの助成を受けたプロジェクトは12分野180プロジェクトにのぼり、その合計額は5億2170万ドルになる。

そのうちの10プロジェクトは「石油代替のための遺伝子操作植物(Plants Engineered to Replace Oil)」に関する新たな研究で、石油燃料コストに対抗できるよう国内に資源のあるタバコや松の木から現在の半分のコストでバイオ燃料をつくりだす技術を探求する。たとえば、フロリダ大学のゲーンズビルでは松の木から分離された天然のバイオ燃料液ターペンタインの生産を増やす予定でいる。このプロジェクト用に開発された松の木は、木の内部に貯蔵できるターペンタインの量を増やし、生産量を3%から20%に増加できるよう改良されている。その他、「重要技術におけるレアアース代替(Rare Earth Alternatives in Critical Technology)」に関わる14プロジェクトには電気自動車や風力発電用タービンに使用するレアアース代替物質の初期段階の研究開発に資金を提供し、レアアースへの依存の減少あるいは排除を目指す。

さらに「高エネルギー先端蓄熱技術(High Energy Advanced Thermal Storage)」に関する15プロジェクトは、熱貯蔵技術のコスト効率の劇的な改善を目的としている。中でも、マサチューセッツ工科大学は自らの熱貯蔵エネルギー装置HybriSol、つまり太陽エネルギーを捕らえて備蓄し、後でそのエネルギーを送電グリッド網に放出することのできる「熱バッテリー」の研究に取り組む予定である。「グリーン送電網の統合(Green

^{注1} パワーエレクトロニクス：半導体素子を用いて電力の直流・交流、周波数の変換や制御を行う技術

Electricity Network integration)」に関わる14プロジェクトでは、信頼性の高いグリッド網を制御するためのソフトおよび高電圧制御機器について探求する。そして「太陽光発電の機敏な電力供給技術(Solar ADEPT)プログラム」のもとDOEのSunShot Initiativeと共同で研究を行う7プロジェクトは、高度なパワーエレクトロニクスをソーラーパネルやソーラーファームに統合することに重点を置き、太陽光からのより効率的なエネルギー生成とその配給をめざす。DOEのプレスリリースに掲載されているプロジェクト一覧、およびARPA-Eのウェブサイトを参照されたい。

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 望月 麻衣）

出典：本資料は、アメリカDOEのエネルギー効率・再生可能エネルギー局(EERE)の以下の記事を翻訳したものである。

“DOE Awards \$156 Million for Groundbreaking Energy Research Projects”

http://apps1.eere.energy.gov/news/news_detail.cfm/news_id=17783

仮訳

ARPA-E(DOE の先端研究プロジェクト局)選定プロジェクトー技術概要リスト (米国)

2011年9月29日

以下に掲載するプロジェクトが助成金の契約交渉に選定された。最終的な助成額は記載内容と異なる場合がある。

研究チーム	助成金額	所在地 (都市、州)	プロジェクトタイトルと概要
1) 石油代替のための遺伝子操作植物 <i>Plants Engineered to Replace Oil (PETRO)</i>			
University of Massachusetts, Amherst	\$1,482,264	Amherst, MA (アマースト、マサチューセッツ州)	バイオ燃料用の高付加価値作物の開発 マサチューセッツ大学アマースト校は従来の作物よりも効率的に CO ₂ を消費できる油糧種子作物の遺伝子操作開発を行う。作物に著しく強化された光合成能力特性を組み込み、種子だけでなく葉や茎からも有用な高エネルギーのもととなる燃料分子をすぐに取り出せるようにする。これにより、1 エーカー当たりの農地から生産できる燃料がかなり増える可能性がある。
University of California, Los Angeles	\$2,206,614	Los Angeles, CA (ロサンゼルス、カリフォルニア州)	エネルギー用植物のデザイン カリフォルニア大学ロサンゼルス校は、より効率的に植物エネルギーを利用するための遺伝子操作を行う。緑色植物が二酸化炭素を糖やバイオ燃料に変換する工程を合理化する。この技術は作物の収穫や穀物およびバイオマスの生産量を増やす目的など、様々な場面への応用が期待できる。

<p>Donald Danforth Plant Science Center</p>	<p>\$5,524,832</p>	<p>St. Louis, MO (セントルイス、 ミズーリ州)</p>	<p>改良カメリナ油の研究所 (CECO: Center for Enhanced Camelina Oil)</p> <p>ドナルドダンフォース植物科学センター率いる研究チームは、1 エーカー当たりの燃料生産が他の燃料ソースと十分競合できるように、カメリナ種子の高度組み替え品種の開発を行う。前もって決められた改良項目を1 種類のカメリナ種子に組み込む。改良は光源利用、炭素捕捉、燃料エネルギー含有量に関わる部分に対して行われ、燃料生産量の増加につなげる。商業的観点に主眼を置くこのプロジェクトが完了した際には、燃料量産用に特別改良された優れたカメリナ品種が市場での試行段階となっていることが期待されている。</p>
<p>Texas Agrilife Research</p>	<p>\$1,877,584</p>	<p>College Station, TX (カレッジステーション、 テキサス州)</p>	<p>光合成中間物質経路の変更およびテルペノイド合成経路の遺伝子操作により、バイオ燃料を直接作る合成作物</p> <p>テキサス A&M 大学は、緑色植物が光エネルギーを集めて行う光合成プロセスの主な非効率性に取り組む計画である。具体的には、植物の中で不要となったエネルギーをエネルギー密度の高い燃料分子に変換する。こうして得られた燃料は、蒸留によって植物バイオマスから容易に分離できる。</p>
<p>Lawrence Berkeley National Lab</p>	<p>\$4,839,877</p>	<p>Berkeley, CA (バークレー、 カリフォルニア州)</p>	<p>高密度バイオ液体燃料の合成を行う基板としてタバコの葉を開発</p> <p>ローレンスバークレー国立研究所とその研究チームは、葉に燃料分子をもつタバコを開発する。炭化水素合成能力、強化した炭素捕捉力、最適化された光源利用力を特徴として持つよう設計する。このタバコはバイオマス生産を最大にする最先端の栽培技術を用いて育成される予定である。</p>

Arcadia Biosciences Inc.	\$947,026	Davis, CA (デービス、 カリフォルニア州)	<p>C4 型作物からの植物オイルの生産</p> <p>Arcadia Biosciences 社は牧草に植物オイルを生産させるためオイルバイオ合成 (oil biosynthesis) を含んだ多数の遺伝子を改良する計画である。オイルは植物内部にエネルギーを貯蔵する上で最もエネルギー密度が高い形態の一つであり、液状であるためエネルギーを容易に抽出でき、分離後はバイオディーゼル燃料に変換できる。アルカディアの技術によって、20%の油分を含むバイオマスを取穫し、モロコシやスイッチグラスのような高エネルギー生産穀物に転換できる。</p>
University of Illinois	\$3,250,000	Urbana, IL (ウルバナ、 イリノイ州)	<p>イネ科植物に対する光合成効率の増強にともなう、炭化水素バイオ合成機能およびエネルギー貯蔵機能の遺伝子操作</p> <p>イリノイ大学の Urbana-Champaign チームは、バイオディーゼル燃料の生産・貯蔵を目的に、砂糖に代わってサトウキビやモロコシの改良を行う。太陽光の集光や利用の効率を上げるために葉の色素を最適化し、従来作物と比較してエネルギー歩留まりを 50% まで上げる。さらにエネルギー植物ミスカンザス (イネ科) と異種交配させ、栽培可能地域を広げる予定である。</p>
North Carolina State University	\$3,734,939	Raleigh, NC (ラーレイ、 ノースカロライナ州)	<p>カメリナ・サティバ (和名: ナガミノアマナズナ) からジェット燃料 (システムアプローチ)</p> <p>ノースカロライナ州立大学は 1 エーカー当たりのバイオディーゼル生産量を増加させる特性をもったカメリナ油糧種子作物を開発する。このプロジェクトでは空気中から炭素捕捉する代替方法および、より多くの植物油や燃料分子を種子内に蓄積できる特性の両方を組み入れる。この 2 つの機能が組み合わさると、植物から燃料分子と植物油が分離され、ディーゼルやジェット燃料に匹敵する燃料混合物に変換される。このカメリナ品種によって、従来のバイオ燃料作物よりも 1 エーカー当た</p>

			りで多くの燃料が生産されることが期待されている。
Chromatin, Inc	\$5,769,590	Chicago, IL (シカゴ、イリノイ州)	<p>植物由来のセスキテルペン(C₁₅H₂₄)・バイオ燃料</p> <p>Chromatin 社は、他の作物に比べ少量の水で多くの砂糖を生産し、燃料分子ファルネセン(farnesene)を蓄積できる植物、砂糖モロコシ(sweet sorghum)を遺伝子操作する研究チームを率いる。細菌および他の植物から採取した遺伝子をモロコシに組み込み、ディーゼル燃料にすぐに変換可能なファルネセンのバイオマスを 20% 多く生産できるようにする。ファルネセンは、サトウキビが糖分を蓄積するのと類似した方法で、モロコシ中に糖分を蓄積する。</p>
University of Florida	\$6,367,276	Gainesville, FL (ゲーンズビル、 フロリダ州)	<p>松の木由来テルペン・バイオ燃料の商業生産</p> <p>フロリダ大学のプロジェクトでは松の木から分離される天然のバイオ液体燃料であるターペントインの生産量を増加させる計画である。このプロジェクト用に開発された松の木は、木の内部に貯蔵できるターペントインの量を増やし、生産量を 3%から 20%に増加できるよう設計されている。こうした木々から生産される燃料は、25,000 エーカー未満の森林から年間 1 億ガロンの燃料を継続的に生み出す国内バイオ燃料資源となるだろう。</p>

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 望月 麻衣）

研究チーム	助成金額	所在地（都市、州）	プロジェクトタイトルと概要
2)重要技術におけるレアアース代替 Rare Earth Alternatives in Critical Technologies for Energy (REACT)			
Case Western Reserve University	\$1,000,000	Cleveland, OH (クリーブランド オハイオ州)	窒化物マグネットを含まない転換可能なレアアース Case Western Reserve University は、鉄窒化物の微少合金化(少量のメタル添加)により、その磁気特性を最大限に引き出し、産業界では貴重なレアアース磁石を超える特性を目指す。この新しい合金の改良によって、驚異的な磁気特性を持つ鉄窒化物の安定性を向上させて、磁石の「最高品質」を獲得する。この磁石は全て地球に豊富に存在する原料のみから作られ、高エネルギー密度を備える可能性を有する。このハイリスク、ハイリターンな研究開発が成功すれば、このプロジェクトの最終目標として、レアアースを含まないこの新しい磁石システムを、プロトタイプ電気モーターで実証する。
Dartmouth College	\$397,433	Hanover, NH (ハノーバー ニューハンプシャー州)	ナノ結晶 相 MnAl 永久磁石 本プロジェクトにて Dartmouth College は、優れた磁気特性を持つバルクナノ結晶マンガン-アルミニウム合金を開発する。このハイリスク・ハイリターンな研究開発が成功すれば、このプロジェクトの最終目標として、この合金からバルク磁石の磁気特性を実証するための、その後に拡張可能なプロセスを開発する。
University of Houston (National Renewable Energy Laboratory, SuperPower, Tai Yang	\$3,123,750	Houston, TX (ヒューストン テキサス州)	高出力容量風力発電機用高性能・低コスト超電導ワイヤとコイルの開発 University of Houston は、未来の先端的風力タービン発電機に使用する新しく低コストの超電導ワイヤを開発する。通常発電機には、電気を通すワイヤのコイルが使用されている。「超電導」ワイヤは、同様なサイズの銅ワイヤよりも数百倍の量の

<p>Research, TECOWestinghouse Motor Company)</p>			<p>電流を流すことが可能で、風力タービン発電機をより軽量化、強力化、効率化できる。しかしながら、従来では超電導ワイヤは風力発電機に使用するには高コストであった。</p> <p>本プロジェクトでは、高性能な超電導ワイヤを開発し、先端的製造プロセスを実証する。これが成功すれば数十倍のワイヤコスト削減の可能性につながり、超電導風力発電機の幅広い展開が実現化する。</p>
<p>Northeastern University (Arnold Magnetic Technologies Corporation, Columbia University, General Motors Research and Development, University of Massachusetts Amherst, University of Nebraska – Lincoln)</p>	<p>\$3,439,877</p>	<p>Boston, MA (ボストン マサチューセッツ州)</p>	<p>レアアースフリーな永久磁石用 L10 材料のマルチスケール開発</p> <p>Northeastern University が率いる研究チームは、強力な磁気特性を持ったユニークな結晶構造の鉄-ニッケルを大量に作るプロセスを開発する。鉄-ニッケル結晶構造は、通常隕石に見ることができが、研究チームは高度な合成方法を適用しその磁石材料構造を人工的に作る。また、他種の元素を加えることによりその構造を安定化し、宇宙で数百年という時間をかけて形成された隕石の持つ特性を達成する。この構造に基づいて、希少で高コストなレアアース磁石を凌駕する特性を備える強力な新しい磁石が作られる可能性がある。本プロジェクトの最終的な目的は、この合金からバルク磁石の磁気特性を実証し、その後に拡張可能なプロセスを開発する。</p>
<p>QM Power (Oak Ridge National Laboratory, Smith Electric Vehicles, University of Delaware)</p>	<p>\$2,319,474</p>	<p>Lee's Summit, MO (リーズサミット ミズーリ州)</p>	<p>低いあるいは無含有レアアースの高度なEV車モーターの開発</p> <p>QM Power 社とそのパートナーは、本プロジェクトで、次世代の高度な EV 車に効率的に動力を供給する新型電力モーターを開発する。今日の EV 車モーターの多くは、効率的にホイールにトルクを供給するために、高コストで輸入品であるレアアース磁石を使用している。本プロジェクトでは、QM Power 社とそのチームは、レアアース材料を全く使わずに、軽量かつコンパクトで、より低コスト、より効率的</p>

			により多くの動力を供給できるモーターを開発する。本プロジェクトのキーとなるイノベーションには、新しいモーター設計、新たな材料の採用およびモーターのコストを大幅に削減する高度な製造技術の導入が含まれる。
Pacific Northwest National Laboratory (Ames Laboratory, Electron Energy Corp, United Technologies Research Center, University of Maryland, University of Texas at Arlington)	\$2,344,299	Richland, WA (リッチランド ワシントン州)	200 で 40 メガガウスエルステッド(40MGOe)の、マンガンをベースとする永久磁石 Pacific Northwest National Laboratory と研究チームは、本プロジェクトは、レアアース永久磁石の代替となるマンガン材料を使用した革新的な複合材料を開発し、風力タービンと EV 車のコスト削減を目指す。マンガン合成磁石は、安価で豊富にある原料を用いて現在使用されている磁石の二倍の磁力強度を可能とする。本研究チームは、高性能スーパーコンピューターモデリングおよびレアアースを含有しない様々な金属複合材料の合成実験を通して、より強力な磁石を開発する。このハイリスク・ハイリターンな研究開発が成功すれば、これらの複合磁石は、高価なレアアースの輸入に頼ることなく、コストを削減し、風力タービンや EV 車などのグリーンエネルギーアプリケーションの効率を向上することができる。
University of Alabama (University of California at San Diego, Mississippi State University)	\$1,265,589	Tuscaloosa, AL (タスカルーサ アラバマ州)	EV 車モーターおよび風力タービン発電機用のレアアースフリーな永久磁石の開発: 六方晶(Hexagonal Symmetry)材料系 Mn- Bi および M 型ヘキサフェライト(Hexaferrite) University of Alabama 率いる研究チームは、本プロジェクトにて新しい磁石複合材料の最先端の R&D により最先端の磁気特性を実証する。新しい磁石複合材料は、新興エネルギー産業に不可欠な現状で最先端のレアアース磁石の特性を高コストで希少な材料を必要とせず達成できる可能性を有する。ハイリスク・ハイリターンな研究プロジェクトの最終的な目的は、標題の 2 材料系のバルク磁石の優れた磁気特性

			を実証することである。
Argonne National Laboratory (Electron Energy Corporation)	\$2,965,904	Argonne, IL (アルゴンヌ イリノイ州)	モーターおよび発電機用ナノコンジット交換スプリング磁石 Argonne National Laboratory は、本プロジェクトで風力タービンおよび EV 車の電気モーター用の新しい種類の永久磁石を開発する。この金属複合材磁石の構造には、マトリクス(母材)に埋め込まれた、入り交じった微粒子が含まれている。微粒子のサイズは、人間の毛髪の直径の約 1,000 分の 1 である。この磁気微粒子を直線状に整列させることにより、必要不可欠なレアアース材料使用を低減した強力な磁石が作られる可能性がある。本プロジェクトの最終目標は、プロトタイプの電気モーターでこの新型の磁石を実証することである。
Brookhaven National Laboratory (American Superconductor Corporation)	\$1,374,975	Upton, NY (アプトン ニューヨーク州)	ダイレクト・ドライブ風力発電機用超電導ワイヤ Brookhaven National Laboratory とそのパートナーは、本プロジェクトにて次世代の高度な風力タービン発電機に利用できる新型の低コスト超電導ワイヤを開発する。全ての発電機には、電気を通すワイヤのコイル(通常は銅製)が使用されている。「超電導」ワイヤは、同様のサイズの銅ワイヤよりも数百倍の量の電流を通すことができ、風力タービン発電機をより軽量、強力、効率なものとできる。しかしながら従来、超電導ワイヤは風力発電機に使用するには高コストであった。本プロジェクトでは、より大量の電力を対応できる高性能な超電導ワイヤを開発し、成功すれば数十倍のワイヤコスト削減の可能性につながる先端的製造プロセスを実証する。このような超電導ワイヤ製造プロセス技術におけるブレイクスルーにより、高度な風力発電機の幅広い展開が実現化する。

<p>Baldor Electric Company</p> <p>(Arnold Magnetic Technologies Corp, ABB)</p>	<p>\$2,942,867</p>	<p>Richmond Heights, OH (リッチモンドハイツ、オハイオ州)</p>	<p>レアアース フリーな- EV 車用走行モーター</p> <p>Baldor Electric Company とそのパートナーは、本プロジェクトにて次世代 EV 車に効率的に動力を伝達する可能性を有する新型の電気モーターを開発する。高コストで、輸入されているレアアース磁石を使用している今日の EV 車モーターとは異なり、レアアースを使わずに軽量、コンパクトで大幅に低コストな、現行の車輛モーターに比べて大量に電力を供給することのできるモーターを開発する。本プロジェクトのキーとなるイノベーションは、革新的なモーター設計、ユニークな冷却システムの採用、そして成功すれば EV 車のモーター回転部品の大幅なコスト削減の可能性を提供する高度な材料の製造技術の開発である。</p>
<p>General Atomics</p> <p>(University of Texas at Dallas)</p>	<p>\$2,819,393</p>	<p>San Diego, CA (サンディエゴカリフォルニア州)</p>	<p>ダブルスターター・スイッチドリラクタンスモーター^註(DSSRM)技術</p> <p>General Atomics 社と University of Texas at Dallas は、本プロジェクトにて次世代 EV 車に効率的に電力を供給する可能性を持つ新型の電気モーターを開発する。高コストで、輸入されているレアアース磁石を使用している今日の多くの EV 車モーターとは異なり、レアアースを使わずに軽量、コンパクトでかなりの低コストで現行の多くの車輛モーターに比べて大量に電力を供給することのできるモーターを開発する。本プロジェクトは、ダラステキサス大学で最初に研究されている、自動車やトラックにスムーズかつ効率的に高出力な動力を供給できるユニークな「ダブルスタータ」のモーター構造の性能と生産性を向上することに注力する。</p>

注スイッチド・リラクタンス・モータ(SRM)の構造と原理：<http://www.neomag.jp/mailmagazines/201011/letter201011.php>

<p>Virginia Commonwealth University (Arnold Magnetic Technologies, Northeastern University, Brookhaven National Laboratory, University of California San Diego, Moog Inc., Bayer Technology Services)</p>	<p>\$2,911,374</p>	<p>Richmond, VA (リッチモンドバージニア州)</p>	<p>確実なサプライチェーンを持つ非戦略的な元素を使った新規永久磁石の発見とデザイン</p> <p>Virginia Commonwealth University が率いるチームは、本プロジェクトにてレアアース元素を含まない新しい種類の永久磁石を実証する。本研究チームは、現在流通する最高級の磁石のパフォーマンスと同等のものを持つ炭化物ベースの複合材料磁石を、大幅なコスト低減にて製作する。本プロジェクトの最終目標は、プロトタイプ電気モーターでこの新型の磁石を実証することである。</p>
<p>University of Minnesota (Oak Ridge National Laboratory)</p>	<p>\$2,529,299</p>	<p>Minneapolis MN (ミネアポリスミネソタ州)</p>	<p>体心正方晶(Body Center Tetragonal: BCT)準安定 Fe – N 異方性ナノコンポジット磁石の合成と相の安定 –レアアースフリー磁石の製造への道筋</p> <p>University of Minnesota と Oak Ridge National Laboratory の異なる学問領域のチームの共同研究により、本プロジェクトでは意欲的に(研究の)初期(ステージで)バルク鉄窒化物永久磁石材料のプロトタイプを開発する。この新型の材料は、地球に豊富に存在する原料からできる最高エネルギー密度の磁石として「最高品質」の磁石となる可能性を有する。本プロジェクトは、高コストで希少なレアアース材料の必要性を排除できる、EV 車や風力タービンへと応用されるまったく新しい種類のレアアースフリーの磁石の基礎を提供する。</p>

<p>Ames Laboratory</p> <p>(General Motors, Molycorp, NovaTorque)</p>	<p>\$2,202,545</p>	<p>Ames, IA (エームズ アイオワ州)</p>	<p>クリティカルな元素が不要な新しい高エネルギー永久磁石</p> <p>Ames Laboratory とそのチームは、本プロジェクトにてセリウムをベースとした新しい種類の永久磁石を開発する。セリウムは、今日の先進的な材料に使用されているクリティカルなレアアース元素であるネオジムに比べ、4倍の資源量がある。本プロジェクトでは、他の金属元素とセリウムを組みあせて、新しく強力な磁石を検討する。本プロジェクトの重要な目標は、EV車のモーターに必要な高温での安定性を備えた新しい磁石を開発することである。この新しい磁石材料の開発が成功すれば、最終的にはプロトタイプ電気モーターで実証される。</p>
--	--------------------	--------------------------------------	---

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 松田 典子）

研究チーム	助成金額	所在地（都市、州）	プロジェクトタイトルと概要
3) 高エネルギー 先進的蓄熱技術（熱） High Energy Advanced Thermal Storage (HEATS)			
NAVITASMAX (Cornell University, Harvard University, Nano Terra, Barber- Nichols)	\$812,238	Chandler, AZ (チャンドラー、 アリゾナ州)	<p>集光型太陽熱発電／原子力発電：先進的熱エネルギー貯蔵での臨界変動の斬新なチューニング</p> <p>NAVITASMAX 社が、太陽熱および原子力に応用でき、既存のシステムより 10 倍以上大きい熱エネルギー密度を改善させる斬新な蓄熱法を開発する。このプロジェクトでは、単純で複雑な超臨界流体の挙動が評価され、高度な熱貯蔵の容量増加のため当該の流体システムを調整する。チームは非常に高熱容量の流体生産の実行可能性を確定させるため、1 年間にわたる “proof-of-concept seedling” プログラムを行う。これにより、低コストで効率的な太陽熱発電および原子力発電応用向けの最先端蓄熱技術が提供される。</p>
Abengoa Solar Inc.	\$3,598,549	Lakewood, CO (レイクウッド、 カリフォルニア州)	<p>集光型太陽熱発電／原子力発電：高効率太陽熱電力変換塔</p> <p>Abengoa Solar 社は、斬新な熱エネルギー貯蔵技術と一体になった、新たなシステムアーキテクチャーを活用する高効率な太陽熱電力変換塔を開発し、これにより低コストで非常に効率の良い太陽熱発電を実現する。熔融塩システムを備えた最新式トラフ式太陽熱発電と比較しても、本技術はシステム費が 30%削減され、同時に性能の向上により、結果として再生可能な太陽熱発電のコスト削減となる。</p>
Halotechnics, Inc. (Pratt & Whitney Rocketdyne, Inc)	\$3,303,719	Emeryville, CA (エメリービル、 カリフォルニア州)	<p>集光型太陽熱発電／原子力発電：伝熱と熱エネルギー貯蔵のための最新鋭溶融ガラス</p> <p>Halotechnics 社は、熱伝導と熱貯蔵の材料として、低コストで、地球に豊富に存在する、新しい低溶融点ガラスを用いた高温の熱貯蔵システムを開発する。この新</p>

			<p>たな材料により、熱エネルギー貯蔵の先例のない効率性が実現され、商業規模での開発や展開がされることで、コストを 10 倍まで削減することが見込まれる。</p> <p>Halotechnics 社は、熔融ガラスをポンプ汲み上げ、加熱し、貯蔵し、そして排出する完全なシステムを開発するための材料の最適化を行う。もし成功すれば、本技術により低価格で効率的な集光型太陽熱発電および原子力発電に応用できる熱エネルギー貯蔵が実現される。</p>
<p>University of Utah</p> <p>(HRL, General Motor Global R&D)</p>	\$2,677,688	<p>Salt Lake City, UT</p> <p>(ソルトレークシティ、ユタ州)</p>	<p>電気自動車：先進的な水素吸蔵合金を利用した電気自動車用冷温熱供給装置</p> <p>ユタ大学のプロジェクト・チームは、自動車内の室温調整向けの最新型メタルハイドライド（水素吸蔵合金）ベースの小型の 温熱/冷熱供給装置の開発を行う。プロジェクト全体の目標は、バッテリー（蓄電池）を消耗せずに、電気自動車に冷気や暖気が送られ、実質的に、充電ごとの電気自動車の走行距離を伸ばすことである。</p>
<p>Pacific Northwest National Laboratory</p> <p>(University of South Florida, Tampa)</p>	\$803,142	<p>Richland, WA</p> <p>(リッチランド、ワシントン州)</p>	<p>電気自動車：電気自動車向け電動式吸着ヒートポンプ</p> <p>パシフィック・ノースウェスト国立研究所は、“金属-有機構造体（metal-organic frameworks : MOF)” という新しいタイプの高度なナノ構造の材料の開発を行う。これらの MOF は収着力がより強く、電気的に再生される（EMOF）。これにより、電気自動車用の高効率ヒートポンプの新規電気ドライブ式吸着サイクルが可能となる。本研究開発の取り組みは、市場に電気自動車用の新たな電動式吸着ヒートポンプをもたらす役目を果たす。</p>
<p>Sheetak Inc.</p> <p>(Delphi Automotive, LLP)</p>	\$4,675,834	<p>Austin, TX</p> <p>(オースティン、テキサス州)</p>	<p>電気自動車：高効率な自動車用熱貯蔵のための熱電気リアクター</p> <p>Sheetak Inc 社は、電気自動車が冷暖房に必要なエネルギーを蓄えるため、電気自</p>

			<p>動車向けの新規 HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) システムの開発を行う。本システムは、駐車中やバッテリー充電中に、温熱/冷熱供給装置を再充電できる Sheetak 社の斬新な固体型熱電変換器と組み合わせる。また、これらを組み合わせた変換装置は蓄電池で動作し、必要な冷気や暖気を乗客に送り、これらにより従来のコンプレッサーや現在の電気自動車に使用される非効率なヒーターが不要となる。</p>
<p>Pacific Northwest National Laboratory (University of Utah)</p>	\$712,511	<p>Richland, WA (リッチモンド、ワシントン州)</p>	<p>集光型太陽熱発電/原子力発電：高温熱発電システムのための可逆的メタルハイドライド（水素吸蔵合金）蓄熱</p> <p>パシフィック・ノースウェスト国立研究所は、新たな材料とシステム設計を用いた、最近の科学的飛躍的進歩を活用することにより、メタルハイドライド（水素吸蔵合金）の熱エネルギー貯蔵 (thermal energy storage : TES) の概念の実証をする。チームは、水素化物ベースの 2 つの方法で TES 技術のリスクを減らす。1 つは、高温での可逆的ハイドライド化において、求められるサイクル寿命を実証する方法、もう 1 つは、試作品の実証による方法である。ハイドライドベースの TES システムの成功により、近年の最先端システムと比較して、貯蔵密度の 10 倍程度の増加がもたらされる。</p>
<p>The University of Texas at Austin (SINOEV)</p>	\$2,481,301	<p>Austin, TX (オースティン、テキサス州)</p>	<p>電気自動車：電気自動車向け温熱/冷熱供給装置</p> <p>ユタ州オースティンにあるテキサス大学は、新たな複合材相転移材料 (phase change materials : PCM) ベースの、高エネルギー密度で低コストの蓄熱システムの研究開発を主導する。本材料開発により、低温用途向けの最先端 PCM のエネルギー密度と比べ、2~3 倍以上のエネルギー密度をもたらす。開発された材料は、電気自動車の温熱/冷熱供給装置に利用される。変革的で破壊的な本技術により、</p>

			電気自動車は自動車市場へさらに進出できる。
The University of Texas at Austin (SINOEV)	\$2,439,450	Tampa, FL (タンパ、フロリダ州)	集光型太陽熱発電／原子力発電：放射伝熱を強化した相転移材料を利用した低コスト熱エネルギー貯蔵システム サウスフロリダ大学のチームは、低コストで工業的に拡大可能な熱エネルギー貯蔵 (TES) 向け高温相転移材料 (PCM) の開発を進める。革新的な無電解封止技術は、一般的な PCM の低熱伝導性を打開し、熱伝達を強化するために利用される。本研究案により、TES コストにおいて約 75%削減される低コストで、高温で、より省スペースという画期的な TES システムが開発される。
Massachusetts Institute of Technology	\$2,966,654	Cambridge, MA (ケンブリッジ、マサチューセッツ州)	太陽熱エネルギー燃料：高エネルギー密度の太陽熱燃料に向けたハイブリッド溶液 (HybriSol : Hybridization solution) ナノ構造 MIT は、革新的なナノ材料を用いて、熱エネルギー貯蔵装置、つまりは熱バッテリーの開発を進める。この装置は太陽からのエネルギーを捕捉して、蓄え、後でグリッド上に放出するものである。“HybriSol” と呼ばれるこのエネルギー貯蔵装置は、燃料のように輸送が可能で、100%再生可能で、バッテリーのように再充電でき、そして CO ₂ 排出がない。加えて“HybriSol” は、例えば暖房や浄水への適用時に、グリッド・インフラストラクチャーがなくても利用できる。もし成功すれば、この熱バッテリーにより、化石燃料の消費や排出を減少させる取り組みに対し、前例のないほどのインパクトがあり、クリーンな太陽エネルギーが 24 時間利用可能となるだろう。
Massachusetts Institute of Technology	\$874,679	Cambridge, MA (ケンブリッジ、マサチューセッツ州)	集光型太陽熱発電／原子力発電：高温熱貯蔵用コンポジット相転移材料 MIT とボストン大学は、新たな熱力学現象を活用した熱エネルギー貯蔵 (TES)

<p>(Boston College)</p>			<p>システムの高エネルギー効率を達成するため、TES 材料ベースの相転移材料 (PCM) の開発を進める。PCM は高い相転移温度、高い熱伝導度、長い寿命、そして低コストという面を持つ。チームはこれらの材料の特徴付けや特性のモデリングを通して、PCM の展開を行う。プロジェクトの成功により、通常時とピーク時の発電容量を持つ集光型太陽熱発電システムや原子力発電所からの持続的な電力供給が可能となる。</p>
<p>Regents of the University of Minnesota (California Institute of Technology, Abengoa Solar Inc)</p>	<p>\$3,599,792</p>	<p>Minneapolis, MN (ミネアポリス、ミネソタ州)</p>	<p>太陽熱エネルギー燃料：太陽熱回収を用いた部分的レドックス・サイクル (Redox Cycle) を活用した太陽燃料</p> <p>ミネソタ大学の専門チームが、燃料生産をより効率的にさせる太陽熱化学リアクターの技術の開発を行う。チームは、材料開発、リアクター設計、実証における取り組みやイノベーションを組み合わせることによって、太陽熱からの燃料変換効率 10%以上達成を目指す。この技術案では、合成燃料（例：ガソリン）に対する前駆物質を生産するために、自国の膨大な太陽資源を効果的に活用する。もし成功すれば、外国からの石油輸入への依存を減少、もしくは完全になくせるだろう。</p>
<p>United Technologies Research Center (Ricardo, Inc)</p>	<p>\$2,695,930</p>	<p>East Hartford, CT (イーストハートフォート、コネチカット州)</p>	<p>電気自動車：蒸気圧縮ハイブリッド型吸着システムを活用する蓄熱装置</p> <p>United Technologies 研究センター (UTRC) は、蓄熱装置を備えた蒸気圧縮ハイブリッド型吸着システムの開発を行う。ハイブリッド・システムは、効率的に熱エネルギーを蓄え、従来の冷暖房システムに比べ、より軽くて小型となる。チームは、冷媒を金属塩に吸着させる独自の方法を用いる。これは、冷媒に合った高い物質吸収容量を持つ。このプロジェクト案により、運転サイクル中にバッテリーから用いる電力を最小限にでき、乗客に快適さを提供するというバッテリーがもたらされる。本成果により、電気自動車やプラグイン・ハイブリッド電気自動車の走行距離</p>

			が伸びると予想される。
University of Florida	\$2,975,920	Gainesville, FL (ゲーンズビル、 フロリダ州)	<p>太陽熱エネルギー燃料：低圧で、磁気によって安定された、非揮発性の斬新な酸化鉄ルーピング・プロセスを経由した太陽熱化学による燃料生産</p> <p>フロリダ大学は、集光型太陽熱エネルギーを（合成）ガソリンプロセスで用いられる合成ガスの生成に利用できる、新規な二層構造の高温化学リアクターの開発を行う。このプロジェクトの全体的な目標は、クリーンで石油類似の合成炭化水素燃料（製造の）ため、太陽熱による合成ガスの生産のコスト低減することである。チームは、唯一の供給原料として水やリサイクル CO₂ を、また唯一のエネルギー源として集光太陽輻射熱を活用するプロセスを開発する。太陽熱化学燃料の生産の大規模な展開の成功は、輸入石油を国内で生産できる太陽熱燃料に代えることにより、国家の経済やエネルギー安全保障を強化するという使命を果たす上でのキーポイントとなる。</p>
Massachusetts Institute of Technology (University of Texas Austin, University of California Los Angeles, Ford Motor Company)	\$2,700,000	Cambridge, MA (ケンブリッジ、 マサチューセッツ州)	<p>電気自動車：新規な熱吸着型エアコンシステム</p> <p>MIT は、電気自動車の効率的な室温調節向けの先進的な吸着式の温熱／冷熱供給装置の開発を行う。これらの蓄熱器は、高性能の冷却槽／加熱槽があり、急速蓄熱を行う。この温熱／冷熱蓄熱装置は蒸気圧縮サイクルの必要性を完全になくす。また、冷暖房の最大負荷への対応が可能であり、初期の蓄熱容量を超えても連続的な動作が可能である。もし成功すれば、需要時間のピーク時に電力消費に代わり、冷暖房という形でエネルギーを送る必要性が大いにある住宅や商業ビルなどに、この技術が幅広く適用される。</p>

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 室井 紗織）

研究チーム	助成金額	所在地（都市、州）	プロジェクトタイトルと概要
4) グリーン送電網の統合 <i>Green Electricity Network Integration(GENI)</i>			
<p>Texas Engineering Experiment Station</p> <p>(University of California Berkeley, Arizona State University, Lawrence Livermore National Laboratory, Grid Protection Alliance, Tennessee Valley Authority, Telcordia, Oak Ridge National Laboratory)</p>	<p>\$4,910,031</p>	<p>(カレッジステーション、テキサス州)</p>	<p>頑強な適応型トポロジー制御</p> <p>歴史的に見れば、送電網線は、電力が最小の(電気)抵抗となる経路に沿って流れるよう、受動的（送電網では逆潮流は皆無という前提条件の状態）に設計されてきた。Texas Engineering Experiment Stationの開発チームは、送電網線でリアルタイムに電力潮流の自動制御が可能な新システムを開発予定である。この新システムで、より頑強かつ信頼性のある送電網が構築され、将来的に大停電のリスクが低くなり、年間数十億ドルのコスト削減が見込まれる。</p>
<p>Oak Ridge National Laboratory</p> <p>(University of Tennessee – Knoxville, Waukesha Electric Systems, Inc.)</p>	<p>\$2,000,000</p>	<p>Oak Ridge, TN (オークリッジ、テネシー州)</p>	<p>電力潮流制御を行う磁気増幅器</p> <p>送電網の電力潮流をすべて制御するには、法外に高いコストがかかるため、その制御は最適な状態にはおよばず、部分的なものとなっている。Oak Ridge National Laboratory は、最大電力潮流の制御が可能な、電磁バルブのような装置を開発した。このコントローラー装置は信頼性があり、費用対効果も高いため、広範囲な分散型電力潮流制御に適したものとなっている。この利点により、電力システム資産のフル活用、信頼性や効率の向上、より効果的な再生可能資源の利</p>

			用など、広い用途に用いられる。
Michigan State University	\$2,400,000	East Lansing, MI (イーストランシング、ミシガン州)	風力発電やソーラー発電のための変圧器を持たない統合電力潮流コントローラー ミシガン州は、統合電力潮流制御装置(UPFC)を開発予定であるが、これにより、既存の電力系統での潮流制御に、技術面および経済面において多大な影響を及ぼすだろう。このUPFCには、イノベーティブな回路構成を採用する予定であり、これにより極端に大きく重い部品である変圧器がシステムから排除される。結果的にこのシステムは、軽量かつ効率的で、信頼性があり、風力発電やソーラー発電の電力潮流を高速分散制御するのに非常に適したものとなるだろう。
Charles River Associates (PJM Interconnection, Boston University, Tufts University, Northeastern University, Polaris Systems Optimization, Paragon Decision Technology)	\$1,338,591	Boston, MA (ボストン、マサチューセッツ州)	再生可能エネルギー発電の集約化に向けたインフラの堅牢性のための送電トポロジー制御 Charles River Associatesは、送電網の状態を適切な短期間に変更することで電力網の効率を高める、すなわち送電網の構成を制御することによって、電力網の効率改善を行う意思決定支援技術を開発する。この変更により送電過密を軽減するほか、不安定なエネルギー供給を制御するために、ツールや制御装置をオペレーターに追加提供する予定であり、こうすることで、より高水準の再生可能エネルギー発電を可能にする。
General Electric Company-Global Research	\$4,487,156	Niskayuna, NY (ニスカユナ、ニューヨーク州)	高電圧・高周波エレクトロニクスを用いた堅牢なマルチターミナルHVDC ネットワーク 高度な送電技術の中には、電力網とのインターフェースを有する高コストな電力

<p>(North Carolina State University, Rensselaer Polytechnic Institute)</p>			<p>変換ステーションを必要とするものもある。GE グローバル研究所(GE Global Research)は、ノースカロライナ州立大学(NCSU)やレンセラー・ポリテクニク・インスティテュート(Rensselaer Polytechnic Institute : RPI)と協力して、最先端の半導体材料であるシリコンカーバイドを用いたプロトタイプの送電技術を開発予定である。このプロトタイプは、電力網に適した高圧で機能し、効率が向上するだけでなく、コストを削減し、高度な送電システムの複雑さを軽減するであろう。</p>
<p>Georgia Tech Research Corporation (OSISoft)</p>	<p>\$2,000,000</p>	<p>Atlanta, GA (アトランタ、ジョージア州)</p>	<p>超高信頼性グリーン電力のインターネット業務向けに生産消費者ベースの自律分散的なサイバーフィジカル構造</p> <p>ジョージアテックの研究機関(Georgia Tech Research Corporation)は、インターネットのような、自律的な制御構造を、電力網向けに開発、実証を行う予定である。この制御構造には、ネットに分散型知能を有している。つまり、ネットワーク内に、エネルギー生産施設、エネルギー貯蔵施設、消費者(住宅、建物、マイクログリッドすなわち小規模電力網、電力事業システム)など自律的に調整を行う管理機能を有している。これにより、グリッド制御の制約が減り、主に風力発電やソーラー発電といった分散した様々なエネルギーリソースや、バッテリーなどのエネルギー貯蔵を大規模に普及させることができるようになると考えられる。</p>
<p>California Institute of Technology (Southern California Edison)</p>	<p>\$1,350,000</p>	<p>Pasadena, CA (パサディナ、カリフォルニア州)</p>	<p>大規模に実現可能なリアルタイム分散型電圧/VAR 制御</p> <p>カリフォルニア工科大学(Caltech)は、再生可能エネルギーによる不安定な発電状況下において、システム全体の効率性、安定性、信頼性、電力品質を実現するために、大規模に実現可能でリアルタイムな分散型電力制御方法を開発予定。この</p>

			分散制御構造により、同時にその電力網内の全体的な電力潮流を最適化しながら、各接続ポイントが独自の電力を管理できるようにする計画である。これにより、分散した風力発電施設やソーラー発電施設など、何百もの有効なエネルギー用途を持つ相互接続システムが利用できるようになる。
Varentec, Inc. (Georgia Institute of Technology / NEETRAC, Waukesha Electric Systems, Electric Power Research Institute)	\$4,025,951	San Jose, CA (サンノゼ、カリフォルニア州)	配電用のコンパクトでダイナミックな位相角レギュレーター Varentec 社は、送電網の電力潮流を制御するためのコンパクトで低コストなソリューションを開発予定。この技術により、資産を有効に活用することで、また、再生可能エネルギーの普及レベルの向上に合わせて構築すべき送電網を劇的に減らすことで、送電網の機能を向上させる計画である。最終的に、電力潮流を手頃なコストで動的に制御(ダイナミック制御)する能力により、従来の規制構造や技術ベースでは実現できなかった、新たな、競争の激しい電力市場が開拓されるだろう。
Cornell University (Washington State University)	\$1,300,000	Ithaca, NY (イサカ、ニューヨーク州)	グリッド制御：スマートグリッドを支えるソフトウェア・プラットフォーム コーネル大学は、新しいスマートグリッド制御方法のプロトタイプを作成し、これを実証するために必要な時間と問題点を軽減するソフトウェアを開発予定。同プロジェクトは、より対応力のある、正確で安定したグリッド制御を行うことができるクラウドコンピューティングの能力に可能性を与えるだろう。
General Electric Company-Global Research	\$799,958	Niskayuna, NY (ニスカユナ、ニューヨーク州)	低コストな HVDC ケーブル配線実現のためのナノクレイによるエチレンプロピレンゴムの性能を強化 送電ケーブルに使用される誘電体は、非常に高コストである。コストを押し上げている主な問題点は、絶縁体の信頼性である。GE 研究所は、特殊ゴムであるエ

			チレンプロピレンゴムにナノ材料を埋め込み、配向性、空間分布、電気特性を最適に合わせ持つ化学物質を開発し、信頼性の高いケーブル配線を行う計画である。
University of Washington (University of Michigan)	\$1,423,330	Seattle, WA (シアトル、ワシントン州)	エネルギーの位置づけ：エネルギー管理と経済（経済的側面） ワシントン大学は、エネルギー管理技術の開発を行う。この技術により、再生可能エネルギー発電の余剰電力を消費すべきか、あるいは電力貯蔵設備に送るべきかといった賢明な判断を行う。この電力が電力貯蔵設備に送られた場合には、その後これを利用する上で最適な場所に電力を送る判断も、このエネルギー管理技術により行われる。ふさわしい規模の貯蔵設備を最適な場所に設置する組織的な管理と需要反応により、再生可能エネルギー発電の大規模な統合を促進し、その結果、送電拡大のニーズを大幅に軽減し、システムの信頼性を高めることになる。
General Atomics (Mississippi State University)	\$2,515,673	San Diego, CA (サンディエゴ、カリフォルニア州)	高圧直流(HVDC)電力保護用の磁気パルス式ハイブリッドブレイカー General Atomics 社は、ロスが少なく、信頼性の高い、配電技術を開発予定。これにより、従来の技術よりも約 10 倍速く機能する。この技術が、高度な送電網実現の鍵となり、洋上ウィンドファームや太陽光発電フィールドのような遠く離れた場所で再生可能エネルギーによって発電された電力を、都市部の消費者につなげるために不可欠な役割を果たすだろう。
AutoGrid, Inc. (Lawrence Berkeley National Laboratory, Columbia University)	\$3,465,626	Cupertino, CA (クパチーノ、カリフォルニア州)	分散型発電の集約化のために送電を分散した高度なデマンドレスポンス AutoGrid 社は、Lawrence Berkeley National Lab やコロンビア大学と協力して、高度に分散した「デマンドレスポンスの最適化と制御をリアルタイムに行うシステム (Demand Response Optimization and Management System for

			<p>Real-Time : <i>DROMSRT</i>」の設計・実証を行う予定である。</p> <p>このプロジェクトで、非常に短い期限内に「カスタマイズ」された価格シグナルを数百万もの消費者に送ることが可能になる。これにより、その電力網が過密状態になっている時には、消費者はその要求を控えることができるようになる。この <i>DROMST-RT</i> により、デマンドレスポンス・プログラムの運用コストを 90%削減できるものと期待される。</p>
<p>Smart Wire Grid, Inc (Boeing, Innoventor, New Potato Technologies, Inc., Georgia Tech/NEETRAC, Carnegie Mellon University)</p>	\$4,400,000	<p>San Francisco, CA (サンフランシスコ、 カリフォルニア州)</p>	<p>エネルギールートにスマートワイヤーを活用した電力潮流制御</p> <p>アメリカ大陸には、66 万マイル(約 106.2 万 km)を超える送電網線があり、これらの内の約 33%が、かつて深刻な過密状態となったことがある。この状況はしばらく続いているが、平均して全電力系統の送電容量の約 45~60%のみが利用されている。創業して間もない Smart Wire Grid 社は、未使用送電容量をさらに有効利用できるように送電網の電力潮流を管理するソリューションを開発予定である。</p> <p>電力管理を行うのは、高度な管理ソフトウェア、センサー、通信技術を取り入れているこの「smart wire」社となる予定。</p>

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 原田 玲子）

研究チーム	助成金額	所在地（都市、州）	プロジェクトタイトルと概要
5) 太陽光発電の機敏な電力供給技術 <i>Solar Agile Delivery of Electrical Power Technology (Solar ADEPT)</i>			
SiCLAB, Rutgers University, NJ	\$897,955	New Brunswick, NJ (ニューブランズウィック、 ニュージャージー州)	<p>発電事業向け用の全く新しいタイプのインバータ用炭化ケイ素バイポーラスイッチ（15kV-20kV）の初実証</p> <p>SiCLAB コンソーシアムはパワースイッチを改良し、パワーコンバーター性能の実質的な改善を目指す。このパワースイッチ案を高電圧・高出力システム用に応用できれば、重さ、サイズ、エネルギー損失を同時に 75%まで削減することが可能となり、システムへの信頼が増し、コスト削減にもつながる。リスクも高いが見返りも多い今回のプログラムによって、電力事業規模のインバータ、風力発電用タービン、油を使わない固体変圧器、鉄道機関装置、スマートグリッド、そのほか様々な用途への適用方法が見つかるだろう。</p>
Transphorm Inc. (Enphase Energy Inc.)	\$3,644,559	Goleta, CA (ゴレタ、 カリフォルニア州)	<p>窒化ガリウム四象限スイッチが配電網に接続する三相マイクロインバータを可能に</p> <p>Transphorm 社はソーラーパネルに組み込むための頑丈でコスト効率がよく効果的に電力変圧できる装置の開発を行う。この技術は四象限スイッチと呼ばれる高性能アーキテクチャーに基づいており、一台の半導体装置で双方向に電圧と電流の切り替えが可能となる。これは最新の半導体デバイス材料である窒化ガリウム(GaN)素材から作られる。四象限スイッチデザインによりロスを減らし、高い効率性がもたらされるだろう。「プラグを繋ぐとすぐに使える(plug-n-use)」技術はソーラーパネルからグリッドへの送電を確かなものとし、商業施設やソーラーファームにおける太陽光発電の普及を変革するものになるだろう。</p>

<p>University of Colorado Boulder</p> <p>(National Renewable Energy Laboratory)</p>	<p>\$1,200,000</p>	<p>Boulder, CO (ボールドラー、 コロラド州)</p>	<p>ウェハーレベルサブモジュール積層型 DC/DC コンバータ</p> <p>コロラド大学チームはソーラーパネルに組み込む小型の最新型電力コンバータを開発・実証する。損失の少ない電力コンバータを組み込んだ高速スイッチング構造をベースとしたものである。この電力コンバータは太陽エネルギーシステムにおけるエネルギー捕捉率を著しく改善し、結晶型、積層型、フレキシブル型といった全てのタイプのパネルに組み込むことができる。</p>
<p>Ideal Power Converters</p> <p>(Rensselaer Polytechnic Institute, Virginia Polytechnic Institute)</p>	<p>\$2,500,000</p>	<p>Spicewood, TX (スパイスウッド、 テキサス州)</p>	<p>双方向性シリコン IGBT のモジュールが電流変調トポロジーを用いた PV インバータのブレイクスルーを可能に</p> <p>Ideal Power Converters 社はソーラーパネルをグリッドにつなぐための軽量電子部品を開発している。商業施設の壁や屋根に設置できる小型ソーラーパネル電子部品の開発に必要とされる、画期的なトランジスタ設計を用いた電子回路を開発している。素材、製造、輸送、設置におけるコストを精力的に減らすことで DOE の SunShot Initiative が掲げる積極的なコスト削減を後押しし、電子部品の重量を 98% 軽くすることが本プロジェクトの目標である。</p>
<p>SolarBridge Technologies, Inc.</p> <p>(University of Illinois at Urbana-Champaign)</p>	<p>\$1,750,000</p>	<p>Austin, TX (オースティン、 テキサス州)</p>	<p>事業規模太陽光発電に関する電力の出力密度、効率性、性能および急激な電力上昇抑制のための拡張性サブモジュール電力変換方法</p> <p>Solar Bridge Technologies 社はソーラーパネルの出力を改善するための新たなプロトタイプ電子技術の調査および開発を行う。ソーラーパネルを数多く連結させた大規模ソーラーパワープラントのための技術であり、この新技術は DPP(differential power processing)と呼ばれる。DPP 技術は、連結された二枚のソーラーパネルのそれぞれが本質的に光線量の異なる太陽光にさらされる中で異なる電力を集めるものである。DPP を用いた電力変換装置は現行の電子方式よ</p>

			りもかなり小型で安価なものとなるだろう。
<p>Satcon Technology Corporation</p> <p>(Mide Technology Corporation, Cree Inc., Sandia National Laboratories, Powerex Inc.)</p>	\$3,000,000	<p>Boston, MA</p> <p>(ボストン、マサチューセッツ州)</p>	<p>最新型の広いバンドギャップを持つデバイスを利用した太陽光発電応用のための柔軟な直接グリッド連結用中電圧 4.7-13.8kV 電力コンバータ</p> <p>Satcon Technology 社は高出力変圧装置を開発し、できるだけ高圧のまま大規模太陽光発電を電気事業用グリッドにすぐに送り込めるようにする。今回開発される技術は、現時点でかなり小型化・軽量化された一体型デバイスとなることが要求される大型電力変圧器に代わって導入されることになるだろう。結果として大規模のソーラー電気事業プロジェクトにおけるコスト削減とつながり、太陽光発電所により広く採用されることとなるだろう。</p>
<p>Carnegie Mellon University</p> <p>(Los Alamos National Laboratory, Magnetics (a Division of Spang & Co.), University of Pittsburgh)</p>	\$1,722,400	<p>Pittsburgh, PA</p> <p>(ピッツバーグ、ペンシルベニア州)</p>	<p>高周波メガワット規模の電力変換装置用ナノ複合材料マグネット技術</p> <p>Carnegie Mellon 大学の材料科学工学部(Materials Science and Engineering Department)は、直接の電力系統接続をもつエネルギー変換システムのためのナノレベルのマグネット材料の開発を行う。電力変換システムのサイズ縮小、軽量化、コスト削減となる。さらに太陽光発電の効率的で、コスト効率が良く、信頼性のあるグリッド統合にもつながる。</p>

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 望月 麻衣）

出典：本資料は、アメリカ ARPA-E の以下の記事を翻訳したものである。

“ARPA-E Project Selections-TECHNICAL DESCRIPTIONS, 5) Solar ADEPT: Solar Agile Delivery of Electrical Power Technology”

<http://arpa-e.energy.gov/LinkClick.aspx?fileticket=QHWJySjQEbk%3d&tabid=454>

(資料 7)

【研究開発 (太陽電池)】 PV 技術インキュベーター Cd-Te

仮訳

サンショット・イニシアチブの成功例 (米国)

GEがコロラドの新工場にて

PrimeStar Solar社の技術を用いた太陽電池パネルを製造

2011年10月14日



GE社の(同社が買収した)PrimeStar社によりコロラド州アルバーダにて製造された(化合物半導体)薄膜太陽電池パネル(画像提供:Edelman)

2011年10月13日、ゼネラル・エレクトリック社(General Electric: GE)は、(化合物半導体)薄膜太陽電池パネルの新たな製造工場をコロラド州オーロラに設立することを発表した。これにより、米国エネルギー省の国立再生可能エネルギー研究所(National Renewable Energy Lab: NREL)で開発された革新的な技術に基づく高性能で低価格な(太陽電池)パネルの生産を目指す。



Minh Le
太陽光エネルギー技術
プログラム
チーフ・エンジニア

GE社の計画によると、この工場が年間で生産する（太陽電池）パネルにより、8万世帯に電力が供給され、そして今後3～5年間コロラド州で355名の雇用が創出される。また、GE社によると工場の製造ラインは来年早々にはパネルの製造を開始し、2013年に販売開始が可能となる予定である。

以前の記事で述べたように、工場で製造されるパネルは、初めはNRELの研究者チームにより開発され、後にコロラド州の新興企業であるPrimeStar Solar社により実用化されたテルル化カドミウム（Cd-Te）化合物半導体薄膜PV技術をベースにしている。GE社は今年初めに、PrimeStar社の完全買収を発表しており、それに伴ってPrimeStar社の技術まわりに6億ドルを投資する計画である。また計画の中には、現在はオーロラにある工場も正式に含まれている。

エネルギー省の支援は、PrimeStar Solar社の成功には不可欠である。PrimeStar Solar社は、共同研究や開発協定を実行するために、NRELとパートナーとなった。そして、DOEよりPV技術インキュベーター資金の提供を受けている。この援助により、PrimeStar Solar社は初となる30メガワットの製造設備を建設した。

本日のニュースにより、PrimeStar社の太陽電池の生産は、期待される技術としてスタートし、現時点で米国において工業的な生産を行い新規雇用を生んだDOEにより援助された太陽電池イノベーションの最新のものとなる。最近では、その他同様のPV技術インキュベーターもニュースとなっている。

- ・ シリコンインクのパイオニアであるInnovallight社が、DuPont社により今年買収された。
- ・ Siemens社の支援を受けるSemprius社は、極めて小さな高集光型PVセルを作るという同社の画期的な技術“micro-transfer printing”を活用する最初の発電所を建設することにより、ノースカロライナ州にて雇用を増加させている。
- ・ Abound Solar社とSolopower社は、それぞれの薄膜（太陽電池）パネルの生産を拡大し、First Solar社の成功を再現することを期待している。First Solar社は、ちょうど10年前にNRELにて開発された技術を用いて、数十億ドルものグローバル事業を作り上げている。

サンショット・インキュベーターは、米ドルが民間資本にてこ入れをした極めて貴重な一例である。2007年以降、インキュベーター・プログラムでは、この10年間で終わるまでに、従来の発電に匹敵する太陽エネルギーコストにするための技術の発展を加速させるため、PrimeStar社のような新興企業24社に6,000万ドルが投資されている。現在24社のすべてが成功しているわけではない。それが、ハイリスクで、流れを大きく変えるような技術への投資における性質というものである。しかし多くは継続しており、これらの24社の企業が民間資本により13億ドル以上の活用が可能であり、現地点で米国にて1,200名以上を雇用、さらに雇用数は増えると期待されている。PV市場は成長を続けており、さらに米国のPVイノベーションを支援することで、この重要な産業において米国はリーダーとなることができる。

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 室井 紗織）

出典：本資料は、米国エネルギー省の以下の記事を翻訳したものである。

“Another SunShot Success: GE to Make PrimeStar Solar Panels at New Colorado Plant”

<http://energy.gov/articles/another-sunshot-success-ge-make-primestar-solar-panels-new-colorado-plant>

(関連資料 7-(1))

【研究開発 (太陽電池)】 スクリーン印刷 シリコンナノ粒子仮訳

NRELのシリコンインク活用のための開発戦略 (米国)

2011年9月28日

インクはいろいろなものを汚したりするが、Innovalight 社の開発したシリコンインクは、ソーラーセルに添加すれば固まったりこぼれたりせずに、セルの出力を5~7%も向上し採算性を高めてくれる。

しかし、それは、シリコンナノ粒子を均一に浮遊させた極めて特別なインクでなくてはならない。それにより上面の金属接点の真下にシリコンエミッタをドーブするために必要で、正確なミクロン幅の線を付着できる。それらの接点がソーラーセルを機能させるのだ。

米国カリフォルニア州サニーベールにある新興の中小企業、Innovalight 社は、極小のシリコン粒子が互いに付着したり、容器の底に沈殿したりすることなく溶液中に浮遊する独創的な方法を開発した。

その「シリコンインク」がソーラーセルの役に立つのだろうか？

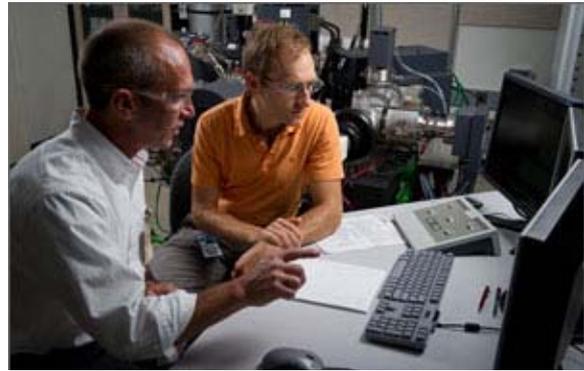
米国エネルギー省(the Department of Energy)の再生可能エネルギー研究所(the National Renewable Energy Laboratory: NREL)によると、その答えは「イエス」である。そして、「シリコンインク」がソーラーセルの製造工程で添加されると、ソーラーセルの変換効率の向上と大規模な工場の年間コストの大幅な節約が可能となることから、ここでの勝者はソーラーセル産業と環境である。

この「シリコンインク」技術で、NRELとInnovalight社は、誰もが切望する[2011 年度「R&D100 選」](#)を受賞した。「R&D 100 マガジン」誌が授与するこの「R&D 100 選」は、産業界における「発明へのオスカー賞」である。低コストな方法で変換効率を向上させることができる「シリコンインク」を、産業界では「金の液体(liquid gold)」と呼ぶ者もいる。

シリコン中の不純物は接点や電力を作るキーである

シリコンは、毎年世界中で生産されるほとんどのソーラーセルの主要な原料である。

ドーパント、すなわち不純物は、シリコンの電導性を変化させ、光子(光子)をエレクトロン(電子)へ、そして最後に電力へと変換させる内部電界を作るために使用される。その場合の課題の一つは、正確な濃度のドーパントを、デバイス中の正確な位置に配置することである。



[クリックして画像拡大](#)

Bob Reedy 氏(左)と Manuel Romero 氏(右)が Innovalight 社の「シリコンインク」の中のドーパントと不純物の分析用機器と同様な二次イオン質量分析計(secondary ion mass spectrometer: SMIS)で作業中。クレジット: Dennis Schroeder

Innovalight 社は、シリコンナノ粒子を溶液中に均一に浮遊させる方法を開発したことにより「シリコンインク」で大成功を収めた。シリコンナノ粒子には、選択エミッタを形成するためにシリコンソーラーセルに導入されるドーパント原子が含まれている。

Innovalight 社の見込み顧客と投資家は、「シリコンインク」が、高濃度のドーパントがエミッタの極めて局所的な領域へと運ばれ、ソーラーセルの効率を向上させることができるのかどうか見極めたいと思っていた。

NREL の Senior Scientist である Kirstin Alberi 氏と David Young 氏は、Innovalight 社が実証したい事実に耳を傾け、その実証を支援するためのある実験を提案した。

「問題は、このインクが明確な線を描くことができ、はっきりとした選択エミッタを作成するために、その線の下にある材料のみにドーパントを運ぶことができるか、ということでした。」ポス・ドク研究者として 3 年前に NREL に就業した Alberi 氏は語った。もしそれが可能ならば、セルの残りの部分に含まれるドーパントは低濃度のまま、接点の直下の高濃度ドーパントは金属接点での抵抗を低下させるのではないかと – それにより効率が飛躍的に向上し、大幅なコストの削減となるのではないだろうか。

「金属部との接触をより良くするためには、エミッタはある程度高濃度にドーブされている必要があります。」Alberi 氏は述べた。「でも他の部分に高濃度にドーブされることは良くない。」

そのため、ソーラーセル中の正確な部分のみが高濃度にドーブされる「選択エミッタ」が、有望な技術となる。

インクが付着位置にとどまり、その結果セルの変換効率を向上させる

コストに関する質問: スクリーン印刷の手法を利用した「シリコンインク」は、全体に広がることなくそれぞれにドーブが異なる線に付着させることができるのか? インクが広がってしまうと、シリコンの高濃度にドーブされた箇所から、低濃度であるべき箇所へとドーパントがオーバーフローしてしまうのではないかと?

「Innovalight 社は、自分たちの会社がうまくこの点を解決できることを投資家に証明しなければなりませんでした。」と Alberi 氏は述べた。「彼らはそのすべを知ることができず、そこで私たちがお手伝いできました。」

「ユーリカ! (わかった!) という瞬間はなかったのですが、Innovalight 社が望んだ通りに「シリコンインク」が機能したことをジワリと認識できたことは、実に嬉しいものでした。」と Alberi 氏は語った。

「望んだとおりの結果を得られて嬉しいです。」と Alberi 氏は語った。

スコアカードについて: 低コストのスクリーン印刷で使用された「シリコンインク」は、ソーラーセルの変換効率において、1%の絶対値の増加をもたらした。それが顕著な増加ではないように思えたら、標準的なシリコンソーラーセルアレイでは、そこに当たるフォトンの 15% を使用可能な電力に変換するとされていることを考えてほしい。その 1% の増加は、大規模なソーラーセル製造工場では気づかれることがないほどの低コストにより、実際には従来の 15% の効率のセルの出力において 7% の増加となることを示す。

「これはコストがほとんどかからないにもかかわらず、大きな効果です。」このプロジェクトに関わる NREL の lead investigator の Richard Michell 氏は語った。

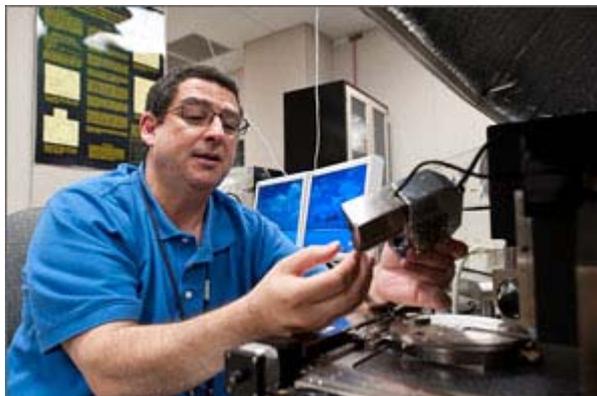


クリックして画像拡大

Principal scientist, Yanfa Yan (左)、staff scientist, Kim Jones は Innovalight 社の「シリコンインク」のような材料のトポグラフィの分析のため、集束イオンビーム電子顕微鏡で作業。クレジット: Dennis Schroeder

極めて特別なインク、スクリーンとヘラ

製造工程においては、「シリコンインク」をスクリーン上に流し込み、シリコンウェハが通過する一方向に向かって、ヘラ（スクイージ）でインクを押し広げる。そして新しいウェハがスクリーンの下に現れたら今度は逆方向にインクを押し広げる。そうするとインクは、スクリーンマスク上のインクを通す小さな隙間があるセル中の正確な位置にのみ行き渡る。



クリックして画像拡大

ときおり、インクの広がりを均一にすること、インク切れを避けることを確実にするために、注射器で「シリコンインク」をスクリーンに加えることもある。

NREL の Senior Scientist、Helio Moutinho 氏、走査型容量顕微鏡(scanning capacitance microscopy: SCM)によるサンプルを分析する原子間力顕微鏡のプローブを持っている。この技術で Innovalight 社のシリコンサンプルの各領域中のドーピング濃度のばらつきを調べる。クレジット: Dennis Schroeder

テストの結果、インクは付着位置にとどまった。

シリコンとドーパントが未処理のセルの正しい位置にあれば、それらは、溶けてしまわない程度に、さらに「シリコンインク」に含まれるドーパントがソーラーセルへと導入される程度まで加熱される。

「Kirstin (Alberi 氏)と他のスタッフが、Innovalight 社が、必要とされる領域に正しい選択ドーパントを実際に得ることができるということを証明するのをお手伝いしました。Mitchell 氏は述べた。「これは、プリントするまさにその場所で、セルがドーピングされる現象を示した最初の技術です。それもマイクロレベルの正確さで。」

NREL と Innovalight 社が研究開発と障壁の克服に提携

NREL と Innovalight^{注1}社との初のパートナーシップは、2008 年の共同研究開発契約、すなわち CRADA である。この契約で Innovalight 社は、NREL の科学者たちの専門技術の提供への対価を支払い、NREL はこの見返りとして、Innovalight 社の独占特許技術に対する守秘義務について合意した。

^{注1} <http://www.innovalight.com/>

後に Innovalight 社は、NREL の Photovoltaic Incubator プログラムに参入するための競争的資金を勝ち取った。その結果、同社は、NREL の科学者たちが課題の障壁を克服するために NREL の科学者が提供する支援に応じて、厳しい期限に間に合うように技術改善を行わなければならないこととなった。

最終的に Innovalight 社は、インクジェット用に「シリコンインク」を用いる処理過程における問題点に対処した。同社は、カリフォルニア州サニーベールにある本社のアセンブリラインでデモンストレーションを行い、見込み顧客に対してその技術を披露した。

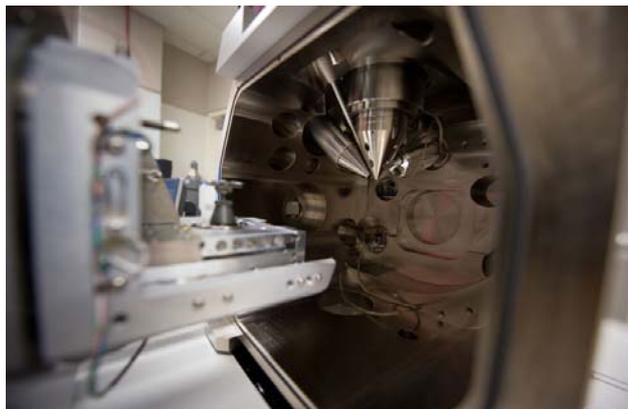
顧客は、ソーラーセルに適用されているインクジェットプリントには馴染みがなかったため、メーカー各社は、その跳躍に二の足を踏んだ。「しかし、それらどのメーカーもすでに生産ラインにスクリーンプリンティング技術を用いていた。」と Mitchell 氏は述べ、こう続けた。「スクリーンプリンター装置をさらに増やすことは、オペレーターたちも納得することであった。」

このため、Innovalight 社と NREL の提携で目指すべきゴールは、スクリーンプリント技術を用いた「シリコンインク」の信頼性を実証することへとシフトした。

中国企業が米国企業に先んじてスクリーンプリントの技術提携

「シリコンインク」の使用について契約を結んだメーカーは、JASolar 社、Hanwha SolarOne 社、Jinko Solar 社など、すべて中国企業であり、彼らは自社で選択した一部のアセンブリラインでこの技術の適用を試みている。これにより、期待どおりの結果が得られれば、彼らはこの技術を全アセンブリラインで使用し始めるだろう。と Mitchell 氏は述べた。

これが成功であることが実証されれば、これらの企業はインクジェット方式を用いて「シリコンインク」を試そうとする気持ちになるかもし



クリックして画像拡大

Innovalight 社の「シリコンインク」のような材料のトポグラフィの分析に用いられる NREL の FEI Nova 200 デュアルビーム電子顕微鏡の試験片/真空容器の内部。この顕微鏡は、高度な空間的な微細構造分析を行うために部位特異的な断面図をとるために用いられる。

れない。このように Innovalight 社は述べており、これにより、セルの変換効率が向上し、コストを抑えられる可能性が高くなると考えられる。

先月、DuPont 社が Innovalight 社を買収したが、この動きが、「シリコンインク」技術を用いた米国ソーラーセル製造に対する展望を加速させることになるかもしれない。

NREL とのパートナーシップは、「当初から有意義な体験である」と、Innovalight 社の創業者で現在 58 名の社員を抱える DuPont Innovalight 社のゼネラルマネージャーの Conrad Burke 氏は述べている。

「NREL には、我々のような規模の企業、否、さらに大きな企業であっても、とても到達できない確かな能力がある。」と Burke 氏は述べ、こう続けた。「我々が必要なときにそれらのリソースを利用できるのであれば、それはまさに、win-win(ウィンウィン)の状態である。米国でそのようなリソースを利用できるというのは素晴らしいことだ。」

詳細については、[NRELのサイト](#)を参照のこと。

ソーラーセルの大量生産を早く正確に行う秘訣

数百個のソーラーセルを 1 週間で生産する場合、そのプロセスは、正確さとスピードを兼ね備えたものでなければならない。

すなわち、一部ではシリコンを高濃度ドーピングしたシリコンを付着させるのに対して、他方では、低濃度ドーピングしたシリコンを付着させる迅速な方法がなければならないということである。

互いに凝集して固体化したり、底部に沈殿したりすることのない、「シリコンインク」のエマルジョン(乳濁液)^{注2}を作る Innovalight 社の技術力が、自社製品に大変革の可能性をもたらした。その狙いは、この太陽光の大半がソーラーセルの低濃度ドーピングされた基部に吸収されるように、ゆるやかに上面のグリッドラインの間のエミッタをドーピングすることであり、グリッドライン直下のエミッタに高濃度ドーピングすることで、接点の直列抵抗を低くする。

その結果、より変換効率の良いソーラーセルとなる。すなわち、より小さなモジュールで同等量の発電が可能だということである。そして、このことはつまり、消費者にとってのコストも低くなるということであり、低料金で電気を利用できるようになり、メーカーが

^{注2} 液体中に他の液体粒子が分散して乳状を成したもの。

負担するコストも低くなり、年間数百万ドルもコストを抑え、利益を急増させることができる。

ドーパントにより形成される n 型/p 型シリコン

形成方法:

目標は、電子とホール(正孔)が均衡状態で存在し、電場において電位差のある接合部分を作ることである。これには p 型と n 型の 2 種類のシリコンが必要で、それぞれ、異なった量の不純物、つまりドーパントを必要とする。

シリコンにドーパントすなわち不純物が加えられることによって、その電気特性が変わる。リンを加えると n 型のシリコンができるが、この「n」は、マイナス自由電子を意味している。また、ボロン(ホウ素)を加えると、p 型シリコンができ、これにより、正電荷とホールが作られる。逆の電荷をもつ n 型の電子と p 型のホールが、pn 接合部で接触する時に、ソーラーセル内で電荷が運ばれる。

「シリコンインク」で、識別された不純物質を付着させるという細心の注意を要する仕事を成し遂げることができるということを実証するために、Innovalight 社は、DOE の NREL の助力を仰いだ。

「Innovalight 社は我々に、何を実証したいのかを伝え、それを我々が考慮し、いくつかの実験を行うことを提案したのだ。」と NREL の上席研究員である Kirstin Alberi 氏は述べた。

Innovalight 社によって実験用サンプルの準備が完了すると、走査型容量顕微鏡、造影、顕微鏡、顕微鏡検査の専門家とともに、NREL の測定と特性評価の技術者が加わった。

本実験に対応できる巨大電子顕微鏡

Helio Moutinho、Bob Reedy、Yanfa Yan、Kim Jones、Manuel Romero 各氏は、巨大な特殊電子顕微鏡で分析を開始した。Romero 氏はサンプルの造影を行い、電子顕微鏡の助けを借りて、ドーパントの深さのほか、水平方向にどのくらいまで広がるかを割り出した。

NREL の科学者たちは、二次イオン質量分析法と呼ばれるプロセスを使用して原子をス

パターニングして正確な成分を決めるため、質量分析を行った。次に、空間分解計測技術を用いて、正確にそのエレメントがサンプルの上に置かれる位置を示すマップを作成した。こうして彼らは、「シリコンインク」が p 型と n 型のシリコンをシリコンウェハの背面に配置するために使用でき、これによって、ウェハ前面に接点を作る必要性がなくなるということを実証した。

「彼らは、独自の特殊な方法でシリコン粒子を p 型 n 型へとドーピングさせる技術を開発した。シリコン粒子のサイズを合わせることができた。」と、このプロジェクトの NREL の主任研究員、Richard Mitchell 氏は述べた。

「シリコンインク」によって接点とエミッタの設計が改善されることで、個々のセルの発電効率が 1%アップするといった最大の効果が得られる。たとえば、光子から電気への変換効率は約 16%から 17%へと急激にアップし、これは実際には、全体の効率が 6~7%アップしたことになる。

このテストによって実証された内容は、今年 8 月に Innovalight 社を買収した世界的な大企業 DuPont 社を惹きつけるのに十分なものであった。

「産業力が大企業の資金を集めるために、こういった技術の実証を行うことは常に良いことだ。」と Mitchell は述べ、こう続けた。「それが購入すべき優れた技術だと判断されるまでに、彼らはそれ相応の努力をしていたのだ。」

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 松田 典子）
（担当 総務企画部 原田 玲子）

出典：本資料は、以下 ”Silicon Ink Is Spot On, NREL Experiments Show” の記事を翻訳したものである。

http://www.nrel.gov/news/features/feature_detail.cfm/feature_id=1596

【エネルギー（蓄電池）】 ナトリウム・イオン蓄電池**仮訳****有能なナトリウム・イオン蓄電池を作る（米国）**

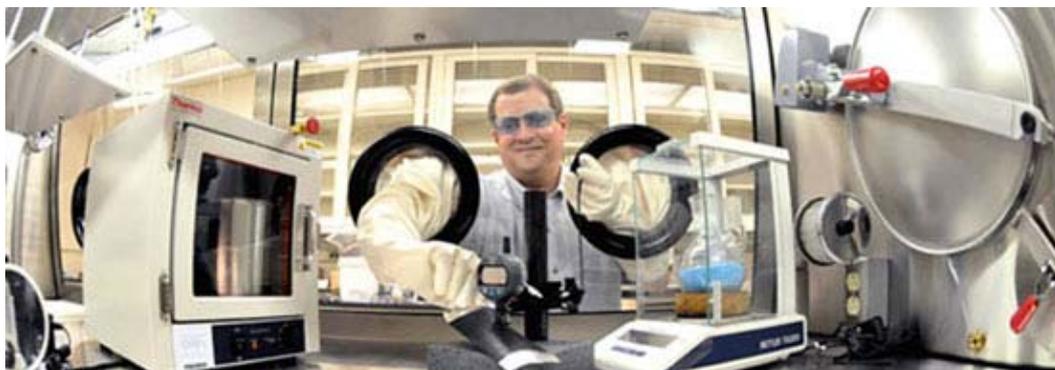
(2011年10月24日)

リチウム・イオン技術は、蓄電池の研究開発において主流を占めているが、新たな元素が有力な代替品になるかもしれないと着目されつつある。それは、ナトリウムである。

ナトリウム・イオン技術には、リチウム・ベースのエネルギー貯蔵では得られない多くの利点があると説明するのは、アルゴンヌ研究所の化学者であるChristopher Johnson氏である。彼は、大気温度下のナトリウム・ベースの蓄電池性能を向上させる取り組みの第一人者である。

おそらく最も重要なことであるが、ナトリウムはリチウムより資源量をはるかに豊富であり、そのためナトリウムはコストも安価で、蓄電池市場が急速に拡大しても、急激な価格高騰の影響を受けにくい。

「我々がナトリウム・イオン技術の研究を始めたのは、研究対象の1つが、まさに蓄電池の分野の全ての基本を扱うことだったからだ。ナトリウムのエネルギー密度は低いと分かっていたが、他の要因を考慮しても、これらのシステムに取り組む価値があると我々は判断した。」と、Johnson氏は述べる。



しかしながら、ナトリウム・イオンの重量はリチウムの約3倍あり、重量が増加することで、イオンが蓄電池の電極間を移動するのが難しくなる。結果として、化学者は原子レベルでナトリウムとうまくいく蓄電池の化学反応の選択に、さらに注意を払わなくてはならない。

過去に行われた実験では、高温のナトリウム硫黄蓄電池の可能性が調べられてきたが、室温のナトリウム・イオン二次電池の研究は始められたばかりである、とJohnson氏は述べる。「ナトリウム硫黄蓄電池に挑むのは技術的にも困難で、コストもより高くつく。我々は15年以上かけて収集したリチウム・イオン電池に関する知識を活用したかった。」

車を動かすのと同量のエネルギーを送るには、さらなる重い蓄電池が必要になる。そのため、ナトリウム・イオン蓄電池は、エネルギー密度が減少する理由からも、運送業界にとってはあまり効率的に機能しない。しかしながら、固定的な電力貯蔵などの分野では、重量はさほど問題ではないので、ナトリウム・イオン蓄電池が広範囲な用途が見いだされるだろう。

「固定的な電力貯蔵の最大の懸念は、コスト面、性能面そして安全性であるが、ナトリウム・イオン蓄電池は、それらのすべての評価において、理論的には良い成果を残すだろう。」と、Johnson氏は説明する。

すべての蓄電池は、陽極、陰極、電解液といった3つの異なる材料で構成されている。リチウム・イオン蓄電池と同様に、これらの各材料は、蓄電池が最大限の能力を発揮できるような特定の化学反応に基づいて、選択される必要がある。「全システムが設計通り作動するように、それぞれの部品には、正しい素材を選ばなくてはならない。」と、Johnson氏は述べる。

このため、Johnson氏はナトリウム・イオンが二酸化チタン・ナノチューブからなる陰極にどのように吸収されるかを調査するために、アルゴンヌ研究所ナノ科学者のTijana Rajh氏が率いるグループと協力することとなった。

「これらのナノチューブが作られる方法は、大きな拡張性が望める。もし大きな金属チタンシートがあれば、大量のチューブを形成することができる。それにより、より大きな蓄電池を生産することが可能になる。」と、Johnson氏は語る。

Johnson氏によると、本研究の次の段階では、水性の、つまり水をベースとしたナトリウム・イオン蓄電池の調査へと進む。これによりナトリウム・イオン蓄電池は、より安全で安価という利点を持つこととなるだろう。

関連サイト：

- 電池研究が研究センターから特別な活力を得る [詳細](#)
- アルゴンヌがエネルギー貯蔵研究に衝撃を与える [詳細](#)
- より寿命の長い新型電池の検査 [詳細](#)
- 工学研究所を早期成功に導く新材料 [詳細](#)
- 新たなアノード技術により電池の素早い充電が可能に [詳細](#)

編集者注：本記事はアルゴンヌ研究所のエネルギー貯蔵に関する広範囲の研究能力や技術開発の成功に焦点を当てたシリーズの第5回目である。

アルゴンヌ国立研究所は、国家の差し迫った科学技術分野の問題に対する解決策を模索している。米国初の国立研究所であるアルゴンヌ国立研究所は、事実上すべての科学的教義におけるベーシックおよび応用両方の先端科学研究を行っている。同研究所の研究者たちは、何百もの企業、大学、連邦政府、州、地方自治体の研究者たちと密に協力して研究を行っており、具体的に問題解決を助け、米国の科学的リーダーシップを高め、より良い未来のために国家的な準備を行っている。60カ国を超える国々の職員を有する同研究所は、[DOEのエネルギー省の科学局 \(Energy's Office of Science\)](#) の代わりに、[UChicago Argonne LLC](#)によって管理されている。

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 室井 紗織）

出典：本資料は、米国アルゴンヌ国立研究所の以下の記事を翻訳したものである。

“Making sodium-ion batteries that are worth their salt”

http://www.anl.gov/Media_Center/News/2011/news111024.html

(資料 9)

【電子・情報（半導体）】 LED ダイオード・レーザー

仮訳

米国サンディア研究所プレスリリース
4つのカラー・レーザーから作られる高品質の白色光
 サンディア研究所のテストで新顔のダイオード・レーザーが、最終的には
 家庭や工業用ライトに優位性のあるLEDに挑戦できることが証明された。

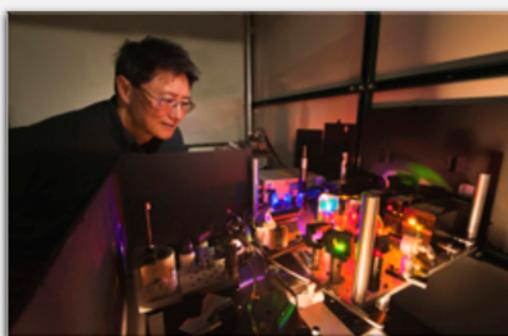
2011年10月26日

ニューメキシコ州 アルバカーキ
 サンディア国立研究所の実験によれば、人間の目には、ダイオード・レーザー^注からの白色光も、普及が進むLED(light-emitting diodes)の放つ白色光と同等程度に快適に感じるという。

LED およびダイオード・レーザーに共通した技術として、材料に電流を通して発光させるが、簡素化された LED は自発的に発光する。ダイオード・レーザーは、前後にバウンドすることで光を放出する。

より効率的で、開発から 100 年を経るタングステン白熱灯技術に取って代わるものとして広く採用されている LED 技術は、電流が 0.5 アンペアを超えると効率性を失うため、この発見は重要なものである。しかし、関連技術であるダイオード・レーザーでは、高電流で効率性が向上し、LED に比べ高いアンペア数でより多くの光量を得ることができる。

「この実験では、ダイオード・レーザーが照明用途として推進されるのにふさわしいものであることが示されました。これらの実験以前では、私たちのこの方向における研究は、開始しようとする前に停止していました。その理由としては、ダイオード・レーザーから出る白色光の演色のクオリティはひどいものなので、それは無理なのではないか、ということでした。従って、この研究を進めるためには、まず、この基本的な質問に答えること



LED 照明代替としてのダイオード・レーザーの実験用セットアップを検査中。レーザーによる光はきつすぎるのではと懐疑的な者も存在する。Tsao 氏とその同僚による研究は、そのような疑念は間違っていると示唆する (写真: Randy Montoya)。
<http://www.flickr.com/photos/sandialabs/6286556314/sizes/l/in/photostream/>

^注 ダイオード・レーザー：日本では「半導体レーザー」や、「レーザーダイオード」とも言う。

でした。」と、比較実験を提案したサンディア国立研究所の研究者である Jeff Tsao 氏は語った。

人間の目には、レーザーからの白い光が不快なはずであるという広く信じられていた仮説を理由として、照明としてのダイオード・レーザーの研究はほとんど実施されていなかった。ダイオード・レーザーの光は、青、赤、緑、黄の4色の狭帯域の波長から構成されており、例えば、隙間の無い広帯域の波長が混ざった太陽の光とは顕著に異なるものである。また、ダイオード・レーザーの光は LED のそれよりも10倍も細い。



実験用セットアップでは、中央部で仕切ったライトボックスに相似したフルーツボウルを置いた。写真中2つのボウルはそれぞれダイオード・レーザーと標準的な白熱灯で照らされている。ダイオード・レーザー(左側)の審美的クオリティは、白熱灯(右側)のそれに遜色がない(写真: Randy Montoya)。

ハイテク市場の研究としての実験が、the University of New Mexico(UNM)の Center for High Technology

Materials(CHTM)にて実施された。40人のボランティアが、箱に設置された相似する2つのフルーツボウルの前に順番で一人ずつ座った。それぞれのボウルは、暖色、寒色、ニュートラルホワイト(温白色)LED、タングステン白熱電球、または白色光を作るように組み合わせられた4色のレーザー(青、赤、緑、黄)によって、ランダムに照射された。

この実験は、視力検査のように進行した。被験者への質問は「左と右ではどちらが良く見えますか?こちらではどうですか?」

被験者は、どの光源が照射されているかを知らされていなかった。彼らは、照明が当てられたボウルの中で、単にどちらが快適に感じるか答えるよう指示された。順序や実験を行う者の予想が選択に影響することなく、照明そのものが影響することを確実にするために、2つのボウルは順不同に提示された。コンピュータのプログラム作成およびセットの準備は UNM の博士課程の学生である Alexander Neumann 氏と CHTM のディレクター Steve Brueck 氏が行った。

この実験の計画、調整、実施を支援したサンディア国立研究所の scientist である Jonathan Wierer 氏によると、様々な年齢層から選ばれた実験の参加者(被験者)は、10分から20分の間に次々に変わる2つのボウルのうち、どちらかを80回選択するよう指示された。被験者が色盲であった5件の結果は除外された。Wierer 氏は、結果として、暖色・寒色の LED ベースの白色光よりも、ダイオード・レーザーベースの白色光に対して統計

的に顕著な選好傾向が観られたが、ダイオード・レーザーベースと温白色の LED ベース、あるいは白熱灯の間では、それは観られなかったと述べた。

Tsao 氏は、この結果が照明製造業者間でカリフォルニアのダイオード・レーザー版ゴールドラッシュを引き起こすことはないだろうが、これまで無視されてきた一連の調査をスタートさせるだろう。ダイオード・レーザーの基板は LED のそれよりも欠陥が許容されないため、製造において LED よりもやや高価になってしまう。それでも、そのような基板は LED の性能も向上させるため、今後はより入手しやすくなるはずである、と語った。

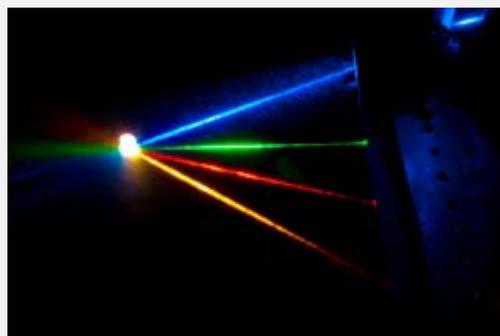
また、自動車メーカーの BMW 社が、次世代の白色ヘッドライト用に導入を検討するほど青色ダイオード・レーザーは高い性能を備えているが、赤色ダイオード・レーザーの性能はそれほどでもなく、黄色、緑色については商業的な照明としての利用が可能な効率を得るにはほど遠い。

とはいえ、イエスかノーか、という妥協のない競争ではないと、Tsao 氏は述べた。協力的なアプローチでは、青と赤のダイオード・レーザーを黄と緑の LED と一緒に使用することができる。または青色ダイオード・レーザーを蛍光物質の照射に使用することもできる。それは現在、望まれる照明の強さを作るために蛍光灯および現在の LED ベースの白色光を出すのに利用されている技術である。

この実験の結果は、数十億ドル規模の照明産業にとって、効率性の更なる向上を可能にするものである。いわゆる「スマート・ビーム(smart beams)」は、使用場所で、たとえば衛生上の理由のためなど、独自の演色に調整することができる。また、その光が指向性を持つため、望んだ場所へと正確に照明を当てることができる。

比色分析および実験のガイダンスについては、米国標準技術局(the National Institute of Standards and Technology: NIST)が提供している。

本研究結果は 7 月 1 日、Optics Express 誌にて発表された。



4色のレーザー・ビーム—黄、青、緑、赤—が集束して暖かく心地よい白い光を発する。実験の結果により、ダイオードベースの灯りは、コンパクト蛍光灯や白熱灯の代替として現在広く採用されている LED 照明の魅力的な代替となる可能性を示している(写真: Randy Montoya)。

本研究は、米国エネルギー省(the Department of Energy: DOE)、科学技術局(Office of Science: OST)のファンディングによる the Solid-State Lighting Science Energy Frontier Research Center の一環として実施された。

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 松田 典子）

出典：本資料は以下の記事を翻訳したものである。

“High-quality white light produced by four-color laser source”

https://share.sandia.gov/news/resources/news_releases/laser-light/