

NEDO 海外レポート

2014.2.21

1104

1	【新エネルギー(太陽光発電)】 より安価で高効率な太陽電池を実現する新材料(米国)	2013/12/11公表	1
2	【電子・情報通信(電子デバイス)】 高性能デバイス用の低消費電力型トンネル(電界効果)トランジスタが実現(米国)	2013/12/12公表	4
3	【電子・情報通信(電子デバイス)】 スタンフォード大学が携帯デバイス用に最適なメモリーチップの実用試作品を初めて開発(米国)	2013/12/9公表	7
4	【電子・情報通信(電子デバイス)】 他 ティンカーToy (組立ブロック玩具) のような(金属有機構造体)材料における導電性への先駆的な道筋が Science 誌に掲載される(米国)	2013/12/9 公表	14
5	【新エネルギー(太陽光発電)】 HZB チームがカドミウムベースのバッファ層を有さないカルコパイライト太陽電池(化合物半導体太陽電池)を開発(ドイツ)	2013/12/18 公表	19
6	【ロボット技術(生活支援ロボット)】 舌で動かす車椅子がライバルを制す(米国)	2014/1/2 公表	22
7	【バイオナノテクノロジー(医療システム)】 分子構造をベースとしたポリマーコーティング(ドイツ)	2013/12/17 公表	25
8	【新エネルギー(バイオマス)】 国立再生可能エネルギー研究所(NREL)が早食い酵素の新たなセルロース分解メカニズムを発見(米国)	2014/1/2公表	28
9	【新エネルギー(太陽光発電)】 太陽電池の変換効率を向上させる簡易で安価な方法を発見(米国)	2014/1/2公表	31
10	【電子・情報通信(電子デバイス)】 新世代透明電子機器用の世界最速有機トランジスタを開発(米国)	2014/1/8公表	33
11	【蓄電池・エネルギーシステム(蓄電池)】 有機メガ(レドックス)フロー蓄電池が再生可能エネルギー(の電力グリッド)技術のブレークスルーとなる見込み(米国)	2014/1/8 公表	37

※ 各記事への移動は Adobe Acrobat の「しおり」機能をご利用ください

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ください。》

海外レポート問い合わせ E-mail : q-nkr@ml.nedo.go.jp

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。

(1104-1)

【新エネルギー分野（太陽光発電）】

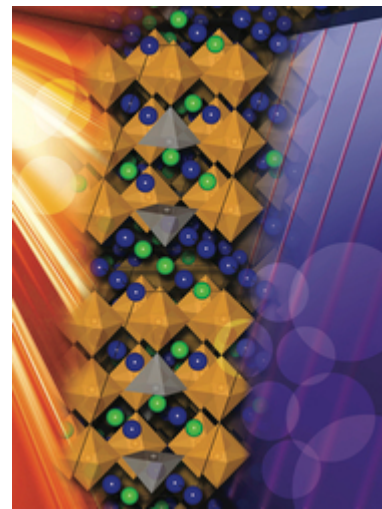
仮訳

より安価で高効率な太陽電池を実現する新材料(米国)

著者 Tona Kunz 氏、2013 年 12 月 11 日

【イリノイ州 ARGONNE】新たなセラミック材料を用いたユニークな太陽電池の設計によって製造期間を短縮し、より安価で高効率に持続可能な電力を供給できる可能性が示された。これにより、紫外線だけでなく可視光線や赤外線からのエネルギー利用を可能にするバルク光起電力材料を発見するという 40 年来の目標が達成されたことになる。

この新設計を小型のプロトタイプから実際の太陽電池パネル製造規模へとスケールアップすることが、太陽光発電コストを他の発電方法と比べて利用しやすい価格まで下げる大きな一歩となる。また、風力や太陽光から製造された国内総発電量の 1/3 に当たる電力を受け入れる国内グリッドを建設するという目標の達成にも役立つ。



実験で製造されたペロブスカイト結晶のイメージ図。拡大図を見るには画像をクリック。

画像クレジット：Felice Macera 氏

ペンシルベニア大学とドレクセル大学の科学者チームによって開発されたこの新材料の試験が早い段階で行われたお陰で、予想されていたよりも早く太陽光発電の利用が可能になりそうである。試験の一部は米国 DOE アルゴンヌ国立研究所内の Advanced Photon Source で行われた。

チームが製造した新たなセラミック材料は次の 3 つの利点を有している。一つ目は、同じ材料で 2 つの働きを行えるため、現在最も流通しているシリコンベース太陽電池よりも薄いパネルを作ることができる点。二つ目は、現在の最高仕様の薄膜太陽電池に使われている材料よりも安価な材料を使用している点。三つ目は、同材料が、今日の太陽電池材料が抱える変換効率の理論限界を上回るためのカギとなる極性のスイッチングを可能にする強誘電体である点である。

太陽電池パネルの変換効率を低下させる一因に、集光した粒子(光子)が太陽電池セルに入光した後、全方向に散らばってしまうことが挙げられる。これを一方向にまとめるには、誘導方向(チャネリング)の異なる材料を層状に重ねるのが一般的な方法である。しかし、粒子(電子)が別の層へ移動する度にロスが生じ、太陽電池セルのエネルギー効率を下げている。チームの開発した新しい設計ではこうしたロスを抑えるために積層を減らし、強誘電材料を利用することで粒子(電子)を誘導する。

こうした特性を併せも持つ材料を設計するために 5 年以上の時間を要した。同材料にはニオブ酸カリウムとニオブ酸バリウムニッケルとの組み合わせで構成されるペロブスカイト結晶が使用されている。この新材料は、今日使用されている一般的な強誘電体材料に比べ、はるかに改善された特性を示し、6 倍超の太陽光エネルギーを吸収し、光電流を 50 倍の密度で移動させることができる。材料組成をさらに調整することで、より一層の変換効率の向上が見込めると科学者たちは述べている。

「こうした材料の属する元素族は安価で非毒性であることに加え、高効率の薄膜太陽電池技術に現在用いられている化合物半導体材料と違って地球上に豊富に存在しますから、なおさら注目に値します。」とドレクセル大学 Department of Materials Science and Engineering から参加しているチームメンバーの Jonathan Spanier 氏は言う。

当該研究の内容については、先月 Nature 誌に発表された論文「Perovskite oxides for visible-light-absorbing ferroelectric and photovoltaic materials」の中で概説されている。

研究者たちは、同材料が彼らの意図する結晶構造や対称性を有していることを確認するために、APS 内の Sector 11 にある [X 線結晶解析](#) 及び粉末回折を利用している。この機器を利用したユニークなメール・イン・プログラムは、北米で利用可能な最高解像度の粉末回折データへの便利で迅速なアクセスを可能にするものであり、今回のセラミック材料の原子構造を非常に詳細かつ正確に示す画像を提供している。

研究チームはこうした一連の実験ツールの利用によって、積層移動がなくエネルギーを一方向へ向かわせ、エネルギーロスを最小化する材料特性を実証した。これは 1970 年代から知られるバルク光起電力効果と呼ばれる効用であるが、これまでは紫外線のみでしか観察されなかった。太陽から得られるエネルギーの大半は可視光線や赤外線スペクトルである。

研究チームは、この新材料の組成率を調整することによってバンドギャップと呼ばれるレベルで(当該太陽電池において発生した)電気が流れるのを引き起こすのに必要なエネルギー量の低減が可能であることを実証した。

「母材のバンドギャップは UV の範囲ですが、10%のニオブ酸バリウムニッケルを加えることでバンドギャップは可視光線の範囲へ移動し、高効率な太陽光エネルギー変換に求められる値へ近づけることができます。」と Spanier 氏は言う。

ペンシルベニア大学 School of Arts and Sciences の化学部教授 Andrew Rappe 氏や専門研究員の Ilya Grinberg 氏による当該研究は、ドレクセル大学 School of Engineering and Applied Science の材料科学工学部長 Peter Davies 氏と Spanier 氏と共に行われた。

今回の APS の利用は DOE 科学局の支援によるものである。当該研究はベン・フランクリン技術パートナーズ (Ben Franklin Technology Partners) のエネルギー商業化研究所(Energy Commercialization Institute)、DOE 基礎科学局、陸軍科学研究所 (Army Research Office)、全米科学財団の支援を受けている。また、研究者たちはローレンスバークレー国立研究所内の National Energy Research Computing Center を利用しており、これも DOE 科学局の支援によるものである。

翻訳：NEDO (担当 広報部 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。

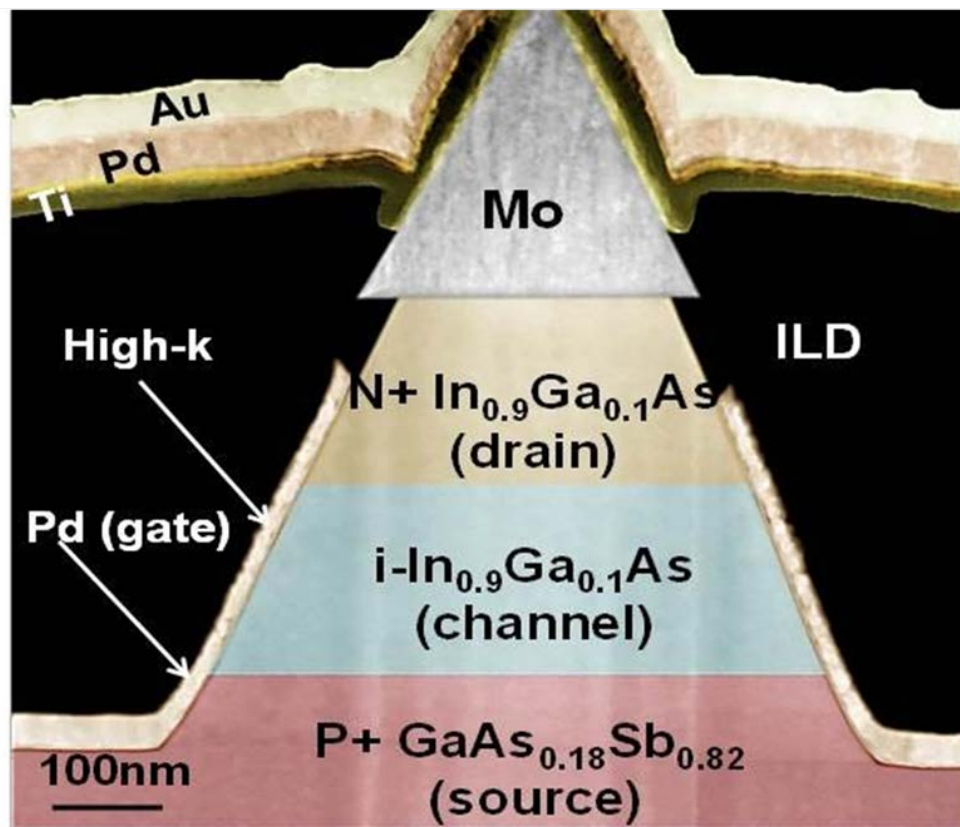
“A new material for solar panels could make them cheaper, more efficient”

<http://www.anl.gov/articles/new-material-solar-panels-could-make-them-cheaper-more-efficient>

【電子・情報通信分野（電子デバイス）】

仮訳

高性能デバイス用の
低消費電力型トンネル（電界効果）トランジスタが実現（米国）

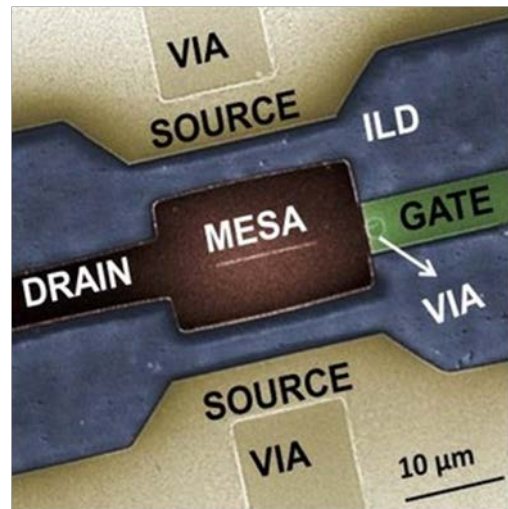


透過型電子顕微鏡による垂直構造トンネル電界効果トランジスタ（TFET）の断面図。トランジスタのソースとチャネルの接合部分は、電子トンネル効果が起こる部分である。ILDは接点を切り離す中間層絶縁体である。頂点の接触面は、金(Au)、パラジウム(Pd)、そしてモリブデン(Mo)となっている。
画像提供：Suman Datta／ペンシルベニア州立大学

【2013年12月12日・ワシントンDC】 スマートなセンサーネットワークや移植型医療機器、超小型パソコンなど、エネルギー（消費量）が制約される機器向けの高速で低消費電力のコンピューターデバイスを実現する新たなタイプのトランジスタが、ペンシルベニア州立大学の研究者によって可能となった。この新デバイスは、近ブロークンギャップのトンネル電界効果トランジスタ（tunnel field effect transistor：TFET）と呼ばれ、極薄のエネルギー障壁を通り抜ける原子の量子力学的トンネル効果を利用し、低電圧で作動し高電流を提供する。

ペンシルベニア州立大学、米国国立標準技術研究所、そしてウェハー製造を専門とする IQE 社は、ワシントン DC で開催された半導体デバイス技術に関する国際会議 IEDM (IEEE 国際電子デバイス会議) にて、研究成果を合同で発表した。IEDM は大手の半導体素子企業から代表者が参加し、半導体や電子技術におけるブレークスルーを報告する有名なフォーラムである。

デバイスメーカーがトランジスタの大きさを小型化し、定められた部分により多くのトランジスタを収納する方法を模索していることから、トンネル電界効果トランジスタは、現行の CMOS トランジスタに取って代わる可能性があると考えられている。現行のチップ技術が直面している主な課題は、大きさが小型化しても、トランジスタを作動するのに必要な電力は、小型化に伴って減少するわけではないという点である。結果的に、蓄電池の消耗はより速くなり、繊細な電子回路にダメージを与えかねない放熱が増加してしまう。標準的なシリコン以外の材料を使用する各種の新型トランジスタが、電力消費の課題を打開するために研究されている。



走査型電子顕微鏡の TFET 上面図

画像提供：Suman Datta(ペンシルベニア州立大学)

論文の主執筆者でペンシルベニア州立大学の院生である Bijesh Rajamohanan 氏は、次のように語る。「このトランジスタは、論理回路機器向けの MOSFET (金属酸化膜半導体 FET) トランジスタの代替とし、消費電力問題に対処するために、これまで我々の研究室で開発されてきた。本研究において、我々は一步先へ進んで、高い頻度で作動できる性能を示した。このことは、人体に埋め込まれたデバイスから情報を処理して送信するという消費電力に制約される機器にとって役に立つものである。」

埋め込み式デバイスにとっては、蓄電池を消耗しすぎることは頻繁に置換手術が必要となる一方、電力や熱を余りに多く発生しすぎると、観察中の細胞を破壊しかねない。ペンシルベニア州立大学電子工学部教授の [Suman Datta 氏](#) 率いる研究者達は、エネルギー障壁がゼロに近づく、つまり近ブロークンギャップとなり、電子が要求されたときに障壁を通り抜けられるように、InGaAs/GaAsSb 化合物の材料組成を調整した。そして増幅を向上させるため、全ての接点を垂直構造トランジスタの上面部に集めた。

このデバイスは、NERC-ASSIST (Nanosystems Engineering Research Center for Advanced Self-Powered Systems of Integrated Sensors and Technologies) を通じて米国

国立科学財団（National Science Foundation）から資金提供を受ける大規模なプログラムの一環として開発された。ASSIST プログラムのより広範な目標は、参加機関のペンシルベニア州立大学、ノースカロライナ州立大学、バージニア大学、フロリダ国際大学と共に、蓄電池が不要な、能動式装着型ヘルスマニタリングシステムを開発することである。

本論文「Demonstration of InGaAs/GaAsSb Near Broken-gap Tunnel FET with $I_{on}=740\mu A/\mu m$, $G_M=700\mu S/\mu m$ and Gigahertz Switching Performance at $V_{DS}=0.5V$,」は、IEDM の会議の議事録において公開されている。

翻訳：NEDO（担当 広報部 室井 紗織）

出典：本資料は、ペンシルベニア州立大学の以下の記事を翻訳したものである。

“Low-power tunneling transistor for high-performance devices feasible”

<http://news.psu.edu/story/298088/2013/12/12/research/low-power-tunneling-transistor-high-performance-devices-low-voltage>

Used with Permission of the Pennsylvania State University

(1104-3)

【電子・通信分野（電子デバイス）】

仮訳

スタンフォード大学が携帯デバイス用に最適なメモリーチップの 実用試作品を初めて開発(米国)

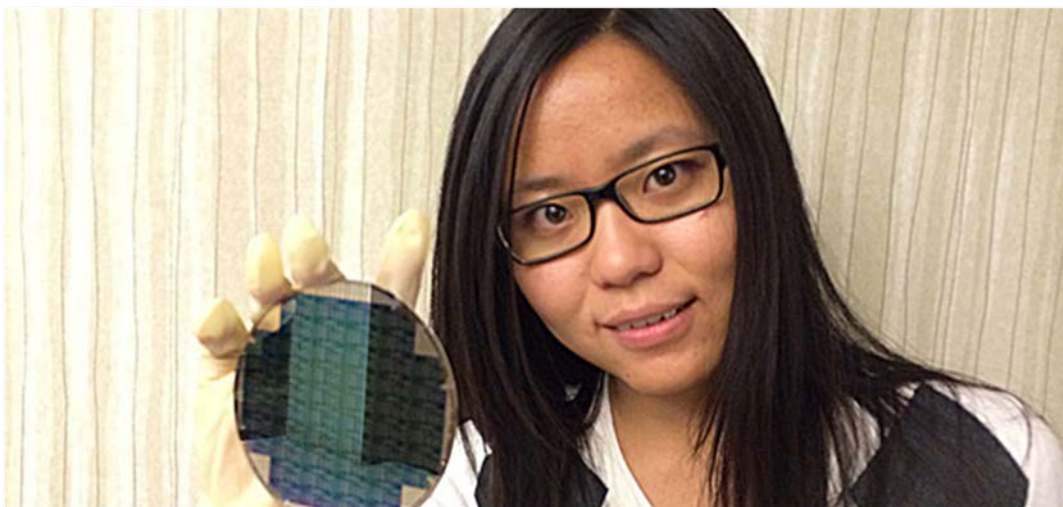
2013 年 12 月 9 日

著者: Tom Abate Stanford Engineering

かつてフラッシュメモリがハードディスクに取って替わり、スマートフォンが登場したように、今回開発された新たな RRAM チップが、現在では実現が不可能なさらに小型で賢い端末機器や新しいタイプの電子デバイスの開発につながるかもしれない。

スタンフォード大学の研究者らは、スマートフォン、タブレットやノートパソコンのフラッシュメモリーチップに比べて、小さなスペースにより多くのデータを記憶することが可能な新しいタイプのメモリーチップの実用試作品を開発した。

この新しいメモリーチップでは、RRAM (resistive random access memory: 抵抗変化型メモリ) 技術を採用している。電気抵抗は電子の流れを遅らせ、導電性は電子の流れを促す。厳選した材料に電圧の微小変動を加えることで、同大学が開発したこの RRAM チップは電気抵抗状態と導電状態を切替え、デジタル信号の 0 と 1 を作り、それらを記憶する。



H.-S. Philip Wong 教授の研究室の博士課程学生である Linda He Yi が、この RRAM 実用試作品の製造プロセスを監督した。(Wong Lab)

この RRAM チップの実用試作品の開発に加えて、同研究チームはこの新しいメモリーチップの大量生産用にスケールアップが可能なプロセスを用いたチップの製造方法を発表した。

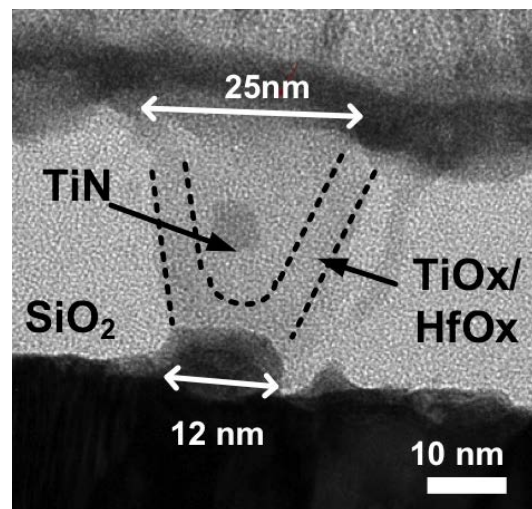
同研究チームはこの RRAM チップの実用試作品と製造プロセスについて、今週 注ワシントンD.C.で開催される International Electron Devices Meeting (IEDM) で発表する予定である。

IEDM は、世界中の大手企業や一流大学が重要な技術の進展について報告する、半導体産業の主要な技術会議である。

多くの技術者が、RRAM 技術はデータ記憶分野における次の立役者であると考えている。かつてフラッシュメモリがハードディスクドライブに取って替わったように、RRAM はフラッシュメモリの地位を奪い取り、新型でさらに利便性の高いモバイル電子デバイス開発への道を開く手助けをするだろう。

しかし、同研究チームを率いる [H.-S. Philip Wong](#) 電子工学教授によれば、RRAM 技術は単純なデータ記憶をはるかに超えるアプリケーションが可能であるという。RRAM の原理とその製造プロセスは、シリコンの単一ウェハーにメモリとマイクロプロセッサを組み合わせた全く新しいタイプのハイブリッドチップを生み出す可能性をも有する。

「将来的に RRAM は、今後 10 年から 15 年、さらにそれ以上に有用であると思います。」と、同大学工学部の Willard R. and Inez Kerr Bell Professor である Wong 教授は語る。



スタンフォード大学の研究者による、透過型電子顕微鏡を使った RRAM データ記憶セルの拡大画像。同セルの上部に加えられた電圧により、セル材料が電気抵抗状態と導電状態を切替え、デジタル信号の 0 と 1 を作ることから、抵抗変化型メモリ (resistive random access memory) と呼ばれる。この実用試作 RRAM セルの大きさは、現在のフラッシュメモリのデータ記憶セルと同等。同研究者らはこの RRAM セルをフラッシュメモリのセルよりもさらに縮小化が可能で、この新たな技術によりモバイルデバイスにさらに小さく安価なメモリを供給することができると考えている。(Wong Lab)

注 2013 年 12 月 9 日～11 日開催。

フラッシュメモリ vs. RRAM

業界全体の RRAM に対する関心は、フラッシュメモリが現在直面している課題から生じた。

フラッシュメモリーチップはシリコンでできている。フラッシュメモリはシリコンチップ上にエッチングされた数兆個の微細なセル若しくはボックスから構成されている。それぞれのセルに特定の数の電子が入ることでデータが記憶され、それが 1 を作る。それらの電子がセルから押し出されると、0 を作る。

フラッシュメモリーチップにより多くのデータを記憶させるためには、それぞれのセルのサイズを縮小する必要がある。多くの技術者が、このような処理方法ではセルが小さくなりすぎて、要求される精度での電子の閉じ込めと放出が不可能となる段階に近づいていると考えている。

RRAM メモリーチップもまた、データをセルに記憶させるため、チップ上のセルのサイズをできる限り小さくする必要がある。

しかし、RRAM はデータをフラッシュメモリとは異なる方法で記憶させるため、フラッシュメモリーチップが電子を扱い損ない始める段階を超えて、継続して RRAM を縮小化することが可能であると多くの研究者は考えている。

スタンフォード大学の電子工学部にて先般博士号を取得した Yi 「アリス」 Wu 博士は、この RRAM チップの設計と製造を支援した。Wu 博士はこの RRAM チップが、デバイス中で実際に 0 と 1 を記憶させる部分である個々のセルレベルでどのように作動するかを説明する。

それぞれの記憶セルは、層状に積層された窒化チタン、酸化チタン、酸化ハフニウム及び白金の 4 種類の材料から構成されている。酸化ハフニウムと酸化チタンは元来電気抵抗材料であるが、この 4 層の混合物の上部に電力が加わると、電界がハフニウムとチタン化合物から酸素原子を引き離し、これらの電気抵抗材料中に導電経路をもたらす。

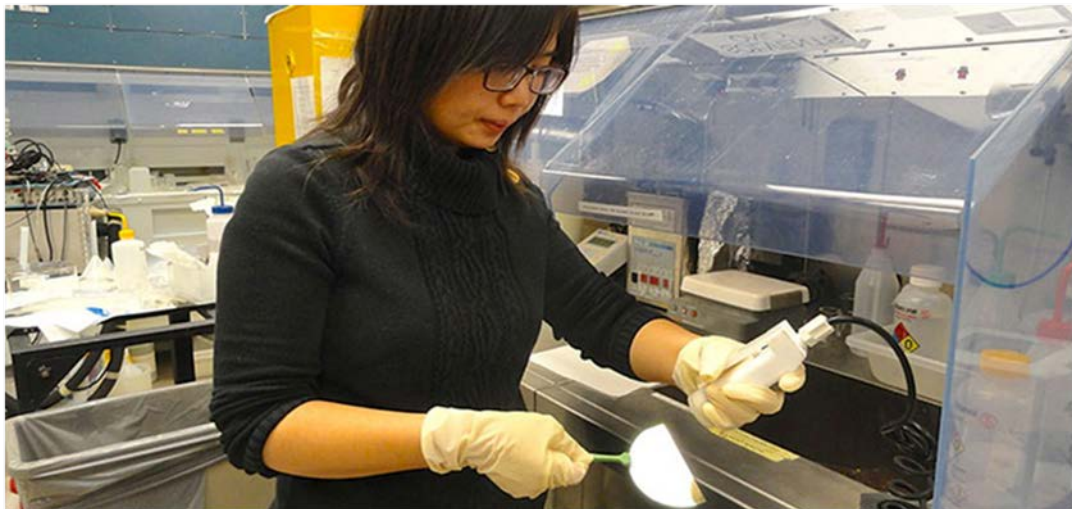
セルに加えられる電圧が逆流すると、この導電経路は壊れ、酸化ハフニウムと酸化チタンが再び電気抵抗を持つようになる。

このような電気抵抗状態から導電状態への変化が、データ記憶のメカニズムである。RRAM セルは電源オフ時の最後の状態を維持するため、データ記憶に有用である。(つまり、RRAM は不揮発性メモリである。)

スケールアップ可能な RRAM 製造プロセス

Wong 教授の研究室に所属する博士課程の学生 Linda He Yi は、この RRAM 実用試作品の製造プロセスを監督した。Yi はシンプルでコスト効果的な製造プロセスを用いて、微細なメモリーセルを完成させた。この製造プロセスが RRAM の大量生産の鍵となるだろう。

Yi はまず、シリコンウェハーから取りかかった。最初の目標は、シリコンウェハー上にナノサイズの一連のエッチングを施して、データを記憶するセルになる孔を作ることだった。



H.-S. Philip Wong 教授が率いる研究チームの一員として、Linda He Yi と共同で設計・製造した RRAM デバイスを持つスタンフォード大学の電子エンジニア Yi “Alice” Wu 博士。同博士の背後にあるのは、RRAM チップの大量生産に利用できる 2 元ブロック共重合体自己配列プロセスのいくつかの工程で使われたヒュームフード(ドラフトチャンバー)。(Stanford Engineering)

このために、シリコンチップを2種類の樹脂が結合して一本のひも状となる、2つの部分から成るポリマーでシリコンチップをコーティングした。一端が青色でもう一端が緑色をしたミミズを象ったグミキャンディーが、大量にシリコンチップ上に均一に配置されている状態を想像するとわかりやすいだろう。シリコンチップを加熱すると、これらのグミキャンディーが青色は青色と、緑色は緑色に合わせて完璧に自己配列する。これにより、緑色と青色の数十億ものナノアイランドができあがる。

研究者らは一連の化学的な工程を用いて、シリコンチップ上の1種類のポリマーを洗い流し、数百万もの空のスポットを作った。それから光源と化学薬品を使用して、これらの空のスポットに微細な孔をエッチングした。そしてもう1種類のポリマーを取り除いて、シリコンウェハー上にナノスケールのくぼみのアレイを残した。

製造プロセスのこの部分は、2元ブロック共重合体自己配列リソグラフィー(diblock copolymer self-assembly lithography)と呼ばれている。この技術を開発したのはスタンフォード大学の研究チームではないが、この技術を用いて作動可能なチップを製造したのは彼らが初めてである。Wong 教授は、このアプローチは研究室から工場での生産にスケールアップが可能と考えている。

「この製造プロセスに大変期待しています。」と Wong 教授は言い、次のように続ける。「2元ブロック共重合体自己配列により、現在利用されているリソグラフィー技術よりもナノスケールのチップをより効率的で安価に製造できる可能性があります。」

製造最終工程で将来に期待

RRAM 実用試作品の完成には、もう2、3の工程を必要とする。RRAM データ記憶セルを作るために、Yi はシリコンチップ上の個々のナノサイズの孔を4種類の材料で埋める必要があった。

Yi は既存の製造技術を用いて4種類の材料を積層した。データ記憶セル同士を配線して、確実に電気抵抗状態と導電状態に切り替わるようにした。IEDM で発表される実用試作品は、50のデータ記憶セル、つまり3桁の内線番号と共に10桁の電話番号を記憶させるのにほぼ十分な容量を持つ。

同大学研究者らは、透過型電子顕微鏡で 1 個の RRAM セルの画像を作成した。この画像では、10nm を下回る活性領域と共に上部が幅 25nm、底部が 12nm の円錐型構造を示している。今後の課題はより小さなスペースにさらに多くの記憶量を詰め込めるよう、それぞれの記憶ユニットを小型化することである。

しかし Wong 博士によれば、試作品のセルの直径は既に現在のフラッシュメモリのセルのサイズと同等であるという。そしてフラッシュメモリがその限界に突き当たりつつある一方で、RRAM チップはさらに小型化し続けることが可能なはずであるという。

「この技術が 10nm、5nm、1nm でどのように働くのか観察したいと思っています。」と Wong 教授は語る。

データの記憶用に RRAM の開発を継続する一方で、研究者らはこの技術の新たな利用方法も探っている。

同大学研究チームの一員である電子工学部の [S. Simon Wong](#) 教授(前述の Wong 教授とは無関係)は、マイクロプロセッサのロジック回路と同一のシリコンウェハー上に、RRAM 記憶セルを構築したいと考えている。

同研究チームのメンバーは、数年前に RRAM セルとロジック回路の両方を同じチップ上に搭載することが可能であることを明らかにしている。しかし当時可能なプロセスではサイズが大きな RRAM しか製造できず、現在最も高度なロジック回路と共に搭載することができなかった。

しかし現在、RRAM はロジック回路と同様のサイズに小型化されたので、現在入手可能なものよりも小型で高速、安価な電子デバイスの製造を可能とするメモリとロジック機能を組み合わせたハイブリッドチップを作る構想が可能となった。

「メモリとロジック回路を同じチップ上に搭載することで、より安価な製造、省スペース、省エネルギーをもたらし、より小型でよりパワフルなデバイスの製造が可能となります。」と Wong 教授は語る。

同研究チームの他のメンバーは、先般電子工学博士号を取得した Zhiping Zhang、電子工学部の大学院生である Zizhen Jiang および Joon Sohn。

本研究は一部、[Intelligence Advanced Research Projects Activity](#) の [Trusted Integrated Chips](#) (TIC)プログラムにより支援を受けた。TIC は、セキュリティーを確保し、知的財産を保護する split-manufacturing（分割製造法）による新たなチップ製造プロセスの開発と実証を実施している。本研究の他の資金提供組織は、[Stanford Non-Volatile Memory Technology Research Initiative](#) の会員会社、[National Science Foundation](#) および [Semiconductor Research Corporation](#)。

翻訳：NEDO（担当 広報部 松田 典子）

出典：本資料は米国・スタンフォード大学(Stanford University)の以下の記事を翻訳したものである。

“Stanford engineers make first working prototype for memory chip ideal for mobile devices”

<http://engineering.stanford.edu/news/stanford-engineers-make-first-working-prototype-memory-chip-ideal-mobile-devices>

Used with Permission of the Stanford University

(1104-4)

【電子・情報通信分野（電子デバイス）】 【新エネルギー分野（太陽光発電）】
【電子・情報通信分野（家電）】

仮訳

ティンカーToy（組立ブロック玩具）のような （金属有機構造体）材料における導電性への先駆的な道筋が Science 誌に掲載される(米国)

2013 年 12 月 9 日

カリフォルニア州リバーモア — サンディア国立研究所の研究者が、金属有機構造体(MOF)材料の導電性を実現する新しい方法を考案した。この開発がエレクトロニクス、センサー、エネルギー変換、エネルギー貯蔵の未来に大きな影響を与える可能性がある。

Science 誌の掲載論文「Tunable Electrical Conductivity in Metal-Organic Framework Thin-Film Devices」は、Science Express の 12 月 5 日版で公表された。サンディアの研究グループと国立標準技術研究所(NIST)の共同研究者によって共同執筆された論文は、MOF の導電性を 100 万倍増加させることに成功した実験の技術について述べている。

「根本的に、本研究は MOF 材料における導電プロセスの解明に大きく役立ちました。」と語るのはサンディアの材料科学者で論文の主執筆者である Alec Talin 氏である。

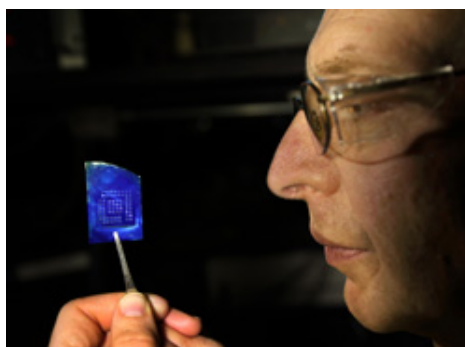
導電性を有する MOF のアプリケーションには、化学センサー、医療診断、エネルギー捕捉及び貯蔵、マイクロエレクトロニクスが含まれると、サンディアのシニア研究者の Mark Allendorf 氏は言った。

金属有機構造体：化学者のための「ティンカー
Toy」



サンディア国立研究所の研究者である Mark Allendorf 氏(左)、Alec Talin(中央)、Francois Leonard 氏が金属有機構造体(MOF)の導電性を計測する。Science 誌に発表された論文に記述されたように、チームは MOF の導電性を 100 万倍高める技術を開発した。(写真提供：Dino Vournas)

材料研究者たちは、金属有機構造体を、主としてガス貯蔵、ドラッグ・デリバリー及び多孔質材料の従来のアプリケーション等に使用することを考えていた。分子の足場骨組みに似た結晶構造は、金属イオンで互いに連結した強固な有機分子で構成されている。こうした無機と有機の要素のハイブリッドが、ナノ細孔性、極めて大きな表面積、並外れた熱的安定性といった独自の特性の組み合わせを作り出し、安価で従来の無機半導体の優れた性能と導電性を有した有機ポリマーの特徴である製造の容易さを兼ね備えた新素材を追求する化学者たちを魅了している。



サンディア国立研究所の Alec Talin 氏が、プラチナ電極と MOF 薄膜が並んだ、薄い酸化被膜でコーティングされたシリコンチップを検査する。MOF と二酸化ケイ素層の光学的吸収及び光学的干渉により藍色が生じる。(写真提供：Dino Vournas)

この研究結果が 28 年間のサンディアでのキャリアの中で最もエキサイティングな開発であると語った化学者で MOF の専門家である Allendorf 氏は、これらを化学者の「ティンカー玩具」に例えた。

「子供の時遊んだ『ティンカー玩具』を想像すると、基本的に棒でお互いをつなげられる穴の空いた木の球であることを思い出すでしょう。」と Allendorf 氏は説明した。「金属有機構造体も同じように働きます。球の代わりに金属イオン、棒の代わりに有機分子となるだけです。」

分子の足場骨組みの内部に生じた空間にゲスト分子を満たすことができるということが、MOF が導電するように細孔を利用するという着想をサンディアの Talin 氏にもたらした。

「重要なことは、MOF は特別なアプリケーションに適用できる分子の性質を有することです。つまり、シリコンや銅のような従来の無機電子材料とは異なり、MOF 上で化学特性を活用できます。」と Talin 氏。分子は、電子デバイスを製造できる「究極の小規模構成単位」であるが、操作や組織化が非常に難しいため、実用的な「分子電子工学」は実現していない。「配置したい分子をどのように結合するのか — これらの課題が材料科学者たちを悩ませ続けています。」と Talin.氏は語った。

空間の力

そこで、Talin.氏は異なるアプローチを考えた。「MOF を用い、分子を組織化するた

めにナノ細孔を使うことで、この問題を克服することができます。秘訣は全体の構造体と結合して、相互作用する適切な種類の分子を選ぶことです。」いくつかの金属有機構造体には、ティンカーToyの球に細孔に入り込む分子を結合することができる空いた穴がある、と Talin 氏は言う。

「このアプローチはシリコンとは異なるため、その電気特性を変えることはできません。」と Talin 氏。「(シリコンでは、) 微量のドーパントをシリコンに加えたり、他の不純物を導入したりしますが、我々のアプローチは、まさに希望どおりの特性の材料をオーダーメイドですぐに作れる可能性があります。これが分子電子工学の長所です。」

自らの仮説を検証するために、サンディアと NIST の研究者たちはテトラシアノキノジメタン (TCNQ) と呼ばれる分子を構造体に追加した。最初に、表面にプラチナ電極を模様付けした基板に MOF 薄膜をコーティングした。(次に) 同基板を、TCNQ 分子を含んだ溶液に浸した。この TCNQ 分子は MOF の細孔に浸透することが分かっている。TCNQ を含んだ MOF 薄膜が電極の接点を介して、計測用の電流計に接続された。

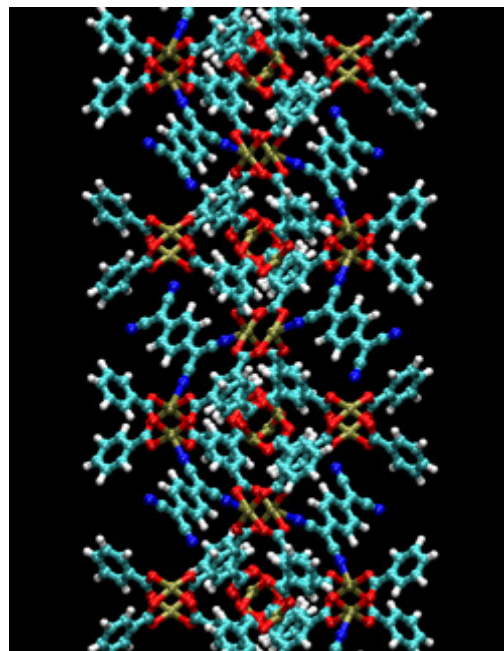
「正直、うまくいくとは思っていませんでした。」と Allendorf 氏は言った。「しかし、それが科学のすばらしいところで、間違いが幸運に結びつくのです。」

実験結果は良好

最初は比較的少量であったが、研究チームは MOF 材料が導電しているのを発見した。「何か良いことが起こったのは明らかだったので、とてもワクワクしました。」と Allendorf 氏。

研究所の製造プロセスを最適化することで薄膜の品質を少しずつ、しかし重要な改善を加えながら、何度も実験が繰り返された。

「条件は重要です。それで、私たちはゲスト分子を受け入れる構造体をどのように準



実験で、サンディア国立研究所の研究者が TCNQ と呼ばれる分子を金属有機構造体 (MOF) に加えた。この短い動画は MOF を通して電気が流れる道筋を形成した TCNQ 分子の鎖を描いている。碧青色の球は炭素原子、白色は水素、青色は窒素、赤は酸素、赤銅色は銅を表している。(動画提供：サンディア国立研究所)

備するかについては、とても慎重になる必要がありました。」と Allendorf 氏は語った。薄膜から水分や過剰な溶剤を取り除くことは、取るに足らないことではない、と彼は言った。研究チームは数か月に亘りプロセスを微調整した。そうすることにより、導電性が急増し始めた。

「増加率は膨大でした。」と Talin 氏、材料の導電性は、今や当初の材料と比べて百万倍高く、過去に報告された金属有機構造体を使ったどんなものよりも 1,000 倍高くなっている、と彼は言った。

研究者たちは、本アプローチの特許の取得を計画しており、また、他のゲスト分子で実験するため、さらなる資金提供を得たいとしている。

ムーアの法則と他のアプリケーションに対応する

「このプロジェクトの大きな成功が、電氣的に活性化する材料の設計における全く新しい道筋を開きます。」と Talin 氏。有機材料は安価かつ機械的柔軟性を提供する、と彼は強調した。「呼気分析やマイクロエレクトロニクス等、この研究に関連する潜在的なアプリケーションは何百もあります。」

ムーアの法則について行くための、より小さく、より速い電子デバイスを製造する能力は、いつも分子電子工学の分野での動機付けになった、と Allendorf 氏。MOF には細孔サイズ又は約 1nm の大きさを分子電子デバイスを製造する潜在力がある。

太陽光発電技術が、潜在力のあるもう一つのアプリケーションである、と Allendorf 氏は言った。そして、米・エネルギー省のエネルギー効率・再生可能エネルギー部はいくつかの初期研究に資金提供を実施した。「導電性を有した MOF を使って、安価な多結晶シリコン等の従来の無機薄膜材料で実現可能な高い変換効率と、有機太陽電池の柔軟性をとても上手く組み合わせることができるかもしれません。」

「次の段階では、異なるホスト分子とゲスト分子の調査が必要です。」と Talin 氏。「異なる MOF 構造や有機分子を用いて、新しい挙動が出現するかどうかを観察する実験を行いたいと考えています。新たに知ること、どうなるのかを見てみたいです。」

サンディア国立研究所は、DOE の国家核安全保障庁のための多種のプログラムを行う研究所で、ロッキード・マーティン社 (Lockheed Martin company) の 100% 子会社であるサンディア社 (Sandia Corporation) によって運営されている。サンディア国立研究所の主な施設はニューメキシコ州アルバカーキとカリフォルニア州リバーモアにあり、国家

安全保障、エネルギー・環境技術、そして経済競争の分野における重要な研究開発という責務がある。

翻訳：NEDO（担当 広報部 勝本 智子）

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。

“Pioneering path to electrical conductivity in ‘Tinkertoy’ materials to appear in Science”

https://share.sandia.gov/news/resources/news_releases/mof_materials/

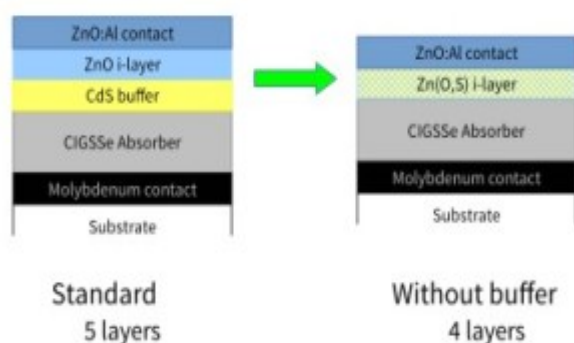
(1104-5)

【新エネルギー分野（太陽光発電）】

仮訳

HZB チームがカドミウムベースのバッファ層を有さない
カルコパイライト太陽電池（化合物半導体太陽電池）を開発

2013 年 12 月 18 日



カルコパイライト薄膜太陽電池は通常 5 層で構成される(左)。HZB の研究者たちは、製造工程の数を減らし、2 層の機能をカドミウムを含まない単一層に統合した。

(図提供: R. Klenk/HZB)

(訳者注 HZB: Helmholtz Zentrum Berlin)

湿式化学プロセスをなくすとともに、以前は 2 つの層で行っていた機能を 1 つの層が担う。製造方法が大幅に簡略化されたにもかかわらず、18%を超える変換効率が問題なく実現できる。

カルコパイライト薄膜太陽電池は通常 5 層で構成され、それぞれが独自の役割を果たす。これらの層の各層は年数を経て最適化され、カルコパイライト太陽電池は今や 20%超の非常に高い変換効率を確実に達成している。同時に、経済的観点からす

ると、製造工程を減らしたり、別々の層の機能を単一層にまとめることは非常に重要である。「なくしたかった層が、硫化カドミウムをベースにしたバッファ層です。」とヘルムホルツ協会 Heterogeneous Material Systems 研究所の Reiner Klenk 博士は説明する。この層の製造に使用される湿式溶液成長法は、問題があるとみられる化学物質を使用し、そのプロセスを他の乾式物理蒸着法の一連の工程系統に統合するのが困難であるからだ。HZB の研究者たちは、バッファ層の上に載った酸化亜鉛の i 層（真性半導体層）に変更を加え、バッファの機能を持たせるようにした。

スパッタリングとして知られるプロセスでは、プラズマを用いてカソード側の酸化亜鉛ターゲットを蒸発させ、試料上に蒸着させて酸化亜鉛層を生成する。しかし、カルコパイライトの吸収層に直接スパッタリングしても同様に機能するかどうかは不確かであった。カルコパイライト層は繊細なため、バッファ層の機能の一つがスパッタリング

中の高エネルギーな粒子の照射から、この繊細な層を保護するためのものだと考えられていた。実際に、初期の研究では常に変換効率の低減が見られた。

適切に混合されたターゲットが功を奏する

「i 層として亜鉛(Zn) 酸素(O) 硫黄(S)の化合物を選んだときにブレークスルーが起きました。」と Alexander Steigert 氏は説明する。初めに、科学者たちは表面分析システム(「CISSY」)と直接連結した設備で、数種の酸素を含んだ混合ガス中で ZnS カソードをスパッタリングした。同層の特性は S / (S+O) 比率の関数として計測され、結果としてかなり良く機能する最初の太陽電池が作られた。最適比率が決定するとすぐに、適切に混合されたターゲットが組み込まれた。「我々は、これが実際に機能することを実証できました。製造には ZnO ターゲットを、設定した混合比率での ZnO / ZnS ターゲットに置き換えるだけでよく、以前の専用バッファ層の蒸着を行う必要がなくなります。このことは、私たちが、大規模な投資をせずに、乾式でカドミウムを使わないインラインプロセスを実現することを意味します。」と Klenk 博士は言う。

研究所で 18.3%の変換効率を達成

研究所では、今や変換効率に妥協する必要なくこの方式は機能している。HZB の研究者たちは最高 18.3%を達成した。この数値はドイツのフライブルグにある名高いフラウンホーファー協会太陽エネルギーシステム研究所(ISE) で実施された計測で確認された。カドミウムを使用しない太陽電池を作る他の製造法と比べて、本プロセスでは表面の前処理や温度処理を伴う後処理が必要ではなくなった。「依然として、標準モジュールの変換効率をさらに高める余地があるのです。」と Klenk 博士。

研究の目的の一つは技術移転

「科学的な関心に加え、この技術は工業化が非常に容易であるという考えが、もう一つの動機でした。事業用基板を使った技術のテストに成功し、NeuMaS プロジェクト (Manz 社、Bosch 社、CISTech 社) の一環として、生産にどの技術を使うのが最善であるかを決定するために、カドミウムを使用しないモジュール製造用の多数のアプローチを検討しています。」と Heterogeneous Material Systems 研究所の所長である Martha Lux-Steiner 教授兼博士は説明する。

カドミウムを使わない未来のソーラーモジュール

製造業者はカドミウムがモジュールの一部に使用できなくなる日に備えているが、おそらく技術移転が必須となるだろう。バッファ層の蒸着はモジュール出力 1W に対し

最高 5 セントのコスト増になると推定される。「規模の大きい製造施設 (1 GWp/年) の場合、私たちの技術は年間数百万ユーロの節約に役立つ可能性があります。」と Klenk 博士は言う。

このような方法で、硫化・酸化亜鉛層が工業生産中でスパッタリングされ、次の層はアルミニウムでドーピングされた酸化亜鉛ターゲットで作られ、従来の湿式化学プロセスの手法は使用されない。「これが実際に機能することを実証できただけでなく、これらの太陽電池が最高の変換効率を持つ可能性があるということも確認しました。」と高品質カルコパイライト層を研究しているグループを率いる Christian Kaufmann 氏は強調する。

次の段階：より大きな表面積と長期的な安定性

現在、Klenk 博士のグループは大面積での均質なコーティングができるよう既存のスパッタリング設備を改良している。「これで 30cm×30cm の CIGSe モジュールを製造できるようになります。また、長期間の安定性もテストできるでしょう。結局、将来の見通しという観点からは、この新たな環境に優しいプロセスが産業界の関心を引きつけ、最高の変換効率と、安定性を太陽電池にもたらすことが全てなのです。」と Klenk 博士は語った。

追加情報：

Prog. Photovolt. (2013) DOI: 10.1002/pip.2445
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pip.2445/abstract>

産業用カルコパイライト薄膜を使った初期テストについての詳細は [こちら](#) まで。

翻訳：NEDO（担当 広報部 勝本 智子）

出典：本資料はヘルムホルツ協会の以下の記事を翻訳したものである。

“HZB team develops chalcopyrite solar cells without cadmium-based buffer layer”
http://www.helmholtz-berlin.de/pubbin/news_seite?nid=13894&sprache=en&typoid=49880

(Used with Permission of Helmholtz Zentrum Berlin)

(1104-6)

【ロボット技術分野（生活支援ロボット）】

仮訳

舌で動かす車椅子がライバルを制す（米国）

2014 年 1 月 2 日

NIBIB（米国：国立生物医学画像・生物工学研究所）に資金提供を受けた研究者チームによって、彼らの開発した斬新な舌で操作するシステム（Tongue Drive System）が四肢麻痺の人が使用する他の介助器具に比べて優れていることを実証した。

小規模な臨床実験において、四肢麻痺の患者が近年使用している車椅子を呼吸で操作するシステムと比べて、舌で操作するシステムを用いると、同等の正確性を有し、かつ三倍速く車椅子を操作することができることを実証した。呼吸による操作では、車椅子を動かすスイッチに付けられたストローを吸ったり吐いたりすることが必要であり、研究の被験者はすでに何年もの呼吸操作技術に習熟する日常経験を有することを考慮すると、舌操作システムのスピードと正確性は遥かに優れていた。



四肢麻痺のある患者が、舌で操作するシステムを用いて、障害物コースを進む。

出典：Maysam Ghovanloo, Georgia Institute of Technology

この新技術は、日常生活を送るのに介助技術に頼る人々の自立化に大幅に貢献できる。本研究は、ジョージア工科大学の博士（Ph.D）であるMaysam Ghovanloo氏が率いるチームによって行われ、11月27日発行の学術誌『Science Translational Medicine』にて発表された。^{注1}

舌操作システムは、全身麻痺の患者が実際に舌を動かすことができるという事実を活かしている。研究者はこの事実に注目し、麻痺患者の舌を高感度で正確な操縦桿へと変えた。本システムは、磁気材のスタッドをユーザーの舌に装着し、コンピューター

^{注1} The tongue enables computer and wheelchair control for people with spinal cord injury. Kim J, Park H, Bruce J, Sutton E, Rowles D, Pucci D, Holbrook J, Minocha J, Nardone B, West D, Laumann A, Roth E, Jones M, Veledar E, Ghovanloo M. Sci Transl Med. 2013 Nov 27;5(213) [LinkExternal link – Please review our disclaimer[[LINK](#)]]

(制御)化した車椅子に舌の位置をワイヤレスで送る。この完成したシステムによって、ラジコンカーをジョイスティックで操作するように、患者は舌を用いて車椅子を操作することができる。

また研究関係者は、舌で操作する本システムを使用して、コンピューターを操作するテストも行った。このテストは、健常者と四肢麻痺の患者が、コンピューターのスクリーン上でランダムに現れる標的をクリックするためにカーソルを動かすというものである。11名の四肢麻痺の患者は、舌操作システムと呼吸操作システムを比較し、23名の健常者は舌操作システムとパソコンのマウスとキーパッドを比較した。両グループとも、わずか30分の練習で舌操作システムの使用に適応し、さらに経験を積むことで急速に向上した。



舌操作システムのヘッドセット、磁気材の舌スタッド、そしてスマートフォン。

出典：Maysam Ghovanloo, Georgia Institute of Technology

試験が終わり、近年の介助技術と比較して舌操作システムの方が周囲環境との対話性においてより途切れずに扱いやすいということから、被験者からは舌操作システムの方を好むということが報告された。他の介助技術が車椅子やコンピューターに取り付けられているのとは異なり、舌操作システムは体に装着されており、ベッドや別の車椅子に移されたときでも使用できるという点も好まれた。



舌操作システムのテストを行っている Ghovanloo 博士と、Jason DiSanto 氏。

出典：Maysam Ghovanloo, Georgia Institute of Technology

NIBIB のプログラムディレクターである Grace Peng 博士は、こう付け加える。「我々は、Ghovanloo 博士のチームが展開するこの画期的なリハビリテーション研究を支援し、見守ることに大きな喜びを感じている。この研究が米国再生・再投資法 (ARRA) の NIH Challenge Grant によって支援を受けたことは、とりわけ意義深い。ARRA 助成金は、最も困難なバイオメディカル研究の問題に対して革新的な解決法を考案する2年にわたる特別な助成金である。本研究は、四肢麻痺の人々の自立や生活水準の大幅な改善への重要なステップであり、

まさしく ARRA Challenge Grant のサクセス・ストーリーである。」

今までは、舌操作システムのテストは研究所や病院に限られてきた。研究チームは、患者の家庭や仕事場、そして様々な環境における舌操作システムの機能を確かめるため、研究所の外でのテストを計画している。

翻訳：NEDO（担当 広報部 室井 紗織）

出典：本資料は、米国の国立生物医学画像・生物工学研究所（NIBIB）の以下の記事を翻訳したものである。

“Tongue-Driven Wheelchair Out-Maneuvers the Competition”

<http://www.nibib.nih.gov/news-events/newsroom/tongue-driven-wheelchair-out-maneuvers-competition>

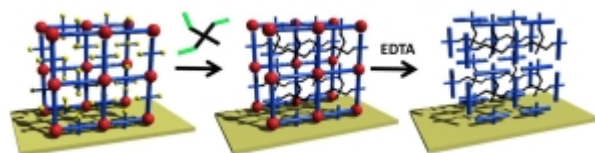
(1104-7)

【バイオナノテクノロジー分野（医療システム）】

仮訳

分子構造をベースとしたポリマーコーティング(ドイツ)

KIT 研究者たちが生物学や医療分野へ応用が可能な新しいゲルを開発



金属有機構造体(SURMOF)の略図(左)、クロスリンク結合後(中央)、そして銅イオンが取り除かれた後の様子(右)。

(図の制作者：IFG の Manuel Tsotsalas 博士)

カールスルーエ工科大学(KIT)と Jacobs University Bremen の研究者たちが開発した新手法によって、オーダーメイドによる特性やマルチ機能を持ったポリマー層を製造することが可能となった。生物学や医療分野への応用に適した安定した多孔質ゲル(SURGEL)には、基板上に成長させた金属有機構造体(SURMOF)が用いられている。この手法は名高い米国化学会誌に紹介されている。

固体のポリマーコーティングは科学技術、自然科学、生命科学における多くの場面で中心的な役割を果たしている。例えば、心臓ペースメーカー、ステント(訳者注：血管等の人体の管状部分を管腔内部から広げる医療機器)、人工関節等を人間の体内に埋め込む際は、生体適合物質でのコーティングや、回復を早めて炎症を抑制する薬剤の含浸が必要となる。そこで KIT の研究者たちは、クロスリンク結合(訳者注：2 以上の分子を共有結合により化学結合すること)した有機物成分からゲルを生成する全く新しい手法を開発した。「従来のポリマーコーティングと比べて、このゲルは層が持つ孔の大きさが薬剤等の生物活性物質を取り込むのに特に適しているという点が傑出しています。」と KIT 内の Institute of Functional Interfaces(IFG: 機能インターフェイス研究所)代表の Christof Wöll 教授は説明する。

KIT 内の IFG、Institute for Biological Interfaces (ITG: 生物学インターフェイス研究所)、Institute for Organic Chemistry (IOC: 有機化学研究所)に所属する研究者たちと Jacobs University Bremen が共同で開発したこのゲルの製造方法は、複数の工程から成る。最初のステップでは、金属有機構造体(MOF)と呼ばれる層を固体基板上に成長させる。SURMOF(表面実装した金属有機構造体)層が持つ孔の大きさ、形、化学的機能を、いわばオーダーメイドすることができる。ところが、層そのものは生物学的環境での利用に適していない。層が水に対して強い感度を有しているため、劣化が急速に進み、この特殊な SURMOF に含まれる銅イオンが生体にとって有毒な働きをする。

こうした点を考慮し、次のステップでは室温環境でも完全な反応が起きるクリックケミストリーと呼ばれる方法を利用して、SURMOF 内の分子成分に別の分子をクロスリンク結合させる。最終ステップでは構造体から銅イオンを分離させ、多孔質ポリマーを形成するクロスリンク結合された有機物成分を得る。SURGEL は均一な厚みの層を形成し、そこに SURMOF が持つ利点や、SURMOF が生物学的な条件の下で発揮する高い安定性を取り込む。

研究者たちが行った生物活性分子を用いた SURGEL の含浸及び微生物実験によって、生物学的、医学的な応用への可能性が実証されている。こうした単細胞の振る舞いは、放出されたメッセンジャー分子が非常に効率的に取り込まれることを示した。「こうした新材料が、細胞増殖に全く新しい影響を及ぼす可能性があります。」と、KIT 内の Zoological Institute(動物学研究所)に勤める Martin Bastmeyer 教授、そしてヘルムホルツ協会が支援を行う BioGrenzflächen(バイオインターフェイス) プログラムの代表を務める Wöll 教授は述べている。

この新たなポリマーコーティング技術、その次に伴う生物学的特性評価の両方を導入するには、KIT の有機化学、生物学、物理化学に携わる研究者や Jacobs University Bremen の専門家たちが分野横断的な協力が求められている。

文献：

Manuel Tsotsalas, Jinxuan Liu, Beatrix Tettmann, Sylvain Grosjean, Artak Shahnas, Zhengbang Wang, Carlos Azucena, Matthew Addicoat, Thomas Heine, Joerg Lahann, Jörg Overhage, Stefan Bräse, Hartmut Gliemann, and Christof Wöll: Fabrication of Highly Uniform Gel Coatings by the Conversion of Surface-Anchored Metal–Organic Frameworks. JACS – Journal of the American Chemical Society. DOI:10.1021/ja409205s

翻訳：NEDO（担当 広報部 望月 麻衣）

出典：本資料は、ドイツ・カールスルーエ工科大学の以下の記事を翻訳したものである。

“Polymer Coatings Based on Molecular Structures”

http://www.kit.edu/visit/pi_2013_14359.php

Used with Permission of Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

(1104-8)

【新エネルギー分野(バイオマス)】

仮訳

**米国立再生可能エネルギー研究所(NREL)が
早食い酵素の新たなセルロース分解メカニズムを発見**
CelA が現在商業利用されている酵素よりも速くセルロースを分解する
2014 年 1 月 2 日

米国エネルギー省(Department of Energy: DOE)の国立再生可能エネルギー研究所(Natioanl Renewable Energy Laboratory: NREL)の研究者らは、1990 年に初めてロシア、カムチャッカ半島の間欠泉、ガイザーバレー(Valley of Geysers)で見つかった微生物の酵素が、現在市場で広く利用されているセルラーゼ酵素の 2 倍近くでセルロースを分解できることを発見した。

この酵素が大規模試験で継続して良好な結果を出せば、エタノールから他のバイオ燃料まで、既存のインフラですぐに利用できるリグノセルロース系バイオ燃料の製造価格の削減を促すだろう。今回の発見に関する論文、[“Revealing Nature’s Cellulase Diversity: The Digestion Mechanism of Caldicellulosiruptor bescii CelA”](#)は、科学誌 Science に掲載されている。

熱い淡水の水たまりで初めて見つかったバクテリア、Caldicellulosiruptor bescii は、リンカーペプチドとセルロース結合モジュールから成る 2 種類の触媒ドメイン錯体配列を有するセルラーゼである CelA を分泌する。

NREL の研究者らが、この CelA についてセルロース分解を試験する業界標準である Avicel(微結晶性セルロース)との反応を調査した結果、現在市場で主流となっているセルラーゼ酵素である Cel7A に比べ、CelA はより多く糖を生成することを発見した。CelA は一般的な表面除去においてセルロースを分解できるだけでなく、従来のセルラーゼとのさらに大きな相乗効果で糖の大量生成につながる、材料中に空洞を作ることがわかった。

活躍が期待されるこの CelA を分泌するこのバクテリアは、摂氏 75 度から 90 度（華氏 167～194 度）で繁殖する。

「このような高温下で活動する微生物とセルラーゼは、バイオテクノロジーの観点からいくつかの利点を持っています。」と、NREL の科学者で本研究論文著者の一人である Yannick Bomble は語る。

「CelA は、私たちが研究した中で他を大きく引き離して最も効率的な単一のセルラーゼです。」と Bomble 氏は続ける。「これは驚くほど複雑な酵素で、3 つの結合モジュールを持つ 2 種類の触媒ドメインから構成されています。この酵素が協調して働く 2 種類の補完的な触媒ドメインを持つという事実が、この酵素を極めて優れたセルロース分解酵素にしているようです。」

商業運転のほとんどでは、植物性の材料をバイオ燃料産業で重要な糖へ転換するために 15~20 種類の酵素を組み合わせたカクテル(混合物)を利用している。このようなカクテルの多くにおいて、酵素の一種類である Cel7A が分解作業の大部分をこなす。

CelA と Cel7A を比較した結果、最適な温度である摂氏 50 度(華氏 122 度)で Avicel を用いた結果、Cel7A の性能は CelA の 50%に過ぎないことを研究者らは発見した。

CelA は 15 年前に発見されているが、今回の研究以前にこの複雑なタンパク質に関して知られていたことは、その一般的な構造とセルロースを分解する能力を持つということのみだった。

米国・ジョージア大学の科学者がバイオマス上で最初に繁殖させたこの微生物は、細胞外酵素(細胞の外で機能する酵素)の生成に利用されていた。その後 NREL にて性能アッセイ、高度な画像法、X 線による結晶構造分析やスーパーコンピュータでのモデリングを含む技術を利用して、これらの細胞外酵素は精製され、特性が明らかにされた。

また NREL の科学者らは、CelA はセルロースだけでなく、キシロース(多糖類)も分解することを発見した。これによりキシロースを除去する特定の酵素のレベルを市販の酵素カクテル中で低減させることが可能となり、これがコスト削減につながる。

酵素がより効率的に糖を生成できれば、バイオマスを燃料に転換するプロセスにおいてコスト増加の大きな部分を占める酵素カクテルのコストを低減できる。今回の研究結果は産業界にとって重要な意味を持つだけでなく、科学者の興味を非常にそそるものである。「どのようにして極めて厳しい環境で繁殖できるのか、またバイオマスにどのように作用するのかなど、これらのセルラーゼの進化について多くのことを学んでいます。」と、NREL の科学者で本研究論文の筆頭著者である Roman Brunecky は語る。

「今回の発見は、市販の酵素カクテルの設計の展望を作り変えるかもしれません。」と、今回の研究に資金を提供した BioEnergy Science Center の Paul Gilna 所長は述べる。BioEnergy Science Center は、DOE の科学局の Office of Biological and Environmental Research が支援する Bioenergy Research Centers の 1 つである。

NREL の Brunecky に加えて、本研究論文共同著者には以下の者である：Markus Alahuhta、Qi Xu、Bryon S. Donohoe、Michael F. Crowley、Michael G. Resch、Vladimir V. Lunin、Michael E. Himmel、および Bomble。ジョージア大学の共同著者は、Irina A. Kataeva、Sung-Jae Yang、および Michael W.W. Adams である。

NREL は、再生可能エネルギーおよびエネルギー効率向上のための研究開発を行う米国エネルギー省傘下の主要な国立研究所であり、米国エネルギー省 (DOE) から Alliance for Sustainable Energy, LLC に運営委託されている。

翻訳：NEDO（担当 広報部 松田 典子）

出典：本資料は、米国立再生可能エネルギー研究所 (National Renewable Energy Laboratory: NREL) の以下の記事を翻訳したものである。

“NREL Finds a New Cellulose Digestion Mechanism by a Fast-eating Enzyme”

<http://www.nrel.gov/news/press/2014/6304.html>

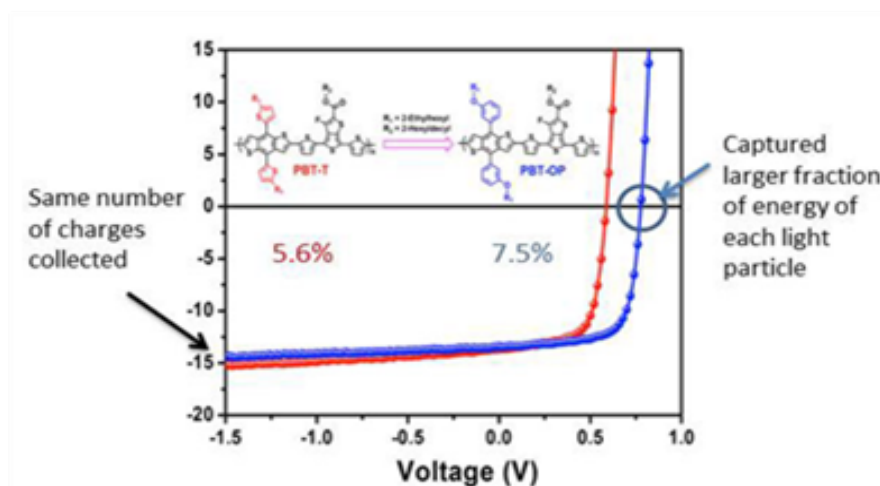
(1104-9)

【新エネルギー分野（太陽光発電）】

仮訳

太陽電池の変換効率を向上させる簡易で安価な方法を発見（米国）

2014 年 1 月 2 日



側鎖修飾が太陽電池の変換効率を 5.6%から 7.5%に向上させる

ノースカロライナ州立大学と中国科学院による研究者達が、太陽電池で一般的に使用されるポリマーの分子構造を改良する容易な方法を発見した。この改良により、太陽電池の変換効率が 30%超向上する。

ポリマーベースの太陽電池には、電子受容体（アクセプター）と電子供与体（ドナー）の材料から構成される 2 つの領域がある。励起子とは、光が吸収されたときに太陽電池によって作られるエネルギー粒子である。励起子が、エネルギー源として効率的に活用されるためには、ドナーとアクセプターの界面を素早く移動し、できるだけ多くの光エネルギーを保持していなければならない。

太陽電池の変換効率を向上させる 1 つの方法として、アクセプターの最高被占分子軌道（又は最高占有分子軌道）（HOMO）と（ドナーである）ポリマーの最低空分子軌道（又は最低非占有分子軌道）（LUMO）レベルの差を調整する方法があり、こうすることで最小限のロスで励起子を回収できる。これを達成するための最も一般的な方法の 1 つは、ポリマーの分子骨格にフッ素原子を付加するという方法であるが、複数の段階に分かれた困難なプロセスとなり太陽電池の性能を向上させるが、材料製造コストが増大してしまう。

中国科学院の Jianhui Hou 氏が率いる化学者のチームは、市販されている 2 つのモノマーと容易に合成できる 1 つのモノマーから、PBT-OP として知られるポリマーを開発した。ノースカロライナ州立大学のポストドク物理研究員で本研究について述べた論文の責任執筆者でもある Wei Ma 氏は、ポリマー構造とドナー・アクセプター形態の X 線分析を行った。

PBT-OP は、一般的に使用される他のポリマーより製造が容易なだけでなく、その化学構造を簡単に操作することで、同じ分子骨格を有する他のポリマーよりも HOMO レベルが低くなった。PBT-OP は、開放電圧（太陽電池から得られる電圧）の値が同様のポリマーにおける平均 0.6 ボルトよりも 36%増加した 0.78 ボルトとなったことが判明した。

ノースカロライナ州立大学の物理学者で論文共著者の Harald Ade 氏によると、本研究チームの取り組みにはいくつかの利点があるという。彼はこう語る。「これらの材料の分子構造を変えることで予想される欠点は、太陽電池の一側面を向上させても、気づかぬうちに初期の目的を失わせるような予期せぬ結果をデバイスにもたらしてしまうかもしれないという点である。この場合には、エネルギーの吸収、生成、輸送の材料能力は変化させずに、電子的構造を変え、光エネルギーをより多く捕獲することでデバイスの効率を向上させるという化学的に容易な方法を発見したのである。」

本研究の成果は、『[Advanced Materials](#)』にて発表されている。本研究は、米国エネルギー省科学局及び同基礎エネルギー科学局並びに中国科学技術省から資金提供を受けた。Maojie Zhang 博士がポリマーの合成を行ったほか、中国科学院の Xia Guo 氏、Shaoqing Zhang 氏、Lijun Huo 氏も本研究に貢献した。

翻訳：NEDO（担当 広報部 室井 紗織）

出典：本資料は、米国・ノースカロライナ州立大学の以下の記事を翻訳したものである。

“Researchers Find Simple, Cheap Way to Increase Solar Cell Efficiency”

<http://news.ncsu.edu/releases/tp-solarefficiency/>

Used with Permission of North Carolina State University

(1104-10)

【電子・通信分野（電子デバイス）】

仮訳

新世代透明電子機器用の世界最速有機トランジスタを開発（米国）

2014 年 1 月 8 日

著者: Tom Abate Stanford Engineering

米国・スタンフォード大学とネブラスカ・リンカーン大学の研究チームは共同で、安価で高性能なディスプレイの基盤となり得る、薄くて透明の半導体の開発を実施している。

両大学の研究チームは世界最速の薄膜有機トランジスタを共同開発し、この実験技術により高解像度のテレビスクリーンや同様の電子デバイスに要求される性能の達成が可能であることを証明した。

世界中のエンジニアが、安価である炭素を豊富に含む分子や樹脂を利用して、シリコンベースの高コストな技術による処理速度に近い電子機器動作を可能とする有機半導体の開発を試みている。本来、「有機」という言葉は生物が生成する化合物に限定して用いられてきたが、現在では樹脂を含む炭素ベースの合成物質も含むようになった。

ネブラスカ・リンカーン大学(UNL)とスタンフォード大学は、1 月 8 日発行の *Nature Communications* で、両大学の前回の実験技術による試作品の 5 倍超の速度で動作可能な薄膜有機トランジスタの製造法について報告している。

スタンフォード大学、[chemical engineering](#) の [Zhenan Bao](#) 教授が率いる研究チームと、UNL の mechanical and materials engineering の [Jinsong Huang](#) 助教授は、新たに開発した技術で、シリコン技術に基づいた高価で曲面スクリーンの TV ディスプレイの性能に匹敵する電気特性を有する有機薄膜トランジスタを作製した。



世界最速の有機薄膜トランジスタを開発した研究チームを率いた Zhenan Bao 教授(Joel Simon)

研究チームは有機薄膜トランジスタの基本的な製造プロセスを変更することで、速度の向上を成功させた。

一般的な製造プロセスでは、炭素が豊富な分子と補完的な樹脂を含んだ特殊な溶液を、今回の場合はガラス製の回転するプレート上に落とし、この回転作用でプレート上に材料の薄い膜を積層させる。

Nature Communications に掲載された本研究論文では、この基本的なプロセスで変更された重要な 2 点について説明している。

1 点目は、プレートの回転を速くしたことである。2 点目には、回転する表面の、切手ほどのサイズに等しい小さな部分のみに材料を積層させたことである。

これらの新手法により、有機分子がより高密度でより規則的な配列で積層された。その結果、トランジスタの中を移動する電子の速さを示す電荷移動度が著しく向上した。

研究者らはこの新手法を「オフセンター・スピンコーティング」と呼ぶ。このプロセスはまだ実験的なレベルにあり、トランジスタの有機材料の配列の正確な制御や、電荷移動度の均一化は達成されていない。



この切手サイズのガラス基板上の透過性トランジスタは、ある種のシリコン製トランジスタに匹敵する速度特性を持つ。この世界最高記録を有するデバイスは新プロセスを利用しており、新世代の安価で透明な電子デバイスの開発につながる可能性を提供する。(Jinsong Huang and Yongbo Yuan)

しかし、現段階においても、オフセンター・スピンコーティングにより、これまでの有機半導体に比べて遙かに高い速度域を持ち、かつ今日の高性能電子機器に利用されている多結晶シリコン材料の性能に匹敵するトランジスタを製造することができる。

この実験的なプロセスの今後の更なる向上により、ガラスや、最終的には透明でフレキシブルな樹脂の基板上に作る安価で高性能な電子機器の開発につながるだろう。

研究者らは既に、裸眼に対して 90%の透過性を持つ高性能有機電子機器の製造が可能であるとしている。

本研究チームの主要メンバーは他に ; UNL、[Nebraska Center for Materials and Nanoscience](#) の博士研究員である Yongbo Yuan、スタンフォード大学、化学エンジニアリングの大学院生である Gaurav Giri、そして [Stanford Synchrotron Radiation Lightsource](#) の博士研究員である Alex Ayzner である。

本研究活動は、米国国防総省国防高等研究計画局(DARPA)、空軍科学研究所、および米国立科学財団(NSF)より資金を得た。

本レポートの作成に、UNL、College of Engineering の Carole Wilbeck による協力を得た。

メディア連絡先：

Tom Abate, Associate Director of Communications at Stanford Engineering,
650-736-2245 or tabate@stanford.edu

Jinsong Huang, assistant professor, mechanical and materials engineering,
University of Nebraska-Lincoln 402-472-2640, jhuang2@unl.edu

翻訳：NEDO（担当 広報部 松田 典子）

出典：本資料は米国・スタンフォード大学(Stanford University)の以下の記事を翻訳したものである。

“Engineers make world’s fastest organic transistor, heralding new generation of see-through electronics”

<http://engineering.stanford.edu/news/engineers-make-world%E2%80%99s-fastest-organic-transistor-heralding-new-generation-see-through-electron>

Used with Permission of the Stanford University

(1104-11)

【蓄電池・エネルギーシステム分野（蓄電池）】

仮訳

**有機メガ(レドックス)フロー蓄電池が
再生可能エネルギー(の電力グリッド)技術の
ブレークスルーとなる見込み(米国)**

ハーバード大学の技術によって、風が吹かず、陽の出ない時でも貯蔵エネルギーの経済的な利用が可能に

著者：Paul Karoff 氏



ハーバード大学の Michael J. Aziz 氏(写真)らが金属フリーのフロー蓄電池を開発した。この蓄電池は自然界に豊富に存在する小さな有機分子の電気化学特性を利用したもので、再生可能であるが供給が断続的なエネルギー源からの電気を貯蔵することができる。(写真提供：SEAS Communications の Eliza Grinnell 氏)

【マサチューセッツ州 Cambridge、2014 年 1 月 8 日】ハーバード大学の科学者と技術者たちのチームは、グリッドの電力貯蔵方式を根本的に変える新タイプの蓄電池を実証した。これにより、風力・太陽光等の再生可能エネルギー源からずっと高い経済性や信頼性をもって電力を生み出すことができる。

この新たな蓄電池技術については1月9日のNature誌に掲載された論文で発表されている。OPEN 2012 プログラムの下、ハーバード大学チームは米国エネルギー省・エネルギー高等研究計画局(ARPA-E)から資金提供を受け、グリッド用の革新的な蓄電池の開発を行い、ARPA-E プロジェクトとして今後数年間にわたってさらなる技術や市場でのブレークスルーの強化に取り組む計画を立てた。

この論文では、キノンと呼ばれる、自然界に豊富に存在し、安価で、分子数の小さな有機分子(炭素ベース)の電気化学特性を利用した、金属フリーのフロー蓄電池について発表されている。そして同有機物は、植物や動物がエネルギー貯蔵に用いている分子と似ている。

風や太陽光の断続的な入手と(エネルギー)需要の変動との間に生じるミスマッチが、再生可能エネルギー資源から電力の大部分を供給しようとする上で最大の障害となる。大量の電力エネルギーを費用対効果の高い方法で貯蔵することが、この問題を解決することができる。



ハーバード大学 School of Engineering and Applied Sciences 内の Aziz 氏の研究室にあるフロー蓄電池の試作品(写真提供: SEAS Communications の Eliza Grinnell 氏)

この蓄電池はハーバード大学School of Engineering and Applied Sciences(SEAS)のMichael J. Aziz特別教授 (Gene and Tracy Sykes Professor of Materials and Energy Technologies)^{注1}の研究室で設計し、製造し、試験された。Roy G. Gordon特別教授 (Thomas Dudley Cabot Professor of Chemistry and Professor of Materials Science)^{注2}が分子の合成と化学スクリーニングを行っている。Alán Aspuru-Guzik教授 (Professor of Chemistry and Chemical Biology)は自身が開発した高速処理能力を持つ分子スクリーニング技術を用いて、蓄電池に最適な物質候補を調べるために 10,000 種類を超えるキノン分子の特性を計算した。

フロー蓄電池は燃料電池と同様に、蓄電池の内部ではなく外部タンクに入った化学物質の液体にエネルギーを貯蔵する。化学物質の液体が流れて電気化学変換が起こるハードウェア部(最大発電容量を決定する部分)と化学物質貯蔵タンク(エネルギー容量を決定する部分)が主な 2 つの構成要素であるが、それぞれは独立した容量で設計される。つまり、貯蔵できるエネルギーの総量はタンクの大きさによってのみ制限される。この設計によって、従来の蓄電池よりも安価なコストで、より多くのエネルギー量を貯蔵することが可能となった。

対照的に、車や携帯電話に一般的に使用される固体電極を用いた蓄電池ではエネルギー変換が起こるハードウェア部とエネルギー貯蔵部が一つに集約され、切り離すことができない。そのためエネルギーが無くなるまでに最大放電量を維持できるのは 1 時間未満となってしまう、断続的な再生可能エネルギーの貯蔵には適さない。

「私たちの研究結果では、太陽光発電や風力発電の電力を電力グリッドに送り込むには、その発電量の 1~2 日分に値するエネルギーの貯蔵が必要であるとされています。」と、Aziz 氏は言う。

例えば、発電容量が 1MW の風力タービンから 50 時間分のエネルギー(50MWh)を貯蔵する方法として、従来の蓄電池でエネルギー貯蔵容量が 50MWh のものを購入するという選択肢もあるが、それでは発電容量が 50MW となってしまう。必要なエネルギー量(発電容量)がわずか 1MW である場合に 50MW 分の発電容量費用をかけるのは経済的ではない。

こうした理由から、ますます多くの技術者たちがフロー蓄電池技術に関心を集めるようになってきている。しかしこれまでのフロー蓄電池には高価か、あるいはメンテナンスの

注1 訳者注：参考 HP <http://www.seas.harvard.edu/directory/aziz>

注2 訳者注：参考 HP <http://www.seas.harvard.edu/directory/rgordon>

困難な化学物質が利用されていたため、エネルギー貯蔵コストをつり上げていた。

ほとんどのフロー蓄電池に使われる電解質の活性成分は金属であった。バナジウムは現開発段階では商業的に最先端のフロー蓄電池技術に用いられるが、その kWh 当たりのコストはいずれにしてもかなり高い水準にある。その他のフロー蓄電池は電解触媒に貴金属を使用している。例えば、燃料電池で用いられているプラチナが使われている。

今回ハーバード大学のチームによって開発された新しいフロー蓄電池は既にバナジウムを使用したフロー蓄電池と同等の性能を発揮しているが、使用する化学物質は非常に安価であり、貴金属の電解触媒も必要としない。

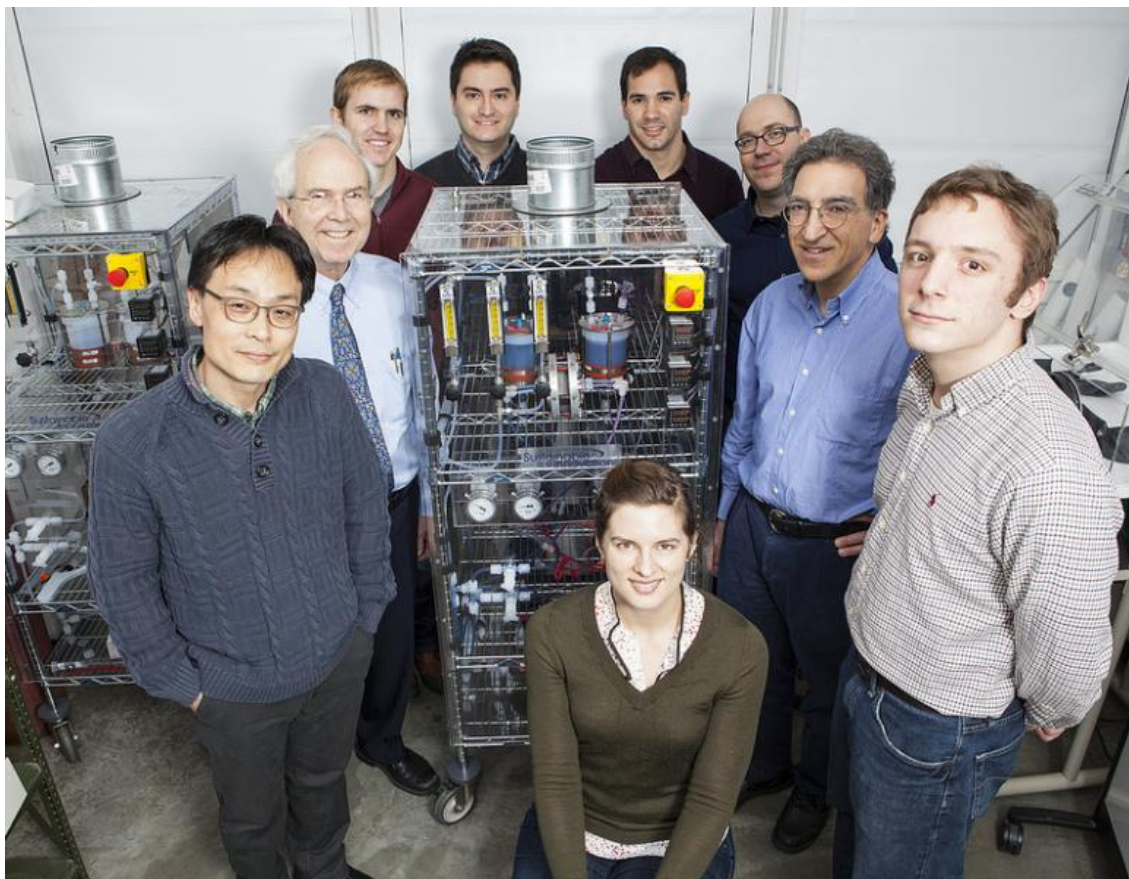
「蓄電池の世界では様々な荷電状態で金属イオンが利用されていますが、溶液に加えられるイオンの数や貯蔵できるエネルギー量には限界がありますし、どの金属イオンを利用しても、経済的に再生可能エネルギーを大量貯蔵することはできません。」と Gordon 氏は言う。「有機分子を利用することで、私たちは多くの新たな可能性をたらしめたのです。上手く機能しないものもあれば、非常に優れたものもあるでしょう。こうしたキノンの中から、優れていそうなものが初めて得られたのです。」

Aspuru-Guzik 氏は当該プロジェクトと、ホワイトハウスによる Materials Genome Initiative との足並みが、非常によく揃っていると述べている。「このプロジェクトでは、量子化学(計算)の高速処理と実験的洞察との相乗効果によって何ができるかを明らかにしています。」と彼は言う。「非常に短期間で、私たちのチームはふさわしい分子に的を絞りました。コンピュータスクリーニングと実験の両方によって、多くの応用分野で新材料を発見することが可能になります。」

キノンは原油にも緑色植物にも豊富に存在する。ハーバード大学チームがキノンベースの最初のフロー蓄電池に使用した分子はほぼ理想的なもので、ダイオウ(訳者注：タデ科の多年草)から発見されたものであった。キノンは水溶性であり、発火を防ぐ。

商業用の風力タービンを支えるには大型の貯蔵タンクが必要とされ、場合によっては地下に設置される可能性があるとして、論文の主な共著者であり、SEAS の博士研究員で Department of Chemistry and Chemical Biology (化学・化学生物学)に所属する Michael Marshak 氏は言う。あるいは、風力タービンや大規模ソーラーファーム用の広範な土地があれば、2~3 台の大型貯蔵タンクを置くこともできるだろう。

同技術を消費者レベルへ応用することも可能であると、**Marshak** 氏は言う。「家庭用暖房オイルタンクの大きさのデバイスが地下にあると想像してください。あなたの自宅の屋根にある太陽電池パネルで集められた 1 日分の太陽エネルギーが貯蔵され、夕方から夜を超えて翌日の朝まで化石燃料を燃やすことなく、十分な電力をあなたの自宅に供給できる可能性があるのです。」



時計回りに左から Changwon Suh 博士、Roy G. Gordon 教授、Brian Huskinson 博士、Suleyman Er 博士、Michael Marshak 博士、Alán Aspuru-Guzik 教授、Michael J. Aziz 教授、Michael Gerhardt 氏、そして Lauren Hartle 氏（写真提供：SEAS Communications の Eliza Grinnell 氏）

「Nature 誌に発表されたハーバード大学チームの研究成果は早期のものであるが、今後の電力グリッド用蓄電池の開発にとって必須となり得る重要な技術成果です。」と、ARPA-E プログラム・ディレクターの **John Lemmon** 氏は言う。「このプロジェクトチームの成果は、APRA-E からの限られた資金提供が、いかに研究の基礎構築を手助けできるかを示す素晴らしい一例となりましたし、今回の科学的発見が低コストの新しいエネルギー技術に結びついてほしいと思います。」

チームリーダーの Aziz 氏はプロジェクトの次のステップではさらに試験を重ね、ベンチトップ(実験室の机の上)で行う実証システムを最適化し、商業用へのスケールアップを目指すと言っている。「これまでのところ 100 回超の充放電サイクル後も劣化の兆候は見られませんが、商業化には数千サイクルが必要とされます。」と彼は言う。彼はさらに、蓄電池システムの基本的な化学特性を著しく改善できると期待している。「現在使用している化学物質は設置型蓄電池システムには最適なものとなっていて、市場への流通が十分に可能な範囲の安さになっていると思います。」と彼は言う。「しかし私たちには、劇的な改善をもたらすアイデアがあるのです。」

当該プロジェクトの協力者でコネチカット州に本社を置く Sustainable Innovations 社は、ホーストレイラー(馬が引く運搬車)サイズに収まる実証用の有機フロー蓄電池を 3 年間の開発期間終了までに開発したいと考えている。運搬できるようにスケールアップされた貯蔵システムは商業用ビルの屋上に設置された太陽電池パネルに接続することが可能であり、太陽電池パネルからの電力は直接ビルへ供給することも、また必要な時まで貯蔵しておくこともできる。Sustainable Innovations 社はこうした製品の商業化に際し、エネルギー貯蔵用に既に開発中の超低コスト電気化学蓄電池の設計およびシステム構築技術を活用することで中心的な役割を担えと見込んでいる。

「理論上では、蓄電池をグリッドのどこにでも設置できます。」と Aziz 氏は言う。「電力市場価格に変動があるようなら、貯蔵デバイスを設置して、電力価格が安いときに電気を買い貯蔵して、高いときにはまた売ることができます。また、高まるピーク需要に一時的に対応するためだけのガス火力発電所建設に必要な許認可やガス供給の問題も回避できます。」

世界人口の 20%が電力供給ネットワークにアクセスできていないことを考えれば、この技術はグリッド接続されていない屋上設置型太陽電池パネルにとっても非常に便利なバックアップとなり、重要な利点をもたらす。

電力市場の世界的な第一人者であるハーバード大学 Kennedy School の William Hogan 特別教授(Raymond Plank Professor of Global Energy Policy)もチームに協力し、この技術の経済的側面からの推進する方法を支援している。

Sustainable Innovations 社の代表兼 CEO を務める Trent M. Molter 氏は、ハーバード大学チームの技術を電気化学システムとして商業化するための助言を行っている。

「断続的な再生可能エネルギーの貯蔵問題は、私たちが太陽や風からエネルギーの大半を得ようとする上で最大の障害です。」と Aziz 氏は言う。「安全かつ経済的なフロー蓄電池は、化石燃料から再生可能な電力への移行において極めて大きな役割を担うことになるでしょう。その見込みは大きいですから、ワクワクします。」

Aziz 氏、Marshak 氏、Aspuru-Guzik 氏、そして Gordon 氏に加え、Nature 誌に掲載された論文の主な共同執筆者は Aziz 氏の教え子である院生の Brian Huskinson 氏。共同執筆者には Aspuru-Guzik 氏のグループに所属する研究員の Changwon Suh 氏とポスドク研究員の Süleyman Er 氏、Aziz 氏の教え子である院生の Michael Gerhardt 氏、ポモナ大学の学部生である Cooper Galvin 氏、そして Gordon 氏のグループに所属するポスドク研究員の Xudong Chen 氏が含まれる。

この研究の一部は、米国エネルギー省・エネルギー高等研究計画局(ARPA-E)、ハーバード大学 School of Engineering and Applied Sciences、全米科学財団(NSF)の研究フェロシップ「Extreme Science and Engineering Discovery Environment」(OCI-1053575)及びオランダ科学研究機構(NWO)の一部にあたる研究財団 Foundation for Fundamental Research on Matter の支援を受けている。

翻訳：NEDO（担当 広報部 望月 麻衣）

出典：本資料は、米国ハーバード大学の以下の記事を翻訳したものである。

“Organic mega flow battery promises breakthrough for renewable energy”

<http://www.seas.harvard.edu/news/2014/01/organic-mega-flow-battery-promises-breakthrough-for-renewable-energy>

Used with Permission of Harvard School of Engineering and Applied Science