

(資料 2)

【再生可能エネルギー(太陽電池)】 光共振炉 太陽電池仮訳**画期的な熱処理炉で太陽電池のコスト削減に期待 (米国)**

【2011年10月21日】太陽光発電産業の中核である太陽電池の製造には、機械的強度のテスト、酸化、アニーリング(焼きなまし処理)、精製、拡散、エッチング、層形成が行われなければならない。

これらの各プロセスにおいて、熱処理は不可欠な要素であり、全ての太陽電池メーカーのアセンブリラインのあちこちに大型熱処理炉が見られるのはこのためである。これまで、シリコンウェハの温度を急上昇させて加熱するための、輻射熱すなわち赤外線を用いる一般的な熱処理炉や高速熱処理炉が最先端であった。しかし現在では、まったく新しい炉が現れている。



太陽電池を加熱するシミュレーション実験時に、光共振炉のキャビティ(空洞)の内側が白熱する様子。

[クリックして画像拡大](#) 写真提供: Dennis Schroeder

米エネルギー省(Department of Energy: DOE)の再生可能エネルギー研究所(National Renewable Energy Laboratory: NREL)が開発した、市場の流れを変える光共振炉(Optical Cavity Furnace: OCF)には、無類の精度で太陽電池の加熱、高純度化を行うために光学機器が用いられており、太陽電池の変換効率は急激にアップしている。

この光共振炉は、加熱冷却コストを最小限に抑えながら、変換効率を最大化するための厳密な制御技術をこのプロセスにもたらしることができるフォトリソ(光工学)の利点を結集している。

NREL の光共振炉には、先例のない均一な温度を達成するために、高反射率の炉内に、多数配列されたランプが搭載されている。また、超絶縁体で高輻射率のセラミックでキャビティの壁をライニングすることにより、複雑で最適な幾何学的設計(ジオメトリックデザイン)を用いることで、エネルギーロスを実質的に排除している。

このキャビティの設計の場合、エネルギー使用量は従来の熱処理炉の約半分となる。これは、従来の熱処理炉ではエネルギーロスとなった熱を、ウェハのための光共振炉自体が吸収しているためである。光共振炉の場合、電子レンジのように、エネルギーが容器(炉)ではなく処理物(ウェハ)にのみ消費される。



NRELの首席エンジニアBhushan Sopori氏は、光共振炉の性能について、同チーム研究者のVishal Mehta、Peter Rupnowski両氏と話し合っている。

[クリックして画像拡大](#) 写真提供: Dennis Schroeder

光共振炉のさまざまな構造には、ハンドリングや加工、不純物の除去(不純物のゲッターリング)、接合部の形成、ストレスの低減、電子特性の向上、裏面電界の強化処理に耐え得る機械的強度を持つウェハをスクリーニング(選別)するために、光学の利点が活用されている。

### 高変換効率の太陽電池ウェハを1時間に1200枚生産

NRELの研究者たちは、光共振炉の改良を続けており、近日中に変換効率を4%ポイント引き上げることができると期待している。この数字は、一度にポイントを5割アップさせるという成果の達成を意味しており、産業界における大きな飛躍である。「我々の予測では、現時点の変換効率が16%である材料で、これらのフォトリソグラフィ効果を利用して変換効率を20%にまで達成できることを示している」とNRELの首席エンジニアであるBhushan Sopori氏は述べ、こうつけ加えた。「これはものすごい成果(上昇率)だ。」



NRELの研究者が、多結晶シリコン太陽電池のサンプルを光共振炉の中に差し込んでいる。後方には、この分析結果をコンピュータ画面で読み取ろうと、Bhushan Sopori氏が待機している。

[クリックして画像拡大](#)

写真提供: Dennis Schroeder

一方、NRELとその民間セクターのパートナーであるAOS社([AOS Inc.](#))は、1時間あたり1200枚のウェハの熱処理が可能で量産規模の光共振炉を建設中である。

この光共振炉は、一般的な熱処理炉の約1/4か

ら 1/2 のコスト、つまり僅かなコストで、より高品質かつ高変換効率の太陽電池の生産を支援し、米国の太陽電池製造業をあと押しできる力を備えている。

光共振炉による熱処理時間もまた、従来の熱処理炉に比べ大幅に短縮されており、太陽電池ウェハの熱処理に要する時間は、ほんの数分である。

NREL は、世界的な太陽電池メーカー数社と共同研究開発契約を結んでいるが、これらの企業はすべて、高品質化、低コスト化を実現する光共振炉の将来性に関心を示している。

## R&D(研究開発)アワード 100 選の受賞者

NREL と AOS 社は、熱処理炉の 2011 年度「R&D (研究開発)100 選」で共に受賞した。R&D Magazine 誌主催のこのアワードは、この年にもっとも重要な技術的な躍進を賞賛するものである。

毎年、何十億個もの太陽電池が生産されている。従来の熱処理炉は、熱伝達によってウェハを加熱しているが、急速熱処理炉(Rapid Thermal Processing: RTP)は、シリコンウェハを数秒間で最大 1000°Cまで急速加熱するために、輻射熱を使用する。

急速熱処理炉とは対照的に、光共振炉の処理には、フォトニック効果を利用した、比較的遅い速度でのウェハ熱処理などが含まれる。加熱速度を低くすると、これに要する電力とエネルギー損失を大幅に削減するという追加的なメリットもあるため、低コスト化しながら変換効率を高めることができるのである。

「光学技術を用いることは、すべての太陽電池に大きなメリットがある。というのも、太陽電池は、太陽光を非常に効率的に吸収するように設計されているからである。」と NREL の首席エンジニアである Bhushan Sopori 氏は言う。「これで多くのことが実現できる。この光共振炉は非常に短時間で熱処理でき、その温度プロファイル(温度分布)を制御できるため、その仕上がりは、ほぼ完璧に均一になるのだ。」

実際に、壁面がセラミックであるため、光共振炉での熱処理は極めて均一である。ウェハの中央部分が 1000°Cに達する際には、隅部分や裂け目部分それぞれの温度は 999°Cから 1001°Cの間となる。

「この点で驚くことは、1KW と 2KW の各ランプの端部を窒素で冷却する以外は、一切冷却を行っていないということだ。」と Sopori 氏は言う。勿論これにより、熱処理炉に必要なエネルギー量は劇的に減少する。

光子を用いることで、より早く、より低い温度での接合部形成も可能になる。

米国は、2035年までにエネルギーの80%をクリーンエネルギーで賄うという目標達成を目指しているため、ホワイトハウスとエネルギー省は、太陽光発電産業に対し、設置した太陽光発電システムで1ワットあたり1ドル達成の課題(サンショット・イニシアティブ“SunShot Initiative”)を要求している。この目標を達成するために、太陽電池メーカーには、さらに低コストな優れた製造方法が必要となる。25万ドルあれば、光共振炉によって、従来の熱処理炉よりも加熱速度が早く、より低い資本コストで、より大きな成果を上げることができる。

## 20年におよぶ壮大な構想

20年以上もの間、Sopori氏は、より優れた熱処理炉を作るという壮大な構想を抱いていた。

光学を取り入れることで、太陽電池を加熱し、高純度化し、ストレスを低減し、接合部を形成し、まさに正確な量のドーパント(添加物)を拡散させる炉を作り、炉の効率をさらに高めることができるだろうということは、彼には解っていた。

「企画ではいつも容易なのだが。」Sopori氏は近頃、過去に企画や研究室ではうまくいっても、実際にはそれほどうまくはいかなかったこれまでのイノベーションを思い起こしながらこう述べ、次のように続けた。「こんなことは今までに誰も成し遂げていない、と気づく瞬間がある。うまくいけば達成できるが、つねに疑念はつきものだ。」

Sopori氏の課題は、光学などのいくつかの洗練された理論上のソリューションを思いついても、最適な幾何学(ジオメトリ)や炉の材料と結びつけることができないことにあった。「これらの研究を行うための多数の特許(12件)は持っていたが、欠けていたのは、これを可能とするエネルギー変換効率の優れた炉であった」と氏は述べた。

そしてSopori氏が、自身の光学の専門的知識と、いくつかの独創的なセラミック工学技術を結集すると、なるほどと頷く瞬間が訪れた。

NRELの光共振炉には、これまでにない精度で結晶シリコンウェハを、特に加熱冷却時にエネルギー損失を生じやすい端部であっても均一に加熱できるように、可視光線と赤外線とを使用する。これらの光線はサンプルを加熱処理するが、ウェハが物理的にランプに接触することはないのである。

この光共振炉の用途は幅広い。太陽電池の製造プロセスの各ステップには通常、多様な炉の形状および温度プロファイルが要求される。しかし光共振炉を使用すれば、太陽電池メーカーは、コンピュータ(NRELが独自に開発したソフトウェア)に、太陽電池の加工に

必要な温度プロファイルを指示するだけで良いのである。

つまり、光共振炉では、現在使用されている炉に必要な設備の改良や構造の変更を行うことなく、5つの異なるプロセス段階を実施することができる。すべてのプロセスにおいて、それぞれの太陽電池の太陽光から電気への変換効率が徐々にアップするのである。

### 炉内で多数みられる光の利点

光子には、太陽電池を作る際に有用とされる特性がある。

電子的に相互に結合しているシリコン原子に光が当たると、そのポテンシャル(電位)が変わる。この変化がより良い結果をもたらすということを、Bushan Sopori氏とその研究チームの研究成果が裏付けた。

光共振炉が太陽電池を加熱するために可視光線と近赤外線を照射し、また、太陽電池の材料の原子構造内深くで起こるフォトン効果を活用するために紫外線を照射する。これらを組み合わせて行うことで、品質と変換効率がアップしたデバイスを作ることができる独特の能力が得られる。

鉄やその他の不純物は、シリコンの品質を急速に低下させる可能性があるとして、米エネルギー省(DOE)のNRELとその民間セクターのパートナーであるAOS社が開発した光共振炉を担当する主席研究員のSopori氏は言う。「しかし、適切な光を当てることで、シリコンから不純物を取り除くことができる。」また、「フォトン効果を使えば、太陽電池の加工時にこれらの不純物を取り除くことは可能だ」「太陽電池の製造中に、フォトン効果を用いてこれらの不純物を取り除くことが可能だということを我々は証明した」と、氏は付け加えた。

光学によって、太陽電池内のインターフェースで、多くのことをひき起こすことができる。たとえば、金属によって光が反射し、不純物の拡散を促進するとSopori氏は言う。

炉内に搭載されているランプにより原子空孔を生成させることで、シリコン内の不純物を移動させて取り除くことができるようになる。

「これを空孔注入と言う」とSopori氏は述べた。空孔にシリコン原子は存在しない。「原子がないということは、そこには何もない空孔があるということだ。」それらの空孔が、鉄などの不純物に、さらに動きたいという衝動を促し、それらの不純物は要求温度よりもはるかに低い温度で移動する。この鉄が、アルミニウムとともに空孔に入りこみ、アルミニウムと鉄の融合体を作るが、幸いなことにこれは、いずれにしても電気接点として必要な

のである。

不純物を取り除くことで、太陽電池の変換効率を 13%から 17%に引き上げることができ。これはすなわち、その改良型太陽電池に当たる光子の 17%が利用可能な電気に変換されるということである。

光共振炉内に冷却水とエネルギー制限がないことは、太陽電池のエネルギーの回収時間を短縮する上で大きなメリットとなる。

その他の光学的アプローチのメリット：

シリコン太陽電池には、表面に銀の電気接点、裏面にアルミニウムの電気接点があることがよくある。それらは通常、太陽電池が形成されている時に、同時に焼きつけられる。シリコンと金属のインターフェースを選択的に加熱することで、この光共振炉は、加熱プロセスをよりよく制御することができ、このため、より強い表面電界を生成し、太陽電池の特性が向上する。

光共振炉は、強度の弱い、ひびの入ったウェハを生産ラインから取り除くために、光子を使用している。光子を使用すれば、より容易に熱負荷をウェハにかけ、不具合品のウェハをスクリーニングして除去できる。この光子を用いたプロセスでは、ウェハが切り出された直後に、その品質の完全性をテストする。従来の方法では、ウェハを物理的にねじったり、曲げたりして、その強度をテストしなければならなかった。

翻訳：NEDO（担当 総務企画部 原田 玲子）

出典：本資料は、NREL の以下 ”Breakthrough Furnace Can Cut Solar Costs”の記事を翻訳したものである。

[http://www.nrel.gov/news/features/feature\\_detail.cfm/feature\\_id=1629](http://www.nrel.gov/news/features/feature_detail.cfm/feature_id=1629)