

有機薄膜太陽電池に光を閉じ込める光制御技術を開発 ～蛾の眼の表面を模倣したナノ構造により発電効率を大幅に向上～

【発表のポイント】

- 多数の微小な円錐を並べたモスアイ構造（図）を用いて、有機薄膜太陽電池の発電層に効率良く光を閉じ込めるための光制御技術を開発しました。
- 有機薄膜太陽電池内部の3次元的光の流れを解析するための世界初のシミュレーション技術を構築し、モスアイ形状の設計に応用したことで、発電効率を大きく改善することに成功しました。

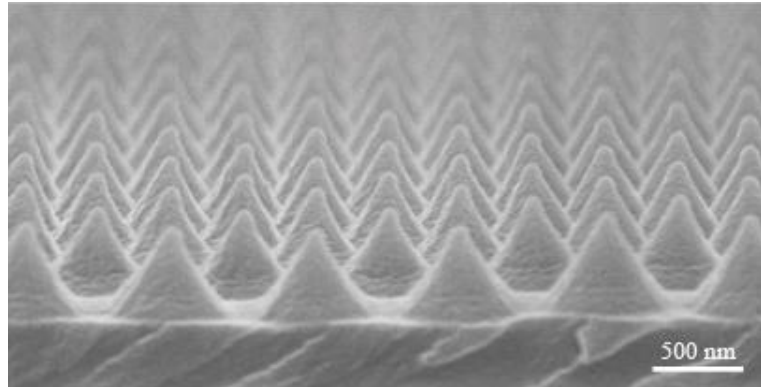


図 本研究で作成したモスアイ構造の電子顕微鏡写真の例
（それぞれの円錐の高さは約500～700ナノメートル）

【概要】

山形大学大学院理工学研究科の久保田 繁准教授は、同研究科の廣瀬文彦教授、同大学院生 平賀健太氏（現ジャトコ（株）所属）、早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構の水野 潤教授との共同研究により、有機薄膜太陽電池のデバイス内部の光の流れを解析するための世界初のシミュレーション手法を開発しました。また、この手法を応用することで、ナノメートルオーダー（ナノ＝10億分の1）の微小な円錐を並べたモスアイ構造を設計し、有機薄膜太陽電池の反射防止に使用した結果、従来比8.3%の大幅な発電効率の向上を実現しました。本構造により、有機薄膜太陽電池に特有の薄い発電層に光を閉じ込めることで、太陽光エネルギーを有効に発電に利用することができます。この研究でモスアイ構造の作成に使用したナノインプリントは、安価で大面積デバイスへの適用も可能な加工法であり、本技術は様々な薄膜太陽電池の高性能化への展開が期待できます。

【詳細な説明】

太陽光発電のさらなる普及を目指す上で、太陽電池のコストが高いことが大きな課題となっており、材料・製造コストの低減が可能な有機薄膜太陽電池（※1）の研究開発が盛んに行われています。有機薄膜太陽電池から電流を取り出すには、材料の電気的な特性上、光を電気に変換する発電層の厚さを約100ナノメートル（※2）に非常に薄くする必要があります。一方、光はこのような薄い発電層を容易に透過してしまうため、薄い発電層に光を吸収させるための高度な光制御技術が必要となっています。

有機薄膜太陽電池のように、光がガラス基板を通過するデバイスの3次元的光の流れを解析することは困難であり、実用的な解析法が存在しませんでした。そこで、本研究グループでは、このようなデバイスの光応答を解析するための独自のアルゴリズムを用いて、発電性能を正確かつ高速に予測するシミュレーション技術を開発しました。そして、この技術を、有機薄膜太陽電池の表面構造の設計に応用することで、入射した光を効率的に発電層に閉じ込めて吸収させるための最適な光制御構造を明らかにしました。

当グループが開発した光制御構造は、蛾の眼の表面で観察されるナノ構造（※3）を模倣したものであり、モスアイ構造（※4）と呼ばれます。この構造を用いることで、入射光を斜めに曲げて、繰り返し反射により発電層に閉じ込めることが可能であり、本来は発電にあまり適さない波長の光も、有効に発電に利用することができます。本研究では、独自の設計により得られたモスアイ構造を実際に試作して、有機薄膜太陽電池の表面に導入することで、従来より大幅に高い8.3%（相対比）の発電効率の改善効果が得られることを実証しました。

本研究でモスアイ構造を作成する際には、ナノインプリント（※5）と呼ばれる加工法を使用しています。この方法は、大面積のモスアイ構造を安価に構築するのに適しているため、将来的な産業応用にも向いています。今後、当グループでは、提案した手法をさらに改良することで、実用化に向けた技術の確立を目指します。

この成果は、学術誌 Journal of Photopolymer Science and Technology にて発表予定です。

お問い合わせ：

山形大学大学院理工学研究科 准教授 久保田 繁

tel : 0238-26-3766, e-mail : kubota@yz.yamagata-u.ac.jp

【用語解説】

- ※1. 有機薄膜太陽電池：有機材料を発電に利用した次世代型の太陽電池。材料コストが安いことに加えて、大面積デバイスを大量生産することで製造コストも低減できるため、低コスト太陽電池として期待されています。
- ※2. ナノメートル：1ナノメートルは、1メートルの10億分の1の長さ。
- ※3. ナノ構造：ナノメートル～数100ナノメートルのサイズの非常に微細な構造。このサイズは、光の波長と同程度であるため、光に対して特殊な応答を示すことから光制御に利用されます。
- ※4. モスアイ構造：数100ナノメートルの高さの円錐を密に並べた構造。蛾の眼の角膜表面で同様の構造が観察されるため、モスアイ（蛾の眼）と呼ばれます。この構造は光の反射を抑える働きがあり、夜間飛行を行う蛾が暗い夜でも十分な視界を得るために、進化によって獲得したものと考えられます。
- ※5. ナノインプリント：版画を紙に押し当てて絵を印刷する時のように、微細な凹凸形状を持つ型を樹脂に押し当てて、紫外線で樹脂を硬化させることにより立体構造を製造する加工技術。

【発表論文】

著者：Shigeru Kubota, Kenta Hiraga, Kensaku Kanomata, Bashir Ahmad, Jun Mizuno, and Fumihiko Hirose
論文タイトル：Efficient light trapping structures for organic photovoltaics fabricated by nanoimprint lithography (ナノインプリントにより作成した有機薄膜太陽電池のための効率的な光閉じ込め構造について)
発表雑誌：Journal of Photopolymer Science and Technology (採録決定済み)

【参考図】

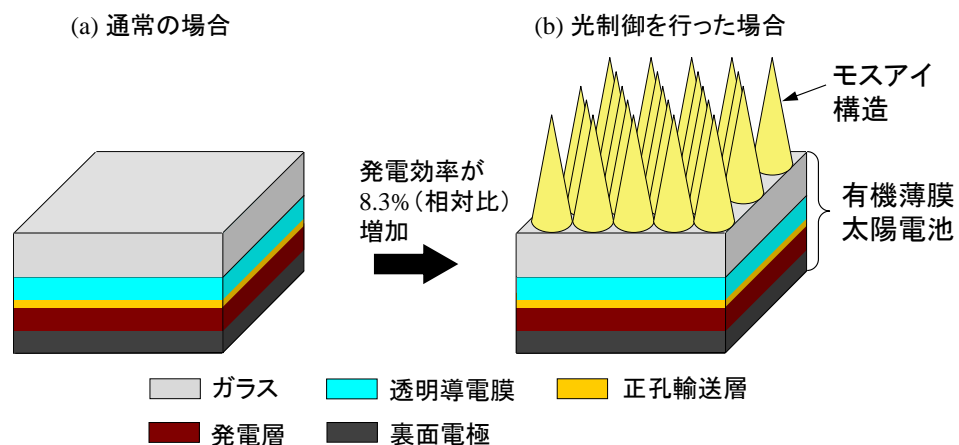


図1 有機薄膜太陽電池の構造

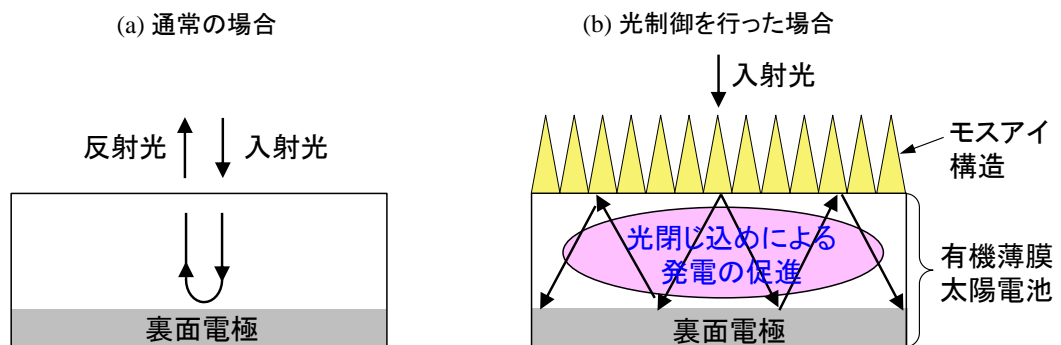


図2 モスアイ構造による光閉じ込め効果の説明。(a) 通常の有機薄膜太陽電池では、光が裏面電極で反射して容易に跳ね返ってしまう。(b) 有機薄膜太陽電池の表面にモスアイを導入することで、入射光が曲げられて、太陽電池内部に閉じ込められることで発電が促進される。