



金微粒子の光アンテナを搭載した全固体太陽電池の開発に成功

研究成果のポイント

- ・ ナノ空間に光を濃縮することができる光アンテナ構造を紫外線応答性固体太陽電池の接合界面に配置することで、可視光応答性の付与に成功。
- ・ 光アンテナ構造の応答領域を目に見えない光の領域に調整することで、透明太陽電池の開発に繋がると期待される。

研究成果の概要

北海道大学電子科学研究所の三澤弘明教授の研究グループは、これまで太陽電池などのエネルギー変換系に有効に利用されてこなかった可視・近赤外光を金などの貴金属のナノ構造を用いて高効率に捕集し、エネルギー変換する光アンテナ構造の開発を行ってきました。本研究では、エネルギーの高い紫外光しか吸収することができない n 型半導体の酸化チタン、及び p 型半導体の酸化ニッケルの接合界面にエネルギーの低い可視光にアンテナ機能を有する金ナノ微粒子を担持し、半導体それ自体では発電できない可視光での発電に成功しました。使用したいずれの物質も様々な環境において安定であり、長時間の安定した光発電が可能であることも確認しました。また、光アンテナ構造に光が照射された際に生じる電子とホール¹⁾の振る舞いが、半導体接合の微細構造に大きく影響を受けることを明らかにしました。

論文発表の概要

研究論文名: Properties of Plasmon-Induced Photoelectric Conversion on a TiO₂/NiO p-n Junction with Au Nanoparticles (金ナノ粒子を担持した酸化チタン／酸化ニッケル p-n 接合でのプラズモン誘起電荷分離挙動)

著者: 中村圭佑¹, 押切友也¹, 上野貢生¹, 王 永明², 鎌田義臣¹, 小竹勇己¹, 三澤弘明¹

(¹北海道大学電子科学研究所, ²北海道大学創成研究機構)

公表雑誌: The Journal of Physical Chemistry Letters (アメリカ化学会)

公表日: 米国東部時間 2016 年 2 月 26 日 (金) (オンライン公開), 冊子掲載 近日中

研究成果の概要

（背景）

シリコン太陽電池はメガソーラーに用いられるなど、現在、広く利用されています。しかし、全ての可視光を吸収するために黒色や暗青色をしており、窓材などとして利用することができません。窓材などに利用できる太陽電池は、可視光をほとんど透過し、紫外光、または赤外光に応答し、光発電する必要があります。北海道大学電子科学研究所の三澤教授の研究グループは、これまで進めてきた金ナノ微粒子が持つ局在表面プラズモン共鳴²⁾と呼ばれる現象を用いて可視・近赤外光を捕集し、湿式光－電気エネルギー変換系（湿式太陽電池³⁾）の構築を行ってきました。しかし、湿式太陽電池は電解質溶液を用いているために液漏れや長期安定性の問題が指摘されており、またその原理上、電流取り出し時に化学反応を伴うために純粋な電子やホールの振る舞いを観測することは困難でした。

本研究では、光アンテナとして金ナノ粒子を有する半導体基板上に固体ホール輸送層として酸化ニッケル薄膜を成膜して全固体プラズモン太陽電池を作製することで、半導体そのものでは発電できない可視光での発電に成功しました。

（研究手法）

酸化物半導体の一つである酸化チタンの単結晶基板上に、光アンテナとして金のナノ粒子（平均粒径 10 nm 程度、nm は 10 億分の 1 メートル）を高密度に配置し、その上に酸化ニッケルを 200 nm 成膜して太陽電池を構築しました。作製した太陽電池に擬似太陽光を照射し、太陽電池特性について評価しました。

（研究成果）

作製した全固体プラズモン太陽電池へ擬似太陽光を照射したところ、光電流が観測され、特に図 1 に示すように、擬似太陽光中に含まれる紫外光を除去して、照射しても光電変換特性を示すことが分かりました。酸化チタン・酸化ニッケルは可視光応答性を持たないため、これは金ナノ粒子の光アンテナ効果によるものと言えます。

本光電変換の機構は図 2 に示すように、光アンテナによって効率的に集められた光子によって金の電子 (e^-) が励起され、電子輸送層である酸化チタンへの電子移動を誘起しているものと考えられます。このとき、同時に生成したホール (h^+) は金と酸化チタンの界面に捕獲されており、その後ホール輸送層である酸化ニッケル側に移動すると推測されます。

作製した太陽電池は、3 日間擬似太陽光に暴露しても 99%以上の光電変換能を維持しており、有機化合物などを用いた太陽電池と比べて極めて高い耐久性を持っていることが分かりました。

さらに、作製したプラズモン太陽電池を 500℃で焼成したところ、酸化ニッケルの結晶構造や酸化チタン／金ナノ粒子／酸化ニッケルの界面構造の変化に伴い、太陽電池特性も大きく変化したことから、プラズモン光アンテナによって生じた電子とホールの振る舞いは、固体媒質の微細構造に大きく影響を受けることが明らかとなりました。

（今後への期待）

本研究では、従来の酸化チタンと酸化ニッケルからなる固体太陽電池の接合界面にナノ空間に、光を濃縮可能な光アンテナを導入することで、半導体太陽電池に可視光応答性を付与することに成功しました。今後、反応効率を向上させるとともに、光アンテナの応答波長を赤外領域に調節することで、人の目には透明なのにも関わらず紫外光と赤外光で発電可能な「透明太陽電池」の開発への展開が期待されます。透明太陽電池では従来の太陽電池に付随していた設置場所の制限が大幅に撤廃されるため、壁面や窓など、あらゆる場面への太陽電池の設置が期待されます。

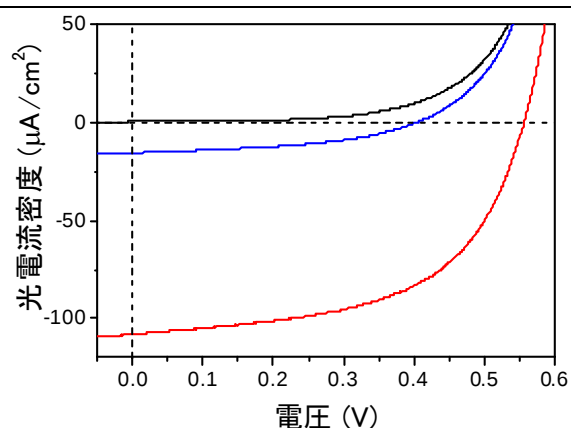


図 1: 全固体プラズモン太陽電池の電流－電圧特性

黒: 暗電流, 赤: 擬似太陽光照射, 青: 紫外線(波長< 410 nm)除去擬似太陽光照射

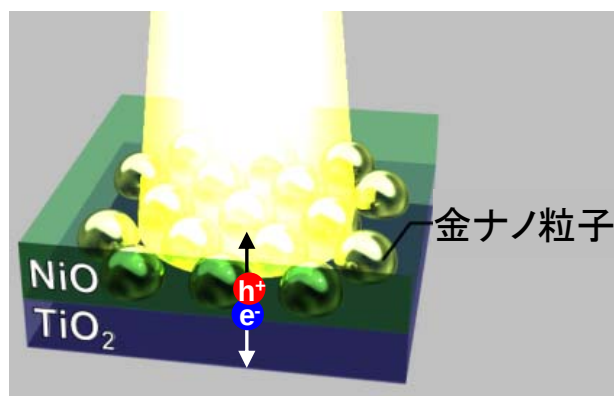


図 2: 光照射に基づく金ナノ構造から酸化チタンへの電子移動と酸化ニッケルへのホールの移動を記した模式図

NiO: 酸化ニッケル, TiO₂: 酸化チタン

お問い合わせ先

所属・職・氏名: 北海道大学電子科学研究所 教授 三澤 弘明 (みさわ ひろあき)

TEL: 011-706-9358 FAX: 011-706-9359 E-mail: misawa@es.hokudai.ac.jp

ホームページ: <http://misawa.es.hokudai.ac.jp/>

[用語説明]

- 1) ホール: 正孔ともいう。電子が熱や光などの刺激を受けて飛び出した後, その後に残された空孔のこと。正の電荷を運ぶ仮想的な粒子とみなすことができる。
- 2) 局在表面プラズモン共鳴: 金属ナノ微粒子は, 光と共鳴すると局在表面プラズモン共鳴と呼ばれる光学現象が誘起され, 構造のサイズや形状などによって様々な色を呈する。局在表面プラズモン共鳴は, 入射光と金属表面の自由電子の集団運動が共鳴する現象である。金属のため光退色もなく半永久的に色を呈するため, 古くは中世ヨーロッパの建築物であるステンドグラスに金のナノ粒子が散りばめられ, 赤い色を呈する発色材として用いられてきた。金属ナノ粒子近傍に存在する分子や物質は局所的に強い光電場を感じ, 蛍光シグナルの増強や表面増強ラマン散乱などの種々の光学効果を生み出す。
- 3) 湿式太陽電池: シリコン太陽電池のような乾式太陽電池とは異なり, 光電極と電解質溶液, 対極から構成される太陽電池。電解質溶液の酸化還元反応により電流を取り出す。色素増感型太陽電池も湿式太陽電池の一種である。