



アルミニウムにより近赤外光を捕集できるナノアンテナを実現

研究成果のポイント

- ・ ありふれた金属であるアルミニウムを用いて光を捕集できるナノアンテナの実現に成功。
- ・ 近赤外波長域における優れた光捕集効果の存在を確認。

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ナノ構造の開発を行っています。本研究では、金などの高価な貴金属ではなく、ありふれた金属で、元素戦略として優れたアルミニウムが、近赤外波長域で高効率に光を捕集するナノアンテナとして動作することを初めて明らかにしました。

論文発表の概要

研究論文名：Robust and versatile light absorption at near infrared wavelengths by plasmonic aluminum nanorods (近赤外光を高効率に捕集する頑丈で汎用性の高いアルミニウム製の光ナノアンテナ)
著者：レカルメ オリビエ, 孫 泉, 上野貢生, 三澤弘明 (北海道大学電子科学研究所)
公表雑誌：ACS Photonics (アメリカ化学会)
公表日：米国東部時間 2014年5月28日

研究成果の概要

(背景) 近年、地球規模の環境・エネルギー問題が顕在化しつつあり、再生可能エネルギーである太陽光エネルギーを有効利用できる太陽電池や人工光合成システムの研究開発が注目を浴びています。一方、地上に到達する太陽光エネルギーのうち約46%が赤外光ですが、現在の太陽電池や人工光合成においては、赤外光を有効に利用することができていません。高い太陽光エネルギー変換効率を有する太陽電池や人工光合成を実現するためには赤外光の有効利用が極めて重要となります。

三澤教授の研究グループは、これまでに赤外光を捕捉するナノアンテナとして金ナノ微粒子を用い、波長800 nm以上の近赤外光により光電変換可能なシステムを作製し報告してきました。金や銀などの金属ナノ構造は、光と共鳴すると金属表面の自由電子の集団運動が誘起される局在プラズモンという現象が生じます。ステンドグラスの鮮やかな赤色は、ガラスの中に分散している金のナノ粒子によるものですが、金ナノ微粒子に光が照射されることによりこの局在プラズモンが生じるため、金色ではなく赤色に見えるわけです。

金や銀に比べてアルミニウムは導電性が落ちるため、光と共鳴しても自由電子の運動が妨げられ、局在プラズモンが誘起されてもアルミニウムのナノ微粒子は光を捕捉するためのアンテナとしては高い性能を示さないと、これまで考えられてきました。しかし、アルミニウムは金などの貴金属とは異なり、ありふれた金属であり、太陽電池や人工光合成に搭載するナノアンテナを安価に製造するためには、元素戦略上、ぜひ利用したい金属でした。そこで、近赤外領域におけるアルミニウムナノ構造による局在プラズモンの特性を詳細に調べたところ、極めてユニークな光学性質を示すことが明らかとなり、太陽電池や人工光合成への適用も可能であることを初めて見出しました。

(研究手法) 酸化物半導体の一つであるタンタル酸カリウム単結晶基板に、光アンテナ構造として髪の毛の太さの 1000 分の 1 程度のサイズであるアルミニウムのナノ構造を高密度に配置した基板を作製し、可視・近赤外の波長域でアルミニウムナノ構造体のスペクトル測定を行いました。

(研究成果) 作製したアルミニウムナノ構造体のサイズや形状を変化させてスペクトル（透過スペクトル）を測定したところ、既報の金や銀のナノ構造と同様に、サイズや形状変化に伴って局在表面プラズモン共鳴の共鳴波長が変化する、つまり色が変わる様子が観測されました。また、本研究では、新たにアルミニウムのナノ構造が近赤外波長域において優れた光特性を示すことを明らかにしました。すなわち、アルミニウムの電気抵抗が金や銀より大きいことによって生じる損失分について、光の散乱による放射損失を低減することにより補えることを明らかにしました。局在表面プラズモン共鳴の損失は、前述の電気抵抗による損失と光が散乱光として外部に散逸してしまう放射損失があります。本研究では、近赤外波長域において、アルミニウムナノ構造のプラズモン共鳴の放射損失が小さくなることを見出しました。

図 1 に示すように直方体型のアルミニウムナノ構造体を屈折率の高い半導体基板に作製した場合、近赤外波長域に局在表面プラズモン共鳴を示すようになります。波長 800 nm 付近でアルミニウムにはバンド間遷移と呼ばれる光の吸収が存在します。そのため、波長 800 nm 付近においてプラズモン共鳴スペクトルが、左右 2 つのピークに分裂することが明らかになりました。単純な解析モデルとして、自由電子の運動方程式から導出される金属の誘電率（ドルーデモデル）、および実験値から得られる誘電率を用いてそれぞれ電磁場解析によるスペクトルのシミュレーションを行い比較したところ、図 2 に示すように後者では実験結果と同様に 2 つのピークに分裂し、光の散乱は抑制され、吸収成分が増大することが明らかになりました。また、実験結果においても透過スペクトル、および光電場増強スペクトルが 2 つに分裂したことから、光の吸収によって生じるアルミニウムの励起子とプラズモン共鳴に基づく光共振器（光をある一定の時間閉じ込める）が結合して新しい混成状態を形成したためではないかと考えられます。つまり、このことはプラズモン共鳴が電気抵抗や放射により減衰していく過程において、光を放射して失活する通常の経路を辿らないで、新たに励起子との混成状態を経由してゆっくりとエネルギー緩和することを示しており、赤外波長域において光を有効に閉じ込める光アンテナとして応用が期待されます。

(今後への期待) 本研究では、これまで太陽光エネルギー変換には利用する術がなかった近赤外光を有効に閉じ込める光アンテナ構造をありふれた金属であるアルミニウムを用いても実現できることを初めて明らかにしました。これまで金や銀などナノアンテナを用いて開発されてきた近赤外光を有効利用する太陽電池や人工光合成のシステムに、より安価なアルミニウムを使ったナノアンテナを搭載し、同様のエネルギー変換が可能になるものと期待されます。

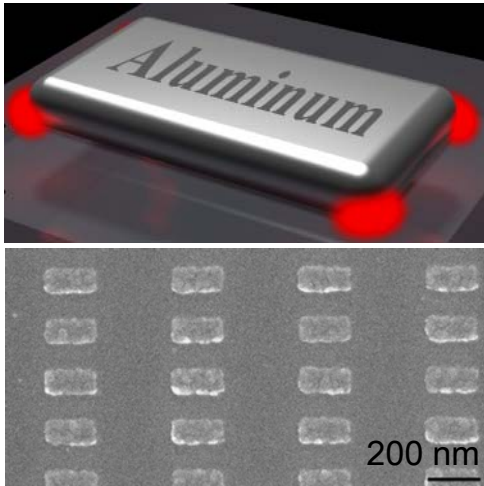


図1：アルミニウムナノ構造の設計略図および電子顕微鏡写真（図中赤い点は光電場増強が誘起される場所）

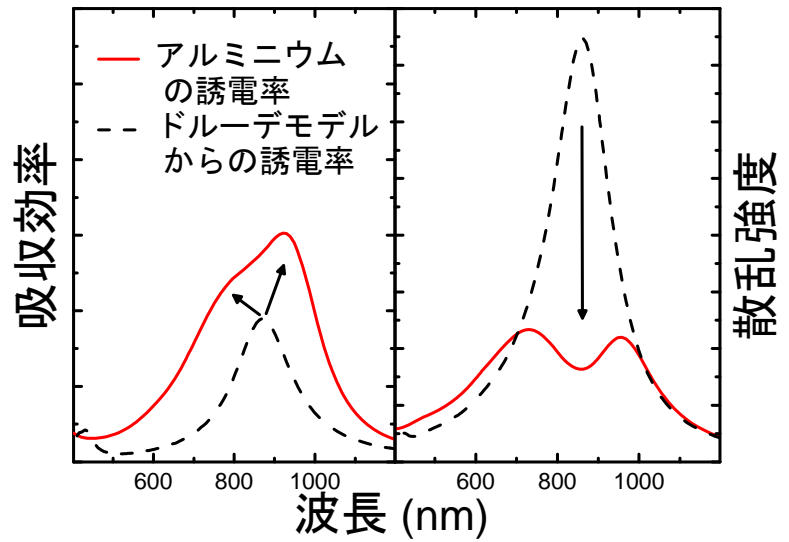


図2：アルミニウムナノ構造の吸収効率および散乱効率の波長依存性

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/>