



金のナノサンドイッチで持続可能社会を創る

研究者所属・職名 : 電子科学研究所・教授

ふりがな みさわ ひろあき

氏名 : 三澤 弘明

主な採択課題 :

- [特別推進研究「ナノ共振器－プラズモン強結合を用いた高効率光反応システムの開拓とその学理解明」\(2018-2022\)](#)

分野 : 光化学、物理化学

キーワード : 局在表面プラズモン共鳴、ナノ共振器、モード強結合、人工光合成、水分解

課題

- なぜこの研究をおこなったのか？ (研究の背景・目的)

地球温暖化のリスクを回避し、持続可能な社会を実現するためには、化石燃料への依存から脱却し、太陽光などの再生可能エネルギーを活用するシステムの構築を早急に進めなければならない。我々はこれまで金ナノ微粒子が示す「局在表面プラズモン共鳴」(以下プラズモン)を利用して太陽光に豊富に含まれる可視光によるエネルギー変換システムの構築を試みてきた。プラズモンという言葉は知らなくても多くの人は、図1に示すようなステンドグラスを目にしたことはあるだろう。透明なガラスの中に金や銀のナノ微粒子を混合したガラスがステンドグラスで、その発色は「プラズモン」による。本研究では、金ナノ微粒子が示すプラズモンと、金ナノフィルムおよび酸化チタン薄膜によって構成されるナノ共振器とのモード強結合を利用し、可視光をエネルギー源、そして水を電子源として水素やアンモニアを高効率に生成する人工光合成の開発とその学理解明を目的とした。

- 研究するにあたっての苦労や工夫 (研究の手法)

可視光を閉じ込めるナノ共振器に使用する酸化チタンの膜厚は30 ナノメートル(髪の毛の5000分の1)であり、原子層堆積装置を用いることによって良質な酸化チタン薄膜が金属フィルムの上に成膜可能なことを見出した。

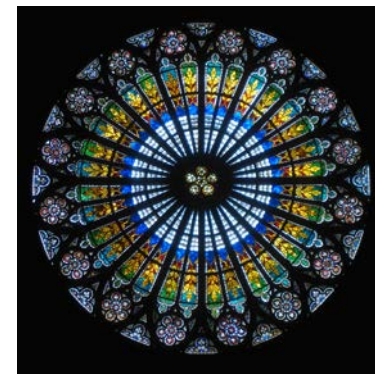


図1 ステンドグラス (ストラスブール大聖堂)



金のナノサンドイッチで持続可能社会を創る

研究成果

●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

従来の可視光エネルギー変換に利用するプラズモン電極は、ガラス基板上に酸化チタン薄膜を成膜し、その上に金ナノ粒子を単層付着させたものであった（図2c：薄青緑色）。この電極は可視光を十分吸収することができなため、プラズモン電極の背面にある紙の文字を判読でき、水を分解して水素を取り出す効率も低かった。

そこで、可視光を効率良く吸収させる仕組みを開発した。先ずガラス基板上に金フィルムを成膜し、その上に酸化チタン薄膜を成膜した（図2b：金色）。さらに、この酸化チタン薄膜上に金ナノ粒子を付着させ「金のナノサンドイッチ」構造（図3）にすると様相が一変し、図2aに示すように電極は黒色となり、可視光の80%以上を吸収するプラズモン電極となることを見出した。また、この強い光吸収が金ナノ微粒子が示すプラズモンと、酸化チタン薄膜と金フィルムで構成されるナノ共振器との「モード強結合」現象によることも解明した。図2aの基板を光電極として可視光によって水分解を行ったところ従来の6倍以上の効率で水素を生成させることに成功した。さらに、エネルギーキャリアとして注目されているアンモニアを空中窒素から合成することにも成功した。

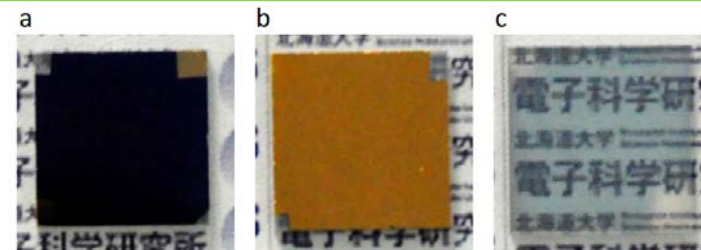


図2 a 金ナノ粒子／酸化チタン／金フィルム基板, b 酸化チタン／金フィルム基板, およびc 金ナノ粒子／酸化チタン基板の写真

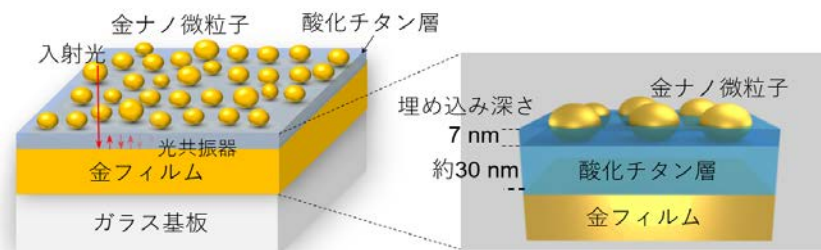


図3 金のナノサンドイッチ構造の模式図

今後の展望

●今後の展望・期待される効果

緑色植物は、水から電子を奪い（酸化反応）、二酸化炭素に電子を渡して（還元反応）糖に変換する。この時、酸化反応にも、還元反応にも、それぞれエネルギー源として可視光を用いている。開発に成功した金のナノサンドイッチは、水の酸化反応にだけに可視光を利用し水素を生産している。今後、還元反応にも可視光を利用できる金属ナノサンドイッチを開発し、緑色植物と同様、二酸化炭素を還元できる、「人工光合成」の構築にチャレンジし、地球温暖化の解決を図りたい。

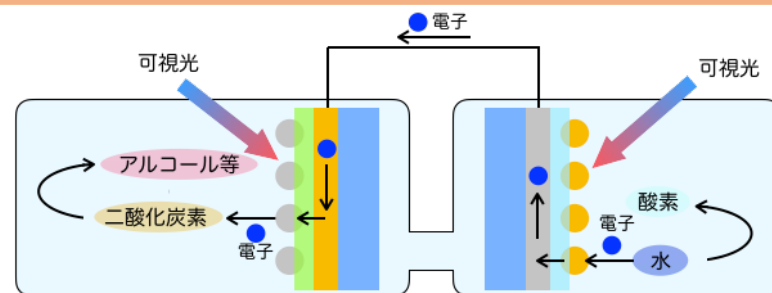


図4 人工光合成の模式図