

令和元年6月24日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K19031

研究課題名(和文) プラズモンナノ粒子を光捕集部位として用いた透明エネルギー変換デバイスの開発

研究課題名(英文) Development of clear and transparent energy conversion device using plasmonic nanocrystals

研究代表者

坂本 雅典(Masanori, Sakamoto)

京都大学・化学研究所・准教授

研究者番号：60419463

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：赤外域に局在プラズモン共鳴(LSPR：Localized Surface Plasmon Resonance)を示す無機ナノ粒子を用いて、赤外光を電気エネルギーや信号に変換することのできる無色透明な材料の開発に成功した。スズドープ酸化インジウムナノ粒子を光吸収材に応用することで、透明性(可視域の透過率>95%)と高い電子移動効率(電荷注入効率：33%)を両立することに成功した。また、本材料は1,400-4,000 nmという近赤外域から中赤外域の光に応答することが明らかになった。本成果は、透明な太陽電池、通信機器、光学センサーなどの最先端デバイスの開発への応用が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国の社会事情に適合した新しい再生可能エネルギー生産の形態として、透明なエネルギー変換デバイスを開発するためのキーテクノロジーの開発に成功した。無色透明な材料を用いた光誘起電子移動の実現は、透明太陽電池を用いた目に見えないエネルギー生産を実現するキーテクノロジーとなる。本申請研究においては、目には見えないが長波長で不可視の光である赤外光を電気エネルギーや信号に変換することのできる新しい材料の開発に世界で初めて成功した。研究成果は、透明なセンサーや、見えない通信機器、ガラスのような太陽電池といったSF小説のような電子機器の開発につながることを期待される。

研究成果の概要(英文)：Infrared-light-induced carrier transfer is a key technology for ‘invisible’ optical devices for information communication systems and energy devices. In this project, we developed “clear and transparent materials responsible for Infrared-light” by employing short-wavelength infrared (1400-4000 nm) localized surface plasmon resonance-induced electron injection from indium tin oxide nanocrystals to transparent metal oxides. The time-resolved infrared measurements visualize the dynamics of the carrier in this invisible system. Selective excitation of localized surface plasmon resonances causes hot electron injection with high efficiency (33%) and long-lived charge separation. We anticipate our study not only provides a breakthrough for plasmonic carrier transfer systems but may also stimulate the invention of state-of-the-art invisible optical devices.

研究分野：光化学

キーワード：光化学 エネルギー変換 光誘起電子移動 透明デバイス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

#### 1. 研究開始当初の背景

無色透明な材料における光誘起電子移動の実現は、景観やデザイン性を損なわずに社会のあらゆるところに設置できる透明太陽電池などの次世代エネルギー生産を実現するキーテクノロジーとして多くの注目を集めている。紫外域の光を用いれば、無色透明でありながら光電子移動を起こすことのできる材料を作ることができますが、紫外光は通信、エネルギー変換に向いていないため、長波長で不可視の光である赤外光を電気エネルギーや信号に変換することのできる材料の開発が強く求められていた。

この一方で、赤外域の光を選択的に吸収する材料が限られているのと、エネルギーの低い赤外光のエネルギー変換が非常に難しい点から、赤外光電変換を可能とする無色透明な材料の報告例はなかった。

#### 2. 研究の目的

本申請研究においては、我が国の社会事情に適合した新しい再生可能エネルギー形態として、赤外域の光をエネルギーに変換する耐久性と透明性に優れる透明なエネルギー変換デバイスを開発することを提案する。具体的には、紫外域と可視域に特徴的な強い吸収を有し、可視光を透過する  $\text{ITO}$ 、 $\text{MoO}_{3-x}$ 、などの透明導電性材料もしくは化合物半導体をベースとするプラズモンナノ粒子(プラズモン半導体ナノ粒子)を活性層として用いることで、世界初の固体透明太陽電池の実現を目指した。

#### 3. 研究の方法

申請者は赤外域に局在プラズモン共鳴(LSPR: Localized Surface Plasmon Resonance)を示す無機ナノ粒子を用いて、赤外光を電気エネルギーや信号に変換することのできる無色透明な材料の開発を行った。赤外域にLSPRを示すスズドープ酸化インジウムナノ粒子を光吸収材に応用することで、透明性(可視域の透過率>95%)と高い電子移動効率(電荷注入効率:33%)を両立することに成功した。また、本材料は1,400–4,000 nmという近赤外域から中赤外域の光に応答することが明らかになっている。

#### 4. 研究成果

無色透明な材料を用いた光誘起電子移動の実現は、目に見えない通信システムや、センサー、エネルギー生産を実現するキーテクノロジーとなりうる。本プロジェクトでは、目に見えない長波長で不可視の光である赤外光を電気エネルギーや信号に変換することのできる新しい材料の開発に世界で初めて成功した。今回の研究成果は、透明なセンサーや、見えない通信機器、透明なガラスのような太陽電池といったSF小説のような電子機器の開発につながる事が期待される。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計14件)

1. Z. Lian, M. Sakamoto, J. J. M. Vequizo, C. S. K. Ranasinghe, A. Yamakata, T. Nagai, K. Kimoto, Y. Kobayashi, N. Tamai, and T. Teranishi, Plasmonic p-n Junction for Infrared Light to Chemical Energy Conversion, *J. Am. Chem. Soc.* **2019**, *141*, 2446-2450.
2. M. Sakamoto, T. Kawawaki, M. Kimura, J. J. M. Vequizo, H. Mitsunaga, C. S. Ranasinghe, A. Yamakata, H. Matsuzaki, A. Furube, and T. Teranishi, Clear and transparent nanocrystals for infrared-responsive carrier transfer, *Nat. Commun.* **2019**, *10*, 406.

3. Z. Lian, M. Sakamoto\*, H. Matsunaga, J. J. M. Vequizo, A. Yamakata, M. Haruta, H. Kurata, and T. Teranishi, Near infrared light induced plasmonic hot hole transfer at a nano-heterointerface, *Nat. Commun.* **2018**, *9*, 2314.
4. H. Tahara, M. Sakamoto, T. Teranishi, and Y. Kanemitsu, Quantum coherence of multiple excitons governs absorption cross-sections of PbS/CdS core/shell nanocrystals, *Nat. Commun.* **2018**, *9*, 3179.
5. Z. Lian, M. Sakamoto\*, Y. Kobayashi, N. Tamai, J. Ma, T. Sakurai, S. Seki, T. Nakagawa, M. Lai, M. Haruta, H. Kurata, and T. Teranishi, Durian-Shaped CdS@ZnSe Core@Mesoporous-Shell Nanoparticles for Enhanced and Sustainable Photocatalytic Hydrogen Evolution, *J. Phys. Chem. Lett.* **2018**, *9*, 2212-2217.
6. T. Yoshinaga, A. Xiong, Y. Ham, Y. Kaung, R. Niishiro, S. Akiyama, M. Sakamoto\*, T. Hisatomi, K. Domen, and T. Teranishi, Boosting photocatalytic overall water splitting by Co doping into Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles as oxygen evolution cocatalysts, *Nanoscale* **2018**, *10*, 10420-10427.
7. D. Eguchi, M. Sakamoto\*, and T. Teranishi, Ligand effect on the catalytic activity of porphyrin-protected gold clusters in the electrochemical hydrogen evolution reaction, *Chem. Sci.* **2018**, *9*, 261-265.
8. M. Saruyama, S. Kim, T. Nishino, M. Sakamoto, M. Haruta, H. Kurata, S. Akiyama, T. Yamada, K. Domen, and T. Teranishi, Phase-segregated NiPx@FePyOz core@shell nanoparticles: ready-to-use nanocatalysts for electro- and photo-catalytic water oxidation through in situ activation by structural transformation and spontaneous ligand removal, *Chem. Sci.* **2018**, *9*, 4830-4836.
9. S. Kim, T. Nishino, M. Saruyama, M. Sakamoto, H. Kobayashi, S. Akiyama, T. Yamada, K. Domen, and T. Teranishi, Formation of Layer-by-Layer Assembled Cocatalyst Films of S<sup>2-</sup>-Stabilized Ni<sub>3</sub>S<sub>4</sub> Nanoparticles for Hydrogen Evolution Reaction, *ChemNanoMat* **2017**, *3*, 764-771.
10. M. Yamamoto, Y. Azuma, M. Sakamoto, T. Teranishi, H. Ishii, Y. Majima, and Y. Noguchi, Molecular Floating-gate Single-electron Transistor, *Sci. Rep.* **2017**, *7*, 1589(1-8).
11. Y. Majima, G. Hackenberger, Y. Azuma, S. Kano, K. Matsuzaki, T. Susaki, M. Sakamoto, and T. Teranishi, Three-Input Gate Logic Circuits on Chemically Assembled Single-Electron Transistors with Organic and Inorganic Hybrid Passivation Layers, *Sci. Tech. Adv. Mater.* **2017**, *18*, 374-380.
12. P. Uky Vivitasari, Y. Azuma, M. Sakamoto, T. Teranishi, and Y. Majima, Coulomb Blockade and Coulomb Staircase Behavior Observed at Room Temperature, *Mater. Res. Exp.* **2017**, *4*, 024004(1-5).
13. D. Eguchi, M. Sakamoto\*, D. Tanaka, Y. Okamoto, and T. Teranishi, Porphyrin Derivative-Protected

14. H. Tahara, M. Sakamoto, T. Teranishi, and Y. Kanemitsu, Harmonic Quantum Coherence of Multipul Excitons in PbS/CdS Core/Shell Nanocrystals, *Phys. Rev. Lett.* **2017**, *119*, 247401(1-6).

〔学会発表〕(計4件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計3件)

名称：光電変換機能を有する電子デバイス  
発明者：坂本雅典、寺西利治、川脇徳久  
権利者：国立大学法人京都大学  
種類：  
番号：PCT/JP2017/043191  
出願年：2016  
国内外の別：各国移行検討中

名称：テトラフェニルポルフィリン誘導体  
発明者：坂本雅典、寺西利治  
権利者：国立大学法人京都大学  
種類：  
番号：PCT/JP2018/19616  
出願年：2017  
国内外の別：各国移行検討中

名称：ナノ粒子を用いた塗布型光学デバイス  
発明者：坂本 雅典、寺西 利治  
権利者：国立大学法人京都大学  
種類：  
番号：特願 2018-107487  
出願年：2018  
国内外の別： 各国移行検討中

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。