

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656224

研究課題名(和文)フォノン援用エネルギー上方変換を用いた革新的色素増感型太陽電池の創製

研究課題名(英文)Development of high performance of dye sensitized solar cells using phonon assisted energy up-conversion

研究代表者

八井 崇 (Yatsui, Takashi)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80505248

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：近接場光を介したフォノン援用励起過程を用いてエネルギー上方変換を利用した色素増感型太陽電池を開発し、発電効率を飛躍的に向上させることを目的とする。

電極として、TiO₂ナノ微粒子およびZnOを利用し、何れも電極表面の粒径、計上を制御することで、発電効率を大幅に向上させることに成功した。加えて、色素にとって吸収感度を持たない長波長において、感度が得られていることは、得られた結果がフォノン援用励起過程を用いてエネルギー上方変換による効果であることを示す重要な結果となっている。

研究成果の概要(英文)：To increase the quantum efficiency of the dye sensitized solar cells (DSC), I developed DSC using nanostructured electrodes to increase in the excitation of the dressed-photon and phonon.

By using TiO₂ nanoparticles and ZnO nanorod structure with the controlling the size and shaped, large increase in incident photon to current conversion efficiency (IPCE) was achieved, indicating the energy up-conversion was achieved by the dressed-photon and phonon-assisted effect.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：色素増感太陽電池 ナノ構造 ドレスト光子

1. 研究開始当初の背景

太陽光エネルギーから降りそそぐ無尽蔵のエネルギーの有効利用が重要な課題となっている。しかしながら、光触媒や太陽電池などのデバイスは、材料の持つエネルギーバンドギャップよりも大きい光エネルギーを吸収して利用するため、バンドギャップエネルギー以下のエネルギーが無駄となっている。

2. 研究の目的

近接場光を介したフォノン援用励起過程を用いてエネルギー上方変換を利用した色素増感型太陽電池を開発し、発電効率を飛躍的に向上させることを目的とする。様々な材料の表面をナノ構造化することで近接場光が発生し、その結果、可視光が紫外光に相当する光に変わることを解明した。本原理に基づく機能創発型光プロセスにより作製された色素増感型太陽電池により、従来無駄な熱と化していた太陽光の低い光子エネルギー成分を有効に利用することが可能となるため、発電効率が大幅に向上する。

3. 研究の方法

電極材料としてとして(1) TiO_2 ナノ微粒子 (図1) および(2) ZnO (図2) それぞれに対して、表面粒径寸法の異なる複数の電極を用いて色素増感太陽電池を作製、評価を行った。

光源として Xe ランプを利用し、各波長に対する外部量子効率 (Incident Photon to Current Conversion Efficiency(IPCE)) を算出した。

色素にはルテニウム系 N-3 色素の両親媒性類似化合物である N-719 色素 (TiO_2 用) および Z-907 色素 (ZnO 用) を利用した。

4. 研究成果

(1) TiO_2 ナノ微粒子

図3に得られた IPCE 特性を示す。この結果が示すように、条件(b)において、大きな IPCE が得られた。条件(c)と比較して、約 32.8 倍の高効率特性が得られた。

加えて、色素にとって吸収感度を持たない波長 650nm 以上 850nm 付近までの長波長において、感度が得られていることは、得られた結果がフォノン援用励起過程を用いてエネルギー上方変換による効果であることを示す重要な結果となっている。

(2) ZnO

図4に得られた IPCE 特性を示す。 TiO_2 ナノ微粒子の結果と比較して、効率の劣る Z-907 色素を使用したために、IPCE の絶対値は劣っているが、条件(b)と比較して条件(a)において、大きな (31.7 倍) IPCE が得られた。この結果は ZnO ナノロッド先端のように、10nm 以下の微小なナノ構造によって高いドレスト光子の発生効率が得られ、その結果、フォノン援用励起過程を用いてエネルギー

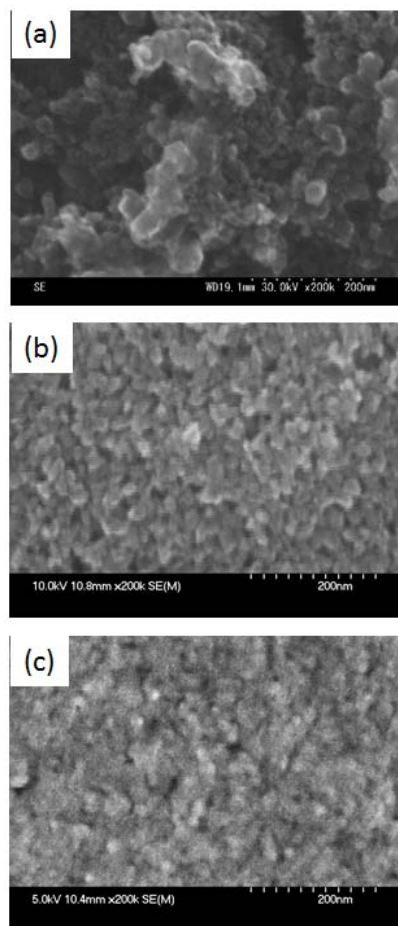


図1 TiO_2 ナノ微結晶の SEM 写真。焼成温度 150 度、30 分。

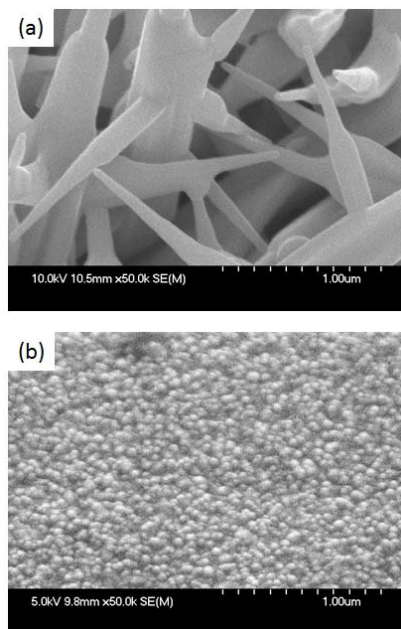


図2 ZnO の SEM 写真。(a) ナノロッド構造。(b) スパッタ膜。焼成温度 850 度、15 分。

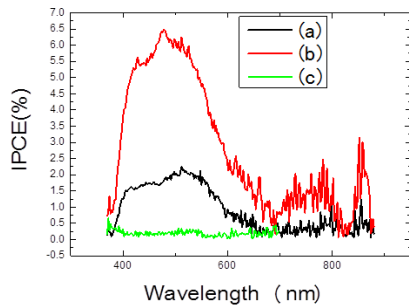


図3 TiO₂ ナノ微粒子を用いた有機増感太陽電池の IPCE 特性。

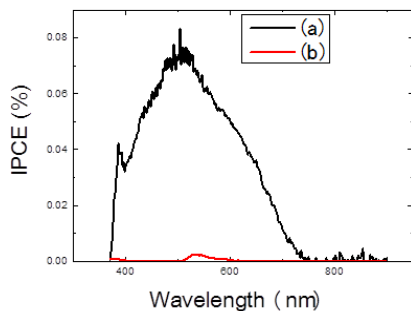


図4 ZnO ナノ微粒子を用いた有機増感太陽電池の IPCE 特性。

上方変換による効果であることを示す重要な結果となっている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 24 件)

1. T. Yatsui, T. Imoto, T. Mochizuki, K. Kitamura, and T. Kawazoe, "Dressed-photon-phonon (DPP)-assisted visible- and infrared-light water splitting," *Scientific Reports*, Vol. 4, 2014, Article number: 4561 (5 pages)、査読有
2. T. Yatsui, W. Nomura, T. Mano, H. T. Miyazaki, K. Sakoda, T. Kawazoe, and M. Ohtsu, "Emission from a dipole-forbidden energy state in a GaAs quantum-ring induced by dressed photon," *Appl. Phys. A*, Volume 115, 2014, pp. 1-4 [invited paper]、査読有
3. T. Yatsui, W. Nomura, F. Stehlin, O. Soppera, M. Naruse, and M. Ohtsu, "Challenge in realizing ultraflat material surfaces," *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 2013, Volume 4, pp.875-885、査読有
4. N. Tanjeem, T. Kawazoe, and T. Yatsui, "CO₂ phonon mode renormalization using phonon-assisted energy up-conversion," *Scientific Reports*, Vol. 3, Article number: 3341, 2013 (8 pages)、査読有
5. N. Tate, M. Naruse, Y. Liu, T. Kawazoe, T. Yatsui, and M. Ohtsu, "Experimental demonstration and stochastic modeling of autonomous formation of nanophotonic droplets," *Appl. Phys. B*, September 2013, Volume 112, pp 587-592、査読有
6. T. Yatsui, K. Iijima, T. Imoto, K. Kitamura, and T. Kawazoe, "Phonon-assisted near-field activation of electron transfer," *Journal of Nanophotonics*, Vol. 7, Iss. 1, September 2013, 073796 (7 pages)、査読有
7. N. Tate, Y. Liu, T. Kawazoe, M. Naruse, T. Yatsui, and M. Ohtsu, "Nanophotonic droplet: a nanometric optical device consisting of size- and number-selective coupled quantum dots," *Appl. Phys. B*, Vol. 110, 2013, pp.293-297、査読有
8. N. Tate, Y. Liu, T. Kawazoe, M. Naruse, T. Yatsui, and M. Ohtsu, "Fixed-distance coupling and encapsulation of heterogeneous quantum dots using phonon-assisted photo-curing," *Appl. Phys. B*, Volume 110, 2013, pp 39-45、査読有
9. Y. Liu, T. Yatsui, and M. Ohtsu, "Controlling the sizes of ZnO quantum dots by using dressed photon-phonon assisted sol-gel method," *Appl. Phys. B*, Volume 108, 2012, pp. 707-711、査読有
10. T. Yatsui, A. Ishikawa, K. Kobayashi, A. Shojiguchi, S. Sangu, T. Kawazoe, M. Ohtsu, J. Yoo, G.-C. Yi, "Superradiance from one-dimensionally aligned ZnO Nanorod Multiple-quantum-well Structures," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 100, 2012, 233118 (4 pages)、査読有
11. T. Yatsui, M. Tsuji, Y. Liu, T. Kawazoe, and M. Ohtsu, "Emission from a dipole-forbidden energy state in a ZnO quantum dot induced by a near-field interaction with a fiber probe," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 100, 2012, 223110 (4 pages)、査読有
12. W. Nomura, T. Yatsui, T. Kawazoe, M. Naruse, E. Runge, C. Lienau, and M. Ohtsu, "Direct observation of optical excitation transfer based on resonant optical near-field interaction," *Appl. Phys. B*, Vol. 107, 2012, pp.257-262、査読有
13. M. Mascheck, S. Schmidt, M. Silies, T. Yatsui, K. Kitamura, M. Ohtsu, D. Leipold, E. Runge, and C. Lienau, "Observing the localization of light in space and time by ultrafast second-harmonic microscopy," *Nature Photonics*, Vol. 6, 2012, pp.283-292、査読有
14. T. H. H. Le , K. Mawatari , Y. Pihosh , T. Kawazoe , T. Yatsui, M. Ohtsu , M. Tosa, and T. Kitamori, "Optical near-field induced visible response photoelectrochemical water splitting on nanorod TiO₂," *Appl. Phys. Lett.*,

研究者番号：

- Vol. 99, 2011, 213105 (3 pages)、査読有
15. N. Tate, M. Naruse, W. Nomura, T. Kawazoe, T. Yatsui, M. Hoga, Y. Ohyagi, Y. Sekine, H. Fujita, and M. Ohtsu, "Demonstration of modulatable optical near-field interactions between dispersed resonant quantum dots," Optics Express Vol. 19, 2011, pp.18260-18271、査読有
 16. K. Akahane, N. Yamamoto, M. Naruse, T. Kawazoe, T. Yatsui, and M. Ohtsu, "Energy Transfer in Multi-Stacked InAs Quantum Dots," Jap. J. Appl. Phys., Vol.50, 2011, 04DH05 (4 pages)、査読有

〔学会発表〕（計 102 件）

基調講演

1. T. Yatsui and M. Ohtsu, "Dressed Photon-phonon Technology for Ultra Flat Surface," International Conference Nanomaterials: Application & Properties '2013, September 16-21, 2013, Crimea, Ukraine, Proceedings of the International Conference Nanomaterials: Application & Properties '2013, Vol.2, No.2, 01PCSI09 (3 pages)
2. T. Yatsui, "Development of angstrom-scale ultra-flat substrate using a near-field etching proces," 7th International Conference on Photonic Technologies (LANE 2012), 13 November, 2012, Fuerth Germany

〔図書〕（計 7 件）

1. Takashi Yatsui, *Nanophotonic Fabrication: Self-Assembly and Deposition Techniques* (Nano-Optics and Nanophotonics), Springer, Berlin, April, 2012, 124 pages.

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

八井 崇 (YATSUI Takashi)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：80505248

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ()