

硫化ニッケル電極とコアシェル構造光半導体電極
を用いた新規色素増感太陽電池開発

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学 公開日: 2020-04-13 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 早川, 泰弘 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/00027357

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月13日現在

機関番号：13801

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14229

研究課題名(和文) 硫化ニッケル電極とコアシェル構造光半導体電極を用いた新規色素増感太陽電池開発

研究課題名(英文) Fabrication of new dye sensitized solar cell using nickel sulfide electrode and core-shell photo anode

研究代表者

早川 泰弘 (HAYAKAWA, YASUHIRO)

静岡大学・電子工学研究所・教授

研究者番号：00115453

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：ホット注入法を用いて、還元酸化グラフェン上に硫化ニッケル単相ナノ結晶を合成した。これは、有害な4-ニトロフェノールに対する高い触媒効果を示した。また、水熱合成法により窒素添加グラフェン膜上にNi-Mo-SやCu-Mo-Sナノ結晶等を合成し、形態や電気化学特性、色素増感太陽電池特性等を評価した。窒素添加グラフェン膜上Ni-Mo-Sは白金よりも高い光電変換効率を示しており、白金の代替材料として有望であることが示された。また、炭酸化合物添加メソポーラスTiO₂は市販のTiO₂よりも高い光電変換効率を示すことが明らかとなった。これらの成果は新規白金代替電極の開発と光電変換効率の向上に繋がる成果である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

クリーンで無尽蔵な太陽光の有効利用は、持続可能な低炭素社会実現に不可欠であり、低価格で高効率な太陽電池開発が望まれている。色素増感太陽電池は次世代太陽電池として有望であるが、白金対極に替わる安価で高い触媒機能を有する材料の開発や表面積が大きく、かつ電子寿命が高い光半導体電極の開発が課題であった。本研究では安価な硫化ニッケルやモリブデン化合物ナノ結晶合成に成功し、白金と同程度の光電変換効率を示した。また、炭酸化合物添加メソポーラス二酸化チタンを合成し、市販の二酸化チタンよりも高い変換効率を示した。これらの成果は新規白金代替電極開発と光電変換効率向上に繋がる成果である。

研究成果の概要(英文)：A single phase of nickel sulfide nanocrystal was grown on the reduced graphene oxide using a hot injection method. It showed high catalytic activity for the degradation of 4-nitrophenol. Ni-Mo-S, Cu-Ni-S and Co-Mo-S nanocrystals on nitrogen-doped graphene (NG) sheet were synthesized by a hydrothermal process. Ni-Mo-S on NG indicated high power conversion efficiencies of dye sensitized solar cell (DSSC) which was equivalent to a cell with Pt counter electrode. Carbonate-doped mesoporous TiO₂ showed enhanced DSSC efficiency compared with commercially available TiO₂. These results demonstrated the possibility of high conversion efficiency of DSSC without Pt.

研究分野：工学

キーワード：色素増感太陽電池 白金代替電極 硫化ニッケル モリブデン化合物 二酸化チタン メソポーラス炭酸化合物 触媒機能

1. 研究開始当初の背景

クリーンで無尽蔵な太陽光の有効利用は、二酸化炭素排出量削減や持続可能な低炭素社会実現に不可欠であり、低価格で高効率な太陽電池が望まれている。色素増感太陽電池は大面積でフレキシブル、カラー化が可能などの特長を有しており、太陽電池として有望である。しかし、色素増感太陽電池の低価格化と光電変換効率向上が課題である。

2. 研究の目的

本研究は、白金被覆フッ化物添加酸化スズ電極(Pt-FTO)の代替電極の開発と効率的な光吸収と電子移動を有する光半導体電極の作製である。そのために、(1) 電気伝導度が高く、高い触媒作用を有している硫化ニッケル単相ナノ結晶合成技術の開発、(2) 窒素添加グラフェン膜上 Ni-Mo-S (Ni-Mo-S@NG)、窒素添加グラフェン膜上 Cu-Mo-S (Cu-Mo-S@NG)、窒素添加グラフェン膜上 Co-Mo-S(Co-Mo-S@NG)ナノ結晶合成技術の開発、(3)炭素化合物添加二酸化チタンナノ結晶合成技術の開発、(4)色素増感太陽電池の作製と特性評価を行なう。

3. 研究の方法

(1) 硫化ニッケル単相ナノ結晶合成と評価

修正ハマーズ法で還元酸化グラフェン(rGO)を作製した。グラフェン粉末を硫酸とりん酸混合液に入れ攪拌した後、過マンガン酸カリウムを0℃で加えた。混合液を攪拌した後、400℃で保持した。これに純水を混ぜ、攪拌することで酸化反応させ、rGOを形成した。溶液を純水と塩酸で洗浄した後、室温で真空乾燥させrGO粉末を合成した。

ホット注入法を用いて、rGO上に硫化ニッケルナノ結晶を合成した。図1にホット注入法の実験方法を示す。フラスコの中に磁石を入れ、これを回転させることで溶液攪拌速度を制御した。また、フラスコをヒータージャケットの中に入れ、熱電対で温度を測定しながら溶液温度を制御した。窒素雰囲気下で、フラスコにオレイルアミンと硝酸ニッケル水和液($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)を混合させ、100℃で1時間加熱し、オレイルアミン-ニッケル溶液を生成した。他のフラスコにオレイルアミンと硫黄を混入し、70℃で30分加熱し、硫黄-アミン複合体溶液を生成した。三口フラスコの中で、オレイルアミン-ニッケル溶液と硫黄-アミン複合体溶液を1:1の割合で混合した。窒素雰囲気下で、240℃で1時間混合し、混合溶液を生成した。溶液の温度を室温まで下げ、遠心分離機を用いてナノ結晶を溶液から分離した後、エタノールで洗浄し、真空中で乾燥させた。オレイルアミン-ニッケル溶液と硫黄-アミン複合体溶液の混合割合をパラメータとして変化させることで、 NiS 、 NiS_2 、 Ni_3S_4 、 Ni_7S_6 相の硫化ニッケルナノ結晶を合成した。溶媒としてオレイルアミンのみを用いた場合と混合溶媒(オレイルアミン、オレイル酸、オクタデシン)を用いた場合の比較を行った。合成したナノ粒子の結晶構造をX線回折法(XRD)で、形態を透過電子顕微鏡(TEM)と高解像度TEMで観察した。また、ナノ結晶を4-ニトロフェノール溶液に混合し、無害な4-アミノフェノールに還元する過程を紫外可視吸収法(UV-Vis)で測定し、触媒効果を調べた。

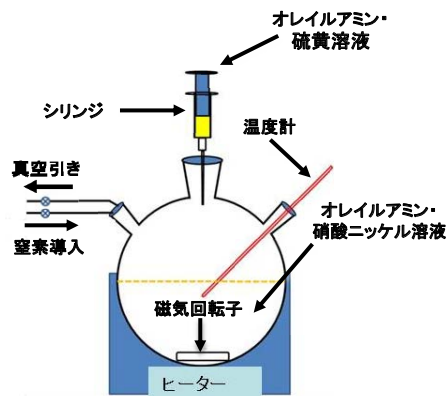


図1 硫化ニッケル/酸化還元グラフェンナノ結晶

(2) Ni-Mo-S@NG、Cu-Mo-S@NG、Co-Mo-S@NG ナノ結晶合成と評価

修正ハマーズ法で酸化グラフェン(GO)を作製した。その後、水熱合成法により Ni-Mo-S@NG、Cu-Mo-S@NG、Co-Mo-S@NG ナノ結晶合成した。例えば、0.5 mmol のモリブデン酸ナトリウム(Na_2MoO_4)、0.5 mmol の酢酸ニッケル($\text{C}_4\text{H}_6\text{NiO}_4$)、2.0 mmol のチオ尿素($\text{CH}_4\text{N}_2\text{S}$)を15 mL のイオン化水に入れ、30分攪拌した後、45 mg のGOを混入し、混合した。アンモニア2 mLを加え、3時間攪拌した後、オートクレーブ中で180℃で12時間加熱し、Ni-Mo-S@NGの合成した。Cu-Mo-S@NG、Co-Mo-S@NG ナノ結晶も同様の方法で合成した。

(3)炭素化合物添加二酸化チタンナノ結晶合成と評価

ゾルゲル法を用いてアモルファスナノ球を形成し、これをテンプレートとした。チタン(IV)テトライソプロポキシド(TTIP)をチタン源、ヘキサデシルアミンを有機キャップ剤、エタノールとイオン化水を溶媒として、メゾポーラス二酸化チタン(TiO_2)を合成した。これに尿素とチオ尿素を混合し、水熱合成法を用いて、炭酸化合物を添加したメゾポーラス二酸化チタン(TiO_2)を合成した。

4. 研究成果

(1) 硫化ニッケル単相ナノ結晶合成と評価

Ni源とS源の比を3:4にし、混合溶媒(オレイルアミン、オレイル酸、オクタデシン)を用いて合成した。XRD測定(図2a)、TEM観察(図2(b,c))と高解像TEM(図2(d))から粒径が10-12 nmの単相の硫化ニッケル(NiS)ナノ結晶がr-GO上に成長したことがわかる。

図3は黄色の4-ニトロフェノール溶液にrGO/NiSナノ結晶を混合すると、透明な4-アミノフェノールに還元される様子を示す。図4はUV-Vis測定結果である。4-ニトロフェノールの吸収に起因した400 nmの吸収ピークが時間経過とともに減少し、340秒後にはほとんどゼロになっている。これは、有害な4-ニトロフェノール溶液が無害な4-アミノフェノールに還元したことを示している。図5は、NiSのみ、rGO上のNiS、rGO上のNi₃S₄、rGO上のNi₃S₂の吸光度の時間変化を示す。rGO/NiSは他の相と比べ還元速度が速いことがわかる。これは、r-GO上には4-ニトロフェノールを吸着するサイトが多く、またNiS粒子サイズが小さいため表面積が高く、還元反応が促進されたことが主な要因であった。

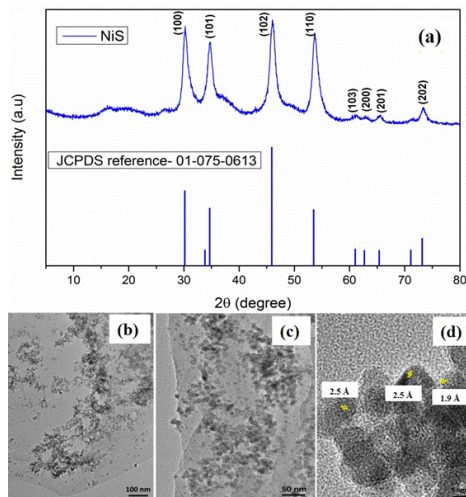


図2 還元酸化グラフェン上のNiSナノ結晶、(a)XRD、(b)-(c)TEM像、(d)高解像TEM像

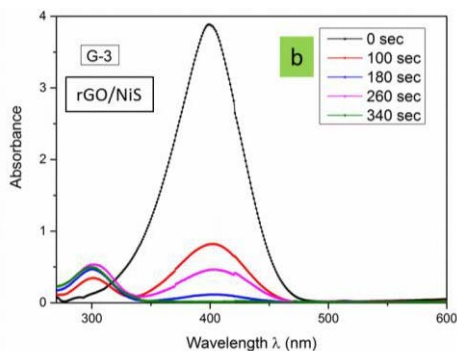


図4 UV-Vis測定結果。4-ニトロフェノール溶液が無害な4-アミノフェノールに還元

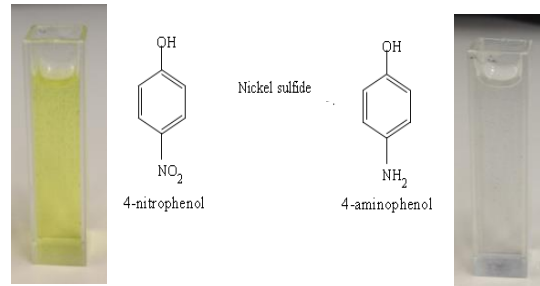


図3 黄色の4-ニトロフェノール溶液が透明な4-アミノフェノールに還元

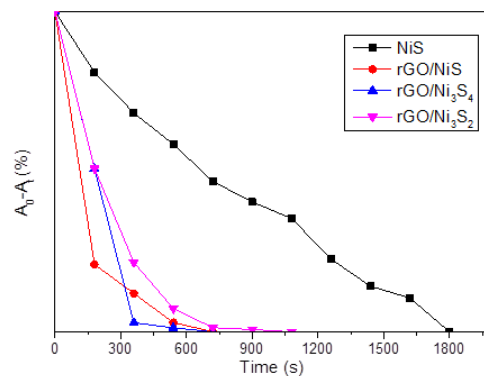


図5 NiSのみ、rGO上のNiS、rGO上のNi₃S₄、rGO上のNi₃S₂の吸光度時間変化

(2) Ni-Mo-S@NG、Cu-Mo-S@NG、Co-Mo-S@NG ナノ結晶合成と評価

図6(a),(b),(c),(d)にNi-Mo-S、Ni-Mo-S@NG、Cu-Mo-S、Cu-Mo-S@NGのTEM像を示す。(a-1),(b-1),(c-1),(d-1)はそれぞれに対応する高解像TEM像である。Ni-Mo-Sは層状構造であった。Ni-Mo-S@NGはNG上に円形や四角形のNi-Mo-Sナノシートがファンデルワールス力で結合していた。Cu-Mo-Sは長さ約100 nm、直径20 nmのナノロッドと六角形のナノシート状になっており、Cu-Mo-S@NGはNG上に凝縮無しでCu-Mo-Sが形成された。高解像TEM像で格子像が観察できることから結晶化していることがわかる。

図7にPt、MoS₂@NG、Ni-Mo-S@NG、Cu-Mo-S@NGをFTO基板に付着させ、対向電極として用いたときの電気化学特性結果を示す。参照電極としてAg/AgCl電極、対向電極にPt箔を用いて、I₂、LiI、LiClO₄を含んだアセトニトリル溶液中で測定した。I_{pa}ピークは陽極側のヨウ素イオンI⁻の酸化反応を、I_{pc}ピークは陰極側のI₃⁻還元反応を示す。Ni-Mo-S@NGのI_{pa}ピーク電圧とI_{pc}ピーク電圧の差E_{pp}は382 mVであり、Pt (450 mV)、Cu-Mo-S (421 mV)、MoS₂@NG (532 mV) よりも低い値を示した。また、高い電流値を示しており、Ni-Mo-S@NGは他の材料よりもI/I₃還元反応が高いことがわかった。

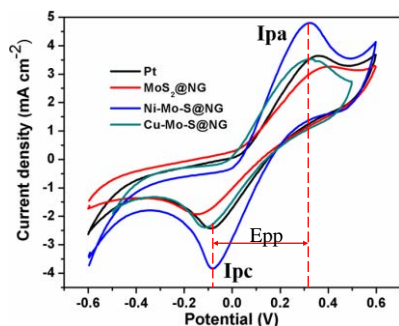


図7 Pt、MoS₂@NG、Ni-Mo-S@NG、Cu-Mo-S@NGの電気化学特性

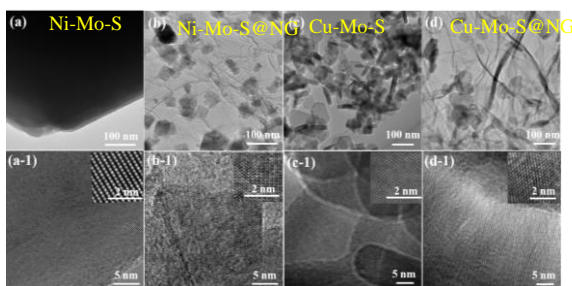


図6 Ni-Mo-S、Ni-Mo-S@NG、Cu-Mo-S、Cu-Mo-S@NGのTEM像

図8は合成した材料を対極、市販の二酸化チタン(P25)を陽極として用いて作製した色素増感太陽電池の電流—電圧測定結果である。照射条件はAM1.5 (100 mW/cm²) である。光電変換効率はPt (2.41 %)、MoS₂@NG (2.16 %)、Ni-Mo-S@NG (2.85 %)、Cu-Mo-S@NG (2.62 %)であり、Ni-Mo-S@NGとCu-Mo-S@NGは白金よりも高い変換効率を示すことがわかった。これは、高い電気伝導と電気化学特性が要因であった。

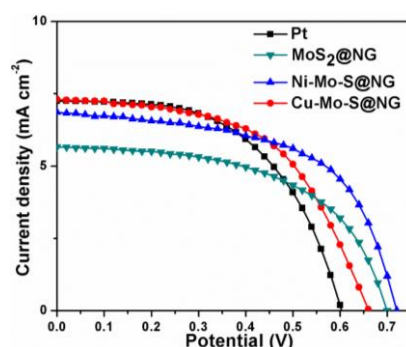


図8 色素増感太陽電池の電流—電圧測定結果

(3)炭素化合物添加二酸化チタンナノ結晶合成技術の開発と評価

図9に炭酸化合物添加メソポーラスTiO₂のTEM像を示す。平均直径400 nmの球状ナノ結晶が合成された。図10は陽極としてP25、無添加TiO₂、炭酸化合物添加メソポーラスTiO₂を陽極として用いて作製した色素増感太陽電池の電流—電圧測定結果である。色素としてN719、対極としてPt-FTOを用いた。炭酸化合物添加メソポーラスTiO₂の光電変換効率は5.4 %であり、P25 (2.4 %)、無添加TiO₂ (3.4 %)よりも高い値が得られた。これは、520-560 nm波長領域の光吸収が高くなったことや抵抗が小さくなったこと(電気化学測定結果)が要因であった。

以上、還元酸化グラフェン上の硫化ニッケル単相ナノ結晶は高い触媒効果を有した。また、窒素添加グラフェン膜上に成長させたNi-Mo-SやCu-Mo-Sナノ結晶は白金と同程度の高い光電変換効率を示しており、白金の代替材料として有望であることが示された。さらに、炭酸化合物添加メソポーラスTiO₂は市販のP25よりも高い光電変換効率を示すことが明らかとなった。これらの成果は新規白金代替電極の開発と光電変換効率の向上に繋がる成果である。

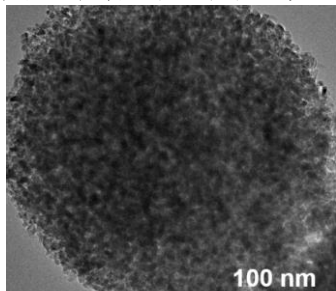


図9 炭酸化合物添加メソポーラスTiO₂のTEM像

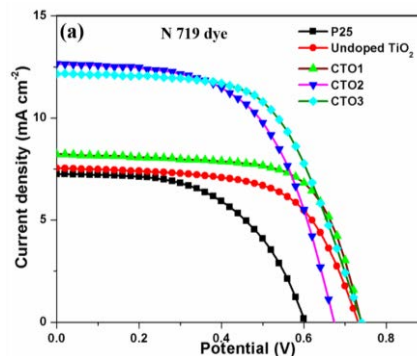


図10 色素増感太陽電池特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 23 件) すべて査読有

- ① R.Sankar Ganesh, K.Silambarasan, E.Durgadevi, M.Navaneethan, S.Ponnusamy, C.Y.Kong, C.Muthamizhchelvan, Y.Shimura and **Y.Hayakawa**, Metal sulfide nanosheet–nitrogen-doped graphene hybrids as low-cost counter electrodes for dye-sensitized solar cells, *Applied Surface Science*, vol.480, pp. 177-185 (2019). DOI:10.1016/j.apsusc.2019.02.251
- ② S.Prabakaran, K.D.Nisha, S.Harish, J.Archana, M.Navaneethan, S.Ponnusamy, C.Muthamizhchelvan and **Y.Hayakawa**, Effect of Al doping on the electrical and optical properties of TiO₂ embedded graphene oxide nanosheets for opto-electronic applications, *Applied Surface Science*, vol.449, pp. 332-329 (2018). DOI:10.1016/j.apsusc.2018.02.101
- ③ S.Harish, N.Naveen, R.Abinaya; J.Archana, R.Ramesh, M.Navaneethan, **M.Shimomura** and **Y.Hayakawa**, Enhanced performance on capacity retention of hierarchical NiS hexagonal nanoplate for highly stable asymmetric supercapacitor, *Electrochimica Acta*, vol.283, pp.1053-1062 (2018). DOI:10.1016/j.electacta.2018.06.161
- ④ R.Abinaya, J.Archana, S.Harish, M.Navaneethan, S.Harish, S.Ponnusamy, C.Muthamizhchelvan, **M.Shimomura** and **Y.Hayakawa**, Ultrathin layered MoS₂ nanosheets with rich active sites for enhanced visible light photocatalytic activity, *RSC Advances*, vol.8, pp.26664-26675 (2018). DOI:10.1039/c8ra02560f
- ⑤ Kamaljeet Singh, S.Harish, A.Periyanyaga Kristy, V.Shivani, J.Archana, M.Navaneethana, **M.Shimomura** and **Y.Hayakawa**, Erbium doped TiO₂ interconnected mesoporous spheres as an efficient visible light catalyst for photocatalytic applications, *Applied Surface Science* vol.449, pp.755-763 (2018). DOI:10.1016/j.apsusc.2018.01.279
- ⑥ J.Archana, S.Harish, S.Kavirajan, M.Navaneethan, S.Ponnusamy, **M.Shimomura**, C.Muthamizhchelvan, H.Ikeda and **Y.Hayakawa**, Ultra-fast photocatalytic and dye-sensitized solar cell performances of mesoporous TiO₂ nanospheres, *Applied Surface Science*, vol.449, pp.729-735 (2018). DOI:10.1016/j.apsusc.2018.01.105
- ⑦ R.Sankar Ganesh, M.Navaneethan, S.Ponnusamy, C.Muthamizhchelvan, S.Kawasaki, Y.Shimura and **Y.Hayakawa**, Enhanced photon collection of high surface area carbonate-doped mesoporous TiO₂ nanospheres for dye sensitized solar cells applications, *Materials Research Bulletin*, vol.101, pp.353-362 (2018). DOI:10.1016/j.materresbull.2018.01.018
- ⑧ R.Vinoth, S.Ganesh Babu, V.Bharti, S.Venkataprasad Bhat, C.Muthamizhchelvan, P.C.Ramamurthy, V.Gupta, C.Sharma, D.K.Aswal, M.Navaneethan, **Y.Hayakawa** and B.Neppolian, Ruthenium based metallopolymer grafted reduced graphene oxide as a new hybrid solar light harvester in polymer solar cells, *Scientific Reports*, 7:43133, pp.1-13 (2017). DOI:10.1038/srep43133
- ⑨ M.Tarini, N.Prakash, I.K. Mohammed Mathar Sahib and **Y.Hayakawa**, Novel sugar apple-shaped SnO₂ microspheres with light scattering effect in dye sensitized solar cell Application, *IEEE-Journal of Photovoltaics*, vol.7 [4], pp.1050-1057 (2017). DOI: 10.1109/JPHOTOV.2017.2698500
- ⑩ S.Harish, J.Archana, M.Navaneethan, S.Ponnusamy, Ajay Singh, Vinay Gupta, D.K. Aswal, H.Ikeda and **Y.Hayakawa**, Synergetic effect of CuS@ZnS nanostructures on photocatalytic degradation of organic pollutant under visible light irradiation, *RSC Advances*, vol.7, pp.34366-34375 (2017). DOI:10.1039/c7ta04250g
- ⑪ M.Navaneethan, S.Nithiananth, R.Abinaya, S.Harish, J.Archana, L.Sudha, S.Ponnusamy, C.Muthamizhchelvan, H.Ikeda and **Y.Hayakawa**, Hydrothermal growth of highly monodispersed TiO₂ nanoparticles: Functional properties and dye-sensitized solar cell performance, *Applied Surface Science*, vol.418, pp.186-193 (2017). DOI:10.1016/j.apsusc.2016.12.019
- ⑫ S.Harish, J.Archana, M.Sabarinathan, M.Navaneethan, K.D.Nisha, S.Ponnusamy, C.Muthamizhchelvan, H.Ikeda, D.K.Aswal and **Y.Hayakawa**, Controlled structural and compositional characteristic of visible light active ZnO/CuO photocatalyst for the degradation of organic pollutant, *Applied Surface Science*, vol.418, pp.103-112 (2017). DOI:10.1016/j.apsusc.2016.12.082
- ⑬ S.Harish, M.Sabarinathan, A.Periyanyaga Kristy, J.Archana, M.Navaneethan, H.Ikeda and **Y.Hayakawa**, ZnS quantum dots impregnated-mesoporous TiO₂ nanospheres for enhanced visible light induced photocatalytic application, *RSC Advances*, vol.7, pp.26446-26457 (2017). DOI:10.1039/c7ra03061d
- ⑭ M.Sabarinathan, S.Harish, J.Archana, M.Navaneethan, H.Ikeda and **Y.Hayakawa**, Highly efficient visible light photocatalytic activity of MoS₂-TiO₂ mixtures hybrid photocatalyst and functional properties, *RSC Advances*, vol.7, pp.24754-24763 (2017). DOI:10.1039/c7ra03633g
- ⑮ R.Karthikeyan, D.Thangaraju, N.Prakash, M.Arivanandhan and **Y.Hayakawa**, In situ growth of phase-

controlled nickel sulfide nanostructures on reduced graphene oxide nanosheets : A Improved cost-effective catalyst for 4-nitrophenol reduction, Chemistryselect, vol.2, pp.2187-2196 (2017).

DOI:10.1002/slct.201601519

⑬M.Sabarinathan, S.Harish, M.Navaneethan, J.Archana, H.Ikeda and **Y.Hayakawa**, Controlled exfoliation of monodispersed MoS₂ layered nanostructures by ligand-assisted hydrothermal approach for the realization of ultrafast degradation of organic pollutant, RSC Advances vol.6, pp.109495-109505 (2016). DOI: 10.1039/C6RA24355J

⑭ N.Prakash, D.Thangaraju, R.Karthikeyan, M.Arivanandhan, Y.Shimura and **Y.Hayakawa**, UV-visible and near-infrared active NaGdF₄: Yb: Er/Ag/TiO₂ nanocomposite for enhanced photocatalytic application, RSC Advances, vol.6, pp.80655-80665 (2016). DOI: 10.1039/c6ra10208e

⑮J.Archana, S.Harish, M.Sabarinathan, M.Navaneethan, S.Ponnusamy, C.Muthamizhchelvan, **M.Shimomura**, H.Ikeda, D.K.Aswal and **Y.Hayakawa**, Highly efficient dye-sensitized solar cell performance from template derived high surface area mesoporous TiO₂ nanospheres, RSC Advances, vol. 6, pp.68092-68099 (2016). DOI:10.1039/c6ra14976f

他 5 件

〔学会発表〕 (計 54 件)

①S.Prabakaran, K.D.Nisha, S.Harish, S.Nithiananth, M.Navaneethan, S.Ponnusamy and **Y.Hayakawa**, Impact of multi metal oxide as electron transport layer for solar cell application, International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN 2019), CP1257, (January 28th – 30th 2019, SRMIST University, Kancheepuram, India) (2019.1).

②S.Nithiananth, S.Harish, J.Archana, M.Navaneethan, **M.Shimomura** and **Y.Hayakawa**, Synthesis of one dimensional growth of well aligned rutile TiO₂ nanorod as photoanode in dye-sensitized solar cell applications, International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN 2019), CP809 (January 28th – 30th 2019, SRMIST University, Kancheepuram, India) (2019.1).

③S.Nithiananth, J.Archana, S.Harish, M.Navaneethan, C.Muthamizhchelvan, **M.Shimomura** and **Y.Hayakawa**, Elemental substitution in CuInSe₂ (In= Co, Fe, Ni, Zn) for efficient counter electrode for dye-sensitized solar cells (DSSCs) application, International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN 2019), CP808, (January 28th – 30th 2019, SRMIST University, Kancheepuram, India) (2019.1).

④R.Abinaya, J.Archana, S.Harish, M.Omprakash, M.Navaneethan, C.Muthamizhchelvan, **M.Shimomura** and **Y.Hayakawa**, Highly enhanced thermoelectric power factor of MoS₂ by MoO₂ metallic inclusion, International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN 2019), CP802, (January 28th – 30th 2019, SRMIST University, Kancheepuram, India) (2019.1).

⑤K.Silambarasan, J.Archana, S.Harish, M.Navaneethan, S.Ponnusamy, C.Muthamizhchelvan, K.Hara and **Y.Hayakawa**, NiO@NiS nanocomposites-embedded on graphene as counter electrode for dye sensitized solar cell, International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN 2019), CP799, (January 28th – 30th 2019, SRMIST University, Kancheepuram, India) (2019.1).

他 49 件

〔その他〕

ホームページ等 : <http://maruhan.rie.shizuoka.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名 : 下村 勝

ローマ字氏名 : SHIMOMURA MASARU

所属研究機関名 : 静岡大学

部局名 : 工学研究科

職名 : 教授

研究者番号 : 20292279

(2) 研究協力者 なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、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。