

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2014

課題番号：23360360

研究課題名(和文) 可視光応答型光触媒のキャリア制御

研究課題名(英文) Behavior of photogenerated charge carriers on visible-light responsive photocatalysts

研究代表者

山方 啓 (YAMAKATA, AKIRA)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60321915

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：光触媒の反応活性は光励起キャリアーの再結合速度と反応分子への電荷移動速度の比で決まる。したがって、活性を向上させるためにはこれらの挙動を理解し制御する必要がある。本研究では時間分解可視近赤外中赤外分光装置を用いて自由電子や正孔、欠陥に捕捉された電子のエネルギー状態を個別に調べる方法を確立した。そして、SrTiO₃の粉末の場合、単結晶に比べて大部分の電子は欠陥に捕捉されるが、再結合速度が遅く光触媒活性の向上に役立つ場合があることが分かった。また、SrTiO₃にNiなどの遷移金属をドーピングすると再結合速度は遅くなるが、電子の反応活性が低下するために定常反応活性が低下することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Photocatalytic activity is determined by the competition between the charge carrier recombination and charge transfer to the reactants molecules. Therefore, in order to improve the photocatalytic activity, the behavior of photogenerated charge carriers should be elucidated and controlled. In this work, we established a new method to study the behavior of photogenerated electrons and holes as well as their energy states by using time-resolved visible to mid-IR absorption spectrometers. We found that most of photogenerated electrons in powder SrTiO₃ are trapped at the defects on powders, but the electron-trapping decelerates the recombination and works to enhance photocatalytic activities. Furthermore, when SrTiO₃ powders are doped with transition metals such as Ni, the lifetime of charge carriers is much elongated, although it has been widely believed that the doping accelerated the recombination. These information is necessary to develop more efficient photocatalysts.

研究分野：表面分光学

キーワード：光触媒 キャリアーダイナミクス 再結合 電荷移動 水分解 時間分解分光

1. 研究開始当初の背景

エネルギー問題や環境問題を解決する方法として太陽光を用いて水を水素に分解する光触媒が注目されている。酸化チタンをはじめとする従来の酸化物光触媒は紫外光にしか応答しなかったが、これに窒素や硫黄、炭素、金属イオンをドーピングすると可視光応答性を持つことが実証されて以降、可視光型光触媒の開発が急速に進んでいる。しかし、まだ活性が低いのが問題である。現在の最高活性は GaN:ZnO を用いて 410 nm、5.2% が達成されているが、実用化の目安となる 600 nm、30% の量子効率にはまだまだ足りない。一方、従来の紫外光型光触媒の中には NaTaO₃ のように 270 nm で 50% 以上の量子効率で水を分解できる触媒が開発されている。しかし、これらの材料に前述したドーピング法で可視光吸収を持たせても可視光領域の活性は向上しない。むしろ、紫外光領域の活性も低下してしまう。これらの活性低下の原因は、ドーピングした異原子が光励起キャリアの再結合中心になるため光励起キャリアの寿命が短くなることと、バンドギャップを狭くすると伝導帯や価電子帯のエネルギー準位が下がるため、水素や酸素発生に必要な過電圧が小さくなるためである。したがって、可視光型光触媒の活性を上げるには、光励起キャリアの再結合過程や、これらのエネルギー状態を理解し、制御することが必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、光触媒に光を照射して生成する光励起キャリアを直接観察し、吸着分子への電荷移動過程と引き続いて起こる分子の構造変化を実時間観察することで、光触媒反応のメカニズムを理解し、より活性の高い光触媒の実現に貢献することである。

光触媒反応は、半導体のバンドギャップを光励起して生成した光励起電子や正孔がそれぞれ還元反応と酸化反応を引き起こして進行する。したがって、生成した光励起キャリアが再結合失活を逃れて吸着分子へ電荷移動し、電荷移動を受けて励起された分子が実際に反応する過程と反応できずに緩和していく過程が、反応の量子効率と反応選択性を決めている。このような光励起キャリアの挙動や反応中間体の挙動は、光触媒の組成や表面構造、助触媒の担持によって変化する。したがって、このような触媒の組成や構造の違いによって光励起キャリアと励起分子の動的挙動がどのような影響を受けるのか、ということを明らかにすることが重要である。

3. 研究の方法

光励起キャリアの動きやエネルギー状態は、可視から中赤外領域の過渡吸収測定をフェムト秒から秒の時間領域で行うことで調べた。バンドギャップを励起して生成した正孔やトラップ電子は図 1 に示すように可視から近赤外領域に吸収を与える。一方、伝導帯に

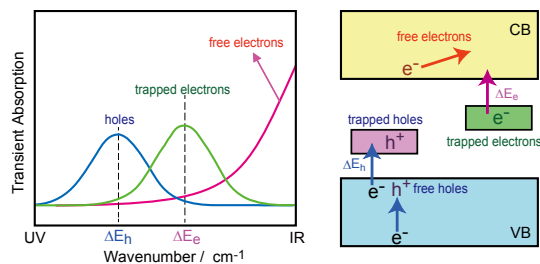


図 1. 光触媒のバンドギャップを光励起して生成する自由電子やトラップ電子、正孔の典型的な過渡吸収スペクトル。可視から中赤外域の分光測定を行うことでこれらの光励起キャリアの動きやエネルギー状態を明らかにすることができる。

励起された自由電子や伝導帯のすぐ下に形成された浅い欠陥にトラップされた電子は、中赤外域に構造の無い吸収を与える。したがって、可視から中赤外域の時間分解測定を同時に行うことでこれらの光励起キャリアの挙動を詳しく調べることができる。実験は自作の時間分解分光装置を用いて行った。

4. 研究成果

(1) 単結晶と粉末の光触媒材料における光励起キャリアのエネルギー状態と反応活性。

ここではまず、光触媒材料の粉末と単結晶における光励起キャリアの動きを比較した。粉末はバルクの単結晶より欠陥や不純物が多いため、これらがトラップとして働き、光励起キャリアの再結合寿命が短くなり、反応活性も低下すると考えられている。しかし、光触媒には一般に粉末が用いられる。そこで、この矛盾を解明するために単結晶と粉末の SrTiO₃ の光励起キャリアの挙動を調べ、欠陥が光触媒作用にどのような影響を与えるのかを調べた。

市販の SrTiO₃ 単結晶のバンドギャップを励起して過渡吸収スペクトルを測定した。その結果を図 2 に示すが、25000~2500 cm⁻¹ において、自由電子あるいは浅いトラップ電子特有の右肩上がりの単調な過渡吸収が観測された。しかし、再結合速度が速く、装置の時間分解能 (50 ns) 以内に消滅することが分かった。一方、粉末の場合には結果を図 3 に示すが、20000 と 11000 cm⁻¹ 付近にトラップキャリア特有のピークが現れ、大部分のキャリアは欠陥にトラップされることが分かった。

次に、光励起キャリアの反応活性を調べた。単結晶の場合、気相に酸素やメタノールを導入しても吸収強度に変化が無い。これは、単結晶の場合、キャリアの寿命が短い上、表面積も小さいため、分子と反応する機会に乏しいためと考えられる。一方、粉末の場合、キャリアはトラップされるにもかかわらず、酸素やメタノールと反応することが分かった。表面の欠陥サイトはキャリアをトラップし、少なからず反応活性を低下させるはずである。しかし、そのトラップの深さによっては光励起キャリアの寿命を延ばす効果があり、定常反応活性はむしろ向上する場合があること

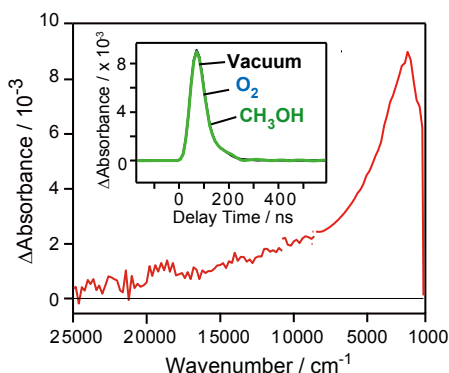


図2 SrTiO₃の単結晶(100面)に紫外光レーザーパルスを照射して測定した過渡吸収スペクトル。

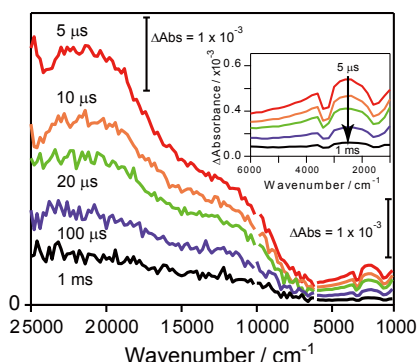


図3 SrTiO₃の粉末に紫外光レーザーパルスを照射して測定した過渡吸収スペクトル。

を明らかにした。

(2) ドーピングによる光励起電子の長寿命化。

SrTiO₃に遷移金属をドーピングして可視光応答型光触媒を調製する研究が活発に行われている。しかし、ドーピングにより、もともとの紫外光領域における活性が低下することが問題となっている。一般に光触媒に不純物をドーピングすると、これらが電子と正孔の再結合中心となるため光励起キャリアの寿命は短くなると考えられてきた。そこで本研究では、SrTiO₃に様々な遷移金属をドーピングして、光励起キャリアの再結合速度や反応分子への電荷移動速度がどのように変化するかを調べた。そして活性低下の原因を明らかにした。

本研究では、何もドーピングしない SrTiO₃ と様々な遷移金属をドーピングした SrTiO₃ を固相法で合成し、光励起電子の減衰過程を調べた。その結果、図4に示すように Ni²⁺や Ta⁵⁺を単独でドーピングすると、再結合速度は何もドーピングしない物に比べて速くなるが、Ni²⁺と Ta⁵⁺を共ドーピングすると、再結合速度はむしろ遅くなることが分かった。しかし、電子の寿命は長いにも関わらず、紫外光照射による定常反応活性はドーピングすることで低下する。そこで、この原因を明らかにするために光励起電子と正孔の反応活性を調べた。

図5に Ni/Ta-SrTiO₃に生成した光励起電子と正孔の反応活性を調べた結果を示す。その結果、気相にメタノールガスを導入すると、

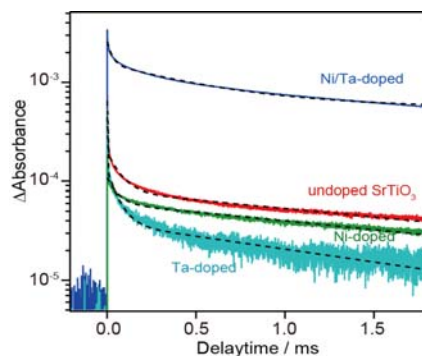


図4 NiやTaをドーピングした SrTiO₃に紫外光レーザーパルスを照射して生成した光励起電子の減衰過程

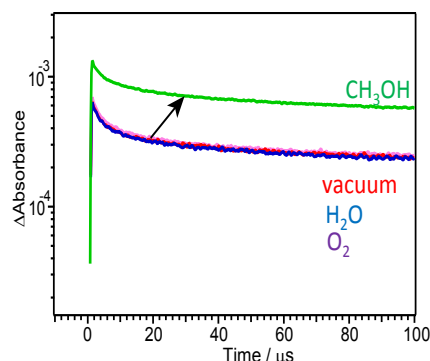


図5 Ni/Taをドーピングした SrTiO₃に生成した光励起電子と正孔の反応活性

電子の減衰速度が真空中よりも遅くなった。この結果は、生成した正孔はメタノールと反応して消費されることを意味している。一方、気相に酸素や水蒸気を導入しても電子の減衰速度は変化しない。これは、Ni/Ta-SrTiO₃に生成した光励起電子は酸素や水蒸気と反応しないことを意味している。すなわち、SrTiO₃に遷移金属をドーピングすると、光励起キャリアの寿命はドーピングする前よりも延びるが、電子の反応活性が低下するために定常反応活性が低下することが分かった。つまり、電子の反応活性を向上させることができれば、定常反応活性は向上させることができることが分かった。

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 28 件)

- ① Y. Sakata, Y. Miyoshi, T. Maeda, K. Ishikiriyama, Y. Yamazaki, H. Imamura, Y. Ham, T. Hisatomi, J. Kubota, A. Yamakata, K. Domen, Photocatalytic property of metal ion added SrTiO₃ to Overall H₂O splitting, Applied Catalysis A: General, 査読有, 521, 227-232 (2016)
DOI: 10.1016/j.apcata.2015.12.013
- ② J. J. M. Vequzo, M. Yokoyama, M. Ichimura, A. Yamakata, Enhancement of

- Photoelectrochemical Activity of SnS Photoelectrodes using TiO₂, Nb₂O₅, and Ta₂O₅ Metal Oxide Layers, *Appl. Phys. Express*, 査読有, 9, 067101 (2016)
<http://doi.org/10.7567/APEX.9.067101>
- ③ 山方 啓, 酸化チタン光触媒のキャリアーダイナミクス—粉末におけるアナターゼとルチルの特異的な挙動—, *光化学*, 査読有, 47 卷 1 号, 25-32 (2016)
http://photochemistry.jp/journal_j/doc_journal_j/vol47_1J.pdf
- ④ R. Kuriki, H. Matsunaga, T. Nakashima, K. Wada, A. Yamakata, O. Ishitani, K. Maeda, Nature-Inspired, Highly Durable CO₂ Reduction System Consisting of a Binuclear Ruthenium(II) Complex and an Organic Semiconductor Using Visible Light, *J. Am. Chem. Soc.*, 査読有, 138, 5159-5170 (2016)
DOI: 10.1021/jacs.6b01997
- ⑤ A. Yamakata, M. Kawaguchi, R. Murachi, M. Okawa, I. Kamiya, Dynamics of Photogenerated Charge Carriers on Ni- and Ta-Doped SrTiO₃ Photocatalysts Studied by Time-Resolved Absorption and Emission Spectroscopy, *J. Phys. Chem. C*, 査読有, 120, 7997-8004 (2016)
DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b01494
- ⑥ M. Hojamberdiev, H. Wagata, K. Yubuta, K. Kawashima, J. J. M. Vequizo, A. Yamakata, S. Oishi, K. Domen, K. Teshima, KCl flux-induced growth of isometric crystals of cadmium-containing early transition-metal (Ti⁴⁺, Nb⁵⁺, and Ta⁵⁺) oxides and nitridability to form their (oxy)nitride derivatives under an NH₃ atmosphere for water splitting application, *Applied Catalysis B: Environmental*, 査読有, 182, 626-635 (2016)
DOI: 10.1016/j.apcatb.2015.10.002
- ⑦ Y. Ham, T. Hisatomi, Y. Goto, Y. Moriya, Y. Sakata, A. Yamakata, J. Kubota, K. Domen, Flux-mediated doping of SrTiO₃ photocatalysts for efficient overall water splitting, *J. Mater. Chem. A*, 査読有, 4, 3027-3033 (2016)
DOI: 10.1039/C5TA04843E
- ⑧ A. Yamakata, H. Yeilin, M. Kawaguchi, T. Hisatomi, J. Kubota, Y. Sakata, K. Domen, Morphology-sensitive Trapping States of Photogenerated Charge Carriers on SrTiO₃ Particles Studied by Time-resolved Visible to Mid-IR Absorption Spectroscopy: The Effects of Molten Salt Flux Treatments, *J. Photochem. Photobiol. A-Chem.*, 査読有, 313, 168-175 (2015)
DOI: 10.1016/j.jphotochem.2015.05.016
- ⑨ A. Yamakata, J. J. M. Vequizo, H. Matsunaga, Distinctive Behavior of Photogenerated Electrons and Holes in Anatase and Rutile TiO₂ Powders, *J. Phys. Chem. C*, 査読有, 119, 24538-24545 (2015)
DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b09236
- ⑩ M. Hojamberdiev, K. Yubuta, J. J. M. Vequizo, A. Yamakata, S. Oishi, K. Domen, K. Teshima, NH₃-Assisted Flux Growth of Cube-like BaTaO₂N Submicron Crystals in a Completely Ionized Nonaqueous High-Temperature Solution and Their Water Splitting Activity, *Cryst. Growth Des.*, 査読有, 15, 4663-4671 (2015)
DOI: 10.1021/acs.cgd.5b00927
- ⑪ A. Yamakata, H. Shimizu, S. Oiki, Surface-Enhanced IR Absorption Spectroscopy of the KcsA Potassium Channel upon Application of an Electric Field, *Phys. Chem. Chem. Phys. (Perspective)*, 査読有, 17, 21104-21111 (2015)
DOI: 10.1039/c5cp02681d
- ⑫ K. Kawashima, M. Hojamberdiev, H. Wagata, K. Yubuta, J. J. M. Vequizo, A. Yamakata, S. Oishi, K. Domen, K. Teshima, NH₃-Assisted Flux-Mediated Direct Growth of LaTiO₂N Crystallites for Visible-Light-Induced Water Splitting, *J. Phys. Chem. C*, 査読有, 119, 15896-15904 (2015)
DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b03718
- ⑬ 山方 啓, 久保田 純, 堂免 一成, 時間分解可視中赤外分光法を用いた光励起キャリアーの反応活性評価, *触媒*, 査読無, 57 (B), 52 (2015)
<http://www.shokubai.org/jnl/cgi-bin/ccotw.cgi>
- ⑭ A. Yamakata, J. J. M. Vequizo, M. Kawaguchi, Behavior and Energy State of Photogenerated Charge Carriers in Single-Crystalline and Polycrystalline Powder SrTiO₃ Studied by Time-Resolved Absorption Spectroscopy in the Visible to Mid-Infrared Region, *J. Phys. Chem. C*, 査読有, 119, 1880-1885 (2015)
DOI: 10.1021/jp510647b
- ⑮ A. Yamakata, M. Kawaguchi, N. Nishimura, T. Minegishi, J. Kubota, K. Domen, Behavior and Energy States of Photogenerated Charge Carriers on Pt- or CoO_x-Loaded LaTiO₂N Photocatalysts: Time-Resolved Visible to Mid-Infrared Absorption Study, *J. Phys. Chem. C*, 査読有, 118, 23897-23906 (2014)
DOI: 10.1021/jp508233z
- ⑯ 山方 啓, 大澤 雅俊, 森田 明弘, 電極界面におけるイオンの水和殻崩壊過程の時間分解赤外分光観察, *Electrochemistry (電気化学および工業物理化学)*, 査読有, 82 卷 9 号, 771-776 (2014)
<http://dx.doi.org/10.5796/electrochemistry.82.771>
- ⑰ K. Ikeda, A. Yamakata, K. Demizu, N. Kojima, Y. Ohshita, M. Yamaguchi, Properties of N-H Local Vibration Modes in GaAsN Grown by Chemical Beam Epitaxy, 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 査読無, 1821-1824 (2014)
DOI: 10.1109/PVSC.2014.6925276

- ⑱ 天野 史章, 山方 啓, 時間分解赤外分光測定で調べた光励起キャリアーの挙動と種々の光触媒の定常反応活性, 触媒, 査読有, 56 巻 2 号, 88-94 (2014)
<http://www.shokubai.org/jnl/cgi-bin/ccotw.cgi>
- ⑲ A. Yamakata, E. Soeta, T. Ishiyama, M. Osawa, A. Morita, Real-Time Observation of the Destruction of Hydration Shells under Electrochemical Force, J. Am. Chem. Soc., 査読有, 135, 15033-15039 (2013)
DOI: 10.1021/ja408326d
- ⑳ F. Amano, E. Ishinaga, A. Yamakata, Effect of Particle Size on the Photocatalytic Activity of WO₃ Particles for Water Oxidation, J. Phys. Chem. C, 査読有, 117, 22584-22590 (2013)
DOI: 10.1021/jp408446u
- ㉑ F. Amano, M. Nakata, K. Asami, A. Yamakata, Photocatalytic activity of titania particles calcined at high temperature: Investigating deactivation, Chem. Phys. Lett., 査読有, 579, 111-113 (2013)
DOI: 10.1016/j.cplett.2013.06.038
- ㉒ W. Lü, Y. Yang, A. Yamakata, I. Kamiya, Electronically cross-linked PbS quantum dot networks using polymers as surface ligands, Nano, 査読有, 08, 1350013 (2013)
DOI: 10.1142/S1793292013500136
- ㉓ A. Yamakata, H. Shimizu, M. Osawa, S. Oiki, Structural changes of the KcsA potassium channel upon application of the electrode potential studied by surface-enhanced IR absorption spectroscopy, Chemical Physics, 査読有, 419, 224-228 (2013)
DOI: 10.1016/j.chemphys.2013.02.035
- ㉔ F. Zhang, A. Yamakata, K. Maeda, Y. Moriya, T. Takata, J. Kubota, K. Teshima, S. Oishi, K. Domen, Cobalt-Modified Porous Single-Crystalline LaTiO₂N for Highly Efficient Water Oxidation under Visible Light, J. Am. Chem. Soc., 査読有, 134, 8348-8351 (2012)
DOI: 10.1021/ja301726c
- ㉕ X. Lu, A. Bandara, M. Katayama, A. Yamakata, J. Kubota, K. Domen, Infrared Spectroscopic Study of the Potential Change at Cocatalyst Particles on Oxynitride Photocatalysts for Water Splitting by Visible Light Irradiation, J. Phys. Chem. C, 査読有, 115, 23902-23907 (2011)
DOI: 10.1021/jp207484q
- ㉖ F. Amano, A. Yamakata, K. Nogami, M. Osawa, B. Ohtani, Effect of Photoexcited Electron Dynamics on Photocatalytic Efficiency of Bismuth Tungstate, J. Phys. Chem. C, 査読有, 115, 16598-16605 (2011)
DOI: 10.1021/jp2051257
- ㉗ A. Yamakata, M. Yoshida, J. Kubota, M. Osawa, K. Domen, Potential-Dependent Recombination Kinetics of Photogenerated Electrons in n- and p-Type GaN Photoelectrodes Studied by Time-Resolved IR Absorption Spectroscopy, J. Am. Chem. Soc., 査読有, 133, 11351-11357 (2011)
DOI: 10.1021/ja203639q
- ㉘ 山方 啓, 半導体量子構造と光エネルギー変換の最前線, 触媒, 査読有, 53 巻 3 号,, 201 (2011)
<http://www.shokubai.org/jnl/cgi-bin/ccotw.cgi>
- [学会発表] (計 92 件)
- ① A. Yamakata, Behaviors of Photogenerated Charge Carriers in Single-Crystalline and Polycrystalline Powder SrTiO₃, 2015 EMN Meeting on Photocatalysis (Energy Materials Nanotechnology), 2015/11/23, Las Vegas, USA (招待講演)
- ② 山方 啓, 時間分解分光測定を利用した光触媒の開発, 第 32 回無機材料に関する最近の研究発表会, 2015 年 1 月 26 日, 住友会館, 東京都港区 (招待講演)
- ③ 山方 啓, 時間分解赤外分光法を用いた光触媒反応ダイナミクス, 平成 26 年度日本分光学会中部支部講演会, 2014 年 12 月 24 日, 分子科学研究所明大寺キャンパス, 愛知県岡崎市 (招待講演)
- ④ A. Yamakata, Behavior of Photogenerated Charge Carriers on Transition Metal Doped Visible-light Responsive SrTiO₃ Photocatalysts, Vietnam Malaysia International Chemical Congress (VMICC), 2014/11/7, Hanoi, Vietnam (招待講演)
- ⑤ 山方 啓, 光励起キャリアーの動きを制御した光触媒の開発, 日本表面科学会中部支部研究会, 2014 年 10 月 31 日, 山梨大学甲府キャンパス, 山梨県甲府市 (招待講演)
- ⑥ A. Yamakata, Charge Carrier Dynamics on Visible-Light Responsive Water-Splitting Photocatalysts, 16th Samahang Pisika ng Visayas at Mindanao (SPVM) National Physics Conference, 2014 International Conference on Applied Physics and Materials Science (ICAMS2014), 2014/10/24, Cagayan de Oro City, Philippines (招待講演)
- ⑦ A. Yamakata, Behavior of Photogenerated Charge Carriers in the Visible Light Responsive Water Splitting LaTiO₂N Photocatalysts Studied by Time-Resolved Visible to mid-IR Absorption Spectroscopy, UK-Japan Solar Driven Fuel Synthesis Workshop: Materials, Understanding and Reactor Design, 2014/9/18, British Embassy, Tokyo, Japan (招待講演)
- ⑧ A. Yamakata, M. Kawaguchi, J. Kubota, K. Domen, Electron and Hole Transfer from Photocatalyst to Cocatalysts Studied by Time-resolved Absorption Spectroscopy, International Peradeniya University Research Sessions (iPURSE), 2014/7/4, Kandy, Sri Lanka (招待講演)
- ⑨ A. Yamakata, M. Kawaguchi, J. Kubota, K.

- Domen, Behavior of Photogenerated Charge Carriers in Water Splitting Photocatalysts Studied by Timeresolved Absorption Spectroscopy, EMN Spring Meeting (Energy Materials Nanotechnology) 2014, 2014/3/1, Las Vegas, USA (招待講演)
- ⑩ 山方 啓, 可視から赤外域の過渡吸収測定による光触媒反応の機構解明, 学術講演会 (神戸大学), 2014年1月30日, 神戸大学, 兵庫県神戸市 (招待講演)
- ⑪ A. Yamakata, Real-time observation of destruction of hydration shells around several cations at electrochemical interface, Seventh International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy (ICAVS-7), 2013/8/29, Kobe Convention Center, Hyogo, Japan (招待講演)
- ⑫ A. Yamakata, Real-time observation of destruction processes of hydrophobic hydration shells at the electrified hydrophobic interface, The 15th Asian Chemical Congress (15ACC), 2013/8/22, Resorts World Sentosa, Singapore (招待講演)
- ⑬ 山方 啓, 光触媒を利用した化学反応, 名工大オープンキャンパス 4 大学合同アフタヌーンセミナー, 2013年6月15日, 名古屋工業大学, 愛知県名古屋市 (招待講演)
- ⑭ 山方 啓, 光触媒反応の時間分解赤外分光観察, 第43回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2012年11月10日, 名古屋工業大学, 愛知県名古屋市 (招待講演)
- ⑮ A. Yamakata, M. Yoshida, J. Kubota, M. Osawa K. Domen, Time-resolved IR absorption study on water-splitting photoelectrodes, Cambodian Malaysian Chemical Conference (CMCC) 2012, 2012/10/19, Siem Reap, Cambodia (招待講演)
- ⑯ A. Yamakata, M. Yoshida, J. Kubota, M. Osawa K. Domen, Dynamics of photogenerated electrons in GaN photoelectrochemical systems, 17th Malaysian Chemical Congress (17MCC), 2012/10/15, Kuala Lumpur, Malaysia (招待講演)
- ⑰ 山方 啓, 赤外分光法を用いた光触媒反応の解析, 第22回キャラクタリゼーション講習会 - 触媒および表面のキャラクタリゼーションの原理と事例-, 2012年10月12日, 大阪大学基礎工学研究科国際棟, 大阪府豊中市 (招待講演)
- ⑱ 山方 啓, 時間分解赤外分光法でみた光触媒のキャリアーダイナミクス, ISSPワークショップ「表面・界面における輸送と変換」, 2012年7月13日, 東京大学物性研究所, 千葉県柏市 (招待講演)
- ⑲ A. Yamakata, Development and Mechanism of Water Splitting Photocatalysts, Seminar at Department of Electrical Engineering, National Chung Hsing University, 2012/6/23, Taichung, (Taiwan) (招待講演)
- ⑳ A. Yamakata, Real-time Observation of Destruction of Hydration Shells at Electrified Interfaces, Workshop on Exploring the Structures and Dynamics of Water at Interfaces, 2012/6/22, Taipei, Taiwan (招待講演)
- ㉑ 山方 啓, 清水 啓史, 大澤 雅俊, 老木 成稔, 電極表面に固定したKcsAの構造変化, 第15回ミニ公開シンポジウム「イオンチャンネル研究の現状とこれからについて考える」, 2012年1月24日, 大阪大学会館会議室, 大阪府豊中市 (招待講演)
- ㉒ A. Yamakata, M. Osawa, Surface-enhanced IR study on the dynamics of hydration shells around several cations at the electrochemical interface, The 14th Asian Chemical Congress 2011, 2011/9/7, Bangkok, Thailand (招待講演)
- ㉓ A. Yamakata, M. Osawa, Time-resolved IR absorption study on the destruction processes of hydration shells at electrode surfaces, The 14th Asian Chemical Congress 2011 -Cambodia Satellite Meeting, 2011/9/4, Siem Reap, Cambodia (招待講演)
- [図書] (計3件)
- ① 山方 啓 (分担執筆), ㈱エヌ・ティー・エス, 第5章「光半導体による水分解の反応機構」, 光合成・人工光合成研究最前線～先端科学が繋げる Green Sustainable Technology～ (2016年7月下旬発刊予定)
- ② 山方 啓 (分担執筆), ㈱技術情報協会, 第8節「赤外分光法を用いた光触媒・光電極反応の解析」, 触媒の設計・反応制御 事例集 - 高活性、長寿命、低コスト化の実現 -, 761-769 (2013)
- ③ 山方 啓 (分担執筆), ㈱情報機構, 第6章第3節「光励起キャリアーの動きから見る水分解光触媒と水素貯蔵」, 人工光合成実用化に向けた最新技術～水素利用・有機物合成・エネルギー・CO₂還元～, 235-247 (2013)
- [その他]
- <http://www.toyota-ti.ac.jp/english/research/staff/mate/post-16.html>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
- 山方 啓 (YAMAKATA AKIRA)
- 豊田工業大学・大学院工学研究科・准教授
- 研究者番号: 60321915