

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 28 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289285

研究課題名(和文) 太陽光とメタンを用いた水素製造のための高品質微結晶光触媒の高度精密設計

研究課題名(英文) Design of highly active crystal photocatalysts for photocatalytic steam reforming of methane to produce hydrogen

研究代表者

吉田 寿雄 (Yoshida, Hisao)

京都大学・人間・環境学研究科(研究院)・教授

研究者番号：80273267

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：太陽光を用いて、常温でメタンと水から水素を取り出す光触媒反応(常温メタン水蒸気反応)のための高活性な光触媒の開発するために、高品質な結晶からなる光触媒の開発を試みた。結晶を得られやすい方法として知られる熔融塩法を採用し、チタン酸塩やタンタル酸塩の微結晶を合成し、助触媒として白金を添加して光触媒を調製し、光触媒の構造と光触媒活性との相関を検討した。その結果、従来の固相反応法によるものよりも高活性な光触媒を得ることに成功した。また、多結晶体を構成する最小単位の単結晶である結晶子が大きな方がより高活性であるという相関関係を見出し、今後の光触媒を設計するうえでの大きな指針を得ることに成功した。

研究成果の概要(英文)：In order to develop highly active photocatalysts for photocatalytic steam reforming of methane at low temperature, we examined to prepare some kinds of photocatalysts consisting of crystals such as titanates and tantalates. We employed a molten salt method, which is known as a good method to synthesize crystals, to prepare the photocatalysts with crystals and evaluate the photocatalytic activity and discuss the relationship between them. As a result, we successfully prepared photocatalysts having higher activity. In addition, we clarified a clear relationship between the crystallites size and the photocatalytic activity, which will widely contribute to the development of photocatalysis preparation in many reactions.

研究分野：触媒化学・光触媒化学

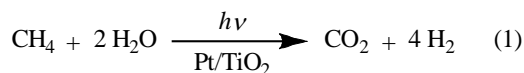
キーワード：光触媒 結晶 融剤法 フラックス メタン 水素 水

1. 研究開始当初の背景

持続可能な社会の実現のためには、再生可能な資源と自然エネルギーを有効利用することが重要である。現在最も注目を集めている太陽エネルギーは理想的なエネルギー源であるが、そのままでは蓄積できないデメリットがあるので、水素等の高エネルギーな化学物質に変換することが望ましい。水素は使用時に二酸化炭素を生成しない環境にやさしいクリーンエネルギーであり、太陽エネルギーを使って水素を製造するプロセスの開発が切望されるところである。

光エネルギーにより水を分解し水素を得る技術は、本多・藤島効果 (A. Fujishima and K. Honda, *Nature*, **238**, 1972, 37) の発見以来、太陽電池・光触媒等の分野において様々な角度から検討され続けている。この光触媒反応系内に有機物等の犠牲還元剤 (電子供与剤) を共存させるとこれらは消費されるものの水素生成が容易になることは古くから知られており、活性炭や炭化水素 (メタン以外)、アルコール、炭水化物など、様々な犠牲還元剤が報告されてきた (T. Kawai and T. Sakata, *Nature*, **282**, 1979, 283 など)。

我々は以前から、犠牲還元剤としてバイオガスの主成分であるメタンに着目した。メタンは最も安定な炭化水素であり、その化学的変換には通常では高温での触媒変換が必要であるが、光触媒反応は熱力学的平衡を超えて進行する可能性を秘めておりその応用が期待されている。我々は、白金添加酸化チタン光触媒に室温で光を照射しながらメタンと水蒸気を流通させると、式 1 の様に、メタンは水により二酸化炭素にまで完全酸化され、同時にメタン及び水に含まれる水素原子から継続的に水素分子が得られることを世界で初めて見出し、光触媒的メタン水蒸気改質反応 (Photocatalytic Steam Reforming of Methane, PSRM) と名付けた。(H. Yoshida, et al., *Chem. Lett.*, **36**, 2007, 430; *J. Phys. Chem.*, **112**, 2008, 5542, 特許公開 2005-230645)。



本反応は光照射下で触媒的に長時間継続して進行する。式 1 は熱力学的に困難な反応 ($\Delta G_{298K}^{\circ} = 113 \text{ kJ/mol}$) であり、すなわち光エネルギーを水素エネルギーに変換できることが特徴である。また、本反応ではメタンは消費されて二酸化炭素になるが、二酸化炭素は光合成により植物に取り込まれ、植物は成長しバイオマスとなり、バイオマスは嫌気性発酵によりメタンに変換可能であるので、メタンは再生可能な資源であると認識されている。したがって本反応は、大変に魅力的な反応である。

その後、白金添加ランタンドープタンタル酸ナトリウム光触媒 (Pt/NaTaO₃:La) がより高活性であることを見出し (K. Shimura, et

al., *J. Phys. Chem. C*, **114**, 2010, 3493), 一般に貴金属を助触媒として添加した半導体光触媒が有効であろうという光触媒設計の作業仮説を立てた。

この光触媒システムは、メタンの化学ポテンシャルを利用するため、水の光触媒的完全分解システムよりも高効率である。現状の反応装置でも、Pt/NaTaO₃:La 光触媒を用いて水素発生速度 6.6 ml/h, メタン転化率 0.6% を記録し、240-270nm の波長領域の光における量子収率は 30% と見積もられた。さらに、熱力学的平衡を超えて本反応が進行することを確認できたので、光触媒の最大の特徴を活かした反応系である。

本光触媒反応系は、現在研究されている光触媒システムと比較すれば十分優秀なグループに属するものの、まだまだ実用レベルには遠く、飛躍的な光触媒活性の向上が必要である。これまでに研究されてきた光触媒の多くが、酸化チタンなどの半導体微粒子であったことに着目すると、微粒子光触媒では粒子形状・構造が制御されておらず、表面の酸化・還元サイトが近接しているため、無駄な逆反応や電子・正孔の再結合が頻発し活性を下げていると予想された。

2. 研究の目的

そこで本研究では、表面が特定の結晶面で構成され酸化面・還元面を明白に区別できるような高品質な微結晶を合成し、それぞれに適した助触媒を添加した高度に構造制御された光触媒 (Fig. 1) を設計し高活性化を目指すこととした。

本稿では、上述の白金添加ランタンドープタンタル酸ナトリウム光触媒 (Pt/NaTaO₃:La) を、熔融塩法を用いて様々な条件で微結晶を調製し、その構造を解析し、光触媒活性との相関を整理し検討した結果を示す (A. Yamamoto, et al., *Appl. Catal. A*, DOI: 10.1016/j.apcata.2015.10.031). 熔融塩法 (もしくは、融剤法、フラックス法ともいう) は、しばしば単結晶の合成にも使われる方法であり、近年、光触媒の研究にも利用されるようになってきた方法である。

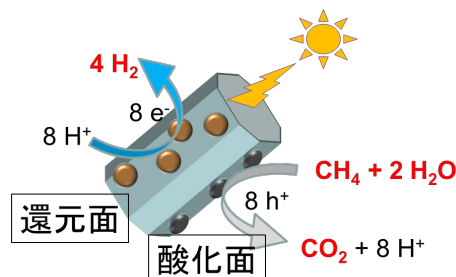


Fig. 1 Semiconductor crystal photocatalyst.

3. 実験方法

触媒の調製は、熔融塩法によって行った。

また比較のため、固相法を用いた試料も調製した。熔融塩として NaCl を用い、原料である Ta₂O₅, La₂O₃, Na₂CO₃ と共に Pt をつばに加え、任意の保持温度で熔融加熱を行った。Na₂CO₃ と Ta₂O₅ は、モル比で 1 : 1, La 添加率は 0–5 mol% とした。熔融塩の量は以下の式 2 に従い溶質濃度 x が 5–100 mol% となるように設定した。

$$x \text{ mol\%} = (\text{NaTaO}_3) / (\text{NaTaO}_3 + \text{NaCl}) \times 100 \quad (2)$$

助触媒の Pt は、塩化白金酸を前駆体とし、光析出法にて添加した。以降、試料名は、熔融塩加熱の際の溶質濃度 (x mol%), 保持温度 (T K), La 添加率 (y mol%) と、Pt 添加

率 (z mol%) を用いて Pt(z)/NaTaO₃:La(x, T, y) と表記する。調製した触媒のキャラクタリゼーションは、XRD (X 線回折法), 窒素吸着測定, UV-Vis DRS (拡散反射紫外可視分光法), XRF (X 線蛍光分析法), SEM (走査型電子顕微鏡) により行った。

光触媒反応には、固定床流通型反応装置を用いた。石英セル (50 mm × 20 mm × 1 mm) に触媒 0.5 g と石英砂 1.2 g を加え、反応ガス (25%CH₄, 0.75%H₂O, Ar balance) を流速 50 mL min⁻¹ で流通させた。光照射は 300 W Xe ランプを用いて行い、光量は 14 mW cm⁻² (245 ± 10 nm で測定) とした。生成物の同定・定量は、TCD-GC により行った。

Table 1. Physical and optical properties of the NaTaO₃:La samples prepared by the flux method and the photocatalytic activity.

Entry	T^a / K	Solute conc., x^b (mol%)	La doping, y (mol%)		d (XRD) ^e / nm	D (SEM) ^f / nm	S_{BET}^g / m ² g ⁻¹	BG ^h / eV	Pt loading, z (wt%)	r^i / μmol min ⁻¹
			added ^c	XRF ^d						
1	1073	70	1	–	– ^j	–	–	–	0.2	0.12
2	1173	70	1	–	72	–	4.7	–	0.2	1.2
3	1273	70	1	–	69	–	3.5	–	0.2	1.4
4	1323	70	1	–	80	–	3.5	–	0.2	1.2
5	1373	70	1	–	77	–	2.0	–	0.2	1.3
6	1473	70	1	–	76	–	2.0	–	0.2	1.0
7	1273	5	2	1.9	54	195	5.2	–	0.03	0.60
8	1273	30	2	2.1	56	210	4.6	4.16	0.03	0.56
9	1273	50	2	2.2	62	160	5.0	4.16	0.03	0.78
10	1273	70	2	2.2	71	210	3.5	4.14	0.03	1.2
11	1273	90	2	2.0	68	216	2.4	4.13	0.03	1.1
12	1273	100	2	2.1	76	315	2.1	4.12	0.03	0.85
13	1273	70	0	–	84	733	0.92	4.10	0.03	0.22
14	1273	70	2	2.2 ^k	71 ^k	210 ^k	3.5 ^k	4.14 ^k	0	0.26
15	1273	30	0	–	88	–	0.5	4.06	0.03	0.02
16	1273	30	1	1.1	65	–	4.9	4.14	0.03	1.2
17	1273	30	5	4.6	50	–	5.5	4.15	0.03	0.55

^a Hold temperature during the preparation in the flux method, ^b Solute concentration in the flux, ^c Introduced amount in preparation, ^d Doping amount of La measured with XRF, ^e Average crystallite size of NaTaO₃:La calculated from a line width in the XRD patterns, ^f Average particle size of NaTaO₃:La estimated from the SEM images. Relative standard deviations were ca. 60 %, ^g Specific surface area calculated from the BET method, ^h Band gap determined by UV-vis adsorption spectra, ⁱ The hydrogen production rate was evaluated at 4 h later from the start of photoirradiation, ^j NaTaO₃ was not formed, ^k The same data as those in the entry 10.

4. 研究成果

(1) キャラクタリゼーション

XRF 測定により、各試料中の La ドープ率を見積もった (Table 1)。いずれの試料においても、加えた量の La が試料中に存在することが確認された。

熔融塩加熱時の保持温度を変えて調製した試料の XRD パターンを Fig. 2 に示す。1073 K での熔融塩加熱では、未反応の Ta₂O₅ 由来の回折線が観察されたが、1173 K 以上の温度では、NaTaO₃ に由来する回折パターンのみが観察された。今回の熔融塩加熱条件においては、1173 K 以上の温度で熔融を行う必要があることがわかった。また、式 2 で定義した溶質濃度を変化させ、1273 K にて熔融塩加熱を行ったところ、いずれの条件においても、NaTaO₃ が単相で得られることを確認した。

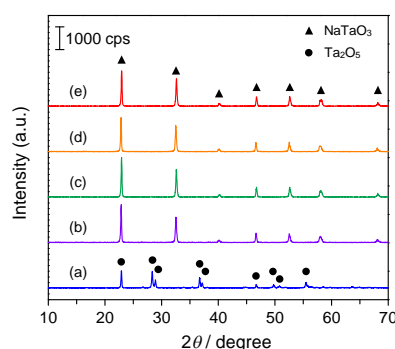


Fig. 2 X-ray diffraction (XRD) patterns of the Pt(0.2)/NaTaO₃:La(70, T , 1) samples prepared by the flux method at various hold temperatures of (a) 1073, (b) 1173, (c) 1273, (d) 1373, and (e) 1473 K.

2 = 22.8 ° 付近の回折線の半値幅から Scherrer の式を用いて見積もった NaTaO₃ の結晶子径を Table 1 に示す。保持温度を変化さ

せても結晶子径に違いは見られなかった (Entries 2-6). 一方で, 溶質濃度が増加するにつれて, 結晶子径は増加し (Entries 7-12), 溶融塩を用いることなく調製した場合で最大 (76 nm) となった. また, La ドープ率を 0-5 mol% の範囲で増加させた場合, 結晶子径は 88 nm から 55 nm と大きく減少した. La ドープによる結晶子径の低下は, 固相法により $\text{NaTaO}_3:\text{La}$ を調製した場合でも報告されており (H. Kato, et al., *J. Am. Chem. Soc.* **125**, 2003, 3082), 溶融塩法で調製した場合においても同様の現象が観察されたことになる.

溶質濃度を変化させて調製した各触媒の紫外可視吸収スペクトルを測定し, T_{auc} プロットよりバンドギャップを算出した (Table 1). Entries 8, 15-17 から La を添加することにより, バンドギャップの増大が確認され, この傾向は固相法の場合で観察されたものと同様である (K. Shimura, et al., *J. Phys. Chem. C*, **114**, 2010, 3493). また, 溶融塩加熱の際の溶質濃度の増加に伴って, バンドギャップはわずかに減少した (Entries 7-12).

溶質の濃度を変化させた試料に対して SEM 観察を行った. 溶融塩法を用いて調製した試料 Fig. 3a-d では, いずれも平坦な面を有する立方体に近い形状の粒子が観察された. 一方で, 溶融塩を用いなかった試料では, 比較的球状に近い粒子が観察された (Fig. 3e). また, 溶質濃度を 70 mol% として La をドープせずに調製した試料においては, 溶融塩を用いたにもかかわらず, 丸みを帯びた粒子が観察された (Fig. 3f). 以上の結果より, La をドープした試料で, 溶融塩加熱を行うことにより, 平坦な面を有する立方体に近い形状の粒子が得られることがわかった. SEM 像から粒子サイズを見積もり, 平均粒子径として Table 1 に示した. XRD の半値幅から計算した結晶子径に比べて, SEM で観察された粒子サイズが大きいことから, SEM で観察された粒子は, 複数の結晶子から構成されていることが示唆された.

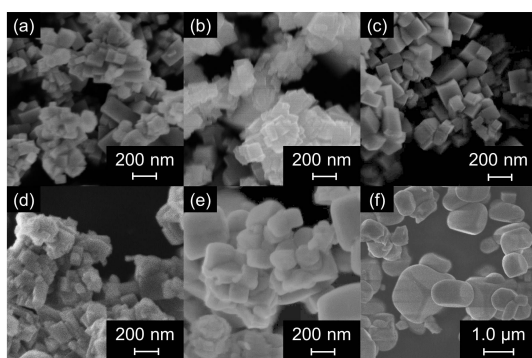


Fig. 3 SEM images of the $\text{NaTaO}_3:\text{La}$ samples prepared by the flux method at various solute concentrations of (a) 5, (b) 30, (c) 70, (d) 90, and (e) 100 mol%, and (f) the NaTaO_3 sample without La doping.

(2) 光触媒活性評価

$\text{Pt}(0.2)/\text{NaTaO}_3:\text{La}(70, 1273, 1)$ を用い

た際の反応の経時変化を Fig. 4 に示す. H_2 および CO_2 の生成速度は反応時間に伴って徐々に向上し, やがてほぼ一定の速度となった. 反応開始から 210 分後における生成した CO_2 に対する H_2 の比は 3.8 であり, 式 1 の化学量論比で反応が進行していることを確認した.

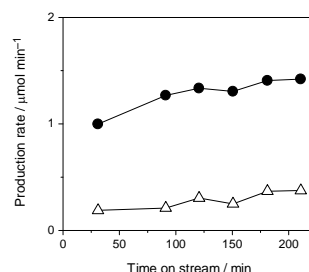


Fig. 4 Time course of the production rate of H_2 (closed circles) and CO_2 (open triangles) on the $\text{Pt}(0.2)/\text{NaTaO}_3:\text{La}(70, 1273, 1)$ sample.

溶融塩加熱の際の保持温度を変化させた場合の触媒活性を Fig. 5 に示す. 1073 K で調製した試料は, それよりも高温で調製した試料に比べて, 著しく低活性であった. XRD の結果 (Fig. 2) を考慮すると 1073 K で調製した試料では, NaTaO_3 が十分に形成していないために活性が低いものと考えられる. 1173 K 以上で調製した試料では, 活性に大きな違いは見られなかった. また La 量に対しては, 1 mol% で活性が最大となった (Fig. 5B). Pt の添加率を変化させたところ, Pt 非添加の場合では, H_2 の生成速度は $0.26 \mu\text{mol min}^{-1}$ と低活性であったが (Table 1, Entry 14), 0.03-0.2 wt% の Pt を添加することで, 活性が飛躍的に向上した. さらに添加率を 1 wt% まで増やすと, 活性は大幅に低下した (Fig. 5C). 溶質濃度を変化させた試料で活性調査を行ったところ, 溶質濃度が 70 mol% の際に最大の活性が得られた (Fig. 5D). その時の活性は, 溶融塩を用いずに調製した溶質濃度 100 mol% の場合よりも高く, 溶融塩を用いることで, 不使用の場合よりも高い活性が得られることがわかった.

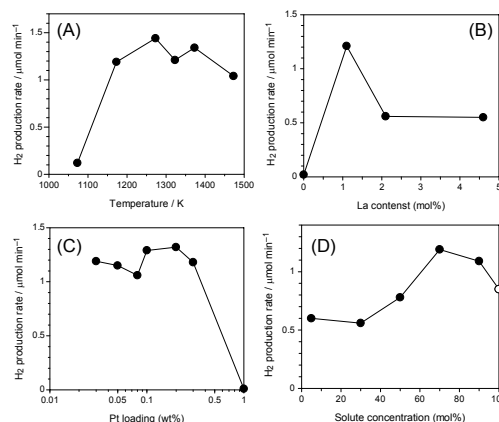


Fig. 5 Effect of (A) the hold temperature, (B) La content, (C) Pt loading and (D) solute concentration on the hydrogen production rate in the photocatalytic steam reforming of methane.

(3) 活性支配因子の検討

得られた構造・物性パラメータと光触媒活性との相関を検討した。溶質濃度を变化させた試料において、触媒活性を SEM から見積もった粒子径や、バンドギャップに対してプロットを行ったが、相関は見られなかった。これらに対し、溶質濃度を变化させた試料の場合では、XRD から見積もった結晶子径と触媒活性との間に強い正の相関が見られた (Fig. 6, ○)。また、La 量を変化させた試料 (△)、および保持温度を変化させた試料 (□) をこのプロットに追加しても、ある程度のばらつきはあるものの概ね溶質濃度を变化させた試料の傾向と一致した。結晶子径が大きくなるにつれて触媒活性が向上した理由は、結晶子径が大きくなることにより、粒子の内部に対する表面の割合が減少し、表面での再結合が抑制されたためであると考えられる。あるいは、結晶子が大きいと光を吸収する確率が高くなり、多電子を必要とするであろう本反応にとっては有利であるとも考察される。

一方で、フラックスを用いずに調製した試料()では、フラックスを用いて調製した同じ結晶子径の試料に比べて活性が低いことがわかる。SEM 像から、フラックスを用いた一連の試料では、立方体に近い粒子が得られたのに対して、フラックスを用いなかった場合では、球形に近い粒子が観察されたことから、立方体に近い粒子の方が高活性である可能性がある。また、フラックスを用いて調製した試料では、過剰のアルカリが、アルカリの蒸発による欠陥の生成を防ぐことにより高活性となったが、フラックス不使用の場合では、欠陥が相対的に多く生成し、活性が低くなった可能性が考えられる。

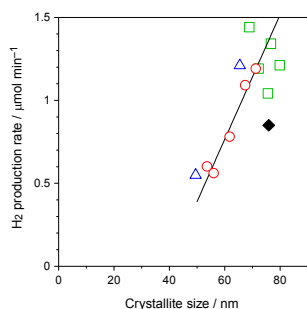


Fig. 6 Correlation between the hydrogen production rate and the crystallite size. Open circles: Pt(0.03)/NaTaO₃:La (x , 1273, 2), x = 5–90 mol%, open squares: Pt(0.2)/NaTaO₃:La (70, T , 1), T = 1173–1473 K, open triangles: Pt(0.03)/NaTaO₃:La (30, 1273, y), y = 1 and 5, and a closed diamond: Pt(0.03)/NaTaO₃:La (100, 1273, 2) photocatalysts prepared without the flux.

また、La をドーブした試料では、未ドーブの試料に比べ、飛躍的に高い活性が得られた (Fig. 5B)。これは、La ドーブによって光励起キャリアの寿命が長くなるためであると考えられる。一方で、La 量を増やすにつれて結晶子径の減少も確認された。今回の結果から

結晶子径の減少は活性低下を招くものと考えられる。すなわち、活性に対する La 添加効果として、キャリアの寿命の増加という正の効果と結晶子径の減少という負の効果が存在するため、La 量に対して山形の依存性を示すものと考えられる。

(4) まとめ

本研究では、溶融塩法を用いて様々な条件でランタンドープタンタル酸ナトリウム光触媒を調製し、白金を添加しメタンの低温水蒸気改質反応における活性評価を行った。中程度の溶質濃度、高温で溶融塩処理を行い、適度な量の La および Pt を添加した場合に最大の活性が得られた。調製した触媒の構造・物性と光触媒活性との相関を調べたところ、結晶子径と触媒活性との間に強い正の相関関係が認められた。また、同程度の結晶子径で比較した場合、溶融塩を用いた試料では、不使用の試料と比較して高活性であったことから、溶融塩の存在により欠陥の少ない試料を合成可能であることが示唆された。

ここで得られた知見は、本反応系のみならず、多くの光触媒系に応用できる基礎的な知見であると期待される。

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 4 件)

A. Yamamoto, S. Mizuba, Y. Saeki, H. Yoshida, Platinum loaded sodium tantalate photocatalysts prepared by a flux method for photocatalytic steam reforming of methane, *Appl. Catal. A*, accepted.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926860X15302088> / DOI:

10.1016/j.apcata.2015.10.031, 査読有

H. Yoshida, L. Zhang, M. Sato, T. Morikawa, T. Kajino, T. Sekito, S. Matsumoto, H. Hirata, Calcium titanate photocatalyst prepared by a flux method for reduction of carbon dioxide with water, *Catal. Today*, 251 (2015) 132–139, <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10563-014-9165-z> / DOI: 10.1016/j.cattod.2014.10.039, 査読有

K. Shimura, H. Yoshida, Semiconductor photocatalysts for non-oxidative coupling, dry reforming and steam reforming of methane, *Catal. Surv. Asia*, 18 (2014) 24–33. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10563-014-9165-z> / DOI: 10.1007/s10563-014-9165-z, 査読有

H. Yoshida, M. Takeuchi, M. Sato, L. Zhang, T.

Teshima, M. G. Chaskar, Potassium hexatitanate photocatalysts prepared by a flux method for water splitting, *Catal. Today*, **232** (2014)158–164. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092058611300521X> / DOI: 10.1016/j.cattod.2013.10.046, 査読有

〔学会発表〕(計 12 件)

K. Fujiwara, S. Mizuba, A. Yamamoto, H. Yoshida, Photocatalytic steam reforming of methane on calcium titanate, 日本化学会 第96春季年会, 2016/3/24-27, 同志社大学京田辺キャンパス

山本 旭, 水場 翔大, 佐伯 百合菜, 吉田 寿雄, 低温メタン水蒸気改質反応におけるタンタル酸ナトリウム光触媒の構造活性相関, 第117回触媒討論会, 2016/3/21-22, 大阪府立大学

H. Yoshida, Photocatalytic production of hydrogen and reduction of carbon dioxide with metal loaded semiconductor crystals, International Conference on 'Functional Eco-friendly Smart Emerging Materials (FESEM)', March 10-12, 2016, Yashwantrao Chavan Academy of Development Administration, Pune, India

水場 翔大, 吉田 寿雄, チタン酸ナトリウム光触媒によるメタン水蒸気改質, 平成27年度第2回キャタリストクラブ例会 2015/10/30, 関西大学

S. Mizuba, Y. Saeki, H. Yoshida, Photocatalytic Steam Reforming of Methane with Sodium Tantalate Prepared by a Flax Method, Photocatalysis 1, 2015/09/03-04, 東京理科大学

藤原 研司, 水場 翔大, 山本 旭, 吉田 寿雄, チタン酸カルシウム光触媒を用いたメタン水蒸気改質反応, 第13回触媒化学ワークショップ, 2015/8/2-4, 徳島大学およびとくとくぎんプラザ

水場 翔大, 佐伯 百合菜, 吉田 寿雄, 常温メタン水蒸気改質のためのタンタル酸ナトリウム光触媒の高活性化, 第115回触媒討論会, 2015/03/23-24, 成蹊大学

水場 翔大, 佐伯 百合菜, 吉田 寿雄, 融剤法による高活性タンタル酸ナトリウム光触媒の調製, 第24回キャラクターゼーション講習会, 2014/10/24, 香川大学

吉田 寿雄, 光触媒的常温メタン水蒸気改質, 第114回触媒討論会, 2014/9/25-27, 広島大学

水場 翔大, 佐伯 百合菜, 吉田 寿雄, フラ

ックス法により調製したタンタル酸ナトリウム光触媒によるメタン水蒸気改質, 第114回触媒討論会, 2014/9/25-27, 広島大学

水場 翔大, 吉田 寿雄, フラックス法で調製したタンタル酸ナトリウム光触媒によるメタン水蒸気改質, 第8回触媒道場, 2014/9/1-2, 北九州

水場 翔大, 佐伯 百合菜, 吉田 寿雄, フラックス法で調製したタンタル酸ナトリウム光触媒を用いたメタンの水蒸気改質, 第12回触媒化学ワークショップ, 2014/8/3-5, 福井県国際交流会館

〔図書〕(計 1 件)

K. Shimura, H. Yoshida, Hydrogen production from biomass derivatives over heterogeneous photocatalysts, in “Biomass for sustainable applications”, (Eds.) S. Gaspard, M. C. Ncibi, Ch. 8, pp.335–365, Royal Society of Chemistry, (2013). <http://www.rsc.org/shop/books/2013/9781849736008.asp> / ISBN: 978-1-84973-600-8

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 寿雄 (YOSHIDA, Hisao)
京都大学・大学院人間・環境学研究科
・教授
研究者番号: 80273267

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

吉田 朋子 (YOSHIDA, Tomoko)
大阪市立大学・複合先端研究機構・教授
研究者番号: 90283415