

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 3 月 31 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21550191

研究課題名（和文） 水の完全分解反応に高効率で作用できる光触媒系の構築

研究課題名（英文） Establishment of photocatalyst systems act on the overall splitting of H₂O with high efficiency

研究代表者

酒多 喜久 (SAKATA YOSHIHISA)

山口大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：40211263

研究成果の概要（和文）：水の完全分解反応に対して高い効率で作用できる光触媒系を開発するために、Ga₂O₃, Ba-Ta 複合酸化物光触媒を修飾し、水の分解反応に対する修飾効果を検討した。その結果、有効な助触媒の組み合わせによる表面での反応中間体の逆反応の抑制、金属イオン添加によるバルク状態制御に基づいた光生成した電子と正孔の再結合の抑制、光触媒の調製条件制御による形態制御を組み合わせることで、量子収率が50%を超える高活性な光触媒となることを見出した。さらに、この反応の量子収率は照射光子の密度に依存することを明らかにした。得られた知見に基づいて、チタン複合酸化物光触媒のこの反応に対しての活性向上を試みた。

研究成果の概要（英文）：, The influences of modifications to Ga₂O₃ and Ba-Ta mixed oxide photocatalysts towards the photocatalytic activity of H₂O splitting are investigated to develop photocatalyst systems which act on the overall splitting of H₂O with high efficiency. As the results, combination of the modifications as the suppression of the reverse reaction of the intermediates over the photocatalyst surfaces by the combination of effective co-catalyst, the suppression of the recombination of photo-produced electron and hole in the bulk of photocatalyst by controlling the bulk states by the addition of metal ions, and controlling the morphology by changing the preparation condition makes the photocatalytic activity improved remarkably, where the quantum yields shows more than 50%. Moreover, we also show that the quantum yield of photocatalytic H₂O splitting depends on the photon density of the irradiated light. On the basis of the result, we try to improve the photocatalytic performance on titanium mixed oxide photocatalysts.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学・無機工業材料

キーワード：光触媒、水分解反応、高活性化、酸化ガリウム、タンタル混合酸化物、金属イオン添加、調製法、助触媒

1. 研究開始当初の背景

光触媒を用いた水の完全分解反応は、低炭素社会の実現やグローバルな CO₂ 削減目標の実現に向け、次世代エネルギーとして注目されている水素の有効な製造法として世界的に注目されている。この分野の研究は、これまで日本がリードして有効な光触媒を数多く見出してきた。しかし、その効率や活性、さらに無尽蔵にある太陽光利用の観点からの光応答性は、実用的な水素製造システムへの応用や太陽エネルギー変換システムへの応用という観点からは不十分であり、活性向上、光応答性の改善を目指した研究が全世界的に精力的に行われるようになった。特に、光触媒による水の完全分解活性に注目すると実用化レベルの活性を示す光触媒が開発された例は La イオンをドーブした NaTaO₃ のみであり、他の事例の報告が期待されている。

報告者らは、Ba-Ta 混合酸化物の一つである Ba₅Ta₄O₁₅ や Ga₂O₃ に Ni などの助触媒を組み合わせた光触媒を水の分解反応に用いると、この反応を進行させることが出来ることを見出した。特に Ga₂O₃ 光触媒は水の分解反応を進行させることが出来る単純酸化物光触媒であり、光触媒の修飾による特性変化の機構が容易に解析でき、さらに、この酸化物は光触媒として水を分解できる十分な能力を有しているにもかかわらず、活性は低く様々な修飾を施すことで活性を向上させることが出来、その機構を解明することで、他の光触媒系の高活性化に資する見解が得られる可能性が高い。

2. 研究の目的

本研究は上記の背景に基づいて水の完全分解反応に対して非常に高い活性を引き出した光触媒系の開発を狙い、まず、基礎的な観点に立って、酸化ガリウムやタンタル混合酸化物系光触媒から、さらに長波長光でこの反応を進行出来るチタン酸化物系光触媒について、高活性・高効率化を検討することを目的とした。具体的には、以下に挙げる 3 項目についての検討を目的とした。

(1)酸化ガリウム光触媒の水の完全分解反応に対する高活性化を目指した修飾効果、調製条件制御とそのメカニズムの解明。

(2)バリウム-タンタル混合酸化物光触媒の水の完全分解反応に対する高活性化を目指した調製条件と修飾条件の検討。

(3)チタン混合酸化物光触媒の水の完全分解反応に対する高活性化要因の検討。

3. 研究の方法

(1)光触媒反応

本研究の光触媒反応は、通常、閉鎖循環系に

取り付けた石英製内部照射型反応管中で行い、光源には 450W 高圧水銀灯を用いた。生成した気体はガスクロマトグラフにより分析した。

(2)量子収率・照射光強度依存性測定

光触媒による水の完全分解反応の量子収率および照射光強度の依存性は、閉鎖循環系、ガスクロマトグラフサンプリング系を取り付けた石英窓を備えた上方照射型の反応セルを用いて行った。照射は、位置を固定したランプハウスに 450 W 高圧水銀灯を備えて行った。照射波長は、光路中にバンドパスフィルターを挿入することで、また、照射光強度の制御は ND フィルターを光路中に挿入することで行った。照射光の強度および照射フォトン数は Si ダイオード検知器を用いて行った。光触媒反応を行う際の水面と同じ高さに設置した Si ダイオード検知器を用いて照射光の強度分布を測定し、光電流の値から求めた電子・正孔の数を算出した。光触媒反応の量子収率は、光触媒反応により生成した一時間当たりの H₂ の生成活性を一時間当たりの照射光子数から理論的に生成する H₂ の量との比をとり、パーセントであらわした。

(3)キャラクタリゼーション

光触媒のキャラクタリゼーションは、UV-Vis 拡散反射スペクトル、XRD、SEM により行った。

4. 研究成果

(1)酸化ガリウム光触媒の水の完全分解反応に対する高活性化。

①高活性化を目指した金属イオンの添加

光生成した電子と正孔を効率よく分離するためには、光触媒のバルクの状態を制御して光生成した電子と正孔の再結合を抑制することが必要である。そこで、Ga₂O₃ に各種金属イオンを添加して、それらの水の完全分解反応に対する光触媒活性について検討した。ここでは、光触媒の酸化ガリウムに市販品の β-Ga₂O₃ (Ga₂O₃(P)) を用い各金属イオンを 2 atm% 添加し、Ni 助触媒を 1 wt% 担持した光触媒を水の完全分解反応に用いたところ、Zn、アルカリ土類、Cr、Ta イオンを添加することで活性が向上し、特に、Zn イオンの添加により一桁以上の活性向上 (H₂: 2.8 mmol/h, O₂: 1.4 mmol/h) を見出した。さらに Zn イオンの添加量、助触媒の Ni の量、担持方法を検討し、光触媒活性の最適化を行ったところ最適条件 (Zn イオンの添加量 1 atm%, Ni 助触媒 1 wt%) で H₂: 4 mmol/h, O₂: 2 mmol/h の活性を示すことが判明した。

②調製法・調製条件の検討

Ga₂O₃ の形態が水の完全分解に対する光触媒活性に与える影響について検討した。ここで

は新たに $\text{Ga}(\text{NO}_3)_3$ をアンモニア水で加水分解して得られた水酸化ガリウムを 1000°C で焼成して $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ($\text{Ga}_2\text{O}_3(\text{M})$), を調製し光触媒として用いた。SEM による測定結果から、 $\text{Ga}_2\text{O}_3(\text{M})$ の粒子径は $1\mu\text{m}$ で $\text{Ga}_2\text{O}_3(\text{P})(8\mu\text{m})$ と比較すると約一桁細くなっている。この $\text{Ga}_2\text{O}_3(\text{M})$ を用いて光触媒の最適条件を検討したところ、最適量の Zn イオン (3 wt%) と Ni 助触媒 (1 wt%) を添加した光触媒の活性は、1.5 倍 ($\text{H}_2:6\text{ mmol/h}$, $\text{O}_2:3\text{ mmol/h}$) 向上した。

③有効な助触媒の組み合わせ効果

近年、Rh と Cr の混合酸化物が水の分解反応に対する光触媒の助触媒として非常に有効に作用できることが報告されたこの助触媒を Ga_2O_3 光触媒に応用した。この $\text{Rh}_y\text{Cr}_{2-y}\text{O}_3$ 助触媒最適量 (Rh:0.5 wt%) を組み合わせた $\text{Ga}_2\text{O}_3(\text{M})$ と Zn (3 atm%) - $\text{Ga}_2\text{O}_3(\text{M})$ 光触媒を用いて水の完全分解反応を行った。その結果、前者の活性は $\text{H}_2:7.9\text{ mmol/h}$, $\text{O}_2:3.9\text{ mmol/h}$ 、後者の活性は $\text{H}_2:21\text{ mmol/h}$, $\text{O}_2:10.5\text{ mmol/h}$ であった。これらをまとめると以下の表 1 のようになる。表 1 に示すように、 Ga_2O_3 光触媒に種々の修飾を施し、それらの効果が相乗されることで水の完全分解反応に対する光触媒活性がめざましく向上し、450 W 高圧水銀灯照射下、一時間当たり 20 mmol を超える H_2 が化学量論量の O_2 を伴って生成することが観測された。この値は、これまで世界で最も高い活性が報告されている $\text{NiO}/\text{La-NaTaO}_3$ 光触媒と同レベルである。

表 1 各種修飾した Ga_2O_3 光触媒の水の完全分解反応に対する活性

	Zn	助触媒	Activity / mmol/h	
			H_2	O_2
(P)	no	Ni (1 wt%)	0.127	0.067
(M)	no	Ni (1 wt%)	0.311	0.140
(P)	no	$\text{Rh}_{0.5}\text{Cr}_{1.5}\text{O}_3$ (0.5 wt%-Rh)	5.40	2.80
(M)	no	$\text{Rh}_{0.5}\text{Cr}_{1.5}\text{O}_3$ (0.5 wt%-Rh)	7.90	3.90
(P)	1 atom%	Ni (1 wt%)	3.90	2.20
(M)	3 atom%	Ni (1 wt%)	6.00	3.00
(P)	1 atom%	$\text{Rh}_{0.5}\text{Cr}_{1.5}\text{O}_3$ (0.5 wt%-Rh)	13.7	6.90
(M)	3 atom%	$\text{Rh}_{0.5}\text{Cr}_{1.5}\text{O}_3$ (0.5 wt%-Rh)	21.0	10.5

④金属イオン添加の最適化

更に、光触媒を $\text{Ga}_2\text{O}_3(\text{M})$ 、助触媒を Rh-Cr 混合酸化物として修飾 Ga_2O_3 光触媒の水の分解反応に対する金属イオンの添加効果を検討した。その結果を図 1 に示す。図 1 より、

Zn イオン、Ca イオン、Mg イオンの添加が有効であることが判る。金属イオンの最適添加条件を比較すると Zn イオン、Mg イオンでは最適添加温度が 1100 K 付近であるのに対して、Ca イオンは 623 K と低温であることが判った。この結果から、Ca イオンは表面上に添加され、助触媒の作用を促進していることが示唆された。金属イオン添加による活性向上の要因には二種類あることが判明した。

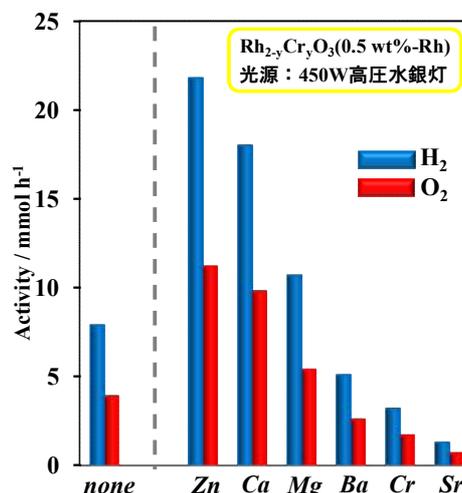


図 1 $\text{Ga}_2\text{O}_3(\text{M})$ に各種金属イオンを添加した時の光触媒活性

Zn イオン添加と Ca イオン添加の最適調製条件に着目して Zn- Ga_2O_3 を調製し、Ca 添加を試みた。その結果活性はさらに向上し $\text{H}_2:25\text{ mmol/h}$, $\text{O}_2:12\text{ mmol/h}$ まで向上することが判明した。

⑤調製時に含有する微量金属イオンの影響

半導体光触媒は、酸化物半導体の光励起を利用するため、ごく微量の不純物があることが考えられる。そこで超純水を用い、調製時に微量金属イオンを混在させた水を用いて調製した Zn 添加 Ga_2O_3 を用いて水の完全分解反応を検討した。ここでは、不純物イオンとして Ca イオンに注目して、Ca イオン溶液を用いた。光触媒活性は溶液中の Ca イオンに依存し、Ca イオン濃度が 0.001 mol/l の水溶液を光触媒調製に用いたときその活性は、 $\text{H}_2:32\text{ mmol/h}$, $\text{O}_2:17\text{ mmol/h}$ という非常に高い活性を示すことが判明した。詳細については現在検討中である。

⑥量子収率と照射光強度依存性

光触媒の能力を議論するためには、照射光子数と反応の活性の関係 (量子収率: 反応に関与した光子の数/照射光子の数) を議論する必要がある。この場合、光触媒に対して照射する光子の数が多すぎると見かけの量子収率は低下し、光子数が少ない時には、光触媒反応プロセス中の光子および励起して生成する電子と正孔の光触媒反応への関与に対しての重要な知見が得られる。このように、

量子収率と照射光強度の関係からは、光触媒反応活性を規格化するのみならず、反応メカニズムに対して重要な知見が得られる。

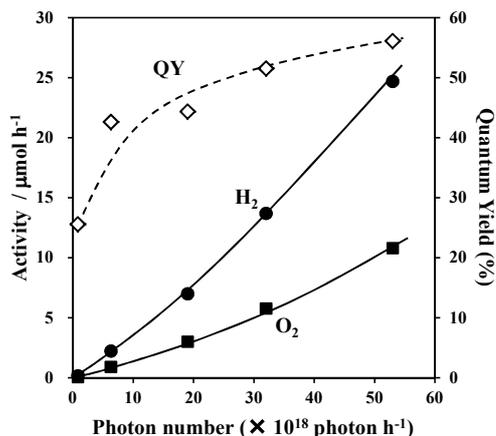


図2 Znイオン(3 mol%)添加したGa₂O₃光触媒の水分解反応に対する光触媒活性と見かけの量子収率の光強度依存性

図2は254 nmの単色光照射下、最適条件で調製したRh_yCr_{2-y}O₃/Zn-Ga₂O₃を光触媒としたときの量子収率と水の分解活性の一時間当たりの照射光子数依存性を示す。図2より本研究での一時間当たりの照射光子数の範囲では、量子収率は照射光子数の増加に伴い増大し、照射光子数が一時間当たり 5.3×10^{19} 個のとき56%となり、さらに照射光子数が増加すると量子収率も増大することが判る。光触媒活性は照射光子数に対して、一次よりも大きな関係で増大し、さらにこの関係を整理するとH₂、O₂の生成とも1.2次の関係であることが判った。Rh_yCr_{2-y}O₃助触媒を担持したGa₂O₃、Ca-Ga₂O₃光触媒で同様な検討を行ったところ、光触媒活性は照射光子量に対してそれぞれ、1.5~1.8、1.2~1.3、次の依存性を示した。最大量子収率を比較すると25%(6.4×10^{19} photon/h)、48%(6.7×10^{19} photon/h)である。さらにCa、Zn-Ga₂O₃光触媒では67%となり、この結果から、修飾酸化ガリウムは世界最高の効率を示す光触媒まで活性を向上させることが出来ることを見出した。

(2)バリウム-タンタル混合酸化物光触媒の水の完全分解反応に対する高活性化

①錯体重合法による調製条件最適化

錯体重合法は、微粒子で高結晶化度の酸化物結晶を合成する有効な方法であるが、その合成法には、高分子金属錯体の合成、高分子金属錯体の熱分解による前駆体の合成、前駆体の焼成による酸化物の合成などの数種類の段階があり、それぞれの段階の状態が、最終的な酸化物の性質や形態に大きな影響を与える。ここでは熱分解前駆体に着目した。ここでは、光触媒として水の完全分解が可能なBaとTaの混合酸化物に注目して検討した。BaとTaがモル比で1:1含有したクエン酸-エチレングリコール高分子金属錯体前駆体

を458 Kで合成し、熱分解は573 K以上の温度で行った。光触媒は1073 Kで焼成して調製した。調製した光触媒にはNi助触媒を最適(0.2 wt%)担持した。熱分解温度が650 Kまでは活性がH₂:7.5 mmol/h、O₂:4 mmol/hとほぼ一定であるが、それよりも高い温度で熱分解した前駆体より調製した光触媒では活性がH₂:2 mmol/h、O₂:1 mmol/h程度に低下した。XRD測定結果よりどの混合酸化物においてもBaTa₂O₆を主相とするBa_{0.5}TaO₃、Ba₅Ta₄O₁₅相の3相混合相であり、ピーク強度比もほぼ一定であった。一方、SEMによる形態観測結果から低温熱分解により得た前駆体より調製した光触媒はスティック状の微粒子であるが、活性の低下した高温熱分解により得た前駆体より調製した光触媒は円盤状の結晶粒子に成長していることが観測された。以上より、錯体重合法に調製条件、特に結晶前駆体の状態が調製された光触媒結晶の形態に大きく影響し、最終的に光触媒活性に大きな影響を与えることが判明した。

②助触媒の組み合わせ効果

水分解光触媒として最適条件で調製した光触媒を用いて、NiO、Rh_yCr_{2-y}O₃それぞれの助触媒の最適担持量依存性を検討したところNiOで0.2 wt%、Rh_yCr_{2-y}O₃で0.05 wt%で活性が最大となった。活性はどちらもH₂:10 mmol/h、O₂:5 mmol/hと高い活性を示すことが判った。一方、担持量依存性を見るとそれぞれの助触媒は、独立して作用することが示唆された。そこでRh:Cr:Ni=1:2:4となるように助触媒を担持した光触媒を用いて水の完全分解反応を行った。その結果Rhの担持量が0.15 wt%の時、光触媒活性は最大となり、その活性はH₂:18 mmol/h、O₂:9 mmol/hとなった。この活性は、Rh_yCr_{2-y}O₃/Zn-Ga₂O₃光触媒を用いてこの反応を行った時と同程度の活性であり、調製条件制御による形態変化と助触媒による表面状態制御を組み合わせることにより、高活性な光触媒となることが判明した。

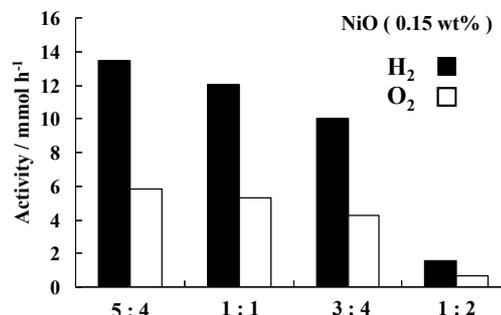


図3 それぞれのモル比で調製したBa-Ta混合酸化物における光触媒活性

③バリウム-タンタル原料比に依存した構造変化の光触媒活性に与える影響

Ba-Ta混合酸化物を非化学量論比の原料から

調製し、混合相を形成させた場合の影響について検討した。その結果を図3に示す。原料中のBa:TaをTaリッチにしていくと活性は低下した。この時混合酸化物中の組成はXRDの測定結果からBa_{0.5}TaO₃相が増大し主相のBaTa₂O₃は減少した。この結果から、混合相の組成が光触媒活性の増大に大きく影響することが判明した。

(3)チタン混合酸化物光触媒の水の完全分解反応に対する高活性化要因の検討。

水の分解活性が報告されているバリウムチタン混合酸化物光触媒BaTi₄O₉を非化学量論比の原料から調製すると、活性が増大することが観測された。さらに、助触媒による表面状態の制御、調製法の制御による高活性化を検討している。

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 9 件)

①酒多喜久、安永怜、今村速夫、水の完全分解反応に対するGa₂O₃光触媒の高活性化
日本エネルギー学会誌、査読無 **91**, 175-181 (2012)

②S. Higashimoto, K. Okada, M. Azuma, H. Ohue, T. Terai and Y. Sakata;
Characteristics of the charge transfer surface complex on titanium(IV) dioxide for the visible light induced chemo-selective oxidation of benzyl alcohol
RSC Advances, 査読有 **2**, 669-676 (2012)

③田中一宏、酒多喜久、光触媒による水分解と膜分離を組み合わせた水素製造プロセス構築の現状と将来
膜、査読無 **36**, 113-121 (2011)

④Y. Sakata, Y. Matsuda, R. Yasunaga, H. Imamura, K. Teramura; Remarkable improvement of the photocatalytic activity of Ga₂O₃ towards the overall splitting of H₂O
ChemSusChem, 査読有 **4** 181-184 (2011)

⑤Y. Sakata, K. Yoshimoto, K. Kawaguchi, H. Imamura and S. Higashimoto;
Preparation of a semiconductive compound obtained by the pyrolysis of urea under N₂ and the photocatalytic property under visible light irradiation
Catal. Today, 査読有 **161**, 41-45 (2011).

⑥S. Higashimoto, N. Suetsugu, M. Azuma, H. Ohue and Y. Sakata; Efficient and selective oxidation of benzyl alcohol by O₂ into corresponding aldehydes on a TiO₂ photocatalyst under visible light irradiation: Effect of phenyl-ring

substitution on the photocatalytic activity
J. Catal., 査読有 **274**, 76-83 (2010)

⑦T. Hisatomi, K. Miyazaki, K. Takanabe, K. Maeda, J. Kubota, Y. Sakata and K. Domen; Isotopic and kinetic assessment of photocatalytic water splitting on Zn-added Ga₂O₃ photocatalyst loaded with Rh_{2-γ}Cr_γO₃ cocatalyst
Chem. Phys. Lett, 査読有 **486** 144-146 (2010)

⑧S. Higashimoto, N. Kitao, N. Yoshida, T. Sakura, M. Azuma, H. Ohue and Y. Sakata; Selective photocatalytic oxidation of benzyl alcohol and its derivatives into corresponding aldehydes by molecular oxygen on titanium dioxide under visible light irradiation
J. Catal., 査読有 **266**, 279-285 (2009)

⑨M. Yoshida, K. Takanabe, K. Maeda, A. Ishikawa, J. Kubota, Y. Sakata, Y. Ikezawa and K. Domen; Role and function of Noble-Metal/Cr-Layer Core/Shell structure cocatalysts for photocatalytic overall water splitting studied by model electrodes
J. Phys Chem. C, 査読有、**113** 10151-10157 (2009).

[学会発表] (計 28 件)

①永松康裕、中川貴喜、酒多喜久、今村速夫、種々の調製法で調製した酸化ガリウム光触媒による水の完全分解、第109回触媒討論会 2012年3月29日 東京工業大学

②安永怜、酒多喜久、今村速夫、寺村謙太郎、金属イオンを添加した酸化ガリウムの水の完全分解反応に対する光触媒特性、第109回触媒討論会 2012年3月29日 東京工業大学

③東本慎也、疋田晃志、酒多喜久、炭素・窒素を含有する有機物で表面修飾した二酸化チタン光触媒上での水素生成反応、日本化学会第92春季年会 2012年3月26日慶応大学

④ Y. Sakata, Improvement of the photocatalytic activity of Ga₂O₃ toward the overall splitting of H₂O, CRC International Symposium, January 27, 2012, Hokkaido University

⑤安永怜、永松康裕、酒多喜久、今村速夫、金属イオンを添加した酸化ガリウム光触媒の水の完全分解反応に対する特性、第41回石油・石油化学討論会 2011年11月11日 山口県教育会館

⑥疋田晃志、東本慎也、酒多喜久、シアヌル酸由来有機物で修飾された二酸化チタン光触媒の可視光活性、第108回触媒討論会 2011年9月21日 北見工業大学

⑦永松康裕、中川貴喜、安永怜、酒多喜久、今村速夫、水の完全分解反応に有効な酸化ガリウム光触媒の調製条件の検討、第108回触

媒討論会 2011年9月21日 北見工業大学
⑧安永怜、永松康裕、酒多喜久、今村速夫、
金属イオンを添加した Ga₂O₃ 光触媒の水の完全分解に対する特性第 108 回触媒討論会
2011年9月20日、北見工業大学
⑨中川貴喜、安永怜、酒多喜久、今村速夫、
沈殿法により調製した酸化ガリウム光触媒の水の完全分解反応に対する特性第 107 回触媒討論会
2011年3月30日 東京都立大学
⑩水木一博、前田和彦、久保田純、酒多喜久、
堂免一成、水分解光触媒亜鉛添加酸化ガリウムにおける水素生成助触媒に関する検討日本化学会第91春季年会
2011年3月28日 神奈川大学
⑪山崎祐樹、酒多喜久、今村速夫、錯体重合法により調製したBa-Ti 複合酸化物の水の完全分解反応に対する光触媒特性、第 106 回触媒討論会
2010年9月15日 ベルクラシック甲府
⑫吉本和喜、酒多喜久、今村速夫、東本慎也、
尿素を縮合させて調製した尿素由来化合物の光触媒特性、第 106 回触媒討論会 2010年
9月15日 ベルクラシック甲府
⑬安永怜、酒多喜久、今村速夫、酸化ガリウム光触媒による水の完全分解反応に対する
金属イオンの添加効果、第 106 回触媒討論会
2010年9月15日 ベルクラシック甲府
⑭ Y. Sakata, Achievement of high photocatalytic performance on the overall splitting of H₂O over a modified Ga₂O₃ photocatalyst, 2nd ISSFSC, August 29, 2010, China, DICP
⑮ T. Hisatomi, K. Miyazaki, K. Takanabe, K. Maeda, J. Kubota, Y. Sakata, K. Domen, Kinetic aspects of water splitting reaction on Heterogeneous photocatalysts TOCAT6/APCAT5, July 22, 2010, Sapporo Convension center
⑯ T. Kamigouchi, H. Kamioka, H. Fujimori, Y. Sakata, H. Imamura, Influences of the preparation condition of a barium tantalite photocatalyst on the photocatalytic activity of overall splitting of H₂O, TOCAT6/APCAT5, July 20, 2010, Sapporo Convension center
⑰ Y. Sakata, K. Yoshimoto, K. Kawaguchi, H. Imamura, S. Higashimoto, Photocatalytic property of a semiconducting compound prepared from urea under visible light irradiation SPEA-6, June 14, 2010, Czech, Hotel DAP
⑱ 久富隆史、宮崎和雄、高鍋和広、前田和彦、久保田純、酒多喜久、堂免一成、亜鉛添加酸化ガリウムによる水の分解反応の速度論的検討、日本化学会第 90 春季年会、2010年3月28日 近畿大学
⑲ 吉本和喜、酒多喜久、今村速夫、東本慎也、

炭素-窒素-酸素から構成される化合物半導体の調製とその光触媒特性、第 105 回触媒討論会 2010年3月25日 テルサ京都
⑳ 中川貴喜、安永怜、酒多喜久、今村速夫、Ga₂O₃ 光触媒の水の完全分解反応に対する調製条件の影響、第 105 回触媒討論会、2010年3月25日 テルサ京都
㉑ 酒多喜久、水の完全分解反応による水素製造を目指した光触媒開発 第 11 回建設・環境マネージメント講演会 2010年2月9日 山口大学工学部
㉒ 酒多喜久、水の完全分解反応に有効に作用する酸化ガリウム光触媒の開発 第 8 回太陽エネルギー化学センターシンポジウム 2010年2月3日 大阪大学
㉓ 池田俊徳、山崎祐樹、酒多喜久、今村速夫、水の完全分解反応に効率よく作用する Ba-Nb 光触媒の調製条件の検討、第 104 回触媒討論会 2009年9月27日 宮崎シーガイア
㉔ 中川貴喜、松田雄太、酒多喜久、今村速夫、水酸化物前駆体より調製した Ga₂O₃ 光触媒の水の完全分解反応に対する特性、第 104 回触媒討論会、2009年9月27日 宮崎シーガイア
㉕ 杉山未希、酒多喜久、今村速夫、飯田高史、田中一宏、喜多英俊、気体分離膜を用いて光触媒による水の完全分解反応により生成された H₂ と O₂ の効率的分離、第 104 回触媒討論会、2009年9月27日 宮崎シーガイア
㉖ 吉本和喜、川口恵亮、田中垂紀子、酒多喜久、今村速夫、尿素由来化合物光触媒の調製とその特性、第 104 回触媒討論会、2009年9月27日 宮崎シーガイア
㉗ 上河内貴、酒多喜久、今村速夫、バリウム-タンタル混合酸化物光触媒の水の完全分解反応に対する特性向上の検討 第 104 回触媒討論会、2009年9月27日 宮崎シーガイア
㉘ Y. Sakata, T. Nakagawa, Y. Matsuda, H. Imamura and K. Teramura, Photocatalytic property of Ga₂O₃ prepared from Gallium hydroxide precursor on the overall splitting of H₂O, Europa-cat9, Sept. 3, 2009, Spain, Salamanca University,

[図書] (計 1 件)

酒多喜久、エヌ・ティー・エス、触媒調製ハンドブック、2011 PP500-501

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒多喜久 (SAKATA YOSHIHISA)

山口大学 大学院理工学研究科 准教授
研究者番号：40211263