

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26410243

研究課題名(和文)水の完全分解反応に高い効率を示す次世代型光触媒系構築の基礎的研究

研究課題名(英文)Fundamental Studies for Development of Photocatalyst System Exhibiting High Performance to Overall Water Splitting for Next Generation

研究代表者

酒多 喜久 (Sakata, Yoshihisa)

山口大学・創成科学研究科・教授

研究者番号：40211263

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：酸化光触媒のH₂O分解反応に対する機構解明と光触媒特性向上を目的として、以下の4つの項目の検討を行なった。第一にGa₂O₃光触媒について、H₂O分解反応の見かけの量子収率と照射光強度変化による反応特性変化より光触媒中で生成した電子・正孔の反応挙動の検討、第二にH₂O分解反応に対して錯体重合法による混合酸化光触媒の調製条件の最適化の検討、第三にSrTiO₃光触媒において金属イオン添加によるH₂O分解反応の高活性化に関する条件の検討、第四にIn₂O₃光触媒によるH₂O光酸化反応で、光触媒活性向上を目指した金属イオン添加効果の検討、これらの検討より酸化光触媒の高活性化について知見を得た。

研究成果の概要(英文)：In order to improve the photocatalytic property of oxide photocatalysts and clarify the mechanism, important information were acquired through the investigations of following four points. Firstly, apparent quantum yield and the reaction mechanism of electron and hole produced in Ga₂O₃ photocatalyst under the overall H₂O splitting was examined on the basis of the intensity of irradiated light dependence of the photocatalytic reaction. Secondly, optimization of the preparation condition of mixed oxide photocatalysts by polymerizable complex method, one of the effective preparation methods for oxide photocatalysts, to the overall H₂O splitting was examined. Thirdly, the detailed condition of the improvement of photocatalytic performance of SrTiO₃ by the addition of metal ions to the overall H₂O splitting was examined to clarify the state of SrTiO₃ by the addition of metal ion. Fourthly, the effects of metal ion addition to In₂O₃ photocatalyst to the photo-oxidation of H₂O were examined.

研究分野：触媒化学

キーワード：光触媒 水分解 混合酸化物 高活性化 金属イオン添加 調製条件 光触媒機構 錯体重合法

1. 研究開始当初の背景

光触媒による水の分解反応は光エネルギーを化学エネルギーへ変換できる魅力ある反応で近年人工光合成の中核を担う反応としても注目されている。しかし、これまで開発されてきた光触媒では、そのほとんどがこの反応に対して活性が低く、実用化レベルの活性を示す光触媒は限られていた。さらに、太陽光の有効利用を考慮した場合、可視光にตอบสนองして水を分解できる光触媒は少なく、将来の持続的なエネルギー物質製造に有望な人工光合成に応用可能な可視光照射下で水の分解反応に高活性を示す新しい光触媒の開発が期待されていた。

2. 研究の目的

(1)水の分解反応に有効に作用できる Ga₂O₃ 光触媒の見かけの量子収率および光触媒バルク内に生成した電子・正孔の挙動からの光触媒作用機構の解明。さらに、混合酸化物光触媒の調製条件に基づいた光触媒の特性変化と H₂O 分解反応における最適状態の解明。

(2)H₂O 分解とその関連反応に太陽光が利用できる Ti や In の酸化物および混合酸化物光触媒について、項目(1)の結果に基づいて高活性化の検討とそれらの機能発現機構を検討。

3. 研究の方法

(1)光触媒の調製法:Ga₂O₃, In₂O₃ はアンモニア沈殿法を用い所定温度で焼成して得た。Ti, Nb, Ta の混合酸化物は錯体重合法を用いて所定条件で調製した。得られた混合酸化物の金属イオン修飾は、それぞれの金属塩水溶液を用いて含浸法により調製した。調製した酸化物および金属イオン修飾酸化物は Rh_yCr_{2-y}O₃ または NiO 等の助触媒を担持して光触媒として用いた。

(2)光触媒反応:通常の光触媒反応は閉鎖循環系に取り付けた石英ガラス製の内部照射型反応管で行った。反応管中でよく脱気した H₂O に光触媒 1 g を懸濁させ、450 W 高圧水銀灯より光照射を行った。生成する気体はガスクロマトグラフにより分析した。光触媒活性は光触媒反応が定常状態での一時間当たりの H₂, O₂ 生成速度で示す

(3)量子収率および光触媒反応の照射光強度依存性: H₂O 分解反応の量子収率測定及び照射光強度依存性は上方照射型反応管を用い、ディープ UV ランプまたは超高压水銀ランプを光源として、バンドパスフィルターにより単色光とした光を用いて行った。量子収率は単色光照射下での光触媒反応の結果より H₂ 生成活性から見積もられる単位時間当たりの反応に参与した光子数と同条件で測定される照射光子数との比をとり求めた。照射光強度の変更は光照射光路中に ND フィルターを挿入して行った。

(4)光触媒のキャラクタリゼーション:光触媒の構造は X 線回折、表面積は N₂ 吸着による

BET 法、光吸収特性は UV-VIS 拡散反射分光器、形態および元素分布は SEM または TEM - EDS 測定で行った。

4. 研究成果

(1)高活性化した Ga₂O₃ 光触媒による H₂O 分解反応の効率と Ga₂O₃ 光触媒の作用機構:

超高活性 Ga₂O₃ 光触媒の調製と量子収率
これまでの検討から Zn 等の金属イオンを表面近傍に添加することにより光触媒活性が著しく向上することが見出されてきた。ここでは、Zn イオンと同様に光触媒活性向上に寄与できる添加金属イオンである Ca に注目して、調製時に Ca イオンの希薄溶液(CaCl₂ 超純水水溶液 0.001 mol/l)を用いて Ga₂O₃ を調製して光触媒として用いた。表 1 には、Rh_yCr_{2-y}O₃ を助触媒として希薄 Ca イオン水溶液を用いて調製した Ga₂O₃(UP-Ca)を光触媒としたときの H₂O 分解活性をまとめた。図 1 には比較の為に通常のイオン交換水で調製した Ga₂O₃(DI)を光触媒として用いた結果も併せて示す。

表 1 各種 Ga₂O₃ および Zn-Ga₂O₃ 光触媒による H₂O 分解反応活性と見かけの量子収率

光触媒 ^(a)	光触媒活性		量子収率 (254 nm) / %
	H ₂	O ₂	
Ga ₂ O ₃ (DI)	7.9	3.9	24
Ga ₂ O ₃ (UP-Ca)	11	6	--
Zn-Ga ₂ O ₃ (DI)	21	10.5	57
Zn-Ga ₂ O ₃ (UP-Ca)	32	16	71

表 1 に示すように希薄 Ca イオン水溶液を用いて調製した Ga₂O₃ はイオン交換水で調製した Ga₂O₃ と比較して高い光触媒活性を示し、Zn ドープ Ga₂O₃ で比較すると更に活性が向上することが観測された。254nm の単色光照射下での見かけの量子収率を求めると 71% となり、光触媒による水の分解反応のこれまで報告されてきた量子収率の中で最も高い量子収率を示すことが判明した。

光触媒反応の照射光強度依存性に基づいた光触媒機構の解明
Rh_yCr_{2-y}O₃ を助触媒とした Ga₂O₃ を光触媒として用い H₂O 分解反応の照射光強度依存性を検討した。ランプ全光照射時に H₂O が化学量論的に分解して H₂ と O₂ の化学量論比での生成を確認後、バンドパスフィルターで波長が 254nm の単色光を照射、さらに ND フィルターにより照射光強度を減少させたところ、光触媒活性は照射光強度の減少に対して 1 次以上の関係で減少し、それに伴って量子収率も減少した。また生成 H₂, O₂ に着目すると照射光強度の減少に伴って O₂ の生成活性が減少し強度が 10% 以下になると、誘導期が出現し、さらに、強度を落とすと誘導期が長くなるこ

とが観測された。この結果に基づいて、光照射で生成した電子・正孔の挙動は次のようになると推察される。照射光の強度が強い時、光照射でバルク中に生成した電子と正孔のうち H_2O を還元・酸化出来るものが大量にあり、化学量論的に H_2 と O_2 の生成が起こります。一方、照射光強度を弱くして 10 分の 1 以下にすると、正孔がバルク中のトラップサイトにトラップされる影響が H_2 , O_2 の生成に反映され、 O_2 の生成が抑制されること、更にトラップされた正孔は、 H_2O の酸化のみならず電子との再結合にも関与すると考えられ、これが照射光強度低下に伴う量子収率の低下を招いていると示唆された。

(2) 混合酸化物光触媒の錯体重合法による調製条件変化に基づく H_2O 分解反応特性

錯体重合法は混合酸化物光触媒を合成する有効な方法であることが知られている。一方、その手法は確立し、ほぼ統一した方法で酸化物調製が行われている。ここでは H_2O 分解反応に有効に作用できる光触媒の調製に立脚してリガンドポリマーの影響と酸化物前駆体調製条件の影響について検討した。

錯体重合法で調製した混合酸化物光触媒の水分解特性に対する調製時のポリマーリガンドが与える影響

通常の錯体重合法ではキレートポリマーにクエン酸とエチレングリコールで形成される網目状のポリマーが適用されている。一方、その他のキレートポリマーが用いられることは少なく、キレートポリマーの特性が最終的に生成する酸化物の特性に与える影響の検討は少ない。そこで、生成される酸化物の光触媒特性に注目して、Sr と Nb の混合酸化物光触媒を例として用いるキレートポリマーの生成される酸化物光触媒の水分解特性に与える影響について検討した。ここではキレートポリマーとしてコハク酸 (SA) と 2,2-アミノエチルアミノエタノール (AEEA) のポリマーとクエン酸 (CA) とエチレングリコール (EG) のポリマーをキレートポリマーとして光触媒を調製した。

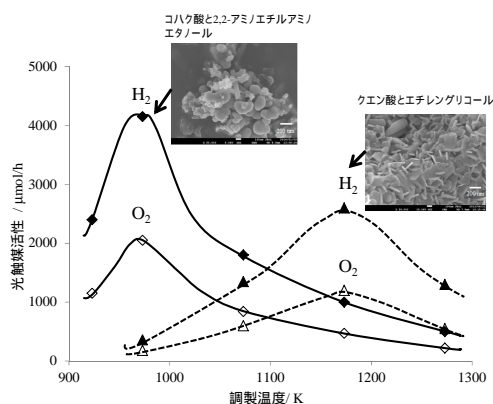


図 1、SA-AEEA ポリマー錯体と CA-EG ポリマー錯体より合成した Sr-Nb 混合酸化物の H_2O 分解反応に対する光触媒活性の調製温度依存性と最適条件の SEM 写真

図 1 にはそれぞれのキレートポリマーを用いて調製した Sr-Nb 混合酸化物光触媒の H_2O 分解反応活性に対する調製温度依存性と最適条件の SEM 写真を示す。図 1 の光触媒活性の結果は助触媒に $Rh_{0.9}Cr_{1.1}O_3$ (Rh:0.3 wt%) を用いた時の結果である。この結果は、アミン系のキレートポリマーをリガンドに用いた方が通常用いられるカルボン酸エステル系のキレートポリマーを用いるより、低温の焼成で活性が高い光触媒が調製できることを示している。さらに XRD および SEM の結果からカルボン酸エステル系のポリマーを用いた時は直接化学量論相である $Sr_2Nb_2O_7$ が生成するのに対して、アミン系のキレートポリマーを用いると最初に安定で光触媒として活性がある $SrNb_2O_6$ の微粒子結晶が形成され、高温でその相が化学量論相へ変化していくことが観測された。これらの結果から、用いるキレートポリマーに依存した光触媒結晶の生成挙動が光触媒活性に大きな影響を与えることが判明した。

錯体重合法で調製する光触媒酸化物の最適調製条件の検討。Ba-Ta 混合酸化物を例に、

錯体重合法では主に原料金属イオンを含有したキレートポリマー前駆体とこのポリマーを熱分解して得られる酸化物前駆体の 2 種類の前駆体を経由して最終的に焼成して目的酸化物を合成する。この時、前駆体の状態に関連した最終的に合成される酸化物の状態および特性に関しての研究は少ない。ここでは有効な酸化物光触媒を合成するという観点から、調製条件に基づく前駆体の状態が調製される酸化物光触媒の H_2O 分解反応に対する特性に如何に影響するか、Ba-Ta 混合酸化物光触媒の調製を例として検討した。ここではキレートポリマーとして錯体重合法で通常用いられるクエン酸 (CA) とエチレングリコール (EG) のポリマーを適用した。調製した混合酸化物は NiO 助触媒を担持して光触媒反に用いた。

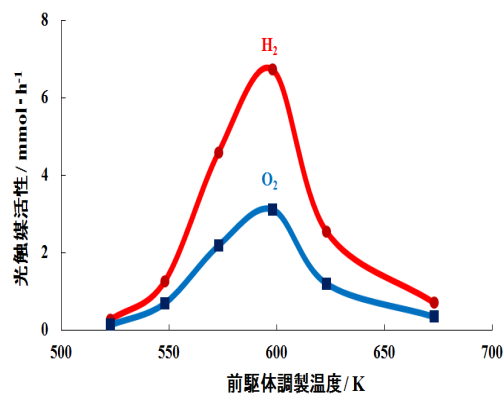


図 2、錯体重合法により調製した Ba-Ta 混合酸化物の光触媒活性と前駆体調製温度の関係

先ず、1073 K で焼成して調製される Ba-Ta 混合酸化物について、キレートポリマーの熱分解温度を 598 K とし、重合温度が合成される混合酸化物の光触媒特性への影響を検討した。その結果、373 K 以上、423 K 以下の比較的低温で 10 時間程度重合させて得たポリマー前駆体から調製した Ba-Ta 混合酸化物を光触媒としたとき H₂O 分解反応に対して高い活性を示した。次にキレートポリマーの重合条件を 403 K で 10 時間に固定して、キレートポリマーの熱分解による酸化物前駆体の調製条件が 1073 K で焼成して調製される Ba-Ta 混合酸化物光触媒の水分解反応への特性について検討した。図 2 には前駆体の調製温度と光触媒活性の関係について示す。

図 2 の結果から光触媒活性は酸化物前駆体の調製温度に依存して変化した。523 K から酸化物前駆体の調製温度を上昇させると最終的に得られる Ba-Ta 混合酸化物光触媒の活性は向上し、598 K で調製した酸化物前駆体から得た混合酸化物の光触媒活性が最も高く、それ以上の温度で調製した前駆体より得た混合酸化物の光触媒活性は低下した。

そこで、XRD、SEM によるキャラクタリゼーションを行った。その結果より 573 K よりも低温で調製した前駆体より得た Ba-Ta 混合酸化物では、欠陥型の混合酸化物 Ba_{0.5}TaO₃ が優先的に生成し、結晶は微粒子で構成されることが観測された。光触媒活性が最も高かった 598 K で調製した前駆体から得た混合酸化物では BaTa₂O₆ がほぼ単相で生成し、棒状結晶が生成しているのに対して光触媒活性が低下した 673 K で調製した前駆体から得た混合酸化物では Ba₅Ta₄O₁₅、BaTa₂O₆ および Ba_{0.5}TaO₃ の三相が観測され比較的大きな結晶粒子が観測された。また、前駆体からの混合酸化物の収率がこの光触媒活性や状態にとよく相関していることも観測された。以上より、Ba-Ta 混合酸化物についてはポリマー前駆体を熱分解して得られる酸化物前駆体は、残留している炭素の量の変化がそこから調製される酸化物の状態に強く影響することが判明した。特に炭素の量が多いと欠陥の多い酸化物が出来るためにその光触媒活性は低く、炭素と金属イオンの量が最適の状態の時、光触媒として有効に働くことのできる結晶相が選択的に成長し、炭素の量が少なくなると数種類の結晶相ランダムに成長するため光触媒としての能力が低下することが示唆された。

(3) 水分解反応に近紫外光照射下で作用できる SrTiO₃ 光触媒の高活性化に関する検討：

SrTiO₃ は光触媒による H₂O 分解反応が検討され始めた 1980 年代初頭からこの反応に用いられてきた半導体光触媒である。SrTiO₃ の光吸収端波長は 390nm でバンドギャップは 3.2 eV であり、近紫外域ほぼ全域の光を吸収して光触媒反応を行わせることが出来る。しかしこれまで水分解触媒として広く研究がなされてきたが、大幅な効率を改善した報告

は少ない。ここでは Ga₂O₃ 光触媒の水分解反応に対しての効率改善に基づいてこの酸化物光触媒の効率改善の試みを行った。ここでは、SrTiO₃ への各種金属イオンの添加による水分解反応への影響について検討した。

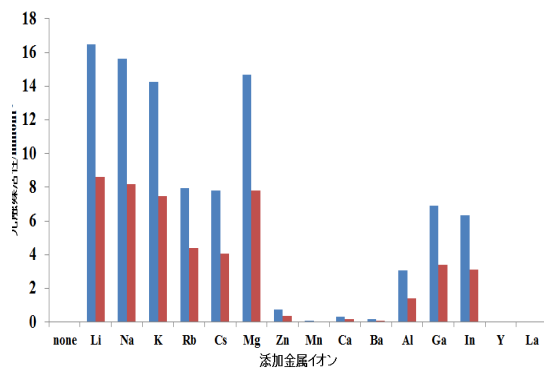


図 3 各種金属イオンを 1.5 mol% ドープした SrTiO₃ (純度 99.9 % 市販品) の水分解反応に対する光触媒活性

図 3 は Rh_{0.7}Cr_{1.3}O₃ (Rh:0.3 wt%) を担持した各種金属イオンを 1.5 mol% ドープした SrTiO₃ を光触媒として用いた時の水分解反応に対する光触媒活性を示す。この時ベースの SrTiO₃ には市販品の高純度 SrTiO₃ (99.9%) を用いた。図 3 の結果より、アルカリ金属イオン、Mg イオンおよび A 族の Al, Ga, In イオンをドープすることにより著しく光触媒活性高い光触媒活性の発現が判明した。ここで、Na イオンドープ SrTiO₃ を用いた水分解反応の 360 nm 単色光照射時の見かけの量子収率は 16 % となり、非常に高い量子収率を示すことが判明した。

表 2 各種 SrTiO₃ とその Na イオンドープ SrTiO₃ の水分解反応に対する光触媒活性

SrTiO ₃	Na ⁺ のドープ量 / atm %	光触媒活性 / mmol/h	
		H ₂	O ₂
SrTiO ₃ (A)	0	0.82	0.44
SrTiO ₃ (A)	2.0	16	7.2
SrTiO ₃ (B)	0	0	0
SrTiO ₃ (B)	1.5	16	8.2
SrTiO ₃ (C)	0	0.33	0.20
SrTiO ₃ (C)	1.5	5.1	2.36
SrTiO ₃ (D)	0	0.74	0.4
SrTiO ₃ (D)	1.5	1.9	1

次に、ベースの SrTiO₃ の光触媒特性に対する影響について Na イオンドープ SrTiO₃ に注目して検討した。その結果を表 2 に示す。表

2 には用いた SrTiO₃、Na イオンのドーピング量および Rh_{0.7}Cr_{1.3}O₃(Rh:0.3 wt%)を助触媒として担持した時の光触媒活性を示す。SrTiO₃(A)は錯体重合法で調製した SrTiO₃、SrTiO₃(B)純度 99.9%の市販品、SrTiO₃(C)は純度 99%の市販品、SrTiO₃(D)は SrCO₃と TiO₂(P-25)から固相法で調製した SrTiO₃である。

表 2 の結果より、どの SrTiO₃をベースとしても Na イオンをドーピングすると活性は向上することが判る。一方、Na イオンドーピング SrTiO₃の光触媒活性に注目すると光触媒活性はベース用いる SrTiO₃に強く依存する。特に、高純度の SrTiO₃に Na イオンを添加することで活性は著しく向上することが判明した。

(4)可視光照射下で水の酸化反応に有効に作用できる新規光触媒の開発：

太陽光有効利用の観点から、可視光で水分解を進行できる高活性な光触媒の開発が求められている。現在、水分解反応に対して必要十分条件を満たす酸化物光触媒は少なく、窒化物や酸窒化物などこの条件を満たす光触媒を用いても水分解反応はほとんど進行しない。そこで、植物の光合成にないバンドギャップの狭い水の還元、水の酸化に有効な 2 種類の光触媒を組み合わせる 2 光子を用いて水を分解するシステム(Z スキーム)が提案されている。この場合可視光で水を酸化できる高活性な光触媒と水を還元できる高活性な光触媒の開発が必要となる。本研究では水を酸化する光触媒として高活性化に成功した Ga と同族の酸化物である In₂O₃に注目して、その水の酸化反応による O₂生成反応に対しての光触媒活性向上を目指した取り組みを行った。

実験は、閉鎖循環系に取り付けた上方照射型反応管を用いた。光源には 300 W キセノンランプを用いた。光触媒反応は硝酸銀水溶液(3 wt%)からの O₂生成反応を行った。

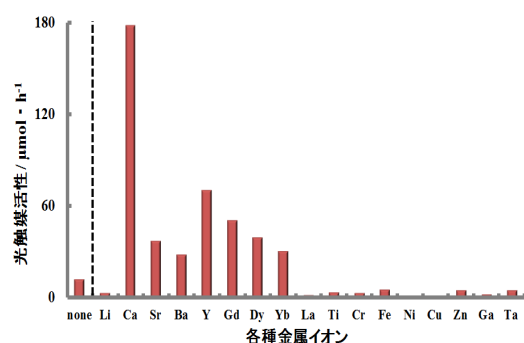


図 4、各種金属イオンを 3 mol%ドーピングした In₂O₃ の水の酸化反応による O₂ 生成反応に対する光触媒活性

まず、調製した In₂O₃ の光吸収特性を検討した。その結果、In₂O₃ のバンドギャップ励起に基づく吸収端が 500 nm 付近に観測され、バンドギャップは約 2.5 eV である。光吸収

特性は水の酸化反応の光触媒として用いられる WO₃ と類似しており、高い活性を示せば WO₃ と同様に水の可視光での酸化反応による O₂ 生成光触媒として用いることが出来る。図 4 に In₂O₃ に各種金属イオンを 3 mol%ドーピングした光触媒を用い硝酸銀水溶液(3 wt%)からの酸素生成反応を行った時の結果を示す。

図 4 の結果より、Ca, Sr, Ba のアルカリ土類イオンと Y, Gd, Dy, Yb の希土類イオンのうちイオン半径が比較的小さいイオンをドーピングした時光触媒活性は向上することが判明した。特に Ca イオンの添加は有効で無添加の In₂O₃ と比較して一桁程度活性は向上することが観測され、この反応に用いられる WO₃ や TiO₂ よりも数倍程度光触媒活性が高いことが判明した。今後、可視光応答性の水還元光触媒とつなげていく場合、これらの光触媒を橋渡しする酸化還元メディエータを酸化剤とした光触媒特性を検討していく必要があるが、金属イオン修飾 In₂O₃ が Z スキーム型可視光応答光触媒による水分解反応システムの水の酸化反応用の光触媒として十分な能力を示すことが判明した。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

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, Appl. Catal., A, (査読有) 521, 2016, 227-232

DOI:10.1016/j.apcata.2015.12.013

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, 2016, 3027 - 3033

DOI:10.1039/c5ta04843e

Y. Sakata, T. Hayashi, R. Yasunaga, N. Yanaga, H. Imamura, Remarkable High Apparent Quantum Yield to Overall Photocatalytic H₂O Splitting Achieved by Utilizing Zn Ion Added Ga₂O₃ Prepared with Dilute CaCl₂ Solution, Chem. Commun. (査読有) 51, 2015, 12935-12938

DOI: 10.1039/c5cc03483c

Y. Sakata, H. Munemasa, S. Suenaga, T. Onishi, H. Imamura, J. N. Kondo, Photocatalytic Property of Strontium-Niobium Mixed Oxide Prepared by Utilizing Organic Mediators to the Overall Splitting of H₂O, Catal. Today (査読あり) 246, 2015, 172-175

DOI:10.1016/j.cattod.2014.10.002

酒多喜久、Ga₂O₃ 光触媒による H₂O 完全分解反応に対しての活性向上の取り組み、触媒

(依頼総説、査読無) 触媒、56 , 2014、250 - 256
Web 公開されていません。

[学会発表] (計 20 件)

石山翔太、彌永伸之、横川俊哉、酒多喜久、Ca 及び Zn イオンを添加した Ga₂O₃ の H₂O 完全分解反応に対する光触媒特性、第 118 回触媒討論会、2016 年 9 月 22 日、岩手大学 (岩手県盛岡市)

酒多喜久、H₂O 完全分解反応に高効率で働く酸化物光触媒の開発、第 54 回触媒研究懇談会、2016 年 7 月 28 日、西の雅常盤 (山口県山口市)

藤井智大、酒多喜久、アンモニア沈殿法で調製した In₂O₃ の光触媒特性と金属イオンの添加効果、第 35 回光がかわる触媒化学シンポジウム、2016 年 6 月 10 日、東京工業大学蔵前工業会館くらまえホール (東京都目黒区)

酒多喜久、赤堀太志、今村速夫、Photocatalytic property of Ba-Ti mixed oxide to the overall H₂O splitting、日本化学会第 96 回春季年会、2016 年 3 月 25 日、同志社大学 (京都府京田辺市)

岩井孝広、末永真一郎、酒多喜久、今村速夫、La-Ta 及び La-Nb 混合酸化物の H₂O 完全分解反応に対する光触媒特性、第 117 回触媒討論会、2016 年 3 月 21 日、大阪府立大学 (大阪府堺市)

石切山巧樹、前田竜也、酒多喜久、Yeilin Ham、久富隆史、堂免一成、Na イオン添加 SrTiO₃ 光触媒の H₂O 完全分解反応に対する調製条件の影響、第 117 回触媒討論会、2016 年 3 月 21 日、大阪府立大学 (大阪府堺市)

石山翔太、彌永伸之、酒多喜久、Ga₂O₃ 光触媒の H₂O 完全分解反応に対する助触媒の影響、第 117 回触媒討論会、2016 年 3 月 21 日、大阪府立大学 (大阪府堺市)

酒多喜久、光触媒による水の完全分解反応の活性はどこまで向上させることができるのか-Ga₂O₃ 光触媒を例にして-、日本太陽エネルギー学会 2015 年度関西支部シンポジウム、2015 年 12 月 4 日、難波神社会議室 (大阪府大阪市)

大西考雄、酒多喜久、今村速夫、調製条件を制御したニオブ混合酸化物光触媒の H₂O 完全分解反応に対する特性、第 116 回触媒討論会、2015 年 9 月 17 日、三重大学 (三重県津市)

彌永伸之、安永怜、林拓也、酒多喜久、今村速夫、酸化ガリウム光触媒の H₂O 完全分解反応に対する金属イオンの添加効果、第 116 回触媒討論会、2015 年 9 月 17 日、三重大学 (三重県津市)

末永真一郎、岩井孝広、酒多喜久、今村速夫、希土類 Nb 混合酸化物の光触媒特性、第 116 回触媒討論会、2015 年 9 月 17 日、三重大学 (三重県津市)

前田竜也、酒多喜久、今村速夫、SrTiO₃ 光

触媒の H₂O 完全分解反応に対する活性への金属イオンの添加効果、第 116 回触媒討論会、2015 年 9 月 17 日、三重大学 (三重県津市)

彌永伸之、林拓也、安永怜、酒多喜久、今村速夫、Ca イオンを添加した Ga₂O₃ の H₂O 完全分解反応に対する光触媒特性、第 115 回触媒討論会、2015 年 3 月 24 日、成蹊大学 (東京都武蔵野市)

大西考雄、末永真一郎、酒多喜久、今村速夫、アルカリ土類 - ニオブ混合酸化物の水完全分解反応に対する光触媒特性、第 115 回触媒討論会、2015 年 3 月 24 日、成蹊大学 (東京都武蔵野市)

酒多喜久、光触媒による H₂O 完全分解反応の活性はどこまで向上させることができるか - 酸化ガリウム光触媒を例にして -、Cat-on-Cat Symposium in Himeji、2014 年 12 月 13 日、じばさんびる (兵庫県姫路市)

彌永伸之、安永怜、酒多喜久、今村速夫、Zn ドープ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 114 回触媒討論会、2014 年 9 月 26 日、広島大学 (広島県東広島市)

Y. Sakata, Effects of the Modifications to Ga₂O₃ for the Improvement of Photocatalytic Activity to the Overall Splitting of H₂O, IUMRS-ICA, 2014 年 8 月 28 日、福岡大学 (福岡県福岡市)

N. Yanaga, Y. Sakata, Effects of the Preparation Condition of Ba-Ta Mixed Oxide in Polymerizable Complex Method to the Photocatalytic Activity of the Overall Splitting of H₂O, IUMRS-ICA, 2014 年 8 月 28 日、福岡大学 (福岡県福岡市)

Y. Sakata, H. Munemasa, S. Suenaga, T. Onishi, H. Imamura, J. N. Kondo, Photocatalytic Property of Strontium-Niobium Mixed Oxide Prepared by Utilizing Organic Mediators to the Overall Splitting of H₂O, PREPA-11, 2014 年 7 月 9 日、ルーバン・ラ・ニューブ、(ベルギー)

Y. Sakata, T. Nakagawa, Y. Nagamatsu, R. Yasunaga, H. Imamura, Effect of the Preparation Condition of Ga₂O₃ to the Photocatalytic Property to the Overall Photocatalytic H₂O Splitting, TOCAT7, 2014 年 6 月 4 日、テルサ京都 (京都府京都市)

[図書] (計 1 件)

酒多喜久、他、光触媒/光半導体を利用した人工光合成、エヌ・ティー・エス、2017 年 1 月、230(P48-54)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

酒多喜久 (SAKATA Yoshihisa)

山口大学・大学院創成科学研究科・教授

研究者番号 : 4 0 2 1 1 2 6 3