

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：82718

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02823

研究課題名(和文) 金属層を介して接合した半導体による可視光応答型の光触媒電極システム構築

研究課題名(英文) Synthesis of a visible-light-responsive photocatalyst electrode system using a semiconductor heterojunction via a metal layer

研究代表者

秋山 賢輔 (Akiyama, Kensuke)

地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所・化学技術部・上席研究員

研究者番号：70426360

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)：p型半導体の鉄シリサイド(-FeSi_2)と、n型半導体であるルチル型酸化チタン(TiO_2)とが金属層を介して接合した水分解用の光電極システムを実現した。接合金属のAuにAgを添加し、Ag濃度増加に伴って接合部の標準電極電位が卑側にシフトすることで -FeSi_2 の導電帯下端の電位を制御可能なことが明らかとなった。さらに -FeSi_2 と TiO_2 との半導体複合粒子による水分解システムにおいて、ヘテロ接合部からの光励起キャリアの水中へのリークが、構造固有の課題であることが明らかとなり、これを酸化クロム(CrOx)層の接合部への被覆によって抑制し、光触媒効果による水分解反応速度の増大化を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金属層を介して水素発生用光触媒(p型)と酸素発生用光触媒(n型)を接合させることにより、光触媒の還元反応に用いる伝導帯下端の電極電位、及び酸化反応に用いる価電子帯上端の電極電位を制御できることが明らかとなった。これにより光触媒反応に寄与する電子と正孔の化学ポテンシャルが制御された光電極型、及び粉末系光触媒反応システム構築が可能となった。このことは、水分解反応系に留まらず光触媒効果を用いた光-化学エネルギー変換において、そのエネルギー変換効率向上への新たなシステム・材料設計の指針提案となる。

研究成果の概要(英文)：A solid-state Z-scheme system is constructed whereby rutile TiO_2 and iron silicide (-FeSi_2) were combined to act as O_2 - and H_2 -evolution photocatalysts, connected by Au or Ag and their alloy layer. The photoexcited electrons in the conduction band (CB) of -FeSi_2 causes the reduction of protons to H_2 , and the photogeneration of holes in the valence band (VB) of TiO_2 causes the oxidation of water to O_2 . In addition, the photogenerated holes in the VB of -FeSi_2 and the photoexcited electrons in the CB of TiO_2 combined with each other in the inserted metal layer, affording the completion of the overall photocatalytic water-splitting. The standard electrode potential of the inserted metal layer of this system shift to the negative potential side as the Ag concentration of the inserted metal layer increased. This result suggests that the potentials of bottom of the CB of -FeSi_2 and the top of the VB of TiO_2 bonded with the inserted metal can be controlled.

研究分野：半導体結晶成長

キーワード：半導体ヘテロ接合 光触媒 水分解

1. 研究開始当初の背景

本多・藤嶋効果の発見から、光触媒効果を用いた光-化学エネルギー変換が研究され、粉末粒子による一段階励起型光触媒、二段階励起型光触媒、及び電極に光触媒材料を用いたシステムが提唱されている。そのエネルギー変換効率の向上のためは、可視光域まで応答することが求められる。

光触媒上で水分解が進行するには「伝導帯下端が還元反応の電位(水分解では 0 V(vs. SHE))より卑側」、かつ「価電子帯上端が酸化反応の電位(水分解では 1.23 V(vs. SHE))より貴側」なことが熱力学的条件となる。これに対して、主な光触媒材料の金属酸化物、窒化物の価電子帯は酸素、及び窒素の 2p 軌道で構成され、伝導帯の下端電位、及び禁制帯幅は金属種でほぼ決まる。 [D. E. Scaife, Sol. Energy, 25 (1980) 41.]

このため一段階励起型光触媒反応システムでは禁制帯内への不純物準位形成が研究されているが、価電子帯の上端電位を低下させ電子-正孔対の電荷再結合を増大化させてしまい、変換効率の向上が困難となっている。二段階励起型光触媒反応システムでは、酸化還元媒体となる試薬が不可欠、また試薬の酸化還元電位による応答波長の制限、電荷授受効率の改善が必要とされる。一方、太陽電池デバイスでは異なる禁制帯幅を持つ半導体材料の接合(ヘテロ接合)を利用することで効率的な光吸収、及び光励起キャリアの分離がエネルギー変換効率向上に繋がっている。このことから、ヘテロ接合構造の接合型・二段階励起光触媒への応用が期待される。

2. 研究の目的

本研究は、金属層を介して p 型と n 型の半導体を接合させることにより、光触媒の還元反応に用いる伝導帯下端の電極電位、及び酸化反応に用いる価電子帯上端の電極電位を制御する。半導体ヘテロ接合では互いの禁制帯内のフェルミレベルが一致するように価電子帯、導電帯がシフトする。一方、半導体ヘテロ接合界面に金属層が導入された場合では、互いの禁制帯内のフェルミレベルが、金属の仕事関数に応じた電極電位(化学ポテンシャル)に一致するように価電子帯、導電帯がシフトする。従ってヘテロ接合させる半導体と界面に導入する金属の組み合わせによって、光触媒反応に用いる伝導帯下端の電極電位、及び価電子帯上端の電極電位を制御することが期待される。

そこで本研究では、ヘテロ接合した半導体界面に金属層を導入し、p 型半導体の伝導帯下端の電極電位、及び n 型半導体の価電子帯上端の電極電位を制御する光触媒反応システムにおいて、その光触媒特性を評価することを目的とする。

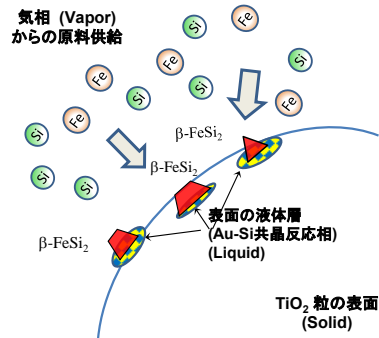
3. 研究の方法

近赤外領域(1300 nm)より短波長域で光応答可能な p 型半導体の鉄シリサイド(β -FeSi₂)と n 型半導体であるルチル型酸化チタン(TiO₂)とが金(Au)、銀(Ag)、及びその合金を介してヘテロ接合した光電極を作製して、金属層導入による電極電位変化を電気化学特性によって評価した。更にその複合粉末を用いた光触媒効果による水分解反応によって H₂、及び O₂ 生成を評価した。

β -FeSi₂ と TiO₂ とが Au 層を介してヘテロ接合した光電極システム、及び複合粉末は半導体プロセスの気相成長法で用いるスパッタ法で作製した。TiO₂ 単結晶の基板、及び単結晶を粉砕した粉末表面に 30~40nm の Au、Ag、及びその合金を室温で堆積し、スパッタ・チャンバーにセットした。ターゲットには Fe-Si 合金を用いてアルゴン(Ar)雰囲気下でスパッタを行い気相成長した。Si との共晶反応温度以上の成長温度において、表面の堆積金属と気相供給された Si との間で液相が形成される。この液相が β -FeSi₂ 相形成の起点となって、VLS (Vapor-Liquid-Solid) 成長機構(図 1)による結晶品質の高い島状結晶が合成することが知られている。

光電極試料は、三電極式の電気化学セルにセットして容量-電圧(C-V)測定を行った。対抗電極として白金(Pt)、参照電極として Ag|AgCl 電極を用いた。作用極の光電極試料のオーミック電極にインジウム(In)を用いて金属線を接続し、シリコンテープで表面のみが露出するようにマスクした。C-V 測定は VSP 電気化学測定システム(Biologic 社)により光電極と 1 M の Na₂SO₄ を溶解した電解液間の測定周波数 100Hz における容量を測定した。粉末試料は、閉鎖循環反応システム(幕張理科硝子製作所)を用いて評価した。50mg の粉末試料をパイレックス・ガラス製の反応セルにセットして 25ml の H₂O 中にスターラーにて攪拌した。反応系内を Ar ガスに置換した後に、紫外光(λ : 370~470 nm, 80 mW/cm²)を照射した後の系内ガスをガスクロマトグラフィーによって分析した。

図1. β -FeSi₂の気相-液相-固相(VLS)成長の模式図。
金(Au)をTiO₂表面にコートすることでAu-Si共晶
反応による液相が形成され、VLS成長機構にて β -
FeSi₂の島状単結晶が成長。



4. 研究成果

4-1) β -FeSi₂/Au/TiO₂光電極、及び半導体複合粒子の合成

図2(a)にスパッタ法にて厚さ40nmのAuをコートしたTiO₂(100)単結晶基板上に、成長温度600°C、650°C、700°C、及び750°Cで合成した試料のX線回折法による θ -2 θ スキャン・プロファイルを示す。気相ガスのSi/Feの供給比は、2.0で作製した。600°Cで合成した試料では、Fe-Si結晶相からの回折ピークが観察されず非晶質相形成が見られた。650°C以上の温度で合成した試料では、2 θ が29.1°において回折ピークが観察され、 β -FeSi₂相(ICDDデータ、No.71-0642)の202/220面に対応した。この β -FeSi₂相の202/220回折ピークは、合成温度の増加に伴うピーク強度の増大化が確認された。

図2(b)に40nmのAuをコートしたTiO₂粉末上に、成長温度600°C、650°C、710°C、及び800°Cで合成した試料のX線回折法による θ -2 θ スキャン・プロファイルを示す。気相ガスのSi/Feの供給比は、2.0で作製した。合成温度が600、650及び710°Cの試料では、2 θ が29.1°、48.8°及び49.4°において弱い回折ピークが観察され、それぞれ β -FeSi₂相(ICDDデータ、No.71-0642)の202/220、114、及び422面に対応し、堆積層は半導体相の β -FeSi₂のみで構成されることが示唆された。合成温度が800°Cの試料では、これらの β -FeSi₂相の回折ピークに加えて2 θ が17.24°に強い回折ピークが見られ金属相の α -FeSi₂相(ICDDデータ、No.71-0642)の001面に対応し、堆積層は β -FeSi₂と α -FeSi₂との混合相であることが示唆された。

AuをコートしないTiO₂表面に750°Cで合成した場合には、非晶質相が堆積するから、AuコートによるTiO₂単結晶、及び粉末表面への β -FeSi₂相合成の効果が確認された。これまでSi(100)基板表面に室温にて40nmのAu層を導入した後に気相成長法でFeとSiを供給すると、380°C以上の合成温度では α -FeSi₂、及び β -FeSi₂の混合相が形成すること、15nmのAuコートしたSi粉末表面に620-750°Cで気相合成した場合には β -FeSi₂相のみが合成することが報告されている。これら既往の報告では、導入したAuと基板Siとの間で共晶反応による液相が形成され、 β -FeSi₂相の形成に寄与すると提唱されているが、本研究結果から、TiO₂表面に導入したAuと気相供給によるSiとが共晶反応によって液相を形成し、 β -FeSi₂相の形成に寄与することが示唆された。

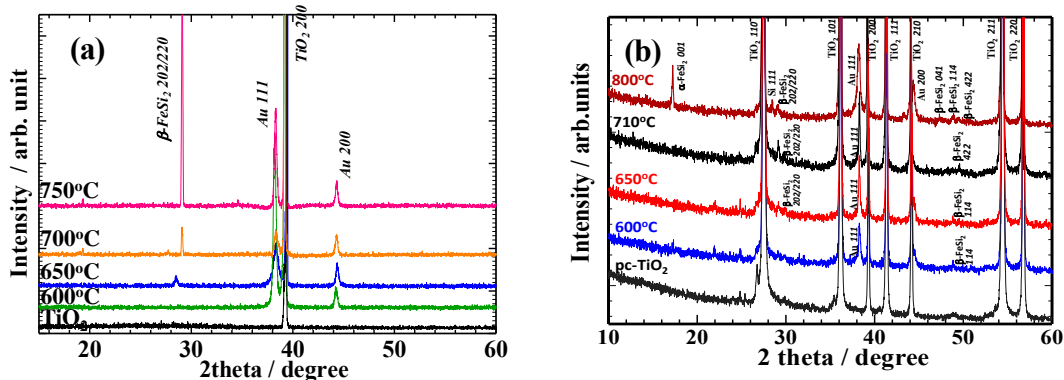


図2. (a) TiO₂(100)単結晶、(b) TiO₂粉末試料の表面に40nmのAu層をコートした後に、スパッタ法にてFe-Siを供給した試料のX線回折 θ -2 θ スキャン・プロファイルの温度依存。

図3にTiO₂粉末試料、及び40nmのAuをコートしたTiO₂粉末表面にスパッタ法でFe-Si供給して710°Cで合成した粉末試料の拡散反射法による吸収スペクトルを示す。吸収係数(α)は拡散反射スペクトルからKubelka-Munk式を用いて算出した。このスペクトルの内挿値からTiO₂の吸収立ち上がりは3.0eVであり、この材料の禁制帯幅(E_g: 3.0eV)に一致した。一方、スパッタ法でTiO₂粉末表面にFe-Si供給して合成した試料の吸収スペクトルから見積もられたE_gは約0.79eVであった。この値は、 β -FeSi₂の禁制帯幅(0.80eV)にほぼ一致する。この結果は、X線回折法によって示唆された β -FeSi₂単相の形成結果と一致する。

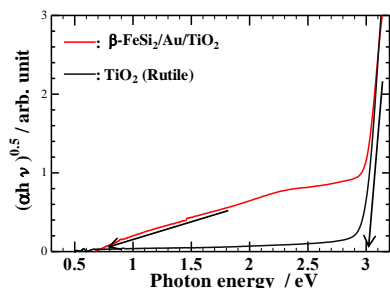


図 3. TiO₂ 粉末、及びスパッタ法にて 710°C で合成した β -FeSi₂/Au/TiO₂ 複合粉末の UV-vis-NIR 吸収スペクトル。粉末試料の拡散反射スペクトルから Kubelka-Munk 式で算出。

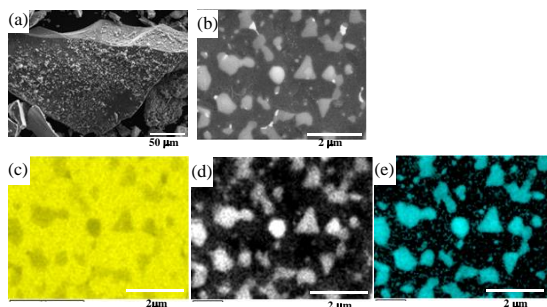


図 4. 40nm の Au をコートした TiO₂ 粉末にスパッタ法にて 710°C で合成した β -FeSi₂/Au/TiO₂ 複合粉末の (a), (b) SEM 像、及び (c) Ti K α , (d) Si K α , (e) Fe K α の EDS マップ像

図 4 に TiO₂ 粒子表面に予め 40nm の Au コー層を導入し、710°C でスパッタ法により気相からの Fe-Si 供給して合成した粉末試料の (a) (b) 二次電子 (SEM) 像、及びエネルギー分散 X 線分光分析 (EDS) による (c) Ti-K α , (d) Si-K α , (e) Fe-K α マッピング像を示す。試料は、スパッタ合成後に王水にて表面の Au をエッチング処理した後に観察した。SEM 像より 300 μ m 径の TiO₂ 表面に 0.5-1 μ m 径の粒子が確認され、EDS マッピング像より β -FeSi₂ 結晶が島状に分散してすることが確認された。

図 5 にこの試料における β -FeSi₂ 結晶と TiO₂ との接合断面の (a) (g) HAADF-STEM 像、EDS による (b) (h) O₂-K α , (c) (i) Si-K α , (d) (j) Ti-K α , (e) (k) Fe-K α , (f) (l) Au-M α マッピング像を示す。TiO₂ と β -FeSi₂ 結晶粒の界面に約 50nm の範囲で Au が観察され 5-20nm の Au 粒子で構成される様子が確認された。

報告者は Si(100) 基板上に Au 層を導入し、有機金属気相成長 (MOCVD) 法による気相成長法で β -FeSi₂ を合成すると結晶粒が 10 μ m 径と粗大化することを報告した。TiO₂ 粉末表面上においても、Au-Si 共晶反応による液相が 0.5-1 μ m を持つ β -FeSi₂ 結晶粒形成に寄与したと考える。

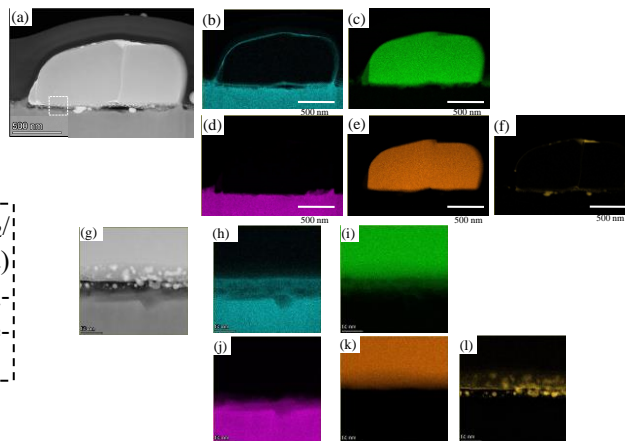


図 5. スパッタ法で 710°C で合成した β -FeSi₂/Au/TiO₂ 複合粉末試料のヘテロ界面の (a) (g) 断面 HAADF-STEM 像、及び (b) (h) O₂-K α , (c) (i) Si-K α , (d) (j) Ti-K α , (e) (k) Fe-K α , (f) (l) Au-M α の EDS マップ像。

4-2) β -FeSi₂/Au-(Ag)/TiO₂ 光電極の電気化学特性評価

図 6(a) に β -FeSi₂/Au/TiO₂ (100)、 β -FeSi₂/70%Au-30%Ag/TiO₂ (100)、 β -FeSi₂/50%Au-50%Ag/TiO₂ (100)、 β -FeSi₂/Ag/TiO₂ (100) 光電極試料について C-V 測定で得られた 1/C² の電位 (V) 依存性 (Mott-Schottky プロット) を示す。710°C でスパッタ合成した試料においていずれも TiO₂ (100) 単結晶基板上に島状 β -FeSi₂ 結晶の合成が確認された。界面に挿入した金属層が Au から 70%Au-30%Ag、50%Au-50%Ag、Ag へと変化するに伴い 1/C²=0 となる電位は 0.45V から 0.25V へと卑側にシフトした。この結果より光電極試料中の β -FeSi₂ の価電子帯 (VB) 上端、及び導電帯 (CB) 下端の模式図を図 6(b) に示す。

この結果は、半導体複合材料中の接合金属によって、水素発生光触媒 (β -FeSi₂) の価電子帯 (VB) 上端、及び導電帯 (CB) 下端の制御が可能となることを示唆する。同時にヘテロ接合している酸素発生光触媒 (TiO₂) の価電子帯 (VB) 上端、及び導電帯 (CB) 下端も変化すると考えられる。

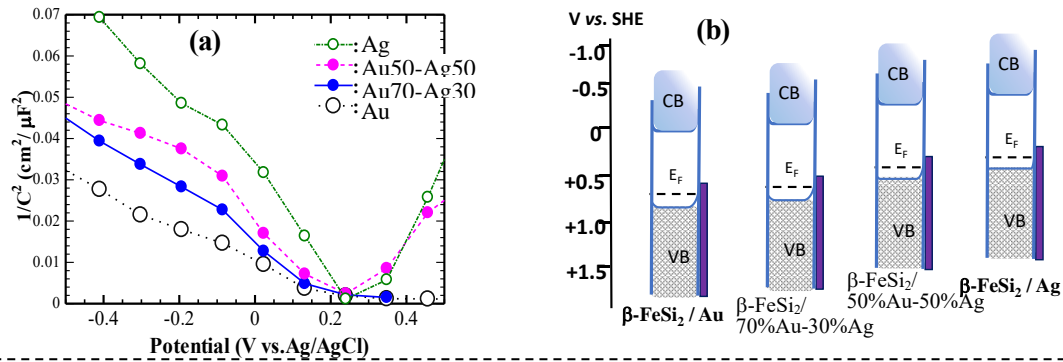


図 6. スパッタ法にて 710°C で合成した β -FeSi₂/Au/TiO₂、 β -FeSi₂/70%Au-30%Ag/TiO₂、 β -FeSi₂/50%Au-50%Ag/TiO₂、 β -FeSi₂/Ag/TiO₂ 光電極試料の(a) Mott-Schottky プロット図、及び β -FeSi₂ のバンド端電位の模式図。(%)は全て at%)

β -FeSi₂ と TiO₂ との複合粒子において、水素発生光触媒 (β -FeSi₂) 内で生成した電子が H₂O 還元で H₂ を発生し、酸素発生光触媒 (TiO₂) 内で生成した正孔が H₂O 酸化で O₂ を発生させる水分解反応が進行するには、 β -FeSi₂ 内の正孔と TiO₂ 内の電子を接合面で再結合させる必要がある。しかし、図 6(a) に示す Mott-Schottky プロットの結果は、1/C²=0 となる電位において β -FeSi₂、及び TiO₂ にて光励起された電荷 (電子、及び正孔) が電解液に流出することを示唆する。

この電荷リークを抑制するため光析出法を用いた接合部への酸化クロム (CrO_x) 絶縁層コートを検討した。クロムイオン (Cr⁶⁺) を生成する三酸化クロムと半導体複合粒子との水溶液にメタノールを添加して Cr(OH)_x を光析出させた後、350°C で 60min 大気中焼成を行い CrO_x 被覆層を形成した。

図 7 に CrO_x 層を被覆する前と後の β -FeSi₂/Au/TiO₂ 光電極試料の Mott-Schottky プロットを示す。CrO_x 層被覆処理した試料の 1/C² 極小値は、>0 となり電荷リークの抑制が示唆された。

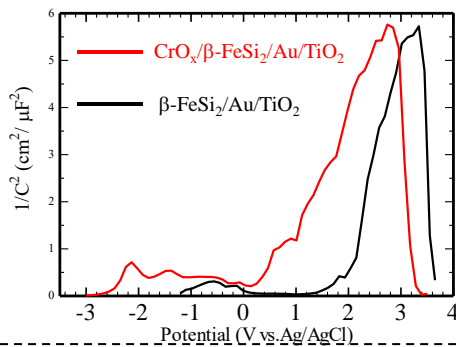


図 7. β -FeSi₂/Au/TiO₂ 光電極試料に CrO_x 層を被覆する前と後での C-V 特性の Mott-Schottky プロット図。

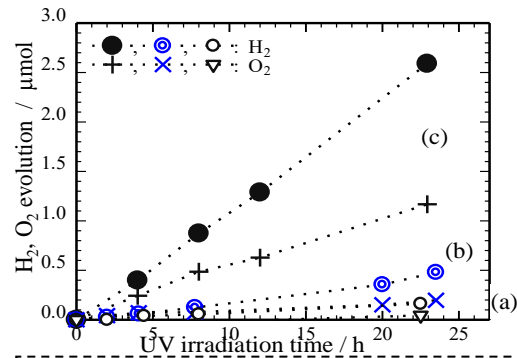


図 8. (a) β -FeSi₂/Au/TiO₂、(b) 0.2%Pt/ β -FeSi₂/Au/TiO₂、及び (c) 4%CrO_x/0.2%Pt/ β -FeSi₂/Au/TiO₂ 複合粉末を純水中で UV 光照射して発生した H₂、及び O₂ の照射時間依存。

4-3) β -FeSi₂/Au/TiO₂ 半導体複合粒子の光触媒特性評価

これらの結果を受けて、 β -FeSi₂/Au/TiO₂ 複合粒子を用いた光触媒効果による水分解反応を検討した。図 8 に β -FeSi₂/Au/TiO₂、0.2%Pt/ β -FeSi₂/Au/TiO₂、4%CrO_x/0.2%Pt/ β -FeSi₂/Au/TiO₂ 複合粒子を 50mg と 25ml の純水をパイレックス・ガラス製のセルに投入した後に Ar 換気し、スターラー攪拌中に高圧水銀ランプでの UV 光 (λ : 370–470 nm, 80 mW/cm²) 照射した際の、発生 H₂、及び O₂ 量の照射時間変化を示す。0.2%の Pt は塩化水和酸物を出発材料としてホルムアルデヒドと共に β -FeSi₂/Au/TiO₂ 複合粒子の水溶液中に添加し、 $\lambda > 500$ nm の光照射することで β -FeSi₂ 表面に光析出させた。

いずれの試料においても、H₂ と O₂ の発生量は 2:1 を維持しながら UV 光照射時間に比例して増加し、光触媒効果による水分解反応による生成が示唆された。0.2%Pt の担持によって約 2 倍の発生量の増加が得られた。一方 0.2%Pt、及び 4%CrO_x 被覆によって約 10 倍の発生量の増加が得られた。光電極試料での電気化学評価結果を考え合わせると、 β -FeSi₂ と TiO₂ 接合部分を絶縁層の CrO_x で被覆することが光励起電荷のリーク抑制に有効であり、光触媒効果による水分解反応速度を向上に繋がったと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Atsuo Katagiri, Shota Ogawa, Takao Shimizu, Masaaki Matsushima, Kensuke Akiyama, Hiroshi Uchida, Hiroshi Funakubo	4. 巻 59
2. 論文標題 Epitaxial growth of Mg ₂ Si films on (111) Si substrates covered with epitaxial SiC layers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SF1001 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/1347-4065/ab65b0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 P.S. Sankara Rama Krishnan, Anna N. Morozovska, Eugene A. Eliseev, Shota Ogawa, Atsuo Katagiri, Masaaki Matsushima, Kensuke Akiyama, Hiroshi Uchida, Hiroshi Funakubo	4. 巻 7
2. 論文標題 Kinetics of Interfacial Microstructural Variation across Insulator-Thermoelectric Semiconductor interface and its Effects on Thermoelectric Properties of Magnesium Silicide Thin Films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materialia	6. 最初と最後の頁 100375-100378
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.mtla.2019.100375	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kensuke Akiyama, Sakiko Nojima, Yuko Ito, Mikio Ushiyama, Tetsuya Okuda, Hiroshi Irie	4. 巻 43
2. 論文標題 Synthesis of a Gold-Inserted Iron Disilicide and Rutile Titanium Dioxide Heterojunction Photocatalyst via the Vapor-Liquid-Solid Method and Its Water-Splitting Reaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 38744-38751
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsomega.2c04360	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kensuke Akiyama, Masaru Itakura	4. 巻 62
2. 論文標題 Luminescent iron disilicide film growth by metal-organic chemical vapor Deposition	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SI1002 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/acb952	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 秋山賢輔、舟窪浩
2. 発表標題 ドーピングした鉄シリサイド膜のフォトルミネッセンス発光特性
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋山賢輔、入江寛
2. 発表標題 ルチル酸化チタンと鉄シリサイドが接合した光触媒複合粉末への水素発生助触媒担持の検討
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋山賢輔、本泉佑、長沼康弘、舟窪浩、入江寛
2. 発表標題 -FeSi ₂ / TiO ₂ 複合粒子の作製条件と光触媒効果による水分解特性
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋山賢輔、本泉佑、長沼康弘、入江寛
2. 発表標題 鉄シリサイド / ルチル型酸化チタン複合粒子の光触媒効果による水分解
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Katagiri, M. Uehara, T. Shimizu, M. Matsushima, K. Akiyama, H. Uchida, Y. Kimura, H. Funakubo
2. 発表標題 Preparation of Mg ₂ Si-based thin films and these properties
3. 学会等名 The Fifth Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Akiyama, R. Takahashi and H. Funakubo
2. 発表標題 Growth and photoluminescence properties of P-doped α -FeSi ₂
3. 学会等名 SPIE Photonics West 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋山賢輔、野島咲子、高橋亮、舟窪浩
2. 発表標題 リン(P)ドーピングした鉄シリサイドのPL発光特性
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秋山賢輔、奥田徹也、伊藤裕子、牛島幹夫、長沼康弘、入江寛
2. 発表標題 α -FeSi ₂ /TiO ₂ 複合粒子の光触媒効果に及ぼす還元反応助触媒及びCrO _x 被覆層の影響
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Akiyama, H. Funakubo
2. 発表標題 Luminescent Epitaxial -FeSi ₂ Film Growth by MOCVD
3. 学会等名 43ed International Symposium on Dry Process (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋山賢輔、奥田徹也、入江寛
2. 発表標題 光触媒効果による水分解に向けたTa ₃ N ₅ と -FeSi ₂ の複合粒子合成
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋山賢輔、長沼康弘、奥田徹也、入江 寛
2. 発表標題 鉄シリサイド / 窒化タンタル複合粒子の光触媒効果による水分解
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 光触媒複合材料	発明者 秋山賢輔	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-1295	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 光触媒複合材料	発明者 秋山賢輔	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-9205	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

神奈川県立産業技術総合研究所 研究成果
<https://www.kistec.jp/research/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	祖父江 和治 (Sobue Kazuharu) (10426413)	地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所・化学技術 部・主任研究員 (82718)	
研究分担者	高橋 亮 (Takahashi Ryo) (00426404)	地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所・化学技術 部・主任研究員 (82718)	
研究分担者	国松 昌幸 (Kunimatsu Masayuki) (20426414)	地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所・化学技術 部・主任研究員 (82718)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------