

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 17 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25790013

研究課題名(和文) ナノ多孔質半導体の表面および構造因子と色素増感電子移動特性の相関解明および制御

研究課題名(英文) Study and control of electron transfer in mesoporous semiconductor in terms of surface and morphology in dye-sensitized solar cells

研究代表者

米谷 真人(Maitani, Masato)

東京大学・先端科学技術研究センター・特任准教授

研究者番号：40578647

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：酸化チタンメソポーラス薄膜における電子移動特性について、露出結晶面を制御することによる表面構造制御および粒子形状制御、さらには異方性粒子の配向制御による色素増感太陽電池内での制御因子を解明した。さらには色素増感太陽電池の高効率化を目指す鍵因子である、色素/酸化チタン界面での電子注入、逆電子移動、電子輸送特性について、酸化チタンの露出結晶面により制御することが可能であることを提案した。

さらには、この知見を応用して、当初研究提案にはなかった色素増感太陽電池の次の世代でありかつ高効率な特性で注目される塗布型のペロブスカイト太陽電池において、高効率因子となる界面特性の解明へと展開した。

研究成果の概要(英文)：I revealed the key elements determining the electron transport properties in dye-sensitized solar cells by applying the control of exposed facet, nanoparticle morphology, and meso-porous construction with oriented anisotropic nano-sheets. I further applied these understandings to the control of electron transport, such as carrier injection, recombination, and transport in meso-porous TiO₂ by controlling exposed facet to improve the conversion efficiency of dye-sensitized solar cells.

These researches were extensively applied to the perovskite solar cells as the next-generation printable solar cells with high efficiency, which was not included in the proposal, in order to reveal the key elements of higher performances.

研究分野：表面化学、光電変換デバイス

キーワード：酸化物半導体 ナノ粒子 表面制御 電子移動 光電変換デバイス 色素増感太陽電池 ペロブスカイト太陽電池 ナノ構造制御

1. 研究開始当初の背景

DSSC において、20 年近くにおよぶ系の最適化により、12% を超える光電変換効率が確立されている。この高い変換効率は、 TiO_2 により形成されるナノポーラス構造電極に色素を担持させ、ヨウ素レドックス電解質と Pt 対極とにより構築した系において、入射光子に対する電子取り出し収率である IPCE に関わる、5 つの因子の収率が色素の吸収域 (400 ~ 700nm) において、それぞれ 100% に近いことに起因している。一方、太陽電池の最大出力での変換効率 (セル変換効率) は短絡電流: J_{sc} と開放電圧: V_{oc} さらに曲線因子: FF の積であり、更なる高効率化には、それぞれの値の向上が必要である。短絡電流の向上に対しては IPCE の積分領域の拡大が重要で、この方法として色素の光吸収領域の増大が色素開発の中心である。一方、開放電圧についてはレドックスポテンシャル: E_{redox} と TiO_2 内の擬フェルミレベル: E_{qf} のポテンシャル差で決定されるため、擬フェルミレベルの向上を目指す TiO_2 伝導帯のチューニング、また、コバルト系などヨウ素より酸化側に E_{redox} をシフトさせることによる V_{oc} の向上が報告されている。しかし、これまで提案されてきた色素および電解質の開発においていくつかの課題も指摘されてきた。

2. 研究の目的

これらの解決手段として、本提案では結晶面比率とモルフォロジの制御による TiO_2 電極特性の最適構造を構築する。本研究の目的を、アナターゼ型 TiO_2 でも従来から用いられてきた 最安定面である (101) とそれに代わり、より高活性面である (001) (010) ファセット面の比率制御、異方性 TiO_2 結晶を利用した TiO_2 ナノ粒子の配向制御と秩序構造形成とによる、自在な電子移動制御とする。近年この (001) 面を露出した TiO_2 ナノ粒子を用いる DSSC の研究がいくつか報告され、光電変換特性が従来 TiO_2 に比べ大きく向上する結果、あるいは逆に低下する結果が報告されており、これらの詳細な原因および電子移動特性については十分な解析がなされていない。提案者は、これまでに、この系において電子移動特性、特に TiO_2 内の電子拡散と逆電子移動特性に着目して解析した結果、逆電子移動が阻害され、 TiO_2 内の電子寿命が一桁程度向上することを見いだしている。しかしながら、特性の報告例の矛盾に関しては粒子間のネッキング、粒子配向などのモルフォロジに起因する電子拡散特性、および表面特性すなわち準安定面である (001) 面をどのように形成するかが色素の吸着状態を変化させ、電子注入特性に影響を及ぼしていることが事前研究より示唆されている。さらには、既に確認している注入特性向上の結果についても、必ずしも全ての色素に当てはまるわけではないことが明らかになってきており、色素が TiO_2 と結合するリンカー種と TiO_2 表面との結合様式や吸着平衡定数などの最適

系の探索が必須であることが理論的解析からも指摘されている。

この様に、アナターゼ結晶面比率を変化させることにより、ファセット面比率とモルフォロジを制御することが可能であることから、変換効率に関わる電子注入効率、電子捕集効率、さらにはレドックス拡散向上による、色素再還元収率、レドックス再還元収率、と多くの効率因子を制御することができる。しかしながら、DSSC の電極についての TiO_2 は多くの研究で 20nm 程度の同様のナノ粒子が用いられているか、あるいは無機材料化学的興味による新規合成と DSSC への応用にとどまる研究が大半であり、本提案の目的である結晶面比率とモルフォロジによる明確な TiO_2 電極構造の分類と電子移動特性評価は、学術的に極めて重要であり、かつ、さらにその結晶特性の理解に裏打ちされた、DSSC における高電子移動特性を達成する新規電極設計の指針を打ち出すという点においては工学的にも重要かつ独創的な研究である。

3. 研究の方法

本提案の中心としてはアナターゼ型 TiO_2 の (101) (001) (010) 面の面比率を制御することで、結晶面比率とモルフォロジ因子を明確に分離した、 TiO_2 電極構造を形成すること、さらにこれにより DSSC デバイス形成と特性評価および表面化学的解析を行うことにある。事前研究により既に形成方法を確立している三種類のアナターゼ型 TiO_2 表面を用い、結晶面による電子移動特性への影響を、モルフォロジ因子と分離して抽出する。初年度は、(101) および (001) 面について研究の中心をおき、二年目以降に (010) 面を含めた評価へと拡張し、研究後半では異方性材料の配向制御による TiO_2 膜形成と、知見を基に効率的電子移動を達成する TiO_2 電極の新設計指針を確立する。事前研究により既に確立している本提案で用いる三種の TiO_2 表面形成方法を以下説明する。

(1) ナノ粒子ペーストの塗布焼結 TiO_2 基板

ナノ粒子の形成とペースト形成と塗布・焼成法は、従来から用いられている TiO_2 ナノ多孔質電極の一般的調整方法で、ラフネスファクタが ~1000 の広面積に色素吸着させることで高い光吸収効率 (~100%) を得ることができる。(001) 面を優先的に露出させる方法として、フッ化水素酸濃度を変化させることで、30~70% の (001) 表面を持つ板状のアナターゼ TiO_2 ナノ粒子を合成している。さらに (001) 面が 30% と 70% の TiO_2 において塗布・焼結により、同一膜厚においてほぼ同等のラフネスファクターと光透過率を呈する TiO_2 電極の調整に成功しており、このペースト調整条件を各 (001) 面比率のナノ粒子において適用することにより、モルフォロジ制御を行う。(001) 面比率、膜厚、ラフネス、空孔率をパラメータとして、DSSC での電子移動特性を評価する。

(2) 単結晶 TiO_2 による原子表面基板

分光学的およびプローブ顕微鏡を用いた表面化学的解析に用いる表面として、アナターゼ型単結晶基板を研磨・焼成し、TiO₂(101)および(001)原子表面を形成している。これを用いて色素の吸着形態、結合様式等を解析することが目的である。

(3)単結晶 TiO₂の導電性基板上直接成長基板方法(1)では、TiO₂結晶界面での電子移動およびナノ細孔でのレドック拡散への影響が大きく、結晶面による影響因子を抽出するには困難を要する。従ってより単純な系として、単結晶ナノ粒子が導電性基板上へ直接成長した電極を用いることにより電子拡散、レドックス拡散の影響を排除した。

4. 研究成果

(1)結晶面露出制御微粒子酸化チタンによる電子移動制御

近年提案者は、高活性(001)面の比率を制御した均一アナターゼ型 TiO₂ ナノ粒子を合成し、(001)面比率の向上に伴い、色素から TiO₂ への電子注入速度定数が一桁以上向上することを見出しており。これを色素増感太陽電池およびペロブスカイト太陽電池へ導入することによる電子移動制御技術の開拓を目的として検討を行った。

色素増感太陽電池

色素増感太陽電池において、{001}結晶面比率の異なる酸化チタンを合成し(Figure 1)これをn型半導体として導入した系において、電子移動特性および酸化チタンの電子物性(バンド構造、トラップ準位)について詳細に解析した。合成した酸化チタンナノ粒子は、微結晶の幾何学的構成より、{001}結晶面比率がそれぞれ、65%および、5%以下と考えられる。

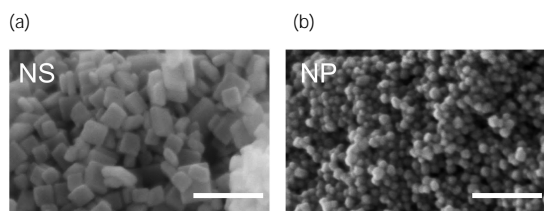
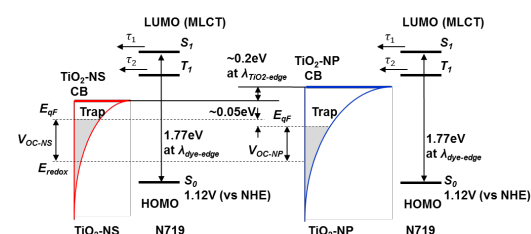


Figure 1 SEM images of NS and NP TiO₂. Scale bar indicates a 100nm.

この酸化チタンを用いて色素増感太陽電池を一般に用いられる有機ルテニウム金属錯体(N719)を色素として担持した系にてヨウ素電解質とPt対極とで併せて封止することで作成した。この太陽電池のコンダクションバンド下端に位置するトラップ密度およびコンダクションバンドの位置をそれぞれ、電荷収集法および光吸収によるバンドギャップ測定、および光電気化学的測定によるトラップ準位の電気化学ポテンシャル測定により見積もった(Scheme1)。これにより、色素増感太陽電池内に配置された酸化チタンのコンダクションバンドはそれぞれの酸化チタンで違い、およそ0.2eV低いために、電荷の注入速度の向上が{001}面選択的酸化

チタンにより見込まれることが予想される。一方、光誘起電子移動過程における、色素カチオン生成に伴うサブピコ秒過渡吸収測定により注入速度は、必ずしも{001}面選択的酸化チタンにより向上するだけでなく、酸化チタン内コンダクションバンド下端でのトラップ密度の違いの影響も受け、結果として、それぞれの系で同程度の電子注入速度定数であることが示された。



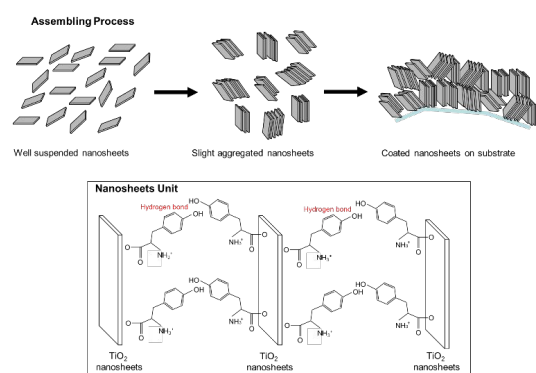
Scheme 1. Energy diagram of DSSC with NS (left) and NP(right) in LiI electrolyte.

一方、電解質内の共存物質、特にイミダゾリウムカチオンの酸化チタン上への吸着にともなう、酸化チタントラップ準位およびコンダクションバンドのエネルギー準位の変化を確認するとともに、この変化が露出結晶面により変わることが明らかとなった。従って、イミダゾリウムの電解質中への導入により、酸化チタンのコンダクションバンドの位置が{001}面選択的酸化チタンにより、より低エネルギー側へシフトするため、この結果、{001}面選択的酸化チタンを用いることで、過渡吸収測定によっても明確な注入速度の向上が示された。

さらには、電子拡散および電子再結合の速度定数についても、電流電圧過渡応答測定により見積もることで、{001}面選択的酸化チタンを用いることで、10倍程度の遅い再結合速度定数を示した。一方で、酸化チタン内の電子拡散速度定数についても10倍以上遅いことが明らかとなった。最終的には、デバイスとして、この電子拡散速度定数の向上を目指して、粒子間の接合性を向上させるための、四塩化チタン溶液による酸化チタン電極の処理を行うことで、この粒子間接合が向上し、結果として光電変換特性として従来型の酸化チタン粒子を用いた系に比べて効率の向上が{001}面選択的酸化チタンを用いることにより示された。

次に、この{001}面選択的酸化チタンを用いる色素増感太陽電池において、電子拡散速度定数の向上を目指して、板状形状を有するこの異方性粒子の配向を制御する手法の開発へ展開した。酸化チタン微粒子表面を有機アミノ酸により被覆することで、表面の静電的相互作用、分子間水素結合、疎水性相互作用を制御することで、板状微粒子が積層することを確認した(Scheme2)。これを用いて塗布法によって、微粒子を基板に対して、板状結晶が垂直方向へと配向した薄膜を形成する手法を確立した。この薄膜を用いて色素

増感太陽電池を形成し、薄膜内の電子拡散速度を測定したところ、4 倍程度の促進を確認した。



Scheme 2. Plausible mechanism of self-oriented TiO₂ nanosheets for nonparallel orientation by the printing process proposed in this study.

ペロブスカイト太陽電池

次に、この {001} 結晶面比率の異なる酸化チタンを比率が 5 ~ 74% となるように、種々合成し、これを n 型半導体としてペロブスカイト太陽電池に導入した系において、電子移動特性および酸化チタンの電子物性（バンド構造、トラップ準位）について詳細に解析した。合成した酸化チタンナノ粒子は、微結晶の幾何学的構成より、{001} 結晶面比率がそれぞれ、74、56、38% および、5% 以下と考えられる。この粒子をペースト化して基材にスピン塗布することにより、同一の膜厚にて、さらに既法によるペロブスカイト太陽電池の形成と、デバイス特性評価を行い、さらに電気化学インピーダンス測定から電子移動特性を明らかにした。

この一連の結果より、ペロブスカイト太陽電池系においても同様に、酸化チタンコンダクションバンドの低エネルギーシフトにとともに、電子注入特性の向上および、電子再結合速度の低減が示唆される結果を得た。さらには、この電子再結合特性が酸化チタン内のトラップ密度およびエネルギーレベルに起因することを示唆する結果を、酸化チタンのトラップ密度測定結果と、電気化学インピーダンス測定による逆電子移動抵抗の序列が一致することから、提案した。

次に、酸化チタン微結晶の配向特性は、薄膜のメソポーラス構造内に形成されるペロブスカイト結晶の配向およびネットワーク構造に影響を与えると考えて、上記配向制御膜を Scaffold として用いてペロブスカイト太陽電池を形成し、デバイス特性と、ペロブスカイト結晶の配向、さらには電子移動特性について検証した。結果から、酸化チタン薄膜のナノモルフォロジ構造に影響を受けた、ペロブスカイト微結晶の配向制御と考えられる結果を得た。さらには、この微結晶の配向と Scaffold 上に形成されるキャッピング層との配向の整合性が合わないほうが、逆電子移動が阻害されるとの提案を行った。結果として、微結晶が垂直方向に配向するように

Scaffold 構造を制御した酸化チタン薄膜で最も高いデバイス特性を得た。

(2) 単結晶を用いた酸化チタン露出結晶面による界面制御

二つ目の検討として、微結晶構造では難しい、酸化チタン表面での分子の結合状態や配向に関連する知見を得るために、単結晶酸化チタンをモデル系としてこの表面に分子を吸着させ表面分析による解析と、デバイスレベルで得られる結果との関連の理解を試みた。

まず、色素増感太陽電池において、色素分子の吸着溶媒はデバイス特性を決定する重要因子であるにも関わらず、そのデバイスに与える影響の機構については十分知られていない。そこで、配向制御が重要であり、かつ近年高効率化で注目される D-Pi-A 系有機色素の溶媒（ジクロロメタンおよびアセトニトリル/*t*-ブタノール混合溶媒）の二種の溶媒により吸着させた色素の酸化チタン表面上での吸着形態を、アナターゼ型酸化チタン単結晶上での X 線光電子分光法（XPS）により解析を行った。この系において、角度分解 XPS により、それぞれの溶媒で吸着させた分子が、一方では垂直に近い形態で吸着しているにもかかわらず、他方の溶媒では、基材に対し並行に近い状態で吸着していることを明らかにした。さらには、これにより、電子注入特性が影響を受けてデバイス特性を決定する因子になりうることを明らかにした。

次に同様の手法をペロブスカイト太陽電池系に展開した。方法として、塩化物前駆体として用いるペロブスカイト太陽電池では、その効果が種々提案されているが、実験的に酸化チタン上のペロブスカイト/酸化チタン界面の詳細な情報は明らかでない。従って、この塩化物効果について、特に、その結晶面依存性を明らかにする目的で、結晶面の違うルチル酸化チタン単結晶上にペロブスカイト薄膜を作成し、これを溶媒にて剥離することで、酸化チタン上に残留する成分について、検証した。結果として、ペロブスカイト薄膜が除去されているにも関わらず、Pb および Cl の酸化チタン表面への吸着を XPS により観測した。さらには、結晶面に依存して、吸着量の違いを観測し、これは結晶面により特に配位不飽和な Ti の表面密度に依存して Cl 吸着量が変化していることおよび、Cl-Ti の吸着強度に依存していることを明らかにした。さらには、この Cl により Pb の吸着量が変化するため、Cl はペロブスカイト結晶と酸化チタンとの接合性を向上させることに重要であることを提案した。さらには、酸化チタンのトラップ密度についても、この Cl を導入することで Pb の吸着量が増加し、それによりトラップ密度が減少することを明らかにした。

(3) 単結晶 TiO₂ の導電性基板上直接成長

単結晶の {001} 面を大きく露出した、板状酸化チタン粒子を直接基板上に形成し、色

素増感太陽電池へと応用する試みを行った。特に、この基板上への析出過程は十分に理解されておらず、単純にランダムな配向を形成すると考えられていた。しかしながら、基材の結晶面に対して、結晶の成長方向が完全に制御させることを始めて観測した。さらには、基材の露出結晶面方位を任意に設定することで、形成される板状酸化チタン結晶の成長方位が自在に制御可能であることを提案した (Figure 2)。この知見を用いて、ルチル酸化チタンのナノワイヤを形成し、そこに板状のアナターゼ結晶を配向させて形成する手法を提案し、多階層構造を有する酸化チタンナノ構造体をヘテロ結晶構造エピタキシャル成長により形成できることを提案した。

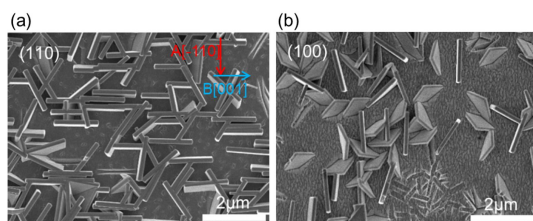


Figure 2 (a) The analysis of AR-XPS of single crystalline anatase TiO₂ (101) after dye-sensitizer adoption either in DCM or tBA/AN based solution and (b) acceptable orientation of dye-sensitizer based on the analysis of AR-XPS of single crystalline anatase TiO₂ (101) after dye-sensitizer adoption either in DCM or tBA/AN based solution.

この様に、酸化チタンは、次世代塗布型太陽電池の形成に広く用いられ、特にその表面に露出する結晶面と、モルフォロジを制御は、電子移動物性および、界面形成の化学において重要であることが明らかとなった。また、電子移動特性の優れた結晶面を選択的に露出する電極構造を設計することで、色素増感太陽電池、さらには近年注目されているペロブスカイト太陽電池において、単なる効率向上のみならず、本提案の本来の目的である結晶面比率とモルフォロジによる明確な TiO₂ 電極構造の分類と電子移動特性の解明は、学術的に極めて重要である。本研究より明らかとなった、酸化チタン電極の結晶・表面特性の理解に裏打ちされた、高電子移動特性を達成する新規電極設計の指針は、色素増感太陽電池およびペロブスカイト太陽電池の高効率化技術へと応用展開されると考えられ、工学的にも重要かつ独創的な成果が獲られたと考える。

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 2 6 件)

Masato M. Maitani, Takuya Yamada, Naonori Mashiko, Kohei Yoshimatsu, Takatoshi Oshima, Akira Ohtomo, Yuji Wada, Microwave effects on Co-Pi co-catalysis

deposited on γ -Fe₂O₃ for application to photo-catalytic oxygen evolution, ACS Appl. Mater. Interf., 査読有、9、2017、10349-10354.

Masato M. Maitani, Daikichi Iso, Junbeom Kim, Shuntaro Tsubaki, Yuji Wada, Microwave Application to Efficient Annealing Process of CH₃NH₃PbI₃ Perovskite Crystalline Films, Electrochemistry, 査読有、2017、accepted.

Masato M. Maitani, Hirokazu Sato, Aoi Ohmura, Shuntaro Tsubaki, Yuji Wada, Crystalline orientation control by self-assembled TiO₂ nanosheet scaffold for improvement of CH₃NH₃PbI₃ perovskite solar cells, Jap. J. Appl. Phys., 査読有、2017、accepted.

Masato M. Maitani, Yohei Tsukushi, Niklas D. J. Hansen, Yuka Sato, Dai Mochizuki, Eiichi Suzuki, Yuji Wada, Low-temperature Annealing of Mesoscopic TiO₂ Films by Interfacial Microwave Heating Applied to Efficiency Improvement of Dye-sensitized Solar Cells. Solar Energy Materials & Solar Cells, 査読有、147、2016、198-202.

Masato M. Maitani, Conghong Zhan, Dai Mochizuki, Eiichi Suzuki, Yuji Wada, Influence of Co-existing Species on Charge Transfer in Dye-sensitized Nanocrystalline Oxide Semiconductors in Aqueous Suspension for H₂ Evolution under Visible Light, Appl. Catal. B, 査読有、147、2014、770-778

Masato M. Maitani, Conghong Zhan, Dai Mochizuki, Eiichi Suzuki, Yuji Wada, The pH-dependence enhancement of electron transfer by {001} facet-dominating TiO₂ nanoparticles for photocatalytic H₂ evolution under visible irradiation, Catal. Sci. Tech., 査読有、4、2014、871-877

Masato M. Maitani, Tomoharu Inoue, Yohei Tsukushi, Niklas D. J. Hansen, Dai Mochizuki, Eiichi Suzuki, Yuji Wada, Collaborational Effect of Heterolitic Layered Configuration for Enhancement of Microwave Heating, Chem. Commun. 査読有、49、2013、10841

ほか

[学会発表](計 7 6 件)

米谷真人, 豎山瑛人, 新田明央, 瀬川浩司, 大谷文章, 和田雄二, 有機無機ハイブリッドペロブスカイトの組成による金属酸化物 Scaffold の電子トラップへの影響、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、2017/3/16 ~ 19、横浜

Masato Maitani, Akito Tateyama, Hiroshi Segawa, Yuji Wada, Interface Engineering by Facet Controlled TiO₂ for CH₃NH₃PbI₃ perovskite solar cell, Asia Pacific Hybrid

and Organic Photovoltaics Conference AP-HOPV17、2017/2/2~4、Yokohama, Japan

米谷真人, 新田明央, 榎淵耕平, 瀬川浩司, 和田雄二, 大谷文章, 結晶面選択酸化チタンの電子物性と塗布型太陽電池特性との相関、固体表面光化学討論会、2016/11/22、室蘭

Masato Maitani, Facet Effects of Oxide Scaffold in Perovskite Solar Cells、4th International Conference on Electronic Materials and Nanotechnology for Green Environment、2016/11/5、Jeju, Korea

Masato Maitani, Akio Nitta, Kohei Kashibuchi, Mulmudi Hemant Kumar, Pablo P. Boix, Nripan Mathews, Hiroshi Segawa, Yuji Wada, Bunsho Ohtani, Carrier Transport of Perovskite Solar Cells Controlled by Exposed Facet of Oxide Scaffold、PVSEC-26、2016/10/25~28、Singapore

米谷真人, 新田明央, 榎淵耕平, 瀬川浩司, 和田雄二, 大谷文章, 結晶面選択的酸化チタンナノ粒子のトラップ評価と光電変換デバイスでの電子移動特性に対する影響、2016年光化学討論会、2016/9/6~8、東京

Masato Maitani, Hiroshi Segawa, Yuji Wada, Interface Effects of Titania Meso-scaffold on Carrier Transport in Perovskite Solar Cells、HOPV-16、2016、6/30、Swansea, UK

Masato Maitani, Facet Effects of Titania Controlling Characteristics of Printable Solar Cells、有機系太陽電池と関連材料ワークショップ、2016/3/2、長野

米谷真人, 野山 瑛人, 大村 葵, 榎 俊太郎, 鈴木 榮一, 瀬川 浩司, 和田 雄二、有機・無機ハイブリッドペロブスカイト太陽電池の Scaffold 酸化物の結晶面効果、第 63 回応用物理学会春季学術講演会、2016/3/19~22、東京

Masato Maitani, Yuji Wada, Interfacial Effects on Perovskite Solar Cells、Energy Materials and Nanotechnology、2016/1/18、Hong Kong

Masato Maitani, Yuji Wada, Effects of facet-controlled oxide scaffold for crystallinity of CH₃NH₃PbI₃ in perovskite solar cells、International Conference on Hybrid and Organic Photovoltaics(HOPV)、2015/5/10~13、Rome, Italy

米谷真人, 渡邊藍子, 望月大, 鈴木榮一, 和田雄二、ペロブスカイト太陽電池におけるメソポーラス酸化物半導体の結晶面効果、日本化学会第 95 春季年会、2015/3/27、船橋

米谷真人, 望月 大, 鈴木 榮一, 和田 雄二、ペロブスカイト太陽電池の酸化物 scaffold 結晶面による影響、電気化学会第 82 回大会、2015/3/16、横浜

Masato Maitani, Yuji Wada, Facet and Morphology of TiO₂ for Controlling Electron Transfer in Dye-sensitized Solar Cells、The 19th International Conference

on Semiconductor Photocatalysis & Solar Energy Conversion (SPASEC-19)2014/11/17、San Diego, USA

ほか

〔図書〕(計 2 件)

米谷真人, マイクロ波加熱による迅速ナノ界面形成と薄膜機能材料への展開, マイクロ波加熱の基礎と産業応用事例, 福島英沖, 吉川昇 ed. R&D 支援センター, 2017

Yuji Wada, Dai Mochizuki, Taishi Ano, Masato M. Maitani, Shuntaro Tsubaki, Naoto Haneishi, Ch 3. Chemical Reactions on the Interfaces of solids under microwaves、Microwave Chemistry -Microwaves Changed the Way in Chemical Laboratory- Giancarlo Cravotto ed. De Gruyter (Berlin)、2017

〔産業財産権〕

出願状況(計 3 件)

名称: 複合体の加熱方法、複合体の加熱装置及び光電変換素子

発明者: 米谷 真人, 瀬川浩司, 和田 雄二, 榎俊太郎

権利者: 東京大学、東京工業大学

種類: 特願

番号: 2017-039556

出願年月日: 2017/03/02

国内外の別: 国内

ほか

取得状況(計 1 件)

名称: 複合体の加熱方法と加熱装置、触媒反応装置、並びに、触媒ユニットとその製造方法

発明者: 米谷真人, 井上智晴, 和田雄二

権利者: 東京工業大学

種類: 特許

番号: 2016-028587

取得年月日: 2016/02/18

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

http://www.rcast.u-tokyo.ac.jp/research/people/staff-maitani_masato_ja.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

米谷 真人 (MAITANI, Masato)

東京大学・先端科学技術研究センター・

特任准教授

研究者番号: 40578647

(4) 研究協力者

高橋 孝志 (TAKAHASHI, Takashi)

布施 新一郎 (FUSE, Shin-ichiro)

増井 悠 (MASUI, Hisashi)

和田 雄二 (WADA, Yuji)

豊田 太郎 (TOYODA, Taro)

沈 青 (SHEN, Qing)

大谷 文章 (OHTANI, Bunsho)

瀬川 浩司 (SEGAWA, Hiroshi)

久保 貴哉 (KUBO, Takaya)