

令和元年6月26日現在

機関番号：57103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06759

研究課題名(和文) 低温プラズマ・イオン注入複合処理による高効率有機無機ハイブリッド太陽電池の開発

研究課題名(英文) Development of High Efficiency Organic Inorganic Hybrid Photovoltaic Cells by (Low-temperature Plasma/Ion-implantation) Composite Processing

研究代表者

山根 大和 (Yamane, Hirokazu)

北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科・教授

研究者番号：70332096

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、物理的複合処理法である低温プラズマ処理法やイオン注入法を用いたチオンとアニオンのコドーブ処理技術の開発によりペロブスカイトや酸化チタン表面・界面ナノ構造を制御することで、有機無機ハイブリッド太陽電池の光電変換効率を向上させるための表面・界面特性や表面バンド構造の最適化を図ることを検討した。ペロブスカイト型太陽電池の高効率化を目的として、開発したイオン注入装置付属のベルジャー型低温プラズマ装置を使用してペロブスカイト型太陽電池におけるTiO<sub>2</sub>層、ペロブスカイト層及びp型有機半導体の界面に対する低温プラズマ処理やイオン注入処理などの物理的・化学的処理による改質効果を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したチタニアなどの半導体酸化物表面・界面のナノ構造制御技術は、広範な半導体分野における新規な表面・界面ナノ構造制御技術として発展することが期待される。近い将来、環境問題を解決する省エネ技術として半導体に応用した分野、例えば光触媒、太陽電池はもとより、電子素子、光素子、センサーなど幅広い技術分野に対して、本研究で開発した(低温プラズマ/イオン注入)複合処理技術は革新的技術として、半導体の特性向上を実現する表面・界面テクノロジーとして応用される可能性がある。

研究成果の概要(英文)：In this study, it was examined to optimize both the surface/interface characteristic and the surface band structure to improve photoelectric conversion efficiency of the organic inorganic hybrid solar cells by controlling the surface/interface nanostructure of perovskite and TiO<sub>2</sub> by the development of the co-dope processing technique of the cation and the anion using the sol-gel method that was a chemical treatment method and the low-temperature plasma treatment method and the ion-implantation that were a physical treatment method. Using the developed belljar type low-temperature plasma apparatus attached to the ion-implantation system we investigated the surface modification effects by the physical and chemical treatment such as the low temperature plasma processing and the ion-implantation for each interlamellar interface of the TiO<sub>2</sub> layer, perovskite layer and p type organic semiconductor in the solar cell for the purpose of the high efficiency of the perovskite type solar cells.

研究分野：工学

キーワード：表面・界面 太陽電池 ナノ材料 高効率太陽光発電材料・素子 プラズマ加工 低温プラズマ イオン注入 有機無機ハイブリッド

## 1. 研究開始当初の背景

1991年に登場した色素増感太陽電池は、従来のシリコン型太陽電池に比べ製造コストが極端に低いことが特徴で、携帯型太陽電池としての実用化にも大きな期待が高まっている。しかしながら、研究開始当初には、その光電変換効率( $\eta$ )の低さ11.9% (Sharp2012年)が課題として挙げられ更なる開発が求められていた。当時、本研究提案者は物理的複合処理(低温プラズマ処理及びドーピング処理)を用いて、多孔質チタニア半導体電極における電子の流れを増大させてセル変換効率を増大させるための多孔質チタニア半導体電極の表面・界面特性の改善技術を開発していた。すなわち、①チタニア半導体電極への色素吸着量を増大させるための低温プラズマ処理技術、②光電流を増大させるための窒素イオンドーピング技術、遷移金属イオンドーピングによる伝導帯準位制御による開放端電圧増大技術を独自に開発していた。研究開始当初、有機材料を用いる代表的な色素増感太陽電池と有機薄膜太陽電池は11%を超える太陽光エネルギー変換効率に到達していた。しかし前者は電気化学方式のために電解液を用いる必要があり、後者は有機化合物のみを集光と電荷輸送に用いることが発電特性に制限を与えていた。また、日々進歩する太陽電池の開発の中で、太陽電池の効率を高める安価な素材としてペロブスカイトが注目されるようになっていた。ペロブスカイトを用いた太陽電池の光電変換効率は、2009年に色素増感太陽電池の固体増感剤として酸化還元電解液を組み合わせた系で3.8%が報告された(Miyasaka, et al. 2009)。2012年には有機の正孔輸送材料と接合した全固体の素子で10%を超える効率が実現された(H. J. Snaith, et al. 2012)。その後、層構成に改良が加えられ光電変換効率は17.9%(KRICT, 2014)にまで向上した。ペロブスカイト結晶や酸化チタン微粒子の表面バンド構造(伝導帯電位、フェルミ準位、バンドの曲がり、フラットバンド電位、空間電荷層の厚み、表面電荷)は有機無機ハイブリッド太陽電池の光電変換効率に直接影響を与えるが、無機物質(ペロブスカイト結晶や酸化チタン微粒子)の表面・界面ナノ構造及び表面バンド構造と有機分子(色素)や有機半導体高分子との間の電子移動・拡散の関係は不明な点が多く、未だに明瞭になっていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、物理的複合処理法である低温プラズマ処理法やイオン注入法を用いたカチオンとアニオンのコドープ処理技術の開発によりペロブスカイトや酸化チタン表面・界面ナノ構造を制御することで、有機無機ハイブリッド太陽電池の光電変換効率を向上させるための表面・界面特性や表面バンド構造の最適化を図ることを検討した。①物理的処理法である低温プラズマ処理法による表面改質技術、②化学的処理法であるゾルゲル法と物理的処理法であるイオン注入法を用いたカチオンとアニオンのコドープ処理技術の開発により酸化チタン表面・界面ナノ構造を制御することで、光電変換効率を向上させるための表面バンド構造の最適化を図ることを検討した。

## 3. 研究の方法

以下の試験項目① - ③を実施した。

### (1) 酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) 電極およびペロブスカイト層への低温プラズマ処理の検討

「試験内容」: ペロブスカイト層-TiO<sub>2</sub>層およびペロブスカイト層-*spiro*-MeOTAD層の各層間の界面特性を改善する目的で、低温プラズマ処理により酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) 電極およびペロブスカイト層表面の物理的エッチング効果や水酸基を生じる化学的処理効果により、短絡光電流 ( $J_{sc}$ ) の増大および開放端電圧 ( $V_{oc}$ ) の増大を検討した。低温プラズマ処理には現有する申請者らが開発したイオン注入装置付属のベルジャー型低温プラズマ装置を使用した。低温プラズマ処理後、現有のX線光電子分光分析装置 (XPS) による表面分析や原子間力顕微鏡 (DFM) による表面形態構造観察を行うことで電極やペロブスカイト層の表面形態構造や化学組成状態を確認した。

### (2) カチオンおよびアニオンドーピング処理の検討

「試験内容」: カチオン (Zr<sup>2+</sup>, Y<sup>3+</sup>, Hf<sup>4+</sup>, V<sup>5+</sup>等) ドープ処理、アニオン (N) ドープ処理によって開放端電圧 ( $V_{oc}$ )、短絡光電流 ( $J_{sc}$ ) および光電変換効率 ( $\eta$ ) の増大を検討した。

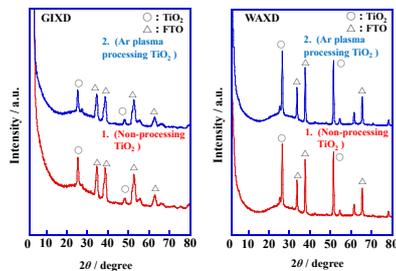
### (3) (カチオン/アニオン)コドープ処理の検討

「試験内容」: カチオン (Zr<sup>2+</sup>, Y<sup>3+</sup>, Hf<sup>4+</sup>, V<sup>5+</sup>等) ドープ前処理した後、アニオン (N) ドープ後処理によって開放端電圧 ( $V_{oc}$ ) 及び短絡光電流 ( $J_{sc}$ ) の増大を検討した。

## 4. 研究成果

(1) 平成28年度の本研究では、ペロブスカイト型太陽電池の高効率化を目的として、ペロブスカイト型太陽電池におけるTiO<sub>2</sub>層、ペロブスカイト層及びp型有機半導体の界面に対する低温プラズマ処理やイオン注入処理などの物理的・化学的処理による改質効果を検討した。低温プラズマ処理には現有する申請者らが開発したイオン注入装置付属のベルジャー型低温プラズマ装置を使用した。「試験項目」として酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) 電極およびペロブスカイト層への低温プラズマ処理の検討を行った。「試験内容」としてペロブスカイト層-TiO<sub>2</sub>層およびペロブスカイト層-*spiro*-MeOTAD層の各層間の界面特性を改善する目的で、低温プラズマ処理により酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) 電極およびペロブスカイト層表面の物理的エッチング効果や水酸基を生じる化学的処理効果により、短絡光電流 ( $J_{sc}$ ) の増大および開放端電圧 ( $V_{oc}$ ) の増大を検討した。

Figs.1及び2はArプラズマ処理前後の多孔質TiO<sub>2</sub>層と各々の多孔質TiO<sub>2</sub>層に積層したペロブスカイト層の微小角入射X線回折(GIXD)及び広角X線回折(WAXD)パターンである。多孔質TiO<sub>2</sub>層のGIXD測定結果から、Arプラズマ処理した多孔質TiO<sub>2</sub>層は未処理の場合と比較して回折ピーク強度が小さくなり、結晶子サイズが大きくなった。ピーク強度の減少は単位体積中の結晶の存在



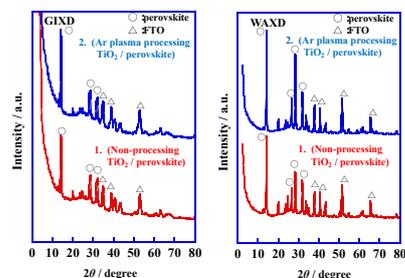
**Fig.1** X-ray diffraction patterns of porous TiO<sub>2</sub> layers.

量が減少したためであり、Ar プラズマ処理により層表面の凹凸が小さくなり表面積が小さくなったことが考えられる。また、結晶子サイズが大きく測定されたのは Ar プラズマにより上層の粒子が削られ、下層の粒子の結晶が検出されたためであると考えられる。一方、多孔質 TiO<sub>2</sub> 層の WAXD 測定結果から、Ar プラズマ処理前後で有意な差異は確認されなかった。

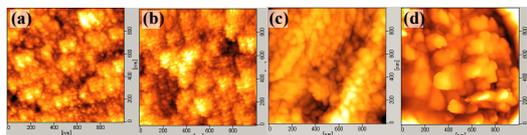
次に、ペロブスカイト層の GIXD 測定結果から、Ar プラズマ処理前後で回折ピーク強度は大きくなる傾向が確認されたが、結晶子サイズは有意な差異は確認されなかった。ペロブスカイト層の WAXD 測定結果から、Ar プラズマ処理した多孔質 TiO<sub>2</sub> 層に積層したペロブスカイト層は未処理の場合と比較して回折ピーク強度、結晶子サイズは大きくなり、ペロブスカイト層内部のペロブスカイト結晶は成長していることが確認された。

Fig.3 は原子間力顕微鏡(DFM)による(a) 多孔質 TiO<sub>2</sub> 層、(b) Ar プラズマ処理(100W, 10s)した多孔質 TiO<sub>2</sub> 層、(c)ペロブスカイト層、及び(d) Ar プラズマ処理(100W, 10s)した多孔質 TiO<sub>2</sub> 層に積層したペロブスカイト層の表面形態構造の DFM 観察像で、Table1 はその観察結果から算出した算術平均粗さ(*Ra*)、表面積(*S*)及び粒径(*d*)である。観察結果より、多孔質 TiO<sub>2</sub> 層は Ar プラズマ処理を行うことで算術平均粗さ(*Ra*)及び表面積(*S*)は小さくなり粒径(*d*)が大きくなったことが確認できた。また、ペロブスカイト層は Ar プラズマ処理することで算術平均粗さ(*Ra*)、表面積(*S*)及び粒径(*d*)は大きくなることを確認された。これらの結果は、Figs.1 及び 2 の測定結果と整合性がとれている。

Fig.4 及び Table 2 は各々 TiO<sub>2</sub> 電極に種々条件を変化させて Ar プラズマ処理を行いペロブスカイト層を二段階法で積層して作製した電極を使用した太陽電池の I-V 測定結果である。測定結果より Ar プラズマ処理条件の出力増大に伴って、短絡光電流(*J<sub>sc</sub>*)が減少していることが明らかになった。上述の結果から、Ar プラズマ処理条件に関わらず低温プラズマ処理を行うことで TiO<sub>2</sub> 電極にプラズマダメージを与えることが示唆された。TiO<sub>2</sub> 電極とペロブスカイト前駆体を利用して、Ar プラズマ処理した多孔質 TiO<sub>2</sub> 層上にペロブスカイトを積層した場合ペロブスカイトの結晶性の向上が確認された。しかし現状では、Ar プラズマ処理により電極にプラズマダメージを与え短絡光電流(*J<sub>sc</sub>*)の減少が起こる。プラズマ処理効果によるペロブスカイト層の結晶性の向上により太陽電池特性の改善が期待できるため、今後は電極へのプラズマダメージを抑えることが課題になる。



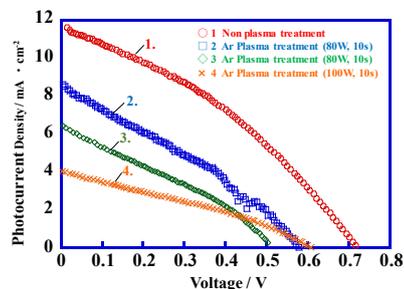
**Fig.2** X-ray Diffraction patterns of perovskite layers.



**Fig.3** DFM images of surface morphology of the TiO<sub>2</sub> and perovskite layers.

**Table 1** Arithmetic average roughness (*Ra*), surface area (*S*) and particle size (*d*) of the TiO<sub>2</sub> and perovskite layers.

Sample	<i>Ra</i> / nm	<i>S</i> / nm <sup>2</sup>	<i>d</i> / nm
(a) Non-processing porous TiO <sub>2</sub> layer	8.564×00	1.150×10 <sup>6</sup>	7.264×10
(b) Ar plasma processing porous TiO <sub>2</sub> layer	7.017×00	1.114×10 <sup>6</sup>	9.988×10
(c) Non-processing porous TiO <sub>2</sub> / perovskite layer	5.775×00	1.030×10 <sup>6</sup>	1.686×10 <sup>2</sup>
(d) Ar plasma processing porous TiO <sub>2</sub> / perovskite layer	1.903×10	1.238×10 <sup>6</sup>	1.703×10 <sup>2</sup>



**Fig.4** I-V curves of perovskite sensitized solar cells.

**Table 2** Performance of perovskite sensitized solar calls.

Sample	<i>J<sub>sc</sub></i> / mA	<i>V<sub>oc</sub></i> / V	<i>ff</i> / %	<i>η</i> / %
(1) Non plasma treatment	11.61	0.7163	35.2	2.93
(2) Ar plasma treatment (60W, 10s)	8.61	0.5777	31.1	1.55
(3) Ar plasma treatment (80W, 10s)	6.44	0.5033	31.2	1.01
(4) Ar plasma treatment (100W, 10s)	4.06	0.6062	31.5	0.77

(2) 平成29年度本研究では、引き続きペロブスカイト型太陽電池の高効率化を目的として、ペロブスカイト型太陽電池におけるTiO<sub>2</sub>層、ペロブスカイト層及びp 型有機半導体の界面に対する低温プラズマ処理やイオン注入処理などの物理的・化学的処理による改質効果を検討した。「試験項目」としてはカチオンおよびアニオンドーブ処理の検討を実施した。カチオン (Zr<sup>2+</sup>等) ドーブ処理、アニオン (N) ドーブ処理によって開放端電圧 (*V<sub>oc</sub>*)、短絡光電流 (*J<sub>sc</sub>*) および光電変換効率 (*η*) の増大を検討した。ドナー準位として、作用①ドナー準位の電子は熱または光吸収エネルギーによりTiO<sub>2</sub> 伝導帯に励起される。作用②TiO<sub>2</sub> 伝導帯に励起電子を与えた状態で、増感剤色素ペロブスカイト層からの励起電子を受け取り、作用①と同様にこの励起電子はTiO<sub>2</sub> 伝導帯に励起する、という2つの作用の発現がある。したがって作用①によりTiO<sub>2</sub> 電極中の電子濃度が高くなり、光電流を増大させ、さらに作用②を有効に活用するためにドナー準位を制御できれば、現状の増感剤色素ペロブスカイト層のLUMO 準位よりもポジティブ側に位置する増感剤色素ペロブスカイト層も使用可能となる。したがって、現状の増感材増感剤色素ペロブスカイ

ト層よりも狭いHOMO-LUMOギャップを持つ、すなわち長波長光吸収を示す増感剤色素ペロブスカイト層の使用が可能となり、かつドナー準位とTiO<sub>2</sub>伝導帯のエネルギーギャップに相当する長波長光も有効に利用されることになり、必然的に光電流が大幅に増大することになる手がかりを得た。さらに「試験項目」として(カチオン/アニオン)コドープ処理によって開放端電圧 ( $V_{oc}$ ) 及び短絡光電流 ( $J_{sc}$ ) の増大を検討した。

(3) 平成30年度の本研究では、カチオン (Zr<sup>2+</sup>等) ドープ前処理した後、アニオン (N) ドープ後処理によって開放端電圧 ( $V_{oc}$ ) 及び短絡光電流 ( $J_{sc}$ ) の増大を検討した。(カチオン/アニオン)コドープ処理によって調製されたTiO<sub>2</sub>電極やペロブスカイト層を使用して作製した太陽電池の光学特性を評価することで光電変換効率の向上のメカニズムを詳細に検討した。さらに、電気化学測定による(無機/有機)複合材料の分子ナノ界面内部の電子移動過程(電子寿命、電子拡散)の評価を実施した。(カチオン/アニオン)コドープ処理によりTiO<sub>2</sub>表面・界面ナノ構造を制御することで、光電変換効率を向上させるための表面バンド構造の最適化を図ることを検討した。

Fig.5 (a), (b), 及び(c)は各々(a) P25, (b) カチオンドープ, (c) Nプラズマ処理したTiO<sub>2</sub>電極の原子間力顕微鏡(DFM)によるDFM観察像で、Table1はDFM観察像から算出したTiO<sub>2</sub>電極の算術平均粗さ( $R_a$ )と表面積( $S$ )である。カチオンドープ及びNプラズマ処理したTiO<sub>2</sub>で $R_a$ 及び $S$ は共に増加していることが確認された。

Fig.6(a)及び(b)は各々(a) P25及びカチオンドープTiO<sub>2</sub>に積層したペロブスカイト層及び(b) P25とP25をNプラズマ処理したTiO<sub>2</sub>層及びこれらに積層したペロブスカイト層の微小角入射X線(GIXD)回折パターンである。カチオンドープしたTiO<sub>2</sub>に積層したペロブスカイト層は未ドープP25に積層した場合と比較してペロブスカイトに起因するピーク強度が小さいことが確認された。これは下地のTiO<sub>2</sub>表面形態構造が異なるため、このような差が生じたと考えられる。Nプラズマ未処理と処理したTiO<sub>2</sub>の各々の回折パターンでは有意な差は確認できなかった。またペロブスカイト層について、Nプラズマ未処理の試料の方がプラズマ処理した試料と比較して、ペロブスカイトに起因するピーク強度が大きいことが確認された。これはTiO<sub>2</sub>表面がプラズマ処理によって変化し、ペロブスカイト結晶の成長を抑制させたためと考えられる。

Fig.7は(1) P25及びゾルゲル法で作製した(2) Zr/Ti = 0, (3) Zr/Ti = 0.01, (4) Zr/Ti = 0.05 mol/molのTiO<sub>2</sub>電極を用いたペロブスカイト型太陽電池のI-V曲線で、Table4が各々の太陽電池特性である。曲線から、ゾルゲル法で作製したTiO<sub>2</sub>を用いたサンプルのいずれも太陽電池特性が低下していることが確認された。これは今回作製した多孔質TiO<sub>2</sub>層で、ゾルゲル法で作製したTiO<sub>2</sub>の粒径が小さいため、膜厚が薄くなってしまい、ピンホールを形成し、そこから短絡してしまったためと考えられる。一方で、光電変換効率はゾルゲル法で作製した中では、Zr/Ti = 0.05 mol/molがもっとも高い値を示しているため、改質効果が期待されると考えられる。

Fig.8はNプラズマ処理及びNイオン注入処理前後で作製したTiO<sub>2</sub>電極の上にペロブスカイト層を積層した太陽電池のI-V特性であり、Table5は各々の太陽電池特性値を示している。本来期待されていた短絡電流( $J_{sc}$ )の増大は認められず、プラズマ処理をした全ての電池の $J_{sc}$ 及び、開放端電圧( $V_{oc}$ )が同程度に低下していることが確認された。今回の処理条件は色素増感太陽電池の場合と同様に行った。色素増感太陽電池では、プラズマ処理されるTiO<sub>2</sub>電極がスキージ法で塗布してあり、厚みが数十 $\mu\text{m}$ であるのに対し、スピコート法では、TiO<sub>2</sub>電極は数 $\mu\text{m}$ と比較的薄く、FTO透明電極膜部分にプラズマダメージを与えてしまっているため、特性の低いI-V曲線になったと考えられる。またNイオン注入処理でも同様に太陽電池特性の低下が確認された。

Nプラズマ処理はTiO<sub>2</sub>の表面形態構造を変化させ、ペロブスカイト結晶の成長を変化させることを確認した。しかし、ペロブスカイト型太陽電池の高効率化には至ることができず、今回行った条件

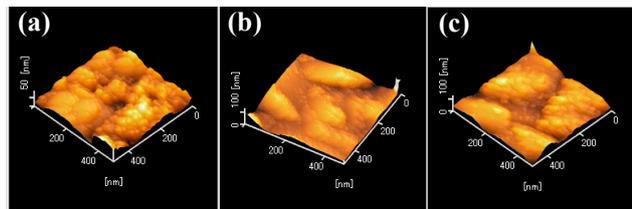


Fig.5 DFM images of TiO<sub>2</sub> layer. (a) P25, (b) TiO<sub>2</sub> prepared by Zr doping, Zr/Ti = 0.01 and (c) P25 treated by N plasma.

Table 3 Arithmetic average roughness ( $R_a$ ) and surface area ( $S$ ) of the porous TiO<sub>2</sub> layer.

Sample	$R_a$ / nm	$S$ / nm <sup>2</sup>
P25	9.37	$3.05 \times 10^5$
Zr/Ti=0.01 mol/mol	10.44	$3.73 \times 10^5$
P25 treated by N plasma	11.67	$3.06 \times 10^5$

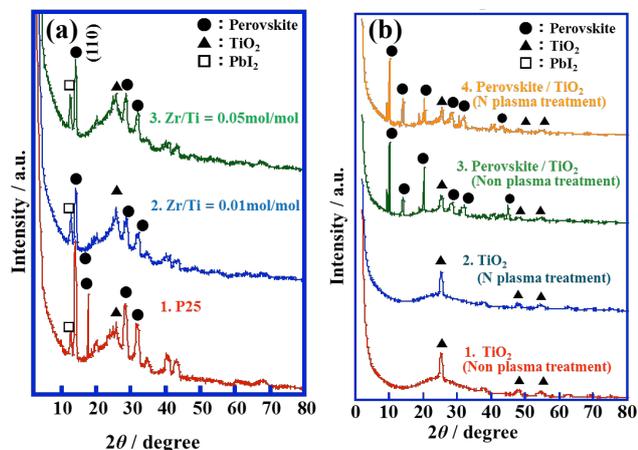
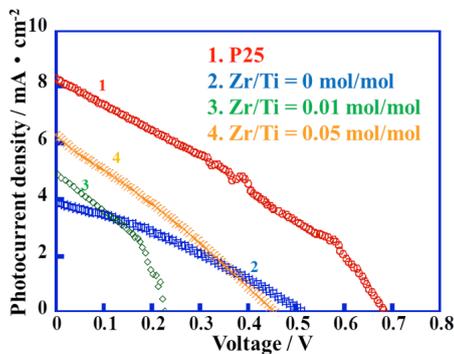


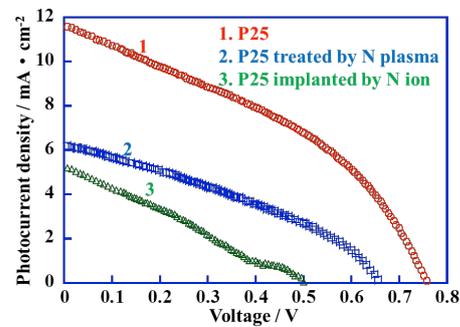
Fig.6 GIXD patterns of (a) perovskite layer based on TiO<sub>2</sub> layer prepared by Zr doping and (b) perovskite layer based on TiO<sub>2</sub> layer prepared by N plasma treatment.



**Fig.7** I-V curves of perovskite-sensitized solar cells based on the TiO<sub>2</sub> electrodes prepared by sol-gel method.

**Table 4** Performance of perovskite-sensitized solar cells based on the TiO<sub>2</sub> electrodes prepared by sol-gel method.

Sample	V <sub>oc</sub> /V	J <sub>sc</sub> /mA · cm <sup>-2</sup>	ff/%	η/%
1. P25	0.668	8.28	33.6	1.86
2. Zr/Ti = 0	0.512	3.88	31.7	0.63
3. Zr/Ti = 0.01	0.279	4.90	32.7	0.45
4. Zr/Ti = 0.05	0.468	6.18	28.6	0.80



**Fig.8** I-V curves of perovskite-sensitized solar cells based on the TiO<sub>2</sub> electrodes prepared by N plasma treatment and N ion implantation.

**Table 5** Performance of perovskite-sensitized solar cells based on the TiO<sub>2</sub> electrodes prepared by N plasma treatment and N ion implantation.

Sample	V <sub>oc</sub> /V	J <sub>sc</sub> /mA · cm <sup>-2</sup>	ff/%	η/%
1. P25	0.757	11.55	38.8	3.40
2. P25 treated by N plasma	0.656	6.21	35.1	1.43
3. P25 implanted by N ion	0.500	5.22	27.3	0.71

でのNプラズマ処理は薄膜であるペロブスカイト型太陽電池にプラズマダメージを与えることが示唆された。

(4) 本研究では、物理的複合処理法である低温プラズマ処理法やイオン注入法を用いたカチオンとアニオンのドーピング処理技術の開発によりペロブスカイトや酸化チタン表面・界面ナノ構造を制御することで、有機無機ハイブリッド太陽電池の光電変換効率を向上させるための表面・界面特性や表面バンド構造の最適化を図ることを検討した。低温プラズマ表面修飾法を用いて新規な（無機/有機）ナノ界面を有する酸化物半導体ナノ微粒子を調製することができる。このような材料は高い光電変換効率を示すことが期待される。色素やペロブスカイトの分子設計を検討し、ドーピングTiO<sub>2</sub>電極のドナー準位に最適化した有機太陽電池の利用されていない波長域の長波長光吸収色素やペロブスカイトの選択及び開発を行い、バンド構造制御TiO<sub>2</sub>電極との組合せにより変換効率の向上を達成することができる。本研究で開発したチタニアなどの半導体酸化物表面・界面のナノ構造制御技術は、広範な半導体分野における新規な表面・界面ナノ構造制御技術として発展することが期待される。

#### 5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計2件)

- ① Hirokazu Yamane, Shinji Shindo, Peptide Addition Effect of the Active Layer Precursor Solution Containing Poor Solvent on Photoelectrochemical Characteristics of the Thin Film Organic Photovoltaic Cells, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, E102-C, 2019年、192-195  
DOI:10.1587/transele.2018OMS0011
- ② Hirokazu Yamane, Mayo Kawahara, Genta Takatoki, Masataka Taguchi, Yasuhiro Yamasaki, Toshihiko Nagamura, Photon Upconversion Dyes System with Red to Yellow Wavelength Conversion Function, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, E102-C, 2019年、107-112  
DOI: 10.1587/transele.2018OMP0005

#### 〔学会発表〕(計18件)

- ① H. Tomoto, H. Kantake and H. Yamane, Photoelectrochemical Characteristic of Perovskite Sensitized Solar Cells Treated by the Low Temperature Plasma Processing, 28th Annual Meeting of MRS-J 2901 G1-P20-026 2018年12月
- ② M. Taguchi, Y. Yamasaki, T. Nagamura and H. Yamane, Photon Upconversion Dyes System using Novel Phthalocyanine Derivative Dye containing the Hetero Element and the Ethyl Hexyl Terminal Group, 28th Annual Meeting of MRS-J 2898 G1-P20-024 2018年12月
- ③ G. Takatoki, Y. Urata, H. Konishi, T. Nagamura and H. Yamane, Photon Upconversion Dyes System using Hyperbranched Copolymer with the Emitter Dyes, 28th Annual Meeting of MRS-J 2896 G1-P20-022 2018年12月
- ④ 登本 蛍, 山根 大和, 低温プラズマ処理したペロブスカイト型太陽電池の光電気化学特性, 第8回高専-TUT太陽電池合同シンポジウム PSO-14 2018年12月
- ⑤ 登本 蛍, 寒竹 広彬, 山根 大和, 低温プラズマ処理による高効率ペロブスカイト型太陽電池の研究開発, 2018年 第55回化学関連支部合同九州大会講演予稿集 EC-6-087 p.184 2018年6月
- ⑥ 高時 元汰, 堀 直人, 山崎 康寛, 長村 利彦, 山根 大和, ヘテロ元素含有フタロシアニン誘導体色素多分岐共重合体を用いた光アップコンバージョン色素系, 第54回化学関連支部合同九州大会, 2017年
- ⑦ 田口 正崇, 寒竹 広彬, 野崎 智洋, 山根 大和, Si量子ドット増感型有機薄膜太陽電池の光電気化学特性, 第54回化学関連支部合同九州大会, 2017年

- ⑧ 登本 蛭、寒竹 広彬、山根 大和、ペロブスカイト型太陽電池の光電気化学特性、第 54 回化学関連支部合同九州大会、2017 年
- ⑨ 浦田 恭聖、山崎 康寛、長村 利彦、山根 大和、光アップコンバージョン色素系含有多分岐共重合体の研究開発、第 54 回化学関連支部合同九州大会、2017 年
- ⑩ 浦田 恭聖、山崎 康寛、長村 利彦、山根 大和、光アップコンバージョン色素系含有多分岐共重合体の発光特性、2017 年光化学討論会、2017 年
- ⑪ 山根 大和、浦田 恭聖、堀 直人、高時 元汰、山崎 康寛、長村 利彦、光アップコンバージョン色素系含有ハイパーランチコポリマーの上方エネルギー変換、2017 年電気化学会秋季大会、2017 年
- ⑫ 山根 大和、浦田 恭聖、堀 直人、高時 元汰、山崎 康寛、長村 利彦、光アップコンバージョン色素系含有ハイパーランチコポリマーの発光特性、第 66 回高分子討論会、2017 年
- ⑬ 高時 元汰、堀 直人、山崎 康寛、長村 利彦、山根 大和、フタロシアニン誘導体色素多分岐共重合体を用いた光アップコンバージョン色素系、第 7 回高専-TUT 太陽電池合同シンポジウム、2017 年
- ⑭ 田口 正崇、寒竹 広彬、野崎 智洋、山根 大和、Si 量子ドット増感型有機薄膜太陽電池の光電変換特性、第 7 回高専-TUT 太陽電池合同シンポジウム、2017 年
- ⑮ 田口 正崇、寒竹 広彬、野崎 智洋、山根 大和、Si 量子ドット増感型有機薄膜太陽電池の光電気化学特性、第 54 回化学関連支部合同九州大会、北九州国際会議場、2017 年 07 月 01 日
- ⑯ 登本 蛭、寒竹 広彬、山根 大和、ペロブスカイト型太陽電池の光電気化学特性、第 54 回化学関連支部合同九州大会、北九州国際会議場、2017 年 07 月 01 日
- ⑰ 寒竹 広彬、山根 大和、(カチオン/アニオン) コドープによる高効率有機太陽電池の研究開発、第 6 回高専-TUT 太陽電池合同シンポジウム、小山工業高等専門学校、2016 年 12 月 10 日
- ⑱ 寒竹 広彬、山根 大和、ペロブスカイト型太陽電池の光電変換高効率化、第16回産学連携フェア 国立高専 4 高専専攻科学生研究発表会、北九州学術研究都市会議場イベントホール、2016年10月21日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称：光アップコンバージョン組成物、フィルム及び光アップコンバージョン方法

発明者：小西 秀和、山根 大和、長村 利彦

権利者：旭有機材株式会社、独立行政法人国立高等専門学校機構

種類：特許

番号：特願 2017-065789 号

出願年：平成 29 年

国内外の別：国内

○取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

ようこそ！山根研究室へ

<http://w3-chem.kct.ac.jp/hyamane/SiteYamaneLab/index.html>

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8 桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。