

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06817

研究課題名(和文)非平衡液中プラズマによる金属酸化物薄膜の形成と色素増感太陽電池のモジュール化

研究課題名(英文)Metaloxide films deposited by a nonequilibrium 2D plasma in a liquid phase and their application to ye-sensitized solar cell

研究代表者

奥谷 昌之 (Okuya, Masayuki)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：00293605

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電極とガラス基板間に生じる微小空洞内に非平衡平面プラズマを発生させることに成功した。そこで、仮焼状態のTiO<sub>2</sub>/FTOガラスをチタンテトライソプロポキシド溶液中にセットし、プラズマ処理によりTiO<sub>2</sub>粒子間のネックングを促進させた。プラズマ処理後、色素増感太陽電池(DSSC)用電極として一般的な10～20 nmの粒子が確認されたため、実際にこれを利用した太陽電池を作成した。この結果、N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>混合ガスから発生するプラズマを利用して作成した電池で変換効率3.7%が得られた。特にN<sub>2</sub>ガス由来のプラズマの有効性が確認され、この手法によるDSSC作成への道筋を示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般的なプラズマを利用した製膜では、基板に対し高エネルギープラズマへの耐抗性・耐熱性が要求され、汎用的な低融点基板への適用が難しい。さらに、マスクングやレジストといった追加処理が要求される。一方、液相からの化学的手法による低温製膜やパターニングにおいて、バルクの液相中では均一分散している修飾子であっても、溶媒を除去する過程で基板からの影響を強く受ける。本研究では独自に開発した大気圧非平衡平面プラズマによる製膜技術を発展させ、液相中の微小空洞へのプラズマ閉じ込め効果を利用した新規製膜技術の確立、およびその応用を目的とする新たな研究である。

研究成果の概要(英文)：A non-equilibrium two-dimensional plasma was induced in a small cavity between an insulating electrode and a glass substrate by introducing a gas in a liquid phase. A pre-sintered porous-TiO<sub>2</sub>/FTO double layered glass substrate was set below the electrode for discharge to face each other in the Titaniumtetraisopropoxide solution. The oxidization process was promoted with irradiating a plasma to the precursor spread on a glass substrate by a capillarity. After the plasma treatment, the surface of the TiO<sub>2</sub> layer was found to be porous with the particle size of 10 to 20 nm, which is almost comparable to a typical dye-sensitized solar cell. The conversion efficiency reached as high as 3.7 % for the cell prepared under N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> mixture gas. We found that the active plasma species originated from N<sub>2</sub> gas played an important role in the oxidation and crystallization in the film formation to enhance the necking process between TiO<sub>2</sub> particles.

研究分野：無機材料

キーワード：非平衡二次元プラズマ 誘電体バリア放電 薄膜 色素増感太陽電池

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 一般的なプラズマを利用した製膜では、3次元空間にプラズマを発生させ、この空間内に基板を配置する。この方式では、均質な製膜が可能な反面、基板全体がプラズマ内に存在するため、高エネルギープラズマに対する耐抗性・耐熱性が基板に要求される。さらに、パターンニングに対し、マスキングやレジストといった追加処理が要求される。

(2) 一方、従来の分子構造や相互作用を利用した液相からの化学的手法による低温製膜やパターンニングにおいて、バルクの液相中では均一分散している修飾子であっても、溶媒を除去する過程で基板からの影響を強く受けて均一性を保つことができず、結果的に不均質な膜が形成される。

(3) このような現状にあって、本研究では液相からの製膜でありながら、従来法とは全く異なり、基板上的前駆体液膜へ局所的にプラズマを照射して前駆体を高速分解するだけでなく、局所プラズマによるナノメートルオーダーのパターンニング製膜を目的とし、上記の諸問題の解決につながる新たな研究である。

(4) 新エネルギー源として期待される色素増感太陽電池は、単なるコスト面だけでなく、そのデザイン性から注目度が高いが、その製造工程には多くの複雑な技術が要求され、煩雑である。特にガラスやプラスチック基板上への透明導電膜の製膜、さらに多孔質酸化チタン層の積層技術が実用化への大きなネックとなっている。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究グループは、大気圧下での誘電体バリア放電により誘導された非平衡平面プラズマを製膜技術へ応用してきた。本研究では、この技術をさらに発展させ、液相中に配置した放電電極と製膜基板間の液相をバイアス印加により局所的に排除して微小空洞を形成し、この空間に平面プラズマを閉じ込める新規製膜技術を提案する。さらに、これをダイレクトパターンニング製膜技術へと展開する。この成果は、既存のプラズマディスプレイ技術との融合により、微細加工から大面積製膜まで応用範囲の広い革新的技術へ発展することが期待される。

(2) そこで本研究では、新規に提案する非平衡液中プラズマを利用した独自の製膜技術と色素増感太陽電池作製技術を融合させ、これまでに例のない色素増感太陽電池の作製法を提案する。本研究の技術革新は、単なる製膜技術にとどまらず、エネルギー問題や環境問題の解決に向けた社会的ニーズに応えることになる。

### 3. 研究の方法

(1) 前駆体溶液を満たした容器上部に放電用電極と製膜用基板を固定し、ACバイアス、および磁場を印加する。新規電極は中央部にガス注入口を取り付けるとともに、ゴニオメータにより0.02mm毎にXYZ方向へ微調整可能であることが特徴である。従来型をベースとしたアルミナ製の電極固定用改良型ホルダーを設計し、これを業者に発注し、以下(2)、(3)の実験を進め、順次修正を加えながら全体的な装置構成を確立した。

(2) 高精密なダイレクトパターンニングを実現するために、電極の金属グリッドデザインの微細化だけでなく、磁場印加によるプラズマの3次元的な制御も有効であると考え。そこで、製膜時に磁場を印加し、製膜効率を高めることを試みた。

(3) Fig. 1 に装置構成の概略図を示す。所定比の酸素/窒素混合ガスを電極上部から注入後、放電用電極に所定バイアスを印加して形成された微小空洞内にプラズマを発生させた。この際、毛細管現象により前駆体溶液がガラス基板上に逐次供給され、プラズマ照射による前駆体の分解により膜が形成された。なお、一部の製膜において、電極の両端にネオジム磁石を設置し、0.17 Tの磁場をプラズマに印加した状態で上記と同様の手順で製膜を行った。

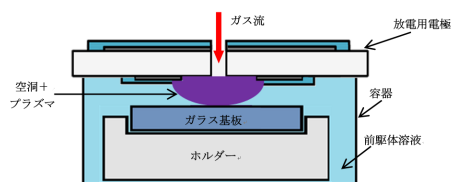


Fig. 1 液相中の空洞にプラズマを発生させる装置構成。

(4) 酸化チタン微粒子 (P25) ペーストを酸化スズ透明導電膜上に所定の形状に印刷し、乾燥後、150°Cで10分間仮焼した。この電極をチタンテトライソプロポキシドの混合前駆体溶液中にセット後、(1)と同様のプラズマ照射により多孔質酸化チタン層を積層した。この電極にN719色素を吸着し、色素増感太陽電池作用極を完成させた。さらに、別途用意しておいたPt基板と作用極を重ねあわせ、ヨウ素電解液を注入して色素増感太陽電池セルを作製した。電池特性の評価は疑似太陽光 (AM-1.5, 100 mW/cm<sup>2</sup>) 照射下で行った。

### 4. 研究成果

(1) 本研究で設計した電極を Fig.2 に示す。電極グリッド間の領域に空洞(プラズマ形成領域)

を保持して放電を行うため、従来の金属グリッドの角をなくし真円にすることで、放電時に空洞をグリッド間の領域に保持しやすくした。製膜中の様子を Fig. 3 に示す。なお、この画像では、電極一面にプラズマが広がっているように見えるが、実際には容器表面の屈折によるものであり、微小空洞内においてプラズマが局所的に発生していることを確認した。

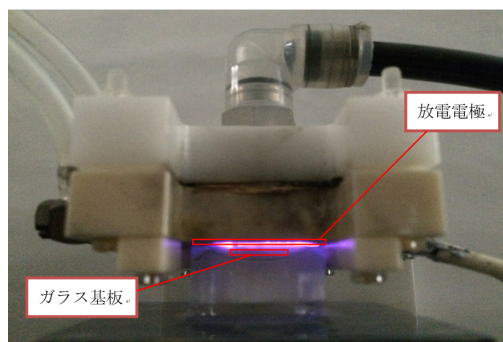
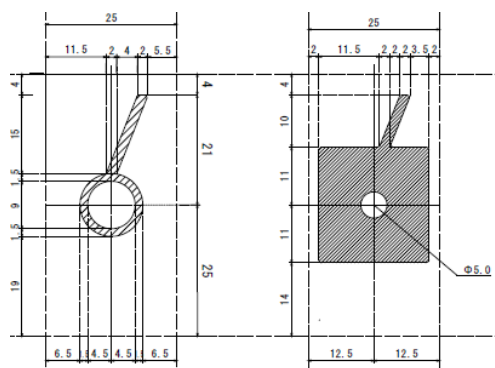


Fig. 2 設計した電極グリッドのパターン。

Fig. 3 液中プラズマによる製膜の様子。

(2) Fig. 4 に各雰囲気ガスフロー下で作製された膜の XRD 測定の結果を示す。純酸素下で作製された膜ではピークが観測されず、ほぼアモルファス状態であった。一方、窒素/酸素の混合雰囲気下で作製された膜では、アナターゼ型  $\text{TiO}_2$  の (101) ピークが観測された。この結果から、前駆体の酸化反応には、窒素由来のプラズマ活性種のアシストが必要であることが分かった。また、窒素/酸素の混合比に関して、 $\text{N}_2/\text{O}_2=99/1$  vol% の混合ガスフロー下で作製された膜のピークで、最も半値幅が狭く、高窒素低酸素濃度下で形成されるプラズマ活性種が前駆体の分解および結晶化を促進することが分かった。

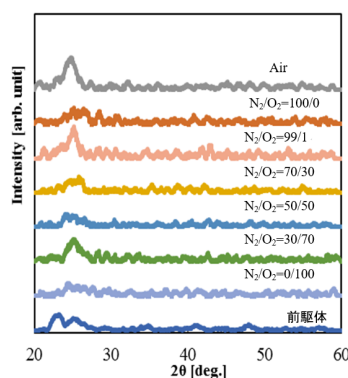


Fig. 4 各濃度の  $\text{N}_2/\text{O}_2$  混合ガス下で形成された膜の XRD パターン。

(3) 各雰囲気ガス下で作製された膜の XRD 測定の結果を Fig. 5 に示す。空気から作製された膜は、ほぼアモルファス状態であった。一方、 $\text{N}_2/\text{O}_2 = 99/1$  vol% 混合ガス下で作製された膜において、明瞭なアナターゼ型  $\text{TiO}_2$  のピークが観測された。これにより、低酸素濃度下で発生するプラズマ活性種が前駆体の分解および結晶化に寄与することがわかった。さらに、磁場を印加して作製された膜は、無磁場で作製された膜に比べ半値幅が狭かった。シュラーの式から算出された膜の粒径は、無磁場で 4.1 nm、磁場印加で 11.0 nm であり、磁場印加による粒成長および結晶性の向上が確認された。これは、微小空洞領域内に発生したプラズマにローレンツ力が誘導され、基板近傍のプラズマ活性種密度が高くなったことを示している。

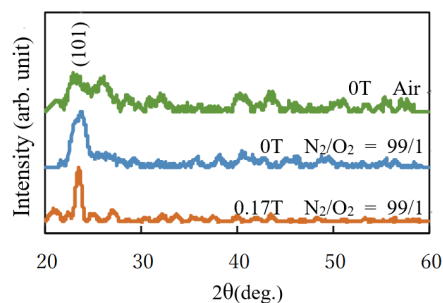


Fig. 5 0.17 T の磁場印加により形成された膜の XRD パターン。

(4) 各濃度比の窒素・酸素混合ガス下で発生させた非平衡二次元プラズマの照射により作製された多孔質  $\text{TiO}_2$  層の表面 SEM 像を Fig. 6 に示す。なお、比較参照用に大気中の電気炉 500°C で作製された結果もあわせて示す。酸素 100% 濃度下で作製された膜 (a) は平滑な表面構造を示した。一方、高窒素濃度下で作製された膜 (c)、(d)、(e) は凹凸の多い表面構造を示した。これは、高窒素濃度下において、TTIP 前駆体の酸化、および結晶化が促進されたためと考えられる。また、高窒素濃度下で作製された膜は、大気中の電気炉 500°C で作製された膜 (f) と同程度の表面構造を示した。以上から、平面プラズマの照射により DSSC 用の多孔質  $\text{TiO}_2$  層を作製することができた。

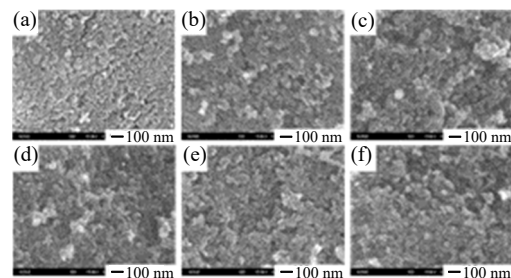


Fig. 6 液中プラズマを利用して形成された多孔質  $\text{TiO}_2$  層の表面形態：(a)  $\text{N}_2/\text{O}_2=0/100$ , (b)  $\text{N}_2/\text{O}_2=50/50$ , (c) 大気中, (d)  $\text{N}_2/\text{O}_2=99.8/0.2$ , (e)  $\text{N}_2/\text{O}_2=100/0$ . (f) 比較参照用に電気炉で大気中 500 °C で形成。

(5) 各 TiO<sub>2</sub> 層を利用して作製された DSSC のセルパラメータを Table 1 に示す。比較参照用に大気中の電気炉 200~500℃で作製されたセルの結果をあわせて示す。窒素濃度が高くなるにつれ電池特性が向上する傾向が確認され、N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>=99.8/0.2 で作製されたセルにおいて、最大変換効率 3.7 % を記録した。これは、プラズマ処理による TTIP の酸化、および結晶化にともない TiO<sub>2</sub> 粒子間のネッキングが促進され、セル内での電子輸送特性が向上

Table 1 各 N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>TiO<sub>2</sub> 雰囲気ガスにより形成された多孔質 TiO<sub>2</sub>層を利用して作成された DSSC の特性.

		N <sub>2</sub> /O <sub>2</sub>	J <sub>sc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	V <sub>oc</sub> (V)	FF	η (%)
プラズマ		0/100	1.4	0.61	0.38	0.3
		50/50	2.6	0.66	0.49	0.8
		大気	3.5	0.71	0.67	1.7
		99.8/0.2	6.4	0.80	0.71	3.7
		100/0	3.8	0.73	0.71	2.0
電気炉 (°C)	200	大気	4.8	0.72	0.67	2.3
	300		8.0	0.74	0.68	4.1
	500		11	0.78	0.65	5.6

したためであると考えられる。なお、製膜時の放電用電極の温度を測定したところ、80℃前後であったことから、TTIP の酸化、および結晶化は、外部からの熱による反応機構ではなく、窒素由来のプラズマ活性種に起因する反応機構によると考えられる。さらに、N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>=99.8/0.2 のガス下で発生させたプラズマを利用して作製されたセルが最大の変換効率を示したことから、TTIP の酸化、および結晶化には N-O 由来のプラズマ活性種が強く関与していると考えられる。また、N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>=99.8/0.2 の条件下においては、200~300℃の電気炉で作製したセルに相当すると考えられ、高効率化に向けまだ改善の余地があることが分かった。

(6) セル特性の最適化のために予定以上に時間を要したため、最終目標であったモジュール化には至らなかった。電気化学的インピーダンス測定の結果、現状のプラズマによる TiO<sub>2</sub> 粒子間のネッキング形成が弱いことが明確になっている。このため、プラズマの照射効率を上昇させる手順により、短絡電流密度の向上が見込まれる。本研究グループにおいて、モジュール化の手順はこれまでに実績があり、引き続き関連する研究を継続する予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Attanayake Sameera, Okuya Masayuki, Murakami Kenji	4. 巻 11
2. 論文標題 Spray Angle Dependence for the Growth of Terrace-truncated Nanocone Structure of Gallium-doped Zinc Oxide by Advanced Spray Pyrolysis Deposition Technique	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Technology	6. 最初と最後の頁 81 ~ 81
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14716/ijtech.v11i1.3068	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 該当する
1. 著者名 Bramantyo Albertus, Pospawati Nji Raden, Udhiarto Arief, Murakami Kenji, Okuya Masayuki	4. 巻 715
2. 論文標題 Complete coverage of perovskite materials over ZnO Nanorods with Multiwalled Carbon Nanotubes (MWCNTs) as Hole Transport Material (HTM)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 012057 ~ 012057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1757-899X/715/1/012057	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 該当する
1. 著者名 Bramantyo Albertus, Murakami Kenji, Okuya Masayuki, Udhiarto Arief, Pospawati Nji Raden	4. 巻 2019
2. 論文標題 Growth of Zinc Oxide Nanorods with the Thickness of Less than or Equal to 1 $\mu$ m through Zinc Acetate or Zinc Nitrate for Perovskite Solar Cell Applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Engineering	6. 最初と最後の頁 1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2019/2793853	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 該当する
1. 著者名 Attanayake Sameera, Okuya Masayuki, Murakami Kenji	4. 巻 58
2. 論文標題 Synthesis and characterization of Al-doped ZnO terrace-truncated nanocone structure by the advanced spray pyrolysis deposition technique	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 080904 ~ 080904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab2e8a	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 該当する

1. 著者名 Bramantyo Albertus, Murakami Kenji, Okuya Masayuki, Udhiarto Arief, Poespawati Nji Raden	4. 巻 10
2. 論文標題 Morphological and Structural Study of Vertically Aligned Zinc Oxide Nanorods Grown on Spin Coated Seed Layers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Technology	6. 最初と最後の頁 147 ~ 147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14716/ijtech.v10i1.2012	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 該当する

1. 著者名 Okuya Masayuki, Sato Jun, Endo Takeshi, Iwaki Ryo, Takemura Shuichiro, Muramoto Ryosuke, Nagygyorgy Viola, Madarasz Janos, Nakao Shoichiro, Yamada Naoomi, Sakai Enju, Hitosugi Taro, Hasegawa Tetsuya	4. 巻 101
2. 論文標題 TiO <sub>2</sub> /TNO homojunction introduced in a dye-sensitized solar cell with a novel TNO transparent conductive oxide film	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 5071 ~ 5079
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jace.15751	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 該当する

1. 著者名 Ranasinghe R.A.D.M., Tanaka Yasutaka, Okuya Masayuki, Shimomura Masaru, Murakami Kenji	4. 巻 190
2. 論文標題 Structural characterizations of organic-based materials with extensive mechanoluminescence properties	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Luminescence	6. 最初と最後の頁 413 ~ 423
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jlumin.2017.05.073	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 該当する

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 S. Mayumi, M. Sawamura, J. Sagisaka, R. Okumura, Y. Masuda, M. Okuya
2. 発表標題 TiO <sub>2</sub> thin films prepared with a non-equilibrium two-dimensional plasma induced under various atmospheres
3. 学会等名 29th Annual Meeting of MRS-J (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 S. Mayumi, M. Sawamura, J. Sagisaka, R. Okumura, Y. Masuda, M. Okuya
2. 発表標題 Fabrication of porous-TiO <sub>2</sub> layers with a non-equilibrium two-dimensional plasma and their application to dye sensitized solar cells
3. 学会等名 29th Annual Meeting of MRS-J (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 眞弓慎司, 澤村南斗, 鷺坂潤平, 奥村亮祐, 奥谷昌之
2. 発表標題 非平衡プラズマの活性種の検討による多孔質TiO <sub>2</sub> 層の作製と色素増感太陽電池への応用
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 眞弓慎司, 澤村南斗, 鷺坂潤平, 奥村亮祐, 奥谷昌之
2. 発表標題 TiO <sub>2</sub> 膜の作製における非平衡二次元プラズマの活性種の検討
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 眞弓慎司, 鷺坂潤平, 奥村亮祐, 奥谷昌之
2. 発表標題 非平衡液中プラズマを利用した新規製膜装置の開発とTiO <sub>2</sub> 膜の作製
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鷺坂潤平, 眞弓慎司, 奥村亮祐, 奥谷昌之
2. 発表標題 非平衡液中プラズマを利用したTiO <sub>2</sub> 膜の作製
3. 学会等名 第49回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 眞弓慎司, 鷺坂潤平, 奥村亮祐, 奥谷昌之
2. 発表標題 非平衡二次元プラズマを利用した多孔質TiO <sub>2</sub> 層の作製と色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 第49回 中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A.M.S.L.B. Attanayake, Masayuki Okuya and Kenji Murakami
2. 発表標題 Synthesis and Characterization of Ga Doped ZnO 1-D Nanostructures by Using Advanced Spray Pyrolysis Deposition Technique at Different Spraying Angles
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 眞弓慎司, 奥村亮祐, 鷺坂潤平, 奥谷昌之
2. 発表標題 誘電体バリア放電を利用した多孔質TiO <sub>2</sub> 層の作製と色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 眞弓慎司, 奥村亮祐, 鷺坂潤平, 奥谷昌之
2. 発表標題 非平衡二次元プラズマによる多孔質TiO <sub>2</sub> 層の作製と色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sameera Attanayake, Masayuki Okuya, Kenji Murakami
2. 発表標題 Formation and Characterization of Ga Doped ZnO 1-D Nanostructures by Using Advanced Spray Pyrolysis Deposition Technique
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Albertus Bramantyo, Masayuki Okuya, Kenji Murakami, Nji Raden Poespawati, Arief Udhiarto
2. 発表標題 Perovskite-type solar cell based on ZnO Nanorods Array: Current-Voltage (I-V) Characteristics
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryosuke Okumura, Junpei Sagisaka, Yuki Masuda, Masayuki Okuya
2. 発表標題 TiO <sub>2</sub> film prepared with a non-equilibrium plasma induced in a liquid phase
3. 学会等名 27th Annual Meeting of MRS-J (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sameera Attanayake, Masayuki Okuya, Kenji Murakami
2. 発表標題 Synthesis and Characterization of Al Doped ZnO Nanostructures by Using Advanced Spray Pyrolysis Deposition Technique at Different Annealing Temperatures
3. 学会等名 The 34th International Japan-Korea Seminar on Ceramics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shinpei Watanabe, Masayuki Okuya, and Kenji Murakami
2. 発表標題 Fabrication of flexible dye sensitized solar cell by using spray pyrolysis deposition technique
3. 学会等名 The 34th International Japan-Korea Seminar on Ceramics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥村亮祐, 鷺坂潤平, 堀水懸登, 増田優貴, 奥谷昌之
2. 発表標題 非平衡液中プラズマを用いたTiO <sub>2</sub> 膜の作製
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Albertus Bramantyo, Kenji Murakami, Masayuki Okuya, Nji Raden Poespawati, Arief Udhiarto,
2. 発表標題 Perovskite-type solar cell base on ZnO Nanorods Array: the effect of molar ratio of PbI <sub>2</sub> to MAI on formation of Perovskite Layer
3. 学会等名 第78回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sameera Attanayake, Masayuki Okuya, Kenji Murakami
2. 発表標題 Synthesis and Characterization of ZnO and Al-doped ZnO Nanostructures at Different Annealing Temperatures
3. 学会等名 第78回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥村亮祐, 鷺坂潤平, 増田優貴, 奥谷昌之
2. 発表標題 液中非平衡プラズマを利用したTiO <sub>2</sub> 膜の作製
3. 学会等名 第78回応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 豊島安健, 近藤道雄, 中田仗祐, 村田正義, 小林光, 小林悠輝, 傍島靖, 富永姫香, 吉野賢二, 岡本保, 高本達也, 伊崎昌伸, 都甲薫, 山口真史, 荒木秀明, 末益崇, 榎屋勝巳, 大島隆治, 丸本一弘, 奥谷昌之, 他46名	4. 発行年 2018年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 556
3. 書名 次世代の太陽電池・太陽光発電 - その発電効率向上, 用途と市場の可能性 -	

〔産業財産権〕

〔その他〕

静岡大学奥谷研究室 <a href="http://okuyalab.sakura.ne.jp/">http://okuyalab.sakura.ne.jp/</a>
--

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
--	---------------------------	-----------------------	----