

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 25 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03916

研究課題名（和文）非平衡プラズマの液中閉じ込め効果を利用した製膜と色素増感太陽電池のモジュール化

研究課題名（英文）Modularization of dye-sensitized solar cells with a non-equilibrium plasma induced in a small cavity in a liquid phase

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） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究で独自に開発した製膜技術は、平板状の放電用電極と製膜用基板の間に前駆体溶液を毛細管現象で注入後、電極に高バイアスを印加して局所的に微小空洞を形成し、この空洞に閉じ込めた平面プラズマを前駆体へ照射する手法である。本研究では市販のレジストを利用した微細な金属グリッド上に誘電体板を設置し、その面内にバイアスを印加する新方式を採用する。これにより、液中におけるプラズマ発生領域の空間的安定性、およびナノレベルでの微細制御が確保される。さらに、この手法をダイレクトパターニング製膜へ展開するとともに、新エネルギー源として期待されている色素増感太陽電池に対する実用的技術へと進展させる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来型の放電方式に比べ、グリッドの微細化やデザイン性が増し、結果的にプラズマ発生領域のナノメートルオーダーでの制御が可能になる。この手法にプラズマの3次元的空间分布制御や、電極のスキャン技術を組み込むことにより、ドット状やライン状のダイレクトパターニング製膜への展開が可能であり、将来は3次元の対象物表面に膜を『描く』技術への進展も期待される。本製膜技術は、比較的手軽な技術でありながら、研究の成果を既存のプラズマディスプレイ技術と融合させ、さらにプラズマの空間分布状態の微細制御技術が加われば、将来的に微細加工から大面積製膜まで幅広い応用の利く革新的製膜技術へ発展することが期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we applied a novel plasma technique to form a porous TiO<sub>2</sub> layer on an FT0-coated substrate for a DSSC. However, we employed a glass substrate here, because the handmaid electrode caused to a non-homogeneous plasma distribution with micrometers of fine sparks because of a low resolution of the screen-printed grid pattern and damaged the plastic substrate during film formation. We further investigated the active plasma species to promote a necking process between TiO<sub>2</sub> particles during plasma irradiation by adjusting the volume fraction of the flowing mixture of nitrogen and oxygen gases. However, the plasma induced under atmospheric pressure decayed rapidly, and the vertical distribution of the planar plasma on the electrode was too thin to allow annealing of a porous-TiO<sub>2</sub> layer to produce a high-performance DSSC.

研究分野：プラズマ科学

キーワード：非平衡平面プラズマ 液中プラズマ 誘電体バリア放電 色素増感太陽電池 酸化チタン 酸化スズ

## 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、この空間内に製膜用基板を配置する。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。

(2)さらに、実用化を踏まえたパターニング製膜に際し、マスキングやレジストといった追加処理が要求される。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ケースが多い。

(3)このような現状にあって、本研究は液相を利用した製膜でありながら、従来法とは全く異なり、基板上へ塗布された前駆体液膜へプラズマを照射して前駆体を高速分解するだけでなく、2次元プラズマの局所的な照射による低融点基板上へのパターニング製膜、およびその電子デバイスへの応用を目的とし、上記の諸問題の解決につながると考えられる。

### 2. 研究の目的

(1)本研究は、これまで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。具体的には、バイアス印加により液相中に配置した放電用電極と製膜用基板の間に微小空洞を形成し、この空洞内にガスを送り込んで非平衡平面プラズマを発生させ、毛細管現象により基板表面に逐次供給される前駆体溶液とプラズマとの反応を利用して製膜を行う。さらに、液中のプラズマ発生領域に対し空間的安定性を確保するため、放電用電極用誘電体板の表裏にバイアスを印加する従来の方式に対し、市販のレジストを利用した金属グリッド上に誘電体板を設置し、その面内にバイアスを印加する新方式を採用する。

(2)本研究では、新規に提案する液中非平衡平面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。併せて、新エネルギー源の開発に対する社会的ニーズに応える。

### 3. 研究の方法

(1)STS-02(石原産業)とP25(Degussa)を混合した懸濁液をSPD法によりFTO/buffer-TiO<sub>2</sub>層上に噴霧し、所定の膜厚のTiO<sub>2</sub>層を堆積させた。次に、堆積させたTiO<sub>2</sub>層に対し、電気炉200、1時間の仮焼成を行った。続いて、titanium(IV) tetraisopropoxide (TTIP、関東化学)に過酸化水素水(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)を加え、[TTIP]/[H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]=0.1(モル比)になるようにTTIP溶液を調製した。最後に、仮焼成後のTiO<sub>2</sub>層をTTIP溶液に30分間浸漬を行った。

(2)電極を0.1 mmの間隔で配置し、2-プロパノールを溶媒とした液中製膜装置にセットした。液中製膜装置の模式図をFig. 1に示す。バイアスを印加すると電極グリッドに溶液が引き寄せられ、中央が窪むため、ここに原料ガスを供給することによって空洞内部にプラズマを発生させ、基板へ照射することで製膜を行った。

(3)プラズマは0.5 L/minの窒素・酸素混合ガスフロー下で40分間照射した。窒素/酸素ガス割合はAir, 99.8/0.2, 100/0の条件で作製した。上記のプラズマ処理を1サイクルとして、これを2サイクル繰り返すことで多孔質TiO<sub>2</sub>層を作製した。これを利用してDSSCを作製し、電池特性を調査した。

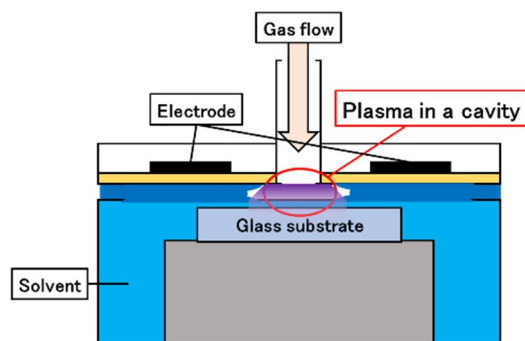


Fig. 1 液中プラズマを利用した製膜技術の概略。

### 4. 研究成果

(1)新規製膜法において液相中に微小空洞を維持することは重要である。電極上に2-プロパノールを一様に塗布し、高電圧印加前後の表面形状を観察した。この際の電極と2-プロパノールの相互作用をFig. 2に示す。高電圧印加前には電極表面上に一様に広がっていた2-プロパノールが、高電圧印加によってグリッド付近に引き寄せられ、グリッド間に窪みを形成していることを確認した。液相中に注入したガスは、一般的に液相中の気泡となって空間的に散逸するが、窪みに保持されたガスは1つにまとまり、空洞を安定化させることができる。

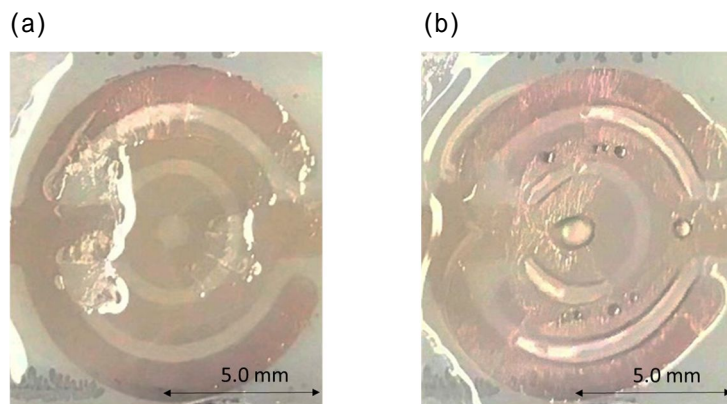


Fig. 2 電極と2-プロパノールの相互作用; (a) 高電圧印加前, (b) 高電圧印加中(4 kHz, 13 kV).

(2)電極が発生させるプラズマの形成領域と、液相中で形成される空洞領域を Fig. 3 に示す。比較参照用として、従来型電極でのプラズマ形成領域と空洞領域をあわせて示す。プラズマの発光から可視的なプラズマ形成領域を観測し、液相中で形成される空洞領域を赤線で囲んだ。従来の液中製膜法に使用していた従来型電極では、発生したプラズマの約半分の領域は空洞形成領域に収まっていない。一方、新電極が形成するプラズマの大部分は空洞形成領域に閉じ込められていることがわかる。液中製膜法において、従来型電極では発生させたプラズマの多くが空洞外に拡散するため、失活割合が大きかったが、新電極では発生させたプラズマの大部分を空洞内に閉じ込められるため、失活割合を抑えることが期待できる。

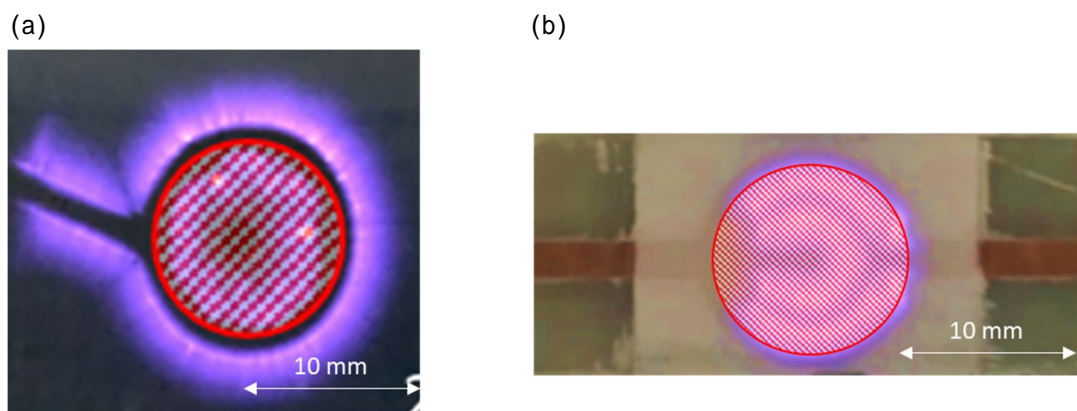


Fig. 3 各電極が発生させる空洞形成領域とプラズマ形成領域(4 kHz, 13 kV); (a)従来型電極, (b)新電極.

(3)液中プラズマ用実験装置の構成とプラズマの形成領域を確認するため、Fig. 4(a)に電極固定用治具を示す。前駆体溶液で満たされた容器内に配置されたガラス基板と、プラズマ発生用電極の間隔は0.1 mmに固定した。Fig. 4 (b)に示すように、液相中の微小空洞内にプラズマが実際に形成されていることを確認した。

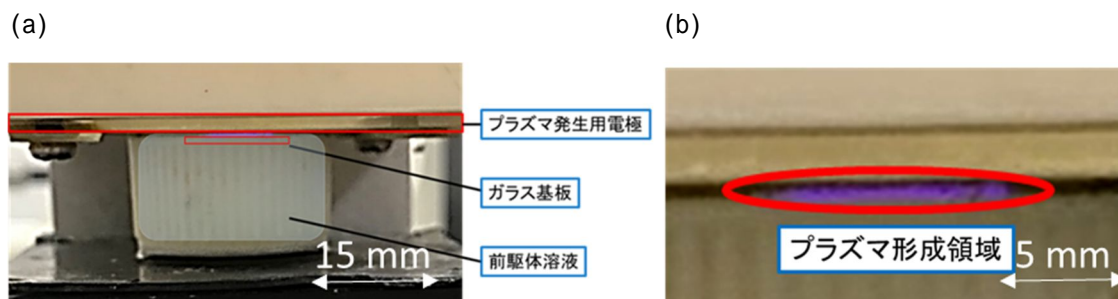


Fig. 4 電極固定用治具; (a)側面構成, (b)拡大図.

(4)本研究で開発した電極を組み込んだ製膜装置を利用して、液相中のプラズマのエネルギーを実測した。この際、容器内には前駆体溶液の代わりに2-プロパノールを満たした。これまでの研究成果から、高窒素低酸素濃度ガスを注入した際の製膜時に、結晶性の高い膜が形成されたことがわかっている。そこで、空気注入時と、 $N_2 : O_2 = 99 : 1$  vol%の混合ガスを注入した際の、それぞれの液中プラズマのエネルギーを測定した。ここで得られた電極のエネルギー測定結

果を Fig. 5 に示す。どちらの雰囲気においても、周波数 4 kHz、電圧 13 kV でエネルギーが最大となり、それぞれ 1.19 J/s と 2.15 J/s となった。これらの値はどちらも前駆体の分解と結晶化に必要なエネルギーである。両者を比べた場合、短時間で前駆体に供給出来るエネルギーが大きいことから、(b)の条件下では(a)と比べて短時間の製膜に適していると考えられる。

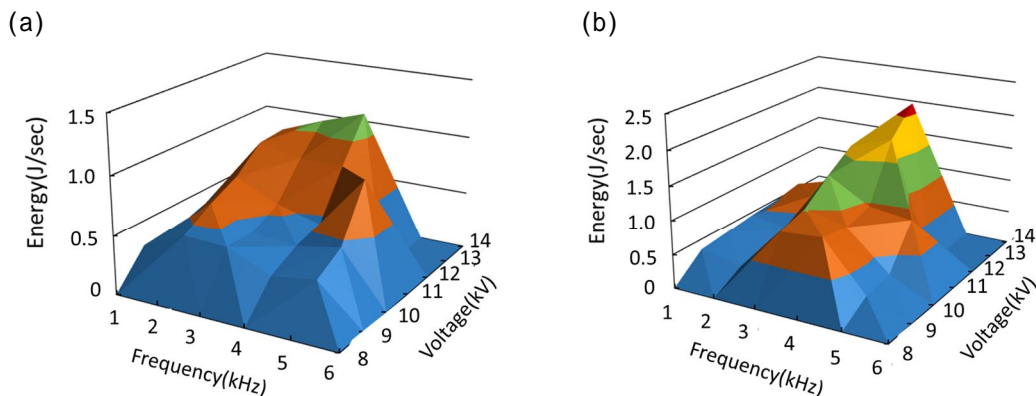


Fig. 5 各雰囲気制御下で発生させた液中プラズマのエネルギー；(a)air, (b) $N_2 : O_2 = 99 : 1$  vol%混合ガス。

(5)空気を注入して発生させたプラズマの照射時間を変化させ、前駆体の分解反応に与える影響を調べた。Fig. 6 に空気注入時の新規液中法で作製した膜の XRD 測定結果を示す。従来の電極による液中製膜法では、プラズマの運動エネルギーが大きく、膜のエッチング作用による薄膜化が問題であった。本研究において、空気を注入して作製した膜で、照射時間を延長することによって前駆体の分解反応と結晶化が進行した。照射時間 10 分の膜で明瞭な  $TiO_2$  のピークは観測されず、アモルファス状であったが、照射時間 15 分の膜においてアナターゼ型  $TiO_2$  の(101)ピークを観測し、結晶化が促進された。従来法では、アナターゼ型  $TiO_2$  を形成できなかったことから、本研究で採用した新電極が前駆体の分解反応と結晶化に有利であることがわかった。これは、従来法で発生させたプラズマの大部分は不安定で、微小空洞内に閉じ込めることができず、前駆体の分解反応に寄与する活性種の大部分は前駆体表面に到達する前に失活し、前駆体の分解に至らなかったことが原因であった。一方、新規電極を使用した本製膜では、プラズマの形成領域を微小空洞内に抑えることができた。これにより、前駆体へ安定的に高濃度のプラズマを照射でき、分解反応と結晶化が促進されたと考えられる。

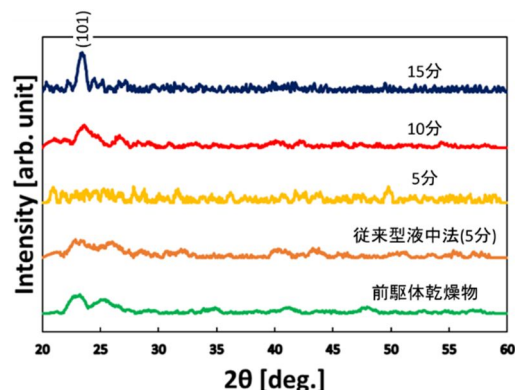


Fig. 6 空気注入時の新規液中法で作製した膜の XRD 測定結果 (プラズマ照射時間 5~15 分×15 回)。

(6)液中プラズマを利用して作成された  $TiO_2$  層を利用した色素増感太陽電池の  $J-V$  曲線を Fig. 6 に示す。未処理とは、 $TiO_2$  微粒子を堆積後 TTIP 前駆体溶液に浸漬させ、プラズマ照射を行う前の状態の基板を用いて作製した DSSC を示し、開放系は、これまでの研究で用いられていた、液中に基板を設置しないプラズマ処理を行い作製したものを示す。 $J-V$  グラフに示した 100/0, 99.8/0.2, 空気はそれぞれ多孔質  $TiO_2$  層をプラズマを用いて液中製膜する際に供給したガスの窒素/酸素割合を示している。このように、未処理のものと比較して電池特性が向上していることが分かる。ネッキング剤として用いた TTIP 前駆体が多孔質  $TiO_2$  層に残留している場合、電池の内部抵抗を高め、電池性能が低下するという研究結果が報告されている。改良した液中製膜装置を用いたプラズマ処理によって、TTIP 前駆体が分解され、性能が向上したものと考える。また、高窒素・低酸素濃度条件下で他の条件と比較して最も高い短絡電流密度  $3.07 \text{ mA/cm}^2$ 、変換効率 1.59% を達成したことから、電極と基板間の微小空洞内を系として雰囲気制御を行うことが出来たと考える。しかし、電池性能としては、開放系で作製した太陽電池の変換効率 2.39% には及ばず低い値を示した。

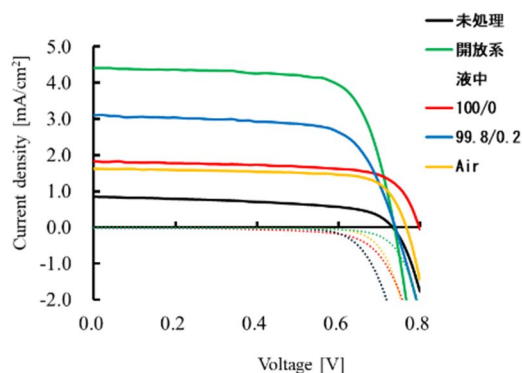


Fig. 6 液中プラズマを利用して作成された  $TiO_2$  層を利用した色素増感太陽電池の特性。

(7)液中製膜法はプラズマを閉じ込める溶媒に、反応に必要な原料溶液を用いることでプロセスの簡略化が可能と期待される技術である。今後、蒸発に使われたエネルギーの損失を原料溶液の分解に利用することが出来れば、効率的な製膜法として利用することが出来ると考え、本研究ではその可能性が示された。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  $\text{TiO}_2$  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6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Okuya Masayuki, Suzuki Kosuke, Toda Kyosuke, Konishi Naoma, Naito Kanta	4. 巻 163
2. 論文標題 Microwave heating to form porous TiO <sub>2</sub> layer on high-haze FTO film for dye-sensitized solar cell	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materials Science in Semiconductor Processing	6. 最初と最後の頁 107582 ~ 107582
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mssp.2023.107582	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 奥谷昌之、小西直磨	4. 巻 53
2. 論文標題 マイクロ波加熱を利用した金属酸化物薄膜の形成と色素増感太陽電池への応用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本電子材料技術協会会報	6. 最初と最後の頁 14 ~ 19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Nagao Yuki, Mayumi Shinji, Sawamura Minato, Okumura Ryosuke, Okuya Masayuki	4. 巻 130
2. 論文標題 Atmospheric non-equilibrium planar plasma under magnetic field to form a porous-TiO <sub>2</sub> layer for dye-sensitized solar cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 249 ~ 256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.21160	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 Okuya Masayuki, Mayumi Shinji, Okumura Ryosuke, Masuda Yuki, Yagi Isao	4. 巻 60
2. 論文標題 Porous TiO <sub>2</sub> layer for dye-sensitized solar cell formed with non-equilibrium 2D plasma induced by dielectric barrier discharge under atmospheric pressure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 45501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe79b	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 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 ~ 90
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, Poespawati 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 12057
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

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 山根知幸、新野萌、奥谷昌之
2. 発表標題 微粒子層の導入による高ヘイズTCO膜を利用した色素増感太陽電池の作製
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西川大輔、長尾優輝、棟近健、奥谷昌之
2. 発表標題 非平衡二次元プラズマを利用した積層型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83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 戸田恭輔、小西直磨、内藤貫太、奥谷昌之
2. 発表標題 雰田気制御下のマイクロ波加熱法を利用したITO膜の作製と色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥谷昌之
2. 発表標題 マイクロ波加熱を利用した透明導電膜の作製と色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 第5回JEMEA若手サマースクール in 静岡 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 戸田恭輔、小西直磨、内藤貫太、奥谷昌之
2. 発表標題 雰田気制御下のマイクロ波加熱による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 Moe Niino, Yoshinobu Kubota, Yumi Yamashita, Masayuki Okuya
2. 発表標題 High-haze TCO films tuned by grain growth of FT0 and ITO for dye-sensitized solar cells
3. 学会等名 31st Annual Meeting of MRS-J (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Naoma Konishi、Kanta Naito、Kyosuke Toda、Masayuki Okuya
2. 発表標題 Porous TiO <sub>2</sub> layers formed with microwave heating technique and their application to dye-sensitized solar cells
3. 学会等名 31st Annual Meeting of MRS-J (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Nagao、Shinji Mayumi、Minato Sawamura、Masayuki Okuya
2. 発表標題 Porous TiO <sub>2</sub> layers formed with atmospheric non-equilibrium two-dimensional plasma and their application to dye-sensitized solar cells
3. 学会等名 31st Annual Meeting of MRS-J (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長尾優輝、眞弓慎司、澤村南斗、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> 層の最適化と色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 電気化学会 東海支部・東北支部合同シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長尾優輝、眞弓慎司、澤村南斗、奥谷昌之
2. 発表標題 非平衡プラズマを利用した色素増感太陽電池の作製
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 戸田恭輔、小西直磨、内藤貫太、奥谷昌之
2. 発表標題 雰田気制御下でのマイクロ波加熱法を利用した色素増感太陽電池の作製
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新野萌、久保田祐紳、山下佑海、奥谷昌之
2. 発表標題 粒成長による透明導電膜のヘイズ率制御と色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小西直磨、戸田恭輔、内藤貫太、奥谷昌之
2. 発表標題 マイクロ波磁場の照射による多孔質TiO <sub>2</sub> 層の焼成と色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長尾優輝、眞弓慎司、澤村南斗、奥谷昌之
2. 発表標題 3次元的制御を導入した大気圧非平衡プラズマによるTiO <sub>2</sub> 膜の作製および色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 第37回日本セラミックス協会関東支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小西直磨、戸田恭輔、内藤貫太、奥谷昌之
2. 発表標題 ITO透明導電膜上における多孔質TiO <sub>2</sub> 層のマイクロ波焼成と色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 第37回日本セラミックス協会関東支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 戸田恭輔、小西直磨、内藤貫太、奥谷昌之
2. 発表標題 雰囲気制御下でのマイクロ波加熱法の利用したITO透明導電膜の作製
3. 学会等名 第37回日本セラミックス協会関東支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新野萌、久保田祐紳、山下佑海、奥谷昌之
2. 発表標題 SPD法によるITO透明導電膜の作製と色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 第37回日本セラミックス協会関東支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 戸田恭輔、小西直磨、内藤貫太、奥谷昌之
2. 発表標題 マイクロ波加熱法を利用したITO透明導電膜の作製における雰囲気の検討
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小西直磨、戸田恭輔、内藤貫太、奥谷昌之
2. 発表標題 マイクロ波の磁場照射による多孔質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82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長尾優輝、眞弓慎司、澤村南斗、奥谷昌之
2. 発表標題 大気圧非平衡プラズマの3次元的制御による多孔質TiO <sub>2</sub> 膜の作製と色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長尾優輝、眞弓慎司、澤村南斗、奥谷昌之
2. 発表標題 大気圧非平衡プラズマによる3次元的制御を利用したTiO <sub>2</sub> 膜の作製
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長尾優輝、眞弓慎司、澤村南斗、奥谷昌之
2. 発表標題 大気圧非平衡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 日本セラミックス協会 第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新野萌、久保田祐紳、山下佑海、奥谷昌之
2. 発表標題 FTO透明導電膜の粒成長によるヘイズ率の制御と色素増感太陽電池の高効率化
3. 学会等名 2021年第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 長尾優輝、澤村南斗、眞弓慎司、奥谷昌之
2. 発表標題 大気圧非平衡プラズマの磁場による3次元制御を利用した多孔質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 2021年第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 小西直磨、内藤貴太、鈴木康介、奥谷昌之
2. 発表標題 酸素欠損型FTO透明導電膜上への多孔質TiO <sub>2</sub> 層のマイクロ波焼成と色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 2021年第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 Yoshinobu Kubota, Yumi Yamashita, Masayuki Okuya
2. 発表標題 High-haze FTO/ITO double-layered transparent conductive oxide glass for a dye-sensitized solar cell
3. 学会等名 30th Annual Meeting of MRS-J (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Minato Sawamura、Shinji Mayumi、Junpei Sagisaka、Masayuki Okuya
2. 発表標題 Porous-TiO <sub>2</sub> layers deposited with a non-equilibrium two dimensional plasma and their application to dye sensitized solar cells
3. 学会等名 30th Annual Meeting of MRS-J (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kanta Naito、Kousuke Suzuki、Masayuki Okuya
2. 発表標題 Porous-TiO <sub>2</sub> /ITO double layers deposited by a microwave heating technique and their application to dye-sensitized solar cells
3. 学会等名 30th Annual Meeting of MRS-J (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内藤貴太、鈴木康介、奥谷昌之
2. 発表標題 マイクロ波照射下における自己発熱を利用したITO透明導電膜の作製と色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤村南斗、眞弓慎司、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> 膜の低温形成と色素増感太陽電池への応用
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久保田祐紳、山下佑海、奥谷昌之
2. 発表標題 ITO微粒子層の導入による積層型FTO透明導電膜の高ヘイズ化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33回秋季シンポジウム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

2022年Journal of the Ceramic Society of Japan優秀論文賞受賞  
 Yuki Nagao, Shinji Mayumi, Minato Sawamura, Ryosuke Okumura, and Masayuki Okuya,  
 "Atmospheric non-equilibrium planar plasma under magnetic field to form a porous-TiO2 layer for dye-sensitized solar cells", J. Ceram. Soc. Jpn., Vol. 130, pp.249-256 (2022).

静岡大学奥谷研究室ホームページ  
<http://okuyalab.sakura.ne.jp/>

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

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