

令和 2 年 8 月 5 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02297

研究課題名(和文) シングルnmスケールアノード酸化ポーラス構造の形成と電子・光局在デバイスへの応用

研究課題名(英文) Preparation of Anodic Porous Alumina on a Single Nanometer Scale and Its Application for Electrical and Optical Devices

研究代表者

益田 秀樹 (Mausda, Hideki)

首都大学東京・都市環境科学研究科・教授

研究者番号：90190363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,800,000円

研究成果の概要(和文)：Alを酸性電解液中でアノード酸化することにより得られるアノード酸化ポーラスアルミナは、自己組織的に高い規則性を有するポーラス構造を形成可能なことから、様々な機能デバイスを構築する上での出発構造材料として重要性を増している。本申請課題では、シングルnmスケールの細孔が規則配列した高規則性ポーラスアルミナの形成と光機能性デバイスへの応用について検討した。検討の結果、10nm以下の直径を有する細孔が規則的に配列したポーラスアルミナの作製を実現し、また、得られたポーラスアルミナを鋳型として作製した同軸ナノケーブルアレイが光の局在に基づく微小光化学反応場として機能することを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アノード酸化ポーラスアルミナは、幾何学形状の制御が容易であり、板状試料として得やすい等の特徴を有しているが、一方で、細孔径、細孔周期が他のナノ構造材料に比べ大きいという課題を有しており、これが応用範囲の拡大の障害となっていた。細孔構造の微細化の実現により、ポーラスアルミナの応用分野を広げる上で、大きなインパクトをもたらすものと考えられる。また、シングルnmポーラス構造にもとづく精密テンプレート合成手法の確立、それに基盤を置く電子・光が微小空間に局在化した光機能デバイスの作製は、人工的なリソグラフィ手法を用いることなく新規な機能デバイスの構築を可能にするという点でも意義深い。

研究成果の概要(英文)：Anodic porous alumina, which is formed by anodization of Al in an acidic electrolyte, has been attracted increasing interest as a key material for the fabrication of various functional devices. In the preset study, we investigated the preparation of ordered anodic porous alumina with holes on a single nanometer scale and its application for functional optical devices. As a result of this study, ordered anodic porous alumina with a hole diameter of less than 10 nm were successfully obtained. In addition, obtained anodic porous alumina could be used as a template for the preparation of functional optical devices. The obtained optical device was effective as a micro-photochemical reaction field based on localized light.

研究分野：電気化学

キーワード：アノード酸化 ポーラスアルミナ シングルnm

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

A1を酸性電解液中でアノード酸化することにより得られるアノード酸化ポーラスアルミナは、自己組織的に高い規則性を有するポーラス構造を形成可能なことから、様々な機能デバイスを構築する上での出発構造材料として重要性を増している。アノード酸化ポーラスアルミナは、均一な独立細孔が膜面に垂直に配向した構造からなり、電圧、時間等の化成パラメーターにより幾何学構造が制御可能である等、他のナノ構造材料に無い特徴を有している。加えて、研究代表者らにより、適切なアノード酸化条件で化成を行った場合には、細孔が長距離に渡って欠陥なく規則配列した構造が得られることが明らかになったことを契機に基礎・応用両面で研究が活発化している。高規則性アノード酸化ポーラスアルミナのナノ構造材料としての重要性は、研究代表者らによる第一報告論文[Science vol.268, 1466 (1995)]が、これまでに4,000件を超える引用がなされていることから伺うことができる。アノード酸化ポーラスアルミナは、幾何学形状の制御が容易であり、板状試料として得やすい等の特徴を有しているが、一方で、細孔径、細孔周期が他のナノ構造材料に比べ大きいという課題を有しており、これが応用範囲の拡大の障害となっていた。そのため、アノード酸化ポーラスアルミナを様々な分野へ応用展開する上で、細孔径、細孔周期の微細化が重要な課題とされる。ポーラスアルミナの細孔径、細孔周期は、化成電圧を低下させることで微細化するが、この場合、規則配列した構造は得られない。研究代表者らは、これまでの検討において、通常のアノード酸化条件と比較して著しく高い濃度の硫酸を電解液として用いることで、低化成電圧領域で細孔が規則配列した構造が得られることを見出した。更に、電解液に添加物を加えることで細孔配列の規則性が著しく向上する現象も見出した。しかしながら、これまでに細孔径がシングルnmスケールまで微細化された高規則性ポーラスアルミナの作製は実現されておらず、作製条件の確立が焦眉の課題となっていた。細孔構造の微細化が実現すれば、ポーラスアルミナの応用分野を広げる上で、大きなインパクトをもたらすものと考えられ、電子・光局在デバイスに留まらず、精密分離、各種バイオデバイス、センシング等広範な分野での波及効果が期待される。また、シングルnmポーラス構造にもとづく精密テンプレート合成手法の確立、更には、それに基盤を置く電子・光が微小空間に局在化した光機能デバイスの作製が実現できれば、人工的なリソグラフィー手法を用いることなく新規な機能デバイスの構築が可能になると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、化成電圧の更なる低電圧化を進め、シングルnmスケールの規則細孔配列を有するポーラスアルミナの作製条件の確立をはかり、合わせて細孔構造の規則化機構の解明を目指した。更に、得られた微細規則ポーラス構造をテンプレートとした電子・光の局在に基盤を置く光機能デバイスへの展開について検討した。具体的には、極微細ポーラス構造にもとづく新規電子機能デバイス、光の高効率伝播を可能にするデバイスの構築と微細光化学反応場への応用を目的に検討を行った。ポーラスアルミナにもとづく機能デバイスの構築を行うアプローチとして各種テンプレート合成法が広く用いられている。研究代表者らは、これまでに、規則ポーラスアルミナをテンプレートとする半導体、あるいは金属ナノ構造形成プロセスに関し検討を行ってきた。このようなテンプレートプロセスによるナノ構造の例として、ポーラスアルミナを鋳型とした水熱合成法による半導体(ZnO)ナノワイヤの形成、あるいは、ポーラスアルミナをもとに形成された金属(Au, Ag)開口部にワイヤを挿入した同軸構造をあげることができる。ナノワイヤは、超比表面積効果に加え、電子局在化に起因する新規な電子特性の発現が期待される。一方、同軸構造は、通常金属アパーチャーが開口径に対応する遮断波長を有するのに対し、遮断波長を有しないことから、波長に依存することなく入射光を開口部に伝播・局在させることが可能となる。本研究では、微細孔を有する規則ポーラスアルミナをもとに作製した同軸構造にもとづき、光が微小空間に局在化された光機能デバイスの構築と光化学反応制御について検討した。

3. 研究の方法

アノード酸化ポーラスアルミナに於いて、細孔径、細孔周期は、化成電圧に比例して微細化する(化成電圧に対する細孔周期の定数として2.5nm/Vが知られている)。従って、微細細孔径、細孔周期において規則構造を得るためには、低化成電圧条件下において細孔配列の規則化条件を確立することが必要となる。規則化条件の探索には、化成浴の組成、濃度、浴温度等を系統的に変化させることで行った。また、研究代表者らのこれまでの検討で規則化に有効であることが明らかになった各種添加物の効果についても探索を行った。

これまでの検討で、低化成電圧下での細孔配列の規則化は、高濃度硫酸を電解液として用い、高電流密度条件下でアノード酸化を行うことで観察されることが明らかになっている。この知見にもとづいて、低化成電圧条件下、高い細孔規則配列が得られるアノード酸化条件に関し、添加剤の効果を中心に検討を行った。

アノード酸化ポーラスアルミナの細孔構造の規則化機構に関しては、多くの機構が提案されているが、細孔構造の規則化挙動を矛盾なく説明可能な機構は、確立されていない。本研究では、細孔構造の規則化機構の解明に関し、細孔配列の規則化に及ぼす種々の化成パラメーターの系統的な検討と同時に、数値シミュレーションにもとづく規則化機構の検討を行った。

アノード酸化により形成されたポーラスアルミナの細孔径の更なる微細化を目的に、ALD

(Atomic Layer Deposition) による酸化物層堆積反応にもとづく細孔径制御を検討した。ALDでは、原子一層レベルでの金属酸化物の形成が可能となることから、シングルnm細孔径を高精度に微細化することが可能になるもと期待され、ALD条件の最適化とサイクル数制御による、細孔径の精密制御について検討した。

ロッド径、間隔が制御された半導体ナノロッドアレイとして、ZnOナノロッドアレイの作製を行った。ZnOは、発光素子、エミッタ等への応用に加え、シングルnm程度に微細化することで、量子サイズ効果の発現が期待される。得られるナノロッドの直径、間隔は、テンプレートとして用いるポーラスアルミナの幾何学構造により決定されることから、シングルnmスケールの細孔を有するポーラスアルミナを用いることで、直径、間隔が制御された半導体ナノロッドの形成が期待できる。

ナノスケールの規則細孔配列をテンプレートとし金属(Au, Ag)同軸構造形成を行った。同軸構造の形成は、アルミナをテンプレートとする金属ナノホールアレイ構造の形成、細孔内壁への誘電体層(SiO₂)の形成、最後に、細孔の中心に金属ワイヤの形成を行うことで行う。これまでの検討で同軸構造の形成と、可視光域における良好な光伝播特性が確認されている。同軸構造では、開口径サイズが微細化した場合にも光の高効率伝播が可能であり、光の回折限界を越えた集光が可能となる。本研究では、出発テンプレートとして、極微細孔を有するポーラスアルミナを用い、微小な領域に入射光を集光できる同軸構造の作製を行った。また、得られた同軸構造を用い光硬化性ポリマーに光照射を行うことにより、光化学反応における解像度等の検証を行った。

4. 研究成果

シングルnmスケールの細孔が規則配列したアノード酸化ポーラスアルミナの作製を目指し各種アノード酸化条件の検討を行った結果、高濃度硫酸浴を用いたアノード酸化において、電解液の温度を室温以上に高く設定した場合に、低電圧条件下において細孔の規則配列が向上する様子が確認された。この他、電解液に添加する特定のアニオン種の条件を最適化することにより、再現性良く高い規則性を有するポーラス構造が得られることが明らかになった。現時点では、添加剤と細孔配列規則性の関係については不明な点が多いが、細孔が10nm程度まで微細化された高規則性ポーラスアルミナの作製が可能となった。アノード酸化ポーラスアルミナの細孔配列が自己組織化的に規則配列する機構の解明を目指し、有限要素法解析にもとづく考察を行った。アノード酸化反応時に皮膜底部に形成される半球状のセル構造における電場強度分布の解析をはじめとし、幾何学形状がアノード酸化特性に及ぼす影響に関し数値的な考察を加えた。本検討の結果、アノード酸化ポーラスアルミナにおける規則ポーラス構造形成に関する基礎的知見が得られた。

本研究で得られたポーラスアルミナの更なる細孔径の微細化を目的に、ALDを用いた細孔径制御についても検討した。トリメチルアルミニウムを原料として、ポーラスアルミナの細孔壁にアルミナ層の堆積を行った結果、アスペクト比が50を超える高アスペクト比の細孔底部まで均一に成膜が可能であることが確認された。また、ALDを行う際のサイクル数を変化させることにより、細孔径をオンゲストロームオーダーで精密制御することが可能となり、10nm以下の微細な細孔径を有するポーラスアルミナが得られることが示された。これにより、機能デバイスを作製する際の鋳型など広範な応用が期待できるシングルnmスケールの細孔が高度に規則配列したポーラスアルミナの作製が可能となった。

本研究で得られた、微細周期高規則性アノード酸化ポーラスアルミナを鋳型とした水熱合成によりサイズの均一なZnOナノロッドが規則配列した構造体の作製を行った。鋳型として用いるポーラスアルミナの構造を変化させることにより、得られるZnOナノロッドアレイの直径や周期がナノメータースケールで制御可能であることが示された。この結果、合成条件の最適化を行うことで、均一なサイズのZnOナノロッドが透明電極基板上に規則配列した構造体の形成に成功した。ZnOは、良好な可視光透過性と伝導性を有することから、ZnOナノロッドアレイは、太陽電池用集電極としての応用が期待される。また、微細周期ポーラスアルミナを用いた同軸ナノケーブルアレイの形成においては、Ag等を用いて微細な開口を有する構造体作製に成功した。得られた構造体の透過スペクトルの測定を行った結果、可視光領域において光の透過が観察された。また、同軸ナノケーブルの微小光反応場への応用に関して検討を行った。同軸ナノケーブルの伝搬光を用いてフォトポリマーの架橋反応を行った。その結果、同軸構造開口部においてのみ架橋反応が進行する様子が観察された。この結果は、本研究で作製した同軸ナノケーブルを用いれば、微小領域に集光が可能であることを示しており、回折限界を超えたイメージングデバイスや超高密度光メモリなどへの応用が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Takashi Yanagishita, Atsushi Kato, Toshiaki Kondo, and Hideki Masuda	4. 巻 59
2. 論文標題 Preparation of Freestanding Tubular Alumina Through-Hole Membranes by Two-Layer Anodization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 038002 ~ 038002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab7862	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 Takashi Yanagishita, Hiroaki Awata, Kenichi Kobayashi, Toshiaki Kondo, and Hideki Masuda	4. 巻 48
2. 論文標題 Preparation of Polymer Nanofibers with Controlled Diameters by Continuous Spinning Using Ordered Anodic Porous Alumina as Spinneret	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 86 ~ 89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.180869	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 Takashi Yanagishita, Go Otani, Hitoshi Onomoto, Toshiaki Kondo, and Hideki Masuda	4. 巻 58
2. 論文標題 One-Pod Preparation of Anodic Porous Alumina Molds with Tapered Holes for Moth-Eye Structures by Nanoimprinting	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 068005 ~ 068005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab2367	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 Takashi Yanagishita, Yuki Okubo, Toshiaki Kondo, Hideki Masuda	4. 巻 8
2. 論文標題 Selective Through-Holing of Anodic Porous Alumina Membranes with Large Area	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 RSC Adv.	6. 最初と最後の頁 38455 ~ 38460
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8ra07646d	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 Takashi Yanagishita, Hitomi Inada, Toshiaki Kondo, Nguyen Nhat Truong, Patrick Schmuki, Hideki Masuda	4. 巻 165
2. 論文標題 Efficient Preparation Process for TiO ₂ Through-Hole Membranes with Ordered Hole Arrangements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Electrochem. Soc.	6. 最初と最後の頁 E763 ~ E767
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.0521814jes	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 Takashi Yanagishita, Taito Inoue, Toshiaki Kondo, and Hideki Masuda	4. 巻 47
2. 論文標題 Preparation of Monodisperse LiCoO ₂ Hollow Particles by Membrane Emulsification Using Anodic Porous Alumina	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 551 ~ 554
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1246/cl.180061	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 Takashi Yanagishita, Toshiaki Kondo, and Hideki Masuda	4. 巻 36
2. 論文標題 Preparation of Renewable Antireflection Moth-Eye Surfaces by Nanoimprinting Using Anodic Porous Alumina Molds	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Vac. Sci. Technol. B	6. 最初と最後の頁 031802-1 ~ 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1116/1.5016369	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 Takashi Yanagishita, Masahiko Imaizumi, Toshiaki Kondo, and Hideki Masuda	4. 巻 8
2. 論文標題 Preparation of Nanoporous Alumina Hollow Spheres with a Highly Ordered Hole Arrangement	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 RSC Adv.	6. 最初と最後の頁 2041 ~ 2047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7RA12340J	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 Takashi Yanagishita, Atsushi Kato, and Hideki Masuda	4. 巻 56
2. 論文標題 Preparation of Ideally Ordered Through-Hole Anodic Porous Alumina Membranes by Two-Layer Anodization	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 035202 ~ 035202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.035202	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 Toshiaki Kondo, Sanami Nagao, Takashi Yanagishita, and Hideki Masuda	4. 巻 7
2. 論文標題 Tuning of Interval in Nanohole Array of Anodic Porous Alumina through Deformation of Polymer Templates	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 RSC Adv.	6. 最初と最後の頁 44799 ~ 44803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7RA08346G	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 Toshiaki Kondo, Hayato Miyazaki, Takashi Yanagishita, and Hideki Masuda	4. 巻 35
2. 論文標題 Anodic Porous Alumina with Square Holes Through Lattice Conversion of Naturally Occurring Ordered Structure	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Vac. Sci. Technol. B	6. 最初と最後の頁 050602-1 ~ 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1116/1.4999283	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 Takashi Yanagishita, Masahiko Imaizumi, Toshiaki Kondo, and Hideki Masuda	4. 巻 78
2. 論文標題 Formation of Porous Al Particles by Anisotropic Etching	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Electrochem. Commun.	6. 最初と最後の頁 26 ~ 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.elecom.2017.03.019	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 Takashi Yanagishita, Masahiko Imaizumi, Toshiaki Kondo, and Hideki Masuda	4. 巻 78
2. 論文標題 Formation of Porous Al Particles by Anisotropic Anodic Etching	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Electrochem. Commun	6. 最初と最後の頁 26 ~ 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.elecom.2017.03.019	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 Toshiaki Kondo, Shota Hirano, Takashi Yanagishita, Nhat Truong Nguyem, Patric Schmuki, and Hideki Masuda	4. 巻 9
2. 論文標題 Two-Dimensional Photonic Crystals Based on Anodic Porous TiO ₂ with Ideally Ordered Hole Arrangement	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 102001-1 ~ 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.9.102001	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 Toshiaki Kondo, Sanami Nagao, Takashi Yanagishita, and Hideki Masuda	4. 巻 163
2. 論文標題 Formation of Porous Anodic TiO ₂ with Square Nanoholes by Pretexturing Process	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Electrochem. Soc.	6. 最初と最後の頁 E206 ~ E209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.1241607jes	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 Toshiaki Kondo, Sanami Nagao, Shota Hirano, Takashi Yanagishita, Nhat Truong Nguyem, Patric Schmuki, and Hideki Masuda	4. 巻 7
2. 論文標題 Fabrication of Ideally Ordered Anodic Porous TiO ₂ by Anodization of Pretextured Two-Layered Metals	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Electrochem. Commun.	6. 最初と最後の頁 100 ~ 102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.elecom.2016.09.008	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17件（うち招待講演 15件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Hideki Masuda, Toshiaki Kondo, and Takashi Yanagishita
2. 発表標題 Fabrication of Ordered Semiconductor Nanostructures for Energy Conversion Based on Anodization Processes
3. 学会等名 233rd ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshiaki Kondo, Takashi Yanagishita, and Hideki Masuda
2. 発表標題 Highly Ordered Anodic Porous Alumina for Functionl Nanodevices
3. 学会等名 ICEAN2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshiaki Kondo, Takashi Yanagishita, and Hideki Masuda
2. 発表標題 Anisotropic Anodic Etching of Al and its Application to Thermal Radiation Control Device
3. 学会等名 International Workshop on Nanooptics & Nanophotonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳下 崇
2. 発表標題 高規則性ポーラスアルミナの形成と機能的応用
3. 学会等名 軽金属奨学会講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳下 崇
2. 発表標題 高規則性ナノスルーホールメンブレンの形成と機能化
3. 学会等名 電気化学会関東支部・第 47 回先端科学セミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 益田秀樹
2. 発表標題 高規則性ポーラスアルミナの形成と応用
3. 学会等名 第 35 回 ARS 浜名湖コンファレンス（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Yanagishita, Toshiaki Kondo, and Hideki Masuda
2. 発表標題 Ordered Nanoporous Semiconductors with Controlled Geometrical Structures by Anodization Process
3. 学会等名 235th Electrochemical Society Meeting（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideki Masuda
2. 発表標題 Fabrication of Highly Ordered Anodic Porous Alumina and Its Functional Applications
3. 学会等名 3 rd International Symposium on AST（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Yanagishita, Toshiaki Kondo, and Hideki Masuda
2. 発表標題 High Throughput Preparation of Through-Hole Membranes with Ordered Hole Arrangement
3. 学会等名 3rd International Symposium on AST (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideki Masuda, Toshiaki Kondo, and Takashi Yanagishita
2. 発表標題 Synthesis of Ordered Semiconductor Nanostructures for Energy Conversion Using Anodic Porous Alumina
3. 学会等名 231th ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideki Masuda, Toshiaki Kondo, and Takashi Yanagishita
2. 発表標題 Highly Ordered Anodic Porous Alumina for Functional Nanodevices
3. 学会等名 Anodizing at 2017 congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideki Masuda
2. 発表標題 Preparation of Ordered Micro- and Nanostructures for Functional Devices by Using Anodic Porous Alumina
3. 学会等名 2nd Global Congress & Expo on Materials Science & Nanoscience (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideki Masuda, Toshiaki Kondo, Takashi Nakazono and Takashi Yanagishita
2. 発表標題 Growth of Ordered ZnO Nanorods Arrays Using Anodic Porous Alumina Templates
3. 学会等名 229th ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hideki Masuda, Toshiaki Kondo, and Takashi Yanagishita
2. 発表標題 Micro- and Nanostructures for High Efficiency Energy Conversion by Using Anodic Porous Alumina
3. 学会等名 11th International symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technologies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hideki Masuda, Takashi Yanagishita, and Toshiaki Kondo
2. 発表標題 Fabrication of Highly Ordered Anodic Porous Alumina and Its Applications to Functional Nanodevices
3. 学会等名 PRiME 2016/230th ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大塚雅也, 武井 孝, 柳下 崇, 益田秀樹
2. 発表標題 細孔径を変化させた陽極酸化ポーラスアルミナに対する窒素吸着法を用いた細孔径評価
3. 学会等名 電気化学第84回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂本大河, 近藤敏彰, 柳下 崇, 益田秀樹
2. 発表標題 陽極酸化ポラスアルミナにもとづくZnOナノロッドアレイの形成
3. 学会等名 電気化学第84回大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 Hideki Mausda, Takashi Yanagishita, and Toshiaki Kondo (分担)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 5560
3. 書名 Encyclopedia of Interfacial Chemistry	

1. 著者名 柳下 崇, 近藤敏彰, 益田秀樹 (分担)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 情報技術協会	5. 総ページ数 584
3. 書名 防汚・防水・防曇性向上のための材料とコーティング, 評価・応用	

1. 著者名 応用物理学会・ナノインプリント技術研究会	4. 発行年 2019年
2. 出版社 オーム社	5. 総ページ数 800
3. 書名 ナノインプリント技術ハンドブック	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	近藤 敏彰 (Kondo Toshiaki) (20513716)	首都大学東京・都市環境科学研究科・助教 (22604)	
研究分担者	柳下 崇 (Yanagishita Takashi) (50392923)	首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授 (22604)	