

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：24403

研究種目：挑戦的研究(開拓)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H06237

研究課題名(和文) 金属有機構造体の配向性薄膜による電子的/光学的機能性開拓

研究課題名(英文) Electronic and optical functionalities of metal-organic framework films with crystallographic orientation

研究代表者

高橋 雅英 (Takahashi, Masahide)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20288559

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究により、マクロスケールで配向したMOF薄膜・多層膜を利用することで、これまでは観測できなかった新しい物性も見いだしつつあり、新子光・電子機能性の開拓が期待できる。具体的には、一次元ナノ細孔を有するCu-配位子-ピラー分子から形成される、3次元骨格を有するMOFにおいて、エピタキシャル成長に成功している。MOFの配向ナノ細孔中に、線形有機色素、金属微粒子等を添加し、結晶格子の配向性とMOF骨格とゲストの相互作用を利用することで、新しい物性の発見に至っている。線形有機色素を配向一次元ナノ細孔にゲストとして導入することによる、蛍光スイッチングを報告している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ホスト-ゲストアプローチによる機能材料は、機能性を非常に広範囲で制御できることから電子、光、磁気デバイスのホストとして大いに期待されている。しかしながら、実用化の最も大きな阻害因子として、配向薄膜(エピタキシャル技術)の困難さが指摘されてきた。本研究では、ナノ多孔性のMOFのエピタキシャル技術の基礎を確立し、ホストとしての可能性を大きく拡張した。今後、ゲスト分子の含浸方法の発展やユニークな分子の発見により、これまでは困難とされてきた応用が開拓されていくことが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Epitaxial metal-organic framework films have been established as a new family of nano porous materials with macroscopic alignments of framework structure and pores. We have reported following achievements from the present study: epitaxial films are grown for MOFs with 3-dimensional frameworks, organic functional molecules of linear shape are accommodated in the aligned pore and show unique optical responses, and MOF-on-MOF epitaxial films are fabricated.

研究分野：材料化学

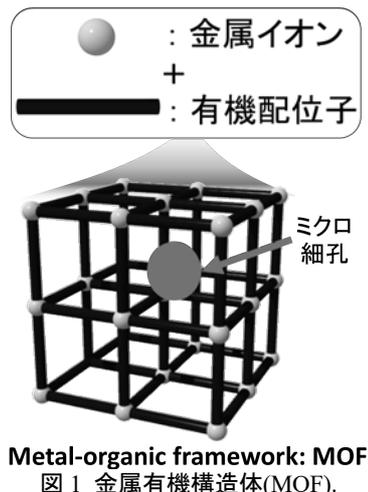
キーワード：ナノ多孔性材料 配位化合物 エピタキシャル成長 ホスト-ゲストシステム 配向薄膜 光機能性 電子機能性

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。

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

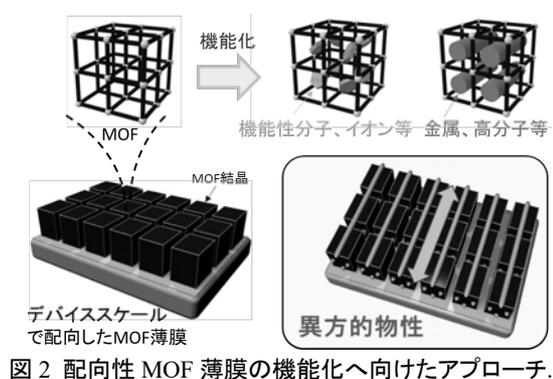
数 nm から数十 nm の微細孔を有する多孔材料は、孔の物理/化学的特性を利用した分子ふるい、触媒、有害物質固定材等として広く利用されている。近年、中心金属イオンに多官能性の有機配位子が配位し規則正しく連結した金属有機構造体 (Porous Coordination Polymer: PCP 又は Metal-Organic Framework: MOF, 以下 MOF) が、次世代の高機能性多孔材料として注目を集めている (図 1)。MOF は、そのフレームワーク構造由来のマイクロ孔 (2 nm 以下の細孔) を利用した機能開拓が盛んに行われており、一般的にはガスの貯蔵・分離媒体として有望視されている。しかし、論文や学会で指摘されているように、MOF デバイスの実用化のための大きな障壁の一つが、デバイススケールでマイクロ孔の向きをそろえる MOF の配向成長である。そこで、MOF 結晶を基板上所定の位置に固定する“ポジショニング”と、基板上で一定方向に結晶軸を揃える“配向制御”の達成を目指し、過去 10 年以上にわたり様々な試みが報告されてきたが、より高機能な MOF デバイスの実現には更なる精密制御が求められている。



## 2. 研究の目的

本提案では、我々の報告しているナノ水酸化物結晶表面における MOF ヘテロエピタキシャル成長を用い、配向性 MOF 薄膜の合成手法と化学的多様性を確立する。さらに、配向性 MOF 薄膜の電子的、光学的応用を開拓することを目的とする。MOF を電子・光学材料として用いる方法として、MOF の細孔内への機能性分子や、金属、機能性ポリマーの導入が挙げられる。デバイススケールで配向した MOF 薄膜の細孔内に機能性材料を導入し、デバイス化を達成することは一つの重要な応用である (図 2)。具体的な研究項目は以下の通り。

- (1) 配向性 MOF の化学的多様化: 金属種, 有機配位子, 結晶構造の多様化, 結晶子サイズの制御
- (2) 配向したマイクロ孔を利用した応用開拓
  - ・細孔の金属, 高分子, イオンによる修飾
  - ・配向性ナノ物質の鑄型とした MOF の利用
- (3) 配向性 MOF 多結晶薄膜を利用した電子的/光学的応用の開拓



## 3. 研究の方法

本研究では、提案者が独自に開拓した「ナノサイズ金属水酸化物結晶の表面における MOF のヘテロエピタキシャル成長」技術を用いて、以下の 3 項目を達成する。

- (1) 配向性 MOF の骨格自体の化学的多様化: 金属種, 有機配位子, 結晶構造の多様化, 結晶子サイズの制御

MOF の優れた特徴の一つは化学的、構造的な多様性である。MOF は、金属イオンや金属イオンオキソクラスターから形成されるノード部と多官能性の有機架橋分子で構成されており、それぞれ金属種の置換、有機架橋分子の置換や化学修飾により、結晶構造、ナノ細孔の化学特性が広範囲で制御できる(図 3)。既存のナノ多孔性材料やメソ多孔性材料と比べた場合、この化学的、構造的な多様性は MOF 材料の大きなアドバンテージである。特に、細孔が構造的な異方性を有している系に着目し、大面積で細孔が配向している MOF 薄膜の実現を目指す。合成条件の検討を

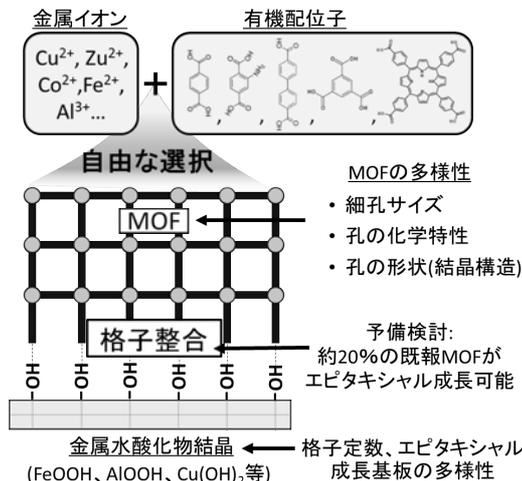


図 3 配向性 MOF の骨格自体の化学的多様性。

詳細に行い、特に MOF 結晶子の薄膜面内での大きさの制御手法を確立する(図 4)。最終的には、面内単結晶 MOF 薄膜の作製が理想である。しかしながら、ナノ結晶を足場とすることから、面内単結晶は実現可能性の低い目標と言える。本提案では、数十  $\mu\text{m}$  程度の面内結晶子サイズの MOF 合成を目標として研究を進める。多くの電子、工学デバイスは機能発現のためには、数十  $\mu\text{m}$  の領域があれば十分とされており、今後の実用化を見据えて必要十分な目標値であると考えている。

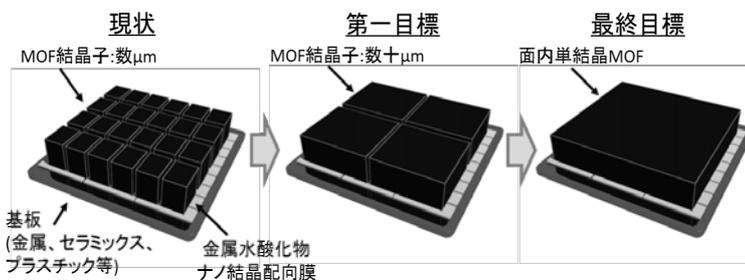


図 4 配向性 MOF 薄膜の面内結晶子サイズの制御。

## (2) 配向したマイクロ孔を利用した応用開拓

配向した細孔は様々な応用への利用が想定される。特に、細孔へ機能性物質を導入することで、機能性を付与するアプローチに本手法のアドバンテージがあると確信している。そこで、本研究項目では、「細孔内の金属、機能性分子、高分子、イオンによる化学修飾」および「配向性ナノ物質合成の鋳型として MOF の利用」を実現する (図 5)。

## (3) 配向性 MOF 多結晶薄膜を利用した電子的/光学的応用の開拓

本研究項目では、異方的な電子特性を示す半導性 MOF 薄膜、金属微粒子がマイクロ細孔間で配列したプラズモニックアレイ、励起エネルギー移動を空間的に制御した発光性薄膜の実現をターゲットとする。研究期間第 2 年度後半から最終年度にかけては、研究比重を本研究項目へとシフトし、配向性 MOF 薄膜の有用性を実証するとともに、知見を広く社会に還元し「配向性 MOF 薄膜による機能性材料群の構築」という未踏の研究分野を確立することを目指す。

## 4. 研究成果

### 4.1 水酸化銅構造体上における MOF 結晶のヘテロエピタキシャル成長

提案者らはこれまで、水酸化銅が銅系 MOF 結晶を合成する前駆体として利用できる事を示してきた。配向 MOF 薄膜を達成するには、水酸化銅が前駆体としてだけでなく、銅系 MOF 結晶における結晶成長の足場となる必要がある。そこで、水酸化銅と MOF 結晶の格子定数に着目し、MOF の格子定数が足場の水酸化銅と一致(もしくはその整数倍と一致)する場合において MOF 結晶がエピタキシャル成長するとの着想を得た。これまで報告されてきた様々な銅系 MOF 結晶の格子定数を調査したところ、 $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  結晶 ( $\text{H}_2\text{BDC} = \text{Benzene-1,4-dicarboxylic acid}$ ) の a-b 面は、水酸化銅の c-a 面の格子定数と整合しており、 $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  の格子定数  $a=1.061 \text{ nm}$  が水酸化銅の格子定数  $c=0.526 \text{ nm}$  の二倍と一致、 $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  の格子定数  $b=0.580 \text{ nm}$  が水酸化銅の格子定数  $a=0.295 \text{ nm}$  の二倍と一致する事を明らかにした。これらの仮定に基づき調査を続けたところ、銅系 MOF である  $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  結晶が水酸化銅表面でヘテロエピタキシャル成長する事を見いだした。水酸化銅ナノベルトを基板上へ配向製膜し、得られた薄膜を水とエタノールの混合溶媒とした  $\text{H}_2\text{BDC}$  溶液へ浸漬する事で、基板上全面で配向した  $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  薄膜を作製した(Fig. 6)。配向  $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  薄膜が示す結晶学的配向性は、3 種類の異なる光学系による XRD 測定を行う事で詳細に評価した (OOP: out-of-plane, IPV: in-plane vertical, IPP: in-plane parallel)。OOP による XRD プロファイルでは、 $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  結晶の 001 回折線のみが確認された。これは、(001)結晶面が基板に対して平行に存在している事を示している (Fig. 7a)。それに対して IPV と IPP による XRD プロファイルでは、010 回折線と 100 回折線が X 線の入射角度( $\phi$ )に依存して明らかに強度変化している事が確認された。これらの結果は、 $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  結晶の (h00)面と(0k0)面が共に基板に対して垂直に存在しており、更に(h00)⊥(0k0)の関係が成り立っている事を示している。 $\phi$  スキャンの測定プロファイル(Fig. 7b)からも、面内方向への(010)面と(100)

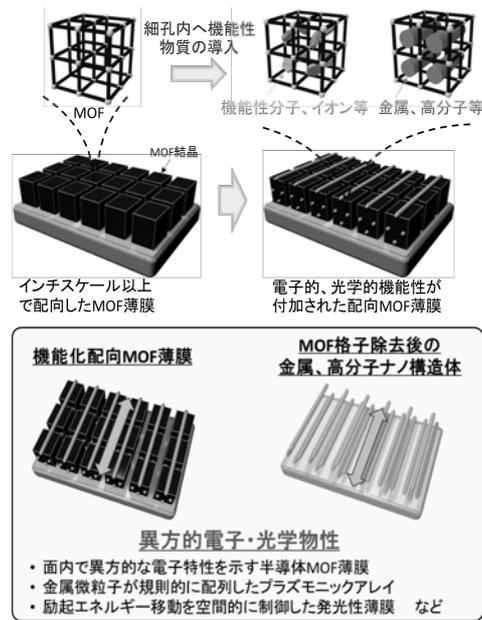


図5 細孔内の金属、高分子、イオンによる化学修飾および配向性ナノ物質合成の鋳型として MOF の利用。

面を配向する事を見いだした。水酸化銅ナノベルトを基板上へ配向製膜し、得られた薄膜を水とエタノールの混合溶媒とした  $\text{H}_2\text{BDC}$  溶液へ浸漬する事で、基板上全面で配向した  $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  薄膜を作製した(Fig. 6)。配向  $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  薄膜が示す結晶学的配向性は、3 種類の異なる光学系による XRD 測定を行う事で詳細に評価した (OOP: out-of-plane, IPV: in-plane vertical, IPP: in-plane parallel)。OOP による XRD プロファイルでは、 $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  結晶の 001 回折線のみが確認された。これは、(001)結晶面が基板に対して平行に存在している事を示している (Fig. 7a)。それに対して IPV と IPP による XRD プロファイルでは、010 回折線と 100 回折線が X 線の入射角度( $\phi$ )に依存して明らかに強度変化している事が確認された。これらの結果は、 $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  結晶の (h00)面と(0k0)面が共に基板に対して垂直に存在しており、更に(h00)⊥(0k0)の関係が成り立っている事を示している。 $\phi$  スキャンの測定プロファイル(Fig. 7b)からも、面内方向への(010)面と(100)

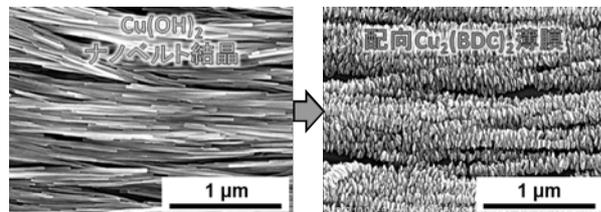


図6 基板上全面で配向した  $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  薄膜。

面を配向する事を見いだした。水酸化銅ナノベルトを基板上へ配向製膜し、得られた薄膜を水とエタノールの混合溶媒とした  $\text{H}_2\text{BDC}$  溶液へ浸漬する事で、基板上全面で配向した  $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  薄膜を作製した(Fig. 6)。配向  $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  薄膜が示す結晶学的配向性は、3 種類の異なる光学系による XRD 測定を行う事で詳細に評価した (OOP: out-of-plane, IPV: in-plane vertical, IPP: in-plane parallel)。OOP による XRD プロファイルでは、 $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  結晶の 001 回折線のみが確認された。これは、(001)結晶面が基板に対して平行に存在している事を示している (Fig. 7a)。それに対して IPV と IPP による XRD プロファイルでは、010 回折線と 100 回折線が X 線の入射角度( $\phi$ )に依存して明らかに強度変化している事が確認された。これらの結果は、 $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  結晶の (h00)面と(0k0)面が共に基板に対して垂直に存在しており、更に(h00)⊥(0k0)の関係が成り立っている事を示している。 $\phi$  スキャンの測定プロファイル(Fig. 7b)からも、面内方向への(010)面と(100)面の配向性が詳細に確認されている。配向成膜した水酸化銅ナノベルトを MOF 成長の足場として利用する事で、面外・面内方向共に基板全面で配向した MOF 薄膜が形成できる。

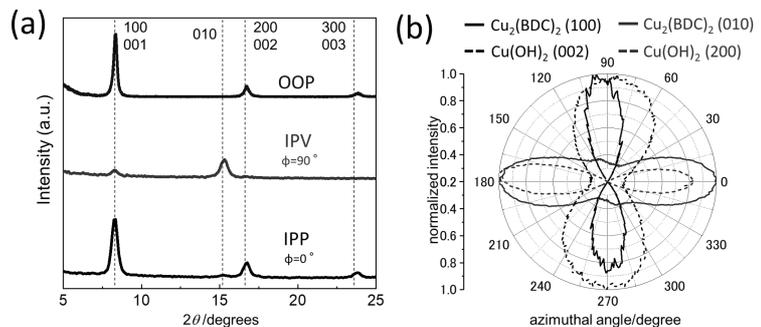


図7 配向性 MOF 薄膜の XRD profiles.

それに加えて、配向 MOF 薄膜の構造異方性に対応して、機能性分子が異方的に薄膜内部へ導入されることも実証しており、電界効果トランジスタ(OFETs)や異方的に応答する光学デバイス、触媒材料等への応用が期待されている。今後更なる配向度の向上は必要不可欠であるが、面外・面内方向に配向制御された MOF 薄膜は、工学・理学・医学を問わず多分野で応用展開が可能なほどポテンシャルを秘めている。

## 4.2 配向 MOF-on- MOF 薄膜

水酸化銅ナノベルト薄膜上に形成した全ての結晶軸が配向している MOF 薄膜を利用する事で、完全に配向した MOF-on-MOF 薄膜を作製し、その面内配向性を利用した機能開拓を目指した。2.7%の格子ミスマッチ率を示す  $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$ -on- $\text{Cu}_2(\text{BPDC})_2$  ( $\text{H}_2\text{BPDC}$ = biphenyl-4,4'-dicarboxylic acid)系を選択し、合成を行った。XRD 測定から、基板上全面で  $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$ -on- $\text{Cu}_2(\text{BPDC})_2$  薄膜 ( $\text{Cu}_2(\text{BPDC})_2$  薄膜上で  $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  薄膜が形成した多層薄膜)が面外・面内方向共に配向している事が確認された。

構造内部にビピリジン部を有する  $\text{Cu}_2(\text{BPYDC})_2$  ( $\text{H}_2\text{BPYDC}$ =2,2'-bipyridine-5,5'-dicarboxylic acid)結晶を、配向した  $\text{Cu}_2(\text{BPDC})_2$  ( $\text{H}_2\text{BPDC}$ = biphenyl-4,4'-dicarboxylic acid)薄膜上へ形成する事で、配向薄膜内部への銀ナノ粒子(以下 Ag NPs とする)導入を実現した(Fig. 8). Fig. 9 に薄膜断面方向からの STEM (Scanning transmission electron microscopy) 写真と、その EDS (Energy-dispersive X-ray spectroscopy) マッピング結果 (Ag L) を示す。水酸化銅ナノベルトを足場として合成された  $\text{Cu}_2(\text{BPYDC})_2$ -on- $\text{Cu}_2(\text{BPDC})_2$  薄膜中において上層である  $\text{Cu}_2(\text{BPYDC})_2$  薄膜へのみ選択的に球形の Ag NPs が導入されている事が確認された。更に、Ag NPs 導入後の薄膜に対して偏波依存性紫外可視分光光度計 (UV-Vis)測定を行った結果より、薄膜内部に導入された球形 Ag NPs が示す 2 種類の特異的な偏波依存性プラズモン共鳴が確認された。足場である水酸化銅ナノベルト結晶の a 軸と偏波の電場成分とのなす角の変化に対応して、Ag NPs のプラズモン共鳴の減衰が確認され、これらの差スペクトルを解析することでプラズモン共鳴波長のピークシフトが示された。一般的に球形の Ag NPs ではこのような偏波依存性は確認されない。そのため、これらの挙動は、Ag NPs が配向 MOF 薄膜へ導入された事で、Ag NPs を取り巻く環境が異方的になった事に起因すると予想された。 $\text{Cu}_2(\text{BDC})_2$  や  $\text{Cu}_2(\text{BPDC})_2$  に代表されるような 2 次元シート構造の MOF 結晶は、シート内方向と積層方向で熱伝導率や誘電率が異なる事が知られており、この異方的な熱伝導率によってプラズモン共鳴の減衰が、異方的な誘電率によってプラズモン共鳴波長のピークシフトが発現したと考えられる。このような機能性有機リンカーを利用した特異な光学応答は、配向 MOF-on-MOF 薄膜が生み出す幅広い応用展開を示唆しており、今後更なる発展が期待される。

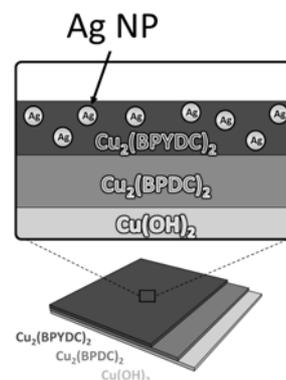


図 8 配向 MOF-on-MOF 薄膜内部への銀ナノ粒子導入。

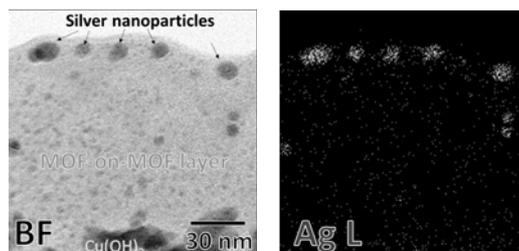


図 9 Ag NPs 導入 MOF-on-MOF 薄膜の STEM, EDS 解析。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ikigaki K., Okada K., Tokudome Y., Takahashi M.	4. 巻 89
2. 論文標題 Metal-organic framework thin films from copper hydroxide nano-assemblies	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Sol-Gel Sci, Technol.	6. 最初と最後の頁 128-134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10971-018-4805-9	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 Takahashi M.	4. 巻 18
2. 論文標題 Responsive and adaptive micro wrinkles on organic-inorganic hybrid materials	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Chemical Record	6. 最初と最後の頁 1222 - 1231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tcr.201800007	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 Ikigaki Ken, Okada Kenji, Tokudome Yasuaki, Toyao Takashi, Falcaro Paolo, Doonan Christian J., Takahashi Masahide	4. 巻 58
2. 論文標題 MOF on MOF: Oriented Growth of Multiple Layered Thin Films of Metal?Organic Frameworks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 6886 ~ 6890
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201901707	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 Okada Kenji, Asakura Genki, Yamamoto Tatsuya, Tokudome Yasuaki, Takahashi Masahide	4. 巻 2
2. 論文標題 Anisotropic and Reversible Deformation of Mesopores and Mesostructures in Silica-Based Films under Mechanical Stimuli toward Adaptive Optical Components	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 2377 ~ 2382
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.9b00269	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 Tarutani N., Tokudome Y., Jobb&gy M., Soler-Illia G., Tang Q., Mueller M., Takahashi M	4. 巻 31
2. 論文標題 Highly Ordered Mesoporous Hydroxide Thin Films through Self-Assembly of Size-Tailored Nano-Building Blocks: A Theoretical-Experimental Approach	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Mater.	6. 最初と最後の頁 322 - 330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.8b03082	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 Tarzia A., Takahashi M., Falcaro P., Thornton A., Doonan C., Huang D.,	4. 巻 10
2. 論文標題 High-Throughput Screening of Metal-Organic Frameworks for Macroscale Heteroepitaxial Alignment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 128 - 134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.8b14756	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 Takahashi Masahide	4. 巻 18
2. 論文標題 Responsive and Adaptive Micro Wrinkles on Organic-Inorganic Hybrid Materials	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Chemical Record	6. 最初と最後の頁 1222 ~ 1231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tcr.201800007	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 Okada K., Sawai S., Ikigaki K., Tokudome Y, Falcaro P., Takahashi M.	4. 巻 19
2. 論文標題 Electrochemical sensor and catalyst on Cu <sub>3</sub> (BTC) <sub>2</sub> coating electrode from Cu(OH) <sub>2</sub> films	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Cryst. Eng. Comm	6. 最初と最後の頁 4194-4200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7ce00416h	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 該当する

1. 著者名 Toyao T., Styles M.J., Yago T., Sadiq M.M., Ricco R., Horiuchi Y., Takahashi, M., Matsuoka M., Falcaro P.	4. 巻 19
2. 論文標題 Integrating magnetic nanoparticles into HKUST-1 (Cu <sub>3</sub> (BTC) <sub>2</sub> ) via conversion from a Cu-based ceramic: a novel approach for development of magnetically recyclable catalysts	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Cryst. Eng. Comm.	6. 最初と最後の頁 4201-4210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CE00390K	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 該当する

1. 著者名 [6]Falcaro P., Okada K., Hara T., Ikigaki K., Tokudome Y., Thornton A.W., Hill A.J., Williams T., Doonan C., Takahashi M.	4. 巻 16
2. 論文標題 Centimetre scale micropore alignment in oriented polycrystalline Metal-Organic Framework films via heteroepitaxial growth	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Mater.,	6. 最初と最後の頁 342-348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/nmat4815	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計26件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 V. Prevot, C. Mousty, P. Koilraj, I. Mjejri, A. Rougier, M. Takemoto, M. Takahashi, Y. Tokudome
2. 発表標題 Enhanced electrochromic properties of organic-inorganic thin films based on Layered Double Hydroxides
3. 学会等名 6th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Takahashi
2. 発表標題 Fabrication and application of oriented metal-organic framework films via heteroepitaxial growth on inorganic substrate
3. 学会等名 6th International Conference on Metal-Organic Frameworks (MOF 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Okada, S. Fujii, K. Ikigaki, Y. Tokudome, P. Falcaro, C. Doonan, M. Takahashi
2 . 発表標題 Preparation of porphyrin-based MOF oriented films and their optical properties
3 . 学会等名 6th International Conference on Metal-Organic Frameworks (MOF 2018) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Ikigaki, K. Okada, Y. Tokudome, A. Tarzia, P. Falcaro, C. Coleman, C. Doonan, M. Takahashi
2 . 発表標題 Oriented growth of COF crystals on metal-hydroxides thin film
3 . 学会等名 6th International Conference on Metal-Organic Frameworks (MOF 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Okada, Y. Tokudome, M. Takahashi
2 . 発表標題 Centimetre-scale oriented film of Metal Organic Framework via heteroepitaxial growth on metal hydroxides
3 . 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry Langkawi (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Takahashi
2 . 発表標題 Hybrid Microactuators
3 . 学会等名 6th ISGS Summer School, Frontiers in Hybrid Materials (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Okada, K. Ikigaki, S. Shirashiki, Y. Tokudome, M. Takahashi
2. 発表標題 Oriented oxide and MOF films using metal hydroxides
3. 学会等名 6th ISGS Summer School, Frontiers in Hybrid Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Ikigaki, K. Okada, Y. Tokudome, P. Falcaro, C. Doonan, M. Takahashi
2. 発表標題 Ag loaded MOF-on-MOF film on oriented copper hydroxides substrates for anisotropic plasmonic resonance
3. 学会等名 6th ISGS Summer School, Frontiers in Hybrid Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Kino, K. Okada, Y. Tokudome, M. Takahashi
2. 発表標題 Reactivity of silanol group in phenyl-methyl siloxane oligomer
3. 学会等名 6th ISGS Summer School, Frontiers in Hybrid Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Tokudome, M. Takahashi
2. 発表標題 Hierarchically Porous Metal Hydroxides Through an Assembly of Crystalline Nanobuilding Blocks.
3. 学会等名 14th International Ceramics Congress (CIMTEC 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Takahashi
2. 発表標題 Fabrication and application of oriented metal-organic framework films via heteroepitaxial growth on inorganic substrate
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry (ICCC 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Okada, K. Ikigaki, P. Falcaro, C. Doonan, Y. Tokudome, M. Takahashi
2. 発表標題 Oriented Metal Organic Framework films on centimetre length scales
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry (ICCC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Okada, Y. Tokudome, M. Takahashi
2. 発表標題 Oriented oxide and MOF films from metal hydroxide quasi-single-crystal films.
3. 学会等名 3rd International Conference on Nanomaterials for Health, Energy and the Environment
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Tokudome, M. Fukui, S. Nishimura, M. Takemoto, K. Okada, V. Prevot, C. Forano, M. Takahashi
2. 発表標題 Hierarchically Porous Layered Double Hydroxide (LDH) Toward Enhanced Adsorption and Catalytic Properties.
3. 学会等名 J-FR 2018: Journee Francophone De La Recherche 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井翔悟, 徳留靖明, 岡田健司, 高橋雅英
2. 発表標題 ポルフィリン誘導体を有機配位子とした配向Metal-organic framework(MOF)薄膜の作製と光学的応用に向けた特性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会関西支部 第13回 学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Ikigaki, K. Okada, Y. Tokudome, P. Falcaro, C. Doonan, M. Takahashi
2. 発表標題 Fabrication and functionalization of oriented multi-layered thin films of metal-organic frameworks (MOF-on-MOF)
3. 学会等名 錯体化学会第68回討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Nakanishi, K. Ikigaki, K. Okada, Y. Tokudome, M. Takahashi
2. 発表標題 Coarsening in oriented films of Cu-puddle wheel MOF via heteroepitaxially-growth on Cu(OH) <sub>2</sub> surface
3. 学会等名 錯体化学会第68回討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 生垣賢, 岡田健司, 徳留靖明, P. Falcaro, C. Doonan, 高橋雅英
2. 発表標題 水酸化銅基板上に成長した多層配向性MOF薄膜への銀ナノ粒子導入
3. 学会等名 日本ゾルゲル学会 第16回討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井翔悟, 岡田健司, 徳留靖明, 高橋雅英
2. 発表標題 光学的応用に向けたポルフィリン誘導体を骨格とする配向金属有機構造体(MOF)薄膜の形成
3. 学会等名 日本ゾルーゲル学会 第16回討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中西美晴, 岡田健司, 徳留靖明, 高橋雅英
2. 発表標題 高配向度を有するMOF薄膜の作製と細孔修飾による光機能性付与
3. 学会等名 日本ゾルーゲル学会 第16回討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田健司, 白敷修平, 徳留靖明, 高橋雅英
2. 発表標題 金属水酸化物擬単結晶薄膜を用いたトポタクティック反応による配向性酸化物薄膜の形成
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 岡田健司, 藤井翔悟, 徳留靖明, 高橋雅英, Paolo Falcaro, Christian Doonan
2. 発表標題 ポルフィリン誘導体を有機配位子とした金属有機構造体(MOF)配向薄膜の作製とその光学特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 生垣賢, 岡田健司, 徳留靖明, Paolo Falcaro, Andrew Tarzia, Christopher Coleman, Christian Doonan, 高橋雅英
2. 発表標題 水酸化物上におけるCovalent organic framework (COF)薄膜の配向成長
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahashi M.
2. 発表標題 Centimetre scale micropore alignment in the oriented polycrystalline Metal-Organic Framework films via heteroepitaxial growth
3. 学会等名 NANOAPP (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahashi M.
2. 発表標題 Metal hydroxides as platform for interfacial functionalities
3. 学会等名 PACRIM 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahashi M.
2. 発表標題 Centimetre scale micropore alignment in the oriented polycrystalline Metal-Organic Framework films via heteroepitaxial growth
3. 学会等名 International Sol - Gel Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔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	岡田 健司  (Okada Kenji)  (30750301)	大阪府立大学・工学研究科 ・助教   (24403)	
研究 分担者	徳留 靖明  (Tokudome Yasuaki)  (50613296)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授   (24403)	