

令和 4 年 6 月 24 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15334

研究課題名(和文)ポラチル多孔性結晶を用いた完全分子ふるい膜の創成

研究課題名(英文)Development of molecular sieving membrane from volatile porous crystals

研究代表者

山岸 洋(Yamagishi, Hiroshi)

筑波大学・数理物質系・助教

研究者番号：40824678

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)：分子性の多孔質結晶とは、有機分子がお互いに凝集することで構築される空隙を持った結晶材料のことである。研究者は2018年に、分子性多孔質結晶の中でも最高の安定性をもつ材料を見出している。本課題ではこの材料をプラットフォームとして、多孔質結晶構造が生成するメカニズムにおける溶媒効果の検証、多孔質結晶内部における光化学反応性と不安定化学種についての探索、ハイドロクロミック特性を示す新たな分子性結晶材料の発見などに成功した。当初の目標であった分離膜実現には未だに至っていないが、分子性多孔質結晶の基礎的な知見の蓄積と全く新しい実用的可能性を見いだしており、当初の想定以上の成果を挙げられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

微細な穴が空いた多孔質結晶材料は、次世代の化学材料として多方面から注目が集まっている。例えば、化学成分分離・生成プロセスや、揮発性の成分を回収するプロセスにおけるエネルギー消費量を抜本的に解決できる可能性がある。本研究では、そのような多孔質結晶の中でも全く新しい化学結合に基づいた材料を構築するための基本的な原理開拓と、それらの優れた機能を明らかにすることができた。

研究成果の概要(英文)：Molecular porous crystals consisting of discrete organic molecules that assemble with each other to form a molecular crystals featuring continuous void space in its crystal structure. Despite the absence of any strong intermolecular bonding network, the framework is stable at room temperature and, thus, is of fundamental and applicational value. In 2018, I found a peculiar porous molecular materials that exhibit the best thermal stability while the intermolecular bonding therein was extremely weak. In this research, I aimed to reveal the fundamental molecular mechanism of how the thermally stable crystal assembles and tried applying the crystal for making a molecular sieving membrane. Through this research, I newly establish how one can develop a molecular porous crystal, which is totally novel in this field. Concomitantly, I found novel type of porous molecular crystals and their chemical and physical properties, which is of fundamental importance.

研究分野：有機化学

キーワード：多孔質結晶 分子ふるい 分離膜 分子結晶 分子間相互作用

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

一般に、有機分子の結晶は空隙のない充填構造をとる。そのような充填構造は分子間相互作用によるエネルギー安定化が最大化されるため、安定なのである。一方で、近年では空隙を持つ結晶を意図的に合成する試みが盛んに行われている。そのような多孔質結晶を合成するためには、この最密充填構造を作ろうとする傾向を抑え込む、特殊な分子設計が必要となる。例えば有機-金属構造体では、配位結合という方向性のある強い結合で分子同士を結びつけることで、網目状の分子骨格と空隙のある結晶構造を構築し、さらにその骨格が室温で崩壊しないようにしている。

では、そういった分子間結合モチーフを持たない一般的な有機低分子の分子性結晶で多孔質結晶構造を構築することは不可能なのであろうか？ 上述した原理に基づけばそのような材料は不安定で存在できないように思えるが、実際には極僅かに例外が存在する。これらの結晶では、有機分子が van der Waals 力などの方向性に乏しく結合力の弱い相互作用を介して集まって、空隙を持った結晶骨格を形作っている。そのような骨格は簡単に崩壊してしまうように思われるが、例外的な材料においては室温以上、我々が見つけた材料に関しては 200 度でもその構造を維持できる。これらの分子性多孔質結晶では、弱い引力相互作用に基づいた独特な性質が発現する。例えば溶液に簡単に溶け、昇華によって生成することができる。また、何らかの強い刺激で穴が崩壊してしまっても、室温で容易に自己修復することができる。

2. 研究の目的

上記のように、分子性結晶は類稀な性質をもつ興味深い材料群である。しかし、これらの分子性多孔質結晶は極めてまれな存在であり、現在でもその種類は 10 に満たない。また、なぜそのような結晶を作ることができるのか、その基礎的な原理も明らかとなっていない。本研究ではこれらの基礎的な原理を解明するとともに、分子性結晶に特有の高いプロセス性を利用した分離膜への応用を見据えた薄膜化に挑戦する。

3. 研究の方法

(1) 分子性多孔質結晶構築における疎溶媒効果の発見

本研究では、分子の構造と結晶化条件が結晶構造に与える影響を研究した。まずは多孔質分子性結晶を与える既知の分子 Py_6Mes について、種々の結晶化条件における結晶化挙動について探索した。種々の汎用有機溶媒を用いて Py_6Mes の結晶化を行った。結晶性の評価として粉末 X 線回折測定を、詳細な結晶構造を明らかにするために単結晶 X 線構造解析をおこなった。また、溶媒と溶質の相互作用を一般化するために既報の文献に記載されている物理的・化学的な性質を収集した。

(2) ハイドロクロミック特性を示す分子性多孔質結晶の発見

本研究では、新たな機能性多孔質分子結晶の開発を行った。まずは新規な dendrimer 分子 G2DBPHZ を設計・合成し、その分子構造を NMR や質量分析によって確かめた。次に、 G2DBPHZ を有機溶媒中で徐々に析出させることにより、結晶性の固体へと自己組織化させた。その結晶の構造を同定するために、粉末 X 線回折測定、等温吸着線測定、赤外吸収スペクトル測定、拡散反射スペクトル測定を行った。

(3) 分子性多孔質結晶内部での光化学反応と安定ラジカルの創出

本研究では、多孔質分子性結晶内部で光化学反応を起こすことで新たな材料を合成することを目指した。光化学反応を進行させるために種々の溶媒・電解質と LED 紫外線ランプを用いた。反応の進行を追跡するために、NMR、質量分析、拡散反射スペクトル、EPR スペクトルの測定を行った。

(4) 発光性 dendrimer からの単結晶マイクロ光共振器

本研究では、dendrimer の光補修性と異方性を併せ持ったレーザー素子を開発することを目指した。新たな dendrimer 分子 GnCOPV2 を設計・合成し、その分子構造を NMR、質量分析によって確認した。その dendrimer 分子をレーザー素子へと加工するために、種々の有機溶媒を用いてゆっくりと析出させた。得られた結晶の構造解析を単結晶 X 線構造解析によって解析した。

さらに、得られた結晶の光特性を解析するために、光学顕微鏡、偏光顕微鏡、蛍光顕微鏡による観測を行うとともに、超短パルスレーザーを励起光源とする発光スペクトル測定を行った。

4. 研究成果

(1) 分子性多孔質結晶構築における疎溶媒効果の発見

以前に我々が報告した D_{3h} 対称両親媒性芳香族化合物 Py_6Mes は、自発的に集合して多孔質分子結晶 $Py_{open} \cdot MeCN$ を与える。 $Py_{open} \cdot MeCN$ は分子性多孔質結晶として最も安定で、202度まで多孔質構造を維持できる。より高い温度では細孔が崩壊するが、その結果として得られる穴の空いていない結晶 Py_{close} は、 $MeCN$ の蒸気にさらすことで室温において自発的な自己修復が起こり、 $Py_{open} \cdot MeCN$ へと復元する。

本研究では、 Py_6Mes をさまざまな有機溶媒で結晶化し、それらについて計算科学的な解析を行うことで、結晶構造内に空隙が生じる原理を明らかにした。特に詳細なコンピュータ計算による調査を通じて、構成要素である Py_6Mes 分子が多孔質に組み上がるさいに、分子同士および分子と溶媒の間で分散力の寄与が大きいを明らかにした。この理解を元に種々の結晶化溶媒の検討を行い、分散相互作用が少なく疎溶媒性効果が期待できる溶媒で、新たに多孔質多形を合成することに成功した。これとは対比的に、分散相互作用が大きい溶媒を使った際には、予想通り穴の空いていない非多孔質の包接結晶を与えた。また、新たに Py_6Mes 類似体である $m-Py_6Mes$ および Ph_6Mes を合成し、結晶化挙動の検証を行ったところ、類似の結晶多形挙動を示した。

多孔質分子性結晶を合成するための有機化学的な指針がごくわずかしかなければならぬことを考慮すると、本研究で得られた疎溶媒相互作用に関する知見は基礎化学的に高い価値をもつ。特に既知の分子から結晶多形として多孔質結晶を得るための普遍的な指針となりうる。

(2) ハイドロクロミック特性を示す分子性多孔質結晶の発見

多孔質結晶は優れた吸着材料として機能する。その中でも、大気中の水分を吸着して自らの色を変えるハイドロクロミック材料の価値は大きい。身近な例としては、吸湿により青色から赤色へと変化するシリカゲルが知られている。一般的な電気式センサーを機能させるには電気などの外部エネルギーが必要になる一方、ハイドロクロミック材料はそういったエネルギー源なくとも蒸気成分を検出することができるため、極めて有用である。近年ではさらに、有機物で構成されたハイドロクロミック材料も登場しており、一層の多機能化が図られている。一方で、そういった有機系多孔質結晶は、水分子によって分子間のネットワークが切断されやすく、湿気の高い環境においておくと徐々に劣化してしまうという欠点があった。

本研究では、分子間の結合によるネットワークが存在しない分子性多孔質結晶で初となるハイドロクロミック特性を実現した。この結晶 VPC-1 は、枝分かれした樹状部位と、その幹となる部位からなる dendrimer 分子から構成される。この分子を有機溶媒中 60℃ で 2 時間加熱すると、自己組織化的に多孔質結晶を形成する。

この結晶の穴の中には、大気中の水分が取り込まれていく。更に、水の取り込みに伴ってその色が黄色から赤色へと変化する。これは、ソルバトクロミズムと呼ばれる原理に由来するものである。室温では、湿度 40% 以下で黄色、湿度 50% 以上で深い赤色を呈色する。

多孔質分子性結晶では、構成分子の構造をわずかに変化しただけでも孔が閉じてしまうことがほとんどであり、そのため誘導体化・機能化が困難であった。実際、多孔質分子性結晶の研究で議論される特性は安定性や気体吸着能がほとんどであり、それ以外の機能性についての報告は見られない。本研究成果は、多孔質分子性結晶が様々な機能性を発現しうることを示したものであり、基礎化学的に大きな価値をもつ。

(3) 分子性多孔質結晶内部での光化学反応と安定ラジカルの創出

多孔質結晶の穴の中に取り込まれたゲスト分子は、外界から隔絶されるために化学的安定性が増すことがある。とくにラジカルなどの不安定化学種を保持できる多孔質結晶は、触媒や電気的な応用価値が高い。

本研究では、光を照射することで多孔質結晶内部にラジカル種を発生させ、さらにそのラジカルを室温で安定に維持することに成功した。分子性多孔質結晶である Py_{open} を 4 級アンモニウム塩水溶液に浸し、その懸濁液に紫外線を照射したところ、結晶の色が緑色に呈色した。この色変化は、有機ラジカルの生成に由来するものである。このラジカルは、室温・水中で 3.5 分という比較的長い半減期を示した。この研究は、水や酸素を含む室温条件下で安定なラジカル種を中性ピリジンから発生させた初の例である。

本研究ではまず、光照射を行ったあとの結晶粉末の ESR 測定を行った。すると、光照射前のサンプルには見られなかった明瞭な吸収ピークが観測された。ピーク形状とピークの位置から、このラジカルがピリジンの窒素原子に偏在していることを明らかにした。

ラジカルが発生するメカニズムを明らかにするため、電解質の種類を変化させながら同様の光照射実験を行った。すると、塩の種類にかかわらず、同様のラジカルが生じることが明らかとなった。一方で、水を完全に除去した条件では、光を照射してもラジカル発生が起こらなかった。

これらの結果から以下のようなメカニズムを提唱している。まずピリジンと水分子が水素結合を形成する。次に、光照射によってピリジンが励起し、水分子の開裂によりピリジニウムラジカルが生成する。生じたラジカルは穴の中に存在しており、比較的長い寿命を持つ。

多孔質結晶にラジカルを生じさせる試みは、分子性結晶に限らず盛んに行われている。それは、電気伝導性を示す多孔質結晶に実用的な価値があるためである。本研究で得られたラジカルは大気下室温で長い寿命を示すことから、この目標達成に向けた重要な一歩となる。

(4) 発光性 dendrimer からの単結晶マイクロ光共振器

以上のように新たな分子性多孔質結晶を探索する中で、光特性に優れた分子性結晶性材料を偶然見出した。対称性の高い形状を持つマイクロサイズの結晶は、光共振器やレーザー発振子として機能することが知られている。それらは、レーザー光源としての利用だけでなく、光集積回路や化学・バイオセンサーとしても利用することができる。このような微小なレーザー発振子において、光励起における発振閾値エネルギーの低減は重要な課題である。その改善方法の一つとして、広い空間範囲で光エネルギーを捕集したあとに、その光を分子内で集積することで、効率的に発光中心を励起させる方法がある。Dendrimer と呼ばれる樹上分子は特にそのような分子内エネルギー移動を得意とする分子であり、実際にアモルファス状態ではよく光エネルギー移動現象が報告されている。一方で、微小なレーザー発振子として機能する単結晶を dendrimer から形成することは難しく、先行研究が存在しなかった。

本研究では、優れたレーザー発光機能を有するオリゴフェニレンビニレン 2 分子を架橋した炭素架橋オリゴフェニレンビニレン (COPV2) を中心に、その両端に広範囲の光を捕集するカルバゾール dendron を導入した巨大分子 (G1-, G2-, および G3COPV2) を合成した。カルバゾール dendron の大きさが異なる 3 種類の分子を用意した。これらの分子について、溶液中での光吸収および発光スペクトルの結果から、設計通りカルバゾール dendron が効率的な光捕集機能をもつことを見出している。

これらの dendrimer は、その巨大な構造にも関わらず質の高い結晶粒を形成した。特に第 3 世代 dendron をもつ分子の結晶は特筆に値する。これは、単結晶構造解析に成功した有機 dendrimer として、最大の分子量 4,600 g/mol をもつ。

得られた単結晶を用いて、偏光方向依存的な光捕集現象を見出した。これらの結晶は、構成要素である分子の dendron に由来して、偏光方向に依存しない光吸収特性を示す。一方で、それらの吸収されたエネルギーは発光中心に移動し、偏光した光として放出される。これは、「全ての方向に対して等方的な光物性を示す」という、これまでの dendrimer 固体の常識を覆した発見といえる。

さらに、これらの dendrimer 結晶はレーザー発振子として機能した。実際にフェムト秒パルスレーザーによって結晶を励起し、結晶の発光強度を励起光強度に対してプロットしたところ、折れ線型の強度変化が見られるとともに、発光スペクトルには狭線化したピークが現れた。

従来のレーザー光源はそのほとんどが無機材料を半導体技術によって加工することで実現されてきた。これらの材料は光機能に優れたものの、それ以外の機能性を付与することが困難であった。有機分子でレーザー光源を作成できるようになれば様々な機能が実現できると考えられる。実際、有機レーザーの構築は近年ますます盛んになっている。ただしレーザー光源として十分な光性能を示しつつ、これまでにない機能性を持たせることは依然として困難であった。Dendrimer 分子に特徴的な光捕集性、異方性を保ちつつレーザー素子を作成することに成功した本研究は、レーザー物理と有機化学を融合した新たな研究領域の創出に貢献する成果である。

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 Hiroshi Yamagishi, Monika Tsunoda, Kohei Iwai, Kowit Hengphasatporn, Yasuteru Shigeta, Hiroyasu Sato, Yohei Yamamoto	4. 巻 4
2. 論文標題 Solvophobicity-directed assembly of microporous molecular crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-021-00561-8	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 Iwai Kohei, Yamagishi Hiroshi, Herzberger Colin, Sato Yuji, Tsuji Hayato, Albrecht Ken, Yamamoto Kimihisa, Sasaki Fumio, Sato Hiroyasu, Asaithambi Aswin, Lorke Axel, Yamamoto Yohei	4. 巻 59
2. 論文標題 Single Crystalline Optical Microcavities from Luminescent Dendrimers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 12674 ~ 12679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202000712	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 Yamagishi Hiroshi, Nakajima Sae, Yoo Jooyoung, Okazaki Masato, Takeda Youhei, Minakata Satoshi, Albrecht Ken, Yamamoto Kimihisa, Bad?a-Dom?nguez Irene, Oliva Maria Moreno, Delgado M. Carmen Ruiz, Ikemoto Yuka, Sato Hiroyasu, Imoto Kenta, Nakagawa Kosuke, Tokoro Hiroko, Ohkoshi Shin-ichi, Yamamoto Yohei	4. 巻 3
2. 論文標題 Sigmoidally hydrochromic molecular porous crystal with rotatable dendrons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-020-00364-3	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 Inoue Takeru, Tsurui Makoto, Yamagishi Hiroshi, Nakazawa Yuma, Hamaguchi Naoto, Watanabe Shoya, Kitagawa Yuichi, Hasegawa Yasuchika, Yamamoto Yohei, Tsuji Hayato	4. 巻 11
2. 論文標題 Long-wavelength visible to near infrared photoluminescence from carbon-bridged styrylstilbene and thiazole conjugates in organic and aqueous media	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 6008 ~ 6013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0ra10201f	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 Qiagedeer Airong, Yamagishi Hiroshi, Sakamoto Minami, Hasebe Hanako, Ishiwari Fumitaka, Fukushima Takanori, Yamamoto Yohei	4. 巻 5
2. 論文標題 A highly sensitive humidity sensor based on an aggregation-induced emission luminogen-appended hygroscopic polymer microresonator	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Chemistry Frontiers	6. 最初と最後の頁 799 ~ 803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0qm00722f	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 Yamagishi Hiroshi, Matsui Tokiya, Kitayama Yusuke, Aikyo Yusuke, Tong Liang, Kuwabara Junpei, Kanbara Takaki, Morimoto Masakazu, Irie Masahiro, Yamamoto Yohei	4. 巻 13
2. 論文標題 Fluorescence Switchable Conjugated Polymer Microdisk Arrays by Cosolvent Vapor Annealing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 269 ~ 269
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym13020269	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 -

〔学会発表〕 計66件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 山岸, 洋; 竹内, 彰秀; Wey, Yih Heah; 山本, 洋平
2. 発表標題 有機光共振器を用いた高分子粒子の加水分解反応解析法の開拓
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 Hendra; Yamagishi, Hiroshi; Malay, Ali D.; Numata, Keiji; Yamamoto, Yohei
2. 発表標題 Micrometer-scale spider web by the dragline silk optical fiber
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 Zhao, Shuai; Yamagishi, Hiroshi; Oki, Osamu; Ihara, Yuta; Hayashi, Shotaro; Yamamoto, Yohei
2. 発表標題 Tunable FabryPerot Resonators based on Flexible Organic Microcrystals
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 川口, 晴生; 高橋, 定洋; 大木, 理; 山岸, 洋; 山本, 洋平; 宮本, 克彦; 尾松, 孝茂
2. 発表標題 ねじれ双極型配向微小球からの光渦発
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 大木, 理; 山岸, 洋; 森崎, 泰弘; 則包, 恭央; 佐藤, 寛泰; 山本, 洋平
2. 発表標題 面不斉 共役分子のリビングかつ一軸異方的なお椀型マイクロ単結晶の構築
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 藤田, 圭太郎; 山岸, 洋; 山本, 洋平
2. 発表標題 イオン液体レーザー発振子による微小対流センサーの開発
3. 学会等名 レーザー学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi;Zhao, Shuai;Oki, Osamu;Hayashi, Shotaro;Yamamoto, Yohei
2. 発表標題 Tunable and Reversible Fabry Perot Resonators based on Flexible Organic Microcrystals
3. 学会等名 レーザー学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山岸, 洋;岩井, 航平;山本, 洋平
2. 発表標題 光捕集デンドリマーを用いた単結晶レーザー
3. 学会等名 有機コヒーレントフォトニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi;Yamamoto, Yohei;Shuai, Zhao;Osamu, Oki;Shotaro, Hayashi
2. 発表標題 Tunable and reversible Fabry Perot Resonators based on Flexible Organic Microcrystals
3. 学会等名 有機コヒーレントフォトニクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内, 彰秀;大木, 理;山岸, 洋;山本, 洋平
2. 発表標題 生分解性マイクロ共振器を用いた酵素分解モニタリング
3. 学会等名 有機コヒーレントフォトニクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井原, 悠太;山岸, 洋;堀江, 正樹;山本, 洋平
2. 発表標題 熱硬化性ポリマーによる色変調可能なRGB発光球体の作製
3. 学会等名 有機コヒーレントフォトンクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大和田, 啓行;山岸, 洋;山本, 洋平
2. 発表標題 量子ドットを用いた有機-無機ハイブリッド光共振器の開発
3. 学会等名 有機コヒーレントフォトンクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤, 駿里;山岸, 洋;山本, 洋平
2. 発表標題 温度応答性高分子を用いた光共振器の作製
3. 学会等名 有機コヒーレントフォトンクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中山, 颯大;大木, 理;山岸, 洋; 山本, 洋平
2. 発表標題 キラロドーパントによる共役ポリマーマイクロ構造体の内部構造形成
3. 学会等名 有機コヒーレントフォトンクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi;Oki, Osamu;Kulkarni, Chidambar;Meskers, Stefan C. J.;Lin, Zhan-Hong;Huang, Jer-Shing;Meijer, E. W.;Yamamoto, Yohei
2. 発表標題 Robust Angular Anisotropy of Circularly Polarized Luminescence from a Single Twisted-bipolar Chiral Microsphere
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi;Yamamoto, Yohei;Fujita, Keitaro;Mikami, Yuya;Yoshioka, Hiroaki;Oki, Yuji
2. 発表標題 Organic liquid microdroplet as a non-volatile and fluidic laser oscillator
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi;Yamamoto, Yohei;Zhao, Shuai;Hayashi, Shotaro;Oki, Osamu
2. 発表標題 Tunable Fabry Perot Resonators based on Flexible Organic Microcrystals
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田, 圭太郎;山岸, 洋;山本, 洋平
2. 発表標題 安定なイオン液体レーザー発振子を用いた微小領域におけるガス対流の精密計測
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大木, 理;Kulkarni, Chidambar;山岸, 洋;Meskers, Stefan C. J.;Lin, Zhan-Hong;Huang, Jer-Shing;Meijer, E. W.;山本, 洋平
2. 発表標題 自己組織化ねじれ双極マイクロ球体からの異方的な巨大円偏光発光
3. 学会等名 第31回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山岸, 洋;山本, 洋平;角田, 百仁花;重田, 育照
2. 発表標題 分子性多孔質結晶の多形と溶媒効果
3. 学会等名 第31回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi;Yamamoto, Yohei;Hendra;Takeuchi, Akihide;Oki, Osamu;Morimoto, Masakazu;Irie, Masahiro
2. 発表標題 All-Organic Optical Logic Gates from Photochemically Switchable Interconnected Microcavities
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 藤田, 圭太郎;山岸, 洋;山本, 洋平
2. 発表標題 微小液滴レーザー発振子によるマイクロスケールの対流の精密計測
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 丹治, 憲治;山岸, 洋;藤田, 圭太郎;山本, 洋平
2. 発表標題 多孔質球体共振器を用いた高感度有機汚染物質センサーの開発
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 山本, 洋平;山岸, 洋;大木, 理;Kulkarni, Chidambar;Meskers, Stefan C. J.;Meijer, E. W.;Lin, Zhan-Hong;Huang, Jer-Shing
2. 発表標題 ねじれ双極 共役ポリマー球体からの角度異方的巨大円偏光発光
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田, 圭太郎;山岸, 洋;山本, 洋平
2. 発表標題 液滴レーザー発振子を用いた微小対流センサーの開発
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi;Yamamoto, Yohei;Hendra;Takeuchi, Akihide;Oki, Osamu;Morimoto, Masakazu;Irie, Masahiro
2. 発表標題 Photochemically Switchable Interconnected Microcavities for All-Organic Optical Logic Gate
3. 学会等名 4th G'Lowing Polymer Symposium in KANTO (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi;Yamamoto, Yohei;Heah, Wey Yih;Fujita, Keitaro;Sumitani, Megumi;Mikami, Yuya;Yoshioka, Hiroaki;Oki, Yuji
2. 発表標題 Silk fibroin microspheres as optical resonators for wide range humidity sensing and biodegradable laser
3. 学会等名 4th G'L'owing Polymer Symposium in KANTO (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi;Yamamoto, Yohei;tsunoda, Monika;Sumitani, Megumi;Tashiro, Kentaro
2. 発表標題 Peptide beta-sheets/silver ion complex for antibacterial silk fabric without discolorment
3. 学会等名 4th G'L'owing Polymer Symposium in KANTO (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi;Yamamoto, Yohei;Hendra;Takeuchi, Akihide;Oki, Osamu;Morimoto, Masakazu;Irie, Masahiro
2. 発表標題 All-organic optical gate operation by photoswitchable energy transfer cascade of interconnected polymer microcavities
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 角田, 百仁花;山岸, 洋;笠嶋, めぐみ;田代, 健太郎;山本洋平
2. 発表標題 ペプチド シート / 銀イオン複合体によるシルクの無着色抗菌化
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 丹治, 憲治;山岸, 洋;藤田, 圭太郎;山本, 洋平
2. 発表標題 多孔質有機光共振器を用いた有機汚染物質の高感度センシング
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山岸, 洋
2. 発表標題 分子性多孔体化結晶の合成と応用
3. 学会等名 第5回ゼオライトセミナー(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山岸, 洋
2. 発表標題 多孔質分子結晶に発現する吸着特性と光物性
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大木, 理;山岸, 洋;山本, 洋平
2. 発表標題 Angularly Anisotropic Giant Circularly Polarized Luminescence from Chiral Conjugated Polymer Microsphere
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田圭太郎, 山岸洋, 山本洋平
2. 発表標題 イオン液体微小液滴を用いた低閾値マイクロレーザーの開発
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Airong Qiagedeer, Hiroshi Yamagishi, Minami Sakamoto, Hanako Hasebe, Fumitaka Ishiwari, Takanori Fukushima, Yohei Yamamoto
2. 発表標題 A Highly Sensitive Humidity Sensor Based on AIE Luminogen-appended Hygroscopic Polymer Microresonator
3. 学会等名 応用物理学会第68回春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wey Heah Yih, Hiroshi Yamagishi, Yohei Yamamoto
2. 発表標題 Highly Sensitive Fluorescent Biopolymer Microresonator for Humidity Sensing
3. 学会等名 応用物理学会第68回春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山岸洋
2. 発表標題 光機能性有機分子凝集体のPLを利用した光共振デバイスの開拓
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大木 理、山岸 洋、Chidambar Kulkarni、Stefan C. J. Meskers、Bert Meijer、Zhan-Hong Lin、Jer-Shing Huang、山本 洋平
2. 発表標題 双極軸をもつ自己組織化キラルマイクロ球体からの円偏光発光
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 藤田 圭太郎、山岸 洋、山本 洋平
2. 発表標題 基板上的微小液滴光共振器を用いた高感度温度センサーの開発
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 Yamagishi, Hiroshi
2. 発表標題 Thermally robust and self-healable porous molecular crystals
3. 学会等名 Euro-MOF (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi
2. 発表標題 Thermally Robust and Selfhealable Porous Organic Crystals
3. 学会等名 POPs 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;中山, 亜実;山本, 洋平
2. 発表標題 多孔質結晶骨格に生じるラジカル種の発見
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;中山, 亜実;山本, 洋平
2. 発表標題 光照射による多孔性結晶への安定有機ラジカル種の誘起
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;中嶋, 紗英;Yoo, Jooyoung;山本, 洋平;武田, 洋平;南方, 聖司;アルブレヒト, 建;山本, 公寿;Carmen, Delgado
2. 発表標題 結晶性微細孔中における分子プロベラの同期回転
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;岩井, 航平;辻, 勇人;アルブレヒト, 建;佐々木, 史雄;佐藤, 寛泰;山本, 洋平
2. 発表標題 多世代 dendrimer の単結晶光共振器
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;中山, 亜実;山本, 洋平
2. 発表標題 光により多孔性結晶に生じる安定な有機ラジカル種の発見
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;岩井, 航平;山本, 洋平;辻, 勇人;アルブレヒト, 建;佐々木, 史雄;佐藤, 寛泰
2. 発表標題 多世代蛍光性 dendrimer-単結晶光共振器からのレーザー発振
3. 学会等名 有機コヒーレントフォトンクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi;Hendra;Yamamoto, Yohei
2. 発表標題 Connection of Polymer Microsphere Resonator by Polymer Nanofiber for Intersphere Optical Communication
3. 学会等名 2nd GLowing Polymer in KANTO
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;岩井, 航平;山本, 洋平;アルブレヒト, 建;辻, 勇人;佐々木, 史雄;佐藤, 寛泰
2. 発表標題 光捕集性 dendrimer-単結晶光共振器
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi;Heah, Wey Yih;Yamamoto, Yohei
2. 発表標題 Silk Cocoon Dyeing with Self-Assembled -Conjugated Polymer Microspheres
3. 学会等名 2nd GLowing Polymer in KANTO
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Iwai, Hiroshi Yamagishi, Hayato Tsuji, Ken Albrecht, Fumio Sasaki, Hiroyasu Sato, Yohei Yamamoto
2. 発表標題 Single-crystal optical microcavities from luminescent dendrimers
3. 学会等名 CeNIDE-TREMS joint Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wey Yih Heah, Hiroshi Yamagishi, Yohei Yamamoto
2. 発表標題 Silk Cocoon Dyeing with Self-Assembled -Conjugated Polymer Microspheres
3. 学会等名 高分子学会関東支部茨城地区研究交流会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hendra, Hiroshi Yamagishi, Yohei Yamamoto
2. 発表標題 Optical Communications between Self-Assembled Polystyrene Microspheres by Electrospun Nanofibers
3. 学会等名 高分子学会関東支部茨城地区研究交流会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;中山, 亜実;山本, 洋平
2. 発表標題 光照射による安定ピリジンラジカルの生成
3. 学会等名 高分子学会関東支部茨城地区研究交流会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;藤田, 圭太郎;山本, 洋平
2. 発表標題 On-Substrate Droplet Optical Resonator For Precise Chemical and Physical Sensing
3. 学会等名 高分子学会関東支部茨城地区研究交流会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;竹内, 彰秀;山本, 洋平
2. 発表標題 光スイッチ可能なマイクロ球体光回路の実現
3. 学会等名 高分子学会関東支部茨城地区研究交流会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;角田, 百仁花;山本, 洋平
2. 発表標題 分子性多孔質結晶の耐熱性向上を目指したC-H-N結合組み替え
3. 学会等名 高分子学会関東支部茨城地区研究交流会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;大木, 理;森崎, 泰弘;山本, 洋平
2. 発表標題 面不斉 共役分子によるお椀型マイクロ結晶の形成と結晶成長制御
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山岸, 洋;岩井, 航平;辻, 勇人;アルブレヒト, 建;佐々木, 史雄;佐藤, 寛泰;山本, 洋平
2. 発表標題 多世代蛍光性 dendrimer-単結晶光共振器からのレーザー発振
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山岸, 洋;相田, 卓三
2. 発表標題 自己修復する耐熱性多孔質結晶
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi
2. 発表標題 A microporous molecular crystal with high thermal stability and self-healability
3. 学会等名 ICPAC Yangon 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;岩井, 航平;山本, 洋平
2. 発表標題 多世代 dendrimer-単結晶光共振器からのレーザー発振
3. 学会等名 TIA ナノグリーンサマースクール
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamagishi, Hiroshi
2. 発表標題 Thermally robust but self-healable microporous crystals
3. 学会等名 SACSEM 4th (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;中山, 亜実;山本, 洋平
2. 発表標題 光照射による安定ピリジンラジカルの誘起
3. 学会等名 TIA ナノグリーンサマースクール
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岸, 洋;岩井, 航平;アルブレヒト, 健;辻, 勇人;佐々木, 史雄;佐藤, 寛泰;山本, 洋平
2. 発表標題 光捕集 dendrimer-の単結晶光共振器
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

〔図書〕 計4件

1. 著者名 山岸洋	4. 発行年 2022年
2. 出版社 日本化学会有機結晶部会	5. 総ページ数 19
3. 書名 有機結晶部会ニュースレターNo. 50	

1. 著者名 山本洋平、山岸洋	4. 発行年 2021年
2. 出版社 株式会社技術情報協会	5. 総ページ数 508
3. 書名 メタマテリアルの設計、作製と新材料、デバイス開発への応用	

1. 著者名 山岸 洋、相田卓三	4. 発行年 2019年
2. 出版社 株式会社東京化学同人	5. 総ページ数 80
3. 書名 現代科学	

1. 著者名 山岸 洋	4. 発行年 2020年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 446
3. 書名 自己修復材料、自己組織化、形状記憶材料の開発と応用事例	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
ドイツ	University of Duisburg-Essen			
スペイン	University of Malaga			