

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：14603

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K14190

研究課題名（和文）優れた電荷移動特性発現を目指した剛直さと柔らかさを有する自己組織化単分子膜の開発

研究課題名（英文）Development of rigid but soft self-assembled monolayer exhibiting efficient charge transport property

研究代表者

林 宏暢（Hayashi, Hironobu）

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教

研究者番号：00736936

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：自己組織化単分子膜電界効果トランジスタ（SAMFET）に応用可能な、剛直性と柔軟性を兼ね備えたアントラセン多量体の合成法確立と基板上への単分子膜形成を目指し研究を行なった。SAMFETでは、電荷輸送部位にアルキル基などの置換基が導入されていない場合に効果的な π - π スタッキングが期待できる。本研究では、光変換型前駆体法を用いることで、上記の要求を満たす分子合成が可能であることを実証できた。また合成した分子の溶液を基板に浸漬させることで、単分子膜形成に成功し、その膜構造を評価した。本研究で得られた成果は、高効率SAMFET実現に新しい知見を与えるものであると考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

SAMFETは単一分子が吸着部位・スペーサー・電荷輸送部位・コンタクト部位を有するため高純度化も可能であり、うまく分子を作り込めば、高い電荷輸送特性を発現できる系になる。しかし、溶解性の問題からこれまで、電荷輸送部位にアルキル基などの置換基を導入せざるを得なかった。本研究での成果は、光変換型前駆体法の利用によりこの問題を回避できることを示すものであり、今後のSAMFET用分子の設計に一石を投じるものである。

研究成果の概要（英文）：Self-assembled monolayer field-effect transistors (SAMFETs) are a promising concept. In this study, not only rigid but also soft anthracene oligomers were synthesized as molecules for SAMFETs. Specifically, anthracene oligomers without alkyl side chains were selected as the semiconducting core for the better packing on the substrate. Normally, it is difficult to synthesize such oligomers because of the low solubility. To solve this problem, we have successfully synthesized a series of anthracene oligomers for SAMFETs by using "photochemical precursor method". Additionally, these molecules formed the SAM on ITO and Si/SiO₂/AlO_x substrates, and the morphology of SAMs was examined. We believe that these results provide the important clue of molecular design towards efficient SAMFETs.

研究分野：機能性材料科学

キーワード：アントラセン 多量体 電荷輸送特性 単分子膜 前駆体法

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

IoTの普及や人工知能の実用化などをひかえ、今後電子デバイスには高性能化だけでなく、小型化・フレキシブル性が求められる。そのような中で、有機半導体材料は軽量・柔軟性に富んでおり、次世代デバイスにおける重要な基幹材料になると考えられている。有機半導体中における電荷輸送は、隣接する分子の π 軌道の重なりを電荷が移動することによって起こる。したがって、広い π 共役系を有する剛直な化合物は電荷輸送に有利である。さらに、電極上で電荷が効率的に輸送されるように、ドメイン境界が少ない膜構造の構築が望ましい。したがって、単結晶に似た結晶性薄膜が優れた電荷輸送特性を発現することは疑う余地もない。しかしながらこれでは、有機半導体材料の本来の利点である柔軟性を損失しているのではないだろうか？結晶性の高い分子は必然的にドメイン境界を形成しやすい。また、例えば電極間を単一ドメインで接合できたとしても、無機材料と同様に曲げなどに弱く、硬いドメイン中で分子配列が一度破壊されると構造修復は不可能である。一方、生体系では、柔らかなリン脂質や膜たんぱく質中で小さな有機・無機分子がある程度の自由度を持って相互作用している。その結果、多少の構造変化にも柔軟に対応しながら最適な分子配列を構築することで、優れた電荷輸送や触媒活性などを実現している。これを参考に、剛直な有機半導体材料と適度な自由度を兼ね備えた骨格をうまく組み合わせることで、系全体が結晶性と柔軟性を両立し、その結果、結晶性の膜を作製することなく優れた電荷輸送特性を発現させることが可能なのではないだろうか？

2. 研究の目的

本研究では、広い π 共役系を有する剛直な有機半導体分子を単結合で連結し、系全体が適度に高い結晶性と自由度を維持することで、結晶性膜並みの電荷輸送特性を示す柔らかい分子集合系の設計指針獲得を目的とする。適度な柔軟性を有することで、外部刺激による構造変化に対しても、加熱などにより最適な分子配列を再構築できる修復性を付与できる可能性がある。このような目的に合致する系として本研究では、自己組織化単分子膜有機電界効果トランジスタ(SAMFET)に着目した。SAMFETでは、各単一分子が電荷輸送を担う π 共役系部位、基板への吸着基を有するスペーサー部位を持つ。したがって、分子の構造を最適化することで、基板上での配列制御や電荷輸送特性の向上が期待される。また、 π 共役系の柔軟性だけでなく、スペーサーや末端部位の自己組織化によっても分子間相互作用を制御できる。このように本研究では、高効率なSAMFET実現を達成する分子を、結晶性膜並みの電荷輸送特性を示す柔らかい分子集合系で実現することを目指し、その分子設計指針の獲得を目的に研究を行った。

3. 研究の方法

SAMFETに利用できる分子の合成戦略として、電荷輸送を担う π 共役系部位は、より多量化している方が分子間のパッキングが良いと予想される。このような中Halikらは、アンカー部位にリン酸を有するオリゴフルオレン¹の合成に成功している。この分子は、これまで報告されているSAMFET分子と比べて圧倒的に大きな π 共役系を有している。しかしながら、合成の都合上、電荷輸送部位であるフルオレン骨格にアルキル基が導入されている。したがって、基板上での効果的な π 共役系のパッキングが阻害される結果となった。したがって、アルキル基などが無い電荷輸送部位を有するSAMFET分子の開発は、効率的なSAMFET分子の設計に重要な指針を与える可能性がある。そこで本研究では、溶解性を確保する置換基を有さない、新規の π 共役系多量体の合成法開拓を第一に行なった。この際、その合成には、難溶な有機材料を溶媒に可溶な前駆体から光照射により合成できる「光変換型前駆体法」を用いた(図1)。この結果、通常は溶解性が悪く合成困難な多量体の合成においても、前駆体法により溶解性を保ったまま最終段階で所望の分子に変換できる。次に、得られた多量体分子へ吸着基や末端基を導入することでSAMFETへの応用を可能とした分子の合成法確立を行い、置換基を有さない電荷輸送部位を持つSAMFET分子の構造が基板上での分子の配向に与える影響を調べた。

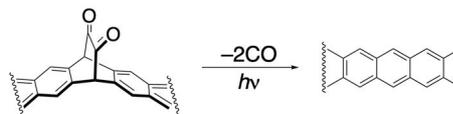


図1 光変換型前駆体法

4. 研究成果

本研究では、電荷輸送を担う π 共役系として主にアントラセン多量体に着目した。目的とするアントラセン多量体は安定な化合物であることに加え、2,6位で連結することで効果的に π 共役系が拡張される²。しかしながら、溶解性を確保する置換基を有さないアントラセン多量体は、多量化するに従い溶解性が劇的に低下するため、通常の合成手法では3量体以上の多量体合成は難しい。そこで、上記に示したように、光前駆体法を用いてアントラセン多量体の合成に挑戦した。具体的には、 α -ジケトン部位を多量体中のアントラセン骨格に導入し、最終段階で α -ジケトン部位の $n-\pi^*$ 遷移エネルギーに相当する470 nm程度の光を照射することで、一酸化炭素分子の脱離を伴って、アントラセン多量体へと変換した。

まず、図2に示す光変換型アントラセン多量体前駆体の合成ルートの確立を行なった。例として5DKの合成をあげると、5DKは、既知化合物から2ステップを経て鍵化合物を合成した後、加水分解、Swern酸化反応を経て合成に成功した。得られた5DKに対して光照射を行うことでアントラセン5量体(5mer)への変換を検討した。まず、脱気したNMRチューブ中の5DKの

重クロロホルム溶液に対してメタルハライドランプ(>390 nm)を用いて光照射を行ったところ、光照射前に観測されていたピークが徐々に観測されなくなり、10分程度で完全にピークが消失した。これは5DKが、不溶性の5merへと変換されたことを示唆している。また、5DKの薄膜に青色LEDを用いて光照射した後のIR測定において、 α -ジケトン部位のC=O由来のピーク(1735 cm^{-1} 付近)が消失したことが、および、質量分析の結果から、5merの生成を確認した。ここで5merは有機溶媒にほとんど溶解性を示さないため、光変換型前駆体法を用いない限り合成困難であることを特筆しておく。さらに、同様の手法を用いてアントラセン3量体(3mer)・4量体(4mer)の合成にも成功した。これらの電荷輸送特性をFETやSCLCによる評価を試みたが、溶解性の悪さに起因する薄膜構造制御が難しく、移動度測定には至っていない。今後、薄膜形成手法を検討する必要がある。

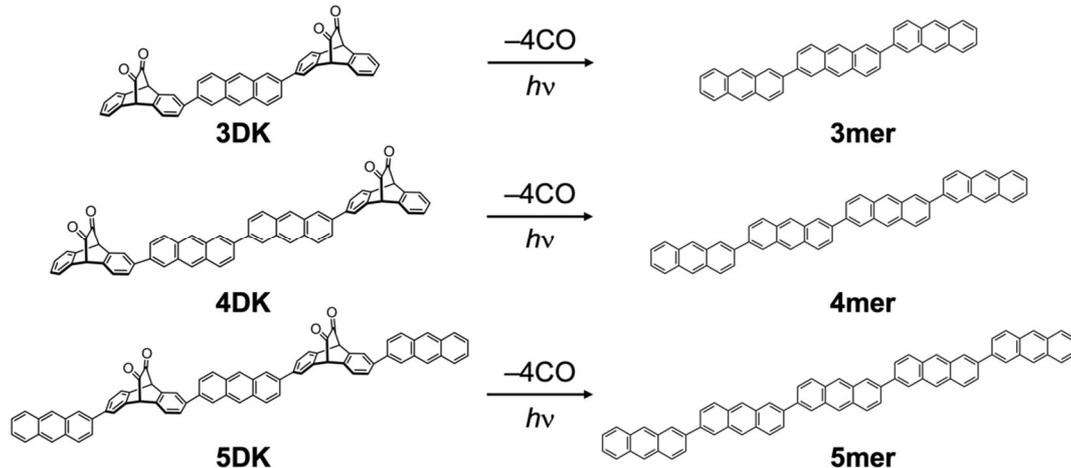


図2 光変換型アントラセン多量体前駆体とそれらの光変換反応

次に、上記の合成ルートをもとに、SAMFETに利用できる分子として、基板への吸着基を有するスペーサー部位を導入したアントラセン多量体の合成を行った(図3)。本研究では、高密度なSAMを形成することが知られているリン酸基を基板への吸着部位として選択した。まず1Pと1APの合成を行ない、溶解性を比較したところ、1APは1Pに比べ溶解性が低いことが明らかとなった。そのため、その後の合成は末端基を持たないSAMFET分子(2P, 3PDK)を目的物として合成を行った。また、化合物3Pは3PDKの溶液を光照射することで合成に成功した。ここで、スペーサー部位のアルキル基の影響により、化合物3PはSAM形成可能な溶解性を示すことが明らかになった。同様にして、5merの光変換型前駆体にリン酸基とスペーサー部位が導入された化合物(5PDK)の合成も進めており(5PVC)最終生成物まで残り3ステップまで合成完了した。

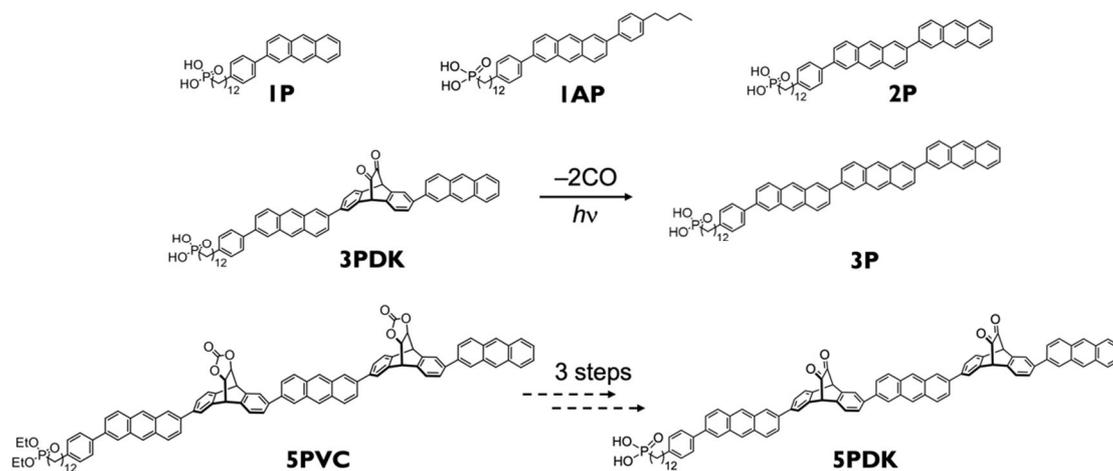


図3 SAMFETに応用可能なアントラセン多量体

次に、これらの化合物を用いてSAM形成を行った。Si/SiO₂/AlO_x基板を、化合物のジメチルスルホキシド溶液中に室温で浸漬させた。その後、一定時間経過後に基板を取り出し、洗浄することで、SAMで修飾された基板(Si/SiO₂/AlO_x/SAM)を得た。まず、XPS測定を行った結果、133 eVにリンの2p軌道に由来するピークが観測されたことから、Si/SiO₂/AlO_x上にSAMが形成されていると結論づけた。次に、Si/SiO₂/AlO_x/SAM基板の水滴接触角を測定した。その結果、浸漬時間が12時間以降では水滴接触角はほとんど変化しなかった。これは、SAM形成が12時間

程度で完了していることを示唆している。また、浸漬時間と濃度の関係を調査した結果、同じ浸漬時間では濃度の低い溶液に浸漬させた基板の方が大きな接触角を示した。これはより低い濃度の溶液の方が化合物の基板への吸着が緩やかであり、自己組織化による再配向がより効率的に進んだためだと考えている。一方、水滴接触角の最高値を比べたところ、 $2P > 1P > 3P$ となり、最も疎水性の大きな $3P$ が最も小さな接触角を示す予想外の結果となった。この原因を探るために、SAM 膜の AFM 測定を行なった。ここで、 $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{AlO}_x$ 基板の表面はラフネスが比較的大きいため、ITO 上に SAM を形成し、その AFM 測定を行なった。ITO 上での水滴接触角の結果は、 $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{AlO}_x$ 上での結果 ($2P > 1P > 3P$) と変わらないことを確認している。その結果、AFM の形態像では大きな変化は見られなかったが、位相像を比較すると、接触角の一番大きかった $2P$ は一様な膜質である一方で、 $1P$ と $3P$ の系では、網目状の不均質な膜質であることがわかった (図 4)。このようなモルフォロジーの違いが接触角に影響を与えていると考えているが、分子骨格・吸着条件と基板上での分子配向との関係理解に関してのさらなる検討が必要である。

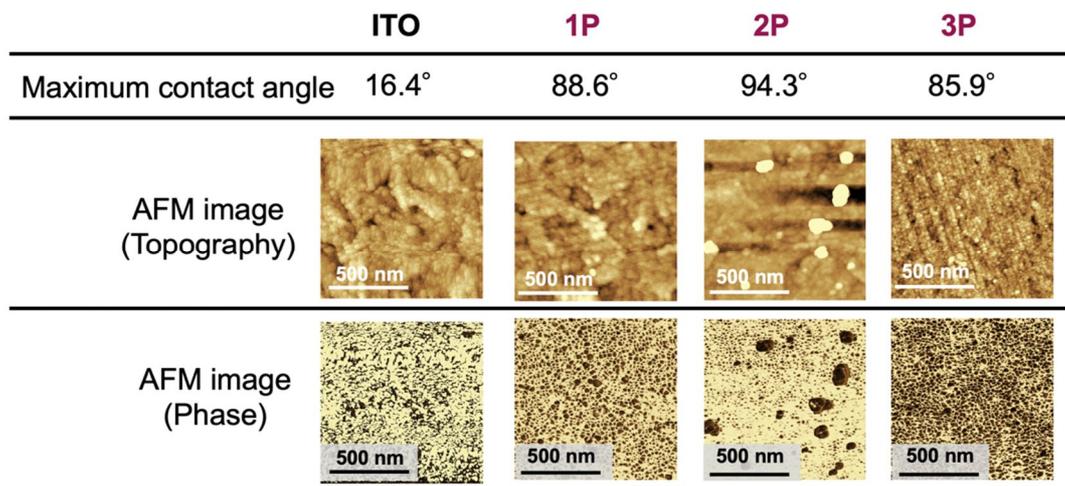


図 4 AFM 測定による表面モルフォロジーの観察

本研究では、光変換型前駆体法を用いて、通常的手法では合成困難な、2,6 位で連結された一連のアントラセン多量体の合成に成功した。また、その合成手法を応用することで、SAMFET に応用可能な分子の合成、および、基板上への SAM 形成に成功した。 π 共役系中の各アントラセンユニットは単結合で連結されているため、ある程度の自由度を有しており、SAM 膜の加熱などで膜構造を制御できると考えている。また、 $5PDK$ を光変換した後は溶解性が著しく低下し、取り扱いが困難になることが予想されるが、 $5PDK$ を基板上に SAM 形成させ、光照射により「on-surface」で目的の $5P$ に変換することも可能である。このように、光変換型前駆体法を用いることで達成できた、溶解性を与えるアルキル基などの置換基を母骨格に持たない π 共役系の合成手法の開発は、高効率 SAMFET 実現に新しい知見を与えるものであると考えている。実際、多量化には至っていないが、この光変換型前駆体法を用いることで、通常的手法では合成困難な、側鎖を持たない高次アセン(ノナセン・ヘプタセンなど)類の合成と構造評価にも成功した(図 5)。このように本研究の結果は、光変換型前駆体法の適用により、不溶性のためこれまで取り扱いが困難であった有機半導体分子に新しい可能性を与えるものである、と考えている。

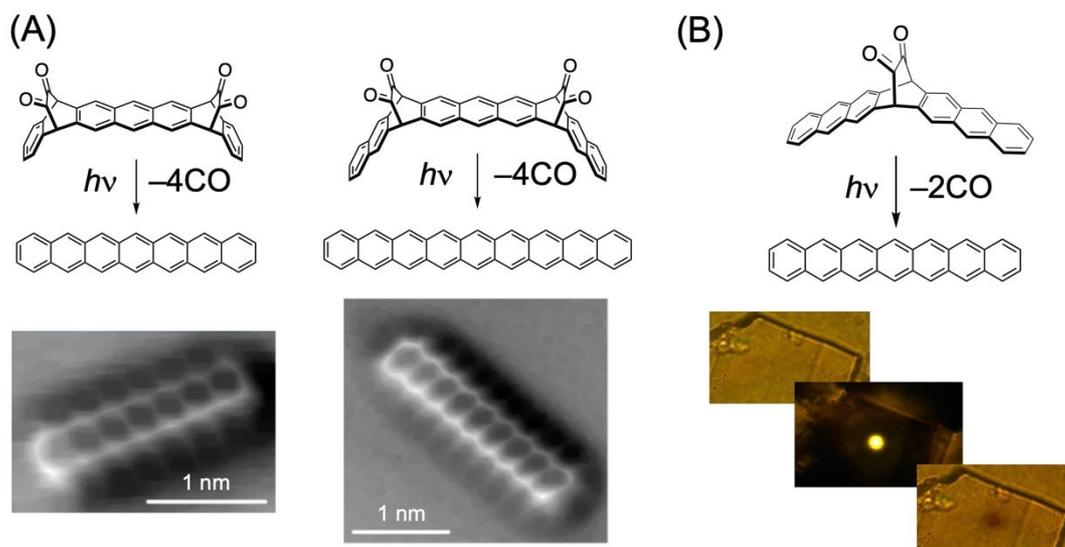


図5 光変換型前駆体法を利用した高次アセン合成の例。(A) 超高真空下でのヘプタセン・ノナセンの合成。(B) 結晶へのレーザー照射を用いた光変換型ヘプタセン前駆体からヘプタセンへの変換反応。

参考文献

- 1) Halik, M. et al. *Nanoscale* **2017**, 9, 18584.
- 2) Tokito, S. et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2003**, 42, 1159.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kawano Koki, Hayashi Hironobu, Yoshimoto Shinya, Aratani Naoki, Suzuki Mitsuharu, Yoshinobu Jun, Yamada Hiroko	4. 巻 24
2. 論文標題 An Ethynylene-Bridged Pentacene Dimer: Two-Step Synthesis and Charge-Transport Properties	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 14916 ~ 14920
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201803002	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 Hayashi Hironobu, Kato Yuki, Matsumoto Akinobu, Shikita So, Aizawa Naoya, Suzuki Mitsuharu, Aratani Naoki, Yasuda Takuma, Yamada Hiroko	4. 巻 25
2. 論文標題 Synthesis of Anthracene Derivatives with Azaacene Containing Iptycene Wings and the Utilization as a Dopant for Solution Processed Organic Light Emitting Diodes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 15565 ~ 15571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201903476	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 Ohtomo Manabu, Hayashi Hironobu, Hayashi Kenjiro, Jippo Hideyuki, Zhu Juanjuan, Hayashi Ryunosuke, Yamaguchi Junichi, Ohfuchi Mari, Yamada Hiroko, Sato Shintaro	4. 巻 20
2. 論文標題 Effect of Edge Functionalization on the Bottom Up Synthesis of Nano Graphenes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemPhysChem	6. 最初と最後の頁 3366 ~ 3372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cphc.201900510	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 Urgel Jose I., Mishra Shantanu, Hayashi Hironobu, Wilhelm Jan, Pignedoli Carlo A., Di Giovannantonio Marco, Widmer Roland, Yamashita Masataka, Hieda Nao, Ruffieux Pascal, Yamada Hiroko, Fasel Roman	4. 巻 10
2. 論文標題 On-surface light-induced generation of higher acenes and elucidation of their open-shell character	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 861 ~ 861
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-08650-y	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 Kurosaki Ryo, Hayashi Hironobu, Suzuki Mitsuharu, Jiang Julong, Hatanaka Miho, Aratani Naoki, Yamada Hiroko	4. 巻 10
2. 論文標題 A remarkably strained cyclopyrenylene trimer that undergoes metal-free direct oxygen insertion into the biaryl C-C -bond	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 6785 ~ 6790
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9sc01777a	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 Kurosaki Ryo, Suzuki Mitsuharu, Hayashi Hironobu, Fujiki Michiya, Aratani Naoki, Yamada Hiroko	4. 巻 55
2. 論文標題 Torsional chirality generation based on cyclic oligomers constructed from an odd number of pyrenes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 9618 ~ 9621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9cc03123e	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 Kano Haruka, Uehara Keiji, Matsuo Kyohei, Hayashi Hironobu, Yamada Hiroko, Aratani Naoki	4. 巻 16
2. 論文標題 Direct borylation of terrylene and quaterrylene	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Beilstein Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 621 ~ 627
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3762/bjoc.16.58	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 Suzuki Mitsuharu, Terai Kengo, Quinton Cassandre, Hayashi Hironobu, Aratani Naoki, Yamada Hiroko	4. 巻 11
2. 論文標題 Open-circuit-voltage shift of over 0.5 V in organic photovoltaic cells induced by a minor structural difference in alkyl substituents	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 1825 ~ 1831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9SC04956H	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 Maeda Akihiro, Nakauchi Aki, Shimizu Yusuke, Terai Kengo, Sugii Shuhei, Hayashi Hironobu, Aratani Naoki, Suzuki Mitsuharu, Yamada Hiroko	4. 巻 13
2. 論文標題 A Windmill-Shaped Molecule with Anthryl Blades to Form Smooth Hole-Transport Layers via a Photoprecursor Approach	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 2316 ~ 2316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma13102316	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 Kurosaki Ryo, Matsuo Kyohei, Hayashi Hironobu, Yamada Hiroko, Aratani Naoki	4. 巻 -
2. 論文標題 A Directly-linked Cyclic Pyrene Tetramer as a Back-to-back Receptor for Two Fullerenes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200233	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 Junichi Yamaguchi, Hironobu Hayashi, Hideyuki Jippo, Akitoshi Shiotari, Manabu Ohtomo, Mitsuhiro Sakakura, Nao Hieda, Naoki Aratani, Mari Ohfuchi, Yoshiaki Sugimoto, Hiroko Yamada, Shintaro Sato	4. 巻 -
2. 論文標題 Small bandgap features achieved in atomically precise 17-atom-wide armchair-edged graphene nanoribbons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Materials	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hayashi Hironobu, Hieda Nao, Yamauchi Mitsuaki, Chan Yee Seng, Aratani Naoki, Masuo Sadahiro, Yamada Hiroko	4. 巻 -
2. 論文標題 Visible light induced Heptacene Generation under Ambient Conditions: Utilization of Single crystal Interior as an Isolated Reaction Site	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202002155	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 林 宏暢、山田容子	4. 巻 36
2. 論文標題 基板上グラフェンナノリボン合成における前駆体分子へのフッ素の導入効果	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ニューダイヤモンド	6. 最初と最後の頁 15～18
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 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 -

1. 著者名 林 宏暢、山田容子	4. 巻 49
2. 論文標題 高次アセンの合成法開拓とナノカーボン材料創成への展開	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 月刊ファインケミカル	6. 最初と最後の頁 32～38
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 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 -

1. 著者名 林 宏暢、山田容子	4. 巻 50
2. 論文標題 「光変換型前駆体法」を利用した高次アセンおよび高次アセン複合体の作製	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 光化学	6. 最初と最後の頁 114～117
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 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 -

1. 著者名 林 宏暢、山田容子	4. 巻 75
2. 論文標題 どこまで伸びる？ベンゼン環の連結競争	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 化学	6. 最初と最後の頁 68～69
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 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10件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 角田 暢、林 宏暢、山田容子
2. 発表標題 光変換型前駆体法を利用したアントラセン多量体の合成
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hironobu Hayashi, Hiroko Yamada
2. 発表標題 On-Surface Synthesis of Self-Assembled Graphene Nanoribbon from Partially Fluorinated Precursors
3. 学会等名 On-surface synthesis 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤祐希、林宏暢、松本彬伸、敷田蒼、相澤直矢、安田琢麿、山田容子
2. 発表標題 イプチセン骨格を導入したアントラセン誘導体の合成と有機ELへの応用
3. 学会等名 第29回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hironobu Hayashi, Hiroko Yamada
2. 発表標題 Visible-light-induced photodecarbonylation of alpha-diketone-type large acene precursors on Au(111) surface
3. 学会等名 第55回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤 静香、林 宏暢、荒谷 直樹、山田 容子
2. 発表標題 屈曲した前駆体構造を利用した環状化合物の合成
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hironobu Hayashi, Hiroko Yamada
2. 発表標題 On-surface light-induced synthesis of higher acenes from alpha-diketone-type precursors
3. 学会等名 14th International Symposium on Functional pi-Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hironobu Hayashi, Hiroko Yamada
2. 発表標題 Synthesis and characterization of large acenes by using on-surface synthesis
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角田 暢、林 宏暢、山田 容子
2. 発表標題 アントラセン多量体を用いた自己組織化単分子膜の作製
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hironobu Hayashi, Hiroko Yamada
2. 発表標題 Charge transport property of an ethynylene-bridged pentacene dimer
3. 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics & BioElectronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 宏暢、山田容子
2. 発表標題 シクラセン合成を目指した屈折構造を利用した環状化合物の合成法の開拓
3. 学会等名 第30回基礎有機科学討論会
4. 発表年 2019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