

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03134

研究課題名（和文）有機半導体膜における縦方向移動度の向上とデバイス応用

研究課題名（英文）Improvement of vertical carrier mobility of organic semiconductor films and its application for organic devices

研究代表者

中山 健一（Ken-ichi, Nakayama）

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：20324808

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：有機ELや有機太陽電池の性能の鍵となる、有機半導体膜の膜厚方向（縦方向）のキャリア移動度を向上させることを目的として、強力な分子配向手法の開発と、薄膜構造-電気物性相関の解明を行った。配向制御層として、還元型酸化グラフェン膜を用いる手法を新たに考案し、オリゴチオフェンなどの有機半導体材料での配向制御に成功し、縦方向移動度として世界最高レベルの移動度を実現した。また、本手法により配向制御した膜を有機太陽電池に応用し、性能向上を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実用化が進む有機ELや実用化間近の有機太陽電池デバイスでは、性能向上のために縦方向移動度の向上が必要不可欠である。これまで、縦方向移動度が横方向に比べて低い原因が明確でなく、向上させるための方法についても。本研究では、強力な分子配向制御層の開発により、分子配向によって縦方向移動度が飛躍的に改善できることを明らかにし、実際に有機太陽電池の性能向上を実現した。今後、有機エレクトロニクスデバイスの性能向上に資するものと期待される。

研究成果の概要（英文）：To improve the vertical carrier mobilities of organic semiconductor films, which are the key for higher performances of organic light-emitting diodes and organic solar cells, a promising molecular orientation control method was developed and relationship between film structure and electrical properties was elucidated. Reduced graphene oxide was first employed for molecular orientation control, resulting in controlling molecular orientation of organic semiconductor films such as oligo thiophenes. They achieved very high carrier mobilities in the vertical direction. Also, these orientation-controlled films were applied to organic solar cells and their performances were improved.

研究分野：有機エレクトロニクス

キーワード：有機半導体 キャリア移動度 有機太陽電池 還元型酸化グラフェン 分子配向

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

キャリア移動度は、有機半導体材料の性能を表す最も重要なパラメータであり、シリコンなどの無機結晶性半導体に対して性能が劣ると言われるポイントである。有機 FET においては近年、 $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超える移動度が多く報告されており、ポリマー系では $100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ への見通しも議論され始めている (*Adv. Mater.*, **26**, 2993, 2014)。一方で、有機 EL、有機太陽電池といった縦方向 (膜厚方向) に電流を流すデバイスでは一般的に $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度であり、FET が絶縁層界面の二次元的な電導に基づくという特殊な条件であることを考慮しても、そのギャップはあまりにも大きい。横型素子である FET では $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超える高い移動度が実現されていることから、有機材料のポテンシャルとしては不可能ではないはずであるが、このギャップについて真剣に検討された例はほとんどなかった。

2. 研究の目的

本研究課題では、有機エレクトロニクス分野の根幹に関わる「縦方向移動度をどこまで上げられるか？」という問いにフォーカスし、材料探索、薄膜構造制御、電気物性測定の観点から縦方向移動度の問題を理解し解決することを目的とした。また、その結果を縦型有機デバイス (縦型有機トランジスタや有機太陽電池) にフィードバックし、「縦方向高速移動度」がもたらす新しい有機デバイスの可能性を探ることを目的とした。

3. 研究の方法

平面構造を取る 共役系有機分子において、縦方向電荷輸送を促進するためには、移動度の決め手となる隣の分子との軌道の重なりが膜厚方向で最大となる face-on 配向状態が望ましい (Fig. 1)。本研究課題では、この分子配向制御技術の開発を行い、それを軸に「結晶構造 - 分子配向 - 電気物性の相関」を系統的に明らかにしていった。得られた縦方向移動度の向上技術を、有機薄膜太陽電池に適用し、移動度および励起子拡散長と太陽電池性能の関係について検討を行った。さらに、デバイスレベルの薄膜における縦方向移動度を知る有効な方法がないことから、MIS-CELIV 法に着目しの新しい移動度測定方法の提案も行った。

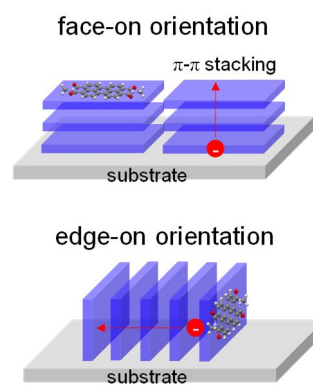


Fig. 1. Ideal molecular orientation for carrier transport.

4. 研究成果

(1) 還元型酸化グラフェン (rGO) 膜を用いた分子配向制御

平面型で異方性が高い有機半導体分子において縦方向移動度の向上のためには、共役平面が基板に対して水平並んだ face-on 配向を取ることが重要である。分子配向を制御するための template layer としては、無限に広がる共役電子系であるグラフェンが理想的であるが、グラフェンは一般的に CVD による成膜と基板上への転写工程が必要であり、有機エレクトロニクスデバイスのプロセスにはそぐわない。そこで我々は、酸化グラフェン (graphene oxide, GO) の水分散液から塗布成膜を行い、これを還元処理することで得られる reduced graphene oxide

(rGO)の成膜プロセスを改良することにより、rGO片がほぼモノレイヤーで基板表面全体を覆った、極めて平坦な表面を持つrGO膜を作製することに成功した (Fig. 2)。

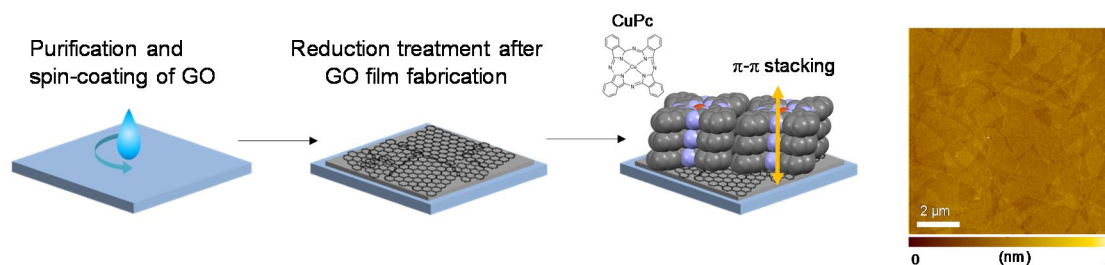


Fig. 2. Preparation method of the rGO template layer and an atomic force microscopy image of the rGO film.

rGO上に製膜した銅フタロシアニン (CuPc)の薄膜構造を評価したところ face-on 配向を示し、一次元的なスタック構造を形成した。それに伴い、薄膜の縦方向 (膜厚方向) 移動度の向上が観測された。しかし、一次元的なスタックは欠陥などの擾乱に弱いため絶対的な高移動度の実現は難しい。さらなる移動度向上のためには、より高い次元性の輸送経路を持つ結晶構造が重要となる。そこで我々は、ヘリングボーン構造による二元的伝導性により電界効果型トランジスタ (FET) において高い移動度が実現されている

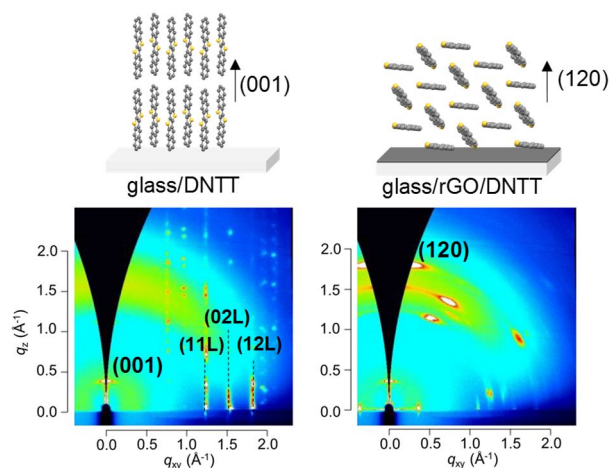


Fig. 3. GIWAXD patterns of the evaporated DNTT films on the normal glass substrate (left), and the rGO template layer (right).

DNTT に対して、rGO template layer を適用した (Fig. 3)。GIWAXD により薄膜構造を測定したところ、rGO 層を用いることにより DNTT のヘリングボーン構造を「横倒し」することに成功し、結果的に、縦方向移動度 $0.27 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ という、蒸着薄膜の縦方向移動度としては世界最高レベルの移動度を達成した。

(2) 分子配向膜の有機太陽電池への応用

我々が開発した極薄平坦 rGO template layer を用いて、有機太陽電池の性能向上を狙った。素子構造としては、現在主流のドナー (D) とアクセプター (A) が混ざったバルクヘテロ接合 (BHJ) 構造ではなく、face-on 配向化による効果が見えやすい、両者を積層した平面ヘテロ接合 (PHJ) 構造を用いた。具体的には、PHJ 構造素子として CuPc/C60 系を試したところ、rGO 層の導入により光電流の向上などの性能向上が見られた (Fig. 4)。rGO 上の CuPc 薄膜は face-on 配向になっており、その結果、縦方向移動度向上、吸収

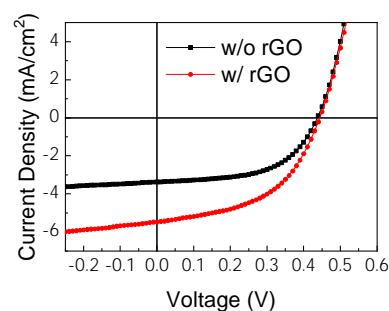


Fig. 4. J - V curves of the CuPc/C60 photovoltaic devices under dark and illuminated conditions.

スペクトルの増強が起こり、性能向上したものと考えられる。さらに、アクションスペクトルから励起子拡散長の評価を行ったところ、CuPcがface-on配向により励起子拡散長も増大していることを見出した。分子配向と励起子拡散長の関係はこれまで議論された例は少なく、分子配向制御による励起子拡散長の増大により、PHJ型素子の性能向上の可能性が示唆される。

(3) rGOの縦型有機トランジスタへの応用

このような塗布成膜可能なrGO薄膜を、より積極的にデバイスに応用する方法として、「縦型有機FET」(VOFET)への展開を試みた。これは、当初の研究計画には含まれていなかった新たな展開である。縦型のトランジスタは、チャンネル長が膜厚に対応するため極めて短くできること、またチャンネルが面状で大電流を流せることから、移動度の低い有機半導体に適したデバイス構造である。本素子、rGO-VOFETでは、グラフェンがソース電極となり、有機半導体膜をドレイン電極で挟んだサンドイッチ構造をとる(Fig. 5)。ゲート電極に印加された電圧は、絶縁層を介してグラフェンのフェルミレベルを変化させることにより、ソース電極からの注入電流が変化してFETと類似の変調特性を示す。我々が作製したrGO膜を用いて、ペリレンビスイミド誘導体を用いたn型のrGO-VOFETを構成したところ、これまでに1例だけ報告例のある通常rGOを用いた縦型FETよりも高いon/offを達成した。本rGO-VOFETは、template層としてrGOの効果により、縦方向移動度の向上による高性能化が狙える一石二鳥の構造であることから、今後、新たな縦型有機トランジスタのカテゴリーとして発展が期待できる。

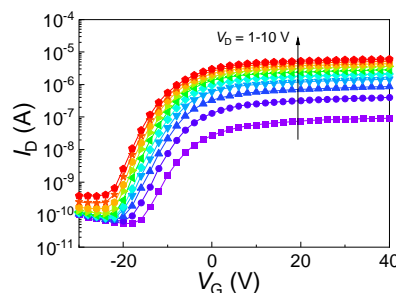
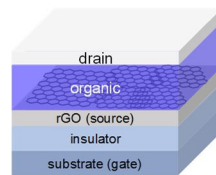


Fig. 5. Device structure and modulation characteristics of a vertical organic FET using rGO as a source electrode. characteristics.

(4) 縦方向移動度の評価方法としてMIS-CELIV法の確立

本研究課題で縦方向移動度の改善を行うにあたり、縦方向移動度の評価方法そのものの検討も行った。有機薄膜縦方向移動度評価法としては、空間電荷制限電流法(SCLC法)、飛行時間測定法(TOF法)などがあるが、前者は完全なオーミック接触が必要で適用できる材料が限られ、後者はミクロン単位の厚い膜が必要であることから薄膜デバイス向けの移動度評価としては適さない。薄膜でも測定が容易な手法として、我々は近年提案されたMIS-CELIV法(charge extraction by linearly increasing voltage in metal-insulator-semiconductor)に注目した。本手法では、MIS構造の素子に充電した電荷を直線的に増加する電圧で抽出し、その際に得られる過渡電流波形から移動度を算出する(Fig. 6)。しかし、得られた移動度が他の評価方法とどのような関係にあるのかは十分に検証されていない。本研究では、MIS-CELIV法による移動度評価の実例と、

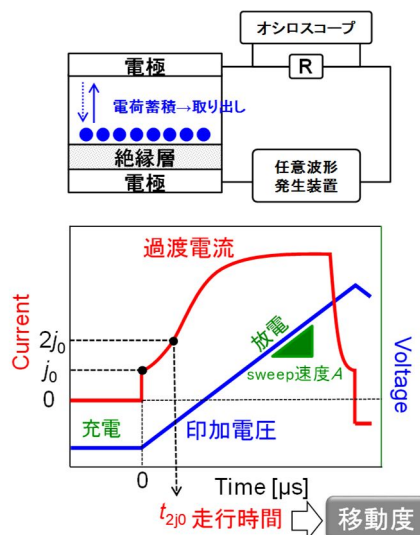


Fig. 6. Device structure and modulation characteristics of a vertical organic FET using rGO as a source electrode. characteristics.

測定の妥当性を判断する基準について検討した。

有機 EL 用のホール輸送材料である NPB 蒸着膜における、典型的な MIS-CELIV 波形を Fig. 7 に示す。この波形からキャリアの走行時間を抽出し移動度を見積もったところ、 $2 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ という値が得られた。これは、SCLC 法などで報告されている値とよい一致を示した。

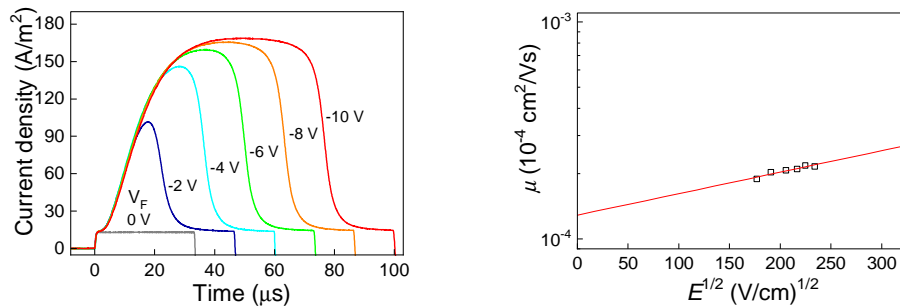


Fig. 7 NPB 蒸着膜における MIS-CELIV 過渡電流波形。充電電圧 (V_F) の増加と共に波形は大きくなる。MIS-CELIV 法で見積もった移動度の電界強度依存性。

有機半導体のキャリア移動度評価において重要な電界強度依存性について、MIS-CELIV 法では t_{j0} の時刻における電界強度を代表値として解析を行う。MIS-CELIV で求めた移動度も、Poole-Frenkel 効果に基づく電界 E の $1/2$ 乗に比例する挙動を示し、絶対値も含めて SCLC 法による移動度とよい一致を示した (Fig. 7)。このことから、MIS-CELIV 法が、100 nm 程度の有機半導体膜の標準的な移動度評価方法として確立されていく可能性が期待される。

以上本研究課題では、有機半導体デバイスにおける「縦方向移動度をどこまで上げられるか？」という問いに対して、rGO 極薄平坦膜を用いた独自の分子配向制御手法を編み出し、世界最高レベルの縦方向移動度を実現した。さらに、その薄膜を用いて有機太陽電池や縦型トランジスタへの応用を行った。また、縦方向移動度の評価方法そのものについての問題提起を行い、MIS-CELIV 法を用いた新たな測定方法の基準を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 20件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 N. Kudo, K. Uchida, T. Ikoma, K. Takahashi, D. Kuzuhara, M. Suzuki, H. Yamada, D. Kumagai, Y. Yamaguchi, and K. Nakayama	4. 巻 2
2. 論文標題 Transient Photocurrent Elucidating Carrier Dynamics and Potential of Bulk Heterojunction Solar Cells Fabricated by Thermal Precursor Approach	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sol. RRL	6. 最初と最後の頁 1700234-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/solr.201700234	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 H. Ouchi, T. Kizaki, M. Yamato, X. Lin, N. Hoshi, F. Silly, T. Kajitani, T. Fukushima, K. Nakayama, and S. Yagai	4. 巻 9
2. 論文標題 Impact of helical organization on the photovoltaic properties of oligothiophene supramolecular polymers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Sci.	6. 最初と最後の頁 3638-3643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7SC05093C	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 M. Suzuki, Y. Yamaguchi, K. Uchinaga, K. Takahira, C. Quinton, S. Yamamoto, N. Nagami, M. Furukawa, K. Nakayama, and H. Yamada	4. 巻 9
2. 論文標題 A photochemical layer-by-layer solution process for preparing organic semiconducting thin films having the right material at the right place	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Sci.	6. 最初と最後の頁 6614-6621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8sc01799a	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 C. Katagiri, T. Yoshida, M. S. White, C. Yumusak, N. S. Sariciftci, and K. Nakayama	4. 巻 8
2. 論文標題 Application of MIS-CELIV technique to measure hole mobility of hole-transport material for organic light-emitting diodes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 105001-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5045711	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 K. Yamada and K. Nakayama	4. 巻 166
2. 論文標題 Interface-Induced Face-on Orientation of Organic Semiconductors with a Template Layer and Its Application to Vertical-Type Organic Transistors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Electrochem. Soc.	6. 最初と最後の頁 B3103-B3108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.0181909jes	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 A. Toba, J. Matsui, K. Nakayama, T. Yoshida, C. Yumusak, P. Stadler, M. C. Sharber, M. S. White, N. S. Sariciftci, A. Masuhara	4. 巻 46
2. 論文標題 Organic Microboxes Prepared by Self-assembly of a Charge-transfer Dye	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 557-559
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.161191	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 K. Takahashi, D. Kumagai, N. Yamada, D. Kuzuhara, Y. Yamaguchi, N. Aratani, T. Koganezawa, S. Koshika, N. Yoshimoto, S. Masuo, M. Suzuki, K. Nakayama, H. Yamada	4. 巻 5
2. 論文標題 Side-chain engineering in a thermal precursor approach for efficient photocurrent generation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Mater. Chem. A	6. 最初と最後の頁 14003-14011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7ta04162d	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 H. Ouchi, T. Kizaki, X. Lin, D. D. Prabhu, N. Hoshi, F. Silly, K. Nakayama, S. Yagai	4. 巻 46
2. 論文標題 Effect of Alkyl Substituents on 2D and 1D Self-assembly and Photovoltaic Properties of Hydrogen-bonded Oligothiophene Rosettes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 1102-1104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.170407	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 G. Giusi, E. Sarnelli, M. Barra, A. Cassinese, G. Scandurra, K. Nakayama, C. Ciofi	4. 巻 64
2. 論文標題 Investigation on the Conduction Mechanisms in Metal-Base Vertical Organic Transistors by DC and LF-Noise Measurements	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Electron Devices	6. 最初と最後の頁 4260-4265
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TED.2017.2738699	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 C. Katagiri and K. Nakayama	4. 巻 11
2. 論文標題 Charge carrier mobility evaluated from extraction current transients and space-charge-limited current in poly(3-hexylthiophene) thin film	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 011601-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.011601	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 K. Yamada, Y. Suwa, C. Katagiri, and K. Nakayama	4. 巻 53
2. 論文標題 High vertical carrier mobility in the nanofiber films of a phthalocyanine derivative and its application to vertical-type transistors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Org. Electron.	6. 最初と最後の頁 320-324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2017.12.001	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 K. Yamada and K. Nakayama	4. 巻 166
2. 論文標題 Interface-Induced Face-on Orientation of Organic Semiconductors with a Template Layer and Its Application to Vertical-Type Organic Transistors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Electrochem. Soc.	6. 最初と最後の頁 B3103-B3108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2.0181909jes	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 K. Yamada, M. Okamoto, M. Sakurai, T. Suenobu, and K. Nakayama	4. 巻 9
2. 論文標題 Solution-processable reduced graphene oxide template layer for molecular orientation control of organic semiconductors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Adv.	6. 最初と最後の頁 32940-32945
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ra06258k	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 T. Suenobu, I. Arahori, K. Nakayama, T. Suzuki, R. Katoh, and T. Nakagawa	4. 巻 124
2. 論文標題 Reaction of Oxygen with the Singlet Excited State of [n]Cycloparaphenylenes (n = 9, 12, and 15): A Time-Resolved Transient Absorption Study Seamlessly Covering Time Ranges from Subnanoseconds to Microseconds by the Randomly-Interleaved-Pulse-Train Method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. A	6. 最初と最後の頁 46-55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.9b09846	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 Y. Suzuki, S. Adachi, T. Suenobu, M. Suzuki, K. Nakayama	4. 巻 59
2. 論文標題 Effect of the MIS structure with MgF2 on CELIV measurements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 SDDB01-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab5506	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 S. Nakamura, M. Oksamoto, N. Tohnai, K. Nakayama, Y. Nishii and M. Miura	4. 巻 93
2. 論文標題 Synthesis and Properties of Tri-tert-butylated Trioxa and Trithia Analogues of Truxene	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 99-108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20190269	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 K. Yamada, M. Suzuki, T. Suenobu, and K. Nakayama	4. 巻 12
2. 論文標題 High Vertical Carrier Mobilities of Organic Semiconductors due to Deposited Laid-down Herringbone Structure Induced by a Reduced Graphene Oxide Template	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 9489-9497
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.9b18993	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 X. Lin, Y. Okazawa, Y. Tani, H. Ouchi, K. Nakayama, S. Yagai	4. 巻 9
2. 論文標題 Self-Aggregation of Oligomethylene-Tethered Diketopyrrolopyrrole Dimers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Asian J. Org. Chem.	6. 最初と最後の頁 222-225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajoc.201900734	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 K. Nakayama, T. Okura, Y. Okuda, J. Matsui, A. Masuhara, T. Yoshida, M. S. White, C. Yumusak, P. Stadler, M. Scharber, N. S. Sariciftci	4. 巻 14
2. 論文標題 Single-Component Organic Solar Cells Based on Intramolecular Charge Transfer Photoabsorption	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 1200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma14051200	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 T. Taniguchi, U. Nishii, T. Mori, K. Nakayama, M. Miura	4. 巻 27
2. 論文標題 Synthesis, Structure, and Chiroptical Properties of Indolo and Pyridopyrrolo Carbazole Based C ₂ Symmetric Azahelicenes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chem. Eur. J.	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202100327	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75件（うち招待講演 9件 / うち国際学会 30件）

1. 発表者名 森下諒子、未延知義、中山健一
2. 発表標題 n/p積層型メタルペーストランジスタにおけるn型有機半導体材料の探索
3. 学会等名 応用物理学会関西支部第一回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 有泉恒亮、未延知義、中山健一
2. 発表標題 熱活性化遅延蛍光分子の光励起状態と電荷分離の関係
3. 学会等名 応用物理学会関西支部第一回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥田侑希、片桐千帆、未延知義、中山健一
2. 発表標題 トリフェニルアミンとベンゾチアジアゾール部位を含む新規分子内ドナー・アクセプター分子の合成と単一成分薄膜太陽電池への応用
3. 学会等名 JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北川康太、未延知義、中山健一
2. 発表標題 Mn(II)錯体の結晶構造変化に基づくルミノクロミズム
3. 学会等名 第30回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北川康太、未延知義、中山健一、加藤隆二、花田啓明、中川達央
2. 発表標題 Vapochromism of a crystalline manganese(II) complex exhibiting green or orange emission and the time-resolved measurements
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 奥田侑希、未延知義、中山健一
2. 発表標題 トリフェニルアミンとベンゾチアジアゾール部位を含む新規ドナー・アクセプター連結分子の合成と薄膜における光キャリア発生挙動
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木友菜、未延知義、中山健一
2. 発表標題 MgF ₂ を絶縁層として用いたMIS構造によるCELIV測定
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安達祥、鈴木友菜、未延知義、中山健一
2. 発表標題 MIS-CELIV法によるホール輸送材料樹脂分散膜のキャリア移動度評価
3. 学会等名 日本化学会 第99春季年会 (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒堀郁也、末延知義、中山健一、中川達央、加藤隆二
2. 発表標題 高速な外部刺激応答を示す多核銅錯体のルミノクロミズム
3. 学会等名 日本化学会 第99春季年会 (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北川康太・末延知義・中山健一・笠井秀隆・西堀英治・一柳光平・佐藤文菜・中川達央・加藤隆二
2. 発表標題 マンガン2価錯体の結晶多形とルミノクロミズム
3. 学会等名 日本化学会 第99春季年会 (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 有泉恒亮、奥田侑希、末延知義、中山健一
2. 発表標題 長波長吸収を持つ熱活性化遅延蛍光分子を用いた単一成分薄膜太陽電池
3. 学会等名 日本化学会 第99春季年会 (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井海德、山田啓太郎、末延知義、中山健一
2. 発表標題 グラフェン塗布膜を用いた有機半導体分子の配向制御とその有機薄膜太陽電池への応用
3. 学会等名 日本化学会 第99春季年会 (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森下諒子、末延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 p/n積層構造を持つ縦型有機トランジスタの動作機構解明
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥田 侑希, 末延 知義, 鈴木充朗, 中山 健一
2. 発表標題 トリフェニルアミンとベンゾチアジアゾール部位を含むドナー・アクセプター連結分子の単一成分薄膜太陽電池への応用
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田啓太郎、小金澤智、之末延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 塗布グラフェン膜を用いた有機半導体膜の分子配向制御と縦方向移動度測定
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Okamoto, C. Yumusak, E.D. Glowacki, N.S. Sariciftci, T. Suenobu, K. Nakayama
2. 発表標題 Vertical organic transistors using a hydrogen-bonded pigment
3. 学会等名 10th International Symposium on Organic Molecular Electronics (ISOME 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Yamada, C. Katagiri, K. Kitagawa, T. Suenobu, K. Nakayama
2 . 発表標題 Solution processable graphene template layer for the molecular orientation control of organic semiconductors
3 . 学会等名 10th International Symposium on Organic Molecular Electronics (ISOME 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Sejima, T. Suenobu, K. Nakayama
2 . 発表標題 Evaluation of exciton binding energy in organic thin films integrated into a planar device
3 . 学会等名 10th International Symposium on Organic Molecular Electronics (ISOME 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Nakayama
2 . 発表標題 Vertical carrier transport in organic thin film devices
3 . 学会等名 10th International Symposium on Organic Molecular Electronics (ISOME 2018) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Suzuki, C. Katagiri, T. Suenobu, and K. Nakayama
2 . 発表標題 Relationship between OPV Performance and Balanced Carrier Mobilities Determined by MIS-CELIV
3 . 学会等名 Japan Taiwan Bilateral Workshop 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Morishita, K. Nakayama, T. Suenobu
2. 発表標題 Studies on n-Type Organic Semiconductor Materials in n/p Stacked-type Metal Base Organic Transistors
3. 学会等名 Japan Taiawn Bilateral Workshop 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Ariizumi, T. Suenobu, and K. Nakayama
2. 発表標題 Photodynamics of Charge Separation in the Thin Film of Thermally Activated Delayed Fluorescence (TADF) Molecule
3. 学会等名 Japan Taiawn Bilateral Workshop 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kawaguchi, T. Suenobu, and K. Nakayama
2. 発表標題 Analysis of Carrier Dynamics of Organic Solar Cells Using a Non-fullerene Acceptor
3. 学会等名 Japan Taiawn Bilateral Workshop 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Nakayama
2. 発表標題 Analysis of Carrier Dynamics of Organic Solar Cells Using a Non-fullerene Acceptor
3. 学会等名 Japan Taiawn Bilateral Workshop 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Kitagawa, T. Suenobu, K. Nakayama
2 . 発表標題 Selective control of crystal polymorphism of an Mn(II) complex leading to clear difference in emission chromaticity
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. Yamada, W. Shinoda, and K. Nakayama
2 . 発表標題 Interface-Induced Face-on Orientation of Organic Semiconductors with a Template Layer and its Application to Vertical-Type Organic Transistors
3 . 学会等名 First International Conference on 4D Materials and Systems (4DMS) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Okuda, T. Suenobu, and K. Nakayama
2 . 発表標題 Synthesis of Novel Intramolecular Charge-Transfer Molecules Bearing Triphenylamine and Benzothiadiazole Moieties, and Application to Single-Absorber Organic Solar Cells
3 . 学会等名 First International Conference on 4D Materials and Systems (4DMS) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Nakayama
2 . 発表標題 Photocarrier Generation in Single-Absorber Organic Solar Cells
3 . 学会等名 First International Conference on 4D Materials and Systems (4DMS) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Nakayama
2 . 発表標題 Electric and photovoltaic properties of supramolecular organic semiconductors based on hydrogen bonding
3 . 学会等名 China-Japan Joint Symposium on Functional Supramolecular Architectures (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 M. Okamoto, Y. Hayashi, C. Yumusak, E. D. Glowacki, N. S. Sariciftci, T. Suenobu, K. Nakayama
2 . 発表標題 Air stability of vertical organic transistors using quinacridone for the emitter layer
3 . 学会等名 9th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 K. Yamada, C. katagiri, T. Suenobu, K. Nakayama
2 . 発表標題 Improvement of vertical carrier mobility of organic semiconductor films by molecular orientation control
3 . 学会等名 9th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 K. Tanaka, T. Okura, C. Katagiri, T. Yoshida, K. Nakayama
2 . 発表標題 IMPS/IMVS MEASUREMENT IN THIN-FILM ORGANIC SOLAR CELLS
3 . 学会等名 PVSEC-27 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Yamato, K. Kawajiri, T. Kawanoue, Y. Yamaguchi, M. Suzuki, H. Yamada, K. Nakayama
2. 発表標題 ORGANIC SOLLER CELLS USING N-TYPE ORGANIC SEMICONDUCTORS WITH A PHOTOCONVERTIBLE UNIT
3. 学会等名 PVSEC-27 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 C. Katagiri, T. Yoshida ¹ , M. Schuette White, C. Yumsak, N. Serdar Sariciftci, K. Nakayama
2. 発表標題 Hole mobility measurement of p-type organic semiconductors by MIS-CELIV technique
3. 学会等名 2017 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 瀨島 彬智、奥田 侑希、末延 知義、中山 健一
2. 発表標題 平面型素子を用いた有機薄膜中の励起子束縛エネルギーの評価
3. 学会等名 応用物理学会関西支部第1回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 北川康太、末延知義、中山健一
2. 発表標題 マンガン 2 価錯体の発光と固体状態におけるベイポクロミズム
3. 学会等名 第29回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 北川康太、未延知義、中山健一、花田啓明、鈴木利明、岡本基土、中川達央、加藤隆二
2. 発表標題 発光性遷移金属錯体の固体状態における環境応答と過渡吸収分光
3. 学会等名 錯体化学会第67回討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥田侑希、大倉達也、儘田正史、未延知義、吉田 司、White M.、Sariciftci N. S、中山健一
2. 発表標題 チオフェン環またはチエノチオフェン環で連結した分子内D-A分子の合成と単一成分薄膜太陽電池への応用
3. 学会等名 第7回CSJ化学フェスタ2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 片桐千帆、中山健一
2. 発表標題 MIS-CELIV法による有機半導体薄膜の正孔移動度評価
3. 学会等名 有機エレクトロニクス研究会 (OME)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 片桐千帆、鈴木友菜、未延知義、中山健一
2. 発表標題 MIS-CELIV法による正孔輸送材料NPB薄膜中の移動度評価
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田啓太郎、片桐千帆、北川康太、末延知義、中山健一
2. 発表標題 有機半導体分子の配向制御を目的とした塗布成膜可能なグラフェン template layer の作製
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中和博、川口貴大、末延知義、中山健一
2. 発表標題 Time-Delayed Collection Field法を用いた有機薄膜太陽電池におけるキャリアダイナミクス解析
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 瀬島彬智、末延知義、中山健一
2. 発表標題 平面型素子を用いた有機薄膜中の励起子束縛エネルギーの評価
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本道誉、Cigdem Yumusak, Eric D. Glowacki, Niyazi. S. Sariciftci, 末延知義、中山健一
2. 発表標題 水素結合性顔料を用いた縦型有機トランジスタの開発
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木友菜、片桐千帆、未延知義、中山健一
2. 発表標題 MIS-CELLIV法で求めたキャリア移動度と有機太陽電池性能の関係
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北川康太、未延知義、中山健一、花田啓明、中川達央、加藤隆二
2. 発表標題 マンガン 2 価錯体の結晶ベイポクロミック発光と時間分解分光分析
3. 学会等名 日本化学会 第98春季年会(2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥田侑希、片桐千帆、未延知義、中山健一
2. 発表標題 トリフェニルアミンとベンゾチアジアゾール部位を含む新規ドナー・アクセプター連結分子の合成および誘導体化と単一成分有機太陽電池への応用
3. 学会等名 日本化学会 第98春季年会(2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken-ichi Nakayama
2. 発表標題 Vertical Carrier Transport in Organic Electronic Devices
3. 学会等名 Workshop n Function Materials and Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken-ichi Nakayama
2. 発表標題 Vertical Carrier Transport in the Organic Thin Films: Materials Design and Device Application
3. 学会等名 CSIR-NIIST, Thiruvananthapuram, India (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 諸戸良紀、末延知義、鈴木充朗、中山健一、一柳光平、佐藤文菜、野澤俊介
2. 発表標題 光照射による金(I)錯体結晶の発光増強
3. 学会等名 第31回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井海徳、山田啓太郎、末延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 塗布グラフェン膜を用いた有機半導体の分子配向制御の有機薄膜太陽電池への応用
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 有泉恒亮、末延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 可視域に吸収を持つ熱活性化遅延蛍光分子の単一成膜太陽電池への応用
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺岡優理香、櫻井海徳、鈴木友菜、末延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 ジケトピロロピロール誘導体における分子間水素結合に基づく face-on 配向薄膜の作製と電気物性
3. 学会等名 日本化学会 第100回春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森下諒子、末延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 pn積層構造を持つ縦型有機トランジスタの再結合メカニズム解明
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 有泉恒亮、村上敬祐、末延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 熱活性化遅延蛍光分子における光電荷分離過程と単一成分太陽電池への応用
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 鈴木友菜、安達祥、末延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 MIS-CELIV 法による n 型半導体の電子移動度評価
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 安達祥、鈴木友菜、末延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 注入障壁の高いホール輸送材料におけるMIS-CELIV法を用いたキャリア移動度評価
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 増田大我、山田啓太郎、末延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 還元型酸化グラフェンをソース電極に用いた縦型有機電界効果トランジスタ
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 村上敬祐、末延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 光電荷分離を指向したV字型D-A-D分子の合成と物性
3. 学会等名 第9回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺岡優理香、櫻井海徳、鈴木友菜、末延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 ジケトピロロピロール誘導体における分子間水素結合に基づくface-on配向薄膜の作製と光・電気物性
3. 学会等名 第9回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上敬祐、未延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 単一成分有機薄膜太陽電池への応用を指向したV字型D-A-D分子の合成と物性
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 櫻井海徳、山田啓太郎、小金澤智之、未延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 還元型酸化グラフェン膜を用いた $-6T$ の分子配向制御とその励起子拡散長への影響
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋期学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺岡優理香、鈴木友菜、櫻井海徳、小金澤智之、未延知義、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 ジケトピロロピロール誘導体における分子間水素結合に基づく face-on 配向薄膜の作製と電気物性
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋期学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安達祥、鈴木充朗、中山健一
2. 発表標題 MIS-CELIV 法における注入障壁が移動度評価に及ぼす影響と高電圧パルスによる改善
3. 学会等名 第68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 鈴木貴太, 鈴木充朗, 中山健一
2. 発表標題 ジケトピロロピロール多量体を母骨格とする非フラレン系アクセプターの開発
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Nakayama
2. 発表標題 Photocarrier Generation in Single-Absorber Organic Solar Cells
3. 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics & BioElectronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Nakayama
2. 発表標題 Photocarrier Generation in Single-Component Organic Photovoltaic Devices
3. 学会等名 9th East Asia Symposium on Functional Dyes and Advanced Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中山健一
2. 発表標題 塗布プロセスによる還元型酸化グラフェンを用いた有機分子の配向制御とデバイス応用
3. 学会等名 第69回高分子討論会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Keitaro Yamada, Tomoyuki Koganezawa, Tomoyoshi Suenobu, Mitsuharu Suzuki, Ken-ichi Nakayama
2 . 発表標題 Molecular Orientation Control of Organic Semiconductors with a Solution-processed Graphene Template Layer
3 . 学会等名 "14th International Symposium on Functional -Electron Systems " (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yuna Suzuki, Sho Adachi, Tomoyoshi Suenobu, Mitsuharu Suzuki, Ken-ichi Nakayama
2 . 発表標題 Effect of the MIS Structure with MgF2 on CELIV Measurements
3 . 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics & BioElectroniccs (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Keitaro Yamada, Tomoyuki Koganezawa, Tomoyoshi Suenobu, Mitsuharu Suzuki, Ken-ichi Nakayama
2 . 発表標題 Face-on Orientation Control and Enhanced Vertical Carrier Mobility of Organic Semiconductors with a Reduced Graphene Oxide Template Layer
3 . 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics & BioElectroniccs (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kodai Takahashi, Tomoyoshi Suenobu, Mitsuharu Suzuki, Ken-ichi Nakayama
2 . 発表標題 Application to Phototransistor using Metal Base Organic Transistors
3 . 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics & BioElectroniccs (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Murakami, Tomoyoshi Suenobu, Mitsuharu Suzuki, Ken-ichi Nakayama
2. 発表標題 A Donor-Acceptor Conjugate Bearing an Adamantyl Group for Single-Component Organic Solar Cells
3. 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics & BioElectroniccs (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ikuya Arahori, Tomoyoshi Suenobu, Mitsuharu Suzuki, Ken-ichi Nakayama, Norimitsu Tohnai, Hidetaka Kasai, Eiji Nishibori, Kohei Ichiyangi, Ayana Sato-Tomita, Shunsuke Nozawa
2. 発表標題 Change in luminescence property and crystal structure of trinuclear copper(I) complexes in fast response to organic vapors
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Soft Crystals (Pre-symposium of ISPPCC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yue Qi, Takahiro Kawaguchi1, Yuna Suzuki, Tomoyoshi Suenobu, Kensuke Kojima, Jun Azuma, Mitsuharu Suzuki, Ken-ichi Nakayama
2. 発表標題 Ternary organic solar cells based on two similar PDI-based acceptors with an enhanced power conversion efficiency
3. 学会等名 IPEROP20 (nanoGe) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 有機エレクトロルミネッセンス素子	発明者 直田、川守田、中山 健一、有泉恒亮	権利者 大阪大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-059192	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------