

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：12608

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B））

研究期間：2018～2020

課題番号：18KK0157

研究課題名（和文）狭バンドギャップ半導体高分子の開発と有機薄膜デバイスへの応用

研究課題名（英文）Organic thin film devices based on narrow bandgap semiconducting polymers

研究代表者

道信 剛志（Michinobu, Tsuyoshi）

東京工業大学・物質理工学院・准教授

研究者番号：80421410

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：電子のみを選択的に輸送する新しい有機半導体高分子を開発した。環境負荷が低い合成法を用いることで、反応性に劣るモノマーを効率よく重合することができた。高分子の主鎖構造および側鎖構造を最適化することで薄膜状態における電子移動度を向上させることができた。また、ブレードコート法を用いると大面積の均一薄膜を低コストで作製できることが分かった。さらに、得られた有機半導体高分子を有機トランジスタや全有機高分子型太陽電池に応用し、世界最高レベルの電子移動度や優れた光電変換能を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機材料は資源的な制約がなく、低コストで大量に生産することができる。また、化学構造と物性の間に明確な相関があるため、化学構造を最適化することで目的の材料物性を得ることができる。有機半導体高分子は既存の無機半導体に代わる新しい材料として期待されており、将来的には折り曲げたり引っ張ったりすることができる次世代電子デバイスに応用されると考えられている。本研究では有機半導体高分子の分野で性能が劣っていたアクセプターの開発に成功し、全有機高分子型太陽電池の電子移動度や光電変換効率を向上させることができた。

研究成果の概要（英文）：We have developed new organic semiconductor polymers that can selectively transport electrons. By using an environmentally friendly synthetic method, electron-deficient monomers could be efficiently polymerized. The main chain and side chain structures of the polymers were optimized, resulting in high electron mobilities in the thin film states. It was also found that large-area uniform thin films can be produced at low cost by using the blade-coating method. In addition, the obtained organic semiconductor polymers were applied to organic transistors and all-polymer solar cells, and high electron mobilities and excellent photo-conversion efficiencies were achieved.

研究分野：材料化学

キーワード：有機半導体 半導体高分子 トランジスタ 太陽電池 有機エレクトロニクス

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

有機半導体高分子の研究は2000年に Heeger、MacDiarmid、白川がノーベル化学賞「導電性高分子の発見と応用」を受賞して以来、爆発的に増加したが、それらを用いた電子デバイスは未だ実用化されていない。主な要因は無機半導体であるシリコンに勝る移動度と化学的安定性が達成できていないためである。有望な化学構造は数多く報告されているが、その大部分はインジゴやジケトピロロピロール (DPP) 等の既存の有機顔料構造に基づいている。これは、逆の見方をすると、未開拓の有機顔料構造を探索すると全く新しい半導体機能が見出される可能性があるということを示唆している。

また、新規半導体高分子の開発は化学の側面から探索が必要であるが、有機デバイスの高性能化はデバイス工学における物理的側面の比重が大きい。例えば、高い移動度を有する半導体高分子の薄膜があったとしても、高分子の配向方向によって最適な応用先は異なる。トランジスタは薄膜の *in-plane* 方向に高い移動度が必要であるのに対し、太陽電池は薄膜の *out-of-plane* 方向に高い移動度が必要となるためである。現時点で、高分子の化学構造から薄膜中での配向を予想する手段は限られており、薄膜 X 線回折を測定するまで実際の高分子の配向は分からないことが多い。したがって、これらの課題を広範な視点から取り組むためには学際的な共同研究が必要であると考えた。東京工業大学が事務局を務めるアジア主要工学系大学 ASPIRE リーグの共同研究ネットワークは、この課題に取り組むにあたって最適なコンソーシアムである。アジア内の工学系大学という世界的に見るとコンパクトな組織内で密に連絡を取り合い、互いの得意分野を相乗的に摺り合わせることで、有機半導体高分子およびそれらを用いた薄膜電子デバイスの研究において大きな成果を挙げることができる。

2. 研究の目的

有機半導体高分子を用いた電子デバイスは、有機 EL、有機太陽電池、薄膜トランジスタ、有機メモリなど多岐にわたる。しかし、シリコンに代表される既存の無機材料デバイスと比較して、実用に耐える *n* 型有機半導体が確立されていないことが大きな問題である。また、有機デバイスは湿式で軽量かつフレキシブルなデバイスを作製でき、低コストで大面積化が可能という利点があり、シリコンを用いた現行の無機デバイスを代替すると期待されている。目下の目標はアモルファスシリコンの移動度 ($0.5\sim 1\text{ cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$) を安定的に超える *p* 型または *n* 型の半導体高分子を開発することである。

近年、数多くの溶媒可溶な狭バンドギャップ (ドナーアクセプター型) 高分子が報告され、その移動度と化学構造の相関が議論されている。例えば、電子親和性が高いアクセプター構造として有機顔料の一種であるインジゴ誘導体や DPP が有望視されている。しかし、他の有機染料・顔料の化学構造に対して半導体特性を調査した研究例は限られており、未開拓の化学構造が数多く残されている。我々はベンゾビスチアジアゾール (BBT) の半導体物性が未開拓であり、特に非常に強いアクセプター性を有するために着目してきた。実際、我々のグループでは2014年より BBT 高分子の研究を開始しており、これまでに π スペーサーの選択によって平面性が高い主鎖構造を実現してきた。また、BBT の硫黄原子をヘテロ原子に置換することによって極性を制御できることを明らかにした。さらに、側鎖アルキル基の構造によって主鎖間のパッキングが異なり、結晶性を向上させることができることを見出した。その結果、BBT 関連高分子のトランジスタでは世界最高のホール移動度 (μ_h) $3.2\text{ cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$ と世界最高の電子移動度 (μ_e) $5.3\text{ cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$ を達成していた (研究開始以前の段階)。

本研究の目的は、合成顔料骨格であるベンゾビスチアジアゾール (BBT) という強力アクセプターを用いて、高い結晶性を有する有機半導体高分子を開発することである。また、アジア工学系大学間の国際共同研究を通じて、BBT 高分子の優れた半導体特性を薄膜デバイスの機能として実証することである。

3. 研究の方法

まず、道信の研究グループにおいて BBT モノマーの合成および共モノマーとの重合によって一連の BBT 高分子を得た。無置換の BBT は有機溶媒への溶解性が乏しいため化学反応に用いることが難しい。そのため、窒素置換した BBT 誘導体 (チアゾロベンゾトリアゾール) を選択し、窒素に可溶性のアルキル基を導入することとした。共モノマーとの重合では、Pd 触媒を用いたクロスカップリング反応を使用した。多くの場合、Stille カップリングを用いたが、スズ誘導体モノマーを合成できない場合、または合成ステップ数を減らし環境負荷が低い方法を探る場合、直接アリール化重縮合を用いた。得られた高分子の構造同定は分光学的手法で実施し、分子量を GPC より算出した。高分子薄膜の吸収スペクトルおよび電気化学測定を実施し、バンドギャップや HOMO 準位、LUMO 準位を算出した。スピノコート法でボトムゲートトップコンタクト型のトランジスタを作製し、正孔および電子の移動度を見積もった。

次に、最適化されたトランジスタ特性を示す高分子薄膜の結晶性を評価するため、研究分担者である松本が SPring8 で微小角入射広角 X 線散乱 (GIWAXS) 測定を実施した。これによって高分子の配向と結晶性を定量的に評価することができた。

また、もう一人の研究分担者である角屋は、KAIST の Park 研究室を訪問し、ブレードコートによる結晶性薄膜の作製方法を習得してきた。これによって薄膜電子デバイスの性能向上を実現することができた。

さらに、得られた有機半導体高分子の幅広い応用可能性を探索するため、東京工業大学が事務局を務めるアジア主要工学系大学 ASPIRE リーグを利用して、国際共同研究を実施した。具体的には Zhang (シンガポール・南洋理工大学、(現在)中国・香港城市大学) は有機無機ペロブスカイト型太陽電池におけるキャリア輸送層への応用や光触媒能の調査を実施した。Kim (韓国・KAIST) は n 型の半導体高分子を用いて全有機高分子型太陽電池の評価を実施した。Park (韓国・KAIST) は半導体高分子の結晶膜の作製法を開発した。Dong (中国・清華大学) は半導体高分子を用いた光検出器を作製し、性能を評価した。

以上を総合して、有機半導体高分子を用いた薄膜電子デバイスの可能性を整理し、現行のシリコンテクノロジーを凌駕し、省エネ社会に貢献する成果を創出することを目指した。

4. 研究成果

まず、窒素置換した BBT 誘導体であるチアゾロベンゾトリアゾールのジブromo体を種々のチオフェン環由来共モノマーと Stille カップリングにより重合することで目的高分子を得た (図 1)。主鎖骨格の平面性を向上させるためにアルキル側鎖の数と置換位置を調査したところ、P1 → P2 → P3 の順に二面角 θ が減少した。また、それにとともに、GIWAXS で評価した薄膜の結晶性が向上し、トランジスタのキャリア移動度が上昇した。すなわち、アルキル側鎖は溶解性を制御するだけでなく、主鎖骨格の有効共役長と薄膜の結晶性にも影響を与えることが分かった。

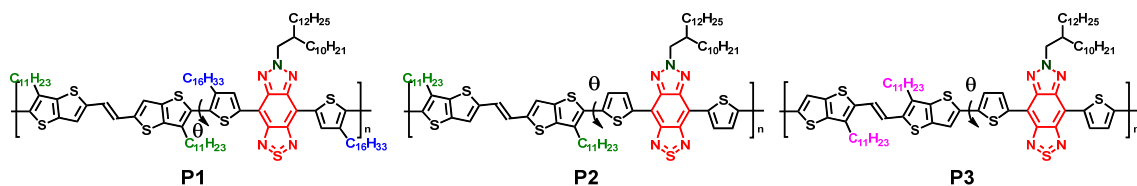


図 1 チアジアゾロベンゾトリアゾール誘導体から成る有機半導体高分子の構造

次に、BBT は非常に強いアクセプター性を有するため n 型半導体の基本骨格になり得ると考え、n 型特性を示す BBT 高分子の開発を目指した。一連の研究の過程で BBT 単独では正孔と電子両方を流す両極性半導体になることが分かっていたため、正孔注入を妨げ、生成した正孔を完全に補足する共モノマー構造としてナフタレンジイミド (NDI) を用いた。BBT と NDI の共重合体は π スペースを選択して平面性が高い主鎖骨格を確立すると、トランジスタにおいて高い電子移動度を示すことを見出した。ただし、太陽電池のアクセプターとして用いると、ドナーのエネルギー準位と整合せず、高い光電変換効率を得ることができなかった。そこで、BBT の代わりに深い HOMO 準位を持つチエノピロールジオン (TPD) というアクセプター構造を用いることとした。TPD と NDI の共重合体 PNT-R を合成した (図 2)。側鎖アルキル基の構造を変えた誘導体を比較したところ、アルキル鎖長が短いほど電子移動度が高くなることが分かった。PBDTTTPD ドナー、PNT-R をアクセプターとした全有機高分子型太陽電池を作製し、光電変換効率を評価した。PNT-R の電子移動度が高いほど短絡電流密度 (J_{sc}) が高くなり、結果として光電変換効率 (PCE) が向上した。PNT-HD をアクセプターして用いた場合、PCE は 6.6% に達した。

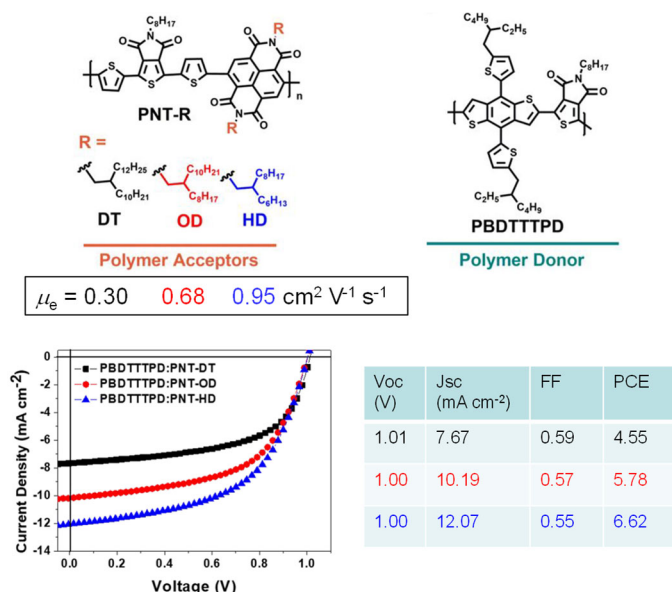


図 2 n 型半導体高分子の開発と全有機高分子型太陽電池の性能

PNT-R の π スペーサーを変えてアクセプター性を向上させるため、チオフェンをチアゾール、オキサゾール、ピリミジンと変えた高分子を合成した。NDI あるいは TPD に π スペーサーを置換した後、Stille カップリング用の官能基を導入しようとしたが収率が極めて低く、大量にモノマーを準備することが難しかった。そのため、 π スペーサーの 2 位 C-H 結合を直接反応に使う直接アリアル化重縮合を試したところ、対応する目的高分子を得ることができた。計算化学より π スペーサーの酸性度を見積もったところ、得られた高分子の分子量と正の相関がみられた。電気化学測定およびトランジスタ測定より得られた高分子は n 型のみで作動するアクセプターであることが明らかになった。全有機高分子型太陽電池のアクセプターとしても機能し、光電変換が観測された。

電子輸送型半導体の基本骨格を探索するため、縮環オリゴフェニレンビニレン (BDOPV) をモノマーした高分子も開発した。BDOPV とベンゾチアジアゾール誘導体の共重合体はトランジスタにおいて電子のみを輸送する特性を示した。これら高分子をブレードコート法を用いて薄膜化すると、結晶性が向上した。

得られた高分子を用いて有機無機ペロブスカイト型太陽電池や光触媒、光検出器の評価も実施した。有機無機ペロブスカイト型太陽電池の電子輸送層に高移動度の半導体高分子を用いた例は少なく、優れた初期性能が観測された。

以上より、新しい電子アクセプター性半導体高分子の開発とその薄膜デバイス応用において大きな成果が得られた。これらの成果は国内チームだけでは達成できておらず、国際共同研究によって短期間で完了することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Y. Wang, S. W. Kim, J. Lee, H. Matsumoto, B. J. Kim, T. Michinobu	4. 巻 11
2. 論文標題 Dual Imide-Functionalized Unit-Based Regioregular D-A1-D-A2 Polymers for Efficient Unipolar n-Channel Organic Transistors and All-Polymer Solar Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 22583-22594
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.9b05537	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 Y. Wang, T. Hasegawa, H. Matsumoto, T. Michinobu	4. 巻 58
2. 論文標題 Significant Difference in Semiconducting Properties of Isomeric All-Acceptor Polymers Synthesized via Direct Arylation Polycondensation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 11893-11902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201904966	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. Otep, Y. Wang, A. Kohara, H. Matsumoto, T. Mori, T. Michinobu	4. 巻 1
2. 論文標題 Tuning Backbone Planarity in Thiadiazolobenzotriazole-Bis(thienothiophenyl)ethylene Copolymers for Organic Field-Effect Transistors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Appl. Polym. Mater.	6. 最初と最後の頁 2302-2312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsapm.9b00329	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. W. Kim, Y. Wang, H. You, W. Lee, T. Michinobu, B. J. Kim	4. 巻 11
2. 論文標題 Impact of Incorporating Nitrogen Atoms in Naphthalenediimide-Based Polymer Acceptors on the Charge Generation, Device Performance, and Stability of All-Polymer Solar Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 35896-35903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.9b12037	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. Morita, T. Michinobu	4. 巻 257
2. 論文標題 Energy Level Tuning of Aromatic Polyamines by [2+2] Cycloaddition-Retroelectrocyclization for the Optimization of Device Performances	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Synth. Met.	6. 最初と最後の頁 116179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.synthmet.2019.116179	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 J. Dong, Y. Wang, T. Mori, T. Michinobu	4. 巻 59
2. 論文標題 Improving the Air-Stability of n-Type Organic Thin-Film Transistors by Polyacrylonitrile Additive	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 SDDC05
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab5c4b	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 Q. Liu, Y. Wang, A. Kohara, H. Matsumoto, S. Manzhos, K. Feron, S. E. Bottle, J. Bell, T. Michinobu, P. Sonar	4. 巻 30
2. 論文標題 Tuning the Charge Carrier Polarity of Organic Transistors by Varying the Electron Affinity of the Flanked Units in Diketopyrrolopyrrole-Based Copolymers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Adv. Funct. Mater.	6. 最初と最後の頁 1907452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201907452	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 Y.-A. Su, N. Maebayashi, H. Fujita, Y.-C. Lin, C.-I. Chen, W.-C. Chen, T. Michinobu, C.-C. Chueh, T. Higashihara	4. 巻 12
2. 論文標題 Development of Block Copolymers with Poly(3-hexylthiophene) Segments as Compatibilizers in Non-Fullerene Organic Solar Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 12083-12092
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaami.9b22531	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 Q. Liu, Y. Wang, Y. Ren, A. Kohara, H. Matsumoto, Y. Chen, S. Manzhos, K. Feron, S. E. Bottle, J. Bell, Y. Zhou, T. Michinobu, P. Sonar	4. 巻 2
2. 論文標題 Diketopyrrolopyrrole-Based Dual-Acceptor Copolymers to Realize Tunable Charge Carrier Polarity of Organic Transistors and High-Performance Non-Volatile Ambipolar Flash Memories	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Appl. Electron. Mater.	6. 最初と最後の頁 1609-1618
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00169	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 S. Wang, S. Otep, J. Kimpel, T. Mori, T. Michinobu	4. 巻 9
2. 論文標題 N-Type Charge Carrier Transport Properties of BDOPV-Benzothiadiazole-Based Semiconducting Polymers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electronics	6. 最初と最後の頁 1604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/electronics9101604	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 J. Kimpel, Y. Yoshitake, T. Michinobu	4. 巻 93
2. 論文標題 Poly(3,9-carbazole)s: A Chemically Stable Extended Form of Polyaniline for Nitro-Aromatic Sensor Applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 1361-1365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20200177	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.-H. Tu, Y. Wang, Y. Kiyota, T. Iwahashi, Y. Ouchi, T. Mori, T. Michinobu	4. 巻 87
2. 論文標題 A Cyano-Rich Small Molecule Dopant for Organic Thermoelectrics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Org. Electron.	6. 最初と最後の頁 105978
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2020.105978	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 S. Otep, Y.-C. Lin, H. Matsumoto, T. Mori, K.-H. Wei, T. Michinobu	4. 巻 87
2. 論文標題 Diketopyrrolopyrrole-Thiophene-Methoxythiophene Based Random Copolymers for Organic Field Effect Transistor Applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Org. Electron.	6. 最初と最後の頁 105986
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2020.105986	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 S. Tane, T. Michinobu	4. 巻 69
2. 論文標題 Cu(I)-Catalyzed Azide-Alkyne Cycloaddition Synthesis and Fluorescent Ion Sensor Behavior of Carbazole-Triazole-Fluorene Conjugated Polymers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polym. Int.	6. 最初と最後の頁 432-436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pi.5976	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. Otep, K. Ogita, N. Yomogita, K. Motai, Y. Wang, Y.-C. Tseng, C.-C. Cheuh, Y. Hayamizu, H. Matsumoto, K. Ishikawa, T. Mori, T. Michinobu	4. 巻 54
2. 論文標題 Cross-linking of Poly(arylenebutadiynylene)s and Its Effect on Charge Carrier Mobilities in Thin Film Transistors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 4351-4362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.1c00008	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 T. Michinobu	4. 巻 32
2. 論文標題 Development of N-Type Semiconducting Polymers for Transistor Applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Photopolym. Sci. Technol.	6. 最初と最後の頁 563-570
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.32.563	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. Otep, T. Michinobu, Q. Zhang	4. 巻 4
2. 論文標題 Pure Organic Semiconductor-Based Photoelectrodes for Water Splitting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sol. RRL	6. 最初と最後の頁 1900395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/solr.201900395	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 J. Kimpel, T. Michinobu	4. 巻 69
2. 論文標題 Conjugated Polymers for Functional Applications: Lifetime and Performance of Polymeric Organic Semiconductors in OFETs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polym. Int.	6. 最初と最後の頁 367-373
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pi.6020	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10件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 道信 剛志
2. 発表標題 n型半導体高分子の開発とトランジスタ応用
3. 学会等名 ICPST-36 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Otepov, T. Michinobu
2. 発表標題 Photoelectrocatalytic Application of Thiadiazolobenzotriazole and Bis(thienothiophenyl)ethylene Based Donor-Acceptor Conjugated Polymers
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 J. H. Dong, Y. Wang, T. Michinobu
2. 発表標題 Improving the Air-Stability of n-Type Organic Thin-Film Transistors by Additive Polyacrylonitrile
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 T. Michinobu
2. 発表標題 Metal-Free Click Chemistry for the Synthesis of Functional Polymers
3. 学会等名 FAPS 2019 Polymer Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C.-H. Chen, C.-Y. Ke, Y. Wang, T. Michinobu, Y.-C. Chiu, G.-S. Liou
2. 発表標題 Novel Photo-Induced Recovery of OFET Memories Based on Coplanar Donor-Acceptor Polymer Electret for Photo-Recorder Application
3. 学会等名 FAPS 2019 Polymer Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Otep Sultan、道信 剛志
2. 発表標題 有機半導体高分子の主鎖平面性とトランジスタ特性の相関
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾山 泰輝、道信 剛志
2. 発表標題 [2+2]付加環化反応を用いた新規n型有機半導体の合成
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 蓬田 直正、Otep Sultan、道信 剛志
2. 発表標題 ポリスチレンを両端にもつポリアリーレンブタジニレンの合成
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 蓬田 直正、Otep Sultan、道信 剛志
2. 発表標題 両端にポリスチレンを導入したABA型トリブロック共重合体の合成
3. 学会等名 2020年繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Michinobu
2. 発表標題 The [2+2] Cycloaddition-Retroelectrocyclization (CA-RE) Click Reaction for the Synthesis of Polymeric Push-Pull Chromophores
3. 学会等名 Glowing Polymer Symposium in KANTO (GPS-K) (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Y. Zhou, S.-T. Han	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Royal Society of Chemistry	5. 総ページ数 446
3. 書名 Ambipolar Materials and Devices	

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京工業大学 道信研究室 http://www.op.titech.ac.jp/lab/michinobu/jp/index.html

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	松本 英俊 (Matsumoto Hidetoshi) (40345393)	東京工業大学・物質理工学院・教授 (12608)	
研究分担者	角屋 智史 (Kadoya Tomofumi) (70759018)	兵庫県立大学・物質理学研究科・助教 (24506)	

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
---------	---------

シンガポール	Nanyang Technological University			
韓国	KAIST			
中国	清華大学			