

令和 6 年 9 月 28 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02009

研究課題名（和文）シーケンス制御ブロック共重合体群の創成と伸縮性有機薄膜トランジスタへの応用

研究課題名（英文）Synthesis of sequential block copolymers and their application to stretchable organic thin-film transistors

研究代表者

東原 知哉 (Higashihara, Tomoya)

山形大学・大学院有機材料システム研究科・教授

研究者番号：50504528

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）：本研究では、ブロックシーケンスの精密設計を軸足とし、半導体高分子鎖を有する新規ブロック共重合体の創成を行った。具体的には、精密重合法と鎖末端官能基化ポリマーを用いたアジド・アルキン環化付加（CuAAC）反応を組み合わせることで、半導体高分子鎖を有するシーケンス制御トリブロック共重合体（A-b-B-b-C型、A-b-(B-co-C)型、A-b-B-b-A型）の合成に成功した。また、それらのナノ・サブナノレベルの自己組織化を利用することで、材料の機能最適化のためのブロックシーケンスの基準を明らかにし、高効率かつ伸縮応力に耐える新規伸縮性有機薄膜トランジスタ材料群を創出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的の一つである電子特性と伸縮性のトレードオフを払しょくするための分子設計指針としてシーケンス制御されたブロック共重合体の活用が有効であることを証明した。これらの成果を活用することで、電子デバイスのウェアラブル化やストレッチャブル化の技術が促進されると期待される。ひいては、衣服・皮膚に貼り付け、または体内に埋め込んで移動する生体センサによる健康モニタリング等の技術革新により健康寿命の延長に繋がり、我が国が直面する人口減少や医師不足の問題解決に資すると期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have developed novel block copolymers with semiconducting polymer segments based on the precise design of block sequences. Specifically, we succeeded in synthesizing sequence-controlled triblock copolymers (A-b-B-b-C type, A-b-(B-co-C) type, and A-b-B-b-A type) with semiconducting polymer segments by the combination of controlled polymerizations and azido-alkyne cycloaddition (CuAAC) reactions with chain-end functionalized polymers. By utilizing their nano- and sub-nano-level self-assembled structures in the thin films of studied polymers, we clarified the criteria of block sequences for improving material characteristics to create novel intrinsically-stretchable organic thin-film transistor materials.

研究分野：高分子合成

キーワード：有機エレクトロニクス

1. 研究開始当初の背景

我が国が直面する人口減少問題や医師不足の問題を解決し、持続可能な社会を形成するためには健康寿命の向上が重要課題である。最先端の医療工学や健康診断技術分野では、衣服・皮膚に貼り付け、または体内に埋め込んで稼動する生体センサによる健康モニタリング等、ウェアラブル端末のフレキシブル化・ストレッチャブル化が期待されている。

ウェアラブル端末の主要な構造部材として応用が期待される伸縮性を持つ有機半導体材料に着目すると、既存材料の組み合わせによる有機半導体とエラストマーとのブレンドの起用^[1]が検討されてきた。しかしながら、長期駆動下でのブレンド構成成分の凝集に基づく損傷・劣化の問題が残る^[2]。我々はこれまで、半導体高分子の精密合成法の開発^[3]や関連するブロック共重合体の系統的合成に成功してきた^[4,5]。近年、140%の伸長歪みに耐え、 $9.0 \times 10^{-4} \text{ (cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}\text{)}$ のホール移動度を示す ABA 型トリブロック共重合体が報告され^[6]、伸縮可能な半導体材料の幕開けとなった。一方、我々は新規 ABA 型ブロック共重合体 (A=ポリ(3-ヘキシルチオフェン)(P3HT)、B=ポリイソブテン(PIB)) を基とする伸縮性 π 共役高分子材料の創出に成功した^[7]。本ポリマー薄膜は、340%の高伸長性及び $3.0 \times 10^{-3} \text{ (cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}\text{)}$ の良好な半導体特性 (ホール移動度) を示すことが分かった。しかしながら、本分野においてこれまで、電子特性と伸縮性のトレードオフを解消するための明確な基準がなく、材料の本質的な機能を引き出し、高効率な伸縮性有機トランジスタ材料群を新規創出するための分子設計が困難であった。

2. 研究の目的

ブロックシーケンスの精密設計を軸足とし、半導体高分子鎖を有する新規ブロック共重合体の創成を行う。また、それらのナノ・サブナノレベルの自己組織化を利用することで、材料の機能最適化のためのブロックシーケンスの基準を明らかにし、高効率かつ伸縮応力に耐えうる新規有機薄膜トランジスタ材料群を創出する。

3. 研究の方法

(1) シーケンス制御トリブロック共重合体の合成法確立

これまでの半導体鎖を持つブロック共重合体の合成法は限定的で多段階反応を要するため、特に任意のシーケンス制御は困難であった。本研究では、鎖末端官能基化ポリマーを用いたアジド・アルキン環化付加 (CuAAC) 反応を利用することで、半導体高分子鎖を有するシーケンス制御トリブロック共重合体の合成を行った。得られたポリマーの一次構造をサイズ排除体積カラムクロマトグラフィー (SEC)、核磁気共鳴 (NMR)、及びマトリックス支援レーザー脱離イオン化飛行時間 (MALDI-TOF) 質量分析により評価した。

(2) 高伸縮化・高効率化を目指したシーケンス設計指針の確立

一連のシーケンスを持つ比較サンプルを合成し、ポリマーの一次構造、シーケンス、薄膜モルフォロジー、及びデバイス特性の相関関係を明らかにすることで、伸縮性有機薄膜トランジスタの高伸縮化・高効率化に資するシーケンスの設計指針を確立した。

- ① 得られたポリマーの熱重量分析 (TGA) 及び示差走査熱量 (DSC) 測定により熱特性を評価した。
- ② 溶液及び薄膜状態での紫外-可視 (UV-vis) 光吸収スペクトル測定を行い、半導体高分子鎖由来の π - π^* 遷移に相当する λ_{max} 値の変化、0-0/0-1 遷移 (薄膜) の強度比から分子間相互作用を評価した。
- ③ 薄膜の原子間力顕微鏡 (AFM) 観察により、材料表面のモルフォロジーを確認し、二乗平均粗さ (RMS) を算出・評価した。
- ④ AFM-弾性率 (AFM-MA) 測定により薄膜の弾性率を評価した。
- ⑤ 薄膜の微小角入射広角 X 線散乱 (GIWAXS) 測定により、ポリマーの結晶構造、結晶配向性、自己組織化構造のナノ・サブナノレベルの階層的モルフォロジーの解明を行った。

(3) 薄膜モルフォロジーの動的変化の評価及び有機エレクトロニクス材料群の創成

- ① 伸縮性を持つポリジメチルシロキサン (PDMS) 支持基板及びシリコン基板を用いた二段階転写法により、0-100% の伸長歪みを印加した薄膜を作製し、それら階層的モルフォロジーの変形挙動を AFM 観察により評価した。
- ② 伸長歪みを印加した半導体薄膜を用いた有機薄膜トランジスタ (メモリ) デバイスを作製し、メモリ特性または電荷移動度を求めた。

4. 研究成果

(1) 鎖末端官能基化ポリマーと CuAAC 反応を利用することで、図 1 に示す半導体高分子鎖を有するシーケンス制御トリブロック共重合体 (A-b-B-b-C 型, A-b-(B-co-C) 型, A-b-B-b-A 型) の合

成に成功した。分取用高速液体クロマトグラフィー (GPC カラム: YMC-GPC T-60000-40)を使用することで、高分子量かつ比較的分子量分布の狭い構造の明確なブロック共重合体の単離に成功した。

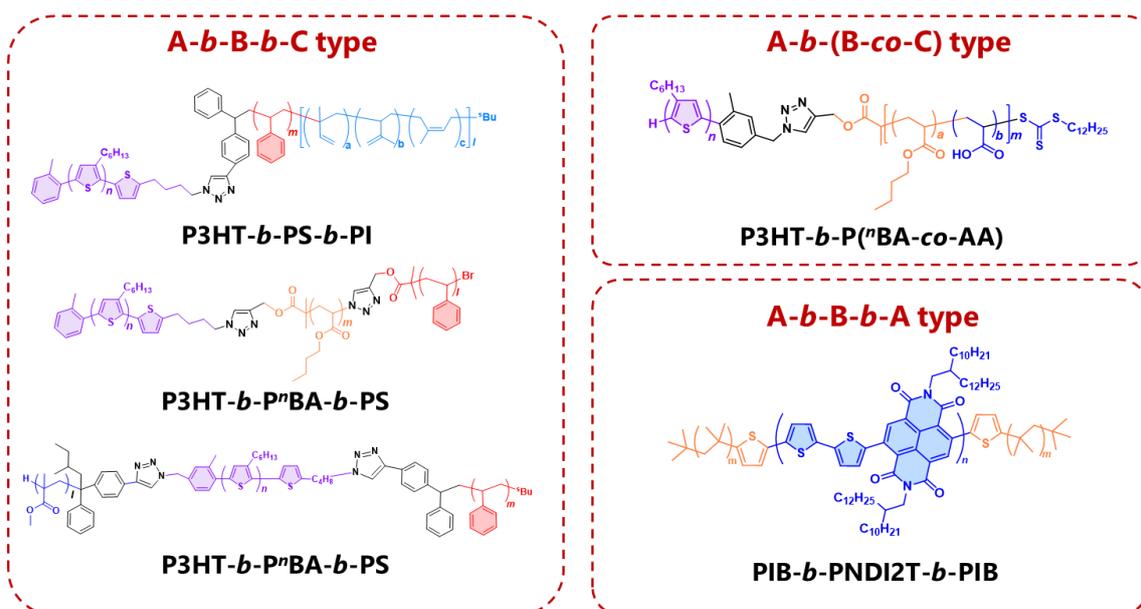


図 1. 本研究で開発したシーケンス制御トリブロック共重合体の化学構造。

(2) 得られたポリマーの TGA より、合成したブロック共重合体のほとんどが、400 °C 程度の 5% 重量減少温度 ($T_d^{5\%}$) を示し、デバイス作製時の熱処理温度に耐える十分な耐熱性を示した。DSC 測定では、ブロック共重合体に良く見られる構成ポリマー鎖のドメインに対応する熱相転移温度が観察された。各ポリマードメインのマイクロ相分離によるものと推察している。一方、示差走査熱量計 (ベーシックシステム・DSC7020) を用いたブロック共重合体の熱特性評価では、ポリマー成分の組み合わせによっては、構成ポリマー鎖のドメインに対応する熱相転移が観察されず、バルク状態で各ポリマー鎖が相溶化されていることが示唆される結果を得た。また、UV-vis 光吸収スペクトル測定では、半導体高分子鎖の導入により、バンドギャップが小さくなり、特に薄膜状態において、分子間での電荷移動遷移 (CT) に基づく光吸収ピークの赤色シフトが見られた。 π 共役構造による強い分子間相互作用に帰すると考察される。次に、得られたブロック共重合体薄膜の表面モルフォロジーを評価するため、AFM 測定を行ったところ、ナノフィブリル状の周期的な自己組織化構造が観察された (図 2)。また、半導体高分子薄膜単体よりも、ブロック共重合体薄膜の方が、RMS 値が小さく、例えば、ポリ(3-ヘキシルチオフェン) (P3HT) 薄膜は、RMS = 1.09 nm、P3HT-*b*-P(ⁿBA-co-AA) 薄膜は、RMS = 0.46 nm とそれぞれ求められ、後者がより平滑な薄膜を形成することが分かった。AFM-MA 測定により薄膜の弾性率を評価したところ、後者のブロック共重合体サンプルでは、0.31 GPa と求められ、1 GPa 程度を示す P3HT 単体膜よりも小さくなることが分かった。他方、ABA 型トリブロック共重合体 (A = ポリイソブテン、B = ナフタレンジイミド系 *n* 型半導体高分子) では、その薄膜表面の弾性率が、ポリマー組成によって大きく変わり、A セグメントの重量比が 15% では 1.12 GPa、48% では 0.62 GPa を示した。従って、低 T_g ポリマーの組成比調整により、薄膜表面の弾性率を制御できることが分かった。GIWAXS 測定より、ブロック共重合体薄膜の結晶性及び結晶配向性を評価したところ、 π 共役面が基板に対して垂直に配向するエッジオン構造を形成していることが分かった。また、非晶性セグメントの組成比の増大により、相対結晶化度が小さくなることも明らかとなった。

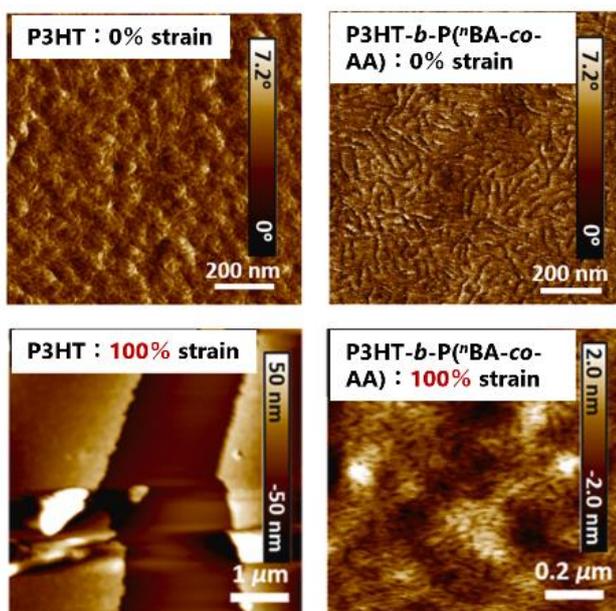


図 2. P3HT 薄膜及び P3HT-*b*-P(ⁿBA-co-AA) 薄膜の AFM 位相像(上: 0% 伸長時、下: 100% 伸長時)。

(3) PDMS 支持基板及びシリコン基板を用いた二段階転写法により、0-100%の伸長歪みを印加した薄膜の変形挙動を AFM 観察により評価した。図 2 に代表例を示す通り、ブロック共重合体薄膜では、100%の高伸長下でもその自己組織化構造をある程度保持しながら応力緩和し、半導体単膜で見られるようなナノクラックが発生しないことが明らかとなった。さらに、転写/延伸された P3HT-*b*-P(*n*BA-*co*-AA)薄膜をエレクトレットとして用いた有機トランジスタ・メモリーの結果から、安定したバイポーラ電荷トラッピングによる優れたメモリ保持特性を示すことが分った。他方、ABA 型トリブロック共重合体を半導体層として起用した *n* 型有機トランジスタデバイスの評価を行ったところ、A セグメントの重量比が 15%では 100%伸長時の電子移動度 (μ_e^{TFT})の保持率 (対未伸長時の μ_e^{TFT})が 14-18%と低い一方、A セグメントの重量比が 48%では保持率 46-57%を示した。非半導体ポリマー鎖の A の組成比が大きい後者がむしろ電子特性が高い結果は特筆すべきであり、本研究の目的の一つである電子特性と伸縮性のトレードオフを払しょくするための分子設計指針としてシーケンス制御されたブロック共重合体の活用が有効であることを証明した。

参考文献

1. Xu, J.; Wang, S.; Wang, G. J. N.; Zhu, C.; Luo, S.; Jin, L.; Gu, X.; Chen, S.; Feig, V. R.; To, J. W. F.; Rondeau-Gagné, S.; Park, J.; Schroeder, B. C.; Lu, C.; Oh, J. Y.; Wang, Y.; Kim, Y.-H.; Yan, H.; Sinclair, R.; Zhou, D.; Xue, G.; Murmann, B.; Linder, C.; Cai, W.; Tok, J. B.-H.; Chung, J. W.; Bao, Z. “Highly Stretchable Polymer Semiconductor Films through The Nanoconfinement effect”, *Science* **2017**, *355*, 59–64.
2. Chortos, A.; Lim, J.; To, J. W. F.; Vosgueritchian, M.; Dussault, T. J.; Kim, T.-H.; Hwang, S.; Bao, Z. “Highly Stretchable Transistors Using a Microcracked Organic Semiconductor”, *Adv. Mater.* **2014**, *26*, 4253–4259.
3. Higashihara, T.; Goto, E.; Ueda, M. “Purification-free and Protection-free Synthesis of Regioregular Poly(3-hexylthiophene) and Poly(3-(6-hydroxyhexyl)thiophene) Using a Zincate Complex of Bu_4ZnLi_2 ”, *ACS Macro Lett.* **2012**, *1*, 167–170.
4. Higashihara, T.; Ohshimizu, K.; Hirao, A.; Ueda, M. “Facile Synthesis of ABA Triblock Copolymer Containing Regioregular Poly(3-hexylthiophene) and Polystyrene Segments via Linking Reaction of Poly(styryl)lithium”, *Macromolecules* **2008**, *41*, 9505–9507.
5. Higashihara, T.; Ito, S.; Fukuta, S.; Miyane, S.; Ochiai, Y.; Ishizone, T.; Ueda, M.; Hirao, A. “Synthesis and Characterization of Multicomponent ABC- and ABCD-Type Miktoarm Star-Branched Polymers Containing a Poly(3-hexylthiophene) Segment”, *ACS Macro Lett.* **2016**, *5*, 631–635.
6. Peng, R.; Pang, B.; Hu, D.; Chen, M.; Zhang, G.; Wang, X.; Lu, H.; Cho, K.; Qiu, L. “An ABA triblock Copolymer Strategy for Intrinsically Stretchable Semiconductors.” *J. Mater. Chem. C* **2015**, *3*, 3599–3606.
7. Higashihara T.; Fukuta, S.; Ochiai, Y.; Sekine, T.; Chino, K.; Koganezawa, T.; Osaka, I. “Synthesis and Deformable Hierarchical Nanostructure of Intrinsically Stretchable ABA Triblock Copolymer Composed of Poly(3-hexylthiophene) and Polyisobutylene Segments”, *ACS Appl. Polym. Mater.* **2019**, *1*, 315–320.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 S. Inagaki, C.-Y. Sung, A.-C. Chang, Y.-C. Lin, W.-C. Chen, T. Higashihara	4. 巻 11
2. 論文標題 Synthesis of ABCBA-type Miktoarm H-shaped Copolymers with Poly(3-hexylthiophene) Segments and Its Application to Intrinsically Stretchable Photonic Transistor Memory	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Mater. Chem. C	6. 最初と最後の頁 6306 ~ 6316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3TC00690E	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. Yamamoto, M. Matsuda, C.-Y. Lin, K. Enomoto, Y.-C. Lin, W.-C. Chen, T. Higashihara	4. 巻 4
2. 論文標題 Intrinsically Stretchable Block Copolymer Comprised of Polyisobutene and Naphthalenediimide-Bithiophene-Based π -Conjugated Polymer Segments for Field-Effect Transistors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Appl. Polym. Mater.	6. 最初と最後の頁 8942-8951
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscapm.2c01336	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. Inagaki, T. Higashihara	4. 巻 13
2. 論文標題 Synthesis of an ABC triblock copolymer by a bilateral Click reaction using π -bifunctionalized poly(3-hexylthiophene) as an inner segment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polym. Chem.	6. 最初と最後の頁 3613-3618
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2PY00370H	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 Sato, Y. Hemmi, A. Kato, H. Matsui, K. Fuchise, T. Higashihara	4. 巻 252
2. 論文標題 Precise Synthesis of π -Chain-End-Functionalized Poly(dimethylsiloxane) with Bromoaryl Groups for Incorporation in Naphthalene-Diimide-Based N-type Semiconducting Polymers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 124934
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2022.124934	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 Inagaki Shin, Lin Yan-Cheng, Tanaka Hisakazu, Koganezawa Tomoyuki, Chen Wen-Chang, Higashihara Tomoya	4. 巻 281
2. 論文標題 Synthesis of a novel A-b-(B-co-C)-type terpolymer with a regioregular poly(3-hexylthiophene) segment and its application to intrinsically stretchable transistor memory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 125911 ~ 125911
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matchemphys.2022.125911	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 Yang Wei Chen, Lin Yan Cheng, Inagaki Shin, Shimizu Hiroya, Ercan Ender, Hsu Li Che, Chueh Chu Chen, Higashihara Tomoya, Chen Wen Chang	4. 巻 9
2. 論文標題 Low Energy Consumption and Electret Free Photosynaptic Transistor Utilizing Poly(3-hexylthiophene) Based Conjugated Block Copolymers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 2105190 ~ 2105190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.202105190	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 Lin Yan-Cheng, Matsuda Megumi, Sato Kei-ichiro, Chen Chun-Kai, Yang Wei-Chen, Chueh Chu-Chen, Higashihara Tomoya, Chen Wen-Chang	4. 巻 12
2. 論文標題 Intrinsically stretchable naphthalenediimide-bithiophene conjugated statistical terpolymers using branched conjugation break spacers for field-effect transistors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer Chemistry	6. 最初と最後の頁 6167 ~ 6178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1PY01154E	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 Sato Kei-ichiro, Ito Souki, Higashihara Tomoya, Fuchise Keita	4. 巻 166
2. 論文標題 Precise synthesis of , -chain-end functionalized poly(dimethylsiloxane) with azide groups based on metal-free ring-opening polymerization and a quantitative azidation reaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Reactive and Functional Polymers	6. 最初と最後の頁 105009 ~ 105009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.reactfunctpolym.2021.105009	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 Lin Yan-Cheng、Matsuda Megumi、Chen Chun-Kai、Yang Wei-Chen、Chueh Chu-Chen、Higashihara Tomoya、Chen Wen-Chang	4. 巻 54
2. 論文標題 Investigation of the Mobility-Stretchability Properties of Naphthalenediimide-Based Conjugated Random Terpolymers with a Functionalized Conjugation Break Spacer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 7388 ~ 7399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.1c00534	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

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 T. Higashihara
2. 発表標題 Intrinsically Stretchable N-type Semiconducting Polymer Materials
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry Bali 2023 (ICPAC 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoya Higashihara
2. 発表標題 Challenges in Polymer Design and Synthesis for Stretchable Electronics
3. 学会等名 Intrnational mini-Symposium on Polymer Materials (ISPM2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤 蒼紀、稲垣 伸、東原 知哉
2. 発表標題 半導体高分子鎖をもつシーケンシャルABC型トリブロック共重合体の精密合成
3. 学会等名 第31回日本ポリイミド・芳香族系高分子会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本 脩人、松田 萌実、Y.-C. Lin、東原 知哉
2. 発表標題 ポリイソブテン鎖とn型半導体高分子鎖とからなるABA型トリブロック共重合体の合成と伸縮性有機トランジスタ材料への応用
3. 学会等名 第72回高分子討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本脩人、松田直樹、東原知哉
2. 発表標題 鎖末端に5-プロモチエニル基を有するポリイソブテンの精密合成及び 共役モノマーとの共重合
3. 学会等名 第71回高分子年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲垣伸、Yan-Cheng Lin、Wen-Chang Chen、東原知哉
2. 発表標題 ポリ(3-ヘキシルチオフェン)鎖を有するシーケンシャル・トポロジカル半導体高分子の合成
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoya Higashihara
2. 発表標題 Green and controlled synthesis of functional semiconducting polymers for organic electronics
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry(ICPAC)2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 東原 知哉
2. 発表標題 ストレッチャブルデバイス用半導体ポリマー材料の開発
3. 学会等名 21-6 ポリマーフロンティア21フレキシブルエレクトロニクスの最前線（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 東原 知哉
2. 発表標題 共役高分子の精密合成と伸縮性有機エレクトロニクス材料への応用
3. 学会等名 東京工業大学講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoya Higashihara
2. 発表標題 Precise design and synthesis of semiconducting polymers suited for organic electronic materials
3. 学会等名 Shiny Chemical Lectureship（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 東原 知哉
2. 発表標題 伸縮性半導体高分子材料と有機エレクトロニクスへの応用
3. 学会等名 第3回軽量・柔軟エレクトロニクス材料研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲垣 伸、田中 寿計、林 彦丞、陳 文章、東原 知哉
2. 発表標題 鎖末端官能基化ポリ(3-ヘキシルチオフェン)を用いた新規半導体エラストマー材料の創成
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 佐藤 圭一郎、稲垣 伸、東原 知哉、淵瀬 啓太
2. 発表標題 両末端アジド化ポリジメチルシロキサン及び半導体高分子鎖を含むABA型トリブロック共重合体の精密合成
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 執筆者：82名、技術情報協会（分担執筆者 東原知哉）	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 983
3. 書名 導電性材料の設計，導電性制御および最新応用展開	

1. 著者名 関谷毅（分担執筆者 東原知哉）	4. 発行年 2021年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 228
3. 書名 ストレッチャブルエレクトロニクスの技術動向	

〔産業財産権〕

〔その他〕

東原研究室HP

<https://higashihara-lab.yz.yamagata-u.ac.jp/>

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
研究協力者	林 彦丞 (Lin Yan-Cheng)		
研究協力者	稲垣 伸 (Inagaki Shin)		
研究協力者	山本 脩人 (Yamamoto Shuto)		
研究協力者	伊藤 蒼紀 (Ito Souki)		
研究協力者	陳 文章 (Chen Wen-Chang)		

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		
その他の国・地域（台湾）	国立台湾大学	国立成功大学	