

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02579

研究課題名（和文）分子積層数制御による有機薄膜トランジスタの高効率キャリア輸送と安定駆動

研究課題名（英文）Efficient carrier transport and stable operation of organic thin-film transistors based on molecular layer-controlling technique

研究代表者

荒井 俊人（Arai, Shunto）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・講師

研究者番号：40750980

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、電子骨格とアルキル鎖からなる有機半導体において厚みが均質な単結晶薄膜を作製する独自技術をもとに、有機薄膜トランジスタ（TFT）の高性能化に取り組んだ。まず、半導体層の層内分子配列が骨格やアルキル鎖それぞれの秩序化が拮抗することにより決定づけられていることを見出した。こうした知見をもとに、層状結晶性や熱耐性に優れた高性能有機半導体を開発した。また、半導体層を撥液性の絶縁層表面に形成することで、スイッチング性能に優れた有機TFTの作製に成功した。こうした取り組みにより、従来課題とされてきた高効率キャリア輸送と安定駆動の両立が可能になり、今後のデバイス製造の基盤となる技術が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、有機分子ならではの分子構造の自由度を活用した塗布製膜法を活用することで、有機電子材料の可能性を引き出し、きわめて急峻なスイッチングを示す有機トランジスタの作製に成功した。こうしたデバイス製造手法や有機電子材料の設計指針は今後の有機エレクトロニクスの基盤になるものと期待される。また、こうした有機電子材料の開発が進展することで、既存のデバイス製造技術では対応が難しい軽量・フレキシブルといった特徴を兼ね備えたデバイスの開発・普及につながる事が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we successfully manufactured high-performance organic thin-film transistors (TFTs) based on our original methodology for fabricating single-crystal thin films of organic semiconductors (OSCs) with homogeneous thickness. In this technique, we utilized layered OSCs composed of a π -electron framework (π -core) and an alkyl chain. We investigated that the intralayer molecular packing of the OSC layer, responsible for carrier transport, is predetermined by the competition and balance between the intermolecular core-core and chain-chain interactions. Based on the findings, we developed new OSCs with excellent layered crystallinity and thermal stability. We also invented a technique to produce a uniform semiconductor layer on a surface of a highly lyophobic insulating layer. This technique enables to obtain TFTs showing extremely sharp on/off switching. These findings have made it possible to achieve both efficient carrier transport and stable device operation.

研究分野：ソフトマター物理、プリントドエレクトロニクス

キーワード：自己組織化 結晶構造制御 界面制御 プリントドエレクトロニクス 有機半導体

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電子機能性材料を溶かした溶液の塗布によりフレキシブルな電子デバイスを作製する技術は、大規模かつ複雑化したこれまでの半導体製造技術を格段に簡易化できる技術として期待されている。常温での塗布により性能を発揮する有機半導体はこのための有望な素材であり、低分子の有機半導体を用いた有機薄膜トランジスタ (TFT) では、キャリア輸送に適した層状に結晶化する性質を示す分子の開発が進み、近年そのデバイス性能が徐々に向上している。一方で、多くの場合、作製した TFT の特性ばらつきが大きいことが課題となっていた。特に、用いる半導体層の厚み (もしくは分子積層数) に応じてデバイス移動度が変化することも報告されていることから、分子レベルで厚みが均質で、かつキャリアの円滑な輸送を可能にする結晶性の半導体層を形成する技術が求められていた。

こうした背景のもと、本課題代表者らは棒状の π 電子骨格と長鎖アルキル基を連結した半導体分子が示す高い層状結晶性に着目し、わずか 2 分子の厚みの超極薄かつ大面積の半導体層を構築する技術を開発した。そこでは非対称な棒状分子が細胞膜で見られるような 2 分子膜構造を形成する過程で、アルキル鎖長が異なる分子を混合しておくこと、分子膜表面に微小な凹凸が生じ、分子層間の積層化が抑制できるというシンプルな仕掛けを組み込むことで高均質な半導体層を形成している。これにより従来の常識を大きく超えるウエハースケールの大面積にわたり、分子レベルで厚みが均質な半導体層を構築できるようになった。得られた半導体層を用いて作製した TFT は比較的良好な移動度を示すものの、そのデバイス駆動に必要な電圧は数十ボルトと高く、低電圧・安定駆動のための指針が求められていた。

2. 研究の目的

以上の背景をもとに、本研究課題ではデバイスの高移動度化と低電圧・安定駆動を両立した TFT の構築を目的とした。厚みが 2 分子膜 1 層分に制限された分子膜では、デバイスの高移動度化において、キャリア輸送を円滑に行うための分子膜層内の分子配列様式がきわめて重要な役割を果たす。そこで、本課題では、こうした層内分子配列がどのように決定されているかを明らかにすることで高移動度有機半導体の開発に向けた分子設計指針を獲得し、新たな材料開発に繋げることを目的とした。さらに、本課題では TFT のスイッチングの鋭さと安定性を決定づける要因を解明し、これをもとに高急峻なスイッチング動作・低電圧駆動・高いバイアス耐性を同時に示す、塗布型 TFT の構築を目指して研究を進めた。

3. 研究の方法

(1) 層内分子配列の決定要因を明らかにするために、半導体骨格は共通でありながら、付与するアルキル鎖の長さにより異なる結晶構造を示す *mono-C_n-BTBT* 系に着目し、その結晶構造や各相の安定性を詳しく調べた。

(2) 有機半導体の高性能化に向け、層状結晶性を強化するための材料開発を進めた。特に電子骨格 (骨格) を拡張することで熱安定性を向上させつつ、置換基の付与やその置換位置制御により溶液プロセス性との両立を図った。

(3) スwitching特性を向上させるためにキャリアトラップ要因を抑制した絶縁層表面に半導体層を構築し、塗布型有機 TFT を作製した。本研究では、こうした絶縁層表面として、撥液性の高いフッ素樹脂 (Cyttop) からなるゲート絶縁層を用いた。こうした表面上に半導体層を塗布形成する技術であるプッシュコート法を用いることでポリマー半導体を用いた TFT を作製し、デバイス高性能化のための原理検証を進めた。また、低分子有機半導体を撥液性絶縁層上に構築する技術を新たに開発し、TFT の高性能化を進めた。

4. 研究成果

(1) 層内分子配列多形に関する研究

分子性材料では分子間の相互作用が弱いため、複数の安定な構造 (結晶多形) が得られる場合がある。こうした分子配列の違いはデバイス性能にも直結するため、適切に結晶多形を制御するための材料設計指針が求められる。特に有機 TFT では 2 次元性に優れる層状ヘリ

ンボーン (LHB) 型と呼ばれる分子配列の形成が、多くの高性能半導体で見られることから重要視されており、この配列を設計・制御する指針の獲得が優れた有機半導体の分子設計を進める上できわめて重要な課題となっている。

こうした背景のもと本研究では炭素数 n の直鎖アルキル基を BTBT 骨格に導入した $mono-C_n$ -BTBT ($4 \leq n \leq 14$) をモデル系として用いた [1] (図 1 (a))。 $mono-C_n$ -BTBT は LHB 型の分子配列を示し、かつ各層は 骨格どうしまたはアルキル基どうしが向かい合うように並ぶ 2 分子膜構造を形成する。得られた結晶は非常に薄く、完全な結晶構造解析は $n=4$ と 9 の場合についてしか成功していない。一方で、この 2 つの化合物は、一見同型に見えるものの明らかに異なる対称性 (映進対称性) を示している (図 1 (b))。そこで、本研究では $mono-C_n$ -BTBT に置換したアルキル鎖長 n の違いにより結晶構造がどのように変化するのか系統的に調べることで、こうした結晶多形が選択される起源に迫った。

本研究では、局所的な分子配列を調べるために、薄膜の偏光吸収スペクトルに注目した。偏光吸収スペクトルは隣接する 骨格の励起子間相互作用変化と関係しているため、わずかな分子配列構造の違いを調べることができると期待される。実際に、 $n=4$ と 9 それぞれを用いて作製した薄膜の偏光吸収スペクトルは面内光学異方性 (二色比) とダビドフ分裂の両方の特徴が大きく異なることがわかった (図 2 (a))。そこで、様々なアルキル鎖長の分子を用いて薄膜を作製し、そのスペクトルを測定した。すると、アルキル鎖長 $n=8$ を境に明確な層内多形転移が生じることがわかった (図 2 (b))。また、この偏光吸収スペクトルの異方性は、層内の半導体骨格の配列を反映していることを時間依存の密度汎関数計算により求めた遷移双極子モーメントの解析から明らかにした (図 2 (c))。

こうしたアルキル鎖長の違いにもとづく明瞭な多形転移の起源を、各結晶相の分子配列構造をもとに考察した。アルキル鎖長が短い分子の配列構造では、長鎖分子の場合と比較して 骨格が秩序化している様子が確認できた。また、これに対して長鎖分子ではアルキル鎖が秩序化することで、結晶の安定化に大きく寄与していることが明らかとなった。このように、骨格とアルキル鎖の秩序化が競合することで鎖長に依存した多形変化が起こるという物理的な機構を明らかにした。特に、アルキル鎖長が長い場合には、短い場合に比べて作製したデバイスの移動度が 10 倍程度向上することから、長鎖アルキルの付与が高性能半導体の作製に有利であるという分子設計指針が得られた。

(2) 層状結晶性有機半導体の開発

優れた熱耐性を示す有機半導体を開発するために、BTBT 骨格のような 4 縮環化合物から π 骨格を拡張した 5 縮環系を主な対象として材料開発を進めた [2]。特に、図 3 に示す BTNT 骨格において、さまざまな位置にアルキル鎖を導入した $mono-C_8$ -BTNT を開発した。これらの置換位置異性体はいずれも 2 分子膜型の分子積層様式を示し、層内では 骨格がヘリンボーン型の配列を示す。一方で、置換位置の違いを反映し、アルキル鎖の伸びる向きがわずかに異なるため、その配列秩序が変化し、溶媒への溶解性や熱耐性が変化することがわかっ

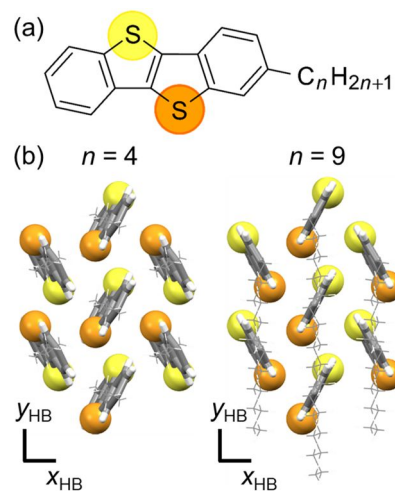


図 1 (a) $mono-C_n$ -BTBT の分子構造。 (b) $n=4, 9$ の結晶構造。

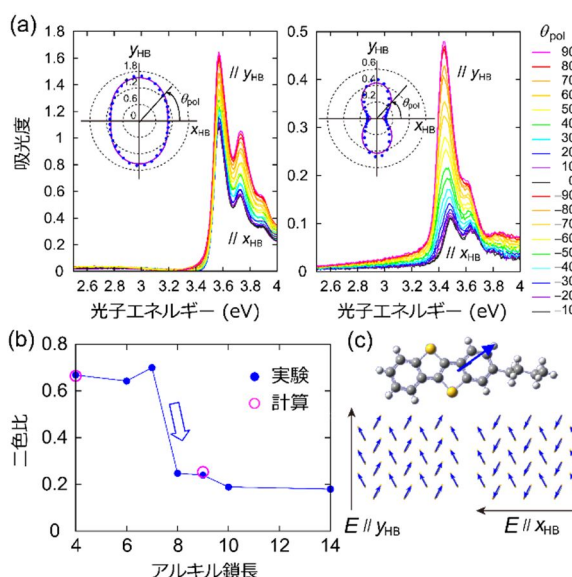


図 2 (a) 光吸収スペクトルの違い。 (b) 二色比の鎖長依存性。 (c) 遷移双極子モーメントの解析。

た。また、これらの半導体のうち特に層状結晶性が高く製膜性に優れる 2 位ないし 8 位をアルキル鎖で置換した材料では単結晶薄膜を用いたデバイスで $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ に達する優れたデバイス移動度が得られることを明らかにした。

こうした置換位置制御に加えて、新しい置換基の検討も進めた [3]。特に、フェニル基に比べて高い回転自由度を有すると期待されるフェニルエチニル (PE) 基を BTBT 骨格に導入した PE-BTBT- C_n を開発した。アルキル鎖長が比較的長い ($n \geq 8$) 場合には、2 分子膜型層状ヘリンボーン構造を形成するのに対して、置換したアルキル鎖の長さや PE 基の長さがほぼ一致する $n = 6$ の場合には、層内で分子長軸方向が無秩序な特徴的な分子配列を形成することを明らかにした。この PE-BTBT- C_6 を用いて単結晶薄膜を作製し、TFT の活性層として用いたところ、そのキャリア移動度は $3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度と液晶性有機半導体としては比較的高いキャリア輸送性能を示すことを明らかにした。液晶のような配列秩序の乱れは、通常は TFT のキャリア輸送性に不利に働くと考えられるものの、PE-BTBT- C_6 では、骨格の配列秩序が保たれているため、比較的高い移動度が得られたものと考えられる。

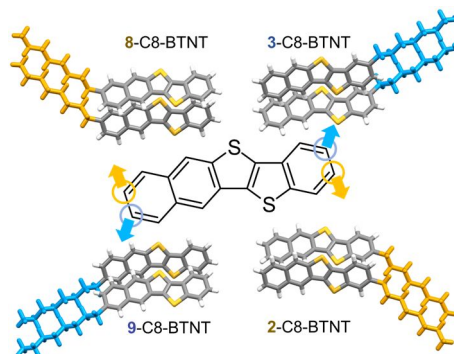


図 3 . BTNT 骨格 (中央) と置換位置制御による材料開発。

(3) 有機トランジスタのスイッチング性能の向上

TFT において低電圧・安定駆動を達成するためには、表面エネルギーが低く撥液性の高い絶縁層表面に半導体層を形成することが有効だと考えられている。そこで、本研究課題では撥液性が高い非晶性パーフルオロポリマーである Cytop をゲート絶縁層とし、電極には高精細な配線を印刷可能な技術 (スーパーナップ法) により形成した銀電極を用いて TFT を作製した [4] (図 4 (a))。ここでは、高撥液ゲート絶縁層上に高速・高均質に半導体層を作製できるプッシュコート法を採用し、ポリマーの半導体層を作製した (図 4 (b))。通常、こうしたポリマー半導体は低分子系の半導体と比べて機械的性質に優れているものの、その配列が乱れやすく、優れたスイッチング特性を得ることが難しいと考えられてきた。これに対して、作製した TFT のなかには、ポリマー半導体として例外的に高急峻でバイアス印加による変化の見られない高安定なスイッチング動作を示すものが得られた。この原因を明らかにするために、異なるゲート絶縁層や電極、半導体層を用いて作製した TFT を作製しデバイス性能の系統的な比較を行った。その結果、Cytop 絶縁層がゲート電圧印加に対するバイアス耐性を向上させるうえで有効であることを明らかにした。また、ポリマー主鎖が電子供与部位と電子受容部位が交互に連結してできたドナー・アクセプター型ポリマー PDVT-10 を用いた場合に優れたスイッチング特性が得られることが分かった。特にそのスイッチングの鋭さを示す指標である SS 値は最小で 120 ミリボルトというポリマー半導体 TFT としては最も急峻性に優れたスイッチング特性が得られた。この PDVT-10 で優れたスイッチング特性が得られた理由としては、骨格に付与されている分岐アルキル鎖がアモルファス状のアルキル鎖層を形成することで、界面でトラップの原因となる極性基等を不動態化する機構がこの半導体に備わっている可能性があることが分かった。

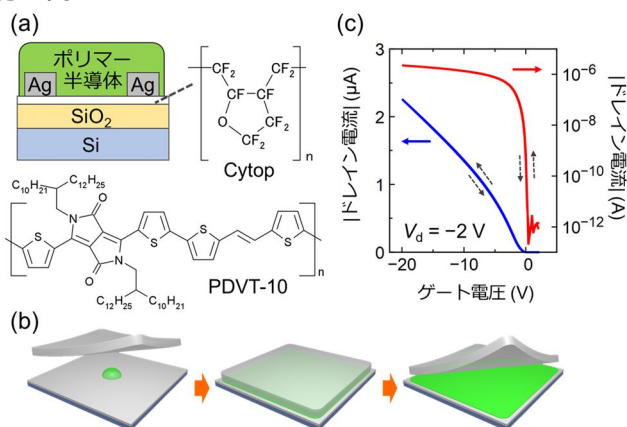


図 4 . ポリマー半導体を用いた高急峻スイッチング TFT の開発。(a) 作製したデバイスの模式図。(b) プッシュコート法の模式図。(c) 典型的なデバイス特性。

さらに、高撥液な Cytop 絶縁層表面に低分子の有機半導体を塗布製膜する手法が最近開発され [5]、これを用いた低分子半導体 TFT の高性能化についても検討を進めている。これらの取り組みにより、低分子系の半導体を用いた有機 TFT において、現在では 2 ボルト以

下での低電圧駆動、SS 値 70 ミリボルト/桁以下、デバイス移動度 $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上という総合的なデバイス性能の向上を達成し、きわめて高いレベルのデバイスを作製できるようになってきている [6]。これは有機 TFT において従来課題とされてきた高効率キャリア輸送と安定駆動の両立が可能になりつつあることを示すものであり、本研究課題により得られた知見は今後のデバイス製造の基盤となるものと考えられる。

さらに、こうした有機半導体の研究に加えて、本研究課題ではコロイドや有機強誘電体など多彩な塗布型電子材料を対象とした研究も進めることができた [7, 8]。こうした有機電子材料の開発が進展することで、既存のデバイス製造技術では対応が難しい軽量・フレキシブルといった特徴を兼ね備えたデバイスの開発・普及に今後つながっていくことが期待される。

・引用文献

- [1] S. Arai *et al.*, *Adv. Funct. Mater.* **30** (4), 1906406 (2020).
- [2] S. Inoue *et al.*, *Chem. Sci.*, **11**, 12493–12505 (2020).
- [3] S. Inoue *et al.*, *Chem. Mater.* **34** (1), 72–83 (2022).
- [4] G. Kitahara *et al.*, *Adv. Funct. Mater.* **31** (52), 2105933 (2021).
- [5] G. Kitahara *et al.*, *Science Advances* **6**, eabc8847 (2020).
- [6] S. Arai *et al.*, 原著論文準備中 .
- [7] H. Tsurusawa *et al.*, *Science Advances* **6**, eabb8107 (2020).
- [8] Y. Uemura *et al.*, *Phys. Rev. Applied* **14**, 024060 (2020).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Inoue Satoru, Nikaido Kiyoshi, Higashino Toshiki, Arai Shunto, Tanaka Mutsuo, Kumai Reiji, Tsuzuki Seiji, Horiuchi Sachio, Sugiyama Haruki, Segawa Yasutomo, Takaba Kiyofumi, Maki-Yonekura Saori, Yonekura Koji, Hasegawa Tatsuo	4. 巻 34
2. 論文標題 Emerging Disordered Layered-Herringbone Phase in Organic Semiconductors Unveiled by Electron Crystallography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 72 ~ 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.1c02793	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 Arai Shunto	4. 巻 34
2. 論文標題 Environmental Response Sensors Produced Using Bilayer-Type Organic Semiconductors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 257 ~ 259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2022.p0257	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 Kitahara Gyo, Ikawa Mitsuhiro, Matsuoka Satoshi, Arai Shunto, Hasegawa Tatsuo	4. 巻 31
2. 論文標題 Approaching Trap Minimized Polymer Thin Film Transistors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2105933 ~ 2105933
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202105933	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 Higashino Toshiki, Inoue Satoru, Arai Shunto, Matsui Hiroyuki, Toda Naoya, Horiuchi Sachio, Azumi Reiko, Hasegawa Tatsuo	4. 巻 33
2. 論文標題 Architecting Layered Crystalline Organic Semiconductors Based on Unsymmetric -Extended Thienoacenes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 7379 ~ 7385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.1c01972	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 Inoue Satoru, Higashino Toshiki, Arai Shunto, Kumai Reiji, Matsui Hiroyuki, Tsuzuki Seiji, Horiuchi Sachio, Hasegawa Tatsuo	4. 巻 11
2. 論文標題 Regioisomeric control of layered crystallinity in solution-processable organic semiconductors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 12493 ~ 12505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0SC04461J	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 Kinoshita Yuto, Sotome Masato, Miyamoto Tatsuya, Uemura Yohei, Arai Shunto, Horiuchi Sachio, Hasegawa Tatsuo, Okamoto Hiroshi, Kida Noriaki	4. 巻 14
2. 論文標題 Observation of the Three-Dimensional Polarization Vector in Films of Organic Molecular Ferroelectrics Using Terahertz Radiation Emission	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 054002, 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.14.054002	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 Arai Shunto	4. 巻 15
2. 論文標題 Semiconductive Single Molecular Bilayers: a New Platform for High-Performance Organic Transistors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 27th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (AM-FPD), IEEE Xplore	6. 最初と最後の頁 63-66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/AM-FPD49417.2020.9224516	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 Kitahara Gyo, Inoue Satoru, Higashino Toshiki, Ikawa Mitsuhiro, Hayashi Taichi, Matsuoka Satoshi, Arai Shunto, Hasegawa Tatsuo	4. 巻 6
2. 論文標題 Meniscus-controlled printing of single-crystal interfaces showing extremely sharp switching transistor operation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabc8847, 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abc8847	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 Tsurusawa Hideyo, Arai Shunto, Tanaka Hajime	4. 巻 6
2. 論文標題 A unique route of colloidal phase separation yields stress-free gels	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabb8107, 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abb8107	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 Uemura Yohei, Matsuoka Satoshi, Tsutsumi Jun 'ya, Horiuchi Sachio, Arai Shunto, Hasegawa Tatsuo	4. 巻 14
2. 論文標題 Birefringent Field-Modulation Imaging of Transparent Ferroelectrics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 024060, 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.14.024060	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 Arai Shunto, Morita Kaede, Tsutsumi Jun'ya, Inoue Satoru, Tanaka Mutsuo, Hasegawa Tatsuo	4. 巻 30
2. 論文標題 Layered Herringbone Polymorphs and Alkyl Chain Ordering in Molecular Bilayer Organic Semiconductors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1906406, 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201906406	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 荒井 俊人	4. 巻 70
2. 論文標題 有機半導体の分子積層制御による二次元化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 高分子学会誌	6. 最初と最後の頁 89-90
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 Shunto Arai, Kaede Morita, Jun 'ya Tsutsumi, Satoru Inoue, Mutsuo Tanaka, and Tatsuo Hasegawa	4. 巻 30
2. 論文標題 Layered-Herringbone Polymorphs and Alkyl-Chain Ordering in Molecular Bilayer Organic Semiconductors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1906406 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201906406	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 荒井 俊人	4. 巻 30
2. 論文標題 有機半導体単層2分子膜の構築と高性能薄膜トランジスタへの応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 応用物理学会 有機分子・バイオエレクトロニクス分科会誌	6. 最初と最後の頁 186(13)-191(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 -

〔学会発表〕 計37件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 荒井 俊人
2. 発表標題 ソフトマターの結晶化制御とエレクトロニクスへの応用
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒井 俊人
2. 発表標題 プリンテッドエレクトロニクスを支えるナノレオロジー
3. 学会等名 第13回 ナノレオロジー研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Arai
2. 発表標題 Ultrathin-film formation of liquid-crystalline organic semiconductors for high performance transistors
3. 学会等名 19th Optics of Liquid Crystals (OLC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 G. Kitahara, S. Inoue, T. Higashino, M. Ikawa, S. Matsuoka, S. Arai, and T. Hasegawa
2. 発表標題 Towards trap-free and printed organic TFTs
3. 学会等名 The 11th International Conference on Flexible and Printed Electronics (2021 ICFPE) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒井 俊人, 吉田 海琉, 井上 悟, 関根 大輝, 小柳 恭徳, 松原 正和, 長谷川 達生
2. 発表標題 層状有機半導体pTol-BTBT-Cnの分子膜積層様式制御と半導体特性
3. 学会等名 2022年 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 二階堂 圭, 井上 悟, 東野 寿樹, 熊井 玲児, 松岡 悟志, 荒井 俊人, 長谷川 達生
2. 発表標題 液晶性半導体PE-BTBT-Cnの混合誘起配向秩序化と相競合の解析
3. 学会等名 2022年 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 村田 啓人, 北原 暁, 東野 寿樹, 井上 悟, 松岡 悟志, 荒井 俊人, 長谷川 達生
2. 発表標題 高急峻スイッチング有機単結晶TFTにおける半導体3元界面の効果と経時応答
3. 学会等名 2022年 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 井上 悟, 二階堂 圭, 宮田 稜, 東野 寿樹, 田中 睦生, 松岡 悟志, 荒井 俊人, 都築 誠二, 熊井 玲児, 堀内 佐智雄, 長谷川 達生
2. 発表標題 BTNT系有機半導体における極性型層間積層様式の発現と制御
3. 学会等名 2022年 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 村瀬 秀明, 荒井 俊人, 長谷川 達生, 宮川 和也, 鹿野田 一司
2. 発表標題 -(ET)2Xにおける電荷液体・ガラスのラマンスペクトルの解析
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会 (2022年)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村瀬 秀明, 荒井 俊人, 長谷川 達生, 宮川 和也, 鹿野田 一司
2. 発表標題 ラマン分光法による有機導体 -(ET)2X における電荷ガラスの電荷密度分布の解析
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村瀬 秀明, 荒井 俊人, 長谷川 達生, 宮川 和也, 鹿野田 一司
2. 発表標題 有機導体 $-(\text{ET})_2\text{RbZn}(\text{SCN})_4$ における電子結晶の成長速度の測定
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村田 啓人, 北原 暁, 井上 悟, 松岡 悟志, 荒井 俊人, 長谷川 達生
2. 発表標題 有機単結晶TFTにおける高急峻スイッチングの実現と層構造依存性
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 二階堂 圭, 井上 悟, 東野 寿樹, 松岡 悟志, 荒井 俊人, 長谷川 達生
2. 発表標題 層状結晶性有機半導体における層内配向秩序・無秩序相の発現と競合
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 悟, 二階堂 圭, 宮田 稜, 東野 寿樹, 田中 睦生, 松岡 悟志, 荒井 俊人, 都築 誠二, 熊井 玲児, 堀内 佐智雄, 長谷川 達生
2. 発表標題 新規有機半導体 $\cdot p\text{Tol-BTBT-Cn}$ における層状構造のCn 偶奇効果
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 二階堂 圭, 井上 悟, 松岡 悟志, 荒井 俊人, 長谷川 達生
2. 発表標題 有機半導体混合系における高移動度相の発現
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 村田 啓人, 北原 暁, 井上 悟, 松岡 悟志, 荒井 俊人, 長谷川 達生
2. 発表標題 高急峻スイッチング有機薄膜トランジスタにおける半導体層構造の効果
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 荒井 俊人, 井上 悟, 長谷川 達生
2. 発表標題 層状有機半導体の材料科学と大面積単層2分子超薄膜の構築
3. 学会等名 2020年日本液晶学会オンライン研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Arai
2. 発表標題 Semiconductive Single Molecular Bilayers: a New Platform for High-Performance Organic Transistors
3. 学会等名 The 27th international Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices -TFT Technologies and FPD Materials (AM-FPD2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒井 俊人, 田中 睦生, 井上 悟, 近藤 隆祐, 熊井 玲児, 長谷川 達生
2. 発表標題 2分子膜型有機半導体におけるアルキル側鎖の再配列に伴う結晶多形転移
3. 学会等名 2021年 第68回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 悟, 宮田 稜, 東野 寿樹, 田中 睦生, 荒井 俊人, 松岡 悟志, 堀内 佐智雄, 長谷川 達生
2. 発表標題 トリル基を置換した非対称BTBT系有機半導体の層状結晶性と半導体特性
3. 学会等名 2021年 第68回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 悟, 二階堂 圭, 東野 寿樹, 荒井 俊人, 田中 睦生, 堀内 佐智雄, 高場 圭章, 眞木 さおり, 米倉 功治, 瀬川 泰知, 熊井 玲児, 長谷川 達生
2. 発表標題 PE-BTBT-Cn層状結晶性有機半導体における配向秩序の競合とその制御
3. 学会等名 2021年 第68回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 二階堂 圭, 井上 悟, 東野 寿樹, 松岡 悟志, 荒井 俊人, 長谷川 達生
2. 発表標題 層状有機半導体PE-BTBT-Cn/Cm混合系における相競合と半導体特性
3. 学会等名 2021年 第68回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上村 洋平, 松岡 悟志, 荒井 俊人, 原田 潤, 長谷川 達生
2. 発表標題 柔粘性強誘電体薄膜の結晶方位と強誘電ドメイン構造
3. 学会等名 2021年 第68回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 二階堂圭, 北原暁, 井上悟, 東野寿樹, 松岡悟志, 荒井俊人, 長谷川達生
2. 発表標題 有機半導体PE-BTBT-Cnにおける固相-液晶相間の競合と2次元キャリア輸送
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒井 俊人, 井上 悟, 東野 寿樹, 長谷川 達生
2. 発表標題 Ph-BTNT-Cn 単結晶薄膜における異方的伝導特性の起源
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 二階堂 圭, 北原 暁, 井上 悟, 東野 寿樹, 松岡 悟志, 荒井 俊人, 長谷川 達生
2. 発表標題 新規有機半導体PE-BTBT-Cnにおける層状構造制御とTFT特性
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 北原 暁, 井上 悟, 東野 寿樹, 井川 光弘, 松岡 悟志, 荒井 俊人, 長谷川 達生
2. 発表標題 メニスカス制御による高撥液表面への単結晶塗布構築とTFT高急峻スイッチング
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 井上 悟, 東野 寿樹, 荒井 俊人, 熊井 玲児, 松井 弘之, 都築 誠二, 堀内 佐智雄, 長谷川 達生
2. 発表標題 モノアルキルBTNT 系の置換位置異性による結晶構造制御とTFT特性
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 上村 洋平, 木村 智貴, 松岡 悟志, 荒井 俊人, 原田 潤, 長谷川 達生
2. 発表標題 多軸性分子強誘電体薄膜における強誘電ドメイン観察
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 S. Arai
2. 発表標題 Semiconductive Single Molecular Bilayers: A New Type of Molecular Nanostructure
3. 学会等名 CEMS topical meeting on Organic Photoelectronics: Theory, Materials, Interfaces, and Spectroscopy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年~2020年

1. 発表者名 荒井 俊人, 長谷川達生
2. 発表標題 有機半導体単層 2 分子膜の構築と高性能薄膜トランジスタへの応用
3. 学会等名 2019年 第80回 応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 荒井 俊人, 井上 悟, 東野 寿樹, 長谷川 達生
2. 発表標題 層状結晶性有機半導体Ph-BTNT-Cn単結晶トランジスタの異方的キャリア輸送
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 浜井 貴将, 荒井 俊人, 井上 悟, 長谷川 達生
2. 発表標題 2 分子膜構造を持つ有機半導体におけるトラップ状態の抑制
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 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 山田 詩乃, 荒井 俊人, 東野 寿樹, 井上 悟, 長谷川 達生
2. 発表標題 層数制御した超極薄単結晶有機薄膜トランジスタの環境応答特性
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 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 山田 詩乃, 荒井 俊人, 井上 悟, 長谷川 達生
2. 発表標題 層数制御した超極薄単結晶有機薄膜トランジスタの環境応答特性
3. 学会等名 2019年 第80回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 荒井 俊人, 井上 悟, 東野 寿樹, 長谷川 達生
2. 発表標題 層状結晶性有機半導体Ph-BTNT-Cn単結晶トランジスタの異方的キャリア輸送
3. 学会等名 2019年 第80回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 荒井 俊人, 井上 悟, 東野 寿樹, 田中 睦生, 長谷川 達生
2. 発表標題 層状結晶性有機半導体の結晶 - 結晶相転移
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年～2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 荒井 俊人 (第5章6節を担当)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 500
3. 書名 マテリアルズインフォマティクスのためのデータ作成とその解析、応用事例	

1. 著者名 荒井 俊人 (第7章問7, 問15を担当)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 情報機構	5. 総ページ数 597
3. 書名 マテリアルズ・インフォマティクスQ&A集－解析実務と応用事例－	

〔産業財産権〕

〔その他〕

長谷川/荒井研 HP http://hsgw.t.u-tokyo.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

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