

令和 2 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H06200

研究課題名（和文）有機単結晶半導体を用いたスピントランジスタの実現

研究課題名（英文）Realization of spin transistor using organic single crystal semiconductor

研究代表者

竹谷 純一（Takeya, Junichi）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：20371289

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,700,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究課題実践により半導体における電子電荷・スピン輸送において大きく理解が進展し、特に無機半導体で用いられている電子輸送の標準理論に柔らかいフォノンの効果を取り入れることが重要であることを世界に先駆けて報告した。さらに、室温での電界効果特性測定、磁場中及び低温での電子物性計測・電子スピン共鳴実験等によってスピン輸送の実験的研究をおこない、有機半導体が高い移動度と1ミリ秒以上の長いスピン緩和時間とを両立できることを示した。これらの成果により、有機半導体での非常に長いスピン緩和時間実現や低温での金属状態の実現など当初の計画以上の物性研究の進展を得ている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究期間中には、有機半導体における電子電荷・スピン輸送において大きく理解が進展し、特に無機半導体で用いられている電子輸送の標準理論に柔らかいフォノンの効果を取り入れることが重要であることを世界に先駆けて報告した。また、非常に長いスピン緩和時間や低温での金属状態の実現など、当初の計画以上の物性研究の進展が得られた。単結晶デバイスを用いて初めて正確な構造物性相関を解明し、ホール効果などの精密物性測定による電子状態の詳細な理解と構造への対比が可能となったことは、信頼できる学問分野の構築に道を拓いたと言える。

研究成果の概要（英文）：Practicing this research project has led to a great understanding of electron charge / spin transport in semiconductors. We have reported for the first time in the world that it is important to incorporate the effect of soft phonons into the standard theory of electron transport used in inorganic semiconductors. Furthermore, we conduct experimental research on spin transport by measuring field-effect characteristics at room temperature, measuring electronic properties in magnetic fields and at low temperatures, and electron spin resonance experiments, etc., and it was shown that the organic semiconductor can achieve both high mobility and long spin relaxation time of 1 millisecond or more. As a result of these achievements, we have obtained progress in physical property research more than originally planned, such as realization of very long spin relaxation time of organic semiconductor and metallic state of organic semiconductor at low temperature.

研究分野：有機半導体

キーワード：有機半導体 単結晶 メカノエレクトロニクス 分子振動 スピントロニクス

1. 研究開始当初の背景

現行のエレクトロニクスデバイスは集積化・微細化の限界に伴う大量発熱のため、2020年頃には高速化・高性能化は確実に限界を迎える。抜本的なパラダイムシフトとして、電子のスピン自由度を用いたスピントロニクス研究が黎明期を迎えている。従来型のトランジスタは電荷の移動に伴う電気信号から0と1をベースに演算を行う素子であるのに対して、スピントランジスタは上向きスピンと下向きスピンを制御することで演算を行う。実効的な電荷のやりとりが伴わないため、理論的には発熱量はゼロであり、また上向きスピンと下向きスピンの重ね合わせを用いた量子演算も可能となる夢のデバイスである。特に、スピン電界効果トランジスタ(スピンFET)に代表されるスピン演算デバイスは、超低消費電力が期待されているが、これまでにスピントランジスタの駆動に関する報告例はわずか数件であり、すべて無機半導体(ガリウムヒ素、グラフェン)の高コストのプロセスで実現されていた。社会実装が可能な低コストの有機スピントランジスタの実現が望まれていた。

2. 研究の目的

有機スピントランジスタの実現には、「スピン軌道相互作用に着目した有機合成」、「有機半導体材料のスピン物性の開拓」、そして「プリントプロセスに適応するデバイス微細加工の先鋭化」の3つの研究課題解決が必要であった。

(1) 「スピン軌道相互作用に着目した有機合成」

本研究では、従来の有機半導体スピントロニクスで用いられてきたアモルファス性有機材料ではなく、単結晶有機半導体材料に焦点をあて、さらにスピン軌道相互作用を最重要パラメータとして材料設計・探索を行う。申請者らは先行研究で有機半導体中のスピン軌道相互作用が有力なスピン緩和源になっていることを実証しており、この知見をベースに新規な合成指針のもと長スピン寿命・高移動度を両立するstate-of-the-artのスピントロニック有機半導体を探索することを第一の目的とする。

(2) 「有機半導体材料のスピン物性の開拓」

スピントランジスタは強磁性体電極・半導体・誘電体が積層された複数の界面を持つデバイスであり、各層におけるスピン物性を理解していく必要がある。特に強磁性体電極と有機半導体の界面におけるスピン注入・検出、有機半導体と誘電体界面でのスピン制御に関して、これまで統一的なモデルはできていない。これらの課題をスピン軌道相互作用と相関付けて系統的にクリアし、高効率のスピン注入・検出・制御を実現する。

(3) 「プリントプロセスに適応するデバイス微細加工の先鋭化」

スピントランジスタでは、強磁性体電極から注入された偏極スピンをもう一方の強磁性体電極でその向きを検出する。二つの強磁性体電極間の距離でスピン情報が失われてはならず、この電極間距離をスピン拡散長と同程度に微細加工する必要がある。従来のアモルファス有機半導体では、このスピン拡散長が10ナノメートル程度のオーダーであるため、電子線描画装置を用いても不可能であったが、今回申請者が使用する単結晶有機半導体では、簡易なフォトリソグラフィでも十分に微細加工が可能である1マイクロメートル程度である。今回、すべてのプロセ

スにおいて、有機半導体単結晶を溶液プロセスを用いて行うため、溶媒による強磁性体電極へのダメージや表面エネルギーの違い等による単結晶性能の劣化など随時最適化しながら、単結晶有機半導体に適した微細加工技術を確立し、スピントランジスタデバイスの作製を目指す。

3. 研究方法

長スピン寿命と高移動度を両立した有機単結晶半導体材料の研究をベースに 3 つの挑戦的研究課題を展開する。

(1) 「スピン軌道相互作用に着目した有機合成」

スピン軌道相互作用 (SOC) は電子スピンと軌道運動の相互作用であり、多くの金属・無機半導体においてスピン緩和を支配する最も重要な相互作用である。SOC の強さは原子番号の四乗に比例するため、軽元素で構成される有機半導体においてはその重要性は軽視されてきた。一方で、申請者らは有機半導体の SOC が弱いながらもスピン緩和源であることを世界に先駆けて報告している (Nat. Mater. 2013, Nat. Phys. 2014)。この知見に基づき、SOC を最重要パラメータとして材料設計・合成を行う。特に、申請者の研究室で合成された有機半導体 C10-DNBDT-NW の硫黄原子をカルコゲン族原子 (酸素・セレン・テルル) へ置換した材料群を展開し、SOC とスピン寿命・スピン緩和長との相関を明らかにする。長スピン寿命化のためには SOC を弱くする必要がある一方で、電場や光と相互作用を強めるためには SOC を強くする必要がある。以上のようにスピン寿命とスピン FET に要求される機能性をトレードオフし、最適な SOC を有する材料を探索する。

(2) 「有機半導体材料のスピン物性の開拓」

有機半導体のスピン物性は未解明な部分が多く、とりわけ無機材料で当たり前のように用いられている既存のスピン緩和機構は適応不可能であるとされていた。スピン寿命・拡散長の向上のためには、スピンの緩和・輸送機構を解明することが必要不可欠であり、このためには電荷とスピンの輸送機構を常にシンクロさせ、有機材料の動作を支配する「電荷移動度」を指標としたモデルを構築する必要があった。申請者らは、電子スピン共鳴を用いたスピン緩和時間の直接観測に成功し、電荷移動度とスピン緩和時間が比例することを世界で初めて実証し、これまで未解明であった有機半導体単結晶中のスピン緩和機構がエリオット・ヤフェット (EY) 機構に従うことを初めて明らかにしている。EY 機構は無機半導体材料や金属のスピン緩和を正確に再現することが知られている。本モデルは、有機半導体高移動度を維持しつつ SOC を低減することでスピン緩和長をスピン拡散長 20 マイクロメートル程度まで改善できることを予言している。スピン物性の開拓の最初のステップとして、上記で合成する SOC 制御された有機半導体材料において EY 機構の普遍性を確認する。得られた知見を合成にフィードバックする体制を整え、state-of-the-art のスピンメディアとなり得る有機単結晶半導体を探索する。

(3) 「プリントプロセスに適應するデバイス微細加工の先鋭化」

スピン FET の前段階として、非局所スピンバルブ構造を用いた電氣的スピン注入・検出を目指す。非局所構造においてスピンの電氣的注入・検出を確認したのちに、ゲート誘電体・ゲート電極を積層させた構造を作製し、注入されたスピンの電場による制御を行う。すべてのプロセスに

において、有機半導体単結晶を溶液プロセス(たとえば当研究室で開発した連続エッジキャスト法)を用いて行うため、溶媒による強磁性体電極へのダメージや表面エネルギーの違い等による単結晶性能の劣化など随時最適化する。

4. 研究成果

(1) 「スピン軌道相互作用に着目した有機合成」

分子配置を、X線回折・反射測定などによる実測手法の開発に成功した。これにより有機半導体単結晶が基板表面に張り付いた際の基板界面の分子の形状を0.1ナノメートルの精度で決定すること、極薄の単結晶薄膜で構成された高性能の半導体膜が形成されることなどを明らかにした。(J. Takeya, S. Watanabe, PNAS, 117(1), 80-85 (2020))

(2) 「有機半導体材料のスピン物性の開拓」

室温での電界効果特性測定、磁場中及び低温での電子物性計測、低温電子スピン共鳴実験等によってスピン輸送の実験的研究をおこない、有機半導体が高い移動度と1ミリ秒以上の長スピン緩和時間を両立できることを示した。この特性は、グラフェンや無機半導体を上回るスピン輸送能を示し、電力消費のないスピンによる情報処理(スピントロニクス)に利用可能であることを示している。本業績は、有機半導体の電荷・スピン輸送の理解に革新的な答えを与える研究と認識されつつある。

(3) 「プリントプロセスに適応するデバイス微細加工の先鋭化」

極薄単結晶有機半導体にキャリアを導入し電界でキャリアを変調することで移動度を求めることができるが、構造が複雑になる難点がある。そのため、ドナーアクセプタ界面を用いて化学的にドーピングする手法を開発し、イオン交換を用いて有機半導体を高密度に化学ドーピングすることに世界で初めて成功した(図1.) (J. Takeya, S. Watanabe, Appl. Phys. Express, 12,071001, 2019)。極めて普遍的かつ化学工学の単位操作であるイ

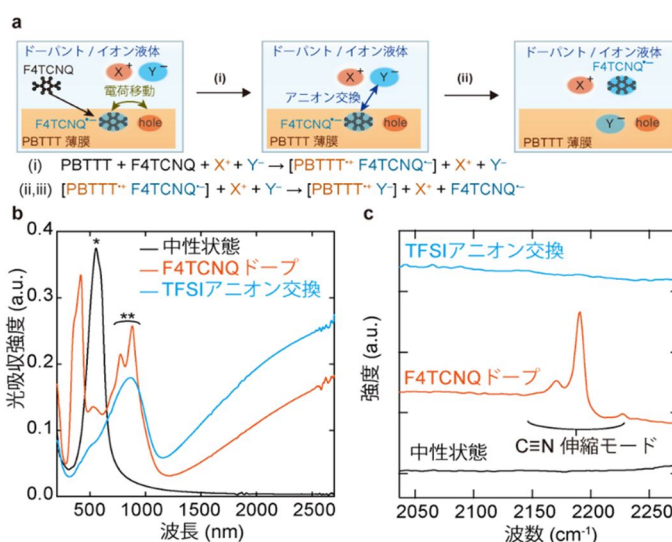


図1. イオン交換を用いた高効率ドーピングの模式図

オン交換を用いて、有機半導体の電子状態を制御する革新的な原理を明らかにしたが、本指導原理を利用して有機半導体の電子状態を精密に制御し、金属的な性質を示すプラスチックの実現にも成功した(J. Takeya, S. Watanabe, Nature, 572, 634 (2019))。

本研究期間中には、有機半導体における電子電荷・スピン輸送において大きく理解が進展し、特に無機半導体で用いられている電子輸送の標準理論に柔軟いフォノンの効果を取り入れるこ

とが重要であることを世界に先駆けて報告した。また、非常に長いスピン緩和時間や低温での金属状態の実現など、当初の計画以上の物性研究の進展が得られた。単結晶デバイスを用いて、はじめて正確な構造物性相関を解明し、ホール効果などの精密物性測定による電子状態の詳細な理解と構造への対比が可能となったことは、信頼できる学問分野の構築に道を拓いたと言える。

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 1件/うちオープンアクセス 8件）

| | |
|---|------------------------|
| 1. 著者名 T. Makita, S. Kumagai, A. Kumamoto, M. Mitani, J. Tsurumi, R. Hakamatani, M. Sasaki, T. Okamoto, Y. Ikuhara, S. Watanabe*, and J. Takeya* | 4. 巻 117(1) |
| 2. 論文標題 High-performance, semiconducting membrane composed of ultrathin, single-crystal organic semiconductors | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 PNAS | 6. 最初と最後の頁 80-85 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1909932116 | 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 Y. Yamashita, M. Ohno, J. Tsurumi, S. Kumagai, T. Kurosawa, T. Okamoto, J. Takeya, and S. Watanabe | 4. 巻 572 |
| 2. 論文標題 Efficient molecular doping of polymeric semiconductors driven by anion exchange | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Nature | 6. 最初と最後の頁 634-8211 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-019-1504-9, | 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 T. Makita, S. Kumagai, A. Kumamoto, M. Mitani, J. Tsurumi, R. Hakamatani, M. Sasaki, T. Okamoto, Y. Ikuhara, S. Watanabe*, and J. Takeya* | 4. 巻 117(1) |
| 2. 論文標題 High-performance, semiconducting membrane composed of ultrathin, single-crystal organic semiconductors | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 PNAS | 6. 最初と最後の頁 80-85 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1909932116 | 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 Y. Yamashita, M. Ohno, J. Tsurumi, S. Kumagai, T. Kurosawa, T. Okamoto, J. Takeya, and S. Watanabe | 4. 巻 572 |
| 2. 論文標題 Efficient molecular doping of polymeric semiconductors driven by anion exchange | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Nature | 6. 最初と最後の頁 634-8211 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-019-1504-9, | 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 N.Kasuya, S.Imaizumi, S.Lectard, H. Matsui, S. Watanabe, and J. Takeya | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 High carrier density, electrostatic doping in organic single crystal semiconductors using electret polymers | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Appl. Phys. Express | 6. 最初と最後の頁 71001 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab23ca, | 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 T. S. Seifert, S. Jaiswal, J. Barker, S. T. Weber, I. Razdolski, J. Cramer, O. Gueckstock, S. F. Maehrlein, L. Nadvornik, S. Watanabe, C. Ciccarelli, A. Melnikov, G. Jakob, M. Müllen, S. T. B. Goennenwein, G. Woltersdorf, B. Rethfeld, P. W. Brouwer, M. Wolf, M. Klauß and T. Kampfrath | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Femtosecond formation dynamics of the spin Seebeck effect revealed by terahertz spectroscopy | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Nature Communications | 6. 最初と最後の頁 2899 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-018-05135-2 | 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 Katsuhiko Ariga, Shun Watanabe, Taizo Mori and Jun Takeya | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Soft 2D Nanoarchitectonics | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 NPG asia materials | 6. 最初と最後の頁 90-106 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41427-018-0022-9 | 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 Akifumi Yamamura, Shun Watanabe, Mayumi Uno, Masato Mitani, Chikahiko Mitsui, Junto Tsurumi, Nobuaki Isahaya, Yusuke Kanaoka, Toshihiro Okamoto, and Jun Takeya | 4. 巻 4 |
| 2. 論文標題 Wafer-scale, layer-controlled organic single crystals for high-speed circuit operation | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Science Advances | 6. 最初と最後の頁 5758 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aao5758 | 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 Junto Tsurumi, Hiroyuki Matsui, Takayoshi Kubo, Roger Hausermann, Chikahiko Mitsui, Toshihiro Okamoto, Shun Watanabe, and Jun Takeya, | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Coexistence of ultra-long spin relaxation time and coherent charge transport in organic single-crystal semiconductors | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Nature Physics | 6. 最初と最後の頁 994-998 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/nphys4217 | 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26件 (うち招待講演 17件 / うち国際学会 8件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 渡邊峻一郎 |
| 2. 発表標題 分子とイオンとその隙間で制御する新しい金属ポリマー分子 |
| 3. 学会等名 ポリマーフロンティア21 「パイ電子系分子の集合体からなる半導体の可能性」 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 竹谷 純一, 鶴見 淳人, 渡邊 峻一郎 |
| 2. 発表標題 高移動度有機半導体のスピン緩和 |
| 3. 学会等名 応用物理学会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 渡邊峻一郎 |
| 2. 発表標題 分子とイオンとその隙間で作る新しい金属プラスチック |
| 3. 学会等名 応用物理学会M&BE研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 渡邊峻一郎 |
| 2. 発表標題 Molecular Alchemy towards plastic metal |
| 3. 学会等名 RIKEN CEMS meeting (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 渡邊峻一郎 |
| 2. 発表標題 Supramolecular Alchemy |
| 3. 学会等名 RIKEN topical meeting (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takeya |
| 2. 発表標題 Surface doping in organic semiconductor single crystals: creation of high-mobility and high-carrier-density conducting sheet 有機半導体単結晶における電荷とスピン輸送 RIKEN topical meeting (招待講演) (4/ |
| 3. 学会等名 ICMAT2019 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 渡邊峻一郎 |
| 2. 発表標題 有機半導体単結晶における電荷とスピン輸送 |
| 3. 学会等名 応用物理学会M&BE研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 渡邊峻一郎 |
| 2. 発表標題 分子とイオンとその隙間で制御する新しい金属ポリマー分子 |
| 3. 学会等名 ポリマーフロンティア21 「パイ電子系分子の集合体からなる半導体の可能性」(招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 竹谷 純一, 鶴見 淳人, 渡邊 峻一郎 |
| 2. 発表標題 高移動度有機半導体のスピン緩和 |
| 3. 学会等名 応用物理学会(招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 渡邊峻一郎 |
| 2. 発表標題 分子とイオンとその隙間で作る新しい金属プラスチック |
| 3. 学会等名 応用物理学会M&BE研究会(招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 渡邊峻一郎 |
| 2. 発表標題 Molecular Alchemy towards plastic metal |
| 3. 学会等名 RIKEN CEMS meeting(招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 渡邊峻一郎 |
| 2. 発表標題 Supramolecular Alchemy |
| 3. 学会等名 RIKEN topical meeting (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 J. Takeya |
| 2. 発表標題 Surface doping in organic semiconductor single crystals: creation of high-mobility and high-carrier-density conducting sheet |
| 3. 学会等名 , ICMAT2019 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 渡邊峻一郎 |
| 2. 発表標題 有機半導体単結晶における電荷とスピン輸送 |
| 3. 学会等名 応用物理学会M&BE研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 J. Takeya |
| 2. 発表標題 Charge and Spin Dynamics in High-mobility Organic Semiconductors |
| 3. 学会等名 ITC (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| | |
|---------|---|
| 1. 発表者名 | Y. Yamashita, J. Tsurumi, M. Ohno, R. Fujimoto, S. Kumagai, T. Kurosawa, T. Okamoto, S. Watanabe, and J. Takeya |
| 2. 発表標題 | Improved Efficiency of Molecular Doping in Polymeric Semiconductors via Anion Exchange |
| 3. 学会等名 | MRS Spring Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 | 2018年 |

| | |
|---------|---|
| 1. 発表者名 | R. Fujimoto, Y. Yamashita, S. Kumagai, J. Tsurumi, A. Hinderhofer, K. Broch, F. Schreiber, S. Watanabe, and J. Takeya |
| 2. 発表標題 | Fully-Solution-Processed Molecular Doping in Polymeric Semiconductors in an Orthogonal Solvent |
| 3. 学会等名 | MRS Spring Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 | 2018年 |

| | |
|---------|---|
| 1. 発表者名 | 山村祥史、藤井宏昌、小笠原寛人、Dennis Nordlund、高橋修、季子祐太郎、石井宏幸、小林伸彦、新津直幸、Balthasar Bille、岡本敏宏、若林裕助、渡邊峻一郎、竹谷純一 |
| 2. 発表標題 | 塗布型有機半導体単分子層単結晶の構造変化とキャリア伝導 |
| 3. 学会等名 | 日本物理学会2018年秋季大会 |
| 4. 発表年 | 2018年 |

| | |
|---------|---|
| 1. 発表者名 | 山下侑、鶴見淳人、大野雅央、藤本亮、熊谷翔平、黒澤忠法、岡本敏宏、渡邊峻一郎、竹谷純一 |
| 2. 発表標題 | 高分子半導体におけるアニオン交換を用いた新規ドーピング手法の原理の解明 |
| 3. 学会等名 | 日本物理学会2018年秋季大会 |
| 4. 発表年 | 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 熊谷翔平、岡本敏宏、石井宏幸、福崎英治、谷征夫、杉浦寛記、渡邊哲也、佐藤寛泰、山野昭人、黒澤忠法、渡邊峻一郎、竹谷純一 |
| 2. 発表標題 新奇低分子系 n 型有機半導体の電界誘起ホール効果 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 鶴見淳人、袴谷凌平、山下侑、岡本敏宏、渡邊峻一郎、竹谷純一 |
| 2. 発表標題 化学ドーピングされた有機半導体単結晶のフェルミ縮退 |
| 3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 J. Takeya |
| 2. 発表標題 Charge and Spin Dynamics in High-mobility Organic Transistors |
| 3. 学会等名 9th Electronic Structure and Processes at Molecular-based Interfaces (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 J. Takeya |
| 2. 発表標題 Materials, Physics and Devices of High-mobility Organic Semiconductors |
| 3. 学会等名 Materials Horizons Symposium: Photonics and Electronics Materials (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 J. Takeya |
| 2. 発表標題 Charge and Spin Dynamics in High-mobility Organic Semiconductors |
| 3. 学会等名 International Thin-film Transistor Workshop (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 鶴見淳人、窪孝祥、岡本敏宏、渡邊峻一郎、竹谷純一 |
| 2. 発表標題 有機半導体単結晶で両立した長スピン寿命とバンド伝導性 |
| 3. 学会等名 日本物理学会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 鶴見淳人、袴谷凌平、山下侑、岡本敏宏、渡邊峻一郎、竹谷純一 |
| 2. 発表標題 化学ドーブされた有機半導体単結晶のフェルミ縮退 |
| 3. 学会等名 日本物理学会 |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---|
| <p>Takeya/Okamoto Laboratory Organic Electronics http://www.organice1.k.u-tokyo.ac.jp/ 東大新領域 竹谷研究室 http://www.organice1.k.u-tokyo.ac.jp/</p> |
|---|

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 | 渡邊 峻一郎 (Watanabe Shunichiro) (40716718) | 東京大学・大学院新領域創成科学研究科・特任准教授 (12601) | |