

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：63903
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2017～2019
課題番号：17H02768
研究課題名(和文)有機単結晶エレクトロニクス

研究課題名(英文)Organic single crystal

研究代表者

平本 昌宏 (Hiramoto, Masahiro)

分子科学研究所・物質分子科学研究領域・教授

研究者番号：20208854

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：有機半導体においては、ドーピングした有機単結晶自体の作製はもとより、そのホール効果が測定された例もなかった。今回、有機単結晶成長技術と、1秒当たり10億分の1ナノメートルの極超低速蒸着技術で、1ppmの極低濃度でドーピングしたルブレン有機単結晶を作製し、ホール効果シグナルを検出することに世界で初めて成功した。その結果、有機単結晶のドーピング効率は24%と、同じ物質のアモルファス膜の1%にくらべて格段に高性能であることが分かった。以上は、高性能の有機単結晶太陽電池などの有機単結晶デバイスという新しい分野の扉を開く成果である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機単結晶の研究を進展させることで、これまでの有機薄膜では研究できなかった、ドーパントの存在状態、キャリア発生、キャリア散乱などのドーピングの本質的なメカニズムが明らかになり、ドーピング有機単結晶を用いた、有機単結晶太陽電池、有機単結晶EL、などの有機単結晶デバイスが作製できるようになる。今回の成果は、有機単結晶エレクトロニクスという新分野の扉を開いたと考えることができる。シリコン単結晶エレクトロニクスと並列する有機単結晶エレクトロニクスが社会に応用される端緒になる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Measuring the Hall effect in doped inorganic single crystals is a standard technique to separately and simultaneously determine the carrier concentration per unit volume (N , cm^{-3}) and the mobility (μ). However, these measurements have not yet been conducted on bulk-doped organic single crystals. Here, we measure the Hall effect in bulk-doped single-crystal organic semiconductors. This approach enables us to investigate the doping effects and dopant-induced structural disorder. High ionization rates and scattering effects from lattice disturbances, which were peculiar for organic single crystals, were observed. The present results can be regarded as a breakthrough in the field of organic semiconductor physics, which allows the text book interpretation based on solid-state physics.

研究分野：有機半導体の光電物性と有機太陽電池応用

キーワード：有機単結晶エレクトロニクス ドーピング ホール効果 イオン化エネルギー 有機単結晶太陽電池
超低速共蒸着法 バンド伝導

1. 研究開始当初の背景

20世紀の無機半導体デバイスの劇的な発展は、伝導タイプをドーピングによって自由に制御すること、すなわち、pn制御技術にその基礎をおいている。申請者は、最近、有機半導体の蒸着薄膜のドーピングによる完全なpn制御技術を確立した [M. Hiramoto et al., *Electronics*, 3, 351-380, 2014.]。一方、有機単結晶は、キャリアハイウェー構造を有し、バンド伝導による $100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の超高速移動度が実現されつつある。以上の事実は、これまで誰も研究したことのない、バンド伝導有機半導体単結晶におけるドーピング効果を研究できるようになったことを意味する。また、ドーピングバンド伝導有機単結晶は、無機半導体単結晶を用いたデバイスに匹敵する性能で、有機の特長を兼ね備えた、新しいデバイスに展開できる。

2. 研究の目的

化学ドーピングしたルブレ単結晶の Hall 効果測定を初めて試み、pn制御単結晶の性能を、キャリア濃度、キャリア移動度、伝導度の観点から評価する手法を確立する。

3. 研究の方法

ルブレ単結晶は、通常の温度勾配電気炉中に石英管を設置し、窒素1気圧下の対流が起こっている条件で、成長させた。約5ミクロンの厚さで数ミル角の単結晶が得られた。電極間のギャップ幅 $50 \mu\text{m}$ の van der Pauw 型4電極端子を蒸着した。ルブレ単結晶上にルブレを 0.033 \AA/s の超低速レートで蒸着することでホモエピタキシャル層を 20 nm の厚さ成長させた。このホモエピ層にアクセプターとして働く FeCl_3 を、0, 1, 10, 50, 100, 500, 1,000 ppm の体積濃度でドーピングした。Au電極を用い、完全なオーミック接合をとるため、 FeCl_3 を 10,000 ppm 高濃度ドーピングした層を設けた。

ホモエピ層への極微量ドーピングは、共蒸着によって行なった。ホモエピ成長をさせるため、ルブレを低速(0.033 \AA/s)で蒸着する必要があるため、1,000 ppm の体積濃度でドーピングする場合も、 FeCl_3 の蒸着レートは $3.3 \times 10^{-5} \text{ \AA/s}$ の超低速レートが必要である。これは、水晶振動子膜厚計(QCM)の出力をPCに出力することで行なった。 $3.3 \times 10^{-5} \text{ \AA/s}$ の超低速レートまでモニターできた。1,000 ppm からさらに低い濃度を実現するために、蒸着源と基板との間に、回転板シャッターを設置した。開口部の幅を、1/10, 1/100, 1/1,000 にすることで、100, 10, 1 ppm のドーピング濃度を実現した。1 ppm における蒸着レートは $3.3 \times 10^{-8} \text{ \AA/s}$ の超低速で、この技術によって初めて、単結晶へのドーピングを定量的に研究できるようになった。

4. 研究成果

図1に、 FeCl_3 を 100 ppm ドーピングしたルブレをルブレ単結晶上に成長させたときの AFM 像を示す。膜厚ゼロでは、ルブレ単結晶のステップのみ観測される。膜厚を増大させていくと、六角形の結晶が、面内の方位をそろえて、同じ方向に成長していることが確認できた(膜厚 20 nm 、青破線)。面内の方位(ユニットセルの a 軸と b 軸の方向)がそろっているため、各結晶は粒界を作ることなく連結して、1枚板の単結晶として成長する。1枚のルブレ単結晶1層の厚さは、単結晶ユニットセルの c 軸の長さ、 1.3 nm に対応し、膜厚 20 nm では1枚板のホモエピ層 12 層とその上

の六角形の結晶成長領域 3 層から成る。

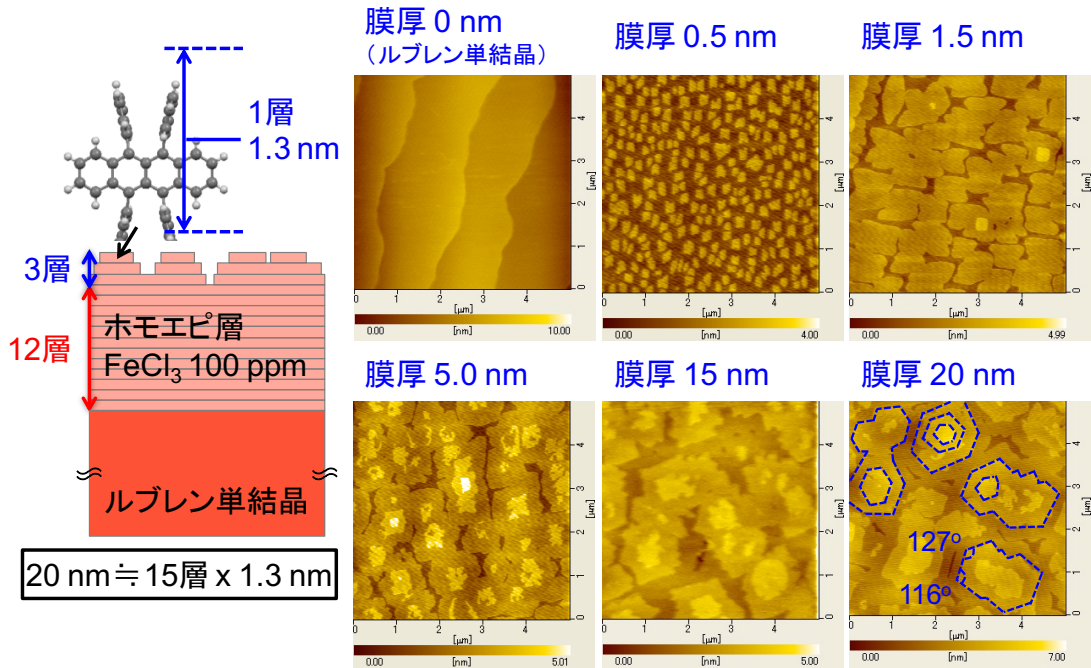


図1 FeCl₃を100 ppmドーピングしたルブレンをルブレ単結晶上に成長させたときの AFM 像。

まず、磁場と電流と電圧の方向の関係から、キャリアタイプがプラス、すなわち、正孔であることを確認した。これは、アクセプターFeCl₃をドーピングして p 型化したルブレ単結晶中に生成した正孔を測定していることを、Hall 効果によって、確認できたことを意味する。

図2に、ホモエピ層への FeCl₃ドーピング濃度を、0, 1, 10, 50, 100 ppm と増大させたときの、ホール起電圧(V_H)を示す。0, 1 ppm までは V_Hシグナルは 0.06 mV であるが、10 ppm で V_Hシグナルは 2.5 mV と 40 倍以上に急に増大し、その後、50, 100 ppm と濃度を増やすと徐々に減少した。10 ppm における急激な V_Hシグナル増大は、観測にかかっている膜厚 d に関係している。V_H = (IB/Ne)(1/d)の関係から、正孔濃度 N が求まる。なお I, B, e, d は、励起電流、磁場強度、電荷素量、観測にかかっている膜厚である。10, 50, 100 ppm にドーピング濃度を増大させると、正孔濃度 N が増大する。N は分母にあるので、N が大きくなると V_Hの減少が観測される。

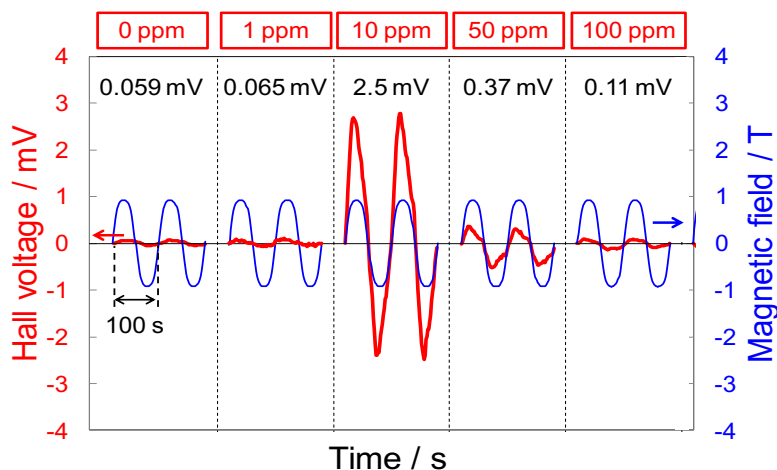


図2 ドーピング濃度による Hall 起電圧の変化。

図3の赤曲線に、正孔濃度 N の FeCl_3 ドーピング濃度依存性を示す。ルブレン分子数に対する $(\text{FeCl}_3)_2$ ドーパント分子数の Molecular ratio (分子数比) もあわせて示してある。比較のために、ホウ素(B)ドープシリコン単結晶の場合の関係を青曲線で示してある。シリコンほどキャリア濃度が増大しないのは、後述のイオン化率が小さいためと考えられる。図4に、ドーパントのイオン化率を示した。イオン化率は、ドーピング効率を表しており、ドーパント分子(原子)の個数に対する生成したキャリアの数を示している。室温において、シリコンはイオン化率 100%である。ルブレンにおいては、イオン化率は最大でも 27%(100 ppm)で、かなり小さい。イオン化率の大小は、誘電率の大小と本質的には関係している。すなわち、シリコンは誘電率が 12 と大きく、プラス(正孔)とマイナス(イオン化ドナー(B))間に働く引力が小さく、イオン化しやすい。それに対して、ルブレンは誘電率が 4 程度で、プラス(正孔)とマイナス(イオン化ドナー(FeCl_3))間に働く引力が大きく、イオン化しにくい。

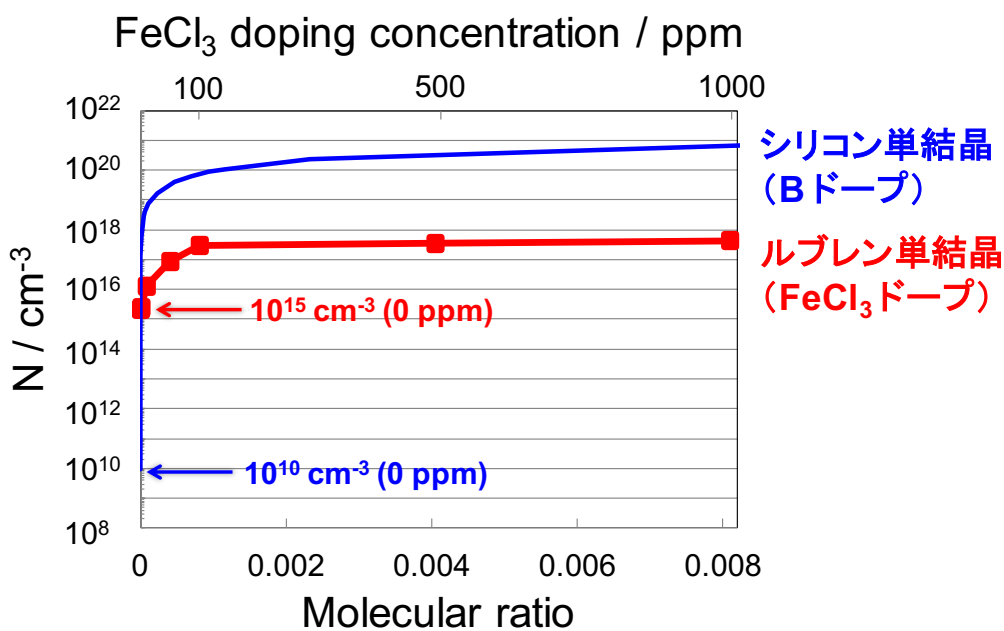


図3 正孔濃度 N の FeCl_3 ドーピング濃度依存性。

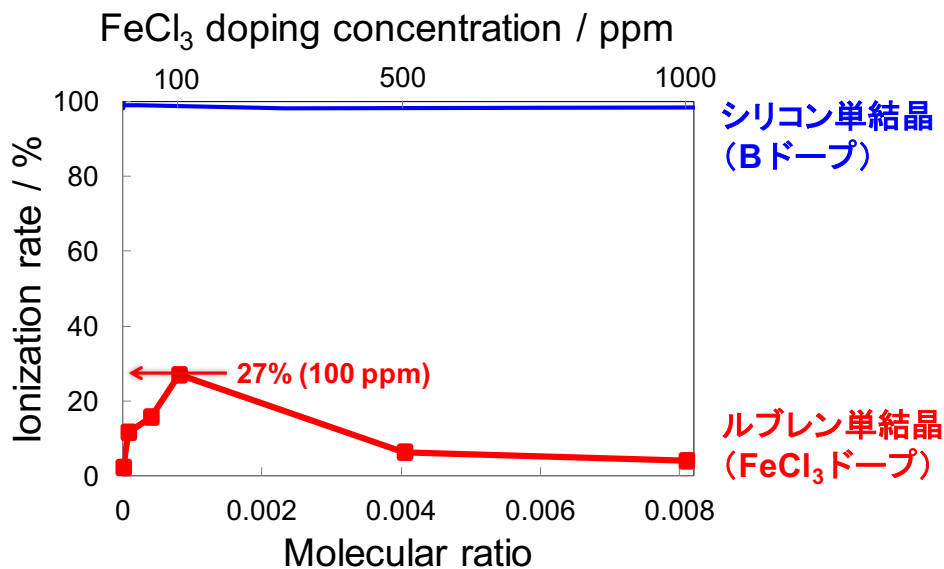


図4 ドーパントのイオン化率。

Hall 移動度 μ_H は、 $\mu_H = \sigma R_H$ の関係式から導出できる。ここで、 σ は比伝導度である。図5に、Hall 移動度のドーピング濃度依存性を示す。10 ppm より高い濃度でのゆっくりとした移動度低下は、ドナー分子による、ルブレン結晶格子の歪みの影響が現れているのではないかと推定している。化学ドーピングにおいて、0 から 10 ppm で移動度の急激な増大が起こるのは(図示している)、ルブレン結晶中または表面に存在するトラップに、ドーピングによって発生した正孔が捕獲され、トラップが見かけ上なくなり、正孔が捕獲されることがなくなり、移動度が増大したと推定している(Trap filling 効果)。

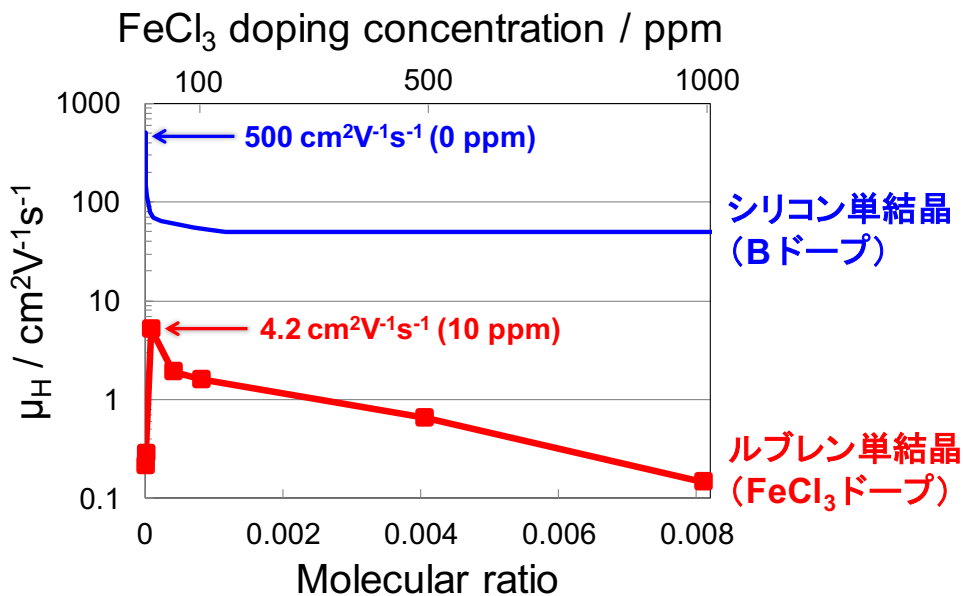


図5 Hall 移動度の FeCl₃ドーピング濃度依存性。

図3、4、5に示した結果、すなわち、有機単結晶にたいするドーピング効果は、世界で初めて観測された結果である。イオン化率や移動度の変化等の詳細は、重要な科学的原理を含んでおり、今後、詳細に解明する必要がある。

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 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Mitsuru Kikuchi, Masaki Hirota, Thidarat Kunawong, Yusuke Shinmura, Masahiro Abe, Yuichi Sadamitsu, Aye Myint Moh, Seiichiro Izawa, Masanobu Izaki, Hiroyoshi Naito, Masahiro Hiramoto	4. 巻 2
2. 論文標題 Lateral Alternating Donor/Acceptor Multilayered Junction for Organic Solar Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 2087-2093
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 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 Mitsuru Kikuchi, Sureerat Makmuang, Seiichiro Izawa, Kanet Wongravee, Masahiro Hiramoto	4. 巻 64
2. 論文標題 Doped Organic Single Crystal Photovoltaic Cell	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 92-96
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 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 Masahiro Hiramoto, Mitsuru Kikuchi, Seiichiro Izawa	4. 巻 30
2. 論文標題 Parts-per-Million-Level Doping Effects in Organic Semiconductor Films and Organic Single Crystals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 1801236
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 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 Naoto Shintaku, Masahiro Hiramoto, Seiichiro Izawa	4. 巻 122
2. 論文標題 Controlling Open-circuit Voltage in Organic Solar Cells by Impurity Doping	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 5248-5253
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 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 Naoto Shintaku, Masahiro Hiramoto, Seiichiro Izawa	4. 巻 55
2. 論文標題 Effect of trap-assisted recombination on open-circuit voltage loss in phthalocyanine/fullerene solar cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 69-74
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 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 Seiichiro Izawa, Naoto Shintaku, Masahiro Hiramoto	4. 巻 9
2. 論文標題 Effect of Band Bending and Energy Level Alignment at the Donor/Acceptor Interface on Open-Circuit Voltage in Organic Solar Cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 2914-2918
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 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 Mitsuru Kikuchi, Kenichiro Takagi, Hiroyoshi Naito, Masahiro Hiramoto	4. 巻 41
2. 論文標題 Single Crystal Organic Photovoltaic Cells Using Lateral Electron Transport	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 118 ~ 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1016/j.orgel.2016.12.001	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 Chika Ohashi, Seiichiro Izawa, Yusuke Shinmura, Mitsuru Kikuchi, Seiji Watase, Masanobu Izaki, Hiroyoshi Naito, Masahiro Hiramoto	4. 巻 29
2. 論文標題 Hall effect in bulk-doped organic single crystal	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 1605619 (6pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.201605619	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 Naoto Shintaku, Seiichiro Izawa, Kenichiro Takagi, Hiroyoshi Naito, Masahiro Hiramoto	4. 巻 50
2. 論文標題 Hole-and electron-only transport in ratio-controlled organic co-deposited films observed by impedance spectroscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 515 ~ 520
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2017.08.020	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31件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Masahiro Hiramoto
2. 発表標題 Bandgap Science for Organic Solar Cells
3. 学会等名 The 2nd IMS-NANOTEC Joint Research Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Hiramoto
2. 発表標題 Hall effect in bulk-doped organic single crystals
3. 学会等名 24th World Nano Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Hiramoto
2. 発表標題 Hall Effect in Bulk-doped Organic Single Crystals
3. 学会等名 E-MRS (Europe Materials Research Society) Spring Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Hiramoto
2. 発表標題 Hall Effect in Bulk-doped Organic Single Crystals
3. 学会等名 Innovative Material Science & Nanotechnology Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Hiramoto
2. 発表標題 Hall Effect in Bulk-doped Organic Single Crystals
3. 学会等名 Thin Films 2018. The 9th International Conference on Technological Advances of Thin Films & Surface Coatings (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 JiHyun Lee, Seiichiro Izawa, Masahiro Hiramoto
2. 発表標題 Material Investigation for Efficient Organic pn Homojunction Solar Cell
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 菊地 満、伊澤誠一郎、平本昌宏
2. 発表標題 表面ドーブルブレン単結晶のキャリア生成における低活性化エネルギー
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 伊澤誠一郎、Perrot Armand、Lee Ji-Hyun、平本昌宏
2. 発表標題 pnホモ接合有機太陽電池
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 平本昌宏、伊澤誠一郎
2. 発表標題 高移動度有機半導体を用いた有機太陽電池
3. 学会等名 有機エレクトロニクス研究会「有機材料・薄膜、有機デバイス一般」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平本昌宏
2. 発表標題 量子解放電子 有機単結晶におけるキャリア生成と再結合
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 伊澤誠一郎、新宅直人、菊地 満、平本昌宏
2. 発表標題 バンド伝導材料による有機太陽電池の開放端電圧ロスの抑制
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 菊地 満、Makmuang Sureerat、伊澤誠一郎、平本昌宏
2. 発表標題 ドーピングブレンド単結晶光起電力セル
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 Masahiro Hiramoto (Oral Presentation)
2. 発表標題 Effects of Impurity Doping at ppm Level in Photovoltaic Organic Semiconductors
3. 学会等名 E-MRS (Europe Materials Research Society) Spring Meeting 2017, Symposium L (New materials for organic electronics: from synthesis to processing, characterization and device physics) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Mitsuru Kikuchi, Kenichiro Takagi, Hiroyoshi Naito, Masahiro Hiramoto (Poster Presentation)
2. 発表標題 Single Crystal Organic Photovoltaic Cells Using Lateral Electron Transport
3. 学会等名 E-MRS (Europe Materials Research Society) Spring Meeting 2017, Symposium L (New materials for organic electronics: from synthesis to processing, characterization and device physics) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Hiramoto
2. 発表標題 Band Gap Science for Organic Solar Cells
3. 学会等名 16th World Nano Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Hiramoto
2. 発表標題 Effects of Impurity Doping at ppm Level in Photovoltaic Organic Semiconductors
3. 学会等名 EMN Bali Meeting 2017, Energy Materials Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Hiramoto
2. 発表標題 Session 402: Metals, Semiconductors, and Junction Device, "pn-Control of Organic Semiconductors and Application to Organic Solar Cells"
3. 学会等名 BIT's 7th Annual World Congress of Nano Science & Technology-2017 "Welcome to a New Era of Nano-Level" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Hiramoto
2. 発表標題 Hall effect in Bulk-Doped Organic Single Crystals
3. 学会等名 9th Electronic Structure and Processes at Molecular-Based Interfaces (ESPMI 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Hiramoto
2. 発表標題 Effects of Impurity Doping at ppm Level in Photovoltaic Organic Semiconductors
3. 学会等名 The 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-27) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Kikuchi, K. Takagi, H. Naito, M. Hiramoto
2. 発表標題 Single Crystal Organic Pyotovoltaic Cells Using Lateral Electron Transport
3. 学会等名 The 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-27) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Shintaku, S. Izawa, K. Takagi, H.Naito, M. Hiramoto
2. 発表標題 Hole- and Electron -only Transport in Ratio-Controlled Oragnic Co-deposited Films Observed by Impedance Spectroscopy
3. 学会等名 The 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-27) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Hiramoto
2. 発表標題 Hall Effect in Bulk-Doped Organic Single Crystals
3. 学会等名 2017 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菊地 満、Aya Myint Moh, 阿部正宏、貞光雄一、内藤裕義、伊崎昌伸、平本昌宏
2. 発表標題 高移動度有機単結晶膜を用いたD/A超格子型有機太陽電池
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菊地 満、Rai Nitish, 伊澤誠一郎、平本昌宏
2. 発表標題 表面ドーピングしたルブレン単結晶におけるホール効果
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新宅直人、伊澤誠一郎、内藤裕義、平本昌宏
2. 発表標題 インピーダンス分光法によるH ₂ Pc:C60共蒸着膜の正孔・電子輸送の観測
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊澤誠一郎、菊地 満、新宅直人、平本昌宏
2. 発表標題 ドナー/アクセプター界面の結晶性が有機薄膜太陽電池の開放電圧に与える影響
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新宅直人、伊澤誠一郎、平本昌宏
2. 発表標題 不純物ドーピングが二層型有機太陽電池性能に与える影響
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新宅直人、伊澤誠一郎、平本昌宏
2. 発表標題 不純物ドーピングによる有機太陽電池の開放端電圧の制御
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 伊澤誠一郎、新宅直人、平本昌宏
2. 発表標題 膜中のバンドの曲がり方が有機太陽電池の開放端電圧に与える影響
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 Sureerat Makmuang, Mitsuru Kikuchi, Seiichiro Izawa, Masahiro Hiramoto
2. 発表標題 Rubrene Single Crystal Photovoltaic Cells Using Lateral Carrier Transport
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 菊地 満、伊澤誠一郎、平本昌宏
2. 発表標題 表面ドーブルブレン単結晶のドーピング効率
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

〔図書〕 計4件

1. 著者名 伊澤誠一郎、平本昌宏	4. 発行年 2019年
2. 出版社 一般社団法人 レーザー学会	5. 総ページ数 5ページ (151-155)
3. 書名 レーザー研究 「表面構造及び界面制御された太陽電池の最新動向」特集号	

1. 著者名 Masahiro Hiramoto	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Eds. S. Kasap, P. Capper, Springer International Publishing AG, Switzerland	5. 総ページ数 100ページ (1239-1338)
3. 書名 "Organic Solar Cells"	

1. 著者名 Masahiro Hiramoto	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Modest Voronov, NOVA Science Publishers, Inc. New York	5. 総ページ数 50ページ (1-50)
3. 書名 Effects of Impurity Doping at ppm Level in Photovoltaic Organic Semiconductors", The book "Organic Solar Cells: Advances in Research and Applications"	

1. 著者名 Masahiro Hiramoto	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Stuart A. Rice, Aaron R. Dinner, John Wiley & Sons	5. 総ページ数 68ページ (137-204)
3. 書名 Energetic and Nanostructural Design of Small-Molecular-Type Organic Solar Cells", The book "Advances in Chemical Physics"	

〔産業財産権〕

〔その他〕

分子科学研究所・平本研究室のホームページ
https://groups.ims.ac.jp/organization/hi ramoto_g/

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