

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06037

研究課題名(和文) 独自形成法が創出する有機ナノ単結晶デバイス

研究課題名(英文) Nanocrystalline devices created by unique fabrication methods

研究代表者

長谷川 裕之 (Hasegawa, Hiroyuki)

島根大学・学術研究院教育学系・准教授

研究者番号：10399537

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、独自のデバイス作製法である「ナノ電解法」と「光誘起導電性結晶成長法」によって、微小スケール単結晶の作製、新機能の発現とデバイス化を目指した。ナノ電解法において各種有機ナノ単結晶の位置選択的作製が可能であることが示され、2端子デバイスとしての応用の可能性が示された。特性評価では、電流-電圧特性の電場依存性(電界効果)の評価を行い、弱いながら外部電場に依存する結果が得られた。光機能デバイスについては、光電変換特性が測定可能であることが示された。また、材料設計による電子物性制御の可能性を検討し、対成分の調製によって導電性の制御が可能であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題で用いるナノ電解法、光誘起導電性結晶成長法は研究代表者、研究分担者らによって開発された独自技術である。これらの独自技術は液中、大気圧下で行うことが出来る、省資源・省エネルギーな低環境負荷プロセスであり、次世代の革新的デバイス製造技術として社会に高いインパクトを与えるものと期待される。本課題は有機微小単結晶を利用したデバイスという点でも特異な研究である。単結晶であることから、粒界抵抗のないスムーズな電子の移動が可能で、省電力・高性能化が期待される。単結晶で理論的な解釈が容易であることから微小スケール有機デバイスの物性解明に大きくインパクトを与えられるものと期待される。

研究成果の概要(英文)：In this research, we tried to create a microscale single crystal, develop new functions, and create a device by using our unique device manufacturing methods, the “nanoscale electrocrystallization” and the “photoinduced conductive crystal growth method”. In the nanoscale electrocrystallization, it was shown that it is possible to fabricate organic nanocrystals with various donor/acceptor materials, and to apply the nanocrystals as two-terminal devices. In the characteristic evaluation, the electric field dependence of the current-voltage characteristics was evaluated. In the characteristics, weak field effect which is depended on the external electric field were obtained. In optical functional devices, it has been shown that the photoelectric conversion characteristics can be measured. In addition, the possibility of controlling the electronic properties by material design was examined, and it was shown that the conductivity could be controlled by adjusting the counter component.

研究分野：物性化学

キーワード：ナノ電解法 ナノ単結晶 有機導電体 電解結晶成長 光結晶成長

1. 研究開始当初の背景

現代の情報通信基盤技術として電子デバイスは不可欠である。これらデバイスの製造には現在、真空や高温などの高エネルギー消費プロセスが用いられている。しかしながら、低環境負荷化などエネルギーや資源の消費削減が求められている現代において、製造プロセスにも原理や技術の革新が求められている。そのような中、低環境負荷な作製が可能な材料として有機デバイスが注目されて久しいが、高性能化が課題で、単結晶を用いることが有効であるとされている。しかしながら、有機単結晶材料は加工性が悪いうえ、熱的不安定性から通常の半導体素子作製プロセスの適用は難しい。このようなことから、有機材料を単結晶のままデバイスに利用可能な技術が求められている。

研究代表者はこれまでの研究で、ナノ単結晶を電極間にピンポイントで作成することの出来る独自の手法「ナノ電解法」を開発した(図1)。電解結晶成長法を基にしたこの手法は、液中、大気圧下で材料作製が可能で、作製時の消費電力も僅かな低環境負荷プロセスである。一方、研究分担者らは、光照射によって、電極を用いずに導電性結晶を成長させる独自の手法「光誘起導電性結晶成長法」を開発した(図2)。この手法は、構成成分の光吸収能力を利用し、励起した電子を異種の分子へ伝達させることで酸化還元を施し、結晶成長させるものである。結晶成長には電力は不要で、究極の低環境負荷プロセスである。

これらの手法では、微小スケールの単結晶を簡便な手法で得ることができる。規則構造を持つ微小スケール単結晶をそのままデバイスに利用できれば、粒界等の影響のないスムーズなキャリアの移動を可能とし、作製時だけでなく、デバイス動作時の省電力化も期待される。

そこで本課題では、有機単結晶デバイスの新たな製造技術を確立することを目的に、(i) デバイス作製を指向した有機微小単結晶作製技術の開発、及び(ii) 高性能・高機能デバイスの創出の2つを戦略目標に研究展開することで、次世代の省エネルギー・低環境負荷な手法による有機単結晶デバイス製造プロセスの確立とその有機単結晶デバイスの高性能化・高機能化を目指した。

2. 研究の目的

前述の背景を踏まえ、本課題では以下の戦略目標に従って課題の解決を目指した。

(i) デバイス作製を指向した有機微小単結晶作製技術の確立

デバイス製造技術への応用を視野に、微小単結晶の作製プロセスを利用したデバイス構造の作製を行なった。各種有機ドナー、アクセプタ分子を用いた微小結晶の成長機構の解析と最適化によってデバイス作製手法として確立を目指した。ナノ電解法では作製位置の制御に加え、

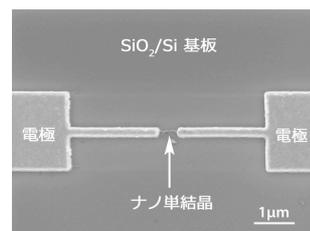
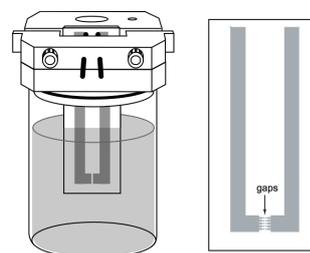


図1：ナノ電解法
電極間へナノ単結晶をピンポイントで作製可能な手法。

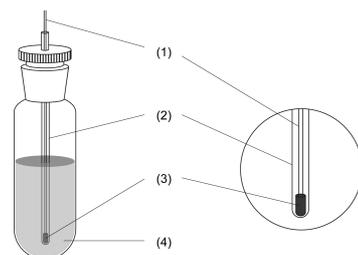


図2：光誘起導電性結晶成長法セル
(1) LED電極, (2) 結晶成長セル, (3) LED (発光ダイオード), (4) 出発原料溶液。

3つの電子状態（金属，Mott 絶縁体，バンド絶縁体）を持つナノ単結晶の作製が可能であり，対象となるデバイスに最適な電子状態の材料を作り分けた。光誘起導電性結晶成長法では，結晶成長可能な分子の組み合わせを検討し，光照射部位の制御による位置選択性向上の実現を目指した。

(ii) 高性能・高機能デバイスの創出

ターゲットとするデバイスは，電子機能デバイス，磁気機能デバイス，光機能デバイスの3種である。ナノ電解法ではピンポイントでの位置選択型結晶成長が可能であることから，これまでに手掛かりの得られているトランジスタや磁気応答素子の高機能化を試みた。光誘起導電性結晶成長法では，ガラス基板や透明電極上への一様な結晶成長が可能であることから，光電変換素子などの光機能デバイス構造の作製を中心に試みた。作製したデバイスは，取り出した後，基板を洗浄，乾燥後そのまま用いて物性を評価可能である。得られた結果から構造と物性の相関を検討することにより，特性向上の方策を探った。

3. 研究の方法

先の戦略目標に従い，研究計画は，①材料設計と合成，②デバイス構造の作製に適した結晶作製条件の検討，③デバイスの電子・磁気・光特性評価に沿って進めた。電子機能に優れた有機導電体材料における指針を基に分子設計を行い，本課題の独自形成法に適した電気化学的条件を検討し，デバイス作製と機能評価を行った。各項目の実施については，相互に連携しながら進めた。

① 材料設計と合成

本課題では，絶縁体から金属・超伝導まで多様な電子特性を持つ有機導電体材料の中から，目的とする素子の機能に合致した電子構造の材料を選び，ナノ単結晶の作製が可能である。利用する物理現象を勘案しつつ，適切な出発物質の設計・選定を行った。各種ドナー・アクセプタの中から最適な電子構造を持つ材料を選び出し，微小単結晶作製に用いた。

ナノ電解法では，各種有機ドナー，アクセプタ類等を基に材料設計を行った。光誘起導電性結晶成長法においては，これまでに微小単結晶作製の手掛かりが得られたポルフィリン・フタロシアニン類塩を用いた。この材料は研究分担者により開発された磁気機能の導入も可能な材料で，バルク結晶の物性が既に明らかにされた。磁性・非磁性の微小単結晶を作製して磁気機能導入の効果を比較検討した。これまで実績のある中心金属がスピンを持つ金属錯体類（フタロシアニン類等）を適用した。

これに加えて，材料設計による電子構造への効果を調べる目的で，有機・無機複合材料中での構成成分の調製を行った。異種元素のドーピングによって有機・無機ハイブリッドペロブスカイト材料の構成成分の種類と濃度を連続的に変化させた試料を作製した。

② デバイス構造の作製に適した結晶作製条件の検討

微小化が求められるトランジスタ・磁気機能デバイスには位置選択型の，大面積化が求められる光電変換等の光機能デバイスには平面均質型の成長様式が必要となる。そこで各々の成長様式に適した結晶成長条件を検討した。

(i) 位置選択型成長条件の検討

微小化が求められるトランジスタ・磁気機能デバイスでは、ピンポイントでの作製が求められる。そこでリソグラフィで基板上にギャップ電極を作製し、ナノ電解法の交流の電解によってナノ単結晶による架橋構造を作製した。一方、インクジェット法でもギャップ電極を作製し、真空装置を要しない省エネルギーなプロセスに向けた実証も行った。また、光誘起導電性結晶成長法でも光照射範囲の制限による位置選択作製を試みた。材料毎に成長条件の最適化を行った。

(ii) 平面均質型成長条件の検討

大面積化が求められる光電変換素子のような光機能デバイスには基板表面に一様な結晶成長が必要であるため、ナノ電解法では直流電解も利用し、電解条件の検討を行う。光誘起導電性結晶成長法では光照射で一様な結晶成長が可能な条件を検討する。光機能デバイスに最適な構造となるための電解条件、電極構造、光照射条件等を検討した。電気分解条件（電流電圧、電解時間）あるいは光結晶成長条件（光照射強度、照射時間）の最適化を行った。

(i), (ii)とも得られた微小単結晶は電子顕微鏡を用いて成長状態を確認し、必要に応じ制限視野電子線回折等の手法で微小単結晶中の分子配列を確認した。

③ デバイスの電子・磁気・光特性評価

トランジスタ・磁気機能デバイスでは、電気分解によりナノ単結晶が架橋している電極をソース・ドレイン電極としてそのまま利用し特性評価した。電流-電圧特性の評価により、素子構造の妥当性を検証した。適宜電子特性の温度依存性等で材料の基礎電子物性を明らかにした。磁気機能デバイスにおいては、磁場効果についても検討した。一方、光機能デバイスでは、光電変換素子を試作し、吸光特性の評価等、基礎光学特性と電気特性の相関の評価を中心に行った。磁場・電場双方の電子特性への効果も検討するため、電界効果磁化スイッチング特性の測定を行った。光機能デバイスについては、光電変換素子を作製し機能評価を行った。有機・無機複合材料中での対成分の調製による電子構造への効果については、異種元素のドーピングによって有機・無機ハイブリッドペロブスカイト材料の構成成分の種類と濃度を連続的に変化させた試料を用い、結晶構造解析、拡散反射スペクトル、電子特性を行った。

4. 研究成果

3つの研究項目 ①材料設計と合成、②デバイス構造の作製に適した結晶作製条件の検討、③デバイスの電子・磁気・光特性評価について研究を進めた結果、全体の実施事項と成果は次の通りであった。

① 材料設計と合成

磁性・非磁性の微小単結晶を作製して磁気機能導入の効果を比較検討した。ナノ電解法による微小単結晶作製では、フタロシアンニン類に加え、テトラチアフルバレン (TTF) やテトラシアノキノジメタン (TCNQ) 等の各種ドナー・アクセプタの中から最適な電子構造を持つ材料を設計・選択した。光誘起導電性結晶成長法においては、ジシアノ金属テトラベンゾポルフィリンアニオン塩を設計、合成して用いた。これに加えて、材料設計による電子構造への効果を調べる目的で、異種元素のドーピングによって有機・無機ハイブリッドペロ

ブスカイト材料の構成成分の種類と濃度を連続的に変化させた試料作製を試みたところ、一定割合までは連続的なドーピングが可能であることが分かった。

② デバイス構造の作製に適した結晶作製条件の検討

(i) 位置選択型成長条件の検討

トランジスタや磁気機能デバイスへの応用に向けたピンポイントでの作製の検討では、まずリソグラフィで基板上にギャップ電極を作製し、ナノ電解法の交流の電解によってナノ単結晶による架橋構造を作製した。前項目のフタロシアニン類及びドナー・アクセプタとして、TTFやTCNQに加え、ビス(エチレンジチオ)テトラチアフルバレン(BEDT-TTF)やテトラメチルテトラセナフルバレン(TMTSF)等を出発原料に用い、ドナー・アクセプタ類については、電気化学的酸化還元によって対成分(イオン)を必要とするため、支持電解質として、過塩素酸塩、硝酸塩、テトラフルオロホウ酸塩、ヘキサフルオロリン酸塩等を用いた。いずれのドナー・アクセプタからもナノスケール材料が得られることが分かった。多くはナノスケールの結晶性材料であったが、TCNQにおいてはナノファイバーが得られることが分かった。いずれの材料においても、交流の電解によってギャップ中への位置選択的な成長が可能であることを明らかにした。

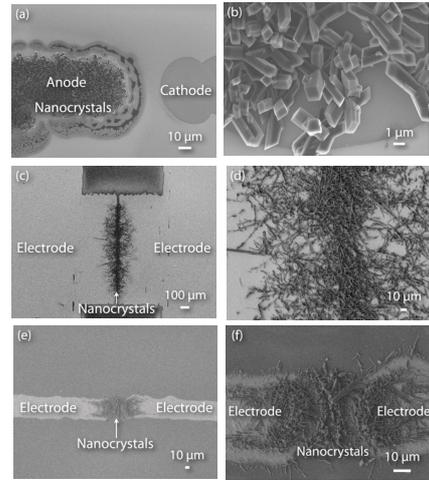


図3：印刷電極を用いたナノ単結晶作製

(a) 直流電解 (c) 交流電解 (平行対向電極), (e) 交流電解 (マルチギャップ電極), (b), (d), (f)は(a), (c), (e)の拡大図を示す。

(ii) 平面均質型成長条件の検討

ナノ電解法では、直流電解を利用し、電極上への均質な結晶成長条件の検討したところ、フタロシアニン系材料において電極表面上への一様な成長が確認された。一方、光誘起導電性結晶成長法でもテトラベンゾポルフィリン系材料を用いた光照射によって一様な結晶成長が可能であることを明らかにした。

③ デバイスの電子・磁気・光特性評価

トランジスタ・磁気機能デバイスでは、電気分解によりナノ単結晶が架橋している電極をソース・ドレイン電極としてそのまま利用し特性評価した。電流-電圧特性の評価により、素子構造の妥当性を検証した。また、電流-電圧特性の電場依存性(電界効果)の評価を行い、弱いながら外部電場に依存する結果が得られた。光機能デバイスでは、光電変換素子の作製し、光電変換特性を測定することができた。まだ十分な光電変換特性は得られなかったが、素子作製が可能であることが示され、今後の展開を期待させる成果が得られた。有機・無機複合材料中での対成分の調製による電子構造への効果については、今回調べた異種元素のドーピング濃度の範囲では、結晶構造、バンドギャップ、キャリア濃度は変化しないが、電子特性から伝導性は下がることを明らかにした。対成分を上手く調製することによって導電性の制御が可能であることが示され、今後のナノ単結晶の設計に有用な手掛かりが得られた。

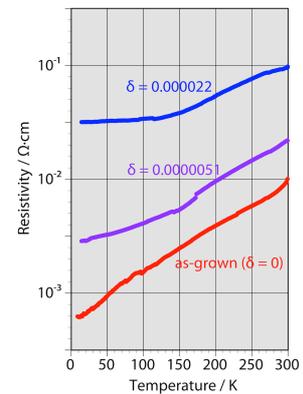


図4：異種元素ドーピング量による比抵抗の温度依存性の違い

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kobayashi Keisuke, Hasegawa Hiroyuki, Takahashi Yukihiro, Harada Jun, Inabe Tamotsu	4. 巻 2
2. 論文標題 Electronic properties of tin iodide hybrid perovskites: effect of indium doping	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Chemistry Frontiers	6. 最初と最後の頁 1291 ~ 1295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7qm00587c	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 Hiroyuki Hasegawa*	4. 巻 9
2. 論文標題 Inkjet printing and nanoscale electrocrystallization: Complete fabrication of organic microcrystals-based devices under ambient conditions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Materials Today	6. 最初と最後の頁 487-492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apmt.2017.09.011	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 Keisuke Kobayashi, Hiroyuki Hasegawa*, Yukihiro Takahashi, Jun Harada, Tamotsu Inabe*	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Electronic properties of tin iodide hybrid perovskites: effect of indium doping	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Chemistry Frontiers	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7qm00587c	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 M. Nishi, R. Ishii, M. Ikeda, N. Hanasaki, N. Hoshino, T. Akutagawa, M. Sumimoto, M. Matsuda	4. 巻 47
2. 論文標題 An electrically conducting crystal composed of an octahedrally ligated porphyrin complex with high-spin iron(III)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 4070-4075
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7dt04649a	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 R. Ishii, H. Murakawa, M. Nishi, H. Sakai, M. Matsuda, N. Hanasaki	4. 巻 487
2. 論文標題 Electrochemical synthesis of phthalocyanine-molecular mixed crystals in a dilute solution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Crystal Growth	6. 最初と最後の頁 92-95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.crysgro.2018.02.023	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 A. Matsumoto, N. Hoshino, T. Akutagawa, M. Matsuda	4. 巻 7
2. 論文標題 N-type semiconducting behaviour of copper octafluorophthalocyanine in an organic field-effect transistor	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app7111111	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 K. Torizuka, Y. Uwatoko, M. Matsuda, G. Yoshida, M. Kimata, T. Tajima	4. 巻 86
2. 論文標題 Weak-ferromagnetic response of d electrons, and antiferromagnetic response of electrons in TPP[Mn(Pc)(CN)2]2 in torque magnetometry experiments	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.114709	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. Nozoe, M. Matsuda	4. 巻 7
2. 論文標題 Enhanced Emission by Accumulated Charges at Organic/Metal Interfaces Generated during the Reverse Bias of Organic Light Emitting Diodes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app7101045	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 M. Matsuda,* S. Iwamura, Y. Hamada, H. Ohishi, M. Nishi, Y. Nogami, M. Ikeda, A. Kanda, Y. Funasako, T. Mochida, A. Nakao, N. Hanasaki	4. 巻 46
2. 論文標題 A new strategy for inducing dipole moments in charge-transfer complexes: Introduction of asymmetry into axially ligated iron phthalocyanines	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 11800-11805
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7dt02605f	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 M. Matsuda,* G. Yoshida, J-i. Yamaura, T. Inane, T. Tajima	4. 巻 46
2. 論文標題 The magnetoresistance effect in a conducting molecular crystal consisting of dicyano(phthalocyaninato)manganese(III)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 1892-1897
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c6dt04481f	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13件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Hiroyuki Hasegawa
2. 発表標題 Nanoscale Electrocrystallization: A Site-Selective Electrochemical -Figuration of Nanocrystals for Electronic Devices
3. 学会等名 233rd ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川 裕之
2. 発表標題 ナノ電解法による位置選択的ナノ単結晶作製とデバイス化(3)
3. 学会等名 応用物理学会第79秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川 裕之, 浦林 達也, 大井 鞠花
2. 発表標題 ナノ電解法を用いたナノ単結晶作製における材料効果
3. 学会等名 2018年度 材料技術研究協会討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hasegawa, Hiroyuki, Matsuda, Masaki
2. 発表標題 Site-selective fabrication of nanocrystal-based electromagnetic devices using nanoscale electrocrystallization
3. 学会等名 13th International Conference on Materials Chemistry (MC13) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長谷川裕之
2. 発表標題 ナノ電解法による位置選択的ナノ単結晶作製とデバイス化
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 長谷川裕之
2. 発表標題 ナノ電解法による位置選択的ナノ単結晶作製とデバイス化(2)
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 Hiroyuki Hasegawa
2. 発表標題 Site-selective electrochemical μ -figureation: Electromagnetic Device Fabrication Using Nanoscale Electrocrystallization
3. 学会等名 p-System Figureation German-Japanese Workshop Heidelberg (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長谷川裕之
2. 発表標題 ナノ電解法によるナノ単結晶デバイス作製技術
3. 学会等名 2017年材料技術研究協会討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西 美樹、松田真生、石井 龍太、花咲 徳亮、星野 哲久、芥川 智行、隅本 倫徳
2. 発表標題 六配位型鉄テトラベンゾポルフィリンを構成成分とする d -系分子性伝導体の巨大な負の磁気抵抗効果を制御する分子設計
3. 学会等名 日本化学会第98春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西 美樹、石井 龍太、花咲 徳亮、星野 哲久、芥川 智行、松田 真生
2. 発表標題 巨大負磁気抵抗を示す軸配位型鉄ポルフィリン伝導体
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 Miki Nishi, Ryuta Ishii, Noriaki Hanasaki, Horihiisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa, Masaki Matsuda
2. 発表標題 Iron Tetrabenzoporphyrin-Based Conductors Exhibiting the Giant Negative Magnetoresistance Effect
3. 学会等名 The 12th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaki Matsuda, Miki Nishi, Hiroyuki Hasegawa, Norihisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa
2. 発表標題 New fabrication method for CT complex crystals by photoirradiation
3. 学会等名 The 12th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Miki Nishi, Norihisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa, Ryuta Ishii, Noriaki Hanasaki, Masaki Matsuda
2. 発表標題 Correlation between pi-conduction electron and d-localised spin in axially-ligated iron tetrabenzoporphyrin
3. 学会等名 13th International Conference on Material Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Klaus D. Sattler (editor), Hiroyuki Hasegawa et. al. (author)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 496
3. 書名 21st Century Nanoscience - A Handbook: Design Strategies for Synthesis and Fabrication (Volume Two)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	松田 真生 (Matsuda Masaki) (80376649)	熊本大学・大学院先端科学研究部(理)・教授 (17401)	