

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：73903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05506

研究課題名(和文) 電界ドーピングによる有機半導体薄膜のキャリア制御と物性発現

研究課題名(英文) Development of novel electronic properties of organic semiconductor thin films by field-effect doping and their characterization

研究代表者

黒田 新一 (Kuroda, Shin-ichi)

公益財団法人豊田理化学研究所・フェロー事業部門・フェロー

研究者番号：20291403

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：有機トランジスタ構造によりチエノチオフェン系の高移動度有機半導体中に電界ドーピングされたキャリアを主な対象として、電子スピン共鳴(ESR)と伝導測定を同時に用いることにより有機半導体材料の電子状態や伝導機構を解明した。特にアルキル側鎖を有する代表的な低分子材料C8-BTBTでは、ESR信号の超微細相互作用による線幅の観測から、100分子に及ぶキャリア波動関数の空間広がりをはじめて明らかにし、この系のバンドの伝導特性や高い結晶性をマイクロに裏付けることに成功した。また高移動度高分子材料PBTTTではイオン液体による高濃度のキャリア注入による金属状態を電気伝導や磁気抵抗測定から明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機半導体は有機トランジスタなどのフレキシブルな薄膜デバイスの素材として注目される。移動度などの性能向上には有機半導体中のキャリアのマイクロなレベルでの理解が不可欠である。本研究でのESR法により、チエノチオフェン系分子性半導体でのキャリア波動関数の広がり、従来の材料よりも格段に大きくバンド的伝導性と良く符合することを示した結果は、平面性の高いチエノチオフェン核とアルキル鎖を効果的に組み合わせた分子構造が高移動度材料の設計指針として有効なことを示し、大きな波及効果をもつ。また、チエノチオフェン系高分子半導体の高濃度ドーピングでは良好な金属特性を発現することも示し熱電材料の開発にも寄与している。

研究成果の概要(英文)：By using electron spin resonance (ESR) together with conduction measurements, the electronic states and conduction mechanism of the organic semiconductor materials were investigated mainly by probing the field-induced charge carriers in the transistor structures of the thienothiophene-based high-mobility organic semiconductors. In particular, for the typical molecular semiconductor based on C8-BTBT having alkyl side chains, the spatial extent of the carrier wave function over 100 molecules was clarified for the first time from the observed hyperfine-determined ESR linewidth. The observed large extent microscopically supports the band-like transport mechanism and is consistent with the high crystalline order of the system. In PBTTT, a high-mobility polymer material, the evolution of the metallic state due to high carrier injection by ionic liquid was confirmed from the dc conductivity and magnetoresistance measurements.

研究分野：固体物性、磁気共鳴、有機エレクトロニクス

キーワード：キャリアドーピング 有機半導体 電子スピン共鳴 波動関数 DFT計算 導電性高分子 絶縁体 - 金属転移

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

最近の高移動度有機半導体の開発により有機トランジスタなどのフレキシブルな薄膜デバイスの研究が盛んである。移動度などの性能の向上には、有機半導体中の電荷キャリアに関するミクロな知見が不可欠である。研究代表者らは、有機トランジスタ中に注入されたキャリアを直接検出する新しい手法として電場誘起 ESR (Field-induced ESR、FI-ESR と略) の開発に成功し、キャリアの電子状態やダイナミクス、局所的な分子配向などを明らかにしてきた。特に硫黄原子を含むチエノチオフェン系材料は結晶性が高く高性能材料として重要である。低分子系ではアルキル鎖を含む誘導体 C₈-BTBT や C₁₀-DNTT はバンド的な伝導性を示し盛んに研究されているが、FI-ESR により、極低温でも結晶グレイン内ではキャリアが運動していることを初めて示した。一方、高分子系では、チエノチオフェン系の代表的な高移動度高分子である PBTTT に対して、イオン液体を用いたトランジスタ構造を使用して高濃度域までのキャリア注入を行い FI-ESR と電気伝導測定を行った結果、高分子のキャリアがポーラロンから非磁性のバイポーラロンを経て金属転移に至る過程を明瞭に観測することに初めて成功していた。

他方、これまでの研究で未解明の問題として、低分子系の ESR ではバンド的伝導性を示す上で極めて基本的で重要な物理量である、キャリア波動関数の空間広がりがある。この量の決定にはキャリアの運動が凍結した状態の信号を観測する必要があるが、上記のように極低温でも存在するキャリア運動が観測を困難にして来た。このため、本研究では化学ドーピング系を導入し、FI-ESR 信号と比較解析することを主要な目標の一つとした。一方、PBTTT イオン液体トランジスタでは、熱電変換応用の観点からも注目されている金属状態とその周辺の特性を伝導測定から解明することをもう一つの目標とした。

2. 研究の目的

本研究では、代表的な高移動度材料であるチエノチオフェン系有機半導体を対象に、低分子系材料のキャリア波動関数の空間広がりや伝導機構、高分子系では高濃度キャリア注入下での金属状態の輸送特性の解明を研究目的とした。低分子系では、高移動度分子性半導体 C₈-BTBT を対象に、FI-ESR に加えて、化学ドーピングして生成したキャリアのドーピング誘起 ESR (Doping-induced ESR、DI-ESR と略) を測定し、低温領域での超微細相互作用による不均一な ESR 線幅を観測する。この線幅と、溶液中のカチオンラジカル分子の ESR 信号の超微細線幅との比較により、固体中における正孔キャリア波動関数の空間広がりを評価し、バンド的な伝導性を明らかにする。

高分子系では PBTTT のイオン液体トランジスタ構造による高濃度キャリアドーピングを行い、FI-ESR や伝導度により金属転移を同定する。得られた金属領域におけるキャリアの輸送特性を、電気伝導および磁気抵抗の温度依存性を相補的に測定し解明する。

3. 研究の方法

(1) ESR 測定

C₈-BTBT の DI-ESR 用の試料はポリエチレンテレフタレート基板上に蒸着し、その後ヨウ素ドーピングを行い ESR を検出した。DI-ESR 信号と FI-ESR 信号の角度依存性から g 値の主値を決定し、ドーピング誘起および電場誘起キャリアは同一電子状態のキャリア (正孔キャリア) であることを確認した。また DI-ESR の温度変化測定から、4 K ではキャリアトラッピングにより不均一な ESR 線幅を持つことを明らかにした。C₈-BTBT のカチオンラジカル試料は、ジクロロメタン溶液中の C₈-BTBT に酸化剤として SbCl₅ を用いて生成した。溶液の ESR 信号は、7 本線の超微細構造によって特徴づけられ、産総研の下位幸弘博士による DFT 計算により、図 1 (a) に示すチエノチオフェンコアの水素核、およびアルキル側鎖の最初の 2 個の水素核が 7 本線の超微細構造の起源であることが示された。ESR 信号の積分形の半値全幅は 8.5G となる。

(2) 伝導測定

高分子 PBTTT のイオン液体トランジスタ構造を作製し、高濃度のキャリアの注入を可能とした。PBTTT 薄膜はスピンコート法で作製した。イオン液体は [DEME][TFSI] を使い、これを高分子 P(VDF-HFP) と混合して作製したイオンゲル膜を絶縁膜として使用した。トランジスタのゲート電圧によりキャリア注入量を変化させ、電気伝導度および磁気抵抗を極低温まで測定した。

4. 研究成果

(1) チエノチオフェン系高移動度分子性半導体 C₈-BTBT におけるキャリア波動関数の空間広がり
チエノチオフェン系 C₈-BTBT 分子は、チエノチオフェン核の両側にベンゼン環をもつ電子コア部分に 2 本のアルキル側鎖が結合した分子構造をもつ (図 1(a))。薄膜の結晶構造は、分子の長軸が基板法線方向を向く end-on 配向をもつ層状構造であり (図 1(b))、各分子は 2 次元面でヘリンボーン状にパッキングしている。この分子配向は C₈-BTBT トランジスタの FI-ESR 信号の角度変化の解析により非常に高精度で決定されている。

図 1(c) は、50K で測定した DI-ESR 信号の角度変化を示し、 θ は基板法線と外部磁場のなす角度をあらわす。DI-ESR 信号は、電子の g 値の異方性を反映する顕著な角度変化を示す。観測された角度依存性は、赤線で示すように、ESR 信号のシミュレーションによりよく再現される。このような特徴的な角度変化は FI-ESR の場合とよく一致し、フィッティングに用いられたパラメータ、 g 値の主値や γ -軸の傾き角もお互いによく一致することがわかった。このように DI-ESR と FI-ESR で g 値とその角度変化が詳細に一致することは、ドーピング誘起キャリアと電場

誘起キャリアが同じ電子状態を有するホールキャリアであり、それらが高い分子配向秩序を有する結晶性領域に存在することを示す。このことは、DI-ESR 信号の場合、キャリアは結晶表面またはその近傍領域に存在することを示唆している。

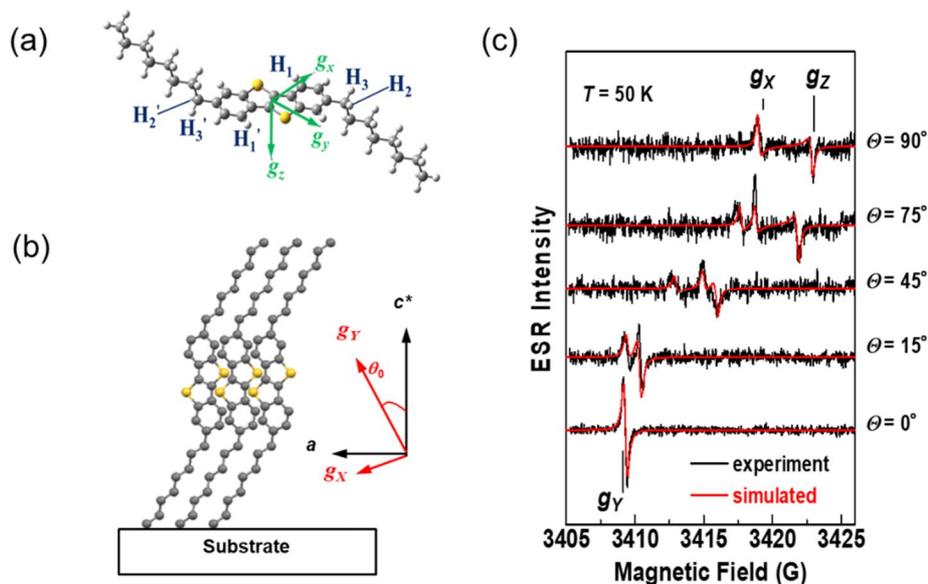


図 1 (a) C_8 -BTBT 分子の立体構造の模式図。(b) 基板上的 C_8 -BTBT 分子の end-on 的な分子配向。(c) ヨウ素ドーピングした C_8 -BTBT 薄膜におけるドーピング誘起 ESR (DI-ESR) 信号の角度依存性。

図 2 は、外部磁場が基板垂直方向の場合の DI-ESR 線幅の温度変化を示す (青丸)。比較として FI-ESR 線幅の同様な温度変化を示す (赤丸)。ESR 信号の線幅は温度域によって特徴的な変化を示している。70K 以上では、DI-ESR と FI-ESR の線幅は昇温と共に顕著に増加し、硫黄原子のスピン軌道相互作用によるスピン格子緩和時間 T_1 が短くなることによる緩和線幅を示す。線幅の温度変化は T^2 に近い。このような温度依存性は、硫黄原子を含む高移動度分子性半導体 C_{10} -DNBDT-NW の FI-ESR でも最近報告されており、バンド的なキャリアによるスピン緩和であることが報告されている。したがってこの実験事実は、本研究で得られる波動関数の 100 分子に及ぶ広がりから予想されるバンド的な電荷輸送とも符合している。

一方、50K 以下の温度では、 C_8 -BTBT の DI-ESR と FI-ESR の温度依存性は際立った違いを示す。いずれの場合も ESR 線幅は温度上昇と共に先鋭化し、いわゆる運動による先鋭化 (motional narrowing) 効果が生じている。FI-ESR の場合は、4K でも ESR 線幅はかなり先鋭化しており、結晶子内では 4K でもキャリアが運動していることを直接示す。これに対して、DI-ESR の場合には図 2 の挿入図にも示すように温度低下で明瞭な線幅のブロードニングが生じ、それと共に ESR 信号線形が、高温側ではキャリアが運動している場合に特徴的なローレンツ型であったものが、最低温度では、キャリアの運動が凍結した状態に特有のガウス型へと変化する。このような振る舞いは、低温でのキャリアが、ドーパントイオンの存在により強くトラップされることを示し、4K における ESR 線幅は、不均一に広がった超微細相互作用による線幅であることがわかる。

超微細分裂線の統計的な性質から、キャリア波動関数が N 個の分子に広がっている場合、1 分子の線幅の $1/\sqrt{N}$ になることが示されている。これをふまえ、DI-ESR 信号の積分形半値全幅として得られる値 (0.9G) は、溶液中の 1 分子の、すなわちカチオンラジカルの溶液 ESR の 3 項の研究の方法で述べた超微細線幅 (8.5G) と比較することにより、キャリア波動関数の広がりを見積もることができる。ただしこのとき、異方的な DI-ESR 信号線幅と等方的な溶液 ESR スペクトルを比較するための補正因子 (0.92) を DI-ESR の線幅に乗ずる必要がある。その結果 $N \approx 105$ が得られる。100 分子を超える値は、大きく広がった波動関数を示し、実際これまで報告されている有機半導体の波動関数の広がりで見ると最大の値であり、 C_8 -BTBT デバイスにおけるバンド的な伝導特性と符合する。

上記の C_8 -BTBT に対して得られた N の大きさは、代表的な高移動度分子性半導体であるペンタセンで得られた値、 $N \approx 17$ に比べてかなり大きい。この違いは、 C_8 -BTBT 結晶におけるヘリンボーン型の結晶パッキングでの短い硫黄原子-硫黄原子距離により実現した高い結晶秩序に帰着される。この点で、 C_8 -BTBT のようにアルキル鎖を有するチエノチオフェン系分子では、アルキル鎖のファスナー効果によりチエノチオフェン核のパッキングがタイトとなる結果、結晶の熱振

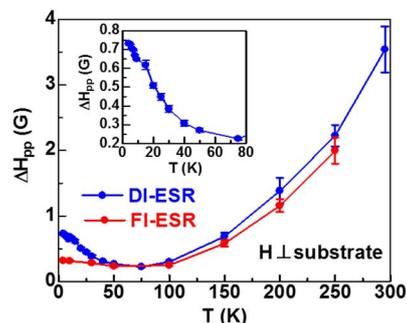


図 2 DI-ESR と FI-ESR 線幅の温度依存性

動が非常に抑制されるという報告は注目される。これに対して、ペンタセンの場合は熱振動の抑制は比較的小さいとされ、いわゆる dynamic disorder とよばれる熱揺らぎが存在し、キャリア波動関数の広がりが制約される。これらのことを考慮すると、高移動度の分子性半導体の一つの設計指針として、硫黄原子を含む平面性の高い コアにアルキル鎖を結合させるデザインの有効性が示唆される。

(2)高移動度結晶性高分子 PBTTT のドーピング誘起金属相

すでに述べたように、PBTTT のイオン液体トランジスタ構造を用いた高濃度のキャリアドーピングによる電子相の研究は、イオン液体として[EMIM][TFSI]を用いた FI-ESR と伝導の実験を行い、電荷キャリアがバイポーラロンを経て金属転移に至る過程を明瞭に観測することに成功していた。本研究では、イオン液体として[DEME][TFSI]を用いたイオンゲル膜を絶縁膜として電気伝導度の注入キャリア濃度による変化が測定され、キャリア注入度の増大と共に伝導度が増加し、最大キャリア濃度では、室温からイオン液体が固化するより低温の領域まで、マクロな金属的伝導 ($d\sigma/dT < 0$) の観測に成功した。それと同時に測定した磁気抵抗では、150K で磁場 H を基板に垂直に印加した場合、正の磁気抵抗が観測され、その大きさが H^2 に比例するという金属相に特徴的な振る舞いの確認に成功し、マクロな金属相へ転移していることが裏付けられた。

なお、これらの伝導測定と並行して、同じイオン液体を用いた PBTTT 薄膜の熱電特性と FI-ESR の測定が、研究分担者の所属する名大グループの田中久暁助教と竹延大志教授らによってすすめられている。金属転移に伴って熱電素子としてのパワーファクターが極大値をとることが明らかにされている。また FI-ESR では金属相に特有の Pauli 磁化率や伝導電子のスピン緩和を示す Elliott 機構による線幅の角度変化が確認され、またこのような高キャリア注入下でも以前の FI-ESR と同様に g 値の角度依存性は変化せず、分子配向が保たれていることが PBTTT の優れた特徴となっている。平面性の高いチエノチオフェン高分子骨格に規則的に結合するアルキル側鎖間のスペースがドーパントイオンの規則的な配置をもたらす構造が、分子デザインとして有用であることを示している。

結晶性高分子では、結晶領域とそれを繋ぐ結晶ドメイン境界部分が存在し、最近結晶領域間の結合にも関心がもたれている。その関係から、上記の PBTTT の研究のほかに、代表的な結晶性高分子ポリチオフェン P3HT の固体絶縁膜トランジスタの FI-ESR 研究により、ドメイン間結合のキャリアダイナミクスについて、固体絶縁膜表面の化学修飾や使用する高分子の分子量の影響があることも見出している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tomo Sakanoue, Jinpeng Li, Hisaaki Tanaka, Ryota Ito, Shimpei Ono, Shin-ichi Kuroda, Taishi Takenobu	4. 巻 29
2. 論文標題 High Current Injection into Dynamic p-n Homojunction in Polymer Light-Emitting Electrochemical Cells	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Adv. Mater	6. 最初と最後の頁 1606392 ~ 1606392
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.201606392	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 Shinya Kawamura, Ayato Wakamatsu, Shin-ichi Kuroda, Taishi Takenobu, Hisaaki Tanaka	4. 巻 57
2. 論文標題 Microscopic observation of highly mobile charge carriers in organic transistors of semicrystalline conducting polymers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 2CA04-1 ~ 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.02CA04	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 Shohei Kumagai, Shinya Takaishi, Hiroaki Iguchi, Brian K. Breedlove, Takuya Kaneko, Hiroshi Ito, Shin-ichi Kuroda, Masahiro Yamashita	4. 巻 57
2. 論文標題 Correlation between Chemical and Physical Pressures on Charge Bistability in [Pd(en)2Br](Suc-Cn)2 · H2O	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Inorg. Chem.	6. 最初と最後の頁 12 ~ 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.7b02566	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 Tanaka Hisaaki, Wakamatsu Ayato, Kondo Masahiro, Kawamura Shinya, Kuroda Shin-ichi, Shimoi Yukihiro, Park Won-Tae, Noh Yong-Young, Takenobu Taishi	4. 巻 2
2. 論文標題 Microscopic observation of efficient charge transport processes across domain boundaries in donor-acceptor-type conjugated polymers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Commun. Phys.	6. 最初と最後の頁 96-1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-019-0196-7	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 Tanaka Hisaaki, Kanahashi Kaito, Takekoshi Naoya, Mada Hiroaki, Ito Hiroshi, Shimoi Yukihiro, Ohta Hiromichi, Takenobu Taishi	4. 巻 6
2. 論文標題 Thermoelectric properties of a semicrystalline polymer doped beyond the insulator-to-metal transition by electrolyte gating	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sci. Adv.	6. 最初と最後の頁 eaay8065-1~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aay8065	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 Kuroda Shin-ichi, Tanaka Hisaaki, Shimoi Yukihiro, Takimiya Kazuo	4. 巻 13
2. 論文標題 Spatial extent of wave functions of charge carriers in a thienothiophene-based high-mobility molecular semiconductor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 041004-1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ab7e08	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25件(うち招待講演 2件/うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Yukihiro Shimoi, Hisaaki Tanaka, Shin-ichi Kuroda
2. 発表標題 Electronic and structural properties of donor-acceptor type conjugated polymers: DFT and ESR studies
3. 学会等名 9th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics(M&BE9) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yukihiro Shimoi, Hisaaki Tanaka, Shin-ichi Kuroda
2. 発表標題 Molecular orientation at interfaces in organic transistors: theoretical g-values and field-induced ESR measurements
3. 学会等名 International Conference on "Interface Properties in Organic Electronics: Key Challenges" (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shin-ichi Kuroda、Hisaaki Tanaka、Yukihiro Shimoi、Kazuo Takimiya
2. 発表標題 Low-temperature ESR studies of charge carriers in organic transistors of a high-mobility molecule C10-DNTT
3. 学会等名 14th European Conference on Molecular Electronics (ECME2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hisaaki Tanaka、Ayato Wakamatsu、Shinya Kawamura、Shin-ichi Kuroda、Taishi Takenobu、Yukihiro Shimoi、Yong-Young Noh
2. 発表標題 Direct observation of efficient charge transport across domain boundaries in thin-film transistors of Donor-Acceptor type conducting polymers
3. 学会等名 The 12th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中 久暁、若松 綾人、竹延 大志、下位 幸弘、黒田 新一
2. 発表標題 ドナー・アクセプタ型高分子TFTにおけるドメイン間電荷輸送のESR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 伊東 裕
2. 発表標題 高分子材料における電荷輸送と熱電特性
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒田 新一、 田中 久暁、下位 幸弘、瀧宮 和男
2. 発表標題 高移動度分子C10-DNTTを用いた有機FET中のキャリアの低温挙動
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 Hiroshi Ito, Hiroaki Mada, Hisaaki Tanaka, Shin-ichi Kuroda, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Metallic conduction of pBTTT polymer thin film doped electrochemically with ion gel
3. 学会等名 The International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals 2018 (ICSM 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shin-ichi Kuroda, Hisaaki Tanaka, Yukihiro Shimoi, Kazuo Takimiya
2. 発表標題 ESR observation of charge carriers in high-mobility organic transistors of a thienothiophene-based molecule C10-DNTT
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry, (ICCC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shin-ichi Kuroda
2. 発表標題 Electron Spin Resonance Spectroscopy of Charge Carriers in High-Mobility Organic Transistors
3. 学会等名 The 8th TOYOTA RIKEN International Workshop on Organic Semiconductors, Conductors, and Electronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒田新一, 田中久暁
2. 発表標題 結晶性導電性高分子の電荷・スピン状態
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shin-ichi Kuroda, Hisaaki Tanaka
2. 発表標題 ESR spectroscopy of charge carriers in high-mobility organic transistors of semicrystalline conjugated polymers
3. 学会等名 15th European Conference on Molecular Electronics (ECME2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下位 幸弘, 田中 久暁, 竹延 大志, 黒田 新一
2. 発表標題 共役高分子のねじれポテンシャル: 構造 - 物性相関の理解に向けて
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsuya Watanabe, Kaito Kanahashi, Naoya Takekoshi, HisaakiTanaka, Hiroshi Ito, Hiromichi Ohta, Taishi Takenobu
2. 発表標題 Gate-tuned Thermoelectric Performances in Aligned Conducting Polymers
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒田新一, 田中久暁, 下位幸弘, 瀧宮和男
2. 発表標題 高移動度分子材料C8-BTBTにおけるキャリア波動関数の空間広がり
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔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	伊東 裕 (Ito Hiroshi) (10260374)	名古屋大学・工学研究科・准教授 (13901)	