

令和元年6月11日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02196

研究課題名(和文)多階層制御による有機半導体材料の高機能化

研究課題名(英文) Development of high-performance organic semiconductors by multi-hierarchy control

研究代表者

瀧宮 和男 (Takimiya, Kazuo)

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号：40263735

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、未踏有機半導体骨格の探索を基盤に、分子集合体中での分子配列や配向を分子設計の段階で制御することを目指し、分子設計、精密有機合成、単結晶構造解析、薄膜構造解析、デバイス作製評価の異なる手法を用い研究を進め、未踏骨格開発と高次構造の制御、更には、高性能トランジスタや有機薄膜太陽電池の実現に資する有機半導体の開発を行った。具体的には、未踏半導体骨格としてナフトチオフェンイミド、アセンジチオフェンジオンなどの新規n型半導体骨格に加え、p型半導体骨格として拡張チエノアセン類の開発を行い、それらを用いた高性能材料とデバイス、更には分子構造修飾による結晶構造制御の手法を見出している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機半導体の研究分野は電子デバイスや太陽電池など、社会実装に直結する可能性があり、高性能材料やそれらのデバイス化における知見は産業技術として重要性を持つ。一方、学術的には、科学的側面から材料物性やデバイス物性に影響する因子を明確にすることが極めて重要である。特に、最新の有機合成をもってすれば、多様な有機半導体分子が合成できるようになった現在、材料物性の鍵を握る固体構造(集合体構造、結晶構造)を分子設計段階で予測・制御することが究極の課題である。本研究では、有機半導体の研究分野における以上の重要課題に対し、多くの知見を与えることが出来、基礎科学、産業応用の両面から意義深いものである。

研究成果の概要(英文)：In this research, we first aim to search unexplored organic semiconductor frameworks, and then based on such frameworks, to control molecular arrangement and orientation in molecular assembly at molecular design stage. Rational molecular design, organic synthesis, single crystal structure analysis, thin film structure analysis are the key methods in the project. In the actual project, development of unexplored frameworks and control of higher-order structures, and further development of organic semiconductors contributing to the realization of high-performance transistors and organic thin-film solar cells have been done; novel n-type semiconductor frameworks such as naphthothiophene imide and acedidithiophenedione and extended thienoacenes as p-type semiconductor frameworks are developed; high-performance materials and devices are developed based on them. Furthermore, a method of crystal structure control of semiconducting molecules based on molecular modification is established.

研究分野：有機半導体

キーワード：有機半導体 有機導体 超分子 有機エレクトロニクス 有機薄膜デバイス 結晶構造制御 新規骨格

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

有機エレクトロニクス分野に関する研究が産学を問わず広く注目されている。本分野の先頭を走る有機エレクトロニクス(有機 EL, OLED)はモバイル機器の表示素子として広く市場に受け入れられており、2016年頃からは大画面 TV にも利用され注目を集めている。また、OLED に続く有機エレクトロニクス技術として、有機トランジスタ (OFET) や有機薄膜太陽電池 (OPV) に関する基礎、応用研究も、世界的な規模で活発に行われ、既にその特性は実用化可能なレベルに肉薄している。このような状況を背景に、OFET や OPV の産業応用も期待されており、2030年には有機エレクトロニクスは全世界で7兆円を超える市場規模になるとの予想もある(2013年7月、富士経済グループ調査結果)。有機エレクトロニクスに関連する学術分野は、化学、物理、材料、電気・電子、デバイスと学際的であり、また、国際的にも極めて競争の激しい分野でもある。

このような背景のもと、我々は有機合成化学を基盤に有機半導体材料の開発と有機トランジスタ、有機薄膜太陽電池などへの応用を行ってきた。この中で、従来の枠に囚われない未踏有機半導体骨格の探索、及び、それらの構造、電子状態を活かす材料へと展開すること、さらには、薄膜中での材料の高次構造を制御することの重要性を認識してきた。特に後者の材料の高次構造の制御を分子レベルで行えるか否かが、今後有機半導体研究において重要になると考えられている。

### 2. 研究の目的

これらのことを背景に、本研究では未踏有機半導体骨格の開発に焦点を当て、それらの設計・合成・応用を行うことを第一の目的とする。次に、薄膜中の分子配列、配向を分子設計の段階で制御することを目指す。本研究では、分子設計、精密有機合成、単結晶構造解析、薄膜構造解析、デバイス作製評価の異なる手法を用い研究を進めていき、最終的には、未踏骨格開発と高次構造の制御と共に、高性能トランジスタや有機薄膜太陽電池の実現に資する有機半導体の開発を行うことを目指している。

### 3. 研究の方法

本研究の始点であり、最も基本となるのは分子設計と有機合成による未踏有機半導体骨格の開発であり、さらに開発した骨格を用いて、高性能有機半導体へと展開する。ここで、分子設計においては、計算化学を駆使することで分子レベルでの電子状態や構造を予測し、望ましい電子構造をもつ半導体骨格の探索を行う。また、有機合成においては、最新の有機合成化学の知見を活かした高効率合成や新規反応の開発も視野に入れ、従来、有機半導体研究では検討されることのなかった骨格に対してもそのポテンシャルを引き出すべく、有用な材料を探索する。さらに、低分子有機半導体の研究においては、固体構造を精密に明らかにできる単結晶構造解析を用い、分子構造と分子配列、結晶構造との相関を明確にする。また、ポリマー材料やオリゴマー材料のように単結晶育成の困難な材料では、薄膜 X 線回折により、結晶性、分子配向、周期性などの情報を得ることで構造との相関を探る。さらに、分子配列の制御された単結晶、薄膜などの分子集合体を用いて、有機トランジスタ、薄膜太陽電池、更には、ドーブを施すことで熱電変換などのデバイスへと応用し、「分子構造 - 分子集合体の構造-デバイスでの特性」という異なる階層間の相関を明らかにする。デバイスの作製・評価においては、真空蒸着法や種々の溶液法により有機半導体薄膜を形成するだけでなく、単結晶上でもトランジスタ構造を作製することにより、より正確な構造と物性の相関を明らかに出来るようにする。

これまで、固体構造(結晶構造)と分子集合体のキャリア移動度に関しては、分子間での軌道の重なりのおおきに相関があることが知られていたが、本研究でも単結晶構造解析で明らかにした分子配列を基に分子軌道の重なりを計算し相関を議論するうえでの重要な要素とする。一方で、ある分子が特定の結晶構造となるための駆動力は何か、ということはこれまで深く議論されていないが、これを考えるための手がかりを見出すべく、本研究において分子間力に注目した有機半導体結晶の解析についても検討を行うこととした。

### 4. 研究成果

本研究の成果は、I 未踏半導体骨格の開発と応用、II 結晶構造制御のための分子設計、III 新規に開発した有機半導体のデバイス応用、に大別できる。I~III は互いに相関するため、以下に化合物系を中心として主な成果について報告する。

#### 1) n 型未踏半導体骨格としてのナフトチオフェンジイミド類の開発

本研究の開始時点において、代表的な n 型半導体骨格であるナフトレンジイミドに二つのチオフェンが縮合したナフトジチオフェンジイミド (NDTI) を独自に開発し、その基本的な物性を明らかにしていた。研究の手始めとして、この骨格を用い、電子移動度の向上を実現することを目指し、結晶構造中における電子構造の多次元化を検討した。即ち、通常の NDTI 誘導体では、NDTI 分子の積層構造に由来する一次元的な結晶構造を持つため、移動度は高々  $10^{-2}$   $\text{cm}^2/\text{Vs}$  程度であった。これに対し、NDTI 骨格の簡便合成法と修飾法を開発したことにより、種々の誘導体の合成が可能となり、その中で NDTI 骨格上に塩素を導入することで分子間相互作用の様式を変化させ、結晶構造中での分子配列を一次元的なものから、擬二次元的にすることに成功した。これにより移動度を一桁以上改善し、大気中で安定な n 型 FET で移動度  $0.8$   $\text{cm}^2/\text{Vs}$  を実現した。さらに、この結晶構造を基に量子化学計算により電子構造の次元性を検証したところ、予想通り二次元的な電子伝導が可能な構造であることが明らかとなった。

さらに、NDTI を基盤として、低い LUMO を有する半導体ポリマーを開発することにも成功し

た。剛直な構造をもつ NDTI を基盤とするポリマーは一般に溶解性が低い、NDTI 骨格上に分岐のアルキル基を導入することでこれを克服できること、さらに組み合わせるモノマーユニットにより、n 型ユニポーラーから両極性半導体へと自在に設計・合成できること、更には、可溶性アルキル基の形状を変化させることで、薄膜での移動度が大きく影響を受けることも見出した。開発した半導体ポリマーの中で特筆すべきものは、ピチオフェンとのコポリマーが、大気中でも安定な両極性半導体特性を示し、電子、ホールともにその移動度は  $0.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を超える高いものであった。このポリマー薄膜に対し、デバイス作製時の基板上に特定の自己組織化単分子膜 (SAM) を用いることで、基板と半導体界面の界面双極子の方向と大きさを制御したところ、選択的にホール伝導、若しくは電子伝導のみへと制御できることを見出した。さらに、基板上的特定の領域に SAM を塗り分けることで、単一の半導体材料を塗布するだけで、高性能の CMOS インバータを形成できることを明らかにした。強い電子受容能を持つベンゾピスチアジアゾールとのコポリマーでは、LUMO が  $-4.4 \text{ eV}$  程度と非常に低くなることを見出し、これを電子ドープすることで、室温で  $5 \text{ S/cm}$  程度の高い移動度を示す薄膜が得られることを実証した。さらに、この薄膜の熱電特性を調べたところ、 $14 \mu\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-2}$  に達するパワーファクターを持つことが明らかとなり、NDTI ポリマーが新たな n 型熱電材料の母物質として有望であることを見出した。

一方、NDTI がナフタレンジイミドの両側にチオフェン環部位を有するために、半導体ポリマーのコモノマーやオリゴマーの中心骨格として用いることが出来るのに対し、ナフタレンジイミドの片側だけにチオフェン環を縮合したナフトチオフェンジイミド (NTI) は n 型の電子構造を有する末端基として有用であると予想された。そこで NTI の合成を試みたが、ナフタレンジイミド上へ一つのみ官能基を導入することが極めて困難であり、NTI 合成が NDTI よりも難易度が高いものであることが分かった。これを克服するため、非選択的臭素化後の精製段階に工夫を加えることで NTI の現実的な合成法を開発し、種々の誘導体へと変換することが出来るようになった。しかし、選択性の低さと精製の困難さは相変わらずであったため、さらに改良を検討する中で、NDI の選択的モノハロゲン化を CH 結合活性化反応が有用であることを見出した。併せて、NTI 及び NDTI のチオフェン  $\alpha$  位への官能基導入は、従来  $\alpha$  位の臭素化後にクロスカップリングを用いるのが一般的であったが、 $\alpha$  無置換体に対して直接アリール化を行うことで、多様な NTI 誘導体の合成が可能となることも見出した。

これらの NTI 官能基化の方法を駆使することで、従来法では容易でなかった種々の NTI 誘導体を合成し、その中で、NTI の二量体が塗布により  $1.0 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  に達する高い電子移動度を示すトランジスタを与えた。NTI をアクセプター (A) 部位として種々のドナー (D) 部位と組み合わせ、A-D-A 型のオリゴマーを合成した。この中で、インダセノジチオフェンを D 部位に用いた材料では、光電変換効率が 9% を超える太陽電池を実現することが出来た。さらに、NTI のイミド窒素上に導入した可溶性分岐アルキル基の形状を変えることで、溶解性、薄膜中での分子配向、p 型半導体ポリマーとの相溶性などを精査し、有機薄膜太陽電池用の特性に与える影響を明らかにした。NTI 骨格上での C-H 活性化を経る直接アリール化反応を駆使することで、従来法では合成の困難な複数の NTI ユニットの三次元的に配置した新規な誘導体の開発にも成功し、NTI ユニットの数と物性、配向性、結晶性の相関を得た。特に一つのベンゼン環上に複数の NTI を導入した場合、NTI の個数に応じた多段階の還元挙動が観測されただけでなく、これら新規分子を用いることで、最高で 5% 程度の光電変換効率の太陽電池も得られている。以上のように、NDTI に加え、NTI も n 型有機半導体用の骨格として極めて優れたものであることが明らかになっている。

## 2) n 型未踏半導体骨格としてのアセンジチオフェンジオン類の開発

キノイド型の共役構造をもつ分子は一般に LUMO が低く、n 型半導体材料の構造として多用されているが、キノイド構造の末端基にはジシアノメチレン基等の強い電子求引基が用いられる。このため、化学修飾が容易ではなく、ポリマー化やオリゴマー骨格への導入はこれまで補飛んで検討されてきていない。そこで、キノイド構造をカルボニル基で終端した、一連の縮合チエノキノイド骨格を合成し、その有用性について精査した。その結果、キノイド構造をポリマーやオリゴマーの骨格内に導入できること、更には適切なドナー部位と組み合わせることで、得られた化合物が両極性半導体材料として挙動することを見出した。これらに加え、電子系を拡張したアセンジチオフェンジオン誘導体の光吸収が顕著に長波長化することも明らかとなり、適切に分子を設計することで近赤外領域の光吸収をもつ有機半導体となることが分かった。これらの材料で特筆すべき点は、分子設計により HOMO と LUMO のエネルギー準位を制御でき、大気中でも安定なホール、及び電子伝導が観測されることである。このような材料は、将来的に近赤外有機半導体として有用であると期待される。

## 3) DNNT の可溶化と高移動度化の両立のための分子設計

既に開発している高移動度 p 型半導体骨格である DNNT は、6 個の芳香環がほぼ直線状に縮合した構造を持つため溶解性が低く、塗布プロセスに適する誘導体はこれまで合成できていなかった。そこで可溶性と優れた半導体特性を両立できる分子修飾法の開発を検討し、最終的に分子長軸方向に分岐アルキル基であるエチルヘキシル基、およびその増炭した置換基であるエチルオクチル基を一つだけ導入することで、これを達成できることを見出した。ここで重要となるのは、置換基の個数と形状である。即ち、分子長軸上に二つのエチルヘキシル基 (またはその類縁の分岐アルキル置換基) を導入すると、薄膜中での結晶性が顕著に低下し、薄膜での特

性は著しく低下した。一方、置換基を一つとしても、分岐アルキル基中の分岐部分が大きくなると(例えば、ブチルオクチル基) 半導体特性は示すものの、移動度の低下が見られた。結果として、エチルヘキシルから誘導したエチルオクチル誘導体において、塗布製膜の条件を精査することで、最高で塗布プロセスで作製したトランジスタで、 $2.0 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を超える移動度を実現できることを見出した。これら一連の誘導体では単結晶を得ることが難しく、正確な結晶構造を明らかに出来ていないが、塗布製膜した薄膜の面外、及び面内の X 線回折から、母体 DNNT と同様の herringbone 型の構造を持ち、高い置換基が分子間でぶつからないような互い違いの構造となっていることが示唆されている。

この成果は DNNT のような高い特性を示す難溶性の低分子有機半導体の可溶化に有用であると考えられるが、以下の二つの問題が残されている。一つは、多様な可溶性置換基を試すことが出来ておらず、分岐アルキル基が最適な解であるかどうか、ということである。本研究で分岐アルキル基を用いた理由は、合成の初期段階で導入してもその後の官能基変換や DNNT 骨格の構築反応に耐えうる置換基であるからである。この問題を解決し、選択的かつ多様な置換基導入のために、DNNT の 2 位に臭素をもつ誘導体の合成に成功しており、トリアルキルシリル基などの導入が可能であることも確認することが出来ている。一方、エチルヘキシル誘導体の結晶性の低さは構造 - 物性相関検討における足枷となっている。結晶性の低さの原因の一つが、エチルヘキシル基などがキラル中心を持ち、結果としてラセミ体での検討しか行っていないことにもあると考えられる。これを克服するため、光学活性なエチルヘキシル基導入のための種々の中間体の大量合成法を開発し、研究終了時点で導入のための検討に着手している。

#### 4) アセンジチオフェン系における結晶構造制御

有機半導体の結晶構造の制御や予測は通常不可能であるとされているが、本研究遂行中に偶然、ベンゾジチオフェン(BDT)骨格上のチオフェン環の 4 位にチオメチル基を導入することで、herringbone からルブレン様の “pitched  $\pi$ -stack” 構造へと変化し、また、基板上で side-on 型に配列することを確認した。この  $\beta$ -チオメチル-BDT( $\beta$ -MT-BDT)の単結晶トランジスタにより、対応する  $\alpha$ 誘導体(herringbone 型結晶構造であることを確認済み)に比べ桁程度、移動度が向上していることを確認できた。このことは、メチルチオ基の位置選択的な導入により、結晶構造を制御できることを示している。このことを確認するために、ナフトジチオフェン(NDT)及びアントラジチオフェン(ADT)へのチオメチル基を導入、を行い、 $\beta$ 位の硫黄官能基の導入が結晶構造制御に対し一般性があることを実験的に確認した。このうち、ADT 誘導体の単結晶トランジスタにより評価した移動度は  $4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  程度と、実際に作製したルブレンの単結晶トランジスタと同様であり、本分子修飾法が一般性の高い結晶構造制御と高移動度有機半導体の開発に有用であることを確認した。

一方で、 $\beta$ -メチルチオ化が結晶構造にもたらす効果について検討するために Hirshfeld 表面解析と Symmetry Adapted Perturbation Theory 計算を取り入れ、分子構造と結晶構造の相関、特に分子の形状や特定の置換基が与える影響について、分子間力と原子間接触の観点から検討を加えた。その結果、アセンジカルコゲノフェン系の結晶構造制御に関して分子間相互作用に関する定量的な知見を得た。通常、ADT などの母体化合物は herringbone 型結晶構造であるが、 $\beta$ メチルチオ化は、母体での結晶構造において安定化の寄与の大きい分子間相互作用を邪魔(disrupt)し、さらに新たな様式の分子間相互作用を誘起(induce)することで、ルブレン様の pitched  $\pi$ -stack と変化したのが理解できた。さらに、この考えを他の分子骨格系にも拡張したところ、実際に結晶構造が系統的に変化する系も見出しており、分子設計レベルから結晶構造を行う可能性について定量的をもって議論することが出来るようになった。

#### 5) その他

以上の成果の他に、 $-4.3 \text{ eV}$  もの高い HOMO を持ちながら比較的安定な n 型ドープ材料の開発と n 型ポリマー-N2200 へのドープ、ナフトビスカルコゲノルにおけるカルコゲン原子の物性への影響、上記 4)におけるセレン原子導入の効果、ナフトジチオフェンを基盤とした n 型半導体分子と特異なクロミズム現象の発見と原因の探索、ペリレンジイミドへのチオフェン環の縮合と n 型半導体応用、など、次の研究プロジェクトへと展開することが望まれる多くの成果を得ることが出来た。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 28 件、すべて査読あり)

1. Selenium-substituted  $\beta$ -methylthiobenzo[1,2-*b*:4,5-*b'*]dithiophenes: synthesis, property, packing structure, and transport properties, H. Takenaka, T. Ogaki, C. Wang, K. Kawabata, K. Takimiya, *Chem. Mater.* *accepted*. DOI: 10.1021/acs.chemmater.9b01187)
2. Thiophene-fused Naphthalene Diimides: New Building Blocks for Electron Deficient  $\pi$ -Functional Materials, K. Takimiya, M. Nakano, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2018**, *91*, 121–140. DOI: 10.1246/bcsj.20170298
3. Bis(naphthothioophene diimide)indacenodithiophenes as Acceptors for Organic Photovoltaics, J. Hamonnet, M. Nakano, K. Nakano, H. Sugino, K. Takimiya, K. Tajima, *Chem. Mater.* **2017**, *29*, 9618–9622. DOI: 10.1021/acs.chemmater.7b03733

4. Methylthionated benzo[1,2-*b*:4,5-*b'*]dithiophenes: a model study to control packing structures and molecular orientation in thienoacene-based organic semiconductors, C. Wang, H. Nakamura, H. Sugino, K. Takimiya, *Chem. Commun.* **2017**, 53, 9594–9597.  
DOI: 10.1039/c7cc04998f
5. High-performance solution-processed organic thin-film transistors based on a soluble DNTT derivative, M. Sawamoto, H. Sugino, M. Nakano, K. Takimiya, *Org. Electron.* **2017**, 46, 68–76.  
DOI: 10.1016/j.orgel.2017.04.001
6. Dithienyl Acenedithiophenediones as New  $\pi$ -Extended Quinoidal Cores: Synthesis and Properties, K. Kawabata, I. Osaka, M. Sawamoto, J. L. Zafra, P. Mayorga Burrezo, J. Casado, K. Takimiya, *Chem. Eur. J.* **2017**, 23, 4579–4589.  
DOI: 10.1002/chem.201605104
7. Naphthodithiophenediimide-Benzobisthiadiazole-Based Polymers: Versatile n-Type Materials for Field-Effect Transistors and Thermoelectric Devices, Y. Wang, M. Nakano, T. Michinobu, Y. Kiyota, T. Mori, and K. Takimiya, *Macromolecules* **2017**, 50, 857–864.  
DOI: 10.1021/acs.macromol.6b02313
8. Control of major carriers in ambipolar polymer semiconductor by self-assembled monolayers, M. Nakano, I. Osaka, K. Takimiya, *Adv. Mater.* **2017**, 29, 1602893.  
DOI: 10.1002/adma.201602893
9. Naphthodithiophene Diimide-Based Copolymers: Ambipolar Semiconductors in Field-Effect Transistors and Electron Acceptors with Near-Infrared Response in Polymer Blend Solar Cells, K. Nakano, M. Nakano, B. Xiao, E. Zhou, K. Suzuki, I. Osaka, K. Takimiya, K. Tajima, *Macromolecules* **2016**, 49, 1752–1760.  
DOI: 10.1021/acs.macromol.5b02658
10. Design and elaboration of organic molecules for high field-effect-mobility semiconductors, K. Takimiya, M. Nakano, H. Sugino, I. Osaka, *Synth. Met.* **2016**, 217, 68–78.  
DOI: 10.1016/j.synthmet.2016.02.018
11. Reversible Dimerization and Polymerization of a Janus Diradical To Produce Labile C–C Bonds and Large Chromic Effects, J. L. Zafra, L. Qiu, N. Yanai, T. Mori, M. Nakano, M. P. Alvarez, J. T. López Navarrete, C. J. Gómez-García, M. Kertesz, K. Takimiya, J. Casado, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2016**, 55, 14563–14568.  
DOI: 10.1002/anie.201605997
12. Naphtho[2,3-*b*]thiophene Diimide (NTI): a Mono-Functionalizable Core-Extended Naphthalene Diimide Building Block for Electron-Deficient Architectures, W. Chen, M. Nakano, J.-H. Kim, K. Takimiya, Q. Zhang, *J. Mater. Chem. C.* **2016**, 4, 8879–8883.  
DOI: 10.1039/c6tc03476d
13. Soluble Dinaphtho[2,3-*b*:2',3'-*f*]thieno[3,2-*b*]thiophene Derivatives for Solution-Processed Organic Field-Effect Transistors, M. Sawamoto, M. J. Kang, E. Miyazaki, H. Sugino, I. Osaka, K. Takimiya, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2016**, 8, 3810–3824.  
DOI: 10.1021/acsami.5b10477
14.  $\pi$ -Modified naphthodithiophene diimides; molecular design strategy for air-stable n-channel organic semiconductors, M. Nakano, I. Osaka, D. Hashizume, K. Takimiya, *Chem. Mater.* **2015**, 27, 6418–6425.  
DOI: 10.1021/acs.chemmater.5b02601
15. Thermally, Operationally, and Environmentally Stable Organic Thin-film Transistors Based on Bis[1]benzothieno[2,3-*d*:2',3'-*d'*]naphtho[2,3-*b*:6,7-*b'*]dithiophene (BBTNDT) derivatives: Effective Synthesis, Electronic Structures, and Structure-Property Relation-ship, M. Abe, T. Mori, I. Osaka, K. Sugimoto, K. Takimiya, *Chem. Mater.* **2015**, 27, 5049–5057.  
DOI: 10.1021/acs.chemmater.5b01608

〔学会発表〕(計 207 件)

1. 瀧宮 和男, p ブロック官能基を用いる有機半導体の結晶構造制御, 日本化学会第 99 春季年会(2019)特別企画講演(招待講演), 2019 年 3 月 19 日, 甲南大学岡本キャンパス, 兵庫県・神戸市
2. 瀧宮 和男, 高移動度有機半導体へのアプローチ: 結晶構造制御の可能性, 情報化学用有機材料第 142 委員会 A 部会(インテリジェント有機材料)第 140 回 B 部会(有機光エレクトロニクス)第 85 回合同研究会(招待講演), 2019 年 3 月 15 日, 東京都・新宿区
3. 瀧宮 和男, Control of packing structure of thienoacene-based organic semiconductors, ISOCS-28: 28th International Symposium on the Organic Chemistry of Sulfur(招待講演), 2018 年 8 月 30 日, 東京工業大学大岡山キャンパス, 東京都・目黒区
4. 瀧宮 和男, Thiophene-fused naphthalene diimides: New building blocks for electron deficient  $\pi$ -functional materials, ICOE-2018: 14th International conference on organic electronics(招待講演), 2018 年 6 月 19 日, ボルドー大学, フランス・ボルドー
5. 瀧宮 和男, Acenedithiophene Quinoidals- A New Class of Electron Deficient  $\pi$ -Systems, MRS Fall Meeting 2016(招待講演), 2016 年 11 月 30 日, U.S.A. ボストン
6. 瀧宮 和男, Thienoacenes: Molecules for Organic Semiconductors and Beyond, C&FC 2016:

- International Symposium on Catalysis and Fine Chemicals 2016 (招待講演), 2016年11月12日, ハワードインターナショナルハウス, 中国・台北
7. 瀧宮 和男, Recent Advances in DNTT-Based Organic Semiconductors, ICSM2016: International Conference on Synthetic Metals (招待講演), 2016年7月1日, 広州バイユン インターナショナル, 中国・広州
  8. 瀧宮 和男, Acenedithiophene Quinoidals: Synthesis and Applications, ICMAT2017: International Conference on Materials for Advanced Technologies (招待講演), 2017年6月19日, サンテック・シンガポール, シンガポール
  9. 瀧宮 和男, Thiophene-fused Naphthalenediimides: Synthesis, Properties, and Applications to n-Type Organic Semiconductors, Fπ-13: International Symposium on Functional π-Electron Systems (招待講演), 2017年6月5日, 香港科技大学, 中国・香港
  10. 瀧宮 和男, Naphtho[2,3-b:6,7-b']dithiophene-4,5,9,10-diimide (NDTI)-based organic semiconductors: From small molecules to polymers, PACIFICHEM2015: Functional molecular materials and devices Symposium (招待講演), 2015年12月17日, シェラトンワイキキホテル, U.S.A. ハワイ

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：川畑公輔

ローマ字氏名：Kohsuke Kawabata

研究協力者氏名：中野正浩

ローマ字氏名：Masahiro Nakano

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。