

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23350061

研究課題名(和文)有機電荷移動錯体・半導体の界面制御と有機トランジスタへの展開

研究課題名(英文) Interfacial Control of Organic Charge-Transfer Complexes and Semiconductors and the Use in Organic Transistors

研究代表者

森 健彦 (Mori, Takehiko)

東京工業大学・理工学研究科・教授

研究者番号：60174372

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円

研究成果の概要(和文)：有機半導体の一部にドーピングを行って伝導性にした部分を電極に用いたセルフコンタクト有機トランジスタを実現した。活性層にテトラチアフルバレン(TTF)系分子を用い、電極部分にテトラシアノキノジメタン(TCNQ)を蒸着または印刷してp型のセルフコンタクト有機トランジスタを実現した。ジメチルジシアノキノジイミン(DMDCNQI)にCuI溶液を印刷してn型のセルフコンタクトトランジスタを実現した。インジゴやセミキノンなどを用いて高性能のアンバイポーラ有機トランジスタ材料を開発した。

研究成果の概要(英文)：Self-contact organic transistors with chemically doped electrode parts are realized. Tetrathiafulvalene (TTF) series molecules are used as the active layer, and tetracyanoquinodimethane (TCNQ) is selectively evaporated or inkjet-printed to the electrode part to achieve p-channel transistors. CuI is printed on dimethyldicyanoquinonediimine (DMDCNQI) to realize n-channel transistors. High-performance ambipolar organic transistors are achieved on the basis of indigo derivatives and other molecules like semiquinones.

研究分野：物性物理化学

キーワード：有機トランジスタ 有機半導体 有機伝導体

## 1. 研究開始当初の背景

近年、有機EL、有機トランジスタ、有機太陽電池で代表される有機エレクトロニクスに適用上の観点から多くの注目が集まっているが、このなかでも有機トランジスタは、比較的結晶性の高い薄膜や、場合によっては有機単結晶中を、多くの場合単一のキャリアが流れるモノポーラデバイスであり、有機半導体中のキャリア輸送について研究するのに適したデバイスである。これまでに a-Si の  $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を超える移動度を示す有機トランジスタ材料が開発されているが、現在材料開発の焦点は高移動度化のみでなく、溶液法が適用可能で、閾電圧が低く低電圧で駆動でき、長期間安定な材料の開発に重点が移ってきている。

このなかでも有機エレクトロニクスのさまざまな局面で有機半導体/電極界面は大きな影響を与えており、例えば金電極の上に有機半導体を付けたボトムコンタクト型有機トランジスタの特性は有機半導体薄膜の上から金電極を付けたトップコンタクト型トランジスタに比べて1桁前後も低下することが知られている。これは金の上に付けた有機半導体がモルフォロジー変化と大きな界面ポテンシャルの影響を受けるためであり、金のチオール処理や、(活性層がp型の場合)アクセプター性のバッファ層を設けるなどの対応策が知られている。我々は(TTF)(TCNQ)のような金属的な伝導性を示す有機電荷移動錯体を電極に用いることによって、ボトムコンタクト型でもトップコンタクト型と同程度の特性が得られることを報告し、さまざまな局面で(TTF)(TCNQ)電極の有用性を実証してきた。本研究はこのような有機電荷移動錯体と有機半導体の界面における学理を解明し、その成果を有機トランジスタに利用しようとするものである。

## 2. 研究の目的

有機半導体の分子設計と有機電荷移動錯体/有機半導体界面の利用によって、有機半導体が絶縁体および電極と作る界面を制御し、分子性物質の特性を生かした有機トランジスタにおけるキャリア制御の方法を開拓する。末端のバルキー置換基によって低閾電圧・長期安定動作を実現した有機半導体の開発を通して、分子構造が界面に及ぼす影響について探求する。また高伝導の有機電荷移動錯体の有機エレクトロニクス応用を念頭に、分散剤を用いて(BEDT-TTF)<sub>2</sub>X、M(TCNQ)など無機塩を含む電荷移動錯体をナノ粒子化して伝導性の有機薄膜を作成する技術を新たに開発し、広範な有機電荷移動錯体を薄膜化することによって、有機電荷移動錯体から有機半導体へのホール/電子注入の制御を系統的検討することを目指す。

## 3. 研究の方法

溶液法が可能で、低閾電圧、長期安定なト

ランジスタ材料として末端バルキー置換基をもった有機半導体を開発し、その特性と構造の相関から分子末端基による界面制御の可能性について探索する。有機電荷移動錯体を分散して薄膜化する技術を確立する。分散剤としてイオン液体、高分子系分散剤、界面活性剤、伝導性高分子などを検討する。これを用いた電荷移動錯体/有機半導体界面におけるキャリア注入制御を試みる。カーボンやレーザー加工を用いた簡便な有機トランジスタ作成法を発展させて化学ドーブを用いて有機/有機界面を作成し、電荷移動錯体と組み合わせて短チャンネルトランジスタ、透明トランジスタの可能性やデバイスの簡便作成法などについて検討する。

## 4. 研究成果

## (1) バルキー置換基をもつ有機半導体

バルキー置換基をもつ有機半導体として、*tert*-ブチル基を置換したテトラチアフルバレン(TTF)、ペンタセン、オリゴチオフェンを合成し、その有機トランジスタの特性評価を行なった。TTF、ペンタセンではよい特性は得られなかったが、オリゴチオフェンでは溶解性が向上し、自己集積単分子膜処理なしに無置換体と同程度の特性を実現することができた[23]。

## (2) 有機伝導体ナノ粒子を用いた有機トランジスタ

有機電荷移動錯体を微粒子にして分散させる方法により有機トランジスタの電極とし、これまでの蒸着法ではつくれなかった、無機対イオンを含むカチオンラジカル塩・アニオンラジカル塩を電極とする有機トランジスタを作成した[29]。カチオンラジカル塩・アニオンラジカル塩のどちらを電極とした場合も、ペンタセンやオリゴチオフェンにはホールが注入されてp型動作が見られ、C<sub>60</sub>には電子が注入されてn型動作が見られた。マイナス電荷をもつアニオンラジカル塩からプラス電荷をもつホールが注入されたり、プラス電荷をもつカチオンラジカル塩からマイナス電荷をもつ電子が注入されるのは驚くべきことであるが、これらの有機伝導体が金属的伝導性をもっていると考えると理解することができる。トランジスタ特性がまったくシフトしないことから、金属的電荷移動錯体がいずれも真空レベルから4.8 eVのところフェルミエネルギーをもっていることが示唆される。

## (3) 化学ドーブを用いたセルフコンタクト有機トランジスタ

有機半導体薄膜の一部に化学ドーブを行って高伝導性の電荷移動錯体としたものをソース・ドレインとして用いるセルフコンタクト有機トランジスタを開発した。p型有機トランジスタとして活性層にテトラメチルテトラチアフルバレン(TMTTF)を用い電極部分にテトラシアノキノジメタン(TCNQ)を蒸着して

セルフコンタクト有機トランジスタを実現した(図1) [17]。この場合の移動度は $0.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度であったが、TMTTFの代わりにヘキサメチレンテトラチアフルバレン(HMTTF)を用いることによって移動度 $1.7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ のセルフコンタクト有機トランジスタを実現することができた[7]。電極部分も有機物となったので、さらに進んで基板やゲート部分をすべて有機物で作ったオール有機のセルフコンタクトトランジスタを作製した(図1)[7]。また、有機アクセプターであるジシアノキノンジイミン(DCNQI)を活性層とし、インクジェット印刷によってCuI溶液を印刷して電極部分を金属的なDCNQI銅錯体としたセルフコンタクト有機トランジスタを作成し、既報のDCNQIのトランジスタより優れた特性を達成した[6]。DCNQIやTTFなど単純な有機ドナー・アクセプターを蒸着するため、通常より低真空の蒸着を行ない、これらの分子が優れた薄膜トランジスタとなることを実証した[26]。

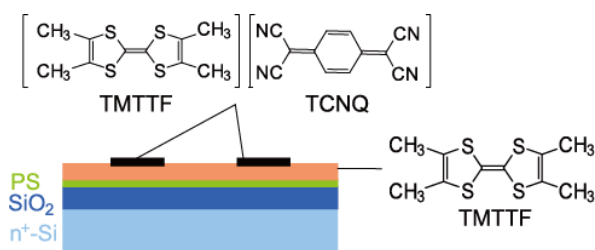


図1. セルフコンタクト有機トランジスタ[17,7]

#### (4) アンバイポーラ有機半導体の物質開発

アンバイポーラ有機半導体として、インジゴ誘導体を合成してそのトランジスタ特性を調べた。まず  $R = \text{Br}$  のものが移動度  $0.2 - 0.3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  程度のバランスのとれたアンバイポーラ特性を示すことを見出したが、さらに  $R = \text{Ph}$  の誘導体を新たに合成し、電子・ホール移動度が  $\mu_h/\mu_e = 0.55/0.95 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  という優秀なアンバイポーラ有機トランジスタを実現することができた(図2.)[5]。

また  $R = \text{F}, \text{Cl}, \text{I}$  置換体についても検討を行い、特に I 置換インジゴが  $\mu_h/\mu_e = 0.57/0.85 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  という Ph 体に匹敵する特性を示すことを見出した。p 型トランジスタでは移動度が  $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を超え、場合によっては  $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  に達する特性が報告されているが、アンバイポーラトランジスタでは  $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  をようやく超える特性が報告され始めたところであるので、上記の特性は世界のトップレベルに近い。Ph 体はインジゴ中心部が基板に垂直に立って煉瓦積み(brickwork)構造をとることが高い特性の原因であった。I 体の結晶構造は無置換体と同様傾きの大きいカラム構

造であるが、薄膜では分子がほぼ垂直に立っており、これが高特性の原因であると考えられる。I 体には分子間に I-I 結合ができ、これによる超分子相互作用が異常な薄膜構造と高移動度の原因であると考えられる。

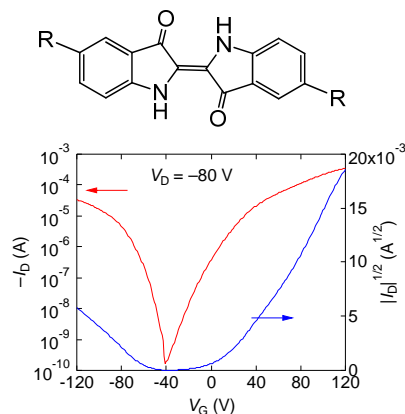


図2. 5,5'-Diphenylindigo トランジスタの伝達特性

アンバイポーラ有機トランジスタを実現するには基板の表面処理が重要であり、テトラテトラコンタン( $\text{C}_{44}\text{H}_{90}$ )を薄く蒸着して安定なアンバイポーラ特性を実現する方法が最近開発された。Dicyanomethylene terthiophene (DCMT 図3)は古くからアンバイポーラ特性が報告されている物質であるが、通常は n 型の特性( $0.2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ )のみを示し、基板温度  $136^\circ\text{C}$  以上で蒸着するとアンバイポーラ特性を示すようになるが、特性は  $\mu_h/\mu_e = 10^4/10^4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  に落ちる。我々はテトラテトラコンタン処理によって  $\mu_h/\mu_e = 0.3/0.6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を実現した[4]。

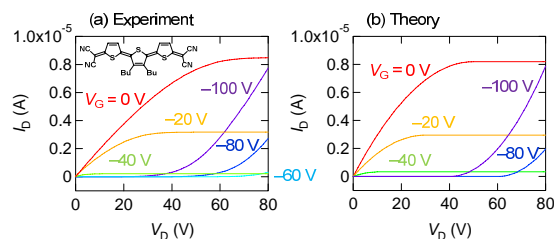
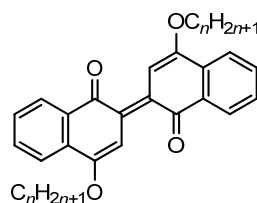
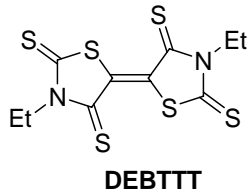


図3.

インジゴの類推で下のような青色のビナフチル化合物がアンバイポーラトランジスタ特性を示すことを報告した[3]。アルキル基が ethyl の化合物で  $\mu_h/\mu_e = 1.7 \times 10^{-3}/2.0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を示す。結晶構造はいずれの物質もビナフチル分子のユニフォームカラムをもっている。



下のような電子受容体を用いて空气中で、きわめて安定に動作するn型トランジスタを実現した。この分子はジチオールがチオケトンになったような構造をもち、比較的強い電子受容性を示す。単結晶トランジスタは大気下の動作で電子移動度  $0.22 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を示し数週間大気中で放置しても、大気中で繰り返し動作させても特性は変化しなかった[1]。



#### (5) BTBT 電荷移動錯体の開発

有機半導体として脚光を浴びているベンゾチエノベンゾチオフェン(BTBT)が、電気化学的方法によって(BTBT)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>という組成の安定でロッド状電荷移動錯体をつくることを見出し、そのキャラクタリゼーションを行った[12]。この物質は室温で  $1500 \text{ S/cm}$  程度の、SeやTeを含まない分子としては例外的に高い伝導度を示すが、これからドリフト移動度を算出すると  $5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  程度となる。図4.のようにBTBTのスタックからなる正方晶系の構造をもち、図5.のように150 K付近で抵抗ジャンプを起こすが、それ以下でも電気抵抗の温度変化は平坦であり、50 K以下で半導体化する。抵抗ジャンプはアピエゾンでカバーすることで抑えられ、50 K付近まで金属的となった。有機半導体分子と有機伝導体分子にはあまりオーバーラップがなかったが、優れた有機半導体分子が化学ドーピングによって高伝導の有機伝導体をつくるという発見は大きなブレイクスルーであると考えられる。

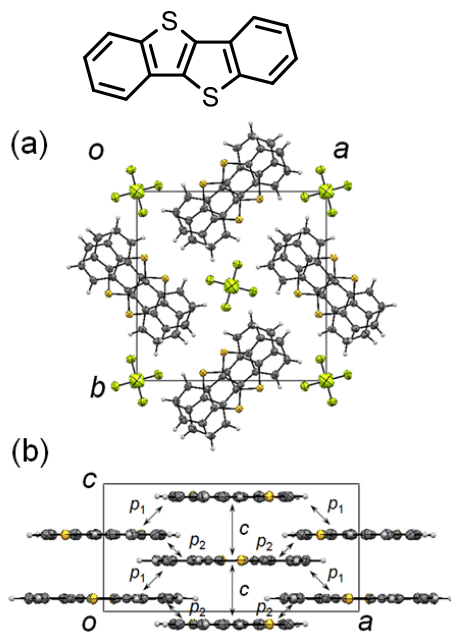


図 4. (BTBT)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub> の結晶構造

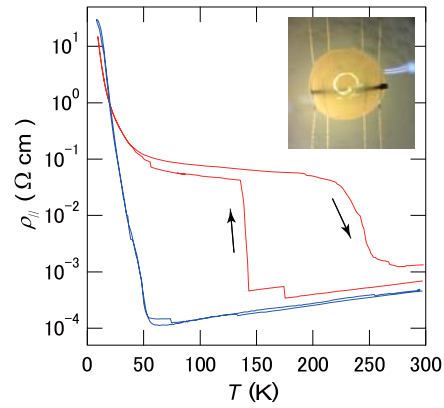


図 5. (BTBT)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub> の電気抵抗率

この物質は従来のTTF系有機伝導体よりバンド幅が狭いため、熱起電力が大きくなることが予想されることから、熱伝材料としての検討を行った。(BTBT)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>のほかアニオンをAsF<sub>6</sub>、SbF<sub>6</sub>、TaF<sub>6</sub>にしたものを作製したところ同じ結晶構造をもち高伝導性の塩が得られた。いずれの塩もPF<sub>6</sub>塩と同様150 K付近で抵抗ジャンプを起こすが、室温伝導度は表のようにさらに高く、特にAsF<sub>6</sub>塩はいくつかのサンプルの平均で  $3000 \text{ S/cm}$  を超えていた。一方、熱起電力(Seebeck 係数)  $S$  は室温で  $15 \mu\text{V/K}$  とそれほど小さくなく(図6)、温度に比例する温度変化を示すため、これから次元強結合近似を仮定してバンド幅を見積もると  $1.4 \text{ eV}$  程度となって、バンド幅が狭いという予想は当たっていないことが分かった。熱起電力には抵抗ジャンプでの異常が見られないが、これは熱起電力は電流を流さない測定法であるため伝導度とは異なった挙動になるものと解釈できる。以上の値から熱電材料の性能指数  $ZT = S^2 \sigma / \kappa$  を見積もったところAsF<sub>6</sub>塩では  $0.14$  となった。ただし有機物ではあまり変わらないとされている熱伝導率  $\kappa$  は  $0.2 \text{ W/m K}$  とした。実用的には  $ZT > 1$  と言われているが、通常の有機物では  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  程度であるので、この物質は非常に大きな  $ZT$  値を示すということが出来る。

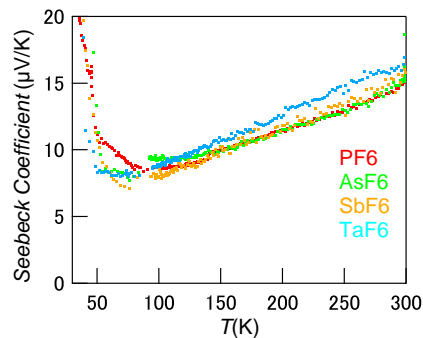


図 6. (BTBT)<sub>2</sub>X の熱起電力

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 34 件)

1. "Air-Stable n-Channel Organic Field-Effect Transistors Based on a Sulfur Rich  $\pi$ -Electron Acceptor," A. Filatre-Furcate, T. Higashino, D. Lorcy, and T. Mori, *J. Mater. Chem. C*, **3**, 3569-3573 (2015) 査読有 DOI: 10.1039/C5TC00253B.
2. "Suppression of Access Resistance Using Carbon Electrodes in Organic Transistors Based on Alkyl-Substituted Thienoacene," T. Kadoya, O. Pitayatanakul, and T. Mori, *Org. Electr.* **21**, 106-110 (2015) 査読有 DOI: 10.1016/j.orgel.2015.02.024.
3. "Ambipolar Transistor Properties of 2,2'-Binaphthoquinones," T. Higashino, S. Kumeta, S. Tamura, Y. Ando, K. Ohmori, K. Suzuki, and T. Mori, *J. Mater. Chem. C*, **3**, 1588-1594 (2015) 査読有 DOI: 10.1039/C4TC02467B.
4. "Extracting Parameters in Ambipolar Organic Transistors Based on Dicyanomethylene Terthiophene," T. Higashino, J. Cho, and T. Mori, *Appl. Phys. Exp.* **7**, 121602 (4 pages) (2014) 査読有 DOI: 10.7567/APEX.7.121602.
5. "High Performance Ambipolar Organic Field-Effect Transistors Based on Indigo Derivatives," O. Pitayatanakul, T. Higashino, M. Tanaka, H. Kojima, M. Ashizawa, T. Kawamoto, H. Matsumoto, K. Ishikawa, and T. Mori, *J. Mater. Chem. C*, **2**, 9311-9317 (2014) 査読有 DOI: 10.1039/C4TC01563K.
6. "Energy-Level Engineering in Self-Contact Organic Transistors Prepared by Ink-Jet Printing," T. Kadoya, S. Tamura, and T. Mori, *J. Phys. Chem. C* **118**(40), 23139-23146 (2014) 査読有 DOI: 10.1021/jp5070819.
7. "All-Organic Self-Contact Transistors," S. Tamura, T. Kadoya, and T. Mori, *Appl. Phys. Lett.* **105**(2), 023301 (4 pages) (2014) 査読有 DOI: 10.1063/1.4890237.
8. "An Organic Metal Derived from a Selenium Analogue of Benzothienobenzothiophene," T. Higashino, T. Kadoya, S. Kumeta, K. Kurata, T. Kawamoto, and T. Mori, *Eur. J. Inorg. Chem.* **2014**(24), 3895-3898 査読有 DOI: 10.1002/ejic.201402221.
9. "Analysing Organic Transistors Based on Interface Approximation," Y. Akiyama and T. Mori, *AIP Advances*, **4**(1) 017126 (18 pages) (2014) 査読有 DOI: /10.1063/1.4863296.
10. "Marginal Coherent Interlayer Electron Motion in the Layered Organic Superconductor with Domain Walls," T. Kawamoto, T. Mori, D. Graf, J. S. Brooks, T. Shirahata, and T. Imakubo, *J. Phys. Soc. Jpn.* **83**(1), 015002 (2 Pages) (2014) 査読有 DOI: /10.7566/JPSJ.83.015002.
11. "Trap Density of States in n-Channel Organic Transistors: Variable Temperature Characteristics and Band Transport," J. Cho, Y. Akiyama, T. Kakinuma, and T. Mori, *AIP Advances*, **3**, 102131 (14 pages) (2013) 査読有 DOI: /10.1063/1.4828415.
12. "A Highly Conducting Organic Metal Derived from an Organic-Transistor Material: Benzothienobenzothiophene," T. Kadoya, M. Ashizawa, T. Higashino, T. Kawamoto, S. Kumeta, H. Matsumoto, and T. Mori, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **15**(41), 17818-17822 (2013) 査読有 DOI: 10.1039/C3CP52881B.
13. "Correlation of Mobility and Molecular Packing in Organic Transistors Based on Cycloalkyl Naphthalene Diimides," T. Kakinuma, H. Kojima, M. Ashizawa, H. Matsumoto, and T. Mori, *J. Mater. Chem. C* **1**(34), 5395-5401 (2013) 査読有 DOI: 10.1039/C3TC30920G.
14. "Collective Response to Alternating Current in the Organic Conductor  $\alpha$ -(Bis(ethylenedithio)tetrathiafulvalene)<sub>2</sub>I<sub>3</sub>," F. Itose, T. Kawamoto, and T. Mori, *J. Appl. Phys.* **113**(21), 213702 (5 pages) (2013) 査読有 DOI: 10.1063/1.4808345.
15. "New Strongly Correlated One-Dimensional Organic Semiconductor (ChTM-TTP)<sub>2</sub>Ag(CN)<sub>2</sub>," T. Kawamoto, M. Ashizawa, and T. Mori, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **86**(4), 526-528 (2013) 査読有 DOI: 10.1246/bcsj.20120292.
16. "Giant Phototransistor Response in Dithienyl tetrathiafulvalene Derivatives," T. Kakinuma, H. Kojima, T. Kawamoto, and T. Mori, *J. Mater. Chem. C*, **1**(16), 2900-2905 (2013) 査読有 DOI: 10.1039/C3TC30089G.
17. "Self-Contact Thin-Film Organic Transistors Based on Tetramethyltetrathiafulvalene," S. Tamura, T. Kadoya, T. Kawamoto, and T. Mori, *Appl. Phys. Lett.* **102**, 063305 (4 pages) (2013) 査読有 DOI: 10.1063/1.4792704.
18. "Zero-Gap States of Organic Conductors in the Presence of Non-Stripe Charge Order," T. Mori, *J. Phys. Soc. Jpn.* **82**, 034712 (8 pages) (2013) 査読有 DOI: 10.7566/JPSJ.82.034712.
19. "Energy Band Structure and Metal-Organic Interactions in Tetracyanoquinodimethane (TCNQ) and *N,N'*-Dicyanoquinonediimine (DCNQI) Materials," H. Kojima, Z. Zhang, K. R. Dunbar, and T. Mori, *J. Mater. Chem. C* **1**(9), 1781-1790 (2013) 査読有 DOI: 10.1039/C2TC00726F.
20. "Estimated Mobility of Ambipolar Organic Semiconductors, Indigo and Diketopyrrolopyrrole," H. Kojima and T. Mori, *Chem. Lett.* **42**, 68-70 (2013) 査読有 **Editors' Choice** DOI: 10.1246/cl.2013.68.
21. "Fermi Surface of the Dual-Layered Organic Superconductor  $\kappa'$  $\alpha'$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Ag(CF<sub>3</sub>)<sub>4</sub>(TCE) with Acentric Charge-Ordered Layers," T. Kawamoto, T. Mori, T. Terashima, S. Uji, and J. A. Schlueter, *J. Phys. Soc. Jpn.* **82**(1), 024704 (4 pages) (2013) 査読有 DOI: 10.7566/JPSJ.82.024704.
22. "Interlayer Charge Disproportionation in the Layered Organic Superconductor  $\kappa$ <sub>H</sub>-(MDEDO-TSeF)<sub>2</sub>[Au(CN)<sub>4</sub>] (THF) with Polar Dielectric Insulating Layers," T. Kawamoto, T. Mori, D. Graf, J. S. Brooks, Y. Takahide, S. Uji, T. Shirahata, and T. Imakubo, *Phys. Rev. Lett.* **109**(14), 147005 (5 pages) (2012) 査読有 DOI: 10.1103/PhysRevLett.109.147005.

23. "Organic Semiconductors and Conductors with *tert*-butyl Substituents," T. Higashino, Y. Akiyama, H. Kojima, T. Kawamoto, and T. Mori, *Crystals* **2**(3), 1222-1228 (2012) 査読有 DOI:10.3390/cryst2031222.

24. "Structural Transitions from Triangular to Square Molecular Arrangements in the Quasi-One-Dimensional Molecular Conductors (DMEDO-TTF)<sub>2</sub>XF<sub>6</sub> (X = P, As, and Sb)," T. Shirahata, K. Shiratori, S. Kumeta, T. Kawamoto, T. Ishikawa, S. Koshihara, Y. Nakano, H. Yamochi, Y. Misaki, and T. Mori, *J. Am. Chem. Soc.* **134**(32), 13330-13340 (2012) 査読有 DOI: 10.1021/ja303435n.

25. "Rapid Voltage Oscillations and ac-dc Interference Phenomena in the Two-Dimensional Charge-Ordered Organic Conductor β<sup>-</sup>-(Bis(ethylenedithio)tetrathiafulvalene)<sub>3</sub>(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>," F. Itose, T. Kawamoto, and T. Mori, *J. Appl. Phys.* **112**, 033714 (8 pages) (2012) 査読有 DOI: 10.1063/1.4745036.

26. "Organic Field-Effect Transistors Based on Small-Molecule Organic Semiconductors Evaporated under Low Vacuum," T. Takahashi, S. Tamura, Y. Akiyama, T. Kadoya, T. Kawamoto, and T. Mori, *Appl. Phys. Exp.* **5**, 061601 (3 pages) (2012) 査読有 DOI:10.1143/APEX.5.061601.

27. "Two-Dimensional Superconductivity in the Layered Organic Superconductor κ<sub>H</sub>-(DMEDO-TSeF)<sub>2</sub>[Au(CN)<sub>4</sub>](THF) with Thick Dielectric Insulating Layers," T. Kawamoto, T. Mori, Y. Takahide, T. Terashima, S. Uji, T. Shirahata, and T. Imakubo, *Phys. Rev. B*, **85**, 041504 (6 pages) (2012) 査読有 DOI: 10.1103/PhysRevB.85.041504.

28. "T<sub>c</sub> of 11 K Identified for the Third Polymorph of the (BEDT-TTF)<sub>2</sub>Ag(CF<sub>3</sub>)<sub>4</sub>(TCE) Organic Superconductor," T. Kawamoto, T. Mori, A. Nakao, Y. Murakami, and J. A. Schlueter, *J. Phys. Soc. Jpn.* **81**, 023705 (4 pages) (2012) 査読有 DOI: 10.1143/JPSJ.81.023705.

29. "Charge Injection from Organic Charge-Transfer Salts to Organic Semiconductors," T. Kadoya, D. de Caro, K. Jacob, C. Faulmann, L. Valade, and T. Mori, *J. Mater. Chem.* **21**(45), 18421 (4 pages) (2011) 査読有 DOI: 10.1039/C1JM12783G.

30. "Disordered Polyhalide Anion Effect on the Fermi Surface of the Incommensurate Organic Superconductors (MDT-TSF)I<sub>0.77</sub>Br<sub>0.52</sub>," T. Kawamoto, T. Mori, K. Enomoto, T. Konoike, T. Terashima, S. Uji, H. Kitagawa, K. Takimiya, and T. Otusbo, *Phys. Rev. B*, **84**, 094518 (6 pages) (2011) 査読有 DOI: 10.1103/PhysRevB.84.094518. **Editors' Suggestion**

31. "Dihedral Angle Dependence of Transfer Integrals in Organic Semiconductors with Herringbone Structures," H. Kojima and T. Mori, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **84**(10), 1049-1056 (2011) 査読有 DOI: 10.1246/bcsj.20110176. **Selected Paper**

32. "Stabilization of Organic Field-Effect Transistors by *tert*-Butyl Groups in Dibenzotetrathiafulvalene Derivatives," J. Nagakubo, M. Ashizawa, T. Kawamoto, A. Tanioka, and T. Mori, *Phys. Chem.*

*Chem. Phys.* **13**, 14370-14377 (2011) 査読有 DOI: 10.1039/C1CP21507H.

33. "Organic Charge-Transfer Salts and the Component Molecules in Organic Transistors," T. Mori, *Chem. Lett.* **40**(6), 428-434 (2011) **Highlight Review** 査読有 DOI: 10.1246/cl.2011.428.

34. "Fermi Surface and in-Plane Anisotropy of the Layered Organic Superconductor κ<sub>L</sub>-(DMEDO-TSeF)<sub>2</sub>[Au(CN)<sub>4</sub>](THF) with Domain Structures," T. Kawamoto, T. Mori, Y. Takahide, S. Uji, D. Graf, J. S. Brooks, T. Shirahata, M. Kibune, H. Yoshino, and T. Imakubo, *Phys. Rev. B*, **83**(1), 012505 (4 pages) (2011) 査読有 DOI: 10.1103/PhysRevB.83.012505.

[学会発表] (計 3 件)

1. T. Kawamoto, "Electronic states of the dual-layered organic superconductor (BEDT-TTF)<sub>2</sub>Ag(CF<sub>3</sub>)<sub>4</sub>(TCE)" International Symposium on Crystalline Organic Metals Superconductors and Ferromagnets, Montreal, July 17, 2014.

2. J. Cho, "Novel determination method of trap DOS & investigation of band transport in n-channel organic transistors" International Conference on Flexible and Printed Electronics, Juju Korea, Sept. 13, 2013.

3. T. Kadoya, M. Ashizawa, T. Kawamoto, H. Matsumoto, T. Mori, A new charge-transfer salt, (BTBT)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>, International Symposium on Materials Science Opened by Molecular Degrees of Freedom, Phenix Seagaia Resort, 2012 年 12 月 1-4 日.

[図書] (計 1 件)

1. 「分子エレクトロニクスの基礎—有機伝導体の電子論から応用まで」森健彦著 化学同人 (2013) 453 ページ.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

1. 森健彦, 角屋智史 「有機薄膜トランジスタの製造方法及び有機薄膜トランジスタ」住友化学工業及び東京工業大学, 特許出願 2013-34805, 特許公開 2013-211534, 2013 年 2 月 25 日出願 国内.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 健彦 (MORI TAKEHIKO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号: 60174372

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

川本 正 (KAWAMOTO TADASHI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教  
研究者番号: 60323789