

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 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：23350088

研究課題名(和文)高性能有機トランジスタおよび太陽電池を与える新規なN型有機半導体の創出

研究課題名(英文) Development of Novel n-Type Organic Semiconductors Giving High-Performance Organic Field-Effect Transistors and Solar Cells

研究代表者

山下 敬郎 (YAMASHITA, YOSHIRO)

東京工業大学・総合理工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：90116872

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,100,000円

研究成果の概要(和文)：分子軌道エネルギーおよび分子間相互作用を考慮して、ヘテロ環化合物を基本骨格とした拡張電子系を設計・合成して新規なn型半導体を開発し、これらを活性層とする薄膜トランジスタを作製した。例えば、含窒素ヘテロ環化合物に電子受容性の置換基と長鎖アルキル基を導入することで大気下で駆動するトランジスタを溶液プロセスで作製出来た。また、非対称や非平面構造の新規ヘテロ環化合物が薄膜太陽電池のn型半導体として作動することを見つけた。

研究成果の概要(英文)：We have developed novel n-type organic semiconductors for organic transistors and solar cells by considering molecular-orbital energy levels and intermolecular interactions. For example, heterocyclic compounds with electron-accepting groups and long-alkyl substituents afforded air-stable n-type organic transistors by a solution method. Heterocyclic compounds with non-symmetric or non-planar structures worked as n-type semiconductors for organic solar cells.

研究分野：化学

キーワード：有機半導体 有機トランジスタ 有機太陽電池 機能材料 電子受容体 合成化学

1. 研究開始当初の背景

有機電界効果トランジスタ (O F E T) は有機エレクトロニクスの主要な分野として期待されている。高性能 O F E T の実現には革新的な有機半導体の開発が極めて重要であり、そのためには学術的な基礎研究により、分子設計の指針を作ることが求められている。新規な有機半導体の開発研究は国内外で競って行なわれており、マテリアル関係の国際誌には数多くの報告が掲載されており、有機半導体に関する特許も多く出されている。ペンタセンなどのアセン類とチオフェンオリゴマーなどのヘテロ環オリゴマーなどが p 型特性を示す代表である。ペンタセンではアモルファスシリコンを上回るホール移動度の p 型 F E T が作製されており、不安定性と難容性のペンタセンの欠点を解消した種々な p 型有機半導体も開発されている。チエノチオフェン骨格を有するアセン類縁体からは $10 \text{ cm}^2/\text{vs}$ を超える高移動度が実現されている。これらの p 型 O F E T に対して n 型 O F E T は種類が少なく、性能および安定性も劣り、大気下で駆動出来るものはごく少数である。我々はトリフルオロメチルフェニル基を置換したチアゾロチアゾール誘導体やピチアゾール誘導体がアモルファスシリコンを上回る電子移動度を示すことを見つけた。しかし、これらの O F E T は閾値電圧が高いこと、大気安定性に乏しいことが欠点であった。また、これらの分子は溶媒に不溶のため、デバイス作製は蒸着法に限られ、溶液法は適用出来ていない。

また、有機半導体の p、n 接合で構築される有機薄膜太陽電池に高い関心が集まっている。しかし、その変換効率はシリコン太陽電池よりかなり劣り、実用化には光電変換効率の向上が鍵となっている。しかも、有機薄膜太陽電池に使われる n 型半導体はフラレーン類を除いて極めて低効率であり、非フラレーンの新規な n 型有機半導体の開発が強く望まれている。

2. 研究の目的

(1) 従来の n 型 O F E T が抱えている低いキャリア移動度、低安定性、高い駆動電圧などの欠点を克服し、世界最高水準の高性能 n 型 O F E T を開発する。高性能 n 型 O F E T の実現には革新的な n 型有機半導体の開発が必須である。本研究ではヘテロ環化合物を利用して、半導体分子のフロンティア軌道エネルギー準位の制御、分子間相互作用の強化、分子配列の制御、グレイン間の相互作用の強化を考慮して新規な n 型半導体の開発を行ない、分子設計の指針を提案する。また、溶媒に可溶性な半導体を開発して溶液法での O F E T デバイスの作製を行なう。

(2) フラレーン類に替わる有機薄膜太陽電池の n 型半導体を開発する。そのためには、高い電荷分離効率と高いキャリア移動度が必要であり、革新的な分子開発が必要である。本研究では、半導体分子のエネルギー準位の制

御、分子の次元性の増大、電子系の拡張、分子配列の制御を行ない、有機太陽電池に向けた分子設計の指針を提案する。

3. 研究の方法

(1) 高性能 O F E T を与える n 型有機半導体の開発

低い L U M O エネルギーと強い分子間相互作用が期待されるヘテロ環化合物を基本骨格とした 拡張電子系を設計・合成する。分子間相互作用の強化のためにヘテロ原子間の相互作用および水素結合を利用する。半導体分子の溶解度を向上させるために長鎖アルキル基および分岐型アルキル基を導入する。エネルギー準位は吸収スペクトルと CV で測定した酸化還元電位から求める。分子構造ならびに分子間相互作用は単結晶 X 線構造解析で明らかにする。薄膜構造は X 線回折ならびに A F M 測定で解析する。物性と分子構造の関係を究明し、高いキャリア移動度を示す半導体の分子設計の指針を明らかにする。

(2) フラレーン類に替わる有機薄膜太陽電池の n 型半導体の開発

高い電荷分離効率と高い電子移動度を実現するために、L U M O 準位の調整と非平面構造の導入を図る。L U M O 準位を低下させるためにイミド基や含窒素ヘテロ環を用いる。非平面構造はピフェニル基のねじれのような立体障害を利用する。非平面構造は X 線構造解析ならびに光学的特性で明らかにする。

(3) O F E T デバイスの作製

蒸着法による薄膜デバイスは、 SiO_2/Si 基板、金電極を用いてボトムコンタクトおよびトップコンタクトで作製する。基板表面を SAM 修飾し、結晶成長や分子配向を促進することでグレイン界面の影響を低下させ移動度の向上を図る。溶液に可溶性な半導体はスピノコートや滴下法等の塗布法によりデバイスを作製する。A F M や S E M 測定で薄膜構造を観察する。真空下と大気下の測定を行ない、大気安定性を見積もる。

(4) 薄膜太陽電池の作製

バルクヘテロ層を用いた ITO/PEDOT:PSS/新規 n 型半導体:P3HT/Al 型の素子構造のデバイスを作製し、光電変換効率を評価する。

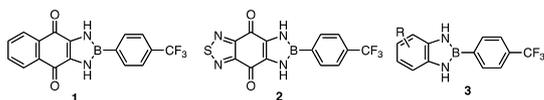
4. 研究成果

(1) ジアザポロール誘導体

ジアザポロールはインドールと等電子構造のため電子供与性を有し、芳香環縮合体は p 型半導体特性を示す。しかし、ボロンにトリフルオロメチルフェニル基を置換し、ナフトキノン縮合した化合物 **1** は $10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の電子移動度の n 型特性を示した。**1** はナフトキノ部に置換基の導入が容易で各種の誘導体が合成出来た。また、**2** のように電子受容性のベンゾチアジアゾール環を縮合して L U M O 準位を低下させることで大気安定性が発現された。

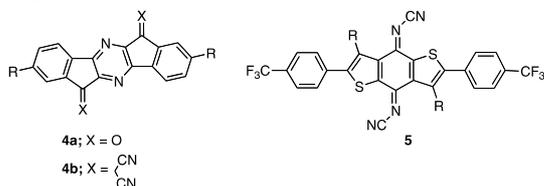
ベンゾジアザポロール誘導体 **3** はジアザポ

ロール部からトリフルオロメチルフェニル基への分子内電荷移動による高効率の蛍光を示した。



(2) ジンデノピラジンジオン誘導体

ハロゲン、アルキル、アルカノイル基を導入したジンデノピラジンジオン誘導体 **4a** 及びジシアノメチレン化した化合物 **4b** を合成した。これらの分子はカルボニル基およびピラジン環のために電子アクセプター性を持ち、*n* 型半導体特性を示した。**4b** は **4a** よりも低い LUMO を持ち、FET デバイスは大気安定性を示した。フッ素基を有する化合物は黒色と赤色の多形結晶を与え、これらの色の違いを構造解析と固体の反射スペクトルで考察した。アルカノイル基を有する化合物では溶液法による OFET デバイス作製を行った。

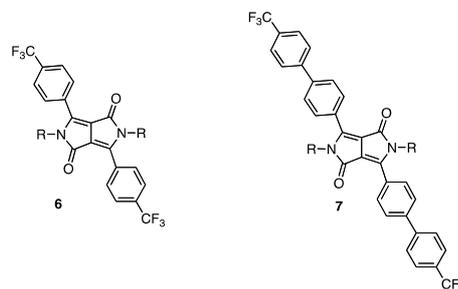


(3) チオフェン縮合体の*N*-シアノイミン系

N-シアノイミノ基はジシアノメチレン基と同様な強い電子求引性を有する。しかし、今までシアノイミノ基は *n* 型有機半導体に利用されていなかった。チオフェンが縮環した化合物 **5** は、対応するキノンから四塩化チタン触媒の *N*-イミノ化反応で合成した。還元電位が -0.12, -0.17 V であり、強い電子受容性を示した。また、長鎖アルキル基のために有機溶媒に可溶であり、溶液法でのデバイス作製が出来た。スピコート法で作製した薄膜は結晶性が良く、FET デバイスは $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の電子移動度を示した。高い電子受容性のために大気安定性もあった。長鎖アルキル基を分岐アルキル基 ($\text{C}_2\text{H}_4\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{C}_4\text{H}_9$) に替えると 1 桁程度移動度が向上した。

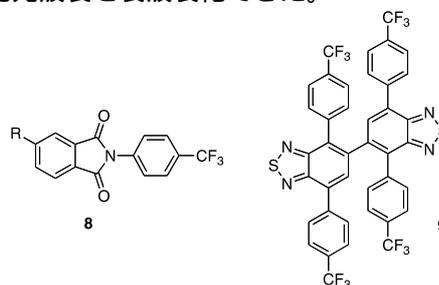
(4) ジケトピロロピロール誘導体

ジケトピロロピロール(DPP)はNH体では水素結合によりリボン状のネットワークを形成した。通常、DPP骨格は *p* 型半導体のユニットとして利用されるが、トリフルオロメチルフェニル基を導入した分子 **6** は *n* 型の FET 特性を示し、移動度は $0.029 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と良好であった。*N*-メチル体の移動度は $3.7 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と低いことから水素結合によるネットワーク形成が移動度の向上に有用であることが示された。この骨格に芳香環を挿入した分子 **7** は、電子系の拡張と分子のねじれ構造のため薄膜太陽電池の *n* 型半導体として光電効果を示した。



(5) フタルイミド類縁体

M 位にトリフルオロメチルフェニル基を置換したフタルイミド骨格を拡張電子系を導入することで *n* 型半導体対特性を付与出来た。フタルイミド **8** の無置換体 ($R = \text{H}$) やアリール置換体 ($R = \text{Ph}$, 2-thienyl etc) は、結晶粉末をこすると発光するトリボルミネセンスを示した。これらの結晶構造は対称心の無い構造で、双極子モーメントの大きい分子ならびに分子集合体の構造が特異な発光現象の原因と考えられる。アリール部に電子供与性の置換基を導入することで分子内電荷移動により発光波長を長波長化できた。



(6) ベンゾチアジアゾールダイマー

フラレンは球状分子であるため共役が立体的に広がっていることで三次元的にキャリアを輸送できる。その特異なキャリア輸送が、高い光電変換効率を得ることができる要因の一つと考えられる。そこで、強い電子受容性を持ち、非平面構造分子となるビベンゾチアジアゾール骨格に着目し、新規 *n* 型有機半導体 **9** を設計・合成した。**9** は単結晶 X 線構造解析よりダイマー接続部で 58.6° ねじれている非平面分子であった。P3HT を *p* 型半導体ポリマー、**9** を *n* 型半導体として用いたバルクヘテロ構造の薄膜太陽電池では光電変換効率 0.35% が測定された。対応するベンゾチアジアゾールモノマーでは光電効果が観測されなかったことから、2 量化による非平面構造が重要であることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 17 件)

- 1) Large Enhancement of Neurite Outgrowth on a Cell-Membrane Mimicking Conducting Polymer, B. Zhu, S.-C. Luo, H. Zhao, J. Sekine, A. Nakao, C. Chen, H.-A. Lin, Y. Yamashita, H. Yu, *Nature Commun.* **5**, 4523 (2014). 10.1038/incomms5523 (査読有)
- 2) Dye-sensitized Solar Cells Based on 1,

3-Dithiol-2-ylidene Derivatives: Substituent and -Spacer Effects on the Efficiency, A. Wada, J. Nishida, A. M. Maitani, Y. Wada, Y. Yamashita, *Chem. Lett.*, **43**, 296-298 (2014). 10.1246/cl.130931 (査読有)

3) Direct Arylations for Study of the Air-Stable P-Heterocyclic Biradical: From Wide Electronic Tuning to Characterization of the Localized Radical Electrons, S. Ito, Y. Ueta, T.T.T. Ngo, M. Kobayashi, D. Hashizume, J. Nishida, Y. Yamashita, K. Mikami, *J. Am. Chem. Soc.*, **135**, 17610-17617 (2013), 10.1021/ja049625x (査読有)

4) Controlled Protein Absorption and Cell Adhesion on Polymer Brushes Grafted Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Films, H. Zhao, B. Zhu, S.-C. Luo, H.A. Lin, A. Nakao, Y. Yamashita, H. Yu, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **5**, 4536-4543 (2013). 10.1021/am400135c (査読有)

5) Molecular or Nanoscale Structures? The Deciding Factor of Surface Properties on Functionalized Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Nanorod Arrays, H.A. Lin, S.-C. Luo, B. Zhu, C. Chen, Y. Yamashita, H. Yu, *Funct. Adv. Mater.*, **23**, 3212-3219 (2013). 10.1002/adfm.201203006 (査読有)

6) Synthesis and Photo-Electrochemical Properties of Novel Thienopyrazine and Quinoxaline Derivatives, and Their Dye-Sensitized Solar Cell Performance, T. Kono, T. N. Murakami, J. Nishida, Y. Yoshida, K. Hara, Y. Yamashita, *Org. Electronics*, **13**, 3097-3101 (2012). 10.1016/j.orgel.2012.09.005 (査読有)

7) Solution-processed and Air-stable n-Type Organic Thin-Film Transistors Based on Thiophene-fused Dicyanoquinonediimine (DCNQI) Derivative, S. Chen, Y. Zhao, A. Bolag, J. Nishida, Y. Liu, Y. Yamashita, *ACS Applied Materials & Interfaces*, **4**, 3994-4000 (2012). 10.1021/am300822z (査読有)

8) Ambipolar Behavior of Hydrogen-Bonded Diketopyrrolopyrrole-thiophene Cooligomers Formed from Their Soluble Precursors, Y. Suna, J. Nishida, Y. Fujisaki, Y. Yamashita, *Org. Lett.*, **14**, 3356-3359 (2012). 10.1021/ol3013364 (査読有)

9) Synthesis, Crystal Structures and Properties of 6,12-Diaryl Substituted Indeno[1,2-b]fluorenes, J. Nishida, S. Tsukaguchi, Y. Yamashita, *Chem. A Eur. J.*, **18**, 8964-8970 (2012). 10.1002/chem.201200591 (査読有)

10) Tetracyanoanthraquinodimethanes Having Biaryl Substituents: Synthesis, Crystal Structures and Physical Properties, H. Chiba, J. Nishida, Y. Yamashita, *Chem. Lett.*, **41**(5), 482-484 (2012). 10.1246/cl.2012.482 (査読有)

11) Crystal Structures and Triboluminescence Based on Trifluoromethyl and Pentafluorosulfanyl Substituted Asymmetric N-Phenyl Imide Compounds, H. Nakayama, J. Nishida, N. Takada, H. Sato, Y. Yamashita, *Chem. Mater.*, **24**, 671-676 (2012). 10.1021/cm202650u (査読有)

12) Enhanced Performance of Dye-Sensitized Solar Cells with Novel 2,6-Diphenyl-4H-pyranylidene Dyes, A. Bolag, J. Nishida, K. Hara, Y. Yamashita, *Org.*

Electronics", **13**, 425-431 (2012). 10.1016/j.orgel.2011.11.020 (査読有)

13) Preparation, Physical Properties and n-Type FET Characteristics of Substituted Diindenopyrazinediones and Bis(dicyanomethylene) Derivatives, J. Nishida, H. Deno, S. Ichimura, T. Nakagawa, Y. Yamashita, *J. Mater. Chem.*, **22**, 4483-4490 (2012). 10.1039/c2jm14955a (査読有)

14) Synthesis, Characterization, OFET and OLED Properties of π -Extended Ladder-type Heteroacenes Based on Indolodibenzothiophene, C. Wang, J. Nishida, M. R. Bryce, Y. Yamashita, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **85**, 136-143 (2012). 10.1246/bcsj.20110255 (査読有)

15) Diazaboroles with Quinone Units: Hydrogen Bonding Network and n-Type FETs Involving a Three-coordinate Boron Atom, J. Nishida, T. Fujita, Y. Yamashita, *J. Mater. Chem.*, **21**, 16442-16447 (2011). 10.1039/c1jm12650d (査読有)

16) n-Type Field-Effect Transistors Based on Thieno[3,3-b]thiophene-2,5-dione and the Bis(dicyanomethylene) Derivatives, S. Chen, A. Bolag, J. Nishida, Y. Yamashita, *Chem. Lett.*, **40**, 998-1000 (2011). 10.1246/cl.2011.998 (査読有)

17) Synthesis and n-Type Field-Effect Transistor Characteristics of Diketopyrrolopyrrole Derivatives, Y. Suna, J. Nishida, Y. Fujisaki, Y. Yamashita, *Chem. Lett.*, **40**, 822-824 (2011). 10.1246/cl.2011.822 (査読有)

[学会発表](計 49 件)

- 1) 山下敬郎、新規なドナー-アクセプター型 電子系の開発と有機半導体への応用、第8回有機電子系シンポジウム、2014年11月21日、ホテル龍登園(佐賀県・佐賀市)
- 2) 佐藤良侍・西田純一・山下敬郎・陣内青萌・家裕隆・安蘇芳雄、新規 n 型有機半導体ビベンゾチアジアゾール誘導体とピキノキサリン誘導体の合成と太陽電池への応用第8回有機電子系シンポジウム、2014年11月22日、ホテル龍登園(佐賀県・佐賀市)
- 3) 檜山駿・山下敬郎、4-トリフルオロメチルフェニル基を有するジフルオロベンゾチアジアゾール誘導体及びその誘導体の合成とFET特性、第8回有機電子系シンポジウム、2014年11月22日、ホテル龍登園(佐賀県・佐賀市)
- 4) 堀勇雄・西田純一・山下敬郎、ヘテロ原子で安定化された含ホウ素有機化合物合成と発光挙動、第8回有機電子系シンポジウム、2014年11月22日、ホテル龍登園(佐賀県・佐賀市)
- 5) 大浦北斗・西田純一・高田徳幸・山下敬郎、フタルイミド誘導体のトリボルミネッセンスにおける置換基及びドーピングの効果、第8回有機電子系シンポジウム、2014年11月22日、ホテル龍登園(佐賀県・佐賀市)
- 6) 長峯巧弥・高田徳幸・西田純一・山下敬郎、トリフルオロメチルフェニル基を有するカルバゾール誘導体のトリボルミネッセンス、第23回有機結晶シンポジウム、2014年9月15日、東邦大学(千葉県・船橋市)
- 7) 佐藤良侍・西田純一・山下敬郎・陣内青萌・家

裕隆・安蘇芳雄、新規 n 型有機半導体ピベンゾチアジアゾール誘導体とピキノキサリン誘導体の合成と太陽電池への応用、第 25 回基礎有機化学討論会、2014 年 9 月 7 日、東北大学（宮城県・仙台市）

8) 檜山駿・柿下元・西田純一・山下敬郎 5-位にカルバゾール基を有する 2,1,3-ベンゾチアジアゾール誘導体および類縁体の合成および物性第 25 回基礎有機化学討論会、2014 年 9 月 8 日、東北大学（宮城県・仙台市）

9) 堀勇雄・西田純一・山下敬郎、2-位に電子受容性アリアル基を有するベンゾジアザポロール誘導体の発光特性、第 25 回基礎有機化学討論会、2014 年 9 月 8 日、東北大学（宮城県・仙台市）

10) 大浦北斗・西田純一・高田徳幸・山下敬郎、フタルイミド誘導体のトリボルミネッセンスにおける置換基効果と Ir 錯体添加の検討、第 25 回基礎有機化学討論会、2014 年 9 月 8 日、東北大学（宮城県・仙台市）

11) 和田淳志・山下敬郎、1,3-ジチオールを有する新規 D- π -A 型色素を用いた色素増感太陽電池、第 25 回基礎有機化学討論会、2014 年 9 月 8 日、東北大学（宮城県・仙台市）

12) Yoshiro Yamashita, Benzodiazaboroles Showing Intramolecular Charge-Transfer Fluorescence, THE 41st International Conference on Coordination Chemistry, 2014, June 20, Singapore

13) 伊藤晋平・山下敬郎・西田純一、電子求引性置換基を有する新規なジケトピロロピロール誘導体の合成と物性、日本化学会第 94 春季年会、2014 年 3 月 27 日、名古屋大学（愛知県・名古屋市）

14) 佐藤良侍・山下敬郎・西田純一、新規 n 型有機半導体ピベンゾチアジアゾール誘導体の合成と太陽電池への応用、日本化学会第 94 春季年会、2014 年 3 月 27 日、名古屋大学（愛知県・名古屋市）

15) 片山卓也・西田純一・山下敬郎、ピリジニウム基を置換した色素の合成と色素増感太陽電池への応用、日本化学会第 94 春季年会、2014 年 3 月 27 日、名古屋大学（愛知県・名古屋市）

16) 大浦北斗・高田徳幸・西田純一・山下敬郎、フタルイミド誘導体のトリボルミネッセンスにおける置換基効果、日本化学会第 94 春季年会、2014 年 3 月 27 日、名古屋大学（愛知県・名古屋市）

17) 檜山駿・山下敬郎・西田純一、4,7 位にチエニル基を有する 2-アリアルベンゾジアザポロール誘導体の合成と発光特性、日本化学会第 94 春季年会、2014 年 3 月 27 日、名古屋大学（愛知県・名古屋市）

18) 堀勇雄・西田純一・山下敬郎、2 位に電子受容性アリアル基を有するベンゾジアザポロール誘導体の光学特性、日本化学会第 94 春季年会、2014 年 3 月 27 日、名古屋大学（愛知県・名古屋市）

19) 堀勇雄・西田純一・山下敬郎、ベンゾジアザポロール誘導体の分子内電荷移動発光、第 7 回有機電子系シンポジウム、2013 年 12 月 14 日、高崎ビューホテル（群馬県・高崎市）

20) 片山卓也・西田純一・山下敬郎、ピリジニウム基を置換したジフェニルピラニリデン色素の合成と色素増感太陽電池への応用、第 7 回有機電子系シンポジウム、2013 年 12 月 14 日、高崎ビュー

ホテル（群馬県・高崎市）

21) 檜山駿・西田純一・山下敬郎、4,7-位を拡張した 2-アリアルベンゾジアザポロール誘導体の合成と物性、第 7 回有機電子系シンポジウム、2013 年 12 月 14 日、高崎ビューホテル（群馬県・高崎市）

22) 大浦北斗・長谷川弘侑・西田純一・山下敬郎、フタルイミド誘導体のトリボルミネッセンス、第 7 回有機電子系シンポジウム、2013 年 12 月 14 日、高崎ビューホテル（群馬県・高崎市）

23) 佐藤良侍・西田純一・山下敬郎、非平面構造の新規な n 型有機半導体の開発と太陽電池への応用、第 7 回有機電子系シンポジウム、2013 年 12 月 14 日、高崎ビューホテル（群馬県・高崎市）

24) 山下敬郎・堀勇雄・永山裕樹・大山将史・西田純一、ベンゾジアザポロール誘導体の電荷移動発光、第 22 回有機結晶シンポジウム、2013 年 10 月 30 日、北海道大学（札幌市）

25) 和田淳志、西田純一、米谷真人、和田雄二、山下敬郎、1,3-ジチオールピニリデンへの芳香環の導入による光学特性変化と色素増感太陽電池への応用、2013 年電気化学会秋季大会、2013 年 9 月 27 日、東工大（東京）

26) 長峯巧弥・西田純一・山下敬郎、トリフルオロメチルフェニル基を有するカルバゾール誘導体の合成、結晶構造とトリボルミネッセンス、2013 年電気化学会秋季大会、2013 年 9 月 27 日、東工大（東京）

27) 西田純一・長谷川弘侑・大浦北斗・高田徳幸・佐藤寛泰・山下敬郎、対称心なく配列したオリゴチエニルイミド誘導体に基づいた分子内電荷移動型トリボルミネッセンス、第 24 回基礎有機化学討論会、2013 年 9 月 5 日、学習院大学（東京）

28) 木村健人・アラタンボラガ・西田純一・山下敬郎、新規ジフェニルピラニリデン色素の合成と色素増感太陽電池への応用、第 24 回基礎有機化学討論会、2013 年 9 月 6 日、学習院大学（東京）

29) 柿下元・西田純一・藤崎好英・山下敬郎、7 位をアリアル置換した新規なジシアノピラジノ [2,3-b]キノキサリン誘導体の合成と光学的性質および FET 特性、第 24 回基礎有機化学討論会、2013 年 9 月 6 日、学習院大学（東京）

30) 堀勇雄・永山裕樹・西田純一・山下敬郎、2-アリアル-1,3,2-ベンゾジアザポロール誘導体の分子内電荷移動発光、第 24 回基礎有機化学討論会、2013 年 9 月 6 日、学習院大学（東京）

31) Yoshiro Yamashita, Diazaborole Derivatives Showing High Carrier Mobilities and Efficient Fluorescence, The 15th Asian Chemical Congress, August 19-23, 2013, Singapore

32) 今枝優太・平野慎二・戸村正章・西田純一・山下敬郎・小野克彦、N-Bocピロロール誘導体を用いた熱変換型有機半導体の研究開発、日本化学会第 93 春季年会、2013 年 3 月 22 日、立命館大学（滋賀県・草津市）

33) 伊藤繁和・小林誠・ゴチャンティトゥ・上田恭弘・三上幸一・西田純一・山下敬郎、1,3-ジホスファシクロブタン-2,4-ジールの結晶多型と FET 特性、日本化学会第 93 春季年会、2013 年 3 月 22 日、立命館大学（滋賀県・草津市）

34) 長峯巧弥・西田純一・山下敬郎、トリフルオロメチルフェニル基を有するカルバゾール誘導体の合成とトリボルミネッセンス、日本化学会第93春季年会、2013年3月22日、立命館大学(滋賀県・草津市)

35) 楊帆・西田純一・山下敬郎、トリイソプロピルシリルエチニル基を有するジシアノテトラアザアセン類の合成と物性、日本化学会第93春季年会、2013年3月22日、立命館大学(滋賀県・草津市)

36) 寺田絢香・西田純一・山下敬郎、ピラジン骨格を有する新規色素の合成と色素増感太陽電池への応用、日本化学会第93春季年会、2013年3月22日、立命館大学(滋賀県・草津市)

37) 伊藤晋平・西田純一・山下敬郎、新規なDPP誘導体の合成と有機薄膜太陽電池のn型有機半導体への応用、日本化学会第93春季年会、2013年3月22日、立命館大学(滋賀県・草津市)

38) 長峯巧弥・西田純一・山下敬郎、トリフルオロメチルフェニル基を導入したカルバゾール誘導体の合成と物性、第6回有機電子系シンポジウム、2012年12月14日、愛媛大学(松山市)

39) 西田純一・大山将史・永山裕樹・山下敬郎、2-アリール-1,3,2-ベンゾジアザポロール誘導体の構造と光学的性質、第21回有機結晶シンポジウム、2012年11月8日、東工大(神奈川県・横浜市)

40) 原正敏・西田純一・山下敬郎、チオフェン縮環イミド化合物の構造と物性、第21回有機結晶シンポジウム、2012年11月8日、東工大(神奈川県・横浜市)

41) 西田純一・塚口晋吾・山下敬郎、アリール置換されたインデノフルオレン誘導体の合成、結晶構造と物性、第21回有機結晶シンポジウム、2012年11月8日、東工大(横浜)

42) 千葉宙・西田純一・山下敬郎、アリール基を導入したテトラシアノアントラキノジメタン誘導体の結晶構造と物性、第21回有機結晶シンポジウム、2012年11月8日、東工大(横浜)

43) 山下敬郎、高性能有機FETを与える有機半導体の分子設計、アンビエント研究会、2012年10月23日、東京

44) Yoshiro Yamashita, Development of Novel n-Type Organic Semiconductors for Organic Field-effect Transistors, International School & Symposium on Molecular Materials and Devices, September 23, 2012, Durham (UK)

45) A. Wada, M. Oyama, J. Nishida, K. Hara, Y. Yamashita, Synthesis and Properties of Novel Donor-Acceptor Type Dyes Having a 1,3-Dithiole Ring for Organic Dye-Sensitized Solar Cells, International School & Symposium on Molecular Materials and Devices, September 23, 2012, Durham (UK)

46) 西田純一・中山光・永山裕樹・長谷川弘侑・大山将史・長峰巧弥・高田徳幸・佐藤寛泰・山下敬郎、非対称化合物の合成と光学特性、第23回基礎有機化学討論会、2012年9月19日、京都大学(京都市)

47) 小野克彦・中島章裕・西田純一・山下敬郎、非対称なチオフェンオリゴマー類の合成と物性、第23回基礎有機化学討論会、2012年9月19日、

京都大学(京都市)

48) 大山将史・永山裕樹・西田純一・山下敬郎、2-フェニル-1,3,2-ベンゾジアザポロール誘導体の合成と物性、第23回基礎有機化学討論会、2012年9月19日、京都大学(京都市)

49) 砂有紀・西田純一・山下敬郎、水素結合型ジケトピロロピロール-チオフェンオリゴマーの電解効果トランジスタ特性、第23回基礎有機化学討論会、2012年9月19日、京都大学(京都市)

〔図書〕(計 1 件)

山下敬郎、シーエムシー出版、有機デバイスのための塗布技術、竹谷純一 監修、高性能有機FETにおける有機半導体の分子設計、2012年、pp 95-106

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山下 敬郎 (YAMASHITA, YOSHIRO)
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授
研究者番号：90116872

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

西田 純一 (NISHIDA, JUNICHI)
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・助教
研究者番号：70334521