

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目： 特定領域研究
 研究期間： 2005 ～ 2009
 課題番号： 17069011
 研究課題名（和文） ナノリンクのための有機π共役分子群の創製
 研究課題名（英文） Development of Organic π -Conjugated Systems for the Study of Linked Molecules in Nano-Scale

研究代表者

山口 茂弘 (YAMAGUCHI SHIGEHIRO)
 名古屋大学・大学院理学研究科・教授
 研究者番号：60260618

研究成果の概要（和文）：本研究では、分子と電極との接合，すなわち、「ナノリンク」の電気伝導特性の系統的な物性評価を可能にする新π共役骨格の構築と、電極と分子とのスムーズな電氣的接合を可能にする新アンカー官能基の探索を目的とした。具体的には、架橋オリゴ(*p*-フェニレンビニレン)およびヘテロアセン骨格を基本構造に用いた新規π電子系分子を合成し、それらの構造解析、物性評価を行うとともに、他グループとの共同研究により単一分子の電気伝導特性の解明に取り組んだ。

研究成果の概要（英文）：Throughout this research project, we have aimed at the following two subjects: (1) design and synthesis of novel π -conjugated skeletons which enable the systematic studies of the electron-transporting properties of linked molecules in nano-scale, and (2) development of a new anchoring group for an efficient electronic contact through a molecule-electrode junction. We succeeded in the synthesis of various new π -conjugated molecules including ladder-type oligo(*p*-phenylenevinylene)s and fused oligothiophenes, and investigated their structural features and properties. We also studied their electron-transporting properties of their single-molecule junctions as well as their single crystals.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	36,100,000	0	36,100,000
2006 年度	18,400,000	0	18,400,000
2007 年度	13,400,000	0	13,400,000
2008 年度	13,400,000	0	13,400,000
2009 年度	13,400,000	0	13,400,000
総計	94,700,000	0	94,700,000

研究分野：基礎科学

科研費の分科・細目：

キーワード：合成化学，有機導体，ナノ材料，ナノコンタクト，光物性

1. 研究開始当初の背景

分子エレクトロニクス研究における本研究開始当時の火急の課題は、分子と電極との接合，すなわち、「ナノリンク」の電気伝導

特性の正確な評価，理解であった。そのために評価に適した分子系の創製研究が世界的に幾つかの研究グループにより開始されていた。その主な視点は、分子ワイヤーとなる

π 共役鎖の開発と、電極と分子をつなぐアンカー部位の探索であった。特に前者については精力的に検討されていたが、後者に関しては、精巧な分子設計は殆どなされていないのが現状であった。

2. 研究の目的

本研究では、ナノリンクの電気伝導特性の正確な評価、理解に向けて、(1) 分子と電極との接合、すなわち、「ナノリンク」の電気伝導特性の系統的な物性評価を可能にする新たな π 共役骨格の構築と(2) 電極と分子とのスムーズな電気的接合を可能にする新アンカー官能基の探索を目的とした。

3. 研究の方法

(1) **系統的評価を可能にする新たな π 共役骨格の構築**：架橋オリゴ(フェニレンビニレン)類は、構造揺らぎのない高平面性 π 共役骨格をもつとともに、架橋元素の種類によって電子構造を大幅に変化させることができるため、電気伝導特性の系統的な物性評価を可能にする π 共役骨格として高い可能性をもつと期待できる。本研究では、ジフェニルアセチレン類の分子内二重環化の開発を鍵として、種々の架橋元素を有する一連の架橋オリゴ(*p*-フェニレンビニレン)の合成をおこない、これらの基礎物性の解明に取り組んだ。

(2) **縮環オリゴチオフェンの電荷移動度の評価**：完全縮環構造をもつオリゴチオフェン類は、理想的な分子ワイヤーとして興味深いだけでなく、密な π スタッキング構造の形成が期待されるため、優れた有機半導体として有望である。これらは、有機トランジスタ材料として注目されるペンタセンなどのアセン類のヘテロ原子版であり、アセン類に比べ、空気酸化に対し安定であるという特徴をもつ。本研究では、モデル化合物としてチオフェン環が4個または5個縮環した化合物の合成をおこない、これらの単結晶におけるFET特性を竹谷純一教授(大阪大学)との共同研究により検討した。

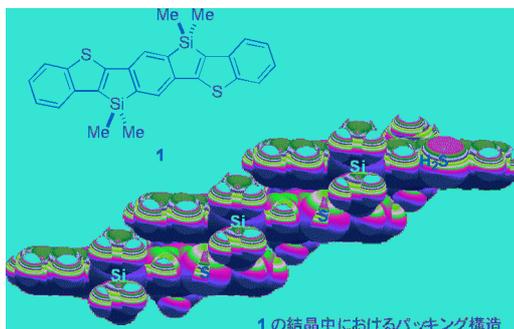
(3) **新アンカー官能基の探索**：電極と分子とのスムーズな電気的接合を可能にするアンカーとしてジベンゾホスホールスルフィド(DBPS)に着目し、その誘導体の合成、およびアンカーとしての特性の解明をおこなった。

第一に、*p*-フェニルジベンゾホスホールスルフィドをモデル化合物として用い、Cu(100)面への吸着状態について、吉信淳教授(東大物性研)との共同研究により、高分解能電子エネルギー損失分光(HREELS)およびX線光電子分光(XPS)により精査した。森川良忠准教授(阪大産研)との共同研究により、吸着分子の挙動を第一原理計算により検討した。

さらに、このアンカー部位を両末端にもつオリゴフェニレンを合成し、単分子接合系における電気伝導特性を木口学准教授(東工大)との共同研究により測定した。

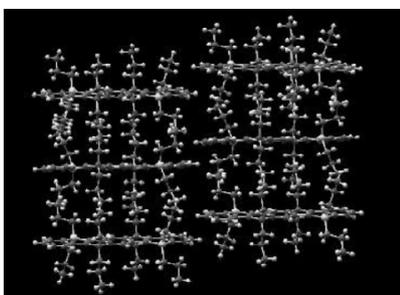
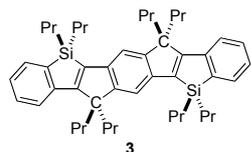
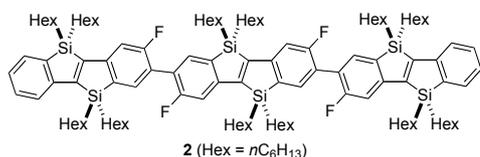
4. 研究成果

(1) **系統的評価を可能にする新たな π 共役骨格の構築**：完全縮環構造をもつ架橋オリゴ(フェニレンビニレン)類として、第一に、ケイ素/硫黄架橋ジスチリルベンゼン **1** およびその類縁体の合成をおこなった。(o-シリルフェニル)(o-ハロフェニル)アセチレンからの分子内求核的二重環化反応を新たに開発し、ケイ素/硫黄架橋ビス(スチリル)ベンゼンおよびその類縁体の合成を達成した。これらの分子構造と固体構造との相関について詳細に調査した。その結果、内側にケイ素架橋部位を有する硫黄/ケイ素架橋ジスチリルベンゼン **1** では、ケイ素上の置換基がガイドの役割を果たし、J会合体様のずれた π - π スタッキング構造が実現されていることがわかった(下図)。典型元素の構造特性を生かすことで固体状態での分子配列を制御可能であることを示した結果といえる。これらの構造制御により固体物性の制御が自在に行えれば、これらの化合物の潜在性はさらに高まると期待できる。

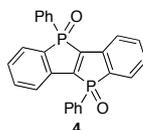


一方、すべての架橋元素を14族元素のケイ素あるいは炭素にすると、架橋元素上の置換基が π 電子系の上下に位置し、分子間の π スタッキングを阻害するため、 π 共役骨格を架橋元素上の置換基により被覆した分子ワイヤーを実現することができる。さらに、架橋元素上の置換基を上手く選択することにより、固体状態での分子配列の制御も可能となる。本研究ではこのような考えのもと、ケイ素上に直鎖アルキル基を有するケイ素架橋スチルベン三量体 **2** およびケイ素/炭素架橋ジスチリルベンゼン **3** を合成した。X線結晶構造解析により、ケイ素および炭素上のアルキル鎖は π 共役骨格の垂直方向に配向したall-anti配座をとり、このアルキル鎖間のvan der Waals相互作用によって各々の一

次元ネットワークの π 共役平面がシート状に配列しアルキル鎖の間隔で隔てられたパッキング構造をとることがわかった。結晶状態における **2** および **3** の蛍光量子収率を測定したところ、それぞれ 0.64 および 0.63 と比較的高い値を示し、希薄溶液における蛍光量子収率 0.92 および 0.82 と比較してさほど低下していないことがわかった。アルキル鎖による π 共役骨格の被覆効果により、固体状態においても高い蛍光量子収率が維持できたといえる。これまでに、オリゴ(フェニレンビニレン)は、分子ワイヤーの中でも最も低い減衰因子をもち、主鎖方向に沿って優れた電子移動を示す分子ワイヤーであることが報告されている(例えば, N. Martín, D. M. Guldi ら, *J. Am. Chem. Soc.* **2004**, *126*, 5340.) が、本化合物群は平面性の高いオリゴフェニレンビニレン骨格がアルキル鎖で完全被覆された構造をもついわば究極版であり、分子ワイヤーとしての応用が期待できる。



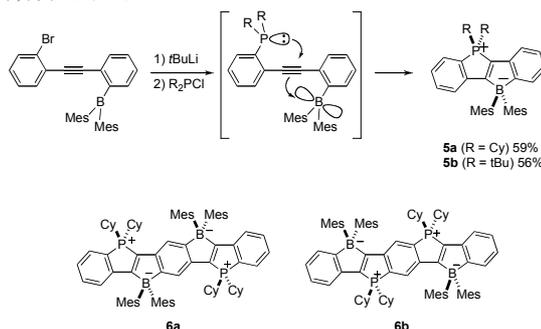
Crystal packing structure of **3**



また、新たな π 電子系骨格として、ホスホリル (P(=O)R) 基で架橋した架橋オリゴ(フェニレンビニレン)類の合成に取り組んだ。ビス(*o*-ホスファニルフェニル)アセチレンからの自発的ドミノ環化反応により、ホスホリル架橋スチルベン **4** の合成に成功した。得られた π 電子系が、強い蛍光や低い還元電位などの特徴的な性質を示すことを明らかにした。また、一つの異性体(シス体)はキラルであ

り、2つのエナンチオマーを分離することによりキラル構成単位としての潜在性をもつことを示した。

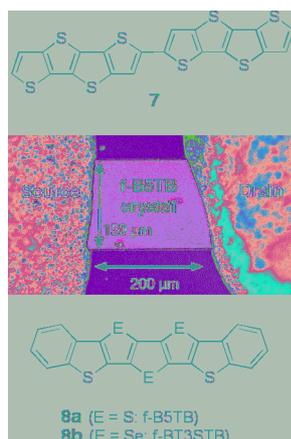
さらに、オリゴ(フェニレンビニレン)骨格の大幅な電子構造修飾を指向し、15族リンと13族ホウ素を導入したホスホニウム・ボラート架橋体 **5** の合成に取り組んだ。(ポリルフェニル)(ホスファニルフェニル)アセチレンから分子内二重環化反応が自発的に進行し、双性イオン構造をもつ架橋スチルベンが得られることを見いだした。この方法をもとに、ホスホニウム・ボラート架橋ジスチルベン **6** を含む一連のラダー π 電子系を合成し、これらが大きく分極した電子構造を反映して、長波長での発光や二光子吸収特性など、特異な光物性を示すことを明らかにした。本化合物は、剛直で平面性の高い π 共役骨格をもつばかりでなく、 π 共役平面の上下に嵩高い置換基をもつことから、被覆された分子ワイヤーとしての応用に期待ができる。さらには、双性イオン構造に起因して大きな双極子モーメントをもつことから、単分子素子として用いることで分子ダイオードや、電極・半導体表面の仕事関数の制御などへの応用が期待される。



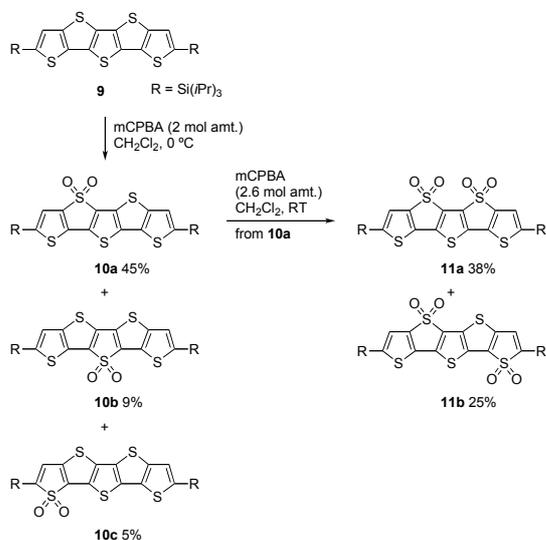
(2) 縮環オリゴチオフェンの電荷移動度の評価

我々はこれまでに、縮環オリゴチオフェン骨格の一般的合成法の確立に取り組み、新たに開発したジアセチレン類の分子内環化反応、あるいはその手法をさらに修飾した方法論により、一連の縮環オリゴチオフェン類の合成をこれまでに達成している。また、これらの手法をもちいることにより、セレンフェン誘導体の合成も可能であることを示してきた。本研究では、十分な π 共役鎖長をもち、かつ、比較的大量スケールで合成が可能な系としてテトラチエノアセン二量体 **7** を標的化合物に設定し、無置換二量体の合成を達成した。昇華法により作製した単結晶の結晶構造解析により、非結合性 S---S 相互作用に基づいた face-to-face 型 π スタッキング構造をとることを明らかにした。また、ベンゼン縮環ペンタチエノアセン **7** についても結晶構造解析に成功し、同様の π スタッキング構造を取ることを明らかにした。この構造

は、縮環オリゴチオフェンに一般的な構造であるといえる。ベンゼン縮環ペンタチエノアセン **8a** およびその硫黄を一カ所セレンに置き換えた **8b** の単結晶を用いた FET 特性評価をおこなったところ、**8a** の場合に $0.4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、およびセレン誘導体 **8b** の場合に $1.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ という高い電荷移動度を示すことが明らかとなった。同条件下で測定したペンタセンの移動度よりは若干落ちるが、その高い化学安定性を考えると新たな有機トランジスタ材料として期待できる。



さらに、固体状態での分子配向の制御を目指す、嵩高さの異なる可溶性シリル置換基をもつ二種類の縮環オリゴチオフェンを合成した。これらの単結晶中での分子配向性について検討した結果、いずれの化合物も J 会合様式のずれた face-to-face 型 π スタッキング構造をとる一方で、末端シリル基の嵩高さが小さいほど分子間の重なりが大きくなり、これに伴って電荷移動度が約 50 倍向上することを明らかにした。固体状態での分子配向制御が高い電荷移動度の実現に重要であることを明快に示した結果である。

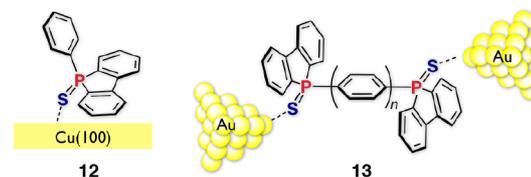


以上のように、縮環オリゴチオフェン類は電子供与性の高い π 電子系であり、安定な p 型半導体材料として有望な化合物群である。一方で、チオフェン環の硫黄を強い電子求引基であるスルホニル基に酸化し、チオフェン-*S,S*-ジオキソドへ変換することで、電子受容性を大幅に高めることができる。ペンタチエノアセン **9** に mCPBA を作用させ、段階的な酸化反応をおこなうことで、対応するチオフェン-*S,S*-ジオキソド骨格を 1 つおよび 2 つ有する化合物 **10** および **11** の合成に成功した。これらの電気化学特性を検討した結果、チオフェン-*S,S*-ジオキソド骨格の導入に伴って著しく電子受容性が向上することがわかった。現在有機半導体の分野において重要課題の一つとなっている安定な n 型半導体の開発に対して有力な方法論になりうる。

(3) 新アンカー官能基の探索：電極と分子とのスムーズな電気的接合を可能にするアンカーとしてジベンゾホスホールスルフィド (DBPS) に着目し、その誘導体の合成をおこなった。

第一に、*P*-フェニルジベンゾホスホールスルフィド **12** の Cu (100) 面への吸着挙動を、高分解能電子エネルギー損失分光 (HREELS) および X 線光電子分光 (XPS) により検討したところ、低温では Cu (100) 面に分子状で吸着する一方、室温以上では Cu によるホスフィンスルフィドの還元反応が進行し、*P*-フェニルジベンゾホスホールが解離吸着することがわかった。この吸着は $120 \text{ }^\circ\text{C}$ まで安定であることが明らかとなった。

一方で、このアンカー部位を両末端にもつオリゴ(*p*-フェニレン) 類 **13** を合成し、金電極をもちいて単一分子接合における電気伝導特性の評価をおこなった。DBPS は Au(111) に対して少なくとも室温で安定な分子架橋系を形成することを明らかにし、これらがチオールをアンカーに用いた場合と同等の伝導性をもつことを示した。金電極を考慮に入れた理論計算により、これらがフェルミ準位に非常に近い LUMO 準位をもち、共鳴トンネル効果による電気伝導を示すことが示唆された。チオールをアンカーとする類縁体の電気伝導がトンネル機構であるのとは対照的である。DBPS の高い電子受容性を反映した結果であるといえ、アンカーによる単一分子接合の電子構造修飾によりナノリ



ンク分子の電気伝導特性を制御できる可能性を示唆している。

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 20 件)

- 1) A. Fukazawa, H. Yamada, Y. Sasaki, S. Akiyama, and S. Yamaguchi, Zwitterionic Ladder Bis(arylethenyl)benzenes with Large Two-Photon Absorption Cross Sections, *Chem. Asian J.*, 査読有, 5, 2010, 466-469.
- 2) R. M. Osuna, V. Hernández, J. T. L. Navarrete, J. Aragón, P. M. Viruela, E. Ortí, Y. Suzuki, S. Yamaguchi, J. T. Senssler, A. J. Matzger, FT Raman and DFT Study on a Series of All-*anti* Oligothiophenes End-Capped with Triisopropylsilyl Groups, *ChemPhysChem.*, 査読有, 10, 2009, 3069-3076.
- 3) A. Fukazawa, Y. Ichihashi, Y. Kosaka, and S. Yamaguchi, Benzo[*b*]phosphole-Containing π -Electron Systems: Synthesis Based on an Intramolecular *trans*-Halophosphanylation and Some Insights into Their Properties, *Chem. Asian J.*, 査読有, 4, 2009, 729-1740.
- 4) R. M. Osuna, M. C. R. Delgado, V. V. Hernández, J. T. L. Navarrete, B. Vercelli, G. Zotti, J. J. Novoa, Y. Suzuki, S. Yamaguchi, J. T. Henssler, A. J. Matzger, Oxidation of End-Capped Pentathienoacenes and Characterization of Their Radical Cations, *Chem. Eur. J.*, 査読有, 15, 2009, 12346-12361.
- 5) H. Zhang, T. Karasawa, H. Yamada, A. Wakamiya, and S. Yamaguchi, Intramolecular Reductive Double Cyclization of *o,o'*-Bis(arylcarbonyl)diphenylacetylenes: Synthesis of Ladder π -Conjugated Skeletons, *Org. Lett.*, 査読有, 11, 2009, 3076-3079.
- 6) Q. Zhao, H. Zhang, A. Wakamiya, and S. Yamaguchi, Coordination-Induced Intramolecular Double Cyclization: Synthesis of Boron-Bridged Dipyriddylenes and Dithiazolylvinylenes, *Synthesis*, 査読有, 2009, 127-132.
- 7) H. Yamada, C. Xu, A. Fukazawa, A. Wakamiya, and S. Yamaguchi, Structural Modification of Silicon-Bridged Ladder Stilbene Oligomers and Distyrylbenzenes, *Macro. Chem. Phys.*, 査読有, 210, 2009, 904-916.
- 8) A. Iida and S. Yamaguchi, Intense Solid-State Blue Emission with a Small Stokes' Shift: π -Stacking Protection of Diphenylanthracene Skeleton, *Chem. Commun.*, 査読有, 2009, 3002-3004.
- 9) H. Yoshida, Y. Watazu, N. Sato, T. Okamoto, and S. Yamaguchi, Electronic Structure of Bis(benzo)pentathienoacene in Gas and Solid Phase: Ultraviolet Photoemission Spectroscopy

and Energy Band Calculation, *Appl. Phys. A*, 査読有, 95, 2009, 185-191.

- 10) H. Zhang, A. Wakamiya, and S. Yamaguchi, Highly Electron-Donating 3,3'-Diaryl-1,1'-Bi(isobenzofuran)s Synthesized by Photochemical Exocyclic [2+2+2] Cycloaddition, *Org. Lett.*, 査読有, 10, 2008, 3591-3594.
- 11) A. Fukazawa, H. Yamada, and S. Yamaguchi, Phosphonium and Borate-Bridged Zwitterionic Ladder Stilbene and Its Extended Analogues, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 査読有, 47, 2008, 5582-5585.
- 12) Y. Suzuki, T. Okamoto, A. Wakamiya, and S. Yamaguchi, Electronic Modulation of Fused Oligothiophenes by Chemical Oxidation, *Org. Lett.*, 査読有, 10, 2008, 3393-3396.
- 13) A. Wakamiya, K. Mishima, K. Ekawa, and S. Yamaguchi, Kinetically Stabilized Dibenzoborole as an Electron-Accepting Building Unit, *Chem. Commun.*, 査読有, 2008, 579-581.
- 14) A. Fukazawa, M. Hara, T. Okamoto, K. Tamao, S. Yamaguchi, Bis-Phosphoryl-Bridged Stilbenes Synthesized by an Intramolecular Cascade Cyclization, *Org. Lett.*, 査読有, 10, 2008, 913-916.
- 15) A. Iida, K. Nagura, and S. Yamaguchi, Disilylphenylene and Tetrasilylphenylene as a New Building Unit for Highly Fluorescent Poly(aryleneethynylene)s, *Chem. Asian J.*, 査読有, 3, 2008, 1456-1464.
- 16) K. Yamada, T. Okamoto, K. Kudoh, A. Wakamiya, S. Yamaguchi, and J. Takeya, Single Crystal Field Effect Transistors of Benzo-Annulated Fused Oligothiophenes and Oligoselenophenes, *Appl. Phys. Lett.*, 査読有, 90, 2007, 072102.
- 17) K. Mouri, A. Wakamiya, H. Yamada, T. Kajiwara, and S. Yamaguchi, Ladder Distyrylbenzenes with Silicon and Chalcogen Bridges: Synthesis, Structures, and Properties, *Org. Lett.*, 査読有, 9, 2007, 93-96.
- 18) T. Okamoto, K. Kudoh, A. Wakamiya, and S. Yamaguchi, General Synthesis of Extended Fused Oligothiophenes Consisting of Even Number of Thiophene Rings, *Chem. Eur. J.*, 査読有, 13, 2007, 548-556.
- 19) K. Kudoh, T. Okamoto, and S. Yamaguchi, Reactions of Fused Polycyclic 1,2-Dithiins with Transition Metals: Synthesis of Heteroacenes via Desulfurization, *Organometallics*, 査読有, 25, 2006, 2374-2377.
- 20) S. Yamaguchi, C. Xu, and T. Okamoto, Ladder π -Conjugated Materials with Main Group Elements, *Pure Appl. Chem.*, 査読有, 78, 2006, 721-730.

[学会発表] (計 203 件)

- 1) 山口茂弘, Main Group Chemistry toward New Functional π -Electron Materials, 2009 RIKEN International Symposium on Chemistry and Materials Science, 2009 年 11 月 4-6 日, 和光市・埼玉
- 2) 山口茂弘, New Functional Organoboron π -Conjugated Compounds, The 9th International Conference on Heteroatom Chemistry (ICHAC-9), 2009 年 6 月 30 日-7 月 4 日, Oviedo, Spain
- 3) 山口茂弘, Intramolecular Double Cyclization for the Efficient Synthesis of Ladder π -Conjugated Skeletons, The 9th International Symposium on Organic Chemistry, 2008 年 11 月 21-23 日, Chiayi, Taiwan.
- 4) 山口茂弘, Intramolecular Double Cyclization as a Versatile Protocol for New π Electron Materials, The 14th Japan-Korea Seminar on Organic Chemistry, 2009 年 10 月 23-26 日, 熱海
- 5) 山口茂弘, Main Group Approach toward New Functional π -Electron Materials, International Symposium of Post-Silicon Materials and Devices Research Alliance Project, 2009 年 9 月 4-6 日, 大阪
- 6) 山口茂弘, 分子が拓く未来エレクトロニクス, 科学技術政策研究所シンポジウム, 2009 年 5 月 26 日, 東京
- 7) 山口茂弘, Intramolecular Double Cyclization for the Efficient Synthesis of Ladder π -Conjugated Skeletons, The 9th International Symposium on Organic Chemistry, 2008 年 11 月 21-23 日, Chiayi, Taiwan.
- 8) 山口茂弘, Ladder π -Electron Materials Synthesized by Intramolecular Double Cyclization of *o,o'*-Disubstituted Diphenylacetylenes, The 8th International Symposium on Functional π -Electron Systems (Fpi8), 2008 年 7 月 20-25 日, Graz, Austria
- 9) 山口茂弘, Ladder π -Electron Materials with Phosphorus and Boron, International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC2008), 2008 年 7 月 13-18 日, Rennes, France
- 10) 山口茂弘, New Acetylenic Cyclizations Directed Toward Organic Electronics, The 17th International Conference on Organic Synthesis (ICOS-17), 2008 年 6 月 22-27 日, Daejeon, Korea
- 11) 山口茂弘, Main Group Approach to New π -Electron Materials, First International Symposium on Interdisciplinary Materials Science (ISIMS-2008), 2008 年 3 月 13-14 日, つくば
- 12) 山口茂弘, Main Group Element-Containing New π -Electron Materials, 2nd International Symposium on Advanced Materials (Hiroshima

University-Kyungpook National University Joint Symposium), 2008 年 2 月 1-2 日, Daegu, Korea

13) 山口茂弘, New π -Conjugated Materials with Main Group Elements, KOPO 2007 Workshop of Conjugated Oligomers and Polymers - From Synthesis to Electronic Function, 2007 年 9 月 24-27 日, Blaubeuren, Germany

14) 山口茂弘, New π -Conjugated Systems with Main Group Elements, The International Workshop on Electron Transport through a Linked Molecule in Nano-Scale, 2007 年 8 月 18-20 日, 東京

15) 山口茂弘, New π -conjugated materials with main group elements, Pre-symposium of ISNA-12 in Tokyo "Novel π -Systems, Novel Properties, 2007 年 7 月 21 日, 東京

16) 山口茂弘, 典型元素を含む π 電子系の化学の新展開, 第 1 回デバイス物性研究会, 2007 年 4 月 13 日, 大阪

17) 山口茂弘, Recent Progress in the Functional Organoboron Materials, 2nd BASF Boron Conference, 2006 年 9 月 26-27 日, 東京

18) 山口茂弘, Functional Organoelement Materials: Design and Synthesis, 4th Spanish-Portuguese-Japanese Organic Chemistry Symposium, 2006 年 9 月 8-11 日, Santiago de Compostela, Spain

19) 山口茂弘, 元素の特性を活かした電子機能性材料の分子設計, 応用物理学会有機バイオエレクトロニクス部会研究会, 平成 18 年 3 月 10 日, 東京

20) 山口茂弘, Boron and Silicon-Containing Functional π -Electron Materials, PACIFICHEM 2005, 2005 年 12 月 15-20 日, ハワイ

[その他]

ホームページ等

・研究室ホームページ

<http://orgreact.chem.nagoya-u.ac.jp/>

・名古屋大学教員プロフィール

<http://kenpro.mynu.jp:8001/Profiles/0025/0002506/profile.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 茂弘 (YAMAGUCHI SHIGEHIRO)
名古屋大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号 : 60260618

(2) 研究分担者

若宮 淳志 (WAKAMIYA ATSUSHI)
京都大学化学研究所・准教授
研究者番号 : 60362224