

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02163

研究課題名(和文)ホウ素ドーブナノグラフェンの機能開拓

研究課題名(英文)Study of Novel Functions of Boron-Doped Nanographene Materials

研究代表者

山口 茂弘 (Yamaguchi, Shigehiro)

名古屋大学・物質科学国際研究センター(WPI)・教授

研究者番号：60260618

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,300,000円

研究成果の概要(和文)：グラフェン骨格への3配位ホウ素の導入により、電子受容性の付与に留まらず、ホウ素のルイス酸性や配位数変化を利用した化学吸着能も付与でき、グラフェン化学の新たな展開が期待できる。ホウ素ドーブグラフェンの本質的な性質の理解を目的に、モデルとなる幾つかのタイプのナノグラフェン材料をボトムアップ合成するとともに、ホウ素の導入によってこそ得られる特異な物性、現象の探索、追究に取り組んだ。種々の新規なホウ素電子系の合成を達成するとともに、光反応性や化学吸着能の理解、溶液プロセスによる薄膜形成、両極性電荷輸送性を示す安定化ラジカルの合成などを達成した。

研究成果の概要(英文)：Incorporation of tri-coordinate boron atoms into a graphene skeleton produces various fascinating properties and functions. Aiming at the precise understanding the inherent properties of the boron-doped graphenes, we have synthesized various types of boron-containing nanographene materials as the model systems and studied their structures, properties, and functions. We have explored photoreactivity of the boron-containing pi-systems and their chemisorption properties leading to sensory applications. We have also achieved the solution-processed preparation of their thin films for organic field-effect transistors (FETs). A highly stabilized organic pi radical has been also synthesized, which showed ambipolar carrier-transporting properties in a single crystal FET.

研究分野：典型元素化学

キーワード：ホウ素 グラフェン 半導体特性 蛍光

1. 研究開始当初の背景

二次元的に骨格が拡張されたグラフェンは、エレクトロニクス、センサー、触媒、エネルギー貯蔵/変換など、広範な実践的応用を可能にする鍵材料として有望である。これらの実現には、電子構造、形状、分子間相互作用などの点でより精緻に修飾されたグラフェン材料の合成が鍵となる。その一つのアプローチとして重要になるのがヘテロ原子の導入である。3 配位窒素原子を導入すれば電子供与性に富んだ電子構造が実現できるし、C=N 二重結合を C=C 二重結合のかわりに導入できれば電子受容性を付与できる。この観点で興味深いのがホウ素の導入である。3 配位ホウ素は、カルボカチオンと等電子構造であり、この電子欠損性の原子の導入により、単なる電子受容性の付与に留まらず、ホウ素のルイス酸性や 3 配位から 4 配位ポラートへの変化を利用した化学吸着能も付与でき、グラフェン化学の新たな展開が期待できる。ホウ素ドーピンググラフェンは当然大きな注目を集め、重要な標的材料として多くの研究がなされているが、大半は物理的合成によるものであり、ホウ素の位置や数を規定できない、ホウ素の数を増やすことができないといった問題があった。ホウ素ドーピンググラフェンの本質的な性質を的確に理解するには、有機合成的なボトムアップ合成により、その部分構造をモデル系として得、その反応性や物性を把握することが求められていた。

2. 研究の目的

本研究では、ホウ素ドーピンググラフェンのモデルとなる幾つかのタイプのナノグラフェン材料のボトムアップ合成を進めるとともに、ホウ素を導入することによってこそ得られる特異な物性、現象の探索、追究に取り組み、有機エレクトロニクスからバイオイメージングまでの広範な展開を視野に入れた機能創出の基礎を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

我々はこれまでホウ素を含む電子系の設計と合成に一貫して取り組み、反芳香族性をもつポロール電子系や、アニオンセンシング能をもつトリアリールボラン類、固体発光性に優れたホウ素置換電子系など、特徴的な電子的特性をもつ数々の材料を創出してきた。その中で共通して分子設計の制約となってきたのが、本質的に不安定な 3 配位ホウ素化合物をいかに安定化するかという点である。一般的な分子設計の戦略は、かさ高い置換基の導入によるホウ素の速度論的安定化である。しかし、置換基のかさ高さは分子間相互作用を阻害するため、固体状態での電荷キャリア移動などの特性を狙う場合には決定的な欠点となる。かさ高さに依存しない安定化の手法が必要となり、そのアイデアとして「構造固定による安定化」を提案した。実際に平面固定化したトリフェニルボラン

は、高い化学的・熱的安定性を示し、有用な電子受容性コア骨格となることを見出した。この知見を基盤に新規な平面固定トリアリールボラン類を合成し、その構造、物性、機能性を追求するとともに、より高度に拡張されたホウ素ドーピングナノグラフェンの合成を検討した。

4. 研究成果

(1) ホウ素電子系の合成と光反応性の解明：特異な電子構造や反応性をもつホウ素ドーピングナノグラフェンの探索を目的にいくつかのホウ素電子系骨格の創出と光反応性の解明に取り組んだ。

まず、ホウ素-ホウ素結合を環内に含む 6 員環共役ジエンである 1,2-ジボリンが 4 反芳香族性を有することに着目し、この骨格にチオフェンを縮環したジチエノ-1,2-ジボリンの合成に取り組んだ。チオフェンの導入により反芳香族性は増大し、それに伴い長波長可視領域に特徴的な吸収を示した。また、金属なしでも分子性水素と反応して、水素原子が B-B 結合に挿入した化合物を与えた。2 つのホウ素原子の空の p 軌道が同一平面に固定されることにより生み出される特性と言える。

次に、平面ホウ素電子系骨格に 7 員環骨格を導入することを考え、平面固定 B-フェニルジベンゾボレピンの合成も行った。ホウ素を含む 7 員環骨格のボレピンは、トロピリウムイオンと等電子構造であり、中性かつ 6 芳香族性をもつ骨格である。平面固定化した誘導体を合成したところ、得られた化合物は、空気や水に対する高い安定性を有していながら、ピリジンなどの Lewis 塩基と錯形成するだけの十分な Lewis 酸性を保持していた。また、ホウ素上のアリール基に電子供与性の骨格を導入した誘導体は、蛍光の大きな溶媒効果を示しながらも、極性溶媒中においても高い量子収率 ($\Phi_F > 0.9$) を保持できるという発光性材料として興味深い特性を示した。これまでのボレピン電子系の化学と異なり、平面固定化により B-フェニル方向に共役を拡張でき、新たな電子受容性骨格として高い有用性をもつ。

また、ホウ素電子系の光安定性の基礎的知見を得るために、トリアリールボラン類の光反応性についても検討した。有機ホウ素化合物の光反応性は、古くから研究されてきたものの、その反応様式はほとんどが四配位ホウ素の形成を鍵とするものであり、三配位ホウ素とカルボカチオンの等電子性により説明できるような反応様式は知られていなかった。今回、ジメチルボリル基が置換したアレーン誘導体の光反応性を検討した結果、スピロ骨格をもつボラインダン誘導体が見出された。理論計算および過渡吸収測定により反応機構を検討した結果、本反応は三配位ホウ素を含む π 共役系での [1,6]-シグマトロピー転位とつづく炭素-炭素

結合反応の二段階で進行することが明らかとなった。この際、三配位ホウ素の空の p 軌道を介した π 共役の拡張が、[1,6]-シグマトロピー転位において重要な役割を果たしていることが示唆された。

ホウ素 電子系の発光性材料としての応用を考えると、その光安定性に関する知見も重要である。この観点から、電子供与性のアミノ基と電子受容性のボランとを組み合わせた donor-pi-acceptor 型の発光体における構造と光安定性との相関の解明についても検討した。電子供与性置換基をホウ素を導入することにより、光安定性を向上できることがわかった。

(2) ホウ素ドーパナノグラフェンの化学吸着能の解明：分子の形状が明確に定まったホウ素ドーパナノカーボンの精密合成は、ナノカーボン材料においてホウ素ドーピングが物性に与える影響を解明する上で重要である。すでに合成に成功している二つのホウ素原子を中央にもつナノグラフェン分子を用い、その物性および電子材料としての機能を明らかにするために、1) ルイス酸性、2) 酸化還元挙動、3) 電池電極材料としての性能について詳細に検討を行った。ホウ素ドーパナノグラフェンはホウ素上の空の軌道に由来したルイス酸性をもち、様々なルイス塩基に対して化学吸着特性を示した。また、その化学吸着 (Lewis 酸塩基錯形成) に応じて分子構造の大きな変化を伴い、吸収・蛍光特性も著しく変化した。特に、 NH_3 ガスの化学吸着によるターン ON 発光特性は、アンモニアセンサーとしての展開が期待できる。また、ホウ素ドーパナノグラフェンの二電子還元により発生したジアニオン種が、基底三重項ピラジカルとしての性質を示しことを明らかにした。これは等電子構造であるナノグラフェン分子が基底一重項ピラジカルの性質をもつこととは対照的である。コンパクトな末端置換基をもつホウ素ドーパナノグラフェンのリチウム電池電極への応用についても検討した。1.5 から 4.0 V の電圧範囲で、初期放電容量 160 mAh g^{-1} の安定な充放電特性を示した。これらの結果は、ナノカーボン材料におけるホウ素ドーピングの影響について重要な知見を与える。

(3) ホウ素ドーパナノグラフェンを用いた化学吸着能を利用した塗布薄膜形成：近年、大面積化、柔軟性などの利点から、溶液プロセスによる有機半導体の薄膜作製が注目を集めている。そこでホウ素ドーパナノグラフェン材料の新たな機能として、可逆なホウ素-窒素配位結合形成を利用した縮合多環式分子の溶液プロセスによる薄膜作製法を考案し、有機電界効果トランジスタ (OFET) の作製に応用した。我々はすでに、ホウ素を中央に組み込んだ縮合多環式 共役分子である平面化トリナフチルボランの合成を報告して

いる。この化合物は、高い平面性と スタック相互作用により、一般的な有機溶媒に対して低い溶解性しか示さない。これに対し、少量のピリジンを溶媒に添加すると、ピリジンとの錯形成により スタック構造が阻害され、溶解性が劇的に向上することを見出した。得られたピリジン錯体の溶液を用いることで、スピンコート法により基板上にピリジン錯体の薄膜を作製することができた。この薄膜を単に加熱すると、薄膜中のホウ素原子に配位するピリジンが放出され、元の平面化トリナフチルボランの結晶性薄膜に変換することができた。この方法で得られた薄膜上に金電極を蒸着し OFET 素子を作製したところ、実際に駆動が観測され、正孔をキャリアとする p 型有機半導体特性を示した。これらは、ルイス酸性を有するホウ素を組み込んだ縮合多環式分子の塗布型有機半導体材料としての利点を示す結果といえる。

(4) ホウ素ドーパナノグラフェンナノリボンの精密合成：ジプロモビアントラセンをモノマーに用いた金表面上での surface-assisted Ulmann カップリングによるグラフェンナノリボンの合成が報告されている。この手法を、ホウ素を組み込んだモノマーに応用することにより、ホウ素の数と位置が規定されたホウ素ドーパナノグラフェンナノリボンの合成に成功した。そして、更なる加熱により生成したグラフェンナノリボンの縮合が起こること、さらにはドーパされたホウ素が Lewis 酸性を保持しており、NO ガスの吸着が可能なことを明らかにした。

(5) ホウ素ドーパによる不安定化学種の生成・安定化：有機 ラジカルは、その不對電子に由来した特異な物性を示す興味深い化学種である。一方で、同時に高い反応性を有することから、安定な化合物として取り扱うのが難しい。我々は、代表的な有機 ラジカルであるトリフェニルメチルラジカルに着目し、三配位ホウ素原子の導入と 骨格全体の平面固定化により、不對電子スピン密度を非局在化させることで、ラジカル種を安定化する手法を着想した。この設計指針に基づいて合成したラジカル化合物は、空気中で取り扱えるほどの安定性を示した。電子常磁性共鳴スペクトルの解析から、ホウ素上への不對電子スピン密度の非局在化が確認され、これがラジカルの安定性に寄与していることが明らかとなった。また、単結晶 X 線構造解析や固体状態での磁化率の測定から、このラジカルが固体状態においても単量体のラジカル種として存在していることを見出した。この有機 ラジカルを半導体材料として用いた場合、p 型キャリア (正孔) 輸送に関係する価電子帯と n 型キャリア (電子) 輸送に関係する伝導帯が、どちらも不對電子に由来する SOMO から形成されるため、両方のキャリアを同程度輸送できることが期待される。実際、

今回合成した含ホウ素ラジカルの単結晶薄膜を用いた有機電界効果トランジスタを作製したところ、両極性キャリア輸送特性を示し、正孔および電子キャリア移動度はそれぞれ同程度であった。本成果は、有機ラジカルの安定化のための新たな分子設計指針を示すとともに、両極性電荷キャリア輸送特性をもつ有機半導体の開発に重要な知見を与えるものである

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 10 件)

1. Near Infrared Two-Photon-Excited and -Emissive Dyes Based on a Strapped Excited-State Intramolecular Proton-Transfer (ESIPT) Scaffold, N. Suzuki, K. Suda, D. Yokogawa, H. Kitoh-Nishioka, S. Irle, A. Ando, L. M. G. Abegão, K. Kamada, A. Fukazawa, S. Yamaguchi, Chem. Sci., 9, 2666-2673 (2018). 査読有.
[DOI: 10.1039/C8SC00066B]
2. Boron-Stabilized Planar Neutral π -Radicals with Well-Balanced Ambipolar Charge-Transport Properties, T. Kushida, S. Shirai, N. Ando, T. Okamoto, H. Ishii, H. Matsui, M. Yamagishi, T. Uemura, J. Tsurumi, S. Watanabe, J. Takeya, S. Yamaguchi, J. Am. Chem. Soc., 139, 14336-14339 (2017). 査読有.
[DOI: 10.1021/jacs.7b05471]
3. Antiaromatic Dithieno-1,2-dihydro-1,2-diborin Splits Diatomic Hydrogen, T. Araki, M. Hirai, A. Wakamiya, W. E. Piers, S. Yamaguchi, Chem. Lett., 46, 1714-1717 (2017). 査読有.
[DOI: 10.1246/cl.170812]
4. Photochemical Intramolecular C-H Addition of Dimesityl(hetero) arylboranes by a [1,6]-Sigmatropic Rearrangement, N. Ando, A. Fukazawa, T. Kushida, Y. Shiota, S. Itoyama, K. Yoshizawa, Y. Matsui, Y. Kuramoto, H. Ikeda, S. Yamaguchi, Angew. Chem. Int. Ed., 56, 12210-12214 (2017). 査読有.
[DOI: 10.1002/anie.201706929]
5. Steric Shielding vs Structural Constraint in a Boron-Containing Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, V. M. Hertz, N. Ando, M. Hirai, M. Bolte, H.-W. Lerner, S. Yamaguchi, M. Wagner, Organometallics, 36, 2512-2519 (2017). 査読有.
[DOI: 10.1021/acs.organomet.6b00800]
6. Quantum Dots Embedded in Graphene Nanoribbons by Chemical Substitution, E. Carbonell-Sanromè, P. Brandimarte, R. Balog, M. Corso, S. Kawai, A. Garcia-Lekue, S. Saito, S. Yamaguchi, E. Meyer, D. Sanchez-Portal, J. Pascual, Nano Lett., 17, 50-56 (2017). 査読有.
[DOI: 10.1021/acs.nanolett.6b03148]
7. A Soluble Dynamic Complex Strategy for the Solution-Processed Fabrication of Organic Thin-Film Transistors of a Boron-Containing Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, K. Matsuo, S. Saito, S. Yamaguchi, Angew. Chem. Int. Ed., 55, 11984-11988 (2016). 査読有.
[DOI: 10.1002/anie.201605221]
8. A Planarized 9-Phenylanthracene: A Simple Electron-Donating Building Block for Fluorescent Materials, H. Iwahara, T. Kushida, S. Yamaguchi, Chem. Commun., 52, 1124-1127 (2016). 査読有.
[DOI: 10.1039/C5CC08259E]
9. Boron-doped Nanographene: Lewis Acidity, Redox Properties, and Battery Electrode Performance, S. Osumi, S. Saito, C. Dou, K. Matsuo, K. Kume, H. Yoshikawa, K. Awaga, S. Yamaguchi, Chem. Sci., 7, 219-227 (2016). 査読有.
[DOI: 10.1039/c5sc02246k]
10. Atomically-Controlled Substitutional Boron-Doping of Graphene Nanoribbons, S. Kawai, S. Saito, S. Osumi, S. Yamaguchi, A. S. Foster, P. Spijker, E. Meyer, Nat. Commun., 6, 8098 (2015). 査読有.
[DOI: 10.1038/ncomms9098]

[学会発表](計 42 件)

1. Shigehiro Yamaguchi, Design Strategy for π -Electron Materials Based on Structural Constraint, Core-to-core Joint Symposium, 2018.
2. Shigehiro Yamaguchi, Design Strategy for π -Electron Materials Based on Weak/tight Structural Constraint, Goethe-Universität Frankfurt, 2018.
3. Shigehiro Yamaguchi, Main Group Strategy toward Useful π -Electron Materials, Xi'an Jiatong University, 2017.
4. 山口茂弘, 光機能性分子で拓く未来, 日本大学生物資源科学部 大学院特別講義, 2017.
5. 山口茂弘, 構造固定により拓く典型元素 π 電子系の機能, 新学術領域研究「感応性化学種」取りまとめシンポジウム, 2017.
6. Masayoshi Mori, Shigehiro Yamaguchi, Synthesis and Properties of Pyridyl-Substituted Planarized Triphenylboranes, 17th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA-17), 2017.
7. Naoya Suzuki, Masayuki Wakioka, Fumiyuki Ozawa, Shigehiro Yamaguchi, NIR Emissive π -Conjugated Oligomers and

- Polymers Containing a Strapped-ESIPT Unit, 17th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA-17), 2017.
8. Shigehiro Yamaguchi, Chemistry of Boron-doped Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 16th International Meeting on Boron Chemistry (IMEBORON 16), 2017.
 9. Shigehiro Yamaguchi, Main Group Strategy for Functional pi-Electron Materials, Gordon Research Conference 2017, Physical Organic Chemistry Symposium, 2017.
 10. 山口茂弘, 光・電子機能性分子の物性追求により拓く未来, 平成 29 年度有機合成セミナー, 2017.
 11. Shigehiro Yamaguchi, Structurally Constrained Functional pi-Electron Materials, International Symposium of Materials Horizons, 2017.
 12. Shigehiro Yamaguchi, Main Group-Containing pi-Electron Materials with Structural Constraint, 100th Canadian Chemistry Conference and Exhibition, Main Group Transformations and Catalysis, 2017.
 13. 山口茂弘, 安藤幹規, 大城宗一郎, ジベンゾアザボリンにおける構造固定化の物性に及ぼす効果, 日本化学会第 97 春季年会, 2017 年. [口頭 A 講演]
 14. Masato Ito, Naoya Suzuki, Shigehiro Yamaguchi, Photostability of D- π -A Type Organoboron Fluorophores, 日本化学会第 97 春季年, 2017 年. [ポスター発表]
 15. 山口茂弘, 光・電子機能性分子で拓く未来, The 1st ABiS Symposium, 自然科学研究機構, 2017. [招待講演]
 16. 早乙女広樹, 安藤直紀, 相田祐介, 山口茂弘, キサンテン色素への三配位ホウ素の導入と元素効果の解明, 第 43 回有機典型元素化学討論会, 2016 年. [口頭発表]
 17. 森 正義, 山口茂弘, ピリジル置換平面固定トリフェニルボランの合成と物性, 第 43 回有機典型元素化学討論会, 2016 年. [ポスター発表]
 18. 山口茂弘, デザインで拓く発光性有機分子の未来技術, 豊田工業大学講演会, 2016 年. [招待講演]
 19. 山口茂弘, 光・電子機能性分子で拓く未来, 第 42 回反応と合成の進歩シンポジウム, 2016 年. [特別講演]
 20. 山口茂弘, π 電子系の機能追求のための分子デザイン, 新学術領域「 π 造形科学」, 第 3 回公開シンポジウム, 2016 年. [特別講演]
 21. 山口茂弘, 蛍光性 π 電子系のデザインと物性追求, 日本学術振興会創造機能化学第 116 委員会, 2016 年. [成果報告]
 22. 山口茂弘, 光る分子が拓く未来, 国際有機化学財団特別セミナー, 大分高校生講演会, 2016 年. [アウトリーチ]
 23. 山口茂弘, 蛍光性 π 電子系のデザインと機能追求, 第 65 回高分子討論会「融合マテリアル学が切り拓く新機能材料の創成」, 2016 年. [招待講演]
 24. 千田樹絵子, 名倉和彦, 多喜正泰, 山口茂弘, 局所温度計測を可能にする有機蛍光色素含有高分子ナノ粒子の創成, 第 65 回高分子討論会, 2016 年. [ポスター発表]
 25. 山口茂弘, 光・電子機能分子の物性追求により拓く未来, 近大若手シンポジウム「光による物質・エネルギー変換の最前線」, 2016 年. [招待講演]
 26. 早乙女広樹, 安藤直紀, 相田祐介, 山口茂弘, ポラフルオレセインの合成と光物性, 第 27 回基礎有機化学討論会, 2016 年. [ポスター発表]
 27. S. Yamaguchi, Chemistry of Boron-doped Nanographenes, T.BORAM 2016, Kingston, Canada, 2016. [Invited Lecture]
 28. 千田樹絵子, 名倉和彦, 多喜正泰, 山口茂弘, 励起状態の構造制御にもとづいた蛍光ナノ温度計の開発, 統合物質創製化学研究推進機構キックオフシンポジウム, 2016 年. [ポスター発表]
 29. 山口茂弘, 分子の光が拓く未来, 第 26 回名古屋大学理学懇話会, 2016 年. [アウトリーチ]
 30. 山口茂弘, 典型元素化学が拓く未来分子材料, JACI-GSC シンポジウム, 2016 年. [招待講演]
 31. S. Yamaguchi, Main Group Strategy for Photo- and Electro-Functional Materials, Sino-German Main Group Chemistry Symposium, 2016. [Invited Lecture]
 32. 岩原秀明, 吉尾正史, 加藤隆史, 山口茂弘, 平面固定 9-フェニルアントラセンを基本骨格に用いたディスコチック液晶の創製, 日本化学会第 96 春季年会, 2016 年. [口頭 A 講演]
 33. 山口茂弘, 典型元素の活用と構造固定に基づいた光・電子機能性 π 電子系の創出, 日本化学会第 96 春季年会, 2016 年. [学術賞受賞講演]
 34. Shigehiro Yamaguchi, Chemistry of boron-doped nanographenes, Organoboron Chemistry: Applications in Organic Synthesis, Biology, and Materials, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2015), 2015. [Invited Lecture]
 35. 安藤直紀, 榎田知克, 山口茂弘, 平面固定 B-フェニルジベンゾボレピンの合成と基礎物性, 第 42 回有機典型元素化学討論会, 2015 年. [ポスター発表]
 36. 早乙女広樹, 謝 永発, 榎田知克, 山口茂弘, ホウ素で安定化した平面固定トリチルラジカル of 安定性と光物性, 第 26 回基礎有機化学討論会, 2015 年. [ポスター発表]

- ー発表]
37. 山口茂弘, 光・電子機能性分子のユニークなデザイン, 第 32 回有機合成化学セミナー, 2015 年. [Mukaiyama Award 受賞講演]
 38. Shigehiro Yamaguchi, Main Group Strategy for Photo- and Electronic Functions, The 14th International Symposium on Inorganic Ring Systems (IRIS-14), 2015. [Invited Lecture]
 39. Kyohei Matsuo, Shohei Saito, Shigehiro Yamaguchi, Boron-Embedded Polycyclic pi-Conjugated Systems as Solution Processable Organic Semiconductor, 16th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA-16), 2015. [Poster Presentation]
 40. 山口茂弘, ユニークな光：電子機能性分子を求めて, 東京工業大学集中講義, 2015 年. [招待講演]
 41. 山口茂弘, 光・電子機能性分子のユニークなデザイン, 有機合成化学講演会「合成有機化学のフロンティア」, 2015 年. [招待講演]
 42. Shigehiro Yamaguchi, Some Fluorescent Molecules Containing Main Group Elements, The 2nd International AIE Symposium, 2015. [Invited Lecture]

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ:

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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 茂弘 (YAMAGUCHI, Shigehiro)

名古屋大学・物質科学国際研究センター

(WPI)・教授

研究者番号: 60260618