

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：15401

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2012～2016

課題番号：24102005

研究課題名（和文）後周期典型元素の特徴を活かした新奇な 電子系元素ブロックの創製

研究課題名（英文）Development of New pi-Conjugated Element Blocks Based on Heavy Main Group Element

研究代表者

大下 浄治 (Ohshita, Joji)

広島大学・工学研究院・教授

研究者番号：90201376

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 41,500,000円

研究成果の概要（和文）：後周期典型元素で架橋した 電子系は架橋元素との電子的、量子的な相互作用のため、キャリア輸送、発光などで興味深い機能を示す。本研究では、特に、後周期元素で架橋したビチオフェン、ビベンゾフラン、ビピリジルなどの 電子系を各種合成し、それらの物性・電子状態を解明した。また、これらのユニットを元素ブロックとして、集積・高分子化することで、発光材料、光電変換材料、有機半導体として機能させることに成功した。新しい元素ブロックとして、カゴ型ゲルマセスキオキサン、エテニレンジアンチモン、ケイ素- 電子系交互ポリマーなどを合成し、発光材料などとしての利用を検討した。

研究成果の概要（英文）：Heavy element-bridged  $\pi$ -conjugated systems exhibit interesting functionalities such as carrier-transporting and highly emissive properties, arising from the electronic and quantum effects of the element. In this study, we prepared new heavy element-bridged  $\pi$ -conjugated compounds, such as bridged bithiophene, bibenzofuran, and bipyridyl and investigated their electronic states, and physical and chemical properties. These systems were introduced to integrated systems and polymers to provide optoelectronic materials. In addition, caged polygermasquioxane, ethenylenediantimony, and Si- alternating polymers were prepared as new element blocks and their functionalities such as phosphorescent properties were explored.

研究分野：有機材料化学

キーワード：有機半導体材料

1. 研究開始当初の背景

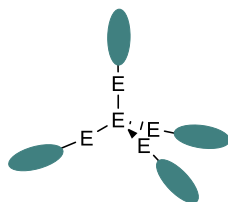
有機  $\pi$  電子系とケイ素原子との軌道間相互作用を利用した材料開発が 1980 年代後半から行われるようになり、無機元素であるケイ素と  $\pi$  電子系を分子レベルでハイブリッド化させたものとして注目されてきた。当初はセラミックス前駆体や耐熱材料としての利用が主な用途であったが、1990 年代半ばに、シロールで、 $\pi$  電子系とケイ素基の間の  $\sigma^* - \pi^*$  共役のため LUMO が低下して電子受容性が向上し、共役も発達していることが明らかにされて以来、非常に注目されるようになってきた。実際に、シロール誘導体は、高性能の有機発光素子 (OLED)、センサー、イメージング材料、有機半導体、有機薄膜トランジスタ (OTFT)、有機太陽電池 (OPV) 材料の骨格要素として用いられており、チオフェン、ピロール、フラン、セレンオフェンといった従来型の有機骨格では達成できない機能を可能にする。このような研究は、ケイ素以外の無機元素にも展開されつつあり、ボロール、ホスホールなどの合成や機能開発が報告されている。

このような元素の特徴を活かした有機材料開発は、最近の研究のトレンドとして競争の激しい分野であるが、これらの元素- $\pi$  電子系を新しい元素ブロックとして系統的に研究することが今後の展開として重要と考えられる。従って、本研究でもたらされる成果は非常に注目されると容易に予想される。

2. 研究の目的

重元素架橋した  $\pi$  電子系では、 $\sigma - \pi$  共役や重原子効果といったその元素特有の電子・量子効果によって、キャリア親和性・発光性などの新しい機能を発現することができる。申請者らは、これまでの科研費等で助成された研究を通して、新しい有機材料として、4-5 個のケイ素原子からなる  $\sigma$ -共役系でオリゴチオフェンなどの  $\pi$  電子系を架橋したナノサイズの分子 (例えば、下図の E= Si and SiMe<sub>2</sub>) を合成し、その特異な電子状態を明らかにするとともに、有機薄膜トランジスタ・有機薄膜太陽電池の活性層への応用を明らかにした。

本研究では、このような元素架橋  $\pi$  電子系を元素ブロックとして新たに提案する。このため、ケイ素およびケイ素以外の後周期典型元素を含む  $\sigma$ -骨格をコアとする分子を合成するとともに、その物性・電子状態を明らかにし、元素架橋の効果を系統的に検討する。さらに、反応性基の導入によって高分子モノマーとしての利用を推進し、従来の有機材料を凌駕するものに展開する。その成果は学会・論文発表によって、関連学会・産業界に発信するほか、HP などでも公開し、広く社会的要求に対して貢献する。



3. 研究の方法

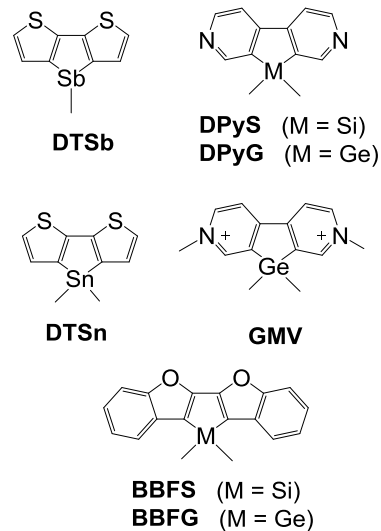
本研究では、これまでに合成しているジチエノメタロールなどの重元素架橋  $\pi$  電子系に加え、新たな元素を利用して多彩な元素ブロックを合成する。さらに、これらの元素ブロックを組み合わせ、集積・高分子化・階層化することによって高機能材料に導く。

具体的には、これまで合成したビスマス、ゲルマニウムに加えて、アンチモン、スズなどの元素で架橋した  $\pi$  電子系を元素ブロックとして、これを官能基修飾し、これら同士あるいは既存の元素ブロックや領域内の他の研究者が開発する元素ブロックと組み合わせ、集積・高分子化し、高機能の元素ブロック高分子材料を開発する。多様な組み合わせが可能になるので、材料の物性・電子状態を自在にチューニングすることができる。特に、センサーやキャリア輸送性の発光層などとして、OLED を含む有機電子デバイスへの応用が考えられる。

4. 研究成果

1) 元素架橋ビアリールの合成と元素ブロックとしての評価

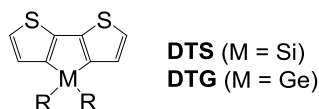
新奇な  $\pi$  電子系元素ブロックとして、アンチモン、スズで架橋したビチオフェン (DTSb および DTSn)、ケイ素、ゲルマニウムで架橋したビピリジル、ビベンゾフラン (DPyS、DPyG および BBFS、BBFG) を合成した。これらの元素ブロックは、興味深い光化学的な性質を示すものが多く、例えば、DTSn は、結晶化誘起発光を示すことが明らかになった他、DPyS、DPyG は、低温ながら、リン光発光を示し、その効率も、DPyG でより高くなった。



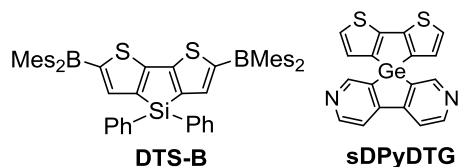
さらに、これらの新奇元素ブロックの電子状態を、光学特性とともに、電気化学測定、モデル化合物の分子軌道計算によって検討し、架橋しないビアリールより、電子受容特性が向上していることが分かった。これを利用して、DPyG のメチル化によって、ゲルマニウム架橋ビオロゲン (GMV) を合成し、通

常のピオロゲン誘導体よりも容易に還元されるエレクトロクロミック分子として利用できることを見出した。

また、以前開発したケイ素、ゲルマニウム架橋のビチオフェン (DTS、DTG) と本研究で合成したフラン誘導体の電子状態の詳細な比較から、環内の硫黄を酸素に置き換えると徐々に HOMO、LUMO とともに向上し、元素ブロックの電子状態の精密な制御が可能であることを示した。また、フラン誘導体の高い HOMO のためと思われる可逆的な二量化反応が結晶化によってスムーズに進行することも見出した。同様の反応は、チオフェン体では、進行しない。元素の選択によって、反応性をコントロールすることができた興味深い例である。

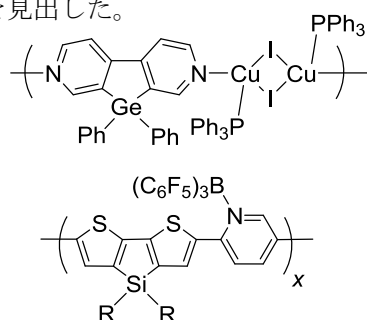


DTS 上にホウ素を導入することで、固体状態でも効率よく発光する材料 (DTS-B) の合成に成功した。また、DPyG と DTG の骨格をスピロ縮環することで、一重項酸素発生能を有する光増感色素の開発を行った (sDPyDTG)。



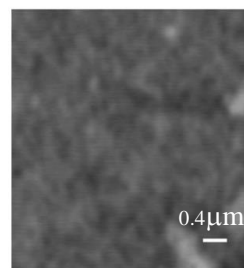
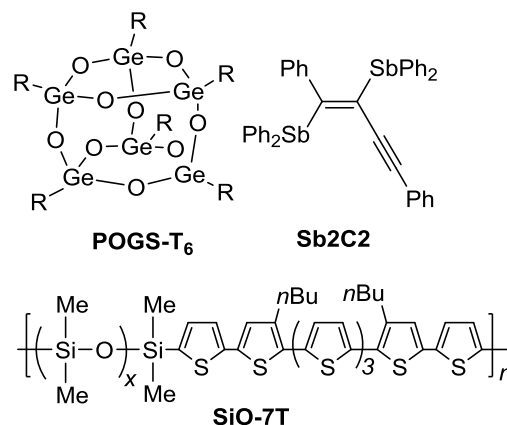
## 2) 元素架橋ピアリールの高分子化と材料機能

DPyG を銅と錯形成することで、高分子化し、リン光発光性材料としての利用を明らかにした。この錯体高分子は、有機溶媒に可溶で、PMMA に均一に分散できて、リン光発光性自立膜を作成することができた。また、以前に開発した DTS、DTG の高分子化によって、OLED の発光層、OPV の活性層に利用可能な材料に導くことができた。さらに、これらの材料の機能と構造との関連に関して、詳細な検討を行った。例えば、下に示す DTS とピリジン-ホウ素錯体の交互高分子が起電圧の高い OPV 材料として有効であることを見出した。

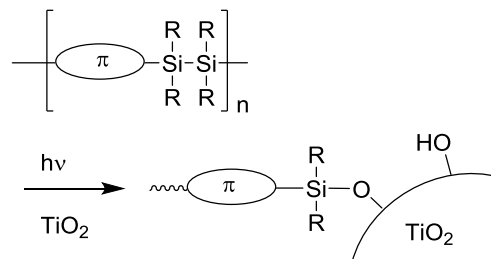


## 3) そのほかの元素-π 電子系元素ブロックの開発

新しい元素ブロックとして、カゴ状ゲルマセスキオキサン (POGS) に着目し、これが POSS と同じように、カゴ内の空間に配置した LUMO を有し、そのエネルギーレベルが POSS より低いことを見出したアセチレン類へのアンチモン-アンチモン結合の付加を検討し、その生成物であるジアンチモン-置換アルケン (Sb2C2) がリン光発光を示すことを報告した。また、ケイ素-π 電子系交互ポリマーの合成も行い、その TFT への応用について、明らかにした。例として、オリゴシロキサン-オリゴチオフェンの交互ポリマー (SiO-7T) の構造を示す。このポリマーは、下の AFM 像に示すように薄膜状態でマイクロ相分離を起こし、半導体特性を示し、OTFT への応用が可能であった。



また、ケイ素-ケイ素結合が光照射下で酸化チタン表面の水酸基と反応して固定化できることを利用して、ポリマーが修飾した酸化チタン電極を作成し、色素増感太陽電池 (DSSC) に応用した。



以上のように、後周期元素で架橋した π 電子系を各種合成し、それらの物性・電子状

態を解明し、その制御を精密に行う手法を開発した。また、これらのユニットを元素ブロックとして、集積・高分子化することで、発光材料、光電変換材料、有機半導体として機能させることに成功した。

#### 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 24 件) 全て査読あり

1. M. Nakamura, K. Shigeoka, Y. Adachi, Y. Ooyama, S. Watase, J. Ohshita; Preparation of Dithienogermole-containing Polysilsesquioxane Films for Sensing Nitroaromatics; *Chem. Lett.*, **2017**, *46*, 438-441. DOI: 10.1246/cl.161119
2. J. Ohshita, Y. Adachi, R. Sagisaka, M. Nakashima, Y. Ooyama, Y. Kunugi; Synthesis of Dithienogermole-containing Polythiophenes; *Syn. Met.*, **2017**, *227*, 87-92. DOI: 10.1016/j.synthmet.2017.03.009
3. F.-B. Zhang, Y. Ooyama, J. Ohshita; Synthesis of (Benzofurano)(benzothieno)germole; *Chem. Select*, **2017**, *2*, 3106-3109. DOI: 10.1002/slct.201700597
4. J. Ohshita, T. Tsuchida, K. Komaguchi, K. Yamamoto, A. Adachi, Y. Ooyama, Y. Harima, K. Tanaka; Studies on Spherically Distributed LUMO and Electron-Accepting Properties of Caged Hexakis(germassequioxane)s; *Organometallics*, **2017**.
5. K. Murakami, Y. Ooyama, S. Watase, K. Matsukawa, S. Omagari, T. Nakanishi, Y. Hasegawa, K. Inumaru, J. Ohshita; Synthesis of Dipyrindinogermole-Copper Complex as Soluble Phosphorescent Material; *Chem. Lett.*, **2016**, *45*, 502-504. DOI: 10.1246/cl.160036
6. M. Nakashima, M. Miyazaki, Y. Ooyama, Y. Fujita, S. Murata, Y. Kunugi, J. Ohshita; Synthesis of Silicon- or Carbon-bridged Polythiophenes and Application to Organic Thin-film Transistors; *Polym. J.*, **2016**, *48*, 645-651. DOI:10.1038/pj.2015.121
7. F. B. Zhang, Y. Adachi, Y. Ooyama, J. Ohshita; Synthesis and Properties of Benzofuran-Fused Silole and Germole Derivatives: Reversible Dimerization and Crystal Structures of Monomers and Dimers; *Organometallics*, **2016**, *35*, 2327-2332. DOI: 10.1039/C6CP06808A
8. M. Nakamura, Y. Ooyama, S. Hayakawa, M. Nishino, J. Ohshita; Synthesis of Poly(dithienogermole)s; *Organometallics*, **2016**, *35*, 2333-2338. DOI: 10.1021/acs.organomet.6b00263
9. J. Ohshita; Group 14 Metalloles Condensed with Heteroaromatic Systems; *Org. Photonics Photovolt.*, **2016**, *4*, 52-59. DOI: 10.1515/oph-2016-0006
10. Z. Lu, K. Murakami, S. Koge, T. Mizumo, J. Ohshita; Palladium-catalyzed Dehydrogenative Amination of Polyhydrosiloxanes; *J. Organomet. Chem.*, **2016**, *808*, 63-67. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2016.02.010
11. J. Ohshita, Y. Hayashi, K. Murakami, T. Enoki, Y. Ooyama, Singlet Oxygen Generation Sensitized by Spiro-(dipyridinogermole)(dithienogermole)s, *Dalton Trans.*, **2016**, *45*, 15679-15683. DOI: 10.1039/c6dt02767a
12. J. Ohshita, M. Nakamura, K. Yamamoto, S. Watase, K. Matsukawa; Synthesis of Dithienogermole-containing Oligo- and Polysilsesquioxanes as Luminescent Materials; *Dalton Trans.*, **2015**, *44*, 8214-8220. DOI: 10.1007/s10971-014-3542-y
13. K. Murakami, J. Ohshita, S. Inagi, I. Tomita; Synthesis, and Optical and Electrochemical Properties of Germanium-Bridged Viologen; *Electrochemistry*, **2015**, *83*, 605-608. DOI: 10.5796/electrochemistry.83.605
14. M. Ishikawa, A. Naka, J. Ohshita; The Chemistry of Silacyclopropenes; *Asian J. Org. Chem.*, **2015**, *4*, 1192-1209. DOI: 10.1002/ajoc.201500271
15. J. Ohshita, M. Nakamura, Y. Ooyama; Preparation and Reactions of Dichlorodithienogermoles; *Organometallics*, **2015**, *34*, 5609-5614. DOI: 10.1021/acs.organomet.5b00832
16. J. Ohshita, K. Murakami, D. Tanaka, Y. Ooyama, T. Mizumo, N. Kobayashi, H. Higashimura, T. Nakanishi, Y. Hasegawa; Synthesis of Group 14 Dipyrindinometalloles with Enhanced Electron-Deficient Properties and Solid-State Phosphorescence; *Organometallics*, **2014**, *33*, 517-521. DOI: 10.1021/om401019b
17. J. Ohshita, T. Tsuchida, K. Murakami, Y. Ooyama, T. Nakanishi, Y. Hasegawa, N. Kobayashi, H. Higashimura; Distibylation of Acetylenes with Ph<sub>2</sub>Sb-SbPh<sub>2</sub>: Synthesis, Crystal Structures and Phosphorescence Properties of

- Bis(diphenylstibyl)ethenes; *Z. Naturforsch. B*, **2014**, *69*, 1181-1187. DOI: 10.5560/ZNB.2014-4166
18. J. Ohshita, Y. Tominaga, D. Tanaka, Y. Ooyama, T. Mizumo, N. Kobayashi, H. Higashimura; Synthesis of Dithienosilole-Based Highly Photoluminescent Donor-Acceptor Type Compounds; *Dalton Trans.*, **2013**, *42*, 3646-3652. DOI: 10.1039/C2DT32738D
  19. J. Ohshita, M. Miyazaki, D. Tanaka, Y. Morihara, Y. Fujita, Y. Kunugi; Synthesis of Poly(dithienogermole-2,6-diyl)s; *Polym. Chem.*, **2013**, *4*, 3116-3122. DOI: 10.1039/C3PY00253E
  20. D. Tanaka, J. Ohshita, Y. Ooyama, Y. Morihara; Synthesis and Optical and Photovoltaic Properties of Dithienosilole-Dithienylpyridine and Dithienosilole-Pyridine Alternate Polymers and Polymer-B(C<sub>6</sub>F<sub>5</sub>)<sub>3</sub> Complexes, *Polymer Journal*, **2013**, *45*, 1153-1158. DOI: 10.1038/pj.2013.46
  21. Z. Lu, J. Ohshita, D. Tanaka, T. Mizumo, Y. Fujita, Y. Kunugi; Synthesis of Oligo(dimethylsiloxane)-oligothiophene Alternate Polymers from  $\alpha,\omega$ -Dibromooligo(dimethylsiloxane); *J. Organomet. Chem.*, **2013**, *731*, 73-77. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2013.02.011
  22. D. Tanaka, J. Ohshita, T. Mizumo, Y. Ooyama, Y. Harima; Synthesis of Donor-Acceptor Type New Polymers and Their Applications to Dye-sensitized Solar Cells; *J. Organomet. Chem.*, **2013**, *741-742*, 97-101. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2013.05.042
  23. D. Tanaka, J. Ohshita, Y. Ooyama, N. Kobayashi, H. Higashimura, T. Nakanishi, Y. Hasegawa; Synthesis, Optical Properties, and Crystal Structures of Dithienostannoles; *Organometallics*, **2013**, *32*, 4136-4141. DOI: 10.1021/om400213q
  24. J. Ohshita, R. Fujita, D. Tanaka, Y. Ooyama, N. Kobayashi, H. Higashimura, Y. Yamamoto; Synthesis and Optical Properties of Dithienostiboles; *Chem. Lett.*, **2012**, *41*, 1002-1003. DOI: 10.1246/cl.2012.1002
- [学会発表] (計 49 件)
1. J. Ohshita; Germanium-containing Conjugated Organic Materials; EASPAT2017, 上海 (中国), 2017 年 6 月 1-3 日, 招待講演
  2. 大下浄治; ケイ素- $\pi$  電子系の相互作用を利用した新しい元素ブロックの開発; 2016 年日本化学会中国四国支部大会, 高松, 2016 年 11 月 5-6 日, 依頼講演
  3. 中村優志, 大下浄治, 重岡健太, 大山陽介; ジチエノゲルモール含有シルセスキオキサン膜のセンシング材料への応用; 第 35 回無機高分子研究討論会, 東京, 2016 年 11 月 17 日-18 日
  4. J. Ohshita; Group 14 Element Chemistry for Organic Optoelectronic Materials; 3rd International Fall School of Organic Electronics, Moscow (Russia), 2016 年 10 月 19-23 日, 招待講演
  5. 中村優志, 早川慎二郎, 西埜誠, 大山陽介, 大下浄治; ポリ(4,4'-ジチエノゲルモール)の合成と性質; 第 20 回ケイ素化学協会シンポジウム, 2016 年 10 月 7 日-8 日, 広島
  6. 中村優志, 早川慎二郎, 西埜誠, 大山陽介, 大下浄治; ポリ(4,4'-ジチエノゲルモール)類の合成; 第 65 回高分子討論会, 横浜, 2016 年 9 月 14-16 日
  7. T. Kai, J. Ohshita, H. Arase, Y. Kunugi; A new type of silane coupling agent, "disilane-bridged biaryl"; 2016ICFPE, 山形, 2016 年 9 月 6-8 日
  8. M. Nakamura, Y. Ooyama, J. Ohshita; Preparation and Applications of Disilanobithiophene and -Biphenyl as new Silicon-Bridged Chromophores; Pacificchem2015, Honolulu (USA), 2015 年 12 月 15-20 日, 招待講演
  9. 大下浄治, 中村優志, 渡瀬星児, 松川公洋; ゲルマニウム架橋  $\pi$ -電子系を踏む無機性ポリマーの合成; 第 34 回無機高分子討論会, 東京, 2015 年 11 月 5-6 日.
  10. 土田健志, 大下浄治, 大山陽介, 長谷川靖哉, 中西貴之, 山本陽介; ビス(ジフェニルスチビル)エテン類の合成と構造解析および光学特性; 第 24 回有機結晶シンポジウム, 広島, 2015 年 11 月 1-3 日
  11. 中村優志, 大山陽介, 大下浄治; 新規ジチエノゲルモール誘導体の合成と性質; 第 24 回有機結晶シンポジウム, 広島, 2015 年 11 月 1-3 日
  12. 村上和也, 大下浄治, 大山陽介, 渡瀬星児, 松川公洋, 中西貴之, 長谷川靖哉; ジピリジノゲルモール-銅錯体の固体発光特性, 第 24 回有機結晶シンポジウム, 広島, 2015 年 11 月 1-3 日
  13. 中村優志, 大山陽介, 大下浄治; 新規ジチエノゲルモールの合成と環状ゲルモキサンへの導入; 第 19 回ケイ素化学協会シンポジウム, 守山, 2015 年 10 月 23 日-24 日
  14. 中村優志, 大下浄治, 功刀義人; ポリ(1,1'-ジチエノゲルモール)及びそのゲルモキ

- サン誘導体の合成と性質；第 64 回高分子討論会，大阪，2015 年 9 月 7-9 日
15. M. Nakashima, J. Ohshita; Synthesis of Carbon, Silicon, and Germanium bridged Polythiophenes; 46th Silicon Symposium, Davis (USA), 2015 年 6 月 21-24 日
  16. K. Murakami, J. Ohshita, S. Watase, K. Matsukawa, Synthesis of New Copper Complex Polymers with Germanium-Bridged 4,4'-Bipyridyl as Phosphorescent Ligand, 46th Silicon Symposium, Davis (USA), 2015 年 6 月 21-24 日
  17. J. Ohshita; Synthesis and Applications of Dithienometalloles and Related Compounds; Japan-US Nanohybrid 2015, 姫路, 2015 年 5 月 18 日, 22 日, 招待講演
  18. 中島真実, 宮崎真行, 大下浄治, 功刀義人;  $\beta$  位架橋構造を有するポリチオフェンの合成及び機能; 第 8 回有機  $\pi$  電子系シンポジウム, 佐賀, 2014 年 11 月 21-22 日
  19. 大下浄治, Si また Ge で架橋した新しい  $\pi$ -共役元素ブロックの合成、高分子化および機能, 第 63 回高分子討論会, 2014 年 9 月 24-26 日, 長崎, 招待講演
  20. 土田健志, 大下浄治, 長谷川靖哉, 中西貴之; Sb-Sb 結合への挿入反応を利用したスチビン配位子の合成; 第 61 回有機金属化学討論会, 2014 年 9 月 23-25 日, 福岡
  21. 大下浄治; Si また Ge で架橋した新しい  $\pi$ -共役元素ブロックの合成、高分子化および機能; 第 63 回高分子討論会, 長崎, 2014 年 9 月 24-26 日, 招待講演
  22. K. Murakami, J. Ohshita, S. Inagi, I. Tomita; Properties of Germanium Bridged Bipyridyls and Viologens; The 17th International Symposium on Silicon Chemistry, Berlin (Germany), 2014 年 8 月 3-8 日
  23. J. Ohshita, K. Murakami, D. Tanaka, Y. Ooyama; Synthesis and Optical Properties of Group 14 Dithieno- and Dipyridinometalloles; 41st Int'l Conference on Coordination Chemistry (ICCC41), Singapore (Singapore), 2014 年 7 月 21-25 日, 招待講演
  24. K. Murakami, J. Ohshita; Synthesis and Properties of Germanium-centered Spiro-fused Bipyridyls; XXVI International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC 2014), Sapporo, 2014 年 7 月 13-18 日
  25. J. Ohshita; Donor-Acceptor Polymers Containing Dithienometalloyle Donor Units, EASPAT2013, ウラジオストク (ロシア), 2013 年 10 月 30-31 日, 招

待講演

26. J. Ohshita; Synthesis, Characterization, and Applications of Dithienometalloles; The 2<sup>nd</sup> Japan-Korea Joint Symposium on Polymer Nanohybrid Materials (Interface 2012), 京都, 2012 年 8 月 6-7 日, 招待講演
- 他、23 件

[図書] (計 2 件)

1. Y. Adachi, J. Ohshita; Ge and Sn in Conjugated Organic Materials in "Main Group Strategies towards Functional Materials" ed by T. Baumgartner, F. Jaekle, Wiley, 2017 年, in press.
2. 大下浄治;  $\pi$  電子系の元素架橋による電子状態制御と機能発現, 「元素ブロック高分子」中條善樹監修, 2015 年, シーエムシー, 11 ページ

[産業財産権]

取得状況 (計 1 件)

名称: シロール誘導体およびシロール誘導体を含んでいない有機電子素子  
発明者: 大下浄治, 小林憲史, 東村秀之, 開高 敬  
権利者: 同上  
種類: 特許  
番号: 5847605  
出願年月日: 2012 年 10 月 5 日  
取得年月日: 2015 年 12 月 4 日  
国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/orgmtrls/Ohshita Group/Ohshita Group-Home.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大下 浄治 (OHSHITA Joji)

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 90201376

(2) 研究分担者

大山 陽介 (OOYAMA Yousuke)

広島大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 60403581

(3) 研究分担者

水雲 智信 (MIZUMO Tomonobu)

広島大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号: 90436676

(H24→H25 研究分担者)