

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：12102  
研究種目：基盤研究(C) (一般)  
研究期間：2021～2023  
課題番号：21K05017  
研究課題名(和文) PYRAMIDANES: NOVEL ORGANIC CLUSTERS

研究課題名(英文) PYRAMIDANES: NOVEL ORGANIC CLUSTERS

## 研究代表者

Lee Vladimir (LEE, Vladimir)

筑波大学・数理物質系・講師

研究者番号：90375410

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、新規な主族元素多面体クラスターであるピラミダンの求核試薬、特に有機リチウム試薬に対する反応性を包括的に研究した。これらの反応において、ピラミダンはこれまでにない求電子的挙動を示し、E-Li (E = Ge, Sn) 結合を特徴とする様々な有機金属誘導体へのスムーズなアプローチを可能にした。後者の化合物は適切な求電子剤で容易に官能基化でき、一連の合成的に有用なメタロール誘導体を形成する。この(および以前の)研究に基づき、シクロブタジエンジアニオン誘導体と主族元素のハロゲン化物との反応における反応経路および反応機構に関する一般的な結論を得た。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

The developed strategy allows for a synthetic approach towards organometallic compounds featuring E-Li bond (E = Ge, Sn), from which a variety of germole derivatives can be prepared. The latter compounds are important as prospective ligands for transition metal complexes for advanced materials.

研究成果の概要(英文)：We comprehensively investigated reactivity of the novel Main Group element polyhedral clusters, pyramidanones, towards a range of nucleophilic reagents, first of all, organolithium reagents. In these reactions, pyramidanones revealed an unprecedented electrophilic behavior, which allowed for the smooth approach to a variety of organometallic derivatives featuring E-Li (E = Ge, Sn) bonding. The latter compounds can be readily functionalized with appropriate electrophiles, forming a series of synthetically useful metallole derivatives. Based on this (and previous) research, we made general conclusions regarding the reaction pathways and mechanisms in the reaction of the cyclobutadiene dianion derivative with the Main Group element halides.

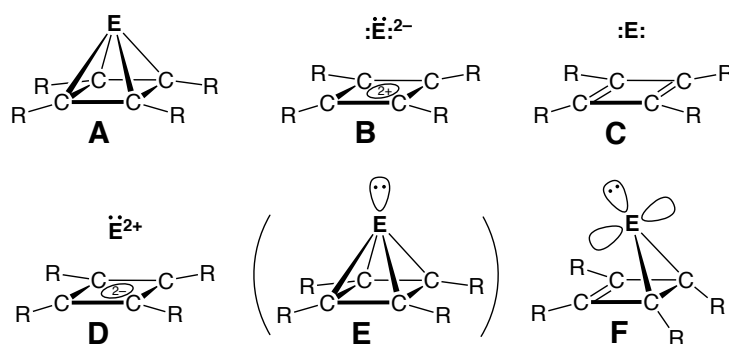
研究分野：Main Group element chemistry

キーワード：cluster calculations cyclobutadiene dianion germanium group 14 element organolithium compounds pyramidane X-ray diffraction

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景 [Background]

Pyramidanes  $C[C_4R_4]$ , as Wade-Mingos *nido*-clusters, are among the most challenging and fundamentally important anti-van't Hoff-Le Bel configurations. Comprehensively theoretically studied, organic pyramidanes still elude experimental realization, and only within the last couple of decades, the first isolable representatives of the pyramidanes family with the main group element at the apex of the square-pyramid were synthesized. The most unusual structural feature of pyramidanes is their tetracoordinate apical atom which has a unique inverted tetrahedral configuration (Scheme 1, **A**). Hypothetically, apart from the structure **A** with the covalent apex-to-base E-C bonds satisfying requirements of the classical bonding theory, there are other non-classical resonance extremes representing pyramidane as either ionic or as a donor-acceptor complex of the apex E and the base  $[C_4R_4]$ : [cyclobutadiene dication–apex dianion] complex **B**, [neutral cyclobutadiene–apex dicarbene] complex **C**, and [cyclobutadiene dianion–apex dication] complex **D** (Scheme 1). Of all the potential contributors **B–D**, only the role of **D** has been experimentally and computationally appreciated, whereas the contribution of **B** was suggested only theoretically, and the contribution of **C** has never been considered before. Earlier theoretical treatments acknowledged the critically important presence of a lone pair at the apical atom (Scheme 1, **E**), and accordingly, pyramidanes **E** were described as possessing very high Lewis basicity which implies their categorization as primarily *nucleophilic* reagents. Alternatively, one could consider another resonance form contributing to the overall structure of pyramidane, namely, bicyclic carbene **F** (Scheme 1). Given the carbenic nature of **F** and thus the intrinsic presence of both lone pair and vacant orbital at its divalent center E, one can now reasonably expect dual Lewis basicity–Lewis acidity for this species, theoretically predicted in pyramidanes. Apart from their appealing structures and non-classical apex-to-base bonding situation, peculiar reactivity of pyramidanes with retention (or opening) of their tetracyclic polyhedral framework is of particular importance, being however almost unexplored to date.



Scheme 1

### 2. 研究の目的 [Objectives]

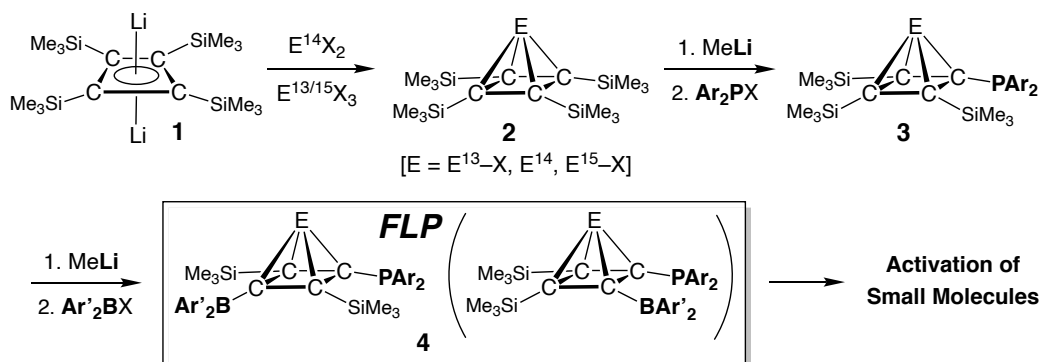
Based on the existing scientific background in the field, the purpose and the goal of our project is further development of the synthetic approaches towards pyramidanes with the Main Group element at the apex or at the base of the square-pyramid. Thus, the objective of this research project is the synthesis of novel pyramidanes, and comprehensive study (both experimental and computational) of their unique molecular architecture which the classical bonding theory fails to adequately describe. The comprehensive investigation of the peculiar reactivity of pyramidanes, caused by their unique apex-to-base bonding nature, is another fundamental goal of this project. Specifically, reaction of pyramidanes with organolithium reagents (such as MeLi) is expected to lead to the generation of the Frustrated Lewis Pairs (FLP's) (see Scheme 2 below), that can be indispensable for the small molecules activation, including transition metal-free catalytic hydrogenation of unsaturated hydrocarbons by the Main Group element compounds, and activation and utilization of the greenhouse gas ( $CO_2$ ). Moreover, pyramidanes were expected to

serve as the thermal (or photochemical) precursors for ceramic composites and nanomaterials, whereas multi-decker sandwich complexes derived upon transmetalation of pyramidanes with transition metals can be promising in molecular spintronics (information storage and quantum computing) and high-performance nonlinear optics (photonic devices).

### 3. 研究の方法 [Research Methods]

The proposed synthetic strategy is based on the use of the readily available cyclobutadiene dianion derivatives **1** (Scheme 2) which have already been used as an indispensable tool for preparation of a variety of sandwich and half-sandwich complexes of transition metals [reviews by Lee et al.: *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, *46*, 6596; *Chem. Soc. Rev.* **2008**, *37*, 1652]. By the reaction of these cyclobutadiene dianion derivatives with the Main Group element halides  $E^{14}X_2$  ( $E^{14}$  = group 14 element) and  $E^{13/15}X_3$  ( $E^{13/15}$  = group 13 or 15 element), a variety of pyramidanes **2** with the  $E^{13/14/15}$  element as the apical atom can be prepared [Lee et al.: *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 8794; *Organometallics* **2016**, *35*, 346; *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 6053] (Scheme 2).

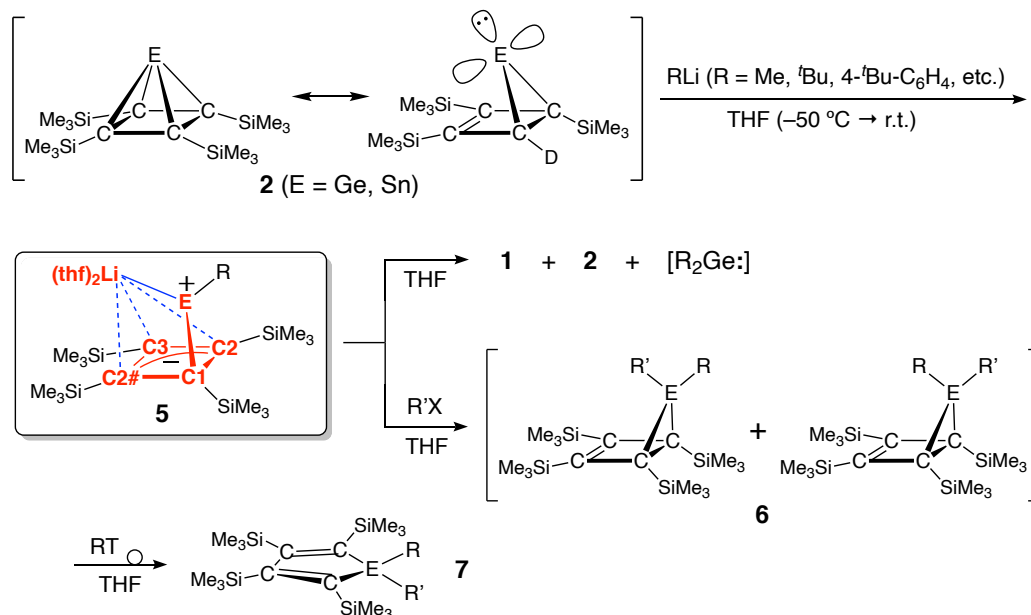
The metalation of pyramidanes **2** with MeLi followed by the reaction with the bulky phosphine  $Ar_2PX$  may produce the *P*-functionalized pyramidane derivatives **3** (Scheme 2). The latter may undergo further metalation with MeLi followed by the reaction with the bulky borane  $Ar'_2BX$  to end up with the formation of the doubly-functionalized *P,B*-pyramidane derivatives **4** (Scheme 2), as a new type of *P,B*-FLP that can be useful for activation of small molecules (see above).



Scheme 2

### 4. 研究成果 [Research Results]

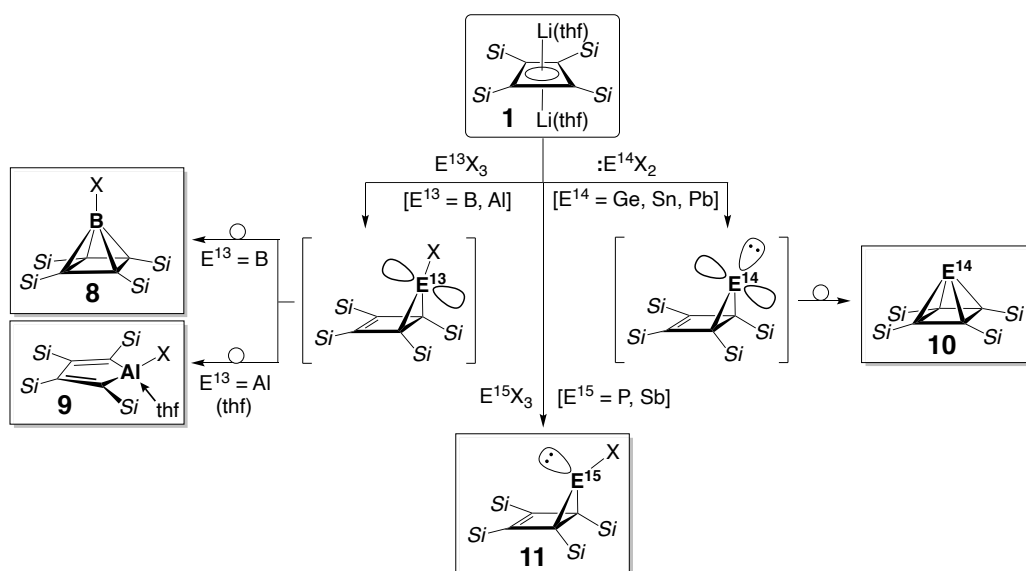
During the course of the current project studies, a range of pyramidanes **2** with the Main Group element E at the apex of the square-pyramid were prepared, in accord with the proposed synthetic strategy outlined in the above Scheme 2. However, the reaction of these pyramidanes **2** with organolithium reagents (including MeLi) proceeded in a totally different way, compared to the expected pathway outlined in Scheme 2, that is the attack of RLi occurred not at the  $Me_3Si$ -substituent but at the apical atom E instead [Lee et al.: *Chem. Eur. J.* **2024**, *30*, e202401806]. Namely, the reaction of both germa- and stannapyramidanes **2** with a range of organolithium reagents RLi (R = alkyl, aryl, etc.) very rapidly and cleanly produced a novel type of the organometallic compound **5** featuring E–Li bonding (Scheme 3, structure **5**). Being formally the product of activation of the C–Li bond in RLi by the pyramidane **2** (in its bicyclic carbene resonance form), compound **5** unexpectedly features tricoordinate (instead of the expected tetracoordinate) E-center. As the appropriate bonding model, **5** can be viewed as the carbene  $[R(C1_{C4-base})E:]$  whose lone pair tightly coordinates to the Li atom. Accordingly, germanium atom acquires a positive charge (as a formal gerymium ion) that is counterbalanced by the negative charge delocalized within the  $[C2-C3-C2\#]$ -moiety of the  $C_4$ -base (Scheme 3). Compounds **2** are metastable, disproportionating in solution to form a mixture of the cyclobutadiene dianion **1**, pyramidane **2**, and transient gerymlene  $[R_2Ge:]$  (Scheme 3). As the compounds containing E–Li bond, **5** are highly reactive towards electrophiles, such as alkyl/aryl halides, readily forming a mixture of stereoisomeric housene derivatives **6** identified by their characteristic NMR spectral pattern (Scheme 3). Initially formed housenes **6** gradually isomerize in solution at room



**Scheme 3**

temperature forming the corresponding metalloles **7** that were isolated and fully characterized (Scheme 3). **7** are expected to serve as prospective ligands for sandwich and half-sandwich transition and main group metal complexes, as the precursors for advanced materials. The peculiar structural features, bonding nature, and mechanisms for the formation of anionic compounds **5**, as well as housenes **6** and germales **7** derived from them, were comprehensively studied both experimentally (X-ray crystallography, NMR spectroscopy, HRMS, and UV-spectroscopy) and computationally (sophisticated high-level DFT calculations).

Based on these results, and also on the results of our previous investigations, general conclusions of the interaction of cyclobutadiene dianion with the Main Group element halides have been made [Lee et al.: *Chem. Commun.* **2023**, *59*, 10067] (Scheme 4). Thus, upon the reaction of the cyclobutadiene dianion **1** with group 13 element halides  $E^{13}X_3$ , either pyramidane **8** ( $E^{13} = B$ ) or heterole **9** ( $E^{13} = Al$ ) were obtained. The reaction of the cyclobutadiene dianion with group 14 element halides  $E^{14}X_2$  produced pyramidanones **10** ( $E^{14} = Ge, Sn, Pb$ ). And the reaction of the cyclobutadiene dianion with group 15 element halides  $E^{15}X_3$  resulted in the formation of housenes **11** ( $E^{15} = P, Sb$ ).



**Scheme 4**

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件/うち国際共著 18件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 M. Yamane, Y. Seo, W. S. Putro, M. Faried, V. Ya. Lee, T. Mizusaki, Y. Takagi, K. Matsumoto, J.-C. Choi, N. Fukaya	4. 巻 66
2. 論文標題 A Novel Highly Effective Second-generation Grubbs Pre-catalyst for the Ring-closing Metathesis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Petroleum Institute	6. 最初と最後の頁 23 ~ 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1627/jpi.66.23	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 V. Ya. Lee, H. Yasuda, O. A. Gapurenko, R. M. Minyaev, H. Gornitzka, A. Sekiguchi	4. 巻 42
2. 論文標題 Hybrid Bicyclo[1.1.0]butanes [(R4Si3)CH2] and [(R4Si2Ge)CH2] (R = SiMet-Bu2): Synthesis and Thermal Isomerization to Alkyl-Substituted Cyclopropenes [R3Si3]CH2R and [R3Si2Ge]CH2R.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 2514 ~ 2521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.2c00599	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 V. Ya. Lee	4. 巻 2022
2. 論文標題 Schrock Type Silylidenes and Germylidenes Found Among the Silylene and Germylene Complexes of the Early and Mid Transition Metals.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 e202200175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.202200175	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 V. Ya. Lee	4. 巻 28
2. 論文標題 Organogermanium Analogues of Alkenes, Alkynes, 1,3-Dienes, Allenes, and Vinylidenes.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 1558
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules28041558	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 V. Ya. Lee	4. 巻 33
2. 論文標題 Group 4 metal silylidenes and germylidenes: towards the silicon and germanium variations of olefin metathesis.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Mendeleev Communications	6. 最初と最後の頁 145 ~ 152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mencom.2023.02.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Z. Tianqing, V. Ya. Lee, S. Morisako, S. Aoyagi, T. Sasamori	4. 巻 2021
2. 論文標題 Ferrocene Based Phosphenium Ion with Intramolecular Phosphine Coordination	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 3988 ~ 3991
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.202100615	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Seo, W. S. Putro, M. Faried, V. Ya. Lee, T. Mizusaki, Y. Takagi, Y.-K. Choe, K. Matsumoto, J.-C. Choi, N. Fukaya	4. 巻 954-955
2. 論文標題 [Pd(4-RSi-IPr)(allyl)Cl]/KCO/EtOH: A highly effective catalytic system for the Suzuki-Miyaura cross-coupling reaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Organometallic Chemistry	6. 最初と最後の頁 122096 ~ 122096
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jorganchem.2021.122096	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 V. Ya. Lee, S. Miyazaki, O. A. Gapurenko, R. M. Minyaev, V. I. Minkin, A. Sekiguchi	4. 巻 70
2. 論文標題 Si3S-Bicyclo[1.1.0]butane vs. Si3S-cyclobutene: an isomeric interplay	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Russian Chemical Bulletin, International Edition	6. 最初と最後の頁 2233-2235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 V. Ya. Lee Vladimir, H. Sugasawa, O. A. Gapurenko, R. M. Minyaev, V. I. Minkin, H. Gornitzka, A. Sekiguchi	4. 巻 41
2. 論文標題 1-Chloroalumole	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 467 ~ 471
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.1c00702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 V. Ya. Lee, T. Meguro, O. A. Gapurenko, R. M. Minyaev, V. I. Minkin, H. Gornitzka, A. Sekiguchi	4. 巻 32
2. 論文標題 Phosphatetrasilatricyclo[2.1.0.02,5]pentane	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mendeleev Communications	6. 最初と最後の頁 33 ~ 34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mencom.2022.01.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 W. S. Putro, V. Ya. Lee, K. Sato, J.-C. Choi, N. Fukaya	4. 巻 6
2. 論文標題 From SiO <sub>2</sub> to Alkoxysilanes for the Synthesis of Useful Chemicals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 35186 ~ 35195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.1c05138	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 V. Ya. Lee, R. Sakai, K. Takanashi, O. A. Gapurenko, R. M. Minyaev, H. Gornitzka, A. Sekiguchi	4. 巻 60
2. 論文標題 Titanium Germylidenes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 3951 ~ 3955
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202015704	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 W. S. Putro, A. Ikeda, S. Shigeyasu, S. Hamura, S. Matsumoto, V. Ya. Lee, J.-C. Choi, N. Fukaya	4. 巻 14
2. 論文標題 Sustainable Catalytic Synthesis of Diethyl Carbonate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ChemSusChem	6. 最初と最後の頁 842 ~ 846
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cssc.202002471	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Matsui, J. Fujiwara, N. Fukaya, V. Ya. Lee	4. 巻 34
2. 論文標題 Suzuki-Miyaura cross-coupling reaction catalyzed by [R3Si-IPr]Pd complexes: a computational study	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Mendeleev Communications	6. 最初と最後の頁 34 ~ 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mencom.2024.01.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 M. Yamane, Y. Seo, W. S. Putro, V. Ya. Lee, T. Mizusaki, Y. Takagi, K. Matsumoto, J.-C. Choi, N. Fukaya	4. 巻 72
2. 論文標題 Novel second-generation Hoveyda-Grubbs metathesis pre-catalyst	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Russian Chemical Bulletin, International Edition	6. 最初と最後の頁 2762~2764
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 V. Ya. Lee, J. Wang, T. Sasamori, O. A. Gapurenko, R. M. Minyaev, V. I. Minkin, K. Takeuchi, N. Fukaya, H. Gornitzka	4. 巻 30
2. 論文標題 Electrophilic Behavior of the "Nucleophilic" Pyrimidane: Reactivity of Ge Pyrimidane towards Organolithium Reagents	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202401806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202401806	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する



1. 著者名 V. Ya. Lee Vladimir, O. A. Gapurenko	4. 巻 59
2. 論文標題 Pyramidanes: newcomers to the anti-van ' t Hoff-Le Bel family	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 10067 ~ 10086
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3cc02757k	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 V. Ya. Lee, O. A. Gapurenko	4. 巻 19
2. 論文標題 Heavy Tetrel Clusters Based on the Bicyclobutane Framework: Bicyclo[1.1.0]butanes, [1.1.1]Propellanes, and Tricyclo[2.1.0.02,5]pentanes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 e202300903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.202300903	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 V. Ya. Lee
2. 発表標題 Pyramidanes: The Covalent Form of the Ionic Compounds
3. 学会等名 International Conference on Noncovalent Interactions (ICNI-2) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 V. Ya. Lee
2. 発表標題 Increasing Complexity of the Main Group Element Clusters: From Bicyclic Bicyclobutanes to Tricyclic Propellanes to Tetracyclic Pyramidanes
3. 学会等名 16th International Symposium on Inorganic Ring Systems (IRIS-16) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 T. Zhang, V. Ya. Lee, S. Aoyagi, T. Sasamori
2 . 発表標題 Synthesis of a Phosphine-Stabilized Phosphenium Ion Incorporated into a [2]Ferrocenophane Framework
3 . 学会等名 16th International Symposium on Inorganic Ring Systems (IRIS-16) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 V. Ya. Lee, S. Aoki, T. Yokoyama, S. Horiguchi, R. Sakai, A. Sekiguchi, O. A. Gapurenko, R. M. Minyaev
2 . 発表標題 Schrock-Type Silylidenes and Germylidenes
3 . 学会等名 44th International Conference on Coordination Chemistry (ICCC-44) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Yamane, Y. Seo, W. S. Putro, M. Faried, V. Ya. Lee, T. Mizusaki, Y. Takagi, K. Matsumoto, J.-C. Choi, N. Fukaya
2 . 発表標題 Synthesis and Catalytic Performance Evaluation of Ru Complexes with Silyl-Substituted N-Heterocyclic Carbene Ligands
3 . 学会等名 The Japan Petroleum Institute Conference
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Faried, Y. Seo, W. S. Putro, V. Ya. Lee, T. Mizusaki, Y. Takagi, Y.-K. Choe, K. Matsumoto, J.-C. Choi, N. Fukaya
2 . 発表標題 [Pd(4-R3Si-IPr)(allyl)Cl]: A Highly Effective Catalytic System for the C-N and C-C couplings
3 . 学会等名 The 9th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT9) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 J. Wang, V. Ya. Lee, T. Sasamori
2. 発表標題 Reactivity of Germapyramidane
3. 学会等名 103rd Annual Meeting of The Chemical Society of Japan
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Zhang, V. Ya. Lee, S. Aoyagi, T. Sasamori
2. 発表標題 Synthesis of a Stable Phosphine-Stabilized Phosphenium Complex Based on the Sterically Demanding Ferrocenyl Frameworks
3. 学会等名 23rd International Conference on Phosphorus Chemistry (ICPC-23) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 V. Ya. Lee
2. 発表標題 Aromatic Compounds of the Heavier Group 13-15 Elements
3. 学会等名 PACIFICHEM-2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Zhang, V. Ya. Lee, S. Aoyagi, T. Sasamori
2. 発表標題 Synthesis of Stable Ferrocene-Based Phosphenium Ion with Intramolecular Phosphine Coordination
3. 学会等名 31st Symposium on Physical Organic Chemistry
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Zhang, V. Ya. Lee, T. Sasamori
2. 発表標題 Ferrocene-Based Phosphenium Ion with Intramolecular Phosphine Coordination
3. 学会等名 48th Symposium on Main Group Element Chemistry
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Zhang, V. Ya. Lee, S. Aoyagi, T. Sasamori
2. 発表標題 Synthesis and Isolation of Phosphine-Stabilized Phosphenium Complexes with a [2]Ferrocenophane Framework
3. 学会等名 102nd Annual Meeting of The Chemical Society of Japan
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 J. Wang, V. Ya. Lee, K. Takeuchi, N. Fukaya, T. Sasamori
2. 発表標題 Reactivity of Germapyramidane Towards Organolithium Reagents
3. 学会等名 104th Annual Meeting of The Chemical Society of Japan
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 V. Ya. Lee, S. Aoki, T. Yokoyama, R. Sakai, A. Sekiguchi, O. A. Gapurenko, R. M. Minyaev
2. 発表標題 Group 4 Metal Silylidenes and Germylidenes
3. 学会等名 6th EuChemS Inorganic Chemistry Conference (EICC-6) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 V. Ya. Lee, J. Wang, T. Sasamori, K. Takeuchi, N. Fukaya
2. 発表標題 Electrophilic Behavior of the "Nucleophilic" Pyrimidine: Reactivity of Ge-Pyrimidine Towards Organolithium Reagents
3. 学会等名 20th International Symposium on Silicon Chemistry (ISOS-20)/9th Asian Silicon Symposium (ASiS-9) (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 T. Sasamori, V. Ya. Lee, N. Nagahora, S. Morisako	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 73
3. 書名 Comprehensive Inorganic Chemistry III (Eds. J. Reedijk, K. Poeppelmeier), Vol. 1, Chapter "Low-Coordinate Compounds of Heavier Group 14-16 Elements"	

1. 著者名 V. Ya. Lee (Editor)	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Wiley	5. 総ページ数 928
3. 書名 Organogermanium Compounds: Theory, Experiment, and Applications (2 Volumes)	

1. 著者名 V. Ya. Lee (Author)	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Wiley	5. 総ページ数 41
3. 書名 Organogermanium Compounds: Theory, Experiment, and Applications, Chapter 10 "Multiple Bonds to Germanium"	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------