

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：32606

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04128

研究課題名(和文)陽イオン間反発を利用した極性化合物の創製

研究課題名(英文)Development of polar materials by the control of the arrangement of cations and the Coulomb repulsion between cations

研究代表者

稲熊 宜之 (Inaguma, Yoshiyuki)

学習院大学・理学部・教授

研究者番号：00240755

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：極性物質は、強誘電性、圧電性、焦電性、非線形光学特性等の構造の非中心対称性に由来する機能性を示し、メモリーなどの電子部品やレーザー等に用いる光学素子として応用される非常に重要な物質群である。本研究では、結晶中の陽イオンの配列および陽イオン間の反発を制御することにより、酸化物系の極性物質を得ることを目的とした。数万気圧の高圧下での合成により、いくつかの新規極性物質が得られた。得られた物質の構造解析および物性評価を行い、極性の発現について考察した。

研究成果の概要(英文)：Polar materials exhibit functionalities attributable to the non-centrosymmetry such as ferroelectricity, piezoelectricity, pyroelectricity, and second-order nonlinear optical behavior, and are technologically important because they can be applied to electronic and optical devices such as memory and laser materials. In this study, we aimed to develop polar oxide-based materials by the control of the arrangement of cations and the Coulomb repulsion between cations. Consequently, we have successfully synthesized several polar materials under high-pressure of several GPa. We have analyzed the crystal structure, evaluated the physical properties, and elucidated the relationship between the structure and polarity.

研究分野：無機固体化学

キーワード：極性化合物 高圧合成 リチウムナイベート ペロブスカイト 強誘電性 陽イオン反発

1. 研究開始当初の背景

極性物質は、強誘電性、圧電性、焦電性、非線形光学特性等の構造の非中心対称性由来する機能を示し、基礎的にも応用的にも非常に重要な物質群である。BaTiO₃ や Pb(Ti, Zr)O₃ をはじめ、これまで報告されている多くの極性酸化物において、二次 Jahn-Teller イオンである d⁰ 電子配置をもつ Ti⁴⁺、Ta⁵⁺ や s² 電子配置をもつ Pb²⁺、Bi³⁺ と酸素との結合に起因する歪みによって極性が生じている。

一方、2008 年我々のグループで d⁰ や s² 電子配置をもつ陽イオンを含まない LiNbO₃ (LN) 型酸化物 ZnSnO₃ の高压合成に成功し、構造解析および光第二高調波発生(SHG)によりこの物質が極性をもつこと(空間群: R3c)を明らかにした[1]。この研究をきっかけとして、高压合成によりさまざまな LN 型化合物を安定化し、構成元素、構造と極性または他の物性との関係を調べてきた。我々のグループで合成した物質も含め ZnSnO₃[1,2]、CdPbO₃[3]、PbNiO₃[3, 4]、(In_{1-x}M_x)MO₃ (M = Fe_{0.5}Mn_{0.5})[5,6]、GaFeO₃[7]、LiOsO₃[8]、ZnTiO₃[9]、ScFeO₃[10]等の新規 LN 型酸化物が次々と高压合成によって得られ、注目を集めるようになってきている。

ZnSnO₃ の発見当初は、Zn と酸素間の共有結合性が極性発現の原因であると考えていたが、第一原理計算によって、むしろイオンの配列であることが示唆された [11]。さらに LN 型酸化物について構造と極性との関係を探る中で LN 型構造自体が極性構造であり、この構造を安定化すれば極性酸化物を得られるのではないかと考えるようになった。図 1 にイルメナイト (ilmenite) (a)および LN 型化合物(b)の構造を示す。A - B 陽イオン間の反発によって、両イオンとも対称中心位置 (A イオンでは、AX₆ 八面体と陽イオンがない部分 (Vac) との境界のアニオン層の面上、B イオンについては BX₆ 八面体の中心) から c 軸方向に変位し、双極子モーメントが生ずる。しかし、イルメナイト型構造では、B-A-Vac-A-B-の配列のため、全体で見るとキャンセルされ正味の分極が生じない。一方、LN 型構造では B-A-Vac-B-A-配列の結果、c 軸方向の同じ向きに変位し、c 軸方向に分極が生ずる。したがって、陽イオン間 (A-B イオン間) の反発によって双極子モーメントが生じ、B-A-Vac-B-A-の陽イオン配列の結果、結晶全体として極性を生じたと考えることができる[12]。

また、最近、LN 型 MnTiO₃ のリーク特性を改善し分極反転を実現するために行った CaTiO₃-MnTiO₃ 固溶体の研究の過程で、新規強誘電性二重ペロブスカイト CaMnTi₂O₆ を見出した。この物質では、Ca および Mn それぞれが c 軸方向に一次元鎖を形成しており、これらの陽イオンと Ti イオンの間の反発により、c 軸方向に分極がアシストされていることが示唆された[13]。

これらの LN 型酸化物や新規強誘電性二重

ペロブスカイトに関する結果は、陽イオン配列を制御することにより極性発現が可能になることを意味し、この知見を発展させることによって陽イオン間の反発を利用した新しい極性化合物を提案できるという着想に至った。

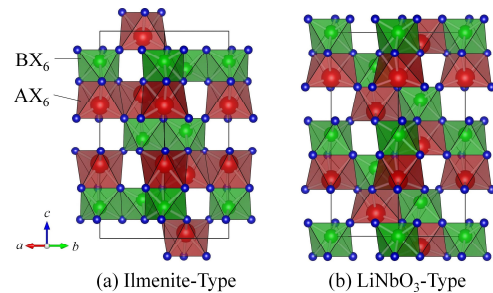


図 1 イルメナイト及び LiNbO₃ 型化合物 ABX₃

2. 研究の目的

本研究では、陽イオン間反発に由来する極性発現についてさらに理解を深め、極性物質の設計指針を獲得するために (1) 新規 LN 型酸化物の創製と陽イオン間反発に由来する極性発現の検証、(2) 新規二重ペロブスカイトの創製と陽イオン間反発に由来する極性発現の検証を行う。さらに応用も念頭に入れ、(3) 元素選択による極性の向上と機能性付与・複合化を目指した。

3. 研究の方法

(1) 新規 LiNbO₃ 型化合物の創製と陽イオン間反発に由来する極性発現の検証

本研究では、陽イオンの価数に着目し、さまざまな価数の組み合わせをもつ新規 LN 型酸化物の合成を行う。また、金属 - 陰イオン間の化学結合を制御することを意識し、酸化物に加えて、フッ化物をはじめとするハロゲン化物や窒化物への展開を図る。そして、既知物質も含め、陽イオン反発に由来する極性発現について構造、化学結合、極性の観点から明らかにすることを旨とした。

(2) 新規二重ペロブスカイトの創製と陽イオン間反発に由来する極性発現の検証

陽イオン一次元鎖が規則配列した強誘電性二重ペロブスカイトの報告は CaMnTi₂O₆ のみであり、二重ペロブスカイトの極性発現については十分に明らかになっていない。また、この物質は d⁰ 電子配置を持つ Ti⁴⁺ を含んでおり、この構造の安定化および極性の発現のために Ti が必須であるか不明である。そこで、さまざまなイオンの組み合わせをもつ化合物について検討し、この化合物群の陽イオン間反発に由来する極性発現について明らかにすることを旨とした。

(3) 元素選択による極性の向上と機能性付与

最近見出した LiNbO₃ 型 ZnTiO₃ は、ZnSnO₃ と比較して分極および非線形光学特性ともに優れており、Ti-O 間の化学結合に基づく二

次ヤーンテラー効果によって極性が強化されていることが明らかになった。この結果は陽イオン間反発を利用して極性構造を形成し、元素選択により極性の強化、あるいは他の機能性も付与できることを示唆する。そこで元素選択や元素置換を行い、構成元素、結晶構造および物性の関係を明らかにするとともに、非線形光学特性をはじめとする極性の向上、磁性やマルチフェロイック等の機能性の付与・複合化を目指した。

以下に本研究で行った具体的な実験方法について述べる。

(1) LiNbO₃ 型酸化物および二重ペロブスカイト型酸化物の高圧合成および単結晶育成

試料の合成は、研究室現有の 700 ton と今回の補助により導入した 180 ton キュービクマルチアンビル型超高压高温発生装置を用いて行った。これらの装置を用いることにより、現在最大圧力 8 GPa の圧力下での合成が可能であり、圧力、温度、時間をパラメータとして高圧合成を行った。出発原料として酸化物原料を用いた他、イオン交換により合成した前駆体酸化物、水熱法により合成した水酸化物前駆体を低温焼成した酸化物を出発原料として合成をおこない、高純度試料を得た。LiNbO₃ 型酸化物については、A⁺B⁵⁺O₃、A²⁺B⁴⁺O₃、A³⁺B³⁺O₃、A⁴⁺B²⁺O₃ 等、さまざまな陽イオンの価数の組み合わせの化合物について合成を試みた。また、二重ペロブスカイト型酸化物 AA'B₂O₆ については、さまざまな A と A' の組み合わせの化合物や、AA'Sn₂O₆ 等 Ti 化合物以外の化合物について合成を行った。

(2) 極性化合物の結晶構造解析

単相として得られた試料粉末についてその回折データを粉末 X 線回折装置、SPRing8 BL02B2 放射光 X 線デバイセラーカメラ、単結晶 X 線回折装置を用いて収集し、リートベルト解析プログラム RIETAN-FP を用いたリートベルト解析および単結晶構造解析により結晶構造の精密化を行った。構造パラメータから結合距離、対称中心からの原子変位、アニオン八面体の歪みなど、陽イオン間反発に由来する極性発現、構成イオンに起因する化学結合性について考察するための基礎データを得た。そして、高温での結晶構造、相転移挙動、熱安定性を明らかにするためにさまざまな温度における X 線回折データを収集した。

(3) 極性酸化物の誘電性および電気伝導性の測定

研究室現有の LCR メーターと高温および低温用電気測定装置を用い、温度 10 K ~ 800 K、測定周波数 1 kHz ~ 1 MHz の範囲において誘電率の測定を行った。誘電率の温度依存性から、相転移挙動を調べ、結晶構造解析から得られた相転移挙動と比較検討した。強誘電性測定システムを用いて、強誘電性の評価、分極反転に伴う電流特性の測定を行った。ま

た、電気伝導が見られた試料については、温度 10 K ~ 300 K の範囲において四端子法により電気抵抗率の温度依存性を測定した。

(4) 非線形光学特性評価および温度依存性

合成した試料について、粉末法による第二次光高調波発生(SHG)の測定を行い、中心対称性の有無を調べた。SHG が観測された試料について信号強度の温度依存性を測定し、結晶構造および誘電率の温度依存性からみた相転移挙動と比較した。

4. 研究成果

(1) 新規 LiNbO₃ 型酸化物の創製と陽イオン間反発に由来する極性発現の検証

d⁰ や s² 電子配置をもつ二次 Jahn-Teller 陽イオンを含まない LN 型化合物の探索を行い、高圧下において LiN 型 PbZnO₃ の合成に成功した。高温高圧下での in-situ X 線回折実験により、この化合物ではペロブスカイトを経ずに直接 LN 相が生成していること、また、構造解析の結果から Pb⁴⁺Zn²⁺O₃ の陽イオン電荷をもつことが示唆された。さらにこの化合物は半導体的挙動を示した[雑誌論文]。また、二次 Jahn-Teller 陽イオンを含まない LN 型 LiSbO₃ が高圧合成により得られた。この化合物は、第二高調波発生が観測されたことから反転中心をもたないことが確認された。高圧合成により得られた LN 型 LiSbO₃ の構造解析を行ない、Nb⁵⁺ および Ta⁵⁺ の二次 Jahn-Teller イオンを含む LiNbO₃ や LiTaO₃ に比べて Sb⁵⁺ の変位は小さく、陽イオン間反発に加え、B サイトイオンと酸素との結合の違いが構造の違いに反映していることが明らかになった。高圧合成により得られた LN 型 LiSbO₃ において電場による分極反転が観測され強誘電体であることが明らかになった。また、高温 X 線回折、誘電率、光第二高調波発生の温度依存性から高温における強誘電性相転移が確認された。PbZnO₃ および LiSbO₃ は二次 Jahn-Teller 陽イオンを含まないことから、陽イオン反発を利用した極性物質のよいモデルケースとなることがわかった。

また、FeTiO₃ の高温高圧下での相関係が明らかになり、LN 型 FeTiO₃ は高圧下ではペロブスカイト型構造をとり、減圧時に LN 型構造に変化することがわかった[雑誌論文]。

(2) 新規二重ペロブスカイトの創製と陽イオン間反発に由来する極性発現の検証

以前当グループで見出した二重ペロブスカイト強誘電体 CaMnTi₂O₆ と同構造をもつ化合物について高圧合成による探索を行い、新規化合物 CaZnTi₂O₆ を見出した。この物質において室温以下で相転移が生じることが構造解析および誘電率の温度依存性から確認された。さらに米国テキサス大学の Zhou 教授のグループと共同で CaMnTi₂O₆ よりも Ca が多い組成の Ca_{1+x}Mn_{1-x}Ti₂O₆ がスパークプラズマ焼結法により数百 MPa オーダーの圧力下で合成できることを明らかにした[雑誌論文]

文]。

(3) 元素選択による極性の向上と機能性付与・複合化

LN 型酸化物は、室温近傍で極性構造を持ち高い自発分極を持つことがその構造から予想されているが、その高い自発分極と結晶化学的因子との関係は完全には明らかになっていない。そこで、自発分極と強誘電性相転移温度 (T_C) には相関があると考え、構造相転移温度を左右する結晶化学的因子を特定するため、 T_C が既知である LiTaO_3 とコランダム関連型構造を持つ化合物、 $\text{Mn}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ ($\text{Mn}(\text{Mn}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$) との固溶体、 LiTaO_3 - $\text{Mn}(\text{Mn}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ を合成し、固溶量に伴う T_C の変化、結晶構造の変化について調べた。その結果、酸化物イオンの最密充填層に対する Li イオンの変位量、 ΔZ_A と T_C との間に相関があることが明らかになった。さらに LN 型固溶体 LiTaO_3 - $\text{Mn}(\text{Mn}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ の高压合成および構造解析を行い、LN 型固溶体、 LiTaO_3 - CaTiO_3 、 LiTaO_3 - CaZrO_3 とともに、酸化物イオンの最密充填層に対する Li イオンの変位量、 ΔZ_A と T_C との関係について検討した。その結果、 ΔZ_A と T_C との相関が見られ、 LiTaO_3 - $\text{Mn}(\text{Mn}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ では T_C を約 300 K 程度低下させることに成功した。一方、これまでに合成された LN 型酸化物の ΔZ_A を調べたところ、 CuTaO_3 が低い T_C を持つことが予想されたため、 CuTaO_3 、 CuTaO_3 と LiTaO_3 の固溶体、 $\text{Li}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{TaO}_3$ を合成し、結晶構造と T_C との関係について検討した。その結果、合成条件を最適化することで、ほぼ単相の CuTaO_3 、 $\text{Li}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{TaO}_3$ の合成に成功した。

さらに極性の制御を目指して、A サイト二重ペロプスカイト $\text{CaMnTi}_2\text{O}_6$ - $\text{CaZnTi}_2\text{O}_6$ 固溶体の合成および構造解析を行った。Zn 量の増加に伴い、格子定数が減少し、転移温度 T_C も低下した。

<引用文献>

- [1] Y. Inaguma, M. Yoshida, T. Katsumata, J. Am. Chem. Soc., 130, 6704-6705 (2008).
- [2] Y. Inaguma, D. Sakurai, A. Aimi, M. Yoshida, T. Katsumata, D. Mori, J. Yeon, P.S. Halasyamani, J. Solid State Chem., 195, 115-119 (2012).
- [3] Y. Inaguma, M. Yoshida, T. Tsuchiya, A. Aimi, K. Tanaka, T. Katsumata, D. Mori, J. Phys.: Conf. Ser., 215, 012131(2010).
- [4] Y. Inaguma, K. Tanaka, T. Tsuchiya, D. Mori, T. Katsumata, T. Ohba, K. Hiraki, T. Takahashi, H. Saitoh, J. Am. Chem. Soc., 133, 16920-16929 (2011).
- [5] A.A. Belik, T. Furubayashi, Y. Matsushita, M. Tanaka, S. Hishita, E. Takayama-Muromachi, Angew. Chem. Int. Ed., 48, 6117-6120 (2009).
- [6] A.A. Belik, T. Furubayashi, H. Yusa, E. Takayama-Muromachi, J. Am. Chem. Soc., 133, 9405-9412 (2011).

- [7] R. Arielly, W.M. Xu, E. Greenberg, G.K. Rozenberg, M.P. Pasternak, G. Garbarino, S. Clark, R. Jeanloz, Phys. Rev. B, 84, 094109(2011).
- [8] Y. Shi, Y. Guo, X. Wang, A.J. Princep, D. Khalyavin, P. Manuel, Y. Michiue, A. Sato, K. Tsuda, S. Yu, M. Arai, Y. Shirako, M. Akaogi, N. Wang, K. Yamaura, A.T. Boothroyd: Nature Mater., 12, 1024(2013).
- [9] Y. Inaguma, A. Aimi, Y. Shirako, D. Sakurai, D. Mori, H. Kojitani, M. Akaogi, M. Nakayama, J. Am. Chem. Soc., 136, 2748-2756 (2014).
- [10] T. Kawamoto, K. Fujita, I. Yamada, T. Matoba, S. J. Kim, P. Gao, X. Pan, S. D. Findlay, C. Tassel, H. Kageyama, et al., J Am Chem Soc., 136, 15291-15299 (2014).
- [11] M. Nakayama, M. Nogami, M. Yoshida, T. Katsumata, Y. Inaguma, Adv. Mater., 22(23), 2579-2582 (2010).
- [12] 稲熊 宜之, 相見 晃久, 勝又 哲裕, 森 大輔, 高圧力の科学と技術, 24(3), 212-222 (2014).
- [13] A. Aimi, D. Mori, K. Hiraki, T. Takahashi, Y-J. Shan, Y. Shirako, J. Zhou, Y. Inaguma, Chem. Mater., 26 (8), 2601-2608 (2014).

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5件)

Tetsuhiro Katsumata, Chizuru Ohba, Ayana Tobe, Atsushi Takeda, Mei Shoji, Akihisa Aimi, Daisuke Mori, Yoshiyuki Inaguma Synthesis of new LiNbO_3 -type oxynitrides, $\text{Mn}(\text{Mn}_{1/6}\text{Ta}_{5/6})\text{O}_{2.5}\text{N}_{0.5}$ under high pressure and at high temperature Chem. Lett., 47(1), 37-39 (2018). DOI:10.1246/cl.170851 査読有

Zongyao Li, Yujin Cho, Xiang Li, Xinyu Li, Akihisa Aimi, Yoshiyuki Inaguma, Jose A. Alonso, Maria T. Fernandez-Diaz, Jiaqiang Yan, Michael C. Downer, Graeme Henkelman, John B. Goodenough, Jianshi Zhou New Mechanism for Ferroelectricity in the Perovskite $\text{Ca}_{2-x}\text{Mn}_x\text{Ti}_2\text{O}_6$ Synthesized by Spark Plasma Sintering J. Am. Chem. Soc., 140(6), 2214-2220 (2018). DOI: 10.1021/jacs.7b11219 査読有

Tetsuhiro Katsumata, Nobuhiro Sawada, Ryosuke Kuraya, Takuma Hamagaki, Akihisa Aimi, Daisuke Mori, Yoshiyuki Inaguma, Ruing Ping Wang Phase transitions and dielectric properties of perovskite-type oxyfluorides $(1-x)\text{KNbO}_3$ - $x\text{KMgF}_3$ J. Fluorine Chem., 209, 65-72 (2018). DOI: 10.1016/j.jfluchem.2018.02.010 査読有

M. Akaogi, K. Abe, H. Yusa, T. Ishii, T. Tajima, H. Kojitani, D. Mori, Y. Inaguma High-pressure high-temperature phase relations in FeTiO_3 up to 35 GPa and 1600 °C Phys Chem Minerals, 44, 63-73 (2017). DOI: 10.1007/s00269-016-0836-3 査読有

Daisuke Mori, Kie Tanaka, Kie, Hiroyuki Saitoh, Takumi Kikegawa, Yoshiyuki Inaguma Synthesis, direct formation under high pressure, structure, and electronic properties of LiNbO_3 -type oxide PbZnO_3 Inorg. Chem., 54(23), 11405–11410 (2015). DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b02049 査読有

〔学会発表〕(計 14 件)

Synthesis and structure of perovskite-type oxyfluorides T. Katsumata, M. Nakashima, Y. Inaguma, D. Mori, A. Aimi 第 27 回日本 MRS 年次大会 (2017 年 12 月 5 日~7 日) 横浜市開港記念館 (横浜) 招待講演

極性構造をもつペロブスカイト関連極性化合物の高圧合成と機能開拓 稲熊宜之、相見晃久、森大輔、勝又哲裕、濱寄容丞、植田紘一郎 第 58 回高圧討論会 (2017 年 11 月 8 日~10 日) 名古屋大学 (名古屋) 招待講演

正方晶 PbFeO_2F の合成と結晶構造 勝又哲裕、佐藤直人、植田紘一郎、稲熊宜之 日本セラミックス協会第 30 回秋季シンポジウム (2017 年 9 月 19 日~21 日) 神戸大学 (神戸)

High-pressure synthesis, structure, and properties of perovskite-related transition-metal oxides, fluorides, and mixed-anion compounds Y. Inaguma, K. Sugimoto, A. Ichihara, D. Mori, K. Ueda, T. Katsumata, International Union of Materials Research Society-15th International Conference of Advanced Materials (IUMRS-ICAM) 2017, August 27-September 1, 2017 Kyoto, Japan. 招待講演

Synthesis of mixed-anion compounds under high pressure and high temperature, Tetsuhiro Katsumata, Mamoru Nakashima, Daisuke Mori, Yoshiyuki Inaguma, Akihisa Aimi, 第 26 回日本 MRS 年次大会 (2016 年 12 月 19 日-22 日) 万国橋会議センター (神奈川) 招待講演

高温高圧発生装置、トポケミカル反応を使用したリチウムナイオベート酸化物、 $\text{Cu}_{1-x}\text{Li}_x\text{TaO}_3$ の合成、岡崎有莉香、勝又哲裕、第 11 回セラミックスフェスタ in 神奈川 (2016 年 12 月 17 日) 神奈川大学 横浜キャンパス (神奈川)

リチウムナイオベート型酸化物固溶体、 $(1-x)\text{LiTaO}_3-x\text{Mn}(\text{Mn}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ の構造と相転移、勝又哲裕、乙部嵯稀、植田紘一郎、佐山暁久、森大輔、稲熊宜之、相見晃久、日本セラミックス協会第 29 回秋季シンポジウム、(2016 年 9 月 7 日-9 日) 広島大学 東広島キャンパス (広島)

A サイト秩序型二重ペロブスカイト酸化物 $\text{CaMn}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Ti}_2\text{O}_6$ の高圧合成、構造、誘電性 森大輔、赤間洋平、相見晃久、稲熊宜之 日本セラミックス協会 第 29 回秋季シンポジウム (2016 年 9 月 7 日-9 日) 広島大学 東広島キャンパス (広島)

リチウムナイオベート型酸化物、 $x\text{LiTaO}_3-(1-x)\text{Mn}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 、固溶体の合成、乙部嵯稀、勝又哲裕、日本化学会第 96 春季年会、(2016 年 3 月 24-27 日) 同志社大学 京田辺 (京都)

High-pressure synthesis, formation behavior, structure, and electronic conductivity of PbZnO_3 with LiNbO_3 -type structure D. Mori, K. Tanaka, Y. Inaguma PACIFICHEM 2015 (The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies), December 15-20 (2015), Honolulu, Hawaii, USA

High-pressure synthesis and ferroelectricity of A-site ordered double perovskite oxide $\text{CaA}'\text{Ti}_2\text{O}_6$ (A' : divalent cation) Y. Akama, D. Mori, Y. Inaguma PACIFICHEM 2015 (The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies), December 15-20 (2015), Honolulu, Hawaii, USA

新規 LiNbO_3 型酸化物 PbZnO_3 の高圧合成および相変化学動、構造、電気伝導性 森大輔、田中樹恵、稲熊宜之 日本セラミックス協会 第 28 回秋季シンポジウム (2015 年 9 月 16 日-18 日) 富山大学 五福キャンパス (富山)

極性構造をもつペロブスカイト関連化合物の探索 陽イオン配列と元素選択 稲熊宜之、相見晃久、森大輔、勝又哲裕、中山将伸 日本セラミックス協会 第 28 回秋季シンポジウム (2015 年 9 月 16 日-18 日) 富山大学 五福キャンパス (富山) 招待講演

Synthesis of mixed-anion compounds under high pressure and high temperature, Tetsuhiro Katsumata, Ayana Tobe, Chizuru Ohba, Atsushi Takeda, Akihisa Aimi, Daisuke Mori, Yoshiyuki Inaguma, 2015 E-MRS Spring Meeting, May 10-16 (2015), Strasbourg, France

〔図書〕(計 1 件)

High-Pressure Perovskite: Synthesis, Structure, and Phase Relation, Yoshiyuki Inaguma, “Hand Book of Solid State Chemistry” edited by R. Dronskowski, S. Kikkawa, and A. Stein, Volume 2 Synthesis, Chapter 3, 49-106, Wiley VCH (2017).

DOI: 10.1002/9783527691036.hsscvol2005

〔その他〕

ホームページ

<http://www-cc.gakushuin.ac.jp/~19990787/group/index.htm>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

稲熊 宜之 (INAGUMA, Yoshiyuki)

学習院大学・理学部・教授

研究者番号：00240755

(2)研究分担者

勝又 哲裕 (KATSUMATA, Tetsuhiro)

東海大学・理学部・教授

研究者番号：90333020

(3)連携研究者

森 大輔 (MORI, Daisuke)

学習院大学・理学部・助教

(平成 29 年 2 月まで)

三重大学・工学研究科・准教授

(平成 29 年 3 月より現在)

研究者番号：00432021

植田 紘一郎 (UEDA, Koichiro)

学習院大学・理学部・助教

研究者番号：60794089

(平成 29 年度より連携研究者)

(4)研究協力者

糀谷 浩 (KOJITANI, Hiroshi)

赤荻 正樹 (AKAOGI, Masaki)

中山 将伸 (NAKAYAMA, Masanobu)