

令和 4 年 10 月 13 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00822

研究課題名(和文) ナノ秒パルスポーリングが拓く誘電体応用領域の拡張

研究課題名(英文) Development of the Dielectric Application with Nanosecond Pulse Poling

研究代表者

中山 忠親 (Tadachika, Nakayama)

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：10324849

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,410,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はパルスと直流電場を併用することで絶縁油の耐熱温度200℃を超える高キュリー点を持つ強誘電体を空気中で分極させることを目的とする。本研究ではパルスと直流電場を同時に印加する手法でキュリー点が350℃の強誘電体を分極させた。同時印加させることで電気機械結合係数 k_p が0.65となり、パルス分極法を超える k_p 値を得ることができた。パルス電場のみではイオン分極されなかったが、直流電場を補うことでイオン分極が起こりより高い k_p 値を得ることができたと考える。以上より、高キュリー点を持つ強誘電体の分極に成功した。この手法は分極困難だった高キュリー点の材料の分極への応用が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

強誘電体を実際に使用するためには、分極処理が不可欠である。このときイオンの位置を物理的に動かす必要があるため、基本的にはキュリー温度近傍で、格子が不安定な状況のときに電場を印加する必要がある。しかし、キュリー点が高温で、かつ、高電場を印加する必要がある強誘電体においては、たとえば空気の絶縁破壊などにより、材料に電場を印加できないために、やむを得ず薄膜化するなどの制限があった。これに対して本手法であれば、室温で空気中でもナノ秒パルスと直流電場の重畳電場により高電場を印加出来ることから、強誘電体の材料選択の自由度が飛躍的に向上する。

研究成果の概要(英文)：This study aims to polarize ferroelectrics with a high Curie point, which exceeds the heat resistance temperature of insulating oil of 200 °C, in air by using both pulsed and direct current electric fields. In this study, a ferroelectric material with a Curie point of 350 °C was polarized by simultaneously applying a pulse and a DC electric field. The electromechanical coupling coefficient k_p was 0.65 by the simultaneous application of pulsed and dc electric fields, and the k_p value exceeding that of the pulse polarization method was obtained. It is considered that ion polarization did not occur in the pulsed electric field alone, but that ion polarization occurred and a higher k_p value was obtained when the DC electric field was supplemented. Thus, we succeeded in polarizing ferroelectrics with a high Curie point. This method is expected to be applied to polarization of materials with high Curie points, which have been difficult to polarize.

研究分野：無機材料科学

キーワード：ポーリング 強誘電体 ナノ秒パルス キュリー点 電気機械結合係数

1. 研究開始当初の背景

誘電体の分極原理は、配向分極、イオン分極、電子分極などの機構が複合したものであり、その時定数は材料物性によって様々である。そのため、材料とそのサイズが決まれば、それぞれの分極機構に最適な時定数(周波数)に応じた高効率な分極処理が可能になるはずであるが、これまでは直流で電場を印加すれば時定数に関わらず全ての機構を誘起できるということで見逃されてきた。

他方、これまでもパルス分極として、バイポーラミリ秒パルス分極(静岡理工科大学 小川ら 2001 年)や、ミリ秒(または数百マイクロ秒)パルス分極(AIST 小林ら 2012 年)等の手法が開発されていた。これら研究では、パルス印加による電極近傍でのマイクロドメイン形成とそれによる圧電特性の向上などが報告されていた。しかし、印加出来る電圧も絶縁破壊電圧以下であることから、パルス電源としての優位性を十分に生かし切れていないとも言えなかった。このほか、FeRAM の分極反転(50 ナノ秒程度)に関する研究(研究例多数)や、フェムト秒レーザー光ポーリング等の研究(KEK 岩野ら 2017 年)もなされていたが、主に薄膜の物性面への興味が主で有りバルク材料へのナノ秒パルス電源によるポーリングは例がなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ナノ秒パルス電源を光回線で多段接続制御した LTD 型ナノ秒パルス電源を用い、従来の分極処理では不可能であった誘電体のポテンシャルを引き出す新たな分極処理の学理を探求することを通じて、誘電体応用領域を拡張しようとするものである。

この技術開発を通じて生み出されることが期待される学術的成果としては下記の様なものが挙げられる。

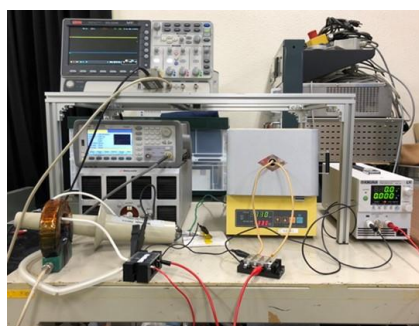
1. 絶縁破壊電圧以上で急峻なパルス電場と様々な周波数が重ねられた電場印加による誘電体ドメイン構造制御や共振周波数活用などのパルス電場特有の機構発現
2. 劇的なポーリング時間の短縮(0.1~5 秒オーダーが期待)により、従来のバルク誘電体では考えられなかったような高速動作型のバルク誘電体応用(電気熱量効果を生かした、周期的温度変化を有する熱源からの電気エネルギー回生など)の実証
3. 有機無機ハイブリッド強誘電体という、これまで分極処理が困難だったと言っただけの理由で開発が限定的であった物質の掘り起こし

3. 研究の方法

まず、ポーリングに適したナノ秒パルス電源開発を行った。パルス幅 50 ナノ秒、ピーク電圧 10kV、繰り返し 1MHz 電源を開発した。

ここで、パルス電源の開発において重要なのは①パルス幅、②ピーク電圧、③繰り返し周波数である。①は短いほど良く、②は高いほどよいが、①②いずれも良くしようとすると SiC MOSFET が高価となる。③の繰り返し周波数は素子物性とサンプルサイズで最適値が異なる。今回は、ポーリングの効果を JEITA の圧電セラミックス振動子の試験法に準拠し、分極の効果を計測した。材料系としては、先ず非鉛圧電体として大きな自発分極を持つ BIT(Bi₄Ti₃O₁₂)や、絶縁油の使用温度を超えるキュリー点を有する Pb(Yb_{0.5}Nb_{0.5})₀₃-PbTiO₃ 系材料を候補材料とした。素子の厚さによって、kt の共振周波数が変化する。即ち、数 100kHz の繰り返し周波数が必要である。このようにして綿密な試算に基づきパルス電源の仕様を策定し、その試作を実施した。

次いで、バルク誘電体へのナノ秒パルスポーリングの確認を行った。ごく短時間(0.1~数秒)



でのバルク体へのポーリングを実証した。研究開始前の予備実験において繰り返し 1kHz で絶縁油なしの環境で、僅か 5 分で完全とはいえないまでも分極が出来ている事が示されたことから、本研究では繰り返し 1MHz と 1000 倍の電源を試作を行った。得られた分極後の材料は JEITA の圧電セラミックス振動子の試験法に準拠し、分極の効果を計測し、その優位性を検証した。

更に、当初は予定していなかったことであるが、よりポーリングが困難な材料をポーリングするために、ナノ秒パルス電場と直流電場の重畳電場を印加した実験も行った。

図 1. 重畳電場分極の装置外観

4. 研究成果

4-1. パルス電場印加実験。パルス幅 300 ns で 2000 V/mm の電場印加した条件でのパルス電場及び電流波形を図 2. に示す。立ち上がり及び立下り時にリンギングが発生しているが、半値幅が約 300 ns であるため実験条件通りの電場印加がされていることを確認した。

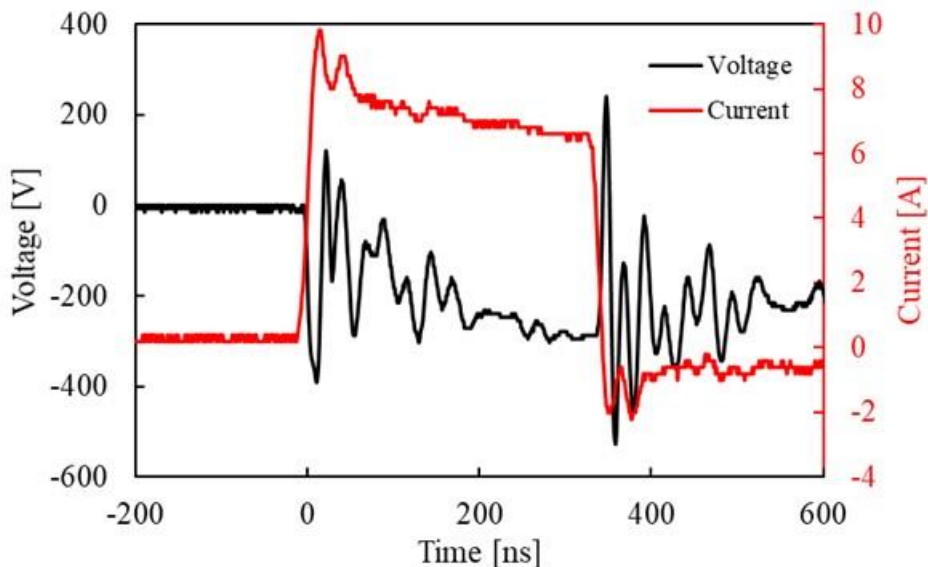


図 2. パルス電場波形

4-2. 予備実験としての信頼性調査

本研究では、新たにオイルフリーで空気中にて分極できるナノ秒パルス分極法を提案している。ここで、ナノ秒パルス分極法で分極したサンプルの分極率に差異が出るのかを検証するために、本手法を用いて同じ条件で分極を 3 回行い電気特性を比較し、信頼性を調査した。パルス幅を 300 ns とし電気炉で加熱しながら 1 kV/mm の電場を印加した。また、3 回の分極したサンプルより算出した電気機械結合の標準偏差及び標準誤差を算出し検討した。図 3 にアドミタンス特性、表 1 に電気特性の比較を示す。

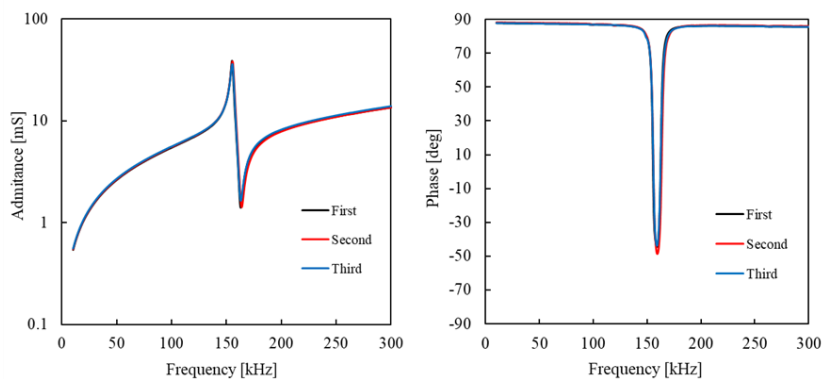


図 3 アドミタンス特性

表 1 電気特性の比較

	First	Second	Third
k_p [-]	0.34	0.35	0.33
Q_m [-]	61	52	55
$\epsilon_{33}^{T/\epsilon_0}$ [ϵ/ϵ_0]	1238	1253	1271
θ [deg]	-45	-49	-44
f_r [kHz]	163	163	163

3回同じ条件で分極を行った結果、図3からアドミタンス周波数特性及び位相に差が無いことが分かった。分極後のサンプルを解析し、電気特性を算出した結果、表1より電気機械結合その他のパラメータが酷似していることが分かった。そして、電気機械結合の標準偏差及び標準誤差が小さいため、データにばらつきがないことが分かった。以上の理由より、ナノ秒パルス分極法によって分極されたサンプルの信頼性は高いことが分かった。

4-4. 重畳電場を用いた分極処理

誘電体の分極には周波数によって様々な種類がある。本研究で用いているナノ秒パルス電場を用いた新しい分極処理は、原子分極と双極子分極の間の周波数帯であるため、原子分極の方向を十分にそろえることが困難であると考えられる。そのため、ナノ秒パルス電場に微小な直流電場を補填することでナノ秒パルス電場のみで分極しきれない原子分極を補おうと考えた。本章ではナノ秒パルス電場に直流電場を補填した重畳電場分極の手法を模索し、温度特性及び経時変化について調査した。

ここで、パルス電源と直流電源を直列に組んで重畳電場の印加実験を行った。電場条件としては、直流電場を250 V/mm、ナノ秒パルス電場をパルス幅300 ns、500 V/mmとした。図4に重畳電場分極の回路図、図5に電場波形（重畳電場分極）を示す。

直列に電源を配置し電場印加した所、図5のような波形が得られた。図5より直流電場及びナノ秒パルス電場は共に負の電場が印加されており、それぞれ条件にあった電場を印加できていることが分かる。本実験より直流電場とナノ秒パルス電場を同時に印加させた重畳電場分極に成功した。

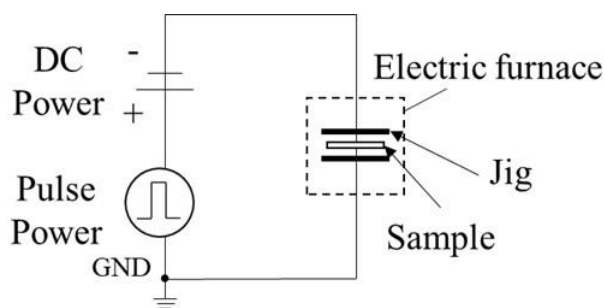


図4 重畳電場分極の回路図

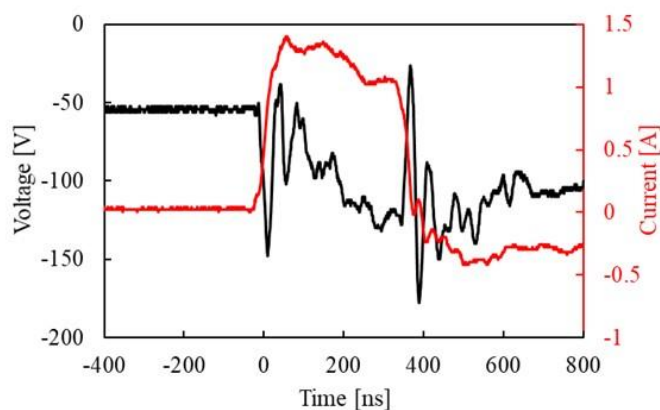


図5 電場波形（重畳電場分極）

4-5. 電圧特性

本節では重畳電場分極法が印加電圧によって電気特性にどのような影響を及ぼすのかを調査するため異なる電場条件で分極処理を行った。直流電場は750 V/mmとし、ナノ秒パルス電場は繰り返し周波数1 kHz、パルス幅300 nsとし、1750 V/mm、2250 V/mm、2750 V/mmで印加し、分極を行った。図6にアドミタンス特性、表2に電圧で比較した際の電気特性を示す。

直流電場は1 kV印加した際にサンプルが割れ、破損してしまった。破損してしまった理由としては長時間、直流電場を印加したことで絶縁破壊してしまったと考える。そのため、重畳電場分極の際に印加する直流電場は750 V/mmとした。

図6から、共振-反共振がナノ秒パルス分極よりも大きく現れていることが分かった。また、表2より電圧が2250 V/mmと2750 V/mmの条件では、一般的な絶縁油中で直流分極したサンプル

の電気機械結合係数 k_p , 0.65 とほぼ同じ値を示していることが分かる。重畳電場を印加する新たな分極法によって分極されたサンプルがナノ秒パルス分極よりも分極された理由は、微小直流電場を印加することで、ナノ秒パルス分極で起こすことができなかつた原子分極を補填し、より高い分極率になったのではないかと考える。また、直流電場とナノ秒パルス電場の合計が 3 kV/mm, 3.5 kV/mm であるが、絶縁破壊させることなく分極できている。本来、空気の絶縁破壊電圧が 3 kV/mm であるため、絶縁破壊を引き起こす恐れがある。しかし、本実験ではナノ秒パルス電場を使用しており、絶縁破壊が起きる前に電場が 0 になるため 3 kV/mm を超える電場を空气中で印加しても絶縁破壊が起きなかつたと考える。

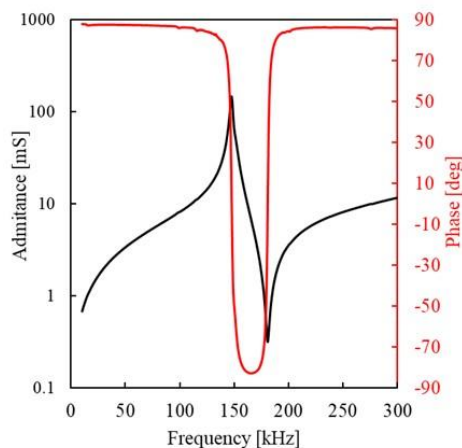


図6 アドミタンス特性

表2 電圧で比較した際の電気特性

	Voltage		
	1750 V/mm	2250 V/mm	2750 V/mm
k_p [-]	0.64	0.65	0.66
Q_m [-]	49	57	58
$\epsilon_{33}^{T/\epsilon_0}$ [ϵ/ϵ_0]	1558	1650	1556
f_r [kHz]	149	147	147

4-6. 結論

ナノ秒パルス電場のみを印加した場合には、原子分極が不十分であり絶縁油中の直流分極と同じ分極率が得られなかつた。そのため空气中でナノ秒パルス電場に微量の直流電場を補うことで分極率向上を図った。パルス電源と直流電源を直列に配置し、電場を同時に印加させることで重畳電場分極を行った。分極の結果、重畳電場分極では油中の直流分極と同等の電気機械結合係数 k_p を得ることができ、空気の絶縁破壊電圧を印加しても絶縁破壊することなく分極させることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 14件 / うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Iwasaki Yusuke, Mizuno Yusei, Nakayama Tadachika, Suzuki Tsuneo	4. 巻 179
2. 論文標題 Preparation of Cr-Si-N-O thin films epitaxially grown on MgO substrates by pulsed laser deposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 109498 ~ 109498
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.vacuum.2020.109498	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 -
1. 著者名 Nguyen Son Thanh, Nakayama Tadachika, Takeda Masatoshi, Hieu Nguyen Ngoc, Takahashi Tsuyoshi	4. 巻 61
2. 論文標題 Development of Yttrium Titanate/Nickel Nanocomposites with Self Crack-Healing Ability and Potential Application as Thermal Barrier Coating Material	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 1510 ~ 1516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-MN2019006	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 -
1. 著者名 Kim Yurian, Nakayama Tadachika, Kim Hyungsun	4. 巻 829
2. 論文標題 Effect of Te-based glass on contact formation and electrical properties in Si solar cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 154500 ~ 154500
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2020.154500	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 Nguyen Son Thanh, Nakayama Tadachika, Takahashi Tsuyoshi, Suematsu Hisayuki, Do Dung Thi Mai, Okawa Ayahisa, Niihara Koichi	4. 巻 22
2. 論文標題 Recycling of a Healing Agent by a Water Vapor Treatment to Enhance the Self Repair Ability of Ytterbium Silicate Based Nanocomposite in Multiple Crack Healing Test	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 2000157 ~ 2000157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adem.202000157	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 Gomez Rojas Omar, R. Hall Simon, Nakayama Tadachika	4. 巻 10
2. 論文標題 Synthesis of a Metal Oxide by Forming Solvate Eutectic Mixtures and Study of Their Synthetic Performance under Hyper- and Hypo-Eutectic Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 414 ~ 414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst10050414	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 Kim Juyoung, Yamanaka Satoru, Murayama Ichiro, Katou Takanori, Sakamoto Tomokazu, Kawasaki Takuro, Fukuda Tatsuo, Sekino Tohru, Nakayama Tadachika, Takeda Masatoshi, Baba Masaaki, Tanaka Hirohisa, Aizawa Kazuya, Hashimoto Hideki, Kim Yoonho	4. 巻 4
2. 論文標題 Pyroelectric power generation from the waste heat of automotive exhaust gas	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sustainable Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 1143 ~ 1149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9se00283a	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 Sekine Takashi, Mizuno Yusei, Nakayama Tadachika, Suematsu Hisayuki, Suzuki Tsuneo	4. 巻 59
2. 論文標題 Hardness of chromium nitride thin films prepared with addition of ytterbium	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SCCB22 ~ SCCB22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab5567	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 -

1. 著者名 Chu Ngo Minh, Hieu Nguyen Duy, Do Thi Mai Dung, Nakayama Tadachika, Niihara Koichi, Suematsu Hisayuki	4. 巻 59
2. 論文標題 Synthesis of metastable monoclinic beta molybdenum trioxide nanoparticles by pulsed wire discharge	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SCCC02 ~ SCCC02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab48b8	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 -

1. 著者名 Hieu Nguyen Duy, Chu Ngo Minh, Tokoi Yoshinori, Do Thi-Mai-Dung, Nakayama Tadachika, Suematsu Hisayuki, Niihara Koichi	4. 巻 59
2. 論文標題 Preparation of boron nanoparticles by pulsed discharge of compacted powder	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SCCC05 ~ SCC05
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab5911	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 -

1. 著者名 H. Nguyen Q, Extreme Energy-Density Research Institute, Nagaoka University of Technology, 1603-1 Kamitomioka, Nagaoka, Niigata, 940-2188, Japan	4. 巻 59
2. 論文標題 Electrocoagulation with a nanosecond pulse power supply to remove COD from municipal wastewater using iron electrodes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Electrochemical Science	6. 最初と最後の頁 493 ~ 504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20964/2020.01.66	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 Suematsu H., Sato S., Nakayama T., Suzuki T., Niihara K., Nanko M., Tsuchiya K.	4. 巻 8
2. 論文標題 Two-step-pressurization method in pulsed electric current sintering of MoO ₃ for production of ^{99m} Tc radioactive isotope	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Asian Ceramic Societies	6. 最初と最後の頁 1154 ~ 1161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21870764.2020.1824326	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 -

1. 著者名 H. Nguyen Q, Extreme Energy-Density Research Institute, Nagaoka University of Technology, 1603-1 Kamitomioka, Nagaoka, Niigata, 940-2188, Japan	4. 巻 15
2. 論文標題 COD Removal from Artificial Wastewater by Electrocoagulation Using Aluminum Electrodes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Electrochemical Science	6. 最初と最後の頁 39 ~ 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20964/2020.01.42	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 -

1. 著者名 UTSUMI Taro, TERASAWA Toshiharu, KUDO Isamu, SUZUKI Tsuneo, NAKAYAMA Tadachika, SUEMATSU Hisayuki, OGAWA Toru	4. 巻 128
2. 論文標題 Preparation of potassium and metakaolin based geopolymer foam with millimeter sized open pores for hydrogen recombining catalyst supports	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 96 ~ 100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.19175	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 -

1. 著者名 Nguyen Que Ho, Watari Takahiro, Yamaguchi Takashi, Kawamura Yuta, Suematsu Hisayuki, Wiff Juan Paulo, Niihara Koichi, Nakayama Tadachika	4. 巻 18
2. 論文標題 Comparison between Nanosecond Pulse and Direct Current Electrocoagulation for Textile Wastewater Treatment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Water and Environment Technology	6. 最初と最後の頁 147 ~ 156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2965/jwet.19-080	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 -

1. 著者名 Utsumi, T., Terasawa, T., Kudo, I., Suzuki, T., Nakayama, T., Suematsu, H., Ogawa, T.	4. 巻 Volume 128
2. 論文標題 Preparation of potassium and metakaolin based geopolymer foam with millimeter sized open pores for hydrogen recombining catalyst supports	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 96-100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.19175	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 -

1. 著者名 Peddamallu, N., Nagaraju, G., Sridharan, K., Velmurugan, R., Vasa, N.J., Nakayama, T., Sarathi, R	4. 巻 Volume 13
2. 論文標題 Understanding the electrical, thermal, and mechanical properties of epoxy magnesium oxide nanocomposites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IET Science, Measurement and Technology	6. 最初と最後の頁 632-639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/iet-smt.2018.5514	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 Yi Eun-jeong, Yoon Keun-young, Jung Hyun-Ah, Nakayama Tadachika, Ji Mi-jung, Hwang Haejin	4. 巻 473
2. 論文標題 Fabrication and electrochemical properties of Li1.3Al0.3Ti1.7(P04)3 solid electrolytes by sol-gel method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 622 ~ 626
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2018.12.202	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 Rojas, O.G., Nakayama, T., Hall, S.R.	4. 巻 45
2. 論文標題 Green and cost-effective synthesis of the superconductor BSCCO (Bi-2212), using a natural deep eutectic solvent	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 8546-8552
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2019.01.172	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 Nguyen, S.T., Nakayama, T., Suematsu, H., Suzuki, T., Niihara, K.	4. 巻 16
2. 論文標題 Self-crack healing ability and strength recovery in ytterbium disilicate/silicon carbide nanocomposites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Applied Ceramic Technology	6. 最初と最後の頁 39-49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ijac.13089	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 -

1. 著者名 Que, N.H., Kawamura, Y., Watari, T., Wiff, J.P., Nakayama, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Nanosecond pulse used to enhance the electrocoagulation of municipal wastewater treatment with low specific energy consumption	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environmental Technology (United Kingdom)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09593330.2019.1694082	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 Kim, Y., Nakayama, T., Kim, H.	4. 巻 829
2. 論文標題 Effect of Te-based glass on contact formation and electrical properties in Si solar cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2020.154500	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 Kawasaki Takuro, Fukuda Tatsuo, Yamanaka Satoru, Sakamoto Tomokazu, Murayama Ichiro, Katou Takanori, Baba Masaaki, Hashimoto Hideki, Harjo Stefanus, Aizawa Kazuya, Tanaka Hirohisa, Takeda Masatoshi, Sekino Tohru, Nakayama Tadachika, Kim Yoonho	4. 巻 131
2. 論文標題 Operando structure observation of pyroelectric ceramics during power generation cycle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 134103 ~ 134103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0084166	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 Sugiyama, Hironari, Kim, Juyoung, Yamanaka, Satoru, Kim, Yoonho, Ngo, Nguyen Chi Trung, Wiff, Juan Paulo, Suzuki, Tsuneo, Baba, Masaaki, Takeda, Masatoshi, Yamada, Noboru, Sekino, Tohru, Hashimoto, Hideki, Tanaka, Hirohisa, Niihara, Koichi, Nakayama, Tadachika	4. 巻 48
2. 論文標題 Pyroelectric power generation in PLZST material by temperature dependent phase transformation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 8689 - 8695
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2021.12.080	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 Sugiyama Hironari, Kim Juyong, Yamanaka Satoru, Kim Yoonho, Ngo Nguyen Chi Trung, Wiff Juan Paulo, Suzuki Tsuneo, Baba Masaaki, Takeda Masatoshi, Yamada Noboru, Sekino Tohru, Hashimoto Hideki, Tanaka Hirohisa, Niihara Koichi, Nakayama Tadachika	4. 巻 10
2. 論文標題 Examination of pyroelectric power generation over a wide temperature range by controlling the Zr:Sn composition ratio of PLZST	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Asian Ceramic Societies	6. 最初と最後の頁 99 ~ 107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21870764.2021.2013145	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 Ngo Nguyen Chi Trung, Sugiyama Hironari, Sodige Buddhika Amila Kumara, Wiff Juan Paulo, Yamanaka Satoru, Kim Yoonho, Suzuki Tsuneo, Baba Masaaki, Takeda Masatoshi, Yamada Noboru, Niihara Koichi, Nakayama Tadachika	4. 巻 11
2. 論文標題 Sensitivity and effectivity of Kim's novel electro-thermodynamic cycle over Olsen cycle on waste heat recovering with high fluctuating temperature source using lead-free pyroelectric Ba(Zr _{0.1} Ti _{0.9})O ₃	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 125310 ~ 125310
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0073257	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 Cho Hong-Baek, Kanno Masanao, Lim Minseob, Nakayama Tadachika, Choa Yong-Ho	4. 巻 555
2. 論文標題 Design and synthesis of barium ferrite-based nanocomposite films with highly regulated 3-D structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 149515 ~ 149515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2021.149515	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 KAWAMURA, Yuta, KAKIMOTO, Kenichi, YOSHIMURA, Takeshi, NAKAYAMA, Tadachika, SUEMATSU, Hisayuki, SUZUKI, Tsuneo, JIANG, Weihua, NIIHARA, Koichi
2. 発表標題 Development of pulsed electric fields poling method
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Environment and Process Design Laboratory
<https://etigo.nagaokaut.ac.jp/people/staff/nky15/nky15.html>

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
研究分担者	吉村 武 (Yoshimura Takeshi) (30405344)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (24403)	
研究分担者	柿本 健一 (Kakimoto Ken-ichi) (40335089)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授 (13903)	
研究分担者	床井 良徳 (Tokoi Yoshinori) (80572742)	小山工業高等専門学校・電気電子創造工学科・准教授 (52201)	

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
---------	---------