

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 9 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24360273

研究課題名(和文)陽イオン伝導性結晶配向セラミックスの材料設計と開発

研究課題名(英文)Materials design and development of cation conductive crystal-oriented ceramics

研究代表者

福田 功一郎 (FUKUDA, KOICHIRO)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90189944

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：反応拡散法を、 $\text{Na}_{20}\text{-Ga}_{203}\text{-TiO}_2$ 三成分系の $\text{Na}_{x+3y}\text{Ti}_{1-x}\text{Ga}_{4+x-y}\text{O}_8$ (NTGO) 多結晶体の配向化に拡張して適用することに成功した。具体的には、2種類の出発物質 NaGaO_2 と Ga_2TiO_5 を準備し、この圧粉体を $\text{Ga}_2\text{TiO}_5/\text{NaGaO}_2/\text{Ga}_2\text{TiO}_5$ の順番に重ね合わせてサンドイッチ型拡散対を作製した。この拡散対を加熱することで得られたNTGO多結晶体はb軸方向に高配向しており、比較的高い Na^+ イオン伝導度が実現できた。当該配向手法は拡散対の端成分のタイラインと生成物のタイラインが交差する特徴があり、他の三成分系化合物の一軸配向化にも広範囲に適用可能である。

研究成果の概要(英文)：The b-axis-oriented polycrystalline $\text{Na}_{0.85}\text{Ti}_{0.51}\text{Ga}_{4.3708}$ (NTGO) was prepared using the reactive diffusion technique. When the sandwich-type $\text{Ga}_2\text{TiO}_5/\text{NaGaO}_2/\text{Ga}_2\text{TiO}_5$ diffusion couple was heated at 1323 K for 24 h, the NTGO polycrystal was readily formed in the presence of a liquid phase. We mechanically extracted the thin-plate electrolyte consisting of the grain-aligned NTGO polycrystal. The ionic conductivity of the electrolyte along the common b-axis direction steadily increased from 1.3×10^{-4} to 7.3×10^{-3} S/cm as the temperature increased from 573 to 1073 K. The NTGO showed the crystal structure (space group $C2/m$) with substantial positional disordering of one of the two Ga sites. The Na ions occupied ca. 43% of the Wyckoff position 4i site, the deficiency of which would contribute to the relatively high ionic conductivity along the b-axis. The reactive diffusion would be widely applicable as the novel technique to the preparation of grain-aligned ceramics of multi-component systems.

研究分野：工学

キーワード：セラミックス 構造・機能材料 環境材料

1. 研究開始当初の背景

(1) セラミックスの一軸配向化

セラミックスは結晶粒子の高配向化によってその機能が著しく向上する場合がある。多結晶体としてのセラミックス焼結体の機能を最大限に発揮させるためには、焼結体を構成する個々の結晶粒子の結晶学的な方位を揃えた「結晶配向セラミックス」の作製が有効である。現状では製造過程でプレート粒子の利用やスラリーを磁場中に静置するなど、複雑なプロセスや特殊な装置を必要とする。

研究代表者は La_2SiO_5 と $\text{La}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ から成る拡散対を空气中で加熱する簡便な方法(反応拡散法)で、ケイ酸ランタン(LSO)の c 軸方向が接合界面に垂直に揃った結晶配向セラミックスの作製に初めて成功した[1-5]。化学式が $\text{La}_{9.33}\text{Si}_6\text{O}_{26}$ で表されるLSOは、アパタイト型の結晶構造(六方晶系)を有し、酸化物イオンが c 軸に沿って容易に移動することで、低酸素分圧下や中低温度領域(600以下)において比較的高い酸化物イオン伝導性が発現する[6-8]。さらに化学的に安定で電子伝導性が殆どないことから、ガスセンサーやSOFC(固体酸化物型燃料電池)電解質への応用が期待されている。しかしLSOのイオン伝導経路は c 軸方向に一次的に限定されているため、結晶方位がランダムな多結晶体では、その潜在的な能力を十分に発揮することはできなかった。高配向化したLSO多結晶体のイオン伝導度は、結晶方位がランダムな焼結体と比較して約50倍向上した。

(2) Na^+ イオン伝導体としてのチタノガリウム酸ナトリウム

一般式が $\text{Na}_{x+3y}\text{Ti}_{1-x}\text{Ga}_{4+x-y}\text{O}_8$ で表わされるチタノガリウム酸ナトリウム結晶(NTGO)は、結晶構造中のトンネル内を Na^+ イオンが高速伝導することから、固体電解質としての応用が期待されている[9-17]。化学組成が $\text{Na}_{0.7}\text{Ti}_{0.3}\text{Ga}_{4.7}\text{O}_8$ ($x=0.7$, $y=0$)のNTGO単結晶では、トンネルに平行な b 軸方向の Na^+ イオン伝導度(σ_{Na})は300で 1×10^{-2} S/cmであり、 b 軸に垂直な方向に比べ約2000倍高いことが報告されている[9]。一方、ランダム配向のNTGO多結晶体では、300の σ_{Na} 値は、単結晶における b 軸方向に沿った σ_{Na} 値に比べ 10^5 程度低い[16]。したがって、 b 軸方向に配向したNTGO多結晶体は、より高い Na^+ イオン伝導度の発現が期待される。

2. 研究の目的

(1) 二成分系反応拡散による一軸配向多結晶体の作製

La_2SiO_5 (A)と $\text{La}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ (B)からなる拡散対A/Bを加熱して、 c 軸配向LSO($\text{A}_{3.33}\text{B}_{1.33}$)多結晶体を作製する場合、反応生成物 $\text{A}/\text{A}_{3.33}\text{B}_{1.33}/\text{B}$ は La_2O_3 - SiO_2 二成分系に存在しており、生成反応式は $10\text{A} + 4\text{B} \rightarrow 3\text{A}_{3.33}\text{B}_{1.33}$ で表わされる。すなわち、従来の反応拡散法

は二成分系に限定されており、配向化させる目的化合物($\text{A}_{3.33}\text{B}_{1.33}$)の化学組成は、相図上で拡散対(A/B)を形成する化合物AとBの間に存在することが必要不可欠であった。そのため反応拡散法では、多成分系の結晶配向セラミックスを作製することは不可能であると考えられていた。

(2) 反応拡散法の三成分系への拡張

従来は La_2O_3 - SiO_2 二成分系のLSO多結晶体の配向化に用いられていた反応拡散法を、 Na_2O - Ga_2O_3 - TiO_2 三成分系のNTGO多結晶体の配向化に拡張して適用することを本研究の目的とする。1050における Na_2O - Ga_2O_3 - TiO_2 三成分系の平衡状態図から、NTGOの作製が可能な二成分系の単相から構成される拡散対は存在しないことを確認した。そのため、「NTGOと TiO_2 成分に富む液相のタイライン」が「 NaGaO_2 と Ga_2TiO_5 のタイライン」と交差することに着目し、液相を介する三成分系の反応拡散法を着想した。本研究では、タイラインが交差する当該手法(タイライン交差法)を用いてNTGO多結晶体の一軸配向化に成功し、高い σ_{Na} 値を実現した。

3. 研究の方法

(1) 試料の合成

出発原料に Na_2CO_3 、 Ga_2O_3 、 TiO_2 の試薬を用い、2種類の出発物質 NaGaO_2 と Ga_2TiO_5 を準備した。 NaGaO_2 (0.250 g)と Ga_2TiO_5 (0.200 g)の粉体をペレット状($\phi 13$ mm)に一軸加圧成型し、 $\text{Ga}_2\text{TiO}_5/\text{NaGaO}_2/\text{Ga}_2\text{TiO}_5$ の順番に重ね合わせてサンドイッチ型拡散対を作製した。これを1050°Cで24 h焼成し、室温まで徐冷してペレット状の試料を得た。加熱した拡散対試料の一部はダイヤモンドカッターで接合界面に垂直に切断し、鏡面研磨した後にスライドガラスに張り付けて薄片を作製した。さらにイオンミリング法でTEM用の試料を作製した。

(2) 試料の評価

偏光顕微鏡とSEMを用いて微細組織を観察した。透過型電子顕微鏡(TEM)でNTGO結晶と間隙相について組織観察を行い、TEMに付属のエネルギー分散型X線分析装置(EDX)で組成分析を行った。NTGOの結晶構造は単結晶X線回折法で解析した。Charge flipping法[18]を用いて初期構造を導出し、JANA2006[19]で分率座標を精密化した。差フーリエ合成図の残差電子密度が 1×10^3 nm⁻³以下になった時点で精密化を終了した。配向試料のX線粉末回折パターンからLe Bail法[20]を用いて積分強度を抽出し、配向度を定量的に表すロットゲーリングファクターの値(f_{0k0})を求めた。交流インピーダンス法(測定周波数4 Hz-5 MHz)を用いて、白金電極を施した配向多結晶体電解質のイオン伝導度(σ_{Na})を求めた。測定温度は300°Cから800°Cまで50°C間隔である。

4. 研究成果

(1) 顕微鏡法による組織観察

偏光顕微鏡観察から、 NaGaO_2 が存在した領域（厚み $590 \mu\text{m}$ ）に NTGO の針状結晶が生成していた。クロスニコル下で 45° 回転させると、結晶粒子が一斉に直消光を示すことから、多結晶体が配向していることが示された。反射電子組成像から、 NaGaO_2 が存在した領域は針状結晶が元の $\text{Ga}_2\text{TiO}_5/\text{NaGaO}_2$ の接合界面に垂直に成長している様子が確認できた。一方、 Ga_2TiO_5 が存在した領域の NTGO 結晶は $15 \mu\text{m}$ 以下の粒状であった。

(2) 結晶構造解析

観測された回折強度分布から最も可能性の高い空間群は $C2/m$ であった。導出した初期構造の Na 席は Wyckoff 位置 $4i$ を占有し、2 種類の Ga 席は $4i$ (Ga1) と $4i$ (Ga2)、Ti 席は $2a$ (Ti)、4 種類の O 席は $4i$ (O1) と $4i$ (O2)、 $4i$ (O3)、 $4i$ (O4) を占有した。この構造を精密化したところ、Ti 席に Ga が置換固溶していること、さらに Ga2 席の近傍に分割原子位置を設ける必要があることが分かった。信頼度因子の値は $R=0.0205$ 、 $wR=0.0282$ となり、化学組成式は $\text{Na}_{0.85}\text{Ga}_{4.37}\text{Ti}_{0.51}\text{O}_8$ ($x=0.511$ 、 $y=0.120$) と決定された。構造の妥当性は原子間距離と Charge distribution から確認した。図 1 に精密化した結晶構造モデルを示す。

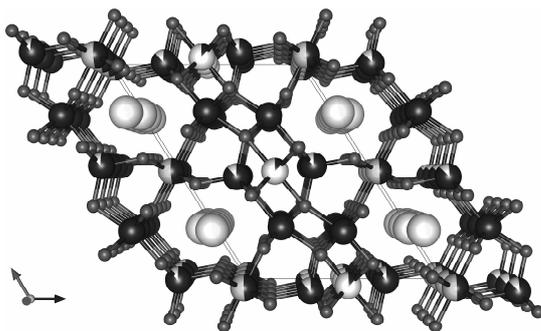


図 1 NTGO の結晶構造図

(3) TEM による微細組織観察と空隙相の同定

NTGO 結晶からの制限視野電子回折 (SAED) パターンには、基本反射の他に整数倍の超格子反射が観測された。変調波数ベクトル k と指数 n を用いると全ての回折点は $Q = ha^* + kb^* + lc^* + nk^*$ で表われ、 $k = 1/4b^* + 1/2c^*$ であった。今回の X 線回折法で求めた結晶構造は平均構造に相当する。

SAED パターンと EDX スペクトルから、空隙相は Ga が固溶した $\text{Na}_2\text{Ti}_4\text{O}_9$ (G-NTO) であり、組成式は $\text{Na}_2\text{Ti}_{3.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_{8.7}$ であった（空間群 $C2/m$ 、 $a = 2.3108 \text{ nm}$ 、 $b = 0.29392 \text{ nm}$ 、 $c = 1.0653 \text{ nm}$ 、 $\beta = 102.54^\circ$ ）。この化学組成は $\text{Na}_2\text{O}-\text{Ga}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ 三成分系において、1050 で液相領域内に位置することから、拡散対の加熱温度では液相であったことが示された。

(4) 結晶配向度の評価

NTGO の構造モデルから、ランダム配向試料の X 線粉末回折パターン（回折線の位置と積分強度）を計算から求めた。この回折パターンと配向試料の回折パターンと比較すると、後者の回折線では $0k0$ 反射が著しく増大していた。ロットゲーリング法で求めた配向度は $f_{0k0} = 0.71$ であり、作製した電解質が b 軸に高配向した NTGO 多結晶体であることが確認できた。

(5) 交流インピーダンス法による Na^+ イオン伝導度の評価

白金電極を施した配向多結晶体電解質を 300 から 50 間隔で 800 まで加熱し、各温度で Na^+ イオン伝導度を求めた。等価回路を仮定し、ナイキストプロットに対してフィッティングして粒内抵抗と CPE を求めた。 CPE から見積もったキャパシタンスの値は粒内では 10^{-11} F/cm 、粒界では 10^{-8} F/cm 程度であり、標準的なセラミックスの数値とよく一致していた [21]。配向方向に沿ったイオン伝導度の値は、300 から 800 への昇温過程で $1.3 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ から $7.3 \times 10^{-3} \text{ S/cm}$ まで増加した。このイオン伝導度の値は、全ての温度域においてランダム配向多結晶体 ($\text{Na}_{0.7}\text{Ga}_{4.7}\text{Ti}_{0.3}\text{O}_8$) と比較して 100 倍以上高い (図 2)。

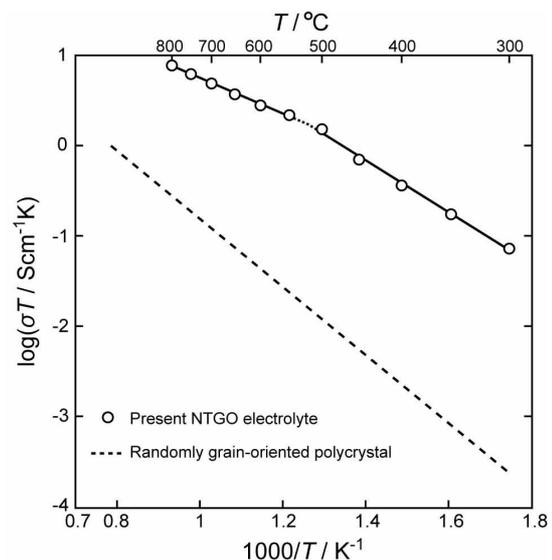


図 2 NTGO の結晶構造図

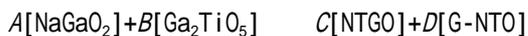
伝導度のアレニウスプロットから、519 付近にスロープ変化がみられた。高温側の活性化エネルギーの値 (E_a) は 0.39 eV で、低温側の E_a 値は 0.57 eV であった。これらの値は単結晶の b 軸方向に平行な伝導度から求められた値 (0.25 eV [9]) と比較すると約 1.5 倍大きい。活性化エネルギーの違いは、Na 席の占有率が強く影響すると考えられる。 $\text{Na}_{0.85}\text{Ti}_{0.51}\text{Ga}_{4.37}\text{O}_8$ と $\text{Na}_{0.7}\text{Ti}_{0.3}\text{Ga}_{4.7}\text{O}_8$ の Na 席の占有率は、それぞれ 0.425 と 0.35 である。

すなわち、一次元陽イオン伝導体において、トンネル内を伝導する陽イオンは、その占有率が高いほど、より高い原子間ポテンシャルが発生するとされており[22]、これによって活性化エネルギーの値が大きくなったと考えられる。

SEM 観察から電解質の空隙率は約 75.9%であった。緻密な *b* 軸高配向の NTGO 多結晶体が作製できれば、約 1.32 倍の伝導度 (1.7×10^{-4} S/cm 程度) が期待できる。

(6) Ga₂TiO₅/NaGaO₂ 間の反応拡散機構

今回、Ga₂TiO₅ と NaGaO₂ から成る拡散対を 1050°C で加熱すると、NTGO と G-NTO から構成される多結晶体が生成した。Na₂O-Ga₂O₃-TiO₂ 三成分系の平衡状態図から「NTGO と G-NTO のタイライン」が「Ga₂TiO₅ と NaGaO₂ のタイライン」と交差する点 (*P*₁) は 16.0mol% Na₂O、34.0mol% TiO₂、50.0mol% Ga₂O₃ であった。今回作製した拡散対の平均化学組成は *P*₁ に極めて近い。そのため拡散対を加熱して反応が進行すると、NTGO と G-NTO の二相に変化すると考えられる。この化学反応式は反応物の [NaGaO₂] と [Ga₂TiO₅]、および生成物の [NTGO] と [G-NTO] を用いて次式で表わされる。



ここで *A* と *B*、*C*、*D* は係数であり、*P*₁ の化学組成から [*A* : *B*] と [*C* : *D*] の比を決定することができる。それらはそれぞれ [0.485 : 0.515] と [0.766 : 0.234] であった。

拡散対の反応初期段階では、Ga₂TiO₅/NaGaO₂ 接合界面で NTGO の微結晶と G-NTO 組成の液相が生成し、時間の経過にしたがって、NTGO の針状結晶が NaGaO₂ 領域の中心部に向かって針状に成長すると考えられる。反応終了後の冷却過程では、NTGO 結晶の間隙に生成した液相が G-NTO として結晶化する。最終的には、高配向した NTGO 多結晶体と G-NTO の微結晶から成る多結晶体が得られる。

(7) イオン交換法を用いた陽イオン伝導種の操作

反応拡散で作製した多結晶体とイオン交換を行なった多結晶体について、微細組織を光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡で観察し、さらに配向度を X 線回折装置を用いて調べた。拡散方向に沿って針状結晶が生成しており、高い配向度の多結晶体が生成していることを確認した。ロットゲーリングファクターの値は常に 0.67 以上の値が得られたことから、良好な配向度であった。配向多結晶体から単結晶を取り出し、単結晶 X 線回折法を用いて結晶構造を決定した。その結果、イオン交換反応の前後において、結晶構造のフレームワークはほぼ維持されながら、トンネル内の陽イオンが置換されることが示された。

(8) Al₂TiO₅/NaAlO₂ 間の反応拡散と配向多結

晶体の作製

Na₂CO₃ と TiO₂、Al₂O₃ 試薬から Al₂TiO₅ 粉末試料と NaAlO₂ 粉末試料を合成し、Al₂TiO₅/NaAlO₂ から成る拡散対を準備した。これを所定温度で長時間加熱することで、Na_{1-y}Ti_{2+y}Al_{5-y}O₁₂ 固溶体から成る多結晶体を作製した。アニールした拡散対は拡散方向に垂直または平行にダイヤモンドカッターで切り出した。試料表面を鏡面研磨して微細組織を走査型電子顕微鏡で観察し、さらに X 線回折装置を用いて多結晶体の配向度を調べた。その結果、拡散方向に沿って針状結晶が生成しており、高い配向度の多結晶体が作製できたことを確認した。ロットゲーリングファクターの値は *f*_{0k0} = 0.68 であった。

配向多結晶体から単結晶を取り出し、単結晶 X 線回折法を用いて結晶構造を決定した。その結果、化学式は Na_{0.78}Ti_{2.22}Al_{4.78}O₁₂ (*y* = 0.22) と求められた。比較的高い Na⁺イオン伝導性の発現は、Na 席が一部欠損することから矛盾無く説明できた。

< 参考文献 >

- [1] Fukuda, K.; Asaka, T.; Hamaguchi, R.; Suzuki, T.; Oka, H.; Berghout, A.; Béchade, E.; Masson, O.; Julien, I.; Champion, E.; Thomas, P. Chem. Mater. 2011, 23, 5474.
- [2] Fukuda, K.; Asaka, T.; Ishizawa, N.; Mino, H.; Urushihara, D.; Berghout, A.; Béchade, E.; Masson, O.; Julien, I.; Thomas, P. Chem. Mater. 2012, 24, 2611.
- [3] Fukuda, K.; Asaka, T.; Oyabu, M.; Urushihara, D.; Berghout, A.; Béchade, E.; Masson, O.; Julien, I.; Thomas, P. Chem. Mater. 2012, 24, 4623.
- [4] Fukuda, K.; Asaka, T.; Okino, M.; Berghout, A.; Béchade, E.; Masson, O.; Julien, I.; Thomas, P. Solid State Ionics 2012, 217, 40.
- [5] Fukuda, K.; Asaka, T.; Hara, S.; Oyabu, M.; Berghout, A.; Béchade, E.; Masson, O.; Julien, I.; Thomas, P. Chem. Mater. 2013, 25, 2154.
- [6] Nakayama, S.; Kageyama, T.; Aono, H.; Sadaoka, Y. J. Mater. Chem. 1995, 5, 1801.
- [7] Nakayama, S.; Sakamoto, M. J. Eur. Ceram. Soc. 1998, 18, 1413.
- [8] Béchade, E.; Masson, O.; Iwata, T.; Julien, I.; Fukuda, K.; Thomas, P.; Champion, E. Chem. Mater. 2009, 21, 2508.
- [9] Chandrashekar, G. V.; Bednowitz, A.; La Placa, S. J. Fast Ion Transport in Solids 1979, 447.
- [10] Michiue, Y.; Watanabe, M.; Fujiki, Y. Mater. Res. Bull. 1991, 26, 597.
- [11] Michiue, Y.; Sasaki, T.; Watanabe, M.; Fujiki, Y. Mater. Res. Bull. 1993, 28, 173.
- [12] Michiue, Y.; Watanabe, M. Solid State

- Ionics 1994, 70-71, 186.
- [13] Michiue, Y.; Takenouchi, S.; Sasaki, T.; Watanabe, M.; Izumi, F.; Morii, Y.; Shimojo, Y. *Solid State Ionics* 1998, 113-115, 471.
- [14] Michiue, Y.; Sato, A. *Acta Crystallogr.* 2004, B60, 692.
- [15] Empie, N.; Edwards, D. *Solid State Ionics* 2006, 177, 77.
- [16] Edwards, D. D.; Empie, N. H.; Meethong, N.; Amoroso, J. W. *Solid State Ionics* 2006, 177, 1897.
- [17] Amoroso, J. W.; Edwards, D. D. *Solid State Ionics* 2008, 179, 878.
- [18] Oszlányi, G.; Sütö, A.; *Acta Crystallogr.* 2004, A60, 134.
- [19] Petricek, V.; Dusek, M.; Palatinus, L. JANA2006: The Crystallographic Computing System; Institute of Physics: Praha, Czech Republic, 2006.
- [20] Le Bail, A.; Duroy, H.; Fourquet, J. L. *Mater. Res. Bull.* 1988, 23, 447.
- [21] J. T. S. Irvine, D. C. Sinclair and A. R. West, "Electrocermics: Characterization by Impedance Spectroscopy", *Adv. Matter.* 1990 2(3). A32, 132-138.
- [22] Beyeler, H. U.; Pietronero, L.; Strässler, S.; Wiesmann, H. J. *Phys. Rev. Lett.* 1977, 38, 1532.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件)

- R. Hasegawa, M. Okabe, T. Asaka, N. Ishizawa and K. Fukuda, "Structure and Ionic Conductivity of Well-Aligned Polycrystalline Sodium Titanogallate Grown by Reactive Diffusion," *J. Solid State Chem.*, 査読有, **229**, 2015, pp.252-259.
DOI: 10.1016/j.jssc.2015.06.005
- D. Kurokawa, S. Takeda, M. Colas, T. Asaka, P. Thomas, and K. Fukuda, "Phase Transformation of $\text{Ca}_4[\text{Al}_6\text{O}_{12}]\text{SO}_4$ and Its Disordered Crystal Structure at 1073 K," *J. Solid State Chem.*, 査読有, **215**, 2014, pp.265-270.
DOI: 10.1016/j.jssc.2014.03.040
- T. Asaka, R. Kotani, T. Kudo, H. Yoshida, and K. Fukuda, "Synthesis and Disordered Crystal Structure of $\text{Al}_3\text{O}_{3.5}\text{C}_{0.5}$," *Inor. Chem.*, 査読有, **52**, 2013, pp.2648-2653.
DOI: 10.1021/ic302674g
- T. Uchida, S. Suehiro, T. Asaka, H. Nakano, and K. Fukuda, "Syntheses and Crystal Structures of $\text{Li}(\text{Ta}_{0.89}\text{Ti}_{0.11})\text{O}_{2.945}$ and $(\text{Li}_{0.977}\text{Eu}_{0.023})(\text{Ta}_{0.89}\text{Ti}_{0.11})\text{O}_{2.968}$," *Powder Diffr.*, 査読有, **28**(03), 2013, pp.178-183.
DOI: 10.1017/S0885715613000018

K. Fukuda, M. Okabe, and T. Asaka, "Microtexture of *c*-Axis-Oriented Polycrystalline Lanthanum Silicate Oxapatite Formed by Reactive Diffusion," *J. Am. Ceram. Soc.*, 査読有, **99**, 2016, in press.
DOI: 10.1111/jace.14283

[学会発表](計12件)

- 北川 拓也、加藤 諒也、原 晋次、浅香 透、福田 功一郎、気相-固相反応拡散による一軸配向多結晶体の新規作製方法、日本セラミックス協会 2016 年年会、2016 年 3 月 14 日~16 日、早稲田大学(東京都・新宿区)。
- 福田 功一郎、長谷川 諒、北川 拓也、中森 宏司、浅香 透、気相-固相反応拡散による結晶配向セラミックスの新規作製方法、第 5 4 回セラミックス基礎科学討論会、2016 年 1 月 7 日~8 日、アバンセ(佐賀研・佐賀市)。
- 市川 聡、浅香 透、福田 功一郎、高温 X 線粉末回折法と高温ラマン分光法を用いたイーリマイト型化合物の不規則構造解析、日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会、2015 年 12 月 12 日、名古屋大学(愛知県・名古屋市)。
- 長谷川 諒、岡部 桃子、浅香 透、石澤 伸夫、福田 功一郎、反応拡散によるチタノガリウム酸ナトリウム多結晶体の一軸配向化とイオン伝導、平成 27 年度日本結晶学会年会、2015 年 10 月 17 日~18 日、大阪府立大学(大阪府・堺市)。
- 福田 功一郎、新規イオン伝導体の探索と組織化による高機能発現、第 7 回新機能無機物質探索研究センターシンポジウム(招待講演) 2015 年 8 月 21 日、東北大学(宮城県・仙台市)。
- 長谷川 諒、岡部 桃子、浅香 透、石澤 伸夫、福田 功一郎、反応拡散による一軸配向チタノガリウム酸ナトリウム多結晶体の作製と結晶構造解析、 Na^+ イオン伝導、日本セラミックス協会 2015 年年会、2015 年 3 月 18 日~20 日、岡山大学(岡山県・岡山市)。
- 福田 功一郎、長谷川 諒、岡部 桃子、浅香 透、石澤 伸夫、一軸配向チタノガリウム酸ナトリウム多結晶体の作製とイオン伝導、第 5 3 回セラミックス基礎科学討論会、2015 年 1 月 8 日~9 日、京都テルサ(京都府・京都市)。
- 長谷川 諒、岡部 桃子、浅香 透、石澤 伸夫、福田 功一郎、一軸配向チタノガリウム酸ナトリウム多結晶体の作製とナトリウムイオン伝導性の評価、日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会、2014 年 12 月 6 日、名古屋工業大学(愛知県・名古屋市)。
- 市岡 裕晃、古谷 彰平、中野 裕美、浅香 透、福田 功一郎、近紫外線励起赤色蛍光体 $\text{Li}(\text{Ta}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_{3-x/2}:\text{Eu}^{3+}$ ($x = 0, 0.11, 0.25$) の電子密度分布と結晶構造、発光特性、日

本セラミックス協会 2014 年年会、2014 年 3 月 17 日～19 日、慶応義塾大学(神奈川県・横浜市)。

内田 智裕、末廣 志穂、中野 裕美、浅香 透、福田 功一郎、近紫外線励起赤色蛍光体 $\text{Li}(\text{Ta}_{0.89}\text{Ti}_{0.11})\text{O}_{2.945}:\text{Eu}^{3+}$ の電子密度分布と結晶構造、日本セラミックス協会 2013 年年会、2013 年 3 月 17 日～19 日、東京工業大学(東京都・目黒区)。

内田 智裕、中野 裕美、浅香 透、福田 功一郎、反応拡散による結晶配向セラミックスの新規作製方法 - Li-Nb-Ti-O 系多結晶体への応用 -、日本セラミックス協会 2013 年年会、2013 年 3 月 17 日～19 日、東京工業大学(東京都・目黒区)。

小谷 亮介、浅香 透、吉田 英人、福田 功一郎、新物質 $\text{Al}_3\text{O}_3.5\text{C}_{0.5}$ の発見と不規則構造解析、反位相区域構造が示す相転移機構、日本セラミックス協会 2013 年年会、2013 年 3 月 17 日～19 日、東京工業大学(東京都・目黒区)。

〔その他〕

ホームページ等

名古屋工業大学 結晶性萌芽材料研究室(福田・浅香研究室)

<http://crystals.web.nitech.ac.jp>

6. 研究組織

(1)研究代表者

福田 功一郎 (FUKUDA, Koichiro)

名古屋工業大学・工学研究科・教授

研究者番号：9 0 1 8 9 9 4 4

(2)研究分担者

浅香 透 (ASAKA, Toru)

名古屋工業大学・工学研究科・准教授

研究者番号：8 0 5 2 5 9 7 3

(3)連携研究者

吉田 英人 (YOSHIDA, Hideto)

東京大学・理学研究科・技術職員

研究者番号：3 0 3 7 6 5 5 3