

令和元年6月18日現在

機関番号：55501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K06514

研究課題名(和文) 新規高熱伝導 LTCC デバイスを狙ったアルミナの低温焼結化と無収縮焼成技術の適用

研究課題名(英文) Low-temperature sintering of alumina aiming for novel LTCC devices featuring high thermal conductivity and its application to non-shrinkage firing technology

研究代表者

茂野 交市 (Shigeno, Koichi)

宇部工業高等専門学校・物質工学科・准教授

研究者番号：60707131

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：従来の我々の研究において、少量の添加でアルミナの低温焼結が可能な新しい焼結助剤の開発を行い、焼成温度900℃で緻密かつ高熱伝導率を有する低温同時焼成アルミナを見出してきた。

本研究では、助剤組成や焼成雰囲気改良により、17 W/mKの高い熱伝導率とAgの融点未満の低温焼結化を維持しつつ、誘電特性を改善することができた。また、本系においては、液相生成温度未満でもほぼ緻密な焼結体が得られることがわかった。すなわち、固相活性化焼結が起こることを明らかにした。さらに、凍結乾燥法による粉末合成を検討し、平面方向無収縮焼成でも950℃において相対密度約95%の緻密な焼結体の作成に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における社会的意義は、開発した低温同時焼成アルミナが小型化と高放熱性を両立できることにある。今まで個々に製造していたデバイスを1パッケージ内に収めることができるため、放熱性の必要な箇所において付加価値の高いデバイスとしての効果が見込まれる。また、本研究における学術的意義は、焼結メカニズム解明のためのアプローチにあり、他のセラミックスにも有効に活かされると考えられる。

研究成果の概要(英文)： Our previous studies have been intended to develop novel sintering additives that can allow alumina to be well sintered at a low temperature with a small quantity. We successfully invented low temperature co-fired alumina featuring high density and thermal conductivity at 900 °C.

In this study, the dielectric properties of the materials were improved while maintaining the high thermal conductivity of 17 W/mK and the low temperature sintering below the melting point of silver by improving the additive composition and the firing atmosphere. In addition, in this system, it was found that a well sintered body can be almost obtained even below the liquid phase generation temperature (solid-state-activated-sintering). Furthermore, the powder synthesis by the freeze-drying method was examined, and a compact sintered body with a relative density of approximately 95 % was successfully obtained even by non-shrinkage firing in the x-y direction at the firing temperature of 950 °C.

研究分野：材料工学

キーワード：アルミナ セラミックス 焼結助剤 低温焼結化 LTCC(低温同時焼成セラミックス) 高熱伝導 誘電体

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

アルミナ(Al_2O_3)は高熱伝導・高強度かつ良好な電気特性を有しており、配線基板や IC パッケージ等の電子部品材料として広く使用されている。しかし、アルミナの焼結温度は約 1500 °C と高いため、導体と同時に焼成する際に W や Mo など高融点・高抵抗の金属を使用する必要があった。そこで、アルミナに低融点のガラスを添加して約 1000 °C 以下に低温焼結化した LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramics: 低温同時焼成セラミックス)材料が開発されてきた[文献 1, 2]。これにより低融点・低抵抗の金属である Ag(融点約 960 °C)や Cu(融点約 1080 °C)を使った回路パターンを基板内部に作り込んだものを同時に焼成して一体化することが可能になった。このようにして製造されたデバイスを LTCC 積層デバイスという。誘電率や膜厚の異なる LTCC 層と導体層を交互に積層することで、コンデンサの容量やインダクタの特性を制御している。

しかしながら、アルミナを約 1000 °C 以下に低温焼結化するためには焼結助剤として多量のガラス(全量の約 50 %)を添加する必要があった。そのため従来の LTCC 材料のほとんどは母材であるアルミナの良好な特性を最大限に生かすことができず、低熱伝導・低強度であるという欠点があった。特に最近では LTCC 積層デバイスの高集積化が進み、LTCC 上に実装された発熱半導体が密集するため、放熱対策が必要であったが、熱伝導率が 6 W/mK 以上の LTCC は開発されていないのが現状であった。そのため少量(全量の約 10 %以下)の添加でアルミナの低温焼結化が可能な焼結助剤(MnO-TiO₂ 系等)の検討が行われてきた。しかし過去の文献によると 1000 °C 以下で十分な焼結性を有しているとは言い難いものであった[文献 3]。

研究代表者らはこれまでに少量の添加でアルミナの低温焼結が可能な新しい焼結助剤の探索を行ってきた。その結果、CuO-TiO₂-Nb₂O₅-Ag₂O 系助剤をわずか 5 mass% 添加することにより焼成温度 900 °C 以下で緻密なアルミナが得られることを見出した[文献 4, 5]。上記低温焼結アルミナの熱伝導率は 18 W/mK であり、LTCC 材料としては世界最高値が得られた。また、誘電率や絶縁性といった他の電気特性および機械的特性も市販の 1500 °C 焼成アルミナ(純度 96 %)との大きな違いはなく、特性は良好であった。さらに、上記低温焼結アルミナと Ag 電極との同時焼成を行い、高熱伝導 LTCC 積層デバイスとしての応用可能性を見極める取り組みを行った。その結果、上記焼結助剤の組成制御(Ag₂O 含有量の増量)により、課題であった Ag 電極の反応消失を抑制することに成功した。これにより、従来と同等の電気特性を有しながら従来にない高熱伝導率を有する LTCC 積層デバイスの基礎技術を構築することができた[文献 6]。我々は開発した上記材料を低温同時焼成アルミナ(LTCA: Low Temperature Co-fired Alumina)と名付けた。

2. 研究の目的

上述の背景のもと、開発目標を新たな段階にシフトさせた。それは「寸法精度向上」である。上記成果は通常の焼成方法である「等方収縮焼成」にて得られたものである。図 1(a)に示すように基板となる低温焼結アルミナを等方収縮焼成により緻密化すると、通常のセラミックスと同様、平面・垂直方向ともに約 20% 収縮する。しかしながら、プロセス変動により、基板には ±1% の寸法ばらつきが生じる。例えば 100mm 口の基板であれば ±1mm もの誤差が生じる。焼成した基板の上に半導体素子を数 100 個以上自動実装するため、実装位置の不一致による不良が生じ、基板平坦性にも問題がある。一方、「無収縮焼成」なる焼成法がある。これは平面方向の収縮をほぼ完全に抑制して垂直方向のみに収縮をおこさせる焼成を意味する。例としては図 1(b)に示すように基板となる焼成前の低温焼結アルミナの上下面に基板本体の焼成温度では焼結しない材料でできた拘束層を積層、圧着し、焼成する。これにより垂直方向のみ収縮がおこり平面方向の収縮は

ほぼ完全に抑制され、寸法精度が向上する。ただし、上記焼成法には最大の課題がある。焼結性の悪化である。無収縮焼成はあくまでも助剤であるガラス量が 50% 程度含まれる従来の LTCC 材料にのみ適用されてきた。ガラス量が多いため、ガラスの軟化流動による粒子の再配列と液相焼結が容易におこり、平面方向に拘束を受けた状態でも収縮焼成時に近い焼結性を有する。しかし、

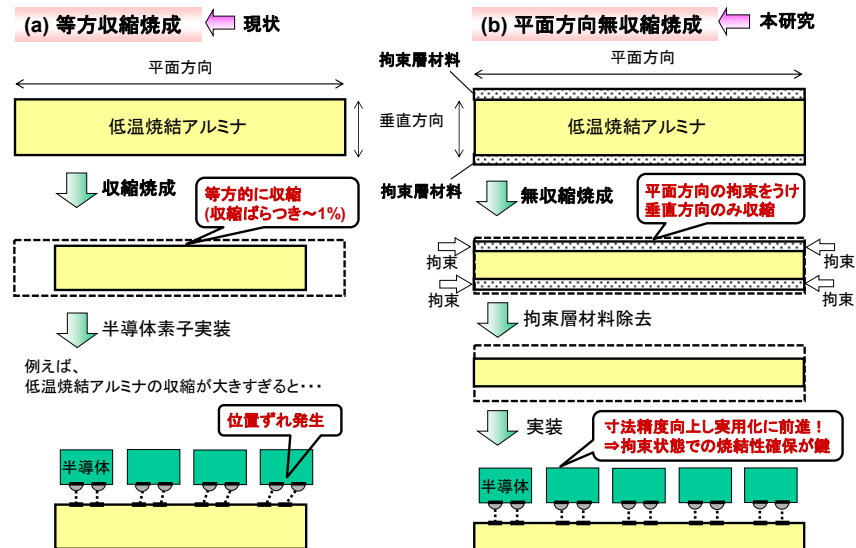


図 1 等方収縮焼成と平面方向無収縮焼成の違いを示す模式断面図

本研究における低温焼結アルミナの助剤量は 10%以下である。この場合、液相量が十分ではないため平面方向に拘束を受けた状態では母材であるアルミナの全体に液相が十分に拡散せず焼結性が悪化すると推定される。

そこで、本研究の目的を、主として 3 つ挙げた。ひとつは、(1)粉体プロセス制御によるアルミナのさらなる低温焼結化及び誘電特性の改善である。(2)また、上述のとおり焼結の起こりにくいとされる無収縮焼成でも緻密なアルミナ焼結体を開発することである。(3)そして、上記低温焼結アルミナの焼結メカニズムの解明である。メカニズム解明によって、アルミナのさらなる低温焼結化はもちろんのこと、他の誘電体材料や他分野のセラミックス材料への応用が期待できる。

3. 研究の方法

(1) 粉体プロセス制御によるアルミナのさらなる低温焼結化及び誘電特性の改善

通常の等方収縮焼成で現行材料よりもさらなる低温焼結化ができれば、無収縮焼成による焼結性悪化を凌駕できる可能性がある。そこで、ア)焼成雰囲気、イ)粉末の合成方法(乾燥方法)、ウ)新材料の探索の 3 つのアプローチにより開発を行った。

まずア)についてであるが、予備実験の結果、本低温焼結アルミナの焼結性には酸素分圧が大きな影響を与えていることがわかってきたためである。そこで、焼結性を最良にする酸素分圧を見極めることとした。次に、イ)についてであるが、焼結前の混合粉末には明らかに凝集が認められた。これを極力少なくすれば、焼結性の改善が見込まれると考え、通常の熱による乾燥ではなく、凍結乾燥法を導入し、その効果を検証した。最後にウ)についてであるが、誘電体の誘電特性は主に 3 つ(比誘電率(ϵ_r)、誘電損失と共振周波数の積($Q \times f$)、共振周波数の温度係数(τ_f)が重要である。このうち τ_f はゼロに近いことが望まれるが、そもそもアルミナのそれが約 $-60\text{ppm}/^\circ\text{C}$ と低く、改善が必要であった。そのために、優れた低温焼結性や熱伝導率を確保しながらも上記 τ_f をゼロに近づける取組を行った。

(2) 低温同時焼成アルミナの無収縮焼成技術の確立

まず現状把握が重要であるため、現時点での焼結性最良組成における収縮焼成と無収縮焼成の焼結性の違いを定量的に明らかにした。そのうえで、上述の(1)の取組で開発した粉体プロセスを無収縮焼成に導入することで Ag の融点である 960°C 未満での低温焼結化が可能か否かを見極めた。

(3) 低温焼結アルミナの焼結メカニズムの解明

まず、本系において、助剤やアルミナが液相を生成してはじめて焼結が開始するのか、あるいは固相状態でも焼結が促進するのかについて考察を行った。また、アルミナの低温焼結に寄与していると考えられる Ag-Cu-Ti-Nb-O 系新規複合酸化物の単相合成を試みた。

4. 研究成果

(1) (ア) 焼成雰囲気制御による低温焼結アルミナの焼結性及び誘電特性の向上

低温焼結アルミナのさらなる焼結性等の特性向上への指針を得るため焼成雰囲気が焼結性に及ぼす影響を調べた。その結果、酸素分圧が焼結性に大きな影響を及ぼしていることがわかった。図 2 には、5 mass% の $\text{CuO-TiO}_2\text{-Nb}_2\text{O}_5$ 助剤を添加したアルミナを $920^\circ\text{C} \cdot 2\text{h}$ 焼成した場合を例として示す。上図からも酸素分圧が大気雰囲気のそれ(0.21 atm)よりも低いある条件下で大気雰囲気よりも良好な焼結性を有することがわかる。また、上記焼結性と焼結助剤の融点、焼結助剤の作る化合物の種類には密接な相関のあることが明らかとなった。開発した材料の誘電特性($Q \times f$)に関しても、大気雰囲気で焼成した場合よりも良好であることがわかった。

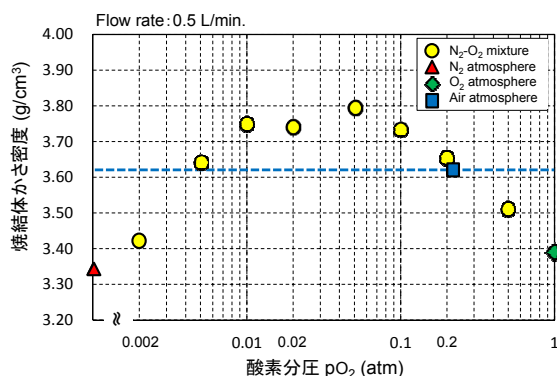


図 2 焼結体かさ密度と酸素分圧の関係(920 °C)

(1) (イ) 凍結乾燥による粉末合成とこれによる低温焼結アルミナの焼結性の改善

低温焼結アルミナ粉末の作成方法の改良に取り組んだ。具体的には、通常の熱による乾燥法にかえて凍結乾燥法を検討した。図 3 の SEM 写真に示すように、凍結乾燥法を用いることにより通常乾燥法よりも凝集の

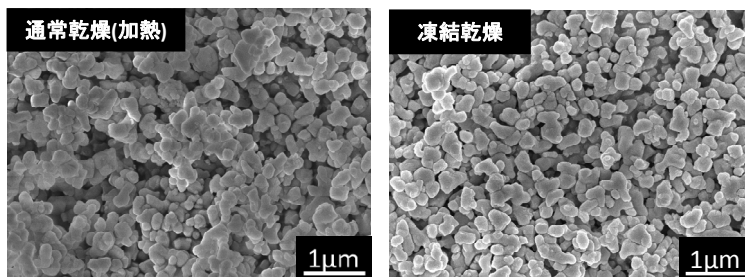


図 3 通常乾燥と凍結乾燥により作成した LTCA 粉末の SEM 写真

少ない粉末が得られることを確認した。さらに、上記凍結乾燥法で作成した粉末の焼結性が通常乾燥で作成した粉末のそれよりも優れていることがわかった。

(1) (ウ) 焼結助剤の改良による誘電特性の改善

開発した低温焼結アルミナの τ_f は $-87 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ とアルミナ単成分(約 $-60 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$)よりも負に大きい値であった。原因分析の結果、大きな負の τ_f をもつ AgNbO_3 が低温焼結アルミナ中に第2相として析出していることが判明した。そこで、 τ_f の改善を目的とし、アルミナの一部を正の τ_f を有する TiO_2 で置換する検討を行った。その結果、第2相となる化合物を変化させ(AgNbO_3 相 \rightarrow ルチル相) τ_f を制御できることがわかり、12 mol%の置換により 900°C (保持時間24 h)での焼結性確保と τ_f ゼロ化を両立した。誘電特性は ϵ_r : 14.8, $Q \times f$: 6200 GHz, τ_f : 0 ppm/ $^\circ\text{C}$ であり、熱伝導率は 17 W/mK と従来のLTCC材料と比較して数倍の値を示した。

(2) 低温同時焼成アルミナの無収縮焼成技術の確立

平面方向無収縮焼成の基礎検討を行い、無収縮焼成実現のために必要な因子を検討した。その結果、特に、低温同時焼成アルミナを挟み込む拘束層の粒径が重要であること明らかにした。しかしながら、無収縮焼成を行うと通常の収縮焼成と比較して焼結性が悪化し、 1000°C 焼成でも緻密な焼結体の作成が困難であることも分かった。そこで、本低温焼結アルミナの無収縮焼成実現にむけ、(1)(イ)で述べた凍結乾燥法により作成した粉末を用いたところ、 950°C での無収縮焼成で相対密度約95%の焼結体作成に成功した(図4)。ただし、通常焼成時よりも焼結性が悪化することには変わりがないため、助剤量が少ない組成でもさらに低温で無収縮焼成を実現する技術の開発が望まれる。

(3) 低温焼結アルミナの焼結メカニズムの一端解明

本低温焼結アルミナの焼結メカニズムの考察を行った。その結果、助剤やアルミナが液相を生成することなく固相状態でもほぼ緻密な焼結体を得られることがわかった。すなわち、本系ではsolid-state-activated-sintering(固相活性化焼結)が起こっていることを明らかにした。さらに、助剤及びアルミナの格子定数測定やTEM-EDSによる粒内の元素分析により、焼結途上における助剤-アルミナ間の固溶度合いの違いを調べた。そして、アルミナの助剤への固溶度合いが助剤のアルミナへの固溶度合いよりも大きいことを示唆するデータが得られた。上記一連の焼結メカニズムの考察よりヒントを得て、アルミナ以外のアルミ基酸化物であるガーナイト(ZnAl_2O_4)の低温焼結化にも着手している。また、アルミナの低温焼結化に重要な影響を及ぼすと考えられるAg-Cu-Ti-Nb-O系新規複合酸化物をほぼ単相で合成することに成功した。現在、構造解析を行っているところである。

<引用文献>

- [1] S. Nishigaki, J. Fukuta, *Adv. Ceram.*, **26** (1989), pp.199-215
- [2] H. Kagata and H. Katsumura, *Ceramic Transactions*, **131**, *Am. Ceram. Soc.*, (2002), p.193.
- [3] M. C. Moreira and A. M. Segadaes, *J.Eur.Ceram.Soc.*, **16** (1996), pp.1089-1098.
- [4] Koichi Shigeno, Hidenori Katsumura, Hiroshi Kagata, Hiroshi Asano and Osamu Inoue, *Key Engineering Materials*, Vol. **320** (2006), pp.181-184.
- [5] Koichi Shigeno, Hidenori Katsumura, Hiroshi Kagata, Hiroshi Asano and Osamu Inoue, *Ferroelectrics*, Vol. **356**, Number 1, (2007), pp.189-196.
- [6] Koichi Shigeno, Tadashi Asakawa and Yuto Kuraoka, *Proceedings of RSCE 2013*, Module D, (2013), pp.19-26.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

- (1) Koichi Shigeno, Shinji Kaneko, Tomoya Yamane, Junya Shimokawa and Hiroataka Fujimori: "Improvement in Dielectric Properties of Low Temperature Sintered Alumina Containing a Small Quantity of a $\text{CuO-Nb}_2\text{O}_5$ Additive by Substitution of Titanium Dioxide", *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, Vol. **65**, Number 6, pp.347-353 (2018). 査読あり
- (2) Koichi Shigeno, Takumi Nagata and Hiroataka Fujimori: "Effects of Firing Atmosphere on Low

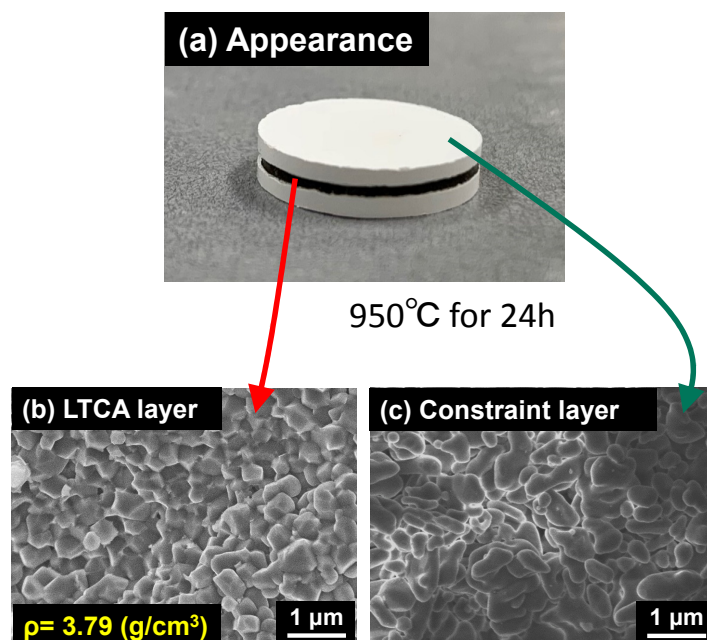


図4 無収縮焼成後の(a)概観及び(b)LTCA層、(c)拘束層の写真

- Temperature Sintering of Al_2O_3 with a Small Quantity of $\text{CuO-TiO}_2\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-Ag}_2\text{O}$ Additives”, *AIP Conference Proceedings*, **1865**, 060006 (2017). 査読あり
- (3) Koichi Shigeno and Hirotaka Fujimori: “Improvement of Sintering Performances and Dielectric Properties of Oriented TiO_2 Ceramics Using Sintering Additives”, *Trans. Mat. Res. Soc. Japan*, Vol.**41**, Number 4, pp.337-340 (2016). 査読あり
 - (4) Koichi Shigeno, Eisaku Kojima and Hirotaka Fujimori: “Improvement in the Low-Temperature Sintering Performance and Characteristics of Alumina with $\text{CuO-TiO}_2\text{-Nb}_2\text{O}_5$ Additive by Controlling the Firing Atmosphere”, *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, Vol.**63**, Number 7, pp.701-705 (2016). 査読あり
 - (5) Koichi Shigeno, Tadashi Asakawa, Yuto Kuraoka and Hirotaka Fujimori: “Effects of Chemical Compositions on Electrical Properties of Low Temperature Co-fired Alumina Ceramics with Built-in Silver Electrodes”, *Trans. Mat. Res. Soc. Japan*, Vol.**41**, Number 1, pp.121-126 (2016). 査読あり

[学会発表] (計 2 2 件)

- (1) Shinji Kaneko, Koichi Shigeno, Tomoya Yamane, Junya Shimokawa and Hirotaka Fujimori: “Improvement in Dielectric Properties of Low Temperature Sintered Alumina Containing a Small Quantity of Cu-Nb-O Additive by Substitution of Titanium Dioxide”, JSPM International Conference on Powder and Powder Metallurgy -60th Anniversary- (JSPMIC2017), P-E8-06, Kyoto, Japan, November 6-9, 2017 (Poster Award for Outstanding Presentation).
- (2) Koichi Shigeno, Moyuan Li and Hirotaka Fujimori: “Improvement of Dielectric Properties of Low Temperature Co-fired Alumina Containing a Small Quantity of Additives by Substitution of Titanium Dioxide”, IUMRS-ICAM 2017, A9-P28-017, Kyoto, Japan, August 27-September 1, 2017.
- (3) Koichi Shigeno and Hirotaka Fujimori: “Development of Low Temperature Co-fired Alumina with a Small Quantity of Sintering Additives”, The 12th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PACRIM12), Hawaii, USA, May 21-26, 2017 (Invited Speech).
- (4) Koichi Shigeno, Yuto Kuraoka, Tadashi Asakawa and Hirotaka Fujimori: “Low Temperature Sintering Behavior of Al_2O_3 Dielectric Ceramic with $\text{CuO-TiO}_2\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-Ag}_2\text{O}$ Additive.”, The 9th International Conference on Microwave Materials and Their Applications 2016 (MMA 2016), A20160228-0194, Seoul, Korea, July 3-6, 2016 (Best Poster Presentation Award).
- (5) Koichi Shigeno, Takumi Nagata and Hirotaka Fujimori: “Effects of Firing Atmosphere on Low Temperature Sintering of Al_2O_3 with a Small Quantity of $\text{CuO-TiO}_2\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-Ag}_2\text{O}$ Additives.”, The 3rd International Conference of Global Network for Innovative Technology (IGNITE2016), PMC03, Penang, Malaysia, January 27-29, 2016 (Best Poster Award).
- (6) Koichi Shigeno, Tadashi Asakawa, Yuto Kuraoka and Hirotaka Fujimori: “Low Temperature Sintering Behavior of Al_2O_3 Dielectric Ceramic with $\text{CuO-TiO}_2\text{-Nb}_2\text{O}_5$ Additive.”, 2015 Global Research Efforts on Energy and Nanomaterials (GREEN 2015), P3, Sun Moon Lake, Taiwan, December 20-23, 2015 (Poster Award: 1st Prize in Poster Presentation).
- (7) Koichi Shigeno, Eisaku Kojima and Hirotaka Fujimori: “Improvement of Low Temperature Sintering Performances and Characteristics of Alumina with $\text{CuO-TiO}_2\text{-Nb}_2\text{O}_5$ Additives by Control of Firing Atmosphere.”, 3rd International Conference on Powder Metallurgy in Asia (APMA2015), 10E-TD-66, Kyoto, Japan, November 8-10, 2015.
- (8) 末永健太, 中島一, 茂野交市, 藤野智也, 矢野匠真: “B-Nb-O 系助剤添加ガーナイトセラミックスの低温焼結化及び誘電・熱特性の評価”, 第 21 回化学工学会学生発表会京都大会, 京都大学, O04, 2019.3.2 (優秀賞受賞).
- (9) 手塚真菜, 茂野交市, 蔵重優果: “Cu-Ti-Nb-Ag-O 系助剤添加アルミナセラミックスの無収縮焼成の検討”, 第 21 回化学工学会学生発表会京都大会, 京都大学, O06, 2019.3.2.
- (10) 永田匠, 茂野交市, 川西一平, 藤森宏高: “Ag-Cu-Ti-Nb-O 系新規複合酸化物の合成と解析”, 第 21 回化学工学会学生発表会京都大会, 京都大学, O07, 2019.3.2.
- (11) 中島一, 茂野交市, 末永健太, 金子慎嗣, 藤森宏高: “Cu-Nb-O 系助剤によるガーナイトセラミックスの低温焼結化及び誘電・熱特性の評価”, 第 28 回日本 MRS 年次大会, G1-O18-008, 北九州国際会議場(北九州市), 2018.12.18-20.
- (12) 永田匠, 茂野交市, 金子慎嗣, 川西一平, 藤森宏高: “Ag-Cu-Ti-Nb-O 系新規複合酸化物の合成”, 第 20 回化学工学会学生発表会東広島大会, 広島大学, O21, 2018.3.3.
- (13) 松野みほ里, 茂野交市, 金子慎嗣, 手塚真菜: “Cu-Ti-Nb-O 系助剤添加アルミナセラミックスの無収縮焼成の検討”, 第 20 回化学工学会学生発表会東広島大会, O22, 広島大学, 2018.3.3.
- (14) 金子慎嗣, 茂野交市, 藤森宏高: “Cu-Ti-Nb-O 系助剤添加アルミナの固相活性化焼結”, 第 19 回化学工学会学生発表会豊中大会, O24, 大阪大学, 2017.3.4.
- (15) 岡部航大, 茂野交市, 金子慎嗣, 藤森宏高: “助剤添加アルミナの見かけの拡散係数測定”, 第 19 回化学工学会学生発表会豊中大会, O25, 大阪大学, 2017.3.4.
- (16) 山根那哉, 茂野交市, 下川淳也, 藤森宏高: “酸化チタンの添加による Cu-Nb-O 系助剤添加アルミナの誘電特性改善”, 第 19 回化学工学会学生発表会豊中大会, P27, 大阪大学, 2017.3.4.

- (17) 下川淳也, 茂野交市, 山根那哉, 藤森宏高: “窒素雰囲気における Cu-Ti-Nb-O 系助剤添加アルミナの低温焼結化と誘電特性”, 第 19 回化学工学会学生発表会豊中大会, P28, 大阪大学, 2017.3.4.
- (18) 茂野交市, 蔵岡佑人, 浅川忠, 金子慎嗣, 藤森宏高: “CuO-TiO₂-Nb₂O₅-Ag₂O 助剤添加アルミナセラミックスの低温焼結挙動及びマイクロ波誘電特性”, 第 26 回日本 MRS 年次大会, B4-P20-010, 横浜情報文化センター(横浜市), 2016.12.19-22 (奨励賞受賞).
- (19) 茂野交市, 金子慎嗣, 浅川忠, 蔵岡佑人, 藤森宏高: “CuO-TiO₂-Nb₂O₅ 助剤添加アルミナセラミックスの低温焼結挙動及びマイクロ波誘電特性”, 第 26 回日本 MRS 年次大会, D1-O20-010, 万国橋会議センター(横浜市), 2016.12.19-22.
- (20) 李墨源, 茂野交市, 藤森宏高: “良好な誘電特性を有する低温同時焼成アルミナの組成開発”, 第 18 回化学工学会学生発表会福岡大会, O10, 福岡大学, 2016.3.5.
- (21) 永田匠, 茂野交市, 藤森宏高: “焼成時の酸素分圧が助剤添加アルミナの低温焼結性に及ぼす影響”, 第 18 回化学工学会学生発表会福岡大会, O09, 福岡大学, 2016.3.5.
- (22) 永田匠, 茂野交市, 濱崎圭, 李墨源, 藤森宏高: “Cu-Ti-Nb-Ag-O 系助剤添加アルミナの低温焼結化に及ぼす焼成雰囲気の影響”, 第 52 回化学関連支部合同九州大会, 北九州国際会議場, 2015.6.27.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 誘電体セラミック材料及び誘電体セラミック組成物

発明者: 茂野交市, 藤森宏高

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2016-150648

出願年: 2016 年

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他] ホームページ等

- (1) 化学工学会学生発表会で物質工学科の学生が優秀賞をダブル受賞
<https://www.ube-k.ac.jp/topics/20190302/>
- (2) 物質工学科の茂野准教授が第 66 回電気科学技術奨励賞を受賞
<http://www.ube-k.ac.jp/topics/20181114/>
- (3) 物質工学専攻の学生が国際会議で受賞
<https://www.ube-k.ac.jp/topics/20171106/>
- (4) 物質工学科の茂野准教授が国際会議「MMA2016」で受賞
<https://www.ube-k.ac.jp/topics/20160720-2/>

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 吉田政司

ローマ字氏名: Masashi Yoshida

所属研究機関名: 宇部工業高等専門学校

部局名: 機械工学科

職名: 教授

研究者番号 (8 桁): 10370024

研究分担者氏名: 徳永仁夫

ローマ字氏名: Hitoo Tokunaga

所属研究機関名: 鹿児島工業高等専門学校

部局名: 機械工学科

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 70435460

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 藤森宏高

ローマ字氏名: Hirotaka Fujimori

研究協力者氏名: 菅章紀

ローマ字氏名: Akinori Kan

※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、研究者個人に帰属されます。