



Title	Structure Control of Low-temperature Sintered Nonoxide Ceramics for Functionalization
Author(s)	佐藤, 夏希
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/105447
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (佐 藤 夏 希)

論文題名

Structure Control of Low-temperature Sintered Nonoxide Ceramics for Functionalization
(低温焼結法による非酸化物系セラミックスの構造制御と機能付与)

論文内容の要旨

本論文は、従来の高温焼結法では達成困難であった非酸化物系セラミックスの低温焼結プロセスに着目し、原料粒子の反応性や粒径、複合化、細孔設計といった多角的な構造制御手法を駆使することで、機械的・熱的・光学的機能を高次に発現させるための新たな設計指針を提案した。特に、これまで機械的特性の報告がなかったベーマイトセラミックスの強度評価や、世界で初めてとなる窒化アルミニウムおよび氷晶石の低温焼結体の作製と機能評価を通じて、低温焼結法の材料科学的意義と応用可能性を体系的に示した。

第一章：総論

第一章では、セラミックスの歴史的発展や多様な材料系、現代産業における応用例を概説し、従来の高温焼結法がもたらす高いエネルギー消費と環境負荷の課題を整理した。特に、非酸化物系材料に対する低温焼結法の展開が新たな機能性材料の創製に寄与する可能性を指摘し、本研究の目的を明確にした。

第二章：ベーマイトの低温焼結とアルミナ複合による機械的特性の向上

第二章では、従来、高温で分解しやすく焼結体の機械的特性の報告例がなかったベーマイト (γ -Al₂O₃) について、200° C以下の加熱・加圧条件下で水和・脱水反応を利用した低温焼結法を開発した。水硬性アルミナ (ρ -Al₂O₃) を原料とし、最適条件 (180° C、400 MPa、20分) で作製したベーマイトセラミックスは、相対密度72%、曲げ強度45±6 MPa、ビッカース硬度1.8±0.1 GPaを示す。さらに、 α -Al₂O₃を複合化し、粉砕分散による粒径制御と均一分散を行うことで、相対密度77%、曲げ強度149±6 MPa、ビッカース硬度2.9±0.1 GPaまで大幅に機械特性を向上させることに成功した。これにより、ベーマイトセラミックスの機械的特性を初めて明らかにし、低温焼結でも複合化と微細構造設計によって高い機械特性が得られることを実証した。

第三章：窒化アルミニウムの低温焼結と高熱伝導率化

第三章では、これまで低温焼結の報告がなかった窒化アルミニウム (AlN) について、表面水和反応を利用した新規焼結法を世界で初めて実現した。AlN粒子表面で水和・脱水反応を誘起し、主相AlNとバインダー相ベーマイト (γ -Al₂O₃) からなる複合体を形成した。最適条件 (180° C、400 MPa、20分) で作製したAlN-ベーマイト複合セラミックスは、相対密度78%、熱伝導率9.8 W/mK、曲げ強度140±28 MPa、ビッカース硬度2.9±0.2 GPaを示した。構造をモデル化した計算により、熱伝導率の主な抑制要因はAlN粒子間に形成されるベーマイト層の厚さであることを明らかにし、この層を最小化することでさらなる性能向上が可能であるという設計指針を得た。

第四章：氷晶石の低温焼結と気孔径制御による赤外線透過性能の発現

第4章では、フッ化物系材料である氷晶石 (Na₃AlF₆) について、低温焼結による赤外線透過性セラミックスの作製を世界で初めて実現した。粒子焼成温度を変えることで粒子径を調整し、焼結体の気孔径を制御することで、3.8-5.6 μ m波長域で1 mm厚あたり最大80%の高い赤外線透過率と約90%の相対密度を達成した。粒径が小さすぎると水酸基・吸着水による吸収が増大し、粒径が大きすぎると気孔径が増大して散乱が増えるため、最適な粒径設計が高透過率の鍵となることを示した。氷晶石の低温焼結による高透過率セラミックスの実現は本研究が初めてである。

第五章：総括

第5章では、本研究で得られた低温焼結セラミックスの構造制御と機能発現に関する成果を総括した。原料の反応性や粒径、複合化、細孔設計など多角的なアプローチにより、機械的・熱的・光学的特性の向上指針を示し、今後はさらなる材料展開や応用への発展が期待される。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (佐藤 夏希)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	関野 徹
	副 査	教授	多根 正和
	副 査	教授	吉川 健
	副 査	教授	森 浩亮
論文審査の結果の要旨 本論文は、従来の高温焼結法では達成困難であった非酸化物セラミックス等を対象に、新規な低温焼結プロセスに着目し、原料粒子の反応性や粒径、複合化、細孔設計といった構造制御手法を駆使することで、機械的・熱的・光学的機能を高次に発現させる新たな設計指針を示して材料を創製すると共に、これら材料特性の発現機構を解明している。 第1章では、セラミックス作製の手法とその機構や、多様な材料群への展開と産業における応用例を概説し、従来の高温焼結法がもたらすエネルギー消費と環境負荷の課題を明確化している。さらに非酸化物系材料への低温焼結法展開が新たな機能性材料創製に寄与する可能性を指摘し、本研究の目的と方法論を明確に示している。 第2章では、高温での易分解性のため機械的特性の報告例がなかったベーマイト (γ-Al₂O₃) について、200℃以下の加熱・加圧条件下で水和・脱水反応を利用した低温焼結法を開発している。水硬性アルミナ (ρ-Al₂O₃) を原料とし、反応過程の解析に伴う最適作製条件 (180℃、400 MPa、20 分) を導き出し、相対密度 72%、曲げ強度 45±6 MPa、ビッカース硬度 1.8±0.1 GPa を達成している。さらに、α-Al₂O₃ との複合化、および粉砕による粒径制御・均一分散を実現し、相対密度 77%、曲げ強度 149±6 MPa、ビッカース硬度 2.9±0.1 GPa まで大幅に機械特性を向上させることに成功している。加えてベーマイトセラミックスの機械的特性を初めて明らかにし、低温焼結法で優れた機械特性を得る方法論を実証している。 第3章では、低温焼結例のない窒化アルミニウム (AlN) を対象に、AlN 粒子表面で水和・脱水反応を誘起し、主相 AlN と結合相ベーマイトからなる複合体を作製する新規手法を初めて実現している。最適条件を探索した結果、相対密度 78%、熱伝導率 9.8 W/mK、曲げ強度 140±28 MPa、ビッカース硬度 2.9±0.2 GPa と優れた特性を実現している。さらに構造モデルに基づく計算により、熱伝導の主な抑制要因が AlN 粒子間に形成されるベーマイト層であることを考察し、特性向上のための設計指針を示している。 第4章では、フッ化物である氷晶石 (Na₃AlF₆) を対象に、低温焼結法による赤外線透過性セラミックスを世界で初めて実現している。合成温度の最適化で原料粒子径を調整し、焼結体気孔径を制御することで、3.8-5.6 μm 波長域で最大 80%と高い赤外線透過率を達成している。粒子径と水酸基・吸着水が吸収特性に与える影響を解明し、プロセスとの相関を考察することで、赤外線透過率向上のための最適粒子設計および低温焼結による組織設計指針を示している。 第5章では、本論文で得られた知見をまとめ、総括を行うと共にその将来性について論じている。 以上のように、本論文は低温焼結セラミックスの構造制御と機能発現に関し、原料の反応性や粒径、複合化、細孔設計など多角的なアプローチにより、反応性による組織設計や、非酸化物の低温焼結体を初めて実現し、これら材料の機械的・熱的および光学的特性の解明と向上を示すと共に、材料設計の新たな方法論と指針を示すなど、学術的および工学的な重要な知見を得ていることから、材料工学分野の発展に貢献するところが大い。 よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。			