

2024 年度年次報告書

革新的力学機能材料の創出に向けたナノスケール動的挙動と力学特性機構の解明

2021 年度採択研究代表者

多々見 純一

横浜国立大学 大学院環境情報研究院
教授

劣化の学理に基づくセラミックスの信頼性革新

主たる共同研究者:

高橋 拓実 (神奈川県立産業技術総合研究所 機械・材料技術部 研究員)

中野 裕美 (豊橋技術科学大学 シニア研究員・名誉教授)

研究成果の概要

2024 年度も、前年度までに引き続き、主に高熱伝導基板や軸受、工具に用いられる Si_3N_4 セラミックスと SOFC・SOEC や歯科材料などに応用されている YSZ セラミックスを対象として研究を行い、以下の研究成果が得られた。まず、高熱伝導 Si_3N_4 セラミックスの粒界強度に及ぼす繰り返し応力印加の影響について検討した。繰り返し球圧子圧入を行った表面近傍の粒界強度が低下することを見いだした。TEM 観察で確認された多くの転位の集積が粒界強度低下の一因であることが示唆された。また、マイクロカンチレバー試験片に繰り返し応力を印加する試験も実施した。この場合にも粒界強度が低下することが確認された。これは、EV 等で用いられるパワーモジュールにおける絶縁放熱基板の熱疲労の発生メカニズムの解明に対して重要な知見であると考えられる。 Si_3N_4 の固溶体である SiAlON について、 α/β 複合 SiAlON セラミックスの破壊靱性が組成に依存性することが明らかとなり、この結果から、 α - SiAlON の破壊靱性が β - SiAlON よりも高いことが見積もられた。また、この材料について表面に摺動による繰り返し応力を印加したところ、表面近傍の β - SiAlON 中に多数の転位が発生していることが見いだされ、これが摺動試験後の表面の強度を低下させることがわかった。立方晶 YSZ の粒界の力学特性に関する知見を得るために、バイクリスタルを用いた実験を進めた。その結果、粒界の強度と破壊靱性が、同一の結晶面で破壊させた単結晶のものと比較して、低い値となることが明らかとなった。特に、強度の支配因子でもある粒界破壊靱性が、粒界エネルギーと表面エネルギーで表現される粒界の表面生成エネルギーと塑性変形の寄与で説明することができた。新空港音還元処理を行った YSZ 表面の力学特性をマイクロカンチレバー試験片を用いて測定したところ、結晶中に生成した酸素空孔、および、それに関連した結晶構造の変化が強度とヤング率の低減を引き起こすことを見いだした。

【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Matsuura, T. Ohji, T. Takahashi, M. Iijima, J. Tatami, Effects of rare-earth oxides on grain boundary strength of silicon nitride ceramics, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 44 (2024), Article 116672
- 2) Y. Masuda, T. Ohji, T. Takahashi, M. Iijima, J. Tatami, *Ceram. Int.*, in press (2025).
- 3) S. Fujita, T. Ohji, T. Yahagi, M. Iijima, and J. Tatami, Micro-scale mechanical properties of surface layer in ion-exchanged glass, *Journal of the American Ceramic Society*, Vol.107, pp.3666-3672, 2024.
- 4) J. Tatami, T. Ohji, Mechanical Properties of Silicon Nitride Ceramics Determined by Microcantilever Tests - A Comprehensive Overview, *Trans. Indian Ceram. Soc.*, 84, 20-28 (2025).
- 5) T. Ohji, J. Tatami, Processing-structure-microscale properties of silicon nitride, *Ceram. Int.* 50, Part C, 37282-37290 (2024).