

PG3A : 엔지니어링 세라믹스

PG3A-1 | Thermodynamic-kinetic analysis of the thermal decomposition process of polycarbosilane fibers

김진래¹, *류도형¹

¹서울과학기술대학교

폴리카보실란 섬유는 550 ~ 850°C에서 H₂, CH₄ 가스가 발생하며 무기 재료 섬유로 전환되는 열분해 반응이 일어나며, 해당 반응을 제어하는 것은 물질이 우수한 화학양론적인 탄화규소 섬유를 제조하기 위하여 매우 중요한 일이다. 따라서 깃스 에너지 및 평형 산소 분압을 통한 열역학적 해석, 유기 - 무기 전환 반응 완료 시 잔류하는 물질의 양을 시간에 대한 함수로 표현한 속도론적 해석을 활용하면, 해당 공정에 대해 보다 더 심도 깊게 이해할 수 있을 뿐 아니라, 더 나아가 열처리 시 수율을 높일 수 있는 공정 변수 최적화에 활용할 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 알루미늄 나노튜브에서 수소 분위기를 활용한 열처리 과정에 대해 지르코니아 산소 센서를 이용하여 실시간으로 산소 분압을 모니터링하였으며, 이를 열역학적 해석에 활용하였다. 또한 TG-MS 및 SEM 등을 활용하여 제작한 시료를 분석하여 속도론적 해석에 활용하였다.

PG3A-2 | Microstructure and Crystal Structure Effects on Dielectric Properties in Dy-Doped BaTiO₃ with Varying Yb₂O₃ Content

HWANG Siyeon¹, *MOON Kyoung-Seok¹

¹Gyeongsang National University

The correlation between the crystal structure changes and dielectric properties with varying Yb₂O₃ content in Dy-doped BaTiO₃ was investigated. Initially, the powders of 1.0 at% Dy-doped BaTiO₃ underwent the solid-state reaction synthesis. Then, Yb₂O₃ was added at concentrations of 0, 0.5, 1.0, and 2.0 mol% and sintered at 1300°C. Consequently, it was observed that Dy-rich phases were present, suggesting partial substitution of Yb₂O₃ in the Ti site. These secondary phases exhibited a slight increase with increasing Yb₂O₃ content. Furthermore, as the Yb₂O₃ content increased, a transition from a Tetragonal structure to a Pseudo-cubic structure in the crystal structure was observed. The tetragonality (*c/a*) exhibited a fluctuation, decreasing and then irregularly increasing within the Yb₂O₃ content range of 0 to 1.0 mol%, followed by a subsequent decrease again at 2.0 mol% or higher. The dielectric constants of the sintered Dy-doped BaTiO₃ samples exhibited similar behavior for all samples. However, with an increase in Yb₂O₃ content, they decreased. Additionally, the dielectric loss exhibited significant changes with frequency, with larger variations as the Yb₂O₃ content increased. Specifically, at relatively low frequencies, an

increase in Yb₂O₃ content led to an increase in loss. However, at relatively high frequencies, regardless of the Yb₂O₃ content, all samples showed similar dielectric losses.

PG3A-3 | 마그네시아를 이용한 열계면소재용 필러 제조기술 개발

임동진^{1,2}, 김정현², 조건희^{1,2}, *송태섭¹

¹한양대학교, ²한국세라믹기술원

전기차용 대형 배터리의 경우 사용자의 안전을 위해 높은 수준의 열관리가 필요하다. 이에 고성능의 열계면소재(TIM, thermal interface materials)의 개발이 요구되고 있다. 기존의 알루미늄 나 필러로 제조한 TIM의 경우 열전도도가 약 3~5W/mk 수준이나 최근의 전기차용 배터리 패키지에서는 약 5-10W/mk 수준의 높은 열전도도가 요구되고 있다. 알루미늄의 열전도도는 30W/mk인 반면 마그네시아의 열전도도는 45~60W/mk로 더 높은 열전도도를 가져 자동차 배터리용 TIM 필러로 활용할 경우 더 높은 열전도 성능을 기대할 수 있다. 이에 본 연구에서는 TIM 필러로 알루미늄 만큼 저렴하면서도 열전도도가 우수한 마그네시아를 기존 원료인 순도 96%, 40~50 μ m의 입도를 갖는 마그네시아와 산소 연속 버너 공정을 진행한 마그네시아의 복합체 열전도도 비교 연구를 수행하였다. 마그네시아(순도 96%, 입도 40~50 μ m)와 에폭시 수지를 복합화하여 TIM을 구현하였으며, 복합화 성형시 에폭시 내부에 마그네시아의 분산이 원활하게 하기 위해 분말 표면에 소수성 코팅을 진행하여 제타 포텐셜을 측정하였다. 코팅된 분말은 에폭시 수지와 부피비율 2:1에서 6:1까지 늘여서 복합화 성형을 진행하였다. 복합체의 성형 밀도를 증가시키기 위해 진공기와 프레스를 이용하여 압축 성형하였고, 그렇게 제조된 복합체의 밀도는 3.02로 상대밀도는 91%정도로 측정되었으며, 3점 곡강도는 40Mpa로 측정되었다. 알루미늄 복합체 열전도도 xxW/mk 대비 기존 마그네시아 원료의 에폭시 복합체를 Laser Flash Ashmethod (LFA)로 열전도도 측정 결과 6W/mk로 측정 되었다. 반면 산소 연속 버너 공정을 진행한 마그네시아의 에폭시 복합체의 열전도도 측정 결과 8W/mk로 측정 기존의 알루미늄 TIM 필러보다 높은 열전도도를 갖는 마그네시아 TIM 필러를 얻을 수 있었다. 향후 마그네시아 분말 형상을 제어해 필러의 충전율을 높이면 더 높은 열전도도를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

PG3A-4 | Synthesis and Characterization of MnTeMoO₆ for Ultra-Low Temperature Co-fired Ceramic (ULTCC) Applications

KIM Moon-Se¹, CHOI Moon-Hee², *MOON Kyoung-Seok¹

¹Gyeongsang National University, ²Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology

This study is focused on the synthesis of MnTeMoO₆ using a solid-phase synthesis approach, utilizing MnCO₃, TeO₂, and MoO₃ in a 1:1:1 molar ratio, calcined at 500°C for 4 hours. The resulting MnTeMoO₆ powder compacts

were sintered at 700°C, with varying amounts of MoO₃ added. The investigation included an analysis of crystal structure, microstructure, and dielectric properties, which were compared across different compositions. X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed the orthorhombic structure as the primary phase, with no secondary phases detected, suggesting potential diffusion of MoO₃ into the MnTeMoO₆ lattice or the formation of a liquid phase. While particle size remained relatively stable, the addition of MoO₃ led to more isotropic grain shapes. When MoO₃ was incorporated into MnTeMoO₆, minimal variations in the dielectric constant were observed across frequencies ranging from 100 Hz to 1 MHz, with the smallest change seen at a 0.5 mol% MoO₃ addition. Furthermore, dielectric loss decreased with a 0.5 mol% MoO₃ addition, followed by an increase for MoO₃ additions exceeding 1.0 mol%.

PG3A-5 | 열탄소질화환원법을 통해 합성된 AlN의 H₂-N₂ 혼합가스를 통한 열처리에 대한 연구

조건희^{1,2}, *피재환¹, *김정현¹, *송태섭²

¹한국세라믹기술원, ²한양대학교

열탄소질화환원법으로 합성된 AlN은 미처 합성되지 못한 원료인 알루미늄과 카본블랙이 잔존해있다. 잔존해있는 알루미늄은 잔존 산소에 영향을 준다. 잔존 산소는 알루미늄 형태 외에도, 산화막 등, 다양한 형태로 존재하고 있다. 잔존 탄소의 경우 AlN 소결체의 전기적 물성에 영향을 주며, 반도체 공정용 히터로 적용시 반도체 공정과정에서 불순물로 작용하게 된다. AlN내의 잔존 탄소를 제거해주기 위해 공기 분위기에서 680°C 열처리 후에 추가적으로 H₂-N₂ 혼합가스를 통해 900~1300°C까지 100°C, 1~3시간 동안 1시간 간격으로 잔존탄소를 메테인을 포함한 탄화수소계열 가스로 변환시켜 제거시키는 실험을 진행했다. 결과적으로, 2,320ppm이던 잔존탄소를 1,730ppm까지 감소됨을 확인하였다. 추가적으로 특정한 열처리 시간대가 넘어 가계 되면 되려 잔존탄소가 증가함을 보였으며, 이를 통해 Al₄C₃와 Al₄O₄가 합성됨을 열역학적 데이터를 참고하여 간접적으로 확인하였다.

PG3A-6 | Porous YSZ ceramic foams with high porosity and strength using hollow spheres with pores on the surface as high-performance thermal insulation

차현애¹, 문영국¹, 한병동¹, 안철우¹, *최종진¹

¹한국재료연구원

Porous yttria-stabilized zirconia (YSZ) ceramics foam was fabricated by porous-single-hollow (P-S-H) spheres via spray-drying for potential applications in heat-insulation materials. The effect of sphere types and sintering temperature on thermal conductivity and

compressive strength of porous YSZ ceramics were investigated on the basis of measurements of density and porosity. The pores on the surface of spheres effectively increase the porosity of foams using P-S-H spheres to 80.69% that from 50.45% of donut spheres and that from 68.78% of single-hollow (S-H) spheres, and the thermal conductivity of YSZ porous foam using the porous-single-hollow spheres exhibits a relatively low porosity 0.10 W/mk. As the sintering temperature increased from 1400 to 1500 °C, a decrease of porosity from 80.69% to 62.29% was observed and the thermal conductivity increased remarkably from 0.10 to 0.79 W/mK with thickened shell of sphere and increase grain size, which was related to the disappearing of pores on the surface. The compressive strength of YSZ porous foam using P-S-H spheres exhibit 5.7 MPa, which higher value compared to porous YSZ having a similar porosity because shell walls can act as skeletons. This work demonstrates that pores on the surface of hollow spheres greatly improved thermal insulating property while maintaining mechanical strength in ceramic foams for use as insulation.

PG3A-7 | Stober Method 및 환원공정을 통하여 제조된 구형 SiOx 음극재 특성 분석

권주찬¹, 오복현², *이상진¹

¹국립목포대학교, ²(주) 카이로스

배터리를 구성하는 4대요소 중 하나인 음극재는 구조적으로 안정하고 저렴한 가격의 흑연계 음극재가 상용화되어 사용 중에 있는데, 흑연계 음극 활물질의 경우 충방전 과정에서 흑연의 팽창 및 수축에 의한 안정성이 감소하고 2차 전지의 수명이 감소하게 되는 단점이 있다. 실리콘은 흑연을 대체하기 위한 음극활물질 후보 중 하나로 흑연 음극재의 이론용량인 약 375mAh/g 보다 10배 이상으로 높은 것으로 알려져 있지만, 실리콘 음극재의 리튬화 공정에서 지나친 부피팽창이 발생한다는 단점이 있다. 위 문제를 보완하기 위해 실리콘에 탄소 코팅을 적용하거나 실리콘의 팽창을 최소화한 SiOx에 대한 관심이 증가하고 있는데, 특히, SiOx의 리튬화 과정에서 생성된 리튬실리케이트와 같은 SEI층 형성을 통해 음극재의 부피 변화에 대한 완충재 역할을 하고 안정성의 확보가 가능하다. 본 연구에서는 TEOS를 출발원료로 하여 Stober process를 이용해 실리카(SiO₂)를 합성하였다. 이때 탄소 source로 PVA를 첨가하였으며, 열-탄소환원으로 실리카의 환원을 유도하여 SiOx를 합성하였다. Stober method를 통해 생성된 구형 단분산 실리카 입자의 환원을 위해 5%의 수소가 혼합된 질소 가스 분위기를 형성, 열처리를 과정을 통해 산소 원자를 선택적으로 제거하였으며, 약 400nm - 500nm 크기를 갖는 SiOx 분말을 제조하였다. 제조된 SiOx 입자는 FE-SEM을 통해 입자의 형상 및 크기 변화를 고찰하였으며, X-ray diffraction을 통해 합성된 SiOx 입자의 결정상을 비교하

였고, 추가적으로 XPS와 FT-IR 장비를 사용해 합성된 SiO_x의 x Value(O/Si ratio)를 확인하였다. *본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구결과입니다

PG3A-8 | HIP을 이용한 내플라즈마 고밀도 알루미늄 소결체 제조

오복현¹, 이병철¹, 송만호¹, 조준¹, 김용현², *이상진²

¹(주) 카이로스, ²국립목포대학교

반도체/디스플레이 산업에서 수십 nm 이하의 고집적도를 만족하기 위해 고밀도 플라즈마 공정이 채용됨에 따라 공정 가스의 종류와 사양도 다양화되고 있으며, 이로 인해 발생하는 가혹한 플라즈마-화학 환경에 대해 내구성과 기능성이 향상된 소재 개발의 필요성이 대두되고 있다. 플라즈마에 의한 부식은 미세한 입자의 발생을 야기시키고, 이는 반도체 식각공정에 있어 오염의 원인이 되어 불량 발생의 원인이 되며, 이러한 플라즈마의 부식은 대체로 부품내의 미세기공을 중심으로 발생하므로 기공이 존재하지 않는 치밀한 구조를 갖는 소재가 필수적이다. 특히 알루미늄은 내플라즈마성이 우수한 타 소재에 비하여 비교적 값이 저렴하고, 치밀화를 위한 소결성이 우수한 소재로 반도체 공정 부품 소재로 많이 활용되고 있다. 그러나, 기존의 소결방법으로 제조된 알루미늄은 형상기공간에 발생하는 미세크랙(micro-crack)으로 인하여 에칭 공정간 미립자(particle)가 발생하며, 공정 불량을 발생하는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 기존의 소결방법으로 제조된 알루미늄에 비해 우수한 상대밀도를 갖는 알루미늄 소결체 제조를 위해 국산 이소결알루미늄 분말을 사용하여 과립화 하였고, 이를 CIP와 상압소결을 통해 close Pore를 최소한으로 제어 하였으며, 최종적으로 HIP를 통해 상대밀도 99.5% 이상의 무결점 알루미늄 소결체를 제조 하였다. 제조된 고밀도 알루미늄 소결체는 FE-SEM을 통해 표면 모폴로지 상태를 확인하였고, 아르키메데스법을 통해 상압소결 및 HIP 처리 후 상대밀도를 비교, 고찰하였다.

PG3A-9 | 수열법으로 합성된 BaTiO₃ 나노 입자에 대한 분광학적 연구

김상현¹, 이승용¹, 오성찬¹, *김도경¹

¹한국과학기술원

Due to its excellent dielectric properties, BaTiO₃ is widely used in a variety of electronic devices, including MLCCs. The hydrothermal method has been actively researched due to its advantage in controlling particle size. However, as the particles become smaller, defects in the particles are inevitable. Understanding the relationship between hydrothermal process parameters and defects based on solution chemistry is crucial for the development of dielectric materials. Therefore, we use hydrothermal synthesis to form uniform BaTiO₃ crystalline nanoparticles using different precursors and characterize them, including defects. We use XRD and

SEM to confirm the crystal structure, morphology, and size of the synthesized powders. Spectroscopy is used to characterize the defects in the particles.

PG3A-10 | 전자빔 경화 폴리카보실란에서 실리콘카바이드 파이버 합성 최적화: 산소 분압 분석 관점으로.

황진호¹, *류도형¹, 이지윤¹, 문찬석¹, 김진례¹

¹서울과학기술대학교

In a previous study, electron beam-cured polycarbosilane was heat treated in two steps to obtain SiC fibers. In the first heat treatment, hydrogen heat treatment was used to achieve a C/Si ratio of 1, followed by Ar heat treatment to remove oxygen-sensitive radicals. For the secondary heat treatment, they were transferred to a graphite furnace for sintering and crystallization and heat treated at over 1600 degrees C. In this study, we aimed to identify the oxygen partial pressure to obtain dense SiC by utilizing the oxygen partial pressure data measured during heat treatment to improve the process of previous studies. As a result, we found that the oxygen partial pressure should be kept below 10⁻²⁰ during the primary heat treatment to obtain high-density SiC fibers. To confirm this, we performed SEM and XRD analyses. We also saw the limitation of not being able to observe the pyrolysis process by measuring the partial pressure of oxygen in a graphite furnace with a large chamber. Therefore, to observe pyrolysis, the primary heat treatment should be performed in an alumina furnace, where the chamber is small and the reaction does not occur inside the chamber as the temperature increases. Secondary heat treatment requires a higher temperature than primary heat treatment, so it should be performed in a graphite furnace, even though it cannot be analyzed by oxygen partial pressure measurement.

PG3A-11 | 산소-아세틸렌 토치의 조사각이 ZrB₂-SiC UHTC 복합체 사막 특성에 미치는 영향

이승용¹, 공정훈¹, 송정환¹, 조윤재¹, *김도경¹

¹한국과학기술원

In this work, the ablation behavior of monolith ZrB₂-30 vol%SiC (Z30S) composites were studied under various oxy-acetylene flame angles. Typical oxidized microstructures (SiO₂/SiC-depleted/ZrB₂-SiC) were observed when the flame to Z30S was arranged vertically. However, formation of the outmost glassy SiO₂ layer was hindered when the Z30S was tilted. The SiC-depleted region was fully exposed to air with reduced thickness when highly tilted. Traces of the ablated and island type

SiO₂ were observed at intermediate flame angles, which clearly verified the effect of flame angle on the ablation of the SiO₂ layer. Furthermore, the observed maximum surface temperature of the Z30S gradually increased up to 2,500 K proving that surface amorphous silica was continuously removed while monoclinic ZrO₂ phase began to be exposed. A proposed ablation mechanism with respect to flame angles is discussed. This observation is expected to contribute to the design of complex-shaped UHTC applications for hypersonic vehicles and re-entry projectiles.

PG3A-12 | CVI 공정을 통한 고온 환경용 탄화규소 (SiC) 복합체 제조와 특성 평가

송영욱^{1,2}, *김원주², 박지연², 김대종², 이현근², 윤순길¹

¹충남대학교, ²한국원자력연구원

탄화규소 (SiC) 복합체는 고온 강도, 경도, 부식 저항성, 피로 수명, 마모 저항성 및 충격 저항성과 같은 뛰어난 물성을 가지고 있어 에너지, 방위, 항공우주 및 가스 터빈 엔진과 같은 다양한 산업 분야에서 현재 연구가 활발히 진행 중이다. 특히 가스 터빈 엔진의 고온 부품에서는 기존의 초내열 합금을 대체하는 데 탄화규소와 같은 세라믹 복합재료를 사용함으로써 초고온과 같은 극한 환경에서 뛰어난 성능을 발휘할 수 있으며, 동시에 최대 30%의 무게 감소를 달성할 수 있다. 이러한 변화는 에너지 효율성의 큰 향상을 기대할 수 있다. 고온에서의 안정성을 나타내기 위해서는 화학적으로 안정하며 결정성이 우수한 탄화규소 소재가 필요하기 때문에 본 연구에서는 Chemical Vapor Infiltration (CVI) 공정을 사용하여 airfoil 형상을 갖춘 탄화규소 (SiC) 복합체를 제조하였으며, 인장시험을 통해 기계적 특성을 평가하고자 하였다. 또한, 아르곤 (Ar) 환경에서 1400, 1500, 1600 도씨에서 1시간 동안 열처리를 실시하고 라만 분석을 진행하여 탄화규소 복합체의 구조 및 특성을 확인하였다.

PG3A-13 | Hf이 도핑된 폴리카르보실란 중 HfC의 결정화 및 SiC 결정 성장에 미치는 영향

문찬석¹, *류도형¹, 김진례¹, 황건호¹, 이지윤¹, 배성균², 신동근²

¹서울과학기술대학교, ²한국세라믹기술원

Previous study extends the research on SiC-HfC fibers, focusing on the crystallization of HfC within the SiC fiber. The precursor polymer was synthesized by combining aluminum acetylacetonate, hafnium acetylacetonate, and PCS. Continuous fibers were spun from the hafnium-doped polycarbosilane and subsequently electron beam cured. Following curing, the fibers underwent pyrolysis in a hydrogen atmosphere up to 800°C to reduce carbon content. Sequentially, the pyrolyzed fibers were heat treated at varying temperatures, employing different gas atmospheres, including nitrogen gas, argon gas, and a 50:50

nitrogen-argon gas mixture.

Utilizing X-ray diffraction (XRD) analysis, a significant finding emerged: the combination of a 50:50 nitrogen-argon gas mixture yielded phase-pure HfC-SiC fibers. Conversely, when argon gas was used alone, the presence of hafnium oxide phase was observed. Additionally, exclusive use of nitrogen gas resulted in the observation of the silicon nitride phase. So 50:50 nitrogen-argon gas mixture was identified as the most effective gas atmosphere for crystallization. Based on previous result, this study aims to identify optimal thermal treatment and sintering conditions by treating the fibers to varying temperatures, heat treatment methods, at nitrogen-argon gas mixture. The optimal outcome reveals the complete crystallization of amorphous Hf, Si phase resulting in clear XRD patterns, along with uniform dispersion of HfC within the SiC fibers. This expanded investigation adds critical insights into particle size, distribution, liquid phase composition, and crystallization during the HfC growth process. It was intended to explain the crystal structure and crystallographic composition by combining technologies such as XRD, SEM, and TEM to find optimal thermal treatment and sintering conditions.

PG3A-14 | 전자빔 경화 폴리카르보실란의 수소 열처리 온도 및 시간에 따른 SiC 섬유의 c/si 비율

이지윤¹, *류도형¹, 황건호¹, 문찬석¹, 김진례¹

¹서울과학기술대학교

In previous studies, hydrogen heat treatment was conducted to remove the excess carbon of polycarbosilane. In this process, the amount of removing carbon was effected by final temperature and maintenance time. However, we were able to confirm that the C/Si ratio also changed when the heating rate was changed in the hydrogen heat treatment process. The author was concerned about the total time that the hydrogen heat treatment is conducted. For example, unlike the literature in which the c/si ratio was defined as 1.02 when maintained at 800°C for 1 hour, the result was that the 740°C, which actually lived in the experiment, was silicon rich less than 0.98 during 1 hour maintenance heat treatment. At this time, it was so rich that a silicon pak appeared on the xrd phase. The most noticeable difference between this literature and the actual experiment was the heating rate, and the literature was 10°C/min, and the actual temperature rate was 2°C/min, Therefore, this study intends to identify the relationship between total times and temperature of

hydrogen heat treatment and c/si ratio through NMR, XRD, AES, DG-DTA and XPS. It is expected that this will help generalize the hydrogen heat treatment process of E-beam-cured polycarbonosilane. Also the total removed carbon will be expressed by equation of time and temperature.

PG3A-15 | Mechanism of Oxygen Internal Diffusion in the Group IVB and VB Transition Metal Carbides by Ab initio

CHOI Junyoung¹, *KIM Jiwoong¹

¹Soongsil University

Transition metal carbides are used as ultra-high temperature ceramic materials due to their melting point near 3000K and excellent mechanical properties. However, corrosion in high-temperature environments above 2000K limits their industrial application. This is because the oxide layer on the surface has a low thermal conductivity, which makes it difficult to dissipate the heat that accumulates on the surface. Delamination also occurs due to the difference in the coefficient of thermal expansion with the substrate and the temperature-dependent phase transition. For these reasons, activation energy, a parameter that indicates the oxidation rate, is considered an important variable for selecting UHTC materials. The oxidation mechanism and kinetics of transition metal carbides are important considerations, but the underlying theoretical studies are lacking. In this study, we investigated the oxygen element diffusion mechanism in the group IVB and VB transition metal carbides using ab initio calculations. The oxygen diffusion model considers the defects in the base material, the site-specific energy of oxygen, and the activation energy was obtained by Nudged Elastic Band(NEB) calculations.

PG3A-16 | 이중층 내환경코팅층의 자가치유기술

*신재원¹, 이기성¹, 이동현¹, 서민지²

¹국민대학교, ²한국세라믹기술원

세라믹 소재의 기술적 발전은 고효율시스템 개발을 위해 내열성, 내부식성이 요구되는 발전사 및 항공기의 고온부품에 적용되는 것을 가능하게 하고 있다. 이러한 세라믹 적용 터빈 시스템의 성능 향상은 종종 열차단 및 열환경 코팅층의 구조설계기술에 의해 도모되고 있다. 내환경(EBC) 코팅은 고온 환경에서 작동하는 고성능 소재로써, 특히 산화, 부식가스 등으로부터 모재를 보호할 뿐만 아니라 코팅층의 수명이 전체 수명에 큰 역할을 한다. 따라서 본 연구는 이러한 터빈적용 코팅기술에서 열차단능력, 균열치유 능력, 열적, 기계적 성능의 향상에 의한 수명증가를 위한 다층구조의 설계에 있어서, 균열치유제가 포함된 층의 두께를

설계변수로 한 특성 평가를 수행하였다. 균열치유 역할을 하는 층을 포함한 다층구조 형태의 EBC와 같은 소재를 직경1인치의 벌크 형태로 제조한 후, 층의 두께가 열적, 기계적특성에 끼치는 연구를 수행하였다. 층의 두께에 따라 경도와 인성을 평가하였고 구형압입 실험을 진행해 상대경도와 탄성계수 특성을 평가하였다. 또한 1250°C와 1350°C에서 열충격 실험을 진행하여 그 저항성을 비교하였다. 그 결과로써 적합한 코팅층의 두께에 대한 토의를 본 포스터 발표에서 진행하고자 한다.

PG3A-17 | 소결 방법에 따른 3Y-TZP/WC 복합체의 기계적 물성 변화

김진권^{1,2}, 최재형^{1,2}, 남민수^{1,2}, 김민지^{1,2}, 남산², *김성원¹

¹한국세라믹기술원, ²고려대학교

3Y-TZP(3mol% Y₂O₃-Tetragonal Zirconia Polycrystal)/WC 복합체는 고강도와 우수한 내마모성 등의 뛰어난 기계적 특성을 가지고 있는 소재이다. 3Y-TZP는 분말 초미립화 공정인 비드밀 공정에 핵심 세라믹 부품으로 사용되며, 공정중 분말과 비드의 마찰로 인한 마모가 계속 진행되기 때문에 높은 기계적 성능이 요구된다. 3Y-TZP/WC 복합체 세라믹스가 균열 전파 될 때, WC 입자에 의해서 균열이 굴절되어 전파되는 현상이 일어난다. 이러한 현상은 소재의 전체적인 기계적 물성을 강화하는 기구로 작용한다. 이러한 특성을 바탕으로 3Y-TZP/WC 복합체 세라믹스는 고강도와 고인성, 그리고 내마모성 등 기계적 물성을 강화시키는 소재로 연구되고 있다.

본 연구는 3Y-TZP-30vol.% WC에 Al₂O₃를 2vol%를 첨가한 복합체 분말을 고온 가압 소결(Hot-pressing, HP)과 스파크 플라즈마 소결(Spark plasma sintering, SPS)을 진행하였다. 소결 방법에 따른 특성을 확인하기 위해 결정상과 밀도, 기계적 물성, 미세 구조를 확인하였다.

PG3A-18 | 2단계 가압 소결된 질화알루미늄의 기계적 및 열적 특성 연구

이주영¹, 김민수¹, 박세민¹, 김선규¹, 김운서¹, HASSAN Nafees¹, 김민욱¹, 문승환¹, 신상하¹, *곽윤상¹, *조재훈¹

¹국립금오공과대학교

질화알루미늄은 우수한 방열 성능을 가진 재료로서 높은 열전도도를 갖고 있지만, 낮은 기계적 물성으로 인해 그 활용 범위가 제한적이다. 이에 본 연구에서는 2단계 가압소결을 통해 질화알루미늄의 결정립을 미세화하여 기계적 특성의 향상을 목표로 하였다. 소결조제로 이트리아를 활용하였으며, 이트리아의 비율은 각각 2.5wt%와 5wt%로 설정되었다. 혼합 분말의 가압 소결 시, 1단계 온도(T₁)를 1680°C로 고정하고 2단계 온도(T₂)를 1570 ~ 1680°C까지 변화시켜 결정립 미세화를 유도하였다. 그 결과, T₂의 온도가 1570°C일 때, 99% 이상의 고밀도를 유지하면서 1.1 μm 이하의 평균 결정립 크기를 확보하였다. 기계적 물성 측정 결과, 평균 결정립 크기가 작을수록 질화알루미늄의 비커스 경도, 파괴 인성, 굽힘 강도가 증가하는 경향을 보였다. 하지만, 열전도도는 T₂가 낮을수록 감소하였다. 본 연구에서는 특별한 첨가제의 활용 없이도 소결 공정 변수의 최적화를 통해

질화알루미늄의 기계적 물성을 향상시킬 수 있는 가능성을 제시하였다.

PG3A-19 | ATF Cladding에 적용되는 상온 비진공 인발-축관 공정은 적합한가?

이운호¹, 김민욱¹, 백윤아¹, *윤영수¹

¹가천대학교

사고저항성연료 (ATF, Accident tolerant fuels)는 원자력 에너지의 안전성을 높이기 위한 기술로 2022년 07월 EU Taxonomy에 포함되었다. 본 연구는 코팅을 통해 클래딩이라는 기술을 갖는다는 의미와 달리 경제성과 안전성을 확보할 수 있는 대체 기술을 제시하는 것을 목표로 한다. 본 연구에서는 1) 비진공 상온 인발-축관 공정을 적용한 피복재의 건전성, 2) 냉각재 상실 사고 (LOCA, Loss-of-Coolant Accident) 하에서 내산화성을 갖춘 대체 피복재의 사용 가능성에 대해 결과를 제시한다. 결과는 원자로 치수 규격을 만족하는 ATF 피복관의 고온 안정성과 세라믹 물질의 확산거동을 확인하여 사고 상황에도 열 안정성과 내산화 특성을 입증하였다. 결론적으로 본 초록을 통해 인발-축관 공정을 기반으로 한 ATF 피복재가 적합한 방법 중 하나인지에 대한 의문에 해답을 제시한다.

PG3A-21 | Al₂O₃, Y₂O₃, YAG 소결체의 플라즈마 에칭 속도 비교

김은비^{1,2}, 박영조², 김미주², 마호진², 김하늘², 고재웅², *이재욱², 윤석영¹

¹부산대학교, ²한국재료연구원

현재 반도체 장비 부품으로 가장 널리 사용되는 소재는 Al₂O₃와 Y₂O₃이고 에칭이 심한 부위에는 내식성이 더 우수하다고 알려진 Y₂O₃가 사용된다. 최근에는 고출력 플라즈마가 유행하면서 Y₂O₃를 대체할 수 있는 소재 특히, YOF와 YAG(Yttrium Aluminum Garnet, Y₃Al₅O₁₂)에 대한 관심이 높아지고 있다. YOF와 YAG에 대한 연구는 대부분 열분사 방법 등으로 제조된 코팅층을 다루고 있는데 이것은 실제 코팅 소재가 가격 측면에서 상용화에 유리하기 때문이다. 하지만 과학적인 측면에서 코팅 소재는 대부분 기공(pore)이나 공극(void) 등의 결함을 포함하기 때문에 이러한 접근으로 소재만의 특성을 파악하기는 쉽지 않다. 본 연구에서는 상압로와 핫프레스를 이용한 소결 공정으로 Al₂O₃, Y₂O₃, YAG 세라믹을 제조한 후 플라즈마 에칭하여 각 소결체의 에칭 특성을 조사하였다. 아울러 소결 온도를 조절하여 상대밀도가 각각 75, 95, 99, 100%인 4가지 시편을 준비하였고 플라즈마 가스의 조성도 3가지로 변화시켰다. 플라즈마 출력과 바이어스는 각각 1500W, 600V로 세팅하였다. 표면단차측정기 (surface profiler)로 에칭 깊이를 측정하였고 SEM으로 표면 미세조직을 관찰하였다. 미세조직 분석을 통해 소결 밀도와 가스 조성이 에칭 과정에 미치는 영향을 살펴보고 이로 인한 에칭 속도 차이를 예상해 보았다.

PG3A-22 | 고연소도 장주기 운전을 위한 Gd₂O₃-UO₂ 핵연료 제조 및 특성평가

이지환^{1,2}, *김동석², 김동주², 양재호², 윤지혜², 신동욱¹

¹한양대학교, ²한국원자력연구원

원자력 발전에 사용되는 UO₂ 핵연료의 핵분열 반응을 효율적으로 제어하기 위해서는 가연성 흡수체(Burnable absorber)를 필요로 한다. 가연성 흡수체는 일반적으로 붕소(B), 어븀(Er), 가돌리늄(Gd) 등과 중성자흡수 단면적이 큰 물질로, 노내에서 중성자를 흡수하여 핵분열 반응도를 유지시키는데 기여한다. 또한 중성자를 흡수하면서 다른 핵종으로 변환되며 중성자 흡수 단면적이 감소하는 특성을 가지고 있어, UO₂ 핵연료의 연소 효율을 조절할 수 있다. 최근 원자력 산업에서는 원자력 발전의 경제성을 높이기 위해 5% 이상의 U₂₃₅ 농축도를 고려한 고연소도 장주기 핵연료의 적용을 목표로 하고 있다. U₂₃₅의 농축도가 높아짐에 따라 증가된 핵분열을 제어하기 위해 기존 핵연료보다 많은 가연성 흡수체를 필요로 하게 되나, 핵연료 내 가연성 흡수체의 양이 증가됨에 따라 용융온도, 열전도도 등 핵연료 열물성이 감소하는 경향이 있다. 본 연구에서는 향후 국내 고연소도 장주기 핵연료의 적용을 위하여 고함량 가연성 흡수체 핵연료 제조와 함께, 가연성 흡수체 함량에 따른 핵연료 물질 데이터베이스 구축을 수행하고자 한다. UO₂ 핵연료 소결체를 제조함에 있어 Gd₂O₃를 10-17wt% 범위에서 함량별로 혼합하여 이에 따른 고함량 가연성 흡수체 핵연료의 미세조직 및 열물성 평가를 수행하였다.

PG3A-23 | 대면적 황화 구리 멤브레인 전사 기술 및 이의 다기능성 열전 시스템 응용

이건희¹, 최명우², 오수빈¹, 박가나¹, 이정오¹, *조동휘¹

¹한국화학연구원, ²고려대학교

Advanced thermoelectric platforms have seen the emergence of freestanding thermoelectric membranes. These membranes have been developed using techniques like heterogeneous epitaxy and van der Waals epitaxy epi-layer, particularly with inorganic thermoelectric materials. However, these methods involve rare and toxic elements, are not highly efficient, and are relatively expensive for practical thermoelectric systems. In this study, we introduce an easily scalable and high-throughput approach to create large-scale, highly crystalline copper monosulfide (CuS) thin membranes on wafers. We manipulate sulfurization conditions to directly transform a specially engineered crystalline copper foil into a network of CuS submicron rods, which can be transferred to various substrates by etching the original copper substrate. Through experimental and computational investigations of CuS growth on polycrystalline copper foil with fewer (111) facets, we elucidate the crucial thermoelectric properties. These advancements in geometry, which separate the thermal and electrical

characteristics of CuS, bestow upon this thermoelectric membrane a power factor of 0.56 mW m⁻¹K⁻² at 650 K, thermal conductivity of 0.37 W m⁻¹K⁻¹ close to its theoretical minimum, and a figure-of-merit ZT of 0.98 at 650 K. When integrated into a thermoelectric generator, it proves useful in battery charging systems and has the potential for various applications, including thermal sensing and antibacterial activity.

PG3A-24 | 질화알루미늄(AlN)의 미세구조 특성에 따른 열전도도 예측 모델 개발

김민수¹, 신상하¹, 박세민¹, 김선규¹, 곽윤상¹, *조재훈¹

¹국립금오공과대학교

본 연구에서는 질화 알루미늄(AlN)의 미세구조 특성에 따른 열전도도의 변화에 대해 알아보기 위해 실험적 및 수치해석적 접근법을 활용하였다. 가압 소결의 소결 공정 변수를 변화시키고, 첨가물의 양을 달리하여 다양한 미세구조를 갖는 AlN 소결체를 확보하였고, 레이저 플래시 법을 활용하여 실험적 열전도도를 측정하였다. 한편, 유한 요소법을 활용하여 AlN의 미세구조를 모사하였고, 이를 기반으로 결정립 크기, 이차상, 기공, 휘스커가 AlN의 열전도도에 미치는 영향에 대해 수치해석적으로 계산하였다. 수치해석 모델이 예측한 AlN의 열전도도는 실험 데이터와 아주 유사한 양상을 보여주었다. 본 연구결과를 바탕으로 별도의 실험 없이 AlN의 열전도도를 예측할 수 있고, 나아가 AlN의 열전도도를 향상시키는 동시에 기계적 물성도 향상시킬 수 있는 미세구조를 제시할 수 있을 것이라 기대한다.

PG3A-26 | Water-Vapor-Corrosion Behavior of YbSi₂O₇ EBC Materials for SiC-SiC_f CMC Gas Turbine Using Steam-jet Furnace

NAM Min-Soo^{1,2}, KIM Min-Ji^{1,2}, MOON Heung-Soo³, KIM Ji-Yoo³, NAHM Sahn², *KIM Seongwon¹

¹Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology,

²Korea University, ³SewonHardfacing co.

SiC-SiC_f Ceramic Matrix Composites (CMCs) are used as structural materials due to their high thermal properties, mechanical properties, and specific strength. In particular, it is growing attention as an alternative to superalloys used in gas turbines for power generation and aerospace applications. However, environmental barrier coating (EBC) systems are indispensable for gas turbine applications water vapor corrosion at high temperatures, and degradation behavior by interaction with CMAS. In this study, Ytterbium-disilicate (YbSi₂O₇) top coat material is developed for EBC applications. Samples are prepared in both bulk and coated types. The sintering process fabricates the bulk type, and the coated type is fabricated by coating on the SiC substrate with a thickness of 200

μm through the atmospheric plasma spray (APS) process. The samples are processed for a water vapor corrosion test for 100 hours through a steam-jet furnace. The water vapor corrosion behavior is confirmed through analysis of crystal structure and microstructure.

PG3A-27 | (Sm_{0.250}Gd_{0.250}Dy_{0.250}Yb_{0.250})₂(Ti_xZr_{0.500-x/2}Hf_{0.500-x/2})₂O₇ (x : 0.01~0.09) 조성 산화물의 Ti 첨가량에 따른 결정구조 왜곡이 구조적, 열적 특성에 미치는 영향

김수현¹, 김민준¹, 김세윤¹, *배성환¹

¹경남대학교

고온 열전도율을 감소시키기 위한 메커니즘은 조성 조절을 통한 결함 형성, 결정격자 왜곡, 고엔트로피화 등이 있다. 그중 조성조절을 통한 격자왜곡만 일으킬 경우 2차상을 형성시키지 않아 국부적 특성 차이가 없이 균일한 특성을 얻을 것으로 기대할 수 있다. 본 연구는 가스터빈용 열차폐소재를 위한 (Sm_{0.250}Gd_{0.250}Dy_{0.250}Yb_{0.250})₂(Ti_xZr_{0.500-x/2}Hf_{0.500-x/2})₂O₇ (X : 0.01~0.09) 고엔트로피 산화물을 합성하였으며 Ti 첨가량에 따른 결정격자 왜곡이 열전도율에 미치는 영향을 확인하였다. 결정상, 격자상수, 결정격자 왜곡, 재료 내 2차상 존재 유무를 확인하기 위해 X-Ray Diffraction(XRD) 결정구조 분석을 진행하였다. 조성 변화에 따른 A₂B₂O₇ 구조 산화물의 Pyrochlore ↔ Defect Fluorite 상전이 유무를 확인하기 위해 라만 분광분석을 진행하였다. 내부 조성편차 및 편석 유무를 확인하기 위해 Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectrometer(SEM-EDS)을 통해 확인하였다. 기계적 특성을 확인하기 위해 Vickers Hardness 분석하였다. 열확산계수와 열팽창계수를 분석하기 위해 Laser Flash Analyzer(LFA)와 Thermomechanical Analyzer(TMA)를 활용하였으며 이를 통해 열전도율을 계산하였다. 이를 통해 Ti에 의한 결정구조 형성을 통해 열전도율 감소, 열팽창계수 변화, 기계적 특성 변화를 확인하였으며 기존 가스터빈 열차폐소재를 대체할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구는 한국에너지기술평가원 (에너지인력양성사업, No. 20214000000480) 및 울산경남지역혁신플랫폼(지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업, 1345370810)지원을 받아 수행되었음.

PG3A-28 | 분무건조법을 통한 EMC용 고열전도성 마그네시아 방열필러 개발

전지윤^{1,2}, 문영국², 차현애², 한병동², 안철우², *최종진², *배성환¹

¹경남대학교, ²한국재료연구원

전자기기의 사용이 증가함에 따라 스마트폰, 태블릿 PC 등 전자기기의 두께는 소비자의 요구에 따라 지속적으로 얇아지고 있으며, 이에 따라 전자제품에 사용되는 반도체의 포장지 역시 더욱 얇고 고집적화 되도록 개발되고 있다. 에폭시 몰딩 컴파운드(EMC)는 반도체 포장지로 외부환경으로부터의 반도체 칩을 보호하고, 전기적 절연 및 디바이스에서 발생하는 열을 효과적으로 방출하기 위해 사용되고 있으며 대부분의 경우 실리카 필러 함량이 80%이상인 고분자 복합재료를 사용하고 있다. 그러나, 현재 사용

되고 있는 EMC 필러용 실리카의 낮은 열전도도(~10 W/mK)는 향후 고성능의 전자부품이 집적화 되면서 발생하는 열로 인한 제품의 성능 및 수명저하를 가속화할 수 있다. 본 연구에서는 EMC의 방열성능을 향상시키기 위해 EMC 필러용 실리카 대비 높은 열전도도를 가지지만 공기중 수분과 반응하는 고흡습성과 높은 소결온도 (>1800 °C)로 인한 난소결성으로 사용되지 않던 마그네시아에 분무건조 공정 시 첨가제를 첨가함으로써 실리카 대비 높은 열전도도를 가지며 내습성과 낮은 소결 온도(

PG3A-30 | 위치별 미세구조 제어가 가능한 세라믹 DLP 기술 최규빈¹, 전종원¹, 정재민¹, 김규남¹, *고영학¹

¹고려대학교

치밀 및 다공성 미세구조의 결합은 뛰어난 기능을 부여할 수 있습니다. 그러나, 특히 세라믹스 분야에서 이를 달성할 수 있는 적층 제조 (3D 프린팅) 기술은 부족합니다. 따라서, 본 연구에서는 위치에 따라 제어된 치밀/다공성 미세구조의 제조를 위한 새로운 digital light processing (DLP) 방식의 세라믹 적층 제조 기술을 소개합니다. 이 기술을 사용하여 복잡한 세라믹 구조에서 위치에 따라 두 미세구조를 배치할 수 있습니다. 이를 위해 캄핀(camphene)/광중합체(photopolymer) 시스템이 사용되었으며, 이는 실온(약 25°C)에서 용액을 형성하며 열적 유도 상분리를 일으킬 수 있습니다. 적층 제조 과정에서 세라믹 슬러리의 선택적 광중합이 층마다 캄핀의 상분리 전과 후, 두 번 수행되었으며, 본 연구에서는 알루미늄(Al_2O_3)가 사용되었습니다.

PG3A-31 | 동결구조로 성형한 다공성 알루미늄에서 기계적 강도 향상을 위한 La_2O_3 첨가와 two-step sintering의 시너지 효과 김성현¹, 우종원¹, 홍상민¹, 김종원¹, 강지원¹, *전상재¹

¹창원대학교

다공성 세라믹은 필터 및 촉매 담체, 단열재 등 다양한 산업에서 활용되며, 기능성과 내구성을 위해서는 다공성 구조의 기계적 강도가 필수적이다. 즉, 소결 중 치밀화 및 입자성장을 제어하여 기계적 강도를 향상하는 것이 이로우며, 이는 미세한 입자크기와 높은 밀도로 실현될 수 있다. 이러한 배경에서, 본 연구에서는 기존에 입자크기를 미세화 한다고 알려진 La_2O_3 을 첨가하여 동결구조로 성형된 Al_2O_3 다공체의 기계적 강도 향상을 꾀하였다. 또한, two-step sintering(TSS)를 도입하여 La_2O_3 첨가 효과와의 시너지를 통해 기계적 강도를 향상시켰다. 입자성장 거동 및 입자성장/치밀화에 대한 활성화 에너지를 기준으로 TSS의 T_1 과 T_2 를 설정 한 결과, 입자크기는 0.866 μm , 상대밀도는 41.43%로, 일반 소결에 비해 더 미세한 입자와 높은 밀도를 동시에 얻을 수 있었고, 기계적 강도는 1.4배 향상되었다. 이 결과는 벌크에서 정립된 소결이론의 다공성 알루미늄에 대한 효용성을 증명하는 동시에 향후 유리한 미세구조 재단을 위한 도펀트 선택의 기준을 제시한다.

PG3A-32 | Designing titanium-based functionally graded coatings using multi-scale simulations

KIM Hyokyeong¹, *KIM Jiwoong¹

¹Soongsil university

The demand for the development of thin films exhibiting superior adhesion to substrate has been steadily increasing. However, conventional nitride coatings have demonstrated lower adhesion properties. To address the issue of thermal shock-induced coating delamination, we proposed an efficient design strategy. Here, we minimize the coefficient of thermal expansion (CTE) and lattice constants within the coating material. Then, we calculated interfacial stabilities at room temperature and high temperature. One candidate for intermediate layers was focused on titanium-based carbonitride. These materials are selected to reduce CTE differences, which improve the thermal stability of the coating system. Additionally, adhesive layers have excellent bonding strength and interfacial energies, among the candidate materials. It examines functionally graded coating designs and their high strength and interface stability, even at high temperature. Our study was also validated using finite element analysis. These computational designs provide crucial insights, making design more practical and reliable.

PG3A-33 | The Effect of Al_2O_3 Addition on Grain Growth Behavior in $(K_{0.5}Na_{0.5})NbO_3$ - $SrTiO_3$ for High-Temperature MLCC

KIM Geon-Hee¹, *MOON Kyoung-Seok¹

¹Gyeongsang National University

The objective of this study was to utilize $(K_{0.5}Na_{0.5})NbO_3$ (KNN), possessing a high Curie temperature (T_c , tetragonal-cubic phase transition), as a dielectric material for high-temperature multilayer ceramic capacitors (MLCCs). Specifically, the effect of adding Al_2O_3 on crystal structure, microstructure, and dielectric properties has been studied. The addition of 1 mol% Al_2O_3 resulted in a sintered sample with an orthorhombic structure with an $AlNbO_4$ secondary phase. Faceting was observed at all KNN-ST polycrystal interfaces. After 10 hours of powder annealing, the powders had cube-shaped grains, but the edges became more faceted as the Al content increased. Abnormal grain growth behavior occurred when Al_2O_3 contents increased. Abnormal grains were locally agglomerated and had a bimodal size distribution with a small number of abnormal grains embedded in fine matrix grains. This was due to some grains having a high driving force for growth, which could only grow when their driving force exceeded the critical driving force for growth.

PG3A-34 | Crystal Structure and Microstructure Control in $Ba_{0.70}Ca_{0.30}TiO_3$ for Enhanced High-Electric Field MLCC with Dy_2O_3 Addition

LEE Chul-Lee¹, CHO Ye-Bin¹, CHOI Moon-Hee², KIM Min-Kee⁴, *MOON Kyoung-Seok¹

¹Research Institute for Green Energy Convergence Technology, ²Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, ³Samwha Capacitor Co. LTD.

The utilization of the $Ba_{1-x}Ca_xTiO_3$ (BCTx) system for high-electric field MLCC applications has explored. In the present study, BCT0.30 powder was calcined by the solid-state reaction method, followed by sintering of BCT0.30 powder compacts at 1200 ~ 1400°C for 2 hours. The resulting samples exhibited a coexistence of $BaTiO_3$ (BT) tetragonal and $CaTiO_3$ (CT) orthorhombic phases. This study investigates the effects of adding Dy_2O_3 at concentrations ranging from 0 to 2 mol%. All samples were sintered at 1400°C. The addition of Dy_2O_3 led to a notable reduction in the average grain size. However, when the Dy_2O_3 content exceeded 1 mol%, abnormal grain growth occurred. The dielectric constant exhibited an initial increase as Dy_2O_3 content rose to 0.5 mol%, followed by a decrease as the concentration exceeded 0.5 mol% up to 2.0 mol%. Additionally, the addition of Dy_2O_3 to BCT0.30 induced a shift in T_c (Curie temperature) to a lower temperature, accompanied by a reduced rate of capacitance change with temperature. This study further delves into the interplay between crystal structure, microstructure, and dielectric properties, offering comprehensive insights.

PG3A-35 | The Influence of Zr incorporation on the phase transition and chemical stabilization of MgO-based nanocomposite

HAM Su Been^{1,2}, PARK Young-Jo², KIM Mi-Ju², KIM Ha-Neul², LEE Jae-Wook², KO Jae-Woong², YOON Seog Young¹, *MA Ho Jin²

¹Pusan National University, ²Korea Institute of Materials Science

In the semiconductor fabrication process, the plasma etching can produce contaminant particles originating from eroded ceramic components, which cause short circuits and low production yield of the chips. Rapid etching of ceramic coatings can also reduce part replacement cycles. Consequently, to enhance semiconductor production yields, it is essential to develop ceramic materials that minimize the generation of contaminant particles and have high etching resistance. To develop ceramics with high plasma

resistance, we aimed to enhance the mechanical properties of MgO, which is known for its strong physical etching resistance but relatively weak mechanical characteristics, through the formation of nanocomposites with sesquioxides. Moreover, the phase transition of specific sesquioxides from cubic to monoclinic crystalline structure happened at around 1250°C. To maintain the cubic phase of them at temperatures exceeding 1250°C, Zr was added in various ratios. In this study, we observed the phase transition of MgO-based nanocomposite with varying Zr(0,5,10,15,20 at%) content. Furthermore, we analyzed the stability of the nanocomposite under intense plasma conditions.

PG3A-36 | ZrO₂의 첨가가 Al₂O₃의 미세구조와 기계적 특성에 미치는 영향

장혜정¹, 노승준², 정인철², 이정우³, 김정환¹, 차현애¹, 문영국¹, 최종진¹, 한병동¹, *안철우¹

¹한국재료연구원, ²소울머터리얼, ³부산대학교

첨단 산업의 빠른 발전과 더불어 전자부품에서 발생하는 열을 외부로 방출하는 역할을 하는 열관리 소재인 방열 소재의 개선이 요구되고 있다. 세라믹 방열 소재 중에서 가장 많이 사용되는 소재는 알루미나(Al_2O_3)이며, 알루미나의 기계적 특성 향상을 위해서 Zirconia를 첨가하여 제조되는 소재가 Zirconia-Toughened Alumina (ZTA)이다. 방열 세라믹 산업에서 이미 우수한 기계적 강도를 보이는 ZTA 소재가 개발되어 제조 및 판매 중이지만, ZTA의 기초적인 재료공학적 고찰은 거의 발표되지 않고 있다. 특히, ZTA에서 기계적 특성 향상 현상을 이해하기 위한 연구인 ZTA의 미세구조 및 결정구조와 기계적 특성에 대한 재료공학적 고찰이 필요하다. 본 연구에서는 학술적 접근을 위해서, Yttria-stabilized zirconia (YSZ)가 아닌 Zirconia를 첨가하였으며, 세라믹 업체들의 제조 용이성을 고려하여, 가장 간단히 조절할 수 있는 공정 변수인 원료 분말의 입자 크기 조절을 통해 기계적 특성 향상을 시도하였다. 결과적으로 원료분말의 입자 크기 조절을 통해 30.8 W/mK의 열전도도와 745.5 MPa의 우수한 굴곡강도를 가진 ZTA 소재를 개발할 수 있었다. 본 발표에서는 원료 분말의 입자 크기가 조절된 ZTA 소재의 미세구조 및 결정 구조와 기계적 특성에 대해서 소개한다.

PG3A-37 | Optimization of Al-excess nonstoichiometry on densification and plasma resistance of YAG ceramics

ZHAO ChengCai¹, KIM Eun-Bi¹, *PARK Young-Jo¹, LEE Jae-Wook¹

¹Korea Institute of Materials Science

Yttrium aluminum garnet ($Y_3Al_5O_{12}$, YAG) powders were ball milled using Al_2O_3 , ZrO_2 and Si_3N_4 beads, then hot-press sintered at 1350 and 1450°C applying 20 MPa. The sintered density of YAG ceramics prepared by Al_2O_3 ball milling was the highest. Al-excess composition

driven by Al₂O₃ debris introduced during Al₂O₃ ball milling promoted the densification of YAG ceramics. This hypothesis was verified by directly adding Al₂O₃ powder to raw material YAG powder. That is, Al-excess nonstoichiometry designed by the addition of extra Al₂O₃ powder resulted in increased densification of YAG ceramics, while Al₂O₃ content of more than 0.34 wt.% left a precipitated Al₂O₃ in the microstructure which was proved to be harmful to etching resistance. The microstructure of the etched YAG surface was observed and analyzed by SEM and AFM, and a mechanism illustrating the harmful effect of precipitated Al₂O₃ on etching behavior was suggested.

PG3A-38 | SiC_f/SiC 복합소재 내 강화 섬유 분산도가 기계적 물성에 미치는 영향

최지범^{1,2}, *김수현², 한인섭², 이슬희², 방형준², 김세영², 성영훈²
¹ 연세대학교, ²한국에너지기술연구원

본 연구에서는 spread된 SiC 섬유를 적용해 SiC_f/SiC 복합소재를 제조하였을 경우, 복합소재 내부에서 강화 섬유의 분산도가 기계적물성에 어떠한 영향을 주는지를 확인하였다. Spread 섬유가 non-spread 섬유에 비해 수지 슬러리가 섬유 사이로 더 원활히 함침되어 기지 내 기공도 거의 발견되지 않은 모습을 나타내었다. 각 섬유의 섬유 분산도를 비교하기 위해, 복합소재 내 섬유 간 이격 거리를 수치화하고 평가하는 방법을 적용하였다. 그 결과 spread 섬유의 섬유 간 중심거리는 non-spread 섬유 대비 증가하였으며, 섬유 표면 사이 거리는 대폭 증가하였다. 3점 굽힘시험을 통해 non-spread 섬유를 적용한 복합재보다 spread 섬유를 적용한 복합재의 굽힘강도가 더 높으며, 시험 데이터의 편차도 더 균일함을 확인하였다. 따라서 SiC_f/SiC 복합소재 기지 내 강화 섬유의 분산도 향상이 균일한 기지상 치밀화와 기계적 강도 증가에 매우 큰 영향을 미친다는 점을 알 수 있다.

PG3A-39 | Ceria가 도핑된 Zirconia 입자의 제조 선형성¹, 박윤식¹, 장정혁¹, 아마르사이함¹, *조의제¹

¹순천대학교

안정화 원소인 ceria가 도핑된 zirconia는 형상기억특성과 초탄성을 가지고 있는 대표적인 형상기억세라믹이다. 이 zirconia는 형상기억합금에 비해 4배 이상의 열과 응력을 견딜 수 있기 때문에 상당한 양의 기계적 에너지를 가역적으로 흡수할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 세라믹 고유의 취성으로 인해 형상기억합금의 형상기억특성과 초탄성에 비해 적은 변형률(2%)과 cycle을 가진다. 이러한 단점을 극복하고자 최근 단결정 또는 올리고(oligo)결정으로 이루어진 zirconia 입자에 대한 연구가 진행되었다. 최대 4.7% 변형률의 형상기억특성과 초탄성이 ceria 첨가량 14 mol% 전후로 각각 관찰되었으며, 입자 주변의 기계적 구속, 방향성, 결합밀도, 잔류응력 등 불균질성에 따라 마르텐사이트 변태온도와 하중을 제어할 수 있다는 결과도 보고되었다. Zirconia 입자는 다른 소재 내 강화제로 첨가되어 에너지흡수용 또는 고온 액추에

이터용 소재로 활용될 수 있다. 이에 대한 기초연구로 본 연구에서는 졸-겔법을 통해 단결정, 올리고결정 zirconia 입자를 제조하고, 제조공정에 따른 입자의 미세조직 및 결정성을 분석하였다.

PG3A-40 | 출발물질의 분산성이 탄소환원질화법 기반 AlN 분말 합성에 미치는 영향

박세빈¹, *윤당혁¹, 이상민¹, 장성민¹

¹영남대학교

전기자동차의 파워모듈과 배터리는 다량의 열을 발생시키기 때문에, 이를 효율적으로 방출하기 위한 방열소재는 우수한 전기절연성과 높은 열전도성의 필요하다. AlN은 전기전도도가 낮고($>10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$) 열전도도가 높기(320 W/m²·K) 방열 목적으로 매우 적합한 소재이다. 다양한 AlN 분말 제조방법이 있지만, 고온의 질화분위기에서 탄소를 환원제로 사용하여 Al₂O₃ 분말에 존재하는 산소를 질소로 치환함으로써 AlN 분말을 제조하는 탄소환원질화법이 경제성과 생산성 측면에서 가장 바람직한 방법이다. 이때 출발물질인 Al₂O₃와 탄소가 응집되어 있으면 AlN 분말로 전환이 어려워지기 때문에, 고온의 열처리가 필요하므로 AlN 평균입도의 증가를 유발하게 된다. 입도의 증가는 AlN 분말의 소결성을 감소시키므로, 출발물질로 사용되는 분말들의 균일한 분산이 소결성이 우수한 미립의 고순도 AlN 분말 제조에 매우 중요하다. 습식 슬러리 시스템에서의 주요 분산 메커니즘은 1)분산제를 사용하여 물리적으로 입자의 응집을 막는 입체장애(Steric hindrance)법과 2)입자들간에 표면전하를 증가시켜 서로 전기적으로 밀어내는 정전기적 반발력(Electrostatic repulsion)을 이용하는 방법이 있다. 본 연구에서는 용매의 종류, 분산제의 유무, 분산제의 종류와 양, pH에 따른 제타포텐셜의 변화를 기반으로 하는 정전기적 반발력을 적용하여, Al₂O₃와 탄소 분말의 최적 습식 분산조건을 모색하고자 하였다. 다양한 조건을 이용하여 제작한 슬러리의 분산성은 점도측정과 침강법을 이용한 침강높이와 침강시간을 바탕으로 평가하였다. 용매로는 고순도 에탄올과 물을 사용하여 비교하였으며, 4종의 상업용 분산제를 이용하여 첨가량을 다르게 하면서 분산성을 비교하였다. 특히, 수계시스템에 존재하는 각 분말의 제타포텐셜(ζ)을 바탕으로 분말의 표면전하를 평가하였으며, pH는 HCl과 NH₄OH을 이용하여 조절하였다. 다양한 분산조건을 이용하여 제조한 출발물질을 1600 - 1700°C 분위기에서 질화처리함으로써, 습식혼합법으로 제조된 AlN 분말의 특성을 건식혼합법으로 제작된 분말과 비교평가하였다.

PG3A-41 | Joining of SiC via molten-Si infiltration followed by Si-C reaction bonding using a SiC/C tape filler

PINAR Colkesen¹, JOO Sooyeon¹, *Yoon Dang-Hyok¹
¹Yeungnam University

This study focused on the joining of SiC monoliths via molten-Si infiltration followed by Si-C reaction bonding using a SiC/C green tape filler, which was produced by tape casting using a highly-dispersed slurry. To optimize the green tape properties, SiC/C tape made

of different compositions (30/70, 50/50, 70/30, 80/20, and 90/10) were prepared, while the amount of dispersant was adjusted to 0 - 30 wt. % with respect to the SiC/C powder weight. The physical properties of green tape plays a significant role in facilitating the flow of molten Si during the joining to achieve a sound joint. The resultant solvent-based slurry viscosity, green tape morphology and density as well as the joint microstructure were evaluated. The joining was performed at 1500°C for one hour under vacuum without any external pressure using a butt-joint configuration. After the joining, the integrity of the joints was explained based on the microstructure, phase development, joint strength, and the ability to manage residual Si at the interface. Keywords: SiC joining, Si-C reaction bonding, Tape casting, Dispersion, Microstructure.

PG3A-42 | 열차폐코팅용 고엔트로피 이트륨-알루미늄 가넷 세라믹 특성 분석

최혜량¹, 편장혁¹, 김봉구¹, 김민규¹, 박정근¹, 전가연¹, 김준성¹, 손정훈¹, 양병일¹, 정연길¹, *양승철¹

¹창원대학교

열차폐코팅은 가스터빈 구동 중의 고온고압 환경으로부터 고온부품의 금속 모재를 보호하기 위해 사용된다. YAG(Yttrium Aluminum Garnet)는 고온에서 상안정성이 우수하고 높은 경도를 가지며 산소 투과도가 낮아 차세대 열차폐코팅 소재로 주목받고 있다. 하지만, YAG는 기존 열차폐코팅 소재인 YSZ(Yttria-stabilized Zirconia)보다 높은 열전도도를 지니고 있어 이에 대한 개선 방안이 필요하다. 본 연구에서는 YAG의 Y 및 Al 위치에 양이온들(Yb/Lu/Er/Eu/Cr)을 추가로 도핑하여, 격자 왜곡에 의한 포논 산란으로 YAG의 열전도도를 낮추고 고엔트로피 YAG를 제작하였다. 양이온 클로라이드계 전구체의 공침법을 통해 합성한 YAG/고엔트로피 YAG 분말들을 1000 °C 에서 하소하여 분말의 특성 평가를 수행했다. 합성된 분말들을 이용해 펠렛을 제작하여 1600 °C에서 소결을 진행하였다. 소결체의 미세구조 및 열적 기계적 특성을 평가 및 분석하였다.

PG3A-43 | 알루미늄 분말의 표면 개질을 통한 수계 슬러리 점도 감소 및 소결 특성 향상

유은채¹, *윤당혁¹

¹영남대학교

알루미늄 소결체는 우수한 내플라즈마성 때문에 반도체와 디스플레이 제작 챔버의 내부 구조재로 사용되고 있다. 이러한 대면적 구조재로는 일반적으로 슬립캐스팅 또는 필터프레스링과 같은 습식 공정을 통하여 판재로 제작되는데, 내플라즈마성 향상을 위한 고밀도 구현을 위해서는 습식공정용 슬러리의 점도 감소를 위한 성형밀도의 향상과 소결조건 최적화가 필수적이다. 현재까지는 외산 알루미늄 분말을 이용하여 필요한 구조재료를 제조하고 있으나, 이를 국산 알루미늄 분말로 전환시키고자 하는 노력이

최근 이뤄지고 있다. 현재까지의 연구결과, Bayer process를 바탕으로 제조된 국산 알루미늄 분말은 외산 분말에 비하여 불순물(Si, Na, Fe 등) 함유량이 높고 미분의 함유량이 많아서, 이를 이용하여 제작한 습식 슬러리의 점도가 높게 나타났다. 제조공정의 최적화를 바탕으로, 불순물의 함유량을 외산 분말 수준으로 낮추었으며, 미분 함유량은 고온에서의 재열처리를 통하여 비표면적을 감소시킴으로써 해결할 수 있었다. 하지만, 외산 분말과 유사한 물리적 특성을 구현하였음에도 불구하고, 슬러리의 점도는 여전히 높은 문제점을 보여주었다. 이러한 슬러리의 점도 증가가 알루미늄 분말 표면에 흡착된 carbonate 및 hydroxyl group (OH)의 영향으로 판단하였다. 즉, carbonate의 흡착은 수계 슬러리의 점도를 증가시키는 반면, 친수성인 OH의 흡착은 슬러리의 점도를 감소시킴을 실험적으로 증명하였다. 또한, 추가적으로 알루미늄 분말의 미분 함량 감소와 고립 OH기의 보다 많은 흡착을 위해 750, 850, 950°C에서 3시간동안 열처리를 진행하면서 마지막 1시간 동안은 수증기를 흘려주어 분말 표면을 개질하였다. 최적의 열처리 온도와 소결 조건을 모색하기 위하여 750, 850, 950°C에서 수분 열처리한 분말을 1650°C에서 1, 2, 5시간동안 소결을 진행하고, 각 소결체의 밀도 및 미세구조를 비교해보았다. 이와 같은 알루미늄 분말의 표면 개질을 통하여 슬러리의 점도를 감소시키고 외부 분위기에 크게 영향을 받지 않는 균일하고 낮은 점도를 구현할 수 있었으며, 소결조건 최적화를 통하여 소결체의 밀도를 증진시킴으로써 더욱 치밀한 미세구조를 구현하였다.

PG3A-44 | 탄소환원질화법을 이용한 고순도 미립 AlN 분말 합성에 관한 연구

이상민¹, *윤당혁¹, 박세빈¹, 장성민¹

¹영남대학교

높은 열전도도(320 W/m·K)와 전기절연성($>10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$)을 보유한 AlN은 전기자동차의 파워 모듈용 고출력 기판과 배터리 방열재료의 원료로써 각광을 받고 있다. 그러나 AlN은 난소결성과 낮은 기계적 강도로 인하여, 열전도도가 상대적으로 낮은 Si_3N_4 및 Al_2O_3 에 비해 방열재료로서의 사용이 제한되고 있다. 이러한 배경을 바탕으로, 본 연구에서는 고 열전도와 전기절연성을 유지하면서도 소결성이 우수한 고순도 미립 AlN 분말을 제조하고자 하였다. 경제성과 생산성을 고려하여 Al_2O_3 분말에 탄소를 환원제로 첨가하여 고온 질소분위기에서 질화시키는 탄소환원 질화법을 이용하였으며, 질화반응을 촉진하기 위하여 화학양론(C/ Al_2O_3 몰비 = 3/1) 이상의 탄소를 첨가하였다. C/ Al_2O_3 몰비, 열처리 온도와 유지시간, 그리고 질소 유량 등을 주요변수로 하여, 제조조건에 따른 AlN 변환율, 최종 AlN 분말의 입도 및 불순물 함량을 평가하였다. 특히, 열전도성과 소결성이 우수한 분말 제조를 위해 낮은 평균입도를 가지는 순수한 AlN 분말을 구현하는데 초점을 맞추었다. 열역학적 계산에 따르면 1300 °C 이상에서 반응이 시작되지만, 실험결과 1600-1700 °C에서 목적에 부합하는 AlN 분말의 제조가 가능하였으며, 열처리 온도가 낮고 유지시간이 짧을수록 미세한 AlN 분말을 얻을 수 있었다. 해당 온도에서의 유지시간과 N_2 유량에 변화를 주어 최적 조건을

찾고자 하였다. 또한, 탄소환원질화 반응을 촉진시키는 CaF_2 를 첨가하여 낮은 열처리 온도와 짧은 홀딩 타임 조건하에서 고순도 미립 AlN 분말의 제조가 가능한지 살펴보았다. 합성된 AlN 분말에 존재하는 잔존 탄소를 제거하기 위하여 700 °C에서 2시간 동안 탈탄처리를 하고, 제조된 분말의 형상, 상 및 산소와 탄소 함량을 분석하였다.

PG3A-45 | AlN- Al_2O_3 Core-Shell 구조를 갖는 구형 분말의 합성 및 에폭시 복합체 특성 평가

임수빈^{1,2}, 김종영², 송태섭¹, *피재환²

¹한양대학교, ²한국세라믹기술원

고열전도율을 가지는 유무기 복합체를 제조하기 위해서는 무기물 필러의 높은 충전율과 고열전도성을 필요로 한다. 무기물 필러의 높은 충전율을 달성하기 위해서는 구상화, 표면개질 등의 기술이 필요하다. 그리고 고열전도성 무기물(비산화물)로는 질화알루미늄(AlN), 질화붕소(BN), 질화규소(Si_3N_4) 등이 있다. 특히 구상화가 가능하고 높은 열전도율을 가지는 소재로는 질화알루미늄(고열전도율(320W/mK), 고전기저항($9 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{m}$))이 알려져 있다. 그러나 구상 질화알루미늄을 제조하는 것은 현재까지 많은 난관이 존재한다. 하여 상용 구상알루미나를 활용하여 표면만 질화처리한 질화알루미늄(AlN)-알루미나(Al_2O_3) 코어-셸 구조의 분말을 제조하고자 하였다. 구상알루미나의 표면 질화층 형성을 위해 열탄소환원법을 활용하였다. 합성 조건(온도, 시간 등)과 충전율에 따른 AlN- Al_2O_3 코어-셸 구조의 필러들을 활용하여 에폭시 복합체의 열전도를 산화물 복합체와 비교 평가하였다. 특히 코어-셸 구조 구상 필러들을 활용한 복합체의 열전달 기구에 대해 평가한 결과를 보고하고자 한다.