

G3B : 엔지니어링 세라믹스

G3B-1 | Strategies for enhancing near- and mid-infrared transmittance of transparent and plasma-resistant Y_2O_3 -MgO nanocomposites for semiconductor manufacturing

*마호진¹, 김도경², 김하늘¹, 김미주¹, 고재웅¹, 이재욱¹, 박영조¹
¹한국재료연구원, ²한국과학기술원

Y_2O_3 -MgO nanocomposite is introduced for infrared transparent ceramics due to its superior optical and mechanical characteristics. However, severe optical scattering and unnecessary absorption in the near- and mid-infrared regions restrict the applications of this material. Here, a broad mid-infrared transparent Y_2O_3 -MgO nanocomposite is achieved for the first time through low temperature sintering using an LiF additive. The influence of LiF is successfully demonstrated on the mid-infrared transparency of the as-sintered and post-annealed nanocomposites. Moreover, by effectively suppressing grain growth and eliminating residual pores via two-step hot-pressing, outstanding near-infrared transmittance were achieved.

G3B-2 | 불소계 염을 통한 Y_2O_3 내플라즈마 표면개질 특성 평가

장환윤¹, *이현권¹
¹국립금오공과대학교

반도체 산업에서 초미세 선평화 및 고종횡비 구조의 소자제작이 활발하게 진행되면서, 세라믹 소재 기반의 식각장비 챔버 내의 내플라즈마성 재료에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있다. 현재, 대표적인 내플라즈마 코팅소재로 널리 사용되고 있는 Y_2O_3 의 경우, 5 nm 이하의 초미세 선평화 환경에서 오염입자 발생 문제로 인한 반도체 수율 향상에 있어 큰 제약요인으로 작용하고 있다. 또한 소재와 불소와의 화학반응 문제가 식각공정의 균일성 저하로 이어지며, 이러한 문제가 반도체 제조 공정의 효율성과 경제성에 영향을 미치고 있다. 이에 대한 해결책으로 불소계 염을 활용한 Y_2O_3 소재의 표면개질을 통해 우수한 내플라즈마성을 가지며, 오염입자 발생 문제가 적다고 알려진 YOF 층을 형성하였다. 본 연구에서는 공정의 온도 및 시간 조건 하에서 형성되는 표면개질층의 특성에 대한 평가와 고찰을 진행하였으며, 간결하고 효율적인 불소화 공정 방법에 대해 제안하고자 한다.

G3B-3 | Study on Growth Mechanism of Ceramic Coatings with PEO for Electrostatic Chucks

KANG Won-Kyung¹, JUNG Dong-Il¹, *CHOI Hyun-Ju¹
¹Korea Automotive Technology Institute

With the development of Semiconductor Dry Etching System, the use of mechanical and structural ceramics is expanding to include the plasma resistant parts. It has become critical to withstand both high purity plasma

resistance and thermal shock resistance produced as the line-widths narrow during the high-energy process. Thus, it is of great significance to explore new candidates for ceramic-layer materials are related to their properties and performances. This study reviews shortly the recent literature on technology trends for the Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) coatings and understanding of the coating formation mechanism for Electrostatic Chucks that can fix wafers using electrostatic force. In addition, we carried out the surface morphology, composition and structure and microhardness analysis of ceramic coatings fabricated for this study. Based on our results of the OM, SEM-EDS, XRD, growth mechanism of ceramic coatings on Al related with the PEO process is discussed, describing how they affect both the PEO coating design and its performance.

G3B-4 | 플라즈마 에칭된 Al_2O_3 , Y_2O_3 , YAG 세라믹의 미세조직 비교

*이재욱¹, 김은비¹, 김미주¹, 마호진¹, 김하늘¹, 고재웅¹, 박영조¹
¹한국재료연구원

반도체 에칭공정 중 실리콘의 에칭 속도와 형상은 오랫동안 깊이 연구되었다. 원자 단위 에칭 기구와 에칭 속도, 에칭된 홈의 이방성과 종횡비 등이 이론과 실험, 전산모사 등을 통해 이미 오래전 분석되었다. 하지만 내플라즈마 소재 특히, SiO_2 를 제외한 대다수 세라믹 소재의 에칭 기구는 여전히 많은 부분이 베일에 싸여 있다. 예를 들어, Al_2O_3 와 Y_2O_3 의 경우 불소(F) 가스 분위기에서 표면에 형성된 불화층이 이온과 충돌하여 에칭된다고(물리적 에칭) 알려졌지만, Si 원자가 없어 휘발성 분자가 생길 수 없음에도 불구하고 여전히 화학적 에칭이 일어난다고 주장하는 사람들이 있다. 또 에칭된 표면의 형상 즉, 미세구조가 플라즈마 출력, 바이어스 전압, 가스 내 F나 Ar 원자 농도에 따라 크게 달라지는데 이에 대한 충분한 설명이 부족하다. 예를 들어 에칭된 표면은 입계가 파이는 경우, 입자간 높이 차이가 발생하는 경우, 마이크로미터 크기의 돌기가 형성되는 경우, 다공성 반응층이 형성되는 경우, crater가 형성되는 경우 등 다양하지만 어떤 조건에서 어떤 미세조직이 형성되는지 예상하기 어렵다. 특히 하나의 에칭 기구(물리 또는 화학)가 작동한다고 해도 공정변수에 따라 나타나는 미세조직이 달라지는 듯하다. 본 연구에서는 비교적 고출력인 1500W 플라즈마에서 에칭된 Al_2O_3 , Y_2O_3 , YAG 세라믹의 표면 미세조직을 분석하였다. 소결밀도와 가스 내 CF_4 함량을 변화시켰는데 모든 시편이 crater가 존재하는 미세조직을 보였다. 하지만 시편의 소결 밀도에 따라 crater 밀도가 달라졌고 crater의 크기도 달라졌다. 또 특정 시편에서 특이한 형상의 crater가 발견되기도 했고 crater의 특이한 배열이 나타나기도 했다. 소재 종류와 가스 조성에 따른 crater 밀도 및 크기 차이를 정리하고 이를 에칭 속도와 연관지어 설명하고자 하였다.

G3B-5 | 서스펜션 진공 플라즈마 공정을 활용한 내플라즈마 코팅 연구

강용진¹, 김도현¹, 이성훈¹, *변용선¹

¹한국재료연구원

반도체 공정은 고밀도 플라즈마를 사용한 식각 공정이 필수적으로 동반된다. 최근에는 반도체 산업이 고도화됨에 따라 식각공정에 사용되는 플라즈마의 고출력화로 챔버 및 지그등의 핵심 부품의 화학적, 물리적 침식 가속화 방지 및 이로 인해 발생하는 조대 오염입자 최소화를 위한 내플라즈마 코팅 소재 및 공정개발에 관심이 높아졌다. 반도체 산업에 적용되는 내플라즈마 코팅의 경우 대부분 대기압 용사(APS¹) 공정을 활용하고 있으나, 분말의 크기 및 코팅 공정의 특수성으로, 높은 기공도와 낮은 기계적 특성으로 잦은 유지보수와 조대 불화물 입자의 발생 빈도를 줄이는 것에 한계가 있다. 최근에는 이를 개선하기 위해 10 마이크로 이하의 미세분말을 용매에 분산시킨 서스펜션을 플라즈마에 직접 투입 및 용융시켜 치밀한 코팅을 제작하는 서스펜션 플라즈마 용사공정을 활용하여 코팅을 개발하고 있다. 하지만 낮은 증착율 이슈 및 응력제어 문제로 인해 산업화에 한계가 있다. 본 연구에서는 진공환경에서 생성된 고출력 플라즈마 화염에 서스펜션을 투입하여 용융 효율을 증가시켜 증착율 개선과 함께, 치밀한 코팅을 형성하는 서스펜션 진공 플라즈마 용사공정을 개발 및 활용하여, Y₂O₃ 기반 내플라즈마 공정을 개발하였으며, 이를 APS, VPS², 대기압 서스펜션 플라즈마 용사 공정을 통해 제작한 Y₂O₃ 코팅과 상호 특성(코팅 조직, 기계적 특성, 내플라즈마 특성)평가를 하였다. ¹APS : Atmospheric Plasma Spray ²VPS : Vacuum Plasma Spray

G3B-6 | Coupled thermodynamic modeling and experimental phase diagram study of the ZrO₂/HfO₂-B₂O₃-SiO₂ system for the aerospace coating application

박승재¹, 박준동¹, 박민수², *정인호¹

¹서울대학교, ²한국항공대학교

Superalloys or various ceramic composite materials composing the hot body part of the aerospace engine always facing high temperature stability issue under oxidizing atmosphere. One of the good candidate materials is silicon-based coating which forms a dense SiO₂ glass layer to protect oxidation of substrates. In order to enlarge and control the glass forming temperature range, addition of ZrB₂ and HfB₂ to Si-based coating has been actively investigated. Such borides can react with Si and oxygen at high temperature and oxidizing atmosphere and can form the surface coating of the HfO₂/ZrO₂-B₂O₃-SiO₂ system. In order to properly understand the thermal reactions of such borides in coating system, accurate phase diagram and thermodynamic properties of the HfO₂/ZrO₂-B₂O₃-SiO₂ system are indispensable. In the present study, we have experimentally studied the phase diagram of ternary HfO₂-B₂O₃-SiO₂

and ZrO₂-B₂O₃-SiO₂ systems at 1200~1600°C for the first time. Together with all available thermodynamic property data in literature, the thermodynamic database for two ternary systems were also constructed based on CALculation PHase Diagram (CALPHAD) methodology.

G3B-7 | Mechanical and thermal expansion properties screening design of metal-matrix high-entropy carbide composites for extreme environments: Multi-scale simulation approach

KIM Myungjae¹, *KIM Jiwoong¹

¹Soongsil University

High entropy carbides (HECs) have demonstrated great potential as a component for metal matrix composites (MMCs) in extreme conditions such as high pressure and temperature. However, it still presents an important challenge in the rational design of novel high-performance HECs with large compositional spaces. Therefore, we evaluate the properties of (TiTaXYZ)C₅ HECs (X, Y, Z = transition metal) using high-throughput first-principles calculations and select compositions which have the possibility of application with improved properties. We also investigate the coefficient of thermal expansion (CTE) for HEC/Nb, HEC/Mo, HEC/Ta, and HEC/W composites using finite element method (FEM), with considering the volume fraction of metal matrix based on representative volume element (RVE) model. The prediction for CTE trend of the HEC/metal composites are successfully performed, and it is validated that HECs provide advantages for reducing CTE of HEC/Nb, HEC/Mo, HEC/Ta, and HEC/W composites. Due to the lack of theoretical and experimental information about metal matrix high entropy ceramic composites (MHECs), the multi-scale computational predictions we conducted provide insightful results and guide the complete design of ultra-high temperature ceramics (UHTCs).

G3B-8 | 기공 수축 중 곡률 역전 발생 조건을 고려한 수축 구동력 평가

백용균¹, *오경식¹

¹국립안동대학교

기공 수축 중 곡률의 역전이란 기공의 수축에 따라 기공면의 곡률 중심 방향이 기공의 바깥에서 중심 방향으로 뒤집히는 현상이다. 곡률 역전이 발생할 때 기공면은 평면에 가까운 상태를 거치므로 곡률 반경은 무한히 커지며 곡률 중심의 방향에 부호를 부여할 경우 부호의 역전을 확인할 수 있다. 곡률의 역전은 물리적으로는 소결압의 작용 방향을 바꾸는 일로서 소결압의 크기에도 중대한 변화를 유발하게 된다. 일반적으로는 곡률의 역전과 함께 소결압이 더 급격히 증가하는 것으로 추정되었으며 이러한 곡률

역전은 실제 치밀화에도 중요한 영향을 주게 된다. 곡률 역전의 발생 조건에 대한 정량적 설명은 제시된 바 없었으나 최근 기하적 모델을 통하여 발생조건이 논의되고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 새롭게 제시된 곡률 역전 발생조건을 적용하여 기공의 크기, 입자크기, 이면각, 기공에 대한 입자의 배위수를 변수로 삼아 곡률 역전 조건을 확인하고 이 시점에서 소결압의 변화를 표현하였다.

G3B-9 | Critical plasma spray parameter(CPSP)에 따른 MgAl₂O₄ 비행입자 거동과 코팅 특성 간 상관관계

권한솔¹, 박영진¹, 김도현¹, 강용진¹, 유연우¹, *박훈관¹

¹한국재료연구원

MgAl₂O₄ 소재는 낮은 밀도(3.58 g/cm³), 높은 경도(16 GPa), 높은 전기 전도도와 같은 우수한 특성으로 인해 다양한 산업 분야에서 활용될 수 있는 전도유망한 세라믹 소재이다. 특히, 높은 녹는점(2,135°C), 우수한 고온 강도, 열충격 저항성, 낮은 열팽창계수, 내산화/내산화 특성을 통해 가혹한 환경에 노출되는 부품 및 표면처리 소재로서 활용되기에 적합하다. 대기 플라즈마 용사코팅 (APS, Atmospheric plasma spray)은 후막의 세라믹 코팅을 매우 빠른 적층속도로 육성할 수 있는 기술로서, 높은 녹는점을 갖는 세라믹 소재 코팅을 형성할 수 있다. 현재까지 APS 공정을 이용하여 MgAl₂O₄ 소재를 코팅한 사례는 제한적이며, 코팅의 미세구조 및 기계적 특성에 대한 연구 결과가 거의 보고되지 않았다. 이에 본 연구에서는 주요 공정변수인 critical plasma spray parameter(CPSP)를 제어하여 MgAl₂O₄ 코팅 시편을 제작하고 동시에 비행입자 정보를 계측하여 CPSP가 비행입자 특성 및 코팅 미세구조, 기계적 특성에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

G3B-10 | 데이터 기반 세라믹 소재 플라즈마 저항성 평가 및 CF₄ 혼합 플라즈마 반응 특성 분석

장성균¹, 최가인¹, 전준혁^{1,2}, 김선길¹, 김현미¹, 김슬기¹, *김형근¹, *이우성¹

¹한국전자기술연구원, ²성균관대학교

고성능, 고집적 반도체의 요구가 증가함에 따라 건식 식각 공정의 플라즈마 에너지 밀도, 공정 시간 및 비용이 증가하고 있다. 또한, 식각 공정에서 발생하는 화학반응을 변화시켜 식각 속도와 선택비, 균일도를 제어하기 위해 고온 식각 공정이 도입되고 있으나 고에너지, 고온 플라즈마는 부식성이 강하여 타겟 기판뿐 아니라 챔버 내부의 세라믹 부품도 에칭하기 때문에 공정의 품질에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이를 방지하기 위해 플라즈마 저항성이 우수한 Y계 및 MgO계 소재가 연구되고 있지만, 고온에서 플라즈마의 반응 특성과 세라믹 소재 부품의 플라즈마 저항성 연구가 충분히 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 CF₄ 혼합 플라즈마의 반응 특성을 분석하기 위해 비행시간 질량분석법을 이용하여 플라즈마 내의 화학종의 농도를 측정하였다. 또한, 머신러닝을 활용하여 플라즈마의 반응 메커니즘을 모델링하고, 플라즈마의 챔버의 온도, 플라즈마 파워 등의 공정 변수에 따른 반응 특성을 분석하였다. 분석한 CF₄ 혼합 플라즈마의 반응 특성을 바탕으로

다양한 온도에서 Y계 및 MgO계 세라믹 재료의 플라즈마 내식성 예측 및 평가를 수행하였다. 본 연구의 결과는 고온 식각 공정에서 사용되는 세라믹 부품의 재료 개발 뿐 만 아니라, 공정 중 수집한 데이터 기반 공정 진단과 식각 장비 표준화 및 최적화의 가능성을 제시한다.

G3B-11 | Fabrication of functionally graded multi-ceramic structure using digital light processing (DLP) 3D printing technique and passive in-line mixing

KIM Gyu-Nam¹, JUNG Jae-Min¹, JEON Jong-Won¹, CHOE Gyu-Bin¹, PARK Jae-hyung¹, *KOH Young-Hag¹

¹Korea University

To fabricate multi-ceramic material structure in a gradient manner based on the digital light processing (DLP) principle, a novel 3D printing technique with passive mixing system was developed. 4-mol% and 5-mol% yttria partially stabilized zirconia (PSZ) materials were used to additively manufacture functionally graded material (FGM) ceramic parts. With in-line mixing concept using static mixer being adopted to DLP 3D printing technique, FGM structure was created with using two different ceramic suspensions. In the process, the extrusion ratio of both suspensions are controlled, which flows through a static mixer attached onto custom-built DLP 3D printer. After extrusion, layers of suspensions are solidified in a functionally graded manner at stacking direction, hence, compositionally graded zirconia products are fabricated. Besides to the printing technique, two highly-loaded suspensions with 50 vol% were prepared to obtain similar viscosity and curing behavior by powder modification and suspension optimization. Furthermore, to fully prove the gradient within a single printed body, comprehensive mechanical, optical and microstructural analysis were performed to demonstrate controlled compositional change according to the initial design.

G3B-12 | Corrosion Resistance of Fe- and Ni-based Alloys for Molten Salt Reactors According to Cr and Mo Contents

김수형¹, *윤영수¹

¹가천대학교

원자력 발전에 대한 관심이 커짐에 따라 원자력 발전소 사고를 배제할 수 있는 새로운 개념의 4세대 원자로에 대한 연구가 진행되고 있다. 4세대 원자로 중 용융염 원자로 (Molten Salt Reactor)는 냉각재로 물 대신 용융염을 사용하며 대기압에서의 작동, 높은 안전성, 높은 열효율 등의 장점을 가지는 원자로이다. MSR은 물이 아닌 용융염 환경에서 작동하기 때문에 구조재의 높은 내부식 특성을 요구한다. 염소계 염을 사용하였을 때, 연료의 농축이 쉽고 수소 생산의 부가적 이점이 있어 염소계 염에 대한

연구가 진행 중 이다. 따라서 MSR의 구조재는 염소계 염에서의 안정적인 내부식 특성을 가져야 한다. 본 연구에서는 Fe 및 Ni계 합금이 염소계 염에서 가지는 내부식 특성에 대한 연구를 진행했다. AlCl_3 가 추가된 염에서는 SUS316L, Hastelloy C-276, Hastelloy N이 각각 $158.56\mu\text{m}$, $27.57\mu\text{m}$, $46.57\mu\text{m}$ 의 부식 깊이를 가졌으며, CeCl_3 가 추가된 염에서는 $180.00\mu\text{m}$, $46.43\mu\text{m}$, $40.86\mu\text{m}$ 의 부식 깊이를 가지는 것을 확인했다. SUS316L은 표면 및 내부에서의 부식이, Hastelloy N은 표면에서의 부식이 관찰되었다. SUS316L, Hastelloy C-276, Hastelloy N 중 Hastelloy C-276이 좋은 내부식 특성을 가지는 것이 확인되었고, Cr 및 Mo의 함량에 따라 가지는 내부식 특성이 달라지는 것을 확인했다. 따라서 Hastelloy C-276이 MSR의 구조재 후보 물질로의 가능성을 보여준다.