

Effects of Sintering Conditions on the Electrical Conductivity of 1 wt% Y₂O₃-Doped AlN Ceramics

Won-Jin Lee,^{***} Sung-Min Lee,^{*†} Kwang-Bo Shim,^{**} and Hyung-Tae Kim^{*}

^{*}Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Seoul 153-801, Korea

^{**}Department of Materials Science and Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received December 4, 2006; Accepted January 11, 2007)

1 wt% Y₂O₃ 첨가계 AlN 세라믹스의 소결 조건에 따른 전기전도도

이원진^{***} · 이성민^{*†} · 심광보^{**} · 김형태^{*}

^{*}요업(세라믹)기술원 기능소재팀

^{**}한양대학교 신소재공학과

(2006년 12월 4일 접수; 2007년 1월 11일 승인)

ABSTRACT

Electrical properties of AlN ceramics sintered with 1 wt% Y₂O₃ have been investigated. From the impedance spectroscopy, electrical conductivity of grain boundary was found to be much lower than that of grain. DC conductivity measurement showed the electrode polarization effects caused by blocking electrode. The heat-treatment at 1700°C of the specimen sintered at 1850°C transformed continuous grain boundary phases along triple boundary junctions into isolated particles in grain corners. The heat-treatment induced decreases both in grain and grain boundary conductivity, and in DC electrical conductivities. From the analysis on the transference number, ionic conductivity was shown to be more dominant than electron conductivity, which was due to ion compensation mechanism during oxygen incorporation into grain.

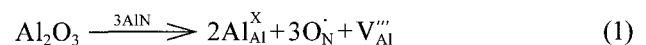
Key words : AlN, Electrostatic chuck (ESC), DC conductivity, Impedance spectroscopy, Ionic conductivity

1. 서 론

이론 열전도도가 320 W/m·K인 질화알루미늄(aluminum nitride)은 반도체 제조 공정에서 웨이퍼의 균일한 온도 분포를 필요로 하는 정전척 소재로서 많이 사용되고 있다. 이 때 열적 특성도 중요하지만 AlN 기판표면에 정전기력을 발생시켜 웨이퍼를 끌어당기려면 소재의 전기적 특성 또한 매우 중요하다. 정전기력을 사용하여 웨이퍼를 고정시키는 기구에는 크게 쿨롱법과 존슨-라벡법이 알려져 있다.¹⁻⁸⁾ 쿨롱법은 웨이퍼와 전극사이에 고저항의 유전체가 존재하고 1000-3000 V 정도의 고전압을 전극에 가함에 따라 발생하는 정전기력에 의하여 웨이퍼를 고정하는 힘이 발생한다.^{3,6,7)} 이에 비하여 존슨-라벡형은 10⁹~10¹³ Ω·cm 정도의 저항을 갖는 유전체를 사용하고 전극에 수백 V의 전압을 가한다. 이때 전하운반자가 유전체의 표면으로 이동하고 이 전하와 웨이퍼와의 정전기력에 의하여 웨이퍼를 고정하는 힘이 발생한다. 기존의 존슨-라벡형 정전척의 작동 메커니즘은 유전체의 전하운반자가 전자 혹은 정

공인 경우에 생기는 고정력에 기인하는 것으로 설명되고 있다.¹⁻⁵⁾ 그러나 실제 사용되는 유전체의 경우 전자 혹은 정공 이외에도 이온이 전하 운반자가 되는데 이에 대한 분석은 매우 미진한 실정이다.

최근 정전척 소재로 널리 사용되는 AlN 소재의 경우 carbothermal법으로 제조된 AlN 분말⁹⁻¹¹⁾을 사용하여 제조된다. Carbothermal 공정으로 생산되는 AlN 상용분말에는 일반적으로 1 wt%전후의 산소가 포함되어 있다. 따라서 소결조제로 Y₂O₃를 사용하는 경우 AlN 원료중의 상당량 Al₂O₃ 성분과 소결조제인 Y₂O₃가 반응하여 YAG와 같은 Yttrium-Aluminate를 형성하고, 나머지 약 0.5 wt%의 산소는 다음식과 같은 반응을 통하여 AlN 입자내에 고용된다고 알려져 있다.¹²⁾



이렇게 질소자리에 치환된 산소 이온이 AlN 세라믹스의 전기전도도에 미치는 영향에 대하여 여러 연구들이 진행되었다.¹³⁻¹⁶⁾ 제백 효과를 측정하거나 galvanic cell 연구를 통하여 AlN 세라믹스의 전기전도도는 전자에 의하여 이루어진다는 보고^{13,15)}가 있는가 하면 임피던스 분광 분석법을 기초로 Al자리의 공극(vacancy)이 주 전하 전달자

[†]Corresponding author : Sung-Min Lee

E-mail : smlee@kicet.re.kr

Tel : +82-2-3282-2471 Fax : +82-2-3282-7793

라는 연구도 있었다.¹⁶⁾ 그러나 입자와 입계의 전기전도도를 명확히 분리하여 각각의 영향을 연구한 경우는 드물며 특히 통상의 금속전극처럼 이온이 전달되기 어려운 이온 blocking 전극의 효과에 대하여서는 아직까지 연구가 진행되지 못하였다.

본 연구에서는 AlN에 Y₂O₃를 1 wt% 첨가하여 소결 온도와 소결 조건을 달리하여 생기는 미세구조 차이를 확인하고 이에 따라 변화되는 입내와 입계에서의 전기 전도도를 임피던스 분광법을 이용하여 분리 관찰하고자 하였다. 또한 이를 DC 전도도와 비교하여 AlN 세라믹스의 전기 전도 기구를 분석하였다. 이러한 결과를 바탕으로 AlN의 전기전도기구가 AlN 소재의 정전적소재로의 기능에 미치는 영향에 대하여 고찰하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용된 AlN 분말(Grade F, Tokuyama Soda Co. Ltd., Japan)은 산소함유량이 0.8 wt%, 평균입径이 약 1.3 μm이다. 소결조제로 Y₂O₃(Grade C, H.C. Starck, Germany)를 사용하였다. 소결조제인 Y₂O₃를 1 wt% 첨가한 AlN 분말을 무수 알코올에 넣고 20시간 동안 혼합, 밀링하여 슬러리를 제조하였다. 혼합이 완료된 슬러리를 마그네틱 바를 이용하여 침전되지 않도록 교반시키며 건조하였고 이후 80°C 오븐에서 20시간 동안 건조시킨 후 알루미늄 유발을 이용하여 분쇄한 뒤 40 mesh로 체가름하여 혼합 분말을 제조하였다.

체가름을 마친 분말을 직경 40 mm인 흑연 몰드에 장입하고 질소 분위기에서 가압하였다. 1700°C 혹은 1850°C 까지 승온 시킨 후 3시간 동안 20 MPa의 압력으로 가압 소결한 후 상온까지 로냉하였다. 또한 1850°C 소결한 시편을 소결이 끝난 후 다시 재가열하여 1700°C 온도에서 5시간 열처리하고 상온까지 로냉한 시편을 별도 준비하였다.

소결된 시편의 결정상을 분석하기 위하여 고출력 X-선 diffractometer(D/max-2500/PC, Rigaku, Japan)로 40 kV, 200 mA의 조건에서 1.2°/min의 스캔 속도로 10~80°까지 회절 패턴을 측정하였다. 2차상의 분포 및 정확한 형상을 확인하기 위하여 FE-SEM(JSM-7600F, Jeol, Japan)으로 BSE(Back-scattered electron) 이미지를 관찰하였다. 입계 주변과 2차상의 형상을 자세하게 관찰하기 위해서 200 keV 주사 투과 전자현미경(STEM; Tecnai™ F20, FEI Company, U.S.A.)을 사용하였다.

WDS(wavelength dispersive X-ray spectroscopy)방법으로 EPMA(Electron Probe Micro Analyzer, JXA-8200, Jeol, Japan)를 사용하여 입내의 산소함량을 분석하였다. 1 μm 크기의 spot으로 정성분석을 실시해서 주요 성분을 알아내고, 이후 상대적으로 명암차가 밝은 입자 3개와 어두운 입자 3개를 골라서 정량분석을 실시하고 평균과 표준

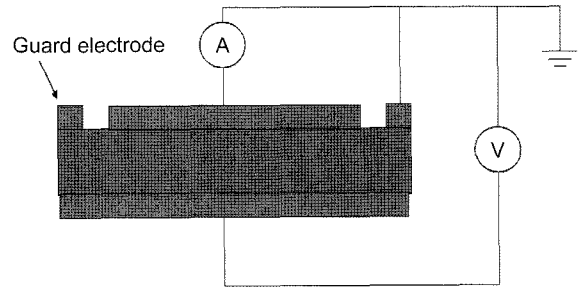


Fig. 1. Guarded electrode method.

편차를 구하였다. 레이저 섬광법(laser flash method)으로 상온(25°C)에서의 열전도도를 측정하였다. 이때 레이저의 반사를 막고 흡수를 돕기 위하여 시편의 표면에 카본을 도포하였다.

측정하고자 하는 시험편은 절연체에 가까울 정도로 고저항이기 때문에 시편의 표면을 따라 흐르는 표면전류를 제거하기 위하여 guarded electrode법을 사용하여 DC, AC 전기적 특성을 측정하였다(Fig. 1). 측정을 위해 소결이 완료된 AlN 소결체를 두께 0.5 mm로 가공하고 은 페이스트(DHC-8083(t)-2, Daejoo)를 시편에 도포한 후 질소분위기에서 850°C, 20분 동안 열처리하여 전극을 형성하였다. 10 V/mm 전계하에서 150~400°C 구간의 DC 저항을 각 온도에서 1000초 동안 측정하였다.

복소임피던스를 임피던스 분석기(SI 1260, solatronanalytical, UK)를 사용하여 측정하였다. 10 MHz-10 Hz까지는 OSC level 0.1 V, 10 Hz-1 MHz까지는 OSC level 1 V로, 25~300°C 범위에서는 10 mHz-10 MHz, 300~400°C 구간에서는 1 mHz-10 MHz 주파수 범위에서 측정하였다. 입내저항과 입계저항을 Zview(Version 2.9c, Scribner Associates, Inc.)프로그램에서 curve fitting하여 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

Y₂O₃를 1 wt% 첨가하고 1700°C에서 3시간 소결한 시편, 1850°C에서 3시간 소결한 시편, 그리고 1850°C에서 3시간 소결 후 1700°C 재열처리한 시편의 결정상 분석 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 분석 결과 세 시편 모두 주결정상이 AlN상이었으며 부결정상으로 YAG(Y₃Al₅O₁₂)상과 α-Al₂O₃상을 포함하고 있었고 시편에 따른 2차상의 상대적인 intensity 차이는 미약하였다. 본 연구에 사용한 AlN 분말은 carbothermal법으로 제조된 것으로 약 0.8 wt%의 산소를 함유하고 있는데, 이 산소가 oxide 형태로 있다고 가정하면 1 wt%의 Y₂O₃ 첨가는 Al₂O₃와 Y₂O₃ 사이의 반응을 유발한다고 볼 수 있다. 소결온도가 1760°C 이상이면 소결과정 중에 액상으로 그 이하이면 고상상태로 소결이 진행되리라고 기대된다. 어느 경우이나 냉각과정 중에서 Fig. 3의 상태도에서 보이듯이 YAG상과 α-Al₂O₃상

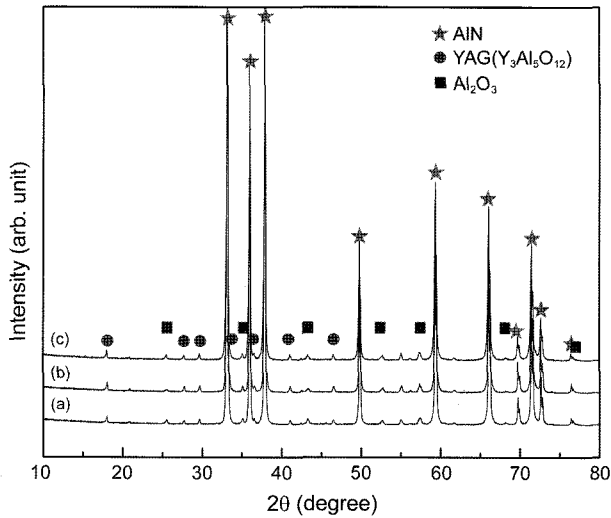


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of the specimens sintered at (a) 1700°C, (b) 1850°C, and (c) 1850°C and then heat treated at 1700°C.

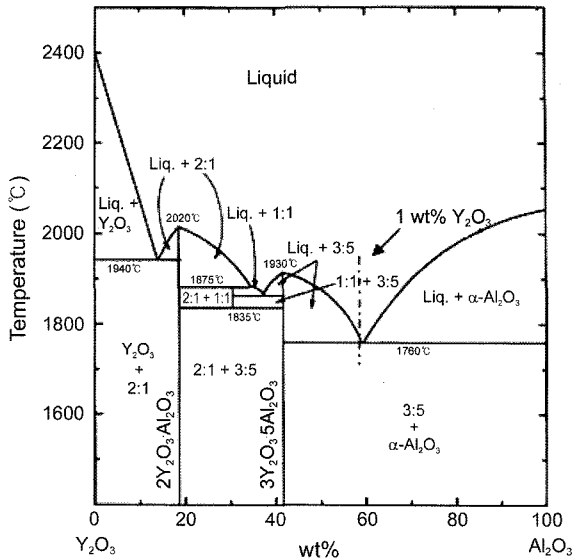


Fig. 3. Phase diagram of Y_2O_3 - Al_2O_3 binary system.²²⁾

의 석출을 예상할 수 있다.

소결조건의 차이에 따라 AlN 입자크기 뿐만 아니라 이차상의 형태도 매우 다르게 나타났다. Fig. 4(a)는 1700°C에서 3시간 소결한 시편의 미세구조를 보여주고 있다. 입계가 뚜렷하게 형성되어 있고 결정립끼리는 직접접촉을 하고 있는 것으로 보인다. YAG상의 분포를 BSE 이미지로 관찰한 결과 2차상은 입자 사이의 코너에 고립된 형태로 위치하고 있었다. 1850°C에서 3시간 소결한 시편은 1700°C에서 소결한 시편에 비해서 입자 크기가 크게 증가한 것을 볼 수 있었고 삼중점(triple junction)을 따라 연속적인 2차상의 모습을 관찰할 수 있었다(Fig. 4(b)). 이는 액상소결 과정 중에 삼중점을 따라 형성된 액상이 빠른

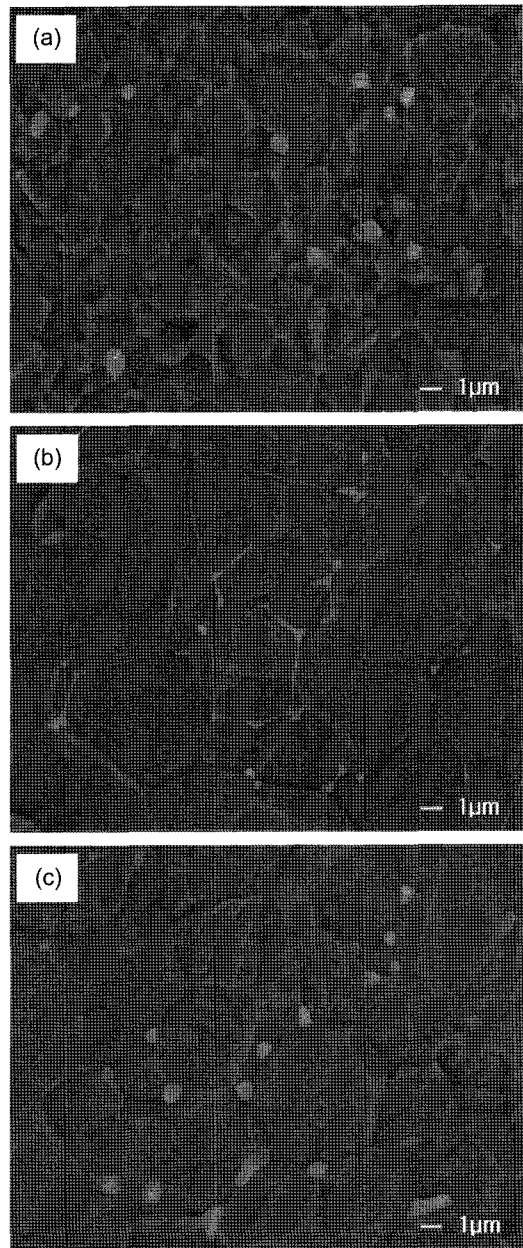


Fig. 4. SEM micrographs (backscattered electron images) of the specimens sintered at (a) 1700°C, (b) 1850°C, and (c) 1850°C and then heat treated at 1700°C.

냉각 과정 중에 그대로 유지된 것으로 판단된다. Fig. 4(c)는 1850°C에서 소결하고 1700°C에서 5시간 동안 열처리한 시편의 미세구조를 보여주고 있다. 1850°C에서 소결한 시편과 비슷한 입자크기를 가지고 있었지만 1700°C에서 소결한 시편과 유사하게 입자 코너에서 불연속적인 2차상 입자를 형성하고 있었다. 즉, 1700°C에서 3시간 소결한 시편과 1850°C에서 소결하고 1700°C에서 5시간 열처리한 시편은 입자 형상은 유사하지만 입자 크기가 다르고, 1850°C에서 소결한 시편과 1850°C에서 소결하고 1700°C에서 5

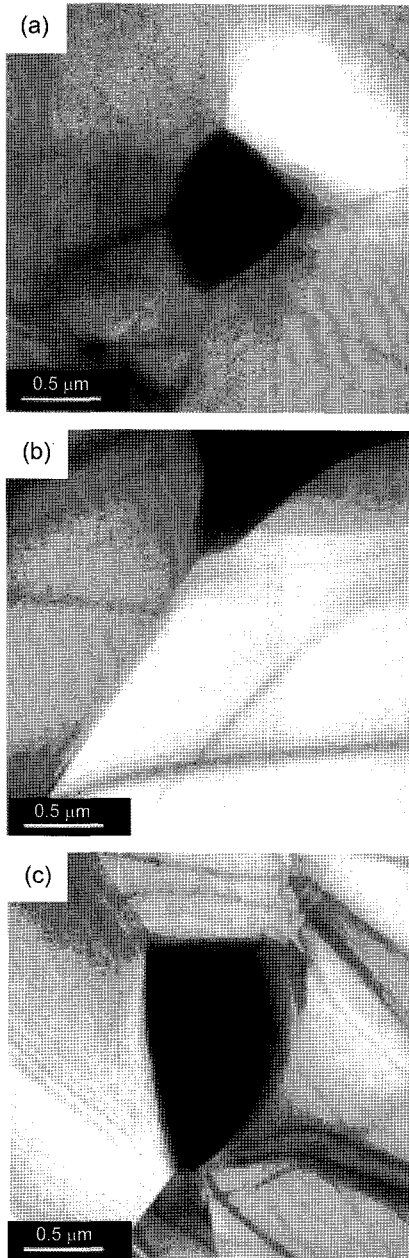


Fig. 5. TEM images showing grain boundary phases in the specimens sintered at (a) 1700°C, (b) 1850°C, and (c) 1850°C and then heat treated at 1700°C.

시간 열처리한 시편은 입자 크기는 유사하지만 입자형상이 다르게 나타났다.

2차상의 형상을 투과전자현미경으로 관찰한 결과(Fig. 5) 1700°C에서 소결한 시편과 1850°C에서 소결하고 1700°C에서 열처리한 시편은 2차상이 볼록(convex)한 형태를 유지하고 있다(Fig. 5(a),(c)). 1850°C에서 소결한 시편의 경우 2차상이 삼중점을 따라 존재하지만 Fig. 5(b)에서 보이듯이 이면각이 0° 보다 커서 입계면으로 액상의 침투는 일어나지 않은 것으로 판단되었다.

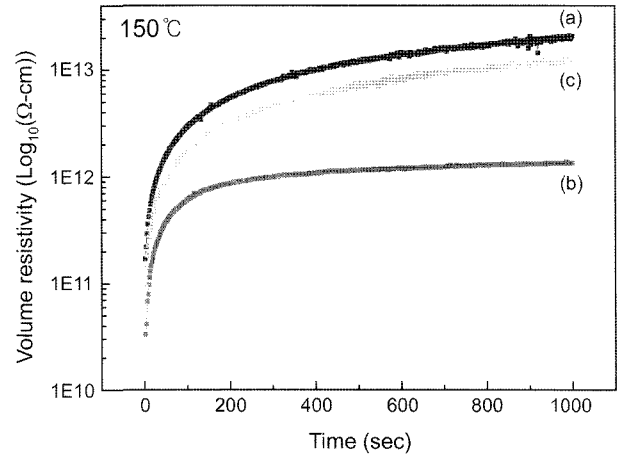


Fig. 6. Volume resistivity of the specimens sintered at (a) 1700°C, (b) 1850°C, and (c) 1850°C and then heat treated at 1700°C.

10 V/mm 전계하에서 각각 시편의 직류 저항을 1000 sec 동안 측정하였다(Fig. 6). 체적저항은 시간에 따라 급격히 증가하다가 일정 시간이 흐른 뒤에 포화되었다. 이는 전하 운반자(charge carrier)가 전극에서 blocking되어 전류 흐름이 점차로 차단되는 전극에 의한 분극효과로 판단된다. 본 연구에서는 은 전극을 사용하였으므로 전자의 흐름은 전극과 시편의 계면에서 방해 받지 않는데 비하여 이온의 흐름은 전극에 의해서 제한될 수 있다. Jang과 Choi¹⁶⁾의 연구처럼 AlN의 주요 전하 운반자가 Al 자리의 공극(vacancy)인 이온결함인 경우 나타날 것으로 예상되는 결과이다. 따라서 직류 저항측정의 초기에는 이온과 전자 이동이 전체 전류 흐름에 기여하나 이온의 흐름이 점차로 전극에 의하여 제한되다가 최종적으로 전자에 의한 이동만이 전류 흐름에 기여하는 것으로 볼 수 있다. 다만 이것은 전극에서 석출물의 생성과 소멸처럼 이온의 source와 sink가 없다는 가정을 전제로 한 것이다. Fig. 6의 결과가 비교적 저온인 150°C에서 측정된 것을 감안하면 이러한 가정이 비교적 잘 적용되리라 판단된다. 시간에 따른 전류의 흐름의 변화를 보면 1700°C 소결한 시편과 1850°C 소결하고 1700°C에서 열처리한 시편의 경우 비슷한 형태를 보이지만 1850°C에서 3시간 소결한 시편은 비교적 짧은 시간안에 전류의 흐름이 포화되는 것을 알 수 있다. 이는 전하운반자의 농도 및 이동도가 소결 및 열처리 조건에 따라 크게 달라짐을 의미한다.

측정주파수 f 에 따른 커패시턴스 C_p 와 그에 따른 유전율 ϵ 을 저항과 커패시터의 병렬연결을 가정하고 복소 임피던스(Z_{real} , Z_{imag})로부터 다음의 식을 사용하여 계산하였다.

$$C_p = \frac{-Z_{imag.}}{2\pi f(Z_{real}^2 + Z_{imag.}^2)} \quad (2)$$

Fig. 7에 보이듯이 유전율은 크게 주파수 범위에 따라

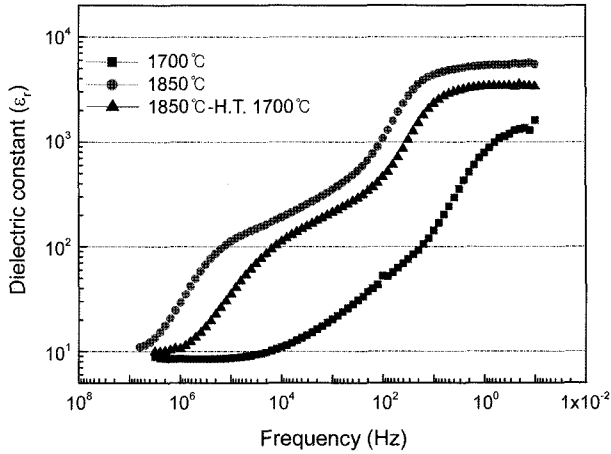


Fig. 7. Dielectric constants as a function of frequency measured at 150°C.

3가지 영역으로 구분되었다. 1 MHz 전후의 영역에서는 통상의 AlN 유전상수로 알려진 유전상수 9 전후의 값이 얻어졌다. 그러나 1850°C에서 소결한 시편의 경우 10⁴ Hz 전후에서 유전상수 100-1000, 10² Hz 이하에서 5×10³ 대의 유전상수를 보여주었다. 이러한 결과는 시편내의 서로 다른 세 가지의 분극 기구가 존재함을 암시한다. 유전상수 결과로 보아 고주파 영역대는 입자에 기인한 것으로 판단되며 10⁴ Hz 범위에서는 입계, 10² Hz 이하에서는 이온 분극에 의한 효과로 추정할 수 있다. 이러한 추정을 바탕으로 임피던스 분광법으로 입내저항과 입계저항을 분리하고자 하였다.

Fig. 8(a)은 150°C에서 측정한 1850°C 소결시편의 열처리 유·무에 따른 임피던스 스펙트럼의 변화를 보여주고 있다. 입내저항에 비하여 입계저항이 1 order 이상 크게 나타나고 열처리에 의하여 입내저항과 입계저항이 1 order 정도 증가하는 것을 보여주고 있다. 1700°C에서 소결한 시편의 경우 입내저항이 1850°C 소결시편보다 10⁴ 이상 높게 나타났고 측정 장비의 한계 때문에 입계저항을 구할 수 없었다(Fig. 8(b)).

결정립과 입계의 저항을 분리하여 온도에 따른 전기전도도를 표시하고 활성화 에너지를 구하였다(Fig. 9). 1700°C에서 소결한 시편의 경우 결정립 전기전도도의 활성화 에너지는 0.87 eV이었고, 1850°C에서 소결한 시편의 경우와 1850°C에서 소결하고 열처리한 시편의 경우는 활성화 에너지가 각각 0.60 eV과 0.61 eV로 비슷한 값을 가지고 있었다. 활성화 에너지가 같다는 것은 입내의 전기 전도 기구가 유사하다는 것을 의미할 수 있다. 측정 장비의 범위를 벗어나는 높은 입계 저항을 지닌 1700°C에서 소결한 시편을 제외한 1850°C에서 소결한 시편의 경우는 입계의 활성화 에너지가 0.71 eV이고 1850°C에서 소결하고 열처리한 시편의 경우는 0.76 eV이었다. 열처리에 따라 활성화 에너지가 미세하게 다른 이유는 시편의 최종 열처리

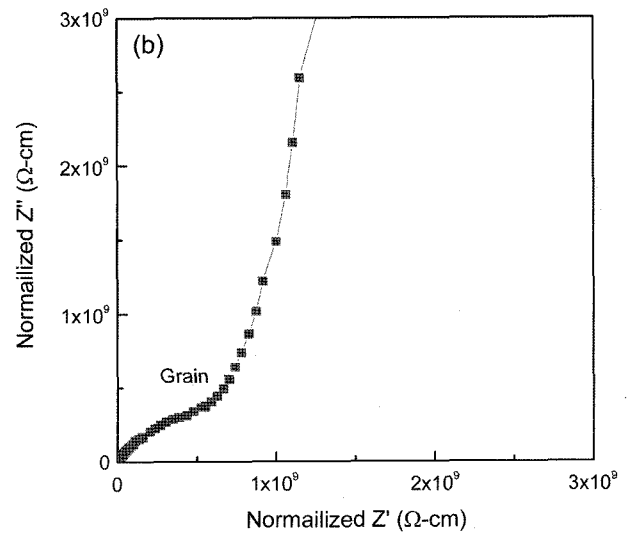
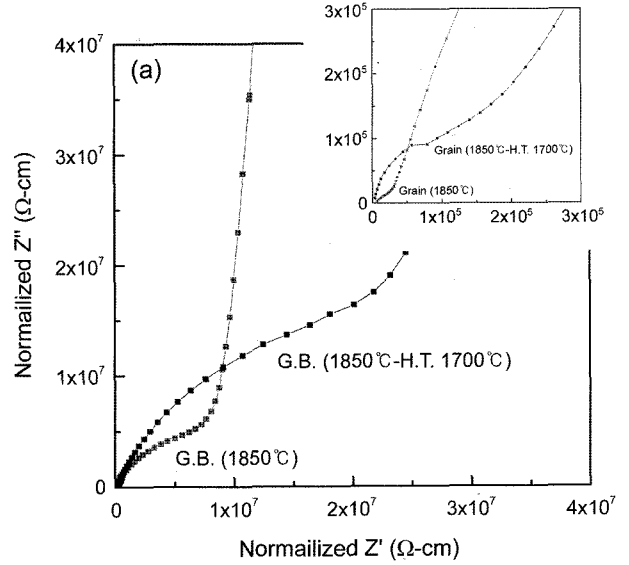


Fig. 8. Complex impedance spectrum measured at 150°C of the specimens sintered at (a) 1850°C and 1850°C and then heat treated at 1700°C and at (b) 1700°C.

온도에 따라 입계의 특성이 차이 나기 때문으로 추정된다.

AlN 입내의 결함은 산소이온의 농도와 열전도도의 상관관계에서 많은 연구가 이루어져 왔다.^{12,17-21)} 산소이온의 고용은 식 (1)과 같이 Al vacancy를 형성하고 이러한 결함의 형성은 phonon scattering의 site로 작용하여 열전도도를 낮추는 것으로 알려져 있다.¹²⁾ Al vacancy의 농도는 또한 전하 전달자로서 이온전도도에 기여하게 된다. Table 1은 EPMA로 분석한 AlN 입자내의 산소 함량과 상온에서 측정된 열전도를 보여주고 있다. 소결온도가 높아짐에 따라 AlN 입자내의 산소 함량이 낮고 열전도도가 향상되었다. 이는 고온일수록 입자정상이 활발히 일어나 입자내에 포함된 산소가 소결조제인 Y₂O₃와의 반응으로 제거되기 쉽기 때문으로 판단된다. 이에 비하여 1700°C에

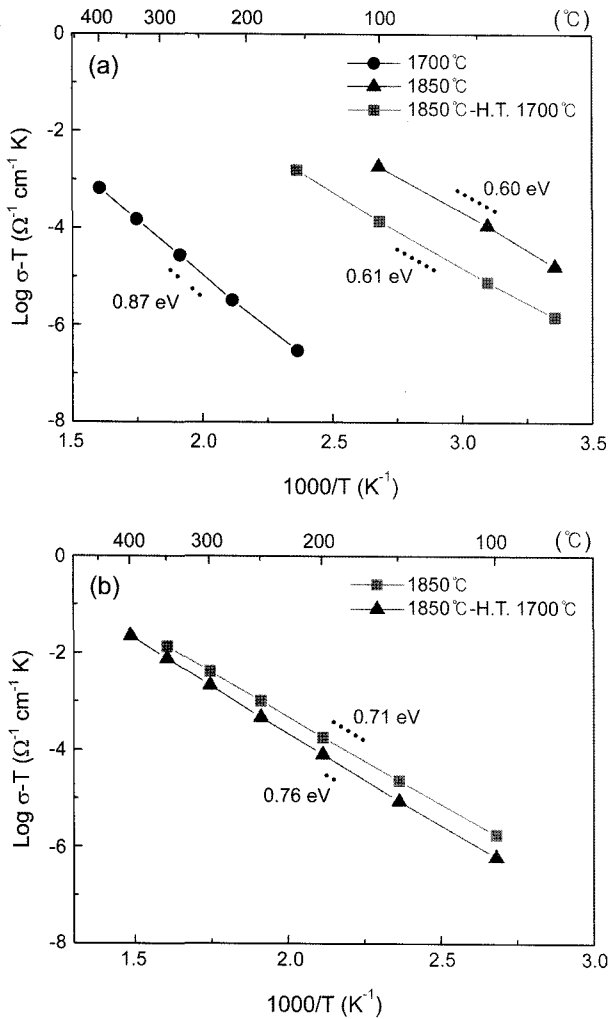


Fig. 9. Variations of (a) grain and (b) grain boundary conductivities with temperatures.

Table 1. Oxygen Concentration in Grains and Thermal Conductivity

Sample name	1700°C	1850°C	1850°C-H.T. 1700°C
Oxygen concentration (wt%)	0.87	0.65	0.70
Standard deviation (%)	0.26	0.20	0.26
Thermal conductivity (W/m·K)	75.0	83.3	84.7

서의 열처리는 산소함량과 열전도에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 2차상의 형태 또한 양이 많지 않기 때문에 2차상이 열전도도에 큰 영향을 주기 어려운 것으로 판단된다.

Fig. 10(a)는 10 V/mm의 전계하에서 1000 sec 이후의 전기전도도를 온도에 따라 나타내고 활성화 에너지를 구한 것이다. 1700°C 소결시편과 1850°C 소결하고 1700°C에서 열처리한 시편의 경우 저온에서 1000 sec 이내에 전기전도도가 일정한 값에 도달하지 못하였다. 주로 300°C 이상

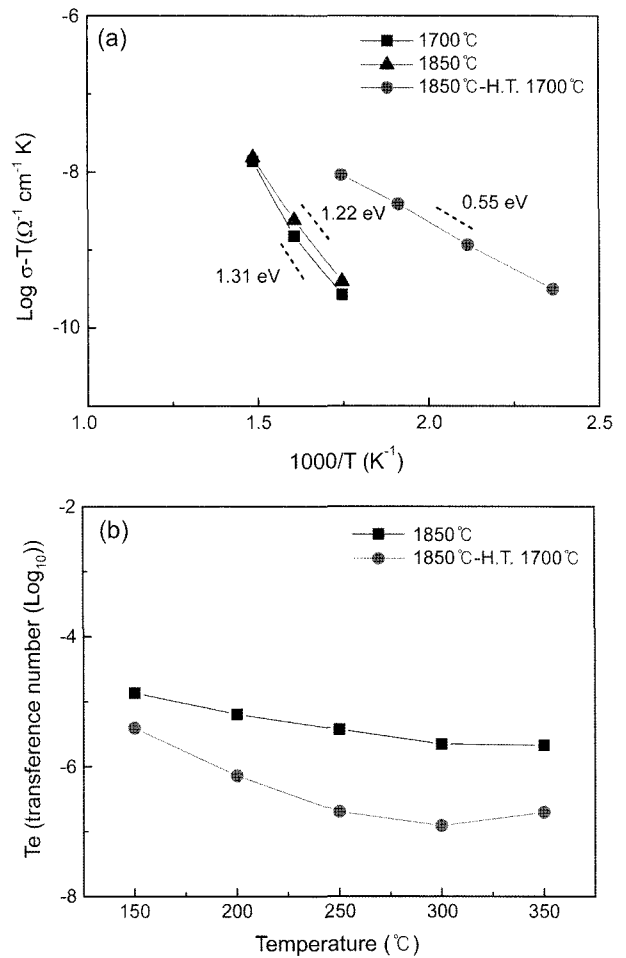


Fig. 10. Variations of (a) DC conductivity of specimens and (b) calculated transference numbers with temperatures.

의 고온 데이터를 위주로 살펴보면 1700°C 시편과 1850°C 소결하고 1700°C 열처리한 시편이 유사한 전기전도도와 활성화 에너지를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 또한 1850°C 소결시편과 1850°C 소결 후 1700°C 열처리한 시편의 전자 혹은 정공에 의한 transference number를 DC 저항과 입자·입계 저항으로부터 구하여 보면 Fig. 10(b)와 같다. 즉, 열처리는 전체 전도도에서 전자 혹은 정공에 의한 전도도를 낮추는 것을 알 수 있다.

임피던스 분광법에 의한 결과와 DC 측정에 의한 결과를 종합하여 보면 1 wt%의 Y₂O₃가 첨가된 AlN 세라믹스는 주로 이온 전도에 의하여 전기전도가 일어나며 blocking 전극에 의한 분극효과가 강하게 나타남을 알 수 있었다. 이온에 의한 전도가 주로 일어나고 blocking 효과가 적게 나타나는 고주파 영역에서 측정된 입자와 입계의 저항이 열처리에 따라 크게 바뀔 뿐 아니라 전자 혹은 정공전도가 대부분 기여하는 DC 저항 또한 열처리에 의하여 크게 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 소결 온도가 낮은 시편의 경우 이온전도성에서는 고온에서 소결한 시편과 비

교하여 크게 낮으나 전자전도도는 고온 소결시편을 동일한 온도에서 열처리한 시편과 비교하여 유사한 것을 알 수 있었다.

이러한 결과는 AlN 세라믹스의 전자에 의한 전도도가 intrinsic한 성질보다는 donor에 의한 extrinsic한 부분에 크게 의존한다는 것을 암시한다. 산소 이온이 AlN 결정립 내에 용해될 때 식 (1)과 같이 ionic compensation 이외에도 식 (3)과 같은 electronic compensation 기구 또한 가능하다.

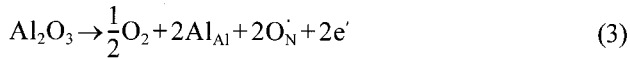


Fig. 10의 결과를 보면 AlN 세라믹스의 경우 ionic compensation 기구가 electronic compensation 기구보다 월등히 우세한 것을 알 수 있으며 ionic compensation과 electronic compensation의 비는 최종적인 열처리 조건에 의하여 결정된다고 추정할 수 있다. 본 연구에서 나타난 결과는 전자의 이동도 변화 등 매우 다양한 검토 사항이 있을 수 있으나 열처리 온도가 낮을수록 ionic compensation이 우세하게 일어나는 것을 뜻한다.

이온 전도도를 가지는 AlN 세라믹스를 정전척 소재로 사용하는 경우 기존의 이론과는 달리 전극에서의 이온 이동의 blocking 효과를 고려하여야 한다. 통상 정전척에 사용되는 유전체 소재는 커패시터와 저항의 병렬연결을 가지는 등가 회로로 묘사되어 왔다.^{3,4)} 그러나 이온 전도가 주가 되는 세라믹스를 유전체로 사용하는 경우 이온의 분극효과를 고려하여 등가회로가 구성되어야 된다고 보여진다.²²⁻²⁵⁾ 이럴 경우 전압을 인가하였을 때 웨이퍼 고정력(chucking)의 시간에 따른 변화와 전압을 제거하였을 경우 고정력 해제(dechucking)의 kinetics는 소재내의 이온의 확산 kinetics와 밀접히 연관될 것으로 기대된다. 따라서 정전척 소재 특히 존슨-라베 효과를 이용하는 경우 유전체의 이온 전도도와 전극 효과를 면밀히 검토하여야 정전척 기능의 변화를 이해할 수 있으리라 판단된다.

4. 결 론

복소 임피던스 분광 분석 결과 AlN 세라믹스의 결정립의 저항보다 입계의 저항이 매우 큰 것으로 관찰되었으며 전극에 의한 저항이 더욱 높은 것으로 나타났다. 미세구조 분석 결과 1850°C에서 소결한 시편은 삼중점에서 연속적인 2차상을 가지고 있었고 이 시편을 열처리하면 2차상이 삼중점에서 고립되는 구조로 바뀌면서 1700°C에서 소결한 시편과 유사한 모양의 미세 구조를 가짐을 확인할 수 있었다. 연속적인 입계상을 지닌 1850°C에서 소결한 시편의 경우보다 소결 후 열처리한 시편의 경우가 입자와 입계의 저항이 높은 것을 알 수 있었다. 전자 전

도가 대부분 기여하리라고 믿어지는 DC 전도도는 결정립과 입계의 전기전도도보다 열처리에 의하여 더욱 크게 영향을 받았다. 1850°C에서 소결한 시편을 1700°C에서 열처리하면 입내의 산소함량과 열전도도는 크게 영향을 받지 않는데 비하여 DC 전도도는 크게 낮아져 1700°C 소결시편과 유사한 값을 보여주었다. 여러 가지 가정을 바탕으로 두고 전자 전도에 의한 transference number를 구하여 보면 AlN 세라믹스는 이온전도에 의한 전도도가 전자전도에 의한 전기전도도보다 월등히 큼을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로부터 AlN 세라믹스를 정전척 소재로써 사용하는 경우 이온에 의한 분극이 웨이퍼의 고정력에 중요한 역할을 함을 알 수 있었다.

REFERENCES

1. R. Atkinson, "A Simple Theory of the Johnson-Rahbek Effect," *Brit. J. Appl. Phys.*, **2** [2] 325-32 (1969).
2. T. Watnabe, T. Kitabayashi, and C. Nakayama, "Electrostatic Force and Absorption Current of Alumina Electrostatic Chuck," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **31** 2145-50 (1992).
3. T. Watnabe, T. Kitabayashi, and C. Nakayama, "Relationship Between Electrical Resistivity and Electrostatic Force of Alumina Electrostatic Chuck," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32** 864-71 (1993).
4. J. van Elp, P. T. M. Giesen, and A. M. M. de Groof, "Low-thermal Expansion Electrostatic Chuck Materials and Clamp Mechanisms in Vacuum and Air," *Microelectronic Eng.*, **73-74** 941-47 (2004).
5. G. Kalkowski, S. Risse, G. Harnisch, and V. Guyenot, "Electrostatic Chucks for Lithography Applications," *Microelectronic Eng.*, **57-58** 219-22 (2001).
6. J. C. Bang, "Fabrication of Borosilicate Glass-Coated Electrostatic Chucks(in Korean)," *J. Microelectronics & Packaging Soc.*, **9** [1] 49-52 (2002).
7. G. Kalkowski, S. Risse, and V. Guyenot, "Electrostatic Chuck Behavior at Ambient Conditions," *Microelectronic Eng.*, **61-62** 357-61 (2002).
8. G. Kalkowski, S. Risse, S. Müller, and G. Harnisch, "Electrostatic Chucks for EUV Masks," *Microelectronic Eng.*, **83** 714-17 (2006).
9. C. M. Whang, W. J. Jeong, and S. W. Choi, "Synthesis of Aluminum Nitride Powder from Aluminum Hydroxide by Carbothermal Reduction-Nitridation(in Korean)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **31** [8] 893-901 (1994).
10. W. S. Jung, "Synthesis of Aluminum Nitride Powders and Whiskers from a (NH₄)[Al(edta)]·2H₂O Complex under a Flow of Nitrogen(in Korean)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **39** [3] 272-77 (2002).
11. S. K. Yang and J. B. Kang, "Synthesis of Aluminum Nitride Whisker by Carbothermal Reaction I. Effect of Fluoride Addition(in Korean)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **41** [2] 118-24 (2004).
12. G. A. Slack, "Nonmetallic Crystals with High Thermal Conductivity," *J. Phy. Chem. Solids*, **34** 321-35 (1973).

13. R. W. Francis and W. L. Worrell, "High Temperature Electrical Conductivity of Aluminum Nitride," *J. Electrochem. Soc.*, **123** [3] 430-33 (1976).
14. M. Yahagi and K. S. Goto, "Ionic Conductivity of AlN Containing Y₂O₃ or Al₂O₃ at 1173-1773 K," *J. Jpn. Inst. Metal*, **47** [5] 419-25 (1983).
15. M. Zulfequar and A. Kumar, "Electrical Conductivity and Dielectric Behavior of Hot-Pressed AlN," *Adv. Ceram. Mat.*, **3** [4] 332-36 (1988).
16. S. A. Jang and G. M. Choi, "Electrical Conduction in Aluminum Nitride," *J. Am. Ceram. Soc.*, **76** [4] 957-60 (1993).
17. K. Komeya, "Effect of Various Additives on Sintering of AlN," *Yogyo-Kyokai-Shi*, **89** [6] 330-36 (1981).
18. L. Weisenbach, J. A. S. Ikeda, and Y. M. Chiang, "Distribution of Oxygen and Sintering Aids in AlN with High Thermal Conductivity," *Advances in Ceramics*, **26** 133 (1987).
19. T. Takahashi, N. Iwase, A. Tsuga, and M. Nagata, "Properties and Reliability of AlN Ceramics for Power Devices," *Advanced in Ceramics*, **26** [159] (1987).
20. W.-J. Kim, D. K. Kim, and C. H. Kim, "Morphological Effect of Second Phase on the Thermal Conductivity of AlN Ceramics," *J. Am. Ceram. Soc.*, **79** [3] 1066-72 (1996).
21. H. Nakano, K. Watari, H. Hayashi, and K. Urabe, "Microstructural Characterization of High-Thermal-Conductivity Aluminum Nitride Ceramic," *J. Am. Ceram. Soc.*, **85** [12] 3093-95 (2002).
22. J. Jamnik and J. Maier, "Treatment of the Impedance of Mixed Conductors Equivalent Circuit Model and Explicit Approximate Solutions," *J. Electrochem. Soc.*, **146** [11] 4183-88 (1999).
23. J. Jamnik and J. Maier, "Generalised Equivalent Circuits for Mass and Charge Transport: Chemical Capacitance and Its Implications," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **3** 1668-78 (2001).
24. W. Lai and S. M. Haile, "Impedance Spectroscopy as a Tool for Chemical and Electrochemical Analysis of Mixed Conductor: A Case Study of Ceria," *J. Am. Ceram. Soc.*, **88** [11] 2979-97 (2005).
25. Phase Diagrams for Ceramists, Fig. 2344.