

Microstructure and plasma resistance of Y_2O_3 -BN composites

Hyun-Kyu Lee, Seokshin Lee*, Bi-Ryong Kim, Tae-Eon Park** and Young-Hoon Yun***†

Dept. of New Material Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

*Dept. of Mechanical Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

**Ecotechkorea Co., LTD, Jeommam Advanced Ceramics Center, Mokpo 530-370, Korea

***Dept. of Hydrogen & Fuel Cell Tech., Dongshin University, Naju 520-714, Korea

(Received June 3, 2014)

(Revised June 16, 2014)

(Accepted June 18, 2014)

Abstract Y_2O_3 -BN ceramic composites were fabricated from the slurries of yttria powder with average particle size of 3~10 μm . The slurry was fabricated by mixing PVA binder, NaOH for Ph control, PEG, BN powder and Y_2O_3 powder. The mixed Y_2O_3 powders were obtained by spray drying process from the slurry. The Y_2O_3 -BN composite specimen was shaped in size of $\varnothing 14$ mm and then sintered at 1550°C and 1600°C, respectively. The characteristics, microstructure, purities, densities, bulk resistance, thermal expansion, hardness and plasma resistance of the Y_2O_3 -BN composites were investigated with the function of BN contents and sintering temperature.

Key words Yttria (Y_2O_3), Plasma resistance, Composites, Microstructure

Y_2O_3 -BN 복합체의 미세구조 및 내플라즈마 특성

이현규, 이석신*, 김비룡, 박태언**, 윤영훈***†

조선대학교 신소재공학과, 광주, 501-759

*조선대학교 기계공학과, 광주, 501-759

** (주)에코텍코리아, 세라믹종합지원센터, 목포, 530-370

***동신대학교 수소에너지학과, 나주, 520-714

(2014년 6월 3일 접수)

(2014년 6월 16일 심사완료)

(2014년 6월 18일 게재확정)

요 약 Y_2O_3 -BN 세라믹 복합체를 제작하기 위해서, 분말 입도 3~10 μm 인 Y_2O_3 분말을 분산한 슬러리에 pH 조절제인 NaOH를 첨가하였으며 결합제로는 PVA, 가소제로는 PEG를, BN 분말과 혼합하고, 분무건조(spray drying)공정을 거쳐 Y_2O_3 혼합 분말을 제조하였다. $\varnothing 14$ mm 크기의 Y_2O_3 -BN 시편을 성형하고, 1550°C 및 1600°C에서 소결하여 Y_2O_3 -BN 복합체를 제작하였다. BN 투입량과 소결온도의 변수에 따른 미세구조, 순도, 꺾임강도, 열팽창계수, 밀도, 체적저항, 내플라즈마 특성을 조사하였다.

1. 서 론

최근 급속한 IT산업의 발전으로 고순도 세라믹소재의 수요가 빠르게 증가하고 있다. 특히 반도체 및 LED 산업의 급성장으로 인하여 디바이스를 제조하는 장비에 사용되는 세라믹 제품의 중요성이 더욱 부각되고 있다.

반도체 산업에서 대두되고 있는 핵심적인 기술은 선풍의 미세화와 고집적이며, 이를 위해서 플라즈마 에칭기술, CVD코팅 기술 등 반도체 제조 공정의 장비를 활용하게 된다[1]. 반도체 제조용 공정장비(CVD, Etch)는 다양한 플라즈마를 활용하므로, 이들 장비에 사용되는 부품들은 내플라즈마 특성이 우수한 재료를 사용해야 한다[2-5]. 현재까지는 내플라즈마성 소재로서 Al_2O_3 가 주로 사용되고 있으나 오염입자의 저감 및 관리가 엄격한 공정에서는 일부 Y_2O_3 및 AlN 소재로 교체되는 부품이 점점 늘어나는 추세이다. 300 mm 웨이퍼공정 및 450 mm 웨이

†Corresponding author

Tel: +82-61-330-3234

Fax: +82-61-330-2909

E-mail: yunh2@dso.ac.kr

퍼 공정에서는 제품의 수율향상을 위해서 고밀도 플라즈마의 활용이 증가하면서 장비 부품으로부터 발생되는 오염입자를 최소화할 수 있거나, 내플라즈마성이 우수하고, 오염입자의 포집력이 있는 소재의 사용이 요구된다[6].

특히 반도체 기술의 발달과 함께 내플라즈마 특성이 우수한 Y_2O_3 소재에 대한 관심은 더욱 높아졌으며 향후 핵심 소재로 부각될 것으로 기대된다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 Al_2O_3 소재에 비해, Y_2O_3 제품은 원료를 모두 수입에 의존하고 있어 Al_2O_3 대비, 약 5~10배 이상 고가이므로, 우수한 내플라즈마 특성에도 불구하고 제한적으로 활용되고 있다. 또한 비교적 가격이 저렴한 용사 코팅을 이용하여 사용되는 제품이 많다[7]. 하지만 코팅제품은 모재와 Y_2O_3 의 열팽창계수 차에 의한 코팅막의 박리 등으로 수명이 짧아 재코팅 해서 사용해야 하는 문제점과, 코팅시 재료의 부착율은 15~20%로 낮고 소재에도 기공이 다량 존재하여 Y_2O_3 소재의 성능 향상에 한계가 있다. 따라서, Y_2O_3 소재 개선을 위해 다양한 연구들이 진행되어 왔다. Y_2O_3 의 소결 조제로써 Zr, Si, Ce, Al 중 한 가지 이상을 첨가하여 Y_2O_3 복합체를 제조하는 연구가 있었으나 이는 플라즈마 내성이 저하되는 요인이 되고, 이는 유전손실을 일으킨다.

소결밀도를 개선하기 위해 첨가제로 Ti(TiO_2)를 첨가하고 있지만 Ti 함유량이 증대되면 플라즈마 내성이 저하되는 경향이 보고되고 있다[8]. 또한 Y_2O_3 이외에 내플라즈마성이 우수한 재료인 AlN에 Y_2O_3 와 MgO 또는 Mg_3N_2 를 첨가하는 방법이 연구되었는데, 이는 정밀한 조건 제어가 필요하다는 단점이 지적되고 있다. Y_2O_3 세라믹스의 우수한 특성을 유지하고, 입성장에 의한 기계적 물성 저하를 방지하기 위해 저온에서 소결하는 연구들이 보고되었다[9-11]. Y_2O_3 의 소결온도 및 소결시간을 단축시키면서, 내플라즈마 특성을 유지하기 위해, Al_2O_3 , ZrO_2 , BN 등과 같이 플라즈마에 의해 활성화된 라디칼에 대해 양이온저항성이 우수한 소재를 도입하여 복합체를 제작하는 연구가 보고되었다[12-15].

본 연구에서는 Y_2O_3 원료에 BN을 첨가하여, Y_2O_3 의 소결온도 및 소결시간을 단축하기 위해, Y_2O_3 -BN 복합체를 제작하고, 미세구조 및 밀도, 꺾임강도, 플라즈마 저항성 등을 조사하고자 한다.

2. 실험방법

2.1. BN을 첨가한 Y_2O_3 혼합 분말의 합성

2.1.1. 혼합분말의 제조

본 연구에서는 Y_2O_3 원료 분말(CZC-ZL China)을 사용하였다. 원료분말의 특성은 순도 99.99%, 분말 입도

는 3~10 μm 영역을 나타내었다. Y_2O_3 분말을 DI water에 분산한 후 볼밀(ball mill)을 통해 1차 분쇄 후 필터링한 슬러리에 바인더, 가스제, 소포제, pH 조절제 등 첨가제를 넣은 후 attrition milling을 통해 혼합하여 분무과립용 슬러리를 제조하였다. Milling media로서 ZrO_2 ball을 사용하였다. 열분무 건조기(FOC-20, Disc type, Ohkawara)를 이용하여 입구온도 180°C, 출구온도 110°C, RPM 4,000, feeding rate 10 L/hr의 조건에서 열분무 건조를 행하였다.

2.1.2. 혼합분말의 분석

시험조건에 따른 슬러리 특성을 분석하기 위하여 milling media로 직경 5 mm, 10 mm ZrO_2 ball을 폴리프로필렌 병 용적의 50%를 채워 고형분량을 20 vol% 혼합하였으며, 분산용매로 DI water를 사용하였다. 분말의 분산 및 응집을 위한 최종 pH 조절제로 강염기인 NaOH를 사용하였다. pH 조절제를 첨가하여 Viscometer(BrookfieldII, USA)로 점도를 측정하였다. 슬러리의 분산특성은 Zeta Potential Analyzer(ZetaPALS, BrookHaven, USA)를 이용하여 측정하였다. 전해질 수용액은 10 mol/L 농도의 buffer제인 질산암모늄(NH_4NO_3)을 사용하였다.

2.2. Y_2O_3 -BN 복합체 제작

2.2.1. 성형체 제작 및 소결

Y_2O_3 -BN 복합체의 특성을 분석하기 위해, Y_2O_3 에 BN을 0.25 wt%, 0.5 wt%, 1 wt%, 2 wt%씩 혼합시킨 후, 분무건조기를 이용하여 과립화하였다. 각 조성의 밀도, 순도, 꺾임강도, 절연저항, 열팽창계수, 비커스 경도 등의 특성분석을 위한 시험편 $\varnothing 14$ mm인 원형몰드를 사용하여 건식 압축가압성형법으로 1,500 kgf/cm² 압력 하에 제작하였고, 소성하였다. 소성은 전기로에서, 각각 1,550°C, 1,600°C까지 승온시킨 후, 4시간 유지하는 조건으로 제작하였다.

2.2.2. 특성 분석

Y_2O_3 -BN 복합체의 밀도는 Gas-pycnometer(G PYC-100-A, PMI, USA), 비커스 경도는 Vickers Hardness Tester(VMT-7, Matsuzawa, Japan), 열팽창계수 측정은 Dilatometer(Dilatronic, Theta, USA), 순도측정은 ICP-MS(OPTIMA DCR11, Perkin elmer's, USA), 꺾임강도는 굽힘강도 시험기(4206, INSTRON, USA) 절연저항 측정은 Megger(8104 OMNIA, Associated Research, USA)로 측정 하였다. 미세구조는 Scanning Electron Microscope(JSM-5900, JEOL, Japan)을 이용하여 관찰하였다. 결정상 분석은 X-ray diffraction(Rotarfex, Rigaku, Japan) 분석을 통해 이루어졌다.

Table 1
Viscosities of the slurries of with NaOH content

Viscosity	NaOH content				
	0.00 %	0.01 %	0.03 %	0.05 %	0.07 %
	130 cps	434 cps	530 cps	660 cps	710 cps

3. 결과 및 고찰

3.1. Y₂O₃-BN 혼합분말의 특성

Y₂O₃/BN이 혼합된 슬러리에 대해 측정된 Zeta-potential 을 기준하여, 염기적성액인 NaOH 10 % solution을 이용하여 분말 무게비로 첨가하여 다시 ball milling한 후, 점도 측정된 결과 염기성 적정액인 NaOH를 첨가하지 않았을 경우, 130 cps의 낮은 점도값을 나타내었고, NaOH 첨가량이 증가할수록 점도가 증가하였다(Table 1).

NaOH가 첨가되지 않은 슬러리(pH 7)의 경우 분무건조 시, 도넛형태의 과립이 제조되었으며 NaOH 첨가량이 증가할수록, 중공상 과립을 형성하다가 NaOH 첨가량이 0.05 %인 조건에서 구형의 과립이 제조되었다(Fig. 1). 중공상의 구형 과립의 형성은 Table 1에 나타난 것과 같이, NaOH 첨가에 의한 점도 증가와 연관되는 것으로 추정되었다.

Y₂O₃ 과립을 이용하여 성형 시 입자간 결합이 용이하게 하기 위해서 결합제 PVA를 활용하였다. 본 연구에서는 결합제 첨가량에 따른 성형 시 과립의 파괴양상을 알아보기 위하여 성형밀도, 성형체의 파단면을 관찰하였다(Fig. 2).

바인더, PVA의 경우 첨가량을 0.5 %~1.25 % 범위에서 변화시킬 때, 분무 과립을 형성한 경우, 첨가량에 따른 과립형상의 변화는 나타나지 않았다. 1,000 kgf/cm²의 압력으로 시험편을 제작하여, 성형체의 표면과 성형체의 파단면을 관찰한 결과 결합제가 0.5 wt% 첨가될 때, 성형체의 표면에 과립 형상을 찾아 볼 수 없었고, 파단면의 미세구조관찰에서 과립이 파괴되는 경향을 나타내었다(Fig. 2). 결합제 함량이 1.0 wt%일 경우 성형체의 표

Table 2
Relative density of green specimens and sintered specimens with PVA contents (Forming pressure: 1,000 kgf/cm², Sintering temperature: 1650°C, 20 hrs)

	PVA content			
	0.5 wt%	0.75 wt%	1.0 wt%	1.25 wt%
Green specimens	2.64 g/cm ³ 52.41 %	2.60 g/cm ³ 51.65 %	2.60 g/cm ³ 51.73 %	2.58 g/cm ³ 51.20 %
Sintered specimens	4.94 g/cm ³ 98.29 %	4.96 g/cm ³ 98.56 %	4.91 g/cm ³ 97.40 %	4.90 g/cm ³ 98.54 %

Table 3
Relative density of green specimens and sintered specimens with PEG contents (Forming pressure: 1,000 kgf/cm², Sintering temperature: 1650°C, 30 hrs)

	PEG			
	0.0 wt%	0.25 wt%	0.5 wt%	0.75 wt%
Green specimens	2.56 g/cm ³ 50.82 %	2.57 g/cm ³ 51.14 %	2.62 g/cm ³ 52.0 %	2.62 g/cm ³ 52.0 %
Sintered specimens	4.94 g/cm ³ 98.14 %	4.93 g/cm ³ 98.09 %	4.95 g/cm ³ 98.44 %	4.96 g/cm ³ 98.60 %

면에 과립의 경계면이 관찰되었다. 성형체의 파단면을 관찰에서, 성형체의 내부는 완전히 파괴되는 것이 관찰되었다. 결합제 함량이 1.25 wt%일 경우는 성형체의 표면 뿐만 아니라 성형체 파단면에서도 과립이 파괴되지 않은 것이 명확히 관찰되었다. 과립의 파괴가 이루어지지 않는 성형체의 경우, 소결 시 과립간 기공 및 조대한 입자들로 구성된 미세구조를 나타냈고, 큰 폐기공과 더불어 낮은 소결밀도를 나타내었다(Table 2).

본 연구에서는 유리전이온도(Tg)를 낮추기 위해 PEG 첨가량을 조절하여 제조한 과립분말을 사용하여, 가압 성형시 과립의 성형밀도, 소결 후 소결밀도를 분석하여, 최적의 PEG 함량을 도출하기 위해 PEG 함량에 따른 특성을 분석하였다. Table 3에 PEG 함량을 0%~0.75 %로 변화하여 제조한 과립의 성형 밀도 및 소결밀도 값을 나타내었다. PEG 함량이 높아질수록 성형밀도가 다소

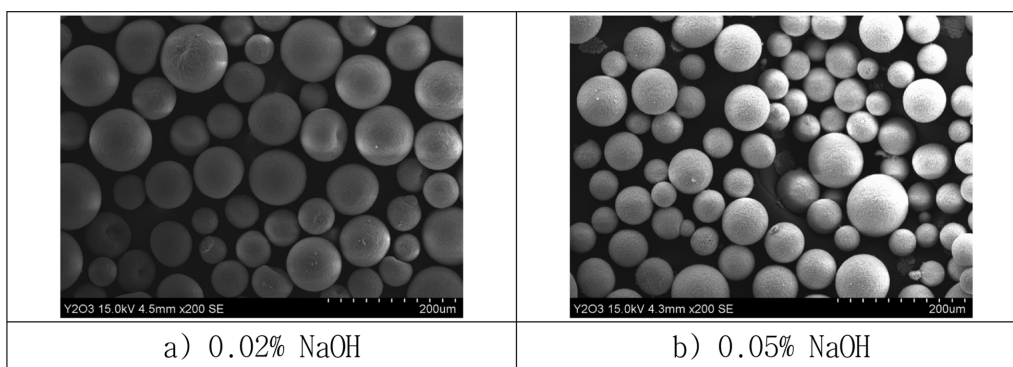


Fig. 1. Microstructure of the mixed powder with NaOH content.

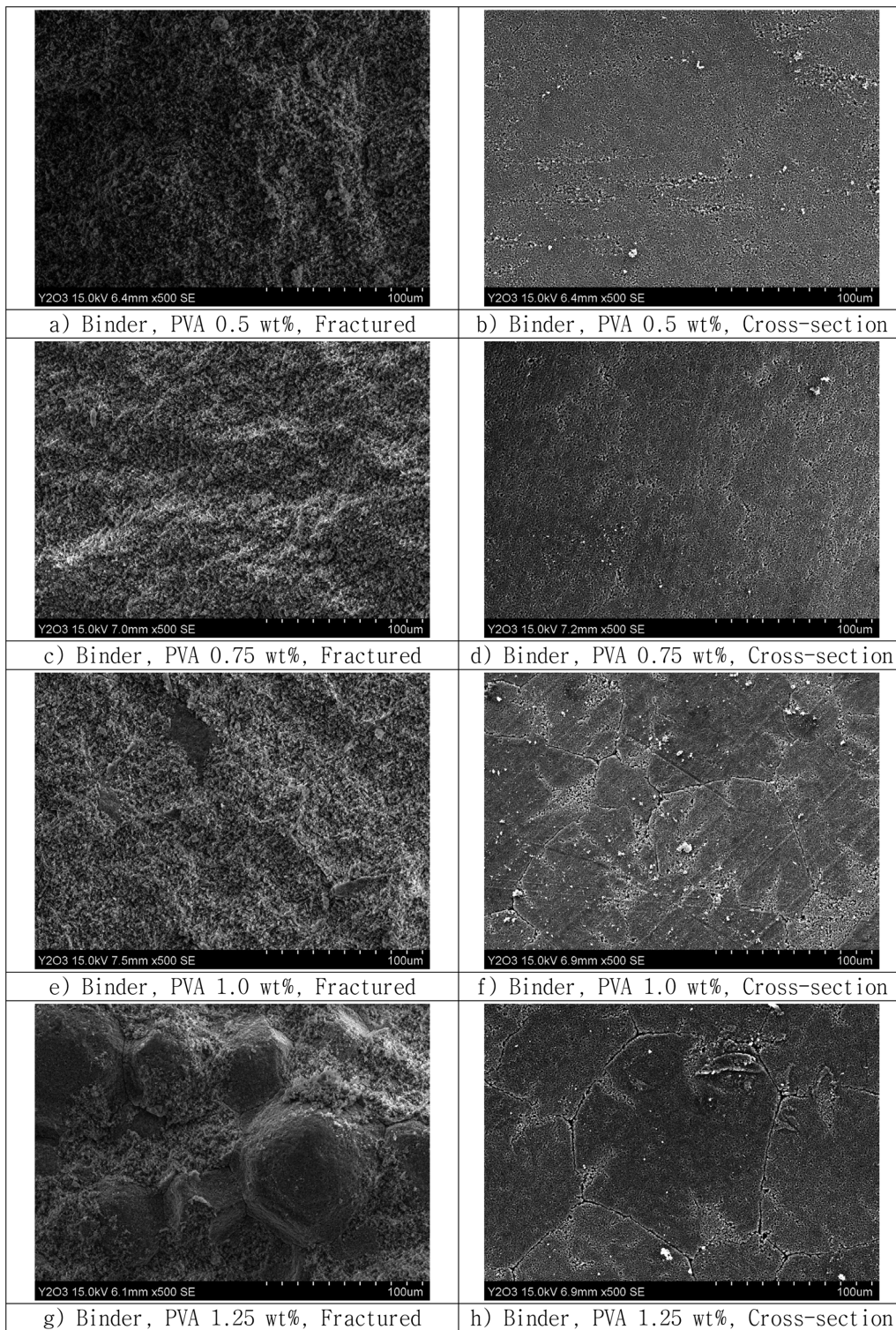


Fig. 2. Microstructure of green specimens with PVA contents (Forming pressure: 1,000 kgf/cm²).

증가하였으며 소결밀도는 거의 비슷한 경향을 나타냈다.

3.2. Y₂O₃-BN 복합체의 특성 및 플라즈마 저항성

Table 4는 BN 함량을 조절하여 제조한 과립을 성형압

력 1,500 kgf/cm²의 압력으로 성형한 후 1,550°C에서 4시간 소결하여 제조한 시편을 측정된 물성표를 나타내었다. BN 함량이 0.25-0.5 wt%의 조건에서 비교적 높은 꺾임강도 및 경도를 나타내었으며, BN 첨가량이 증가하면서 꺾임강도와 경도 값이 다소 감소되는 경향을 나타내었다.

Table 4
Characteristics of Y₂O₃-BN composites (1,550°C, 4 hrs)

	Y ₂ O ₃ -BN composites	BN-0.25 %	BN-0.5 %	BN-1 %	BN-2 %
Purity	%	99.17	98.71	98.64	97.50
Density	g/cm ³	4.90	4.90	4.88	4.87
Flexural strength	Mpa	141	137	130	125
Resistance	Ω · Cm	5.71*10 ¹⁵	6.31*10 ¹⁴	4.78*10 ¹³	3.61*10 ¹³
Thermal expansion	10 ⁻⁶ /K	8.15	8.31	8.47	8.76
Vickers Hardness	Hv	671	659	612	597

Table 5
Characteristics of Y₂O₃-BN composites (1,600°C, 4 hrs)

	Y ₂ O ₃ -BN composites	BN-0.25 %	BN-0.5 %	BN-1 %	BN-2 %
Purity	%	99.46	98.51	98.17	97.49
Density	g/cm ³	4.91	4.90	4.89	4.86
Flexural strength	Mpa	145	140	132	129
Resistance	Ω · Cm	5.51*10 ¹⁵	6.67*10 ¹⁴	4.60*10 ¹³	3.76*10 ¹³
Thermal expansion	10 ⁻⁶ /K	8.04	8.17	8.29	8.55
Vickers Hardness	Hv	689	667	631	603

Table 5에 BN 함량을 조절하여 제조한 과립을 성형압력 1,500 kgf/cm²의 압력으로 성형한 후 1,600°C에서 4시간 소결하여 제조한 시편을 측정된 물성표를 나타내었다.

1,600°C의 소결온도 조건에서, BN 0.25 wt% 첨가하여 제작된 복합체 시편이 비교적 높은 꺾임강도 및 경도 값을 나타내었다. BN 첨가량이 많아짐에 따라 비커스경도, 꺾임강도, 절연저항 등 물성이 낮아지는 결과를 나타내었다. 1,500°C에서 1600°C로 소결온도가 높아짐에 따라 밀도가 다소 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig. 3의 XRD pattern에서 BN이 미량 첨가된 Y₂O₃ 복합체는 일반적인 Y₂O₃ 소결체는 유사한 패턴을 나타냈다. 밀도는 4.9 g/cm³ 내외이며 체적저항, 비커스 경도, 꺾임강도 및 열팽창계수 모두 고순도 Y₂O₃와 유사한 결과값을 나타냈다.

Fig. 4에서 관찰된 바와 같이 입자성장이 진행된 경우, 입자이탈의 문제가 발생하고, 내플라즈마성이 저하되지만, 미세구조 관찰에서 나타난 것과 같이 대체로 20 μm 이하로 조밀하면서, 내플라즈마성이 우수한 소결체를 얻을 수 있었다. BN 첨가에 의해 소결체의 미세구조에서 기공들이 관찰되었으며, 기존의 순수 Y₂O₃의 소결시간(30 hrs)에 비해, 본 연구에서 제작한 Y₂O₃-BN 복합체의 경우, 상대적으로 짧은 소결시간(4 hrs) 동안 기공소멸이 충분히 이루어지지 못한 것으로 추정된다. 내플라즈마 특성 평가를 위해 본 연구에서 제조된 시편을 이용하여 건식 에칭을 통해 평가하였다. Table 6은 BN 첨가 Y₂O₃ 소결체의 건식 에칭 테스트 이후 분석 자료로서 BN첨가된 Y₂O₃ 복합체는 BN 첨가량에 따라 식각 깊이(Edge depth)가 감소하는 경향을 나타냈다. 내플라즈마 세라믹

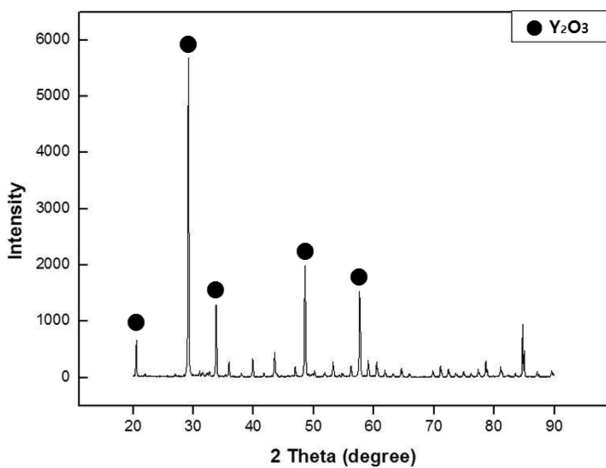


Fig. 3. XRD pattern of Y₂O₃-0.25 wt% BN composites.

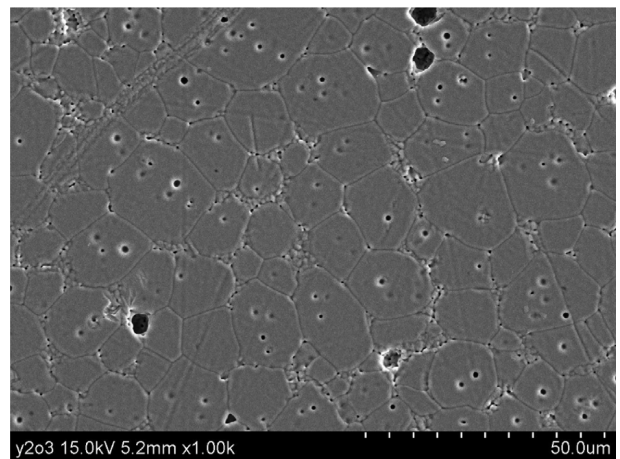


Fig. 4. Microstructure of Y₂O₃-0.25 wt% BN composites (1600°C, 4 hrs).

Table 6
Results of dry etching test of Y_2O_3 -BN composites with forming pressure and sintering time

Specimen	Edge depth-1 (mm)	Edge depth-2 (mm)	Edge depth-3 (mm)	Test condition			
				Temp. (°C)	Duration	Forming pressure (ton)	BN content (%)
I 3	13.525	6.893	7.977	1600	4hrs	1.5	0.25
K 3	12.775	11.156	5.071	1600	4hrs	1	0.5
N 3	12.681	10.447	5.940	1600	4hrs	1	1
Q 3	10.041	8.204	7.379	1600	4hrs	1	2
Y_2O_3	6.268	6.518	6.392	1650	30hrs	1.5	-
Al_2O_3	25.322	30.912	30.281	-	-	-	-

소재로 널리 쓰이는 Al_2O_3 보다 다소 우수한 내플라즈마 특성을 보였으며, 고순도 Y_2O_3 소결체에 비해서는 내플라즈마 특성이 다소 낮은 경향을 나타내었다. BN이 도입된 Y_2O_3 -BN 복합체는 순수한 Y_2O_3 에 비해서, 소결 온도 저하 및 상대적으로 짧은 소결시간 동안 소결이 비교적 용이하게 이루어졌으며, 소결밀도 및 기계적 물성, 내플라즈마 특성이 크게 저하되지 않는 경향을 나타냈다.

4. 결 론

본 연구에서 제작된 Y_2O_3 -BN 복합체는, BN을 0.25 wt% 첨가하여, 1600°C에서 소결 시, 굽힘강도, 절연저항 등의 특성이 비교적 우수한 것으로 나타났다. Y_2O_3 -BN 복합체의 소결은 1,500 kgf/cm² 압력 조건에서 1600°C 까지 온도가 상승하면서 소결밀도가 4.9 g/cm³까지 상승하였고, 굽힘강도, 절연저항, 비커스경도, 열팽창계수는 1550°C 이상이면 고순도 Y_2O_3 소결체의 특성에 근접한 Y_2O_3 -BN 복합체를 얻을 수 있었다. 본 연구에서 얻어진, Y_2O_3 -BN 세라믹 복합체는 순수 Y_2O_3 에 비해서는 식각률이 다소 높은 수치를 나타내었지만, Al_2O_3 에 비해서는 비교적 우수한 내플라즈마 특성을 나타내었다.

감사의 글

“이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2013R1A1A2065604)”.

“이 논문은 2010학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음”.

References

- [1] M. Kodo, K. Soga, H. Yoshida and T. Yamamoto, “Doping effect of divalent cations on sintering of polycrystalline yttria”, *J. Eur. Ceram. Soc.* 30(13) (2010) 2741.
- [2] R. Chaima, A. Shlayer and C. Estournes, “Densification of nanocrystalline Y_2O_3 ceramic powder by spark plasma sintering”, *J. Eur. Ceram. Soc.* 29(1) (2009) 91.
- [3] L. Ana, A. Ito and T. Goto, “Transparent yttria produced by spark plasma sintering at moderate temperature and pressure profiles”, *J. Eur. Ceram. Soc.* 32(5) (2012) 1035.
- [4] Y. Kobayashi, “Current status and needs in the future of ceramics used for semiconductor production equipment”, p.17, Osaka, Japan, July, 2005, The 37th Seminar on High Temperature Ceramics (2005).
- [5] N. Ito, T. Moriya, F. Uesugi, M. Matsumoto, S. Liu and Y. Kitayama, “Reduction of particle contamination in plasma-etching equipment by dehydration of chamber wall”, *Jpn. J. Appl. Phys., Part 1* 47(5) (2008) 3630.
- [6] H. Di, Z. Yanchun, S. Xudong, L. Xiaodon and L. Shaohong, “Preparation of transparent Y_2O_3 ceramic by slip casting and vacuum sintering”, *J. Rare Earth* 30(1) (2012) 57.
- [7] X. Qin, H. Yang, G. Zhou, D. Luo, J. Zhang, S. Wang and J. Mad, “Synthesis of submicron-sized spherical Y_2O_3 powder for transparent YAG ceramics”, *Mater. Res. Bull.* 46(2) (2011) 170.
- [8] P. Duran, J. Tartaj and C. Moure, “Sintering behaviour of Y_2O_3 powders prepared by the polymer complex solution method”, *Ceram Inter.* 28(7) (2002) 791.
- [9] J.H. Han, “Synthesis of sinter-active Y_2O_3 powders using Urea”, *J. Kor. Ceram. Soc.* 34(12) (1997) 1247.
- [10] P. Merkert, H. Hahn and J. Rodel, “Sintering behavior of nanocrystalline Y_2O_3 ”, *Nanostructured Mater.* 12(5-8) (1999) 701.
- [11] J. Luo, Z. Zhong and J. Xu, “Yttrium oxide transparent ceramics by low-temperature microwave sintering”, *Mater. Res. Bull.* 47(12) (2012) 4283.
- [12] J. Iwasawa, R. Nishimizu, M. Tokita, M. Kiyohara and K. Uematsu, “Plasma resistance dense yttrium oxide film prepared by aerosol deposition process”, *J. Am. Ceram. Soc.* 90(8) (2007) 2327.
- [13] J.S. Choi, T. Nakayama and W.T. Bae, “Plasma resistance evaluation and characteristics of Yttria ceramics sintered by using calcination Yttria”, *J. Kor. Ceram. Soc.* 50(5) (2013) 348.
- [14] X. Chenga, C. Yuana, N.R. Greena and P.A. Withey, “Sintering mechanisms of Yttria with different additives”, *Ceram Inter.* 39(5) (2013) 4791.
- [15] I. Takayuki and K. Masakatsu, “Sintered yttria, anti-corrosion member and process for producing the same”, Korean patent, Registration No.1009201040000 (2009).