

질화알루미늄(AIN) 분말 및 응용제품 시장현황 및 기술동향

글 _ 피재환, 이종근*, 김수룡**
한국세라믹기술원 이천분원 도자기기술센터, *대한세라믹스 기술연구소, **한국세라믹기술원 환경재료팀

1. 서론

질화알루미늄은 이론 열전도도($319\text{W/m}\cdot\text{K}$)가 알루미늄보다 10배 이상이고 전기절연성($9\times 10^{13}\Omega\cdot\text{cm}$)이 우수하다. 게다가 열팽창계수(4×10^{-6})가 알루미늄보다 작고 Si 반도체와 비슷하고 기계적강도(430MPa)도 우수한 특징이 있어 고열전도세라믹스의 반도체 기관이나 부품에 응용되고 있다.¹⁾ 이에 반도체 시장의 불황에도 불구하고 높은 열전도율을 특징으로 방열기관이나 반도체 제조장치 분야 등을 중심으로 3,000억원(新産業總研(株), 2005)의 시장을 형성하고 있다.²⁾ 구체적으로 반도체장치용 질화알루미늄 부품, 금속박막접착 질화알루미늄기관, LED용 방열판, 고출력 Si장치용 방열판, 화합물반도체용 레이저소자용 기관, 하이브리드자동차 전원제어용 기관 등에 이용되고 있다. 특히 반도체 제조장치용 부품에서는 열전도성과 열팽창성 계다가 내플라즈마성이 우수하여 히터, 정전척(Electrostatic Chuck), 세라믹 챔버 부품 등에 사용되고 있다. $200\text{W/m}\cdot\text{K}$ 이상의 열전도 질화알루미늄은 레이저 다이오드나 백색 LED용 방열판으로서 사용이 기대되고 있다. 이와 같은 좋은 특성들이 알려져 있지만 질화알루미늄의 난소결성과 불순물 영향으로 인한 열전도도 저하 문제는 기술개발을 필요로 하고 있다. 또한 질화알루미늄의 고열전도화는 주로 고순도화, 나노 원료화, 소결조제개발, 불순물 제어 등에 의존한다. 이에 질화알루미늄의 시장 확대를 위한 기술개발 및 응용현황에 대하여 소개하고자 한다.

2. 시장현황

2.1 분말시장

질화알루미늄 분말시장 규모는 전세계 생산량이 약 430톤/년(Fuji Chimera, 2007)이며 일본이 70% 이상을 독점하고 있다.³⁾ 그 제조법으로는 생산량을 고려한 열탄소환원법(Carbothermal Reduction), SHS법(Self-propagating High Temperature Synthesis), 화학기상합성법(Chemical Vapor Synthesis) 등에 의해 제조되고 있다. 원재료로는 알루미늄, 알루미늄, 염화알루미늄 등이 이용되고 있다.

생산 공정으로는 열탄소환원법의 경우 고순도 알루미늄을 탄소와 질소 중에서 환원열처리하여 생산한다. 최근 Tokuyama(일)에서는 열탄소환원법에 의해 제조된 질화알루미늄을 탈탄처리하는 공정을 도입하여 고순도화하고 있다. 그러나 열탄소환원법의 경우 고순도의 알루미늄을 사용하여야 하기 때문에 질화알루미늄 생산 단가가 높아지는 문제점이 있다. SHS법은 고순도 금속알루미늄을 고압 질소가스 중에서 가열 질화처리하여 제조한다. 2500도 이상의 합성조건에서 제조된 질화알루미늄은 분쇄·분급 공정을 통해 제품화 된다. SHS법의 경우 분쇄·분급 공정에서 다량의 불순물이 혼입되고 미분화가 어렵다는 단점이 있다. 기상합성법은 염화질화물 등 기화점이 낮은 출발원료를 암모니아나 질소 분위기에서 나노급 질화알루미늄을 합성한다. 이 경우 대량생산이 어렵다는 문제점이 있다.

현재까지 발표된 높은 수준의 질화알루미늄 분말을

Fig. 1에 나타내었다. 좌측 그림은 알루미늄을 출발원료로 하여 암모니아 분위기에서 1200°C에서 합성한 질화알루미늄이다. 300-500nm급의 질화알루미늄이 합성되었다. 우측 그림은 일본 Tokuyama가 고순도 알루미늄을 출발원료로 하여 열탄소환원법에 의해 제조한 AIN 분말 사진이다. 750nm급의 AIN 분말이 합성되었음을 알 수 있다.

일본 도쿠야마에서 공표한 질화알루미늄의 순도와 입도분포를 Fig. 2에 나타내었다. 산소를 제외한 불순물량이 500ppm 이하로 3N급의 순도를 보이고 있다. 입도분포 결과는 1.5μm급의 입경을 가진 질화알루미늄이 합성되었음을 알 수 있다.

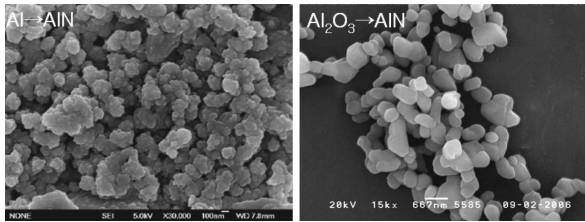


Fig. 1. 질화알루미늄 분말 형상 비교(출발원료는 좌측 Al, 우측 Al₂O₃).

Fuji Chimera에서는 질화알루미늄 분말시장이 400억 원(2007)을 형성할 것이라고 예상했고 주요 생산기업으로는 Tokuyama(일), 동양알루미늄(일), 미츠이화학(일), H.C.Starck(독), Shineso(중), American Elements(미) 등이 있다. 전세계 질화알루미늄 생산량 중 일본이 355톤(84.6%), 기타 국가가 65톤(15.5%)을 생산하고 있는 것으로 조사되었다. 기업별 생산은 Table 2와 같이 Tokuyama (일)가 67%를 생산하고 있다.³⁾

국내에서는 그 생산량이 많지 않으나 대한세라믹스에서 SHS법에 의해 120톤/년 생산을 하고 있다. 또한 고순도화 연구개발을 추진하여 100W/m·K급 미분말 개발을 완료하였다.

2.2 응용시장현황

질화알루미늄 응용제품 시장에서는 기능용(2000억원), 구조용(1000억원) 및 필러용(100억원)으로 대별된다.^{2,3)} 기능용 제품으로는 백색 기판(Asahi Glass, Maruwa, Tokuyama), DBC기판(Denkikagaku, Dowakogyo), DBA 기판(Mitsubishi Materials, Dowakogyo), 박막기판(Sumitomo Denko, Tokuyama, Kyocera, Toshiba Materials), 팩

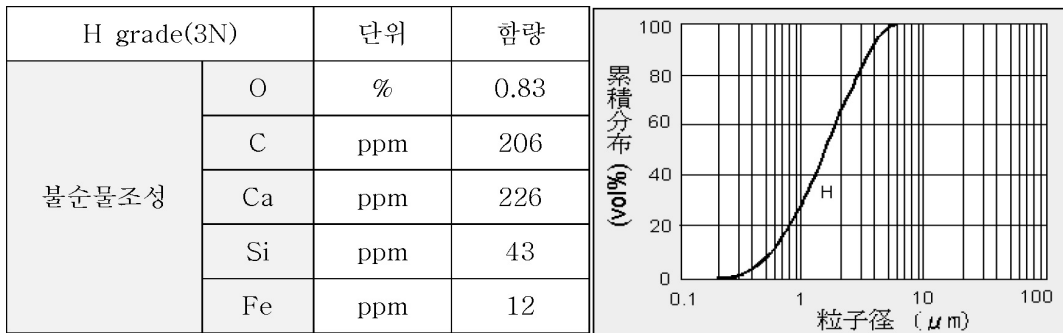


Fig. 2. 일본 Tokuyama사 제조 질화알루미늄 분말의 불순물 조성 및 입도분포.

Table 1. 질화알루미늄 분말 시장규모(판매량 : 톤, 판매금액 : 백만원, Fuji Chimera, 2007)

년		2004	2005	2006	평균 성장률	2007 예상	2008 예측	2009 예측	2010 예측	평균 성장률
세	판매량	330	380	420	14.5%	460	490	520	550	7.0%
	전년비(%)	117.9	115.2	110.5		109.5	106.5	106.1	105.8	
수	판매금액	27,000	31,000	34,200	14.1%	37,500	40,000	42,500	45,000	7.1%
	전년비(%)	117.4	114.8	110.3		109.6	106.7	106.3	105.9	

키지(Kyocera), 메탈라이징기판(Denso) 등이 있고, 구조용에는 정전척(Nihongaishi, Kyocera, Nihonceratec), 히터(Nihongaishi, Toshiba Ceramics), 웨이퍼가공부품(Toshiba Ceramics), 반도체 장치용 부재(Nihongaishi) 등이 있다. 필러용으로는 수지용, 첨가제 등으로 사용되고 있다. 일본 내 질화알루미늄 시장점유율은 아래 Fig. 3과 같다. 전체시장은 3000억원 규모이고 Nihongaishi가 700억원 Tokuyama가 400억원, Sumitomo Denko와 Kyocera가 각각 300억원 규모를 형성하고 있다.

○ 기능용 응용제품 시장현황

· 백색기판

응용시장의 확대와 함께 백색기판의 시장은 이미 300만개/월(2007) 이상의 시장을 형성하고 있으며 점차확대되고 있다. 시장의 50% 이상은 100만개/월을 생산하고 있는 Maruwa이다. 나머지는 응용메이커(Toshiba Materials, Tokuyama 등)가 차지하고 있다. 이상과 같이 상위 3개사가 독점상태임을 알 수 있다. 문제는 기판시장에서 가격하락이 심하여 생산량에 비해 판매금액은 크

Table 2. 질화알루미늄 제조회사 비율(Fuji Chimera, 2007)

회사명	판매량(톤)	비율
Tokuyama(일)	280	66.7
동양알루미늄(일)	75	17.9
기타	65	15.5
합계	420	100.0

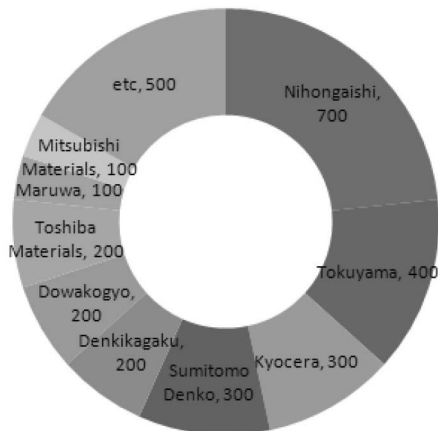


Fig. 3. 질화알루미늄 응용시장(회사별)

게 향상되지 않고 있다. 이로 인해 백색기판 제조업체의 판매금액은 수십억원에 불과하다.

· DBC기판

현재 Denkikagaku, Dowakogyo사가 80% 이상을 독점하고 있으나 가격하락도 계속되고 있는 상태이다. 그래서 지금까지의 알루미늄을 대체용 보다는 신규용도개발이 절실한 실정이다.

· DBA기판

선발기업인 Mitsubishi Materials, Dowakogyo사가 여전히 독점하고 있고 그 중에서도 Mitsubishi Materials사가 50% 이상을 독점하고 있다. 일본에서 HEV자동차용으로 판매량을 늘리고 있으며 세계적 확대 추세에 있다. 이미 100만개/월 생산을 넘어서고 있는 것으로 조사되고 있다. 그러나 여기에서는 가격하락폭이 심각하여 판매실적은 향상되지 않고 있다.

· 박막기판

최근에는 Toshiba Materials, Maruwa사에 이어 Furukawakikai사가 신규로 참여하고 있다. 이미 Toshiba Materials, Maruwa사는 양산체제(수백만개/월)를 구축하였고 판매량도 늘고 있다. 단지 가격경쟁이 심하여 시장규모는 크게 늘지 않고 있다. 그럼에도 불구하고 DVD-RAM의 세계시장의 확대로 박막기판 시장 확대가 예상되고 있다.

· 패키지(Package)

고가이기 때문에 시장규모는 100억원 전후로 형성되고 있으며 제조사도 적다. 용도가 특수성을 가지고 있어 양산화도 어려운 실정이며 질화알루미늄 패키지 용도 개발이 이루어지지 않으면 시장성 확보도 어려운 상황이다.

○ 구조용 응용제품 시장현황

반도체 시장의 정체에도 불구하고 구조용 응용제품 시장은 1000억원/년 규모를 형성하고 있다. 반도체용 이외의 구조용 응용제품도 다수 개발되었지만 아직 반도체용



이 대다수 이다. 복합체 응용제품 개발도 진행되고 있지만 생산비 절감, 대형화, 가공성 향상 등을 장점으로 신규 시장 개척 가능성이 높다.

3. 기술현황

3.1 분말제조기술

○ 열탄소환원법(Carbothermal Reduction)⁴⁾

질화알루미늄 분말 시장의 대부분을 점유하고 있는 Tokuyama(일)에서 사용하는 분말제조법이다. 합성은 반응(1)에 의해서 일어나고 합성온도는 1200°C 이상에서 일어난다.



이 합성법에 의하면 최종 질화알루미늄의 순도와 입자 크기는 출발원료인 알루미늄의 순도와 입도크기에 크게 의존한다. 그리고 탄화물 잔존량에 의한 열전도도 저하를 막기 위해 탈탄공정이 부가적으로 필요하고 이에 따른 순도저하(잔존산소량 증가)가 문제시 되고 있다.

○ SHS법⁵⁾

고온자전합성법에 의한 분말제조 반응식 (2)와 같다. 자전반응이 일어나기 위해 전기적으로 800도 이상 가열하여 금속 알루미늄이 자체적으로 직접질화반응에 의한 발열반응을 하여 고온(2500°C 이상)에서 질화알루미늄

이 합성된다. 합성 후에는塊(Lump) 형태로 제조되기 때문에 분쇄·분급이 필수적이다. Fig. 4의 좌측에 SHS합성 후의 모습을 나타내고 있다.



이 공정에서는 초기 출발물질인 금속 알루미늄에 포함된 산소량에 따라 잔존산소량이 결정되고 분쇄·분급공정에서 순도저하가 문제시 되고 있다. 최근 연구에서 잔존산소량을 저하시키기 위해 카본을 첨가하는 연구가 진행되고 있다. Fig. 4에서 카본 첨가의 경우 푸른색(Blue) 부분이 잔존산소량이 저하됨을 나타내어 국내 대한세라믹스에서 잔존산소량 0.8wt%급, 평균입도 1μm급 분말을 제조하여 내화재와 필러용으로 판매를 하고 있다. Fig. 4의 우측사진은 대한세라믹스에서 생산한 질화알루미늄 분말을 이용하여 Y₂O₃ 5wt% 첨가한 소결체의 미세조직 사진을 나타내고 있다. 입계에 YAG가 형성되었고 치밀한 미세조직을 나타내고 있다. 열전도도 측정결과는 평균 100W/m·K를 나타내었다.

○ 화학기상합성법⁶⁾

기상법의 장점은 나노분말(100nm 이하) 제조가 용이하고 고순도의 분말 제조가 가능한 것이다. 일반적인 합성은 반응식 (3)과 같으며 합성온도는 800°C 이상에서 가능하다.

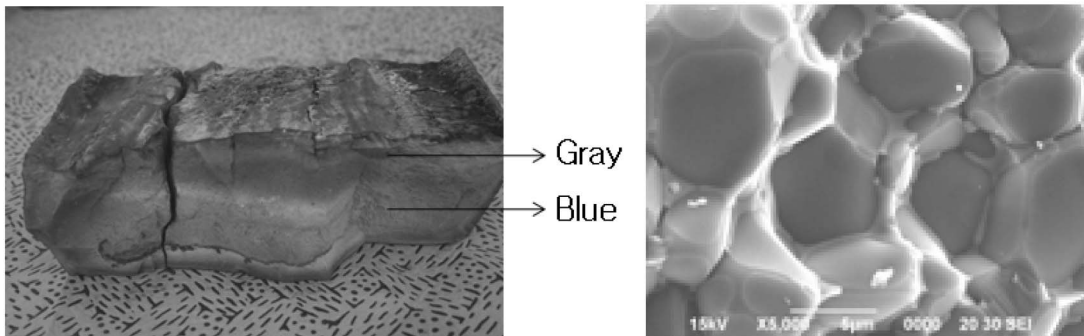


Fig. 4. SHS법에 의해 제조된 질화알루미늄塊(Lump)와 Y₂O₃ 5wt% 첨가 Hot-Press 소결체 미세조직(1850°C) 사진.

이 합성법에서는 대량 생산을 위해서는 고가 장비가 필요하고 합성 부산물 제거공정이 요구된다. 현재 상용화를 위한 많은 연구가 진행 중이고 특히 입자 형상 제어에 많은 관심이 집중되고 있다. 2008년부터 시작된 소재원천기술개발사업을 통해 진행되고 있는 화학기상합성장치는 Fig. 5와 같다. 일반적 기상합성장치의 단점인 대량합성을 위해 기상발생장치를 별도로 장착하였고 또한 미립자 포집을 위해 기존의 Cold Trap 방식과 필터 포집방식을 병용하였다.

소재원천기술개발사업을 통해 진행되고 있는 실험결과에 의하면 60nm급이며 비표면적이 30m²/g인 분말제조 기술이 확립되었다. Fig. 6에 화학기상합성법에 의해 제조된 분말의 형상 및 조직 관찰 결과를 나타내고 있다. 특히 질화알루미늄 분말 내에 기공이 형성되어 있어 나노-나노 복합분말을 이용한 고열전도율 소결체 제조기술에 대한 연구결과에 기대를 하고 있다. 즉 일반적으로 질화알루미늄 소결에는 소결조제로 Y₂O₃를 첨가한다. 이 경우 Y₂O₃는 입계에 YAG(Yttrium-Aluminum-Garnet)를 형성(Fig. 7(a))하면서 입내의 산소를 취하고 이에 따라 소결 및 열전도도 향상에 기여한다. 그러나 입자 내부의 산소까지 완전히 제거하기에는 소결공정의 개선과 입자

미립화가 요구된다.⁷⁾ 이를 개선하기 위해 질화알루미늄 분말 합성단계에서 나노기공을 가지는 분말을 합성하고 여기에 Y₂O₃를 복합화(Fig. 7(b)) 시켜 소결을 촉진시키고 질화알루미늄 입자내부의 잔존산소량을 감소시켜 열전도율을 향상시키고자 하는 연구가 진행 중이다.

○ 플라즈마합성법⁸⁾

플라즈마를 열원으로 금속알루미늄을 기상으로 하여 암모니아나 질소 분위기 중에서 질화알루미늄을 합성한다. 화학기상법과 유사하나 열원으로 고가의 플라즈마 장치를 활용해야 하는 단점이 지적되고 있다. 최근 재료연구소에서 플라즈마 공정을 이용해 고순도의 나노분말을 연속적으로 대량 생산할 수 있는 기술을 개발하는데 성공

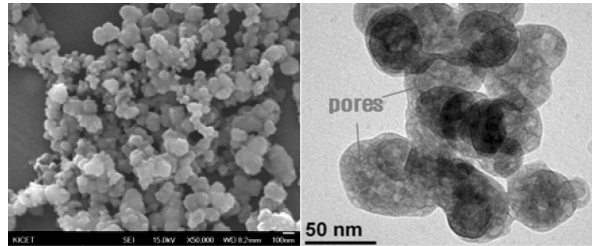


Fig. 6. CVS 합성에 의해 제조된 분말의 SEM 및 TEM 이미지

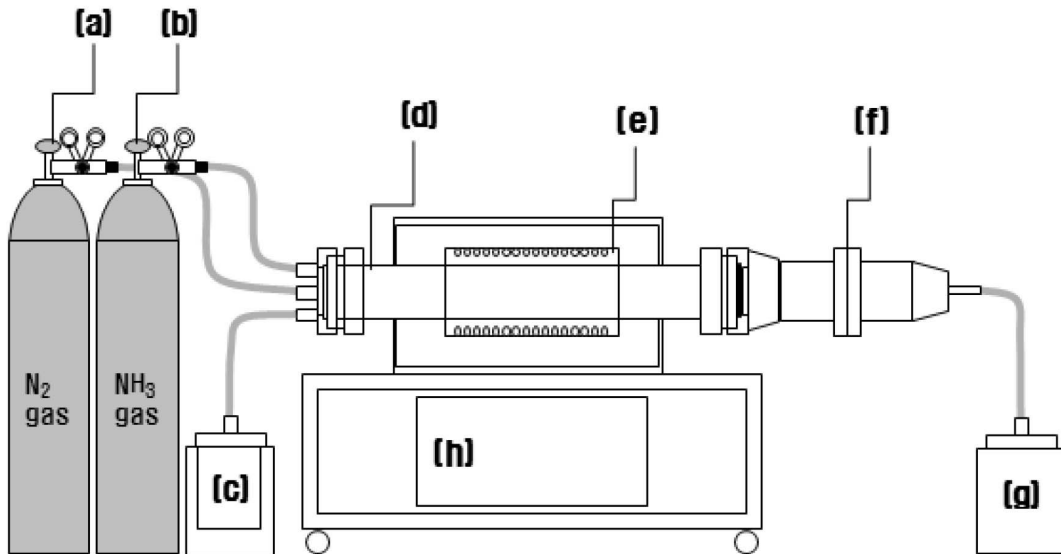


Fig. 5. 화학기상합성장치 개략도(a) N₂ gas, (b) NH₃ gas, (c) heating chamber, (d) Quartz tube, (e) heat reactor, (f) filter collecting unit, and (g) vacuum pump system).

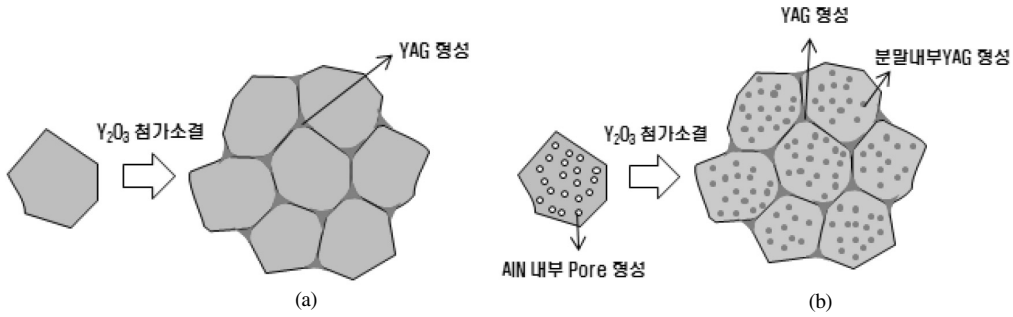


Fig. 7. 나노-나노 질화알루미늄복합분말을 활용한 복합체 개략도 (a) : 일반적 질화알루미늄 소결체, (b) : 나노-나노 복합질화알루미늄 분말 소결체).

했다고 보고하였다. 이 기술은 섭씨 1만5000도의 수소 플라즈마를 이용해 원료물질을 증기화한 뒤 저온에서 응축시킨 `플라즈마 아크방전 공정`을 통해 고순도 나노분말을 대량 생산하는 것으로, 균질한 나노분말 제조는 물론 모든 종류의 금속 및 세라믹 나노분말의 제조가 가능하다고 한다. 특히 다른 제조공정에 비해 생산속도가 빠르고 무응집된 고순도의 나노분말 제조가 용이하며 유독성 공정 부산물이 발생하지 않는 환경 친화적 공정으로 평가받고 있다.

3.2 소결체 특성

Fig. 8(a)에서 상압소결법(Sintered AlN)과 가압소결법(Hot Pressed AlN)의 의한 소결체 열전도도-밀도-기공율의 특성을 나타내고 있다.^{9,10)} 치밀한 소결체를 얻기 위해서는 가압소결법을 사용하여야 하고 그 결과 높은 밀도, 낮은 기공율로 인한 높은 열전도도 특성을 나타내고 있

다. 특히 중요한 잔존산소량과 열전도도의 관계는 Fig. 8(b)에서 나타내고 있다. 소결체의 잔존산소량이 동일할 경우 가압소결법에 의한 소결체보다 상압소결법에 의한 소결체의 열전도도가 높은 것으로 나타났다. 이는 질화알루미늄 소결체의 열전도도 특성의 지배인자로 평균결정입도도 기여하고 있는 것으로 보고되고 있다.

3.3 응용제품 개발기술

열전도율은 현재 275W/m·K가 최고 수준으로 추정되고 있고 보다 높은 300W/m·K급을 목표로 연구개발이 추진되고 있다. 이를 위해서는 소재개발, 복합화, 입자 크기, 나노화, 소결기술 등에 관한 연구가 진행되고 있다. 또한 열전도율 향상을 위해 화학기상합성법을 중심으로 고순도 분말, 나노분말 합성에 대한 연구가 진행 중이다. 연구기관별로는 Table 3과 같다.

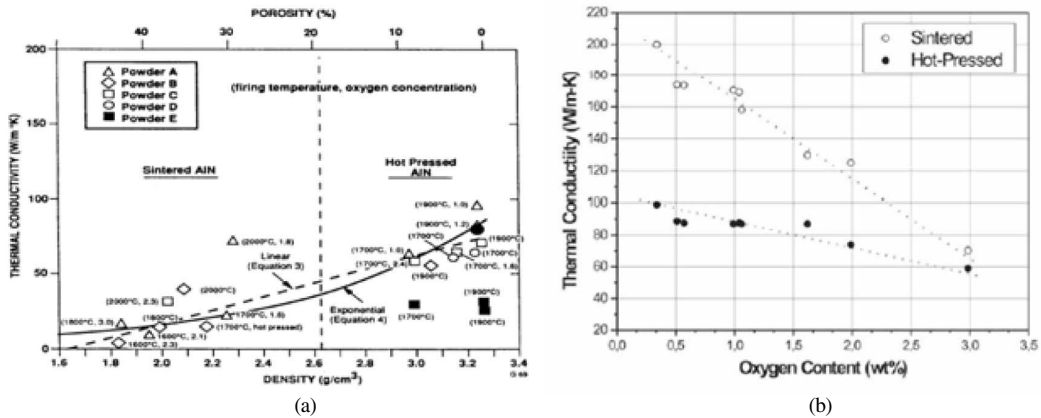


Fig. 8. 질화알루미늄 소결체의 밀도-열전도도(a)와 잔존산소량-열전도도(b)의 의존성^{9,10)}

Table 3. 연구기관별 질화알루미늄 신제품·신기술 동향

기관명	시기	개요	
국외	산업기술 총합연구소	2007년 1월	800°C 고온 환경용 기계설비의 이상을 검출하는 AE센서 개발. 압전소재에 질화알루미늄을 채용. 종래 PZT에 비해 내열성이 크게 향상.
	토요하시 기술과학대학	2006년 9월	질화알루미늄 용사피막기술개발. 질화알루미늄을 혼합한 알루미늄 분말을 원료로 하여 반응성플라즈마용사로 피막형성.
	스미토모 전기공업	2006년 8월	후막형성기술 확보. 질화알루미늄 단결정 생성 성공. 자외선발광소재나 고효율 전자장치 등 질화알루미늄 실용화 추진.
	NTT	2006년 5월	질화알루미늄을 활용한 210nm파장의 원적외발광다이오드 시제품화 성공. 반도체에 미량의 불순물을 첨가하는 p형, n형 도핑에 성공. 고순도 질화알루미늄 결정기술 확립.
국내	Toshiba Materials	2006년 4월	최고수준의 열전도율(275W/m·K)을 가지는 질화알루미늄기관 개발. 열전도율을 종래 제품에 비해 10% 향상에 성공. 파워모듈기관, BeO 대체에 기대.
	물질·재료 연구기관	2006년 3월	백색 LED용 청색형광체 개발. 질화규소, 질화알루미늄, 산화란탄, 산화세륨분말을 혼합하여 질화규소 도가나에서 반응(10기압, 질소, 1900°C)
	한국세라믹 기술원	2008년 12월	기상합성법에 의한 평균입도 60nm, 비표면적 30m ² /g 분말 합성. 질화알루미늄 나노분말 내에 나노기공형성 성공.
	대한 세라믹스	2008년 12월	SHS법에 의한 99%급, 평균입도 1μm급 질화알루미늄분말 합성. 월평균 10톤 생산설비 구축.

4. 전망

4.1 분말시장^{2,3)}

2006년 400톤/년 규모에서 2010년에는 700톤/년 규모로 예상되고 있다. 전체 70% 이상은 고품질 분말(환원질화법, 화학기상법)이 점유하고 있으나 직접질화법에 의한 생산량도 증가하고 있다. 직접질화법에 의한 생산량은 2006년에는 100톤/년 규모였으나 2009년에는 200톤/년 규모로 예측하고 있다. 분말시장에서 여전히 Tokuyama사가 70% 정도의 규모를 점유하고 있으며 계속해서 고품질의 질화알루미늄 개발성공으로 동양알루미늄(일)과 차별화하고 있다. 문제는 동양알루미늄사가 상품화하고 있는 필러용 시장의 확대가 가능하다면 그 생산량은 큰 폭으로 증가할 것이다. 용도측면에서는 구조용을 중심으로 분말시장이 성장할 것이고 필러용도도 시장확대가 예상된다. 1000톤 규모의 분말시장 형성에는 용도개발이 진행된다면 충분히 가능할 것으로 예상된다.

4.2 응용제품 시장^{2,3)}

순조롭게 시장이 형성된다면 2010년에는 7000억원 규모의 시장이 형성될 전망이다. 단독 제품으로는 박막기관과 반도체용 제품이 1000억원 이상을 형성할 것이고 그 외에는 가격하락으로 인한 경쟁력 하락이 예상된다. 1000억원 이상의 매출을 달성할 기업으로는 Nihongaishi가 예상된다. 단지 반도체 시장의 불안으로 인한 변동도 예상된다. 기업별로 Kyocera는 구조용, 기능용 제품화를 추진하고 있으며, Tokuyama는 원료에서의 일괄생산으로 용도도 다양화 하고 있다. Sumitomo Denko는 박막기관을 중심으로 구조용 응용제품개발에도 참가하고 있다. 판매의 50% 이상을 기능용이 점유하고 있으며 구조용의 실적은 낮다. 그러나 이후에는 구조용의 본격적인 확대가 예상된다. 제품별로 주목되고 있는 것은 박막기관, 정전척(1000억원 이상), DBA, DBC 기관도 시장확대형성이 예상된다. 그 외에 자동차용 싸이리스터나 타겟재료(구조용), 히터용 등의 시장형성이 예상된다.

Table 4. 용도별 응용시장 현황

용도	응용제품	생산량	제조사
응용시장 3000억원/년 (2007)	기능용 (2000억원)	백색기관	300만개/월 Asahi Glass Maruwa Tokuyama
		DBC기관	100만개/월 Denkikagaku Dowakogyo
		DBA기관	40만개/월 Mitsubishi Materials Dowakogyo
		박막기관	3000만개/월 Sumitomo Denko Tokuyama Kyocera Toshiba Materials
	팩키지	수천개/월 Kyocera	
구조용 (1000억원)	반도체용	정전척 챔버 더미웨이퍼 Nihongaishi Kyocera Nihonceratech	
	기타	공업용로 액정용 -	

5. 총괄

반도체 시장의 침체로 질화알루미늄 총생산량은 크게 증가하지 않을 것이나 2010년에는 7000억원 규모의 시장(新産業總研(株), 2005)이 형성될 것으로 예상된다. 분

말제조에 있어서는 일본이 전체 70%를 현재 점유하고 있으나 한국, 중국, 미국, 독일 등의 품질향상 및 생산량 증대가 예상된다. 물론 국내기업들이 고품질(순도 99.9%, 평균입도 1 μ m 이하)의 분말을 2010년에 양산화 하기에는 힘들 것으로 예상하고 있으나 중급 품질(순도 99.0%, 평균입도 1 μ m급)의 분말 생산량은 2010년에는 500톤 이상도 가능하리라 예상된다. 응용제품에 있어서도 일본 기업들이 압도적이나 현재 국내 LED 산업의 발전과 반도체 장비 국산화율의 증대, 필러용 질화알루미늄 분말 시장이 새로이 형성되고 있어 2010년에는 국내에서 1000억원 규모의 시장형성이 예상되고 있다. 이를 위해서는 현재 연구개발이 진행 중이나 기능용, 구조용 제품 개발에 대한 기업참여가 요구되며 특히 고품질 질화알루미늄 분말 제조에 관한 국내 참여를 위한 국가적 지원이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업으로 진행중이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. K. Shinozaki and A. Tsuge, " Characterization Techniques of Ceramics : Development of High Thermal Conductive Aluminum Nitride(in JPN)", *Ceramics*, **21** [12] (1986).
2. 新産業總研(株) 보고서, "注目されるAIN市場の現状と展望" (1964).
3. Fuji Chimera Research Institute, Inc. 보고서, "2007

年 微粉體市場の現状と將來展望" (2007).

4. L. C. Pathak, A. K. Ray, S. Das, C. S. Sivaramakrishman and P. Ramachandrarao, "Carbothermal Synthesis of Nanocrystalline Aluminum Nitride Powders." *J. Am. Ceram. Soc.*, **82** [1] 257-60 (1999).
5. J. Shin, D.H. Ahn, M.S. Shin, and Y.S. Kim, "Self-Propagating High-Temperature Synthesis of Aluminum Nitride under Lower Nitrogen Pressures," *J. Am. Ceram. Soc.*, **83** [5] 1021-28 (2000).
6. M-C Wang, N-C Wu, M-S Tasi, H-S Liu, "Preparation and Characterization of A&N Powder in the AlCl₃-NH₃-N₂ System", *J. Crystal Growth*, **216** 69-79(2000).
7. A. V. Virkar, T. B. Jackson and R. A. Cutler, "Thermodynamic and Kinetic Effects of Oxygen Removal on the Thermal Conductivity of Aluminum Nitride", *J. Am. Ceram. Soc.*, **72** [11] 2031-42 (1989).
8. K. Baba, N. Shohata and M. Yonezawa, " Synthesis and Properties of Ultrafine AIN Powder by RF Plasma," *Appl. Phys. Lett.*, **54** 2309-11 (1989).
9. Martin L. Panchula and Jackie Y. Ying, "Nanocrystalline Aluminum Nitride:II, Sintering and Properties", *J. Am. Ceram. Soc.*, **86** [7] 1121-27 (2003)
10. A. F. Janior and D. J. Shanafield. " Thermal Conductivity of Polycrystalline Aluminum Nitride(AIN) Ceramics", *Ceramica*, **50** 247-53 (2004)

피재환



- 소속 : 한국세라믹기술원 이천분원 도자기술센터
- 직위 : 선임연구원
- 전공분야 : 무기안료, 유기하이브리드 분말 합성 및 공정개발
- 주 관심분야 : 질화물 무기안료
- 전화 : 031-645-1426
- 팩스번호 : 031-645-1487
- e-mail주소 : pee@kicet.re.kr

이종근



- 소속 : 대한세라믹스 기술연구소
- 직위 : 책임연구원/기술부장
- 전공분야 : 알루미늄 스피넬 합성 및 알루미늄 분말 제조
- 주 관심분야 : 고밀도 알루미늄 소결체 제조 및 응용
- 전화 : 061-469-3280
- 팩스번호 : 061-462-9676
- e-mail주소 : jongkeun@dh-c.co.kr

김수룡



- 소속 : 한국세라믹기술원 환경재료팀
- 직위 : 수석연구원
- 전공분야 : 생체재료, 환경재료
- 주 관심분야 : 다공성 소재, 기능성 코팅재료
- 전화 : 02-3282-2474
- 팩스번호 : 02-3282-2430
- e-mail주소 : srkim@kicet.re.kr