파워디바이스용 고열전도율 질화규소 기판 소재

글 _ 박영조, 고재웅, 김진명, 이재욱, 김해두
한국기계연구원 부설 재료연구소

1. 서언 (디바이스용 기판 소재)

최근, 파워일렉트로닉스의 진보에 의해 전력의 변환과 제어를 고효율로 수행하는 파워디바이스가 급속히 보급되고 있다. 전기절연성과 고열전도율을 겸비하는 세라믹스는 디바이스의 발생열을 빠르게 전달하고 확산시키며 냉각하는 등 열매체로서의 기능이 우수하여 수송기기용 디바이스의 기판 재료, 고집적 전자회로용 기판 재료, 레이저 발진부 등의 방열 부재(heat sink), 반도체 제조 장치의 반응 용기 부재 및 정밀 기계 부재 등으로 사용 되고 있다. 특히, 자동차 동력의 하이브리드화 및 전기모터화가 급속히 전개됨에 따라 파워모듈의 시장이 급속히 팽창하고 있다 (Fig. 1). 그리고 전력용 반도체에 사용되는 전류는 수십 ~ 수백 A 이상이며 전압도 수백 V 정도로 상당히 고전력이기 때문에 반도체로부터 발생하는 열도 높아 그 열에 의한 소자의 오작동 혹은 파괴를 방지하기 위해 열을 어떻게 효과적으로 방출하는가가 큰 이슈가 되고 있다.

주지하는 바와 같이 CPU 등 LSI의 집적도는 무어의 법칙 (2배/1.5년) 에 따라 매년 높아지고 있으며 이것에 수반하여 동작 주파수도 높아져 반도체 칩의 에너지 밀도는 계속적으로 상승하는 추세이다. 즉, 고기능성화 및 경박단소화에 따라 반도체 칩에서 발생되는 열의 밀도가 급속히 높아지는 것에 기인하여 전자부품소자에서의 주된 문제점은 소자의 온도 상승으로 초래되는 성능 열화와 수명 단축을 포함하는 신뢰성의 저하가 지적된다. 더욱이 상기의 파워모듈이 자동차 등에 탑재될 경우 사용환경의 온도변화가 심대하고, 특히 기판과 배선과의 접합부분에는 높은 응력이 발생하기 때문에 회로기판 소재

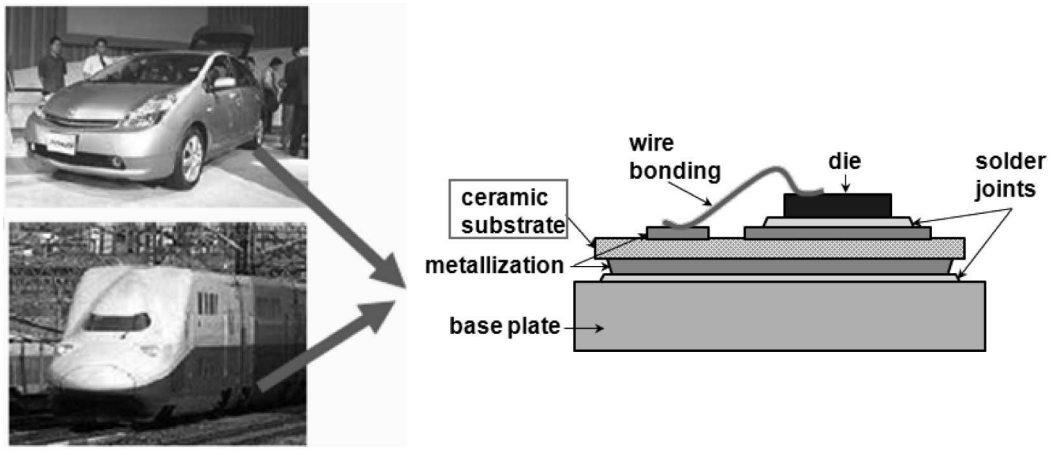

Fig. 1. 고출력 파워디바이스의 세라믹 소재 기판 적용.

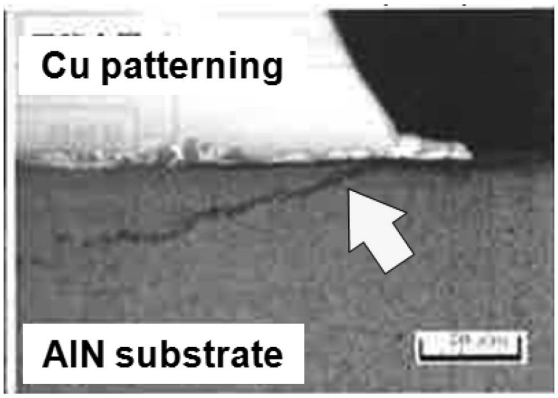

Fig. 2. 질화알루미늄(AlN) 기판 상의 Cu 배선 접합부에서 세라믹 기판 내부로 균열 발생.

는 최소 70 W/mK 이상의 높은 열전도율이 요구되고 아울러서 배선 재료인 구리나 알루미늄과의 접합성이 우수하고 신뢰성을 담보할 수 있는 열적・기계적 특성이 요구되고 있다 (Fig. 2)[1].

2. 질화규소(Si_3N_4) 기판 소재의 특장(特長)

질화알루미늄 (AlN) 기판은 200 W/mK 이상의 높은 열전도율을 보유하여 자동차용 인버터 등 출력밀도가 높은 파워모듈의 회로기판에 이미 적용되고 있다. 산업화에 먼저 성공한 질화알루미늄 소재와 비교하여, 후발 주자인 질화규소 (Si_3N_4) 소재는 상대적으로 낮은 열전도율에도 불구하고 높은 열적・기계적 특성을 겸비함으로써 디바이스의 장수명화 및 고신뢰성화에 유리한 것으로 알려져 있다.

종래의 파워반도체용 절연기판으로 사용되고 있는 알루미나와 질화알루미늄에 더하여 최근 실용화되고 있는 질화규소의 주요특성을 Table 1에 정리하였다[2]. 현재 산업화에 적용되고 있는 질화규소의 열전도율은 질화알루미늄의 1/2 이하이지만 알루미나에 비해서는 3-4배 정도 높다. 또한 꺾임강도 및 파괴인성은 알루미나와 질화알루미늄의 약 2배 이상이기 때문에 열 사이클에 의한 내균열성이 강한 것이 장점이다. 3.1절에서 자세히 개발경향을 기술할 예정이지만, 질화규소의 열전도율은 계속적으로 고점치를 갱신하고 있는데 가장 최근에는 실험실 스케일에서 177 W/mK 정도가 보고되고 있다[3].

Table 1. 현재 상용화 된 열전 냉각소자 및 최대 냉각능.

특성 \ 소재	Al_2O_3	AlN	Si_3N_4
열전도율 (W/mK)	20-30	70-250	60-90
꺾임강도 (MPa)	310-400	330-450	650-850
파괴인성 ($MPam^{1/2}$)	3-4	2-4	5-7
열팽창계수 ($x10^{-6}/K$)	7.1-8.1	4.5-4.6	2.7-3.4
절연내력 (kV/mm)	>12	>14	>14
비유전율	9-10	9	7-9

3. 고열전도율 질화규소의 기술 개발 동향

3.1. 국외 연구 동향

질화알루미늄은 질화규소와 비교하여 열전도율은 높으나 기계적 특성 및 화학적 안정성에 문제점을 노출하고 있다. 즉, 알루미늄과 질소의 결합력은 비교적 약하여 질화알루미늄이 물에 닿거나 하면 쉽게 결합이 분리되어 암모니아 가스를 발생하며 $Al(OH)_3$를 형성한다. 기본적으로 기판은 수분에 직접 노출되지 않도록 패키지가 되어 있지만 가혹한 동작환경이나 사고 등으로 기판에 수분이 닿을 가능성이 있으며 그 때 기판의 특성이 변하는 것은 오작동 내지 파괴의 원인이 된다. 또한, 질화알루미늄은 GHz 대역의 주파수에서 큰 유전손실이 있는 것으로 판명되어 고주파영역에서 동작하는 부품용 기판으로는 적당하지 않은 것으로 알려져 있다.

고열전도율 질화규소 소재는 일본의 산업기술종합연구소(AIST)와 기업(Nissan, DKK) 주도 하에 1990년대 중반부터 연구결과가 보고되고 있다. AIST는 '93mol% Si_3N_4 - 2mol% Y_2O_3 - 5mol% MgO' 조성을 '1900℃ - 12h - 1MPa N_2' 조건으로 소결하여 97 W/mK의 열전도율을 얻었으며[4], MgO를 $MgSiN_2$로 대체한 실험에서 111 W/mK를 나타내는 질화규소 소재를 개발하였다[4]. 한편, Nissan은 '97mol% Si_3N_4 - 0.5mol% Y_2O_3 - 0.5mol% Nd_2O_3 - 2mol% MgO' 조성을 '1900℃ - 4h - 1MPa N_2' 조건으로 소결하여 128 W/mK의 열전도율을 얻었는데, 최소한도의 소결조제만을 사용함으로써 타 기관과 비교하여 유사한 소결조건 하에서는 챔피언 데이터를 기록하였다[5]. 그리고 DKK는 Si_3N_4 출발원료의 입도 분포를 조절함으로써 고열전도율 및 기계적 특성을 동시에 고려한 질화규소 기판 소재를 개발했다고 보고하고 있다[6].

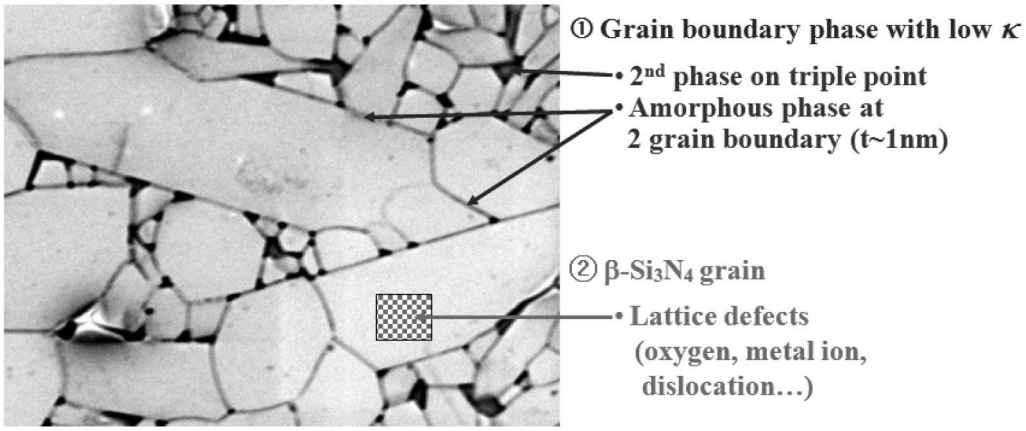

Fig. 3. 질화규소의 미세구조 및 결정 내 결함과 열전도의 상관관계.

질화규소의 고열전도율은 입자성장에 의해 열전도율이 결정보다 낮은 비정질 입계의 숫자가 감소하는 것과 '용해-재석출' 과정에서 질화규소 결정 내의 산소 결함이 감소하는 두 가지 기구에 의한 것으로 밝혀지고 있다 (Fig. 3)[3-6].

이상의 질화규소 개발은 출발원료로 Si_3N_4 분말을 사용한 통상소결법의 결과이며 2004년 이후 AIST에서는 출발원료로 Si을 사용한 반응소결질화규소 연구를 집중적으로 수행하여 통상소결 대비 우수한 열전도 특성을 보고하고 있다. AIST는 'Si - 2mol% Y_2O_3 - 5mol% MgO' 조성을 '1900℃ - 6h - 1MPa N_2' 조건으로 반응소결 및 후소결 공정으로 질화규소를 제조하여 85 W/mK의 열전도율을 얻었으며 (2004년)[7], '1900℃ - 60h - 1MPa N_2 - slow cooling' 조건으로 실험실 규모의 연구에서 보고된 최고치인 177 W/mK를 나타내는 질화규소 기판 소재를 개발하였다 (2011년)[3].

이와 같이 고가의 Si_3N_4를 사용하는 통상소결에 비해 상대적으로 저가인 Si을 출발원료로 사용하는 반응소결의 경우, 가격경쟁력에서 유리할 뿐만 아니라 결정 내 결함의 원인으로 작용하는 최종 소결체 내의 산소함량을 줄일 수 있기 때문에 통상소결체에 비해 높은 열전도율을 나타내는 기판의 제조가 가능하다.

현재 고열전도성 세라믹 기판재료는 일본의 DENKA, 토쿠야마, 일본특수요업, DOWA Metals 등이 마켓 셰어의 상위를 차지하고 있다. 특히, 일본특수요업(NGK SPARK PLUG)은 알루미나 기판의 대형 메이커였으나 질화규소를 이용한 고열전도성 파워모듈용 회로기판을 가장 선도에서 집중적으로 산업화하고 있다.

Table 2는 2004년 이후에 발표된 AIST 연구실의 반응소결의 공정 및 결과를 요약하여 정리한 것이다.

3.2. 국내 연구 동향

1980년대부터 현재에 이르기까지 고열전도율 세라믹 소재의 연구는 주로 질화알루미늄에 한정되었다. 그리고 현재까지는 국내 산업 현장에서 기계적 물성이 고려된 고열전도율 세라믹 소재의 필요성이 직접적으로 요구되지 않은 것에 기인하여 연구기관 및 기업체에서도 질화규소 기판에 관한 연구는 최근까지도 수행된 실적이 없었다. KIMS 엔지니어링세라믹스 연구실에서는 실리콘 분말에 소결조제를 첨가하여 질화반응과 후소결을 통해 치밀한 저가의 질화규소를 제조하는 공정에 대한 연구를 지난 20년간 수행해오고 있으며, 관련하여 이 공정을 질화규소 기판제조에 응용하는 연구를 수년전부터 수행해오고 있다.

4. 질화규소 기판의 적용 사례[2]

고열전도율 질화규소는 기판 형태의 세라믹 단체의 표면・후면의 양면에 Ag-Cu-Ti계 등의 접합재를 사용한 활성금속법에 의해 동판 (Cu) 또는 알루미늄판 (Al) 을 접합하여 반도체 파워모듈에 실장 되는 경우가 대부분이

Table 2. AIST 연구실의 반응소결질화규소 공정 및 열전도율 측정

Reference	2004 JCerSJap	2006 JACS	2008 IJACT	2012 IJACT
Composition	(0.5~5)Y_2O_3+5MgO	2Y5MN	2Y5MO	2Y5MO, 2Y5MN
Si	>99%, d_{50}=1μm	F: d_{50}=0.7μm, O1.28%, Al0.05%, Fe0.2%	Pure Si >99.99%, d_{50}=8.5μm, O0.28%, metal <0.01wt%	L: d_{50}=5.3μm, O1.58%, Al0.02%, Fe0.02%
		C: d_{50}=7μm, O0.3%, Al-, Fe0.05%		H: d_{50}=8.5μm, O0.28%, Al-. Fe-
Milling	PM, 1h, Si_3N_4 jar & ball, methanol, sieve 100μm	PM, 2h, Si_3N_4 jar & ball, methanol	PM, 2h, Si_3N_4 jar & ball, methanol	PM, 2h, Si_3N_4 jar & ball, ethanol
CIP	300MPa, Φ=20mm, t=5mm, W=2g	300MPa, 48x20x6.5mm^3	300MPa, 41x41x7.2mm^3	300MPa, 45x45x5mm^3
Nitriding	Al_2O_3 tube, BN crucible, BN pp, 1L/min N2, 1350°C 8h	Al_2O_3 tube, BN crucible, BN pp, 1L/min N_2, 1350°C 8h or 1400°C 8h	GPS, Double BN/outer C crucible, BN pp, 1400°C 8h 0.1MPa N_2	GPS, Double BN/outer C crucible, BN pp, 1400°C 8h 0.1MPa N_2
Post-sintering	Double BN/outer C crucible, BN pp	Double BN/outer C crucible, BN pp, ↑↓ 10°C/min	Double BN/outer C crucible, BN pp	Double BN/outer C crucible, BN pp
Thermal Conductivity	2Y5MO, 1900°C 6h 1MPa N_2, 85W/mK	1900°C 12h 1MPa N_2 F 112W/mK C 121W/mK E10 111W/mK	1900°C 6h 1MPa N_2, 105W/mK σ_f=736MPa	1900°C 6h 0.9MPa N_2, L-YMO 89W/mK, L-YMN 100W/mK, H-YMO 101W/mK
Phase	No 2nd phase	m ($Y_2Si_3O_3N_4$)	m ($Y_2Si_3O_3N_4$)	No 2nd phase

다. 이 경우 파워모듈은 표면 동판에는 반도체 칩, 후면 동판에는 방열용의 히트싱크가 접합되는 형태가 일반적이다.

이들 사례는 파워모듈의 소형경량화 및 고효율화를 지향하는 것인데 나아가서는 파워일렉트로닉스 자체의 소형경량화에도 연결이 되지만, 종래의 기판 소재로는 강도신뢰성이 낮기 때문에 적용범위가 한정되어 있었다. 고열전도율 질화규소 기판은 열적・기계적 특성이 우수하기 때문에 종래의 기판이 적용되지 못한 실장형태에도 고신뢰성을 나타내는 대응이 가능하다.

4.1. 열피로특성이 요구되는 모듈

반도체소자의 고출력화에 의해 전류밀도와 발열밀도가 증대하는 것에 대응하기 위해 일반적으로 파워모듈에 있어서 세라믹 기판의 열저항을 저감할 필요가 있다. 이를 위해 0.32 mm 두께로 박판화한 알루미나 기판이나 70 - 170 W/mK 정도로 열전도율을 향상시킨 질화알루미늄 기판이 적용되고 있다. 주로 파워모듈의 열피로특성 향상을 꾀하는 고신뢰성화의 요구가 높아지는 상황하에서 저열저항화를 양립시키기 위해 1990년대 중반부터 강도신뢰성이 높은 질화규소 기판의 적용이 시도되었다. Fig. 4는 질화규소, 알루미나 및 질화알루미늄의 각종 세라믹 기판의 두께와 파워모듈 열저항의 관계를 표시한 예이다. t = 0.32 mm 질화규소 기판의 열저항은 열전도율이 높은 질화알루미늄 기판이 t = 0.635 mm 인 경우와 거의 동등하여 대체가 가능할 것으로 판단된다. 한편, 알루미나 기판과의 비교에서는 질화규소 기판을 적용할 경우 약 60% 정도의 열저항이 감소하는 것으로 나타났다.

전술한 바와 같이 파워모듈의 방열성과 반도체 칩 단위면적당 전류밀도의 증가에 따라 방열 동판의 두께가 증가하는 경향이 있다. 그러나 이에 따라 필연적으로 세라믹기판/동판 접합단의 모서리 부분에 응력집중이 과대하게 발생하여 열피로특성이 저하된다. -40℃와 +125℃의 반복 열응력 (△T = 165℃) 실험에서 종래의 질화알루미늄 동회로기판에서는 t = 0.3 mm의 경우 내균열성은 1,000 사이클 이하이었다. 이와 비교하여 질화규소 동

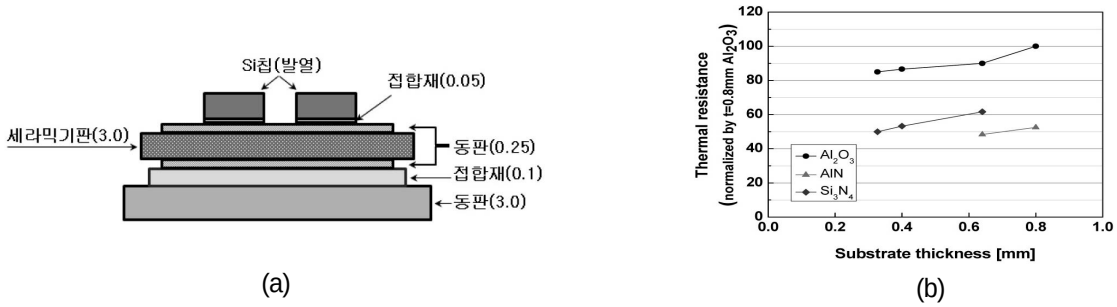

Fig. 4. 세라믹기판 / 동방열판 회로기판구조(a)와 세라믹 기판 종류별 열저항 특성(b).

회로기판은 t = 0.3 mm에서 0.6 mm로 증가시킨 경우에도 HEV/EV에서 요구되는 3,000 사이클 이상의 내균열성을 나타내어 파워모듈의 신뢰성이 대폭 향상되었다. 이를 바탕으로 열피로 대응으로의 질화규소 기판의 적용은 21세기에 들어 급속히 확대되고 있다.

4.2. 차세대반도체소자

파워모듈의 소형화・고출력화에 기인하여 정션온도(T_j)의 향상에 대응하는 반도체소재 개발이 진행되고 있다. Si 소자는 종래의 T_j = 125℃에서 현재는 150℃ 장치가 실용화되어 있고 175℃화로 개발이 진행이 되고 있다. 이와 더불어 차세대 반도체로 주목받고 있는 SiC 소자와 GaN 소자는 정션온도가 200℃를 상회하여 400℃ 정도까지 높은 온도에서 사용이 가능한 것으로 알려져 있다. 이러한 차세대 반도체의 본격적인 실용화를 위해 파워모듈에 채용되는 절연기판의 온도조건은 결국은 400℃ 정도의 고온으로 쉬프트할 것으로 예상된다. Fig. 5는 질화규소 기판과 질화알루미늄 기판에 대해 400℃ 영역까지의 절연저항의 온도의존성을 평가한 결과이다. 질화알루미늄 기판은 200℃ 이상에서 절연저항의 저하가 현저하지만, 밴드 갭이 넓은 질화규소 기판은 400℃까지의 온도상승에 대한 절연저항 저하의 문제는 없는 것으로 판명되었다. 한편, T_j의 상승에 따라 전술한 열 사이클 시험조건은 한층 더 가혹해지는 경향이다. 예를 들어, -40℃와 +175℃의 열이력에 의해 △T를 215℃로 높인 열 사이클 실험의 결과, 질화알루미늄 동회로기판 (t = 0.3 mm) 에서는 내균열성은 300 사이클 이하까지 감소한다. 반면에 동일한 두께의 질화규소 동회로기판은 현재 1,000 사이클 정도의 내균열성이 확인되어 있고 3,000 사이클을 목표로 평가가 계속 이루어지고 있다.

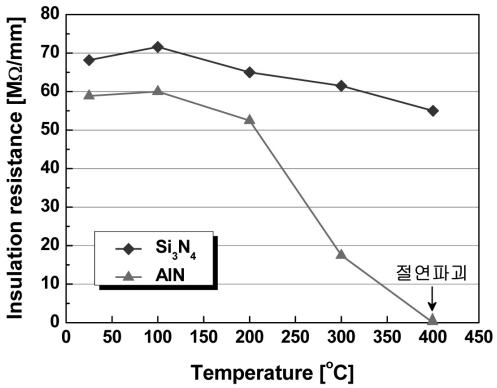

Fig. 5. 질화규소 및 질화알루미늄 기판의 절연저항.

4.3. 실장구조의 다양성이 요구되는 분야의 응용

전술한 각종 세라믹 기판의 두께와 최대 휨변형량과의 관계를 Fig. 6에 플롯 하였다. 질화규소 기판은 최대 휨변형량이 타 세라믹 기판의 1.5배 이상으로 큰 것을 알 수 있다. 이러한 장점을 활용하여 HEV에 탑재되는 PCU (power control unit) 에 있어서 반도체소자의 상하 양면에서 발열시키기 위해 절연기판을 소자의 양면에 구비하여 다층 적층하는 구조에 있어서도 질화규소 기판이 활용되어 PCU의 소형화 및 고출력화에 공헌하고 있다. 또한, 파워모듈의 생산성 및 접합신뢰성을 향상시키기 위해 동회로기판 상에 전극단자를 직접 초음파접합 하는 케이스가 증가하고 있다. 이 때 초음파접합 시의 충격에 의해 알루미나 기판 및 질화알루미늄 기판은 균열발생의 위험이 노출 되었지만 강도 및 파괴인성이 상대적으로 우수한 질화규소 기판은 균열발생이 억제되는 것이 확인되었다.

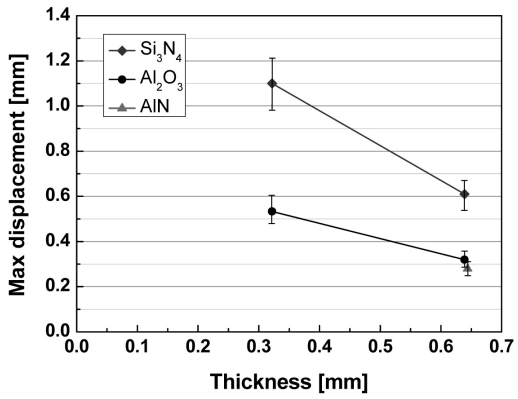

Fig. 6. 각종 세라믹 기판의 최대 휨변형량.

5. 디바이스용 세라믹 기판 소재 연구 개발의 기대 효과

통상소결법과 비교하여 질화규소 소재의 가격경쟁력 및 열전도율 특성을 동시에 향상시킬 수 있는 기술로 보고되고 있는 반응소결법을 확보할 경우, 자동차 산업, 반도체/디스플레이 산업 및 LED 산업의 강국인 우리나라의 산업경쟁력을 한 단계 더 강화할 수 있을 뿐만 아니라 신수종산업의 창출 가능성이 높을 것으로 기대된다.

자동차 세계 5대 강국 및 반도체/디스플레이 세계 3대 강국이 대변하듯이 첨단 전방 산업 분야의 국내외 거대 시장을 상당 부분 점유하고 있지만, 이를 뒷받침 하는 후방 소재 산업과 중간을 연결하는 부품 (모듈) 산업은 선진국 대비 뒤떨어지는 기술력에 기인하여 경쟁력을 확보하지 못하고 있는 실정이다. 이와 같은 현황을 고려하면 고열전도율 질화규소 기판을 성공적으로 개발할 경우, 미래 자동차의 트렌드인 하이브리드 자동차 또는 전기자동차 분야의 신 시장 개척과 높은 정션온도에서도 작동하는 소형 고출력 SiC 반도체소자 또는 GaN 반도체소자에 선제적으로 대응할 수 있다.

LED 조명용 컵 또는 방열 기판, 전자부품소재의 디바이스 기판 등은 단순 형상의 작은 부피로 부품소재의 단가는 염가이지만 전 세계시장에서 대규모 수량으로 소모되기 때문에 시장규모는 크고 부가가치 또한 높다. LED 조명의 breakthrough는 방열 문제 해결과 직접적으로 연관되어 있고 그 파급효과는 글로벌 수준에서 에너지 절감을 포함하는 경제적・환경적으로 이슈화가 되어 있다. 전 세계적으로 LED의 조명 시장 진입을 위한 가장 큰

Table 3. 글로벌 세라믹 기판 시장 규모 (단위: 억 원)

구분	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년
금액	5,096	5,395	5,798	5,941	6,552	7,000

* 2011년도 시장규모는 추정치. LED 컵용 세라믹 기판 제외.
* 자료: 야노경제연구소 발표 (환율 100엔/1300원 적용)

장애요인은 기존 조명 대비 현격히 불리한 가격경쟁력에 기인하는 것으로 알려져 있다. 현재 LED 패키징에서 방열부품은 완제품 단가의 50% 이상으로 높기 때문에 고열전도율 세라믹 기판의 채용 시, 방열부품의 부피 및 단가의 대폭 절감에 의해 LED 조명의 가격경쟁력 제고에 의한 일반 조명 대체를 선점할 수 있을 것으로 기대된다. 연간 LED 칩 생산 150억 개 중 세라믹 기판 채용율 50% 및 기판 가격 100원을 가정할 경우, 연간 7,500억 원 정도의 단일 품목 대규모 시장의 형성도 가능할 것으로 전망된다.

LED 컵 응용 이외에 질화규소를 포함한 고열전도율 세라믹 기판의 세계 시장규모 추이와 예측을 Table 3에 나타내었다. 2008년부터 2009년에 걸쳐 증가 추세가 약간 침체하지만 그 전후로는 증가 추세가 이어지고 있으며 향후에도 상승기조가 계속될 것으로 예상된다.

6. 결언

인류의 에너지원이 화석연료에서 신재생 에너지로 옮아감에 따라 이미 기술적으로 안정한 저출력 디바이스 이외에 다양한 장치설비에서 고출력 디바이스가 요구되고 있으며, 이러한 장치의 기판 재료로는 종래의 저열전도성 고분자 소재를 대체하여 고열전도성 세라믹 소재가 적용되기 시작하고 있다. 기업 주도에 의한 전방산업 (자동차, 반도체/디스플레이, LED 등) 위주의 투자 및 발전으로 현재의 국제경쟁력을 확보하고 있는 바, 국가 지원에 의한 고열전도율 세라믹 소재 후방산업의 원천기술을 확보할 경우 전후방산업 간의 거대한 시너지 효과가 기대 가능하다.

ISASC2012 (대회장: KIMS 김해두 박사, 엔지니어링 세라믹스 관련 학회) 에서 확인된 바와 같이 전 세계적으로 질화규소에 관한 연구가 다시 활발하게 진행될 것으로 전망된다. 즉, 질화규소의 고열전도율과 열적・기계적

강도에 주목하여 각종 디바이스의 기판 재료로의 산업화가 일부 실현화되고 있지만 멀지 않은 장래에 광범위 산업에 걸쳐 실현될 것으로 예상되고 있다. 선진 각국에서 엔지니어링 세라믹스 관련의 연구가 정체기에서 벗어나지 못하고 있는 실정을 감안하면, 지금 현재 가장 '핫' 하고 실현 가능성이 높게 평가되는 고열전도율 질화규소 연구를 국가적 차원에서 지원하여 성과를 거두게 된다면, 세라믹스 관련 과학기술의 중흥을 우리나라가 주도해 나갈 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Y. Zhou and H. Hyuga, *Ceramics Japan*, **47** [1] 12-15 (2012).
2. T, Naba, *Ceramics Japan*, **47** [1] 38-41 (2012).
3. Y. Zhou, H. Hyuga, D. Kusano, Y. Yoshizawa and K. Hirao, *Advanced Materials*, **23** 4563-67 (2011).
4. X. Zhu, H. Hayashi, Y. Zhou nad K. Hirao, *J. Mater. Res.*, **19** [11] 3270-78 (2004).
5. Y. Okamoto, N. Hirosaki, M. Ando, F. Munakata, and Y. Akimune, *J. Mater. Res.*, **13** [12] 3473-77 (1998).
6. H. Yokota and M. Ibukiyama, *J. Am. Ceram. Soc.*, **86** [1] 197-99 (2003).
7. X. Zhu, Y. Zhou, and K. Hirao, *J. Ceram. Soc. Japan*, **112** [5] S410-S414 (2004).

박영조

- 1994년 서울대학교 무기재료공학과 학사 졸업
- 1996년 서울대학교 무기재료공학과 석사 졸업
- 2000년 동경대학교 재료학과 박사 졸업
- 2001년~2003년 미국 오크리지연구소 (ORNL) Post-Doc
- 2003년~현재 한국기계연구원 부설 재료연구소 책임연구원

고재웅

- 1987년 연세대학교 요업공학과 학사 졸업
- 1989년 서울대학교 무기재료공학과 석사 졸업
- 2007년 서울대학교 재료공학부 박사 졸업
- 1991년 일본 금속재료연구소(NRIM) STA Fellow
- 2001년~2002년 일본 NIMS 초빙연구원
- 1989년~현재 한국기계연구원 부설 재료연구소 책임연구원

김진명

- 2010년 서울대학교 재료공학부 학사 졸업
- 2012년 서울대학교 재료공학부 석사 졸업
- 2012년~현재 한국기계연구원 부설 재료연구소 연구원

이재욱

- 1994년 KAIST 전자재료공학과 학사 졸업
- 1996년 서울대학교 공과대학 무기재료공학과 석사 졸업
- 1996년~1998년 삼성전관 연구원
- 1999년~2004년 서울대학교 재료공학부 박사 졸업
- 2010년~2011년 미국 오크리지연구소(ORNL) 방문연구원
- 2004년~현재 한국기계연구원 부설 재료연구소 선임연구원

김해두

- 1979년 연세대학교 요업공학과 학사 졸업
- 1980년 영국 Sheffield 대학 요업공학과 석사 졸업
- 1983년 연세대학교 요업공학과 박사과정 이수
- 1987년 독일 Aachen 공대 박사 졸업
- 1997년~1998년 미국 오크리지연구소(ORNL) 객원연구원
- 1988년~현재 한국기계연구원 부설 재료연구소 책임연구원 (현 선임연구본부장)