

결정성 실리카/질화 알루미늄 혼합충진에 따른 EMC의 물성 연구

김원호, 홍용우, 배종우, 황영훈, 김부웅

부산대학교 화학공학과

The study on the properties of binary mixture(crystalline silica/AlN) filled EMC(Epoxy Molding Compounds)

Wonho Kim, Yong-Woo Hong, Jong-Woo Bae, Young-Hun Hwang,
and Bu-Ung Kim

Department of Chemical Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

초록: 실리카는 에폭시를 기지재로 하는 전자봉지재의 충진제로써 널리 사용되고 있는 재료이나 이의 낮은 방열성으로 인해 고방열성을 요구하는 부분에는 적용이 어렵다. 충진제 입자들의 지름비를 조합함으로써 최대충진 밀도를 높혀 고충진을 가능하게 하며 유동성도 향상된다는 점을 고려하여 높은 유동성을 가진 결정성 실리카(crystalline silica)를 큰 입자로 하고, 높은 열전도도와 낮은 열팽창계수를 가지지만 상대적으로 고가인 AlN을 작은 입자로 선정하여 혼합충진에 따른 EMC의 물성을 평가하였다. 실리카/AlN의 혼합비에 따른 EMC의 물성측정 결과, AlN의 투입분율을 0.3으로 하였을 때가 AlN의 투입에 따른 물성향상 효과가 가장 뛰어난 것을 확인할 수 있었다. 따라서 AlN을 결정성 실리카와 최대 충진밀도에서 혼합하여 EMC에 적용할 경우에, 유동성의 저하없이 AlN의 소량투입만으로 뚜렷한 물성향상 효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

Abstract: Silica is the most popular materials as a filler of EMC for microelectronic packaging. However, because of its low thermal conductivity, the use of silica is restricted to parts requiring high thermal dissipation. The superior fluidity of EMC can be achieved with a combination of filler size distribution. In this study, physical properties of EMC filled with the crystalline silica($13\mu\text{m}$) which have high fluidity and low cost and the AlN($2\mu\text{m}$) which have high thermal conductivity and low coefficient of thermal expansion were evaluated by changing the AlN/silica ratios. As a result of the evaluation of physical properties of EMC, the optimum mixing ratio of AlN/crystalline silica was 0.3/0.7. In this condition, binary mixture(AlN/crystalline silica) filled EMC showed superior properties, i.e., in the thermal conductivity, CTE, dielectric constant, flexural strength, and thermal shock resistance, without reduction of fluidity.

1. 서론

1940년대 진공관을 장착한 애니악의 발명에서부터, 1980년대에 개인용 컴퓨터(PC)의 출현까지 수십 년 동안 계속된 전자, 통신, 컴퓨터산업의 발달은 그 시스템을 구성하고 있는 부품의 더욱 빠른 정보처리능력을 요구하게 되었다. 반도체 봉지재는 고속화가 필요한 시스템 즉, 슈퍼컴퓨터, 대형컴퓨터, 군사용 기기 등의 성능, 비용, 신뢰성을 결정하는데 있어서 항상 중요한 요인으로 작용한다. 반도체 봉지재는 수백 또는 수천 만개 이상의 transistor, IC,

resistor, diodes, capacitors와 기타 구성요소 등 매우 많은 전자회로 요소를 봉지하며 [1-4], 상호 연결된 구성요소에 대하여 기계적 지지(mechanical support)와 외부환경에 대한 보호(environmental protection)를 제공한다. 그리고, 소자의 초소형화와 고집적화를 통하여 chip 간의 거리를 좁혀 내부 신호전달 속도를 증대시킬 수 있으며, 이 때 유전상수 및 산란계수가 낮은 매질(media)을 사용하여 신호 지연과 신호 감쇠를 줄일 수 있어야 한다. 또한, 전자회로가 기능을 발휘하기 위해서는 전기에너지가 공급되어야 하는데, 그 중 일부는 열(heat)로 변환된다. 모든 회로는 제한된 온

도범위(20 ~ 80℃)내에서 최적의 동작을 수행해야 되기 때문에 반도체 봉지재는 충분한 방열성을 제공해야 한다.[4-7]

실리카(silica)는 에폭시를 기지재로 하는 전자봉지재의 충전제(filler)로 널리 사용되고 있는 재료이다. 그러나, 실리카의 낮은 방열성으로 인해 고방열성을 요구하는 부분에는 사용이 제한되어 왔다. 따라서 봉지재에 방열성을 부여하고자, 기존의 실리카를 대체할 수 있는 재료로 높은 열전도도를 가지는 것으로 알려진 질화알루미늄(AlN), 실리콘 카바이드(SiC) 등에 대한 연구가 진행되고 있다.[8-13]

현재 널리 쓰이는 무기충진제와 에폭시 기지재의 물리적 특성을 Table 1에 나타내었다. 이러한 무기충진제의 고충진은 열전도도와 열팽창

Table 1. Physical properties of inorganic filler and organic matrix.[14]

Materials	Dielectric constant	Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ /K)	Thermal conductivity (W/mK)
AlN	8.8	4.4	130~260
Crystalline SiO ₂	3.8~5.4	15	14
BeO	6.7	6.3	250
Epoxy	6~8	50~90	0.2

계수, 내습성의 향상을 가져올 수 있지만, 유동성 저하(점도 상승)로 성형 불량을 야기시킨다. 이러한 충전제의 함량과 점도와의 관계를 설명하는 식으로는 Einstein 식을 비롯한 많은 실험식이 있지만, 그 중 혼합충진에 있어서 실험값과 가장 잘 맞는 식으로는 아래의 Mooney 식이 알려져 있으며, 이를 본 연구의 이론식으로 설정하였다.

$$\ln\left(\frac{\eta_c}{\eta_0}\right) = \frac{K_E \Phi_f}{\left(1 - \frac{\Phi_f}{\Phi_m}\right)} \quad (1)$$

여기서, η_0 는 수지의 점도, η_c 는 복합체의 점도, Φ_m 은 최대충진 밀도, Φ_f 는 충전제의 충전밀도, K_E 는 Einstein 상수이다.

Mooney식에 따르면 한 종류의 구형 입자로 얻을 수 있는 최대충진 밀도는 0.64 정도로 알

려져 있으며, 서로 다른 크기를 가지는 충전제 입자들을 조합하여 최대충진밀도를 높이면 복합체의 점도, η_c 를 낮출 수 있다. Mcgeary의 연구에 의하면, 충전제 입자들의 지름비와 혼합분율에 따른 최대충진 밀도는 Fig. 1과 같다. Fig. 1은 지름비(D_L/D_S =average diameter of large particle/average diameter of small particle)가 6 이상일 때 최대충진 밀도를 0.80까지 높일 수 있으며 지름비가 20 이상일 때 최대 충전밀도는 0.84 이상까지 가능하다는 것을 보여주고 있다.[15]

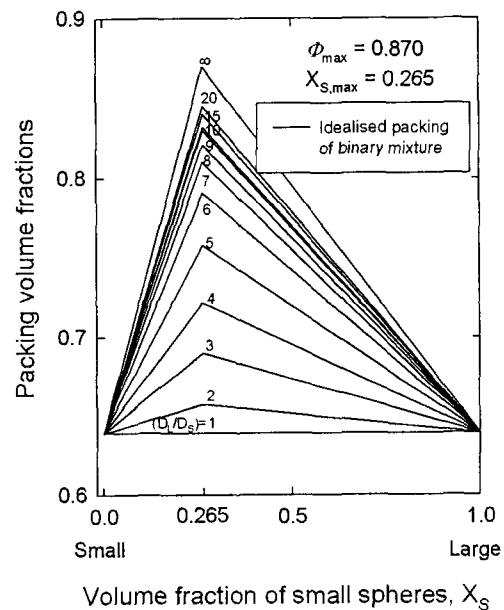


Fig. 1. Idealized maximum packing of binary mixtures of spheres as a function of composition with diameter ratios as a parameter.[15]

본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 높은 유동성을 가진 실리카(crystalline silica: granular type)를 큰 입자로 하고, 높은 열전도도와 낮은 열팽창계수를 가지나 상대적으로 고가인 AlN(granular type)을 작은 입자로 하여 충전비율에 따른 열전도도, 열팽창계수, 유전상수 등을 측정 한 후, 각각의 충전제가 가지는 물성과 비교하여 고가인 AlN이 최소투입되는 범위에서의 최적물성을 가지는 EMC(epoxy molding compounds)의 충전비율을 구하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 재 료

본 연구에서 사용한 epoxy는 o-cresol novolac epoxy를 사용하였으며, 경화제는 phenol novolac, 촉매는 TPP (triphenylphosphine)를 사용하였다. 충진제 (filler)는 각형의 결정성 실리카 (Morimura Co., Japan, 평균입자경: 13 μ m)와 granular type인 Si-O가 코팅된 AlN (ART Co., USA, A100; 평균입자경: 2 μ m)를 사용하였다. 그리고, 커플링제, 이형제 등을 소량 첨가하였다[16].

2.2 시편 제조

충진제를 고충진함에 따라 원활한 분산을 위하여 two-roll mill을 사용하여 80 $^{\circ}$ C에서 10분간 충분히 혼련한 후, 175 $^{\circ}$ C에서 2분 30초간 75kgf/cm²의 압력으로 트랜스퍼 성형을 하였다. 175 $^{\circ}$ C에서 4시간 정도 후경화 과정을 거쳤다.

2.3 물성 평가

제조된 시편의 물성은 열전도도, 유전상수, 열팽창계수, 굴곡강도, 유동성 등을 평가하였으며 평가방법은 아래에 서술하였다.

2.3.1 유동성

컴파운드의 유동성은 산업체에서 널리 이용하고 있는 spiral flow test를 이용하였다. Spiral coil의 길이는 60 inch이며, 60 inch 이상 흐를 경우, overflow로 설정하였다. 시험 조건은 175 $^{\circ}$ C에서 2분 30초간 75kgf/cm²의 압력을 가했을 때 흐른 길이로 평가하였다.

2.3.2 열전도도

컴파운드의 열전도도는 disk형의 시편(10 ϕ × 2 mm)을 제조한 후 상온에서 laser flash method (Sinku-Riko Co., model TC-7000)로 측정하였다. 비열(C_p)은 DSC (Perkin Elmer Co., USA, model Pyris 1)를 이용하여 측정하였으며, 밀도는 아르키메데스의 원리를 이용하여 측정하였다. 열전도도는 다음 식으로부터 계산하였다.

$$k = \alpha \cdot \rho \cdot C_p \quad (2)$$

여기서 k는 시편의 열전도도, α 는 시편의 열확

산계수, ρ 는 시편의 밀도, C_p는 시편의 비열이다.

2.3.3 열팽창계수

컴파운드의 열팽창계수는

rectangular형태의 시편을 이용하여 linear dilatometer (Anter Co, USA)를 사용하여 측정하였다. 측정조건은 5 $^{\circ}$ C/min의 승온 속도로 30 $^{\circ}$ C에서 250 $^{\circ}$ C까지 측정하였다. 다음 식으로부터 선팽창계수 β 를 계산하였다.

$$\beta = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} = \frac{L_f - L_0}{L_0 (T_f - T_0)} \quad (3)$$

여기서 β 는 시편의 열팽창계수, L_f는 시편의 최종길이, L₀은 시편의 초기길이, T_f는 시편의 최종온도, T₀는 시편의 초기온도이다.

2.3.4 유전상수

컴파운드의 유전상수는 disk형의 시편(10 ϕ × 2 mm)을 LF Impedance Analyzer (Hewlett Packard, USA, model HP 4192A)를 이용하여 상온, 1MHz의 frequency에서 유전용량을 측정한 후 다음 식으로부터 계산하였다.

$$\epsilon = \frac{c}{(A/d)E_0} \quad (4)$$

여기서 ϵ 는 시편의 유전상수, c는 시편의 유전용량, A는 시편의 면적, d는 시편의 두께, E₀는 진공에서의 유전용량 (8.85pF)이다.

2.3.5 굴곡강도

ASTM D790에 의거하여, rectangular형태의 시편(각 3개)을 universal testing machine (Zwick Co., Germany)를 이용하여, 200N의 load cell을 사용하여 10mm/min의 속도로, 굴곡강도와 탄성율을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유동성

무기충진제의 고충진은 열전도도와 열팽창계수, 내습성의 향상을 가져올 수 있다. 하지만 이에 따른 점도 상승은 유동성을 저하시켜 생산 시에 성형 불량률을 야기시키고, 미세 런너와 게이트를 통과한 후 컴파운드의 계량(metering) 시에 높은 압력을 필요하게 하므로 에너지 소모

가 크지는 단점이 있다.

충진제의 부피분율을 0.65 로 고정하고 AlN 의 충진비율에 따른 컴파운드의 유동성을 평가한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 일반적으로 충진제의 입자경이 작을수록 표면적의 증가로 인한 유동저항이 커지는데, 큰 입자인 결정성 실리카의 충분한 유동성과 최대충진밀도의 상승으로 인하여 AlN의 투입분율을 0.4까지 증량하여도 유동성의 변화는 크지 않았다. 다만, AlN 단독으로 사용할 경우에는 flow length가 3inch 정도로 유동성이 거의 없었다.

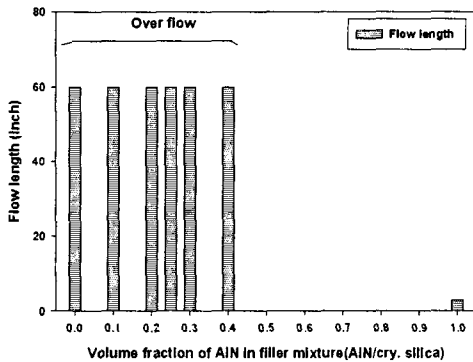


Fig. 2. The flow length of EMC(filler volume fraction of 0.65) as a function of the volume fraction of AlN.

따라서 AlN의 충진비율을 0.4까지 증량시켜도 60inch 이상의 유동성을 가져 저압 트랜스퍼 성형 시에도 성형불량이 야기되지 않는 범위의 충분히 낮은 점도를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 열전도도

칩의 온도 상승은 회로의 오동작, 크랙발생, 파괴 등을 가져오므로 빠른 열방출이 필요하며, 따라서 봉지재의 열전도도는 높아야 한다. 이전의 연구[16]에서 성형성 확보와 물성 향상의 두 가지 인자를 고려하였을 때 최적 충진제 부피분율을 0.65로 결론지은 바 있다. 따라서 본 연구에서는 이 같은 결과를 바탕으로 물성을 평가하였다. 충진제의 전체 부피분율을 0.65 로 고정하고, 큰입자와 작은 입자간의 지름비 (D_L/D_S)가 6.5 일 때, 결정성 실리카에 대한 AlN의 투입분율 변화에 따른 열전도도 측정결

과를 Fig. 3에 나타내었다. 높은 열전도도는 무기 충진제의 고충진으로 얻을 수 있다. 같은 충진제 부피분율을 가질 경우, 최대 충진밀도를 얻기 위해 큰 입자와 작은 입자의 충진제를 혼용한 경우 열전도도 향상을 얻을 수 있다는 것을 이전의 연구[17]를 통해 확인한 바 있다.

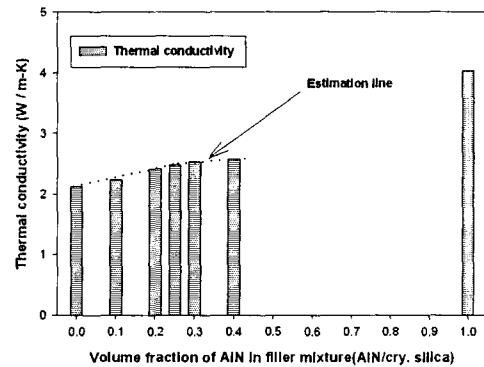


Fig. 3. The thermal conductivity of EMC(filler volume fraction of 0.65) as a function of the volume fraction of AlN.

이는 혼용에 따른 maximum packing fraction의 증가가 컴파운드의 유동성을 향상시키며, 충진제와 기지재(matrix)간의 계면의 thermal barrier (interfacial void)의 감소로 인한 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 작은 입자로 실리카보다 열전도도가 30배 높은 AlN을 사용한다면 더 큰 열전도도 향상 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상되어진다. Fig. 3을 보면 AlN의 함량이 증가함에 따라 열전도도가 증가하는 경향을 보이는데, AlN의 함량이 이론적으로 최대 충진 밀도를 얻을 수 있는 0.25까지 증가할 때까지 열전도도의 증가 기울기가 크다가 0.3 이상에서는 완만한 기울기를 나타낼 수 있었다. 이는 충진밀도의 증가에 따른 충진제 상호간의 접촉점 증가 효과가 높은 열전도도의 AlN충진에 따른 열전도도 향상 효과보다 더 크다는 것을 보여준다. 따라서, 열전도도 향상 효과가 크고, 고가의 AlN의 양이 최소화될 수 있는 AlN의 부피분율 0.25를 열전도도 향상을 위한 최적비율로 선정하였다. 결과적으로 AlN을 부피분율로 투입하여 충진제의 부피

증가 없이 EMC의 열전도도를 0.5W/m-K 정도 향상시킬 수 있었다.

3.3 열팽창계수

반도체 소자들이 고집적화, 소형화됨에 따라 미세한 표면구조를 가지는 대형소자를 밀봉시킬 경우, Fig. 4와 같이 봉지재와 chip 및 leadframe의 열팽창계수(CTE: Coefficient of

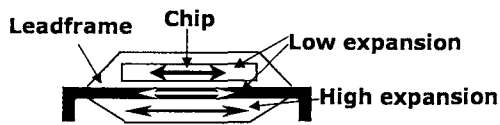


Fig. 4. A schematic diagram of basic thermal expansion mismatch problem[7].

thermal expansion) 차이로 인하여, 발생한 내부응력은 구성요소의 취약한 부분에 크랙 생성 및 봉지재와 leadframe, chip과 leadframe 간의 박리(delamination) 등이 발생할 수 있는 요인으로 작용하므로, 봉지재의 열팽창계수 값이 chip 및 leadframe의 열팽창계수 값에 유사할 수 있도록 충분히 낮아야 한다. Fig. 5는 충전제의 부피분율을 0.65로 고정된 후 결정성 실리카/AlN의 투입분을 변화에 따른 열팽창계수를 측정하여 나타내었다. Fig. 5를

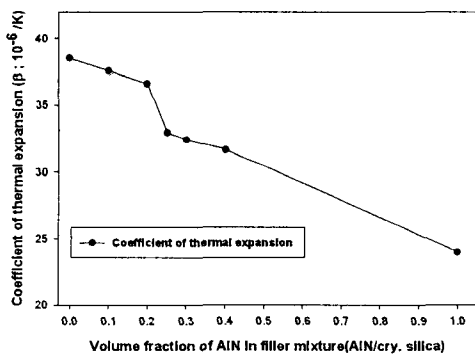


Fig. 5. The coefficient of thermal expansion of EMC (filler volume fraction of 0.65) as a function of the volume fraction of AlN.

보면 결정성 실리카 보다 낮은 열팽창계수값을 가진 AlN의 함량이 증가함에 따라 EMC의 열팽창계수값이 38ppm/°C에서 36ppm/°C로 점진적으로 감소하다가 AlN의 함량이 0.25 이상일 때, 결정성 실리카를 사용한 경우보다 EMC의 열팽창계수 값이 20% 정도 낮아졌다. 작은 입자의 함량비가 증가함에 따라 열팽창계수가 감소하는 것은 이전의 연구[17]에서도 확인할 수 있었는데, 이는 입자 표면적의 증가가 필러 사이의 상대적 두께를 감소시켜 나타난 현상으로 생각된다. 따라서, 실리카에 비해 낮은 열팽창계수와 넓은 표면적을 가지는 AlN의 충전량이 증가함에 따라 열팽창계수 값의 감소폭이 더욱 커진 것을 볼 수 있다.

3.4 유전상수

플라스틱 패키징에 있어 물질의 유전특성은 디바이스의 실행에 중요한 역할을 담당하고 있다. 유전상수(dielectric constant)와 산란계수(dissipation factor) 모두 디바이스의 신호 전달 용량이나 신호 전달속도에 중요한 영향을 미치는 인자이다. 식 (5)에 나타낸 바와 같이, 낮은 유전상수값은 신호지연을 줄여서 소자의 실행을 더욱 원활하게 하여 소자 자체의 높은 집적성과 더 높은 clock rate를 가능하게 한다.

$$T_d = \sqrt{\epsilon} \frac{l}{c} \quad (5)$$

여기서 ϵ 는 매질의 유전상수, c 는 빛의 속도, l 은 distance, T_d 는 신호의 전달 지연이다[7]. 결정성 실리카를 부피분율 0.65로 단독 충전한 EMC의 경우, 5.9 정도의 유전상수값을 나타내며 AlN을 부피분율 0.65로 단독 충전한 경우에는 1.8 정도의 유전상수를 가지는 것으로 연구되었다[16]. 충전제의 전체 부피분율을 0.65로 고정하였을 때, 결정성 실리카에 대한 AlN의 투입분을 변화에 따른 유전상수와 산란계수 측정결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6을 보면 AlN의 함량이 증가함에 따라 유전상수가 감소하는데, AlN의 함량이 0.20 정도까지는 급격히 감소하다가 0.25 이상에서는 완만한 기울기를 나타내며 산란계수의 경우에도 유전상수와 유사한 경향을 보임을 확인할 수 있었다.

이와 같은 결과로부터 AlN의 투입분율이

0.2 이상에서 EMC의 유전상수나 산란계수값

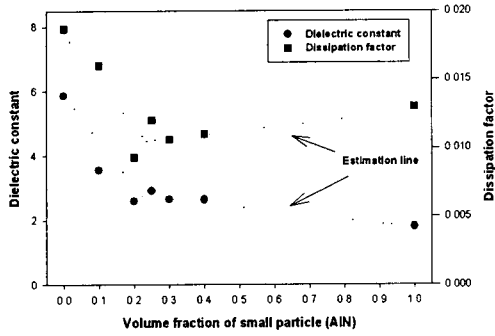


Fig. 6. The dielectric constant and dissipation factor of EMC (filler volume fraction of 0.65) as a function of the volume fraction of AIN.

이 안정적이며 결정성 실리카가 단독으로 투입된 EMC의 값보다 우수함을 알 수 있었다.

3.5 굴곡강도와 탄성율

봉지재의 열팽창계수는 폴리머에 비해 매우 낮은 열팽창계수를 가지는 충전제의 증량을 통해 낮출 수 있으나, 충전제의 증량에 따라 탄성율(elastic modulus)이 증가하므로 적절한 균형점을 선정하여야 한다. 또한 외부충격으로 부터의 보호를 위해서 기계적강도도 우수하여야 한다. 따라서, 충전제의 전체 부피분율을 0.65로 고정하고 $D_L/D_S = 6.5$ 일 때, 결정성 실리카에 AIN의 투입분율 변화에 따른 굴곡강도와

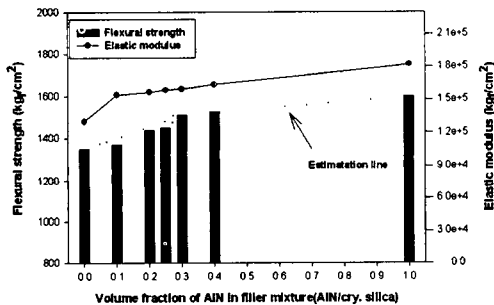


Fig. 7. The flexural strength and elastic modulus of EMC (filler volume fraction of 0.65)

탄성율을 측정하여 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7을 보면, AIN의 투입분율이 증가함에 따라 굴곡강도와 탄성율이 증가하는 것을 알 수 있었다. 작은 입자(AIN)의 함량이 0.3 까지 증가할 때 굴곡강도 증가폭이 0.3 이상 투입 시의 증가 폭보다 크며, 탄성율은 0.1 까지 급격하게 증가하다가 0.2 이상에서 서서히 증가함을 보이고 있다. 이것은 작은 입자의 부피분율이 커져 충전제의 표면적이 증가함에 따라 충전제와 에폭시의 결합력이 강하게 작용하기 때문으로 생각되어 진다. 따라서, 탄성율의 증가가 크지 않고 굴곡강도의 증가가 큰 영역인 AIN의 투입분율 0.30 정도가 최적 투입분율임을 알 수 있었다.

3.6 열피로 저항

위의 결과들을 종합하여, 반도체 봉지재의 열피로 특성을 평가하기 위하여 Bobrowsky et al.[18]이 제안한 thermal shock parameter를 이용하였으며, 관계식은 아래 식 (6)과 같다.

$$\text{Thermal shock parameter} = (k \cdot \varphi) / (\beta \cdot E_c) \quad (6)$$

여기서 k는 EMC의 열전도도, φ 는 인장 또는 굴곡강도, β 는 EMC의 열팽창계수, E_c 는 EMC의 탄성율이다.

일반적으로, thermal shock parameter 값이 높을수록 열피로에 대한 내 크랙성이 우수한

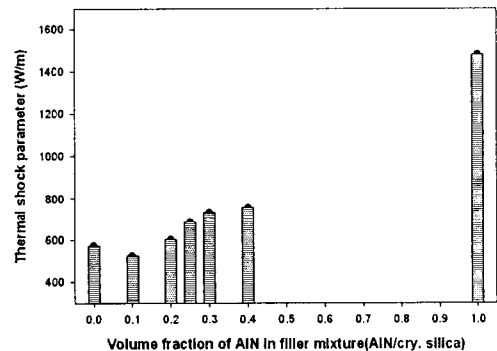


Fig. 8. The thermal shock parameter of EMC (filler volume fraction : 0.65) as

a function of AlN.
 것으로 평가할 수 있기 때문에, 충전제의 부피 분율 0.65에서 AlN의 부피분율에 따른 EMC의 thermal shock parameter 값을 계산한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서는 AlN의 부피분율이 0.3에 도달 할 때까지 thermal shock parameter 값의 증가폭이 커지다가 그 이후부터 완화되는 것을 볼 수 있으며, 이를 통해 AlN의 최적 부피분율을 AlN의 투입에 따른 물성향상효과가 가장 우수한 0.3으로 볼 수 있으며, 이 시점에서의 thermal shock parameter값은 결정성 실리카 단독층진된 EMC보다 30%정도 향상된 값을 보인다.

4. 결 론

높은 유동성과 낮은 단가의 장점에 기인하여 기존의 방열성 EMC에 사용되고 있는 충전제인 결정성 실리카(와 고가이지만 높은 열전도도와 낮은 열팽창계수를 가지지만 유동성이 떨어지는 AlN을 혼합층진 하여 EMC의 물성을 평가한 결과, AlN의 투입분율 0.3에서 AlN의 투입에 따른 물성향상 효과가 가장 우수하였다. 이를 기존의 결정성 실리카 충전 EMC와 비교하여 보면, 유사한 유동성 확보, 20%정도의 열전도도 향상, 열팽창계수와 탄성율의 감소와 굴곡강도가 개선됨을 확인할 수 있었다. 또한, thermal shock parameter값도 30%정도 향상되어 기존의 방열성 EMC보다 열피로에 대한 내크랙성이 크게 향상된 것을 관찰할 수 있었다. 본 연구를 통하여 AlN을 결정성 실리카와 혼합하여 EMC에 적용할 경우, 서로 다른 크기를 가지는 충전제 조합으로 인한 최대충진 밀도 상승으로 유동성의 저하없이 AlN의 소량 투입만으로도 뚜렷한 물성향상 효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

5. 참고문헌

1. H. B. Bakoglu, *Circuits, Interconnections and Packaging for VLSI*, Addison-Wesley Publishing Company (1990).
2. F. N. Sinnadurai, *Handbook of Microelectronic Packaging and Interconnection Technologies*, Electrochemical Publication Ltd., Ayr, Scotland (1985).
3. R. A. Anavy, in *Implication for hybrids*, Presentation Hybrid Marketing Research Council, 37 (1988).
4. R. R. Tummala, E. J. Rymaszewski and A. G. Klopfenstein, *Microelectronics packaging handbook*, Chapman & Hall, New York (1996).
5. R. R. Tummala, *Microelectronics Packaging Handbook*, Van Nostrand Reinhold, New York (1989).
6. L. T. Mansione, *Plastic Packaging of Microelectronic Devices*, Van Nostrand Reinhold, New York (1990).
7. M. L. Minges, *Electronic Materials Handbook*, ASE International, Vol. 1. (1989).
8. N. Iwase, A. Tsage, and Y. Sugiura, in *Proceedings of International Microelectronic Conference*, 180 ~ 185, May (1984).
9. I. Huseby and C. Bobik, U. S. Patent 4,478,785 (1984).
10. S. Konsowski, J. A. Olenick, R. D. Hall, and K. A. Leahy, *International Journal Hybrid Microelectronics*, 10, 13 ~ 17, October (1987).
11. A. J. Rothman, in *Ceramics for Advanced Technologies*, Ed., by J. E. Hove and W. C. Reiley, John Wiley and Sons, New York (1965).
12. A. Ikegami and T. Yasuda, *5th European Hybrid Microelectronics Conference*, 465 ~ 471, May (1985).
13. K. E. Howard, U. S. Patent 5,589,714, (1996).
14. A. G. Charles, et al., *IEEE Electronic Components and Technology Conference*, 335 ~ 342 (1996).
15. R. K. Mcgeary, *J. Am. Ceram. Soc.*, 44(10) 513 ~ 522 (1961).
16. W. Kim, et al., *Polym. Eng. Sci.*, 39(4), 756 ~ 766 (1999).
17. W. Kim, et al., *J. of Materials Science* (submitted for publication).

18. Manson S. S., "*Thermal stress and low cycle fatigue, Bobrowsky thermal shock parameter*", Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, Section 7. 1., 383, (1981).