

반도체 패키지 봉지재용 에폭시 수지 조성물의 신뢰특성에 미치는 실리카 고충전 영향

정호용, 문경식, 최경세*, 서광석, 윤호규

고려대학교 재료공학과
*제일모직(주) 전자재료사업부

Effect of High Filler Loading on the Reliability of Epoxy Molding Compound for Microelectronic Packaging

Ho Yong Jung · Kyoung Sik Moon · Kyung Se Choi* · Kwang S. Suh
and Ho Gyu Yoon

Department of Materials Science, Korea University
*Electronic Materials Business Unit, Cheil Industries, Inc.
e-mail : hgyoon@kucn.korea.ac.kr

(1999년 8월 18일 접수, 1999년 9월 13일 게재승인)

초 록 : 무기 충전제를 고충전시킨 에폭시 수지 조성물이 반도체 패키지의 신뢰성에 미치는 영향을 검토하였다. Ouchiyama 등의 모델로부터 최대충전밀도를 향상시킴으로써 고충전을 달성할 수 있는 방법을 제시할 수 있었으며, 최대충전밀도가 증가함에 따라 에폭시 수지 조성물의 점도가 감소하였고, 흐름성이 개선되었다. 충전제 함량이 증가함에 따라 흡습 특성이 향상되었고 열팽창계수를 낮춤으로써 저응력화를 달성할 수 있었으나, 임계 충전제 함량 이상에서는 금속 리드프레임과의 접착강도가 저하되었다. 따라서 에폭시 수지 조성물의 균형 있는 신뢰 특성을 얻기 위해서는 충전제 함량을 적정하게 선택해야 하며, 충전량을 더욱 높여 고신뢰성을 얻기 위해서는 최적의 충전제 조합을 선정하여야 함을 알 수 있었다.

Abstract : The effects of high filler loading technique on the reliability of epoxy molding compound (EMC) as a microelectronic encapsulant was investigated. The method of high filler loading was established by the improvement of maximum packing fraction using the simplified packing model proposed by Ouchiyama, *et al.* With the maximum packing fraction of filler, the viscosity of EMC was lowered and the flowability was improved. As the amount of filler in EMC increased, several properties such as internal stress and moisture absorption were improved. However, the adhesive strength with the alloy 42 leadframe decreased when the filler content was beyond the critical value. It was found that the appropriate content of filler was important to improve the reliability of EMC, and the optimum filler combination should be selected to obtain high reliable EMC filled with high volume fraction of filler.

1. 서 론

에폭시 수지의 우수한 전기 절연성, 기계적 특성 및 화학적, 열적 안정성을 바탕으로 1960년대말 전자 패키지용 봉지재로서 에폭시 수지 조성물(epoxy molding compound, EMC)이 채택된 이래 현재에는 90% 이상의 반도체 패키지가 이를 적용하고 있으며¹⁾ 고순도 에폭시

의 개발, 저응력을 위한 실리콘계 첨가제 도입^{2,3)}, 고충전 기술 개발⁴⁾, 저 α 선 충전제에 의한 soft error 방지 등⁵⁾, 그 신뢰성을 향상시키기 위한 많은 연구, 개발이 이루어져 왔다. 특히 표면실장 기술의 발전에 따라 인쇄회로기판에 반도체 패키지를 실장할 때의 작업성, 생산성도 획기적으로 향상되고 있으며 이와 동시에 모든 전자기기의 단소박형화가 가속화되면서 EMC의 저응력화, 내습성화, 및 내크랙성 등의

요구가 엄격해지고 있다.

대기중의 수분을 흡수한 반도체 패키지는 솔더링 리플로우시의 열에 의하여 다이패드와 EMC간의 박리를 일으키게 되고 기화된 수분에 의하여 박리부분이 팽창하게 되며, EMC가 다이 패드의 끝 부분에 걸리는 응력을 견디지 못하게 될 경우 기화 폭발에 의하여 크랙이 발생하게 된다.⁶⁾ 따라서 EMC의 흡수율을 억제하고 EMC와 리드프레임과의 열팽창계수 차이를 줄여주며 접착강도를 증가시키면 크랙 발생을 억제할 수 있으므로 패키지의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 박형 패키지의 경우에는 die bonding용 접착제의 내습특성 불량에 기인한 접착제로부터의 크랙발생이 주요 불량모드로 나타나고 있고⁷⁾ LOC(Lead-On-Chip) 패키지는 chip과 EMC간의 접착불량에 기인한 패키지 크랙 발생을 발견할 수 있다. 이러한 모든 패키지의 균열 발생을 억제하기 위해서 에폭시나 경화제에 소수성기를 도입하여 수지의 흡습특성을 개선하는 노력이 이루어지기도 하고 있으며⁸⁾ 유기물에 의한 수분흡습을 억제하기 위하여 실리카의 충전함량을 극대화하는 고충전 기술을 개발하는 등의 노력이 이루어지고 있다.

에폭시 수지 조성물의 신뢰성을 향상시키는 방법 중의 하나인 고충전 기술은 첨가 입자의 최대충전밀도를 높여 충전제 함량을 증가시키는 것으로서 이를 통하여 저열팽창계수, 내습성 그리고 고강도 등을 동시에 확보할 수 있다.⁹⁾ 따라서 고충전 기술은 더욱 심각해지는 반도체의 탄소박형화 및 고집적화의 급속한 진행과 이에 따른 반도체 패키지 재료에 요구되는 내크랙성 및 저응력성을 위하여 반드시 채택되어야만 하는 기술로써 인식되어지고 있으나, 고충전에 의한 EMC의 점도상승 내지는 유동성 감소로 인하여 성형 불량 등과 같은 여러 가지 문제점을 야기할 수 있다. 그러므로 고충전에 따른 성형불량 문제를 최소화시키면서 충전제 함량을 높일 수 있는 방법의 개발과, 반도체 패키지의 신뢰성에 미치는 EMC의 고충전 효과에 대한 연구가 요구된다.

본 연구에서는 입경이 다른 충전제들간의 최대충전밀도를 정량적으로 계산하여 성형성에 미치는 인자로서 유동성, 점도 및 반응성을 조사하였다. 또한 충전제 함량에 따른 수분흡습률, 열팽창계수, 금속 리드프레임과의 접착력 등에 대하여 조사하여 고충전하에서 충전제의 함량이 에폭시 수지 조성물의 신뢰 특성에 미치는 영향

을 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 원재료

충전제로는 구형의 용융 및 합성 실리카를 사용하였다. Granulometer 1064를 이용하여 측정된 실리카 입자의 평균 크기 및 입도 분포를 Table 1과 Fig. 1에 각각 나타내었다. 에폭시는 biphenyl계(YX-4000H, Yuka Shell Epoxy Co.)와 *ortho*-cresol novolac(EOCN-1020, Nippon Kayaku)을 사용하였고, 경화제로는 phenol novolac(PSM-4261, Meiwa Kasei Co.)과 xylok(XL-225-3L, Mitsuitoatsu Co.)의 두 종류를 선정하였으며 에폭시와 경화제의 반응 촉매제로써 TPP(triphenyl phosphine)를 소량 적용하였다. 실험에 사용된 유기물의 구조식을 Table 2에 나타내었다. 실리카와 기저수지의 계면접착특성향상을 위해 amine계(γ -aminopropyltrimethoxysilane)와 epoxy계(γ -glycidyloxypropyltrimethoxysilane)의 계면 결합제를 혼합 사용하였다.

Table 1. Mean Size of the Particles

Name	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6
Size (μ m)	33.3	16.4	12.7	6.29	2.74	2.50

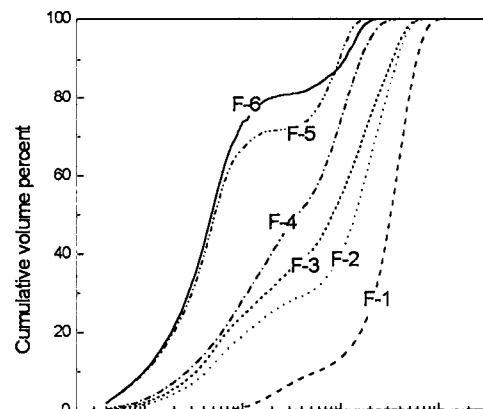
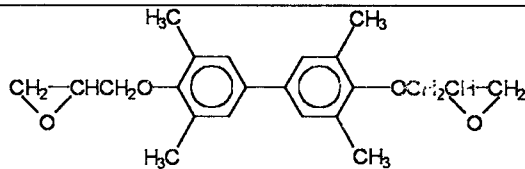
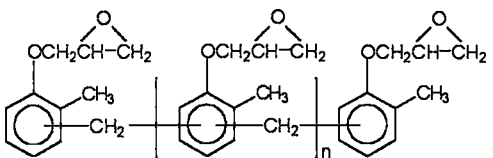
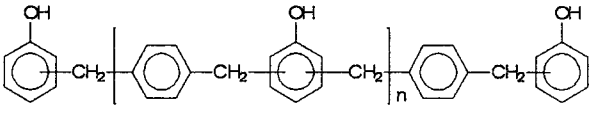
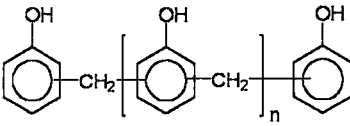
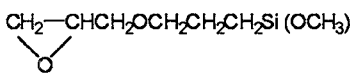
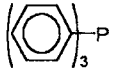


Fig. 1. Particle size distributions for the spherical silica used in this study.

Table 2. Chemical Structure of Materials Used in this Study

Component		Structure
Epoxy	Biphenyl type (YX-4000H)	
	Ortho-Cresol Novolac (EOCN)	
Curing Agent	Xylok	
	Phenol Novolac (PN)	
Coupling Agent	Epoxy	
	Amine	$\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_2-\text{NH}-(\text{CH}_2)_3-\text{Si}(\text{OCH}_3)_2-\text{CH}_3$
Catalyst	Triphenyl phosphine (TPP)	

2.2 시편제조

에폭시와 경화제를 당량비 1 : 1로 하고 기타 재료를 평량한 뒤, 건식혼합 과정을 거친 후 two roll mill을 이용, 80℃의 온도에서 약 10분간 용융 혼합하여 에폭시수지 조성물을 제조하였다. 용융혼합 종료 후 반응이 진전되지 않도록 즉시 냉각하였으며, 제조된 조성물은 5℃ 이하의 저온에서 보관하였다. 저압 이송성형 기기(transfer molding machine)를 이용하여 굴곡강도 시험용, 수분흡수용 및 접착강도 측정용 시편을 제작하였으며 이때 리드프레임과의 접착강도 측정용 시편은 175℃에서 120초 동안 alloy 42 리드프레임과 합침 성형한 후 180℃에서 5시간 동안 후경화하였다. 리드프레

임은 5% HNO₃용액에 10초간 담가두어 표면의 유기물을 제거한 뒤 95% 에탄올 및 증류수로 세척하여 사용하였으며, 조성물에 합침 성형하기 전까지는 건조기에 보관하였다.

2.3 측정

최소용융점도는 180℃에서 20 kgf의 하중을 가한 flow tester(Shimadzu, CFC-500)를 이용하여 측정하였으며 spiral flow는 저압 이송성형 기기에 의하여 표준 금형에서 측정하였다. ARES (advanced rheometric expansion system, Rheometric Scientific Co.)를 이용하여 등온경화조건에서 점도변화와 겔화 시간을 측정하였다. 이때 평행판의 지름과 간격

은 각각 25 mm, 1 mm이었으며 주파수는 6.28 rad/sec, 변형은 10%로 하였다. 시차주사열량계(differential scanning calorimeter, TA-2020, TA instrument Co.)를 이용하여 등은 경화시에 발생하는 열량변화와 경화물의 유리전이온도를 결정하였다.

수분흡습률은 끓는 물에서 흡습 처리하면서 적당한 시간이 경과되었을 때 흡습 전, 후의 무게를 측정하여, 각 시간에 따른 흡습률을 계산하였다. 접착강도는 pull test¹⁾로써 측정하였다. 흡습률 및 접착강도는 5회 이상 실시한 뒤 그 평균값으로 취하였다. TMA(thermomechanical analyzer, P.L. Thermal Science Ltd.)를 이용하여 에폭시 수지 조성물의 열팽창계수(coefficient of thermal expansion, CTE)를 결정하였다. 이때 6×6×10 mm 크기의 시편을 25~250℃의 범위에서 5℃/min의 승온 속도로 측정하였다. ASTM D790-55에 따라 상온에서의 굴곡강도 및 굴곡탄성률을 6~8개의 시편에 대해 측정 후 그 평균값을 취하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 최대충전밀도의 계산과 성형성과의 관계

식 (1)은 충전입자가 첨가된 고분자 수지의 점도를 예측하기 위한 Mooney의 점도식이다.¹⁰⁾

$$\ln(\eta_c/\eta_m) = K \frac{\phi_f}{\left(1 - \frac{\phi_f}{\phi_m}\right)} \quad (1)$$

여기서 η_c 는 충전제가 첨가된 경우의 점도, η_m 은 수지만의 점도, K 는 입자의 형상과 표면 상태에 따른 Einstein 상수, ϕ_f 는 충전제의 체적분율 그리고 ϕ_m 은 입자간의 충전밀도로서 다음과 같이 정의된다.

$$\phi_m = \frac{\text{the true volume of filler}}{\text{the apparent volume occupied by filler}} \quad (2)$$

식 (1)과 유사한 고분자 복합재료의 점도를 표현한 다수의 실험식들이 보고되기도 하였으나

^{11, 12)}, 이들 대부분은 식 (1)과 같이 충전밀도를 증가시키면 복합재료의 점도를 감소시킬 수 있다는 것을 나타내고 있다.

입자 크기 분포를 갖고 각각의 평균입경이 D_i 인 입자들이 무질서하게 쌓여진 인접 입자와 직접 접촉할 때를 가정하여 Ouchiyama와 Mayadunne은 최대충전율 (ϕ_m)을 다음과 같이 나타내었다.¹³⁻¹⁵⁾

$$\phi_m = \frac{\sum D_i^3 \cdot f_i}{\max \left[\sum (D_i - \bar{D})^3 \cdot f_i + \frac{1}{n} \{ (D_i + \bar{D})^3 - (D_i - \bar{D})^3 \} \cdot f_i \right]} \quad (3)$$

여기서

$$\bar{n} = 1 + \frac{4}{13} (8\phi_{m,0} - 1) \cdot \bar{D} \frac{\sum (D_i + \bar{D})^2 \left(1 - \frac{3}{8} \frac{\bar{D}}{D_i + \bar{D}}\right) \cdot f_i}{\sum [D_i^3 - (D_i - \bar{D})^3] \cdot f_i} \quad (4)$$

이며, \bar{D} 는 다음과 같이 계산된다.

$$\bar{D} = \sum D_i \cdot f_i \quad (5)$$

이때 D_i 는 i 번째 성분의 직경, f_i 는 i 번째 성분의 수분율, $\phi_{m,0}$ 는 단일 크기를 갖는 입자들의 최대충전율이며 $(D_i - \bar{D})$ 는 다음과 같이 정의된다

$$D_i - \bar{D} = \begin{cases} 0 & (\text{when } D_i \leq \bar{D}) \\ D_i - \bar{D} & (\text{when } D_i > \bar{D}) \end{cases} \quad (6)$$

수분율 f_i 는 식(7)로부터 계산할 수 있다.

$$f_i = \frac{\nu_i / D_i^3}{\sum \nu_i / D_i^3} \quad (7)$$

이때 ν_i 는 i 성분의 체적 분율이다.

식 (3)에서 분모의 최대값을 취하는 것은 입자의 평균 직경의 반보다 먼 거리만큼 형성되는 입자간의 void 공간을 의미하는 macropore의 개념이 도입된 것으로 최대값을 취하지 않을 경우는 ϕ_m 이 과대 평가된다.¹³⁾

Fig. 2는 식 (3)에 의하여 계산한 3종 입자에 대한 최대충전밀도를 나타낸 것이다. 이때 $\phi_{m,0}$ 은 0.68을 적용하였다.¹²⁾ Fig. 2(a)는 3종 입자간의 크기 차이가 작은 경우를, (b)는 입자 크기의 차이가 큰 경우의 충전제 조합으로부터 계산된 최대충전밀도를 나타낸 것으로써 입자 크기의 차이가 클수록 높은 최대충전밀도를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

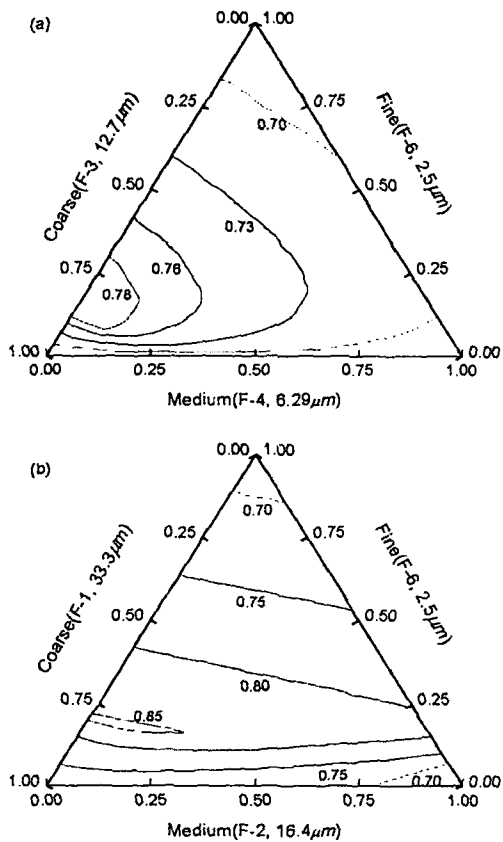


Fig. 2. Maximum packing fractions in ternary mixture: (a) narrow distribution and (b) wide distribution.

입자 크기의 차이, 즉 입자 분포에 따른 최대 충전밀도는 2종 입자간의 최대충전밀도를 나타낸 Fig. 3에서 더욱 명확하게 확인할 수 있다. 즉, 입자 크기의 차이가 클수록 충전율이 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 큰 입자들간의 빈 공간에 작은 입자들이 쉽게 채워질 수 있는 ϕ_m 의 개념과 일치하기 때문이다. 또한, 가장 작은 크기인 F-6와 가장 큰 입자인 F-1이 약

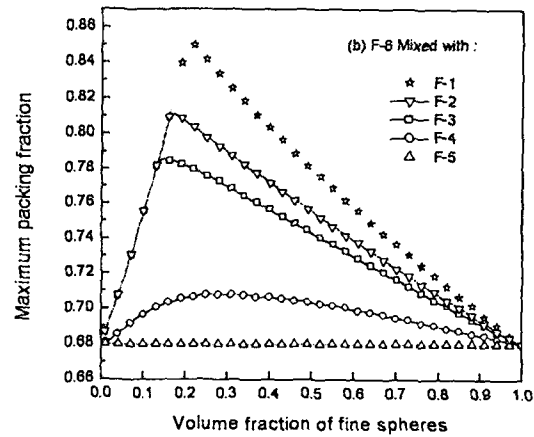
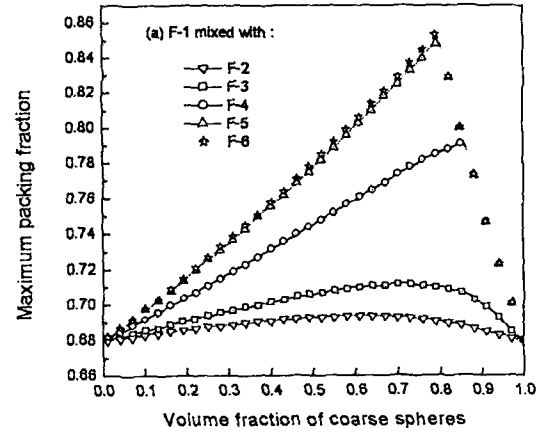


Fig. 3. Binary packing fractions of (a) coarse and (b) fine spheres with other sizes.

Table 3. Maximum Packing Density, ϕ_m , and Mean Size According to Filler Combination of F-1, F-3 and F-6

No.	Weight Ratio			ϕ_m	Mean Size
	F-1	F-3	F-6		
C1	0.55	0.30	0.15	0.840	23.45
C2	0.60	0.20	0.20	0.837	23.08
C3	0.65	0.05	0.30	0.825	23.53
C4	0.55	0.05	0.40	0.800	15.72
C5	0.60	0.30	0.10	0.797	24.68
C6	0.55	0.40	0.05	0.752	24.55

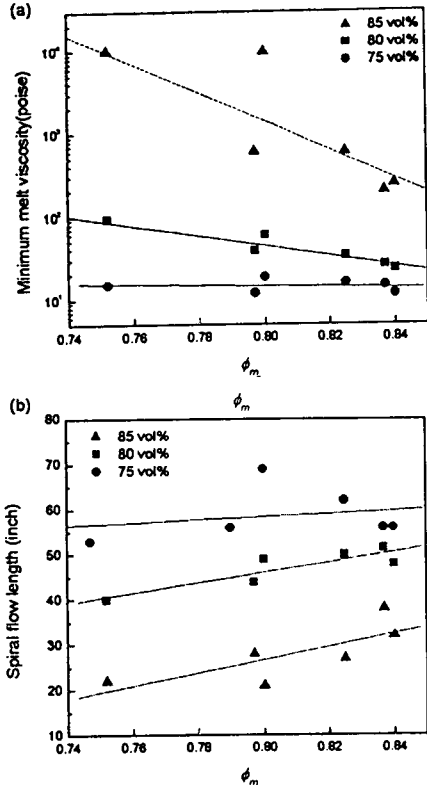


Fig. 4. (a) Minimum melt viscosity and (b) spiral flow length at 180°C with maximum packing fraction (ϕ_m).

0.2대 0.8의 비율로 혼합되었을 때 가장 높은 충전율을 나타내고 있으며, 3종 입자의 최대 충전밀도를 나타낸 Fig. 2(b)와 비교하였을 때 F-6는 0.2와 유사한 비율에서 최대충전밀도를 보이고 있다. 따라서, 최대충전율을 얻기 위해서는 F-6의 비율을 최소 0.2 이상 충전하여야 함을 예상할 수 있다.

Table 3은 계산된 최대충전밀도와 유동성의 관계를 알아보기 위하여 선택한 3종 입자들의 함량에 따른 최대충전밀도와 평균크기를 계산한 것이다.

본 연구에서 적용한 고품의 에폭시 수지는 반응 초기에 용융되어 최소의 점도를 나타내며, 시간이 경과됨에 따라 경화반응이 진행되면서 점도가 급격히 상승하여 겔화가 일어나게 된다. 따라서 에폭시 수지 조성물의 성형에는 최소용융점도, spiral flow 그리고 겔화 시간이 매우 중요한 인자가 된다.¹⁶⁾ Table 3에 나타낸 조합

에 해당되는 함량비로 3종의 입자를 적용한 에폭시 수지 조성물의 최소용융점도와 spiral flow를 Fig. 4에 나타내었다.

이때 biphenyl형 에폭시와 xylok 경화제를 적용하였다. (a)는 계산된 최대충전밀도에 따른 최소용융점도를 나타낸 것으로서 계산된 최대충전밀도가 증가할수록 최소용융점도가 감소하고 있으며, 충전제 함량이 높을수록 조성물의 점도에 미치는 최대충전밀도 효과, 즉 기울기의 감소가 더욱 커진다는 것을 알 수 있다. (b)는 spiral flow를 나타낸 것으로서 최대충전밀도가 증가함에 따라 spiral flow 역시 증가하고 있다. Chong 등은 20 vol% 미만의 충전제 함량에서는 입자크기의 분포가 전체 계의 유동성에 큰 영향을 미치지 않지만 충전제 함량이 증가할수록 그 분포에 따라 유동성이 민감하게 영향을 받는다고 하였다.¹⁷⁾ 따라서 입자들간의 충전밀도를 계산하여 높은 충전밀도를 갖는 입자 조합을 선정함으로써 저점도의 고충전을 달성할 수 있으며, 충전제 함량이 많을수록 최대충전밀도 선택이 중요함을 알 수 있다.

열경화성 수지의 점도는 열가소성 수지와 달리 온도 변화에 의한 분자 운동성의 변화와 경화반응에 의한 겔화 또는 망상구조의 형성 등과 같은 분자구조의 변화에 영향을 받아 매우 복잡한 거동을 나타낸다. 특히 무기 충전제가 첨가된 에폭시 수지 조성물의 경우 충전제가 에폭시 수지의 반응성에 영향을 미칠 수 있다. Fig. 5는 충전제 함량에 따른 에폭시 수지 조성물의 겔화 시간을 나타낸 것으로, 충전제 함량이 증가함에 따라 겔화 시간이 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이때 겔화 시간은 120°C에서 시간

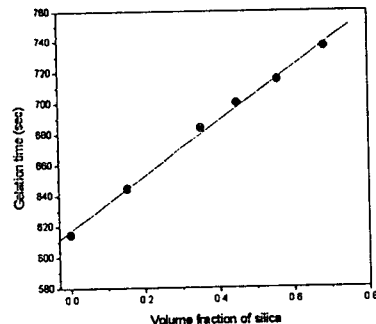


Fig. 5. The variation of gelation time with filler content of biphenyl-type epoxy/phenol novolac at a curing temperature of 120°C.

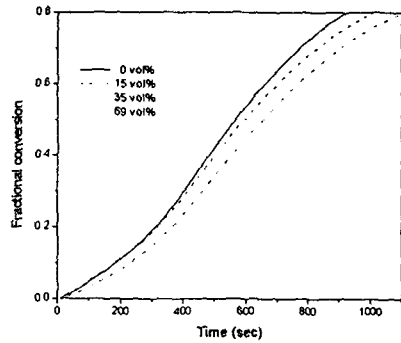


Fig. 6. Isothermal conversion curves of biphenyl-type epoxy/phenol novolac with filler content at a curing temperature of 120°C

에 따라 측정된 복소 전단 탄성률의 실수부 (G')와 허수부 (G'')의 교차점으로부터 결정하였다.¹⁸⁾ 열경화성 수지의 반응성은, 무기 충전제에 의한 열전도도의 증가로 인해 충전제 함량이 증가함에 따라 겔화 시간이 빨라지거나,¹⁹⁾ 기저 수지 내에 무기 충전제가 분산됨으로써 에폭시와 경화제간의 화학 반응을 물리적으로 방해하여 겔화 시간이 지연된다는²⁰⁾ 상반된 견해들이 보고되고 있다. 본 실험에서는 시차 주사 열량계(DSC)를 이용하여 충전제 함량별로 반응시간에 따른 전화량을 측정하였으며 충전제 함량이 증가함에 따라 경화반응속도가 늦어지는 Fig. 6과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 무기 충전제의 함량이 증가함에 따라 겔화 시간이 선형적으로 증가되는 것은 충전제에 의해 에폭시 및 경화제 분자의 운동성이 억제되어 경화반응이 지연되기 때문이라고 할 수 있다.

3.2 충전제 함량에 따른 신뢰성

3.2.1. 수분흡습률

에폭시 수지 조성물 내부로 침투되는 수분은 솔더링 리플로우 공정에서 기화 폭발되어 팽윤 크랙을 유발할 수 있고,²¹⁾ 에폭시 수지 조성물 내의 Cl⁻이나 Na⁺와 같은 불순물 이온과 전기 화학작용을 일으켜 알루미늄 패드의 부식을 발생시키기도 하며¹⁾ 에폭시 수지를 가소화시켜 유리전이온도와 탄성률을 감소시키기도 한다.²²⁾ 따라서 수분 흡수에 의한 EMC의 신뢰성 저하를 최소화하기 위해서는 저흡습의 에폭시 수지

를 사용하거나 충전제의 함량을 증가시켜야 한다.

Fig. 7은 에폭시를 EOCN과 biphenyl형으로 달리 적용하고 충전제 함량을 변화하였을 때의 흡습성을 나타낸 것이다. Fig. 7(a)는 충전제 함량이 66 vol%일 때 시간에 따른 수분흡습률의 변화를 나타낸 것으로서 전형적인 시간에 따른 흡습 곡선을 보여주고 있으며 biphenyl형 에폭시의 경우 흡습률이 낮음을 알 수 있다. 이때 경화제는 PN을 적용하였다. Fig. 7(b)는 에폭시 종류 및 충전제 함량에 따른 Fig. 7(a)와 같은 각각의 흡습 곡선을 이용하여 수분의 확산계수 (D_x) 및 포화 흡습량을

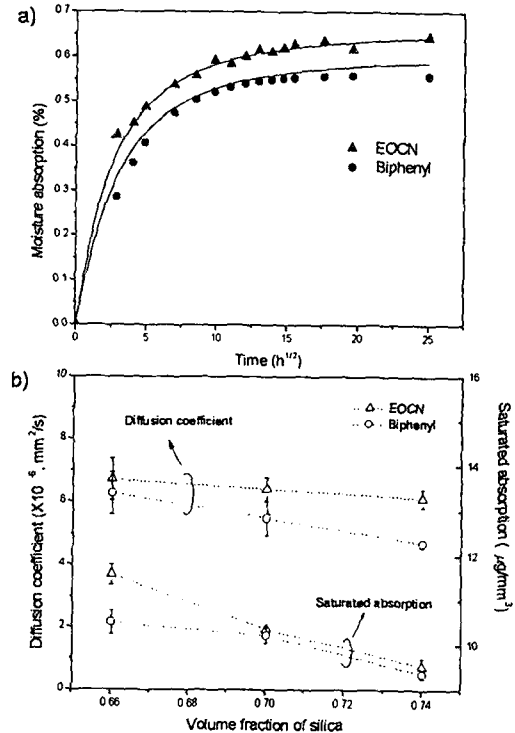


Fig. 7. The properties of moisture absorption with the kind of epoxy: (a) moisture absorption with time and (b) diffusion coefficient and saturated absorption with filler content.

계산한 것이다. 이때 확산계수 (D_x)는 edge효과^{23,24)}를 고려하여 결정되었다.

에폭시 종류에 관계없이 충전제 함량이 증가함에 따라 확산계수 및 포화 흡습률이 감소하고

있는 것을 알 수 있다. 이는 수분 침투 영역이 에폭시 수지인 만큼 충전제 함량이 증가함에 따라 에폭시의 함량이 감소하기 때문에 수분이 침투되는 속도나 흡습량이 충전제 함량에 따라 감소하는 것으로 생각할 수 있다. 또한 에폭시 종류에 따른 확산계수와 포화 흡습량을 비교하였을 때 biphenyl형의 경우 EOCN보다 더 적은 것을 알 수 있는데 이것은 자유부피의 차이에 기인하는 것으로써, 에폭시의 자유부피는 가교도와 유리전이온도가 높을수록 크다고 알려져 있다.^{25,26)} EOCN과 biphenyl형 에폭시와 PN 경화제의 조합의 경우 시차주사열량계로 측정된 유리전이온도는 각각 171°C와 135°C이었다. 또한 식(8)에 의하여 가교도를 계산하면²⁷⁾ EOCN과 biphenyl형의 경우 각각 0.244와 0.085(chains/segment)로서 EOCN의 경우 유리전이온도와 가교도가 더 높은 것을 알 수 있다.

$$X_D = 1.5 \times \left(\frac{f_e - 2}{NS_e} \times M_e + \frac{f_h - 2}{NS_h} \times M_h \right) \quad (8)$$

여기서 f 는 작용기수, NS 는 세그먼트 수, M 은 몰 분율, 그리고 아래 첨자 e 와 h 는 각각 에폭시와 경화제를 의미한다. 이때 EOCN의 작용기수는 5.2, biphenyl형 에폭시는 2, 그리고 PN은 5.3 이었다. 따라서 EOCN을 적용할 경우 자유부피가 더 크기 때문에 biphenyl형 보다 확산 속도가 빠르고 수분흡습량이 많은 것이 설명될 수 있다. 에폭시 뿐 아니라 경화제를 달리 하였을 때에도 수분흡습 특성이 변화할 수 있다. 따라서 에폭시의 종류에 따른 자유공간의 차이로 인하여 확산계수 및 수분흡습률이 변화할 수 있으며, 충전제 함량을 증가시킴으로써 EMC의 수분흡습을 억제할 수 있음을 알 수 있다.

3.2.2. 내부 열응력

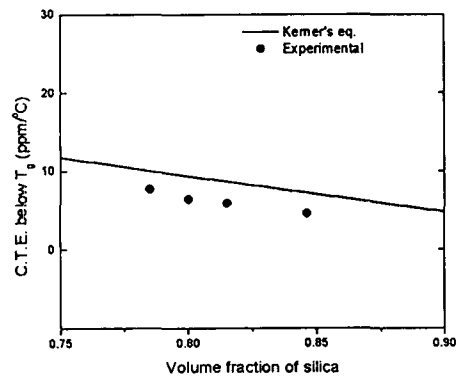
복합재료의 열응력은 각 성분의 열팽창계수, 탄성률 및 온도의 함수이며 다음과 같이 나타낼 수 있다.¹⁾

$$\sigma = k \int_{T_r}^{T_g} E(\alpha_r - \alpha_s) dT \quad (9)$$

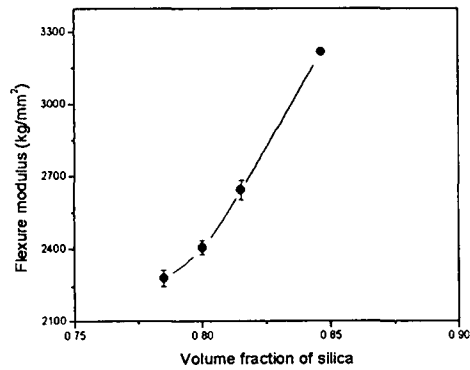
여기서, σ 는 내부 열응력, T_g 는 유리전이온도,

T_r 는 상온, E 는 EMC의 굴곡탄성률, α_r 는 EMC의 열팽창계수, α_s 는 칩 또는 리드프레임의 열팽창계수, 그리고 k 는 패키지의 형상에 의한 비례상수를 나타낸다. k 는 패키지의 형상에 의해 결정되고, 유리전이온도까지 EMC 및 반도체 칩의 탄성률과 열팽창계수는 온도에 거의 선형적으로 증가하기 때문에 다음과 같이 단순화하여 각 내부 응력을 비교할 수 있다.

$$\sigma_m \approx E \times \Delta\alpha \times \Delta T \quad (10)$$



(a)



(b)

Fig. 8. (a) Coefficient of thermal expansion and (b) flexural modulus with the content of silica.

식 (10)에서 알 수 있듯이 EMC의 열팽창계수나 탄성률, 유리전이온도를 감소시킴으로써 패키지의 내부 응력을 줄일 수 있다. 단, 유리전이온도를 낮추는 것은 EMC의 내열 특성을 저하시키기 때문에 바람직하지 않다.

Fig. 8은 충전제 함량에 따른 열팽창계수 및

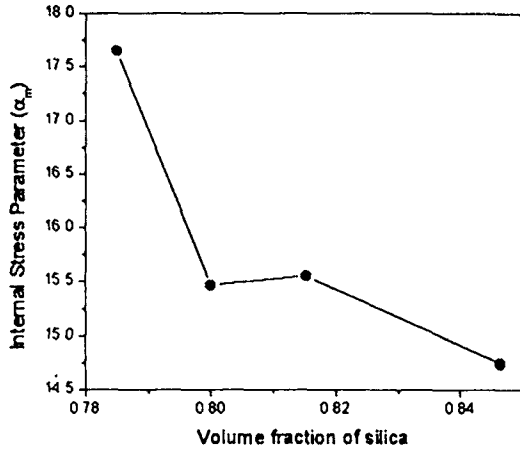


Fig. 9. Internal stress parameter with the content of silica.

탄성률을 측정된 결과이다. 이때 구형 입자가 충전된 복합재료의 열팽창계수와 입자 함량과 관련된 Kerner의 식²⁸⁾을 함께 도사하였다. 충전제 함량이 증가함에 따라 열팽창계수가 감소하고 있으며, 84 vol%의 실리카를 적용하였을 때 약 $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 의 매우 낮은 값을 얻을 수 있다. Kerner식과 비교하여 낮은 실험값을 보이는 것은, 이론식은 단일 크기의 구형입자를 고려한 경우로서, 입자 크기가 다른 3종의 실리카를 적용한 본 연구와는 차이가 있기 때문이라고 판단된다.

식 (10)에서 충전제 함량에 따라 유리전이온도는 거의 변화하지 않으므로 열응력 지수를 탄성률과 열팽창계수차이의 곱으로 나타낼 수 있다. 충전제 함량에 따른 열응력 지수를 Fig. 9에 나타내었다. 충전제 함량의 증가에 따라 탄성률이 상승하였음에도 불구하고 열응력 지수는 감소하고 있으며, 따라서 열팽창계수의 감소에 의한 열응력 감소 효과가 더욱 크다는 것을 알 수 있다.

3.2.3. 리드프레임과의 접착력

전술한 바와 같이 솔더링 리플로우 과정 중의 패키지 크래킹은 EMC와 다이 패드, LOC (Lead-On-Chip) 형태의 패키지의 경우는 EMC와 칩과의 계면 박리로부터 출발하는 것인 만큼 이들간의 접착강도가 EMC의 신뢰성에 중요한 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 충전제 함량 및 점도변화에 따른 alloy42 리드프레임과의 접착력을 나타낸 것이

다. biphenyl계 에폭시의 뛰어난 접착력에 의해 80 vol%까지는 거의 일정한 값을 유지하고 있으나 그 이상의 함량에서 급격한 감소를 나타내고 있다. 충전제 함량에 대응되는 점도의 변화에 따라 접착강도도 크게 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 충전제 함량 증가에 따른 에폭시 수지 조성물의 점도가 증가하여, 리드프레임 표면의 미세 요철 부분까지 에폭시 수지가 침투하여 접착 면적을 넓힐 수 있는 기회가 상대적으로 감소했기 때문이라고 판단된다. 이러한 경우를 기계적 고착(mechanical interlocking)의 감소에 의한 접착강도의 감소라 할 수 있으며, 이를 확인하기 위하여 접착강도 측정 후 얻어진 리드프레임의 표면을 AFM (atomic force microscope, Park Instrument Co.)을 이용하여 관찰하였으며, 그

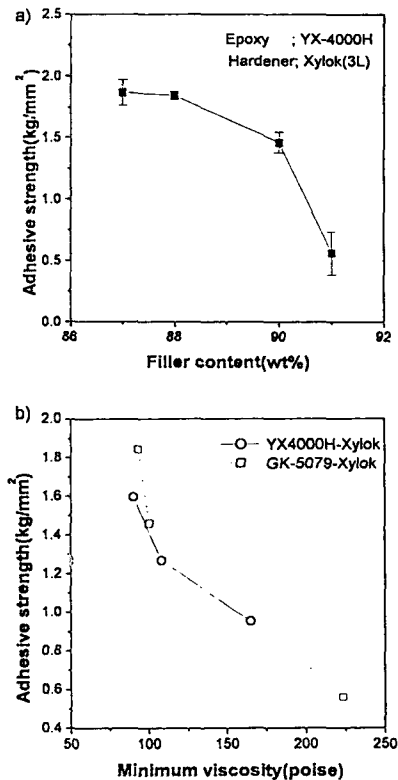


Fig. 10. The change of adhesive strength with (a) the content of filler and (b) minimum melt viscosity.

결과를 Fig. 11에 나타내었다. 리드프레임의 표면 거칠기(R_{rms})는 다음 식에 의하여 결정하

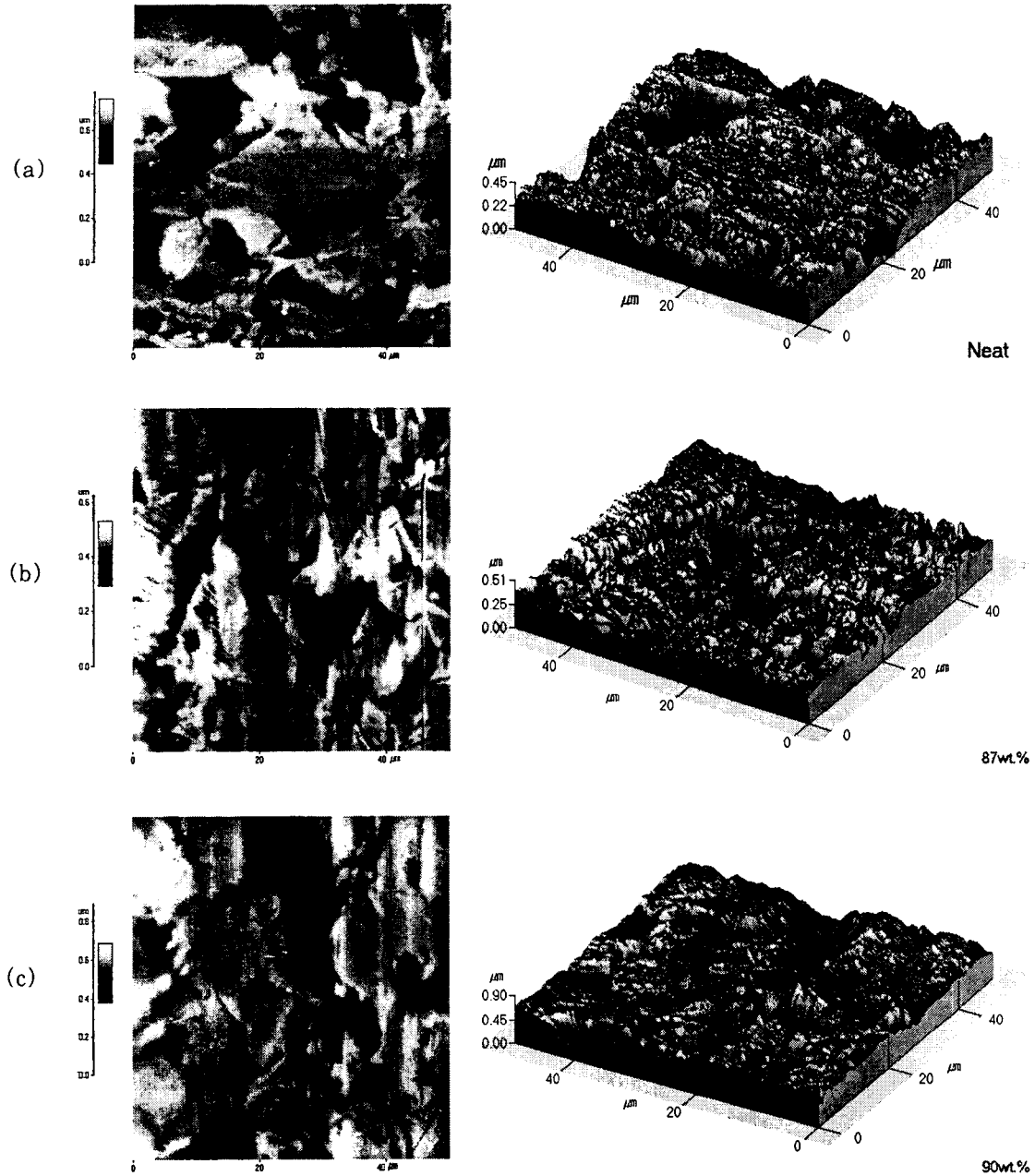


Fig. 11. Topography and 3-D morphology of leadframes of (a) neat ($R_{rms}=1308\text{\AA}$), separated from EMC filled with (b) 78 vol% ($R_{rms}=878\text{\AA}$) and (c) 82 vol% ($R_{rms}=946\text{\AA}$) of filler after pull-test. Here, R_{rms} is the average roughness.

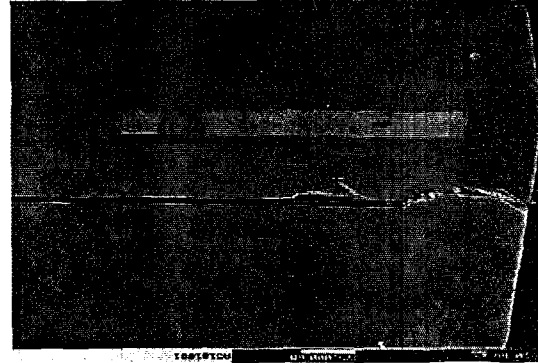
였다.

$$R_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (Z_n - \bar{Z})^2}{N-1}} \quad (11)$$

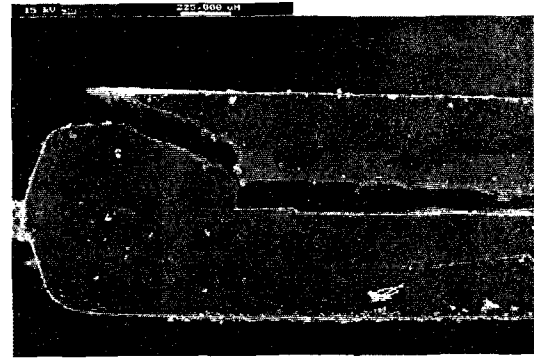
여기서 Z_n 은 한 지점에서의 높이, \bar{Z} 는 평균 높이이다.

접착 시험을 하지 않은 리드프레임의 R_{rms} 는 1308 Å, 충전제 함량 83 vol%의 에폭시 수지에서 뽑아낸 리드프레임은 946 Å, 그리고 78.5 vol%인 경우는 878 Å이었다. 접착 시험을 하지 않은 리드프레임은 그 표면 위의 미세 요철에 의하여 가장 큰 R_{rms} 를 나타내고 있다. 충전제 함량이 적을수록 점도가 낮기 때문에 리드프레임의 요철을 더 잘 채우게 되므로 기계적 고착 효과가 증대되어 접착력이 높게 나타났으며, 파괴시 채워진 요철에 수지 조성물이 잔류하여 흡을 채운 효과가 나타난 것으로 판단된다. 이와 같은 결과로서 충전제 함량 증가에 따른 점도 상승에 의하여 에폭시 수지와 리드프레임과의 접착력이 감소하는 것으로 생각할 수 있으며, 충전제의 적용에 따른 점도의 상승은 Fig. 10에서와 같이 100 poise 내외로 억제하여야 한다는 것을 예상할 수 있다.

Fig. 12는 64MDRAM LOC (Lead-on-chip) 형태의 SOJ 패키지 및 256MDRAM TSOP 패키지의 크랙발생을 관찰한 단면 사진을 나타낸 것이다. 여기서 적용한 EMC는 서로 다른 종류의 것들을 사용하였으며 충전제는 성형성이 허락되는 범위에서 최대한의 용융 실리카를 적용하였다. 적절한 전처리 과정을 거친 후 발생한 크랙으로, 이때의 EMC는 비교적 낮은 열팽창계수, 열응력 지수 및 저흡습률을 달성하였음에도 불구하고 칩의 밑면으로부터 또는 접착제로부터 크랙이 발생하여 결국은 패키지의 외부에까지 진전하였다. 일반적으로 두께 1 mm 이하의 박형 패키지의 경우에는 다이 패드에 dimple이나 slot 처리가 되어있고 고충전 EMC의 수분흡습률이 매우 낮기 때문에 상대적으로 수분흡습률이 높아 신뢰성이 좋지 않은 접착제로부터 크랙이 발생하는 것으로 보고되어져 있으며⁷⁾, 이 경우에서도 같은 현상의 크랙이 관찰되었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 반도체 패키지의 내크랙성을 비롯한 모든 신뢰성을 만족하기 위해서는 어느 하나만의 특성이



(a)



(b)

Fig. 12. Cross sectional view of package crack: (a) LOC type 64MDRAM SOJ and (b) conventional 256MDRAM TSOP packages.

결여되어도 크랙과 같은 신뢰성 불량 발생이 마련이며, Fig. 12(a)로부터는 칩과의 접착 강도가, (b)로부터는 패키지의 수분흡습률이 치명적으로 작용하여 크랙이 발생하였으며, 위에서 관찰한 모든 특성의 완벽한 조화만이 반도체 패키지의 신뢰성을 향상시킬 수 있다는 것을 예측할 수 있다.

5. 결론

이론적으로 계산된 최대충전밀도를 EMC에 적용함으로써 동일한 충전제 함량에서 더욱 낮은 용융점도와 향상된 흐름성을 spiral flow를 통해서 확인할 수 있었다. 이때 점도 및 흐름성에 미치는 최대충전밀도는 충전제 적용 함량이

증가할수록 그 영향이 커서 충전제 함량이 증가함에 따라 점도는 매우 크게 감소하였으며, 80 vol% 이상의 충전제 적용이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 높은 함량의 충전제를 EMC에 적용함으로써 낮은 열팽창계수, 저흡습률, 향상된 열응력 특성 등을 달성할 수 있었으며, 패키지 크랙의 주요 원인인 열응력 특성에 있어서는 탄성률을 낮추는 것보다 열팽창계수를 낮추는 것이 더욱 효과적임을 알 수 있었다. 동일한 충전제 함량이라 하더라도 적용되는 에폭시 수지, 또는 경화제의 종류에 따라 흡습 특성이 변화하였으며, 서로 다른 포화 흡습률 및 확산계수를 나타내었다. 그러나, 충전제의 함량이 증가함에 따라 에폭시 수지와 경화제간의 반응이 지연되어 겔화시간이 증가하였으며, 과량의 충전제를 적용할 경우에는 적절한 점도를 유지할 수 없기 때문에 접착강도의 감소를 초래하였다. EMC의 신뢰성을 높이기 위해 높은 함량의 충전제를 적용할 경우에는 EMC의 용융 점도가 100 poise 전후의 값을 갖도록 하여 에폭시 수지 본래의 높은 접착강도를 유지하여야 하며, 또한 고집적화되고 대형화 및 박형화가 진행되고 있는 반도체 패키지의 신뢰성을 만족하기 위해서는 일층 발전된 충전 기술을 개발함으로써 낮은 점도의 고충전 EMC를 적용하는 것이 필수적이라 하겠다.

참고문헌

1. L.T. Manzione, "Plastic Packaging of Microelectronic Devices", Van Nostrand Reinhold, NY, (1990).
2. Y. Nakamura, *J. Appl. Polym. Sci.*, **32**, 4865 (1986).
3. T. Okamatsu, *J. Soc. Adhesives, Japan*, **30**, 542 (1994).
4. N. Ishii., *Proc. of the Thermosetting Plastics Symposium Japan 93*, p.141 (1993).
5. M. G. Pecht, L. T. Nguyen and E. B. Hakim, "Plastic-Encapsulated Microelectronics", Chat.4, John Wiley & Sons, Inc., NY, 1995.
6. L. T. Nguyen, *SPE RETEC*, 182 (1991).
7. T. Nishioka, S. Oizumi, K. Ikemura and K. Igarashi, *Proc. of 41st Electronic Components and Technology Conference*, New York, p.190 (1991).
8. M. Kaji, A. Takanori and N. Kazuhiko, *J. Thermosetting plastics, Japan*, **14**, 1 (1993).
9. K. S. Moon, S. D. Hwang, H. G. Yoon, J. H. Ryu and S. S. Woo, *IEEE/CPMT Electronic Packaging Technology Conference*, Singapore, p.318 (1998).
10. M. Mooney, *J. Colloid. Sci.*, **6**, 162 (1951).
11. S. H. Maron and I. M. Krieger, "Rheology", F. R. Eirich, Eds., Academic Press, New York, (1960).
12. T. Kitano, T. Kataoka, and T. Shirota, *Rheol. Acta.*, **20**, 207 (1981).
13. N. Ouchiyama and T. Tanaka, *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, **23**, 490 (1984).
14. N. Ouchiyama and T. Tanaka, *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, **20**, 66 (1981).
15. A. Mayadunne, S. N. Bhattacharya and E. Kosior, *Powder Tech.*, **89**, 115 (1996).
16. N. Kinjo, M. Ogata, K. Nishi, and A. Kaneda, "Advances in Polymer Science 88", Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg (1989).
17. J. S. Chong, E. B. Christiansen and A. D. Baer, *J. Appl. Polym. Sci.*, **15**, 2007 (1971).
18. H. Y. Kim, K. S. Moon, S. Han, J. M. Kim, J. R. Ryu, and H. G. Yoon, *Polymer(Korea)*, **23**, 105 (1999).
19. H. Ng and I. Manas-Zloczower, *Polym. Eng. Sci.*, **33**, 211 (1993).
20. J. Simitzis, A. Stamboulis, D. Tsoros, and N. Martakis, *Polym. Int.*, **43**, 380 (1997).
21. M. Harada, S. Tanigawa, S. Ohizumi, and K. Ikegami, *Proc. of*

- 30th IEEE IRPS, 182 (1992).
22. J. Mijovic and K. Kin, in "Polymer Blends and Composites in Multiphase System", C. Han, American Chemical Society, Washington, D.C. (1984).
23. P. M. Jacobs and F. R. Jones, *J. Mater. Sci.*, **24**, 2331, (1989).
24. C. Maggana and P. Pissis, *J. Polym. Sci. ; Part B*, **37**, 1165, (1999).
25. V. B. Gupta and L. T. Drzal, *J. Appl. Polym. Sci.*, **30**, 4467 (1985).
26. M. T. Aronhime, X. Peng, and J. K. Gillham, *J. Appl. Polym. Sci.*, **32**, 3589 (1986).
27. A. Hale, University of Minnesota, Ph. D. Thesis, (1989).
28. E. H. Kerner, *Proc. Phys. Soc.*, **69**, 808 (1956).