반도체및디스플레이장비학회지 제3권 제4호(2004년 12월)
Journal of the Semiconductor & Display Equipment Technology, Vol. 3, No. 4. December 2004.

반도체 패키지 EMC의 열물성 연구

이상현† · 도중광* · 송현훈*
†한국표준과학연구원 물리표준부, *한남대학교 고분자공학과

Thermophysical Properties of Epoxy Molding Compound for Microelectronic Packaging

Sang Hyun Lee†, Jung Kwang Doe*, and Hyun Hoon Song*
†Division of Physical Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science
*Department of Polymer Scienae and Engineering, Hannam University

ABSTRACT

As the high speed and high integration of semiconductor devices and the generation of heat increases resulted in the effective heat dissipation influences on the performance and lifetime of semiconductor devices. The heat resistance or heat spread function of EMC(epoxy molding compound) which protects these devices became one of very important factors in the evaluation of semiconductor chips. Recently, silica, alumina, AlN(aluminum nitride) powders are widely used as the fillers of EMC. The filler loading in encapsulants was high up to about 80 vol%. A high loading of filler was improved low water absorption, low stress, high strength, better flowability and high thermal conductivity. In this study, the thermal properties were investigated through thermal, mechanical and microstructure. Thermophysical properties were investigated by laser flash and differential scanning calorimeter(DSC). For detailed inspection of materials, the samples were examined by SEM.

Key Words : EMC, Thermal Conductivity, Specific Heat Capacity, Thermal Expansion, Heat Sink

1. 서 론

반도체소자는 외부의 이물질이나 온도, 습도, 충격 등의 외부 환경으로부터 소자를 보호하기 위하여 고분자, 세라믹, 금속 등의 패케징재료를 사용하여 반도체 공정의 최종단계에서 패케징 처리가 행하여지고 있다. 최근의 반도체 패케징재료에서 EMC(Epoxy Molding Compounds)는 현재 전체 반도체소자의 90%이상에서 이용되고 있다[1-3]. 반도체의 고집적화에 따라 발열에 의한 소자의 온도상승은 소자의 수명에 커다란 영향[4-6]을 미치므로 방열특성의 향상은 반도체소자의 성능향상의 주요한 요인으로 작용한다. 반도체소자의 고기능성 및 집적화는 칩의 전력밀도와 운영온도 상승을 가져오고 이것은 칩의 신뢰성 및 수명을 크게 저하시킨다. 그러므로 봉지재의 방열특성을 향상시켜기 위하여 봉지재의 열전도도를 크게함으로서 방열능력을 향상시키고자 하는 노력을 하고 있다.

반도체 봉지재인 EMC는 Fig. 1과 같은 구조로 구성되어있다. 소자를 감싸고 있으며 외부로는 금속의 리드선으로 연결되어 있다. 그러므로 일부의 열전달은 리드선으로 전도되어 외부로 방열을 하며, 전체적으로 많은 부분이 소자와 접하고 있는 EMC에 의해 방열을 하게 된다. 그러므로 EMC소재의 열특성에 따라 방열특성이 많은 영향을 받게 된다.

본 연구에서는 봉지재의 기본물질인 에폭시에 무기재료를 첨가하여 소재의 방열특성을 향상시키고자 하였다. 또한 EMC의 물성을 파악하여 소자의 열전달 및 방열 해석의 기본자료로 활용하기 위하여 열물성 측정을 수행 하였다.

†E-mail : leesh@kriss.re.kr

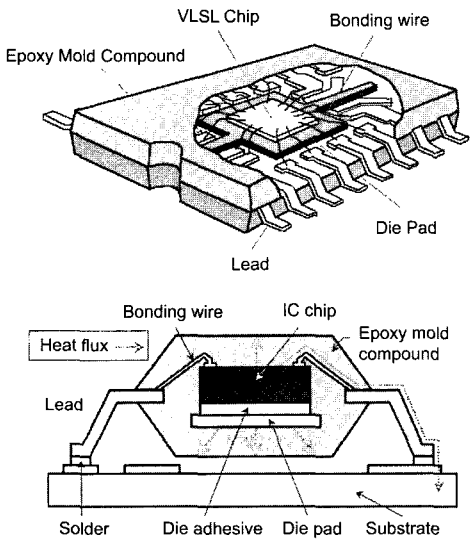

Fig. 1. Typical structure of semiconductor device packaged by EMC and route of heat transfer in device.

2. 실 험

2.1. 시료

EMC는 Table 1처럼 에폭시를 주재료로 하여 각종 바인더 및 첨가제로 구성 되어있다. 에폭시에 기계적, 열적 특성 향상을 위하여 첨가제로 무기재료를 첨가제로 이용한다. Table 2에 본연구에서는novoloc형과 biphenyl형 수지를 사용하였으며, 무기물 충진제로서는 fused silica와 crystalline silica를 사용하였다. 이때 충진제의 형태에 따른 혼합비는 구형과 각형이 7 : 3의 비율로 혼합하였으며 입자의 크기는 2~40 μm이었다.

충진제는 EMC의 40~75 vol%를 첨가하였다. 또한 EMC시료의 후 경화 시간에 따른 경화거동 및 이때의 열물성치를 살펴보기 위해 EMC의 성형조건은 동일하게 하였으며, 후 경화 시간(0~4시간)을 달리한 시료를

Table 2. Samples with various volume fraction of filler.

Material	Filler volume%	Matrix Epoxy	Filler type
N-1	63.0	Novolac	Fused silica
N-2	68.2	"	"
N-3	71.0	"	"
N-4	72.4	"	"
B-1	73.8	Biphenyl	"
B-2	75.2	"	"
C-1	72.4	Novolac	Crystalline
S-1	40.0	"	silica
S-2	50.0	"	"
S-3	60.0	"	"
S-4	70.0	"	"

Table 3. EMC samples for post curing time and condition.

Sample	Post curing time	Transfer mold cure time	Transfer mold temp. °C	Transfer pressure kgf/cm^2
EMC-1	-	120 s	175	100
EMC-2	1 h	"	"	"
EMC-3	2 h	"	"	"
EMC-4	4 h	"	"	"

Table 1. Composition of typical EMC.

Material	Remarks	Weight %
Epoxy	Binder	8~15
Filler	Improving strength, Low CTE,Thermal conductivity	70~90
Hardner	Curing agent	4~10
Br-Epoxy	Organic flame retardant	2>
Sb_2O_3	Inorganic flame retardant	3>
Coupling agent	Adhesion between filler and organic materials	1>
Accelerator	Accelerating reaction of epoxy with hardner	1>
Flexibilizer	Lowering thermal stress	5>
Wax	Releasing agent for workability,Improving degree of mixing	2>
Colorant	Coloring	1>

제작하였다. 사용된 기지재는 biphenyl형 에폭시수지이며 충진제로 SiO_2를 55.6 vol% 충진한 시료는 Table 3과 같다.

2.2. 실험방법

EMC의 열물성은 열확산도, 비열, 밀도 측정으로부터 열전도도를 계산하여 이용하였다. 전이온도, 열팽창계수 및 모듈러스를 측정하였다. 열확산도는 레이저플레시법(SINKU RIKO,TC 7000/UVH/L)를 사용하였고, 비열측정은 DSC(Differential Scanning Calorimeter, Pyris 1, Perkin Elmer)을 사용하였다. 열팽창은 TMA (ThermoMechanical Analyzer, TMA 92, Setaram)을 모듈러스측정을 위하여는 DMA(Dynamic Mechanical Analyzer, TA 2980, TA Instrument)의 측정장비를 이용하였다[7, 8].

레이저플레시법[9, 10] 측정시료는 직경 10 mm, 두께 약 2 mm의 크기로 가공하였으며, 비열측정용으로는 직경 5 mm, 두께 1.5 mm로 하였으며, 승온속도는 5 K/min, 고순도 아르곤가스를 50 ml/min의 분위기에서 50 K온도간격으로 스텝가열법에 의한 평균적인 비열을 측정하였다[11]. 열팽창 측정용으로는 직경 6 mm, 길여 15 mm로 하였으며, 5 K/min, 조건으로 측정하였다. DMA[12]측정은 3-point bending모드에서 주파수 1 Hz, 힘은 0.5 N, 승온속도는 3 K/min로 하고, 시료는 23×11×2.5 mm의 직육면체로 가공하여 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 열물성 측정결과

열물성 측정을 위하여 제조된 시료는 무기질의 분산에 따라 특성이 영향을 받으므로 조직의 형상을 먼저 관찰하였다. Fig. 2는 N-4, C-1 시료로서 fused silica, crystalline silica가 72.4 vol%가 분산되어 있다. N-4는 가공된 구형 실리카가 에폭시에 비교적 균일하게 분산되어 있으며, C-1 은 구형과 각형이 7 : 3의 비율로 혼합되어 있다. 분산된 충진제의 입자의 크기는 2~40 μm 이다.

일반적으로 열전달 해석을 위한 기초물성으로 열전도도, 비열, 열팽창계수가 가장 많이 이용되므로 이에 대한 정확 높은 측정이 요구된다. 열전도도 결과로서 밀도, 비열, 열확산도 측정결과로부터 다음의 식(1)으로부터 구하였다.

$$\lambda = \rho \cdot C_p \cdot \alpha \quad (1)$$

λ는 열전도도 [W/(mK), ρ는 밀도[g/cm^3), *Cp*는 비열

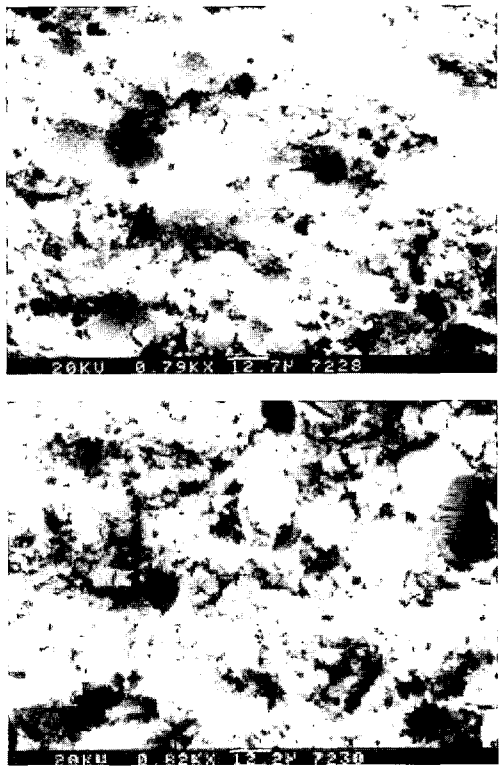

Fig. 2. SEM micrograph of silica filled EMC. Upper : Fused silica(N-4), Lower:Crystalline silica(C-1).

Table 4. Experimental thermophysical properties of EMC.

Sample	Thermal conductivity W/(mK)	Specific heat capacity J/(gK)	CTE $\times 10^{-6}$/K
N-1	0.778	0.8551	16.4
N-2	0.837	0.8415	15.2
N-3	0.884	0.8357	13.6
N-4	0.880	0.8196	13.3
B-1	0.934	0.8258	13.0
B-2	0.940	0.8107	12.0
C-1	1.733	0.8700	31.9
S-1	0.778	0.9671	55.6
S-2	1.064	0.9216	40.8
S-3	1.628	0.8700	35.2
S-4	2.155	0.8356	29.6

[J/(gK)]이다. 이와 같은 열전달 방정식의 결과처럼 열확산도와 비열측정으로부터 열전도도를 환산하여 사용하는 방법이 일반적으로 고체재료의 측정에 이용되고

있다.

Table 4의 결과에서 열전도도는 fused silica보다 crystalline silica재료가 크게 나타난다. 비슷한 무기질 충진량인 N-4과 C-1의 열전도도는 각각 0.880 W/(mK)와 1.733 W/(mK)로 큰 차이를 보이고 있다. 문헌에 따르면 에폭시의 열전도도가 0.2 W/(mK)이고, fused silica는 1.38 W/(mK), crystalline silica 10.4 W/(mK)[13]로 충진제의 열전도도에 따라 나타남을 알 수 있다. 비열은 에폭시에 비하여 무기질이 작으므로 충진량이 증가하면 비열값은 작아진다. 열팽창계수는 무기질이 많으면 작아지는 것이 일반적이나 충진제의 배합에 따른 조직의 배열방향 및 존건 등에 따라 영향을 받는다. 같은조건에서 제조한 N-1, 2, 3, 4를 보면 무기질 충진량의 증가에 따라 열팽창계수가 감소함을 알 수 있다.

Fig. 3은 EMC의 열전도도 측정결과로부터 실리카의 함량이 증가 할수록 열전도도는 증가하며, fused silica에 비하여 crystalline silica의 열전도도가 크게 나타남을 알 수 있다. 2상의 혼합계에 의한 열전도도 모델에 의한 Maxwell[14]과 Bujard 모델[15]에 의해 결과에서 결정질 무기질을 사용한 경우는 Bujard모델과 비교적 잘일치하나 용융시리카는 Maxwell보다도 작은 값을 보이고 있다. 온도증가에 따라 열전도도가 증가하는 경향은 예측모델의 경향과 비슷한 결과를 보이고 있다.

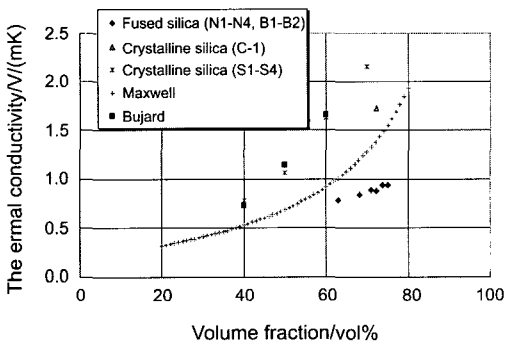

Fig. 3. Thermal conductivity of EMC with model values.

Fig. 4는 EMC의 열팽창계수를 측정한 결과이다. 무기질 충진제의 증가에 따라 열팽창계수는 단조 감소한다. 일반적으로 에폭시의 열팽창계수가 40~60×10^{-6}/K[13]이므로 이보다 열팽창이 작은 충진제의 첨가에 따라 열팽창계수가 감소하는 하는 경향을 보이고 있다.

N-1, 2, 3, 4에 비하여 S-1, 2, 3, 4가 열팽창계수가 큰값을 보이고 있다. 이것은 비열값에서 알 수 있듯이 비열이 상대적으로 N시료에 비하여 S시료가 큰값을 보이고 있다. 이것은 상대적으로 에폭시의 양이 높다고 추정 할수 있다. 그러므로 S시료의 열팽창계수가 크게 된다고 추정 할 수 있다.

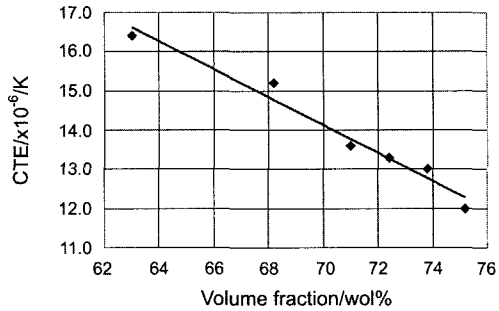

Fig. 4. Coefficient of thermal expansion(CTE) of EMC.

Fig. 5는 DMA 를 이용하여 모듈러스 및 유리전이온도(Tg)를 측정한 결과를 나타내었다. 온도변화에 따른 모듈러스 결과로부터 유리전이온도를 알 수 있다. N-1, 2, 3, 4, B-1, 2 및 C-1의 유리전이온도는 각각 154.3 °C, 149.2 °C, 146.9 °C, 138.3 °C, 107.2 °C, 101.6 °C, 164.5 °C 이다. 온도증가에 따라 전이온도는 감소하는 경향을 보였다. 충진제의 첨가에 따라 모듈러스는 증가한다.

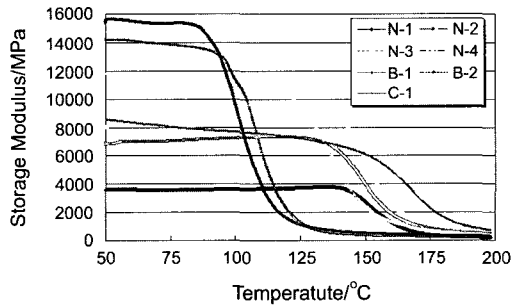

Fig. 5. Storage modulus and glass transion temperature of EMC as a function of volume fraction of filler.

3.2. 경화시간에 따른 열물성 측정결과

EMC의 경화반응은 중합(polymerization), 겔화(gelation), 가교화(crosslinking), 유리화 (vitrification) 등의 여러 반응을 포함하고 있다. 이러한 반응들이 경화조건인 시간과 온도에 대해 어떤 영향을 미치는지를 파악하는 것은 EMC를 가공하는데 있어 아주 중요하다.

Table 5는 후 경화 시간에 따른 여러 물성치들을 나타낸 것이다. EMC의 후경화 시간이 길어질수록 밀도는 가교밀도의 증가로 약간 증가하였으며, 비열은 4시

Table 5. Thermophysical properties of EMC with post curing condition.

Sample	Density g/cm^3	Specific heat capacity J/(gK)	Thermal diffusivity $\times 10^{-7}$m^2/s	Thermal conductivity W/(mK)
EMC-1	1.6539	0.9080	4.25	0.638
EMC-2	1.7157	0.9078	4.08	0.635
EMC-3	1.7212	0.9084	4.05	0.634
EMC-4	1.7270	0.9147	3.55	0.560

간 후에는 약간 증간한 것처럼 보이지만 1%이내로 측정 오차한계 이내였다. 또한 열확산도와 열전도도는 경화시간에 따라 가교의 증가로 인하여 감소하였으며 탄성률과 유리전이는 증가하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 EMC 재료의 충진제 함량에 따른 열적인 특성변화를 관찰하여 보았으며, 비열, 열확산도, 열전도도 등과 같은 열물성을 평가 하였다. 이러한 열물성 데이터들은 패키지 열설계의 기초자료로 활용될 수 있으며, 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 열전도도는 Matrix 물질(Resin) 로 사용된 Novolac 형 에폭시와 Biphenyl형 에폭시에 의한 관계보다 충진제 함량의 증가에 따라 증가 하였다. 특히 충진제 의 열전도도에 매우 의존한다.

(2) Matrix와 충진제의 열전도도 차이가 큰 경우는 Bujard모델과 잘 일치하나 차이가 작은 경우는 모델과는 상이한 값을 보였다. 이것은 시료의 기공, 충진제의 분산상태 등에 따라 열전달에 크게 작용하므로 이에 대한 연구가 요구된다.

(3) EMC의 후경화 시간이 길어질수록 밀도는 약간 증가하였으나, 비열은 1%이내로 측정 오차한계 이내였다. 또한 열확산도와 열전도도는 경화시간에 따라 가교의 증가로 인하여 감소하였으며 탄성률과 유리전이는 증가하였다.

참고문헌

1. Deborah, D. L., Chung, Materials for Electronic Packaging, Butterworth-Heinemann, 1995.
2. Mckeown, S. A., Mechanical Analysis of Electronic Packaging Systems, New-York; Basel, 1999.
3. Harper, C. A., Electronic Packaging and Interconnection Handbook, New-York; McGraw-Hill, (2000).
4. Blodgett, Jr. A. J., Microelectronic Packaging, Sci. Amer., pp. 86-96, 1983.
5. Taub, H. and Schilling, D., Digital Integrated Electronics, New-York; McGraw-Hill, pp. 150-183, 1977.
6. Patrick, F., McCluskey, Richard Grzybowski, Thomas podlesak, High Temperature Electronics, CRC press, pp. 7-15, 129-162, 1997.
7. Lee, S. H. et al, International Journal of Thermophysics, Vol. 25, pp. 1585-1595, 2004.
8. Lee, S. H. et al, International Journal of Thermophysics, Vol. 24, pp. 1355-1371, 2003.
9. Parker, W. J. et al., J. Appl. Phys., Vol. 32, pp. 1679, 1961.
10. Azumi, T. and Takahashi, Y., Rev. Sci. Instrum., Vol. 52, pp. 1411, 1981.
11. ISO/DIS 11357-4, 2004.
12. Charsley, E. L. and Warrington, S. B., Royal Socity of Chemistry, 1992.
13. Japan Society of Thermophysical Properties, Thermophysical Properties Handbook, Yogendo, 1990.
14. Ustjushanin, E. E., Cryonic, Vol. 13, pp. 241-243, 1991.
15. Bujard, P., Munk, K. and Kuehnlein, G., Thermal Conductivity 22, pp. 711-720, 1994.