

결정성 SiO₂ 충전 EMC(Epoxy Molding Compounds)봉지재의 성형조건 및 물성에 관한 연구

김 원 호 · 배 종 우 · 강 호 영 · 이 무 정 · 최 일 동*

부산대학교 화학공학과, *한국 해양대학교 재료공학과
(1997년 3월 28일 접수, 1997년 5월 21일 채택)

Studies on Molding Conditions and Physical Properties of EMC(Epoxy Molding Compounds) filled with Crystalline SiO₂ for Microelectronic Encapsulation

Wonho Kim, Jong-Woo Bae, Ho-young Kang, Moo-Jung Lee, and Il-Dong Choi*

Dept. of Chemical Engineering, Pusan National Univ., Pusan 609-735, Korea

*Dept. of Materials Engineering, Korea Maritime Univ., Pusan 606-791, Korea

(Received March 28, 1997, Accepted May 21, 1997)

요 약 : 회로 설계의 고속화, 고성능화 경향으로 인해 반도체 봉지재의 유전특성은 회로실행과 신뢰성에 지대한 영향을 미친다. 또한 칩이 고집적화됨에 따라 신뢰성에 영향을 주는 방열성이 주요 인자가 되고 있다. 결과적으로 선진적인 반도체 봉지재 제조에 있어 4가지 주요한 특성은 낮은 유전상수값, 높은 열전도도, 상대적으로 낮은 열팽창계수, 낮은 제조원가 등이다. 본 연구에서는 에폭시 봉지재의 고성능화를 위해 에폭시 모제의 충전제로서 결정성 실리카를 사용하였다. 그 결과 실리카 부피량 60~70% 일 때, 보다 뛰어난 물성을 갖는 반도체 봉지재를 제조할 수 있음을 확인하였다. 또한 이 실험 과정에서 반도체 봉지재의 성형조건도 설정할 수 있었다.

Abstract : Due to the trends of faster and denser circuit design, dielectric properties of packaging materials for semiconductor will give a greater influence on performance and reliability. Also as chip becomes more densified, thermal dissipation becomes a critical reliability issue. Consequently, four important properties for manufacturing semiconductor packaging materials are low values of dielectric constant, high values of thermal conductivity, relatively low values of thermal expansion coefficient and low cost. Thus, in this study, to achieve increased performance of EMC, crystalline silica was selected as the filler for epoxy matrix. As a result, when the volume percent of crystal silica was 60~70%, good properties as packaging materials for semiconductor were achieved. In addition, overall molding condition of EMC in this experiment was established.

1. 서 론

최근 지난 수십 년간 전자산업은 비약적인 성장을 거듭하여 대량의 정보를 보다 신속하게 처리하기 위하여 컴퓨터, 통신기기등 산업 정보용 기기의 더욱 빠른 정보 처리 능력이 요구되고 있다. 그동안 이러한 요구에 부응하기 위하여 Si 칩의 집적도를 증가시키고, 칩간의 간격

을 감소시키어 회로간의 신호전달시간을 단축하는 각종 기술의 개발로 인하여 1기가 바이트 이상의 칩의 개발을 목전에 두고 있다.

이에 따라 칩간의 회로를 구성하는 전자 패키징 기술의 발전 및 개발이 절실하게 요구된다 할 수 있다. 이러한 집적도의 증가로 인해 더욱 더 많은 Input/Output Leads의 필요성, 더 작은 공간에 더 많은 내부 결합의

필요성, 또한 칩 내부와 칩간의 집적도 증가에 따라, 즉 칩의 단위 부피에 소요되는 전력량의 증가에 따라, 많은 열이 발생하게 되어 생성된 열의 신속한 방출 등이 요구되어 설계, 원료, 성형기술 등이 이 요구조건을 만족시키기 위해 개선되어야만 한다.

기존의 전자 패키징에서 가장 많이 사용되어 왔던 재료는 폴리머이다. 폴리머는 가공성이 뛰어나고, 가격이 저렴하며, 유전율이 낮아 회로의 신호 지연이 적은 장점을 가지고 있으므로 전자 패키징 재료로 사용되어 왔다. 그러나 폴리머는 열전도도가 낮아 고집적 패키징에 사용할 경우 시스템의 오동작을 유발할 수 있기에, 방열이 많이 요구되는 부분에는 사용이 제한되어 왔다. 따라서 현재까지 대규모의 방열이 요구되는 부분에서는 열전도도가 높은 세라믹 기판을 패키징 재료로서 사용하고 있는 상태이다. 이와 같은 방열 문제를 효과적으로 해결하기 위하여 Table 1과 같은 충전제의 사용을 고려할 수 있다[1, 2, 3].

또한, 폴리머 패키징 재료의 선정에 있어 중요한 요소로 열응력 문제를 들 수 있는데, Si로 이루어진 전자 소자의 열 팽창 계수는 $4 \times 10^{-6}/K$ 정도인데 반해 폴리머의 열팽창 계수는 $50 \sim 90 \times 10^{-6}/K$ 이다. 이에 따라서 소자의 온도가 변하게 되면 소자와 패키징 재료간에 열팽창 계수 차이에 의한 열응력이 발생하게 된다. 열응력이 반복하게 되면 패키징 재료는 물론 도선 연결 부분 및 전자 소자까지도 열 피로에 의한 파괴를 일으키게 되어 시스템의 고장을 유발하게 된다. 이러한 열팽창 계수 차이를 최소화하기 위하여 소자의 열팽창계수와 패키징재료의 열팽창계수가 유사하여야 하는데, 일반적으로 실리카의 열팽창계수가 Si-Wafer의 열팽창계수와 유사한 것으로 알려져 있다.

또 하나의 중요한 특성은 패키징 재료의 유전특성을 들 수 있는데, 전자 패키징 재료로 사용되는 물질의 유전특성은 신호전달 속도, 고집적도에 영향을 미치며 낮은 유전 상수는 더 좋은 신호 전달을 가능케 한다.

지금까지 논의한 전자 패키징 재료로서 요구되는 특성은 다음과 같다. 1) 방열 성능, 즉 열전도도가 높을 것, 2) 열팽창계수가 Si와 유사할 것, 3) 유전상수가 낮을 것, 4) 제조원가가 낮을 것 등이다. 그러나 단일 물질로 이러한 요구조건을 충족시키기는 힘들기에 우수한 특성을 지닌 재료들을 복합화 하여 사용하는데, 즉 열전도도가 우수하고, 유전상수 및 열팽창계수값이 낮은 세라믹과 유전상수값과 제조원가가 낮은 폴리머를 적절한 비율로 조합하면 전자 패키징 재료로서 만족할 만한 재료를 개발할 수 있을 것이다. 현재 봉지제로 사용되고

Table 1. The Physical Properties of Silica Fillers and Epoxy Resin

Materials	Dielectric Constant	Thermal Expansion Coefficient ($10^{-7}/K$)	Thermal Conductivity (W/m-K)	Volume Resistivity (Ω -cm)
Crystalline Silica	4~7	90	2~10	10^{16}
Fused Silica	3~7	5.4	0.5~2	10^{17}
Epoxy Resin	6~8	500~900	0.02~0.04	10^{14}

있는 충전제로서는 용융 실리카가 주류를 이루고 있으며 결정성 실리카를 충전제로 사용할 경우, 복합재료의 열전도도 특성을 향상시키는데 더욱 더 적합할 것으로 생각된다[4].

본 연구에서는 용융 실리카 대신, 구조가 치밀한 결정성 실리카를 충전제로 사용하여 고방열 특성을 갖는 Epoxy Molding Compounds의 제조 및 성형공정 확립과 그 성능 평가를 목적으로 하였다.

2. 실험

2.1. Raw Materials 선정

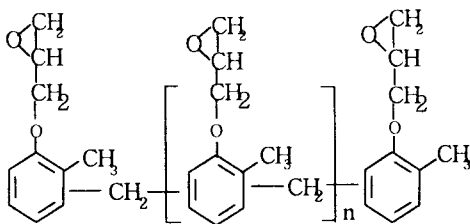
반도체 봉지재는 미세한 환경의 변화에도 쉽게 기능이 떨어지거나 마비되는 다이오드, 트랜지스터(Transistor), 집적회로(IC) 등에 사용되어 반도체·칩(Chip)의 기밀성을 유지시키고, 온도, 습도 등 주변환경으로부터 부품을 보호하며, 기계적 진동, 충격에 의한 파손과 특성변화를 방지하기 위해서 칩의 외부를 피복 봉지하여 외부의 영향을 차단하는 것으로서 종래에는 금속, 세라믹, 유리 등이 사용되었으나 1975년부터 플라스틱(특히, 열경화성 에폭시 수지)이 주류가 되어왔다.

열 경화성 에폭시의 경우, 저압 트랜스퍼 몰딩법에 의한 대량 생산이 가능하고, 가격이 저렴할 뿐만 아니라, 높은 신뢰도가 요구되는 분야에도 사용이 가능하기 때문에 반도체 봉지용으로 널리 사용되어 왔다. 에폭시수지는 Bisphenol-A type과 Novolac type으로 나눌 수 있는데 고상 Novolac 에폭시의 경우가 가장 널리 사용되는 반도체 봉지용 수지일 뿐 아니라 Bisphenol-A type 에폭시보다 유전상수가 낮고, 내열성이 우수한 것으로 알려져 있어 Novolac type의 에폭시를 본 연구의 Base

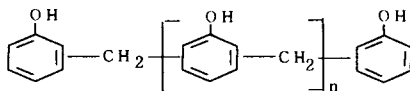
수지로 선정하였다. 경화제로는 페놀 Novolac으로 선정하였는데, 페놀경화형 에폭시의 경우 현재까지 상업적 이용이 미미하였지만 Microelectric Packaging에선 다른 경화형 에폭시에 비해 고품질과 뛰어난 물성을 나타내는 것으로 알려져있어 IC Packaging에서 사용되는 새로운 고기술 수지는 거의 에폭시-페놀 경화 반응으로 이루어진다.

에폭시-페놀 경화 반응의 경우 분자량의 증가와 망상(Network) 구조를 형성하는 반응으로서 유동 특성과 충전물의 기계적 특성을 좌우한다. 이의 주요 Mechanism은 아래와 같다.

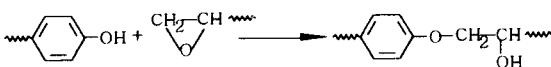
Epoxidized Cresol Novolac(ECN)



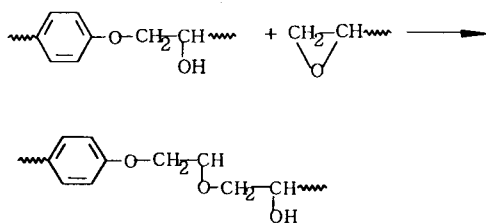
Phenolic Novolac(PN)



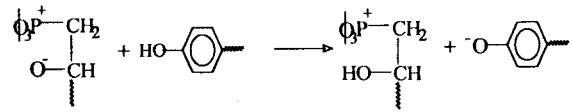
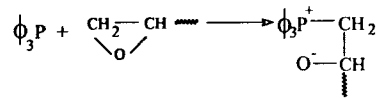
비촉매 반응의 초기반응은,



이고, 두 번째 branch 반응은



이다. 그러나 비촉매 에폭시 반응은, 170°C에서, 수분만에 경화하여야 되는 고집적 packaging 제조과정에 적용하기에는 반응이 너무 느려 촉매제를 사용하여 수분내에 경화가 가능하게 하였다. Romanchick에 의해 제안된 촉매 첨가 경화 Mechanism은 다음과 같다[5].



2.2. Coupling Agent

Coupling Agent의 역할은 충전제와 에폭시 고분자 계면에서의 화학 결합을 통해 계면간의 접착력을 증가시켜 기계적 특성, 내습성 및 내열성 향상에 있다. 본 연구에서는 일반적으로 실리카 충전제와 에폭시 수지의 접착력 향상을 위해 사용되는 Amino-Silane계 Coupling Agent를 사용하였다[1, 2].

2.3. Basic Recipe

Novolac Type의 에폭시와 Phenol Novolac 경화제, SiO₂ 충전제를 각각 Base 수지와 충전제로 사용하였을 경우의 Epoxy Molding Compounds 조성을 다음과 같이 정하였다[2].

Material	wt(%)
Novolac Epoxy Resin(ECN)	7~30
Phenol Novolac Hardner(PN)	3.5~15
Catalyst	1~0.75PHR
Inorganic Filler(Cryst. SiO ₂)	50~85
Mold Release Agent	MAX. 0.5
Coupling Agent	0.5~1.0
Stress-Relief Additive	MAX. 0.5

2.4. 혼합 기기(Mixing Machine)의 선정

충진제 투입량을 50 Vol% 이상으로 가정할 때의 EMC의 충전 점도를 예상하여 Torque 값이 큰 Two-Roll Mill을 혼합 기기로 선정하였다. 고점도 혼입을 위한 RPM 수준인 Left:Right = 14.5:21 RPM의 혼합조건을 사용하였다. Fig. 1에 Two-Roll Milling Machine의 혼입 방법을 나타내었다.

2.5. Molding 방법 및 기기의 선정

열경화성 에폭시 Compound의 Molding 방법은 사출

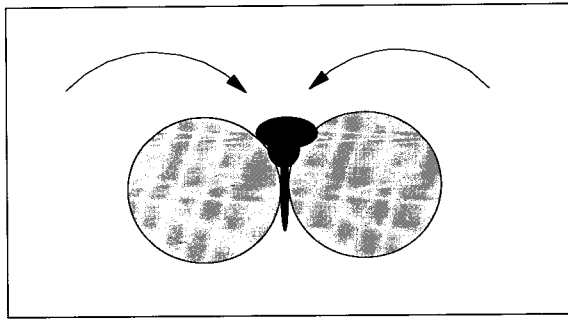


Fig. 1. Schematic diagram of two-roll milling machine.

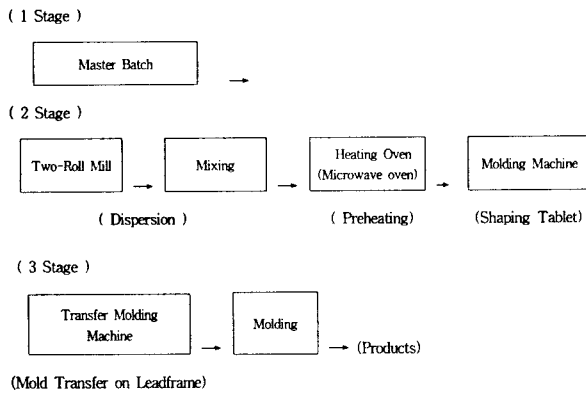


Fig. 2. Manufacturing process for EMC.

성형이 어려워, 저압 트랜스퍼 몰딩 방법을 가장 일반적으로 사용한다. 저압 트랜스퍼 몰딩방법의 장점은 압축 성형에 비해 대량 생산이 가능하고 특히, Preheating 공정을 이용하여 고점도 복합재료에서의 Void에 의한 불량 문제를 제거할 수 있다.

본 연구에서도 Void 문제 해결 및 대량 생산에의 응용을 위하여 Preheating 공정과 Transfer molding 방법을 사용하였다. SiO₂ 충전 에폭시 복합재료의 제조공정은 Fig. 2와 같으며, 트랜스퍼 몰딩기의 형상은 Fig. 3에 나타내었다.

2.6. 열전도도

복합재료의 열전도도 값은 Fig. 4에 나타낸 바와 같이, Disk 형태(각각 40 ϕ (직경) \times 2 mm, 4 mm)의 시편 2개를 구리 막대 중간에 삽입하여 이미 알고 있는 구리의 열전도도를 통해 시험하고자 하는 복합재료의 열전도도를 측정하였다(Tokyo Meter Co., LTD, Model: HVS-40-300SDS). Fig. 4에 복합재료의 열전도도를 구할 수 있는 장치의 형태를 나타내었다.

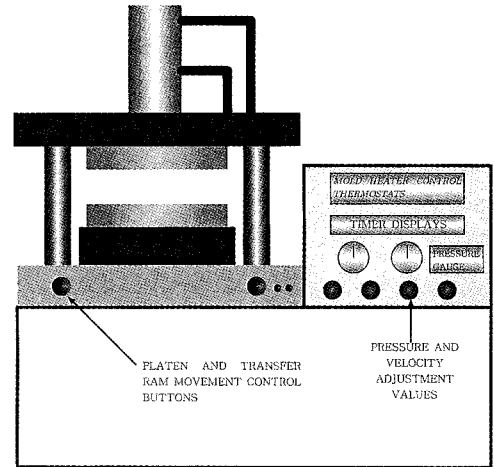


Fig. 3. Schematic diagram of transfer molding machine.

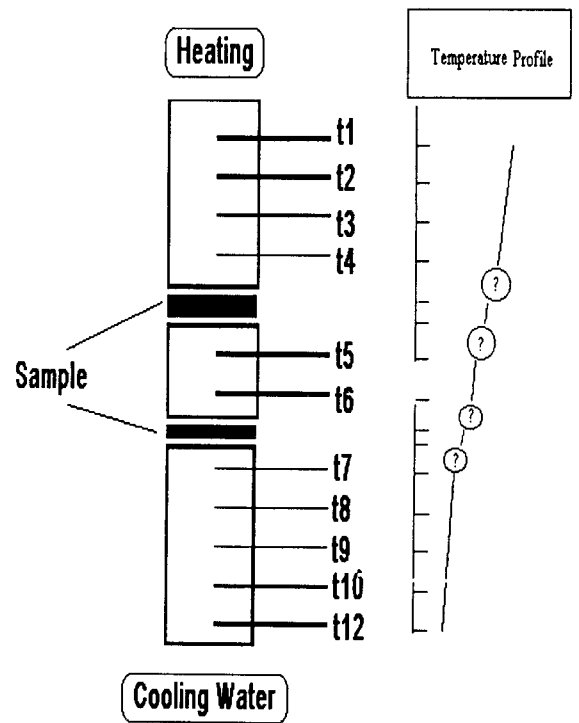


Fig. 4. Schematic diagram of thermal conductivity measuring apparatus.

2.7. 유전 특성(Dielectric Properties)

복합재료의 유전 특성(Dielectric Property) 값은 Disk 형태(10 ϕ \times 2 mm)의 시편을 제조하여 상온에서 LF Impedance Analyser(Hewlett Packard, Model: HP4192A)를 이용하여 Frequency 1MHz를 주어 측정하였다. 유전 상수값은 아래 식을 이용하여 계산하였다.

$$k = \frac{c}{(A/d)E_0} \quad (1)$$

k 는 시편의 유전상수 값이고, c 는 시편의 유전용량(Dielectric Capacitance), A 는 시편의 단면적, d 는 시편의 두께, E_0 는 진공에서의 유전용량(8.85 pF)이다.

2.8. 열 팽창계수(Coefficient of Thermal Expansion)

복합재료의 열팽창계수 값은 막대 형태의 시편과 아래 식을 이용하여 ANTER사의 Linear Dilatometer(시험조건: 상온에서 250 °C까지 5 °C/min으로 승온)로 측정하였다.

$$\alpha = \Delta L / L_0 \Delta T \quad (2)$$

α 는 시편의 열팽창계수값이고, $\Delta L / L_0$ 는 시편의 열팽창율, ΔT 는 온도차이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 혼합 적정 온도의 설정

혼합 온도에 따른 에폭시 Compound의 경화도를 계산하기 위해 DSC(Seiko사, Model 220C: Differential Scanning Calorimetry)를 이용하여 16 °C/min으로 heat flow하여 경화도를 구하였다. 촉매 1PHR 첨가시의 DSC Thermogram은 Fig. 5와 같고 이로부터 10분 동안 혼합한 시료의 경화도를 아래 식을 이용하여 계산하였다[6].

$$\text{Degree of Curing} = \frac{(H - H(t))}{H} \quad (3)$$

H 는 전체 반응 Enthalpy, $H(t)$ 는 t 시간에서의 반응 Enthalpy이다.

Fig. 5를 분석해 보면, 반응 초기화 온도(T_i) 및 반응 종료 온도(T_f), 경화 촉진제의 개시 반응 온도(T_m), 최고 발열시점의 온도(T_{exo}) 등을 알 수 있다. 이를 Two-Roll에서의 EMC를 제조하기 위한 가공성과 비교하여 최소 반응 온도를 설정할 수 있는데, 반응 초기화 온도는 약 70 °C이고, 경화 촉진제의 반응온도는 약 140 °C이었다. 온도에 따른 시료의 DSC Thermogram을 분석한 결과와 가공성 정도를 Table. 2에 나타내었다[7].

Table 2를 토대로 아래의 조건을 만족하는 최적 Two-Roll Milling Machine의 표면온도는 90 °C임을 알 수 있었고, 이를 향후 EMC 제조시의 작업조건으로 설정하였다.

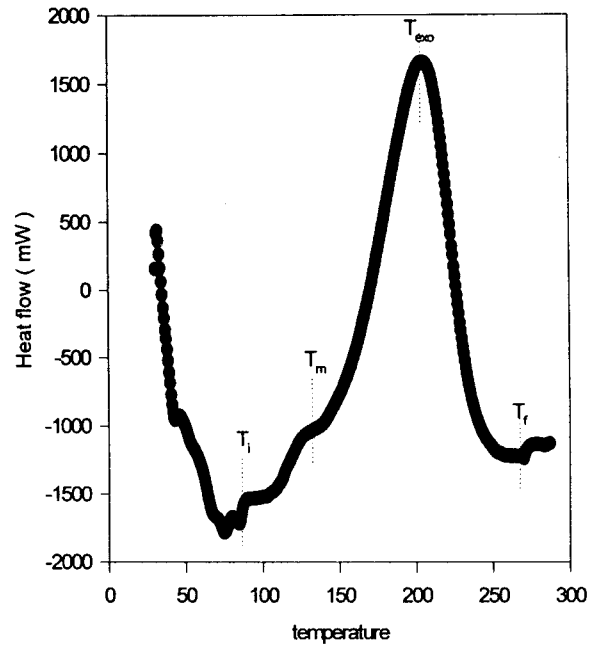


Fig. 5. DSC thermogram during curing of EMC.

Table 2. Analytical Data of DSC Thermogram with Surface Temperature of Mixing Machine

Roll-Surface Temp.	uncured	70°C	90°C	120°C
Initiate Temperature	70°C	70°C	80°C	80°C
Reaction Temp. for Activator(T_m)	140°C	140°C	140°C	-
Max. Exothermal Temp.(T_{exo})	205°C	180°C	167.3°C	167.2°C
Time for T_{exo} (mins)	12	10	9.15	9.13
Terminated Reaction Temp.(T_f)	270°C	250°C	245°C	240°C
Workability	-	Bad	Good	Good
Degree of Curing	-	-	0.12%	3.6%

1) 열경화성 수지는 Chemorheology거동을 - 경화도가 증가할수록 점성이 증가 - 나타내기 때문에 경화도가 최소화될 수록 Molding성이 뛰어나다[8].

2) 최고 발열 온도(T_{exo})가 생산에 적용되고 있는 Mold 온도(175 °C) 이하가 될 때, 반응시간을 줄일 수 있어 생산성이 향상된다.

3) Roll-Mill Mixing 시의 작업성이 좋아야 한다.

3.2. 분산시간에 따른 분산평가

위에서 설정한 Roll 표면온도 90 °C를 적용하여 혼합 시간을 각각 3, 5, 10, 15분으로 작업한 EMC 4종의 충전제 분산을 평가하였다. 에폭시 Compound의 표면을 편광 현미경(50 배율)으로 관찰하여 충전제의 분산도를 측정된 결과를 Fig. 6((1) 3분, (2) 5분, (3) 10분, (4) 15분 분산)에 나타내었다. 혼합 시간 10분 이상에서는 강화재 및 충전제가 잘 분산된 것으로 평가되었으며, 따라서 경화도가 가장 작을 것으로 예상되는 10분을 최적 분산시간으로 설정하였다.

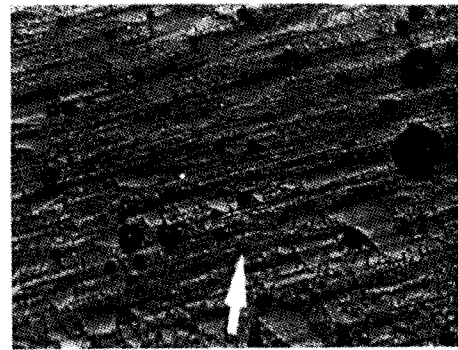
3.3. 제조된 EMC의 Gel Time 설정

Two-Roll Milling Machine의 Roll 표면온도를 90 °C로 유지하면서 Basic Recipe에 따라 원료물질을 10분간 mixing하여 실리카 강화 에폭시 Compound(실리카 투입량 60 Vol(%))를 제조하였다. Transfer Molding Machine에서 175 °C의 등온조건 하에서 각각 20, 40, 60, 120, 300초의 Molding 시간을 적용한 시료 4종을 제조한 후, DSC를 이용하여 Molding 시험편의 온도를 올리면서 발열량을 측정하였다. Equation 3을 이용하여 Molding 시간에 따른 전환율을 측정하였으며 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 일반적으로 epoxy cresol novolac과 cresol novolac 경화제의 각각의 평균 Functionality는 5 정도이고, Equation 4를 통해 Gelation은 전환율이 25% 정도 되는 지점에서부터 일어남을 알 수 있었으며, Gel Time 또는 Processing Time은 Gelation이 일어나기 전인 점도가 낮은 영역에서의 시간을 말하므로 Fig. 7을 분석하면 Gel Time 이 10~13초 정도임을 알 수 있었다[9].

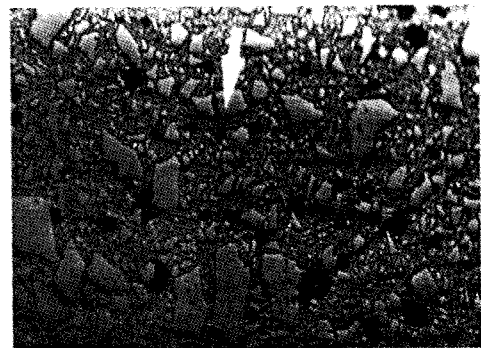
$$\text{Gelation point} = \frac{1}{f-1} \quad (4)$$

f 는 prepolymer의 functionality이다.

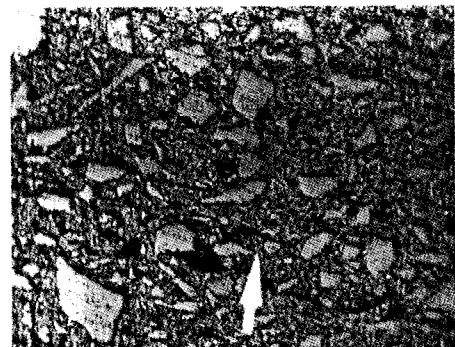
일반적으로 현장에서 단일 칩의 생산시, Mold온도 175 °C에서, 2.5분의 Molding Time과 4시간의 후경화시간을 적용하는 데, 이를 Fig. 7로 분석하여 볼 때 2.5분 Molding시 85% 정도의 전환율을 가짐을 알 수 있고 4시간 후경화시 100% 정도의 전환율을 가질 것으로 예상되는데 이에 따른 물성, 즉, Shear Modulus 차이를 RDA(Rheometric Dynamic Analyser)로 분석한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 동역학적 유리전이온도(Glass Transition Temperature)는 후경화 전의 값은 100~110 °C 정도이고, 후경화 후의 값은 180 °C 전후로



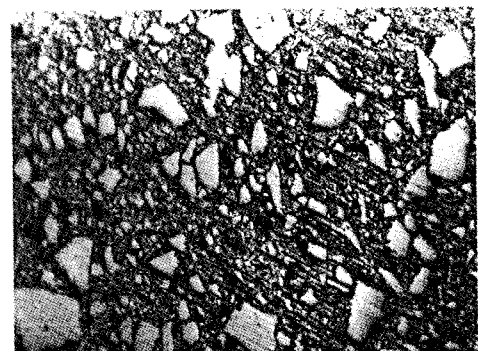
(1)



(2)



(3)



(4)

Fig. 6. Filler dispersion of EMC with mixing time.

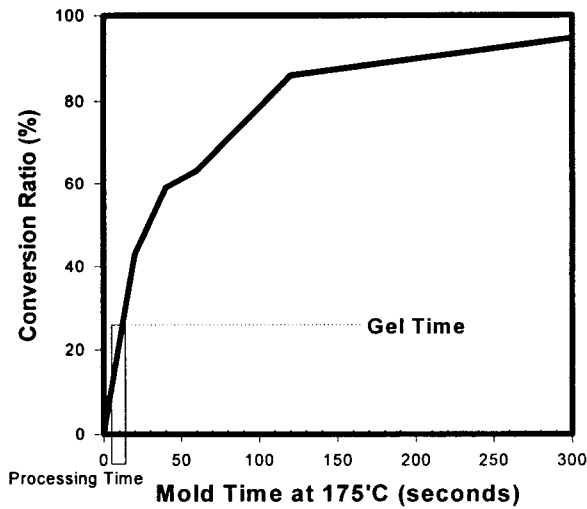


Fig. 7. Conversion ratio as a function of molding time of filled EMC at 175°C.

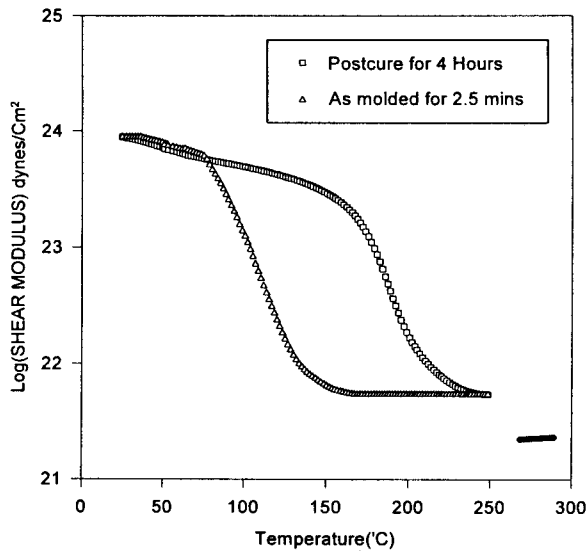


Fig. 8. Dynamic mechanical behavior of filled EMC.

유리전이온도(Glass Transition Temperature)값이 큰 차이를 나타내었다. 이는 150 °C 정도의 고열이 발생하는 전자재료에 있어 내부균열 방지를 위해서 후경화 시간은, 생산성을 고려하여 시간을 줄일 수는 있으나, 공정에서 빠져서는 안됨을 확인할 수 있었다.

3.4. 충전된 에폭시의 Molding 시간에 따른 점도

열경화성 물질의 경우, 시간에 따른 고분자의 점성 거동은 일반적으로 고분자 물질들이 보이는 점도거동인 Thixotropic 거동 양상과 다른 거동을 보이는 데, 이는 점도 거동이 화학중합에 의해 변화하는 특성에 기인한다.

Melt Capillary Viscometer(0.5φ × 10 mm)를 이용하

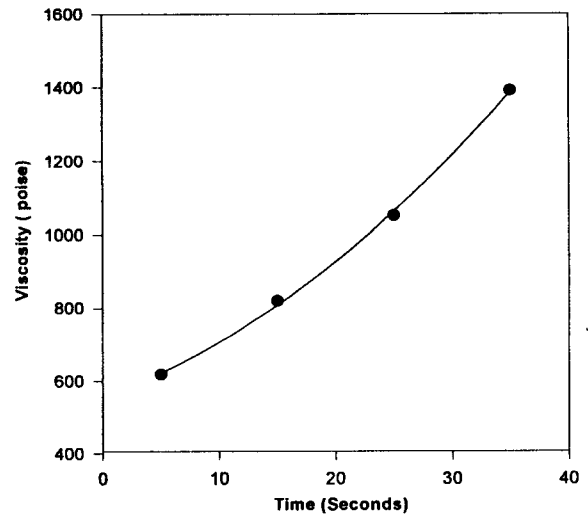


Fig. 9. Rheological properties of EMC filled with SiO₂.

여 Transfer Molding 온도인 175 °C에서 87 Kg_f/Cm²의 압력을 가했으며 Newtonian Flow로 가정된 아래 식을 이용하였다.

$$Viscosity = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8QL} \quad (4)$$

R은 Capillary의 반경, ΔP는 압력차, Q는 유출량, L은 Capillary의 길이이다.

Transfer Molding Machine에서의 성형시간에 따른 SiO₂ 충전(Vol 60%) 에폭시 복합재료의 점도거동은 Fig. 9와 같다. Fig. 9를 통해 Gel Time에서의 점도 값을 알 수 있으므로 이에 적합한 성형판 설계 및 일회 Transfer 경우의 생산갯수예측을 가능하게 한다. Gel Time인 10~13초에서의 점도는 약 700 poise 정도이고, 이는 현재 산업체에서 사용하고 있는 메모리 반도체용 봉지재(fused silica 충전)의 점도 값(약 100poise)의 약 7배 정도이다.

본 연구에서 투입된 촉매량은 1PHR이므로 Gel Time에서의 점도 증감은 촉매 양을 가감함으로써 가능할 것이다.

3.5. 열전도도

일반적으로 고분자 물질은 금속, 세라믹, 유리와 같은 물질보다 낮은 열전도도를 가지는데, 이는 상대적으로 낮은 고분자의 원자밀도에 기인한다. 낮은 열전도도는 방열 Device에 있어 적정온도를 유지시키는 데 많은 문제점들을 내포하고 있기에 상대적으로 높은 열전도도를 가진 물질과 혼합시 고분자의 열전도도를 향상시킬 수 있다. 다중 형태의 System에 있어 열전도도는 개개의

요소와 배열, 분산정도에 따라 변할 수 있기에 복합 물질의 열전도도는 아래식들에 의해 계산될 수 있다.

$$\text{Parallel ; } k_T = \sum k_i \phi_i \tag{5}$$

$$\text{Series ; } 1/k_T = \sum \phi_i / k_i \tag{6}$$

k_T 는 복합재료의 열전도도이고, k_i 는 성분의 열전도도, ϕ_i 는 성분의 부피분율이다.

복합재료의 열전도도 계산법으로 가장 널리 사용되는 (5)식은 서로 다른 열전도도를 가진 물질들로 제조된 복합재료가 높은 열전도도를 가질 때 적합한 식이며, (6)식은 복합재료가 낮은 열전도도를 가질 때 적합한 식이다.

실험적 방법으로 구한 결정성 실리카의 부피분율에 따른 열전도도의 변화는 Fig. 10과 같다.

Fig. 10에 나타난 실험 결과를 (5), (6)식들과 비교하여 보면 (5)식이 실험결과를 잘 나타냄을 알 수 있다. 충전제 부피분율 40%일 때는 Epoxy Matrix의 영향을 크게 받아 실험값이 이론치보다 낮지만 50 Vol% 이상에서는 실험값이 이론치와 잘 일치됨을 알 수 있다. 용융 실리카를 사용한 봉지재의 경우 열전도도가 0.63 W/m-K정도인데 반해 결정성 실리카를 65 Vol.% 정도 투입한 봉지재의 열전도도 값은 용융 실리카 충전 EMC 대비 2.6배로 측정되었기 때문에 고방열성을 목표로 하는데 사용될 수 있음을 알 수 있다.

3.6. 유전 특성(Dielectric Properties)

결정성 실리카의 함량에 따른 복합재료의 유전상수 및 산란계수 측정값을 각각 Fig. 11과 Fig. 12에 나타내었다.

Plastic Packaging에 있어 물질의 유전 특성은 Device 실행에 중요한 역할을 담당하고 있는데, 유전 상수값이나 산란 계수 모두 신호 전달 용량이나 Device의 신호 전달속도에 중요한 영향을 미치는 인자이다. 일반적으로 낮은 유전 상수와 낮은 산란계수값은 기기의 실행을 더욱 원활하게 하여 device 자체의 높은 집적성, 더 높은 Clock Rate를 가능하게 한다.

Fig. 11은 실리카의 증량에 따라 유전상수 값이 감소함을 보여 주는데, 40 Vol%와 50 Vol%에서는 측정값이 차이가 나지 않았으나 실리카를 증량할 경우에는 유전상수 값이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 감소된 유전상수 값에 따라 신호전달 지연시간을 줄일 수 있다. 일반적으로 반도체에서 요구되는 유전상수 값은 5.2 이하이므로 본 연구에서 제조된 EMC의 유전특성은 Silica 65 Vol%이상에서 이 요구조건을 충분히 만족

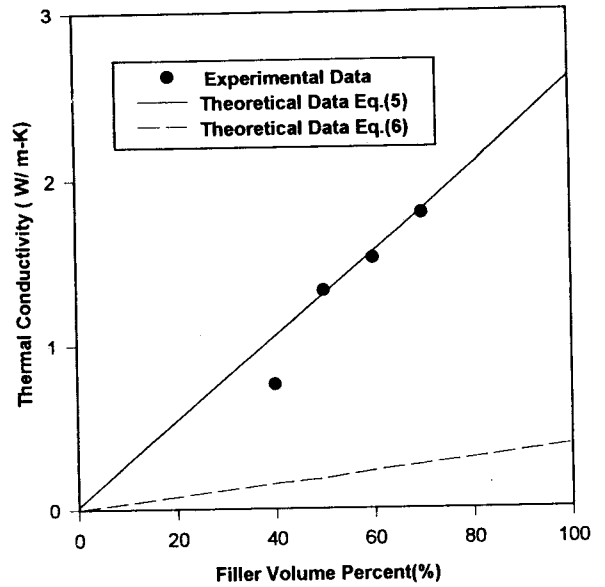


Fig. 10. Thermal conductivity of EMC filled with SiO₂.

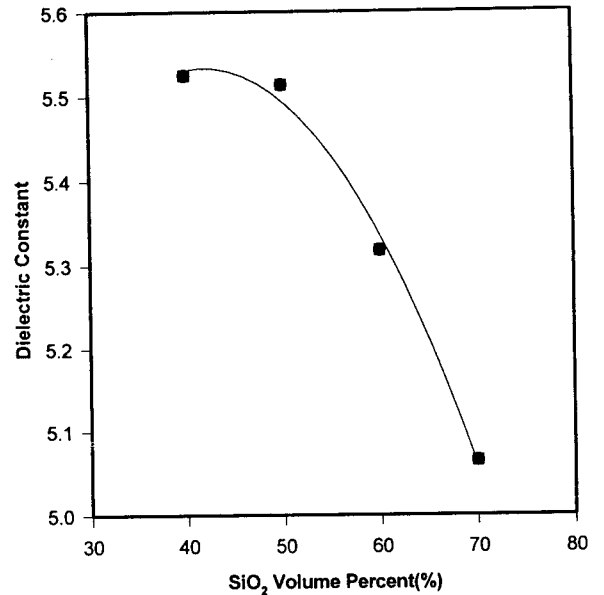


Fig. 11. Dielectric constant of EMC filled with SiO₂.

시키고 있다. 반면, Fig. 12에서는 산란계수(Dissipation Factor)값이 충전제의 증량에 따라 40~60 Vol%까지는 일정하였으나 60~70 Vol%에서 증가함을 보여 50 Vol%의 충전제 함량에서 가장 낮은 산란계수 값을 나타냄을 알 수 있었다. 반도체 봉지재에서 일반적으로 요구되는 산란계수 값은 1MHz에서 0.013 이하의 값을 요구한다. 본 연구에서 제조된 EMC는 결정성 실리카 65 Vol% 이하에서 0.013 이하의 산란계수 값을 나타냄을 알 수 있다.

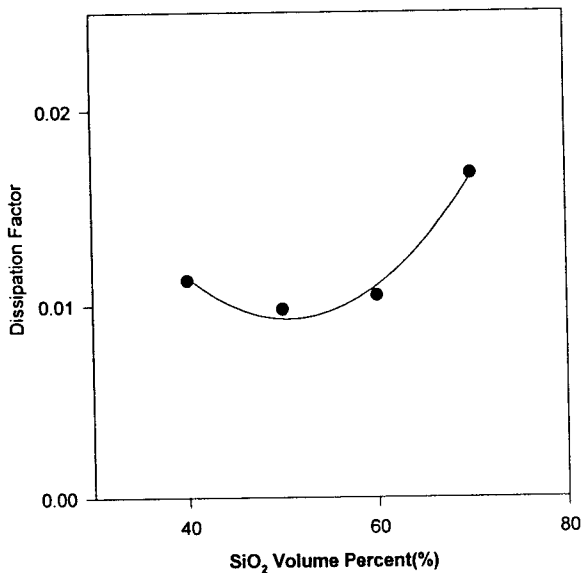


Fig. 12. Dissipation factor of EMC filled with SiO₂.

3.7. Coefficient of Thermal Expansion

반도체 소자들이 고집적화 됨에 따라 미세한 표면구조를 갖는 대형의 소자를 밀봉시킬 경우 봉지용수지(Epoxy)와 칩(Silicon)의 열팽창계수간의 차이에 의해 내부 응력이 발생하고, 발생된 내부응력은 Crack 발생 및 봉지재와 Leadframe간의 접착력을 저하시키는 가장 중요한 요인이 되기 때문에 밀봉시의 내부 열응력을 낮추기 위해 EMC의 선팽창계수를 칩의 열팽창계수와 최대한 근접시킬 필요가 있다. 일반적으로 수지 봉지재의 선팽창계수는 유리전이온도(T_g)에서 그 물성의 변화가 대단히 크며 유리전이 온도 이전의 값이 유리전이온도 이후의 값보다 훨씬 작다.

에폭시 수지보다 낮은 선팽창계수를 갖는 충전제의 함량, 즉 40, 50, 60, 70 Vol%에 따른 Compounds의 열팽창율($\Delta L/L_0$)을 Fig. 13에 나타내었다.

팽창율(Expansion Ratio)은 온도가 증가할수록 비선형적으로 증가하였으며, Compound내의 충전제의 부피분율이 증가할수록 Compounds의 팽창율은 감소하였다. Fig. 13으로부터 선 팽창계수 α_1 (유리전이온도 이전 값)과 α_2 (유리전이온도 이후 값)의 값을 구할 수 있는데 계산한 결과를 Table 3에 나타내었다. 유리전이온도 이하에서의 선 팽창계수인 α_1 의 값은 실리카의 Vol%가 증가할수록 감소함을 알 수 있다. 그러므로 선팽창계수는 실리카와 같은 열팽창계수 값이 낮은 충전제의 증량을 통해 낮출 수 있다. 일반적으로 고방열성 봉지재에서 요구되는 선팽창계수 값은 α_1 의 경우 $32 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이하, α_2 의 경우 $90 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이하이므로 Silica 70 Vol%

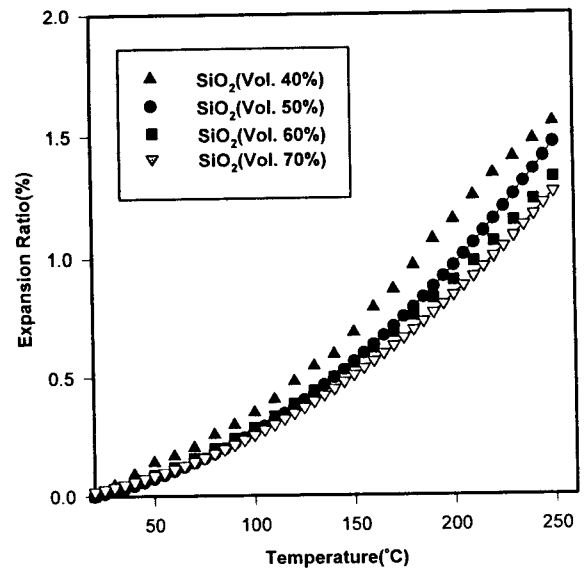


Fig. 13. Thermal expansion ratio of EMC filled SiO₂ with temperature.

Table 3. Coefficient of Thermal Expansion α_1 and α_2 as a Function of Filler Volume Percent

Filler Volume Fraction(%)	C. T. E.	
	$\alpha_1(\times 10^{-6})$	$\alpha_2(\times 10^{-6})$
40	49.5	83.3
50	39.4	85.8
60	40.09	73.3
70	30.5	72.1

의 EMC는 이 요구조건을 충족시키고 있음을 알 수 있다. 그러나 충전제의 과도한 증량시 성형성 불량 및 탄성률 증가 등의 문제점들을 야기시킬 수 있다.

4. 결 론

1) 본 연구를 통해 제조된 결정성 SiO₂ 충전 EMC의 제조조건은 Mixing중 경화도를 최대한 낮추기 위해 Roll 표면온도를 90^oC로 설정하였으며 최적 분산시간은 10분임을 알 수 있었다. 175^oC에서 2분 30초간 성형하여 4시간의 후경화시간을 갖도록 하였을 경우 유리전이 온도가 100^oC에서 180^oC로 증가함으로써 물성향상을 위해 후경화가 반드시 필요함을 알 수 있었다. 이 경우 이론

적 Gel Time은 10~13초 정도였다.

2) 충전제 량이 증가할수록 EMC방지재로서 요구되는 물성, 즉 높은 열전도도, 낮은 유전율, 낮은 열팽창계수, 이 향상됨을 알 수 있었고, 특히 충전제 부피 함량 60~70%에서 고 방열성 반도체 봉지재로서 요구되는 열전도도 1.675 W/m-K 이상, 유전상수 5.2 이하, 열팽창계수 $\alpha_1 = 32 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, $\alpha_2 = 90 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 이하의 뛰어난 물성을 가짐을 알 수 있었다. 그러나 충전제 량의 증가시 흐름성이 떨어져 성형성 불량을 초래할 수 있어 적정 충전제 투입량은 65~70 Vol% 임을 알 수 있었다.

Nomenclature

A	: Area of disk type specimen
c	: Capacitance
d	: Thickness of disk type specimen
E_0	: E' in Vacuum (8.85pF/m)
f	: functionality of prepolymer
H	: Overall Heat of Reaction
$H(t)$: Heat of Reaction at t-Time
k	: Dielectric Constants
k_T	: Thermal Conductivity of Composites
k_i	: Thermal Conductivity of i Components
L	: Length of capillary
ΔL	: Change in Length of test specimen due to heating
L_0	: Length of test specimen at room temperature
ΔP	: overall pressure drop
Q	: Volumetric flow rate
R	: Diameter of capillary
ΔT	: Temperature difference
α	: Coefficient of linear thermal expansion per degree Celsius
Φ_i	: Volume Fraction of i Components

감 사

본 연구는 1995년도 과학재단의 특정연구과제(과제번호:95-0300-16-01-3) 연구비에 의하여 지원되었기에 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Tummala, Rao R., Microelectronics Packaging Handbook. VAN NOSTRAND REINHOLD, New York, 1942.
2. Louis T. Manzione., Plastic Packaging of Microelectronic Devices. VAN NOSTRAND REINHOLD, New York, 1990.
3. J. H. Lupinski. Polymer Materials for Electronics Packaging and Interconnection.. American Chemical Society, Washington, DC, 1989.
4. L. F. Thompson, Polymer for Microelectronics. ACS Symposium Series 537, American Chemical Society, Washington, DC, 1994.
5. Rolf. W. Biernath and David S. Soane, Cure Kinetics of Epoxy Cresol ; Novolac Encapsulation for MEP. Contemporary Topic in Polymer Science, 1992.
6. T. A. A. M. Maas, Optimization of Processing Condition for Thermosetting Polymers by Determination of The Degree of Curing With a Differential Scanning Calorimeter, *Polym. Eng. Sci.*, **18**, 1978.
7. Merrill L. Minges, Electronic materials handbook, ASM international, **1**, 1989.
8. PETER J HALLEY & MICHAEL E. MACKAY, Chemorheology of Thermosets-An Overview, *Polym. Eng. Sci.*, ID-MARCH, **36**, 1996.
9. H. E. Bair, D. J. Boyle, J. T. Ryan, Thermo-mechanical Properties of IC Molding Compounds, AT&T Bell Laboratories Murray Hill, *Polym. Eng. Sci.*, **30**, 1990.