

반도체 패키징용 에폭시 소재 기술

The Epoxy Resin for the Semiconductor Packaging

전현애 · 탁상용 · 김윤주 · 박수진 · 박숙연 · 강경남 · 박성환

| Hyunaee Chun · Sang Yong Tak · Yunju Kim · Su Jin Park · Sook Yeon Park · Kyung Nam Kang · Sung Hwan Park

Gyeonggi Technology Service Division, Korea Institute of Industrial Technology
1271-18, Sa 1-dong, Sangnok-gu, Ansan City, Gyeonggi 426-171, Korea
E-mail: hachun@kitech.re.kr

1. 서론

반도체 패키징이란 반도체 칩이 전기전자부품으로 작동할 수 있도록 패키징화하는 기술로서, (1) 반도체 소자에 필요한 전력을 공급하고, (2) 반도체 소자간의 신호를 연결하고, (3) 반도체 소자에서 발생하는 열을 방출시키고 (4) 자연적, 화학적, 열적 환경 변화로부터 소자를 보호하는 역할을 한다. 최근 전자부품과 모바일 기기 등의 급속한 박형·단소화, 고밀도화, 고기능화 및 초고속화로의 발전에 의해, 반도체 패키징 기술도 점점 더 미세화, 박형화, 다핀화, 고집적화 등으로 진보하고 있다.

에폭시는 실리콘 칩이 실장 되는 패키지기판(IC substrate), EMC 봉지재, 언더필, 칩과 기판을 접착하는 다 이본딩재, 솔더레지스트, 전도성 페이스트, PCB 등 다양한 분야에 응용되고 있는 반도체 패키징의 핵심유기소재로써, 우수한 내열특성·절연특성·내화학성·기계적 물성 등으로 인하여 현재까지 널리 이용되고 있다(그림 1). 그러나 최근의 급속한 반도체 패키징 기술의 발전으로 인하여 기존 에폭시 소재의 한계가 인식되면서, 차세대 패키징용 신규 에폭시 소재의 개발에 대한 관심이 증대 되고 있다. 예를 들어 박형화·고기능화를 위해 여러 개의 박형 칩을 적층하는 패키징의 경우, 박형 기판에 부과되는 응력발생이 크게 문제가 되므로 응력발생을 효율적으로 저감할 수 있는 재료개발이 요구되고 있고, pb-free 솔더링에 의한 실장온도증가는 더 우수한 내열특성 및 흡습성 등을 가진 에폭시소재 기술을 요구하고 있다.¹⁴

이에 따라서 본 특집에서는 반도체 패키징용 에폭시 소재 및 최근 기술동향에 대한 소개를 통하여 반도체 패키징용 핵심 소재 기술에 대한 이해를 돕고자 한다.

2. 에폭시 수지

에폭시 수지란 한 분자에 2개 이상의 epoxide group을 가진 화합물로, 에폭시 그룹의 반응을 통하여 열경화성

Author



탁상용
2008 동의대학교 화학과 (학사)
2010 한양대학교 화학과 (석사)
2012-현재 한양대학교 응용화학과 (박사과정)



박숙연
2011 서경대학교 응용화학과 (학사)
2012-현재 한양대학교 응용화학과 (석사과정)



전현애
1987 서울대학교 화학교육과 (학사)
1989 서울대학교 화학과 (석사)
1997 미국 애크론대학교 고분자공학과 (박사)
2003-현재 한국생산기술연구원 경기기술본부 수석연구원



김윤주
2006 한림대학교 화학과 (학사)
2012 한양대학교 화학과 (석사)
2012-현재 한양대학교 화학과 (박사과정)



강경남
2011 동의대학교 화학과 (학사)
2012-현재 한양대학교 응용화학과 (석사과정)



박수진
2009 한국기술교육대학교 응용화학공학과 (학사)
2010-현재 한국생산기술연구원 경기기술본부 연구원



박성환
2009 서울대학교 화학과 (학사)
2011 서울대학교 화학과 (석사)
2011-현재 한국생산기술연구원 경기기술본부 연구원

수지로 될 수 있는 분자이다. 에폭시 수지는 우수한 기계적 물성, 전기특성, 접착성, 내약품성을 갖고 있을 뿐만 아니라, 에폭시 수지와 경화제의 다양한 조합을 통하여 넓은 범위의 물성 실현이 가능하기 때문에 전기전자 산업분야 뿐만 아니라 도료, 접착제, 건축 토목 등 다양한 분야에 응용되고 있다.

비스페놀 A형 에폭시수지(diglycidyl ether of bisphenol A, DGEBA)는 그림 2에서 보여주는 것과 같이 염기조건하에서 비스페놀 A와 epichlorohydrin과의 반응을 통하여 합성된다. 비스페놀 A형 에폭시수지는 가격과 물성 면에서 우수하기 때문에 가장 널리 사용되는 범용 에폭시 수지이다. 즉 에폭시 수지의 방향족환은 우수한 기계적 강도 및 내열성을, secondary OH기는 우수한 접착력을 glycidyl기와 aliphatic 연결 moiety는 내화학성과 유연성을, 그리고 에폭시기는 여러 종류의 경화제와의 반응을 통하여 넓은 범위의 물성 및 공정조건 조절을 가능하게 하므로 다양한 산업 분야에 널리 사용되고 있다.

전기전자분야에서 널리 사용되는 에폭시 수지로는 노블락형 에폭시 수지가 있다(그림 3).^{1,3} 이는 페놀류와 포름알데히드와의 중합반응으로 얻어진 수지로, 페놀노블락형 에폭시 수지와 크레졸노블락형 에폭시 수지가 가장 대표적이다. 크레졸 노블락형 에폭시 수지는 내열성, 내습성, 가격 면에서 우수하기 때문에 반도체 봉지재로서 많이 사용되는데, 노블락형 에폭시 수지는 반도체 봉지제 이외에 프린트기판 재료, 솔더레지스트 수지의 원료(에폭시 아크릴레이트) 등으로 사용되고 있다. 최근 전기전자용 재료들에게 제반물성(흡습성, 접착성, 고유동성, 저유전율 등) 향상 및 친환경특성이 요구되고 있는데, 이에 따라서 흡습성, 접착성, 고온 모듈러스 특성이 우수하고 pb-free 솔더링에 대해 내성이 강하고, 할로겐프리 난연성이 우수한 페놀알킬형 에폭시 수지에 대한 관심이 높다. 그 외에 나프탈렌 골격의 강직성, 소수성과 같은 특징 때문에 내열성/저열팽창특성, 흡습성이 우수한 각종의 나프탈렌 골격을 가진 나프탈렌형 에폭시수지



그림 1. 반도체 패키징 형상(좌)과 반도체 패키징에 사용되는 에폭시 소재(우). 에폭시 소재가 사용되는 부분을 E로 표기됨.

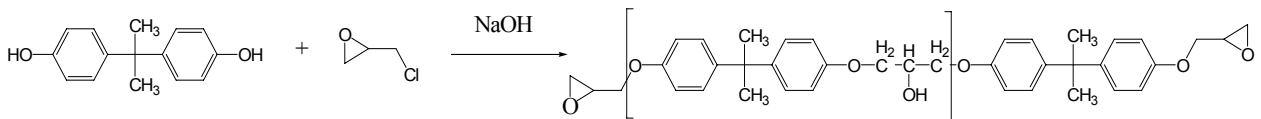


그림 2. 비스페놀 A형 에폭시 수지의 구조 및 합성 방법.

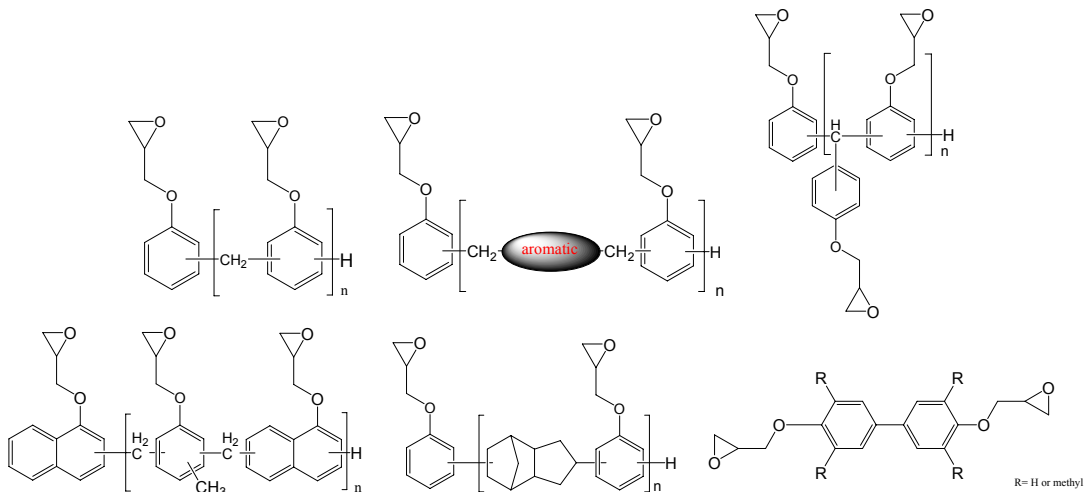


그림 3. 반도체 패키징에 사용되는 대표적인 에폭시 구조.

표 1. 반도체 패키징의 요구사항¹⁾

▶ 휴대전화용 반도체 패키징 요구사항						
	2008년	2010년	2012년	2014년	2016년	2018년
최소 取付높이(mm)	0.8	0.65	0.65	0.5	0.5	0.5
최소단자 피치(mm)	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.15
warpage(RT → 260 °C)	0.1	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05
최대단자수	800	900	1,000	1,100	1,200	1,300
▶ FC-BGA, LGA, PGA의 요구사항						
	2008년	2010년	2012년	2014년	2016년	2018년
최소 取付높이(mm)	1.7	1.7	1.4	1.4	1.4	1.2
최소단자 피치(mm)	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.65
warpage(RT → 260 °C)	0.2	0.2	0.17	0.17	0.17	0.14
최대단자수	2,200	2,400	2,600	3,000	3,400	3,800

가 개발되었고, 높은 유리전이온도를 보이는 트라이페닐메탄형 에폭시 수지와 흡습성이 매우 우수한 DCPD계 에폭시도 널리 사용되고 있다. 또한 바이페닐형 에폭시 수지는 강직하면서 대칭적인 구조를 갖는 바이페닐로 인해 우수한 물성을 보이고, 결정성으로 인하여 저용융점도, 저응력성 고접착성 등의 다수의 우수한 물성을 갖고 있어, 반도체 연관재료를 중심으로 최근 널리 사용되고 있다(그림 3).

3. 반도체 패키징용 에폭시 소재 개발 동향

반도체 패키지는 주로 휴대전화 등의 모바일 기기에 사용하는 CSP(chip scale package)와 주로 PC의 MPU(micro processing unit)와 GPU(graphics processing unit) 칩셋에 사용되고 있는 FC-BGA, LGA(land grid array), PGA(pin grid array)으로 크게 분류된다. 에폭시 소재는, 반도체칩의 고집적화·고속화·고기능화로 발전함에 따라서, 반도체 패키징 소재로서의 다양한 요구특성에 부응하도록, 물성 향상에 대한 연구개발이 지속적으로 요구되고 있다. 또한 지속가능사회 실현을 위하여 환경을 고려한 친환경 재료와 프로세스 개발에 대한 필요성이 증대하고 있다. 표 1에서와 같이 반도체 패키징의 fine pitch화·박형화가 진행됨에 따라서 리플로 실장 시 기판 warpage 특성이 향상된 기판소재가 요구되고 있고, 배선 폭이 감소됨에 따라 동박과 기판소재의 접착강도와 절연특성도 더욱 중요해지고 있다. 또한 신호고속전송을 위해서 절연재료의 비유전율, 유전정점을 낮춰야 하는 등 신호특성에 대한 요구도 증대하고 있다. 뿐만 아니라, pb-free 솔더의 사용은 반도체 실장온도 상승으로 이어져, 이로 인한 실장신뢰성(CTE, warpage, 기계특성)면에서 더 고도의 성능이 요구되고, 할로젠 프리화에 따라 절연신뢰성, 유전특성, 내열성, 환경조화성 등을 겸비한 난연소재의 개발이 점점 더 중요해지고 있다.

3.1 저열팽창특성(저CTE) 및 Warpage 저감재료

반도체 패키징에서는, 그림 1에서와 같이, 실리콘 칩, 금



그림 4. 패키징 소재 간 CTE-mismatch로 인하여 reflow 실장시 발생한 크랙(좌)과 기판 휨(우).

속 전극, 에폭시 수지와 같이 소재 간 CTE 차이가 큰 이종소재들이 동시에 사용되기 때문에, 리플로 공정과 같은 고온에 노출되면, 구성 재료 간 CTE-mismatch로 인한 문제가 발생한다(그림 4). 즉 급격한 온도 변화 시, 이종 소재간의 계면에서 열응력이 발생하여 계면 크랙이 발생하거나 휨이 발생하여 실장의 신뢰성을 크게 감소시키는 데, pb-free 솔더링을 사용을 사용하거나, 박형 코어기판/coreless 기판채택하는 경우, CTE-mismatch 문제가 더 심각해진다. 또한 칩면적이 큰 ASIC용 기판이나 flip-chip 접속타입(칩과 기재가 솔더에 의해 접속되기 때문) 역시 보다 낮은 열팽창계수를 가진 에폭시소재를 필요로 하고 있다. 뿐만 아니라 최근 회로 밀도를 향상하기 위해서는 비아반경이 작아지는 경향이 있는데, 작아진 land 접촉 면적으로 인한 고온 접속불량 감소를 위해서는 저CTE 층간절연재료가 필요하고, 에폭시 기판과 반도체 칩(특히 low k) 간의 CTE갭이 크면 실장시 칩파괴가 발생하므로 열팽창율이 작은 층간절연소재가 필요하다.

에폭시 수지 경화물의 CTE 특성은 에폭시 코어 구조, 경화도, 결합지 구조, 경화제 타입 등 에폭시의 화학구조에 의존한다. 현재 통상적인 상용 에폭시 레진 경화물의 CTE는 온도당 55 ppm ~ 75 ppm 수준이며, 나프탈렌과 같이 flat한 구조를 갖는 에폭시의 CTE가 비스페놀 A와 같이 상대적으로 free volume이 큰 구조에 비해 약 20 ppm 정도의 낮은 CTE를 보인다. 그러나 반도체 패키징 재료로 사용되는 에폭시 시스템의 CTE는 레진 자체의 CTE 보다는 필러 또는 유리섬유와의 복합화 효과가 훨씬 크기 때문에, 많은 경우 에폭시 레진 경화물 자체의 물성보다는 복합체 시스템의 CTE 특성이 더욱 중요하다. 그림 5에서는 다양한 방향족 및 지환족 에폭시를 이용하여 제조된 유리섬유복합체의 CTE

표 2. 실장온도 상승에 따른 봉지재료의 특성²

특성변화 @ 솔더-리플로온도		단위	240 °C	260 °C	영향
stress 증대	포화증기압(흡습성)	상대치	100	139	negative
	dimension 변화(CTE)		100	137	negative
저항 감소	접착강도		100	90	negative
	굴곡모듈러스		100	90	positive
	굴곡강도		100	90	negative

* 240 °C에서 260 °C로의 리플로 온도 상승에 대한 영향도
 = stress 증대/저항 변화=(증기압 X dimension 변화 X 굴곡모듈러스) / (접착강도 X 굴곡강도) = (1,39 X 1,37 X 0,9) / (0,9 X 0,9) = 2,12

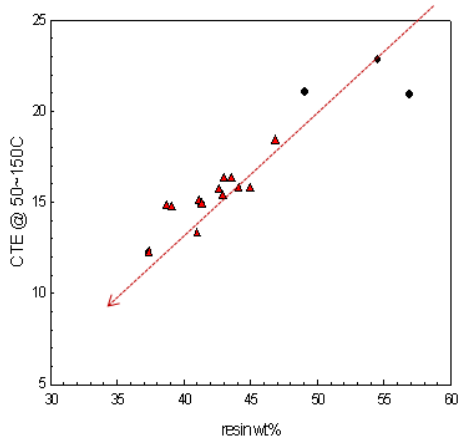


그림 5. 다양한 에폭시 유리섬유복합체에서 레진함량에 따른 복합체의 CTE 특성.

결과인데, 레진 특성보다는 복합체 내에서의 레진함량이 복합체 시스템의 CTE를 결정하는 제일 중요한 요인임을 보여 준다.

상기한 리플로시 반도체 패키징의 crack 생성은 CTE-mismatch로 인한 열응력 이외에 패키징 소재의 흡습성도 중요한 요인으로 알려져 있다. 즉 반도체 패키징 내부에 흡수된 수분이, 리플로 온도에서 급격히 증기화되어 발생된 응력에 의해, 계면 간의 박리와 크랙 등을 발생시키므로, 종래에 비해 더 우수한 CTE 및 흡습성을 동시에 가진 수지 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 pb-free 솔더링에 의해 20 °C 정도의 리플로 온도 상승은 상기와 같은 스트레스의 증대 뿐만 아니라 및 모듈러스/접착력 감소로 이어져, 기존공정온도에 비해 2배 이상의 좋은 물성을 가진 패키징 소재를 요구하고 있다(표 2).

3.2 고속통신용 기판의 절연소재

첨단 전자기기분야에서는 고주파환경에서의 고속전송성이 중요하므로, 저유전율, 저유전정점을 갖는 에폭시 재료에 대한 관심이 매우 높다. 통상 에폭시 수지는 3.5 ~ 4.5 사이의 유전율과 10⁻² 수준의 유전정점을 가지고 있으며, 에폭시 구조 내의 극성기 감소, 불소화 또는 저유전수지와의 블렌딩법을 통하여 수지의 유전특성 개선에 대한 연구가 진행되고 있다

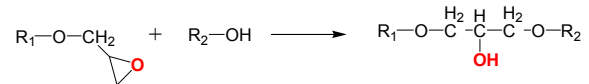
재료의 유전율은 Clausius-Mosotti 식에 의해, 분자구조로부터 계산할 수 있다. 즉 유전율은 구성화학구조의 몰체적(V_m) 및 몰분극률(P_m)의 함수로써(P_m/V_m) 값이 클수록 증가하는데, 예를 들어 몰체적비는 작으면서 몰분극이 큰 OH기의 존재는 시스템의 유전율을 높이는 주요 요인으로 알려져 있다.

- Clausius-Mossotti Eq.

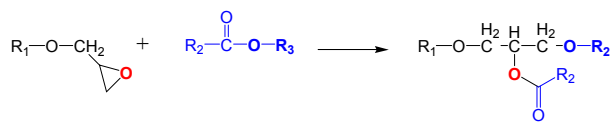
$$\epsilon = \frac{1 + 2\left(\frac{P_m}{V_m}\right)}{1 - \left(\frac{P_m}{V_m}\right)}$$

P_m: 몰분극률, V_m: 몰체적

에폭시 화합물은 경화될 때, 즉 에폭시링이 페놀/아민등과 같은 경화제와 반응할 때 마다, 아래 그림과 같이 secondary OH기가 생성되며, 이 작용기들이 에폭시 경화물의 유전율과 흡습률을 올리는 주요 요인으로 알려져 있다. 따라서 유전율을 낮추기 위해서는 가교밀도를 감소시켜 경화 중에 발생하는 OH기의 농도를 감소시키는 것도 한 방법으로 고려되고 있다.



따라서 에폭시 경화물의 유전율을 낮추기 위해서는 이차알코올이 생성되지 않는 경화시스템에 대한 연구가 필요하므로, 아래와 같이 페놀성 수산기를 에스테르화시킨 경화제를 사용하는 기술이 보고 되어 있다. 경화촉매를 선택에 의해 에스테르가 분해되면서 생성된 페녹시 음이온이 에폭시기와 반응하고, 이때 생성된 이차알코올은 분리된 R-C=O와 반응하여 에스테르화가 됨을 통하여, 경화반응에 의해 생성되는 OH를 보호하여 유전율을 제어할 수 있다.



여기서 언급하고 넘어가야 하는 것은 물의 유전율은 80으로 통상 유기물의 유전율보다 수십배 정도 높다. 그러므로

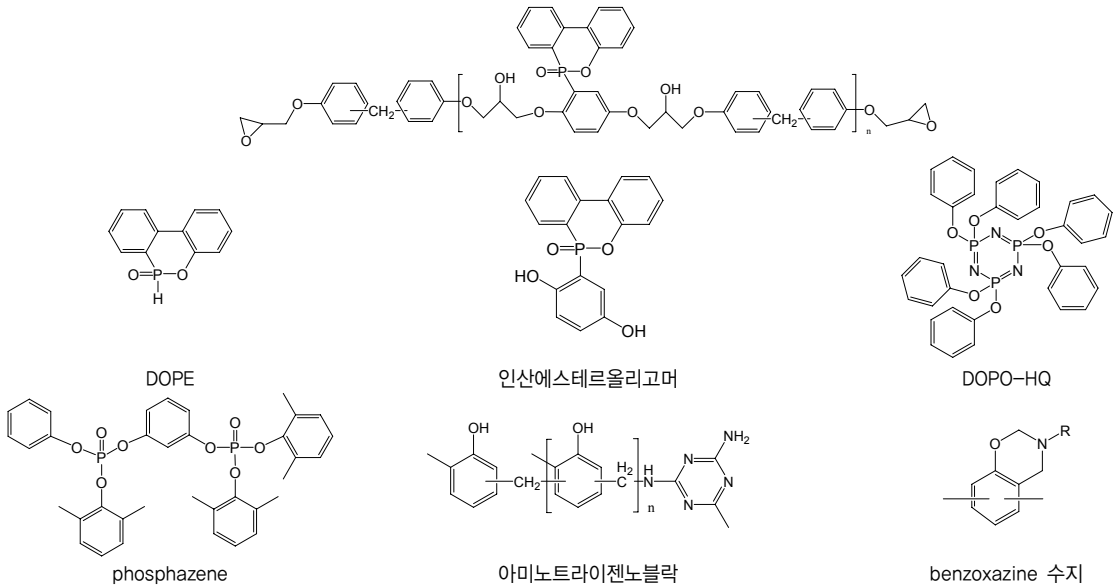


그림 6. P와 N을 포함한 친환경 난연수지 및 난연제.

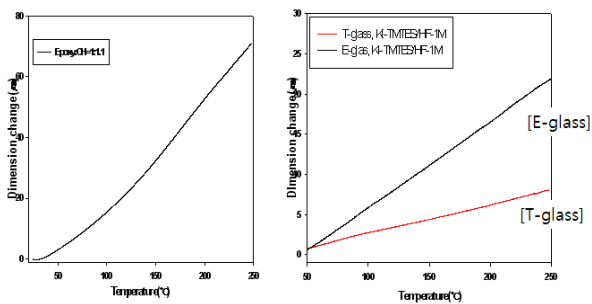


그림 7. 생기원의 트라이페닐메탄계 에폭시(KITECH-TMTE)의 레진경화물(좌)와 유리섬유복합체(우)의 TMA 결과. T-glass composite 물성: CTE= 2.8 ppm/°C @ T_g 250 °C(R/C 37 wt%, no silica); E-glass composite 물성: CTE = 7 ppm/°C @ T_g 250 °C(R/C 42 wt%, no silica).

수지본래의 유전율보다도 흡습상태에 의해 가공품의 유전 특성이 영향을 받는 경우가 많기때문에 실제로 사용하는 경우에는 저흡습성의 수지 선택도 유전율 입장에서 중요하다 고 알려져 있다.

3.3 환경대응 에폭시 소재 동향

3.3.1. Pb-Free 대응기술

ROHS등 친환경 규제에 의해 출연한 무연솔더(pb-free) 기술은 단순히 솔더의 타입만이 바뀐 것이 아니고, 유기소재 입장에서 보면, 물성이 크게 향상되어야 함을 의미하는 것이다. 즉 기존의 솔더(용점 183 °C)에 비해 20~40 °C 정도 높은 용점을 가진 무연 솔더로 인하여, 리플로시 기판의 휨이나, 기판중의 휘발물의 가스화에 의한 delamination이 더 쉽게 발생하게 되었다. 이에 따라 매트릭스 에폭시 수지의 T_g 를 높이고, 리플로 공정에서 열분해를 줄이고, CTE 특

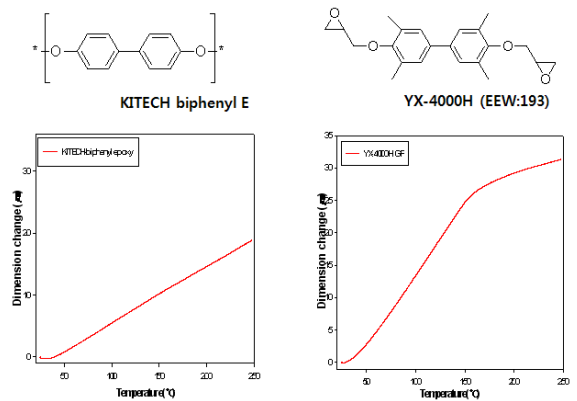


그림 8. 한국생산기술연구원의 바이페닐계 에폭시(KITECH-biphenyl)(좌)와 상용 바이페닐계 에폭시를 이용한 유리섬유복합체의 TMA 결과. KITECH biphenyl E의 E-glass composite: CTE= 4.4 ppm/°C @ T_g 250 °C (R/C 40 wt%, 이중 silica 함량 8 wt%); YX-4000H의 E-glass composite: CTE = 14 ppm/°C @ T_g 160 °C(R/C 38 wt%, no silica)

성이 더 우수하며, 기재/동박등과의 더 우수한 접착성을 가진 절연소재가 요구된다.

3.3.2. 할로겐-Free 대응기술

종전에는 수지의 난연성을 부여하기 위해서 할로겐화된 에폭시를 사용하였는데, 최근에는 할로겐 사용이 규제되어, P 또는 N 화합물을 에폭시 수지에 도입하거나, 신규 난연제와의 배합을 통한 난연화에 대한 연구가 진행되고 있다. 그림 6에서와 같이, DOPO를 함유한 이관능성 난연 에폭시는 2~5 wt%의 P 원자농도로, UL-94/V-0의 난연성을 실현할 수 있으며, DOPE계 P 화합물은 특성 balance가 좋아서 할로겐프리 기재에 널리 사용되고 있다. 이에 비해 반응성이 없는 인산에스테르 모노머는 에폭시의 내열성과 T_g

표 3. 한국생산기술연구원 에폭시와 상용 에폭시를 이용하여 제조된 유리섬유복합체 물성

▶ 유리섬유복합체 시스템(E-glass composite)				
에폭시 타입	생기원 에폭시*		상용 에폭시*	
	CTE(ppm/°C)	T _g (°C)	CTE(ppm/°C)	T _g (°C)
비스페놀 A계	7.9	T _g -less	16 ⁽¹⁾	120
바이페닐계	4.4		14 ⁽²⁾	160
나프탈렌계	7.5		14 ⁽³⁾	160
트라이페닐메탄계	7.0		15.8 ⁽⁴⁾	170
▶ 필러복합체 시스템(실리카 함량, 80 wt%)				
에폭시 타입	생기원 에폭시		상용 에폭시	
비스페놀A계	5.2	T _g -less	15.9	100
바이페닐계	5.8		19.5	120
나프탈렌계	5.2		20.1	95
트라이페닐메탄계	6.7		-	-

*경화시스템: 페놀노블락(HF-1M, Meiwa Plastic Ind)/Triphenylphosphin(Aldrich)

⁽¹⁾ Diglycidyl ether of bisphenol A(EEW=180, Aldrich), ⁽²⁾ YX-4000H(三菱化學, EEW 193), ⁽³⁾ HP-4032D(DIC, EEW=142), ⁽⁴⁾ Triglycidyl ether of triphenylmethane, Aldrich)

를 저하시키므로, 이를 방지하기 위해 올리고머 형태를 사용하고, phosphazene은 N와 P를 동시에 가져서 난연성과 유전특성이 동시에 우수하므로 고주파재료에 사용되고 있다. 질소계 난연제 중에서 아미노트라이젠노블락은 비교적 열분해온도가 낮아서 내열성의 향상 대책이 필요하고, 벤조옥사진 수지는 에폭시 수지 단독계에 비해서 반응성이 약간 늦어져 촉진제를 이용하여 반응성을 높일 필요가 있지만, T_g 특성은 에폭시 수지보다 높고, 유전정점은 양호하여 전체적으로 특성 balance가 비교적 좋은 편이다.

4. 한국생산기술연구원의 저CTE 에폭시 소재 기술

한국생산기술연구원에서는 반도체 패키징용 에폭시 소재의 가장 큰 문제점 중의 하나인 높은 CTE 특성을 개선하고, pb-free로 인한 높아진 공정온도 및 기판 박형화에 잘 대응할 수 있고, 우수한 난연 특성을 갖는 에폭시 소재 개발에 대한 연구를 진행 중이다. 즉 기존의 저CTE 에폭시 시스템 개발 연구에서와 같이 에폭시 배합이나 무기물 함량증대를 통한 방법으로는 차세대 에폭시 시스템 개발에 한계가 있다고 판단되어, 새로운 개념의 신규 에폭시를 설계 합성을 통한 내열특성 확보에 대한 연구를 수행하고 있다.

4.1 에폭시 유리섬유 복합체 기술 현황

한국생산기술연구원(생기원)에서는 다양한 에폭시 응용 분야에 적용 가능하도록, 비스페놀 A계, 바이페닐계, 나프탈렌계, 트라이페닐메탄계, 아이소시아누레이트계, 노블락계 등 다양한 방향족 코어를 갖는 신규 에폭시를 합성하였다. 그림 7에서 보여주듯이, 트라이페닐 메탄계 생기원 에폭시 레진 경화물은 CTE = 85 ppm/°C, T_g=140 °C의 물성을 갖고 있으나, T-glass fiber을 이용하여 제조된 트라이페닐 메탄계 에폭시 복합체 필름은 CTE = 2.8 ppm/°C로 무기물

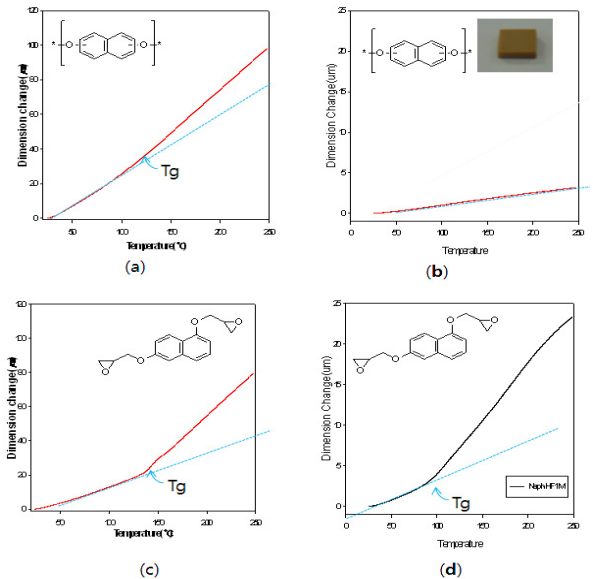


그림 9. 한국생산기술연구원의 나프탈렌계 에폭시(KITECH-Naph)와 상용 에폭시(HP-4032D)를 이용한 레진 경화물과 필러복합체의 TMA 결과. (a) KITECH-Naph 에폭시의 레진 경화물; (b) KITECH-Naph 에폭시의 필러복합체; (c) HP-4032D 에폭시의 레진경화물; (d) HP-4032D 에폭시의 필러복합체

인 실리콘 칩과 동일 수준의 CTE 및 T_g>250 °C으로 매우 우수한 내열특성을 보인다. 이에 따라, 생기원의 신규 에폭시 화학물은 반도체 패키징에서의 유기소재와 실리콘칩과의 CTE-mismatch의 해결이 가능하며, pb-free로 인한 높아진 공정 온도에서도 잘 대응할 수 있는 우수한 소재로 판단된다.

한국생산기술연구원에서 합성한 신규 에폭시 시스템의 물성은 동일한 경화조건에서 제조된 해외 선진사의 에폭시 소재와 비교하여도 CTE 및 유리전이온도 면에서 훨씬 우수한 특성을 갖고 있다(표 3). 그림 8에서와 같이 일본 선진사의 바이페닐 에폭시(상품명 YX-4000H)를 이용하여 제조된 E-glass fiber 복합체(resin content 38 wt%)의 내열특성을 측정해보면, T_g=160 °C 이고 CTE = 14 ppm/°C의 열팽창

특성을 보인다. 이에 비해 생기원에서 합성한 바이페닐계 에폭시의 E-glass 유리섬유복합체(resin content 40 wt%)는 $T_g > 250\text{ }^\circ\text{C}$ (좀더 정확하게는 T_g -less transition)을 보이고, CTE는 $4.4\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 으로 매우 낮은 열팽창특성을 보인다.

4.2 에폭시 필러 복합체 기술 현황

또한 필러복합체에서도 유리섬유복합체와 같이 매우 우수한 물성을 보여주고 있다. 실리카입자가 80wt% 충전된 에폭시 복합체의 물성을 보면, 생기원 에폭시 필러복합체는 CTE= $5\sim 7\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 으로 매우 우수한 물성을 보여줄 뿐만 아니라, $T_g > 250\text{ }^\circ\text{C}$ 으로 매우 우수한 내열특성을 보여준다. 저 CTE 에폭시로 알려진 나프탈렌 에폭시(일본 DIC사, HP-4032D)와 생기원에서 합성한 나프탈렌계 에폭시(KITECH-Naph)와 필러복합체를 동일한 조건에서 제조하여 물성을 비교해 보면, KITECH-Naph의 필러복합체는 $5.2\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 으로

CTE= $20\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 의 HP-4032D 보다 훨씬 우수한 물성을 보여주었다(그림 9). 또한 KITECH-Naph에폭시는 레진경화물에서는 $T_g=130\text{ }^\circ\text{C}$ 가 관찰되었으나, 복합화하면서 유리전이온도가 상승하여(좀더 정확히 T_g -less transition) $250\text{ }^\circ\text{C}$ 이상 구간까지 유리전이온도가 관찰되지 않았다.

참고문헌

1. M. Nakanish, in *The latest technology of epoxy resin for electronic device II*, M.Ochi, H. Kishi and T. Fukui, Editors, CMC, Tokyo, Chap. 1 (2011).
2. 小椋 研史, in *エポキシ樹脂の高機能化(上)*, 仙波恒太郎 Editor, 技術情報協會, Tokyo, Chap.2 (2008).
3. 押見克彦, in *高性能デバイス 封止技術と最先端材料*, Akio Takahashi Editor, CMC, Tokyo, Chap. 1 (2009).
4. *半導体用およびプリント配線板用の高分子材料*, 住ベリサチ 株式会社, 横浜市, Chap. 2~3 (2008).