

보도자료



미래를 개척하는 지식 공동체



서울대학교
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

보도일	즉시(2022.10.13. Advanced Functional Materials Online 게재)
	2022. 10. 26.(수)
문의	담당자: 장진원(02-880-4510)
	연구단장/연구책임자 김현중 교수(02-880-4784) / 교신저자
	연구단/연구진 신재호 연구원 (02-880-2688) / 제1저자

농업생명과학대학 김현중 교수 연구팀, 변형 및 복원 가능한 전기전자용 에폭시 비트리머 접착 소재 개발 - 액화 이온성 촉매를 활용한 고속 응력완화 시스템 구현 -

■ 요약

연구 필요성	종래의 반도체 패키징 소재로 사용되던 열경화성 에폭시 수지는 경화 후 낮은 연성과 휘도로 인해 차세대 IC 폼팩터 패키지에 적용하는데 한계를 드러내고 있다. 변성 폴리우레탄, 실리콘 계열 소재 등이 대체재로 학계에서 제안되고 있으나 여전히 패키징 성능, 신뢰성, 소자 및 기재 접착력 등의 문제점을 해결하지 못하고 있다.
연구성과/기대효과	서울대학교 농업생명과학대학 농림생물자원학부 김현중 교수(교신저자) 연구진은 굽힘/비틀림 변형 및 복원이 가능한 에폭시 비트리머 (Vitrimer) 소재를 개발하였다. 당 소재는 에폭시 가교결합 간의 동적 교환반응을 통하여 응력을 완화할 수 있는 능력을 가지므로, 높은 연성과 소재적 신뢰성을 동시에 만족한다. 미량의 액화 이온성 촉매를 도입하여 속경화와 응력완화를 동시에 촉진하므로, 경화 시 열수축에 의한 휨 변형을 낮추는데에도 효과적임을 확인하였다. 또한, 이를 Chip on Flex(COF) 구조체의 유연 포장재로 적용하여 폴리이미드 기판과의 접착성 및 폴더블 특성을 구현함으로써, 향후 차세대 반도체, 전기·전자용 접착제 및 포장재로서의 적용 가능성을 제시하였다.

■ 본문

<p>□ 본 연구진은 응력완화가 가능한 에폭시를 제조하기 위해 동적 교환반응이 가능한 경화제와 이를 촉진할 수 있는 액화 이온성 촉매 (Solvate Ionic Liquid)를 합성하였다.</p> <p>○ 경화된 에폭시의 가교 결합간의 동적 교환반응 (Transamination)을 유도하기 위하여 Vinylogous Urethane Moiety를 갖는 경화제를 합성하고 상용 에폭시 레진에 적용하였으며, 그 결과 고온에서 (>150°C) 응력완화가 가능한 비트리머가 만들어짐을 확인하였다. 동적 교환 반응의 속도와 고분자</p>

사슬의 위상 재배열 속도를 높이기 위하여 4종의 액화 이온성 촉매 (리튬/마그네슘/아연-올리고이더 킬레이트)를 사용하였고, 레진과의 높은 혼용성 덕분에 기존의 파우더 형태 금속 촉매보다 더 낮은 함량 (0.5~2 mol%)에서도 매우 뛰어난 촉진효과가 있음을 확인하였다.

- 액화 이온성 촉매는 에폭시 수지의 경화 과정에서는 에폭사이드의 산소 원소에 배위결합하여 음이온성 경화제로부터의 친핵성 공격이 쉽게끔 만들어 에폭시 고리 열림 반응을 촉진하는 속경화 특성이 있음을 확인하였다. 한편, 경화된 이후에는 해당 촉매가 Vinylogous Urethane의 카르보닐 작용기에 위치한 산소 원소에 배위결합하여, 인접한 사슬과의 동적 교환반응이 활성화 에너지가 낮은 Metal-catalyzed Aprotic Pathway ($E_a \sim 24$ kJ/mol)로의 전환이 이루어짐을 증명하였다. 이를 통해 기존 에폭시 비트리머 시스템에서 유래를 찾아볼 수 없을 정도로 빠른 응력완화속도 ($\tau_{160^\circ\text{C}}^* \sim 19$ s)를 구현하였다.

□ 연구진은 촉매 도입 에폭시 비트리머 시스템을 Chip on Flex (COF) 구조에 적용하여 변형 가능한 패키징이 가능함을 확인하였다.

- 개발한 소재가 상온에서는 1 GPa 이상의 저장 탄성률을 유지하여 반도체 칩의 물리적 보호 역할을 수행하면서, 고온에서는 동적교환 반응에 의해 1 MPa 이하의 저장 탄성률로 감소하며 원하는 변형에 대응할 수 있는 유연성 (~40% Elongation at Break)을 갖게 된다. 해당 소재를 fPCB/IC 모듈의 Encapsulant로 적용하였을 때 우수한 굽힘 (Bending) 및 비틀림 (Twisting) 변형이 반복적으로 가능함을 확인하였다. 또한, 경화 시 발생하는 수축에 의한 기판의 휨 현상 (Warpage)를 비트리머 에폭시의 응력완화 효과를 통해 감소시킬 수 있음을 최초로 선보였다.

- 본 연구에서 사용한 경화제 및 액화 이온성 촉매를 통한 응력완화 능력 부여 방식은, 에폭시 수지의 종류에 국한되지 않으며, 기존의 공정 프로세스에 그대로 적용이 가능하다는 점에서 사용자 친화적이며 범용성이 매우 높은 방법론이다. 에폭시의 소재적 신뢰성과 패키징 성능을 그대로 가져가면서도 온도 구배를 통해 유연성을 부여할 수 있으므로, 차세대 Foldable, Curved 폼팩터에 대응할 수 있는 패키징 소재로의 적용 가능성을 제시하였다.

□ 연구결과

Rapidly Deformable Vitriemer Epoxy System with Supreme Stress-Relaxation Capabilities via Coordination of Solvate Ionic Liquids

Jae-Ho Shin*, Mo-Beom Yi, Tae-Hyung Lee, and Hyun-Joong Kim#

(Advanced Functional Materials, *in-press*)

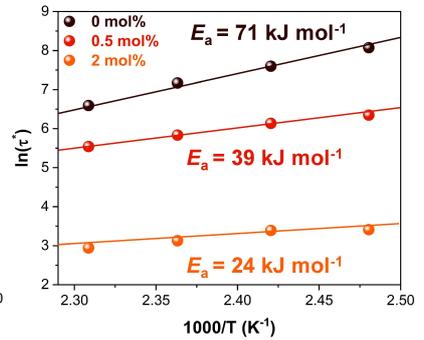
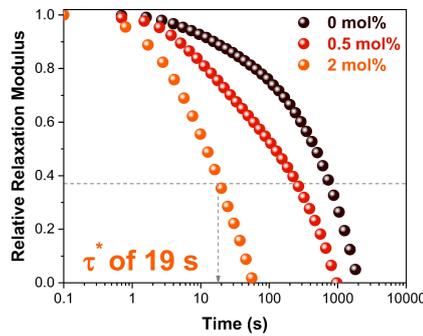
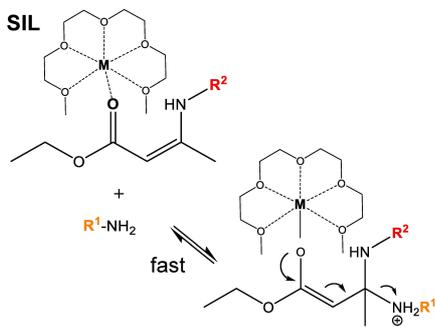
액화 이온성 촉매를 도입하여 동적 교환반응 및 응력완화 특성이 매우 우수한 에폭시 비트리머 시스템을 개발하였다. 고온에서 굽힘/비틀림 변형에 대응할 수 있는 열경화성 소재를 적용하여, 차세대 반도체 및 전기·전자용 접착/포장재로서의 가능성을 선보였다.

□ 용어설명

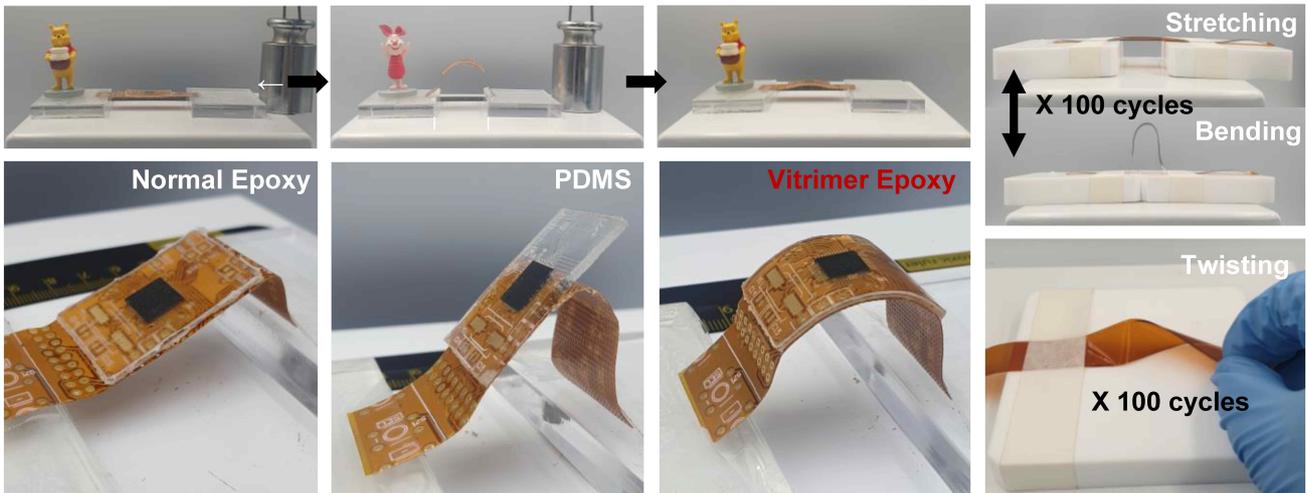
비트리머: 열경화성 플라스틱이나 특정 온도 이상에서 흐를 수 있는 신소재.

□ 그림설명

Solvate Ionic Liquid (SIL)-catalyzed Dynamic Exchange Reaction



Soft Encapsulation by a **Vitrimer Epoxy** with Supreme Stress-relaxation Abilities



액화 이온성 촉매를 사용해 Metal-catalyzed Aprotic Transamination을 유도하여 반응의 활성화 에너지를 낮추고, 응력완화속도를 촉진하였다. 개발한 에폭시 비트리머 시스템을 Chip on Flex 구조에 적용하여 반복 변형 (굽힘, 비틀림)에 대응 가능한 Layer를 구현하였다.

