

저융점 합금 필러를 이용한 도전성 접착제 및 이를 이용한 접합 프로세스

임 병 승 · 전 성 호 · 김 종 민

大韓熔接·接合學會誌 第27卷 第3號 別冊

2009. 6

저융점 합금 필러를 이용한 도전성 접착제 및 이를 이용한 접합 프로세스

임 병 승 · 전 성 호 · 김 중 민

Electrically Conductive Adhesive using Low-melting-point Alloy and Bonding Process using Them

Byung-Seung Yim, Sung-Ho Jeon and Jong-Min Kim

1. 서 론

정보통신기기의 진보에 따라 반도체 패키지는 고집적화, 고성능화, 저비용화, 초소형화가 가속화되고 있다. 이에 따라 전자 패키지 방식은 DIP(Dual In-line Package)로 대표되던 삽입 실장형(Insert Mount Technology: IMT) 패키지로 부터 QFP(Quad Flat Package)로 대표되는 표면 실장형(Surface Mount Technology: SMT) 패키지로 발전되며 다 단자화, 미세 피치화가 전개되어 왔다¹⁾.

이러한 전자 패키지에서의 표면 실장형 접합 기술 중 폴리머 기재와 도전 필러 입자로 구성되는 도전성 접착제(Electrically Conductive Adhesive: ECA)²⁾를 이용한 접합방법은 친환경 대체 재료인 무연 솔더를 이용한 기존의 접합방법에 비해 공정의 저온화, 프로세스의 간이화, 솔더링이 불가능한 재료 및 폭넓은 재료에 사용이 가능하다는 장점 등을 가지고 있어 많은 연구 개발이 활발히 진행되고 있다^{3,4)}.

그러나 상용화된 ECA의 도전 메커니즘은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 폴리머 내부에 포함된 도전 필러가 상하 단자에 구속되어 기계적/물리적 접촉에 의해 도전이 이루어지는 방식⁵⁾으로 이루어져 기존의 솔더접합에 비해 상대적으로 낮은 도전성, 불안정한 접촉저항, 낮은 접합강도, Ag 마이그레이션(Migration)등의 커다란 단점을 가지고 있다. 또한 도전 필러의 접촉에 의한 도전 방식은 수많은 단자들 중 하나의 접촉 불량에 의해 부품 및 전체의 불량으로 이어진다는 취약한 단점을 가지고 있다⁶⁻⁸⁾. 이에 따라 근래 이러한 단점들을 보완하기 위한 새로운 ECA의 접합 프로세스가 개발 보고되고 있다.

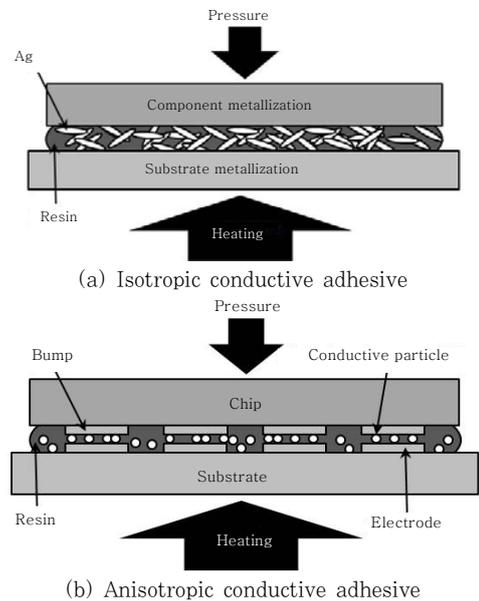


Fig. 1 Schematic of conventional ECA bonding

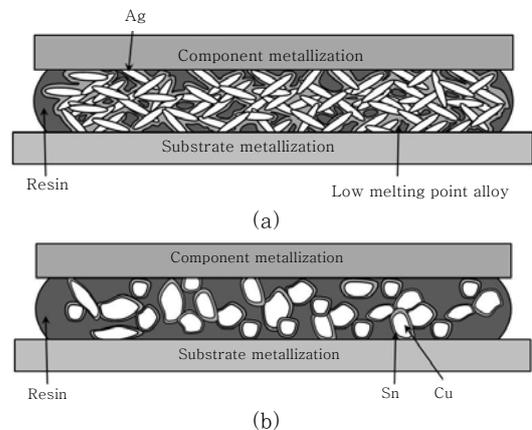


Fig. 2 Schematic of ECA bonding process with high melting point metal and low melting point alloy

이러한 접합 프로세스 중 큰 접촉저항 등의 전기적 문제점을 해결하기 위하여 Fig. 2(a)에 나타난 바와 같이 ICA에 Ag필러 입자와 저융점 합금 필러(Low Melting Point Alloy : LMPA) 입자를 함께 혼합하여 기재가 완전 경화되기 전 LMPA 재료의 용융에 의한 단자와 Ag필러, Ag필러 간의 젖음(Wetting)에 의한 금속학적 결합을 형성시켜 전기적 특성을 향상시킨 연구가 보고되었다⁹⁾. 또한 Fig. 2(b)와 같이 금속필러 입자 위에 LMPA 재료를 도포하고 외부에 도포된 LMPA 재료의 용융 및 결합에 의해 금속학적 결합을 형성시킨 연구도 보고되고 있다¹⁰⁾.

본고에서는 LMPA 필러만을 포함하는 솔더링의 금속학적 결합과 ECA가 갖는 저온 프로세스 등의 장점만을 합친 새로운 개념의 ECA를 개발하고 이를 이용한 새로운 방식의 접합 프로세스에 대한 연구결과를 소개하고자 한다.

2. LMPA를 이용한 ECA 접속 프로세스

LMPA를 포함하는 ECA는 기판과 칩 사이에 도포되고, 기판과 칩은 대향하는 전극에 대하여 정렬된다. 정렬이 완료된 ECA에 대하여 열을 가하게 되면 폴리머 매트릭스의 화학적 반응으로 인하여 점성이 천천히 낮아지게 되고 온도가 LMPA의 녹는점에 이르게 되면 LMPA는 용융된다. 상하부 단자간의 높이 변화에 의해 폴리머 매트릭스 내부에서 유동이 발생되고 이 유동은 용융된 LMPA의 유동에 대한 추진력으로 작용하게 된다. 유동중의 접촉에 의하여 주변의 용융된 LMPA와 결합하며 액상수지에 의한 외압과 용융 합금금유의 표면장력에 의해 거대한 구상필러로 성장한 LMPA는 상하부 기판에 형성된 전극(Electrode)에 대한 뛰어난 젖음거동을 일으켜 전도 패스를 형성하게 된다. 가열온도가 폴리머 매트릭스의 경화온도에 이르게 되면 수지 성분의 경화에 의하여 대향하는 단자를 고착시키며, 인접 전도 패스 간의 절연성도 확보하게 된다. 접합 공정동안에 요구되는 사항은 용융필러가 젖음(Wetting)과 융합(Coalescence)을 하는 동안 폴리머 매트릭스가 낮은 점성을 가져야 한다는 점과 폴리머의 환원특성에 의하여 필러 표면의 산화막이 제거 되어야 한다는 점이다. 폴리머가 높은 점성을 갖게 되면 용융필러의 유동을 방해하게 되고, 필러입자의 표면에 산화막이 남아있게 되면 융합과 젖음을 방해하는 요인으로 작용하게 된다^{11,12,13)}. LMPA를 이용한 새로운 ECA의 접합방식을 Fig. 3에 나타내었다.

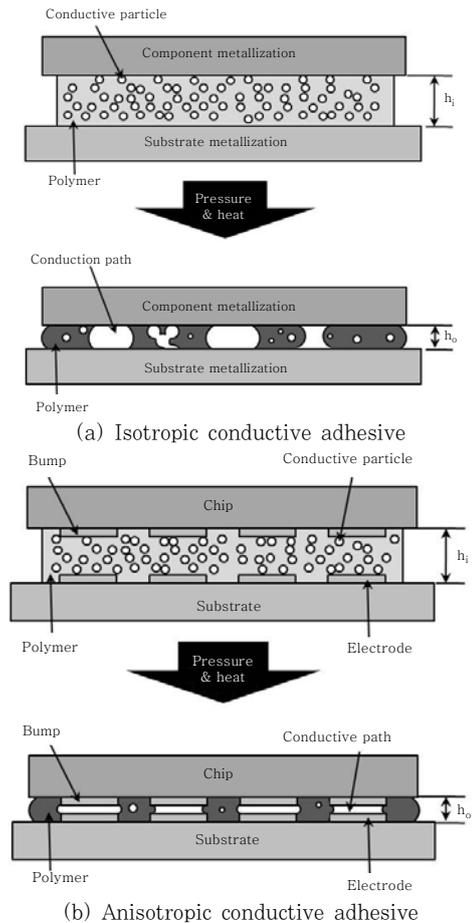


Fig. 3 Schematic of ECA bonding process with low melting point alloy

3. LMPA를 이용한 ECA합성 및 접합프로세스 개발

3.1 ECA 합성 및 특성 평가

본 연구에서 합성된 ECA의 구성 성분을 Table 1에 나타내었다.

폴리머 매트릭스의 바인더로 열경화성수지인 비스페놀A (DGEBA)타입의 폴리머가 사용되었고 폴리머의 경화제로 디아미노디페닐설펜(DDS)이 사용되었으며 아민타입의 촉매제(Catalyst)가 사용되었다. LMPA와 전극 단자의 표면 산화막을 제거하기 위하여 카르복시

Table 1 Components for the new ECA

	Component
Epoxy	DGEBA
Curing Agent	DDS
Catalyst	BF3MEA
Reductant	Carboxylic Acid
Solder / diameter	Sn-58Bi / ave. 45 μ m

산(Carboxylic acid)이 환원제(Reductant)로 사용되었다.

폴리머 내부에 포함된 LMPA는 45 μ m의 지름을 갖는 파우더상태의 Sn-58Bi ($T_m=138^\circ\text{C}$)가 선정되었다.

합성된 복합재료의 경화특성과 온도 의존적 점도특성을 평가하기 위해 DSC분석 및 점성 테스트를 시행하였고 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. DSC분석의 경우 검사시료를 DSC팬에 넣고, 공기를 제거한 nitrogen gas환경 하에서 가열속도를 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 실온에서 300 $^\circ\text{C}$ 까지 가열하면서 검사시료의 열 유속을 측정하였다.

또한 점성테스트에서는 20mm의 지름을 갖는 원형관 위에 폴리머를 올리고 1Hz의 주파수를 사용하여 DSC 분석과 동일한 가열속도로 실온에서부터 250 $^\circ\text{C}$ 까지 가열하며 폴리머의 점도변화를 측정하였다.

Fig. 4의 DSC분석 결과에서 보여지 듯 Sn-58Bi의 용융 피크는 141.34 $^\circ\text{C}$ 로 나타났으며, 폴리머의 경화 피크는 이보다 높은 154.41 $^\circ\text{C}$ 로 나타났다. 그리고 점도 테스트를 통해 폴리머 매트릭스는 LMPA의 용점보다 조금 높은 온도범위에서 약 100cPs의 매우 낮은 점성을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과들을 통하여 필러의 녹는점 부근에서 폴리머의 경화가 많이 진전되지 않으며 용융된 LMPA는 낮은 점도를 유지하고 있는 폴리머 내부를 원활히 유동할 것이라는 것을 짐작할 수 있다.

DSC분석과 점성테스트를 통한 결과를 바탕으로 합성된 ECA에 적용할 온도 프로파일을 작성하였다. 온도 프로파일은 LMPA의 자기조직화 접속 과정인 용융, 유동, 융합과 젖음이 일어나는 솔더 반응 영역(Solder process zone)과 폴리머의 경화에 의하여 접합이 완료되는 경화 영역(Curing zone)으로 구성된다. 솔더 변화 영역은 LMPA의 용점(138 $^\circ\text{C}$)보다 약 20 $^\circ\text{C}$ 높은 160 $^\circ\text{C}$ 로 20초간 유지되며 낮은 점도(100cPs)를 유지하는 폴리머내부에서 용융된 LMPA는 유동, 융합, 젖음에 의하

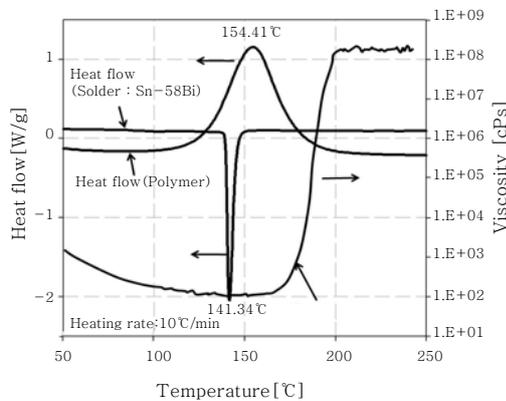


Fig. 4 DSC and Viscosity test for the polymer matrix and solder

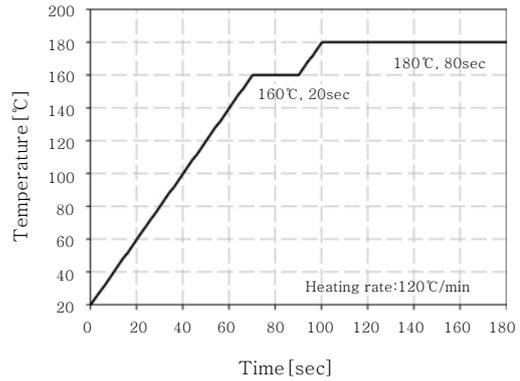


Fig. 5 Temperature profile for the ECA.

여 진도 패스를 형성하게 된다. 솔더 변화 영역을 지나면 다시 120 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 180 $^\circ\text{C}$ 까지 가열한 후 등온구간을 유지하는 경화 영역을 만들고 폴리머의 경화에 의하여 접합이 완료된다. 작성된 온도 프로파일을 Fig. 5에 나타내었다.

3.2 LMPA-폴리머-전극재료의 적합성 평가

LMPA를 이용한 ECA에 의한 안정된 금속학적 결합에 의해 도전 경로가 확보되기 위해서는 합성된 ECA 내의 LMPA 간 및 LMPA와 단자간의 우수한 젖음특성이 필수적으로 확보되어야 한다. 본 연구에서는 젖음실험을 통하여 합성된 ECA와 전극재료와의 적합성 평가를 실시하였다. 젖음실험은 솔더볼을 기판위에 실장한 후 IR 리플로우 장비를 이용하여 가열하는 경우에 ECA의 공급 유무에 따른 젖음각을 측정하여 폴리머의 환원능력에 의한 ECA 내부에서의 솔더의 젖음특성을 평가하는 솔더볼 젖음실험과 볼 젖음실험에서 사용한 솔더와 동일한 조성을 갖는 42 μ m직경의 솔더 입자를 폴리머 내부에 분산시켜 ECA를 합성한 뒤 젖음실험용 기판 표면 위에 도포하고 리플로우 프로파일(Fig. 5)을 따라 가열하며 CCD 카메라를 통해 솔더의 젖음 및 융합특성을 관찰하는 솔더파우더 젖음실험으로 구성된다.

3.2.1 솔더볼 젖음실험

솔더볼 젖음실험을 위해 20mm \times 20mm FR-4 기판 상에 16mm \times 16mm \times 18 μ m의 크기를 갖는 Cu 전극 표면을 제작하였다. 전극의 표면처리는 1분간 아세톤 초음파 세척을 한 뒤 증류수로 세척한 후 건조시켜 표면 처리하였다. 복합재료가 갖는 환원능력을 확인하기 위하여 6% HCl/H₂O 용액의 세척에 의한 표면 산화막 제거는 시행하지 않았다. Fig. 6에 나타낸바와 같이 표면 세척이 완료된 전극 표면에 760 μ m의 지름을 갖는 Sn-58Bi 솔더볼을 실장하고 복합재료를 공급한 경우

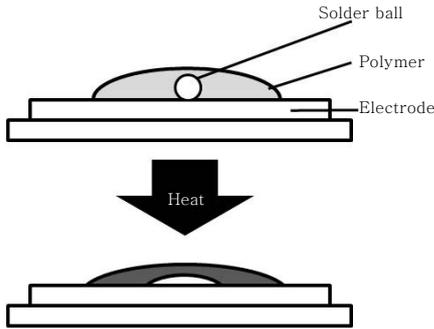
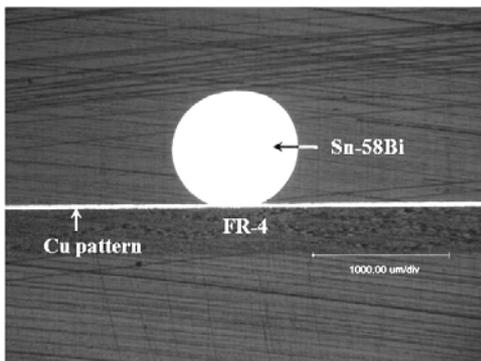


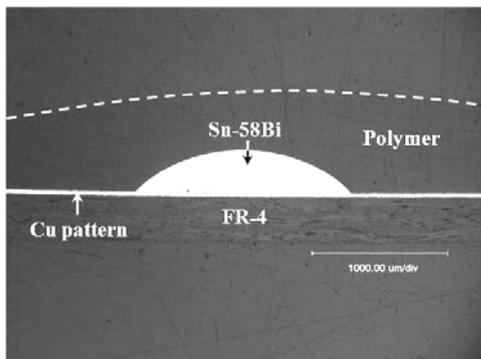
Fig. 6 Schematic of solder ball wetting test for ECA

와 공급하지 않은 경우에 대하여 IR 리플로우 장비를 이용하여 열을 가한 후 단면가공을 통하여 솔더의 젖음각을 광학현미경으로 측정하였다. 솔더볼 젖음실험 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7(a)에서 보는 바와 같이 폴리머를 적용하지 않은 경우 전극 표면 위에서의 젖음각은 약 155deg 정도로 나타나 전극 표면 위에서의 젖음특성이 매우 안 좋은 것을 알 수 있다. 이는 솔더 및 금속패드 표면의 산화막에 기인한 것으로 폴리머 내에서 충분한 젖음특성을 보이기 위해서는 솔더 및 금속패드의 표면 산화막이 충분히 제거되어야 할 필요가 있다는 것을 알 수 있다.



(a) Without polymer



(b) With polymer

Fig. 7 Result of solder ball wetting test.

반면 폴리머가 적용된 Fig. 7(b)의 결과에서 알 수 있듯이 전극 표면 위에서의 젖음각은 약 46deg 정도로 나타나 폴리머의 환원능력에 의하여 솔더와 전극 패드의 표면 산화막이 원활히 제거되어 매우 뛰어난 젖음특성을 보이고 있는 것을 확인할 수 있다.

3.2.2 솔더파우더 젖음실험

솔더파우더 젖음실험을 위해 25×35mm의 FR-4 기판 위에 line pattern이 Cu로 도금되어 있는 기판이 제작되었다. 패턴은 10×0.1mm의 라인형상이 18μm 두께로 도금되어 있으며 패턴 간의 피치 간격은 50, 100, 150, 200, 250μm로 형성되어 있다. 기판의 표면 세척은 불 젖음실험과 동일하게 시행하였으며 혼합이 완료된 ECA를 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 Cu 패턴 상에 도포한 후 기판 상에 상부 기판간의 간격유지를 위하여 지름 100μm를 갖는 구리선을 배치시키고 상부기판을 고정 한 후 온도 프로파일(Fig. 5)에 따라 hot plate를 이용하여 열을 가한다. 이때에 상부 기판을 유리 기판으로 선택하여 ECA 내부에서 일어나는 솔더의 젖음 및 융합거동을 CCD 카메라를 이용하여 관찰한다. Fig. 9에 솔더의 젖음에 의한 line pattern 형상을 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 합성된 ECA 내부에 등분포

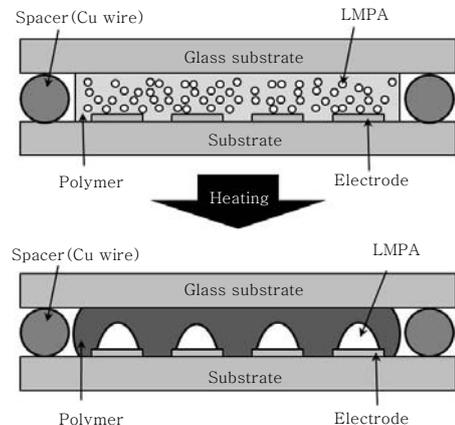


Fig. 8 Schematic of LMPA wetting test

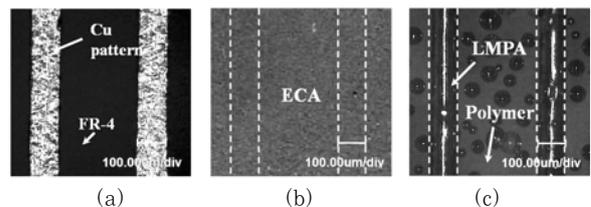


Fig. 9 Result of LMPA wetting test. (a) before dispensing the ECA, (b) after dispensing ECA and (c) completion of wetting process

로 퍼져있던 솔더 입자들은 솔더의 용융과 융합, 젖음 거동으로 인해 금속 pattern 위로 집중되고 온도와 시간에 따라 좋은 젖음특성을 보이는 것을 알 수 있다.

3.3 자기조직화 접속 프로세스

두 종류의 젖음 실험을 통하여 LMPA와 폴리머 및 전극재료 간의 적합성이 확인된 ECA를 이용하여 Fig. 10에 나타난 바와 같이 기판 대 기판 접합을 통한 자기조직화 접속 실험을 시행하였다. 자기조직화 접속 실험을 위해 25mm× 35mm의 FR-4 기판 위에 라인패턴(Line pattern)과 배열패턴(Area-array pattern)이 Cu로 도금(Plating)되어 있는 두 종류의 기판이 제작되었다. 라인패턴은 10mm×0.1mm의 라인형상이 18 μ m두께로 도금되어 있으며 패턴 간의 피치 간격은 50, 100, 150, 200, 250 μ m으로 형성되었다. 배열패턴은 0.1mm×0.1mm의 사각형상이 전체 패턴의 외부에 배치되고, 지름 0.1mm의 원형상이 내부에 배치되도록 설계되어 있으며, 패턴이 도금된 두께와 패턴 간의 간격은 라인패턴과 동일하다. 자기조직화 실험 순서는 다음과 같다. 먼저 기판을 표면세척하여 준비한다. ECA는 LMPA를 각각 10vol%와 40vol%로 달리하여 혼합한 후 진공오븐에 넣어 거품을 제거한다. 표면세척이 완료된 기판의 패턴부분에 혼합된 ECA를 도포하고 플립칩 접합 장비(Lambda: Finetech. co)의 가열판 위에 진공으로 고정시킨다. 고정이 완료되면 상부기판과 하부기판 사이 간격의 가변적 조절과 유지를 위해 300 μ m의 지름을 갖는 Sn-58Bi 솔더볼과 지름 100 μ m의 구리선을 고정된 하부기판 위에 배치시킨다. 초기상태에서 솔더볼에 의해 300 μ m의 간격을 유지하고 있던 상하부 기판의 간격은 프로세스가 진행됨에 따라 솔더볼의 용융에 의해 구리선의 지름인 100 μ m으로 변화된

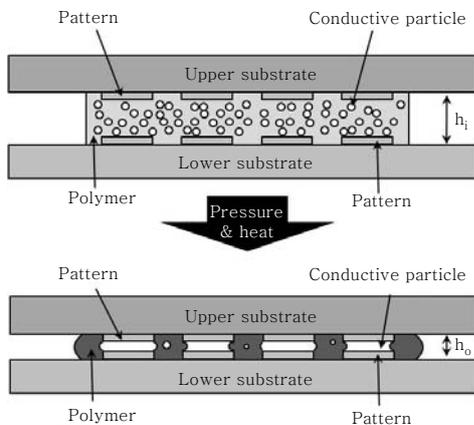


Fig. 10 Schematic of substrate to substrate bonding for self-organized interconnection

후 고정된다. 기판 사이의 높이 변화는 폴리머내부에 유동을 발생시켜 LMPA의 유동에 대한 추진력으로 작용하게 된다. 솔더볼과 구리선의 배치가 끝나면 플립칩 접합 장비의 압에 상부기판을 고정하고 상부기판과 하부기판을 정렬시킨다. 상하부기판의 정렬이 완료되면 압을 내려 상하부기판을 접촉시키고 온도 프로파일(Fig. 5)에 따라 열과 압력을 가한다. 자기조직화 접속 프로세스 실험이 완료되면 X-ray투과장비(SMX-160: Shimadzu)를 사용하여 LMPA 체적 비와 패턴 간 피치 간격에 따른 자기조직화 특성 및 브릿지 현상을 확인하고, 단면가공을 통해 LMPA의 체적 비에 따른 전도 패스 형상을 관찰한다.

Fig. 11에 접속 프로세스가 완료된 라인패턴에 대한 X-ray 투과사진을 나타내었다. 사진 상에서 짙은 회색으로 나타나는 영역은 Cu 패턴이 마주보는 영역으로 상부 라인과 하부 라인 사이에 LMPA가 모세관현상에 의하여 연속적으로 젖어있고 FR-4 기판 위에 폴리머가 채워진 영역은 밝은 회색으로 나타난다. LMPA의 체적 비에 따른 자기조직화 접속 프로세스 테스트 결과에서는 다음과 같은 접합특성과 브릿지 특성이 나타났다. 10vol%인 시편에 대한 X-ray 투과사진인 Fig. 11(a)을 보면 전체 패턴 상에서 아무런 브릿지 현상도 관찰되지 않는 것을 확인할 수 있다. 폴리머영역 상에서 결합에 참여하지 못하고 남아있는 필러가 일부 존재하기는 하지만 브릿지를 형성하기에는 매우 미량이므로 인접한 단자와의 단락의 위험성이 배제된다. 그러나 일부 패턴 상에서 LMPA가 부분적으로 비어있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 자기조직화 접속 프로세스 과정에서 젖음과 융합현상은 발생하였으나 LMPA의

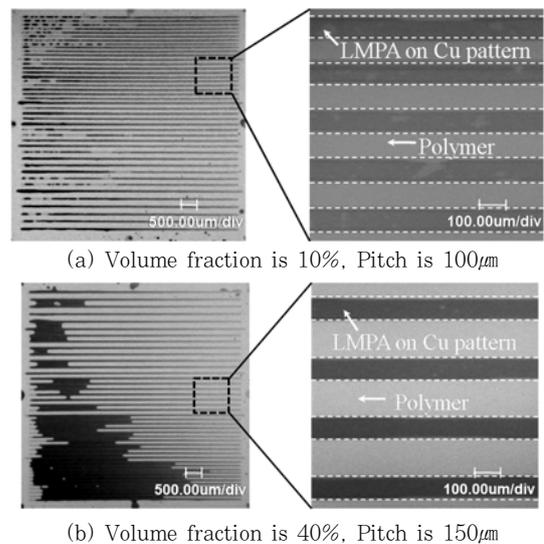
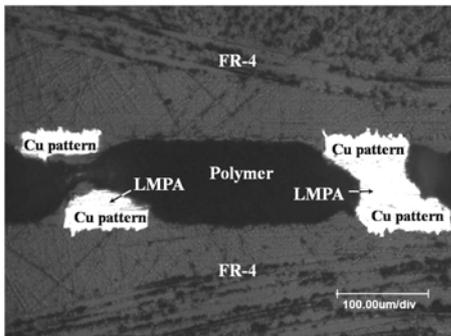


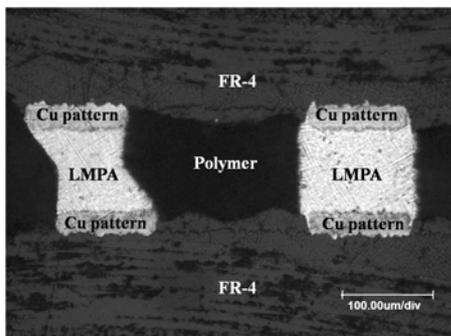
Fig. 11 X-ray photographs of self-organization of line type pattern

체적 비가 너무 적어 전체 패턴 상에 전도 패스를 형성 시키지 못한 것으로 보인다. 반면 40vol%인 시편(Fig. 11(b))에서는 10vol%에서 필러의 부족에 의해 나타났던 전도 패스 미형성 구역이 모두 사라지고 전체 패턴 상에서 마주보는 상부 라인과 하부 라인 사이에 LMPA 필러가 연속적으로 젖어있는 것을 확인할 수 있다. 하지만 전체 패턴 사진에서 알 수 있듯 상하부의 패턴 상에 전도 패스를 형성하고 남은 용융필러에 의해 인접한 패턴 간에 브릿지를 형성하고 있는 것을 확인할 수 있다. 패턴의 피치간격에 의한 영향을 확인하기 위하여 전체 패턴 상의 브릿지 현상의 분포를 비교하여 보았을 때 패턴간의 간격이 좁은 영역에서 브릿지가 많이 발생한 것을 확인할 수 있다. 이는 좁은 패턴으로 인하여 인접한 패턴에 젖은 용융필러들이 패턴사이에 존재하는 필러들을 접촉과 융합에 의해 서로 공유함으로써 발생하는 요인과 전도 패스를 형성하고 남은 LMPA들이 패턴 상에서 상대적으로 강한 모세관현상을 나타내는 좁은 패턴 쪽으로 집중되어 브릿지 현상이 증가되는 두 가지 요인이 동시에 작용한 것으로 판단된다. 패턴 간 피치간격이 넓어질수록 인접한 필러와의 접촉기회가 줄어들고 좁은 패턴 쪽으로의 용융필러의 집중현상으로 인해 상대적으로 브릿지는 줄어드는 경향을 보인다.

Fig. 12는 라인패턴에서 각각의 체적 비에서 기판 간 높이가 100 μm 일 때에 상하부의 전극 패드 간에 형



(a) $V_f=10\%$ (Pattern pitch:250 μm)



(b) $V_f=40\%$ (Pattern pitch:200 μm)

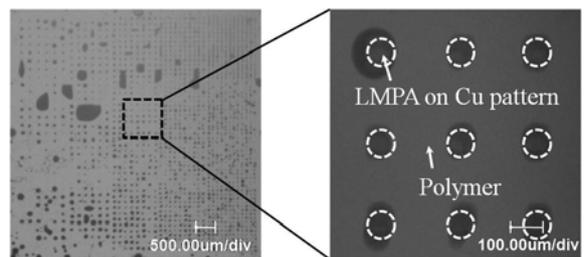
Fig. 12 Morphology of the conduction path in ECA of line type pattern

성된 전도 패스의 형상을 나타낸다.

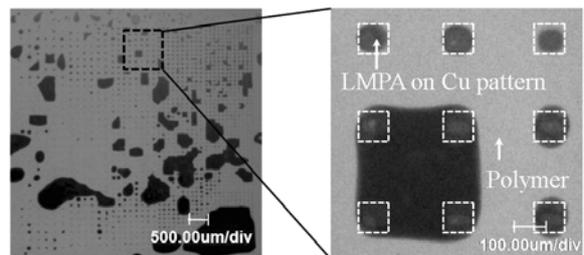
사진에서 보는 바와 같이 접합부는 용융된 필러가 Cu패턴에 금속학적으로 결합된 부분과, 폴리머가 채워져 상하부의 기판을 접합하고 있는 두 부분으로 나뉜다. 폴리머의 뛰어난 환원특성에 의해 LMPA와 전극 패드 표면의 산화막이 제거되고, 용융 LMPA의 젖음과 융합에 의하여 전도 패스를 형성하게 된다. 전도 패스 사이에 형성된 폴리머영역은 인접한 전도 패스간의 절연층으로 작용하게 된다. Fig. 12(a)에서는 10vol%일 때의 전도 패스 형상을 나타낸다. X-ray 투과 촬영에서도 확인한 바와 같이 LMPA의 부족에 의하여 부분적으로 전도 패스를 형성하지 못하고 용융필러가 한쪽의 전극 패드에만 젖어있는 모습을 나타내었다. 반면, 40vol%의 경우(Fig. 12(b)) 전도 패스는 충분한 필러의 젖음과 융합에 의하여 범프 형상의 전도 패스를 형성하고 있는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 13에서는 라인패턴과 동일한 실험조건에서 시행된 배열패턴에 대한 X-ray 투과사진을 나타내었다. 피치간격 150 μm 에서 10vol%는 원형패턴을 40vol%는 사각패턴을 나타내었다.

10vol%인 시편에 대한 X-ray 투과사진인 Fig. 13(a)를 보면 전체 패턴 상에서 매우 적은 양의 브릿지 현상이 발생한 것을 확인할 수 있다. 또한 라인패턴의 경우보다 전도 패스를 형성하기 위한 전극 패드의 면적이 적어 작은 체적 비에서도 전도 패스의 미형성구간 없이 양호한 접합을 이루고 있는 것을 확인할 수 있다. 반면 40vol%인 시편의 경우(Fig. 13(b))에서는 전도 패스를 형성하고 남은 LMPA 필러에 의하여 많은 양의 브

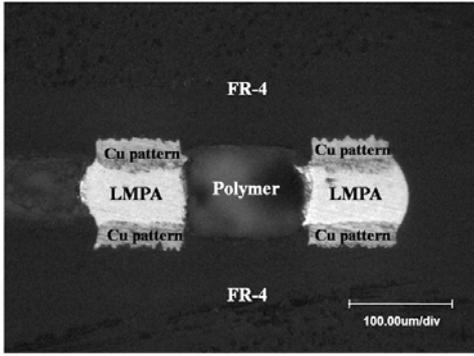


(a) Volume fraction is 10%, Pitch is 150 μm

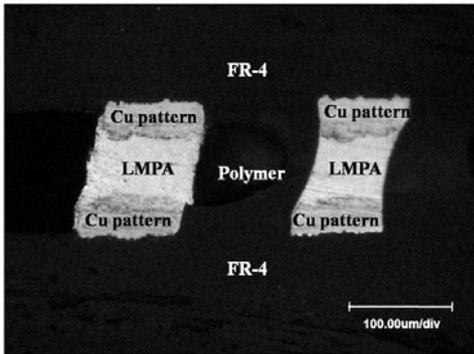


(b) Volume fraction is 40%, Pitch is 150 μm

Fig. 13 X-ray photographs of self-organization of area array type pattern



(a) $V_f=10\%$ (Pattern pitch: $150\mu\text{m}$)



(b) $V_f=40\%$ (Pattern pitch: $150\mu\text{m}$)

Fig. 14 Morphology of the conduction path in ECA of area array type pattern

릿지가 발생한 것을 확인할 수 있다.

Fig. 14에서는 배열패턴에서 상하부기판 사이의 높이가 $100\mu\text{m}$, 패턴 간 피치간격이 $150\mu\text{m}$ 일 때 각각의 체적 비에서 전극 패드 간에 형성된 전도 패스의 형상을 나타낸다.

결과에서 확인할 수 있듯 10vol%인 Fig. 14(a)와 40vol%인 Fig. 14(b)에서 모두 양호한 전도 패스를 형성한 것을 확인할 수 있다. 이는 앞에서도 상술한 바와 같이 전도 패스를 형성하기 위한 전극 패드의 면적이 적어 작은 체적 비에서도 양호한 접합을 이룬 것으로 판단된다.

이러한 결과들을 통하여 패턴의 형상에 따른 적절한 체적 비를 결정하는 것은 접합 시에 발생할 수 있는 브릿지 현상이나 부적절한 전도 패스 형성 등의 문제점을 예방하는 데에 중요하게 작용한다는 것을 알 수 있다. 또한 LMPA의 체적 비에 따른 라인패턴에 대한 접합특성을 비교했을 때 LMPA가 10vol%일 때에는 젖음력에 의한 전도 패스 형성만이 발생하고 좁은 피치를 갖는 패턴으로의 모세관현상에 의한 LMPA의 집중현상은 관찰되지 않았다. 반면 40vol%에서는 젖음에 의한 전도 패스의 형성이 완료된 후 모세관 현상에 의해 좁은 패턴으로 LMPA의 집중이 발생하여 브릿지가 발생한 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 통하여 자기조직

화 접속 시 전체 시스템 상에서 모세관력 보다는 전극 패드에 대한 LMPA의 젖음력이 더 우세하게 작용함을 알 수 있다. 이러한 사실을 통해 피치간격이 동일하지 않은 패턴에 대한 접합에서 너무 많은 체적 비를 갖는 ECA를 적용할 시 좁은 패턴 쪽에서의 모세관현상에 의한 단락의 위험을 내포하고 있어 각 접합상황에 맞는 적절한 LMPA의 체적 비를 결정해야 한다는 결론을 얻을 수 있다. 이는 폴리머내부에 포함되는 LMPA의 체적 비가 안정한 전도 패스형성과 접합상태를 형성시키는 주요한 변수로 작용하는 것을 나타낸다. 이러한 LMPA의 체적 비에 따른 접합테스트를 통하여 자기조직화 접속 프로세스에 필요한 최적의 체적 비를 선정할 수 있다.

3.4 자기조직화 ICA 접속 방식을 이용한 QFP 접합 프로세스

LMPA를 포함하는 ICA의 QFP접합방식은 Fig. 15에 나타낸 바와 같이 침적 접합법에 의해 이루어진다.

40vol%로 제작된 ICA는 유리 기판위에 도포되고 스queegee를 통하여 평평한 ICA layer를 형성시킨다. ICA layer의 형성이 완료되면 QFP의 lead 부위를 침적(Dipping)시켜 lead의 끝 부분에 ICA를 선택적으로 도포시킨다. 플립 칩 접합 장비의 가열판(Heating plate)위에 세척이 완료된 기판을 고정하고 ICA의 도포가 완료된 QFP를 실장한 후 아무런 압력도 가하지 않은 자연 부유 상태를 유지하면서 온도 프로파일(Fig. 5)에 따라 열을 가하여 접합을 시행한다.

실험에서 사용된 QFP(Part No. QFP44T40-3.2: Topline)는 $14 \times 14 \times 2.7\text{mm}$ (리드피치간격: 1.0mm) 규격으로 44개의 I/O를 가지고 있으며, lead는 Sn으로 도금되어 있다. $18\mu\text{m}$ 두께의 Cu가 도금되어 있는 PCB가 사용되었고 QFP와 PCB 모두에 데이지 체인(Daisy chain)이 설계되어 있어 접합 후 전기저항을 측정할 수 있다.

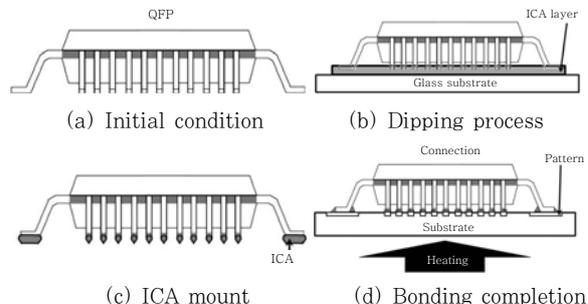


Fig. 15 Schematic of interconnection dipping process for the QFP bonding using solderable ICA

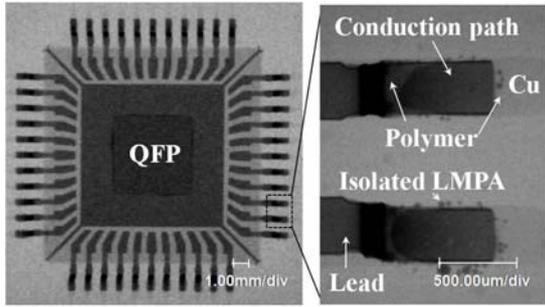


Fig. 16 X-ray photographs of QFP assembly with solderable ICA

접합이 완료된 QFP시편에 대한 X-ray 투과사진을 Fig. 16에 나타내었다.

사진 상에서 QFP lead와 Cu패턴 사이에 LMPA가 채워져 있는 영역은 짙은 회색으로 나타나고, 폴리머로 채워진 영역은 밝은 회색으로 나타난다. Lead와 Cu패턴이 마주보는 영역의 외부에 존재하는 짙은 회색의 점들은 인접 필러들과 융합은 하였으나 젖음에 참여하지 못하여 패턴외부의 폴리머 상에 존재하는 LMPA 필러들이다. 짙은 회색으로 나타나는 필러가 채워진 영역은 용융필러의 융합 및 젖음특성과 함께 모세관 현상(Capillary force)에 의하여 lead 접합부의 전면부에 균일하게 도포되어 안정적인 전도 패스를 형성한다. 비록 젖음에 참여하지 못한 필러들이 패턴외부의 폴리머 영역에 존재하지만 그 양이 매우 적고 패턴에 근접하게 존재하며 절연체인 폴리머 내에 고립되어 있어 인접 패턴 간의 단락의 위험은 없는 것으로 판단된다.

단면가공을 통한 QFP접합부 형상(Fig. 17)에서 알 수 있듯이 접합부는 용융된 필러가 lead와 Cu패턴 사이에 금속학적으로 결합된 전도 패스 부분과 형성된 전도 패스를 외부에서 감싸며 lead와 기판을 접합하는 폴리머 영역으로 구성된다. 점선부분은 접합부 외부의 폴리머 영역을 나타낸다. 폴리머 내부에서 용융된 LMPA는 폴리머의 뛰어난 환원 능력에 의해 표면 산화막이

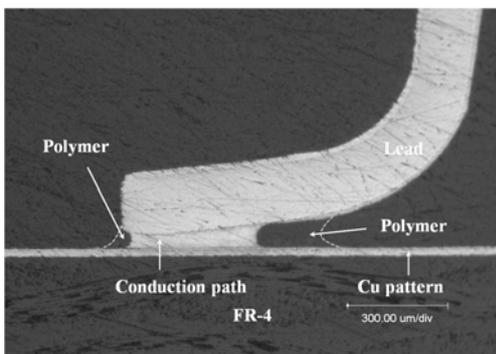


Fig. 17 Morphology of the conduction path between QFP lead and Cu pattern of substrate

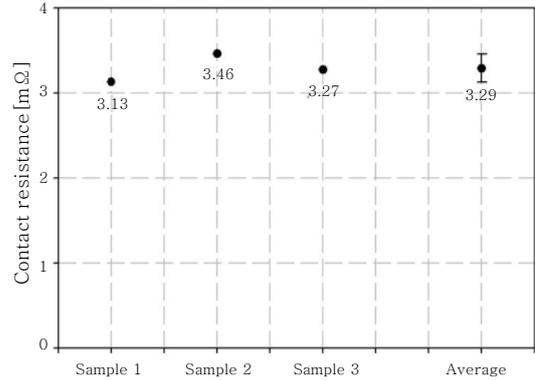


Fig. 18 Electrical resistance of QFP using solderable ICA

제거되고, 용융 필러 고유의 융합과 젖음특성, 그리고 모세관 현상에 의해 lead와 전극 패드 사이에 거대 구상필러를 형성하며 모이게 된다. 이와 동시에 점도가 낮아진 폴리머는 외부로 유동하여 경화되고 최종 접합부를 형성하게 된다.

이와 같은 금속학적 결합에 의한 전도 패스의 형성에 의하여 ICA에 의한 접합부는 안정하고 뛰어난 전기적 특성을 얻을 수 있다. 또한 외부의 경화된 폴리머에 의하여 기계적 접합강도를 확보할 수 있다.

Fig. 18에는 접합이 완료된 QFP시편에 대한 접촉저항 측정결과를 나타내었다. 접촉저항 측정결과에서 알 수 있듯 접합이 완료된 QFP시편들의 전기저항이 매우 균일한 값을 나타내어 기존의 ICA에서 나타나던 불안정한 전기저항의 문제점이 발생하지 않은 것을 확인할 수 있다. 이는 ICA의 내부에 포함된 LMPA의 용융 및 젖음에 의한 금속학적 결합에 기인한 것임을 알 수 있다.

4. 결 론

도전성 접착제가 갖는 우수한 특성들로 인해 응용범위가 점차 확대되어가고 있고 그 시장규모 또한 증가하는 추세에 있다.

본고에서는 기존의 ECA의 도전메커니즘에 의해 기인되는 문제점들을 극복하기 위하여 LMPA 필러만을 포함하는 새로운 개념의 ECA를 개발하고 이를 이용한 새로운 방식의 접합 프로세스에 대한 연구결과에 대해 소개하였다.

새롭게 개발된 ECA는 폴리머의 뛰어난 환원특성에 의하여 LMPA와 전극 패드의 표면 산화막을 제거하고, 용융필러 고유의 융합과 젖음에 의한 자기조직화 접합 특성에 의하여 전도 패스를 형성하게 된다. 이와 같은 새로운 도전메커니즘에 의해 LMPA의 용융에 의한 금속학적 결합이 형성되어 매우 안정적인 전기적 특성을

얻을 수 있다. 또한 전도 패스의 외부를 감싸는 폴리머로 인해 기계적 강도를 확보하고, 인접 단자 간의 절연성을 확보할 수 있다.

이와 같은 결과들을 통하여 새롭게 개발된 ECA 접합 방식은 기존의 ECA 접합방식에서 나타나던 문제점들을 극복할 수 있는 뛰어난 접합방식임을 확인할 수 있다. 또한 향후 연구의 진행에 따른 응용범위의 확대도 기대되어 많은 발전을 기대할 수 있는 기술이라 할 수 있다.

후 기

본 연구는 2007년도 중앙대학교 학술연구비 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. K. Yasuda, J. M. Kim and K. Fujimoto : Adhesive Joining Process and Joint Property With Low Melting Point Filler, *Journal of Electronic Packaging*, **127** (2005), 12-17
2. F. Tan, X. Qiao, J. Chen and Hongshui Wang : Effects of Coupling Agents on the Properties of Epoxy-Based Electrically Conductive Adhesives, *International Journal of Adhesion & Adhesives* **26** (2006), 406-413
3. H. K. Kim, F. G. Shi : Electrical reliability of electrically conductive adhesive joints: dependence on curing condition and current density, *Microelectronics Journal* **32** (2001), 315-321
4. D. Wojciechowski, J. Vanfleteren, E. Reese and H.-W. Hagedorn : Electro-Conductive Adhesives for High Density Package and Fip-chip Interconnections, *Microelectronics Reliability* **40** (2000), 1215-1226
5. Y. Li, C.P. Wong : Recent Advances of Conductive Adhesives as a Lead-Free Alternative in Electronic Packaging: Materials, Processing, Reliability and Applications, *Materials Science and Engineering*, **51-1~3** (2006), 1-35
6. Q. K. Tong, D. L. Markley, G. Frederickson, R. Kuder and D. Lu : Conductive Adhesives with Stable Contact Resistance and Superior Impact Performance, *Electronic Components and Technology Conference*, **1-4** (1999), 347-352
7. Y. S. Eom, J. W. Baek, J. T. Moon, J. D. Nam and J. M. Kim : Characterization of Polymer Matrix and Low Melting Point Solder for Anisotropic Conductive Film, *Microelectronic Engineering*, **85** (2008), 327-331
8. M. Zwolinski, J. Hickman, H. Rubin, Y. Zaks, S. McCarthy, T. Hanlon, P. Arrowsmith, A. Chaudhuri, R. Harmansen, S. Lau and D. Napp : Electrically Conductive Adhesives for Surface Mount Solder Replacement, *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part C*, **19-4** (1996), 241-250
9. K. S. Moon, J. Wu and C. P. Wong : Improved Stability of Contact Resistance of Low Melting Point Alloy Incorporated Isotropically Conductive Adhesives, *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, **26-2** (2003), 375-381
10. S. K. Kang and S. Purushothaman : Development of Conducting Adhesive Materials for Microelectronic Applications, *Journal of Electronic Materials*, **28-11** (1999), 1314-1318
11. J. M. Kim, K. Yasuda, M. Rito and K. Fujimoto : New Electrically Conductive Adhesives Filled with Low Melting Point Alloy Fillers, *Mater. Trans.* **45** (2004), 157-160
12. J. M. Kim, K. Yasuda, M. Yasuda and K. Fujimoto : The Effect of Reduction Capability of Resin Material on the Solder Wettability for Electrically Conductive Adhesives (ECAs) Assembly, *Mater. Trans.* **45** (2004), 793-798
13. J. M. Kim, K. Yasuda and K. Fujimoto : Novel Interconnection Method Using Electrically Conductive Paste with Fusible Filler, *Journal of Electronic Materials*, **34-5** (2005), 600-604



- 임병승(林炳承)
- 1977년생
- 중앙대학교 기계공학부 석사과정
- 마이크로시스템 패키징
- e-mail : deuxyim@hanmail.net



- 김종민(金鍾珉)
- 1972년생
- 중앙대학교 기계공학부 부교수
- 마이크로시스템 패키징
- e-mail : 0326kjm@cau.ac.kr



- 전성호(全成浩)
- 1981년생
- 중앙대학교 기계공학부 석사과정
- 마이크로시스템 패키징
- e-mail : larsens@hanmail.net