

유리 기판을 투과하는 레이저 빔을 사용한 COG(chip-on-glass) 마운팅 공정

이종현 · 문종태 · 김원용* · 김용석**

한국전자통신연구원 광모듈패키징팀

*메카텍스(주)

**홍익대학교 신소재 · 화공시스템공학과

COG(chip-on-glass) Mounting Using a Laser Beam Transmitting a Glass Substrate

Jong-Hyun Lee, Jong-Tae Moon, Won-Yong Kim*, and Yong-Seog Kim**

Optical Module Packaging Team, ETRI

*Meccatechs Co. Ltd.

**Department of Metallurgical Engineering & Materials Science, Hong Ik University

초 록: 유리 기판상에 증착된 패드(pad)의 접합부 가열에 의한 면배열(area array) 형태 전자 패키지 of chip-on-glass(COG) 마운팅 공정이 시도되었다. 패드는 접합층(즉, Cr 또는 Ti)과 상부 코팅층(즉, Ni 또는 Cu)으로 구성되었으며, 이 중 접합층이 유리 기판을 투과하는 UV 레이저에 의해 가열되었다. 접합층에 흡수된 레이저 에너지는 열전도 과정을 통하여 패드와 물리적으로 접촉되어 있는 솔더볼의 온도를 상승시켰으며, 리플로우 과정을 통하여 솔더 범프를 형성하였다. 레이저 가열 동안 솔더볼의 온도 이력(profile)을 측정함으로써 레이저 리플로우 솔더링시 접합층 및 상부 코팅층의 영향이 조사되었다. 그 결과들은 접합층의 반사율 측정 결과에 기초하여 논의되었다. 아울러 솔더 범프의 미세구조와 기계적 특성이 조사되었다.

Abstract: Chip-on-glass(COG) mounting of area array electronic packages was attempted by heating the rear surface of a contact pad film deposited on a glass substrate. The pads consisted of an adhesion (i.e. Cr or Ti) and a top coating layer(i.e. Ni or Cu) were heated by the UV laser beam transmitted through the glass substrate. The laser energy absorbed on the pad raised the temperature of a solder ball which is in physical contact with the pad, and formed a reflowed solder bump. The effects of the adhesion and top coating layer on the laser reflow soldering were studied by measuring temperature profile of the ball during the laser heating process. The results were discussed based on the measurement of reflectivity of the adhesion layer. In addition, the microstructures of solder bumps and their mechanical properties were examined.

1. 서 론

현재 LCD(liquid crystal display)와 같은 평판 디스플레이의 제조시 구동칩(driver IC)의 전기적, 기계적 접합 공정은 구동칩이 tape-carrier package(TCP)상에 탑재된 패키지를 LCD 유리 panel과 SMT(surface mounting technology)화 하는 flex-to-glass 접합 기술이 사용되고

있다.¹⁻⁴⁾ 그러나 제품의 두께와 무게 감소에 대한 계속적인 요구에 의하여, 구동칩과 같은 전자 부품과 기판과의 접합은 궁극적으로 칩을 LCD panel인 유리 기판에 직접 실장하는 COG(chip-on-glass) 형태로 점차 발전되고 있다. COG 구조는 기본적으로 보다 빠른 전기적 반응 특성과 제품의 저가격화를 이룰 수 있을 뿐 아니라, 최근 display 분야에서의 고해상도 경향과 더 많은 수의

contact point들을 수용하기 위한 방법이 된다. 아울러 COG에서 유리 기판과 유사한 실리콘 칩의 열팽창계수는 TCP의 사용 경우와 비교할 때 더욱 신뢰성 있는 접합을 이루게 되므로 이동 제품과 고발열 제품에서의 COG 사용은 더욱 빈번해지고 있다.

상기 두 경우 모두에서 LCD를 구성하는 액정, 편광자(polarizer), 칼라 필터와 같이 온도에 민감한 부품의 가열없이 fine pitch 접합을 이루기 위하여 현재의 구동칩 접합 공정은 대부분 ACF(anisotropically conductive film)를 사용하여 이루어지고 있다.¹⁻⁵⁾ 특히 액정과 편광자의 열적 불안정성으로 인하여 LCD 모듈은 120°C 이상의 온도에 노출되어서는 안 된다. 아울러 전기적으로 낮은 전류 사용량으로 인하여 수-수십 옴의 높은 접촉 저항(contact resistance)이 허용되는 반면에 많은 접합부들이 동시에 접합될 수 있다는 장점에 의하여 ACF는 상기 공정에서 적합한 접합 재료로 인식되고 있다. 그러나 ACF는 그 가격이 고가이며, 다음과 같은 많은 단점들을 동시에 가지게 된다. ACF를 사용한 일반적인 접합 조건은 선접합, 가접합, 최종접합으로 이루어진 3회의 접합 단계가 적용되어야 하며, 접합부에 최고 170-230°C의 온도와 20-50 kg/cm²의 압력이 가해져야 하는 공정상의 까다로움과 번거로움을 가진다. 또한 폴리머의 수분 흡수에 따른 접촉저항의 지속적인 증가와 접합부 피치 감소에 따라 전극당 개재되는 전도성 particle 수의 감소, reworkability의 불량과 같은 원천적인 단점을 가지고 있다.

한편 최근 LCD 모듈의 품질과 신뢰성이 유리 기판에 구동칩이 접합되는 방법에 의존하게 됨에 따라 COG 공정에서도 기존의 ACF를 사용한 접촉 접합 방법에 비하여 접합 재료와 접합 공정이 개선된 새로운 방안들이 요구되고 있다. 아울러 PDP(plasma display panel)와 같이 낮은 접촉저항과 높은 구동 전압의 사용을 요구하는 다른 평판 디스플레이 제품에서의 적용이 가능하기 위해서는 금속을 이용한 접합 공정의 개발이

필요한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 상기 언급되었던 COG에서 ACF를 사용한 칩 접합법의 여러 단점을 극복하고자 ACF 대신 솔더를 사용하고, 레이저를 사용한 접합부의 국부 가열에 의한 패키지 또는 칩의 마운팅 공정을 고려해 보았다. 레이저 리플로우 솔더링은 일반적으로 레이저의 조사가 가능한 QFP(quad flat pack)와 같은 주변배열 형태(peripheral type) 패키지의 마운팅 공정에서 사용되어져 왔으나, 본 연구에서 제안된 레이저 조사 방법은 Fig. 1과 같이 COG 구조에서 기판 재료로 사용되는 유리를 투과하여 유리 상부 표면에 형성된 금속 패드를 조사, 가열하는 것으로, 레이저 에너지를 흡수하는 패드부의 접합층(adhesion layer)은 가열되면서 열전도 과정을 통하여 패드와 물리적으로 접촉되어 있는 솔더의 온도를 상승, 용융시키게 된다. 그리고 용융 솔더는 패드 상부 코팅층(top coating layer)과 반응하여 궁극적으로 금속학적 접합을 이루게 된다. 면배열 형태(area array type)의 칩 또는 패키지는 접합부가 칩의 전면에 걸쳐 분포하는 구조에 의하여 일반적인 레이저 조사법의 적용이 불가능했으므로, 이와 같은 칩 또는 패키지의 최종 접합 단계에서의 레이저 조사법은 지금까지 보고되지 않은 새로운 기술이다.

본 연구에서는 솔더 범프가 형성된 패키지 대신 솔더 볼을 사용하여 상기 설명된 레이저 리플로우 솔더링 동안 솔더볼의 용융 현상에 미치는 레이저의 조사 시간과 패드 금속의 영향이 조사되었다. 아울러 솔더 접합부의 미세구조적 특성과 다른 종류의 패드 금속층 사용에 따른 접합부의 기계적 특성이 조사되었다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 먼저 spectrophotometer(Hitachi, Model: U-3501, Japan)를 사용하여 광의 파장에 따른 glass 및 금속 패드의 투과율과 반사율을 측정하여 glass를 투과

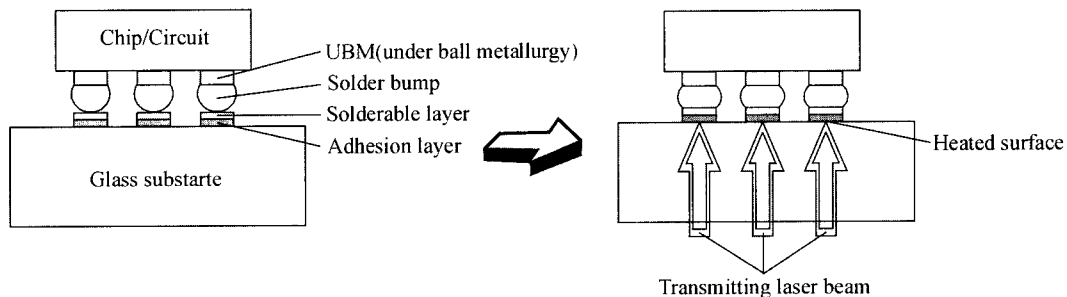


Fig. 1. Schematic illustration of COG mounting using a laser beam transmitting the glass substrate.

하는 레이저의 적합과장조건에 대해 조사해 보았다. 반사율 측정을 위한 참조 시편으로는 알루미늄을 사용하였다. 이후 레이저의 조사 시간 및 패드 금속의 종류에 따른 접합 계면 및 여러 조성 솔더의 미세구조 변화를 관찰하였다. 또한 접합부의 신뢰성을 평가하기 위하여 접합 솔더 범프의 간단한 전단 실험을 실시해 보았다.

유리 기판으로는 LCD panel로 사용되고 있는 0.7 mm 두께의 Corning 1737 (aluminosilicate 조성)을 사용하였다. 유리 기판은 트리클로로에틸렌, 아세톤, 메탄올, 2차 증류수의 순서로 초음파 세척한 다음, 사진(photo-lithography) 공정으로 600 μm 지름의 원형 trench를 형성한 뒤, 0.15 μm 두께의 Cr 또는 Ti의 접합층(adhesion layer), 즉, 하부코팅층과 1 μm 두께의 Cu 또는 Ni의 솔더반응층(solderable layer), 즉, 상부코팅층을 스퍼터링 법으로 한 챔버내에서 연속적으로 증착하였다. 이후 lift-off 공정으로 600 μm 지름의 원형 패드를 형성하였다.

본 연구에서는 면배열 형태 패키지의 마운팅과 유사한 조건으로 솔더반응층상에 솔더볼을 고정 한 후 리플로우(reflow) 접합 실험을 실시하였으며, 사용된 솔더볼의 지름은 760 μm 였다. 사용한 레이저는 고출력 UV 레이저(Model: T80-YHP40-355Q, Spectra-Physics, USA)였으며, 파장변조방식을 이용하여 1064 nm의 기본 파장을 UV 대역인 355 nm로 변조하여 사용하였다. 레이저 조사의 파형은 CW(continuous wave)로 선택 하였다. 솔더볼의 접합 실험 방법은 다음과 같다. Fig. 2와 같이 패드상에 RMA(rosin mildly activated) 타입 플럭스(RMA-390DH3, Alphametals, USA)를 도포한 다음, 솔더볼을 상부 코팅층상에 접촉시킨 후, 포커싱된 레이저 빔을 수동으로 패드부 중심에 정렬하였다. 레이저의 포커싱 지름은 200 μm 였으며, energy input rate는 2W였다. 사용한 주요 솔더 조성은 상용 Sn-37(wt.%)Pb와 대

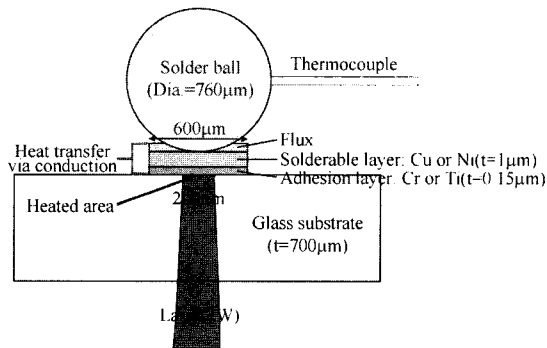


Fig. 2. Schematics of experimental setup of soldering using a laser beam transmitting glass substrate.

표적인 Pb-free 솔더 조성인 Sn-3.5Ag였으며, Sn-34.3Pb-2.9Cu, Sn-3.4Ag-3Cu, Sn-3.5Ag-8Bi 조성 등도 사용되었다. 3원계 조성 솔더볼의 경우는 합금을 주조한 뒤 압연과 스탬핑(stamping)으로 일정 부피로 절단된 솔더 프리폼(preform)을 가열된 오일속에서 재용융하여 직접 제조하였다¹¹⁾. 리플로우 접합시 솔더볼의 온도 변화를 관찰하기 위하여 솔더볼에 chromel/alumel 열전대(thermocouple)를 삽입한 후 조사 시간에 따른 온도 변화를 측정하였다. 이때 온도는 data acquisition system을 사용하여 초당 100개의 추출 속도로 샘플링 하였다. 열전대가 삽입된 솔더볼은 지름 100 μm 열전대의 tip 부분을 Au로 코팅한 다음 열판상에서 용융 상태의 솔더볼 내로삽입한 뒤 응고시켜 제조하였다.

미세조직의 관찰을 위하여 범프 형태로 솔더볼이 접합된 시편의 접합부는 cross-section으로 마운팅한 후 최종적으로 0.1 μm 의 알루미늄나 솔러리틀 사용하여 연마하였다. 미세조직은 SEM/BEI(Model:S-2500C, Hitachi, Japan)를 통해 관찰하였으며 계면 금속간화합물층의 명확한 관찰을 위해서 2(vol.%)HNO₃/1HCl/97ethanol의 etching solution을 사용하였다. 레이저 리플로우로 제조된 접합부의 미세 조직은 열풍 가열방식으로 제조된 일반적인 것과 비교되었다. 접합된 솔더 범프는 multifunction bondtester(Model:DAGE-2400, Dage Precision Industries, USA)를 사용하여 전단 실험을 실시하면서 최대 강도값을 측정하였으며, SEM/BEI로 생성 파면을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 200-1100 nm의 파장에 따른 aluminosilicate 유리의 투과율(transmittance)과 반사율(reflectivity)

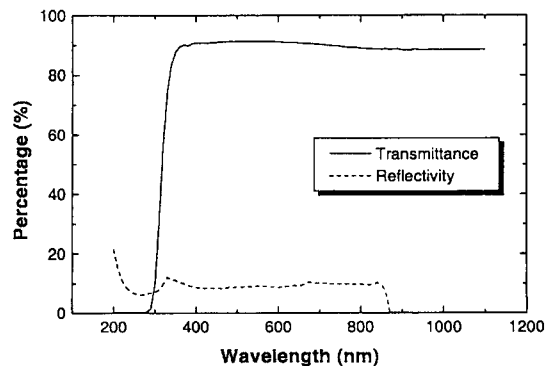


Fig. 3. Measurement of transmittance and reflectivity of the Corning 1737 glass.

변화를 보여준다. aluminosilicate 유리는 290 nm 이하의 파장 영역에서는 10% 미만의 낮은 투과율을 보여 주었지만, 290-350 nm의 파장 영역에서 빛의 투과율이 급격하게 증가하여 355 nm의 파장에서는 약 89%의 투과율을 나타내었다. 반면 반사율은 200-860 nm의 파장 범위에서 약 10% 정도로 일정하게 측정되었으나, 그 이상의 파장 범위에서는 반사가 측정되지 않았다. 빛이 공기로부터 고상으로 진행될 때, 고상의 표면에 조사되는 빛의 강도(I_0)는 투과(I_T), 흡수(I_A), 반사(I_R)된 빛의 intensity 합과 같아야 한다. 200-860 nm의 파장 범위에서 유리에 의한 흡수율이 1% 미만임을 고려할 때, 대략적으로 290 nm 이하의 파장대역에서 조사된 빛은 약 10%가 반사되고 나머지 약 90%가 glass에 흡수된 반면에, 350-860 nm의 파장대역에서는 약 10%가 반사되고 나머지 약 90%가 glass를 투과하게 됨을 알 수 있다. 860-1100 nm의 파장대역에서는 약 10%가 흡수되고 나머지 약 90%가 glass를 투과하게 된다. 따라서 glass에 영향을 주지 않으면서 glass를 통한 효과적인 빛의 투과를 유도하기 위해서는 350-860 nm의 파장대역의 사용이 필요함을 알 수 있었다.

Fig. 4는 파장에 따른 Cr 및 Ti 접합층의 반사율 변화를 보여준다. 이 경우 직접 접합층에 광을 조사한 경우와 유리를 투과하여 접합층에 광을 조사한 경우의 2가지 조건에 대하여 측정을 실시하였다. 300-1100 nm의 파장 범위에서 Cr은 대체적으로 일정한 반사율을 나타낸 반면, Ti는 파장대가 감소할수록 낮은 반사율을 보여 주었다. 금속에서의 광의 투과율은 매우 미미함을 고려할 때, 100%로부터 반사율을 차감한 값이 파장에 따른 금속의 흡수율 값을 예상할 수 있다. 따라서 Ti 접합층의 사용시 300-700 nm의 파장 범위에서 파장대가 낮을수록 높은 빛의 흡수율을 보여 주면서 Cr보다 높은 흡수율을 나타내었다. 355 nm의 파장에서 Cr과 Ti 표면에서의 반사율은 각각 65%와 51% 정도로 측정되었다. 유리 기판을 투과하여 접합층에 광을 조사한 경우에서도 대체적으로 유리에 의한 반사량 또는 흡수량만큼 차감된 후 투과된 양만큼의 광이 직접 접합층에 광을 조사한 경우와 유사한 경향을 보여 주다가 300 nm 파장 부근에서 조사된 빛의 대부분이 유리에 흡수, 반사되는 결과를 나타내었다. 따라서 Fig. 3와 4의 결과를 동시에 고려할 경우 유리 기판을 투과하는 레이저의 효과적인 조사를 위해서는 약 350 nm 부근의 파장을 가지는 레이저를 사용이 필요함을 알 수 있었다. 이상의 결과를 정리하면 본 연구에서 사용된 355 nm 파장의 레이저 조사시 유리 기판에서의 투과율은 약 89%, Cr 및 Ti 접합층에서의 흡수율은 각각 35%와 49%로 계산되었다.

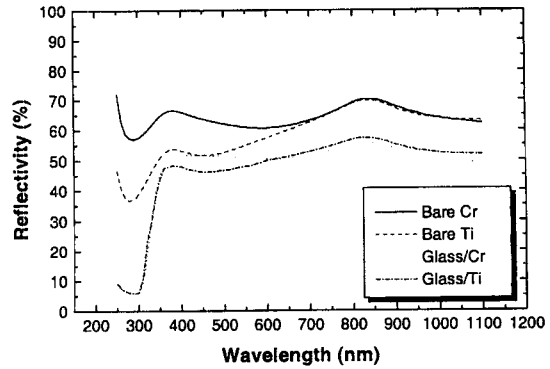


Fig. 4. Reflectivity of adhesion layers measured as a function of wavelength. Glass/Ti and glass/Cr represent the reflectivity measured through the glass.

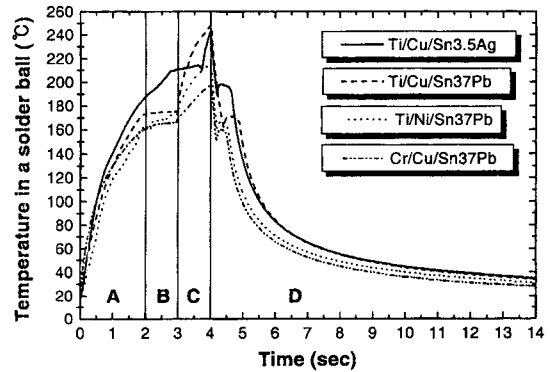


Fig. 5. Temperature profiles of a solder ball placed on a various pad during the laser reflow soldering. The sample was heated for 4 seconds at a heat input rate of 2 watts.

Fig. 5는 4초간의 레이저 조사 동안 솔더 및 패드의 종류에 따른 솔더볼 중심부에서 측정된 온도 변화를 보여준다. 솔더볼은 2W의 energy input rate로 4초간 가열되었다. 접합층에서 생성된 열은 상부 코팅층과 플럭스를 통하여 솔더볼을 가열시키게 된다. 측정된 솔더볼 중심의 시간-온도 곡선은 가열 시간의 증가에 따라 크게 A, B, C, D의 네가지 영역으로 구분될 수 있었다. A 영역은 급격한 온도 상승 영역으로 유리를 투과한 레이저가 패드를 이루는 Cr 또는 Ti 접합층에 흡수되어 패드를 가열하고, 그 발열이 플럭스를 통하여 솔더볼에 계속적으로 전해지고 있는 상태를 의미하며, 약 2초간 진행됨을 보여주고 있다. 수십-수백 msec의 조사 시간이 적용되는 일반적인 레이저 솔더링 공정에 비하여 레이저 조사 시간에 대한 솔더볼의 온도 상승량, 즉, 솔더볼

의 승온 속도가 현저히 늦은 이유는 패드와 솔더볼 사이에 개재된 플럭스가 효과적인 열전달을 방해하는 열저항(thermal barrier)로서의 물성을 가지기 때문으로 분석되었다. Ni에 비하여 Cu 솔더반응층의 사용시 관찰된 약간 빠른 승온 속도는 Cu의 보다 빠른 열전도도에 기인한 것으로 판단된다. B 영역에 이르면 솔더볼 중심부에서의 온도 상승은 급속도로 지체되면서 거의 일정하게 유지되고 있음이 관찰되었는데, 이는 패드에 인접합 솔더볼의 용융이 일어나기 때문으로 판단된다. 즉, 패드에 인접합 솔더볼의 용융이 발생하면 용융 잠열에 의하여 솔더볼에서의 온도 상승은 억제되게 된다. 그러나 상기 유지온도는 각 솔더의 용융 온도보다 약간 낮게 측정되었는데, 이는 열전대의 cold junction compensation으로 인한 에러로 관찰되었다. 또한 비교적 오랜 시간인 1초 동안 이러한 영역이 유지되는 이유 역시 패드와 솔더볼 사이에 개재된 플럭스가 급속에 비하여 효과적인 열전달이 이루어지지 않는 열저항의 특성을 나타내기 때문으로 판단되었다. C 영역에 들어서게 되면 솔더볼 중심부의 온도가 다시 급격하게 상승하게 되는데, Ti 접합층의 사용 조건과 Cu 솔더반응층의 사용 조건일수록 보다 빠른 온도 증가 속도가 관찰되었다. 이는 Ti가 Cr보다 높은 흡수율을 나타냈던 앞서의 결과와 잘 일치한다. 솔더의 젖음 속도는 Ni보다 Cu 솔더반응층에서, Sn-3.5Ag보다 Sn-37Pb 조성 솔더에서 보다 빠른 것으로 알려지고 있는데, 솔더의 젖음 시간을 고려할 때 B 영역 후반부에서부터 솔더의 젖음이 시작되어 부분적으로 패드와 솔더의 직접적인 열전달이 시작되고, C 영역의 문턱 부근에 이르러서야 솔더반응층 표면의 전체 부분으로 솔더의 젖음이 상당히 진행되어 패드와 솔더의 직접적인 열전달로 인하여 솔더 중심부에서의 급속한 온도 상승이 관찰된 것으로 파악된다. 솔더 중심부에서의 온도 상승은 조사 시간인 4초까지 계속적으로 진행되었으며, 솔더볼의 온도 변화 양상은 접합층 및 솔더반응층으로 사용된 재료의 종류에 의해 영향을 받는 것으로 관찰되었다. 일 예로 Sn-37Pb 조성의 솔더 사용시 A와 C 영역에서 Ti/Cu 패드의 경우는 각각 86.7과 71.5°C/sec, Cr/Cu 패드의 경우는 80.8과 29.3°C/sec로 관찰되어 Ti 접합층의 사용시 승온 속도가 Cr보다 큰 것으로 관찰되었다. 피크온도는 Ti/Cu 패드의 경우 248°C, Ti/Ni 패드의 경우 214°C, Cr/Cu 패드의 경우 198°C로 각각 측정되어, 마찬가지로 Ti 접합층의 사용시가 Cr의 경우보다 높은 것으로 관찰되었다. 아울러 Ni의 경우보다 Cu 상부 코팅층 사용 조건에서 승온 속도와 피크 온도가 높게 측정된 것은 보다 높은 열전도도에 기인한 결과로 판단되었다. 이후 레이저 조사가 완결되면 D 영역에 접어들면서

솔더 중심부는 급속히 냉각되었다. Sn-3.5Ag 솔더의 사용 경우에는 상대적으로 높은 용점에 의하여 약 2.7초까지 A 영역이 유지되었으며, 피크 온도는 241°C로 관찰되었으나, 전체적인 온도 이력의 경향은 Sn-37Pb 솔더의 사용 조건과 유사하였다.

Table 1은 패드 및 솔더 종류와 레이저 조사 시간 변화에 따른 솔더볼의 접합 여부 변화를 보여준다. 대체적으

Table 1. Time required for bump formation of Sn-37Pb and Sn-3.5Ag solder balls on different contact pad materials. The solder ball diameter was 760 μm

Radiation time(sec)		1	2	3	4
Pad	Solder				
Cr/Cu	Sn-37Pb	×	×	○	○
	Sn-3.5Ag	×	×	×	○
Ti/Cu	Sn-37Pb	×	×	○	○
	Sn-3.5Ag	×	×	○	○
Cr/Ni	Sn-37Pb	×	×	△	○
	Sn-3.5Ag	×	×	×	○
Ti/Ni	Sn-37Pb	×	×	○	○
	Sn-3.5AgP	×	×	○	○

*x: no bonding on pad, △: partial solder bumping, ○: complete bump formation

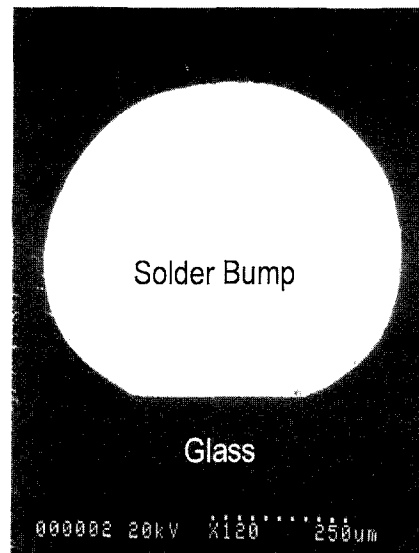


Fig. 6. SEM image of solder bump formed on Cu/Ti by using a laser beam transmitting glass substrate. The solder ball was heated for 3 seconds at a heat input rate of 2 watts.

로 약 3초 이상의 레이저 조사 시간이 필요하였으며, 공정 Sn-37Pb 조성에 비하여 용점이 높은 공정 Sn-3.5Ag 솔더볼의 사용시 보다 긴 레이저 조사 시간이 필요함을 알 수 있었다. 또한 앞서 언급된 바와 같이 Cr보다 레이저의 흡수율이 우수한 Ti 접합층의 사용시 보다 이른 시

간에 솔더의 접합이 일어남을 관찰할 수 있었으며, Ni보다 Cu 솔더반응층의 사용시 보다 빠른 시간에 솔더의 접합이 일어나는 경향을 보여 주었다. Ti보다 낮은 흡수율을 보이는 Cr의 사용조건에서 고품점 솔더인 공정 Sn-3.5Ag 솔더볼의 접합시에는 약 4초의 조사 시간이 요구

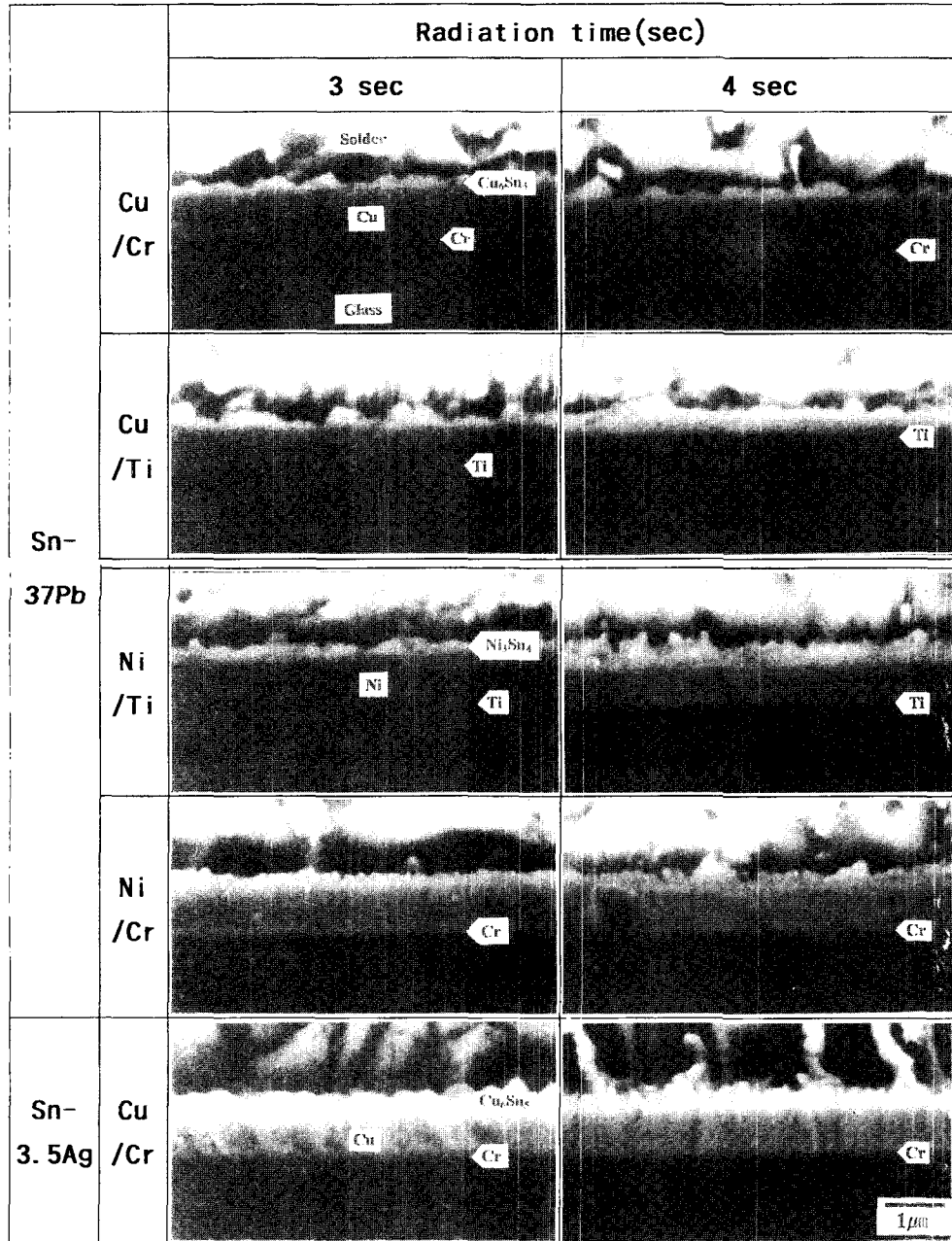


Fig. 7. SEM/BEI micrographs of the solder/pad interface reflow-soldered using the laser beam transmitted through the glass substrate. Samples were heated at a heat input rate of 2 watts.

되었다. 유리 기판상 금속 패드와 용융 솔더가 반응하여 범프 형상의 솔더 접합부를 이루고 있는 예는 Fig. 6과 같다.

유리 기판을 투과하는 레이저 조사법을 통하여 여러 종류의 패드상에 형성된 솔더 접합 계면부의 미세구조 관찰 결과는 Fig. 7과 같다. 3-4초의 레이저 조사에 의한 솔더 접합부 형성 과정에서 불과 1 μm 두께의 Cu 또는 Ni 솔더반응층이 크게 손상되지 않았음을 확인할 수 있었다. 리플로우 솔더링 과정에서 Cu 또는 Ni 솔더반응층상에서 생성, 성장된 Cu₆Sn₅ 또는 Ni₃Sn₄ 금속간 화합물층의 두께는 각각 0.2-0.5 μm와 0.1-0.4 μm를 나타내었다. 반면 동일 시편에 일반적인 리플로우 온도 이력을 적용하여 솔더링한 경우인 Fig. 8에서는 접합층이 솔더와 직접적으로 닿아있는, 즉, 금속간 화합물층이 존재하지 않는 접합부 계면이 관찰되었다. 이는 기계적, 전기적으로 솔더 접합부의 불량을 의미하게 된다. 이와 유사한 결과는 K. N. Tu에 의해서도 관찰되었는데^{6,8)}, 궁극

적으로 솔더 반응층의 두께에 비하여 솔더의 체적이 지나치게 큰 상태에서 리플로우 솔더링을 수행하여 솔더의 용융 동안 1 μm 두께의 Cu 솔더반응층이 모두 용융 솔더 내로 용해, 고용되었기 때문이다. 205°C의 용융 Sn-40Pb 솔더에서 Cu의 용해 속도는 약 0.05 μm/sec로 알려져 있는데⁹⁾, 일반적인 리플로우 온도 이력에서의 솔더의 용융 구간이 약 30-90초임을 고려할 때 속도론적으로 1 μm 두께의 Cu 솔더반응층의 완전한 용해를 가능하게 한다. 그러나 레이저 조사법을 통하여 솔더 접합부를 형성할 경우 솔더의 용융 시간이 매우 짧기 때문에 솔더반응층의 손상을 최소화 할 수 있었다.

유리를 투과하는 레이저 조사 공정의 또 하나의 장점은 접합부의 최종 미세구조를 제어할 수 있다는 것이다. 레이저 조사에 의한 접합부 조직의 미세화와 균질화는 궁극적으로 접합부의 신뢰도를 향상시킬 수 있다. 일례로 최근 분산강화 효과로 솔더의 강도를 향상시켜 솔더 접합부의 신뢰성을 향상시키기 위한 Cu₆Sn₅ 석출상 함유 복합 솔더 조성의 경우, 일반적인 리플로우 솔더링 시 Cu₆Sn₅ 석출상들이 급격히 균질화(coarsening)되면서 평균 3-5 μm 이상의 크기로 성장하여 석출 강화에 의한 솔더의 강도 향상보다 솔더의 연성 감소가 더 지배적으로 작용하게 된다(Fig. 9). 이 경우 실제 솔더 접합부의 사용 환경과 가장 유사한 저주기 피로(low cycle fatigue) 시험시 공정 Sn-37Pb보다 오히려 이른 파단 특성을 나타내는 것으로 보고되었다¹⁰⁾. 따라서 Cu₆Sn₅ 석출상 함

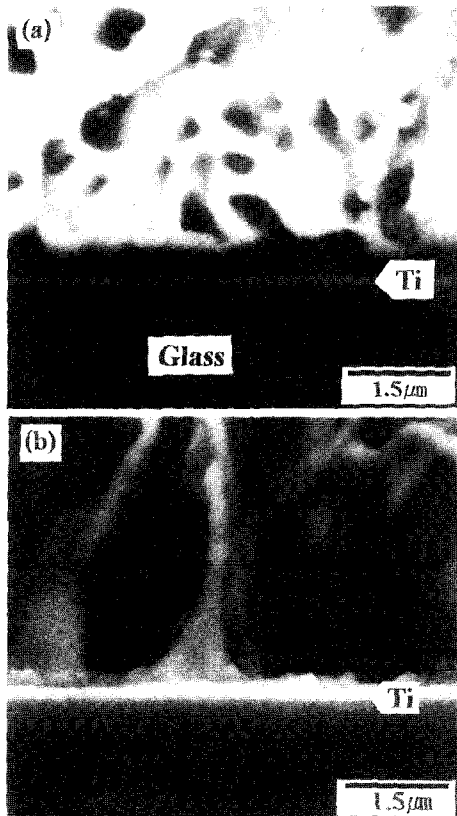


Fig. 8. SEM/BEI images of (a) Sn-37Pb and (b) Sn-3.5Ag solder bumps formed on the Ti/Cu contact pad via conventional furnace reflow soldering process.

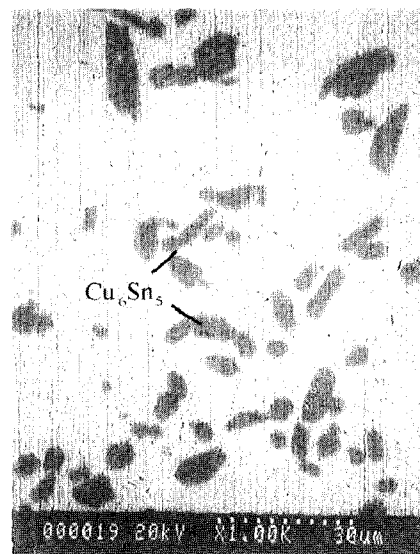


Fig. 9. SEM/BEI images of Sn-3.4Ag-3Cu solder bumps formed via the conventional furnace reflow soldering process.

유 복합 솔더의 저주기 피로 특성을 보다 향상시키기 위해서는 보다 향상된 솔더의 강도 및 연성에 의한 솔더의 인성(toughness)을 증가시켜야 하며, 이는 최종 솔더 접합부에서의 Cu_6Sn_5 석출상 및 기지 솔더 결정립의 미세화를 통해 가능해질 수 있다. 유리 기판을 투과하는 레이저 조사법에 의해 접합된 Sn-34.3Pb-2.9Cu 및 Sn-3.4Ag-3Cu 조성 복합 솔더의 미세구조는 Fig. 10과 같다. 솔더 조성을 제외한 모든 실험 조건은 앞서의 경우와 같았다. 이 두 조성은 모두 솔더의 평형 고용량 이상으로 Cu가 첨가되었기 때문에 솔더 기지 내부에는 Cu_6Sn_5 석출상들이 형성된다. 레이저 리플로우 공정에서 energy input rate 2W, 조사 시간은 4초였다. 두 경우 모두에서 평균 $1\ \mu\text{m}$ 크기의 Cu_6Sn_5 가 비교적 균일하게 분산되어 있음을 알 수 있다. 따라서 유리를 투과하는 레이저 조사법에 의하여 상기와 같이 미세한 Cu_6Sn_5 석출상과 기지의 결정립으로 이루어진 최종 솔더 접합부 조직은 보다 우수한 접합부 신뢰성을 나타낼 것으로 예상된다.

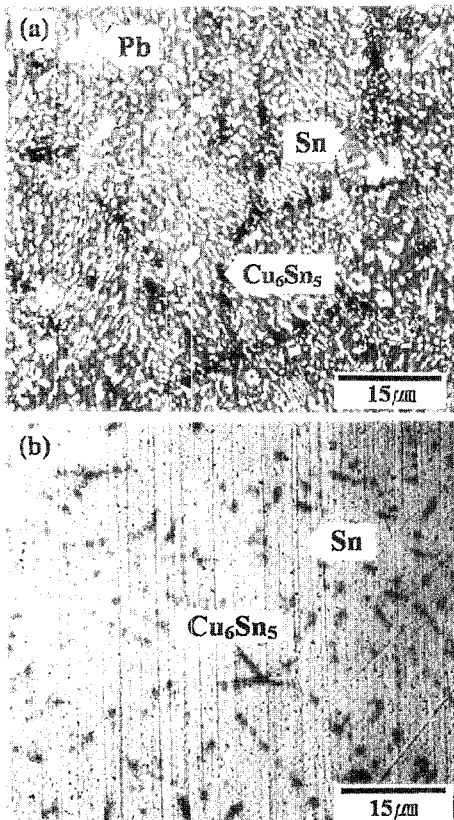


Fig. 10. SEM/BEI images of (a) Sn-34.3Pb-2.9Cu and (b) Sn-3.4Ag-3Cu solder bumps formed via the laser reflow soldering process.

된다.

레이저 솔더링에 의한 솔더 미세구조의 보다 극적인 변화는 저용점 Pb-free 조성인 Sn-3.5Ag-8Bi(solidus=174°C) 합금 솔더볼을 사용한 Fig. 11의 경우에서 관찰되었다. 이 조성의 솔더는 일반적인 리플로우 솔더링 후 응고시 매우 미세한 순수 Bi 입자상과 조대한 Ag_3Sn 상을 석출시키게 되는데, 일반적으로 이 Bi 석출상은 매우 불균일하게 분포하게 된다. 반면에 유리를 투과하는 레이저 조사법에 의하여 리플로우 솔더링한 경우에서 미세한 Bi와 Ag_3Sn 석출상이 비교적 균일하게 분포함을 관찰할 수 있었다. 이러한 석출상의 균일한 분포는 솔더 접합부 주변 재료들의 열팽창 계수 차이에 의해 야기되는 솔더 접합부에서의 불균일한 변형을 억제시켜 접합부의 신뢰성을 보다 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

리플로우 시간의 관점에서 솔더 또는 QFP(quad flat package)의 리드(lead)에 직접적으로 레이저를 조사하는 일반적인 레이저 솔더링은 40-800 msec의 매우 짧은 시

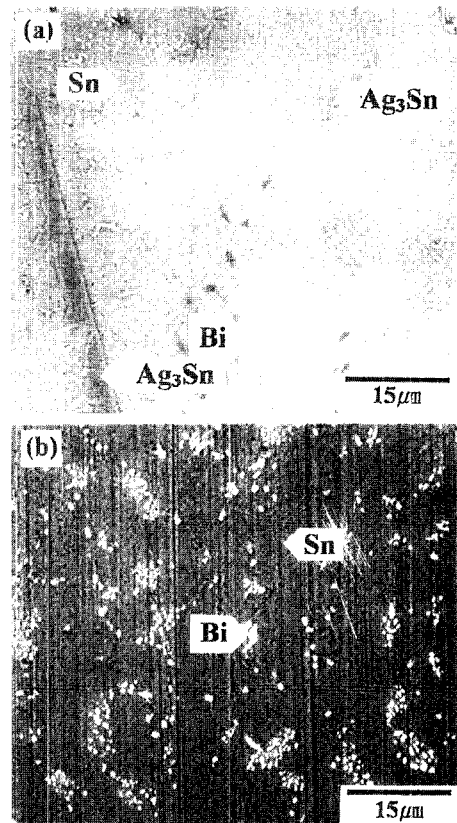


Fig. 11. SEM/BEI images of Sn-3.5Ag-8Bi bumps formed via (a) conventional furnace reflow soldering and (b) the laser reflow soldering.

간 이내에서 완료된다. 그러나 유리를 투과하는 레이저를 통한 금속 패드의 가열 방법은 솔더의 접합기구가 가열된 패드로부터 플럭스, 솔더로의 열전달에 의존하는 간접 가열방식에 의하므로 최소 약 3초 가량의 시간이 소모됨을 확인할 수 있었다. 즉, 600 μm 지름의 패드 면적에 비하여 상대적인 플럭스와 솔더의 체적이 크므로 플럭스의 기화와 솔더의 용융 잠열을 고려할 때 솔더볼 전체를 용융시키기까지는 상당한 시간이 소모되게 된다. 따라서 접합 전 솔더와 패드면의 접촉 상태가 접합 시간에 영향을 미치는 중요한 인자로 파악되는바, 접합에 소요되는 레이저의 조사 시간을 보다 단축시키기 위한 방법으로 솔더볼 대신 디스크 형태의 솔더를 적용해 보았다. 디스크 형태는 솔더는 Sn-37Pb 조성의 지름 760 μm 솔더볼을 압착하여 제조하였으며, 사용된 솔더 디스크의 지름은 약 840 μm , 두께는 약 420 μm 였다. 그 이외에 실험 조건은 앞서와 같았으며, 이 경우에서 레이저 조사 시간에 대한 솔더의 온도 변화 측정 결과는 Fig. 12와 같다. 레이저 흡수율이 적은 Cr 접합층과 열전도가 상대적으로 낮고, 솔더의 젖음속도가 상대적으로 느린 Ni 솔더반응층의 사용 조건임에도 불구하고 상기 언급된 A 영역이 약 1초로 짧아지면서 약 2초만에 솔더 접합부가 형성됨이 관찰되어, 디스크 형태의 솔더 프리폼(preform)의 적용시 접합을 이루기 위하여 소요되는 레이저의 조사 시간이 최소 1초 가량 단축되어질 수 있음을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 접합될 솔더의 형태가 디스크 또는 동전 형상이라면 자체가 큰 비열(specific heat)값을 가지면서 열에 의해 가스를 발생시키는 플럭스의 개재량이 크게 감소하면서 열의 소모가 감소되는 동시에 열전달 속도가 증가하여 접합시간이 크게 단축되는 것으로 판단되었다. 디스크 형태의 솔더 형상은 범프가 형성된 칩을 유리 기판과 같은 비젖음(non-wettable) 재료에 올려놓은 뒤 리플로우 하거나 열과 압착력을 이용한 솔더 코인닝 장비를 사용하여 제조할 수 있다.

솔더 접합부의 접합 상태를 파악하고자 4초간의 레이저 조사에 의하여 접합된 솔더 범프의 전단 실험을 실시하였다(Fig. 13). 이 경우 접합 계면부에 응력이 잘 전해지도록 shear tool을 지면에서 10 μm 만 띄운 뒤 200 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 의 속도로 shear tool을 이동시켰다¹¹⁾. 전단 실험 후 파면의 관찰 결과 모든 경우에서 유리 and Cr 또는 Ti 접합층 사이에서 파면이 관찰되었으며, 국부적으로 잔존하는 접합층과 깨어진 glass 표면이 관찰되었다. 따라서 전단 실험시 측정된 최대 파단 강도값은 솔더의 종류와는 관계가 없었으며, Cr 접합층 사용시에는 5.39-6.37N, Ti 접합층 사용시에는 5.69-7.06N 정도의 파단 강도가 측정되어 Ti 접합층의 사용시 다소 높은 접합 강도를 나

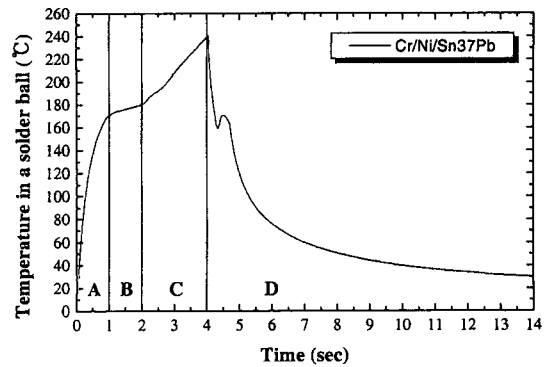


Fig. 12. Temperature profile of a Sn-37Pb solder disk placed on a Cr/Ni pad during the laser reflow soldering. The sample was heated for 4 seconds at a heat input rate of 2 watts.

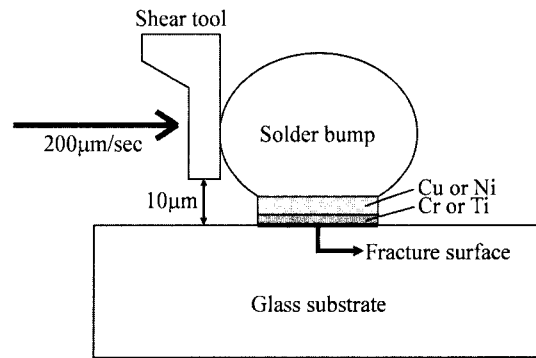


Fig. 13. Schematic illustration of shear testing of a solder bump.

타내었다. 이는 솔더에서 파단면이 생성되는 경우의 약 60% 수준이다¹¹⁾. 이러한 파단 강도값의 감소는 레이저 솔더링 후 냉각시 패드와 유리 기판의 열팽창계수 차이에 의해 계면에 생성되는 열응력 때문으로 판단되나, 이는 COG 구조 자체의 특성으로 접합부의 신뢰성에는 심각한 영향을 주지 않을 것으로 판단되었다.

이상의 결과들은 레이저 솔더링을 통하여 플립칩과 같은 면배열 형태 패키지의 COG 마운팅이 가능함을 보여 준다. 본 공정을 이용한 실제 면배열 형태 패키지의 마운팅시에서는 앞서 실험에서와 같이 조사 레이저의 펄스 모드 도입을 통한 패드부의 포인트 접합 방법과 한 패키지 내의 모든 패드를 동시에 조사하는 동시 접합 방법이 고려될 수 있으나, 패드의 피치가 매우 미세한 최근의 동향에서는 용융 솔더에 의한 자체정렬(self-aligning) 효과를 이용할 수 있는 후자가 보다 바람직한 것으로 판단된다.

4. 결 론

유리 기판을 투과하는 레이저 빔을 사용한 솔더볼의 가열법에 의하여 COG 구조에서 새로운 마운팅 공정이 소개되었다. 사용된 레이저는 355 nm 파장의 UV 레이저였고, 2W의 energy input rate로 조사되었다. 이러한 조건에서 760 μm 지름의 솔더볼이 용융점까지 도달하는 데에는 약 2초의 시간이 소요되었으며, 완전히 용해될 때까지 약 1초의 시간이 더 소요되었다. 솔더볼의 승온 속도와 최대 온도는 Cr 접합층보다 Ti의 사용시 보다 높게 측정되었으며, 이러한 결과는 사용된 레이저 빔에 대한 흡수율이 Ti가 보다 큰 것과 관련된 것으로 분석되었다. 3-4 sec의 시간이 소요되었던 접합 공정은 솔더볼 대신 디스크 형태의 솔더를 도입함에 따라 2초 이내로 접합에 소요되는 레이저의 조사 시간을 단축시킬 수 있었다. 사용된 1 μm 두께의 Cu 솔더반응층은 레이저 리플로우 공정의 짧은 리플로우 시간에 기인하여 리플로우 솔더링 후에도 계속적으로 잔존하는 것으로 관찰되었다. 아울러, 용해한도(solubility limit) 이상으로 Cu 또는 Bi를 고용하는 복합 솔더 기지 내에서 약 1 μm 의 매우 미세한 Cu_6Sn_5 또는 Bi 석출상들이 균일하게 분포되어 있음을 확인할 수 있었다. 범프 형태의 솔더 접합부를 전단 시험한 경우 접합층과 유리기판 사이에서 파면이 생성되었으며, 그 파단 강도는 솔더 기지에서 파단면이 생성되는 경우의 약 60% 정도의 값을 나타내었다.

참고문헌

1. R. Aschenbrenner, A. Ostmann, G. Motulla, E. Zakel, and H. Reichl, "Flip chip Attachment Using Anisotropic Conductive Adhesive and Electroless Nickel Bumps", IEEE Trans. Compon. and Package Technol.(C), 20, 95(1997).
2. H. Kristiansen and J. Liu, "Overview of Conductive Adhesive Interconnection Technologies for LCDs", IEEE Trans. Compon. and Package Technol.(A), 21, 208(1998).
3. R. Joshi and Microelectronics J., "Chip on Glass-Interconnect for Row/Column Driver Packaging" 29, 343(1998).
4. H. Nishida, K. Sakamoto, H. Ogawa, and H. Ogawa, "Micropitch Connection Using Anisotropic Conductive Materials for Driver IC Attachment to a Liquid Crystal Display", IBM J. Res. Develop., 42, 517(1998).
5. Y. Gotoh and I. Watanabe, "Novel Anisotropic Conductive Films with Area-Arrayed Conducting Particles", in Advances in Electronic Packaging, E. Suhir, M. Shiraton, and Y. C. Lee, Eds., 19-1, p. 161, ASME, New York(1997).
6. A. A. Liu, H. K. Kim, and K. N. Tu, and P. A. Totta, J. Appl. Phys., "Spalling of Cu_6Sn_5 Spheroids in the Soldering Reaction of Eutectic SnPb on Cr/Cu/Au Thin Films", 80, 2774(1996).
7. G. Z. Pan, A. A. Liu, H. K. Kim, K. N. Tu, and P. A. Totta, "Microstructures of Phased-In Cr-Cu/Cu/Au Bump-Limiting Metallization and Its Soldering Behavior with High Pb Content and Eutectic PbSn Solders", Appl. Phys. Lett., 71, 2946 (1997).
8. D. W. Zheng, Z. Y. Jia, C. Y. Liu, W. Wen, and K. N. Tu, "Size Dependent Dewetting and Sideband Reaction of Eutectic SnPb on Au/Cu/Cr Multilayered Thin Film", J. Mater. Res., 13, 1103 (1998).
9. R. J. K. Wassink, Soldering in Electronics, 2nd ED., Electrochemical Publications Ltd., Ayr, Scotland (1989).
10. S. M. L. Sastry, D. R. Frear, G. Kuo, and K. L. Jerina, "The Properties of Composite Solders", in The Mechanics of Solder Alloy Wetting and Spreading, F. G. Yost, F. M. Hosking and D. R. Frear, Eds., p. 299, Van Nostrand Reinhold, New York (1993).
11. J. -H. Lee, D. -J. Park, J. -T. Moon, Y. -H. Lee, D. -H. Shin, and Y. -S Kim, "Reliability of Composite Solder Bumps Produced by an In-situ Process", J. Electron. Mater., 29(10), 1264 (2000).