연구논문

금속(Au)범프의 횡초음파 접합 조건 연구

지명구* · 송춘삼** · 김주현*** · 김종형****,†

*서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 **서울과학기술대학교 산업기술정책연구소 ***국민대학교 기계시스템공학부

Study of Metal(Au) Bump for Transverse Ultrasonic Bonding

Myeong-Gu Ji*, Chun-Sam Song**, Joo-Hyun Kim*** and Jong-Hyeong Kim****,†

*Seoul National University of Science and Technology, School of NID Fusion Nano Micro Robot System, Seoul 139-743, Korea

**Seoul National University of Science and Technology, Institute for Industrial Technology Policy(INTEP), Seoul 139-743, Korea

***Kookmin university, school of mechanical engineering, Seoul 136-702, Korea

****Seoul National University of Science and Technology, School of Mechanical Design and Automation Engineering, Seoul 139-743, Korea

Corresponding author : johnkim@seoultech.ac.kr

(Received October 28, 2010 ; Revised November 30, 2010 ; Accepted January 25, 2011)

Abstract

In this paper, the direct bonding process between FPCB and HPCB was studied. By using an ultrasonic horn which is mounted on the ultrasonic bonding machine, it is alternatively possible to bond the gold pads attached on the FPCB and HPCB at room temperature without an adhesive like ACA or NCA. The process condition for obtaining more bonding strength than 0.6 Kgf, which is commercially required, was carried out as 40 kHz of frequency, 0.6 MPa of bonding pressure and 2 second of bonding time. The peel off test was performed for evaluating bonding strength which results in more than 0.8 Kgf.

Key Words : Ultrasonic bonding, Bump direct bonding, FPCB, Au to Au bonding, Display module bonding

1. 서 론

IT산업 발전에 따라 모바일 기기의 수요가 해마다 증 가하고 있다. 애플사의 아이폰, 삼성의 갤럭시S, 구글 의 넥서스원 등이 대표적인 사례이다. 이들 기기에는 모바일용 평판 디스플레이를 사용하고 있으나, 스마트 폰의 복합기기화 및 다양한 소비자의 니즈를 충족시키 기 위한 신속한 모델 교체와, 고기능화 · 고화소화 요 구로 제조비용의 비중이 점점 증가하는 추세이다. 따라 서 고기능화·고화소화에 대응한 모바일용 평판 디스플 레이 모듈의 양산과 급 변화하는 모델의 대체 및 생산 성을 극대화 하는 가격 경쟁력을 갖추기 위해서는 투자 비용의 효율적인 저감대책과 신기술이 적용된 지능형 완전자동 생산 라인의 개발을 통한 제조 공정의 효율화 가 요구되고 있다. 이는 공정에 투입된 인력을 줄일 뿐 만 아니라 생산 수율을 향상시킬 수 있는 근본적인 대 책이 될 것이다. 특히 최근 스마트폰 시장의 성장에 따 라Super AMOLED, IPS(In Plane Switching) 디 스플레이 등이 개발되어 상용화 되고 있고, 관련 공정 기술에 대한 수요가 극대화 되고 있다.

모바일 기기 핵심 부품인 모바일용 평판 디스플레이 모듈은 패널, 백라이트, 편광판, 드라이브 IC, 그리고 케이스 등으로 구성하여 조립된다. 이때 각각의 구성요 소들(Data PCB, Gate PCB)은 일반적으로 우수한 굴곡성과 경량인 장점으로 인하여 휴대형 전자기기에 대한 사용량이 증가하고 있는 FPCB로 대체 구성요소 로 사용되거나, 연결 되어 사용된다.

현재 모바일 디스플레이 모듈에서 주요한 FPCB 접 합 기술은 Solder bumping법, adhesive법, ACA (Anisotropic Conductive Film)를 매개체로 열 압착 (Thermo Compression)법, 또는 로봇솔더링을 이용 한 접합하는 방법 등이 있다. Solder bumping은 우수 한 기계적·전기적 특성을 가지고 있으나, 접합 공정 또는 사용 환경 중에 취약한 금속간 화합물이 생성 및 성장하는 문제점을 가지고 있으며, 이러한 문제점은 피 치(Pitch)가 미세화 됨에 따라 접합 품질 저하에 더욱 크게 영향을 끼치는 것으로 보고되고 있다¹⁾.

이방성 전도성 접착제(ACA: anisotropic conductive adhesive)또는 비전도성 접착제(NCA: non-conductive adhesive)를 이용하는 adhesive법은 금속간 화합물 성장에 따른 취성 파괴는 예방할 수 있지만, 습윤 분위 기가 열 충격 환경 내에서 신뢰성이 낮은 동시에 일본 의 두 기업인 히타치 화학과 소니 화학이 세계 시장의 98% 이상을 독점하고 있는 등 재료의 수입 의존도가 매우 높은 단점을 가지고 있다^{2,3)}. 그리고 SMT 작업 시 맨손 작업으로 인한 이물질 흡착이 되며 내열성 Tape 필 시 TCP PAD에 이물질이 잔존하여 adhesive Bonding에 악영향을 준다. 로봇 솔더링은 공정 및 설 비가 비교적 간단한 장점이 있고, 접합강도는 6.12N (≒0.6kgf) 정도가 요구된다. 그러나 로봇솔더링은 설 정된 시간에 의해 솔더의 양을 조절하기 때문에 공정기 술은 작업자의 경험에 의존되어 정확한 공정제어가 어 렵다. 따라서 과납에 의한 한쪽 PAD에 브릿지 현상이 나타나거나, 미납에 의한 접합 불량을 유발하고, 접합 부의 납땜 두께가 일정하지 않아 조립 시 문제를 유발 한다. 이를 방지하기 위해 추가 인력투입 및 검사공정 이 불가피 하며 그에 따라 추가 공정시간이 요구된다. 현재 공정시간은 약 20sec 정도로 전체 모듈공정에 대 해 넥공정이라 할 수 있다. 또한 긴 공정시간 동안 열 에너지를 사용하기 때문에 초기의 높은 온도로 PCB 변형 및 스트레스가 생기고, 금속 Bump의 용융 시간 이 길어 생산 효율이 낮게 되는 큰 단점이 있다. 이에 따라 초음파를 응용하여 접합면에 진동 마찰시켜 접합 하는 기술이 각광받고 있다. 초음파 접합법은 초음파 진동을 이용하여 상온에서 수 초 이내에 다수의 Bump 를 기판과 동시에 직접 접합시키는 방법으로서, 플럭스 나 세정제 사용이 없고 가스 발생이 없다는 점에서 친 환경적 공정이 가능하다는 장점들을 가지고 있다⁴⁾. 특 히, 초음파 접합법은 낮은 온도와 압력 하에서 정밀한

접합이 가능하고, 무플럭스 및 무세정 공정으로서 시평 의 오염이 전무하기 때문에 FPCB·HPCB 접합을 비롯 하여 구동IC와 구동대상과 연결해주는 신호선에 매우 유용한 접합법이라 할 수 있다⁵⁾. 또한 공정제어가 용이 하여 정확한 접합조건을 예측할 수 있어 기존의 접합공 정보다 높은 신뢰성확보와 많은 입출력 PAD를 가진 FPCB·HPCB 기판 등을 접합하는데 유리하다. 그러 나 현재 초음파 접합기술은 접합강도를 높이기 위하여 접착제(ACA, NCA등)와 초기에 가해지는 높은 열로 인하여 박막인 FPCB 같은 경우 많은 불량률을 보이고 있어 공정 간소화 및 재료의 열 손상에는 기존 공정에 비하여 큰 장점을 나타내지는 못하고 있다. 또한 Bump 의 표면 청결 상태나 Solder를 사용하지 않는 고상 접 합법이기 때문에 Bump의 높이 차이에 매우 민감하여 접합 압력 조건에 크게 영향을 받으며, 초음파를 이용 하여 접합된 Bump의 신뢰성에 관한 연구나 보고는 아 직 미비한 실정이다. 더불어 접착제의 원가상승으로 인 해 제조원가를 낮추기가 어렵다. 따라서 초음파를 이용 한 FPCB 접합 공정개발에 많은 연구가 요구된다.

본 논문에서는 초음파 접합(Ultrasonic Bonding)장 비를 이용하여 FPCB와 HPCB를 접합 하였다. 이때 높은 열과 접착제(ACA, NCA등)를 사용하지 않고 상 온에서 FPCB의 금속(Au)PAD와 HPCB의 금속(Au) PAD를 직접(Direct) 접합하였다. 또한 초음파 접합 실험을 통해 현장에서 요구하는 접합강도 0.6kgf를 확 보하기 위한 최적의 공정을 찾고, 신뢰성 테스트를 통 하여 산업현장 적용 여부를 검증한다.

2. 초음파 접합 실험

2.1 초음파 접합 장비

본 연구에서는 FPCB(Au Bump)와 HPCB(Au Bump)를 접착제(ACA, NCA) 없이 직접(Direct) 접 합하는 연구를 진행하기 위하여 Fig. 1과 같이 장비를 구축하였다. Table 1은 초음파 접합 장비의 상세 스펙



Fig. 1 Ultrasonic Bonder

Dimension1,130(L) × 800(W) × 1,460(H)mmAccuracyMain bonding : ±7umMain air press5 ~ 7kgf/cm²Working height920mm(±20mm)

Table 1 Specification of ultrasonic bonder

이며, 정밀도 ±7um, 메인 압력 5 ~ 7kgf/cm², 접합 높이 920mm(±20mm), 반자동으로 동작을 한다.

2.2 초음파 혼

초음파 접합공정은 접합 재료의 크기정보에 대한 초 음파 혼의 설계요소가 매우 중요하다. Fig. 2 는 접합 재료의 크기정보가 고려되지 않은 일반적인 초음파 혼 을 이용하여 접합한 결과이다. 사진에서와 같이 혼의 형태에 따라 접합부의 손상이 발생 되거나 접합이 불가 함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 초음파 혼을 접합재료의 크기정보에 따라 3종을 제작하였다. 이때 초음파 혼의 재료는 스테인레스강 (SUS 440C)을 사 용하였고 상온에서 300℃ 까지 온도를 견딜 수 있다. 사용 주파수는 40kHz이며, 최대진폭은 9um이다. 또 한, 초음파 진동 에너지의 손실을 막기 위해 혼(Horn) 형상을 대칭성에 두었고, 진동자(Piezo)를 사용하여 초 음파 중에서도 제일 빠른 속도의 종파를 만들어 혼 (Horn)내부로 통과하여 횡방향으로 진동운동을 한다. Fig. 3는 초음파 접합 실험에 사용되는 초음파 혼 (Horn)이다.

2.3 실험재료

본 연구에 사용된 FPCB, HPCB는 Fig. 4와 같이



Fig. 2 Result of using general ultrasonic horn



Fig. 3 Ultrasonic Horn



Fig. 4 Specifications of material

Table 2 Experiment in used sample specification

\geq	Au bump size	Substrate size
FPCB	0.6(W)mm 2.5(L)mm 0.05(T)um	10.0(W)mm 30.0(L) mm 0.143(T)mm
HPCB	0.7(W)mm 5.0(L)mm 0.03(T)um	20(W)mm 33(L) mm 1.0(T)mm

모바일 디스플레이 구동에 사용되는 재료이다. FPCB 적층구조는 Coverlay(37.5um), Base Copper + Plate Polyimide(20.0um), (12.0um), Base Copper + 구성되어있 Plate(12.0um), Coverlay(37.5um)로 다. Coverlay 에는 Ni(1~3um), Au(0.05um)이 고 연성도금으로 증착하였다. HPCB 적층구조는 Au($0.01 \sim 0.03$ um). $Ni(0.3 \sim 0.5 um).$ 동박(0.018um). 동박, Ni(0.3~0.5um), Epoxy (1mm), Au(0.01~ 0.03um) 구성되어 있으며, FPCB와 같은 방법인 무 전해도금 으로 증착하였다. 규격은 Table 2와 같고 Pitch는 1mm 이다.

2.4 접합방법

초음파 접합공정은 접합 장비뿐만 아니라, 초음파 출 력, 초음파 혼 형상, 접합 압력, 접합 시간 등이 FPCB 의 특성과 결부되어 충분하게 고려되어야 생산성이 높 은 작업조건과 신뢰성을 확보할 수 있다. 생산성으로는 짧은 접합시간, 미세피치 등을 들 수 있고, 신뢰성 측 면에서는 고내열성, 고내습성 등을 들 수 있다^{6.9}. FPCB 와 HPCB를 접착제 없이 접합하기 위하여 Fig. 5와 같이 횡방향 초음파 방식을 구성하였다. 실험은 Fig. 6 와 같이 진행하였고 이때 공정변수는 Table 3과 같다. 접합에 사용되는 실험재료에는 초음파 세정기를 이용하 여 에탄올 표면처리 했다.

Fig. 7에서와 같이 초음파 혼이 접합재료를 압착한 후 가진하면 HPCB는 Z축이 고정이므로 X, Y축은 자 유도가 존재한다. 즉, Z축 기준으로 X, Y 미소회전방 향 성분을 가지게 된다. 이때 횡방향으로 초음파 혼이



Fig. 5 Ultrasonic bonding process



Fig. 6 Bonding process

Table 3 Bonding process parameter

Boding pressure	Bonding temperature	Bonding time
0.60MPA		0.5sec
	05%	1.0sec
	20 C	1.5sec
		2.0sec



Fig. 7 The axis of sample specification



Fig. 8 The pressure of ultrasonic horn on FPCB

움직이면 HPCB가 똑같이 횡방향으로 움직이거나 Z축 기준으로 왼쪽이나 오른쪽으로 미소 회전을 하기 때문 에 초음과 에너지가 전달되지 않고 그대로 통과되므로 접합이 불가하다. 따라서 재료의 형상정보에 정확하게 일치하는 지그(Jig) 설계가 중요하다.

접합 공정에서 HPCB는 지그로 고정되어 있다. 그러 나 FPCB는 HPCB 위에 고정되지 않고 그대로 올리기 때문에 자유도가 많다. 즉 초음파 가진시 초음파의 진 동방향으로 FPCB가 움직이며 이는 FPCB의 밀림 현 상을 초래하여 미세피치 적용이 어렵고, 초음파 에너지 가 반감되는 현상에 의해 접합이 어렵다. 따라서 Fig. 8에서와 같이 접합 Head가 FPCB에 압력을 가한 후 초음파 가진 이전에 특정시간동안 지연시간이 필요하 다. 여기서 지연시간은 초음파 에너지 전달과 정렬에 중요한 변수가 되며 접합압력과 밀접한 관련이 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 접합단면

본 연구에서 FPCB(Au Bump)와 HPCB(Au Bump) 를 접착제(ACA, NCA) 없이 특정 공정조건에 따라 직 접(Direct) 접합한 결과 Fig. 9와 같이 접합이 잘 이 루어 진 것을 볼 수 있었다. 이때 접합된 시편들의 접합 여부를 확인하기 위해 몰딩된 시편들을 Grinding, Polishing 후 광학 현미경으로 단면을 관찰 하였다. 형 성된 계면층은 총 7층이며 FPCB의 5층과 (Au Plating, Ni · Base Copper + Plate, Polyimide Film, Ni · Base Copper + Plate, Au Plating), HPCB의 2층 (Au Plating, Ni) 순으로 관찰된다. 결과에서와 같이 FPCB와 HPCB의 Bump에 박막 증착된 Au층이 접 합시간(0.5, 1.0, 1.5, 2.0sec)에 따라 접합Head의 압력 및 초음파 진동에 의해 서로 확산되면서 Au 박막 층이 일정량 제거 및 혼합 될 것이라 예상했으나 Au 박막층은 사라지지 않고 혼합층이 없이 접합이 이루어 진 것을 알 수 있었다.

접합된 계면 Fig. 9 (b), (c)는 FPCB·HPCB 경계 면이 서로 밀착이 되어 비어있는 공간 없이 접합이 잘 이루어진 것을 알 수 있다. 반면 Fig. 9 (a), (d)는 경계면에 비어있는 공간이 보인다. (a) 경우는 FPC



B·HPCB 접합에 필요한 시간이 부족하여 경계면에서 접합면이 생성되는 도중에 중단되었고, (d) 경우는 오 히려 접합 시간이 초과하여 이미 접합된 면이 생성되었 지만 이후 초과된 시간으로 접합면이 깨진 것을 확인할 수 있었다.

3.2 접합강도

초음파 접합시간을 0.5, 1.0, 1.5, 2.0sec 로 변화 시키며 40kHz의 주파수로 FPCB와 HPCB를 접합하 였다. Fig. 10은 본 연구에서 접합강도 측정에 사용된 Instron사(社) 만능 재료시험기 이다. 범용 시험기로 한 프레임 내에서 인장 및 압축 시험모드를 사용할 수 있고 일부 프레임에 대해 리버스 스트레스 시험을 할 수 있다.

3.2.1 필강도(Peel strength)실험

필강도 실험은 서로 다른 물질 사이에서 작용하는 힘 즉 접착력을 알 수 있으며 이는 필강도로 표현할 수 있 다. 현재 FPCB 접합강도 측정에 대표적인 평가방법이 고 산업현장에서 요구하는 접합강도는 0.6kgf이다. 본



Fig. 10 The universal material tester



Fig. 11 Detachment test configuration



연구에서 접합된 시편들의 접착력을 알아보기 위해 Fig. 11과 같이 필강도 (접착)실험을 진행하였고, 이 때 속도는 0.1mm/sec이다. Fig. 12는 필강도 결과 값이다.

그림에서와 같이 접합시간에 따라 각각의 필강도를 (3.49N, 2.76N, 3.53N, 8.6N) 알 수 있었다. 특히 접합시간이 2sec일때 필강도가 8.6N(≒0.842kgf)으 로 상대적으로 가장 높은 것을 알 수 있었다(Fig. 12 (d)). 그러나 접합부가 다른 시편들에 비해 약2sec정 도 빠르게(10.8sec) 절단된 것을 알 수 있었다. 이것 은 긴 접합시간에 따라 계면의 마찰이 심해져 접합부에 마모가 발생되어 순간적인 접합강도는 좋으나 긴 접합 시간에 따라 계면의 마찰이 심해져 접합부에 마모가 발 생되어 순간적인 접합강도는 좋으나 신뢰성(수명)에 영 향을 줄 것으로 영향을 줄 것으로 사료된다.

3.2.2 전단강도(Shear Strength) 실험

인장강도 실험은 물질의 자체 강도 즉 응집력을 알 수 있으며 이는 전단강도로 표현할 수 있다. FPCB의 접합강도는 일반적으로 필시험 결과를 신뢰하지만 사용 특성상 Fig. 13과 같이 전단 방향으로 힘이 많이 작용 된다. 따라서 접합된 시편들의 응집력을 알아보기 위해 전단(인장)실험을 진행하였고, 이때 속도는 0.05 mm/sec 속도이다.

56



Fig. 13 Tensile test configuration



Fig. 14는 전단강도 결과 값이다. 그림에서와 같이 접 합시간에 따라 각각의 전단강도를(64N, 73N, 81.5N, 76N) 알 수 있었다. 특히 접합시간이 1.5sec 일때 전 단강도가 81.5N(≒7.987kgf)으로 상대적으로 가장 높은 것을 알 수 있었다(Fig. 14 (c)). 그러나 접합시 간이 2sec인 경우는 접합강도가 76N으로 낮아지는 것 을 알 수 있었다(Fig. 14 (d)). 이는 3.2.1.절에 언급 한 바와 같이, 초음파 에너지가 발생되면 초음파 혼 전 체가 진동을 하게 되어 접합면들에 마찰이 생기면서 국 부적으로 접합이 된다. 접합시간이 길어지면 계면의 마 찰이 심해져 마모가 전단강도가 떨어지는 현상으로 판 단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 FPCB Au bump와 HPCB Au bump를 열과 접착제(ACA, NCA) 없이 접합하기 위 한 연구를 진행하였고 산업현장에서 요구하는 목표 접 합강도(필강도)인 6.12N(≒0.6kgf)를 가능하게 한 공 정을 연구하였다. 따라서 산업현장에서 요구하는 필 강 도와 초음파 접합 시간이 짧아질수록 생산 수율은 증가 하기 때문에 고연성 도금된 FPCB Au bump와 무전 해 도금된 HPCB Au bump 사이의 초음파 접합을 위 한 최적 인가 접합시간은 2sec 임을 알 수 있다. 마지막으로 횡방향 초음파 진동을 이용할 때 문제점 으로 지적되는 것으로 칩과 기판의 상호 평탄도이다. 즉, 금속 PAD가 um size이기 때문에 I/O Pin Pitch 간격이 보다 작을 경우 문제가 발생할 수 있다. 그러므 로 Bump와 재료의 형상에 따른 대칭적이며 정밀 정밀 도를 허용 오차 내의 진동이 보장되는 정밀 혼의 설계 와 접합 시 초음파 가진 전후의 지연시간이 접합결과에 중요한 인자임을 알 수 있었다. 추후 신뢰성(수명)을 높이는 공정연구가 추가적으로 진행되어지면 관련 산 업의 초음파 금속 Direct 접합 장비 및 공정분야 적용 이 가능할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(10890)과 국가 플랫폼 기술개발사업 및 국민대학교의 지원을 받았음.

- 참 고 문 헌
- J.M. Koo and S.B Jung: "Interfacial Reaction and Bump Shear Property of Electroplated Sn-37Pb Solder Bump with Ni Under Bump Metallization during Multiple Reflows", Adv. Mater. Research 15-17, (2006) 181
- J.W. Kim, Y.C. Lee, D.G. Kim and S.B. Jung, "Reliability of Adhesive Interconnections for Application in Display Module", Microelectron. Eng., 84 (2007). 2691
- Kim. Gyu-Seok, Lee. Yeong-U, Hong. Seong-Jun, Lee. Gi-Ju, Jeong. Jae-Pil, "Ultrasonic bonding of flexible to rigid PCB ", Proceedings of the KWS Conference, pp.172–174, October 2006 (in Korean)
- H. Maruo, Y. Seki and Y. Unami, "Development of Ultrasonic Flip Chip Bonding for Flexible Printed Circuit", Proceeding of HDP'04, 2004, 307
- K. Tanida, M. Umemoto, Y. Tomita, M. Tago, R. Kajiwara, Y. Akiyama and K. Takahashi, "Au Bump Interconnection with Ultrasonic Flip-Chip Bonding in 20um Pitch", Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003), 2198
- M. Umemoto, K. Tanida, Y. Tomita, and K. Takahashi, "Non-metallurgical bonding technology with super-narrow gap for 3D stacked LSI," Proc. of Electronic Components and Technology, 285–288, Dec. 2002
- M. Tago, Y. Tomita, Y. Namoto, K. Tanida, M. Umemoto. and K. Takahashi, "Superfine flip-chip bonding technology utilizing tin-capped Cu bumps in 20um-pitch," Tech. Digest, 6th VLSI Pakaging Workshop of Japan, Kyoto, Japan, 161-164, 2002. 19–2 (2001)atical Theory of Heat Distribution

during Welding and Cuttin, 200-207

- C. H. Tsan, M. A. Schimidt, and S. M. Spearmg, "Fabrication process and plasticity of gold-gold thennocompression bonds," Proc. of the 6th International Symposium on Semiconductor Wafer Bonding Science, technology and Applications, 1–8, 2001
- M. Umemolo, Y. Tomita, T. Morifuji, T. Ando, T. Sato, and K. Takahashi, "Superfine flip-chip interconnection in 20um-pitch utilizing reliable microthin underfill technology for 3D stacked LSI," Proc. of the 52nd Electronic Components Technology, 1454– 1459, 2002

4