

## 연성인쇄회로기판 상에 Au 스테드 플립칩 범프의 초음파 접합

구자명 · 김유나 · 이종범 · 김종웅 · 하상수 · 원성호<sup>1</sup> ·  
서수정 · 신미선<sup>2</sup> · 천평우<sup>2</sup> · 이종진<sup>2</sup> · 정승부\*

성균관대학교 신소재공학부

<sup>1</sup>성균관대학교 마이크로전자패키징사업단

<sup>2</sup>삼성전기(주)

## Ultrasonic Bonding of Au Stud Flip Chip Bump on Flexible Printed Circuit Board

Ja-Myeong Koo, Yu-Na Kim, Jong-Bum Lee, Jong-Woong Kim, Sang-Su Ha,  
Sung-Ho Won<sup>1</sup>, Su-Jeong Suh, Mi-Seon Shin<sup>2</sup>, Pyoung-Woo Cheon<sup>2</sup>,  
Jong-Jin Lee<sup>2</sup>, and Seung-Boo Jung\*

School of Advanced Materials Science and Engineering, Sungkyunkwan University,

300 Cheoncheon-dong, Jangan-gu, Suwon 440-746, Republic of Korea

<sup>1</sup>Micro Electronic Packaging Consortium, Sungkyunkwan University,

300 Cheoncheon-dong, Jangan-gu, Suwon 440-746, Republic of Korea

<sup>2</sup>PKG Development Group, Samsung Electro-Mechanics Co. Ltd.,

581 Myunghak-li, Dong-myon, Yeongi-gun,

Chungcheongnam-do 339-702, Republic of Korea

**초 특:** 본 연구의 목적은 OSP, 전해 Au과 무전해 Ni/Au로써 표면처리를 달리한 연성회로기판 상에 Au 스테드 플립칩 범프의 초음파 접합 가능성을 연구하는 것이었다. Au 스테드 범프는 표면처리 방법에 상관없이 성공적으로 연성회로기판의 패드 상에 초음파 접합되었다. 접합 강도는 접합 시간에 민감하게 영향을 받았다. 접합 시간이 길어짐에 따라 접합 강도는 증가하였으나, 2초 이상의 접합 시간에서는 이웃 범프끼리 단락되는 bridge 현상이 발생하였다. 최적 접합 조건은 OSP 처리된 기판 상에 0.5초간 초음파 접합 하는 것이었다.

**Abstract:** This study was focused on the feasibility of ultrasonic bonding of Au stud flip chip bumps on the flexible printed circuit board (FPCB) with three different surface finishes: organic solderability preservative (OSP), electroplated Au and electroless Ni/immersion Au (ENIG). The Au stud flip chip bumps were successfully bonded to the bonding pads of the FPCBs, irrespective of surface finish. The bonding time strongly affected the joint integrity. The shear force increased with increasing bonding time, but the 'bridge' problem between bumps occurred at a bonding time over 2 s. The optimum condition was the ultrasonic bonding on the OSP-finished FPCB for 0.5 s.

**Keywords:** Ultrasonic bonding, Au stud bump, flexible printed circuit board (FPCB), surface finish, electroless Ni/immersion Au (ENIG), organic solderability preservative (OSP), electroplated Au, die shear test

\*Corresponding author  
E-mail: sbjung@skku.ac.kr

## 1. 서 론

삶의 질 향상에 따른 휴대형 멀티미디어 기기 및 디지털 컨버전스 제품에 대한 소비자들의 수요 및 관심이 높아짐에 따라 고성능 마이크로프로세서, 대용량 저장매체 그리고 경박단소화된 다기능 전자기기에 대한 개발의 필요성이 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 신뢰성과 전기적 성능이 우수한 동시에 생산 단가가 낮은 전자 패키징 기술에 대한 요구가 증가하고 있다. 한 예로 과거의 휴대폰은 단순한 음성이나 문자를 주고받을 수 있는 기기에 불과하였으나, 현재의 휴대폰은 이러한 기본 기능은 물론 게임기, 캠코더, 카메라, 저장장치, 영상기기 그리고 화상통화에 이르기까지 복합적인 기능을 수행하고 있지만 그 크기는 오히려 작아졌거나 거의 유사하고 가격은 오히려 낮아져서 대중화 되었다.<sup>1)</sup> 이러한 휴대형 멀티미디어 복합 기기들의 발전은 기존의 와이어 본딩 기술의 한계를 넘어 더 빠르고, 더 작으며, 더 높은 방열 특성을 갖고, 더 낮은 소비 전력을 갖는 플립칩 접합 기술에 대한 수요를 증가시키고 있다.<sup>2)</sup> Prismark 조사에 의하면, 세계 플립칩 시장 규모는 2001년 411만 웨이퍼에서 2005년 2,460만 웨이퍼로 급격하게 증가하였다.<sup>3)</sup>

주요한 플립칩 접합 기술은 솔더, 접착제 또는 초음파를 이용하여 접합하는 방법 등이 있다. 솔더 범프는 우수한 기계적·전기적 특성을 가지고 있으나, 접합 공정 또는 사용 환경 중에 취약한 금속간 화합물이 생성 및 성장하는 문제점을 가지고 있으며, 이러한 문제점은 피치가 미세화 됨에 따라 접합 품질 저하에 더욱 크게 영향을 끼치는 것으로 보고되고 있다.<sup>4)</sup> 이에 반해, 이방성 전도성 접착제 (ACA: anisotropic conductive adhesive) 또는 비전도성 접착제 (NCA: non-conductive adhesive)를 이용하는 adhesive 법은 금속간 화합물 성장에 따른 취성 파괴는 예방할 수 있지만, 습윤 분위기나 열충격 환경 내에서 신뢰성이 낮은 문제점이 있다.<sup>5)</sup> 최근 들어, 이러한 접합법들의 문제점들을 해결할 수 있는 방법으로서 초음파 접합법이 부각되고 있다. 초음파 접합법은 초음파 진동을 이용하여 상온에서 수 초 이내에 다수의 범프를 기판과 동시에 직접 접합시키는 방법으로서, 플럭스나 세정제 사용이 없고 가스 발생이 없다는 점

에서 친환경적 공정이 가능하다는 장점들을 가지고 있다.<sup>6)</sup> 특히, 초음파 접합법은 낮은 온도와 압력 하에서 정밀한 접합이 가능하고, 무플럭스 및 무세정 공정으로서 시편의 오염이 전무하기 때문에, 카메라 모듈과 평판 디스플레이를 비롯하여 칩 적층에 매우 유용한 접합법이라 할 수 있다.<sup>7)</sup> 하지만 초음파 접합법은 솔더를 사용하지 않는 고상 접합법이기 때문에 범프의 높이 차이에 매우 민감하다. 특히, 웨이퍼 적층 공정에 사용할 경우, 범프의 높이를 맞추기 위한 coining 공정 시 높은 압력으로 인하여 웨이퍼가 손상 또는 파괴될 위험을 가지고 있다. Au 스테드 범프는 금의 우수한 연성과 그 형상이 끝이 뾰족한 항아리 형상이기 때문에 적은 압력으로도 변형이 용이한 장점을 가지고 있다.<sup>8)</sup> 또한 Au 스테드 범프의 경우 기존의 wire bonder를 그대로 또는 약간의 수정만으로도 사용이 가능하기 때문에 설비 투자에 대한 부담이 적으며, 본딩 와이어 두께 및 공정 변수를 변화시킴으로써 60  $\mu\text{m}$  피치 이하의 미세피치에 대한 적용이 가능하며, 특히 200  $\mu\text{m}$  이하의 플립칩 패키지의 경우 생산 비용 면에서 유리한 장점을 가지고 있다. 연성인쇄회로기판 (FPCB: flexible printed circuit board)은 우수한 굴곡성과 경량인 장점으로 인하여 휴대형 전자기기에 대한 사용량이 증가하고 있는 추세이다. 따라서 본 연구에서는 연성회로기판 상에 다양한 표면 처리 공정을 수행한 후, Au 플립칩 스테드 범프를 초음파 접합하여 그 접합 특성과 산업적 이용 가치를 연구하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시편 준비

그림 1은 본 연구에서 사용된 플립칩 범프의 제조 공정을 보여준다. 본 연구에서는 100 nm 두께의  $\text{SiO}_2$ 가 형성된 웨이퍼를 사용하였다. Ti, Cu와 Au 층은 각각 웨이퍼와 Cu 사이의 접착력 향상층, 전도층과 표면 산화 방지층의 역할을 수행하기 위해서 형성시켰다. 칩의 크기는  $7 \times 7 \text{ mm}^2$ 이었고, peripheral array 방식으로 173 개의 범프가 스테드 범핑되었다. 이때 범프의 최대 반지름의 크기는  $\phi 40 \times 35 \text{ (H)} \mu\text{m}^3$ 이었다. 하부 기판은 bismaleimide triazine (BT) 기판을 사용하여  $20 \times 20 \times 0.2 \text{ mm}^3$ 의 크기로 제조하였다. 범프 간 피치 크기는 60  $\mu\text{m}$ 이었다.

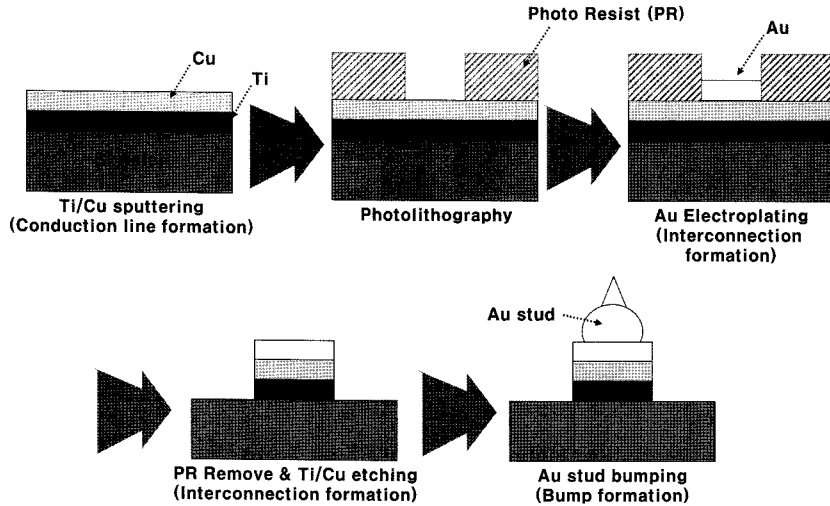


Fig. 1. Fabrication method of Au-stud flip chip bump used in this study.

## 2.2 초음파 접합

Coining 공정과 초음파 접합은 플립칩 접합 장치 (M-9, Lourier Co., U.S.A.)를 사용하여 수행되었다. Coining 공정을 최적화하기 위해서, 접합 압력을 달리하여 플립칩 패키지를 수직 방향으로 10 초간 눌러 범프를 변형시킨 후, 그 변형의 정도를 주사전자현미경 (SEM: Scanning Electron Microscopy)을 통하여 관찰하였다. Coining 공정 후, 접합 시간을 0.1 초부터 2 초까지 달리하여 초음파 접합을 수행하였으며, 이때 파워, 주파수와 접합 압력은 각각 16 W, 40 kHz와 2 kgf로 고정하였다.

## 2.3 접합부 단면 관찰

초음파 접합된 플립칩 패키지를 수직으로 고정하기 위해서, 에폭시 수지를 사용하여 마운팅 (mounting)하였다. 마운팅된 시편은 연마지와 알루미나 파우더를 사용하여 접합부 단면이 노출되도록 폴리싱을 실시하였다. 폴리싱된 플립칩 범프 단면은 특정한 에칭 공정 없이 백금 코팅한 후, 주사전자현미경 (SEM: scanning electron microscopy)의 후방산란전자이미지 (BSI: back-scattered electron image) 모드를 사용하여 접합부 단면을 관찰하였다.

## 2.4 전단 시험 및 파면 관찰

초음파 접합 후 접합 조건에 따른 플립칩 범프

와 하부 기판 사이의 접합 강도의 변화를 관찰하기 위해서, 접합 시험기 (PTR-1000, Rhesca Co., Japan)를 사용하여 다이 전단 시험을 실시하였다. 최대 측정 하중이 5 kgf인 로드셀은 측정 전에 1 kgf 표준 분동을 사용하여 교정하였다. 전단 속도와 높이는 각각 0.2 mm/s와 5  $\mu$ m로 고정하였다.

전단 강도 변화의 원인을 관찰하기 위해서 전단 시험 후 파단면을 SEM을 사용하여 관찰하였으며, 에너지 분산형 X-선 분광기 (EDS: energy dispersive X-ray spectroscopy)를 사용하여 파단면을 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 Coining 공정

스타드 범프의 끝단에는 뽀족한 tail이 형성되며, 이에 따라 약간의 높이 편차가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 범프 간의 높이차를 최소화하여 접합 신뢰성을 높이고, 날카로운 tail에 의한 접합 패드 표면의 손상을 방지하는 동시에, 접합 시간과 압력을 최소화하기 위해서 초음파 접합 전에 coining 공정을 수행하였다. 그림 2는 coining 압력에 따른 coining 공정 후의 스타드 범프의 형상을 보여준다. 압력이 증가함에 따라 범프의 변형률은 증가하였으며, 1.5 kgf 이하로 coining 하였을 경우에는 완벽하게 범프가 균일화 되지 않았으며, 반

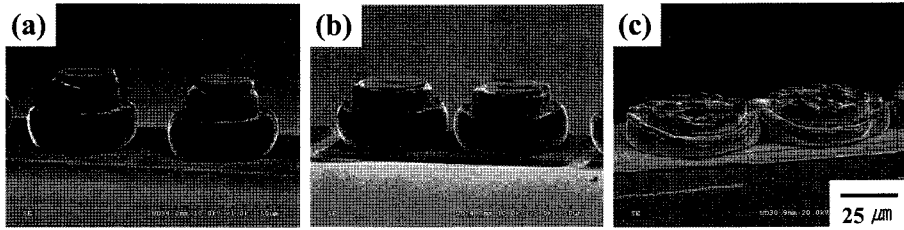


Fig. 2. SEM micrographs of Au-stud bumps after coning process at 1.5 kgf (a), 2 kgf (b) and 2.5 kgf (c) for 10 s.

대로 2.5 kgf 이상의 압력 하에서는 범프가 과다하게 변형이 되어 범프와 범프가 단락되는 bridge 현상이 발생함을 관찰할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제조한 Au 스테드 범프의 coning 최적 조건은 2 kgf의 하중으로 10초간 가해주는 것임을 알 수 있었다.

### 3.2. 전단 강도

그림 3은 표면 처리를 달리한 FPCB 상에 Au 스테드 범프를 접합 시간을 달리하여 초음파 접합한 후, 다이전단강도를 측정할 결과이다. 접합 강도는 접합 시간이 증가함에 따라 매우 민감하게 변화하였다. 전해 Au 도금된 FPCB의 경우, 접합 시간이 0.1 초에서 2 초로 증가함에 따라 접합 강도는 13.9 N에서 22.2 N으로 지속적으로 증가하였다. 이러한 결과는 Luk의 사전 시험 결과와 일치하였다.<sup>8)</sup> 중형상의 스테드 범프는 초음파 접합 시 전해도금

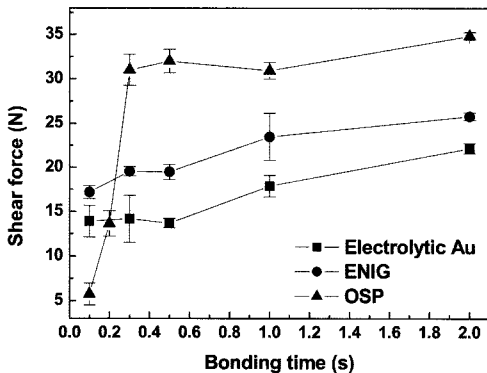


Fig. 3. Die shear strength of Au-stud bumps ultrasonically bonded to FPCBs at a bonding load of 2 kgf for different bonding times. Three different surface finishes were employed: electroplated Au, ENIG and OSP.

범프보다 더 쉽게 변형이 될 수 있기 때문에, 접합 시간이 증가함에 따른 접합부의 면적 증가에 의한 것으로 사료된다.

ENIG 도금 기판의 초음파 접합 특성은 앞서 언급한 Au 도금 기판의 결과와 거의 유사한 경향을 나타내었다. 접합 시간이 0.1 초에서 2초로 증가함에 따라 접합 강도는 17 N에서 26 N으로 지속적으로 증가함을 보였다. 하지만 접합 시간이 동일 하였을 때, ENIG 도금기판 상에 접합된 범프의 접합 강도가 전해 Au 도금된 기판의 것보다 더 높았다. 연성을 가지고 있는 FPCB는 초음파 접합 시 인가된 하중에 의해서 변형을 하게 되며, Ni의 강성이 Au나 Cu의 강성보다 높다.<sup>9)</sup> 따라서 ENIG 기판의 경우 단단한 Ni 층이 초음파 접합 시 모루 역할을 하게 되어 스테드 범프의 변형과 접합을 좀 더 용이하게 할 수 있었고, Ni과 Au의 상호 확산에 의해 더 건전한 접합부가 형성되어 접합 강도가 향상되었을 것으로 사료된다.

OSP 처리는 일반적으로 구리 패드의 산화를 방지하기 위해서 유기물을 얇게 코팅하는 방법으로, 제조 단가가 낮고 공정이 간단한 이점이 있으나 솔더링 시 접합부 내에 기공이 발생하는 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 가열, 산세 처리 또는 별도의 유기물 제거 공정 없이 성공적으로 Au 스테드 범프와 OSP 처리된 Cu 기판을 직접 접합할 수 있었다. 일반적으로 초음파 접합 시 인가된 압력과 초음파 진동은 빠르게 표면에 존재하는 산화물이나 오염물들을 제거시킬 수 있다. 또한 상온에서 접합이 이루어지기 때문에, 접합 시 파괴된 OSP 층 사이로 산화되어 미접합부가 발생하는 문제점도 전혀 발생하지 않았다. 이는 초음파 플럼칩 접합용 기판 제조 시, OSP 표면처리법을 적용할 수 있음을 보여준다.

접합 시간이 0.1초에서 2초로 증가함에 따라 접

합 강도는 5.7 N에서 34.8 N으로 증가하였다. 접합 시간이 0.1초에서 0.5초까지 증가함에 따라 접합 강도는 급격하게 증가하였으나, 그 이후부터는 포화되어 증가폭이 크게 감소함을 알 수 있었다. 초음파 접합 시간이 짧아질수록 생산 수율은 증가하기 때문에, OSP 처리된 기판 상에 Au 스테드 범프의 초음파 접합 시, 최적 시간은 0.5 초임을 알 수 있었다. 비록 접합 시간이 0.3 초미만으로 짧았을 경우에는 전해 Au 또는 ENIG 도금 기판보다 접합 강도가 낮았지만, 접합 시간이 증가함에 따라 접합 강도는 급격하게 증가하여, 접합 시간이 0.5 초 이상일 때는 다른 표면처리보다 우수한 접합 강도를 보여주었다. 이는 OSP 층이 제거되고, Au와 Cu가 반응하는데 좀 더 많은 에너지가 소요되기 때문으로 예상된다. 일반적으로 금속간 결합

의 경우, 접합 계면에 일정한 두께의 금속간화합물이 생성되었을 경우, 건전한 접합부가 형성될 수 있다. Au-Cu 이원계 상태도를 비추어볼 때, 410 °C 미만의 온도에서는 Au<sub>3</sub>Cu, AuCu와 AuCu<sub>3</sub>라는 세 가지 금속간화합물이 생성될 수 있다.<sup>10)</sup> 비록 SEM의 분해능으로는 관찰할 수 없었지만, Au 스테드 범프와 OSP 처리된 Cu 기판을 상온에서 초음파 접합하였기 때문에 접합 계면에 이러한 금속간화합물 층이 생성되었고, 이로 인해 다른 표면처리 기판보다 높은 접합 강도를 얻을 수 있었던 것으로 사료된다.

3.3 접합 계면 관찰

표면 처리와 접합 시간에 따른 접합 강도 변화의 원인을 규명하기 위해서, 그림 4와 같이 접합부

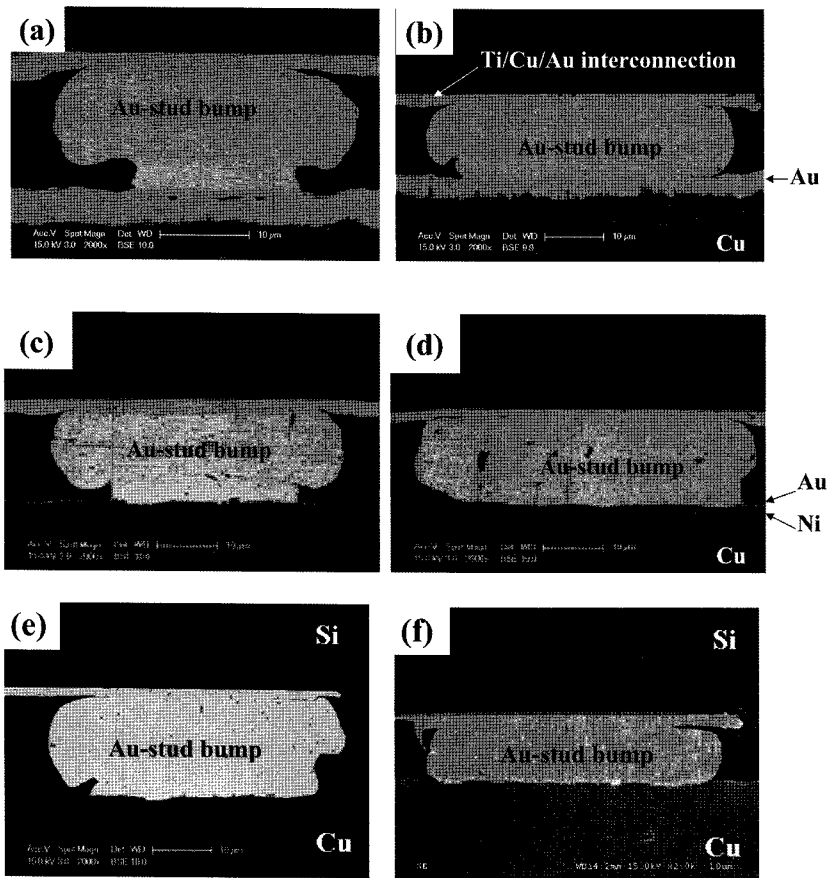


Fig. 4. Cross-sectional SEM micrographs of Au-stud bumps ultrasonically bonded with electroplated Au (a,b), ENIG (c,d) and OSP (e,f) for 0.1 s (a,c,e) and 2 s (b,d,f).

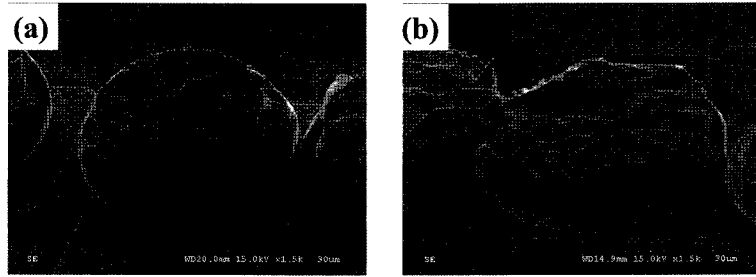


Fig. 5. Fracture surfaces of Au-stud bumps die-sheared after ultrasonic bonding with electroplated Au for 0.1 s (a) and 2 s (b).

의 단면을 주사전자현미경을 사용하여 관찰하였다. 접합 시간이 증가함에 따라 접합부의 변형률이 증가하여, 접합부의 높이는 낮아지고 면적은 증가함을 보였다. 본 연구에서 수행한 Au 전해도금의 경우 결정립 크기가 상대적으로 조대하였으며, 이에 따라 ENIG 도금이나 Cu 원판의 조도보다 거친 표면을 얻었다. 따라서 Au 전해 도금된 기판을 사용하여 0.1 초간 접합하였을 경우 표면의 요철과 범프의 변형이 부족하였기 때문에 접합 계면에 미접합부가 관찰되었다. 이러한 미접합부의 생성은 접합 면적을 감소시키기 때문에, 범프의 접합 강도를 저하시킨 요인으로 작용하였을 것으로 판단된다. 하지만, 접합 시간이 증가함에 따라 Au 범프와 표면처리부가 변형되어 이러한 영역이 점차 감소하여, 2초간 접합하였을 경우 SEM의 해상도 내에서 미접합부나 기공을 관찰할 수 없었다.

### 3.4 파면 관찰

전단 시험 시 균열은 가장 약한 층이나 계면에서 발생하며, 이는 Au 범프의 기계적 특성에 영향을 끼치게 된다. 따라서 파괴 모드 분석은 전단 시험 시 중요한 평가 기준으로서 활용될 수 있다. 그림 5는 전해 Au 도금된 FPCB 기판과 초음파 접합된 스타드 범프의 전단 시험 후, 파면을 관찰한 SEM 사진이다. 접합 시간과 표면 처리 조건에 상관없이 접합 계면 부근에서 파괴가 일어났다. 이는 앞서 언급한 바와 같이, 접합부 면적의 증가와 계면에 생성된 화합물에 따라서 접합 강도가 충분히 변할 수 있음을 의미한다.

접합 시간이 증가함에 따라 접합부의 면적이 증가한 것을 관찰할 수 있었으며, 2초간 접합하였을 경우에는 범프 간에 “bridge”가 발생하였다. 앞서

언급한 바와 같이 접합부의 접합 강도는 접합 시간이 증가함에 따라 지속적으로 증가함을 보였다. 따라서 60  $\mu\text{m}$  피치로 설계된 전자 패키지에 지름이 40  $\mu\text{m}$ 인 스타드 범프를 적용시키기 위한 최적 접합 시간은 1초임을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 표면처리와 접합 시간을 달리하여, Au 플립칩 스타드 범프를 FPCB의 패드에 초음파 접합한 후, SEM을 통한 접합부 관찰과 다이 전단시험을 통해서 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

Au 스타드 범프는 전해 Au 도금, ENIG 도금 및 OSP 처리된 FPCB 상의 접합 패드에 성공적으로 접합되었으며, 접합 강도는 접합 시간에 매우 민감하게 변화하였다. 접합 시간이 증가함에 따라 접합부의 높이는 감소하였고, 면적은 증가하였으며, 이에 따라 접합 강도가 증가하였다. 하지만, 2 초 이상의 접합 시간에서는 “bridge” 현상이 발견되었으며, 이에 따라 표면에 Au가 도금된 두 기판에 대한 최적 접합 시간은 1초임을 알 수 있었다. OSP 기판에 접합한 경우 가장 높은 접합 강도를 얻을 수 있었으며, 0.5 초 이상의 접합 시간에서 접합 강도가 포화됨에 따라 최적 접합 시간은 0.5 초임을 알 수 있었다. 초음파 접합 후, 다이 전단 시험 시 파괴는 접합 계면 부근에서 발생하였다.

## 감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업 (RTI04-03-04) 지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

1. 한국전자산업진흥회: 전자정보센터 (<http://www.eic.re.kr>).
2. J.M. Koo, J.H. Moon and S.B. Jung, "Ultrasonic Bonding of Au Flip Chip Bump for CMOS Image Sensor", J. Microelectronics & Packaging Society, 14, 19 (2007), (in Korean).
3. Materials & Components Roadmap RFP Report, Korea Industrial Technology Foundation (2007. 03.) (in Korean).
4. 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, 181 (2006).
5. 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, 2691 (2007).
6. H. Maruo, Y. Seki and Y. Unami, "Development of Ultrasonic Flip Chip Bonding for Flexible Printed Circuit", Proceeding of HDP'04, 307 (2004).
7. K. Tanida, M. Umemoto, Y. Tomita, M. Tago, R. Kajiwara, Y. Akiyama and K. Takahashi, "Au Bump Interconnection with Ultrasonic Flip-Chip Bonding in 20  $\mu\text{m}$  Pitch", Jpn. J. Appl. Phys. 42, 2198 (2003)
8. C.F. Luk, Y. C. Chan and K. C. Hung, "Development of Gold to Gold Interconnection Flip Chip Bonding for Chip on Suspension Assemblies", Microelectron. Relia., 42, 381 (2002).
9. C.R. Barrett, W.D. Nix, A.S. Teleman, "The principles of engineering materials", Prentice-Hall New Jersey (1973) p. 540-541.
10. T.B. Massalski: "Binary Alloy Phase Diagram", American Society for Metals, OH (1986) p. 358-361.