

## CMOS 이미지 센서용 Au 플립칩 범프의 초음파 접합

구자명 · 문정훈<sup>1</sup> · 정승부\*

성균관대학교 신소재공학부

<sup>1</sup>수원과학대학 기계과

### Ultrasonic Bonding of Au Flip Chip Bump for CMOS Image Sensor

Ja-Myeong Koo, Jung-Hoon Moon<sup>1</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>Department of Electronics Packaging, Suwon Science College,  
San9-10, Botong-ri, Jeongnam-myun, Hwasung-si, Gyeonggi-do 445-742, Republic of Korea

**초 록 :** 본 연구의 목적은 CMOS 이미지 센서용 Au 플립칩 범프와 전해 도금된 Au 기판 사이의 초음파 접합의 가능성 연구이다. 초음파 접합 조건을 최적화하기 위해서, 대기압 플라즈마 세정 후 접합 압력과 시간을 달리하여 초음파 접합 후 전단 시험을 실시하였다. 범프의 접합 강도는 접합 압력과 시간 변수에 크게 좌우되었다. Au 플립칩 범프는 상온에서 성공적으로 하부 Au 도금 기판과 접합되었으며, 최적 조건 하에서 접합 강도는 약 73 MPa이었다.

**Abstract :** This study was focused on the feasibility of ultrasonic bonding of Au flip chip bumps for a practical complementary metal oxide semiconductor (CMOS) image sensor with electroplated Au substrate. The ultrasonic bonding was carried out with different bonding pressures and times after the atmospheric pressure plasma cleaning, and then the die shear test was performed to optimize the ultrasonic bonding parameters. The bonding pressure and time strongly affected the bonding strength of the bumps. The Au flip chip bumps were successfully bonded with the electroplated Au substrate at room temperature, and the bonding strength reached approximate 73 MPa under the optimum conditions.

**Keywords :** Ultrasonic bonding, CMOS image sensor, flip chip, electroplated Au bump, die shear test, bonding pressure, bonding time

### 1. 서 론

현재 휴대폰은 단순한 음성 및 문자 전송 기능은 물론 휴대형 게임기, 캠코더, 카메라, 저장장치 및 영상기기에 이르기까지 복합적인 기능을 수행한다. 이러한 멀티미디어 기능에 대한 요구가 증가함에 따라 정지 화상 및 동적 화상 신호 입력을 수행하고 있는 카메라 모듈에 대한 중요성이 점차

부각되고 있다. KETI 조사에 의하면, 국내 카메라 모듈 시장 규모는 2003년 867억 원에서 2006년 1,693억 원으로 연평균 약 19.4% 증가하고 있는 추세이다.<sup>1)</sup> 휴대폰 부품으로서 주로 사용되어져 왔던 상보성 금속 산화물 반도체 (CMOS: complementary metal oxide semiconductor) 이미지 센서는 자동차가 고급화됨에 따라 후방 감시 및 사이드 밀러 보조용 전장 부품으로 장착될 전망이며, 향

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

후 그 수요가 더욱 증가할 것으로 예상된다. (주) 후지카메라 보고에 의하면 일본의 차량용 카메라 시장은 2004년 878억 원에서 2010년 4,130억 원으로 점진적으로 증가할 것으로 예상되며, 관련 기기들에 대한 시너지 효과는 더욱 커질 전망이다.<sup>2)</sup>

최근 휴대형 멀티미디어 기기들의 고급화 및 슬림화에 따라, 이미지 센서 칩 실장 기술도 기존의 wire bonding이나 tape automated bonding (TAB) 기술에서 플립칩 기술로 점진적으로 대체될 전망이다.<sup>3)</sup> 플립칩 패키징 기술은 솔더 범프나 Au 범프를 사용하여 면실장 (area array packaging)하는 기술로서, 다핀화 및 박형화가 유리하고 임피던스가 wire bonding 대비 1/10 이하로서 전기적 특성이 우수한 장점을 가지고 있다.<sup>4)</sup> 주요한 플립칩 패키징 기술로는 솔더 범프법, adhesive법과 초음파 접합법 등이 있으며, 표 1에 각각의 접합 방식의 특징을 나타내었다. 솔더 범프는 우수한 기계적·전기적 특성을 가지고 있으나, 사용 환경 중에 과잉으로 성장한 금속간 화합물의 취성이 문제점으로 지적되고 있으며, 이러한 문제점은 피치가 미세화됨에 따라 더욱 커질 것으로 예상된다.<sup>5)</sup> 이에 반해, 이방성 전도성 접착제 (ACA: anisotropic conductive adhesive) 및 비전도성 접착제 (NCA: non-conductive adhesive)를 이용한 adhesive 법은 금속간 화합물 성장에 따른 취성 파괴는 방지할 수 있지만, 습윤 분위기나 열충격 환경 내에서 신뢰성이 낮은 문제점이 있다. 최근 들어, 이러한 접합법들의 문제점을 해결할 수 있는 방법으로서 초음파 접합법이 부각되고 있다. 초음파 접합법은 초음파 진동을 이용하여 상온에서 수 초 이내에 다수의 범프를 동시에 기판과 직접 접합시키는 기술로서, 플럭스나 세정제 사용 및 가스 발생이 없다는 점

에서 친환경적 공정이 가능하다.<sup>6)</sup> 특히, 초음파 접합법은 낮은 온도와 압력 하에서 정밀한 접합이 가능하고, 무플럭스 및 무세정 공정으로서 시편의 오염이 전무하기 때문에, 카메라 모듈 접합에 매우 적합한 접합법이라 할 수 있다.<sup>7)</sup> 하지만 초음파 접합법은 범프의 청결 상태나 접합 조건에 크게 영향을 받으며, 초음파를 이용하여 접합된 플립칩 범프의 신뢰성에 관한 연구나 보고는 아직 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 CMOS 이미지 센서 패키징 기술에 초음파 접합법을 적용하기 위한 기초 연구로서, 접합 압력 및 시간을 달리하여 Au 플립칩 범프를 접합한 후 기계적 특성을 연구하여 최적 조건을 도출하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 시편 준비

그림 1은 본 연구에서 사용된 플립칩과 하부 기판의 구조를 보여준다. 플립칩 패키지는 플립칩 구조의 실제 상보성 금속 산화물 반도체 (CMOS) 이미지 센서 칩을 사용하였다. 칩의 크기는  $6 \times 6 \text{ mm}^2$ 이었고, 범프는 peripheral array 방식으로 세변에 형성되었다.  $\text{SiO}_2$ , Al과 Ti-W 층은 각각 절연층 (passivation layer), interconnection 층, Al과 Au 사이의 adhesion 층이었다. 47개의 전해 도금된 Au 범프가 Al 층상에 형성되었다. 이때 Au 범프의 크기는  $110 \text{ (W)} \times 90 \text{ (D)} \times 18 \text{ (H)} \mu\text{m}$ 이었다. 하부 기판은 4인치 실리콘 웨이퍼를 사용하여 제조하였다. 웨이퍼 상에 Ti와 Cu를 각각 100 nm와 300 nm 두께로 스퍼터링 하여 증착시킨 후, 전해 도금법을 이용하여  $10 \mu\text{m}$  두께의 Au 층을 형성시켰다. 4인치 웨이퍼는 최종적으로  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  크기로 다이

Table 1. Comparisons of various flip chip bonding technologies.

	Solder bumping	Adhesive	Ultrasonic bonding
Bonding time (s)	> 120	> 15	< 1
Bonding temperature (°C)	> 230 °C	> 150°C	< 100 °C
Bondable pin count	> 1,000 pins	< 700 pins	> 700 pins
Mechanical & Electrical properties	Excellent	Bad	Good
Reliability	Excellent	Bad	Good
Material cost	High	High	Low
Running cost	High	Low	Very low

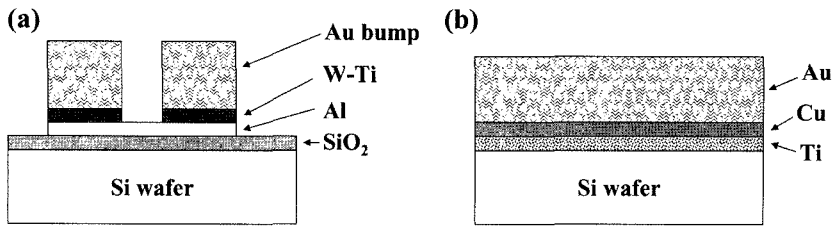


Fig. 1. Schematic diagram of (a) flip chip and (b) electroplated Au substrate used in this study.

싱 되었다.

2.2. 대기압 플라즈마 세정 및 초음파 접합

초음파 접합은 접합부 표면의 청정도와 조도에 크게 영향을 받는다. 플립칩 범프와 하부 기판 표면의 친환경적인 세정을 위하여 대기압 플라즈마 세정을 실시하였다. 사전 연구를 통하여 최적 조건을 확보하였으며, 본 연구에서 사용한 세정 조건은 표 2에 나타내었다.

세정된 표면은 활성화 되어 대기 중의 탄소 및 산소들과 쉽게 반응하여 표면이 재오염 될 수 있다.<sup>8)9)</sup> 이러한 오염을 최소화하기 위해서 클린룸 환경 하에서 표면 세정을 실시한 후 3분 이내에 초음파 접합을 실시하였다. 초음파 접합 조건은 표 3에 나타내었으며, 본 연구에서는 접합 압력과 시

간을 달리하여 초음파 접합을 실시하여 최적 조건을 확보하고자 하였다.

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. 폴리싱 된 플립칩 범프 단면은 특정한 에칭 공정 없이 백금 코팅한 후, 접합부를 관찰하기 위하여 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 범프와 하부 기판 사이의 접합 강도의 변화를 관찰하기 위해서, 접합 시험기 (PTR-1000, Rhesca Co., Japan)를 사용하여 다이 전단 시험을 실시하였다. 최대 측정 하중이 5kgf인 로드셀은 측정 전에 1kgf 표준 분동을 사용하여 교정하였다. 전단 속도와 높이는 각각 0.2 mm/s와 15 μm로 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. 접합 압력의 영향

그림 2는 접합 압력에 따른 초음파 접합된 Au 플립칩 범프의 전단 강도의 변화를 보여준다. 접

Table 2. Conditions of atmospheric pressure plasma cleaning used in this study

Powder (W)	300
Gap distance (mm)	3.0
Temperature (°C)	21
Relative humidity (%)	25
Gas	Ar (8 slm)
Treatment time (s)	1

Table 3. Conditions of ultrasonic bonding used in this study

Constant	Frequency (kHz)	40
	Amplitude (μm)	4
	Bonding temperature (°C)	21
	Relative humidity (%)	25
Variable	Pressure (N)	10~30
	Time (s)	0.05~2

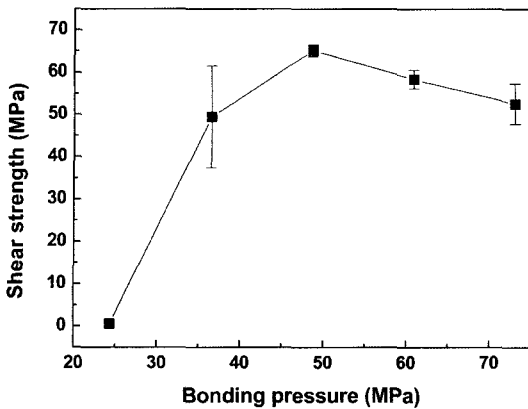


Fig. 2. Shear force variation of the Au flip chip bumps ultrasonically bonded with increasing bonding pressures for 0.5 s after the atmospheric pressure plasma cleaning with Ar gas for 1 s.

합 강도는 접합 압력에 따라 민감하게 변화하였다. 접합 압력이 10 N (약 25 MPa)에서 20 N (약 50 MPa)까지 증가함에 따라 전단강도는 증가하였고, 이후 접합 압력이 증가함에 따라 감소하였다. 20 N의 접합 압력 하에서 0.5 초간 초음파 접합하였을 때, Au 플립칩 범프의 접합 강도는 최대값 (약 65 MPa)을 나타내었다. 이는 전해 도금된 Au 범프와 Au 기판 사이의 초음파 접합에 있어서 최적 접합 압력 조건이 존재함을 보여준다.

Luk에 의하면, 스테드 Au 범프를 사용한 플립칩

의 초음파 접합에서는 접합 압력이 증가함에 따라 전단 강도가 지속적으로 증가하였으며, 본 연구에서 사용한 접합 압력 조건보다 낮은 압력에서 접합이 가능하였다.<sup>10)</sup> 전해 도금 중에는 웨이퍼 상에 발생하는 전류밀도 불균일로 인하여 범프별로 약간의 높이 차이가 발생하게 된다. 이러한 범프가 모두 접합되기 위해서는 일정한 압력 이상이 요구되며 본 연구에서는 약 20 N임을 알 수 있었다. 이에 반해, 종 형상의 스테드 범프는 압력에 의한 변형이 용이하기 때문에 적은 압력으로도 접합이 가능하였고, 압력이 증가하면 변형량이 증가하여 접합 면적이 증가하였기 때문에 전단 강도가 증가하였을 것으로 판단된다. 또한, 초음파 접합을 위해서는 에너지가 집중되는 에너지 디렉터 (energy director)가 필요하며, 플립칩에서는 Au 범프가 그 역할을 수행한다. 끝이 뾰족한 스테드 범프는 초음파 에너지의 집중이 용이하기 때문에 낮은 압력에서도 접합이 가능하였을 것으로 판단된다.

접합 압력에 따른 접합 강도 변화의 원인을 연구하기 위해서, 그림 3과 같이 압력을 달리하여 초음파 접합 후 SEM을 이용하여 접합부의 단면을 관찰하였다. 10 N의 접합 압력 하에서 초음파 접합한 Au 범프의 경우, 그림 3(a)의 A와 같이 범프와 하부 기판 사이의 미접합부가 존재함을 관찰할 수 있었다. 이러한 미접합부의 발생은 접합 면적

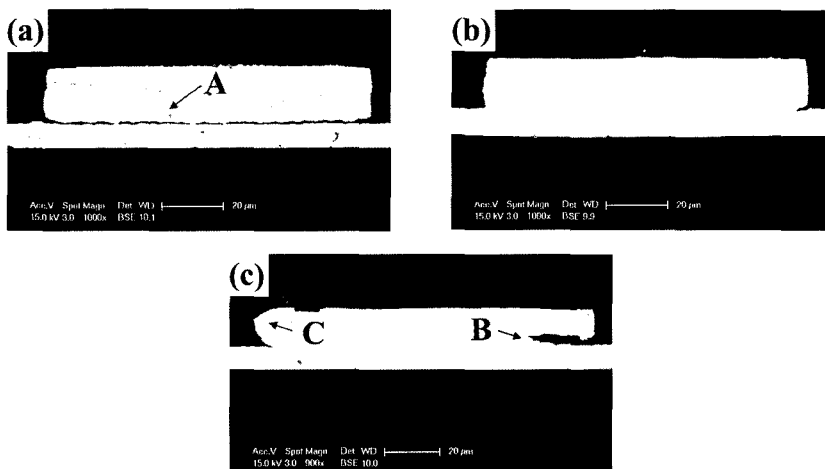


Fig. 3. Cross-sectional SEM micrographs of the Au flip chip bump after the ultrasonic bonding at bonding pressures of 10 N (a), 20 N (b) and 30 N (c) for 0.5 s.

을 감소시켰기 때문에 접합 강도가 저하되었을 것으로 사료하다. 20 N의 접합 압력 하에서 접합한 Au 범프의 경우 그림 3(b)와 같이 양호한 접합부가 형성되었음을 알 수 있었다. 하지만 30 N의 접합 압력 하에서 접합한 Au 범프의 경우, 그림 3(c)의 B와 같은 과도하게 변형된 부분이나 C와 같은 과도한 압력에 의해 발생한 접합 균열을 관찰할 수 있었다. 과도한 변형은 접합부에 잔류 응력을 증가시키며, 외부 응력이 가해졌을 때 접합 균열부는 응력 집중부로 작용하게 되어 접합 강도가 감소된 것으로 판단된다.<sup>11)</sup> 따라서 전해 도금된 Au 범프와 Au 기판 사이의 초음파 접합을 위한 최적 인가 압력 조건은 20 N (약 50 MPa) 임을 알 수 있었다.

### 3.2. 접합 시간의 영향

그림 4는 접합 시간에 따른 초음파 접합된 Au 플립칩 범프의 전단 강도의 변화를 보여준다. 전단 강도는 0.1 초간 초음파 접합하였을 때 최고값을 나타내었으며, 이후 접합 시간이 증가함에 따라 접합 강도는 감소하였다. 최대 전단 강도를 나타내었던 20 N의 접합 압력 하에서 0.1 초간 초음파 접합하였을 때, 전단 강도는 약 73 MPa이었다. 이는 전해 도금된 Au 범프의 초음파 접합에 있어서, 접합 압력뿐만 아니라 접합 시간 역시 중요한 변수임을 보여준다.

사전 연구에 따르면, 스테드 Au 범프의 초음파

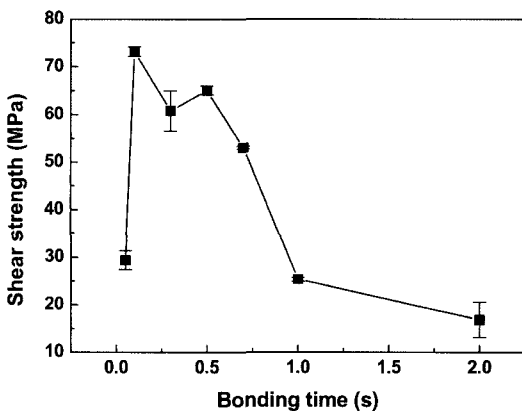


Fig. 4. Shear strength variation of the Au flip chip bumps ultrasonically bonded with increasing bonding time .

플립칩 접합에 있어서, 접합 시간이 0.5 초까지 지속되어도 접합 강도의 저하는 관찰할 수 없었다.<sup>10)</sup> 이는 앞서 언급한 바와 같이, 스테드 범프의 경우 전해 도금된 범프보다 낮은 압력 하에서 접합이 이루어지기 때문에, 접합 시간이 증가하여도 접합부 및 실리콘 웨이퍼에 균열이 발생하지 않았기 때문으로 사료된다.

접합 시간에 따른 접합 강도의 변화의 원인을 연구하기 위해서, 그림 5와 같이 접합 시간을 달리하여 Au 플립칩 범프를 초음파 접합한 후, 접합부의 단면을 SEM을 사용하여 관찰하였다. 그림 5(a)에서 보여지는 바와 같이 0.05 초 동안 초음파 접합한 경우 부분적으로 미접합된 부분을 관찰할 수 있었다. 접합 시간이 0.1 초로 증가함에 따라, 그림 5(b)에서 보여지는 바와 같이, 접합면이 구분되지 않는 완벽한 접합부가 형성되었음을 알 수 있었다. 그림 5(b)에서 A와 B로 표시된 균열이 관찰되었으나, 본 접합 조건 하에서 최대 접합 강도를 얻었음을 미루어볼 때, 이는 폴리싱 시에 발생한 것으로 사료된다. 하지만 접합 시간이 과잉으로 증가함에 따라, 그림 5(c)에서 C, D와 E로 표시된 바와 같이 실리콘 웨이퍼와 접합부에 균열이 발생한 것을 관찰할 수 있었다. 초음파 접합법은 빠른 진동을 통한 국부 가열 형태로서 접합이 이루어지기 때문에 과도한 시간동안 접합이 이루어질 경우 초음파 진동이 접합부에 응력으로 작용할 수 있다. 실리콘 웨이퍼는 충격에 매우 약하기 때문에, 이러한 진동에 의해 내부에 균열이 발생할 수 있으며, 접합부 역시 과도한 변형에 의해 균열이 생성 및 전파될 수 있다. 따라서 결함 없는 전해 도금된 Au 플립칩 범프의 초음파 접합을 위한 최적 조건은 20 N (약 50 MPa)의 접합 압력 하에서 0.1 초의 접합 시간임을 알 수 있었다.

### 3.3. 파면 관찰

전단 시험 시 균열은 가장 약한 층이나 계면에서 발생하며, 이는 Au 범프의 전단 특성을 결정하게 된다. 따라서 파괴 모드 분석은 전단 시험 시 중요한 평가 기준으로서 활용될 수 있다. 그림 6은 불충분한 초음파 에너지가 접합부에 인가되었을 때, 다이 전단 시험 후 파면을 보여주는 SEM 사진이다. 하부 기판과 플립칩 범프 모두에서 중심부 일부만이 접합된 후 연성 파괴된 형상을 관찰할

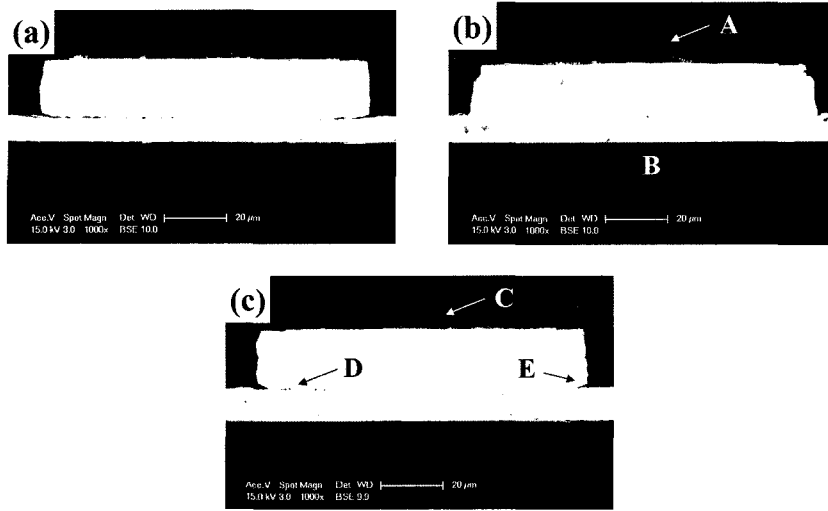


Fig. 5. Cross-sectional SEM micrographs of the Au flip chip bump after the ultrasonic bonding at 20 N for bonding time of 0.05 s (a), 0.1 s (b) and 2 s (c).

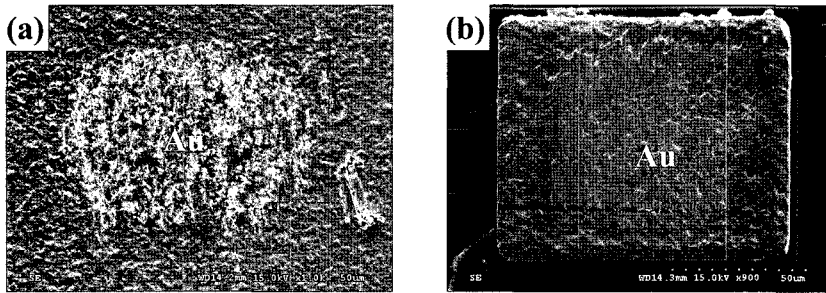


Fig. 6. Fracture surfaces of the Au flip chip bump after the ultrasonic bonding at an insufficient bonding pressure of 10 N for a bonding time of 0.5 s: (a) substrate side and (b) flip chip side.

수 있었다. 이는 접합은 이루어졌으나, 부족한 압력으로 인하여 범프의 일부분만이 접합되었음을 보여준다.

그림 7은 최적 조건 하에서 초음파 접합한 후 다이 전단 시험한 시편을 SEM을 사용하여 관찰한 파단면이다. 최적 조건 하에서는 전단 시험 시, 그림 7(a)와 (b)에서 보여지는 바와 같이 접합 계면이나 그림 7(c)와 (d)에서 보여지는 바와 같이 W-Ti 층에서 파괴가 발생하였다. 먼저 접합부에서 발생한 파괴 형상을 관찰한 결과, 파면 상에는 elongated dimple 패턴이 전체적으로 관찰되었으며, 이는 범프의 파괴 모드가 전형적인 연성 파괴임을 의미한다. 또한, 그림 6과는 달리 하부 기판 상에 Au 범프 형상이 매우 선명하게 관찰되었으며, 이는 Au 범프와 하부 기판이 완벽하게 접합되었음을

을 보여준다. W-Ti에서 발생한 파단면 상에서도 elongated dimple 패턴을 관찰할 수 있었다. 이는 W-Ti 층이 일정한 소성 변형을 거친 후 연성 파괴가 일어난 것을 의미한다. 플립칩은 일반적인 벌크 시편과는 달리 매우 얇은 층들이 다층으로 형성된 구조를 가지며, 따라서 이러한 파괴는 Au 범프의 접합 강도가 Ti-W 층의 기계적 특성보다 높았기 때문으로 사료된다.

그림 8은 과도한 초음파 에너지가 접합부에 인가되었을 때, 다이 전단 시험 후 파면을 보여주는 SEM 사진이다. 접합 시간이 과도하게 길어졌을 때, 파괴는 주로 실리콘 웨이퍼에서 발생하였다. 이는 앞서 언급한 바와 같이, 접합 공정 중에 과도한 진동으로 인하여 웨이퍼 상에 균열이 발생하였기 때문으로 판단된다.

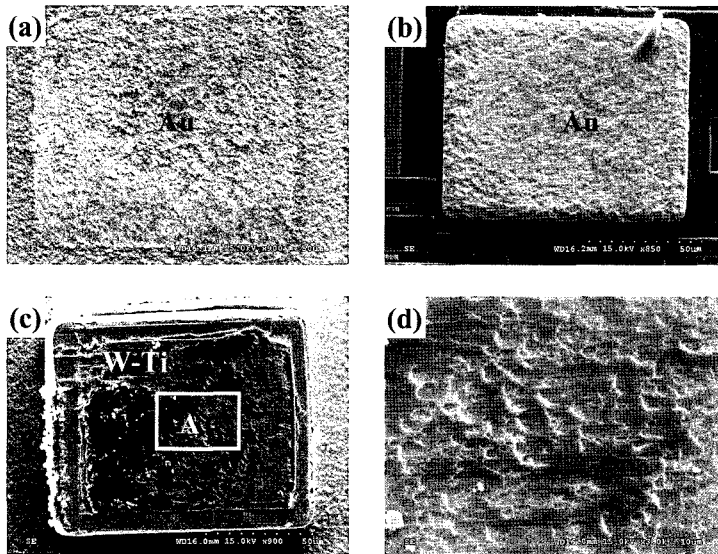


Fig. 7. Fracture surfaces of the Au flip chip bump after the ultrasonic bonding with optimum bonding conditions of a bonding pressure of 20 N and a bonding time of 0.1 s: (a,c,d) substrate side and (b) flip chip side. (d) is the magnified image of region A in Fig. (c).

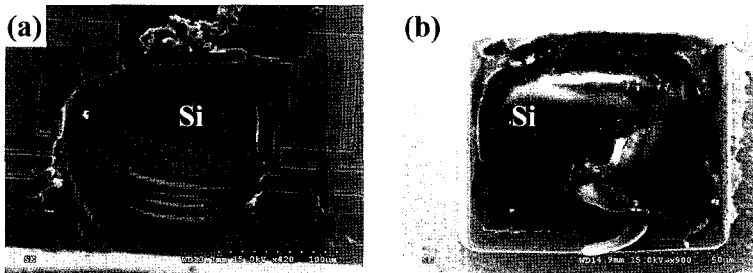


Fig. 8. Fracture surfaces of the Au flip chip bump after the ultrasonic bonding at a bonding pressure of 20 N for an excessive bonding time of 1 s: (a) flip chip side and (b) substrate side.

이러한 접합 조건에 따른 파단면의 변화는 접합 압력과 시간에 따른 Au 범프의 전단 강도의 변화와 일치하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 초음파 진동을 이용한 CMOS 이미지 센서용 Au 플립칩 범프의 최적 접합 조건을 연구하였으며, 본 연구의 결론은 다음과 같다.

최적 접합 압력과 시간은 20 N (약 50 MPa)과 0.1 초이었다. 이 때 Au 범프와 기판은 접합면이 구별되지 않을 정도로 완벽하게 접합되었으며, 전단 강도는 약 73 MPa이었다. 이는 Au 플립칩 범

프의 초음파 접합에 있어서 접합 압력과 시간은 매우 중요한 변수임을 보여준다.

접합 압력과 시간이 부족한 경우 Au 범프와 하부 Au 기판 사이에 미접합부가 관찰되었으며, 과다한 접합 압력과 시간이 가해졌을 경우 접합 균열이나 과도한 Au 범프의 변형이 관찰되었다. 이는 접합부의 면적을 감소시키거나 잔류응력을 증가시켜서 접합 강도의 감소의 주요 원인으로 작용하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-

03-04) 지원으로 수행되었음.

### 참고문헌

1. 한국전자산업진흥회, “휴대폰용 카메라 모듈”, 전자정보센터 (<http://www.eic.re.kr>) (2004), p. 1-7.
2. 박강순, “차량용 카메라 기술 동향”, 전자정보센터 (<http://www.eic.re.kr>) 1-14 (2006)
3. J.H. Kim, I.S. Kang, C.J. Song, Y.J. Hur, H.N. Kim, E. Baek and T.J. Seo, “Flip-chip packaging solution for CMOS image sensor device”, *Microelectron. Relia.* 44, 155 (2004).
4. J.M. Koo, D.G. Kim and S.B. Jung, “Reliability of Electroplated Sn-37Pb Solder Bumps with Different Under Bump Metallizations (UBMs) during High Temperature Storage Test”, *Solid State Phenom.* 124-126, 5 (2007).
5. 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).
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. S. Tang, N. Lu, S.W. Myung, H.S. Choi, “Enhancement of Adhesion Strength between Two AISI 316L Stainless Steel Plates through Atmospheric Pressure Plasma Treatment”, *Surf. Coat. Technol.*, 200, 5220 (2005).
9. M.C. Kim, S.H. Yang, J.H. Boo, J.G. Han, “Surface Treatment of Metals Using an Atmospheric Pressure Plasma Jet and Their Surface Characteristics”, *Surf. Coat. Technol.*, 174-175, 839 (2003).
10. 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).
11. W.D. Jr. Callister, “Fundamentals of Materials Science and Engineering”, 2nd ED., John Wiley & Sons, New-York 282-303 (2005).