

## Ti/Cu/Au UBM의 Au 두께와 리플로우 온도에 따른 Sn-52In 솔더와의 계면반응 및 전단 에너지

최재훈 · 전성우 · 오태성\*

홍익대학교 신소재공학과

### Interfacial Reaction and Shear Energy of Sn-52In Solder on Ti/Cu/Au UBM with Variation of Au Thickness and Reflow Temperature

Jae-Hoon Choi, Sung-Woo Jun, and Tae-Sung Oh\*

Department of Materials Science and Engineering, Hongik University  
72-1 Sangsoo-dong, Mapo-gu, Seoul, Korea

**초 록:** Au 층의 두께를 0.1~0.7  $\mu\text{m}$ 로 변화시킨 0.1  $\mu\text{m}$  Ti/3  $\mu\text{m}$  Cu/Au UBM 상에서 48Sn-52In 솔더를 150-250°C의 온도 범위에서 리플로우 시 UBM/솔더 반응에 의한 금속간 화합물의 형성거동을 분석하였다. 또한 Ti/Cu/Au UBM의 Au 두께 및 리플로우 온도에 따른 볼 전단강도와 전단에너지를 분석하였다. 150°C와 200°C에서 리플로우 시에는 UBM/솔더 계면에  $\text{Cu}_6(\text{Sn},\text{In})_5$ 와  $\text{AuIn}_2$  금속간 화합물이 형성되어 있으나, 250°C에서 리플로우 시에는 솔더 반응이 크게 증가하여 UBM이 대부분 소모되었다. 볼 전단강도는 UBM/솔더 반응과 일치하지 않는 결과를 나타내었으나, 전단 에너지는 UBM/솔더 반응과 잘 일치하는 변화 거동을 나타내었다.

**Abstract:** Interfacial reactions between 48Sn-52In solder and 0.1  $\mu\text{m}$ Ti/3  $\mu\text{m}$ Cu/Au under bump metallurgies(UBM) with various Au thickness of 0.1~0.7  $\mu\text{m}$  have been investigated after solder reflow at 150°C, 200°C, and 250°C for 1 minute. Ball shear strength and shear energy of the Sn-52In solder bump on each UBM was also evaluated. With reflowing at 150°C and 200°C,  $\text{Cu}_6(\text{Sn},\text{In})_5$  and  $\text{AuIn}_2$  intermetallic compounds were formed at UBM/solder interface. However, UBM was consumed almost completely with reflowing at 250°C. While ball shear strength was not consistent with UBM/solder reactions, ball shear energy matched well with UBM/solder reactions.

**Keywords:** 48Sn-52In, Solder, UBM, Shear energy, Shear strength

### 1. 서 론

LCD(Liquid Crystal Display)와 같은 평판 디스플레이 패널을 구동하기 위하여 IC 칩을 평판 디스플레이 패널에 연결하여 전기적 신호를 전달하기 위한 방법으로 TAB(Tape Automated Bonding) 방법과 COG(Chip on Glass) 기술이 사용되고 있다

<sup>1,2)</sup> 이 중 COG 기술은 IC 칩에 형성한 범프를 이용하여 IC 칩을 유리기관의 평판 디스플레이 패널에 직접 실장하는 방법<sup>1,3-5)</sup>으로 미세한 피치를 가진 IC 칩의 실장이 가능하다. 또한 IC 칩의 점유면적을 최소화시킬 수 있어 평판 디스플레이 장치의 소형화와 박판화가 가능하고, IC 칩과 평판 디스플레이 패널간의 거리 감소에 따른 신호전달 속도

\*Corresponding author  
E-mail: ohts@hongik.ac.kr

의 증가로 해상도의 향상이 가능하다.

현재까지 개발된 COG 기술 중에서 신뢰성 있는 기술로는 이방성 전도필름을 이용한 방법<sup>3-5)</sup>과 솔더범프의 리플로우를 이용한 방법<sup>6)</sup>이 있다. IC 칩에 형성한 솔더범프를 리플로우 하여 IC 칩을 평판 디스플레이 패널의 패드에 접합하는 COG 기술은 IC 칩의 솔더범프와 평판 디스플레이 패널의 패드 사이에 정렬오차가 생기더라도 솔더범프의 리플로우시 액상 솔더의 표면장력으로 자체정렬이 되기 때문에, 매우 미세한 피치를 갖는 IC 칩의 경우에도 정밀한 실장이 가능한 장점이 있다. 또한, 접촉저항이 이방성 전도필름을 사용한 경우에 비해 현저하게 낮아 평판 디스플레이 장치의 성능보전이 가능하며, 접합부의 신뢰도가 이방성 전도필름을 사용한 경우보다 뛰어나다는 장점이 있다<sup>6)</sup>.

솔더범프의 리플로우에 의한 COG 기술을 사용하여 IC 칩을 평판 디스플레이 패널에 실장하기 위해서는 IC 칩과 평판 디스플레이 패널을 모두 솔더범프의 용융온도 이상으로 가열하여야 하기 때문에, 63Sn-37Pb 또는 Sn-3.5Ag나 Sn-0.7Cu 등의 비교적 용점이 높은 솔더범프를 사용하는 경우에는 LCD의 액정과 편광판이 손상을 입어 성능이 저하하거나 사용이 불가능할 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해, 용융온도가 150°C 이하인 Sn-In, Sn-Bi, Ag-In 등의 저융점 솔더범프를 이용하는 COG 기술이 제안되었다<sup>6)</sup>. 솔더범프를 이용한 COG 공정에서 솔더와 Under Bump Metallurgy (UBM) 사이의 계면반응은 전기적, 기계적 신뢰성에 중요한 영향을 미친다. UBM은 솔더와의 반응성 및 젖음성이 우수하여야 하는 동시에, 솔더/UBM 계면에서 빠른 금속간 화합물 성장에 의해 UBM이 완전 소모되어 솔더 dewetting이 발생하지 않기 위해서는 UBM의 소모속도가 충분히 늦어야 한다<sup>7)</sup>.

본 연구에서는 Ti/Cu/Au UBM 상에서 Sn-52In 솔더를 리플로우시 Ti/Cu/Au UBM의 Au 두께에 따른 금속간 화합물의 조성, 형상 및 성장속도 등의 계면반응을 분석하였다. 또한 본 연구에서는 각 리플로우 온도에서 Sn-52In 솔더와 Ti/Cu/Au UBM 사이의 반응에 따른 금속간 화합물의 성장 거동이 솔더범프의 접합성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 불 진단시험을 하였으며, 이를 바탕으로 Ti/Cu/Au UBM에서 Au 두께 및 리플로우 온

도에 따른 불 진단강도 및 불 진단에너지를 분석하였다.

## 2. 실험방법

DC magnetron sputtering법을 이용하여 Si/SiO<sub>2</sub> 기판에 Au두께를 0.1, 0.3, 0.7 μm로 변화시키면서 Au, Cu, Ti를 순차적으로 스퍼터링 하여 0.1 μm Ti/3 μm Cu/Au 구조의 UBM을 제조하였다. 상용화된 48wt% Sn-52wt% In 잉곳을 60 μm sheet으로 압연 후 1.2 mm 지름의 micro-punch를 이용하여 디스크 형태로 제조하였다. 이와 같은 48Sn-52In 솔더 디스크를 150°C의 RMA flux안에서 1분간 유지하여 구형의 솔더 볼을 제조하였다. 각기 150°C, 200°C 및 250로 유지되는 RMA flux안에 1x1 cm<sup>2</sup> 크기의 Ti/Cu/Au UBM을 넣고 그 위에 48Sn-52In 솔더 볼을 떨어뜨려 1 분 동안 리플로우 반응을 시킨 후 상온으로 냉각하였다.

Ti/Cu/Au UBM과 리플로우 반응된 48Sn-52In 솔더 시편을 에폭시를 이용하여 마운팅하고 1 μm 크기의 다이아몬드 페이스트를 이용하여 미세연마하였다. 미세연마한 시편의 48Sn-52In 솔더 부위를 10 ml HF, 10 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 80 ml H<sub>2</sub>O 부식액을 이용하여 에칭 후, 주사전자현미경 (SEM: Scanning electron microscopy)의 BEI(Backscattered electron image) 모드로 솔더/UBM 계면에 형성된 금속간 화합물을 관찰하였다. EDS(Energy dispersive spectrometer)를 이용하여 금속간 화합물의 조성을 분석하였으며, XRD(X-ray diffraction)로 금속간 화합물의 결정상을 분석하였다.

불 진단시험을 위한 시편을 제조하기 위하여 Ti/Cu/Au 위에 0.1 μm Ti를 추가로 스퍼터링하여 사진식각공정과 습식에칭공정으로 500 μm 지름의 UBM 패드를 형성한 후 앞에서 기술한 리플로우 방법과 동일한 방법으로 리플로우 하였다. DAGE-BT4000 shear tester를 이용하여 불 진단시험을 하였다. 이때 솔더 마스크로부터 150 μm 떨어진 높이에서 100 μm/sec의 shear tip 속도로 각 리플로우 조건당 20개 이상의 솔더범프를 진단시험 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

48Sn-52In 솔더를 150°C에서 1분간 리플로우시

미세구조를 Fig. 1에 나타내었다. EDS 분석 결과, Fig. 1에 나타낸 것과 같이 30.8 at% Sn-69.2 at% In 조성의 In-rich  $\gamma$  상과 73.8 at% Sn-26.2 at% In 조성의 Sn-rich  $\beta$  상으로 구성되어 있음을 확인할 수 있었다.

150°C의 리플로우 온도에서 0.1  $\mu\text{m}$  Ti/3  $\mu\text{m}$  Cu/Au UBM과 48Sn-52In 솔더와의 반응에 의해 계면에 형성된 금속간 화합물의 주사전자현미경 미세구조를 Fig. 2에 나타내었으며, 200°C의 리플로우 온도에서 계면 반응에 의해 형성된 금속간 화합물의 미세구조를 Fig. 3에 나타내었다. 또한, Au 층의 두께가 제일 두꺼운 0.1  $\mu\text{m}$  Ti/3  $\mu\text{m}$  Cu/0.7  $\mu\text{m}$  Au UBM상에서 48Sn-52In 솔더를 250°C에서 리플로우 시킨 후 관찰한 UBM/솔더 계면 및 솔더의 미세구조를 Fig. 4에 나타내었다. Figs. 2, 3 및 4에 나타낸 미세구조의 비교에서와 같이 150°C와 200°C에서 리플로우 시에는 48Sn-52In 솔더와 0.1  $\mu\text{m}$  Ti/3  $\mu\text{m}$  Cu/Au UBM 계면에 금속간 화합물이 존재하고 있었다. 반면에 250°C에서 리플로우 시에는 솔더와 UBM 사이의 반응속도가 크게 증가하여 Au 층이 제일 두꺼운 0.1  $\mu\text{m}$  Ti/3  $\mu\text{m}$  Cu/0.7  $\mu\text{m}$  Au UBM의 경우에도 UBM이 대부분 소모되었으며, 금속간 화합물이 spalling 되어 솔더 내부로 이동한 것을 관찰할 수 있다.

Fig. 2(a)와 (b)에서 보면 150°C에서 리플로우 시 0.1  $\mu\text{m}$ 와 0.3  $\mu\text{m}$ 의 Au 층을 갖는 Ti/Cu/Au UBM과 48Sn-52In 솔더 계면에  $\text{Cu}_6(\text{Sn},\text{In})_5$ 와  $\text{AuIn}_2$ 의 두 가지 금속간 화합물이 형성되어 있는 것을 관

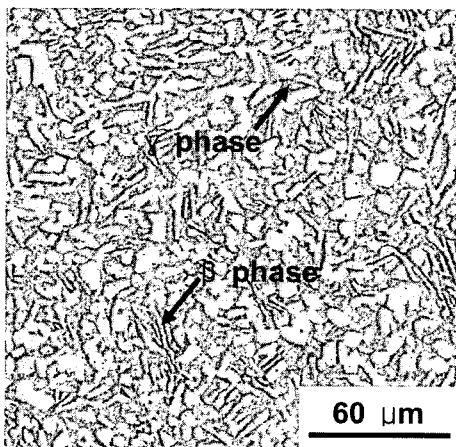


Fig. 1. Microstructure of the 48Sn-52In solder.

찰할 수 있다. 반면에 Fig. 2(c)와 같이 Ti/Cu/Au UBM의 Au 층 두께가 0.7  $\mu\text{m}$ 로 두꺼운 경우에는 솔더와 Cu의 반응이 일어나지 않아서 UBM/솔더 계면에  $\text{AuIn}_2$ 만이 존재하였다. 200°C에서 리플로우한 경우에는 150°C 리플로우보다 솔더 반응속도가 증가하기 때문에 Ti/Cu/Au UBM의 Au 층 두

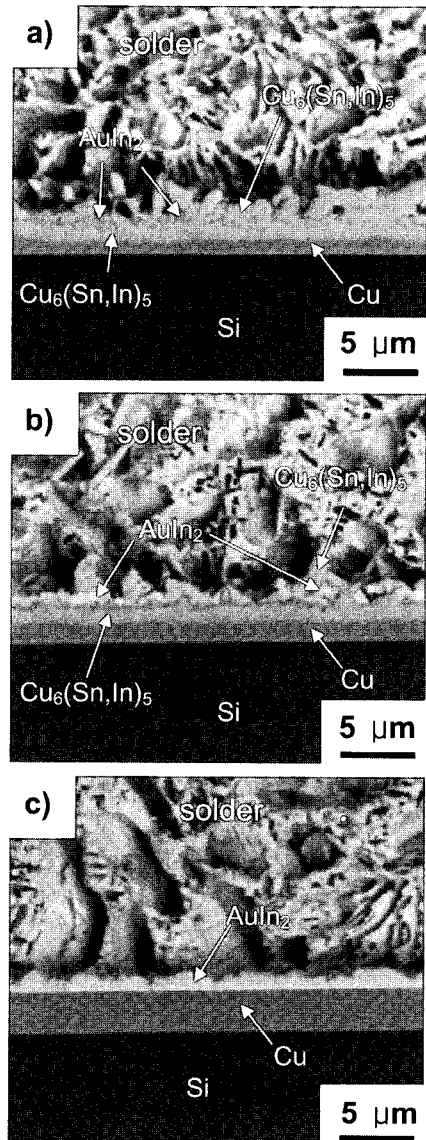
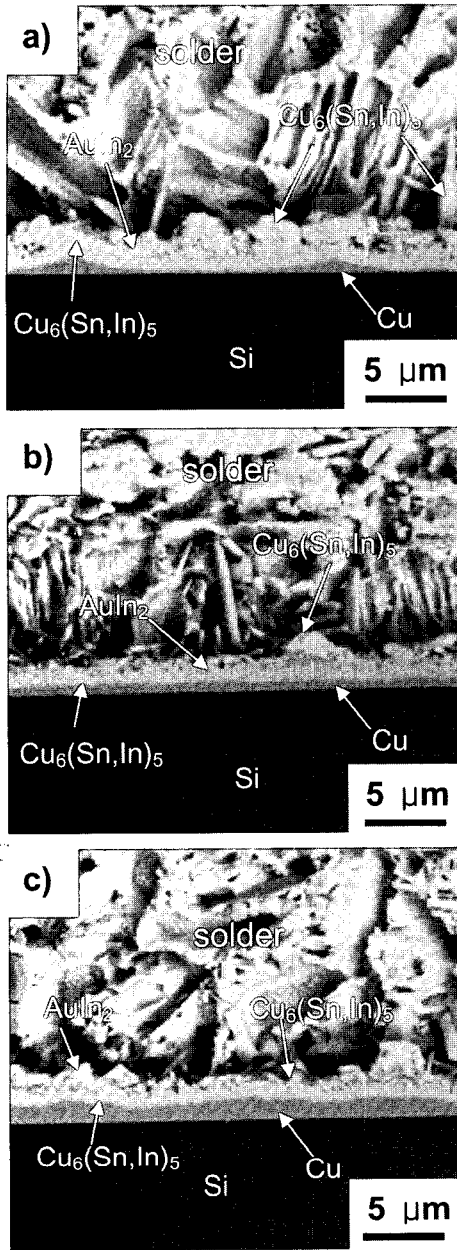


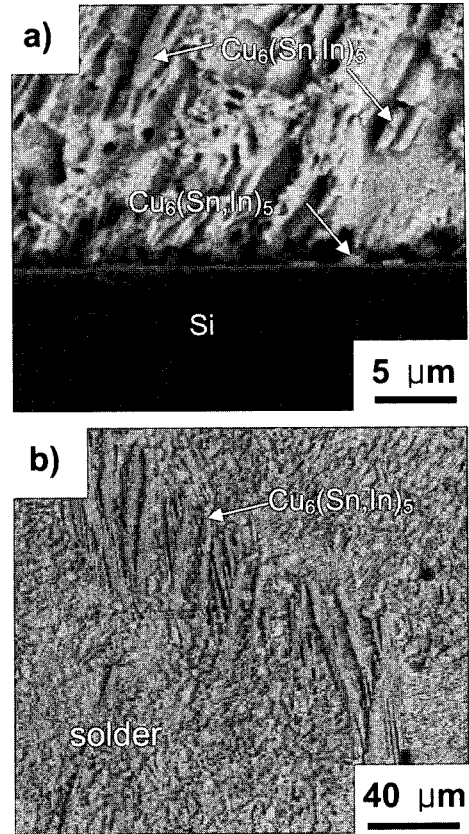
Fig. 2. SEM micrographs of 48Sn-52In/UBM interface; reflowed at 150°C for 1 min on (a) 0.1  $\mu\text{m}$  Ti/3  $\mu\text{m}$  Cu/0.1  $\mu\text{m}$  Au, (b) 0.1  $\mu\text{m}$  Ti/3  $\mu\text{m}$  Cu/0.3  $\mu\text{m}$  Au, and (c) 0.1  $\mu\text{m}$  Ti/3  $\mu\text{m}$  Cu/0.7  $\mu\text{m}$  Au.



**Fig. 3.** SEM micrographs of 48Sn-52In/UBM interface; reflowed at 200°C for 1 min on (a) 0.1 μm Ti/3 μm Cu/0.1 μm Au, (b) 0.1 μm Ti/3 μm Cu/0.3 μm Au, and (c) 0.1 μm Ti/3 μm Cu/0.7 μm Au.

께가 0.7 μm인 경우에도 Fig. 3(c)와 같이  $Cu_6(Sn,In)_5$ 와  $AuIn_2$ 의 두 가지 금속간 화합물이 형성되었다.

액상의 In-49Sn 솔더와 Cu와의 반응에 의해 형



**Fig. 4.** SEM micrographs of (a) 48Sn-52In/UBM interface and (b) solder; reflowed at 250°C for 1 min on (a) 0.1 μm Ti/3 μm Cu/0.7 μm Au.

성되는 금속간 화합물의 조성과 형상은 반응온도에 의존한다고 보고되고 있다<sup>8)</sup>. 즉, 반응온도가 300°C 이상일 경우에는 In-49Sn/Cu 계면에 scallop 형상의  $\eta-Cu_6(In,Sn)_5$ 와 planar 형상의  $\epsilon-Cu_3(In,Sn)$  금속간 화합물이 형성되지만, 300°C 이하의 반응온도에서는 scallop 형상의  $\eta-Cu_6(In,Sn)_5$ 만 존재한다고 보고되고 있다<sup>8)</sup>. 본 연구에서 150°C와 200°C의 온도로 리플로우 시 UBM/솔더 계면에서 관찰된 두 금속간 화합물들의 화학적 조성을 EDS로 분석한 결과 각기 Cu:In:Sn의 at% 비율이 55.4:15.4: 29.2와 Au:In의 at% 비율 33.7:66.3로 분석되어 이들 금속간 화합물들이 각기  $\eta-Cu_6(In,Sn)_5$ 와  $AuIn_2$ 임을 알 수 있다. 이를 확인하기 위하여 200°C에서 리플로우한 Fig. 3(b)에 있는 시편의 솔더를 에칭하여 완전히 제거한 후, 금속간 화합물 부위에 대해 XRD 분석을 하였으며, 그 결과

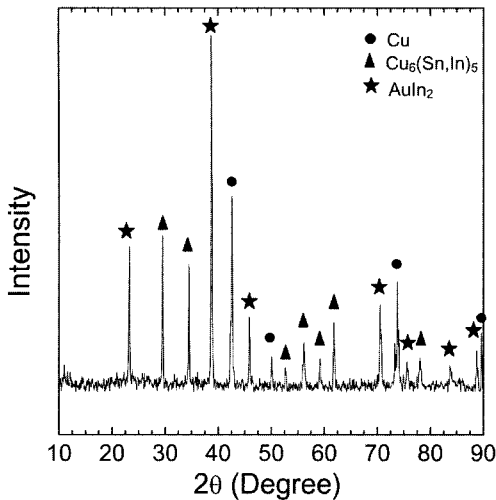


Fig. 5. XRD pattern of (a)  $\text{Cu}_6(\text{Sn,In})_5$  and  $\text{AuIn}_2$  intermetallic compounds formed at 48Sn-52In/UBM interface reflowed at 200°C for 1 min on (a) 0.1  $\mu\text{m}$  Ti/3  $\mu\text{m}$  Cu/0.3  $\mu\text{m}$  Au.

Fig. 5와 같이 이들 금속간 화합물들이 각기  $\text{Cu}_6(\text{Sn,In})_5$ 와  $\text{AuIn}_2$ 임을 확인할 수 있었다.

Fig. 2 및 Fig. 3에서 0.1  $\mu\text{m}$ 와 0.3  $\mu\text{m}$ 의 Au 층을 갖는 Ti/Cu/Au UBM과 48Sn-52In 솔더 계면에서  $\text{Cu}_6(\text{Sn,In})_5$  금속간 화합물 층 사이에  $\text{AuIn}_2$  금속간 화합물 층이 형성되어 있는 것을 관찰할 수 있다. 본 연구에서와 같이 Ti/Cu/Au UBM 상에서 48Sn-52In 솔더를 리플로우 시 UBM과 솔더의 적층 순서가 Ti/Cu/Au/솔더로 되기 때문에 Ti/Cu/Au UBM의 Au 층과 솔더와의 반응이 Cu 층과 솔더와의 반응보다 먼저 발생해야 한다. Au-In 박막에서  $\text{AuIn}_2$ 의 형성이 상온에서도 매우 빠르게 발생한다는 보고<sup>9)</sup>와 마찬가지로, 본 실험에서도 리플로우 초기 단계에서 Ti/Cu/Au UBM의 Au 층과 48Sn-52In 솔더의 In 사이의 선택적 반응에 의해 island 형상의  $\text{AuIn}_2$  금속간 화합물이 형성되었다<sup>10)</sup>. 그러나  $\text{AuIn}_2$ 가 안정되어 용융 In에 녹지 않는 것<sup>11)</sup>과 마찬가지로,  $\text{AuIn}_2$  금속간 화합물이 48Sn-52In 용융 솔더에 녹지 않을 수 있다. 이와 같은 경우 island 형상의  $\text{AuIn}_2$ 를 통하여 용융 Sn-In 솔더의 Sn과 In이 UBM의 Cu 층과 반응하게 되어  $\text{Cu}_6(\text{Sn,In})_5$  금속간 화합물 층이  $\text{AuIn}_2$  화합물의 위와 밑에 동시에 형성됨으로써 Fig. 2 및 Fig. 3에서와 같이  $\text{AuIn}_2$  층이  $\text{Cu}_6(\text{Sn,In})_5$  층 사이에 위치하게 된다.

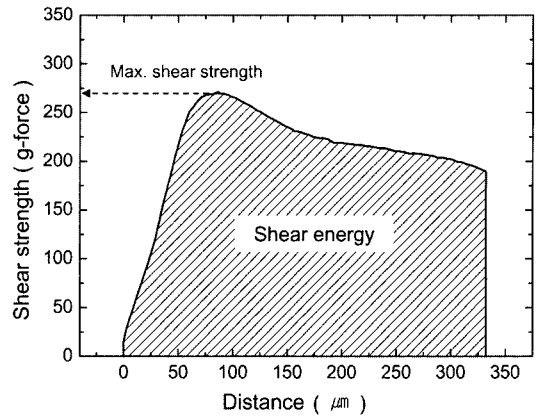


Fig. 6. Schematic diagram illustrating ball shear strength and shear energy.

150°C, 200°C 및 250°C에서 리플로우 한 각 시편에 대해 볼 전단시험을 하였으며, 이를 바탕으로 Ti/Cu/Au UBM의 Au 두께 및 리플로우 온도에 따른 볼 전단강도와 볼 전단에너지를 분석하였다. 솔더범프의 기계적 신뢰도는 일반적으로 볼 전단시험을 사용하여 측정된 전단강도 값으로 나타내었다. 그러나, Fig. 6과 같이 볼 전단시험 시의 최대하중 값으로 나타내는 볼 전단강도는 솔더/UBM 계면반응의 정도와 일치하지 않는 문제점이 있다. 즉, 솔더 리플로우 조건을 크게 변화시키더라도 볼 전단강도 값은 거의 변하지 않는다고 보고<sup>12)</sup>되고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 솔더범프의 기계적 신뢰도를 Fig. 6과 같이 볼 전단시험 시 하중-변위 곡선 밑의 면적으로 표현되는 전단 에너지 값으로 분석하였다. 150°C, 200°C 및 250°C의 각 리플로우 온도에서 Ti/Cu/Au UBM의 Au 두께에 따른 48Sn-52In 솔더범프의 전단강도를 Fig. 7에 나타내었으며, 전단에너지를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 7에서와 같이 150°C에서 리플로우 한 48Sn-52In 솔더범프의 전단강도는 Ti/Cu/Au UBM의 Au 층의 두께가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으나, 250°C에서 리플로우 한 시편의 경우에는 Ti/Cu/Au UBM의 Au 두께가 증가할수록 전단강도가 증가하는 서로 상반된 경향을 나타내었다. 리플로우 온도에 따른 전단강도의 비교에서도 250°C에서 리플로우 시편의 경우 UBM 층이 다 소멸되었음에도 불구하고 전단강도가 Cu UBM이 남아 있는 200°C 리

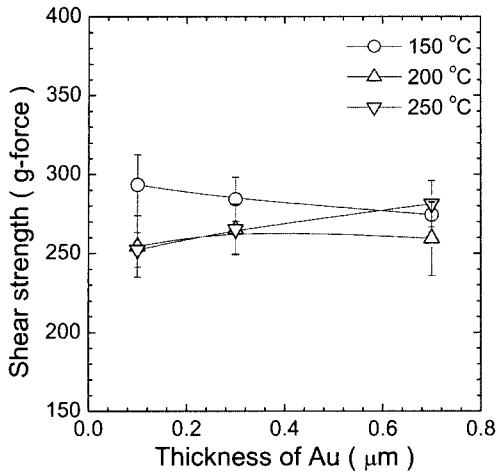


Fig. 7. Ball shear strength of the 48Sn-52In solder bumps on Ti/Cu/Au UBM as a function of Au thickness.

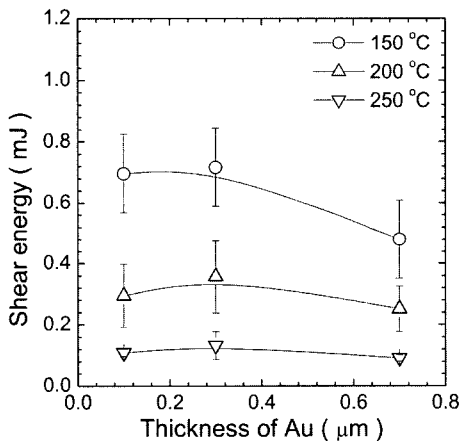


Fig. 8. Ball shear energy of the 48Sn-52In solder bumps on Ti/Cu/Au UBM as a function of Au thickness.

플로우 시편의 전단강도와 같거나 더 높게 나타나는 등 UBM/솔더 계면반응과는 일치하지 않는 결과를 나타내었다. 반면에 Fig. 8에 나타낸 리플로우 온도 및 Ti/Cu/Au UBM의 Au 두께에 따른 전단 에너지의 변화거동은 UBM/솔더 계면반응과 잘 일치하는 결과를 나타내었다. Au와 Cu UBM 층이 다 소멸된 250°C에서 리플로우 시편의 경우에는 150°C 및 200°C에서 리플로우 한 시편에 비해 낮은 전단 에너지 값을 나타내었으며, 또한 Ti/Cu/Au UBM의 Au 두께에 따른 전단 에너지의 변화를 나타내지 않았다. 150°C에서 리플로우 한 시편에 비해 200°C에서 리플로우 시편이 더 낮은 값

을 나타낸 이유는 이 두 조건의 시편에서 모두 Cu UBM이 남아 있으므로 솔더와의 반응에 의한 UBM의 소모 정도의 차이에 기인한다기 보다는 150°C에서 리플로우 한 시편에 비해 200°C에서 리플로우 한 시편에서 솔더 합금의 결정립 조대화에 의해 솔더 합금의 강도가 저하하는데 기인한다고 판단할 수 있다. 150°C에서 리플로우 한 시편의 경우 Ti/Cu/Au UBM의 Au 두께가 0.7 μm일 때 전단 에너지 값이 크게 감소하였는데 이는 Fig. 2(c)에서 솔더/UBM 계면에 AuIn<sub>2</sub> 금속간 화합물만이 존재하는 것으로부터 알 수 있듯이 Au 층의 두께가 두꺼워 솔더와 Cu와의 반응이 이루어지지 않았기 때문으로 판단된다.

#### 4. 결 론

Au 층의 두께를 0.1~0.7 μm 범위에서 변화시킨 0.1 μm Ti/3 μm Cu/Au UBM 상에서 48Sn-52In 솔더를 150°C와 200°C에서 리플로우 시에는 UBM/솔더 계면에 Cu<sub>6</sub>(Sn,In)<sub>5</sub>와 AuIn<sub>2</sub> 금속간 화합물이 형성되었다. 반면에, 250°C에서 리플로우 시에는 솔더 반응이 크게 증가하여 UBM이 대부분 소모 되었으며 금속간 화합물이 spalling 되어 솔더 내부로 이동하였다. 0.1 μm와 0.3 μm의 Au 층을 갖는 Ti/Cu/Au UBM상에서 48Sn-52In 솔더를 150°C와 200°C에서 리플로우 시 Cu<sub>6</sub>(Sn,In)<sub>5</sub> 금속간 화합물 층 사이에 AuIn<sub>2</sub> 금속간 화합물 층이 형성되어 있었다. 이는 리플로우 초기 단계에서 Ti/Cu/Au UBM의 Au 층과 48Sn-52In 솔더의 In 사이의 선택적 반응에 의해 island 형상의 AuIn<sub>2</sub> 금속간 화합물이 형성되고, 이와 같은 island 형상의 AuIn<sub>2</sub>을 통하여 용융 Sn-In 솔더의 Sn과 In이 UBM의 Cu 층과 반응하게 되어 Cu<sub>6</sub>(Sn,In)<sub>5</sub> 금속간 화합물 층이 AuIn<sub>2</sub> 화합물의 위와 밑에서 동시에 형성되는 것에 기인한다. Ti/Cu/Au UBM의 Au 두께 및 리플로우 온도에 따른 볼 전단강도는 UBM/솔더 계면반응과 일치하지 않는 결과를 나타내었으나, 전단 에너지는 UBM/솔더 계면반응과 잘 일치하는 변화 거동을 나타내었다. 250°C에서 리플로우 시편의 경우 UBM의 완전한 소모에 기인하여 낮은 전단 에너지 값을 나타내었다. 150°C에서 리플로우 한 시편에 비해 200°C에서 리플로우 시편이 더 낮은 전단 에너지 값을 나타내었으며, 이는 200°C

에서 리플로우 한 시편에서 솔더 합금의 결정립 조대화에 의해 솔더 합금의 강도가 저하하는데 기인한다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 전자패키지재료연구센터의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. R. Joshi, "Chip on glass-interconnect for row/column driver packaging", *Microelectron. J.*, 29, 34 (1998).
2. H. Kristiansen and J. Liu, "Overview of conductive adhesive interconnection technologies for LCDs", *IEEE Trans-CPMT-A*, 21, 208 (1998).
3. K. Ishibashi and J. Kimura, "A new anisotropic conductive film with arrayed conductive particles", *IEEE Trans-CPMT-B*, 19, 752 (1996).
4. M. J. Yim and K. W. Paik, "The contact resistance and reliability of anisotropically conductive film (ACF)", *IEEE Trans. Adv. Packag.*, 22, 166 (1999).
5. A. Nagai, K. Takemura, K. Isaka and O. Watanabe, "Anisotropic conductive adhesive films for flip-chip interconnection onto organic substrates", *Proc. IEMT/IMC*, 353 (1998)
6. U. B. Kang and Y. H. Kim, "A fine pitch COG technique using eutectic Bi-Sn solder joints for LCD driver IC packaging applications", *Proc. 2001 Int. Symp. Electron. Mater. & Packag.*, 12 (2001).
7. K. N. Tu and K. Zeng, "Tin-lead (SnPb) solder reaction in flip chip technology", *Mater. Sci. Eng.* 34, 1 (2001).
8. T. H. Chuang, C. L. Yu, S. Y. Chang and S. S. Wang, "Phase Identification and Growth Kinetics of the Intermetallic Compounds Formed during In-49Sn/Cu Soldering Reactions", *J. Elec. Mater.* 31, 640 (2002).
9. J. Njontegaard, L. Buene, T. Finstad, O. Lonsjo and T. Olson, "Low temperature interdiffusion in Au/In thin film couples", *Thin Solid Film*, 101, 253 (1983).
10. K. Fujiwara and M. Asahi, "Characterization of Intermetallic Compound Formation on In/Bi/Sn Solder Bumps Used in Pb-Alloy Josephson Chip Packaging", *IEEE Trans CHMT-10*, 263 (1987).
11. G. Mathiak, A. Griesche, K. H. Kraantz and G. Froberg, "Diffusion in liquid metals", *J. Non-Cryst. Solids*, 207, 412 (1996).
12. J. Glazer, "Metallurgy of low temperature Pb-free solders for electronic assembly", *Int. Mater. Rev.*, 40, 65 (1995).