

진공 증발법에 의해 제조된 플립 칩 본딩용 솔더의 미세 구조 분석

이충식, 김영호, 권오경*, 한학수**, 주관중**, 김동구**

한양대학교 공과대학 재료공학과, *한양대학교 공과대학 전자공학과, **전자통신연구소 반도체실장연구실

Microstructure Characterization of the Solders Deposited by Thermal Evaporation for Flip Chip Bonding

C. S. Lee, Y.-H. Kim, Oh-Kyong Kwon*, H. Han**, G. Joo**, and D. G. Kim**

Dept. of Materials Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791

*Dept. of Electronic Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791

**Semiconductor IC Packaging Section, ETRI, Taejon, 305-350

Abstract

The microstructure of 95wt.%Pb/5wt.%Sn and 63wt.%Sn/37wt.%Pb solders for flip chip bonding process has been characterized. Solders were deposited by thermal evaporation and reflowed in the conventional furnace or by rapid thermal annealing(RTA) process. As-deposited films show columnar structure. The microstructure of furnace cooled 63Sn/37Pb solder shows typical lamellar form, but that of RTA treated solder has the structure showing an uniform dispersion of Pb-rich phase in Sn matrix. The grain size of 95Pb/5Sn solder reflowed in the furnace is about $5\mu\text{m}$, but the grain size of RTA treated solder is too small to be observed. The microstructure in 63Sn/37Pb solder bump shows the segregation of Pb phase in the Sn rich matrix regardless of reflowing method. The 63Sn/37Pb solder bump formed by RTA process shows more uniform microstructure. These result are related to the heat dissipation in the solder bump.

1. 서 론

플립 칩 본딩(flip chip bonding)방법은 칩과 외부를 연결하는(chip level interconnection)방법 중의 한가지 기술로 솔더 범프(solder bump)를 이용하여 칩과 기판을 연결하는 방법이다. 이런 플립 칩 본딩 방법은 와이어 본딩(wire bonding)방법, TAB(Tape Automated Bonding)방법에 비해 본딩 패드(bonding pad)의 밀도가 높으며, 칩 패키징 밀도를 높일 수 있으며, 전기적 특성이 우

수하고, 솔더 접합부(solder joint)의 신뢰도가 높으며, self alignment효과에 의해 칩 접합(joining)시 정렬도가 높다는 장점을 가진다¹⁾. 하지만 power on-off시에 발생하는 열과 환경적인 원인에 의해 온도 변화가 있을 경우에는 칩과 기판의 열팽창 계수 차이에 의해 솔더 접합부에는 전단 응력이 작용하게 되고 피로(fatigue) 현상과 크립(creep)현상에 의해 솔더 접합부에 파괴가 일어날 수 있다²⁾. 따라서 플립 칩 본딩용 솔더 접합부의 기계적 특성을 향상시키기 위한 여러 연구가 진행

되어 왔다³⁻⁵⁾.

Goldman 등³⁾은 솔더의 조성을 변화시켜 솔더 범프의 기계적 특성을 향상시키는 연구를 하였으며, Satoh 등⁴⁾과 Ssaki 등⁵⁾은 솔더 범프의 모양, 높이 등을 조절하여 전단 응력의 집중을 막아 솔더 접합부의 수명을 향상시키는 연구 등을 하였다. 이런 경우 화학 조성의 변화는 리플로 온도(reflow temperature), 접합 온도(joining temperature) 등을 바꾸어야 하며 솔더 범프의 모양, 높이 등의 변화는 전반적인 공정 조건의 변화를 수반한다. 반면 같은 조성, 같은 모양의 솔더에서도 솔더의 미세 구조를 변화시키면 복잡한 공정 변화 없이 솔더 접합부의 기계적 특성을 변화시킬 수 있을 것이다. 표면 실장 기술(Surface Mounting Technology)에서는 이런 방법을 이용하여 솔더의 기계적 특성을 향상시키려는 연구가 시도되어 왔다⁶⁾. 즉 냉각 속도를 빨리 하여 공정 솔더(eutectic solder)의 미세 구조를 Sn기질 내에 Pb상이 구형으로 분산된 구조를 만들어 초소성(superplasticity)을 증가시켜 수명을 향상시켰다는 연구 결과가 보고되었다. 이와 유사하게 플립 칩 본딩 기술에서도 솔더의 미세 구조를 변화시키면 기계적 특성을 향상시킬 수 있으리라고 기대된다. 따라서 플립 칩 본딩 공정에 따라 달라질 수 있는 솔더의 미세 구조를 분석하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 진공 증발법에 의해 증착된 박막 솔더와 리플로 공정을 거친 솔더 및 본딩 방법과 유사하게 열처리된 솔더 범프의 미세 구조를 분석하였다. 특히 리플로 열처리 방법을 노 열처리(conventional furnace heating)와 급속 열처리(RTA, rapid thermal annealing)의 2가지 방법으로 나누어 열처리에 따른 미세 구조의 제어 가능성을 살펴보았다.

2. 실험 방법

진공증착기(evaporator)를 이용하여 유리 기판 위에 95wt.%Pb/5wt.%Sn, 63wt.%Sn/37wt.%

Pb와 순수한 Sn과 Pb를 증착하였다. Power source는 single source로서 저항 가열식이며 증착원은 일본 고순도사의 순수한 Pb(99.999%), Sn(99.99%)을 사용하였으며, 합금 박막의 증착을 위해서 각 솔더의 조성에 따라 순금속을 무게 비로 혼합하였다. 기판으로는 $5 \times 5 \text{cm}^2$ 의 유리 기판을 이용하였는데, 기판의 세척은 TCE(Trichloroethylene), 아세톤, 메탄올로 각각 5분씩 초음파 세척을 한 다음 증류수로 최종 세척 후 질소 가스를 이용하여 수분을 제거하였다. 증착 power는 1200W이었으며, 초기 진공은 $2 \times 10^{-6} \text{ torr}$ 이었다. 증착층의 두께는 α -step을 이용하여 측정하였으며, 증착층의 조성은 증착된 박막의 조성이 두께에 따라 일정하지 않으므로 리플로 열처리 후 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)로 측정하였다. 보트(boat)에 장입한 모든 증착원을 증발시키는 방법으로 합금 박막의 두께와 조성을 조절하였다⁷⁾.

박막의 표면과 단면의 미세 구조는 SEM(Scanning Electron Microscopy)으로 관찰하였다. 박막의 단면을 관찰하기 위해 미리 유리 기판의 뒷면에 다이아몬드 나이프를 이용하여 노치(notch)를 만든 후 액체 질소에 담귀 충분히 냉각시킨 다음 꺼내어 즉시 부러뜨리는 방법으로 단면 시편을 제작하였다. 또한 TEM(Transmission Electron Microscopy)을 이용하여 순수한 Sn박막의 미세 구조를 관찰하였다. 이때 시편 제작은 ion milling 방법을 이용하였다.

노 열처리 방법과 급속 열처리 방법을 이용하여 리플로 열처리 방법에 따른 냉각 속도의 차이에 의한 솔더의 미세 구조의 변화를 관찰하였다. 95Pb/5Sn솔더는 350°C에서 리플로 열처리를 하였으며(액상점은 315°C이며, 고상점은 308°C임), 63Sn/37Pb솔더는 230°C에서 리플로 열처리하였다(용점은 183°C임). 각 조성의 솔더에 대한 리플로 열처리시의 급속 열처리와 노 열처리의 온도 곡선을 그림 1에 표시하였으며, 표 1에 95Pb/5Sn솔더와 63Sn/37Pb솔더를 리플로 열처리할 때 노 열처리 방법과 급속 열처리 방법에서의 가열 속도와 리플

Table 1. Reflow conditions of 95Pb/5Sn and 63Sn/37Pb solder in furnace heating and RTA processes

Reflow process	Solder composition	Reflow temp. (°C)	Heating rate	Cooling rate	Reflow temp. holding time
Furnace heating	95Pb/5Sn	350	2.17 °C/min	0.36 °C/min	5min
	63Sn/37Pb	230	2.27 °C/min	0.4 °C/min	5min
RTA	95Pb/5Sn	350	30 °C/sec	1.6 °C/sec	1min
	63Sn/37Pb	230	41 °C/sec	0.9 °C/sec	1min

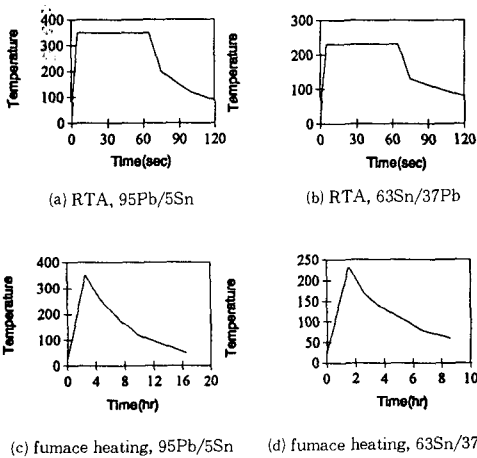


Fig. 1. Temperature profiles of RTA and furnace heating process

로 온도 유지 시간 및 냉각 속도를 정리하였다. 리플로 열처리 후 솔더를 유리 기판에서 분리하여 에폭시로 마운팅을 한 후 연마하였다. 부식은 에탄올에 3 vol. %의 질산(HNO₃) 혼합액을 이용하였다. 또한 냉각 속도에 따른 솔더 범프의 미세 구조의 변화를 관찰하기 위해 Si 웨이퍼(wafer)위에 hole 크기가 200 μ m인 금속 마스크를 부착한 후 솔더 범프와 Si 웨이퍼의 접착을 위해 Ti과 Cu를 각각 150nm와 500nm의 두께로 스퍼터링(sputtering)방법으로 증착한 다음 진공 증발법으로 63wt.%Sn/37wt.%Pb 합금 박막을 약 40 μ m의 두께로 증착하였다. 표 1의 63Sn/37Pb 솔더의 리플로 열처리와 동일하게 리플로 열처리하여 솔더 범프를

형성하였으며 솔더 범프의 미세 구조의 관찰은 광학 현미경을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1. 순수한 Pb, Sn 박막의 미세 구조

그림 2와 그림 3에 유리 기판 위에 진공 증발법으로 증착시킨 순수한 Sn박막과 순수한 Pb박막의 미세 구조를 SEM으로 관찰한 결과를 나타내었다. 그림 2(a)는 순수한 Sn박막의 단면 SEM사진으로 액체 질소 온도에서 부러뜨릴 때 주상정 입계를 통해 파괴가 일어났음을 알 수 있다. 이는 기판 온도(Ts)와 재료의 용점(Tm)의 비에 따라 진공 증착된 박막의 구조로 구별하는 구조 영역 모델(Structure Zone Model)⁸⁾의 영역 2에 해당되는 구조임을 알 수 있다. 본 실험의 경우 상온에서 증착 하였더라도 Sn에서는 Ts/Tm의 비가 약 0.6이므로 이 값은 구조 영역 모델의 영역 2에 해당되는 범위(0.3~0.6)에 들어간다. 그림 2(b)는 순수한 Sn박막의 표면 형상을 보여 주는 사진인데 약 0.5 μ m의 크기를 가지는 미세한 구형의 결정립들이 관찰된다. 그림 2(a)에서 측정된 Sn박막의 주상정 폭이 평균적으로 약 4.2 μ m임을 감안하면 이 결정립들의 크기는 매우 작다. 이런 표면 형상은 Marchwicka와 Stepnievska가 석영(quartz)기판 위에 진공 증발법으로 증착한 Sn박막의 표면 관찰 결과와 비슷하다⁹⁾. 그림 3에 유리 기판 위에 진공

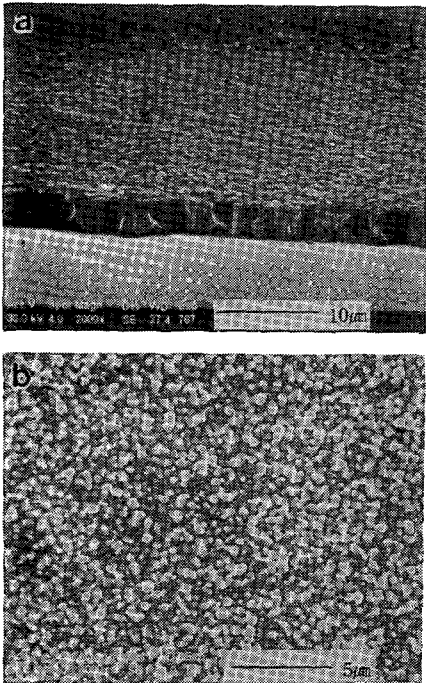


Fig. 2. SEM micrographs showing
(a) cross section of pure Sn thin film
(b) surface of pure Sn thin film.



Fig. 3. TEM micrographs showing microstructure of pure Sn thin film.

증발법으로 증착 시킨 순수한 Sn박막을 TEM으로 관찰한 결과를 나타내었다. TEM으로 관찰한 결정립의 크기는 약 400nm(0.4 μ m)로서 그림 2(b)에

서 SEM으로 관찰한 순수한 Sn박막 표면을 구성하고 있는 미세한 결정립과 그 크기(0.5 μ m)와 거의 일치하고 있다. 따라서 이러한 결과로서 상온에서 유리 기판 위에 진공 증발법으로 증착한 순수한 Sn박막은 주상정으로 성장하였으며, 주상정은 주상정 내부의 더 작은 미세한 결정립으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 그림 4(a)에는 순수한 Pb박막의 단면을 나타내었다. Pb가 전성이 우수하여 단면 시편을 제조할 때 액체 질소 온도에서 부러뜨려도 소성 변형되어 Sn박막과 비교해 깨끗한 단면 사진을 얻을 수 없었다. 그림 4(b)에 순수한 Pb박막의 표면 형상을 나타내었다. Sn박막과 마찬가지로 약 0.5 μ m의 크기를 가지는 미세한 결정립들로 이루어진 표면 형상을 보이고 있는 것으로 미루어 Pb박막 역시 주상정 구조로 성장하였을 것으로 생각한다.

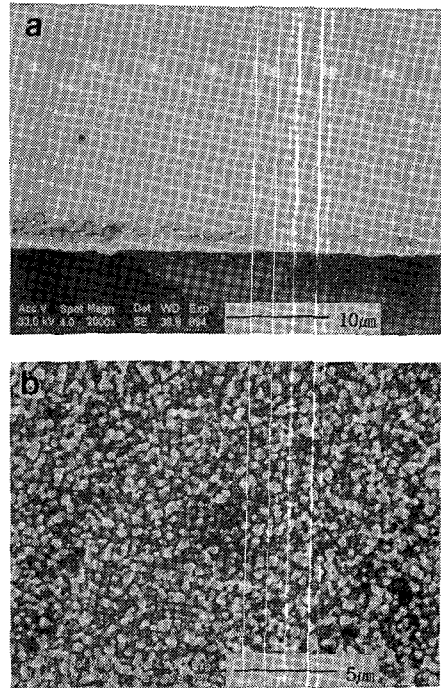


Fig. 4. SEM micrographs showing
(a) cross section of pure Pb thin film
(b) surface of pure Pb thin film

3. 2. 조성에 따른 Pb-Sn합금 박막의 미세 구조의 변화

그림 5와 그림 6에 유리 기판 위에 진공 증발법으로 증착한 63Sn/37Pb 합금 박막과 95Pb/5Sn 합금 박막의 미세 구조를 SEM으로 관찰한 결과를 나타내었다. 그림 5(a)의 63Sn/37Pb 합금 박막의 단면을 볼 때 63Sn/37Pb 합금 박막의 미세 구조는 두개의 영역으로 나누어져 있음을 알 수 있다. 합금 박막의 위 부분에서는 주상정 구조가 뚜렷이 관찰되며, 합금 박막의 아래 부분은 소성 변형되어 박막의 구조를 명확하게 알 수 없다. 이렇게 63Sn/37Pb 합금 박막의 단면이 사진 상 2개의 영역으로 분리되는 이유는 진공 증착시 Pb와 Sn의 평형 증기압 차이에 의해 Sn보다 평형 증기압이 높은 Pb가 먼저 증발되므로 63Sn/37Pb 합금 박막의 두께 방향으로 두께가 얇은 부분(합금 박막의 아래 부분)에서는 Pb의 양이 Sn에 비해

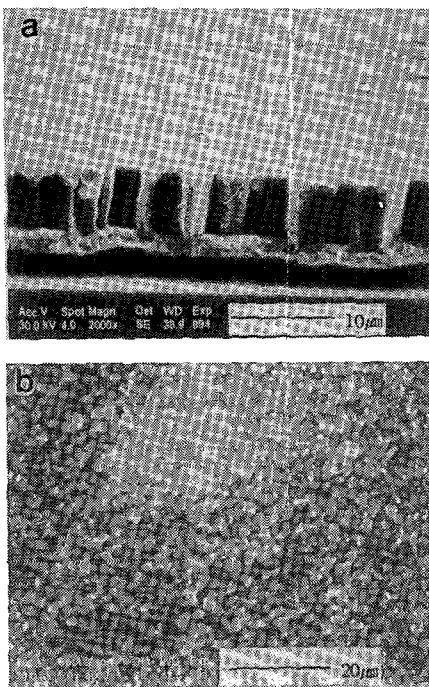


Fig. 5. SEM micrographs showing
(a) cross section of 63Sn/37Pb alloy film.
(b) surface of 63Sn/37Pb alloy film.

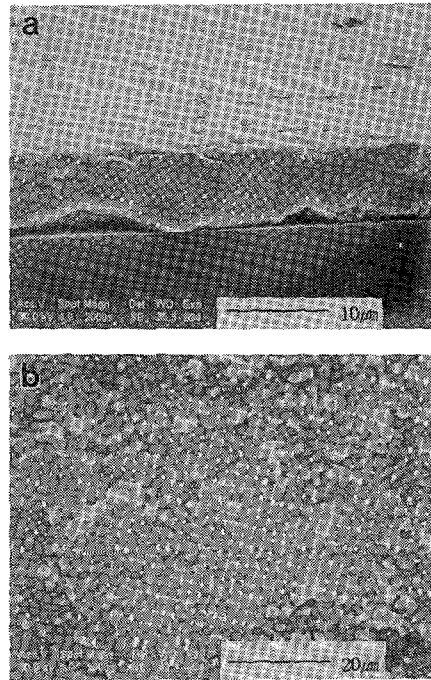


Fig. 6. SEM micrographs showing
(a) cross section of 95Pb/5Sn alloy film
(b) surface of 95Pb/5Sn alloy film.

상대적으로 많으며, 두께가 두꺼운 부분(합금 박막의 위 부분)에는 Sn의 양이 Pb에 비해 상대적으로 많기 때문에 합금 박막의 두께 방향으로 박막의 기계적 특성이 다르기 때문이다. 즉 합금 박막의 위 부분(주상정 구조가 관찰되는 부분)은 Sn-rich 영역으로 Pb에 비해 취약한 Sn성분이 대부분이므로 단면 시편 제조시 변형 없이 파괴되므로 주상정 경계 사이로 파괴가 진행되어 주상정 구조가 관찰되는 반면 합금 박막의 아래 부분은 쉽게 소성 변형되는 Pb의 양이 많기 때문에 단면 시편 제조시 주상정이 변형되어 박막의 단면 구조가 명확하게 나타나지 않는 것으로 생각한다. 실제로 리플로 열처리를 하지 않은 21 μ m 두께의 95Pb/5Sn 합금 박막을 EDS로 성분 분석하였을 때 Pb가 8.87wt.%, Sn이 91.13wt.%로서 Pb-Sn 합금 박막의 표면에는 Sn성분이 많게 나타났다. 이때 63Sn/37Pb 합금 박막의 전체 두께는 7.3 μ m로서 합금 박

막의 전체 두께에 대한 Sn-rich영역과 Pb-rich영역의 두께 비는 각각 75%와 25%이었다. 한편 63Sn/37Pb 합금 박막의 주상정의 폭은 평균 3.8 μm 로서 순수한 Sn 박막의 평균 주상정 폭인 4.2 μm 보다 다소 작게 나타나고 있다. 그림 5(b)에 63Sn/37Pb박막의 표면 형상을 나타내었다. 순수한 Sn박막과 마찬가지로 표면은 미세한 구형의 결정립들로 구성되어 있어 순수 박막의 경우와 비슷하게 주상정이 주상정 내부의 더 작은 결정립들로 구성되어 있는 것으로 보인다. 다만 결정립의 크기는 평균 3 μm 로 순수한 Sn박막의 결정립(평균 크기 = 0.5 μm)보다 크게 나타나 순수한 Sn박막의 표면 형상과는 다소 차이가 있었다. 이런 이유는 같은 증착 온도이지만 순수한 Sn의 증착시와는 달리 합금 박막 증착중 기판에 도달하는 Sn은 같은 금속층인 Pb-rich표면에 도달하므로 Sn원자의 이동도가 보다 향상되었기 때문으로 생각한다. 그림 6(a)에 95Pb/5Sn 합금 박막의 단면을 나타내었다. 순수한 Pb박막의 단면 사진과 마찬가지로 Pb성분이 많아 박막의 전성이 우수하여 단면 시편 제조시 박막이 변형되어 미세 구조를 정확하게 알 수는 없다. 그림 6(b)에 95Pb/5Sn 합금 박막의 표면 형상을 나타내었다. 63Sn/37Pb 합금 박막과 마찬가지로 미세한 결정립들로 구성된 표면 형상으로 미루어 95Pb/5Sn 합금 박막 역시 주상정 구조로 성장했을 것으로 생각한다.

3. 3. 조성과 리플로 방법에 따른 Pb-Sn 솔더의 미세 구조의 변화

그림 7에 노 열처리 방법과 급속 열처리 방법으로 리플로 열처리 방법을 달리하여 냉각 속도를 변화시켰을 때 얻어진 63Sn/37Pb 솔더의 미세 구조를 나타내었다. 그림 7(a)는 63Sn/37Pb 솔더를 노 열처리 방법으로 리플로 하였을 때의 미세 구조로 서냉에 의해 Sn-rich상과 Pb-rich상이 서로 평행한 전형적인 lamella구조를 나타내고 있다. 본 실험에 이용한 에칭 용액은 Pb를 선택적으로 에칭

하므로 사진에서 밝은 부분은 Sn-rich 영역이며, 어두운 부분은 Pb-rich 영역이다. 서냉시킨 63Sn/37Pb솔더의 미세 구조는 각 lamella가 서로 평행한 colony로 나누어진다. 이런 lamella구조의 형성은 냉각 속도가 느리기 때문에 냉각 중 Pb와 Sn 원자들이 Pb-rich상과 Sn-rich상으로 충분히 확산할 수 있었기 때문이다. 그림 7(b)에 63Sn/37Pb 솔더를 급속 열처리 방법으로 리플로 열처리하였을 때의 미세 구조를 나타내었다. 리플로 열처리 방법 상 시편이 튜브(tube)주위와 단열 되어 있는 급속 열처리에서는 노 열처리 방법에 비해 냉각 속도가 크게 증가하게 된다. 냉각 속도의 증가에 따라 63Sn/37Pb 공정 솔더의 미세 구조는 크게 변하여 lamellar구조는 관찰되지 않으며, Sn-rich기지 내에 Pb-rich상이 미세한 결정립으로 균일하게 분산된 구조를 나타내고 있다. 이러한 미세 구조의

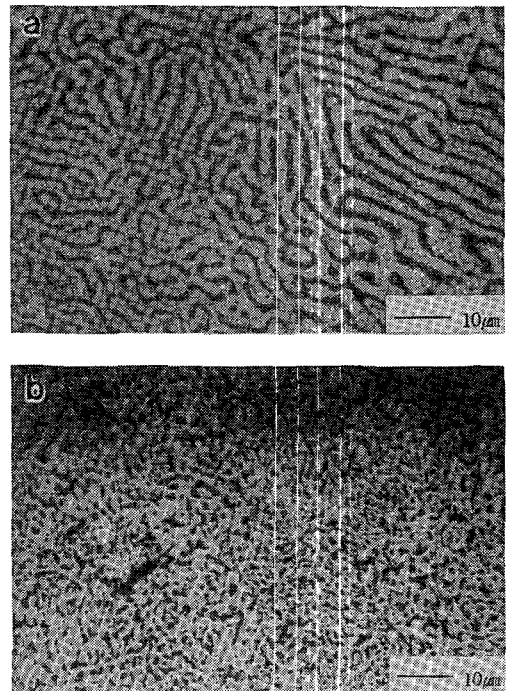


Fig. 7. Optical micrographs showing the microstructures of 63Sn/37Pb solder after (a) furnace heat-treatment (b) RTA heat-treatment.

변화는 액상 상태에서 급냉되어 응고가 매우 빠르게 진행되어 확산이 억제되어 lamella의 규칙적인 정렬이 억제되었기 때문이다. Mei⁶⁾ 등은 공정 솔더의 미세 구조가 급냉에 의해 Pb-rich상이 Sn-rich기 지 내에 분산된 구조에서 초소성(superplasticity)이 나타난다고 보고하였다. 즉 전형적인 lamella구조에서는 주로 colony boundary에 변형이 집중되어 불균일한 변형의 집중에 의해 파괴가 발생하게 되는 반면, 급냉에 의해 Pb-rich상이 Sn-rich기 지 내에 분산된 구조에서는 불균일한 변형이 발생하지 않으며, 주로 입계 미끄러짐(grain boundary sliding)에 의한 초소성 변형이 발생하게 된다. 또한 Shine 등¹⁰⁾은 급냉시킨 공정 솔더 접합부에서 초소성 크립의 결과를 얻었다. 하지만 실제 솔더 접합부에서 초소성이 나타나기 위해서는 열 피로(thermal fatigue)중의 응력과 변형률이 특정한 영역 내에 있어야 하며, 또한 결정립의 크기가 작아야 초소성이 나타나기 유리하므로 냉각 속도를 증가시키기 위하여 솔더의 부피가 작은 경우에 나타날 수 있을 것이다¹²⁾.

그림 8에 노 열처리 방법과 급속 열처리 방법으로 리플로를 했을 때의 95Pb/5Sn 솔더의 미세 구조를 나타내었다. 그림 8(a)는 노 열처리 방법으로 리플로한 결과로 얻어진 95Pb/5Sn솔더의 미세 구조로 약 5 μ m정도의 결정립을 관찰할 수 있으며 기지 내에 석출물도 보인다. 이는 이 합금의 경우 상온에서 Sn의 Pb에 대한 고용도는 약 2wt.%이므로 Sn이 석출된 것을 말해 준다. 즉 냉각시 거의 평형 상태를 이루면서 응고되었음을 나타낸다. 그림 8(b)는 급속 열처리 방법으로 리플로한 95Pb/5Sn 솔더의 미세 구조로 냉각 속도의 증가에 의해 광학 현미경으로 정확하게 관찰할 수 없을 정도로 미세한 결정립을 관찰할 수 있다. Summers¹¹⁾는 80wt.%Pb/20wt.%Sn와 95wt.%Pb/5wt.%Sn 솔더로 Cu/solder/Cu joint를 만들어 전단 응력 하에서 피로 시험을 하며 파괴 양상을 관찰하였는데 공정 솔더에 비해 조대화된 영역이 형성되지 않으며, Pb상내에서 입내 파괴가 발생하

는 전혀 다른 파괴 기구를 가짐을 보고하였다. 이러한 파괴는 입계 미끄러짐에 의해 나타나는 파괴 양상으로¹²⁾ 95Pb/5Sn솔더의 액상점이 315 $^{\circ}$ C로 변형 온도가 높으며, 75 $^{\circ}$ C이하에서는 2상구조로 제2상에 의해 변형 중 결정립의 변형이 억제될 수 있으므로 결정립의 크기가 작은 경우 초소성이 나타날 가능성이 높다고 생각한다. 따라서 95Pb/5Sn 솔더에서도 미세 구조의 제어를 통한 피로 수명 향상을 얻을 수 있을 것이다. 하지만 이런 미세 구조의 변화는 솔더 자체만의 변화로서 솔더 접합부의 피로 수명을 좌우하는 다른 인자, 예를 들면 리플로 중에 솔더와 BLM의 계면에 형성되는 금속간 화합물의 두께와 표면 형상, 솔더 내부에 형성되는 Au-Sn 등의 금속간 화합물이 솔더 접합부의 피로 수명의 향상에 미치는 영향에 대해서는 솔더의 미세 구조 제어와 연계하여 많은 연구가 필요하다고 생각한다.

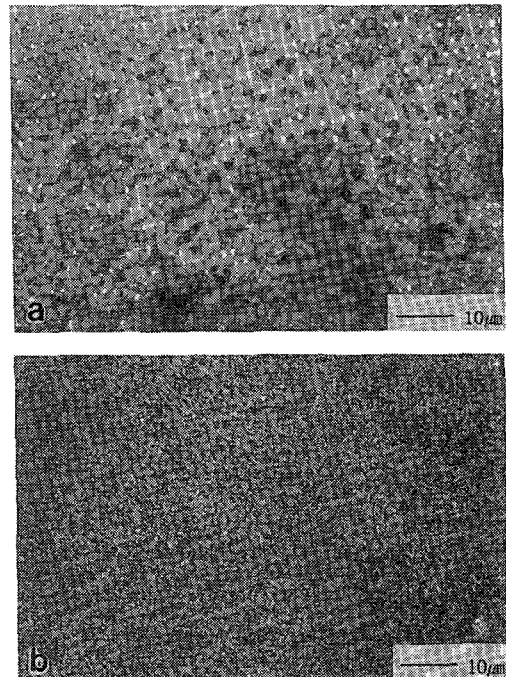


Fig. 8. Optical micrographs showing microstructures of 95Pb/5Sn solder after (a) furnace heat-treatment (b) RTA heat-treatment.

3. 4. 63Sn/37Pb 솔더 범프의 미세 구조

리플로 열처리 방법에 따른 솔더 범프의 미세 구조의 변화를 알아보기 위하여 Si기판 위에 Ti과 Cu를 스퍼터링 방법으로 증착한 후 63Sn/37Pb합금 박막을 지름 200 μm , 두께 40 μm 로 증착하여 노 열처리 방법과 급속 열처리 방법을 이용하여 솔더 범프를 형성하였다. 그림 9의 (a)와 (b)에 각각 급속 열처리 방법과 노 열처리 방법으로 리플로 열처리를 한 63Sn/37Pb솔더 범프의 단면 미세 구조를 나타내었다. 리플로 열처리 방법에 관계없이 그림 9(a), (b)의 솔더 범프는 모두 그림 7(b)의 급냉시의 Sn-rich기지 내에 Pb-rich상이 분산되어 있는 63Sn/37Pb솔더의 미세 구조를 나타내었다. 특히 그림 9(b)는 63Sn/37Pb솔더를 냉각 속도가 느린 노 열처리 방법으로 리플로 열처리한 결과로서 그림 7(a)의 63Sn/37Pb박막을 노 열처리 리플로 하였을 때와는 달리 lamellar구조를 나타내지 않았다. 또한 그림 9(a), (b) 모두 솔더 범프 내부에는 국부적으로 Pb성분이 밀집되어 있는 편석(segregation)이 관찰되고 있다. 이러한 편석의 분포와 크기는 리플로 열처리 방법에 따라 다소 차이를 나타내고 있는데 그림 9(b)의 노 열처리 방법으로 리플로 시킨 솔더 범프 내부의 편석에 비해 그림 9(a)의 급속 열처리 방법으로 리플로 시킨 솔더 범프 내부의 편석은 크기가 작으며 또한 솔더 범프의 가운데 부분에만 존재하기보다는 전체적으로 분산되어 나타나고 있다. 그림 9(b)에 나타낸 바와 같이 냉각 속도가 느린 노 열처리 방법으로 리플로 열처리하였을 때에도 63Sn/37Pb솔더 범프의 미세 구조가 평형 lamella구조가 아닌 Sn-rich기지 내에 Pb-rich상이 분산된 구조를 나타내는 이유는 솔더 범프의 밀면적의 지름이 200 μm 이고, 높이가 약 70 μm 로서 솔더 범프의 부피가 박막을 리플로한 때보다 훨씬 작으며, 솔더 범프의 부피가 작으므로 상대적으로 내부의 열이 분산될 수 있는 표면적이 넓고, 솔더 범프를 지지하고 있는 Si의 열전도도가 높아 냉각 속도에 관계없이 열 분산

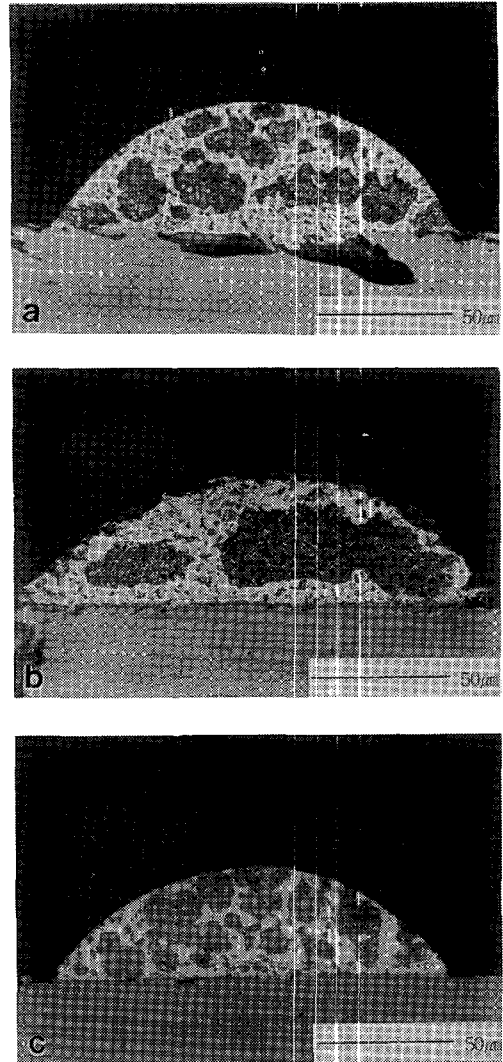


Fig. 9. Optical micrographs showing microstructures of 63Sn/37Pb solder bump after (a) RTA heat-treatment (b) furnace heat-treatment (c) RTA \Rightarrow RTA heat-treatment.

(thermal dissipation) 효과의 증가에 의해 냉각 속도의 증가 효과가 나타났기 때문이라고 생각한다. 또한 솔더 범프의 내부에 Pb원자가 국부적으로 밀집되어 있는 편석 현상이 나타나는 이유는 액상 솔더가 냉각될 때 Sn-rich상과 Pb-rich상을 형성하기 위해서는 액상 솔더 내에서 Sn원자와 Pb원자

가 충분한 확산해야 하는데 Pb원자는 Sn원자에 비해 액상에서 자기 확산 계수(self diffusion coefficient)가 작기 때문에¹³⁾ 옹고중 Pb-rich상으로서의 Pb원자의 확산이 Sn-rich상으로서의 Sn원자의 확산에 비해 상대적으로 작을 것이므로 옹고가 진행될수록 액상 내에서 Pb원자의 농도가 상대적으로 증가하기 때문이라고 생각한다. 이러한 편석의 크기와 분포가 리플로 열처리 방법에 따라 서로 다른 경향을 나타내는 이유는 빛 에너지를 이용하는 급속 열처리 방법상 솔더 범프 전체 부피에 동시에 열을 가할 수 있으므로 냉각 또한 솔더 범프 전체 부피에서 동시에 일어나는 반면 전도에 의해 열이 전달되는 노 열처리 방법에서는 솔더 범프 내부까지 열 전달 속도가 느리므로 급속 열처리에 비해 상대적으로 솔더 범프의 외부와 내부에서 냉각 속도의 차이가 더 크게 나타나기 때문으로 생각한다. 플립 칩 본딩 공정에서는 리플로 열처리로 솔더 범프를 형성한 후 접합 공정이 수반되므로 솔더 범프는 2번의 열처리 과정을 거치게 된다. 따라서 추가적인 열처리에 의한 솔더 범프 내의 편석의 변화를 알아보려고 급속 열처리를 2번 행하였다. 그 결과를 그림 9(c)에 나타내었다. 그림 9(a)와 비교해 편석이 전체적으로 감소함을 알 수 있다. 이러한 현상은 추가적인 열처리에 의해 Pb원자들이 편석에서 빠져나가 외부로 이동하면서 Pb-rich상을 형성하기 때문으로 생각한다. 그림 9(c)의 결과는 기판을 정렬하지 않고 솔더 범프만을 2회 리플로 열처리한 결과로서 실제 칩과 기판의 접합시에는 솔더 범프 양쪽에 칩과 기판이 있기 때문에 칩과 기판의 간격이 매우 작아 솔더 접합부 내부의 열의 분산은 주로 칩과 기판을 통해 이루어질 것이므로 솔더 범프 외부로의 열 분산은 본 실험과는 다른 경향을 나타낼 것이다. 이런 경우 칩과 기판의 양쪽으로 열이 분산된다 해도 솔더 범프 표면을 통한 외부로의 열 분산은 훨씬 작을 것이므로 추가적인 열처리에 의해 편석이 감소하는 경향은 더욱 증가할 것이다. 이러한 결과로서 표면 실장 기술에서 연구된 바 있는 미세 구조의 제어를 통한 솔더 접

합부의 피로 수명 향상 방법⁶⁾과 유사하게 플립 칩 본딩 방법의 솔더 접합부에서도 솔더 접합부의 미세 구조의 변화를 통해 솔더 접합부의 기계적 성질을 향상시킬 수 있으리라고 생각한다.

4. 결 론

진공 증발법으로 증착 시킨 순수한 Sn, Pb, 63wt.%Sn/37wt.%Pb, 95wt.%Pb/5wt.%Sn 합금 박막의 미세 구조와 리플로 열처리 방법에 따라 63wt.%Sn/37wt.%Pb, 95wt.%Pb/5wt.%Sn 솔더, 63wt.%Sn/37wt.%Pb 솔더 범프의 미세 구조를 연구한 결론은 다음과 같다.

1) 유리 기판 위에 상온에서 진공 증발법으로 증착한 순수한 Sn박막은 zone 2 구조로서 주상정으로 성장하였으며, 미세한 구형의 결정립으로 구성된 표면 형상을 나타내었다. 순수한 Pb박막 역시 주상정 구조의 특징인 구형의 결정립으로 이루어진 표면 형상을 나타내었다.

2) 유리 기판 위에 상온에서 진공 증발법으로 증착한 63Sn/37Pb 합금 박막의 단면은 두개의 영역으로 나누어져 63Sn/37Pb 합금 박막의 표면 쪽의 Sn성분이 많은 영역은 주상정 구조를 뚜렷이 나타내었다. 95Pb/5Sn 합금 박막은 박막이 매우 얇아 단면 시편 제조시 변형을 많이 받아 단면의 정확한 미세 구조를 알 수는 없었으나, 주상정 구조의 특징인 미세한 구형의 결정립으로 구성된 표면 형상을 나타내었다.

3) 63Sn/37Pb 솔더를 냉각 속도가 느린 노 열처리 방법으로 리플로를 한 경우 전형적인 공정 구조인 lamellar구조를 가지고 있었으며, 급속 열처리 방법으로 리플로를 한 경우 냉각 속도의 증가에 의해 lamellar구조를 형성하지 못하고 Sn기지 내에 구형의 Pb석출상이 미세하게 분산된 구조를 나타내었다. 95Pb/5Sn 솔더를 노 열처리 방법으로 리플로를 한 경우 결정립의 크기는 평균 5.4 μ m이었다. 하지만 급속 열처리 방법으로 리플로를 한

경우 광학현미경으로는 결정립을 관찰할 수 없을 정도로 결정립이 미세화되었다.

4) 63Sn/37Pb 솔더 범프는 열 분산 효과의 증가에 의해 냉각 속도가 느린 노 열처리 리플로 공정에서도 급냉에 의해 Sn기지 내에 Pb-rich상이 분산된 구조를 나타내었다. 하지만 솔더 범프 내부에는 국부적으로 Pb성분이 많은 편석 현상이 나타났다. 이는 냉각 속도가 증가되어 용고가 빠르게 진행되지만 Pb는 확산 속도가 낮아 액상 내에 그대로 존재하기 때문이다. 이런 편석은 추가적인 열처리에 의해 어느 정도 감소하였지만 편석 현상을 완전히 제거한 균일상을 만들지 못하였다.

후 기

본 연구는 1994년도 전자 통신 연구소(ETRI)의 연구비 지원을 받아 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. N. G. Koopman, Timothy C. Reiley, and P. A. Totta : Microelectronic Packaging Handbook, Rao R. Tummala, E. J. Rymaszewski (ed.), Van nostrand reinhold, (1989) 361
2. Chee. C. Wang : Multichip Module Technologies and Alternatives, D. A. Doane, P. D. Franzzon(ed.), Van nostrand reinhold, (1993) 432
3. L. S. Goldman, R. J. Herdzyk, N. G. Koopman, and V. C. Marcoffe : Proc. 27th Elec. Comp. Conf., (1987) 25
4. R. Satoh, M. Ohshima, H. Komura, I. Ishi, and K. Serizawa : 3rd Internat. Elec Pkg. Conf., (1983) 455
5. N. Matsui, Ssaki, and T. Ohsaki : Proc. IEEE 37th Elec. Comp. Conf., (1987) 573
6. Z. Mei, D. Grivas, M. C. Shine, and J. W. Morris. Jr. : J. Electronic Materials, 19 (1990) 1273
7. 김영호 : ETRI보고서(Flip Chip Solder Bump 형성 공정 연구), (1994) 81
8. Milton Ohring : The Materials Science of Thin Films, Academic Press, (1992) 227
9. G. Beensh-Marchwicka, L. Kral-Stepniowska : X-ray and Neutron Structure analysis in Materials Science, J. Hasek(ed.), Plenum Press, (1989) 241
10. Shine, M. C, L. R. Fox : Low Cycle Fatigue, ASTM STP 942, H. D. Solomon(ed.), American Society for Testing and Materials, Philadelphia (1989) 588
11. T. S. E. Summers, J. W. Morris, Jr. : ASME, (1989) 89-WA/EEP-39
12. D. Frear, D. Grivas, and J. W. Morris, Jr. : J. Electronic Materials, 7(2) (1988) 171
13. Smithells Metals Reference Book, E. A. Branders, G. B. Brook(ed.), 7th ed., McGraw-Hill book Co., New York, 13-118