

# Sn-Ag-X계 무연솔더 접합부의 미세조직 및 전단강도에 관한 연구

김문일\* · 문준권\* · 정재필\*

\*서울시립대학교 공과대학 재료공학과

## A Study on the Characteristics of Sn-Ag-X Solder Joint

Moon-Il Kim\*, Joon-Kwon Moon\* and Jae-Pil Jung\*

\*Dept. Materials Sci. and Eng., University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

### Abstract

Many kinds of Pb-free solder have been investigated because of the environmental concerns. Sn-Ag-Cu system is well known as most competitive Pb-free solder. However, since Sn-Ag-Cu system has relatively high melting point compared to Sn-Pb eutectic, it may a limitation, the some application. In this study, Bi and In contained solder of Sn<sub>3</sub>Ag<sub>8</sub>Bi<sub>5</sub>In which has relatively lower melting point, 188~204°C, was investigated.

Sn<sub>3</sub>Ag<sub>8</sub>Bi<sub>5</sub>In solder ball of 500 $\mu$ m diameter was set on the Ni/Cu/Cr-UBM and reflow soldered in the range of 220~240°C for 5~15s. The maximum shear strength of the solder ball was around 170mN by reflowing at 240°C for 10s. Intermetallic compound formed on the UBM of Si-wafer was analysed by SEM(scanning electron microscope) and XRD(X-ray diffractometer).

(Received September 30, 2001)

Key Words : Pb-free solder, Sn<sub>3</sub>Ag<sub>8</sub>Bi<sub>5</sub>In solder, Microstructure, Intermetallic compound, Joint strength

## 1. 서 론

전자제품에서 Pb를 함유한 솔더를 대체하기 위해 무연솔더(lead-free solder)의 개발과 성능평가에 관한 많은 연구가 진행되어왔다. 그 중 Sn<sub>3.5</sub>Ag 솔더합금은 Sn<sub>37</sub>Pb 공정솔더에 비해 기계적 성질이 우수하여 보다 가혹한 상황에서도 견딜 수 있는 것으로 알려져 있다. 또한, Cu와의 젖음성도 양호한 편이며 비교적 높은 용점을 가지므로 고온용 솔더로 주목을 받고있다<sup>1-2)</sup>.

전자부품의 패키지 크기는 줄어듦에 전기적인 특성을 최대한 살리기 위해 개발된 차세대 반도체 패키징 기술인 플립칩(flip chip)<sup>3)</sup> 패키지는 FCIP(flip chip in package)와 DCA(direct chip attach)에 사용되는 플립칩 등 크게 2가지 요소로 구성된다. 플립칩은 현재 PCB, 세라믹 재료 및 디스플레이 드라이버, 즉 FCOG(flip chip on glass)용으로 쓰이고 있다. 플립칩 패키지는 반도체 칩을 기판에 직접 부착하는 기술로 300MHz 이상으로 빠르게 작동하는 반도체 제품에도 쓰인다.

한편, 우수한 신뢰성을 갖는 플립칩 제작을 위해서는 솔더범프와 Al 패드(pad)사이에 놓이는 UBM(under bump metallurgy)층을 무시할 수 없다. 솔더링시 솔더와 Cu 사이의 계면에서 솔더와 Cu의 빠른 반응으로 인한 Cu의 고갈을 막기 위한 확산방지층, 표면 산화를 막기위한 산화방지층, 그리고 솔더와 접합을 이루는 젖음층 등을 적절하게 잘 선택해 주는 것이 중요하다<sup>4)</sup>.

본 연구에서는 중온계 무연 솔더인 Sn<sub>3</sub>Ag<sub>8</sub>Bi<sub>5</sub>In의 솔더접합부의 특성을 조사하기 위해 솔더범프의 전단강도, 시효특성 그리고 솔더접합부의 미세조직을 연구하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 실험재료

본 연구에 사용한 솔더의 조성은 전술한 바와 같이 Sn-3%Ag-8%Bi-5%In(각각 mass%)이며, 솔더의 형상은 직경 500 $\mu$ m의 볼(ball)이다. 이 솔더볼과 비교하기 위한 기준으로써 기존에 솔더링 접합에 주로 사용되고 있는 Sn<sub>37</sub>Pb 솔더볼을 사용하였다. 솔더링시 플

릭스는 RMA 타입(type)을 이용하였다. Fig. 1은 실험에 사용된 기판의 UBM 도금층을 보인 것이다. UBM층은 Si 웨이퍼(wafer)에서 순차적으로 Cr(700 Å)/Cu(1000Å)/Cu(4 $\mu$ m)/Ni(2 $\mu$ m)의 층을 300 $\mu$ m의 원형으로 형성하였다. UBM 층을 형성할 시에 Cr(700Å)/Cu(1000Å)는 전자빔 증착기(E-gun evaporator)를 이용하여 증착하였고, 그 위에 Cu(4 $\mu$ m)/Ni(2 $\mu$ m)를 전해도금하였다.

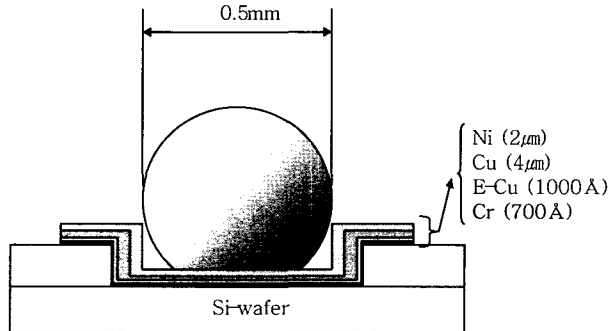


Fig. 1 Dimension of UBM and solder ball for the experiment

### 2.2 리플로 솔더링

기판은 ethanol을 이용하여 약 2분간 초음파 세척한 뒤 대기중에서 건조하였다. 건조된 기판의 패드 위에 플럭스를 도포하고 그 위에 솔더볼을 장착하였다.

플립칩 본더를 사용하여 대기분위기에서 리플로 솔더링하였다. 리플로 솔더링시의 가열곡선은 Fig. 2와 같다. 즉, 승온속도는 10 $^{\circ}$ C/s이며, 냉각속도는 5 $^{\circ}$ C/s이다. 또, 예열온도는 150 $^{\circ}$ C로 하였으며 본 가열온도는 Sn3Ag8Bi5In 솔더의 경우 220, 240, 260 $^{\circ}$ C이고, 본 가열온도에서의 솔더링 시간은 5~15s로 하였다. 비교를 위하여 Sn37Pb 솔더를 210, 230 $^{\circ}$ C에서 5~

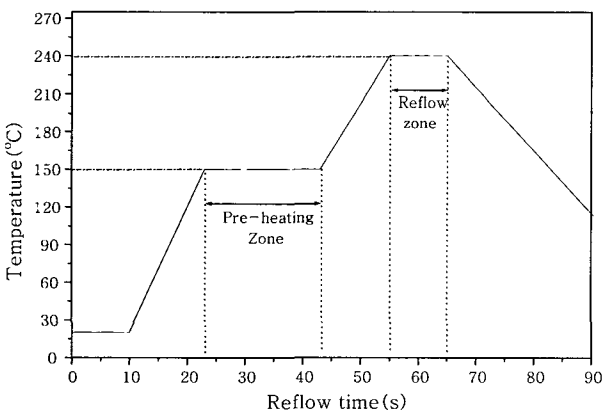


Fig. 2 Example of heating curve for the reflow soldering in this experiment

25s간 리플로 솔더링하였다.

### 2.3 전단강도 시험

일반적으로 기판에 형성된 솔더범프는 패키지 제작과정에서 수회의 리플로 솔더링 공정을 거치기 때문에 솔더링 시간과 시효에 따른 솔더범프의 전단강도값의 변화를 조사할 필요가 있다. 이를 위하여 솔더범프의 전단강도값이 가장 높게 측정되었을 때의 온도에서의 솔더링 시간을 10, 30, 60, 150, 300s로 증가시켜가며 솔더링하여 전단강도를 측정하였다. 또한, 접합강도에 미치는 열처리의 영향을 알아보기 위해 100 $^{\circ}$ C 온도범위에서 16일간 시효를 실시하였다.

솔더범프의 전단강도 측정에 사용된 장비는 미세전단 시험기(RHESCA, PTR-1000)이다. 전단강도의 측정 조건은 Fig. 3의 모식도에서 보인 바와 같으며, 팁과 기판과의 거리 10 $\mu$ m, 팁의 이동속도는 200 $\mu$ m/s이다. 각 조건에서 20회의 전단강도값을 측정하여 그 평균값을 계산하여 사용하였다.

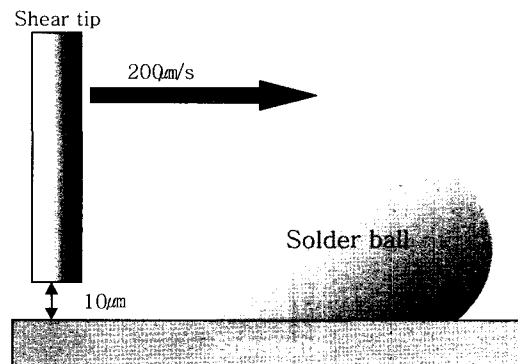


Fig. 3 Schematic illustration of the ball shear test

### 2.4 미세조직 관찰

솔더링시의 계면반응을 규명하기 위하여 240 $^{\circ}$ C에서 10s간 리플로 솔더링하여 그 미세조직을 분석하였다. 리플로 솔더링 후 접합부 단면의 미세조직 관찰은 주사전자현미경을 이용하였고, 솔더/기판 계면에 형성된 금속간 화합물의 성분을 분석하기 위하여 EDX(Energy Dispersive X-ray)를 사용하였다. 계면에 형성된 금속간 화합물의 형상을 보다 자세하게 관찰하기 위하여, 솔더볼이 형성된 시편에서 솔더부를 모두 에칭시켜 제거한 뒤 주사전자현미경으로 관찰하였다.

솔더링부의 솔더부분을 모두 녹여내기 위하여 NaOH와 O-nitrophenol을 각각 H<sub>2</sub>O 용액에 용해시킨 후 혼합한 용액과 50% 질산용액을 사용하여 금속간화합물층만 남기고 솔더부분을 선택적으로 녹여내었다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 솔더범프의 전단강도

Fig. 4는 Sn37Pb 솔더의 용점 이상에서 유지시간의 변화에 따른 전단시험 결과를 보인 것이다. Sn37Pb 솔더의 경우 리플로 온도를 210, 230℃로 하고, 리플로 시간을 5~25s로 변화시켰다. 두 온도의 경우 모두 15s간 리플로 하였을 때의 전단강도가 각각 146, 160mN로써 가장 높았다. 또, 230℃에서 리플로 하였을 때의 전단강도가 210℃에서 리플로 하였을 때의 전단강도에 비하여 평균적으로 24mN 가량 높았다.

DSC(differential scanning calorimeter)결과 Sn3Ag8Bi5In 솔더의 용융범위는 188-204℃이고, 평균 용점은 200.666℃으로 측정되었다. 솔더의 용점을 고려하여 Sn3Ag8Bi5In 솔더는 220, 240, 260℃에서 5~15s간 리플로 하였으며, 전단시험 결과를 Fig. 5에 보였다. 리플로 온도별로 비교하면, 240℃에서 리플로 하였을 때 전단강도는 가장 높았다. 또한, 240, 260℃에서는 10s간 리플로 하였을 때에 전단강도가 가장 높게 나타났으며, 이후 감소하였다. 리플로 시간이 증가함에 따라 금속간 화합물층이 성장하며, 금속간화합물의 두께가 증가함에 따라 솔더범프와 UBM간의 접합력이 증가한다. 그러나, Fig. 6을 통하여 15s간 리플로 하였을 때에는 금속간화합물층이 2.5μm이상의 두께로 과도하게 성장하였음을 알 수 있는데 이로 인해 솔더범프와 UBM간의 접합력이 약해진 것으로 판단된다<sup>5)</sup>. 그러나, 220℃에서 리플로 솔더링하였을 때에는 리플로 시간이 15s까지 증가하여도 전단강도가 감소하는 구간이 나타나지 않았다. 이는 220℃에서 리플로 솔더링하면 솔더링 온도를 240, 260℃로 하였을 때보다 상대적으로 솔더링 온도가 낮기 때문에 금속간화합물의 성장이 늦어져서 15s간 리플로 솔더링하여도 금속간화

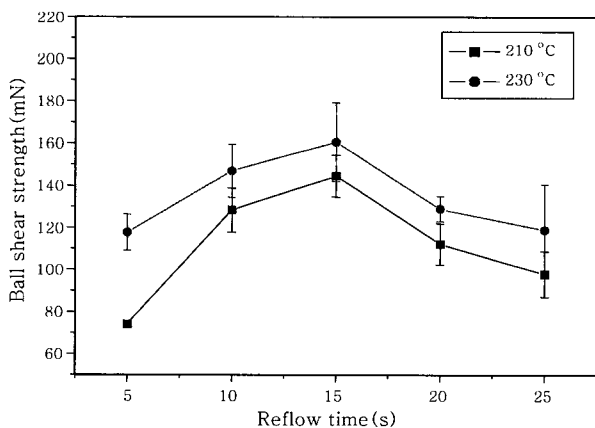


Fig. 4 Effect of reflow time on the shear strength of Sn37Pb solder ball on Si-wafer

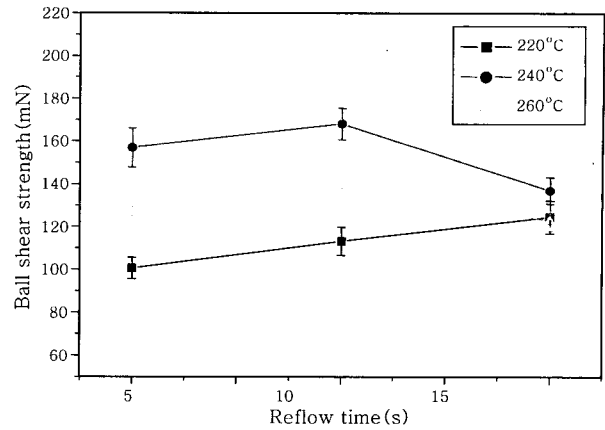


Fig. 5 Effect of reflow time on the shear strength of Sn3Ag8Bi5In solder ball on Si-wafer

합물이 강도의 증가에 기여하고 있는 것으로 추정된다. Fig. 7은 Fig. 5에서 전단강도가 가장 높게 측정되었던 조건(Sn3Ag8Bi5In : 10s간 리플로)에서 리플로 솔더링한 후에 110℃의 로(furnace)안에서 시효시간을 16일까지 증가시켰을 때 시효시간에 따른 전단강도의 변화를 보인 그래프이다. 시효시간이 16일까지 증가함에 따라서 Sn3Ag8Bi5In 솔더의 전단강도는 완만하게 증가 후 감소하였다.

Fig. 8은 Si 웨이퍼에 Ni/Cu UBM을 사용한 시편의 리플로 시간에 따른 솔더볼 접합부의 전단강도의 변화를 보인 그래프이다. Si 웨이퍼에 리플로한 솔더볼의 전단강도는 리플로 시간이 증가함에 따라서 대체적으로 감소하는 경향을 보였다. 리플로 시간이 10s 일때에는 Sn3Ag8Bi5In 솔더의 전단강도값은 169mN로써 146mN를 나타낸 Sn37Pb솔더에 비하여 20mN가량 근소하게 높았으나, 리플로 시간을 300s 까지 증가시켜 시험한 결과 30초 이후에서부터는 Sn3Ag8Bi5In 솔더범프의 전단강도값이 Sn37Pb솔더범프의 전단강도에 비하여

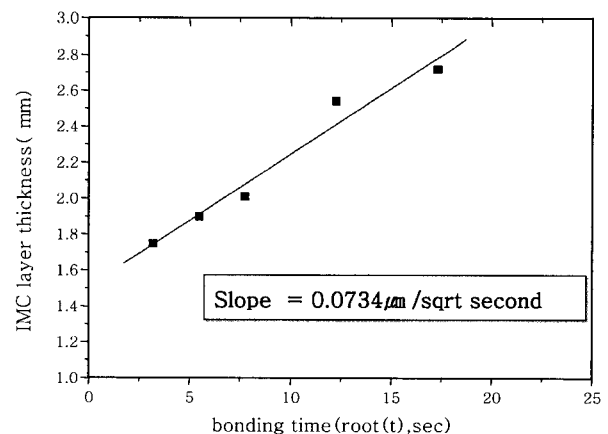


Fig. 6 Effect of bonding time on IMC layer thickness (substrate : UBM coated Si-wafer, solder : Sn3Ag8Bi5In, temperature : 240℃)

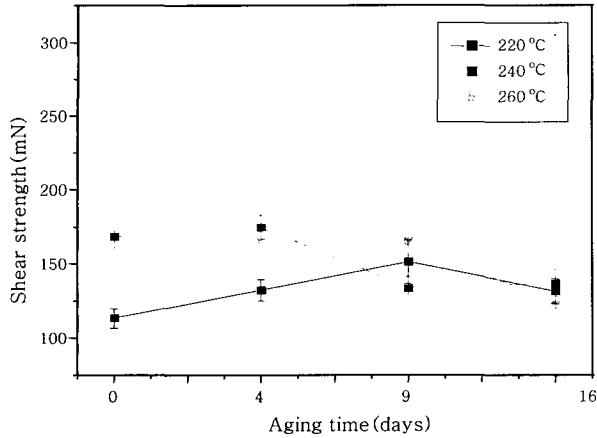


Fig. 7 Effect of aging time on the shear strength of Sn3Ag8Bi5In solder ball on Si-wafer

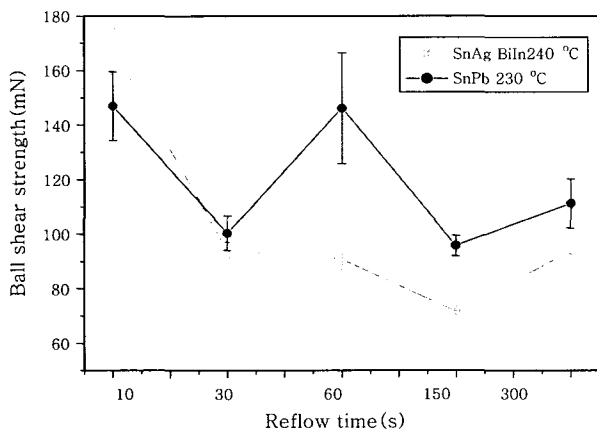


Fig. 8 Effect of reflow time on the shear strength of solder ball on Si-wafer.

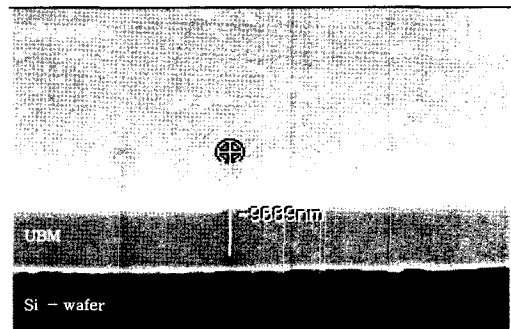
더 낮게 나타났다.

### 3.2 미세조직 관찰

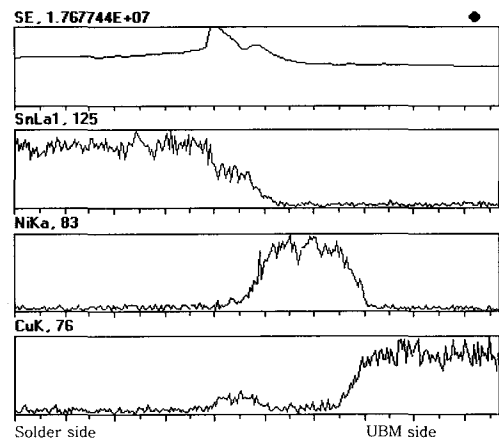
Fig. 9은 240°C에서 10s간 리플로 솔더링한 Sn3Ag8Bi5In 솔더와 Ni/Cu 기지 사이의 접합부 계면의 형상(Fig. 9(a))과 EDX 결과(Fig. 9(b))를 보인 것이다. 계면에는 UBM층과 솔더가 고온에서의 빠른 반응에 의하여 형성<sup>6)</sup>된 조개모양의 형태의 금속간 화합물이 존재한다. 이 금속간 화합물에 대해서는 후술할 것이다. Fig. 9(b)는 접합부 계면의 조성을 EDX를 이용하여 선분석한 결과이다. EDX 분석은 금속간화합물의 반응이 활발히 진행되었을 것으로 추정되는 Sn, Ni, Cu에 대해서 행하였다. Fig. 9(b)의 좌측은 솔더 측이고 우측은 UBM층을 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 솔더 쪽에서는 Sn의 함량이 높게 나타나고 있으며, UBM 쪽에서는 패드의 성분인 Cu가 높게 검출되고 있다. 솔더와 UBM의 중간에는 Cu의 확산 방지층인 Ni이 높게 나타나고 있다. 계면 반응층에서는 Sn과 Ni이 공존하고 있다. 또한, 맨 아래의 그래프에서 Cu

피크의 일부가 Ni층과 Sn의 사이에서 검출되었다. 이를 통하여 초기에 UBM층을 형성할 시에는 Ni층 아래에 위치하던 Cu가 솔더링 중 Ni층을 통과하여 Sn, Ni, Cu가 공존하는 영역이 형성되었음을 알 수 있다. 선분석 결과를 보면 Ni층에는 Cu peak이 거의 나타나지 않고 솔더와 Ni층 사이에서만 Cu가 검출되고 있다. 그 이유는 Cu가 Ni층을 통하여 체확산 한 것이 아니라 비교적 얇고 취약한 부분을 통과하여 금속간화합물을 형성하였기 때문이라고 추정된다.

Fig. 10는 Ni/Cu UBM층이 형성된 Si 웨이퍼와 Sn3Ag8Bi5In 솔더범프가 접합된 시편의 솔더층을 모두 녹여낸 후에 위에서(Top view) SEM을 이용하여 10000배로 관찰한 사진이다. 접합부 계면에는 봉상의 화합물이 UBM에서 솔더쪽을 향하여 뻗어 있으며, 사진의 중앙부위에는 UBM층과 평행하게 누워서 길쭉하게 성장한 화합물이 존재하였다. EDX 분석결과 각각 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>와 (Cu,Ni)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>로 판단되었으며 이 결과는 이와 유사한 형태의 화합물을 TEM(Transmission Electron Microscope)을 이용하여 분석한 J. Y. Park et al<sup>7)</sup>의 결과와도 일치한다.



(a)



(b)

Fig. 9 Cross-sectional view of the interface between Sn3Ag8Bi5In solder and UBM(soldering condition : 240°C, 10s). (a)SEM image, (b)result of line-scan

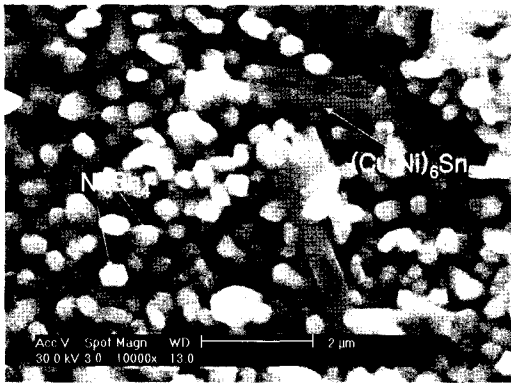


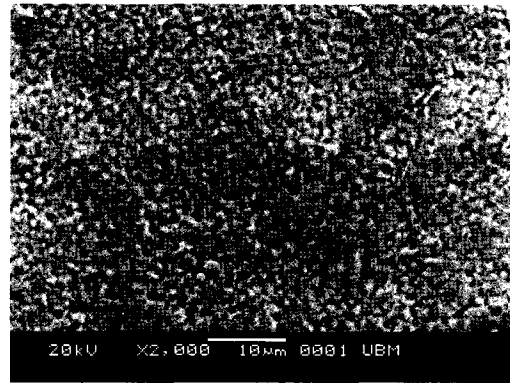
Fig. 10 Intermetallic compound observed for the UBM of Si-wafer(solder : Sn3Ag8Bi5In, soldering condition : 240°C,10s)

Cu가 Ni층을 통과한 경로를 알아보기 위한 방법으로 써 UBM층의 가장 상부에 있는 Ni층을 SEM과 AFM을 이용하여 분석하였다. Fig. 11(a)는 Ni 도금층의 SEM 분석결과이다. 분석결과 도금층 표면은 편평하지 않으며 미세한 요철이 존재한다. 이를 더욱 정밀하게 관찰하기 위하여 AFM을 사용하여 관찰한 결과가 Fig. 11(b)이다. Ni 도금층에는 미세한 틈새가 존재한다. 미세한 틈새가 형성되어있는 부분에서의 Ni 도금층의 두께는 틈새가 없는 부분에 비하여 상대적으로 얇은데, 이러한 부분의 얇은 Ni 도금층을 통하여 Cu가 Ni 도금층 위로 확산되었을 것으로 판단된다. 이러한 이유로 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간화합물을 형성에 의하여 Ni층이 소진되는 과정 도중에 Ni층이 남아있음에도 불구하고 일부분에서는 (Cu,Ni)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 금속간화합물이 생성되었다.

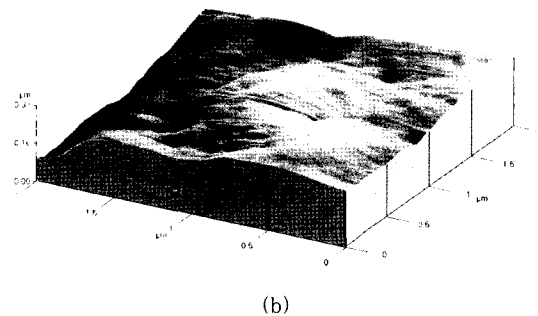
4. 결 론

Sn3Ag8Bi5In 솔더범프와 UBM과의 접합특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) Sn3Ag8Bi5In 솔더의 전단강도값은 리플로 온도를 240°C, 리플로 시간을 10s로 하였을 때 최고값을 보였으며 그 값은 169mN이었다.
- 2) Sn3Ag8Bi5In, Sn37Pb 두 솔더 모두 리플로 시간이 10~300s로 증가함에 따라서 솔더범프의 전단강도는 감소하였다. 리플로 시간이 10s일 때, Sn3Ag8-Bi5In 솔더범프의 전단강도는 Sn37Pb 솔더범프에 비하여 높았으나 시간이 증가하면서 Sn37Pb의 전단강도 값보다 낮은 값을 보였다.
- 3) 10s간 리플로 솔더링한 Sn3Ag8Bi5In 솔더와 Ni/Cu/Cr UBM 증착된 Si 웨이퍼의 반응 계면에 형성되는 금속간화합물층을 분석한 결과, 반응 계면에는 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 화합물이 형성되었으며, Ni층을 지나서 유입된 것으로 판단되는 Cu로 인하여 (Ni,Cu)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 화합물이



(a)



(b)

Fig. 11 Surface images of Ni layer on Cu-pad by SEM(a), AFM(b)

존재하였다.

후 기

본 연구는 2001년도 서울시립대학교의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. W. Yang, R.W. Jr. Messler and L.E. Felton: Microstructure evolution of eutectic Sn-Ag solder joints, J. Electronic Mater., **23**(1994), 765-772
2. D. R. Flanders, E. G. Jacobs and R. F. Pinizzotto: Activation Energies of Intermetallic Growth of Sn-Ag Eutectic Solder on Copper Substrates, J. Electronic Mater., **26**(1997), 883-888
3. H. Lau ed.: Flip Chip Technologies, McGraw-Hill Book Co., (1995), 123
4. F.G. Yost, F.M. Hosking and F.M. Frear: The Mechanics of Solder Alloy Wetting and Spreading, Van Nostrand Reinhold, (1993), 259
5. T.Y.Pang, H.D.Brair, J.M.Nicholson and S.W.Oh : Advanced in Electronic Packaging, ASME, **2**(1997), 13
6. R. J. Klein wassink : Soldering in electronics(2nd ed.), Electrochemical Publication Ltd.,(1989), 149
7. J. Y. Park et al : Investigation of Interfacial Reaction Between Sn-Ag Eutectic Solder and Au/Ni/Cu/Ti Thin Film Metallization, J. Electronic Mater., **30-9**(2001), 1165-1170