한국표면공학회지
Journal of the Korean Institute of Surface Engineering
Vol. 32, No. 4, Aug. 1999
<연구논문>

리플로 공정 후에 형성된 In과 Au/Ni/Ti 다층 박막의 계면 구조의 TEM 분석

조원구, 김영호, 김창경

한양대학교 공과대학 재료공학부

The TEM Characterization of the Interfacial Microstructure between In Solder and Au/Ni/Ti Thin Films during Reflow Process

W. G. Cho, Y. -H. Kim, and C. K. Kim.

Department of Materials Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

Abstract

The crystal structure and the microstructure of the intermetallic compounds formed in the interface between In solder and Au/Ni/Ti thin films have been investigated by XRD, SEM, and TEM. Indium solder was deposited on the Au/Ni/Ti thin films/Si substrate by evaporation. The heat treatments simulated the flip chip solder joining were performed in RTA system or in furnace. $AuIn_2$ phase is formed in all specimens. $In_{27}Ni_{10}$ and/or In_XNi_Y phase are formed in the interface between $AuIn_2$ and Ni depending the heat treatment conditions.

1. 서 론

솔더 범프 (solder bump)를 이용한 플립 칩 기술은 선 본딩 (wire bonding)이나 TAB (tape automated bonding) 방법에 비해 고밀도 실장이 가능하고, 리플로 공정 (reflow process) 중에 액상 솔더의 표면 장력에 의해 칩과 기판이 자기 정렬 (self-alignment)될 수 있으며, 전기적 신호처리 특성이 우수하기 때문에 선진화된 패키징 기술로 각광받고 있다.[1, 2] 인듐 및 In-Bi, Pb, Sn 등의 인듐계 솔더는 저온 실장용 솔더 범프로 적용되는 대표적인 재료이며, LD (laser diode)와 PD (photodiode) 등의 광소자와 액정표시장치의 구동 칩을 기판에 실장하기 위해 주로 사용된다.[3-5] 플립 칩 본딩에서 리플로 공정 중에 솔더 범프를 원하는 위치에 형성시키기 위한 금속 패드인 UBM (under bump metallurgy)은 다층 박막으로 형성되며, 주로 Au/Ni/Ti, Au/Cu/Cr, Au/Mo/Ti, 그리고 Ni/Cu/Ti 등이 사용된다. 인듐계 솔더에는 UBM의 솔더 젖음층으로 Cu 보다는 Ni을 사용하는 것이 결합부의 신뢰도를 증가시키는데 유리한 것으로 보고된다.[6] 플립 칩 본딩에서는 원하는 형

태의 솔더 범프를 형성하고, 솔더 범프가 형성된 소자를 기판에 실장하기 위한 두 차례의 리플로 공정이 실시되며, 이때 UBM과 솔더가 상호 반응하여 접합부에 금속간 화합물이 생성된다. 생성된 금속간 화합물은 접합부의 기계적 신뢰도에 영향을 미치므로, 이와 관련된 많은 연구가 이루어지고 있다.[7-10] 솔더 범프를 이용한 플립 칩 기술에서 가장 많이 사용되는 Pb-Sn 솔더와 Cu가 반응하여 Cu_6Sn_5 (η-상, hexagonal)와 Cu_3Sn (ε-상, orthorhombic) 등의 금속간 화합물이 생성되며, Pb-Sn 솔더와 Ni이 상호 확산하여 Ni_3Sn_4와 Ni_3Sn_2 등의 금속간 화합물이 형성된다는 사실을 X-선 회절장치 (XRD;X-ray diffractometry), 주사전자현미경 (SEM;scanning electron microscope), 전자 탐침 미량분석기 (EPMA;electron probe microanalyzer) 등의 기기 분석을 통해 밝혔다.[8, 9, 11] 리플로 공정 중에 용융된 액상의 인듐 솔더와 Ni 박막이 상호 반응하면 $In_{27}Ni_{10}$ (η-상, cubic), In_3Ni_2 (δ-상, hexagonal) 등의 In-Ni 금속간 화합물이 생성되며,[12, 13] 인듐과 Au 박막이 상호 반응하면 $AuIn_2$, AuIn 등의 In-Au 금속간 화합물이 생성된다[3, 14]고 보고되었다. 이러한 결론은 X-선 회절장치와 주사전자현미경 등의 분석을 통해 밝혀진 것으로서 다층 박막의 상호 확산에 의해 생성된 두께가 얇은 여러 금속간 화합물의 종류와 미세구조를 정확하게 고찰하는데는 한계가 있으며, 이에 투과전자현미경 (TEM;transmission electron microscope)을 이용한 고찰이 반드시 필요하나 시편 제작과 분석 등의 어려움으로 미비한 실정이다.

본 연구에서는 리플로 공정 중에 액상의 인듐 솔더와 Au/Ni/Ti 다층 박막이 상호 반응하여 계면에 생성된 금속간 화합물의 종류와 미세구조를 투과전자현미경을 사용하여 고찰하였다. 생성된 금속간 화합물의 결정학적, 화학적 정보를 얻기 위하여 수렴성 빔 전자회절법 (CBED;convergent beam electron diffraction)과 에너지 분산 X-선 검출법 (EDS;energy dispersive X-ray spectroscopy)을 사용하였다. 투과전자현미경을 통한 분석 결과를 보완하기 위해서, 박막 X-선 회절장치와 전계 방사 주사전자현미경을 이용하여 생성된 금속간 화합물의 종류와 박막 단면의 전체적인 미세구조를 고찰하였다.

2. 실험방법

전자빔 증발 증착기 (electron-beam evaporation)를 사용하여 Ti (150 nm), Ni (200 nm), Au (50 nm)의 순서로 실리콘 웨이퍼 위에 증착하였다. TCE (trichloroethlylene), 아세톤, 메탄올 등의 용매에서 초음파 세척된 다층 박막 (Au/Ni/Ti)/실리콘 기판 위에 저항 가열식 증발 증착기 (resistance-heated evaporation)를 사용하여 기본 진공도 9.5×10^{-5} Pa (7.13×10^{-7} torr)에서 1 μm 두께의 In을 증착하였다. In/Au/Ni/Ti 다층 박막이 증착된 시편을 RTA (rapid thermal annealing) 기기와 관상로 (tube-type furnace)에서 질소 분위기를 사용하여 리플로 공정을 모사한 두 차례의 열처리를 실시하였다. 인듐의 융점이 156.7℃이므로, 범프 형성 공정과 범프가 형성된 소자를 기판에 실장하는 공정을 모사한 두 차례의 급속 열처리를 180℃와 185℃에서 실시하였다 (본 시편을 RTA180-RTA185로 명명). 또한 리플로 온도에 따라 생성되는 금속간 화합물의 종류와 미세구조의 차이를 고찰하기 위해서, 열처리를 RTA 기기와 관상로를 사용하여 250℃와 255℃에서 실시한 시편 (RTA250-FT255로 명명)을 제작하였다.

박막 X-선 회절법을 이용하여 시편 RTA180-RTA185와 RTA250-FT255에서 생성된 금속간 화합물의 종류를 분석하였으며, Rigaku사의 D/MAX RINT2500 모델을 이용하였다. 4 kW X-선 (Cu-$K\alpha_1$)을 사용하였으며, 입사각을 1~7°로 하였다. 전계 방사 주사전자현미경 (field emission scanning electron microscope;JEOL, model JSM-6340F)을 사용하여 시편 RTA180-RTA185와

RTA250-FT255의 단면을 관찰하였다. 다이아몬드 팁을 사용하여 시편을 절단한 후에 HNO_3, HCl, 증류수를 1:7:8의 부피비로 혼합한 용액에서 습식 에칭하여 단면 시편을 제작하였다.

투과전자현미경을 이용하여 시편 RTA180-RTA185와 RTA250-FT255의 단면 미세구조를 관찰하고, 생성된 금속간 화합물의 종류를 분석하기 위한 시편을 제작하였다. 단면 시편은 연마, 초음파 디스크 절단, 딤플링 (dimpling), 그리고 이온 밀링 (ion-milling) 등의 공정을 거쳐 제작되었다. 에폭시를 사용하여 In/Au/Ni/Ti/실리콘 웨이퍼의 증착면을 서로 마주보게 접착시켜 상온에서 큐어링한 후에 다이아몬드 톱날, 사포, polishing paper, 초음파 절단기를 사용하여 두께와 지름이 각각 100 ㎛, 3 ㎜인 디스크로 가공하였으며, 딤플러 (Gatan, model 656 Dimple Grinder)와 이온 밀러 (Gatan, model 600 Dual Ion Miller)를 사용하여 관찰하고자 하는 부분을 얇게 제조하였다. 이온 밀링 중에 시편의 회전 속도를 아르곤 이온빔의 입사축과 박막 계면의 축이 수직일 때를 중심으로 시계 방향과 반시계 방향 40°부근에서는 천천히 회전시키고, 다른 방위에서는 빠르게 회전시키는 방법 (sector speed control method)을 사용하여 효과적으로 단면 시편을 제작할 수 있었다. 이온 밀링 시에 시편에 발생하는 열을 효과적으로 방출할 수 있도록 냉매로 액체 질소를 사용한 cold stage를 이용하였으며, 아르곤 이온빔의 입사 각도는 11°로 하였다. 투과전자현미경으로 Philips사의 CM30과 JEOL사의 2000EX II 모델을 이용하였으며, 가속 전압은 200 kV를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1. X-선 회절법을 이용한 금속간 화합물의 분석

그림 1과 그림 2는 각각 시편 RTA180-RTA185와 RTA250-FT255의 분말 X-선 회절 (θ-2θ scanning)과 박막 X-선 회절 (2θ scanning) 분석 결과이다. 박막 X-선 회절법은 일정한 낮은 각도의 X-선을 사용하여 회절이 시편의 표면에서만 일어나게 함으로서 박막 시료의 결정상을 분석하는데 유리하다.

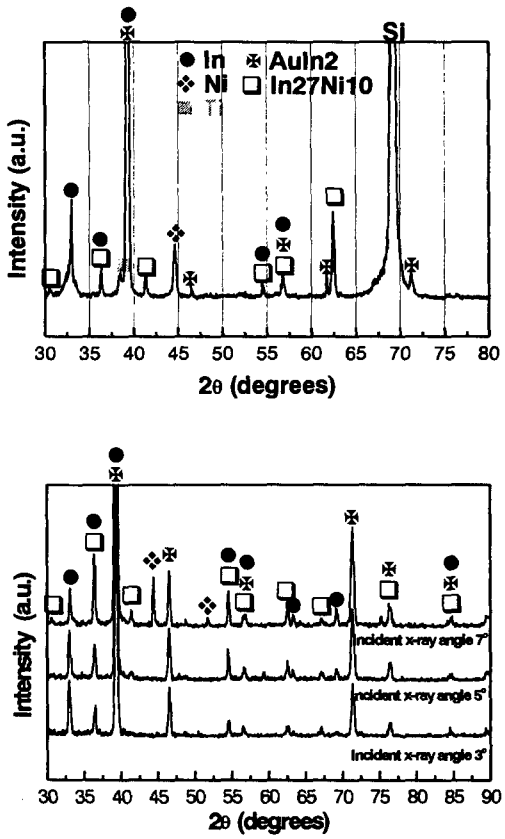

Fig. 1. Powder and thin film X-ray diffraction patterns obtained from RTA180-RTA185 sample.

시편 RTA180-RTA185의 분말 X-선 회절 패턴을 분석한 결과, In과 Ni 박막의 계면에 $AuIn_2$와 $In_{27}Ni_{10}$ (η-상)이 생성되었음을 알 수 있었다. 시편 RTA180-RTA185의 박막 X-선 회절 패턴에서 입사각이 5°이하일 경우에는 회절 패턴의 차이가 없으며, 분말 X-선 회절 분석과 마찬가지로 $AuIn_2$, $In_{27}Ni_{10}$ 등의 상이 생성되었음을 알 수 있다. X-선의 입사각이 7°일 경우에는 In, $AuIn_2$, $In_{27}Ni_{10}$과 함께 Ni (111) 피크도 나타났으며, 180

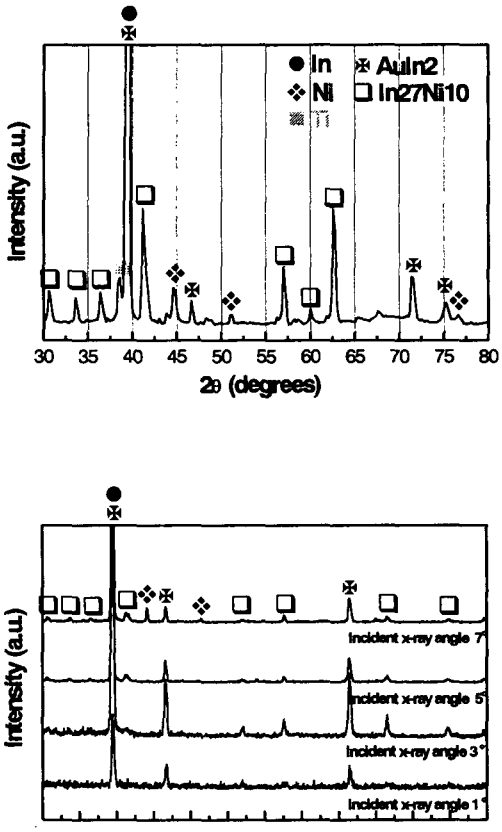

Fig. 2. Powder and thin film X-ray diffraction patterns obtained from RTA250-FT255 sample.

℃와 185℃에서의 고속 열처리 공정에 의해 200 nm의 Ni 박막이 인듐과 반응하여 모두 소모되지는 않았음을 알 수 있다.

시편 RTA250-FT255의 박막 X-선 회절 패턴을 분석한 결과, 시편 RTA180-RTA185와 마찬가지로 In과 Ni 박막의 계면에 $AuIn_2$와 $In_{27}Ni_{10}$이 생성되었음을 알 수 있다. 박막 X-선 회절에서 입사각이 1°일 경우에는 단지 In과 $AuIn_2$의 피크가 나타났으나, 입사각이 3~7°이면 In, $AuIn_2$와 함께 $In_{27}Ni_{10}$, Ni의 피크도 볼 수 있었다. 시편 RTA180-RTA185와 RTA250-FT255에서 In 솔더와 Ni 박막의 계면에 동일하게 $AuIn_2$와 $In_{27}Ni_{10}$ 금속간 화합물이 생성되었음을 알 수 있었다. 박막 X-선의 입사각을 증가시킴에 따라 시편 표면으로부터 안쪽에 형성된 상의 피크도 나타났으며, 이에 In/$AuIn_2$/$In_{27}Ni_{10}$/Ni 순서로 박막이 형성되었음을 미루어 짐작할 수 있다. 이창용 등은 시편 RTA250-FT255를 X-선 회절 분석하여 In_3Ni_2 (δ-상, hexagonal), $In_{27}Ni_{10}$ (η-상, cubic) 등의 금속간 화합물이 생성된다고 보고하였으며, 60°와 76°에서 나타난 피크를 각각 In_3Ni_2상의 (202), (104)로 분석하였다.[12] 그러나 이들 피크는 $In_{27}Ni_{10}$상의 (600), (721) 피크로 해석될 수 있으므로, In_3Ni_2상의 생성 여부를 알기 위해서는 주사전자현미경이나 투과전자현미경을 이용한 분석이 필수적이다.

3. 2. 금속간 화합물의 미세구조 관찰 및 분석

그림 3(a)와 (b)는 각각 시편 RTA180-RTA185와 RTA250-FT255의 단면을 전계 방사 주사전자현미경을 사용하여 관찰한 것이다. 실리콘 웨이퍼 위에 100 nm 두께의 균일한 박막이 있으며, 그 위에 시편 RTA180-RTA185에는 두께가 1 ㎛인 등축정의 금속간 화합물과 약 100 nm로 두께가 불균일한 두 층의 박막이 관찰되었고, 시편 RTA250-FT255에는 두께가 1 ㎛인 등축정과 300 nm인 등축정 및 주상정의 세 층의 박막이 형성되었음을 알 수 있다.

그림 4(a)와 (b)는 시편 RTA180-RTA185의 단면을 투과전자현미경을 이용하여 관찰한 명시야상 (BFI;bright field image)이다. 단면 시편의 제작 중에 이온 밀링된 정도에 따라 그림 4(a)와 (b)에 나타난 바와 같이 실리콘 웨이퍼에 인접한 세 층과 네 층의 박막을 각각 관찰할 수 있었다. 실리콘 웨이퍼에 인접한 두 층의 박막은 주상정 (columnar grain)으로 성장하였고, 그 위쪽으로 두께가 약 70 nm인 등축정 (equiaxed grain) 박막 (R1-층으로 명명)과 입도가 큰 등축정의 또 다른 박막 (R2-층으로 명명)이 형성되었음을 알 수 있었다. 그러므로 전계 방사 주사전자현미경을

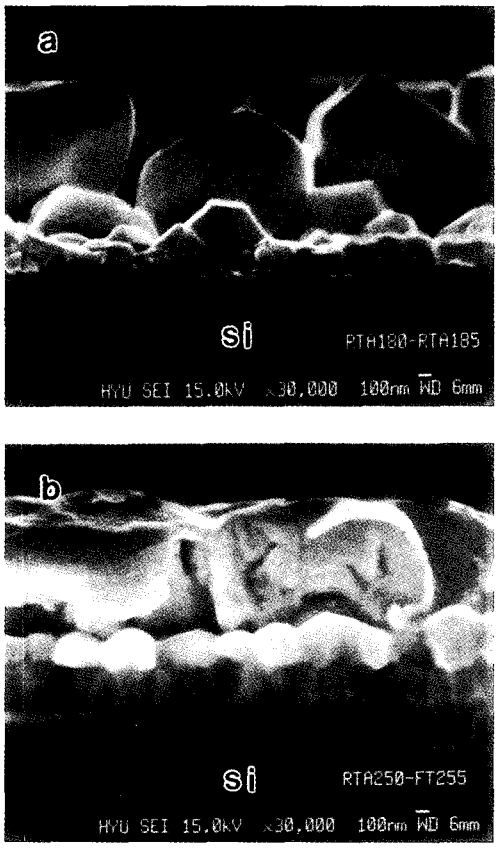

Fig. 3. Field emission SEM images obtained from (a) RTA180-RTA185 cross-sectional sample, (b) RTA250-FT255 cross-sectional sample.

이용하여 관찰된 두께가 약 1 ㎛, 100 nm인 등축정은 각각 R2와 R1-층임을 알 수 있다. 에너지 분산 X-선 검출 결과, 실리콘 웨이퍼에 인접한 주상정 형태의 두 층은 각각 Ti과 Ni이며, 180℃와 185℃에서의 두 차례 급속 열처리 공정 중에 200 nm 두께의 Ni이 모두 소모되지는 않았다는 X-선 회절 분석 결과를 재확인할 수 있었다. 또한 Ti과 Ni이 반응하지 않아 명확한 계면을 나타낸다.

그림 5(a)와 (b)는 각각 R1과 R2-층으로부터 수렴성 빔 전자회절법을 이용하여 얻은 회절 도형이다. 수렴성 빔 전자회절 도형에 나타난 투과 원반 (000)으로부터 가장 가까운 두 개 ZOLZ (zero order Laue zone) 원반의 거리 (D_1, D_2)와

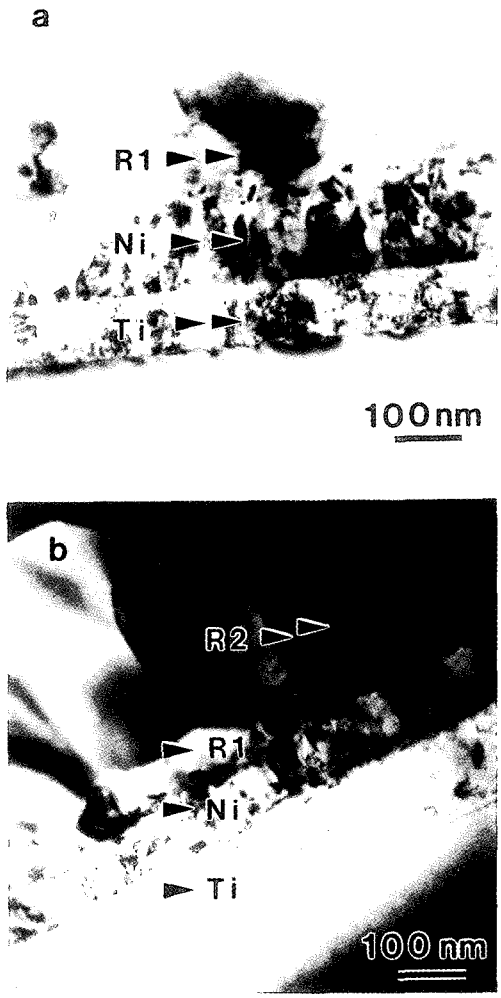

Fig. 4. Bright field TEM images of RTA180-RTA185 cross-sectional sample.

HOLZ (higher order Laue zone) 연속환의 반경 (CRAD)을 측정하여 단격자셀의 체적을 계산할 수 있으며, 이를 이론적인 단격자셀 체적과 비교하여 매우 간단하게 상분석을 할 수 있다.[15] 이론적으로 역격자 층의 간격을 역격자 투영면적으로 나누면 단격자셀의 체적을 계산할 수 있으며, 식 1과 같이 표시된다.

단격자셀체적 =

$$\frac{CL^2\lambda^3}{D_1D_2\sin(ANG)\left[1.0-\cos\left(\tan^{-1}\frac{CRAD}{CL}\right)\right]} \quad (1)$$

이때, CL은 카메라 길이 (camera length), λ는 전자빔의 파장으로 전자빔의 가속 전압이 200 kV 일 경우에는 0.02508 Å이고, ANG는 두 ZOLZ 원반 사이의 각도로서 90°이하의 값을 같도록 ZOLZ 원반을 결정한다. 표 1은 In, Au, Ni, Ti 및 In-Ni과 In-Au 금속간 화합물에 대한 단격자셀 체적을 계산한 결과를 나타내었다. 그림 5(a)에서 D_1, D_2, CRAD, ANG를 측정하고, 식 1을 사용하여 계산된 단격자셀의 체적은 415 Å^{3}이었다. R1-층의 에너지 분산 X-선 검출 결과, 화학 조성이 76.1 In-23.9 Ni (atomic %)임을 알 수 있었다. 수렴성 빔 전자회절 도형으로부터 계산된 단격자셀의 체적과 에너지 분산 X-선 검출로 밝혀진 화학 조성을 바탕으로 두께가 약 70 nm인 R1-층을 분석한 결과, 이론적인 단격자셀 체적이 389 Å^3, 화학 조성이 73 In-27 Ni (atomic %)인 $In_{27}Ni_{10}$ (η-phase) 상임을 알 수 있었다. 또한 카메라 상수 (camera constant), 7.40 ㎜Å을 고려하여 ZOLZ 원반 도형을 분석한 결과, 원반 x'과 x"는 각각 200과 121면의 회절 패턴임을 알 수 있다. 그림 5(b)는 카메라 길이를 110 ㎜로 하여 얻은 수렴성 빔 전자회절도형이다. ZOLZ 원반 y'와 y"의 D_1과 D_2는 약 1.2 ㎜, CRAD는 약 7.5 ㎜, ANG는 60°로 측정되었으며, 이에 단격자셀의 체적은 66 Å^{3}으로 계산되었다. 또한 에너지 분산 X-선 검출 결과, 화학 조성이 64.3 In-35.7 Au (atomic %) 임을 알 수 있었다. 이러한 결과를 종합적으로 고려하여, 단격자셀 체적이 69 Å^3, 화학 조성이 66.7 In-33.3 Au (atomic %)인 $AuIn_2$임을 알 수 있었다. 또한 원반 y'과 y"는 각각 220과 202면의 회절 패턴임을 알 수 있다. 투과전자현미경을 이용하여 분석된 결과를 바탕으

Table 1. Primitive cell volume of In, Au, Ni, Ti, In-Ni, and In-Au phases

Phase	Primitive cell volume Crystal structure	Phase	Primitive cell volume Crystal structure
In	26.15 Å^3 Tetragonal, I4/mmm, V52.30 Å^3	$Au_{11}In_3$	247.90 Å^3 Orthorhombic, Cm2m, V495.79 Å^3
Au	16.96 Å^3 Cubic, Fm3m, V67.85 Å^3	$Au_{10}In_3$	460.36 Å^3 Hexagonal, P$\bar{3}$, V460.36 Å^3
Ni	10.94 Å^3 Cubic, Fm3m, V43.76 Å^3	Au_3In	139.19 Å^3 Hexagonal, P63/mmc, V139.19 Å^3
Ti	35.32 Å^3 Hexagonal, P63/mmc, V35.32 Å^3	Au_9In_4	949.57 Å^3 Cubic, P$\bar{4}$3m, V949.57 Å^3
$In_{27}Ni_{10}$ (η-phase)	388.84 Å^3 Cubic, Im3m, V777.67 Å^3	Au_7In_3	1099.50 Å^3 Hexagonal, P$\bar{3}$, V1099.50 Å^3
In_3Ni_2 (δ-phase)	88.73 Å^3 Hexagonal, P$\bar{3}$m1, V88.73 Å^3	Au_3In_2	163.33 Å^3 Hexagonal, P3ml, V163.33 Å^3
InNi (ε-phase)	103.57 Å^3 Hexagonal, P6/mmm, V103.57 Å^3	Au_4In	35.18 Å^3 Hexagonal, P63/mmc, V35.18 Å^3
$InNi_2$	77.89 Å^3 Hexagonal, P63/mmc, V77.89 Å^3	$AuIn_2$	69.20 Å^3 Cubic, Fm3m, V276.79 Å^3
$InNi_3$	77.26 Å^3 Hexagonal, P63/mmc, V77.26 Å^3	$InNi_3$ (γ-phase)	104.63 Å^3 Hexagonal, P63/mmc, V104.63 Å^3

※ V : Unit cell volume

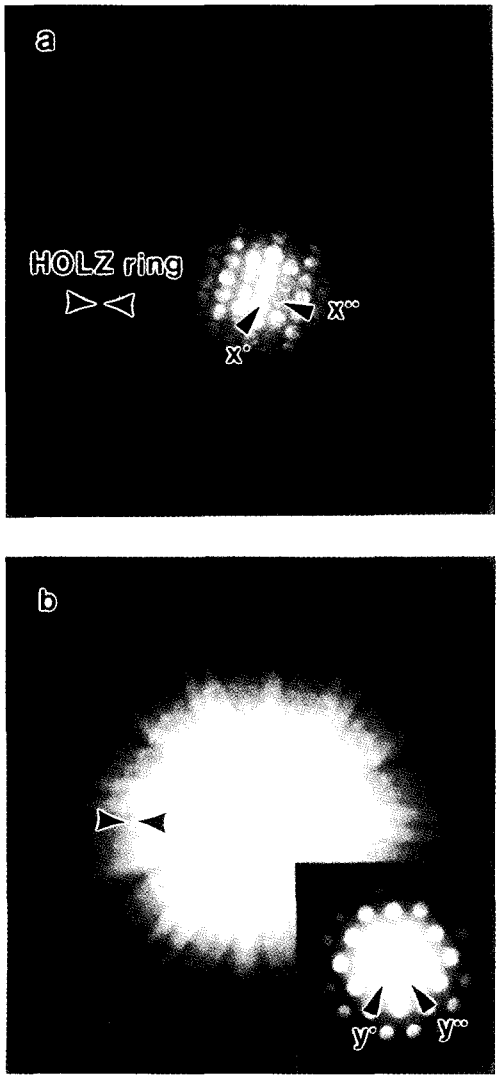

Fig. 5. Convergent beam electron diffraction patterns obtained from (a) R1-layer, (b) R2-layer of RTA180-RTA185 cross-sectional sample.

로, 전계 방사 주사전자현미경을 사용하여 관찰된 두께가 약 1 ㎛, 100 nm인 등축정은 각각 $AuIn_2$, $In_{27}Ni_{10}$임을 알 수 있었다.

그림 6(a), (b), (c)는 시편 RTA250-FT255의 단면을 투과전자현미경을 이용하여 관찰한 명시야상이다. 그림 6(a)와 (b)는 실리콘 웨이퍼에 인접하여 형성된 박막을 확대하여 관찰한 것이며,

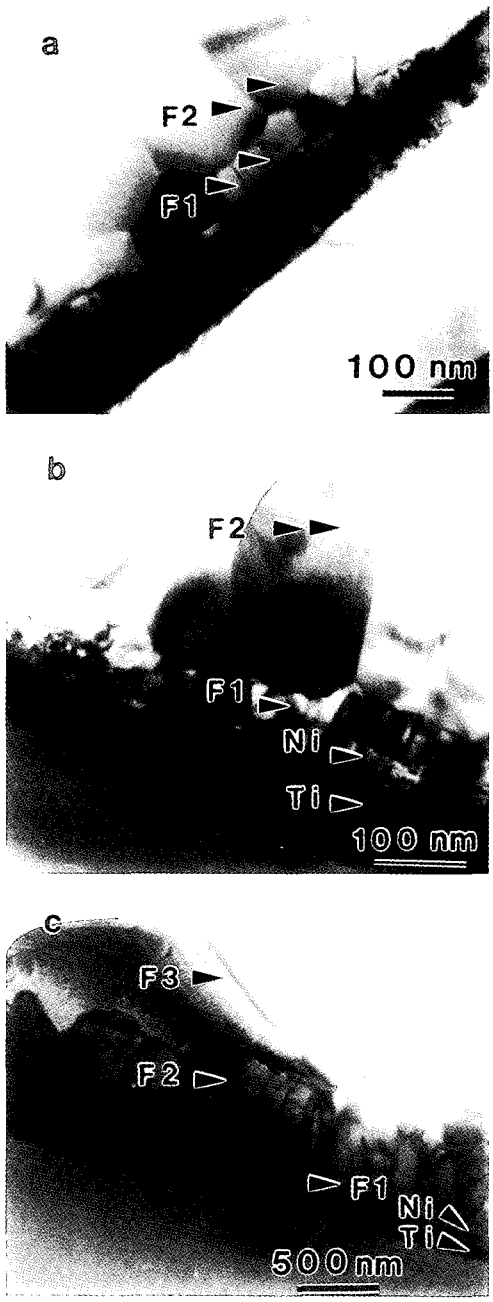

Fig. 6. Bright field TEM images of RTA250-FT255 cross-sectional sample.

그림 6(c)는 주상정으로 성장한 박막 위에 등축정이 형성되었음을 확인한 명시야상이다. 실리콘 웨이퍼에 인접한 순서로 두께가 150 nm 이하인 세

층의 박막, 그리고 그 위쪽으로 550 nm 두께의 주상정 (F2-층으로 명명)과 입도가 큰 등축정 (F3-층으로 명명)이 생성되었다.

시편 RTA180-RTA185와 마찬가지로 수렴성 빔 전자회절법과 에너지 분산 X-선 검출법을 사용하여 각각의 박막을 분석하였다. 에너지 분산 X-선 검출 결과, 실리콘 웨이퍼에 인접한 두 층의 박막은 각각 Ti과 Ni임을 알았다. 그림 7(a), (b), (c)는 각각 Ni 박막 위에 등축정 (F1-층으로 명명), F2-층, F3-층으로부터 수렴성 빔 전자회절법을 이용하여 얻은 회절도형이며, 가속 전압은 200 kV, 카메라 길이는 300 ㎜이었다.

그림 7(a)에서 D_1, D_2, CRAD, 그리고 ANG를 측정하여 계산된 단격자셀의 체적은 29 Å^{3}이다. 또한 F1-층의 에너지 분산 X-선 검출 결과, 화학조성이 50.6~61.8 In-49.4~38.2 Ni (atomic %) 임을 알 수 있었다. F1-층은 두께가 150 nm 이하이므로 공간 분해능 (spatial resolution)을 높이기 위해서 가능한 작은 탐침 (probe)을 사용해야 하는데, 이 경우 수집되는 X-선과 특성 X-선의 총량이 작기 때문에 정확하게 정량분석을 하는데는 한계가 있다. 에너지 분산 X-검출 분석 결과와 이창용과 Chen 등의 X-선 회절법에 의한 연구 결과[12, 13]로부터 F1-층은 In_3Ni_2 (δ-상, hexagonal, $P\bar{3}m1$)일 것으로 예상되었으나, In_3Ni_2상의 단격자셀 체적은 89 Å^{3}이므로 수렴성 빔 전자회절도형으로부터 계산된 단격자셀의 체적 29 Å^{3}에 부합하지 않는다. 그림 8은 F1-층으로부터 미소회절법을 이용하여 얻은 회절도형이다. 미소회절도형 (micro-diffraction pattern)을 분석한 결과, In_3Ni_2상은 아님을 확인할 수 있었다. 표 1에 나타난 바와 같이, In-Ni 이성분계에서 생성될 수 있는 상 가운데 단격자셀의 체적이 29 Å^{3}인 것은 없으므로, F1-층은 In 솔더와 Ni 박막의 열처리 중에 박막 형태로 생성될 수 있는 불균형 상이거나 지금까지 연구되지 않은 In-Ni 금속간 화합물인 것으로 사려된다. F1-층을 형성하는 In-Ni 금

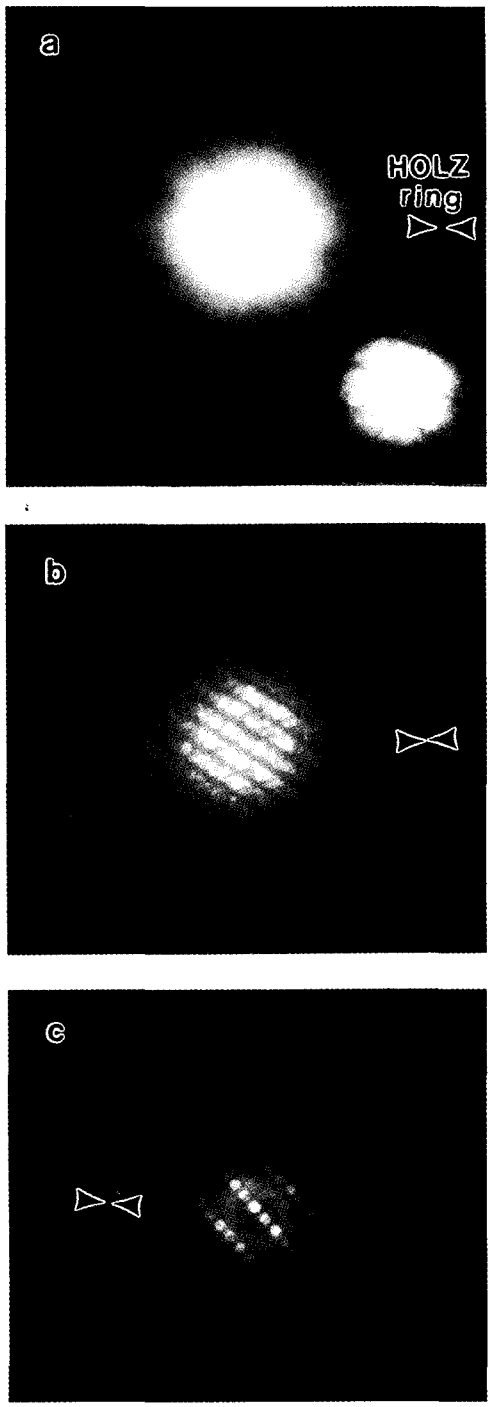

Fig. 7. Convergent beam electron diffraction patterns obtained from (a) F1-layer, (b) F2-layer, (c) F3-layer of RTA250-FT255 cross-sectional sample.

Fig. 8. Micro-diffraction pattern obtained from F1-layer.

속간 화합물의 결정구조를 규명하기 위해서는 여러 개의 정대축에서 얻은 수렴성 빔 전자회절 도형으로부터 점군 및 공간군을 분석하는 추가 실험이 요구된다.

F2-층으로부터 얻은 회절도형인 그림 7(b)의 수렴성 빔 전자회절도형에서 D_1, D_2, CRAD, ANG를 측정하여 계산된 단격자셀의 체적은 400 $Å^3$이다. 또한 에너지 분산 X-선 검출 결과로부터 화학 조성이 72.3 In-27.7 Ni (atomic %) 임을 알 수 있었다. 그러므로 F2-층은 $In_{27}Ni_{10}$임을 알았다. 그림 7(c)의 회절도형과 에너지 분산 X-선 검출 분석 결과, In 솔더와 Au가 반응하여 $AuIn_2$ 상이 등축정으로 성장하였음을 알 수 있었다.

투과전자현미경을 이용하여 분석된 결과를 바탕으로, 전계 방사 주사전자현미경을 사용하여 관찰된 두께가 1 ㎛인 등축정은 $AuIn_2$이고 300 nm 두께인 두 층의 박막은 각각 $In_{27}Ni_{10}$과 In_XNi_Y라고 사려된다. 그림 6(a)와 (b)에 나타난 바와 같이, 리플로 공정 후에 소모되지 않은 Ni 박막의 두께가 불균일한 것을 관찰할 수 있었다.

표 2에 시편 RTA180-RTA185와 RTA250-FT255에 생성된 금속간 화합물의 수렴성 빔 전자회절도형과 에너지 분산 X-선 검출에 대한 분석 결과를 나타내었다.

4. 결 론

리플로 온도에 따라 In 솔더와 Au/Ni/Ti 다층 박막의 계면에 생성된 금속간 화합물의 종류와 미세구조를 박막 X-선 회절장치, 전계 방사 주사전자현미경, 그리고 투과전자현미경을 사용하여 분

Table 2. CBED and EDS identification results of the formed intermetallic compounds at RTA180-RTA185 and RTA250-FT255 samples

Sample name	Layer name	D_1 (㎜)	D_2 (㎜)	ANG (°)	CRAD (㎜)	CL (㎜)	λ (Å)	Primitive cell volume ($Å^3$)	EDS result (atomic %) Identified phase
RTA180-RTA185	R1	1.61	1.94	65	14.75	300	0.0251	415	76.1In-23.9Ni $In_{27}Ni_{10}$
	R2	1.20	1.20	60	7.50	110	0.0251	66	64.3In-35.7Au $AuIn_2$
RTA250-FT255	F1	2.40	5.40	90	26.00	300	0.0251	29	50.6~61.8In-49.4~38.2Ni In_XNi_Y
	F2	1.14	1.95	74.5	17.30	300	0.0251	400	72.3In-27.2Ni $In_{27}Ni_{10}$
	F3	2.00	5.05	83	19.30	300	0.0251	69	64.2In-35.8Au $AuIn_2$

석한 후에 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1) RTA 기기를 이용하여 180℃와 185℃에서 두 차례 급속 열처리를 실시한 경우에는 In과 Ni 박막 계면에 $AuIn_2$와 $In_{27}Ni_{10}$ (η-상) 등의 금속간 화합물이 생성되었으며, RTA 기기와 관상로를 사용하여 250℃와 255℃에서 열처리를 실시한 경우에는 $AuIn_2$, $In_{27}Ni_{10}$, In_XNi_Y 등의 금속간 화합물이 생성됨을 알 수 있었다. 리플로 공정을 모사한 열처리 온도에서 Au에 대한 In 솔더의 고용도가 거의 0%이므로 In 솔더에 Au가 용해되지 않고 $AuIn_2$ 금속간 화합물이 형성되었다. 리플로 공정 중에 용융된 액상의 In 솔더로 Ni이 확산하여 $In_{27}Ni_{10}$과 In_XNi_Y 등의 In 성분이 많은 금속간 화합물이 생성되는 것으로 생각된다.

2) In_XNi_Y상의 단격자셀 체적은 29 $Å^3$, 화학 조성이 50.6~61.8 In-49.4~38.2 Ni (atomic %) 임을 알 수 있었으나, 정확한 결정구조를 규명하기 위해서는 추가적인 수렴성 빔 전자회절분석이 요구된다.

3) 박막 X-선 회절법을 이용하여 박막 계면에 생성된 금속간 화합물을 정확하게 분석하는데 한계가 있으므로 투과전자현미경을 이용한 분석이 반드시 요구되며, 수렴성 빔 전자회절도형을 이용하여 단격자셀의 체적을 계산함으로서 간단하게 박막 계면에 생성된 금속간 화합물을 분석할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 98년도 산업자원부에서 지원한 차세대 평판표시장치 기반기술개발을 위한 선도기술개발사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었으므로 이에 감사드리며, 본 연구에 참여한 연구원(조원구)은 한양대학교 신소재공정공학원의 장학지원에 대하여 감사의 뜻을 전합니다. 실험에 도움을 주신 LG 전자기술원의 이정수 박사님께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. J. H. Lau : Flip Chip Technologies, McGraw-Hill, New York, (1996) 123-126
2. R. R. Tummala, E. J. Rymaszewski, and A. G. Klopfenstein : Microelectronics Packaging Handbook Part I, Chapman & Hall, New York, (1997) 76-78
3. 문종태, 이상환, 주관종, 이희태, 송민규, 편광의 : 한국재료학회지, 7 (1997) 330
4. M. Mori, Y. Kizaki, M. Saito, and A. Hongu : IEEE Trans., Comp. Hybrids, Manuf. Technol., 16 (1993) 852
5. J. C. Hwang : IEEE Trans., Comp. Packag., Manuf. Technol.-Part A, 18 (1995) 458
6. J. L. Freer and J. W. Morris, JR. : J. Electron. Mater., 21 (1992) 647
7. A. C. K. So and Y. C. Chan : IEEE Trans., Comp. Packag., Manuf. Technol. -Part B, 19 (1996) 661
8. F. Bartels, J. W. Morris, Jr., G. Dalke, and W. Gust : J. Electron. Mater., 23 (1994) 787
9. P. L. Tu, Y. C. Chan, and J. K. L. Lai : IEEE Trans., Comp. Packag., Manuf. Technol.-Part B, 20 (1997) 87
10. P. T. Vianco, P. F. Hlava, and A. C. Kilgo :J. Electron. Mater., 23 (1994) 583
11. C. -Y. Lee and K. -L. Lin : Thin Solid Films, 249 (1994) 201
12. 이창용, 김영호, 김창수 : 대한금속학회지, 35 (1997) 1395
13. C. -J. Chen and K. -L. Lin : IEEE Trans., Comp. Packag., Manuf. Technol.- Part B, 20 (1997) 211
14. C. Y. Wang, Y. C. Chen, and C. C. Lee :IEEE Trans., Comp. Hybrids, Manuf. Technol., 16 (1993) 789
15. 김긍호 : 대한금속학회회보, 9 (1996) 633