

|||||||  
論 文  
|||||||

# In, Bi가 첨가된 Sn-9wt.%Zn/Cu 접합부의 납땜성 및 기계적 성질

백대화 · 이경구\* · 이도재

## The Solderability and Mechanical Properties of In, Bi Added Sn-9Zn/Cu Joint

Dae-Hwa Baek, Kyung-Ku Lee\* and Doh-Jae Lee

### Abstract

Interfacial reaction and mechanical properties between Sn-Zn-X ternary alloys(X : 3wt.%In, 4wt.%Bi) and Cu-substrate were studied. Cu/solder joints were subjected to aging treatments for up to 50days to see interfacial reaction at 100°C and then were examined changes of microstructure and interfacial compound by optical microscopy, SEM and EDS. Cu/solder joints were aged to 30days and then loaded to failure at cross head speed of 0.3 mm min<sup>-1</sup> to measure tensile strength. According to the results of the solderability test, additions of In and Bi in the Sn-9wt.%Zn solder improve the wetting characteristics of the alloy and lower the melting temperature. Through the EDS and XRD analysis of Cu/Sn-9wt.%Zn solder joint, it was concluded that the intermetallic compound was the  $\gamma$ -Cu<sub>5</sub>Zn<sub>8</sub> phase. Cu-Zn intermetallics at Cu/solder interfaces played an important role in both the microstructure evolution and failure of solder joints. Cu/solder joint strength was decreased by aging treatment, and those phenomenon was closely related to the thickening of intermetallic layer at Cu/solder joints.

(Received March 23, 2000)

### 1. 서 론

납땜(soldering)은 저융점 합금으로 전자기판과 회로를 전기적으로 연결하는 기능을 하며, 지금까지 이러한 합금으로 Sn-Pb계 공정부근 조성의 합금이 널리 사용되어왔다[1,2]. 90년대에 이르러 Pb의 환경오염에 대한 문제점과 전자부품의 소형화에 따른 기판의 집적도 증가로 물성이 우수하면서 Pb가 들어가지 않은 무연납땜의 개발이 요구되고 있는데, 미국내의 많은 연구소(AT&T, HP, IBM, GM, Ford)와 대학에서 물성이 우수하면서 Pb를 함유하지 않은 새로운 합금 개발에 총력을 기울이고 있으며, 일본의 경우에는 Fujitsu 및 하리마화학에서 이에 대한 연구를 집중적으로 수행하고 있다[3-5]. 한편, Sn-Zn계 공정 합금은 융점이 Sn-Pb계 납땜과 비슷하며, Al의 접합용으로 사용되고 있고, 상온에서 Sn에 대한 Zn의 고용도가 없어 미세조직의 조대화를 억제할 수 있으므로, Sn-Pb계 납땜을 대체할

수 있음에도 불구하고 납땜시 Zn의 산화성, 부식에 대한 민감성 및 납땜시 생성되는 다량의 드로스(dross) 때문에 이에 대한 연구가 거의 진행되지 않았으나 이러한 문제점만 해결되면 가장 주목받는 무연납땜이 될 것으로 기대된다[4].

Sn-9wt.%Zn계 납땜은 EPA(Environmental Protection Agency)에서 Pb계 납땜 드로스를 유독 물질로 규정함에 따라 드로스 발생을 억제하고 납땜성을 증가시키기 위해 분위기 중에서 납땜작업을 실시하는 공정이 개발됨으로서 산화와 부식문제가 해결되어 개발의 가능성이 나타나기 시작했다. 이와 같은 상황속에서 McCormack 등은 강한 활성 용제와 불활성 분위기 하에서 Sn-Zn계 납땜에 대한 연구를 통하여 Sn-Pb계 보다 물성이 우수한 납땜합금을 개발하였으나[4], Sn-Zn-In계 납땜의 미세조직 및 인장강도 특성연구에 국한함으로써 Sn-Zn계 합금의 무연납땜으로서의 사용가능성과 신뢰성 확보에는 많은 문제점을 나타냈다.

전남대학교 공과대학 금속공학과(Dept. of Metallurgical Engineering, Chonnam National University)

\*한려대학교 신소재공학과(Dept. of Advanced Material Engineering, Hanlyo University)

본 연구에서는 이와 같은 일련의 연구를 바탕으로 Sn-9wt.%Zn계 공정합금에 In, Bi등의 원소를 각각 첨가하여 합금을 제조한 후 Cu기판과의 직접적인 납땜을 통하여 Sn-Zn계 땜납의 납땜성, 계면반응 및 접합 강도를 측정하였다.

## 2. 실험 방법

땜납용 합금의 조성은 Sn-9wt.%Zn합금과 여기에 3wt.%In과 4wt.%Bi를 각각 첨가하여 제조한 합금으로 순도가 99.9%이상인 것(고순도화학연구소, 일본)을 사용하였다. 합금의 용해는 각각의 원소를 무게비로 석영관에 장입하여 800°C에서 20분간 유지하였으며, 산화 방지를 위해 10<sup>-3</sup> torr의 진공 분위기 중에서 용해하였다. 제조된 땜납은 DSC분석을 통하여 용해온도 범위를 예측하였고, 납땜성 측정을 위한 땜납은 용해된 합금을 압연한 후 직경 3 mm의 일정한 디스크 형태로 제조하였으며 이때의 무게는 약 0.03 g이었다. 기판으로 사용한 Cu판은 순도 99.7%의 무산소 동판으로, 약 0.1 mm 깊이까지 연삭하여 표면 압연 결함을 제거하였고, 표면 거칠기를 일정하게 하기 위해 0.3 μm의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 연마하였으며, 납땜 직전 10%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에 20초간 침지하여 표면의 산화 피막을 제거하였다. 납땜성 측정은 퍼짐 면적 측정법(area of spread test)으로 하였으며, 목적 온도(230°C)로 가열된 가열판에 전처리된 Cu판과 땜납을 동시에 올려놓고 입체 현미경을 사용하여 퍼짐이 진행중인 면적을 연속적으로 촬영하여 땜납이 기판에서 퍼진 원의 직경을 측정하여 면적을 계산하였다. 납땜을 위해 사용된 용제는 R-용제(rosin flux)와 R용제에 0.2% 염화물이 함유된 RMA(rosin mild activated) 용제를 사용하였으며, 이와 같은 용제를 Cu기판에 도포한 후 건조시켜 실험하였다. Cu기판과 땜납 계면에서 형성되는 반응층은 접합된 시편을 100°C에서 50일 까지 열처리한 후 EDS분석을 통하여 반응 생성물을 분석하였다. Cu/땜납 접합부의 신뢰성을 확인을 위한 인장시험편은 Cu판을 일정 크기(25×25 mm)로 절단한 후 연삭을 통하여 접합할 부위의 압연 결함을 제거한 후 0.3 μm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에서 마무리 연마하였다. 연마된 시편은 접합부 형성 직전에 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에서 산세하고 알콜과 증류수를 사용하여 세척하였으며, 두께가 0.8 mm인 Cu판 위에 준비된 시료를 부착하여 목적 온도에 달한 가열판 위에 장입하였고, 목적 온도

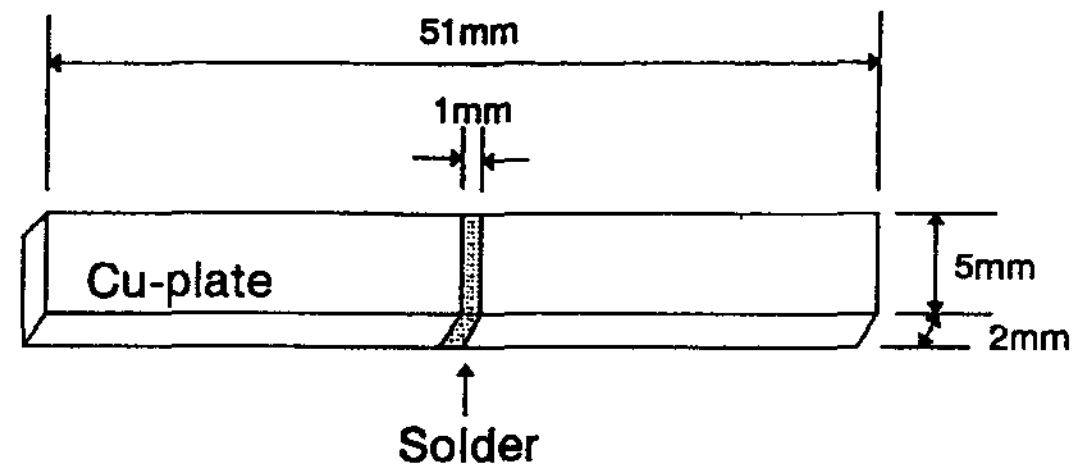


Fig. 1. Shape of tensile specimen to test the strength of solder joint.

에 도달될 때까지 Cu판의 산화를 방지하기 위해서 아르곤 가스를 주입하였다. 납땜은 Cu판의 목적 온도 도달 후 땜납과 함께 RMA형 용제를 Cu판 사이의 틈 위에 올려놓고, 땜납이 용해되어 Cu판 사이를 채우게 되면, 그 상태로 20초간 유지한 다음 가열판 위에서 차가운 금형으로 옮겨 급냉하였다. 이와 같은 시편은 Fig. 1과 같은 형태로 가공하여 인장강도 시험편을 제조하였다. 인장시험은 최대하중이 1톤인 만능 인장시험기를 사용하여 상온에서 인장속도를 0.3 mm/min조건에서 실시하여 계면강도를 측정하고 파단면은 인장 시험 후 SEM으로 관찰하였다.

## 3. 실험결과 및 검토

제조된 땜납의 용해 및 응고 범위는 합금의 미세조직과 물성에도 직접적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 납땜 온도 및 기판의 사용온도를 규정하기 때문에 DSC 분석을 통하여 용해거동을 파악하였다. Fig. 2a는 Sn-9wt.%Zn 합금의 DSC분석 결과로 승온속도를 10°C/min로 하여 분석하였다. 이원계 합금의 DSC분석에서 융점은 점 3에서 접선을 그어 1과 4를 지나는 선과 만나는 2의 온도(onset temperature)로 나타내는데, Sn-9wt.%Zn땜납의 경우 DSC분석에서 나타난 융점은 199.79°C로 Sn-Zn 이원계 상태도상의 공정합금의 융점인 199°C와 거의 일치함을 알 수 있다. Fig. 2b는 In이 3%첨가된 경우로 In첨가에 따라 Sn-9wt.%Zn에 비해 고상선 온도는 189.7°C로 약 10°C감소하였으며, 액상선 온도는 약 6°C 감소하여 용해 범위는 증가하였다. In의 첨가량을 3%로 제한한 이유는 Sn-In 이원계 평형상태도[6]에 나타난 바와 같이 150°C이하에서 γ상의 출현으로 인한 상변태가 일어날 가능성과 용해범위가 증가하기 때문이며, 땜납의 용해범위가 증가하면, 응고시 액상내에 고상이 먼저 석출되어 소자의 위치를

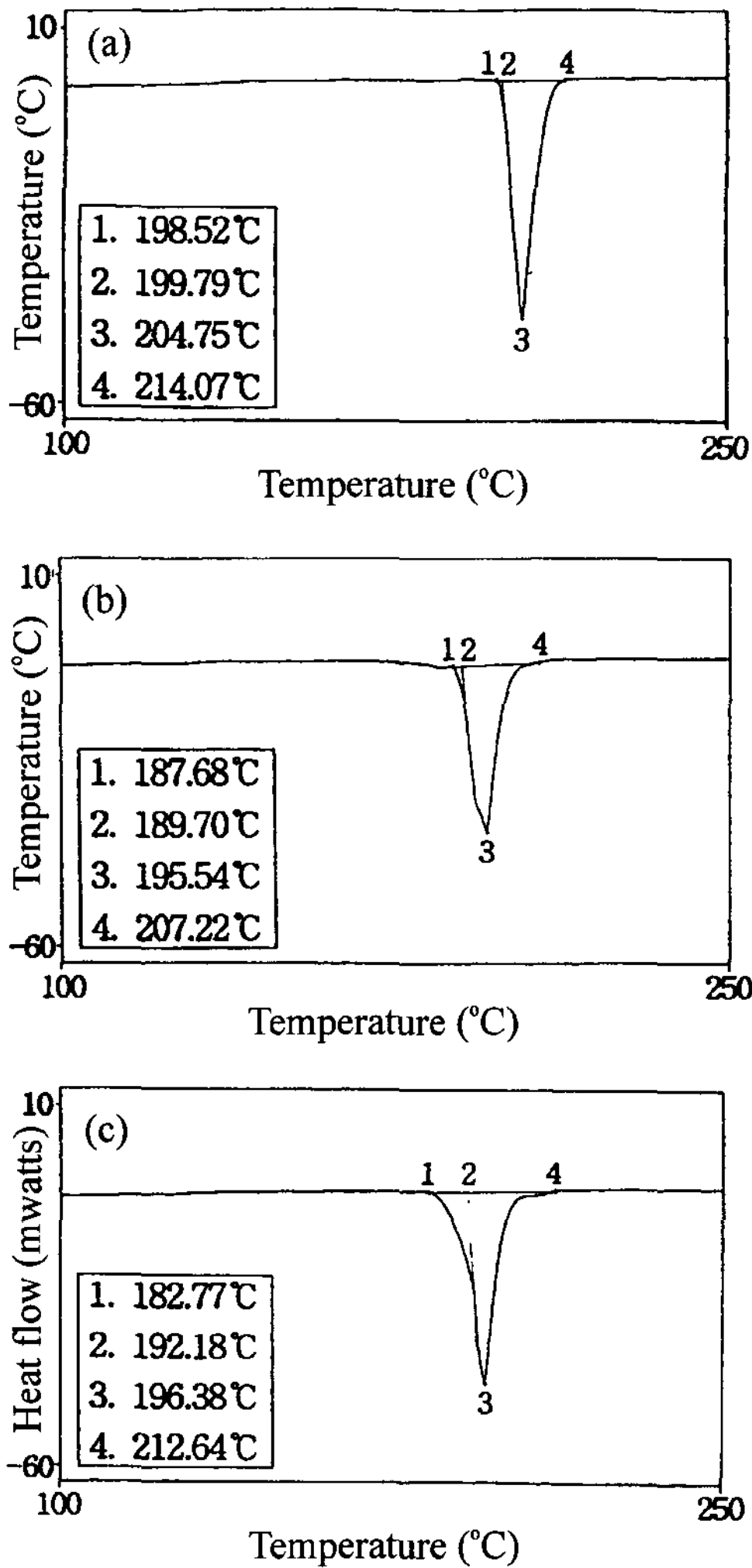


Fig. 2. DSC curves of Sn-9wt.%Zn (a), Sn-9wt.%Zn-3wt.%In (b), and Sn-9wt.%Zn-4wt.%Bi (c) at heating rate of 10°C/min.

어긋나게 할 수 있기 때문에 3%로 제한하였다. Fig. 2c는 Bi를 첨가한 경우의 DSC 분석결과로 Sn-9Zn에 비해 고상선의 온도는 192°C로 약 7°C 감소하였지만 액상선의 온도 감소는 상대적으로 적어서 용해 범위는 증가함을 알 수 있었다. Bi량을 4%로 제한한 이유는 Sn-Bi 이원계 평형상태도[7]에서 Sn에 Bi의 고용도는 상온에서 약 4%이므로 저용점 Bi-42wt.%Sn상( $T_{eut} = 138^\circ\text{C}$ )의 석출을 야기할 수 있는 과포화 Sn-rich상을 피하기 위해서였다.

Sn-9wt.%Zn계 납땜은 Zn의 산화에 대한 민감성으로 분위기가 납땜성에 큰 영향을 미칠 것으로 판단되어

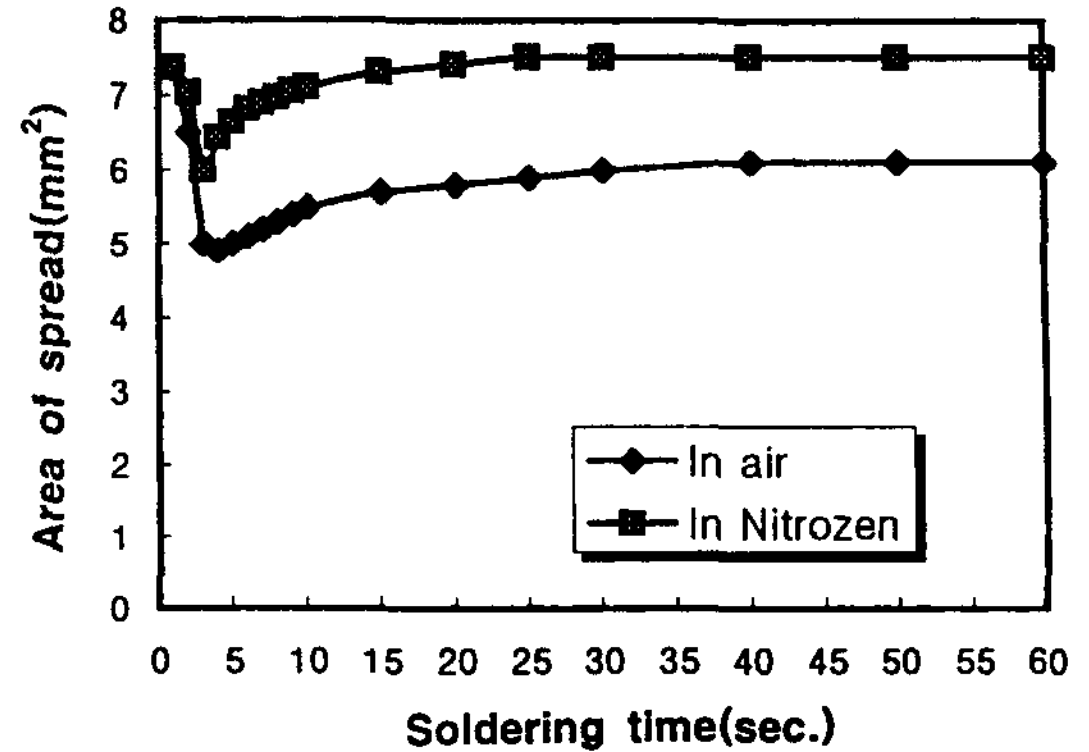


Fig. 3. Area of spread with soldering atmosphere under R-flux treatment on Cu plate. All specimens are tested at 230°C.

Fig. 3에 공기 중에서도와 N<sub>2</sub>분위기 중에서 R형 용제를 사용하여 납땜성을 평가한 결과를 나타냈다. 납땜은 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 처리로 표면의 산화피막을 제거한 Cu기판에 납땜을 올려놓고 가열판에서 가열하면서 퍼짐면적을 측정하였다. 그림에서 공기 중에서 납땜한 경우 원래 장입된 디스크의 면적보다 접촉면적의 크기가 감소하였으며, 가열시간이 증가하면서 약간의 퍼짐면적 개선이 나타남을 알 수 있다. 이와 같이 가열초기에 퍼짐면적이 감소하는 것은 고상의 납땜이 가열판에 의해 가열되면서 액상이 되는 순간 표면에너지를 줄이기 위해 구형으로 되기 때문이며, 유지시간이 증가면서 기판인 Cu와 반응하면서 액상-고상의 자유에너지 감소로 약간의 퍼짐성의 개선이 나타난 것으로 판단된다. 일반적으로 Zn은 액체상태에서 높은 반응성으로 인해 공기중의 수분과 쉽게 반응하여 납땜표면에 안정한 탄산염을 형성함으로써 표면에 백색의 막을 형성시키는데[8] 본 실험에서도 납땜 후 표면에 백색의 막이 형성되는 것으로 보아 탄산염이 형성되어 납땜-용제의 계면장력 ( $\gamma_{\text{solder-flux}}$ )을 증가시킴으로서 납땜성을 저해한 것으로 판단된다. N<sub>2</sub>분위기에서 납땜한 경우에는 공기 중에서 납땜한 경우보다 퍼짐성이 개선되었으며, 이는 분위기가 공기중의 수분과의 접촉을 방해하여 납땜-용제의 계면장력을 감소시켰기 때문으로 판단된다. 이와 같은 결과를 볼 때 Sn-Zn계 납땜의 젖음성은 분위기에 따라 민감하게 변함을 알 수 있으며, 산화성 분위기에서는 Zn의 산화로 인하여 젖음성이 불량함을 알 수 있다. 따라서 Sn-Zn계 납땜의 납땜성은 새로운 용제 개발 및 납땜 분위기의 발전에 의해 향상될 것으로 판단된다.

Fig. 4는 Sn-9wt.%Zn납땜에 합금 원소 첨가에 따른

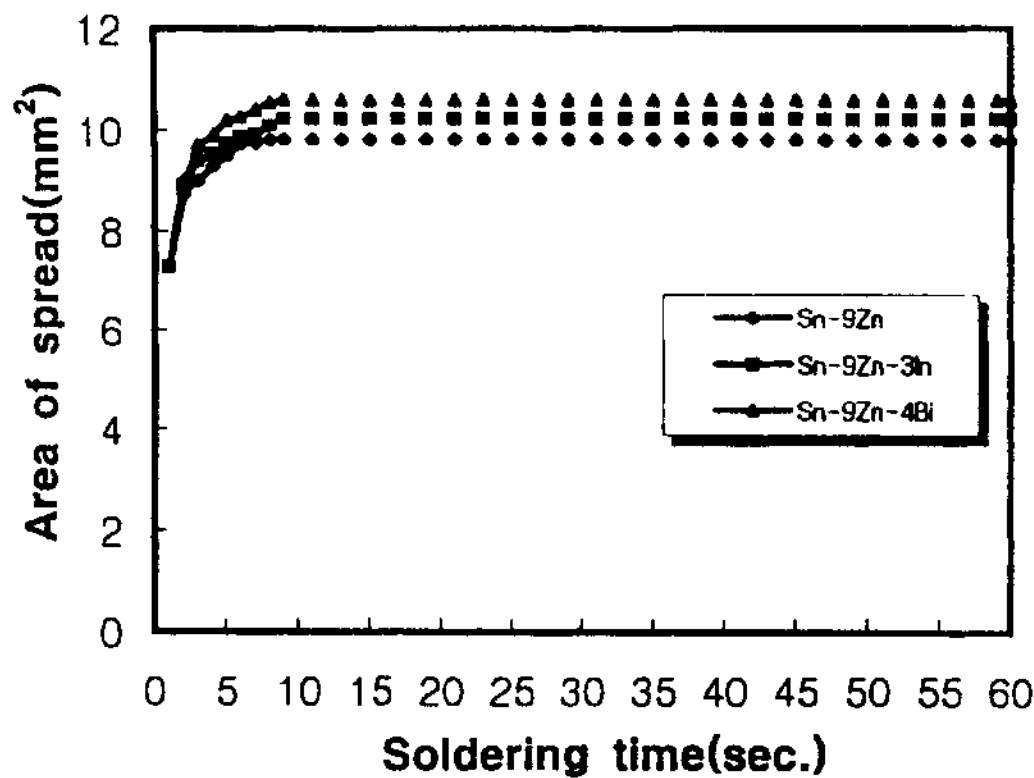


Fig. 4. Area of spread with soldering time under RMA-flux treatment on Cu plate. All specimens are tested at 230°C in air.

납땜성을 퍼짐 면적 변화를 통하여 나타낸 결과로 용제는 RMA-용제를 사용하였으며, 납땜 온도는 230°C에서 실시하였다. 그림에서 납땜성의 경향은 Fig. 3과는 달리 납땜이 표면장력 감소를 위해 원래의 디스크 면적보다 줄어드는 경향은 나타나지 않았고, 납땜의 용해온도에 이르면 지체없이 퍼짐을 알 수 있다. 용제에 따른 퍼짐면적은 Sn-9wt.%Zn의 경우 R-용제를 사용했을 때보다 약 68%정도 개선되었는데, 이는 RMA-용제 내에 존재하는 염화물의 높은 활성으로 인하여 Cu기판의 산화피막이 용이하게 제거되기 때문으로 판단된다. 첨가원소에 따른 납땜성은 In이 첨가되면 납땜성의 향상이 나타나는데, 이와 같은 납땜성의 향상은 McCormack의 연구[4]에 따르면 Sn-9wt.%Zn-5wt.%In 납땜의 경우 Sn-9wt.%Zn 납땜보다 유동성이 증가한다고 하였으므로 이와 같은 납땜의 유동성 증가가 납땜성을 개선시킨 것으로 판단된다. 또한 Fig. 2b, c에서와 합금원소 첨가에 의해 납땜의 용점이 낮아지기 때문에 납땜온도에서 상대적으로 열 활성도가 높아 계면 반응이 활발히 진행되어 납땜성에 영향을 미친 것으로 판단된다.

Fig. 5a는 Sn과 Zn을 Sn-9wt.%Zn조성으로 투입하여 진공 중에서 용해하고 급냉시킨 후 0.1%HCl 용액에서 부식시킨 미세조직으로, 침상의 석출상이 기지에 균일하게 분포하고 있음을 알 수 있다. Sn-Zn 이원계 평형상태도에서 bct 구조의  $\beta$ -Sn은 Zn를 거의 고용하지 않기 때문에 Sn-rich상에 Zn이 석출하는 2상 구조를 형성하고 있는 것으로 판단된다. Fig. 5b, c는 In과 Bi 첨가에 따른 미세조직의 변화를 나타내고 있다. Sn-

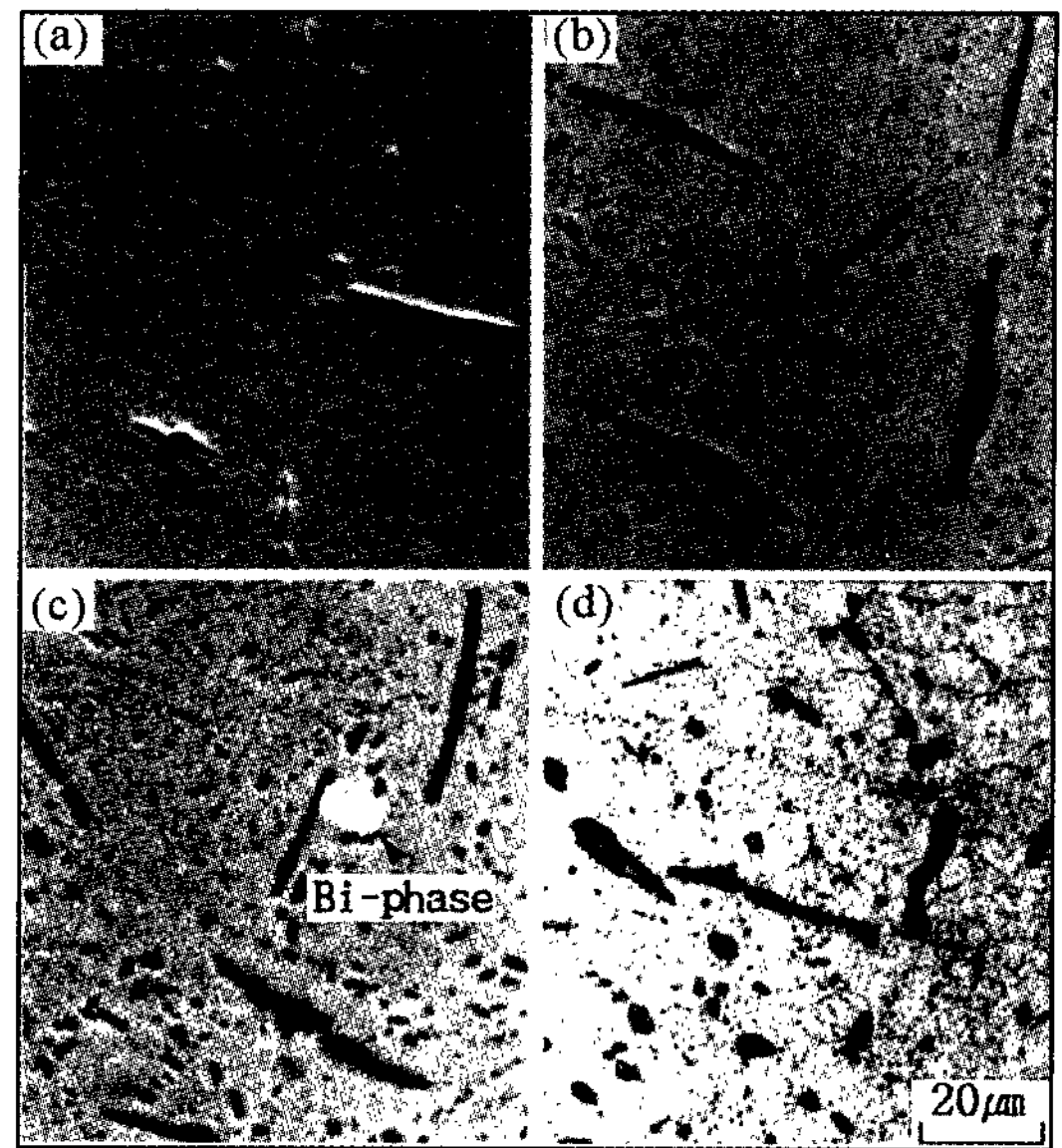


Fig. 5. Optical microstructures of Sn-9wt.%Zn(a,d), Sn-9wt.%Zn-3wt.%In (b) and Sn-9wt.%Zn-4wt.%Bi (c) solder after aging for 0 day(a,b,c) and 30 days (d) at 100°C.

9wt.%Zn 납땜에 3wt.%In과 4wt.%Bi를 첨가시, Sn-9wt.%Zn 공정 조성에 비해 Zn-rich 상은 조대화 되고 Sn기지에 석출된 Zn상의 종횡비는 상대적으로 증가하고 있다. 광학 현미경 상에서는  $\beta$ -Sn상과 Zn-rich상 외에 다른 석출물은 명확히 구분할 수 없었지만, Fig. 5c에 나타난 백색의 석출상은 Bi-rich상으로 이는 합금된 Bi가 Sn기지에 전부 고용되지 못하고 남아서 Bi-rich상으로 석출된 것으로 판단된다. Fig. 5d는 열처리에 따른 납땜의 미세조직 변화를 관찰하기 위해 Fig. 5a의 시편을 100°C에서 30일간 열처리한 미세조직으로 열처리에 의해 디스크상의 Zn이 조대화 되어 침상의 형태를 잃어 감을 알 수 있다. 이와 같은 미세조직의 조대화는 열처리 직전의 비평형 상태인 조직이 고상화 산으로 인하여 계면 자유에너지 감소를 위해 조대화 되기 때문으로 생각된다.

Fig. 6은 Cu/Sn-9wt.%Zn납땜 접합부를 100°C에서 시효시간에 따라 나타낸 것으로 시효시간이 증가함에 따라 계면 근처의 Zn-rich 상이 점점 고갈되면서 계면 반응층이 두꺼워지고 있으며, 납땜 기지내에서는 Zn상이 조대화 됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 계면 근처에 존재하는 Zn상이 시효가 진행됨에 따라 Cu기판과 금속간 화합물을 형성함으로써 상대적으로 계면 부근의 Zn성분이 고갈되고 Sn-rich상이 존재하기 때문으로



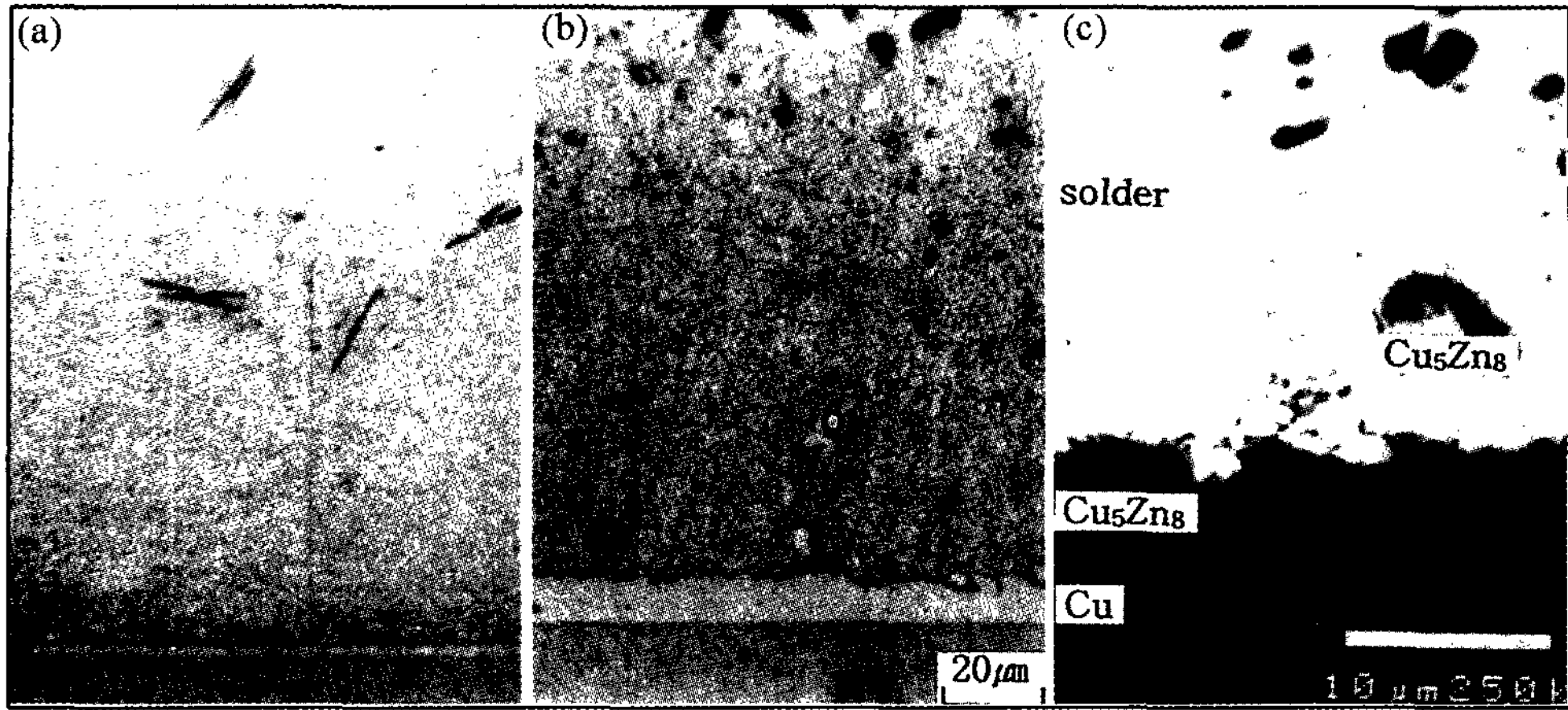


Fig. 6. The microstructure of Sn-9wt.%Zn/Cu joint region after aging for 0 day (a) and 50 days (b,c) at 100°C.

판단된다. Fig. 6b에서 시효처리 시간이 증가함에 따라 α로 표시한 상이 형성되는데 이는 계면에서 형성된 γ 상보다 Cu농도가 적은 화합물임을 EDS정량분석을 통해 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 시효처리 동안에 계면부위에서 땜납쪽으로 Cu원자의 확산이 지배적임을 나타내고 있다. 그림으로 제시하지는 않았지만, Sn-9wt.%Zn땜납에 In이나 Bi가 첨가된 경우의 땜납 접합부에서는 Cu/Sn-9wt.%Zn땜납 접합부의 계면 생성물과 같은 γ-Cu<sub>5</sub>Zn<sub>8</sub>상이 생성됨을 알 수 있었고, 금속간 화합물의 생성과 성장도 유사한 거동을 나타냄을 알 수 있었다. Fig. 6c는 Sn-9wt.%Zn의 SEM사진으로 계면 반응층의 정확한 성분을 조사하기 위해 EDS정량분석 결과 계면 화합물은 Cu/Zn의 화학적인 조성비(at.%)가 66.9:33.1로 이는 Cu-Zn 이원계 평형상태도상에서 나타나는 γ-Cu<sub>5</sub>Zn<sub>8</sub>상에 접근함을 알 수 있었다. 그림에서 금속간 화합물은 계면뿐만 아니라 땜납에서도 형성됨을 알 수 있는데 이는 땜납 쪽으로 Cu원자의 빠른 확산으로 인해 형성된 것으로 판단된다[9,10]. 그림에서 Sn-9wt.%Zn의 경우, Cu-Zn 금속간 화합물층에서 균열이 보이는데 이는 시효처리시 Cu, Cu-Zn 금속간 화합물, 땜납간의 열팽창계수 차이에 의해 취약한 금속간 화합물층에 발생하는 열응력, 또는 다른 결정학적 구조를 가지고 있는 금속간 화합물층 성장으로 인한 치수 변화로 인해 발생한 것으로 판단된다.

Fig. 7은 Sn-9wt.%Zn, Sn-9wt.%Zn-3wt.%In, Sn-9wt.%Zn-4wt.%Bi, Sn-40wt.%Pb 땜납과 Cu기판과의 접합강도 시편을 Fig. 1과 같이 제조한 뒤 열처리 시간에 따른 접합강도를 나타낸 것으로 시효 시간이 30

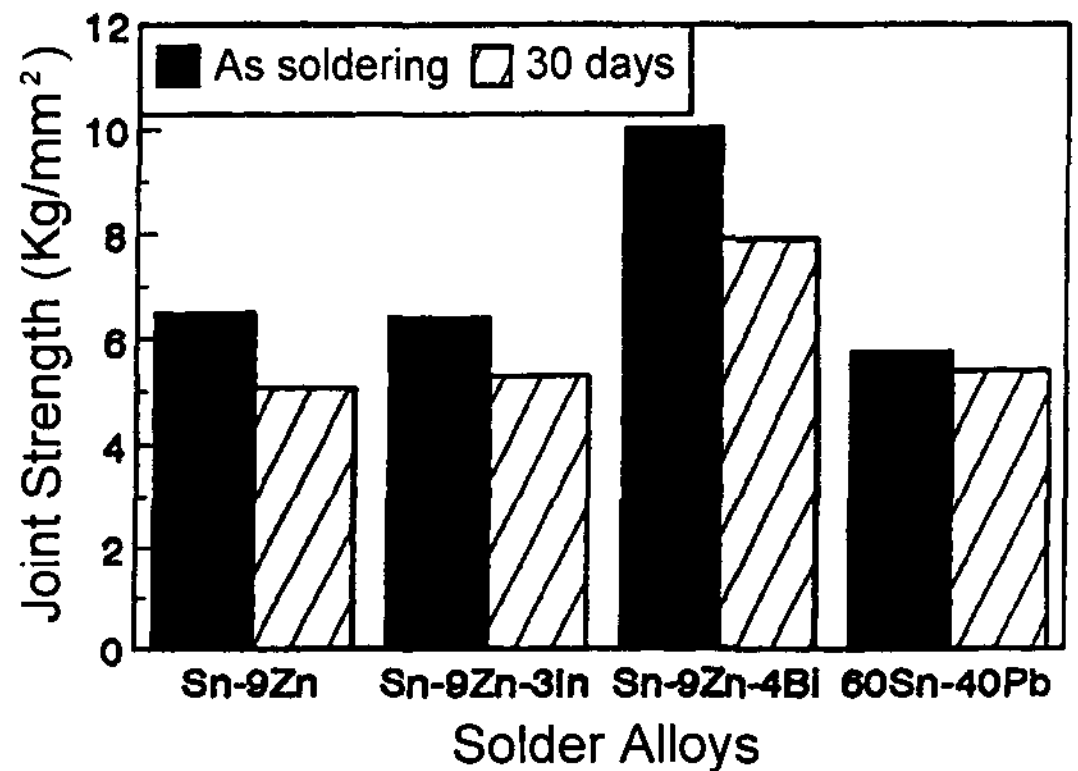


Fig. 7. Joint strength with aging time at 100°C.

일로 증가함에 따라 접합강도는 감소하며, Sn-9wt.%Zn의 경우 납땜 직후에 비해 100°C에서 30일간 시효처리한 시편의 접합강도는 약 20%감소하였다. 첨가원소에 따른 접합강도는 Sn-9wt.%Zn땜납에 4Bi를 첨가한 경우에 시효에 관계없이 접합강도가 증가하였으며, 이와 같은 접합강도의 증가는 첨가된 Bi가 Sn기지에 고용되어 고용강화 현상을 나타내기 때문이며, Fig. 5c에 나타난 바와 같이 미세조직 또한 다른 조성에 비해 균일하게 나타나 이로 인하여 강도가 증가한 것으로 판단된다.

Fig. 8은 Sn-9wt.%Zn, Sn-40wt.%Pb 땜납 접합부의 파단면 사진이다. 납땜 직후의 땜납/Cu기판 계면의 파단면은 Fig 8a, b와 같이 조성에 관계없이 모두 땜납을 통한 연성 파괴 양상을 나타내고 있다. 파단면에 계면에서 생성되는 금속간 화합물이 나타나지 않은 것

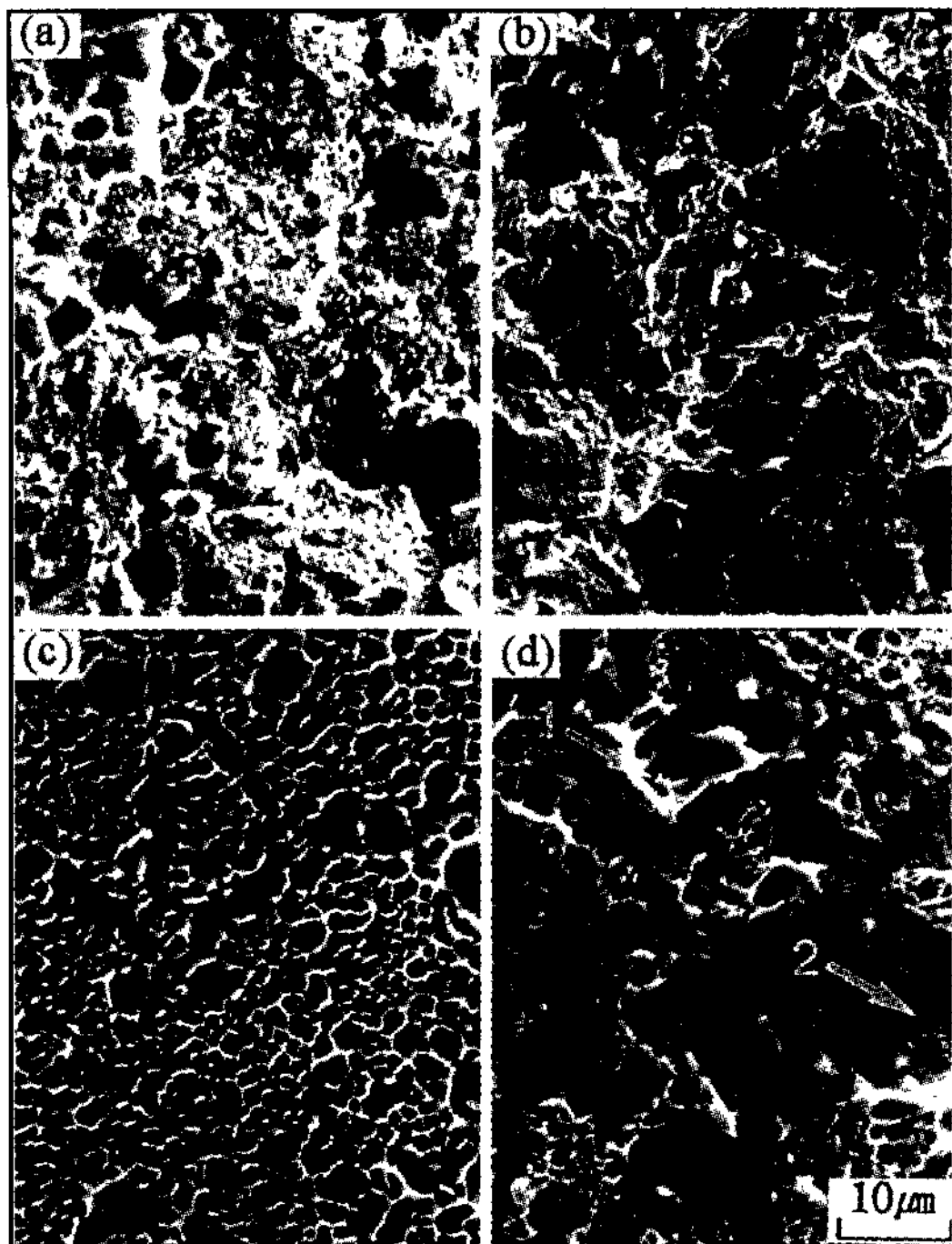


Fig. 8. Fractographs of Sn-40wt.%Pb/Cu (a,b) and Sn-9wt.%Zn/Cu (c,d) after aging for 0 day (a,c) and 30 days (b,d) at 100°C.

으로 보아 이러한 화합물은 파괴 거동에 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. Fig. 8c는 30일간 시효처리한 Sn-40wt.%Pb 뿔납/Cu 접합부의 파단면을 나타낸 사진으로 파괴가 뿔납을 통해 발생하고 있고 파괴 표면은 연성파괴의 잔물결로 구성되어 있다. Frear[11]에 따르면 Cu/Sn-40wt.%Pb뿔납 접합부의 경우 금속간 화합물층의 두께가 5µm 이상일 때 취성파괴가 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>층을 통해 발생한다고 하였는데, 본 실험에서는 금속간 화합물층의 두께가 5µm이하이기 때문에 금속간 화합물층을 통한 파괴는 발생하지 않은 것으로 판단된다. Fig. 8d는 100°C에서 30일간 시효처리한 Sn-9wt.%Zn 뿔납/Cu 접합부의 파단면으로, 파괴가 뿔납을 통한 파괴(화살표 1) 및 금속간 화합물/뿔납 계면을 통한 파괴(화살표 2)가 혼합된 형태로 나타난다. 이와 같이 파면이 연성과 취성의 복합파괴 양상을 나타낸 것은 열처리에 의해 금속간 화합물층의 두께가 증가함에 따라 뿔납에서 수용할 수 있는 변형 에너지량이 제한되어 금속간 화합물 쪽에서 파괴가 발생한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

Sn-Zn계 뿔납과 Cu기판과 납뿔을 통해 뿔납의 젖음성 및 계면반응, 접합부의 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Sn-9wt.%Zn합금에 In, Bi를 각각 첨가하여 뿔납을 제조한 후 RMA 용제를 사용하여 납뿔한 경우 첨가원소가 뿔납의 유동성을 증가시켜 납뿔성을 개선시켰다.

2) Cu/Sn-9wt.%Zn뿔납 접합부를 100°C에서 50일간 시효처리한 후 계면을 분석한 결과, 계면에는 γ-Cu<sub>5</sub>Zn<sub>8</sub>상이 형성되었다.

3) Cu와 뿔납 접합부 인장강도는 열처리 시간이 증가하면 뿔납/계면반응층 사이에 결함이 발생하여 강도가 감소하였고, Sn-9wt.%Zn의 경우 열처리전에 비해 30일동안 열처리 한 경우 약 20%의 강도감소가 나타났다.

4) Sn-40wt.%Pb뿔납 접합부의 파괴는 시효처리 시간에 관계없이 모두 파괴가 뿔납을 통해 발생하였고 파괴 표면은 연성파괴 양상을 나타냈다. Sn-9wt.%Zn의 뿔납 접합부는 납뿔한 그대로의 경우, 뿔납을 통한 연성파괴 양상을 보이지만 30일간 시효처리한 시편은 파괴가 뿔납을 통한 파괴 및 금속간 화합물과 뿔납의 계면을 통한 파괴 혼합된 형태로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J. O. G. Parent, D. D. S. Chung and I. M. Bernstein, J. Mater. Sci, Vol.23 (1988) 2564
- [2] P. T. Vianco and D. R. Frear, JOM, Vol.45, No.7 (1993) 14
- [3] M. E. Loomans, S. Vaynman, G. Ghosh and M. E. Fine, J. Electron. Mater, Vol.23, No.8 (1994) 741
- [4] M. McCormack and S. Jin, J. Electron. Mater, Vol.23, No.8, (1994), 715
- [5] C.H.Raeder, L.E.Felton, V.A.Tanzi and D.B.Knorr, J. Electron. Mater, Vol.23, No.7 (1994) 611
- [6] B. M. Thaddeus, L. M. Joanne, H. B. Lawrence and B. Hugh, Binary Alloy Phase Diagrams ASM., (1986)
- [7] B. M. Thaddeus, L. M. Joanne, H. B. Lawrence and B. Hugh, Binary Alloy Phase Diagrams ASM., (1986)
- [8] Susan Budavari, The Merck Index, Eleventh Edition, (1997)
- [9] W. Yang and R. W. Messler and L. E. Felton, J. Electron. Mater, Vol.23, No.8 (1994) 765
- [10] D. Frear, D. Grivas and J. W. Morris, J. Electron. Mater, Vol.16 (1987) 181
- [11] D. R. Frear and P. T. Vianco, Metall. Trans. A, Vol. 25A (1994) 1509