

## Sn-40Pb/Cu 및 Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu 솔더 접합계면의 금속간화합물 형성에 필요한 활성화에너지

홍원식\* · 김휘성\*\* · 박노창\* · 김광배\*\*

\*전자부품연구원 신뢰성평가센터

\*\*한국항공대학교 항공재료공학과

### Activation Energy for Intermetallic Compound Formation of Sn-40Pb/Cu and Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu Solder Joints

Won-Sik Hong\*, Whee-Sung Kim\*\*, Noh-Chang Park\* and Kwang-Bae Kim\*\*

\*Reliability and Failure Analysis Center, Korea Electronics Technology Institute, Gyeonggi 463-816, Korea

\*\*Department of Materials Engineering, Hankuk Aviation University, Gyeonggi 412-791, Korea

#### Abstract

Sn-3.0Ag-0.5Cu lead free solder was generally utilized in electronics assemblies. But it is insufficient to research about activation energy(Q) that is applying to evaluate the solder joint reliability of environmental friendly electronics assemblies. Therefore this study investigated Q values which are needed to IMC formation and growth of Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu and Sn-40Pb/Cu solder joints during aging treatment. We bonded Sn-3.0Ag-0.5Cu and Sn-40Pb solders on FR-4 PCB with Cu pad( $t=80\mu\text{m}$ ). After reflow soldering, to observe the IMC formation and growth of the solder joints, test specimens were aged at 70, 150 and 170 °C for 1, 2, 5, 20, 60, 240, 960, 15840, 28800 and 43200 min, respectively. SEM and EDS were utilized to analysis the IMCs. From these results, we measured the total IMC( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5+\text{Cu}_3\text{Sn}$ ) thickness of Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu and Sn-40Pb/Cu interface, and then obtained Q values for the IMC( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ,  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ ) growth of the solder joints.

\*Corresponding author : wshong@keti.re.kr

(Received February 14, 2007)

Key Words : Activation energy, SnAgCu, Intermetallic compound, Solder joints

#### 1. 서 론

전자제품의 경박단소화 및 고집적화에 대한 기술개발 요구는 지속적으로 대두되고 있으며, 한편으로 지구 환경보호에 대한 관심과 규제는 고조되고 있다. 전자제품에 사용되는 유해물질의 사용규제<sup>1)</sup>에 의해 친환경 전자제품은 실용화되고 있다. 이에 따라 기존에 사용하고 있는 솔더에 납(Pb)을 사용하지 않는 무연솔더(Pb-free solder)는 이미 실용화되어 사용량이 증가 추세에 있다. 무연솔더 적용시 고온의 솔더링 공정으로 인해 야기되는 솔더 접합부 신뢰성에 대한 많은 연구가 이루

어지고 있다. 솔더 접합부 신뢰성 열화에 영향을 미치는 주요 인자는 인쇄회로기판(Printed Circuit Board, PCB)과 솔더 접합계면의 금속간화합물(Intermetallic Compound, IMC) 형성과 성장이다. 현재 국내 전자제품에 일반적으로 사용되는 무연솔더는 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더이다. 그러나 이 조성의 무연솔더를 적용한 전자제품의 수명평가에 적용되고 있는 활성화에너지(activation energy, Q)에 대한 연구는 많지 않은 실정이다. 따라서 본 연구는 시효처리 조건에 따른 솔더 접합부의 미세조직 변화 및 IMC의 형성과 성장에 필요한 Q 값을 실험적 방법을 사용하여 산출하였다. 실험에 사용된 솔더는 Sn-40Pb와 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더를 사용하였

고, FR-4 기판에 80 $\mu$ m 두께의 Cu 패드를 형성한 후 유무연 솔더에 대해 각각 220, 245  $^{\circ}$ C에서 2.5, 0.75 분간 리플로우 솔더링 하였다. 솔더링 후 시효시간에 따른 솔더 접합면의 IMC 성장을 관찰하기 위해 시효 온도와 시간을 변화하여 시효처리한 후 주사전자현미경 (scanning electron microscopy, SEM)과 에너지분산스펙트럼 (energy dispersive X-ray spectrometer, EDS)을 이용하여 IMC를 분석하였다. 이 결과로부터 솔더 접합면에서 고상간의 상호확산 반응으로 형성된 IMC 성장두께를 측정된 후 아레니우스 방정식을 활용하여 Cu-Sn계( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5 + \text{Cu}_3\text{Sn}$ ) IMC 형성에 필요한 Q 값을 구하였다.

## 2. 실험방법

실험에 사용된 시편은 유연솔더(Sn-40Pb)와 무연솔더(Sn-3.0Ag-0.5Cu)를 사용하여 리플로우 솔더링 한 후 시효처리 하였으며, 각각의 시효온도와 시효시간에 따라 솔더 접합면에 형성된 금속간화합물(IMC)의 종류와 두께를 분석하였다. 솔더 접합부에 형성된 IMC 성장에 필요한 활성화에너지는 측정된 IMC 두께로부터 아레니우스 방정식을 이용하여 계산하였다.

### 2.1 리플로우 솔더링 및 시효처리

본 실험에 사용된 재료는 직경 3.0 mm의 Sn-40Pb, Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더 펠렛(pallet)을 사용하였고, 두께 1.2 mm PCB에는 직경 0.8 mm Cu 패

드를 형성한 후 FR-4 PCB 위에 리플로우 솔더링 (reflow soldering) 방법으로 제작하였다. 솔더링 공정은 4 Zone IR 리플로우 장비를 이용하여 질소가스 분위기 하에서 실시하였다. IMC 성장을 관찰하기 위해 0, 70, 150, 170  $^{\circ}$ C의 시효온도에서 각각 1, 2, 5, 20, 60, 240, 960, 15840, 28800, 43200 분간 시효처리 하였다.

### 2.2 금속간화합물 분석 및 활성화에너지(Q)

유무연 솔더의 시효처리 조건에 따른 솔더 접합부 IMC를 조사하기 위해 에너지분산스펙트럼(EDS) 분석을 이용하여 IMC 층의 성분분석을 실시하였고 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 미세조직 관찰 및 IMC 성장두께를 측정하였다. 일반적으로 고상간의 확산반응에 의한 IMC 성장은 단순 포물선의 방정식으로 나타난다<sup>2)</sup>. 따라서 Sn-40Pb와 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더의 시효온도와 시효시간에 따른 IMC 성장에 필요한 활성화에너지의 계산은 단순 포물선 방정식을 이용하여 성장속도상수(k) 값을 구하고 아레니우스 식(Arrhenius equation)을 이용하여 활성화에너지 값을 계산하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 금속간화합물 분석

유무연 솔더의 시효처리 조건에 따라 형성된 솔더 접합부 IMC의 형성 결과를 다음 Fig. 1과 Fig. 2에 나

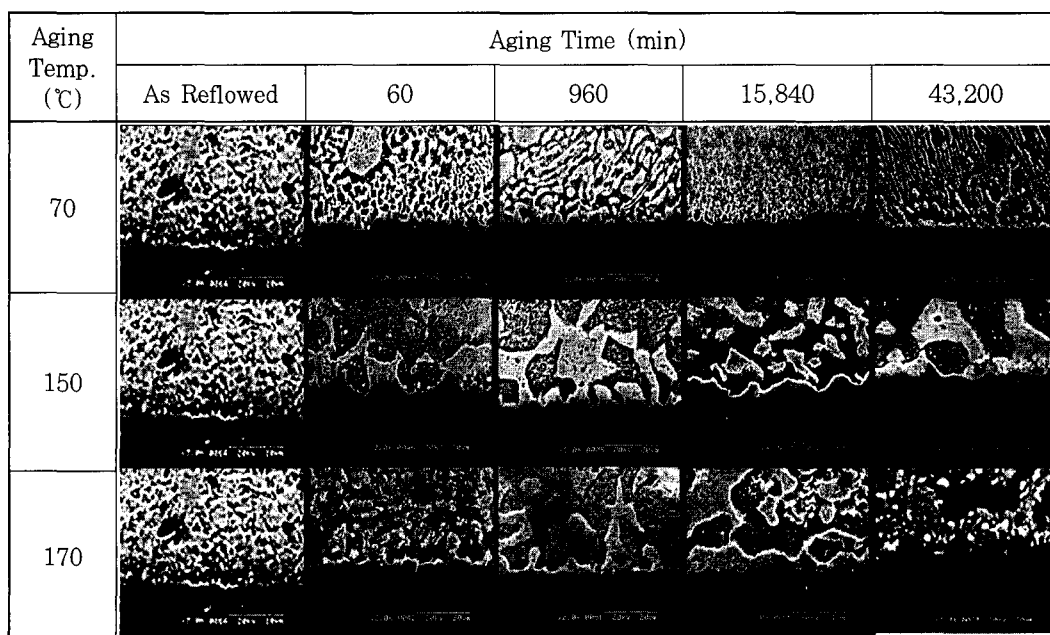


Fig. 1 SEM images of Sn-40Pb/Cu solder joints with aging temperature and time

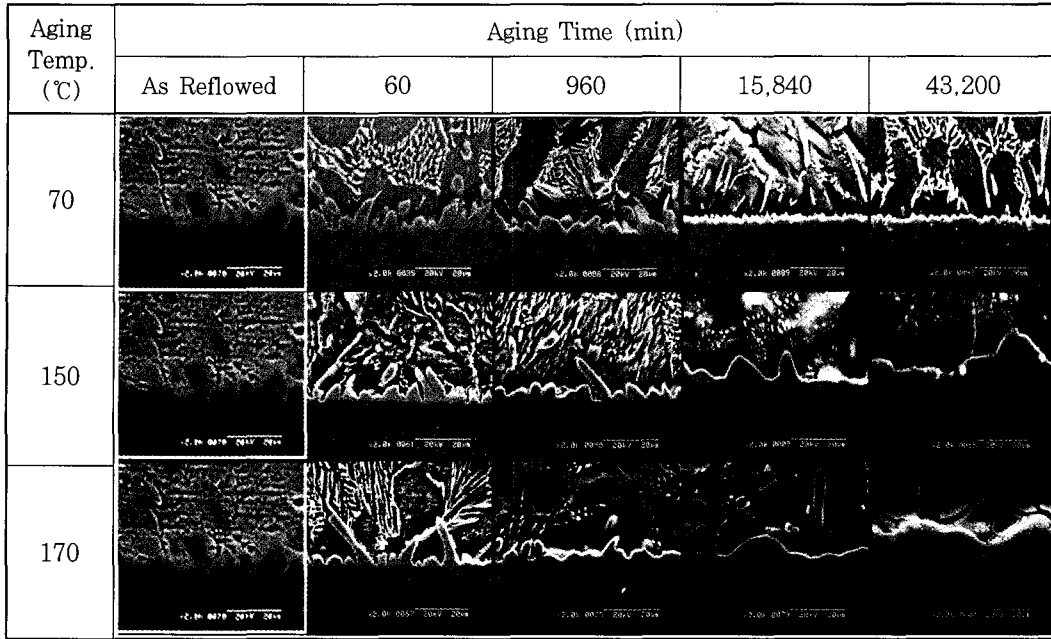
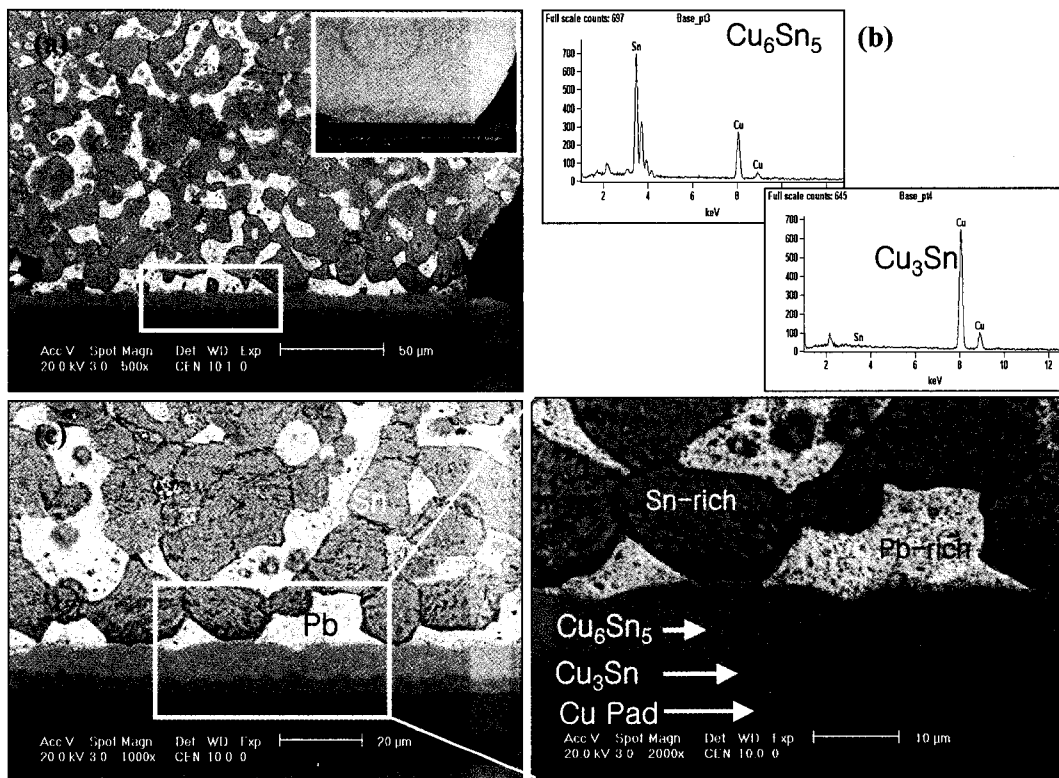


Fig. 2 SEM images of Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu solder joints with aging temperature and time

타내었다. 유무연 솔더 모두 시효 온도와 시간이 증가함에 따라 IMC 층의 두께는 증가하는 것으로 나타났다. 또한 IMC 층의 두께는 시효시간이 짧은 경우 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더가 Sn-40Pb 솔더 보다 더 빠르게 성장하였으나 시효시간이 증가할수록 IMC 층의 두께는 Sn-40Pb 솔더가 더 빠르게 증가하였다.

솔더 접합부에 형성된 금속간 화합물을 분석한 결과 PCB Cu 패드와 Sn-40Pb 솔더 접합부에는 Cu-Sn계 IMC인 η-상(Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>)과 ε-상(Cu<sub>3</sub>Sn)의 IMC가 형성된 것을 알 수 있었다. IMC의 두께측정 결과 Sn-40Pb 솔더의 경우 70, 150, 170 °C에서 각각 30일간 시효처리 한 경우 최대 2.6, 15.6, 24.6 μm 정도 성장하였다. 무연솔더인 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더의 경우 70, 150, 170 °C에서 각각 30일간 시효처리 한 경우 최대 4.8, 7.3, 9.8 μm 정도 성장하였다. 이것으로 볼 때 무연솔더가 기존의 유연솔더에 비해 동일한 시효 조건에서 IMC의 성장두께가 작게 형성, 성장되는 것을 알 수 있었다. 형성된 IMC의 종류를 분석해 본 결과, Fig. 3과 같이 Sn-40Pb 솔더 접합부에는 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>가 생성되었으며, 시효시간이 경과함에 따라 Cu pad와 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>가 반응하여 Cu<sub>3</sub>Sn이 생성되는 것으로 나타났다. Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>상은 모든 온도에서 형성되며, 입자의 구조가 상대적으로 거친 형태를 가지고 있고, 60°C 이상의 온도에서 Cu-Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 계면으로부터 Cu<sub>3</sub>Sn이 형성되기 시작한다고 알려져 있다<sup>3,4)</sup>. 이것은 일반적으로 Sn-Pb계 솔더/Cu 접합계면에 발생하는 IMC 형태로써 알려져 있으며, 외관모양은 6각형 침상(hexagonal

needles) 형태를 가지고 있고 때론 내부가 비어있는 형태를 보이기도 한다. IMC의 크기는 솔더링 후 냉각 시 서냉에 의해 입자크기가 조대화되며 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>는 솔더 접합계면의 강도 측면에서 해롭지 않다는 보고도 있다<sup>5)</sup>. Steen<sup>6)</sup>은 하지금속과 용융솔더 코팅 층 사이에 형성된 IMC의 성장과 모양은 용융솔더의 퍼짐상태와 두께에 의존한다고 하였다. IMC의 표면은 Cu에 비해 상대적으로 거친 표면을 형성하며, 이후 액체흐름 방향으로 돌출된 IMC 표면은 급속히 분해되는 반면 냉각하는 동안 솔더에 포함된 불순물이나 Pb와 같은 다른 종류의 배출은 수지상정(dendrite)나 노들(nodular) 형상을 갖게 되고, 이것은 계면의 농도구배(concentration gradient)를 최소화하기 위한 냉각속도와 냉각능력에 의존하게 된다고 보고 하였다. 솔더 접합계면에 형성된 IMC의 결정구조는 대칭성이 낮아 소성변형이 제한적으로 구속되고 이에 따라 단단하고 취성이 강한 특징을 갖게 된다. 또한 계면에 발생하는 IMC의 종류는 사용된 솔더의 조성과 PCB 패드 재료 및 UBM(under bump material) 재료에 따라 달라지며, 이것이 접합 신뢰성에 어떤 영향을 미칠지는 사용된 상황에 따라 달라진다. 그러나 장기적인 접합 신뢰성 측면에서 두꺼운 IMC의 형성은 접합강도 및 피로강도의 저하 요인이 되는 것으로 판단된다. Sn-40Pb 솔더의 시효온도에 따른 미세조직을 관찰한 결과 Fig. 1 및 Fig. 3과 같고, Sn-Pb의 공정조직을 관찰한 결과 리플로우 직후 Pb-rich 조직이 형성되며 시효시간이 증가함에 따라 조대화되는 것으로 관찰되었다.



**Fig. 3** Cross-sectional SEM images of the Sn-40Pb/Cu interface aged at 150°C, 43,200 min aging : (a) overall shape of the joint, (b) EDS analysis results of IMCs, (c), (d) magnified images of the solder/Cu interface

Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu 접합계면에서는 η-상(Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>)과 ε-상(Cu<sub>3</sub>Sn)의 IMC가 형성되었다. 또한 접합계면 부근과 솔더에는 Ag<sub>3</sub>Sn이 형성된 것을 Fig. 2와 Fig. 4에서 관찰할 수 있다. 시효온도와 시효시간에 따른 IMC의 생성두께는 Fig. 5에 나타내었다. 초기 계면에 생성된 IMC는 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 이었으며, 시효시간이 증가함에 따라 Cu<sub>3</sub>Sn 층이 생성되었다. 이것은 Sn-40Pb/Cu 접합계면에서 생성되는 IMC의 발생 메커니즘과 동일하다. 그러나 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더 조성에 첨가된 Ag, Cu에 의해 접합계면에서는 Ag<sub>3</sub>Sn과 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>의 IMC가 생성되었다. Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>는 계면의 Cu 패드와 솔더의 반응에 의해 생성되는 것 외에 모재에서 석출하여 분산되어 있었다. 그리고 Ag<sub>3</sub>Sn은 리플로우 직후 솔더의 미세조직 내에서 조대한 상으로 형성되지 않고 미세하게 분산되어 존재하며, 시효 온도와 시간이 증가함에 따라 성장하는 것으로 관찰되었다. 또한 비교적 적은 양의 2차상인 Ag<sub>3</sub>Sn은 조대한 미세조직의 형성을 막는 역할을 하게 된다. Sn-Ag-Cu계 공정상은 앞서 언급한 것과 같이 육방정계 단위정(hexagonal unit cell)으로도 대표되는 사방정계(orthorhombic) 구조의 Ag<sub>3</sub>Sn과 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 이다<sup>7)</sup>. Fig. 4에서도 볼 수 있는 것과 같이 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>는 솔더/Cu 계면에서 형성되었고, 솔

더에 형성된 Ag<sub>3</sub>Sn은 침상형태의 섬유상 조직을 형성하였으며, 성분분석 결과 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>, Cu<sub>3</sub>Sn 그리고 Ag<sub>3</sub>Sn IMC임을 확인할 수 있었다. 단면 미세조직으로 관찰할 경우 Ag<sub>3</sub>Sn은 Sn에 미세하게 분포되어 있는 분산강화 조직으로 β-Sn 초정을 둘러싼 공정조직처럼 나타나며 또한 모재와의 정합성도 우수한 것으로 보고되어 있다<sup>11)</sup>. 이렇게 솔더에 형성된 Ag<sub>3</sub>Sn, Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>는 미세입자로 보이지만 실제 입체적인 형상은 상당한 길이의 섬유상 조직을 갖으며, Sn 모재에 Ag의 고용도는 거의 없는 것으로 보고되어 있다<sup>11)</sup>. Ag<sub>3</sub>Sn이 안정 화합물이란 점과 Sn 중에 Ag의 고용도가 매우 낮으므로 인해 Ag<sub>3</sub>Sn은 고온에서 장시간 방치되어도 조대화 되기 어려우며 내열성도 다른 합금과 비교하여 양호한 편이다<sup>11)</sup>. Ag 함량의 증가에 따라 조직 미세화가 발생하여 강도가 증가하지만 동시에 초정 Ag<sub>3</sub>Sn이 생성되어 결함(defect)으로 작용될 가능성이 높아진다는 보고도 있다<sup>8,11)</sup>.

### 3.2 활성화에너지

Fig. 5는 Sn-40Pb/Cu와 Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu의 접합계면에 형성된 IMC의 생성두께를 시효온도와 시간

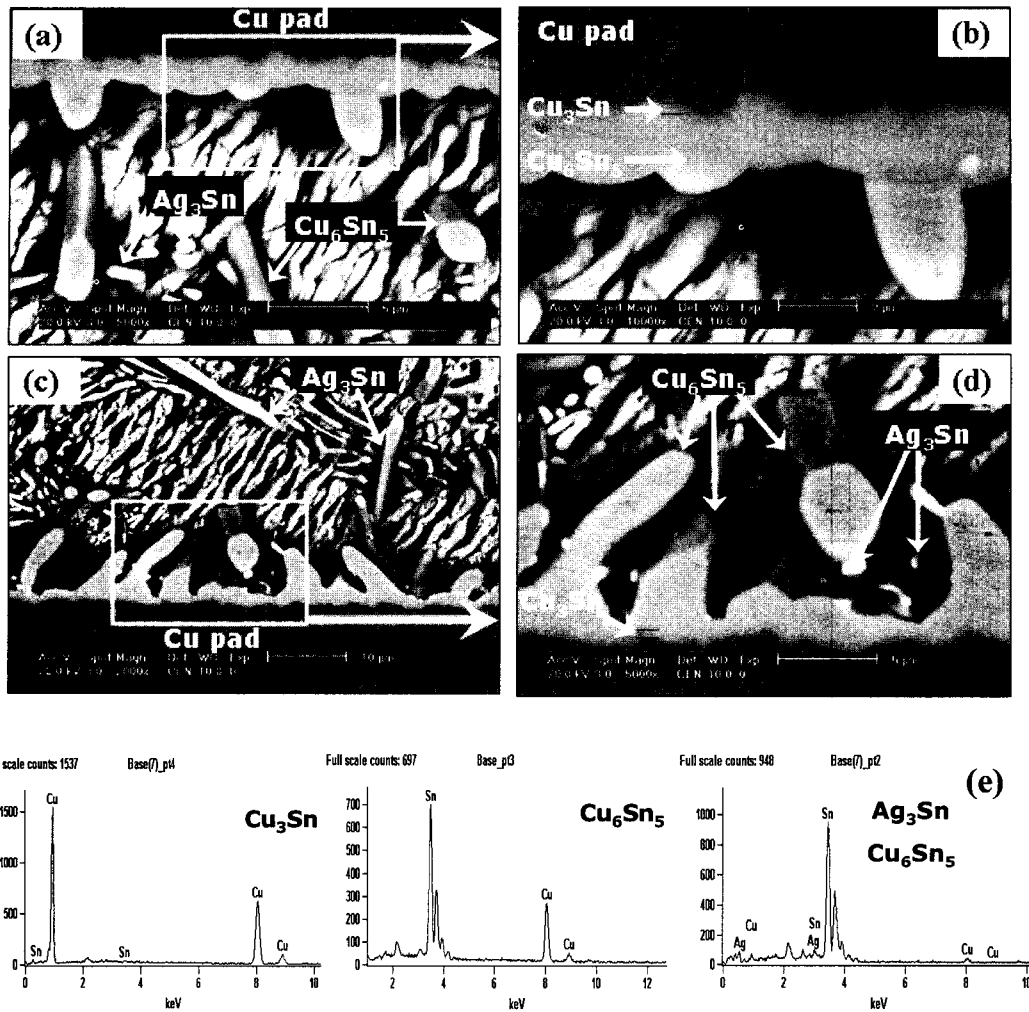


Fig. 4 Cross-sectional SEM images of the Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu interface aged at 150°C, 960 min : (a), (c) overall shape of the joint, (b), (d) magnified image of the solder/Cu interface, (e) EDS analysis results of IMCs between the solder and Cu

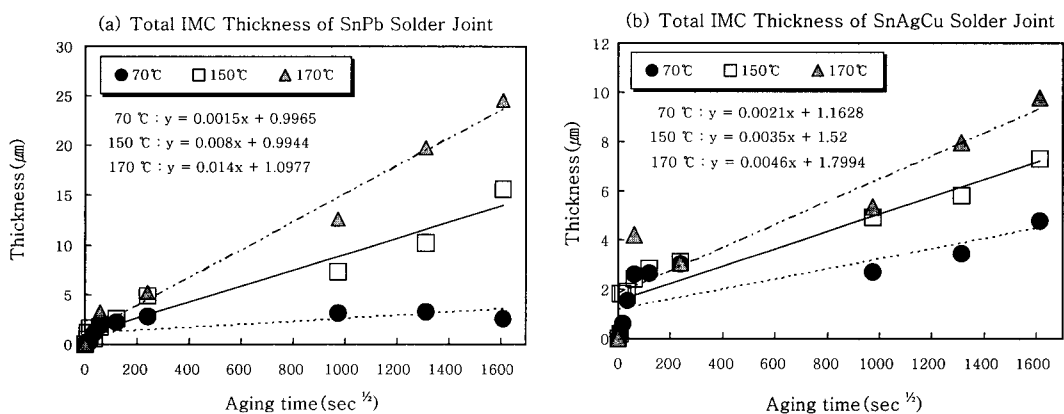


Fig. 5 Total IMC thickness with temperature and time: (a) Sn-40Pb solder joint, (b) Sn-3.0Ag-0.5 Cu solder joints

에 따라 나타낸 것이다. Sn-40Pb인 경우 시효온도가 증가함에 따라 IMC의 생성두께가 증가하고 있는 것을 알 수 있으며, 시효시간이 증가됨에 따라 IMC의 성장

두께는 급속히 증가하였다. 또한 초기 시효처리 20분경과 후부터 IMC의 생성두께가 선형적으로 급격히 증가되는 것을 알 수 있다. Sn-40Pb/Cu의 경우 70, 150,

170 °C 시효온도에서 선형적 직선의 기울기가 각각 0.0015, 0.008, 0.014로 증가되는 것을 알 수 있으며, 이러한 기울기로 볼 때 70°C에 비해 170°C 시효온도가 약 93배 정도 빠르게 생성됨을 알 수 있다. Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu 계면에 형성된 IMC의 성장두께에 대한 기울기는 각각 0.0021, 0.0035, 0.0046으로 나타나 70°C에 비해 170°C 시효온도가 약 2배 정도 빠른 것으로 나타났다. 이것으로 볼 때 70°C와 같은 저온에서는 Sn-3.0Ag-0.5Cu가 Sn-40Pb보다 IMC의 생성속도가 약간 빠른 것으로 보이며, 150, 170 °C에서는 Sn-3.0Ag-0.5Cu 보다 Sn-40Pb 솔더 접합계면의 IMC가 더욱 빠르게 증가하는 것으로 나타났다. 결국 초기 IMC의 성장은 Sn-3.0Ag-0.5Cu가 약간 빠르며, 시효온도가 증가함에 따라 성장속도는 Sn-40Pb 솔더가 빠르다는 것을 알 수 있다. Fig. 5로부터 구한 직선의 기울기로부터 다음 식(1)을 이용하여 Q 값을 구할 수 있다.

$$k^2 = k_0^2 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad (1)$$

IMC의 생성에 필요한 Q 값을 구하기 위해서는 실험적 방법을 이용하여 온도와 시간에 따른 형성두께를 측정하여야 한다. 일반적으로 IMC에서 고상상태의 성장은 선형적 또는 포물선적 성장 속도론을 따른다고 알려져 있다<sup>2)</sup>. 선형적 성장(linear growth)은 성장속도가 증가하는 자리(site)에서 반응속도에 의해 제한적으로 반응을 지배하며, 포물선적 성장(parabolic growth)은 성장이 반응계면에서 원자들의 체확산(volume diffusion)에 의해 제한되며 확산지배(diffusion controlled) 된다는 것으로 보고되고 있다<sup>9,10)</sup>.

실험에 사용된 시효온도 70, 150, 170 °C에 대한 성장속도상수(k) 값을 산출하여  $\ln(k^2)$ 을 구하였다. 이로부터  $\ln(k^2)$ 과  $1000/T(1/K)$ 에 대하여 구한 직선의

기울기가  $-\frac{Q}{R}$  값이 된다. 이 값을 얻기 위한 그래프를 Fig. 6에 나타내었다. 그래프로부터 Sn-40Pb 솔더의 경우 기울기가 -18.865 이고, Sn-3.0Ag-0.5Cu는 -6.7765 임을 알 수 있었고, 이 기울기 값으로부터 Q 값을 구하였다. 이때 n 값에 대한 가정이 요구된다. 일반적으로 고상상태 하에서 솔더 접합부의 IMC 성장은 금속 간의 체확산 반응에 의해 형성되기 때문에 식(2)와 같이 되고, 이때 n 값은  $\frac{1}{2}$  이 되는 단순 포물선의 방정식을 따르게 된다.

$$Y = kt^n = kt^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

시간지수 함수 값을 나타내는 n은 금속간의 고상확산 반응일 경우 정상상태성장(state-steady growth)을 하기 때문에 경험적 실험에 의해  $\frac{1}{2}$ 로 나타낼 수 있다. 단순 포물선의 방정식을 이용하여 성장속도상수(k) 값을 구하여 회귀분석을 실시한 후 이로부터 얻은 k를 식(1)의 아레니우스 식에 대입하여 최종적인 IMC 성장에 필요한 활성화에너지 값을 구하였다. 이러한 과정을 거쳐 구한 활성화에너지, Q 값은 Table 1에 나타내었

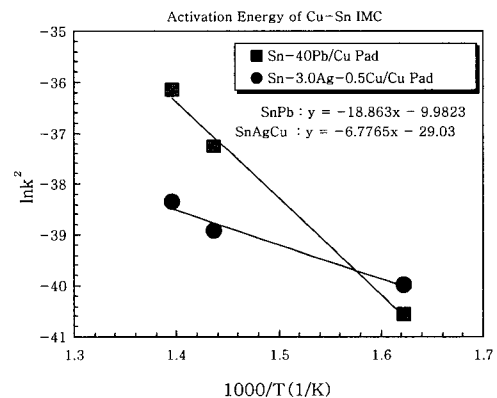


Fig. 6 Activation energy of total Cu-Sn IMC (Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>+Cu<sub>3</sub>Sn) for Sn-40Pb/Cu and Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu solder joints

Table 1 Activation energy and its R<sup>2</sup>, n values for total Cu-Sn IMC(Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>+Cu<sub>3</sub>Sn) formation in the Sn-40Pb/Cu and Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu solder joints

Solder	Temp.(°C)	k (μm/sec <sup>1/2</sup> )	R <sup>2</sup>	Q (kJ/mol)	n
Sn-40Pb	70	0.00155	0.7887	157.34	0.5955
	150	0.00805	0.9345		0.5637
	170	0.01399	0.9159		0.5420
Sn-3.0Ag-0.5Cu	70	0.00206	0.7180	56.52	0.6415
	150	0.00351	0.9731		0.5758
	170	0.00469	0.9904		0.5936

다. Sn-40Pb/Cu 계면에 형성된 IMC 성장에 필요한  $Q$  값은 157.34 kJ/mol로 산출되었고, Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu 계면의 IMC 생성에 필요한  $Q$  값은 56.52 kJ/mol 로 나타났다. 그러나 Table 1에서 보듯이 70°C 시효온도에서는  $n$  값이 일부 높게 검산되었으며, 선형관계 계수값(correlation coefficient value,  $R^2$ )이 유무연 솔더 모두에서 0.8 이하의 값을 나타내었다. 이것은 회귀분석 추정 값이 정확히 일치하지는 않는 것으로 보이나, 150, 170 °C 에서는  $n$  값이 약 0.5,  $R^2$ 가 0.9 이상의 값을 갖는 것으로 보아 시효시간에 따른 IMC 성장이 고상간의 체확산에 의해 발생하고 있다고 할 수 있다. 또한 단순포물선 방정식과 선형적 회귀분석 결과와도 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.  $n$  값이 0.5 일 때 parabolic growth kinetics는 반응계면에서의 체확산에 의해 IMC 층의 성장이 제한될 때 적용된다. IMC 층이 성장함에 따라 이미 형성된 IMC 층의 구성원소가 다른 반응위치에 도달하기 위해서는 이미 존재하는 IMC 층을 통과하여야 함으로 성장은 점차 어려워진다. 150, 170 °C에 비해 상대적으로 70°C 에서  $R^2$  값이 작고,  $n$  값이 0.5 보다 약간 높게 나타난 이유는 시효처리 전 이미 형성된 IMC 층의 두께에 대한 측정오차와 리플로우 솔더링 직후 형성된 Cu-Sn 계 IMC 계면 면적과도 상관관계가 있는 것으로 보이며, 또한 IMC 형성에 있어 입계확산(grain boundary diffusion)의 영향이 크게 작용함에 따라 체확산과 일부 혼재되어 나타난 결과로 사료된다<sup>2)</sup>. 유무연 솔더 접합계면의 Cu-Sn IMC 성장속도상수( $k$ ) 값은 온도가 증가함에 따라 증가하였고, 70°C를 제외한 150, 170 °C 에서는 Sn-40Pb가 Sn-3.0Ag-0.5Cu 보다 각각 2.3, 3.0 배 큰 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구는 Sn-40Pb/Cu와 Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu 솔더 접합부에 형성되는 IMC의 종류와 성장에 대해 연구하였으며 시효조건에 따른 IMC 성장에 필요한 활성화에너지에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Sn-40Pb/Cu와 Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu 접합계면에서는  $Cu_6Sn_5$ 의 IMC가 형성되었고, 시효시간이 증가함에 따라  $Cu_6Sn_5$ /Cu 계면에서  $Cu_3Sn$ 이 형성되었다. 또한 Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu 접합계면에  $Cu_6Sn_5$ ,  $Cu_3Sn$  IMC 외에 무연솔더 내부 미세조직에 침상 형태의  $Ag_3Sn$ 이 형성된 것을 알 수 있었다.

2) Sn-40Pb 유연솔더와 Sn-3.0Ag-0.5Cu 무연솔

더 접합계면의 Cu-Sn계 IMC 형성에 필요한 활성화에너지는 각각 157.34, 56.52 kJ/mol로 계산되었으며, 이때 성장속도상수( $k$ ) 값은 온도가 증가함에 따라 증가하였고, 70°C를 제외한 150, 170°C 에서는 Sn-40Pb가 Sn-3.0Ag-0.5Cu 보다 각각 2.3, 3.0 배 큰 것으로 나타났다. 또한 시간지수함수( $n$ ) 값의 검증으로부터 솔더 접합부에 형성되는 IMC의 성장이 전체적으로 체확산 반응에 의해 제어되는 것으로 판단된다.

3) Sn-40Pb/Cu와 Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu 접합계면의 IMC 형성 및 성장에 필요한 활성화에너지를 실험적 방법을 이용하여 계산함으로써 솔더 접합부 수명평가에 활용할 수 있는 기초 자료를 확보하였다.

#### 참 고 문 헌

1. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council, Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, EU (2003)
2. I. Y. Lee, C. B. Lee, S. B. Jung, C. C. Shur : Growth kinetics of intermetallic compound on Sn-3.5Ag/Cu, Ni pad solder joint with isothermal aging, Journal of KWS, **20-1** (2002), 97 (in Korean)
3. Anon : Copper-Tin Intermetallics, Circuit Manufacturing, **20-9** (1980), 56-64
4. B. G. Le, and R. A. Baraczykowschi : Intermetallic Compound Growth on Tin and Solder Plating on Cu Alloys, Wire J. Int., **18-1** (1985), 66-71
5. R. Strauss : SMT Soldering Handbook(2nd Edition), Newnes, Oxford, 1998, 37-39
6. H. A. H. Steen : Aging of Component Leads and Printed Circuit Boards, Research Report IM-1716, Swedish International for Metals Research (1982)
7. A. Gangulee, G. C. Das, and M. B. Bever : An X-Ray Diffraction and Calorimetric Investigation of the Compound  $Cu_6Sn_5$ , Metal Transaction, **4** (1973), 2063-2066
8. W. S. Hong, and K. B. Kim : Tafel Characteristics by Electrochemical Reaction of SnAgCu Pb-Free Solder, Korea Journal of Materials Research, **15-8** (2005), 536-542 (in Korean)
9. H. L. J. Pang, K. H. Tan, X. Q. Shi, and Z. P. Wang : Microstructure and Intermetallic Growth Effects on Shear and Fatigue Strength of Solder Joints Subjected to Thermal Cycling Aging, Materials Science and Engineering, **A307** (2001), 42-50
10. D. R. Frear, S. N. Burchett, H. S. Morgan, and J. H. Lau : The Mechanics of Solder Alloy Interconnects, Chapman & Hall, International Thomson Publication, New York (1994)
11. JEITA : Lead Free Soldering Technologies-From Basic Matters to Measures for Solder Joint Lift-Off, Corona Publishing Co., Tokyo, 2004, 26-29