

## 등온시효에 따른 Sn-3.5Ag 솔더 접합부의 금속간 화합물 성장에 관한 연구

이인영\* · 이창배\* · 정승부\* · 서창제\*

\*성균관대학교 신소재공학과

### Growth Kinetics of Intermetallic Compound on Sn-3.5Ag/Cu, Ni Pad Solder Joint with Isothermal Aging

In-Young Lee\*, Chang-Bae Lee\*, Seung-Boo Jung\* and Chang-Chae Shur\*

\*Dept. of Advanced Materials Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

#### Abstract

The growth kinetics of intermetallic compound layers formed between the eutectic Sn-3.5Ag solder and the Cu and Ni/Cu pad by solid state isothermal aging were examined. The interfacial reaction between the eutectic Sn-3.5Ag solder and the Cu and Ni/Cu pad was investigated at 70, 120, 150, 170°C for various times. The intermetallic compound layer was composed of two phase:  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  ( $\epsilon$ -phase) adjacent to the solder and  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  ( $\epsilon$ -phase) adjacent to the copper and on solder/Ni pad the intermetallic compound layer was  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$ . Because the values of time exponent(n) have approximately 0.5, the layer growth of the intermetallic compound was mainly controlled by volume diffusion over the temperature range studied. The apparent activation energy for layer growth of total Cu-Sn( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5 + \text{Cu}_3\text{Sn}$ ),  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ,  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  and  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$  intermetallic compound were 64.82kJ/mol, 48.53kJ/mol, 89.06kJ/mol and 71.08kJ/mol, respectively.

(Received October 22, 2001)

Key Words : Sn-3.5Ag Solder, Intermetallic compound, Growth kinetic, Activation energy

### 1. 서 론

전자부품 및 기기의 경박단소화 및 다기능화가 급속히 진행됨에 따라 전자 디바이스 패키지는 기본적으로 다핀, 미세피치화의 방향으로 나아가고 있다. 따라서 패키지 기술은 초기 삽입형 패키지인 DIP, PGA 형태에서 크기가 작고 전기적 성능이 우수한 표면 실장용 패키지인 QFP, SOP 형태로 바뀌었고 최근의 고밀도 실장기술은 QFP와 같은 주변실장(Peripheral array)에서 BGA(Ball Grid Array), CSP(Chip Scale Package)와 같은 면적 실장 형태로 발전하여 급속하게 미소, 경량화 추세로 나아가고 있다. 패키지(package) 분야에서 또 하나의 과제는 Sn-Pb계 솔더를 대체할 무연솔더 개발에 관심이 집중되고 있는 실정이다.

솔더 접합부에 형성되는 금속간 화합물은 솔더와 기판 재료의 원소의 상호반응에 의해 형성되며 솔더 재료의 종류와 기판의 종류에 따라 계면에는 다양한 종류의

금속간 화합물 (Intermetallic compound)이 형성되며 젖음성 및 솔더링성에 영향을 미치게 된다<sup>1)</sup>. 계면에 형성되는 금속간 화합물은 좋은 접합부의 형성을 의미하지만 생성되는 금속간 화합물의 종류, 성장속도 등에 의해 접합부의 장기적인 신뢰성에 영향을 미치게 된다<sup>2,3)</sup>.

솔더 접합부에 있어서의 금속간 화합물의 성장과 생성에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. Flanders<sup>4)</sup> 등은 고상 시효시 Sn-3.5Ag 솔더와 구리패드(Cu pad) 계면에서 생성되는 금속간 화합물 성장에 대한 속도론(kinetics)에 대해 연구를 하였고 Choi<sup>5)</sup> 등은 Sn-37Pb와 Sn-3.5Ag 솔더의 열시효에 따른 미세조직의 변화 및 금속간 화합물의 성장 속도론(kinetics)에 대해 연구를 하였다. 또한 Vianco<sup>6)</sup> 등은 다양한 Sn 기저 솔더와 구리패드(Cu pad) 계면에서 형성되는 금속간 화합물의 성장 거동에 대해 관찰하였다.

일반적으로 Sn 기저 솔더와 구리패드(Cu pad) 계면에서 형성되는 금속간 화합물은 Sn-rich  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  ( $\eta$ -phase)와 Cu-rich  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  ( $\epsilon$ -phase)가 형성되며<sup>7)</sup>

니켈패드(Ni pad) 계면에서 형성되는 금속간 화합물은  $Ni_3Sn_4$ 이다. 이들 화합물은 시효 또는 제품의 작동 시 발생하는 열 등에 의해 성장을 하게 되고 계면의 형상도 변화하며 전기적, 기계적 특성에 미치는 영향은 매우 크다고 보고되고 있으나 그에 따른 계통적인 연구는 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 Sn-3.5Ag 솔더와 구리패드(Cu pad), 니켈패드(Ni pad) 계면에서 형성되는 금속간 화합물의 종류와 등은 시효에 따른 계면조직 변화 및 금속간 화합물(Cu-Sn, Ni-Sn)의 성장 속도론(kinetics)에 관해 연구하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 리플로우(Reflow)

본 실험에 사용된 Sn-3.5Ag 솔더볼의 직경은 0.76 mm이고 BGA기판의 패드(pad) 직경은 0.64mm이다. 패드는 각각 구리패드(Cu pad)와 구리패드(Cu pad) 위에 무전해 니켈(85at%Ni+15at%P, 7 $\mu$ m)이 도금된 2종류의 패드를 사용하였다. 리플로우전 각 패드의 산화물과 오염물질을 제거하기 위해 아세톤으로 세척을 한 후 10% $H_2SO_4$ -90% $CH_3OH$ 로 1분간 산세처리를 하였다. 리플로우시 플럭스(flux)의 활성화를 위해 120 $^{\circ}C$ 에서 30초간 예열을 실시하였고, 250 $^{\circ}C$ 에서 1분간 리플로우 하였다.

### 2.2 등은 시효 실험 및 미세조직 관찰

등은 시효에 따른 금속간 화합물의 성장을 관찰하기 위해 주어진 각각의 시편은 70, 120, 150, 170 $^{\circ}C$ 로 제어된 오븐에서 1, 3, 6, 15, 30, 60, 100일 동안 등은 시효처리 하였다.

각 시효 단계에서의 시편은 미세조직관찰 및 두께 측정을 위해 에폭시(epoxy)로 경화한 후 연마를 실시하였다. 미세조직을 관찰하기 위해 에칭(etching)을 한 후 주사전자 현미경(Scanning electron microscope)으로 미세조직을 관찰하였으며 각상의 분석은 EDS(Energy dispersive spectroscopy)로 분석하였다. 또한, image analysis software를 사용하여 금속간 화합물의 두께를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 미세조직의 변화

Fig. 1은 Sn-3.5Ag/구리패드(Cu pad)와 Sn-3.5Ag/니켈패드(Ni pad)위에서 시효시간이 증가함에 따

른 계면의 미세조직의 변화를 나타낸 주사전자현미경 사진이다. 주어진 온도와 시효시간의 증가에 따라 계면의 금속간 화합물 층은 성장하였으며 EDS 분석결과 솔더/구리패드(Cu pad) 계면에서 형성된 금속간 화합물은  $Cu_6Sn_5$ 와  $Cu_3Sn$ 이며 솔더/니켈패드(Ni pad) 계면에서 형성된 금속간 화합물은  $Ni_3Sn_4$ 임을 관찰할 수 있었다.

리플로우 후 계면에서 성장하는 금속간 화합물은 부채꼴(scalloped) 형태이지만 시효 시간이 길어질수록 평활(planar)한 형태로 변화하였다. 이러한 계면 형상의 변화는 솔더와 금속간 화합물 사이의 계면 에너지에 의해서 형성되게 된다. 일반적으로 고상/고상 계면 에너지는 액상/고상 계면 에너지 보다 높은 값을 갖으므로 솔더와 금속간 화합물 사이의 계면은 열처리 과정 중 계면의 면적이 감소함에 따라 전체 계면 에너지를 낮추려는 경향을 갖는다. 그 결과 계면의 형상은 초기의 부채꼴(scalloped) 형태에서 평활(planar)한 형태로 변하는 것으로 판단된다. 또한, 계면에서 Cu-Sn 금속간 화합물에 비해 Ni-Sn 금속간 화합물이 상당히 적게 형성되는 것으로 보아 Ni 도금층은 확산 억제층(barrier)로서 충분한 역할을 하는 것으로 판단된다.

Fig. 2는 Sn-3.5Ag/구리패드(Cu pad) 계면의 미

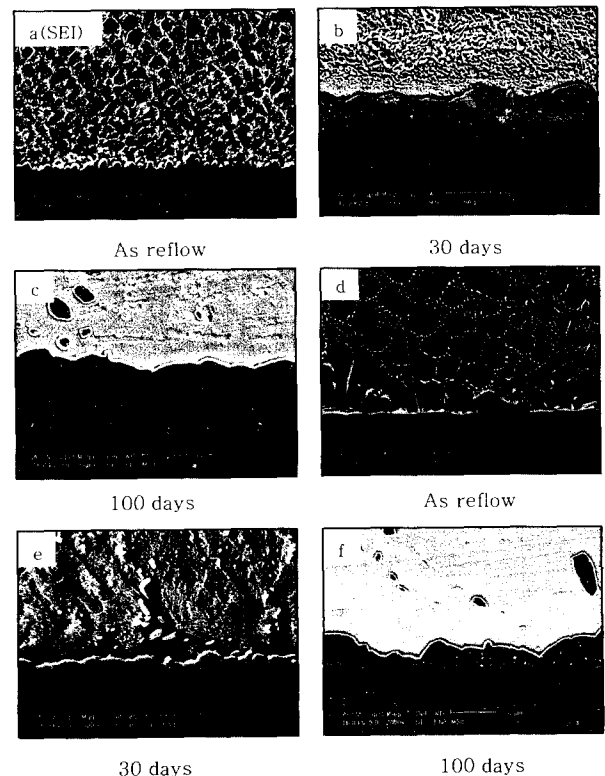


Fig. 1 SEM micrographs of microstructure evolution for aged at 170 $^{\circ}C$ . : (a~c) on Cu pad, (d~f) on Ni pad

세조직 사진으로 120°C 에서 60일 동안 시효 처리한 경우이다. EDS 분석결과 계면에 형성된 금속간 화합물은 2종류로서 A 는 Sn rich 화합물인 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>로서 솔더쪽에 형성되며 B 는 Cu rich 화합물인 Cu<sub>3</sub>Sn으로서 구리(Cu) 쪽에 형성되었다. Fig. 1(a)로 부터 알 수 있듯이 솔더링 초기에는 계면에서 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 금속간 화합물만이 관찰되지만 시효시간이 증가함에 따라 Cu<sub>3</sub>Sn 금속간 화합물이 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>와 구리패드(Cu pad) 계면에서 관찰되었다. 이러한 솔더/구리패드(Cu pad) 계면에서 형성되는 금속간 화합물은 Cu와 Sn의 확산에 의해 생성, 성장하는 과정은 Schaefer<sup>8)</sup>등과 Kim<sup>9)</sup> 등의 연구 결과와 일치하였다. 즉, Cu<sub>3</sub>Sn 금속간 화합물은 구리패드(Cu pad)로부터 솔더 측으로의 Cu의 확산에 의해 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>를 소모하면서 성장하는 것으로 판단된다.

Fig. 3의 Sn-3.5Ag/니켈패드(Ni pad) 계면의 미세조직 사진에서 알 수 있듯이 120°C에서 60일동안 시효처리 뒤 Sn-3.5Ag/니켈패드(Ni pad) 계면에서 형성되는 금속간 화합물은 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>임을 확인하였다.

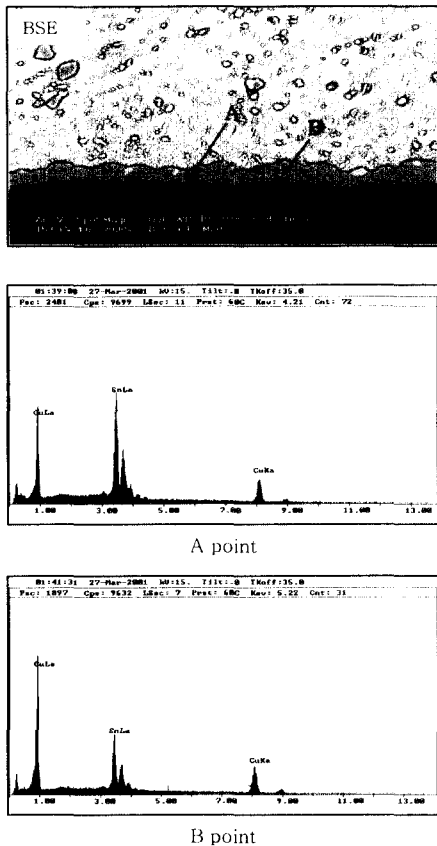


Fig. 2 SEM microstructure and EDS of Sn-3.5Ag/Cu pad interface on aged at 120°C for 60 days. Phase identification : A = Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>, B = Cu<sub>3</sub>Sn

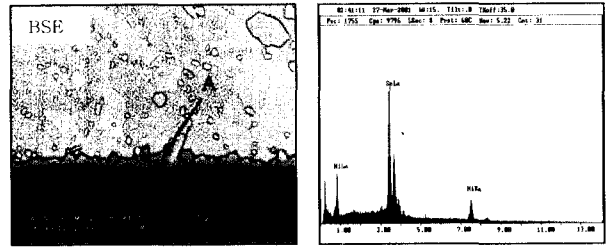


Fig. 3 SEM microstructure and EDS of Sn-3.5Ag/Ni pad interface on aged at 120°C for 60days. Phase identification : A = Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>

Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간 화합물은 Ni와 Sn의 확산에 의해 생성되며 Fig. 1(d~f)로부터 알 수 있듯이 시효처리 시간이 증가함에 따라 화합물의 두께는 성장하였다. 또한, Cu의 확산 방지를 위해 실시한 Ni 도금으로 인하여 계면에서 Cu-Sn 금속간 화합물의 생성은 억제되었다고 사료된다.

### 3.2 금속간화합물 성장 속도론(kinetic)

Cu, Ni 와 Sn 확산에 의해 계면에서 생성, 성장되는 금속간 화합물은 다음과 같은 단순한 포물선 방정식 (simple parabolic equation)으로 나타낼 수 있다<sup>10,11)</sup>

$$W = kt^n \tag{1}$$

W : 금속간 화합물 층 두께(intermetallic compound layer thickness)

k : 성장속도 상수(growth rate constant)

t : 반응시간(reaction time)

n : 시간지수 함수(time exponent)

시효동안 계면에서 금속간 화합물이 Cu, Ni 와 Sn 확산에 의해 성장을 하였다면 (1)식을 적용할 수 있고 또한 확산기구가 체확산(volume diffusion) 일 경우 경험적으로 n(시간지수함수,time exponent) 값은 0.5 를 갖게 된다. 즉, 본 연구에서 전체 Cu-Sn (Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> + Cu<sub>3</sub>Sn), Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간 화합물은 시효 시간에 따라 포물선 형태로 성장을 하였고 두께의 증가가 포물선 형태를 따르는 것은 금속간 화합물 층의 성장이 확산에 의해 제어됨을 의미한다.

Fig. 4와 5는 각각 Sn-3.5Ag/구리패드(Cu pad)와 Sn-3.5Ag/니켈패드(Ni pad) 위에서 Cu-Sn (Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> + Cu<sub>3</sub>Sn), Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>, Cu<sub>3</sub>Sn 금속간 화합물과 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간 화합물의 두께와 시효 시간(t<sup>1/2</sup>) 과의 관계를 선회귀분석(linear regression analysis)으

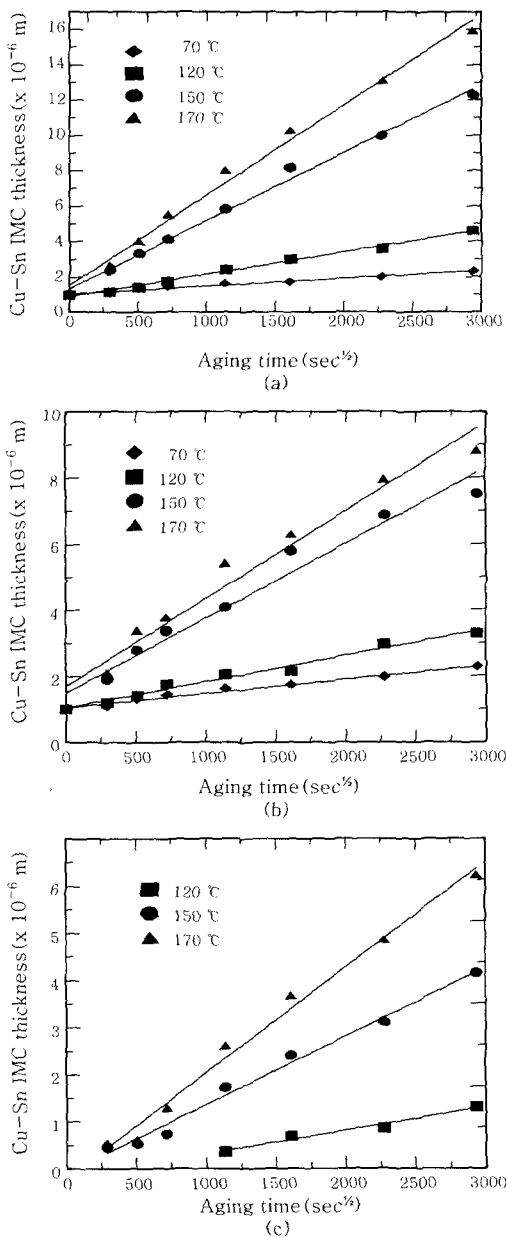


Fig. 4 Cu-Sn intermetallic layer thickness as a function of the square root of time for each aging temperature. (a) total Cu-Sn, (b) Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>, (c) Cu<sub>3</sub>Sn

로서 나타낸 그래프이다. 이때 각각의 온도에서 그래프(plot)의 기울기는 성장속도상수(k) 값을 의미한다.

선회귀분석(linear regression analysis)을 통하여 계산된 각각의 온도에서의 성장속도 상수(k)와 선형관계 계수값(correlation coefficient value, R<sup>2</sup>)을 Table 1에 나타내었다. 선형관계 계수값(correlation coefficient value, R<sup>2</sup>)이란 시효시간에 따라 성장하는 금속간 화합물의 두께가 어느 정도 단순포물선(simple parabolic) 방정식에 일치하는 가를 나타내는 것으로서 값이 1에 가까울수록 단순포물선(simple parabolic)

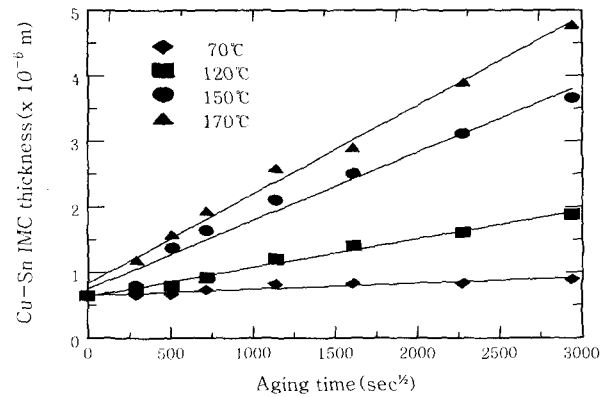


Fig. 5 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> intermetallic layer thickness as a function of the square root of time for each aging temperature.

방정식에 일치하고 선회귀분석(linear regression analysis)을 통하여 변환한 그래프(plot)와도 어느정도 일치하는 가를 나타내는 값을 말한다.

Fig. 4와 5 및 Table 1에서 알 수 있듯이 금속간 화합물의 성장속도 상수(k) 값은 시효 온도가 증가할수록 증가하고 단순포물선(simple parabolic) 방정식을 만족하는 것은 본 실험 온도 구간에서 주로 체확산에 의해 금속간 화합물이 성장되고 있다고 할 수 있다. 주어진 조건 하에서 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>의 성장속도 상수(k) 값이 Cu<sub>3</sub>Sn의 성장속도 상수(k) 값보다 큰 것은 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>의 성장이 Cu<sub>3</sub>Sn의 성장보다 성장속도가 빠름을 의미한다. 또한, 구리패드(Cu pad)와 니켈패드(Ni pad) 위에서 성장하는 전체 Cu-Sn(Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> + Cu<sub>3</sub>Sn).

Table 1 Calculated growth rate constants(k) and linear correlation coefficient value(R<sup>2</sup>).

Solder	Temp. (°C)	Inter-metallic	k <sup>2</sup> (10 <sup>-19</sup> m <sup>2</sup> /s)	R <sup>2</sup>
Sn-3.5Ag/ Cu pad	70	Total	1.77	0.981
		Cu <sub>3</sub> Sn	-	-
		Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	1.77	0.981
	120	Total	15.54	0.993
		Cu <sub>3</sub> Sn	2.40	0.981
		Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	6.22	0.965
	150	Total	147.90	0.993
		Cu <sub>3</sub> Sn	20.85	0.967
		Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	49.56	0.988
	170	Total	260.61	0.991
		Cu <sub>3</sub> Sn	49.87	0.965
		Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	70.18	0.989
Sn-3.5Ag/ Ni pad	70	Ni <sub>3</sub> Sn <sub>4</sub>	0.076	0.88
	120	Ni <sub>3</sub> Sn <sub>4</sub>	1.88	0.989
	150	Ni <sub>3</sub> Sn <sub>4</sub>	10.77	0.980
	170	Ni <sub>3</sub> Sn <sub>4</sub>	18.44	0.992

Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간 화합물의 성장속도 상수를 비교해 보면 각각의 온도에서 전체 Cu-Sn(Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> + Cu<sub>3</sub>Sn) 금속간 화합물이 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간 화합물 보다 각각의 온도에서 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 따라서 Cu/Sn 계면에서의 확산이 Ni/Sn 계면에서의 확산보다 빨리 진행되었음을 알 수 있다. 전체 Cu-Sn(Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> + Cu<sub>3</sub>Sn) 금속간 화합물의 성장속도 상수(k)값이 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간 화합물의 성장속도 상수(k)보다 큰 값을 나타내는 것은 전체 Cu-Sn (Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> + Cu<sub>3</sub>Sn)의 성장이 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간 화합물보다 주어진 온도와 시효 조건에서 빨리 성장함을 의미한다

전체 Cu-Sn(Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> + Cu<sub>3</sub>Sn) 금속간 화합물의 경우 R<sup>2</sup> 값은 대체로 0.98이상이며 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간 화합물의 경우는 70℃를 제외한 R<sup>2</sup> 값이 0.98 이상의 값을 나타내는것은 전체 Cu-Sn(Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> + Cu<sub>3</sub>Sn), Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간 화합물이 단순포물선(simple parabolic) 방정식에 따라 성장함을 의미한다. 하지만, Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간 화합물의 경우 높은 온도와 비교하여 70℃ 온도에서 R<sup>2</sup>값이 낮고 시간지수함수(time exponent, n)값이 높은 것은 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간 화합물의 성장에 입계 확산의 영향이 더욱 크게 작용했기 때문으로 사료된다<sup>11)</sup>.

시간지수함수(time exponent, n)을 구하기 위해 각각의 주어진 온도에서 성장 속도론(kinetic)은 아래식으로 표현될 수 있다<sup>12)</sup>.

$$y = At^n + B \tag{2}$$

- y : 금속간 화합물 층 두께  
(intermetallic compound layer thickness)
- t : 시효시간(aging time)
- n : 시간지수함수(time exponent)
- A : 상수(constant)
- B : 초기 금속간 화합물 두께(initial intermetallic compound thickness (t=0))

식(2)에 자연로그 값을 취하면 다음과 같은 방정식을 얻는다.

$$\ln(y-B) = n \ln t + \ln A \tag{3}$$

시간지수함수(time exponent, n)은 ln(y-B)와 lnt의 그래프(plot)의 기울기로부터 구할 수 있으며 Table 2에 전체 Cu-Sn, Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 및 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간 화합물의 시간지수함수(time exponent, n) 값을 나타내었다.

**Table 2** Time exponent(n) as a function of aging temperature.

Solder	Intermetallic	Temp.(°C)	n
Sn-3.5Ag/ Cu pad	Total Cu-Sn	70	0.497
	Total Cu-Sn	120	0.679
	Total Cu-Sn	150	0.463
	Total Cu-Sn	170	0.476
	Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	70	0.496
	Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	120	0.510
	Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	150	0.425
	Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	170	0.410
Sn-3.5Ag/ Ni pad	Ni <sub>3</sub> Sn <sub>4</sub>	70	0.851
	Ni <sub>3</sub> Sn <sub>4</sub>	120	0.571
	Ni <sub>3</sub> Sn <sub>4</sub>	150	0.580
	Ni <sub>3</sub> Sn <sub>4</sub>	170	0.429

시간지수함수(time exponent, n) 값이 대체로 0.5에 근접한 값을 나타내는 것은 이들 금속간 화합물의 성장이 주어진 온도 구간에서 체확산(volume diffusion)에 의해 주로 제어된다고 판단할 수 있다.

각각의 온도에서 선회귀분석(linear regression analysis)로 구한 성장속도 상수 k를 아레니우스(Arrhenius) 관계식에 대입하여 금속간 화합물의 활성화 에너지(activation energy, Q)를 구할 수 있다.

$$k^2 = k_0^2 \exp(-Q/RT) \tag{4}$$

- k<sup>2</sup> : 성장속도 상수 제곱근(the square root of growth rate constant(m<sup>2</sup>/s))
- k<sub>0</sub><sup>2</sup> : 빈도인자(frequency factor)
- Q : 활성화 에너지(activation energy)
- R : 기체 상수(gas constant)
- T : 시효 온도(aging temperature(K))

각각의 Sn-3.5Ag/구리패드(Cu pad) 및 Sn-3.5Ag/니켈패드(Ni pad) 계면에 형성된 전체 Cu-Sn, Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>, Cu<sub>3</sub>Sn 및 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간 화합물 성장에 대한 아레니우스(Arrhenius) 그래프(plot)의 기울기로부터 계산된 각 화합물의 성장에 대한 활성화 에너지 값을 Table 3에 나타내었다. 주어진 온도 구간에서 전체 Cu-Sn(Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> + Cu<sub>3</sub>Sn), Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 및 Cu<sub>3</sub>Sn의 활성화 에너지 값은 각각 64.82, 48.53 및 89.06 kJ/mol 이고 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>의 활성화 에너지 값은 71.08 kJ/mol 이다.

**Table 3** Calculated activation energy(Q) for various intermetallic

Solder	Intermetallic Compound	Activation Energy(kJ/mol)
Sn-3.5Ag/ Cu pad	Cu-Sn(Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub> + Cu <sub>3</sub> Sn)	64.82
	Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub>	48.53
	Cu <sub>3</sub> Sn	89.06
Sn-3.5Ag/ Ni pad	Ni <sub>3</sub> Sn <sub>4</sub>	71.08

#### 4. 결 론

본 연구에서는 Sn-3.5Ag 솔더와 구리패드(Cu pad) 및 니켈패드(Ni pad) 사이에 형성되는 금속간 화합물의 계면 현상 및 시효에 따른 금속간 화합물의 성장거동에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다

1) Sn-3.5Ag 솔더와 구리패드(Cu pad) 접합 계면에서 형성되는 금속간 화합물은 초기에는 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>만이 형성되지만 고온에서 장시간 열처리 할 경우 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>와 Cu<sub>3</sub>Sn의 이상 조직을 갖는다. 또한 니켈패드(Ni pad) 접합 계면에서 형성되는 금속간 화합물은 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>이다.

2) Sn-3.5Ag 솔더/금속간 화합물 계면은 열처리가 진행됨에 따라 솔더링 초기의 비평활(non-planar)한 형태에서 평활(planar)한 형태로 계면 형상이 바뀌며 이는 열처리 과정 중 계면의 면적을 감소함에 의해 전체 계면 에너지를 낮추려는 경향 때문이다

3) 전체 Cu-Sn(Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> + Cu<sub>3</sub>Sn), Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>, Cu<sub>3</sub>Sn 및 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 금속간 화합물의 성장속도상수(k) 값은 온도가 증가함에 따라 증가하고 전체 Cu-Sn의 성장속도상수 값이 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>보다 70, 120, 150, 170°C에서 각각 23.3, 8.2, 13.7, 14.1배 크고 전체적으로 단순포물선(simple parabolic) 방정식을 만족하였다.

4) 시간지수함수(time exponent, n) 값이 정확히 0.5 값을 갖지는 않지만 대체로 0.5에 근접한 값을 갖는 것으로 보아 금속간 화합물 층의 성장은 체확산에 의해 제어됨을 확인 하였으며 전체 Cu-Sn(Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> + Cu<sub>3</sub>Sn), Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>, Cu<sub>3</sub>Sn 및 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>의 활성화에너지 값은 각각 64.82, 48.53, 89.06 및 71.08 kJ/mol로 계산되었다.

#### 후 기

본 논문은 한국과학재단(목적기초연구, 과제번호 : R01-2000-00227)의 지원하에 이루어진 것으로 관계

자 여러분께 심심한 감사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. Chang-Bae Lee, Seung-Boo Jung, Young-Eui Shin and Chang-Chae Shur : The Effect of Bi Concentration on Wettability of Cu Substrate by Sn-Bi Solders, Mater. Trans., 42(2001), 751-755
2. J. Glazer : Metallurgy of low temperature Pb-free solders for electronic assembly, Int. Mater. Rev., 40(1995), 65-93
3. Mulugeta Abteu, Guna Selvaduray : Lead-free Solders in Microelectronics, Master. Sci. Eng., 27(2000), 98-141
4. D. R. Flander, E. G. Jacobs and R. F. Pinizzotto : Activation Energies of Intermetallic Growth of Sn-Ag Eutectic Solder on Copper Substrate, J. Electron. Mater., 26(1997), 883-887
5. S. Choi, T. R. Bieler, J. P. Lucas and K. N. Subramanian : Characterization of the Growth of Intermetallic Interfacial Layers of Sn-Ag and Sn-Pb Eutectic Solders and Their Composite Solders on Cu Substrate During Isothermal Long-Term Aging, J. Electron. Mater., 28(1999), 1209-1215
6. P. T. Vianco, P. F. Hlava and A. C. Kilgo : Intermetallic Compound Layer Formation Between Copper and Hot-Dipped 100In, 50In-50Sn, 100Sn, and 63Sn-37Pb Coatings, J. Electron. Mater., 23(1994), 583-594
7. R. E. Pratt, E. I. Stromsvold and D. J. Quesnel : Effect of solid-state intermetallic growth on the fracture toughness of Cu/63Sn-37Pb solder joints, IEEE Transaction CPMT Part A, (1996), 134-141
8. M. Schaefer, R. A. Fournelle and Jin Liang : Theory for Intermetallic Phase Growth Between Cu and Liquid Sn-Pb Solder Based on Grain Boundary Diffusion Control J. Electron. Mater., 27(1998), 1167-1176
9. H. K. Kim and K. N. Tu : Kinetic analysis of the soldering reaction between eutectic SnPb alloy and Cu accompanied by ripening, Phys. Rev., B53 (1996), 16027-34
10. R. J. Klein, Wassink : Soldering in Electronics 2nd. Edn., (1989), 149
11. S. B. Jung : Doctoral Thesis, Osaka Univ., Japan (1993)
12. J. Burke : The kinetics of phase transformations in metals, (Robert Maxwell, M.C. M.P.), 1st. Edn. (1965), 45-52