

# Plating 및 Base metal의 Grain size에 따른 Whisker 성장 영향 분석

김수진<sup>†</sup> · 장미순\* · 곽계달\*\*

## Analysis of the effect on the whisker growth as grain size of plating and base metal

Su-Jin Kim, Mi-Soon Chang and Kae-Dal Kwack

**Key Words:** Tin whisker(주석 휘스커), Recrystallization(재결정), Grain boundary(조직 경계) Plating(도금), Intermetallic compound(금속간 화합물), Grain size(조직 크기)

### Abstract

The whisker grows at the plating of a lead frame so that it causes the serious problem like the short. To prove this case, many people have studied the cause and influence of the tin whisker growth. This study explains the grain size affects the growth of the whisker in the lead frame. By these studies about the whisker, the whisker growth is discovered by stresses generated by the intermetallic compound and CTE mismatch in both plating and base metal. The stresses or lattice defect generated in the plating process changes grain structure of plating. Consequently, these various stresses are stabilized by forming unspecified whiskers through lots of grain boundaries. Because the grain boundary is the path of the whisker growth, the smaller grain size exists, the more whiskers grow.

### 1. 서 론

Whisker는 반도체 IC의 lead finger의 도금층 표면에 발생하는 수염 모양의 단결정 필라멘트를 말하는 것이다. 이것은 1940년대에 cadmium으로 이루어진 whisker가 plating에서 short 현상을 발생하면서 전자분야에서 연구가 되었고,<sup>(1)</sup> Cadmium 이외에 tin, zinc에서도 whisker가 성장하는 것으로 확인되었다.<sup>(2)</sup> 그런 단점에도 불구하고, tin과 tin alloy는 solder paste와의 높은 접착력, 부식 저항, 낮은 접촉 저항과 같은 장점 때문에 plating 물질로 사용하였다. 그래서 1959년 이후에는 whisker 성장을 억제시키기 위해서 Pb를 포함한 tin alloy

가 사용되었지만, 2002년 European Directive에서 RoHS(Restriction of Hazardous Substances)가 발효됨에 따라 Pb 성분이 유해 물질로 분류되어 제한을 받게 된다. 이로 인해 Pb를 대체하기 위해서 Ni, Bi, Cu, Ag을 이용한 tin alloy 또는 Pb를 제외한 pure tin을 사용하고 있다. 이 중 100% pure tin는 앞에서 제시한 장점들을 갖고 있지만, 물리적, 화학적 반응에 의해서 whisker가 성장하여 전기적 short가 발생하는 문제를 갖고 있다.

이러한 문제가 야기된 이후로, whisker 성장에 대한 다양한 연구가 진행되었다. 우선, whisker 성장의 원인적 측면에서, George T. Galyon<sup>(3)</sup>는 내부적으로 발생된 stress로 인하여 plating과 base metal의 종류에 따라 금속간 화합물(Intermetallic compound, 이하 IMC로 칭함)의 형성을 설명하였다. Whisker 성장의 mechanism 측면에서, 1958년에 Ellis<sup>(4)</sup>는 grain의 recrystallization을 제시하였고, 2004년 Boguslavsky와 bush<sup>(5)</sup>는 recrystallization을

† 김수진, 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부  
E-mail : win2877@gmail.com  
TEL : 011-9732-4242

\* 한양대학교 신뢰성분석연구센터(RARC)

\*\* 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부

bright tin을 이용하여 whisker 성장 이론에 적용하였다. 이러한 연구에 따르면 plating 및 base metal의 grain은 내/외부적 stress에 의해 recrystallization 되고, 이것이 whisker 성장에 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

금속의 grain은 같은 물질이라도 공정 과정에서 발생하는 온도/습도와 같은 외부적 stress에 의해서 변하게 되고, 이런 변화는 whisker 성장에 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 JEDEC의 tin whisker test 기준에 따라<sup>(6)</sup>, 현재 전자 제품에서 사용되는 IC들을 대상으로 whisker 가속 시험을 실시하였다. 그리고 본 연구를 통하여 plating과 base metal의 grain size 및 structure 변화에 대한 분석을 통하여 whisker 성장에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

## 2. Whisker 발생 매커니즘

Whisker가 발생하는 lead finger의 구조를 Fig. 1 (a), (b)에 나타내었다. 그림 (a)에서 lead finger는 반도체 chip 내부의 mother board와의 전기적인 신호 연결을 담당하는 부분으로써 lead frame의 package 외부 다리 부분을 일컫는다. 그림에서 보이는 surface finish에서 whisker가 성장하게 되고, (b)는 surface finish의 grain structure을 나타내었다. Whisker는 lead finger에서 화학적, 기계적 방법으로 발생하는 압축 stress가 surface finish와 base metal에 영향을 미침으로써 성장하게 된다.

Whisker 성장의 원인은 internal stress와 external stress로 구분할 수 있다. Lead finger 내부에 발생하는 internal stress는 plating과 base metal의 종류에 따라 다르게 나타난다.<sup>(3)</sup> 대부분의 IC에서 사용되는 Sn/Cu는 Cu의 높은 이온화 경향으로 인하여 Fig. 2 에서 확인할 수 있듯이, Sn층과 Cu층 사이에서 IMC가 형성된다. IMC는 Kirkendall Effect에 의해서 Cu이온이 Sn과 결합하여  $Cu_6Sn_5$ 을 형성하고, 이로 인해 새롭게 발생한 stress가 whisker 성장의 원인이 된다. 또 다른 성장 원인으로서는, 열팽창 계수(Coefficient of Thermal Expansion, 이하 CTE로 칭함)의 불일치이다. CTE 불일치는 높은 이온화를 갖는 Cu을 대체하기 위한 금속으로 사용되는 Fe과 42%의 Ni의 합금인 Alloy-42에서 주로 나타난다. 이와 같은 경우 Sn

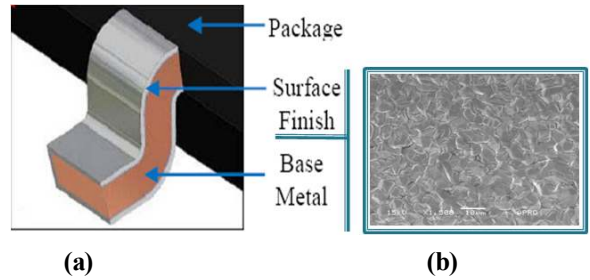


Fig. 1 Structure and grain of Lead finger  
(a) Lead Finger (b) Grain Size of Plating

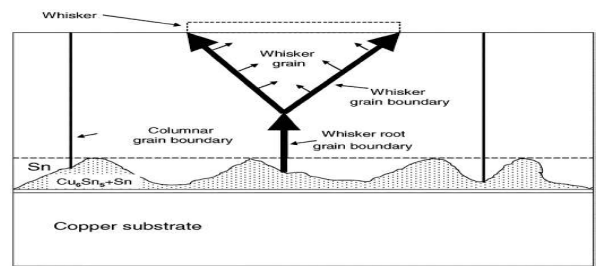


Fig. 2 Whisker growth by IMC

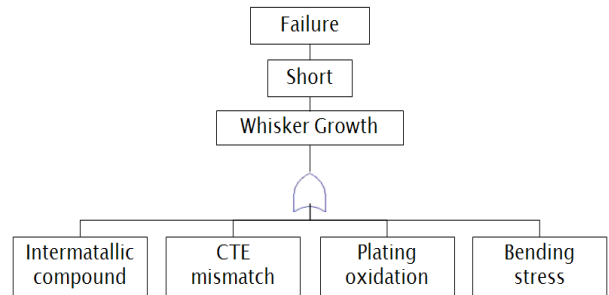
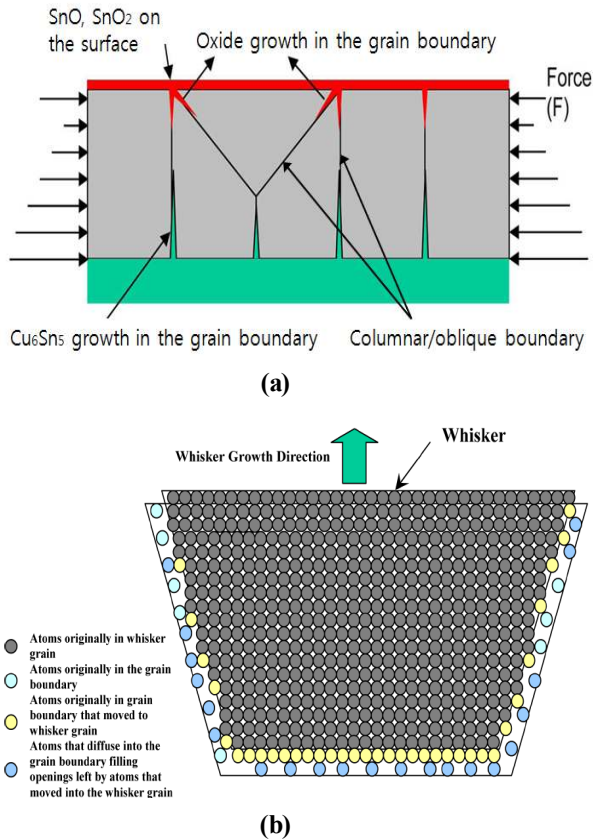


Fig. 3 FTA of whisker

(22 ppm/°C)와 A42(4ppm/°C)의 CTE 불일치로 각각의 접합면에 stress가 발생하여, whisker 성장의 원인이 된다. 그리고 IC 공정시 발생하는 External stress는 trim/forming과 같은 bending stress와 도금 표면이 산소와 접촉하여 생기는 plating oxidation이다. 이러한 화학적·기계적 external stress들은 plating과 base metal의 grain 및 grain boundary가 변하여, whisker 성장에 영향을 미친다. Whisker 성장에 영향을 미치는 상기 stress들을 FTA로 작성하여 Fig.3에 정리하였다.

Whisker 성장은 plating의 grain boundary를 통하여 Sn을 압축 또는 팽창하면서 새롭게 발생한 stress를 해소하는 과정으로 이것을 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이, plating과 base metal 사이에 발생한 IMC가 생성되면서 lead finger 내부에 stress가 발생하여 whisker grain bou-



**Fig. 4** Sn atom moving in Grain boundary

(a) Grain boundary (b) Displacement of Sn atom

boundary가 whisker의 성장 경로가 되는 것을 알 수 있다. Plating의 grain에서 whisker의 성장을 설명하기 위해 Fig. 4 (a), (b)에 plating의 grain 단층을 간략화하여 나타내었다. 그림 (a)에서 columnar boundary와 oblique boundary를 확인할 수 있고 다양한 stress에 의해서 발생한 압축 또는 팽창되는 힘(F)에 oblique boundary가 보다 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 이 oblique boundary는 외부의 화학적, 기계적 stress에 의해서 형성되는데 이것은 Sn으로 구성된 plating에서 흔히 발견된다.<sup>(7)</sup> 이렇게 Sn의 grain들로 불규칙적으로 형성된 boundary는 온도 또는 기계적 변화로 인하여, Sn 원소의 이동경로가 된다. 실제로 Sn의 녹는점(231.9°C)이 다른 금속보다 낮기 때문에, 그림 (b)와 같이 Sn 원소가 grain boundary를 통해 이동하면서 새로운 whisker grain을 형성하게 된다. 또한 그림 (a)에서 볼 수 있듯이 plating surface가 산소와 결합하여 형성된  $\text{SnO}_x$ , 그리고 base metal과의 경계면에서 형성된  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 가 plating grain의 응집력을 약화하여 whisker 성장을 원활하게 한다.

**Table 1** Parts specification

Brand/Name	Package type	Surface finish	Base metal	Plating thickness
N/A	7L To -220	Matte Tin	Cu(97%) Sn,P	12.1 $\mu\text{m}$
N/B	28L LLP	Matte Tin	Cu(97%) Fe,Zn,P	11.4 $\mu\text{m}$
N/C	5LSOT -223	Matte Tin	Cu(97%) Fe,Zn,P	12.0 $\mu\text{m}$
O/D	SO-20 WB	Matte Tin	Cu(97%) Fe,Ag,Zn	11.9 $\mu\text{m}$
O/F	PDIP-16	Matte Tin	Cu(96%) Fe	12.2 $\mu\text{m}$
O/H	DPAK	Matte Tin	Cu(99%) Ni	11.6 $\mu\text{m}$

이런 복합적 stress에 의한 Sn 원소의 이동은 whisker를 형성하여 길이가 허용 기준치 이상이 되면 lead finger 간에 전기적 short을 발생한다.

### 3. Whisker 성장 가속 시험

Whisker 성장은 lead finger의 plating과 base metal의 경계면에서 IMC 형성과 그것들의 CTE 불일치로 인해 발생된 stress에 의해서 형성되기 때문에 다양한 외부 환경 중 온도와 습도에 대한 영향을 받는다. 따라서 JEDEC의 tin whisker test 기준에 따라 High Temperature/Humidity Test 와 Thermal Cycling Test을 실시하였다.<sup>(6)</sup> 그리고 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscope, 이하 SEM으로 칭함)을 이용하여 plating과 base metal의 grain size와 structure을 관찰함으로써 이것들이 whisker 성장에 미치는 영향을 살펴보았다.

#### 3.1 시험시료

본 연구에서 사용된 시료들을 plating과 base metal 부분의 성분에 따라 구분하여 Table 1에 나타내었다. 표에서 N, O회사의 시료들은 다양한 전자 제품의 amplifier로 쓰이며 plating 성분은 100% matte tin으로 구성되고 Base metal 성분은 전기 전도율이 높은 Cu를 95% 이상 포함한다. 또한 부품 별 도금 층의 두께에 따라 whisker 성장에 영향을 미치지만, 약 6 $\mu\text{m}$ 이상의 두께에서는

**Table 2** Test condition

Stress type	Test condition	Inspection interval	Total duration
High Temp./Humidity storage	58±1 °C 85±1%RH	1000hours	3000 hours
Thermal Cycleing	-65~95 °C air to air 20min/cycle	500cycles	2000 cycles

영향을 미치지 않는다.<sup>(8)</sup>

### 3.2 시험장치 및 시험방법

본 연구에서 whisker 성장을 위해 실시한 고온·고습 시험과 열충격 시험의 구체적인 조건을 Table 2에 나타내었다.

#### 3.2.1 고온·고습 시험

고온·고습 환경에서 whisker를 성장시키기 위하여 항온 항습기에 3000h 동안 58°C, 85%RH의 환경을 유지하였고 시험 중 측정 간격은 1000h로 설정하였다. 그리고 각각의 시료수는 평균 20개로 하여 매 시험 관측 간격마다 시료당 2~4개씩 추출할 수 있도록 하였다.

#### 3.2.2 열충격시험

CTE 불일치에 의한 whisker 영향을 관찰하기 위해 열 충격 시험기에 넣고 -65~95°C의 조건에 1cycle당 20분을 한 주기로 하였다. 시험 관측 간격은 500cycle로 하였고, 총 4회 2000cycles을 시험하였다. 시료의 수는 고온·고습 시험과 동일하다.

### 3.3 측정방법

Whisker의 미세한 길이와 plating 및 base metal의 grain structure를 SEM을 이용하여 x1,500~x20,000 배의 높은 배율로 측정하였다. SEM으로 시료를 측정할 때는 sample의 plating에 gold 도금을 하기 때문에 동일한 시료를 대상으로 여러 번 측정할 수 없지만 같은 시료의 grain structure는 유사한 형태를 갖기 때문에 각 시료당 2~4개씩을 비교하여 분석하였다. 그리고 lead finger의 측정 부위는 stress에 영향을 크게 받아 whisker가 많이 발생하는 lead finger의 edge와 종단 부분을 중심

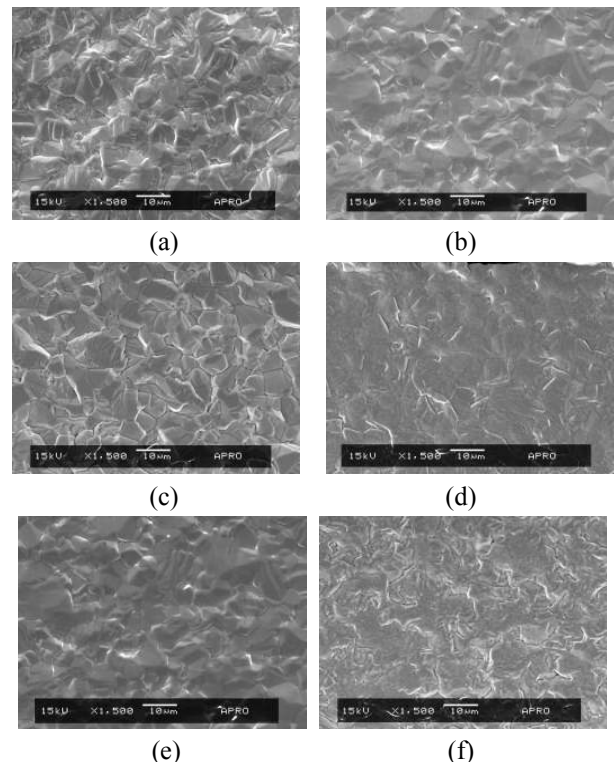
으로 측정하였다.

### 3.4 시험 관측 결과

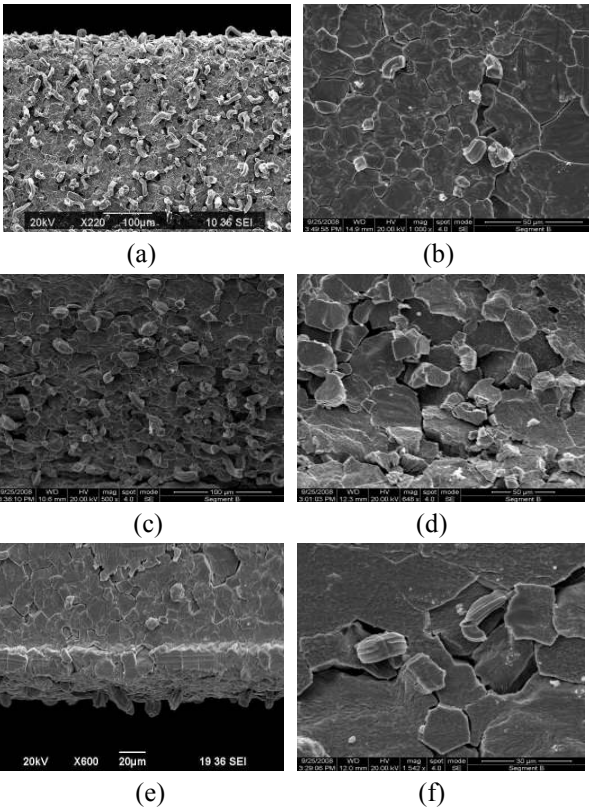
시험을 시작하기 전에 각 시료들에 대한 plating의 grain을 Fig. 5에 나타내었다. SEM 측정 시 직관적인 비교를 하기 위해서 일률적으로 x1500의 동일한 배율로 측정하였다. 그림으로부터 알 수 있듯이 한 시료 안에서도 grain의 형태와 크기가 다양하게 나타났지만 Fig. 5 (a)와 (b)의 plating에 대한 grain structure가 (d)와 (f)의 것보다 조밀함을 알 수 있었다. 각 시료에 대한 가속시험 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 또한 Grain size가 whisker 성장에 미치는 영향을 확인하기 위하여 각 시료마다 동일한 배율상의 주대각선 길이 당 grain 개수를 산출한 grain size와 200 $\mu\text{m}^2$  당 whisker 개수의 평균을 Table 3에 나타내었다. 또한 시험결과에 발생한 whisker의 성분 분석을 EDX를 이용한 결과 Fig. 7과 같이 주성분이 Sn으로 구성된 whisker임을 확인하였다

### 3.5 시험 결과 분석

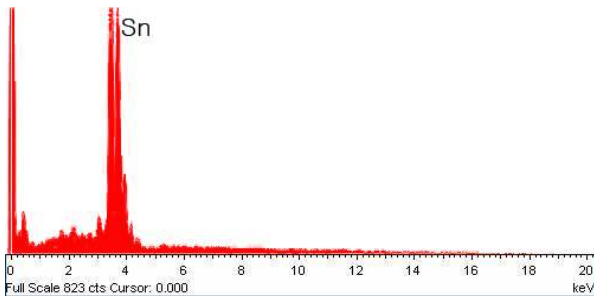
시험의 결과에서 확인할 수 있듯이 plating의



**Fig. 5** Grain structure of Plating  
(a)Part N/A (b)Part N/B (c)Part N/C  
(d)Part O/D (e)Part O/E (f)Part O/F



**Fig. 6** Whisker shape of each parts  
 (a)Part N/A (b)Part N/B (c)Part N/C  
 (d)Part O/D (e)Part O/E (f)Part O/F

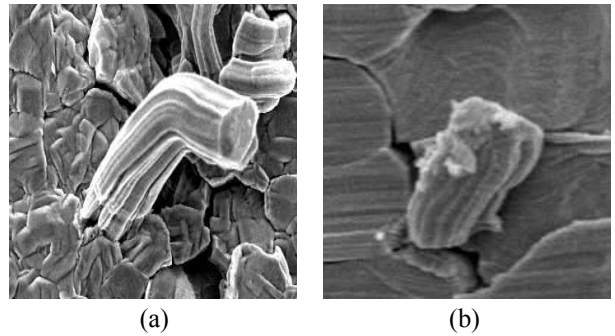


**Fig. 7** Elements analysis of whisker using EDX

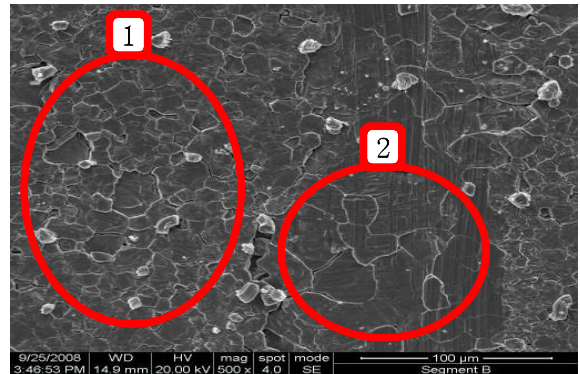
grain size가 작을수록 whisker 발생 빈도가 높은 것을 알 수 있다. 온도와 습도의 변화로 인해 야기된 IMC 형성과 CTE 불일치와 같은 stress들은 lead finger 내부에 압축 또는 팽창하는 힘을 발생하여 Sn 원소가 grain boundary를 따라 이동하고 이것이 whisker grain을 형성하게 된다. 이때 whisker 성장의 경로인 grain boundary는 grain size가 작을수록 많이 형성되기 때문에 whisker가 많이 성장한다. 이와 같이 grain boundary가 whisker 성장의 경계 되는 것을 Fig. 8의 (a), (b)을 통하여 확인 할 수 있다. 그리고 같은 반도체 IC

**Table 3** Comparison between grain

Sample	Grain Size	The number of Whisker
N/A	5.2 $\mu\text{m}$	32
N/B	6.9 $\mu\text{m}$	24
N/C	5.7 $\mu\text{m}$	28
O/D	20.3 $\mu\text{m}$	4
O/E	7.2 $\mu\text{m}$	12
O/F	17.3 $\mu\text{m}$	9



**Fig. 8** Whisker growth between grains of plating  
 (a)2000cycles, N/A (b)2000cycles, O/G



**Fig. 9** The different grain size in the part, N/B

에서도 온도 및 습도, 공정 과정에 따라 plating에서 recrystallization이 발생하여 grain structure가 변하게 된다. 이것으로 인하여 동일한 시료의 plating에서 grain size와 grain boundary가 변하여 whisker가 불규칙하게 성장함을 설명 가능하며 이를 Fig. 9에 나타내었다. 그림에서 가속 시험 후 균일했던 plating의 grain이 recrystallization 되면서 영역 ①의 grain이 영역 ②의 grain보다 조밀하게 변화하였고, 이로 인해 영역 ①에서 whisker가 활발하게 성장하는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 현상은 grain size가 큰 영역에서 whisker가 성장하려면 grain size가 작은 영역에 비하여 더 많은

에너지를 필요로 하기 때문이다. 예로 들어 지금은 환경 오염 물질로 규제를 받는 Pb를 plating 성분에 첨가하였을 때 whisker의 성장이 미미하게 나타나는데 이것은 Pb가 Sn에 비하여 grain size가 크기 때문이다.<sup>(7)</sup> 마지막으로 plating 공정 시 base metal의 grain 형태와 유사하게 증착되기 때문에 이것 또한 plating의 grain을 결정하는 요인이라고 할 수 있다.<sup>(9)</sup>

#### 4. 결 론

본 연구에서는 반도체 lead finger의 plating과 base metal의 grain size에 따라 whisker 성장에 미치는 영향을 고온-고습 시험 및 열충격 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 온도와 습도에 의해 야기된 IMC 형성과 CTE 불일치는 plating의 grain을 압축 또는 팽창시켜 grain boundary를 따라 Sn 원소를 이동함으로써 whisker가 성장하게 된다.
2. Plating의 grain size가 작을수록 Sn 원소의 이동 경로인 grain boundary를 많이 갖기 때문에 whisker 발생 빈도가 높게 나타난다.
3. 온도 및 습도의 변화와 공정 과정에서 발생하는 plating의 grain이 recrystallization 되면서 grain size 및 boundary가 변화하여 whisker 성장에 영향을 미친다.

#### 참고문헌

- (1) H.L Cobb "Cadmium whiskers", *Monthly rev. Amer. Electroplaters Soc.*, vol. 33, no. 28, pp. 28-30, Jan. 1946
- (2) K. G. Compton, A. Mendizza, and S. M. Arnold, "Filamentary growths on metal surfaces - whisker", *Corrosion*, vol. 7, no. 10, pp.327-334, Oct. 1951
- (3) George T. Galyon and L. Palmer, "An Integrated Theory of Whisker Formation: The Physical Metallurgy of whisker Formation and the Role of Internal Stresses" *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, Vol.28, No.1, 2005
- (4) W. C. Ellis, D. F. Gibbons, and R. C. Treuting, "Growth of Metal Whiskers From the Solid", in *Growth and Perfection of crystals*, R. H. Doremus, B. W. Roberts, and D. Turnbull, Eds. New York:Wiley, 1958, pp.102-120
- (5) I. Boguslavsky and P. Bush, "Recrystallization principles applied to whisker growth on tin", in *Proc. APEX Conf.*, Anaheim, CA, Mar. 2003, pp. S12-4-1 S12-4-10.
- (6) JEDEC Solid State Technology Association, 2006, EIA/JEDEC Standard Test Method JESD201 "Environmental Acceptance Requirements for Tin Whisker Susceptibility of Tin and Tin Alloy Surface Finishes"
- (7) Joe Smetana "Theory of Tin Whisker Growth: "The End Game" ", *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, Vol.30, No.1, 2007
- (8) P.Oberndorff, M.Dittes, P.Crema, 2006, "Whisker Testing: Reality or Fiction?"
- (9) Lee J.H and Kwack K.D "Analysis of the Effect on Whisker Growth due to Plating Types and Grain size", *Proceeding of the KSME 2007 Autumn annual meeting*, pp.1290-1295