

순 Sn 도금에서의 Sn 휘스커 성장제어 기술

김 근 수^{*,†}^{*}호서대학교대학원 나노융합기술학과

Mitigation Methods of Sn Whisker Growth on Pure Sn Plating

Keun-Soo Kim^{*,†}^{*}Dept. of Nano Fusion Technology(Graduate School), Hoseo University, Asan 336-795, Korea[†]Corresponding author : keunsookim@hoseo.edu

Abstract

Sn whiskers are one of the serious causes of the failure of electronics. Sn whiskers grow spontaneously from Sn-based, lead-free finished surfaces, even at room temperature. A primary factor of these Sn whiskers growth is compressive stress, which enhances the diffusion of Sn or other elements. The sources of compressive stress are the growth of non-uniform large intermetallic compounds along the interface between the Sn grain boundary and Cu substrate. Recent studies revealed the methods for reducing Sn whisker growth. This paper gives an overview about recent researches for mitigation methods of Sn whisker growth during nearly room temperature storage.

Key Words : Sn whisker, Sn plating, Flash-coating, Grain size, Cu, Cu-Zn, Lead-free

1. 서 론

솔더의 무연화와 함께 전자부품의 외부전극(단자재료 등) 도금의 무연화를 위해 기존의 Sn-Pb 도금의 대체 재료 순 Sn이나 Sn 리치 합금 도금이 사용되고 있다. 이들 무연 도금에서 발생하는 Sn 휘스커(whisker)는 현재까지 실제 제품에서 보고된 바에 의하면 1mm 이상으로 성장하기 때문에 전자기기의 신뢰성을 저하시키는 심각한 문제로 대두되고 있다. 특히, 자동차 전장의 경우 가속페달 위치센서에서 발견된 Sn 휘스커에 관한 연구¹⁾가 발표되면서 무연화를 앞두고 대책마련에 고심하고 있다. Sn 휘스커의 기초와 연구동향은 이전에 저자가 발표한 문헌을 참고해주시기 바란다²⁻⁵⁾.

이미 상용화된 Sn 휘스커 억제 도금이 판매되고 있으며, 다양한 억제책이 보고⁶⁾되고 있다. 본고에서는 저자와 공동연구자들이 수행한 순 Sn 도금(무광택 전해 도금)의 상온 부근 환경에서 성장하는 Sn 휘스커를 대상으로 한 연구내용에 국한하여 소개하고자 한다.

2. 상온 휘스커의 발생과 성장^{2,5)}

상온에서 발생하는 필라멘트 타입의 Sn 휘스커는 근원이 Sn 도금 표면의 결정립계의 중점에서 핵생성하는 경우가 많으며 그 하부에는 전극재료와의 계면에 비교적 조대한 계면 금속간화합물(IMC)이 결정립계를 따라 성장한다. Sn은 용점이 매우 낮은 금속으로 상온에서도 원자의 확산이 빠르기 때문에 Cu를 전극재료로 사용하는 경우, 도금 중, 도금 후의 상온보관에 의해서도 계면 금속간화합물이 성장한다.

이렇게 성장하는 금속간화합물은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 주상정 결정립(columnar grain) 구조를 가지는 순 Sn 도금의 내부에 국소적으로 압축응력을 발생시킨다. 이 압력을 완화시키기 위해 Sn 도금 표면에서 Sn 휘스커가 성장하는 것으로 알려져 있다. 일부가 등축정 결정립(equiaxed grain)으로 형성되는 Sn-Pb 도금 비해 Sn의 확산 루트가 단순하기 때문에 순 Sn 도금에서 Sn 휘스커가 비교적 쉽게 성장하게 된다.

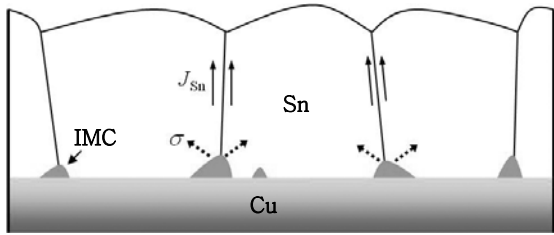


Fig. 1 Schematic illustration of interface between pure Sn plating and Cu substrate^{3,5)}

3. 표면코팅 법^{3,5)}

3.1 실험 방법

표면코팅법은 Sn 도금 직후에 금속 도금을 수십~수백nm 두께로 실시하여 도금 표면에 제2의 막을 형성시키는 방법이다. Au, Pd, Ni 등을 연속공정으로 표면코팅을 실시하면 Fig. 2에 나타난 바와 같이 도금표면의 색이 바뀌고, Sn 도금의 산화억제, Sn 휘스커의 핵생성 억제 등을 기대할 수 있다. 표면코팅 Sn 도금 시편은 Cu(C10 20) 리드프레임재 위에 막 두께 약 6 μ m의 순 Sn 도금을 실시하였다. 도금조건은 5A/dm²으로 140초 정도이며, 표면코팅은 플래시 도금으로 두께는 약 50~200nm이고, 전류밀도 1A/dm²으로 시간을 변화시켜 두께를 조절하였다.

3.2 Sn 휘스커 성장거동

Fig. 3에 표면코팅한 순 Sn 도금의 단면조직을 나타내었다. 표면코팅 층이 균일하게 형성되어 Sn 도금 층을 완전히 덮고 있음을 알 수 있다. 이 시편을 1년 이상 상온에서 방치하여도 Sn 휘스커는 발생하지 않는다. 하지만, 표면코팅 층이 균일하지 않은 경우에는 Sn 휘스커가 발생할 수 있으며, 순 Sn 도금 보다 더 길게 성장할 수도 있어 주의가 필요하다.

4. Sn 도금의 구조 제어³⁾

4.1 실험 방법

일반적으로 순 Sn 도금은 Fig. 1에서 알 수 있듯이

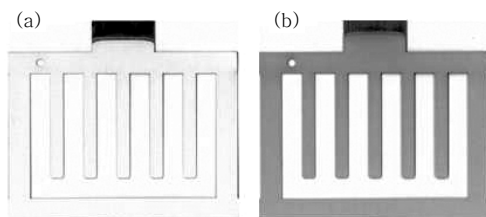


Fig. 2 (a) pure Sn plating, (b) Ni coated Sn plating^{3,5)}

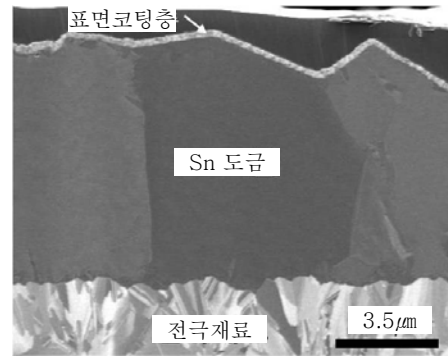


Fig. 3 Cross sectional microstructures of the surface treated sample^{3,5)}

주상정 구조를 가지고 있다. 이러한 주상정 구조를 제어한 도금을 제조하여 도금 구조에 따른 Sn 휘스커의 발생 경향을 살펴보았다. 이 연구에 사용한 시편은 Cu (C194) 리드프레임 상에 첨가제가 다른 2종류의 순 Sn 도금액을 사용하여 Sn 결정립의 입경이 상대적으로 큰 시편(일반적인 크기)과 작은 시편을 제작하였다. 도금조건은 두 도금액 모두 전류밀도 20A/dm²으로 70초 정도이며, 도금 층의 두께는 약 10 μ m 정도이다. 각 시편은 30 $^{\circ}$ C-60%RH의 환경에 방치하면서 Sn 휘스커의 발생 경향을 관찰하였다.

4.2 Sn 휘스커 성장거동

Fig. 4에 Sn 결정립이 상대적으로 큰 시편과 작은 시편의 표면조직을 나타내었다. 이 사진은 도금 후의 표면을 FIB(Focus Ion Beam)로 가볍게 가공한 후의 형상이다. Sn 결정립이 큰 시편은 그 직경이 4~7 μ m 정도의 결정립이 대부분을 차지하고 있는 것에 반해, 결정립이 작은 시편은 1~3 μ m 정도의 입경을 가지고 있음을 알 수 있다. Fig. 5에 나타난 단면조직을 보면, 입경이 큰 시편은 전형적인 주상정 형태를 가지고 있으나, 입경이 작은 시편은 Sn-Pb 도금과 유사한 형태를 가지고 있다.

Fig. 6에 30 $^{\circ}$ C-60%RH의 환경에서 약 4000시간

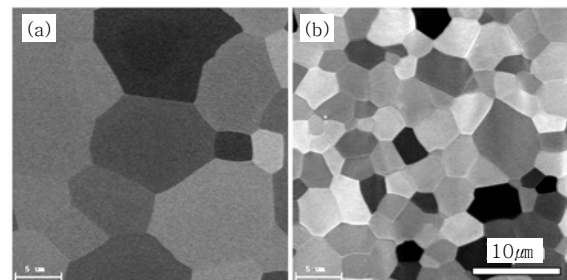


Fig. 4 Surface structures of Sn platings: (a) large and (b) small grain samples³⁾

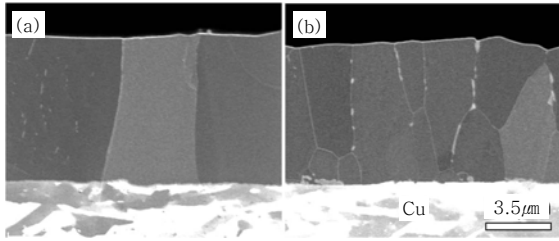


Fig. 5 Cross sectional microstructures of Sn platings: (a) large and (b) small grain samples³⁾

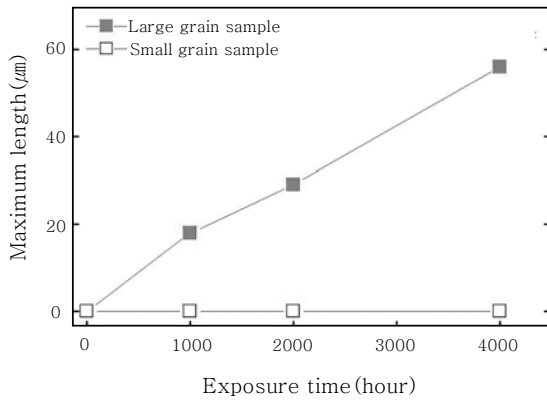


Fig. 6 Changes in whisker maximum length as a function of storage time³⁾

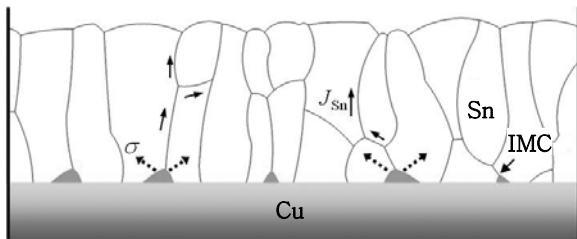


Fig. 7 Schematic illustration of Sn grain and interface structures (small grain sample³⁾)

방치한 후의 Sn 휘스커의 최장 길이 변화를 나타내었다. 입경이 큰 시편은 1000시간에서 약 20 μ m, 4000시간에서는 약 60 μ m의 Sn 휘스커가 관찰되었으나 입경이 작은 시편에서는 4000시간 후에도 Sn 휘스커는 관찰되지 않았다. 순 Sn 도금에서 발생하는 Sn 휘스커는 Sn 결정립의 입경이 작을수록 발생하기 쉬운 것으로 알려져 있으나 본 연구에서 사용한 시편은 결정립이 작지만 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 1층의 주상정 구조를 가지는 것이 아니라 2층에 가까운 구조를 가지고 있어 Sn의 확산 루트가 비교적 복잡해짐으로 인해 Sn 휘스커의 발생이 억제된 것으로 보인다. 따라서 Sn 도금의 구조는 Sn 휘스커의 발생과 성장에 중요한 요인 중 하나임을 알 수 있다. 단, 본 연구는 Sn 휘스커를 평가

하는 많은 방법 중에서 일부의 평가만을 진행한 결과이므로 다양한 평가를 통해 그 효과를 파악할 필요가 있다.

5. 도금/전극 계면제어⁴⁾

5.1 실험 방법

앞에서 설명한 것처럼 순 Sn 도금과 Cu 전극재료의 조합에서 발생하는 Sn 휘스커는 양자 사이에서 성장하는 계면 금속간화합물의 성장형태와 큰 관련성이 있다. Sn 도금과의 계면에서 Cu와는 다른 계면구조를 형성하는 황동(Cu-35wt% Zn)을 이용하여 전극재질이 Sn 휘스커의 발생에 미치는 영향을 살펴보았다. 이 연구에 사용한 시편은 Cu(C1020)와 Cu-35wt%Zn (C2680)의 전극재료(40×20mm) 상에 10 μ m 두께의 무광택 Sn을 도금하여 제작하였다. 도금조건은 Table 1에 나타내었다. Sn 휘스커 시험은 50 $^{\circ}$ C도에서 500시간 유지 후, 상온에서 방치하면서 성장거동을 정기적으로 관찰하였다. Sn 휘스커 발생과 도금/전극재료 계면의 금속간화합물 성장과의 관련성을 조사하기 위해, 염산-에탄올 용액을 이용하여 Sn층을 용해한 뒤, 계면의 금속간화합물만 노출시켜 관찰하였다.

5.2 Sn 휘스커 성장거동

Fig. 8에 Cu와 Cu-35wt%Zn 기판 위에 Sn 도금

Table 1 Plating condition of each sample⁴⁾

Plating Substrate	Matte Sn (grain size : 6 μ m)	Matte Sn (grain size : 10 μ m)
Cu (C1020)	5A/dm ²	0.5A/dm ²
Cu-35wt%Zn (C2680)	(4.8A)	(0.48A)
	5.5 min	37 min

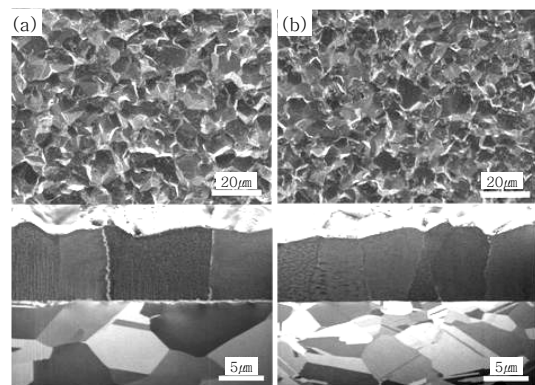


Fig. 8 Surface and interface structures of Sn platings: (a) Cu and (b) Cu-Zn substrates⁴⁾

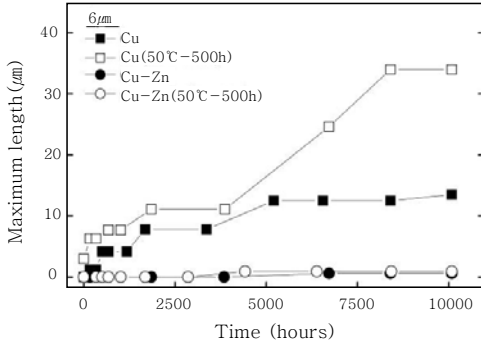


Fig. 9 Changes in whisker maximum length as a function of room temperature storage time⁴⁾

을 실시한 직후의 표면과 단면조직을 나타냈다. 표면 관찰에서는 Cu와 Cu-35wt%Zn에 형성된 Sn 도금의 결정립경이 거의 같음을 알 수 있다. 단면 관찰에서는 Sn 도금의 구조가 양쪽 모두 주상정 결정립 형태이고, 결정립의 폭은 Cu-35wt% Zn 시편이 약간 좁은 경향을 나타내었다.

Fig. 9에 상온방치 중, 각 시편에서 발생한 Sn 휘스커의 최대 길이를 나타내었다. Cu 시편의 경우, 방치시간의 경과에 따라 Sn 휘스커가 서서히 성장하여 10000 시간 후에는 직선길이가 10μm를 넘는 Sn 휘스커가, 50°C에서 500시간 유지 후에 상온 방치한 시편에서는 30μm를 넘는 Sn 휘스커가 관찰되었다. 한편, Cu-35wt%Zn 시편에서는 상온방치, 50°C에서 500시간 유지 후에 상온 방치한 시편 모두 Sn 휘스커는 발생하지 않았다.

5.3 도금/전극재료 계면조직 비교

Cu와 Cu-35wt%Zn 시편에서 다른 경향의 Sn 휘스커 성장거동의 원인을 밝히기 위해 Sn도금을 예칭한 후의 계면화합물의 상태를 관찰하였다. Fig. 10과 11에 도금직후와 상온방치 670시간 후의 도금/전극재료 계면조직을 나타내었다. Cu 시편에서는 도금직후부터 계면에 Cu-Sn의 금속간화합물이 관찰되어, 분석결과 Cu₆Sn₅상임을 확인하였다. 주로 Sn의 결정립계를 따라 형성되어, 상온방치 시간의 경과에 따라 성장하였다. 한편, Cu-35wt%Zn 시편에서는 도금 직후의 계면 금속간화합물이 Cu 시편과 비교하여 매우 작고, 상온에서 방치한 후에도 크게 성장하지 않았음을 알 수 있다. 또한, 50°C에서 500시간 유지한 경우, Cu 시편에서는 도금직후와 같은 입계를 중심으로 계면화합물이 형성되어 비교적 크게 성장하였지만, 그 후의 상온방치에서는 계면화합물의 성장은 보이지 않았다. Cu-35wt%Zn 시편에서는 도금직후의 계면조직과 비교하여 일부의 계면화합물의 성장이 확인되었지만, 장시간의 상온방치에서는 변화가 관찰되지 않았다. 본 연구에서 Cu-35wt%Zn을 전극재료로 사용한 경우에 Sn 휘스커의 성장이 억제된 것은 Sn 도금/Cu-35wt% Zn 계면의 금속간화합물의 성장이 매우 느리고, 크게 성장하지 않기 때문인 것으로 보인다.

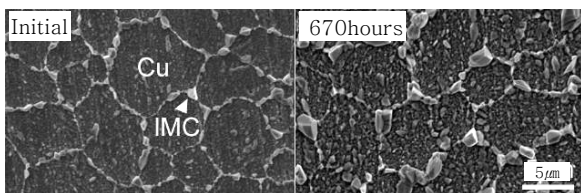


Fig. 10 Interfacial IMCs between Sn and Cu before and after room temperature storage⁴⁾

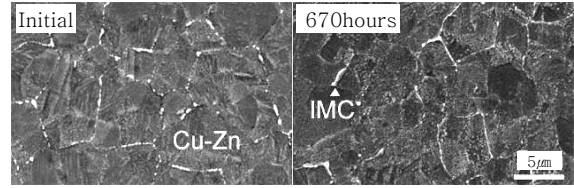


Fig. 11 Interfacial IMCs between Sn and Cu-Zn before and after room temperature storage⁴⁾

속간화합물이 Cu 시편과 비교하여 매우 작고, 상온에서 방치한 후에도 크게 성장하지 않았음을 알 수 있다. 또한, 50°C에서 500시간 유지한 경우, Cu 시편에서는 도금직후와 같은 입계를 중심으로 계면화합물이 형성되어 비교적 크게 성장하였지만, 그 후의 상온방치에서는 계면화합물의 성장은 보이지 않았다. Cu-35wt%Zn 시편에서는 도금직후의 계면조직과 비교하여 일부의 계면화합물의 성장이 확인되었지만, 장시간의 상온방치에서는 변화가 관찰되지 않았다. 본 연구에서 Cu-35wt%Zn을 전극재료로 사용한 경우에 Sn 휘스커의 성장이 억제된 것은 Sn 도금/Cu-35wt% Zn 계면의 금속간화합물의 성장이 매우 느리고, 크게 성장하지 않기 때문인 것으로 보인다.

6. 결 론

본고에서는 민생 전자기기를 대상으로 하는 Sn 휘스커 억제법에 대해 저자와 공동연구자들의 연구결과를 간략히 소개하였다.

Sn 도금의 표면에 ~ 200nm 두께의 균일한 금속층을 형성하면 Sn 휘스커의 성장을 효과적으로 억제하는 것이 가능함을 알았다. Sn 도금 구조의 영향을 검토한 결과, 1층의 주상정 구조를 다층구조로 변화시키면 상온에서 성장하는 Sn 휘스커의 억제에 비교적 유효하다는 것을 알았다. 억제하는 물 Sn 휘스커의 억제법으로 전극재료의 종류에 따른 영향을 검토한 결과, Cu-35wt %Zn을 전극재료로 사용한 경우, 계면의 금속간화합물의 성장이 Cu의 경우 보다 매우 느리고, 계면화합물의 선택적인 성장에 의해 발생하는 Sn도금 내부의 압축응력이 작아져, Sn 휘스커가 억제되는 것으로 보인다.

본고에서 소개한 결과들은 응력변화의 실측, 상온과 다른 환경, 종류가 다른 전극재료를 이용하였을 경우의 Sn 휘스커의 성장거동 등, 아직 확인되지 않은 부분이 많다. 차후, 다양한 평가를 통해 Sn 휘스커의 성장거동에 대한 폭 넓은 연구가 필요하다.

후 기

이 논문은 2012학년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 내용입니다. (20120241).

참 고 문 헌

1. JH. Leidecker : Electrical Failure of an Accelerator Pedal Position Sensor Caused by a Tin Whisker and Discussion of Investigative Techniques Used for Whisker Detection, Proc. 5th International Symposium on Tin Whisker, Maryland, **14**, University of Maryland (2011)
2. K. S. Kim : Sn Whisker Research Trend in Japan, J. Microelectron. Packag. Soc., **19-4** (2012), 7-12 (in Korean)
3. K. S. Kim, K. Hamasaki, K. J. Lee, A. Baated, K. Suganuma, M. Tsujimoto : Effects of the Sn plating structure and surface coating layer on Sn whisker growth, Proc. 19th Micro-Electronic Symposium, Fukuoka, Japan, (2009), 65-68 (in Japanese)
4. K.S. Kim, K. Suganuma, Y. Yorikado, K.J. Lee, A. Baated, M. Tsujimoto : Effect of Substrate Materials on Sn Whisker Growth, J. Japan Research Institute for Advanced Copper-base Materials and Technologies, **49** (2010), 112-115 (in Japanese)
5. K. S. Kim, S. S. Kim, Y. Yorikado, K. Suganuma, M. Tsujimoto, I. Yanada : .M. Brick, A.W. Pense and R.B. Gordon : Sn whisker growth on Sn plating with or without surface treatment during the room temperature exposure, J. Alloys and Compounds, **558** (2013), 125-130
6. C. Oh, J. S. Jung, K. Y. Ku, Y. H. Yoon, U. H. Hwang, W. S. Hong : The Growth Mechanism and Mitigation Method of Sn Whiskers, Journal of KWJS, **29-4** (2011), 365-372 (in Korean)



- 김근수
- 1970년생
- 호서대학교대학원 나노융합기술학과
- 무연패키징, 인쇄전자
- e-mail : keunsookim@hoseo.edu