

Sn 휘스커 연구동향

김근수^{1†}

¹호서대학교 융합기술연구소

Sn Whisker Research Trend in Japan

Keun-Soo Kim^{1,†}

¹Fusion Technology Lab., Hoseo University, Asan 336-795, Korea

(2012년 12월 12일 접수: 2012년 12월 14일 수정: 2012년 12월 17일 게재확정)

Abstract: Sn whiskers are a serious cause of failure in electronic devices as they create short circuits. Sn whisker growth and mitigation have been investigated by many Japanese consortia including JEITA and JAXA. This paper gives an overview about recent researches of JEITA and JAXA.

Keywords: Sn whisker, growth, lead-free, plating, mitigation

1. 서 론

스마트폰, 컴퓨터, 각종 가전제품에 사용되는 반도체 디바이스와 전자부품은 각 기관과 연결되어 비로소 그 역할을 하게 된다. 두 요소를 연결하기 위해 많은 부분에 솔더(solder)를 이용한다. 솔더재료로는 Sn-Pb합금, 솔더와의 유연한 접합을 위해 디바이스나 전자부품의 외부전극에는 Pb의 함량만 솔더와 다른 Sn-Pb 도금을 실시하게 된다. Sn-Pb 솔더는 기원전부터 수도배관의 접합이나 금속 식기의 연결부의 접합에 사용되어 왔다. 전기·전자기기의 시대가 열리면서 Sn-Pb 솔더는 없어서는 안 될 접합 재료 사용되기 시작하였다. 이렇게 오랫동안 사용되던 Sn-Pb 솔더는 2000년대에 들어오면서 그 소임을 다하게 된다. 2006년 7월, EU는 전기·전자기기 사용되는 특정 유해물질의 사용을 규제하는 지령(RoHS)을 발효한다.¹⁾ 이 지령에 솔더에 사용되는 Pb도 포함되어 있었다. 이 지령을 필두로 한국을 포함한 세계 각국에서 유사한 법령을 제정하게 되었고, Sn-Pb 솔더와 Sn-Pb 도금은 일부의 예외대상 이외에는 사용이 금지되었다. 솔더와 도금에서 Pb를 제거하는 무연화기술은 1990년대에 활발히 이루어져, 현재 대부분의 전자기기에 사용되고 있다. 솔더로는 Sn-Ag-Cu계, 도금으로는 순 Sn 또는 Sn-X(X: Ag, Bi, Cu...)와 같은 2원계가 주류를 이루고 있다.²⁻³⁾ 하지만 무연화에 따른 예상치 못한 난제들이 발생하고 있다. 그 중

에서 가장 심각한 문제로 부각되고 있는 것 중에 하나가 Sn 휘스커(whisker)의 발생이다.

Sn 휘스커는 Sn계 도금과 솔더에서 발생하는 고양이 수염과 같은 형상의 단결정으로 상온-대기 중을 포함한 각종 온도/습도 분위기에서 수 μm 에서 수 cm 이상으로도 성장할 수 있다.⁴⁾ 길게 성장한 Sn 휘스커는 옆의 단자와 연결되어 일시 또는 영구적인 단락(short circuit)을 일으키거나, Sn 휘스커가 증발하여 플라즈마 아크를 형성하여 고장을 일으킬 수 있으며, 기계적 진동 또는 충격에 의해 Sn 휘스커가 분리되어 비산하면서 전자기기에 문제를 일으킬 수도 있다.

Sn 휘스커에 의한 불량은 이미 1940년대에 보고되었던 문제로, 1950, 60년대에 많은 기초연구가 진행되었다.⁴⁻⁵⁾ Sn 휘스커는 철이나 세라믹 재료에서 성장하는 휘스커와는 다르게 도금 표면에서 발생하며, 도금 내부에서부터 표면 쪽으로 밀어 올리듯이 성장하는 것으로 밝혀졌다. 그 당시의 Sn 휘스커 대책으로는 Pb의 미량첨가에 의한 성장 완화였다. 최근까지 사용되어 온 Sn-Pb 도금은 젖음성, 솔더와의 접합성이 우수할 뿐만 아니라, 내휘스커성도 뛰어났다. 하지만 무연화가 실시됨에 따라 다시 Sn 휘스커의 위험성이 되살아났다. 예를 들면, 미국에서는 원자로의 오작동, 스페이스 셔틀 제어계의 고장 등 Sn 휘스커에 의한 다수의 불량사례가 보고되었고, Zn 휘스커가 서버의 오작동을 일으킨 사건도 보고되었다.⁵⁾

[†]Corresponding author
E-mail: keunsookim@hoseo.edu

© 2012, The Korean Microelectronics and Packaging Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

최근에는 2003년형 토요타 캠리의 가속페달 위치센서에서 Sn 휘스커가 발견되었다.⁶⁾ NASA에 따르면 약13만 km를 주행한 캠리를 제공받아 오작동 문제의 원인을 찾던 중, 가속페달 위치센서의 내부에 적어도 17 곳에서 Sn 휘스커의 발생을 확인하였고, 그 중 하나는 길이 약 1.9 mm로 두 단자 사이에서 단락 되어 있었다고 보고하였다.⁶⁾ 이러한 단락은 가속페달을 밟는 방식에 따라 운전자의 의도와는 상관없이 오작동을 가능성이 있어 매우 위험하다. 이렇듯 심각한 시장고장이 계속해서 발생하고 있어 세계의 많은 연구자들과 산업계의 기술자들이 Sn 휘스커 문제해결을 위해 노력하고 있다.³⁻¹⁹⁾

본고에서는 최근 수년간 일본에서 진행된 가전과 항공·우주분야에서의 Sn 휘스커 관련 연구를 소개하고자 한다.

2. Sn 휘스커의 기초

상온에서의 Sn은 정방체 결정 구조(tetragonal crystal structure)에 속하고 a축과 b축은 0.583 nm, c축은 0.318 nm로 큰 이방성을 갖고 있다. 현재까지 보고된 바에 따르면 [001] 방향으로의 탄성계수와 영률은 [100] 방향보다 약 3배 크고, 열팽창계수는 약 2배 이상 크다.⁷⁻¹⁰⁾ Sn 도금은 도금조건에 따라 표면에 나타나는 방위가 달라진다. 전형적인 면은 (321) 면과 (220) 면이다.¹¹⁾ 도금 표면에서 성장하는 Sn 휘스커의 성장방위는 기본적으로 <100> 방위여서 도금표면에 수직으로 서지 않게 된다. 하지만 실제로 관찰되는 Sn 휘스커는 수직으로 성장하는 경우도 많아, 다른 면과 방향도 고려되어야 한다.

Fig. 1에 전형적인 Sn 휘스커의 성장형태를 보였다. Sn 휘스커는 상온방치에 의해 단결정의 필라멘트(filament)형(직경: ~수 μm)과 노들(nodule)형(직경: ~수십 μm), 다결정의 봉상 등 다양한 형상으로 성장한다. 단락을 일으키는 형상은 대부분 가늘고 길게 성장한 필라멘트형이다. 필라멘트형과 같이 봉상으로 성장하더라도 성장방향과 킥(kink) 정도에 따라서 불량률의 원인이 되지 않는 경우도 있다. 예를 들면, 온도사이클 환경에서 Sn 휘스커는

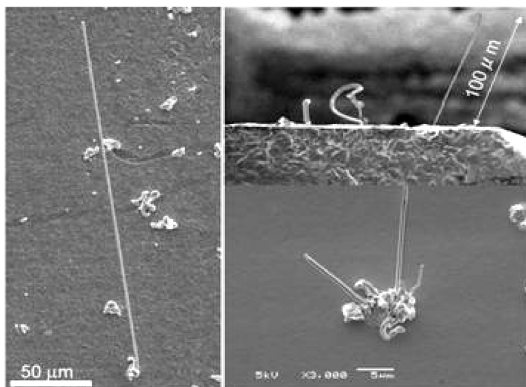


Fig. 1. Sn whiskers on Sn plated Cu substrate.

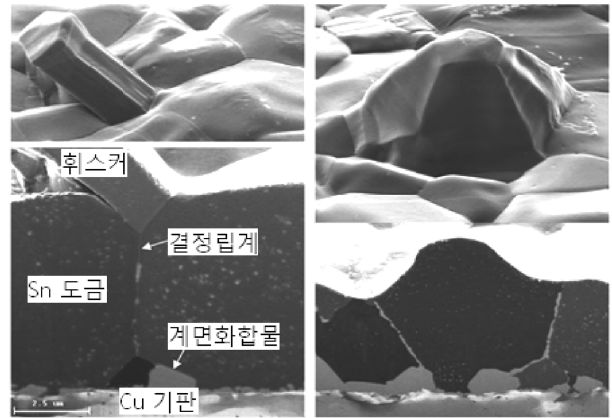


Fig. 2. Microstructure of Sn plated Cu substrate under Sn whisker.

봉상으로 성장하는 것이 많으나 상온에서와 같이 도금표면에 수직에 가까운 각도로 성장하지 못하고, 도금표면에 수평에 가까운 각도를 가지고, 구불구불하게 성장한다. 따라서 온도사이클 환경에서 성장하는 Sn 휘스커는 큰 위험요소가 되지 못한다고 알려져 있다. 하지만 대기 중이 아닌 진공 중에서는 상황이 달라진다. 진공 중의 온도사이클에서는 수직에 가까운 각도로 구부러지지 않은 스트레이트(straight) 필라멘트형²⁰⁾으로 성장하는 경우가 있어 인공위성과 같은 우주분야에서는 주의해야 한다. 한편 상온이나 고온·고습 환경에서 성장하는 Sn 휘스커는 시장불량에서 많이 관찰된 바와 같은 길고 구부러짐이 거의 없는 필라멘트형으로 성장하는 경우가 많다.

Sn 휘스커는 상온-대기, 산화-부식 환경, 온도변화, 외부압력, 접촉 등의 다양한 환경 하에서 발생한다. 그 구동력은 도금내부의 내부응력의 변화와 외부로부터의 응력으로 알려져 있다.¹¹⁻¹⁶⁾ 상온-대기 중에서는 도금과 단자와의 계면에 형성된 금속간화합물에 의한 압축응력이, 고습분위기에서는 산화, 부식 생성물에 의한 압축응력이, 온도변화 환경에서는 도금과 단자재료 등의 열팽창계수 차에 의한 응력이 내부응력에 해당한다. 커넥터(connector)와 같이 접촉이 발생하는 부품에서는 외부로부터의 압축하중이 Sn 휘스커 발생의 구동력이 된다. 상온-대기 중에서 발생하는 Sn 휘스커는 Sn의 특성과 크게 연관성이 있다. Sn은 용점이 232°C이며 상온에서도 확산이 빠르기 때문에 Cu를 단자재료로 사용할 경우 Sn 도금과의 계면에 금속간화합물이 형성된다. Fig. 2에 나타낸 바와 같이 계면의 금속간화합물은 상온에서도 주로 Sn 도금의 입계를 따라 성장하기 때문에 Sn 도금에 국부적인 압축응력을 가하게 된다. 이 응력을 완화하기 위해, 도금 표면에서 Sn 휘스커가 성장한다.¹³⁻¹⁶⁾ 또한 순 Sn 도금은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 결정립이 단자재료로부터 일방향으로 성장하여 주상정 결정립(columnar grain)의 형태를 가지고 있어, 등축정 결정립(equiaxed grain)에 가까운 Sn-Pb 도금에 비해 Sn의 확산 루트가 단순하여 비교적 쉽게 Sn 휘스커가 발생한다고 알려져 있다.

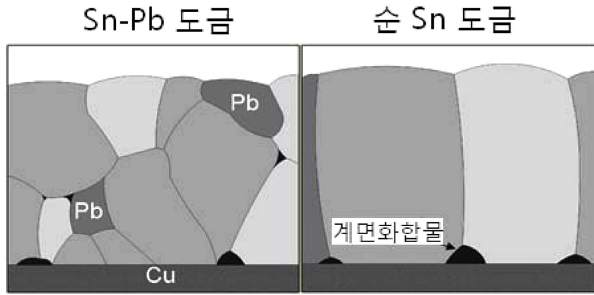


Fig. 3. Schematic illustration of typical grain and interface microstructure.

3. 민수용 전기·전자기기의 Sn 휘스커 연구동향

일본에서는 중소기업 기반정비기구(Organization for Small & Medium Enterprises and Regional Innovation, Japan)의 전략적 기반기술 고도화 지원사업의 일환으로 JEITA(Japan Electronics and Information Technology Industries Association)가 주관하여 “전자실장의 신뢰성 향상을 위한 휘스커 방지기술의 개발”사업을 2006년 말부터 2009년까지 약 3년간 실시하였다. 이 사업에는 5곳의 대학과 56곳의 기업이 참여하여 Sn 휘스커 발생 메커니즘의 해명, 억제기술 및 대책의 확립, 신뢰성평가기준 및 평가기술의 확립 등을 목표로 집중적인 연구가 진행되었다. 그 결과물의 하나로 JEITA는 2010년에 “Sn 휘스커 억제 무연재료 선정의 가이드라인”³⁾을 출판하였다. 본 절에서는 위의 사업과 가이드라인을 중심으로 민수용 기기에 대한 Sn 휘스커 연구동향을 간략히 소개하고자 한다.

3.1. 전자실장의 신뢰성 향상을 위한 Sn 휘스커 방지기술의 개발사업³⁾

이 개발사업의 목표는 각종 환경 하에서 민수용 전자 부품의 Sn 도금 및 솔더 접합부에서 발생하는 Sn 휘스커의 발생 메커니즘을 규명하고, 억제책, 시뮬레이션 기술, 신뢰성 평가기술과 평가기준을 확립하는 것이었다. Sn 휘스커 메커니즘 해석을 위해 외부응력(파인핏치 커넥터, 플렉서블 케이블), 내부응력(파인핏치 반도체 부품(QFP 등), 전해콘덴서), 부식(파인핏치 반도체 부품, 솔더접합부, 전해콘덴서) 환경에서 평가를 진행하였으며, 외부응력형 Sn 휘스커의 경우, 1000시간까지 50 μm 이하로, 내부응력형 Sn 휘스커의 경우, 상온 4000시간까지 50 μm 이하로, -40~85°C 온도사이클 2000회까지 50 μm 이하로 Sn 휘스커 성장을 억제하는 것을 목표로 하였으며, 전해콘덴서의 경우, 상온 1000시간까지 50 μm 이하로 성장억제 하는 것을 목표로 하였다.

외부응력형인 기계적 접촉에 의해 발생하는 Sn 휘스커의 경우, 커넥터 등 전자부품의 조립 시에 도금 표면의 접촉으로 기계적 응력이 발생하여 Sn 휘스커가 성장한다. 도금 표면의 접촉에 의한 외부로부터의 직접적인 부하가

그 원인이다. 내부응력에 비해 단시간에 급속히 Sn 휘스커가 성장하여, 일정 시간이 지나면 성장이 둔화되는 특징이 있다. 기계적 응력에 기인한 Sn 휘스커의 발생·성장은 금속반응인 Sn의 재결정화가 급속하게 진행되어 그 회복과정에서 전위의 국부적 집적이 발생하는 것이 원인으로 알려져 있다. 억제책으로는 응력구배를 높이지 않는 접촉구조, 도금구조로 설계하고, Sn의 재결정화를 억제하는 도금구조로 설계하여, 전위의 집중적인 편석이 일어나기 어려운 구조로 설계하는 것이 바람직하다.

내부응력형인 상온-대기 중에서 발생하는 Sn 휘스커의 경우, Sn 도금의 하지가 Ag, Ni이면 Cu와 비교하여 Sn의 화합물의 성장이 매우 늦기 때문에 Sn 휘스커 성장이 억제되는 효과를 가진다. Fe는 Ni 보다 Sn 대한 안정성이 높기 때문에 42합금 등의 소재는 상온-대기 중에서의 Sn 휘스커 억제 효과가 높다. 또한, Sn 도금의 용점 이하에서 열처리를 하는 경우, 열처리에 의해 결정립 폭과 높이가 약간 커지고 주상정의 형태는 유지하지만, 계면 금속간화합물의 성장 등의 억제효과에 의해 Sn 휘스커 발생, 성장이 어려워진다.

내부응력형인 부식에 의해 발생하는 Sn 휘스커의 경우, 높은 습도 환경에서 Sn의 산화가 진행되어 형성되는 산화막이 불균일하게 형성되어 내부응력이 발생한다. 특히 기재의 말단부 등에서 기체가 노출되는 경우, 기재와 도금의 경계부가 고습도 분위기에 방치되면 표면에 수막이 형성되어 갈바닉(galvanic)효과에 의해 Sn이 부식되기 쉬워져, 부식 생성물이 주위의 Sn에 압축응력을 미친다. 솔더의 경우 상온-대기 중에서는 Sn 휘스커의 발생이 매우 적지만, 고습도 분위기에서는 비교적 솔더 부착량이 적은 부위에서 플럭스(flux) 잔사에 의해 부식이 가속되어 Sn 휘스커가 성장한다. 특히, Br계 활성제를 다량으로 함유한 플럭스를 사용하는 경우에는 Sn 휘스커의 발생 및 성장이 현저한 것으로 나타나, 솔더 페이스트 내의 플럭스, 웨이브 솔더링 시의 플럭스에 첨가하는 Br계 활성제의 농도를 철저히 관리해야 할 필요가 있다. 그 이외에도 할로겐 프리(halogen-free) 플럭스, 컨포멀 코팅(conformal coating) 등이 Sn 휘스커의 억제효과가 기대되는 방법이다.

내부응력형인 온도사이클이나 열 충격 등 온도변동에 의해 발생하는 Sn 휘스커의 경우, Sn 도금과 열팽창 계수차가 큰 저열팽창률의 42합금 전극이나 세라믹 부품을 이용하는 경우에 문제가 된다. 기체가 Sn의 팽창계수에 비교적 가까운 경우에는 Sn 휘스커 성장이 적다.

3.2. Sn 휘스커 억제 무연재료 선정의 가이드라인³⁾

이 가이드라인의 목적은 민수용 전자·전기기기의 무연 Sn 또는 Sn합금 도금 및 무연솔더 재료를 대상으로 Sn 휘스커 억제효과가 높은 무연재료를 적절하게 선정하는 수단을 제공하는 것이며, Sn 휘스커 발생·성장 메커니즘, 전자부품 단자도금재료의 선정에 관한 가이드라인, 전자부품 단자접속용 솔더재료 선정에 관한 가이드라인, 커

Table 1. Sn whiskers characteristics of various Sn platings.³⁾

	Sn 도금	Sn-Ag 도금	Sn-Bi 도금	Sn-Cu 도금
용접	232°C	≈ 221°C	218°C	227°C
내휘스커성	Sn 도금은 주상정 등의 결정립 상태, 결정립계의 상태가 달라 도금응력이 크게 다름. 재료구성뿐만 아니라 이것들의 효과에 따라 내휘스커성이 달라짐. 도금 후의 용융, 미용융 열처리를 실시하는 경우도 있음.	상온 휘스커는 Sn 입계를 따라 금속간화합물의 성장에 의해 응력발생이 영향을 받지만, Sn-Ag 도금은 금속간화합물의 형성이 계면에서 Sn입계로 성장하며, 미세한 Ag ₃ Sn입자가 분산되어 강화되며 결정립 자체가 변화하는 등의 효과로 휘스커 발생과 성장이 억제됨.	Bi 첨가에 의해 원자확산이 영향을 받는 것으로 알려져 있으나 확산이 촉진되는지, 억제되는지는 확인되지 않았음. 특히 Cu 기재와의 계면에서는 미세한 Cu ₆ Sn ₅ 화합물이 형성되어 휘스커 성장에 필요한 응력의 형성이 저하하여 휘스커 성장이 억제되는 것으로 시러됨. 이 효과는 Pb첨가 효과와 유사함.	주상정 등의 결정립 상태, 결정립계의 상태가 달라, 도금응력의 분포상태가 크게 다름. 이 효과는 상온 휘스커나 전체 휘스커에 대한 내휘스커성이 다름. Cu 기재와의 계면에는 도금에 함유된 Cu의 영향으로 피라밋 타입의 Cu ₆ Sn ₅ 화합물의 성장이 억제되는 것으로 시러됨.

넥터 도금, 플렉서블 기판의 도금 선정에 관한 가이드라인으로 구성되어 있다.

전자부품 단자도금재료의 선정에 관한 가이드라인에서는 Sn 도금의 Sn 휘스커 억제는 합금화 등 단순히 도금 자체의 조성만으로 결정되는 것은 아니고 도금의 결정구조, 하지, 기재와의 조합을 포함하여 검토할 필요가 있으며, 또한 열처리, 플럭스와의 조합에 의해 Sn 휘스커의 억제 상황이 달라진다고 보고하고 있다. Table 1에 각종 도금의 Sn 휘스커 특성에 대해 나타내었다. 도금재료는 Sn 휘스커 시험방법 의사결정 분지도(decision tree)를 통해 선정하도록 권유하고 있다.

전자부품 단자접속용 솔더재료 선정에 관한 가이드라인에서는 Sn-Ag-Cu계 솔더의 경우, Sn 휘스커 억제를 위해서는 Br계 활성제가 함유되어 있지 않거나, 극히 미량 함유(~1000 ppm 정도)된 플럭스 사용을 추천하고 있다. 또한, Sn-Ag-Cu계 솔더에 Bi, Zn, In을 1wt% 이상 첨가하면 억제효과 있으며, 다른 조성의 솔더에서는 Sn-58Bi, Sn-9Zn 등이 억제효과가 보인 것으로 보고하였다.

커넥터 도금, 플렉서블 기판의 도금 선정에 관한 가이드라인에서는 도금의 기계적 접촉에 의한 응력은 여러 가지 타입이 있어 현재 적용범위가 넓은 Sn 휘스커 억제 무연 도금이 없는 상황이다. 따라서 도금 선정을 위해서는 특정의 적용범위에서 선정 도금의 양·불 판단이나 적용 범위가 넓은 도금개발을 위한 여러 가지 조건에서의 효과를 확인 등을 위해 각종 가압시험이 실시되고 있다. 이 가이드라인에서는 Sn 휘스커 억제도금의 선정, 개발을 위한 현재의 시험방법 중에서 목적 별로 최적의 시험방법을 선택하기 위한 지침을 제공하였다. 압자의 형태를 구상, 원주 등으로 다양화한 하중시험, 아크릴 윈도우 시험 등의 시험방법을 소개하였다.

4. 항공·우주분야의 Sn 휘스커 연구동향

항공·우주분야에서의 무연화 대응과 Sn 휘스커 대응 방안에 관한 연구는 일본 우주항공연구 개발기구(JAXA: Japan Aerospace exploration Agency)의 연구 활동을 중심

으로 진행되고 있다. 로켓의 항공전자기기, 인공위성의 버스(satellite bus)계나 미션기기에 다수의 전자부품 실장 회로가 탑재된다. 여기에 사용되고 있는 솔더는 유연(Sn-37Pb)이 현재도 표준으로 적용되고 있다. 앞으로도 Pb를 함유한 솔더의 공급이 계속되는 한, 우주기와 Sn-Pb 공정 솔더에 의한 실장을 계속할 방침인 것으로 알려져 있다. 하지만 RoHS의 영향으로 자동차, 가전, 컴퓨터, 기계 등의 산업계에서는 무연화 대응을 순차적으로 진행되었다. 전자부품 업계가 무연부품의 생산을 주축으로 바꾸었기 때문에, 유연부품의 입수가 곤란해지고 있는 실정이다. 미국의 예를 보면, DSCC(Defense Supply Center Columbus)의 F-15 전투기 프로그램에서는 36000개의 부품 중 약30%가 특별 주문품이고 70%가 OEM(Original Equipment Manufacturing)에 의한 상용부품이다. 이 상용 부품을 X선 검사한 결과, 유연부품을 적용해야 하는 부품 중에 14%가 무연부품임을 발견하였다. 이처럼 항공·우주, 국방용 부품은 전체 생산량으로 보면 차지하는 비율이 매우 낮기 때문에 유연부품의 생산중지 사태가 발생하고 있다. 하지만 무연부품에는 Sn 휘스커 성장, 솔더 접합부의 진동·충격에 대한 취약성 등이 문제가 되어, 항공·우주업계에서는 적용하기가 쉽지 않은 상황이다. JAXA에서는 2007년부터 무연화에 관한 커뮤니티를 설치하여 대응 방안을 모색하고 있다. 본 절에서는 JAXA의 연구내용을 중심으로 일본의 항공·우주분야에서의 Sn 휘스커 대응활동에 대해 소개하고자 한다.

4.1. RoHS 문제 검토커뮤니티의 설치²⁰⁾

JAXA에서는 RoHS 제정의 규제물질에 관련한 정보와 과제의 공유화를 시도하여 우주기 개발에의 방침제정, 대책, 검토를 실시하기 위한 수단으로 JAXA, 대학·연구기관·산업협회의 전문가, 컴포넌트·부품 메이커 등 30~40사로 구성된 “RoHS 문제 검토 커뮤니티”를 2007년에 설치하여 활동을 시작하였다. 이 활동의 일환으로 납뿐만 아니라 RoHS 규제의 대상물질인 6가지 물질에 대한 우주기기에서의 문제 유·무를 사전에 조사하여 우주기 개발에 영향을 미치는 RoHS 규제 물질을 보고하였다.

이 조사결과로부터 전자부품 등의 무연화 이외는 현실적으로 긴급한 처리를 요하지 않지만, Pb, Cd, Cr⁶⁺의 3 물질에 대해서는 일본 내 · 외의항공업계나 법령규제의 동향에 따라서는 대책을 세우야 할 필요가 있을 것으로 예측되어 대체기술에 대한 문제를 사전에 파악하는 등의 위기관리체제가 거론되고 있다. 하지만 Pb에 관해서는 JAXA 인정부품에서도 Pb를 함유한 부재의 지속적인 공급이 곤란한 부품이 발생하고 있어, 유연부재를 유지하는 것은 곤란한 상황이다. 따라서 JAXA에서는 우주기 제조공정에 있어서의 무연화 관리방법, 검사방법의 확립, 진동 · 충격 · 진공 등 우주기 특유의 환경 하에서의 신뢰성 데이터를 확보 등의 활동을 실시하고 있다.

4.2. JAXA의 무연화 커뮤니티의 활동²¹⁾

무연화 커뮤니티에서는 초기단계에서 다음과 같은 검토가 진행되었다. 단기적으로 유연 공정솔더를 계속적으로 사용하고, 입수불가 등의 상황에서 무연 등의 RoHS 대응 부품을 사용할 때의 대응책 마련을 위해, 혼재실장에 대해서 조사하여 평가항목, 방법, 대책을 검토, 부품, 재료의 무연화 동향 조사, Sn-Pb 솔더에 의한 HSD(Hot Solder Dip) 조사 등을 실시하였다. 장기적으로 RoHS 대응품(무연 대응품)을 사용한 무연화로 완전대응을 위해 필요한 대응책 마련을 위해, 무연 부품, 재료의 실장 관련 검토, 대 환경성, 신뢰성 평가방법의 검토 및 기준화, 문서화하는 작업을 진행하였다. 납 이외의 RoHS의 특정규제물질에 대한 계속 조사를 실시. 필요에 따라 대응책(기술면, 관리면)을 검토하였다.

무연화 커뮤니티는 중심적 역할을 하는 JAXA 등의 코어 멤버와 결과물의 검토 등을 위한 커뮤니티멤버 등으로 구성되어, 정보의 수집, 공유화, 발신을 목적으로 하였다. 워킹그룹 A에서는 무연화 부품과 유연솔더 혼재 실장평가를 담당하여, 혼재실장에 있어서의 각 솔더링 공정 시의 문제점 조사, 우주환경을 고려한 접속 신뢰성 평가를 실시하였다. 워킹그룹 B에서는 무연화 동향조사, Sn-Pb 실장평가를 담당하여, 무연화에 대응하는 솔더, 프린트기관, 부품의 조사와 Sn-Pb 공정솔더 실장의 지속적인 실시에 대응하는 활동을 하였다. 워킹그룹 C에서는 무연 실장평가를 담당하여, 무연화 실장에 있어서의 각 솔더링 공정 시의 문제점 조사, 우주환경을 고려한 접속신뢰성 평가 및 장기 신뢰성 평가에 관한 활동을 하였다. 워킹그룹 D에서는 Sn 휘스커 평가를 담당하여, Sn 휘스커의 발생 · 성장 메커니즘 검토, 평가와 가속시험법, 억제법에 관한 활동을 하였다. 특히, 민수와 다른 우주환경에서 발생하는 Sn 휘스커의 성장거동을 규명하고, 억제법으로 컨포멀 코팅의 최적화 등을 진행하였다. 워킹그룹 E에서는 RoHS 대상물질의 조사를 담당하여, Cd의 대응상황 동향조사, Cr⁶⁺의 대응상황 동향조사를 실시하였다.

무연화 커뮤니티는 활동은 2011년까지 대부분 종료되

었으나, 현재 최종 보고서 및 가이드라인을 작성하고 있는 중이다. 2012년 이후에 JAXA Special Publication 또는 규격의 형태로 공개될 것으로 예상된다. 따라서 본 고에서는 현재까지 학회발표 등으로 공개된 워킹그룹 D의 Sn 휘스커와 관련된 활동내용의 일부를 정리하여 소개하고자 한다.

4.3. Sn 휘스커 평가 (워킹그룹 D)²¹⁾

워킹그룹 D에서는 우주기기에 무연부품이 탑재된 경우, 우주 특유의 진공환경과 인공위성이 지구를 공전하기 때문에 발생하는 온도사이클에 의한 Sn 휘스커 성장 거동의 검토를 위해, 열팽창계수 차에 의해 성장하는 Sn 휘스커의 평가를 진행하였다. 로켓으로 발사된 인공위성은 대기권에서 우주공간으로 이동하여 위성의 임무를 시작한다. 인공위성은 발사까지 지상에서의 장기보관, 발사시의 진동 · 충격, 우주공간에서의 온도사이클, 진공환경 등 우주특유의 환경에 노출된다. 지구를 약90분에 한 바퀴 도는 지구관측위성의 경우, 태양빛을 받는 지점(고온)에서와 지구의 그림자에 가려지는 지점(저온)에서의 온도변화를 1사이클로 하면, 연간 약6000 사이클의 온도변화를 겪게 된다.^{22,23)} 여기에 진공이라는 지상에서 사용하는 환경과 다른 환경조건이 추가된다. 따라서, 인공위성에 탑재되는 무연부품은 진공 중 온도사이클 환경에서의 Sn 휘스커 거동을 파악해야 한다.

진공 중 온도사이클에 의한 Sn 휘스커의 성장거동을 파악하기 위해, 최종 도금이 Sn/Ni인 세라믹 캐퍼시터(capacitor)를 진공(10⁻⁴ Pa)과 대기 중에서 -40~125°C 온도 사이클을 3000회 실시한 결과, 대기 중에 비해 진공 중에 비교적 길고, 필라멘트형의 Sn 휘스커가 성장하였다. 대기 중 온도사이클의 경우, 산화 등의 영향으로 도금표면의 수직에 가까운 방향으로 Sn 휘스커가 성장하기 어려워 위험성이 적은 것으로 알려져 있으나, 진공 중에는 수직방향을 성장하는 경향을 보여, Sn 휘스커에 의한 위험성이 높아지는 것으로 나타났다.

Sn 휘스커의 위험성을 줄이기 위해 미국의 GEIA-STD-0006²⁴⁾에서는 Pb를 첨가하는 방법을 제안하고 있다. 이 공법은 HSD로 Sn-Pb 용융 솔더조에 무연부품을 침적시켜 무연전극을 Sn-Pb 전극으로 치환하여 Sn 휘스커를 억제하는 방식이다. 부품 종류나 형상이 한정되나 미국의 항공 · 우주분야에서는 Sn 휘스커의 회피책으로 적용하고 있다. 하지만 이 공법은 무연화 추세에 역행하는 방식이어서 논란이 있다. 일반적으로 우주기에는 오염방지를 위해 실장 후에 컨포멀 코팅을 실시한다. 이 코팅은 Sn 휘스커에 의한 단락, 오염을 억제하는 것으로 기대되고 있다. 컨포멀 코팅재료로는 우라렌(uralane), 우레탄(urethane), 에폭시(epoxy), 아크릴(acrylic), Si, 파라 크실렌(para xylene) 계 등이 적용되고 있으나, Sn 휘스커 억제를 위해서는 경도와 영률(Young's modulus)이 높은 재

료가 효과적인 것으로 나타났다.

5. 결 론

본고에서는 일본 민수분야 Sn 휘스커 대응을 위한 JEITA 가이드라인과 JAXA에서 주관하여 2007년부터 실시한 활동내용 및 결과물을 중심으로 Sn 휘스커 대책에 대해 살펴보았다. 미국, 일본, EU에서는 각종 분야에서의 Sn 휘스커 대응을 위해 다양한 연구활동과 정부의 지원이 이루어지고 있다. 국내에서도, 특히, 자동차, 항공·우주, 국방분야에서의 무연화와 Sn 휘스커 대응에 관한 다양한 연구활동이 필요한 시기라고 생각된다. 본고를 끝으로 “일본 무연패키지 신뢰성 평가기술의 최신동향”의 연재를 마치고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2011학년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임(20110075).

참고문헌

1. The RoHS Regulation (Directive 2002/95/EC) from <http://www.rohs-guide.com>
2. J. Bath, C. Handwerker and E. Bradley, “Research Update: Lead Free Solder Alternative”, *Circuit Assembly*, 11(5), 30 (2000).
3. Japan Electronics and Information Technology Industries Association, “Guideline for Selection of Lead-Free Materials for Tin-Whisker Mitigation” (In Japanese) (2010).
4. Benchmarking and Best Practices Center of Excellence, “Pb-free Electronics Research Manhattan Project”, ACI Technologies Inc. (2009).
5. K. Suganuma, “스즈우이스카 발생의 메카니즘과 대책의 현황” (In Japanese), *Uyemura Technical Reports*, 62, 3 (2007).
6. H. 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).
7. A. Telang and T. Bieler, “Characterization of Microstructure and Crystal Orientation of the Tin Phase in Single Shear Lap Sn₃5Ag Solder Joint Specimens”, *Scr. Mater.*, 52(10), 1027 (2005).
8. J. Rayne and B. Chandrasekhar, “Elastic Constants of β Tin from 4.2°K to 300°K”, *Phys. Rev.*, 120(5), 1658 (1960).
9. H. Huntington, “The Elastic Constants of Crystals”, *Solid state phys.*, 7, 213 (1958).
10. D. House and E. Vernon, “Determination of the Elastic Moduli of Tin Single Crystals, and Their Variation with Temperature”, *British J. Appl. Phys.*, 11(6), 254 (1960).
12. J. W. Osenbach, R. L. Shook, B. T. Vaccaro, B. D. Potteiger, A. N. Amin, K. N. Hooghan, P. Suratkar and P. Ruendsinsub, “Sn Whiskers: Material, Design, Processing, and Post-plate Reflow Effects and Development of an Overall Phenomenological Theory”, *IEEE Trans. Electron. Pack. Manuf.*, 28(1), 36 (2005).
13. W. J. Boettinger, C. E. Johnson, L. A. Bendersky, K. -W. Moon, M. E. Williams and G. R. Stafford, “Whisker and Hillcock Formation on Sn, Sn₂Cu and Sn₂Pb Electrodeposits”, *Acta Mater.*, 53(19), 5033 (2005).
14. K. N. Tu and J. C. M. Li, “Spontaneous Whisker Growth on Lead-Free Solder Finishes”, *Mater. Sci. Eng. A*, 409(1-2), 131 (2005).
15. A. Baated, K. Hamasaki, S. S. Kim, K. ?S Kim and K. Suganuma, “Whisker Growth Behavior of Sn and Sn Alloy Lead-Free Finishes”, *J. Electron. Mater.*, 40(11), 2278 (2011).
16. A. Baated, K. S. Kim and K. Suganuma, “Effect of Intermetallic Growth Rate on Spontaneous Whisker Growth from a Tin Coating on Copper”, *J. Mater. Sci: Mater. Electron.*, 22, 1685 (2011).
17. K. S. Kim, “Effects of Heat Treatment on the Microstructure and Whisker Growth Propensity of Matte Tin Finish”, *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 17(2), 11 (2010).
18. K. S. Kim, Y. M. Leem and C. H. Yu, “Structure and Growth of Tin Whisker on Leadframe with Lead-Free Solder Finish”, *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 11(3), 1 (2004).
19. C. Oh, J. S. Jung, K. -Y. Ku, Y. -H. Yoon, U. H. Hwang and W. S. Hong, “The Growth Mechanism and Mitigation Method of Sn Whiskers”, *J. KWJS*, 29(4), 3 (2011).
20. N. Nemoto and T. Nakagawa, “宇宙分野におけるソルダリング技術の取り組み” (In Japanese), *日本溶接學會 第46回 マイクロ接合研究委員会* (2008).
21. Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA Special Publication (In Japanese) (2008) from <http://airex.tksc.jaxa.jp/dr/prc/japan/contents/AA0064022000/64022000.pdf>
22. N. Nemoto, “Tin Whisker Evaluation Status for Space Application”, *Proc. 4th International Symposium on Tin Whisker*, Maryland, 23, University of Maryland (2010).
23. K. Suganuma, A. Baated, K. -S. Kim, K. Hamasaki, N. Nemoto, T. Nakagawa and T. Yamada, “Sn Whisker Growth during Thermal Cycling”, *Acta Mater.*, 59(19), 7255 (2011).
24. Government Electronics and Information Technology Association, “Requirements for Using Solder Dip to Replace the Finish on Electronic Piece Parts” (2008).



- 김근수 (金椹銖)
- 1970년생
- 호서대학교대학원 나노융합기술학과/융합기술연구소
- 무연 패키징, 인쇄전자
- E-mail: keunsookim@hoseo.edu