

솔더볼 조성에 의한 피로강도의 영향

김경수 · 김진영

광운대학교 전자재료공학과
(2004년 2월 2일 접수)

Effects of Fatigue Strength by Solder Ball Composition

K. S. Kim and J. Y. Kim

Department of Electronic Materials Engineering, Kwangwoon University
(Received February 2, 2004)

요 약

BGA(ball grid array) package에서 솔더볼의 피로강도에 대한 솔더 조성에 대한 영향을 조사하기 위하여 패키지 신뢰성 시험을 실시하였다. 공정조성 솔더 63Sn/37Pb, 62Sn/36Pb/2Ag, 63Sn/34.5Pb/2Ag/0.5Sb 솔더를 이용하여 제조된 시편을 MRT Lv3 (moisture resistance test level) 조건에서 전처리 후 T/C(temperature cycle test) 실험을 수행하였다. 각각의 신뢰성 시험에 대하여 전단강도를 측정하였으며, 미세 조직 사진을 얻었다. 또한, SEM (scanning electron microscope)과 EDX (energy dispersive X-ray)를 이용하여 파괴 기구에 대한 분석을 실시하였다. Sn63Pb34.5Ag2Sb0.5 솔더에서 Au - Sn 성장비는 63Sn/37Pb, 63Sn/36Pb/2Ag 솔더에 비해 느리다 솔더 조성에 따른 솔더볼의 전단응력 저하에 대하여 논의하였다.

주제어 : 솔더볼, 피로강도, 패키지 신뢰성, 전단응력

Abstract

Package reliability test was conducted to investigate the effect of solder composition on the ball fatigue strength for BGA (Ball Grid Array) packaging. The test pieces are assembled using eutectic composition 63Sn/37Pb, 62Sn/36Pb/2Ag, and Sn63Pb34.5Ag2Sb0.5 solder after pre-conditioning at MRT Lv 3 (Moisture Resistance Test Level) and then conducted under T/C (Temperature Cycle test). For each case, the ball shear strength was obtained and micro structure photos were taken. SEM (scanning electron microscope) and EDX (Energy Dispersive X-ray) were used to the analyze failure mechanism. The growth rate of Au - Sn intermetallic compound in Sn63Pb34.5Ag2Sb0.5 solder was slow when compared to 63Sn/37Pb solder and 62Sn/36Pb/2Ag solder. The degradation of shear strength of solder balls caused by solder composition was discussed.

Key Words : solder ball, fatigue strength, package reliability, shear strength

1. 서 론

반도체 산업은 각종 전자제품과 함께 컴퓨터와 정밀기기의 핵심부품으로서의 역할과 멀티미디어와 함께 정보화 사회의 구현을 위한 기반산업분야이며, 특히 이중에서도 반도체 칩을 포장하는 패키징 기술 산업의 발전은 절대적으로 필요하다. BGA의 종류로는 적층형, 세라믹과 테이프용, MBGA의 신상품이 개발되고 있으며 플라스틱 BGA는 제조 원가가 싸고 높은 I/O와 전기 절연적 특성이 향상되고 있으며, lead 상에 영향력이 낮으며 생산 수율이 좋아 주된 패키징으로 각광받고 있으며 Chip Scale 패키징 형태로 발전될 것이다 [1].

표면 실장된 패키지는 여러 변수에 의한 열충격과 스트레스를 받게 되어, 솔더의 금속 조직은 큰 변형을 받게 된다. 표면 실장된 패키지에서 솔더 조직 변형에 의한 패키지 신뢰성 시험을 실시하여 열적 스트레스에 의한 원자의 확산 운동이 촉진되고, 상호 고용도가 감소하므로 이중 원소를 조직 밖으로 배출하고 동종 원소를 받아들여지게 되어 솔더 조직내의 조대화가 발생하게 된다 [1]. 따라서, 솔더 벌크의 강도는 조직의 조대화에 비례하여 감소하게 된다. 또한, 반복된 열충격 하에서 조대화된 조직은 균열이 발생하여 패키징 신뢰성에 큰 결함을 발생 시킨다. 특히 가장 문제가 되는 부분은 Sn 확산에 의해 생성되는 Sn 금속간 화합물의 성장이다. 솔더볼 패드부에는 산화 방지를 위하여 Ni층과 솔더링 과정 중 젖음성의 향상을 목적으로 Au가 최종적으로 도금이 된다. 이때, Au-Sn금속간 화합물의 성장은 저용점이며, 취성적인 특성으로 인해 솔더부 파단의 중요한 원인으로 지적되고 있다 [2,3]. 솔더의 리플로우 과정에서는 Au는 용융 Sn과 결합하여 Au-Sn 금속간 화합물을 형성하며 솔더 내부로 용해되어, Sn 기지에 석출하거나, Pb-rich 영역에 잔류하게 된다. 노출된 Ni와 Sn간의 금속간 화합물층이 형성되며, 원자 이동에 충분한 열에너지가 있을 경우 Au-Sn 금속간 화합물이 확산을 통하여 두꺼운 층으로 성장하게 된다. 이렇게 새로운 금속간 화합물층은 계면 에너지를 증가시켜 Au-Sn/Sn-Ni 계면간에는 큰 응력이 잔존하게 되고, 반복된 열충격이 가해지면 두 계면 사이의 열팽창계수 차이에 의하여 균열에 의한 균열 전파가 촉진됨으로써 솔더 접합부의 경계면을 파단 시킨다.

부수적인 효과로 Au-Sn 층의 성장은 주변의 Sn을 소모시키면서 진행되는데, 이로 인하여 Au-Sn층 위에는 고농도의 Pb 층이 형성되며, Pb 층은 솔더 내의 모든 합금 중 가장 연질이고 가공성이 뛰어나며, 또한 솔더 접합부의 강도를 크게 저하시키게 된다. BGA Package의 결함 발생의 주된 원인중에 하나는 ball-off 불과 약한 솔더의 결합력이다 이것은 경계층에서 과도한 취성에 의한 것이다 [4,5].

본 실험에서는 BGA Package를 이용한 패키지에서 피로강도의 향상을 목적으로, 가장 상용화된 63Sn/37Pb 공정합금을 기본으로 하여 용융점이 비슷한 62Sn/36Pb/2Ag, 63Sn/34.5Pb/2Ag/0.5Sb 상용합금을 사용했을 때의 전단강도를 서로 비교함으로써, 솔더 조성의 영향에 의한 피로 전단강도에 대하여 연구하고자 한다.

2. 실험방법

패턴이 그려진 Tape을 이용하여 BGA 시편을 제조하였으며, 볼 패드의 니켈도금은 4 μ m, 금도금은 0.65 ~ 0.70 μ m이며, 솔더볼의 크기가 600 μ m, 760 μ m인 성분이 각각 다른 63Sn/37Pb, 62Sn/36Pb/2Ag와 63Sn/34.5Pb/2Ag/0.5Sb를 사용하여 실험을 하였다. 패키지 신뢰성 시험을 위해 JEDEC (Joint electron device engineering council) - standard level 3 후, 3회 리플로우를 거친 시편을 짧은 시간 동안 극도의 고온 및 저온에서 반복적인 노출을 통한 충격 시험을 실시하였다. 온도 사이클 동안 발생하는 전기적 물리적 손상의 변화의 발생을 알아보고자 -55 $^{\circ}$ C + 125 $^{\circ}$ C 온도 프로파일을 이용하여 5번 반복하는 T/C를 각각 500회, 1000회를 실시하였다. 각 시편은 Shear tester dage series 2,400을 사용하여, 솔더볼의 중심과 substrate 사이의 1/2 높이에서 shear blade를 고정시키고, 300 μ m/sec 속도로 하중을 부가하여 최고 전단 하중을 측정하였으며, 이 값을 전단강도로 사용하였다. EOL (end of lot), MRT 처리 후, T/C 500회, 1,000회 처리 후에 각 조건에 대하여 5개의 시편을 무작위로 선택하여 시편당 10개의 전단강도 값을 얻었으며, 광학 현미경, 주사 전자 현미경 과 EDX로 솔더볼의 미세조직과 성분을 조사하였다. 표 1, 표 2는 본 실험에 사용된 시편에 관한 정보와 신뢰성 시험조건에 관한 정보를 나타내었다. 그림 1은 솔더볼의 전단 강도를 알아보기 위한 실험의 그림이다.

표 1. 실험 시료의 기술

Table 1. The description of test sample

Leg	Ball Composition	Ball Dia
1	Sn63/Pb37	600 μm
2	Sn62/Pb36/Ag2	600 μm
3	Sn63/Pb34.5/Ag2/Sb0.5	600 μm
4	Sn63/Pb37	760 μm
5	Sn62/Pb36/Ag2	760 μm
6	Sn63/Pb34.5/Ag2/Sb0.5	760 μm

표 2. 패키징 신뢰성 시험 조건

Table 2. Package Reliability Test Condition

Test	Condition	Remarks
MRT	JEDEC L3 (30°C60%RH, 192hrs)	Failure verification (SAT)
T/C	JEDEC "B" Cold step: ($\geq 10\text{min}$, -55°C) Hot step: ($\geq 10\text{min}$, $+125^\circ\text{C}$)	0, 500, 1000 cycles Failure verification (Open/Short test)

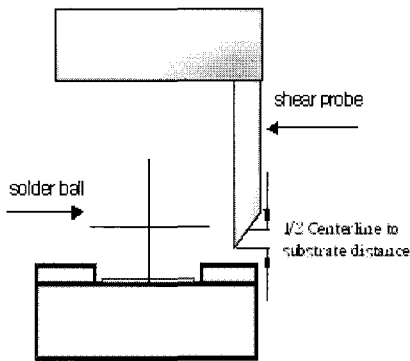
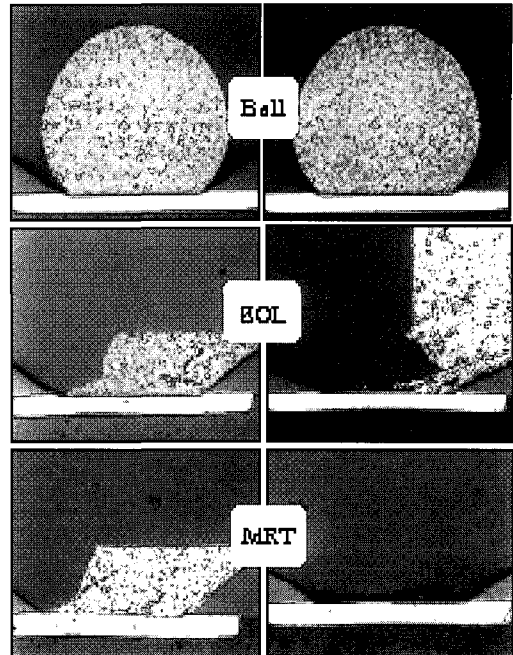


그림 1. 볼 응력 시험
Fig. 1. Ball Shear Test

3. 결과 및 고찰

가장 상용화된 63Sn/37Pb 솔더볼에 대하여 62Sn/36Pb/2Ag 솔더볼과 63Sn/34.5Pb/2Ag/0.5Sb 솔더볼의 신뢰성 시험 조건에 따른 전단강도와 전단 파단면의 변화를 비교하였다. 그림 2에서는 동일한 Substrate 직경에 볼 크기 변화에 따른 전단파단면을 공정 조성 솔



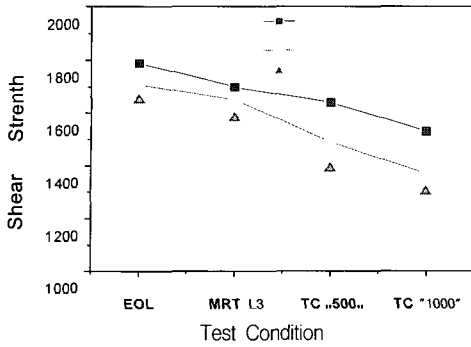
(a) 600 μm (b) 760 μm

그림 2. 신뢰성 시험 조건에 따른 전단파단의 영향
Fig. 2. The effect of sheared fracture after each reliability test.

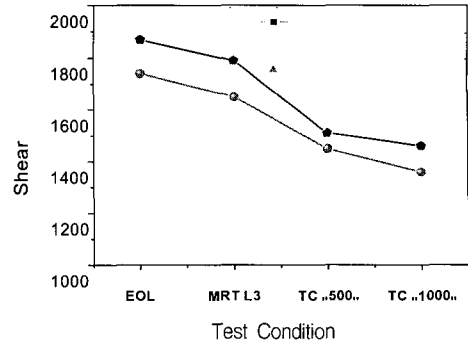
더볼의 신뢰성 시험 조건에 따라 보여주고 있다.

그림 2에서는 650 μm 의 동일한 Substrate 직경에 대하여 솔더볼의 크기가 760 μm 에서 600 μm 로 변화에 따른 전단 응력은 Substrate 직경에 비례하여 접합부의 크기가 상대적으로 줄어들어, 760 μm 을 사용할 솔더볼이 600 μm 솔더볼에 비해 응력 집중현상이 증가되었다. 따라서, 전단시험에서 패드부 주위의 좁은 영역이 파단면으로 나타나는 경향이 증가하여, 600 μm 을 사용한 솔더볼이 760 μm 솔더볼보다 전단강도가 증가된 것으로 사료 된다. 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 시험 조건이 가중될수록 솔더볼의 전단 파단면이 솔더 벌크로부터 솔더/금속간 화합물층 계면으로 이동함으로써 전단강도가 감소한 것으로 사료 된다.

신뢰성 시험 조건에 따른 솔더 벌크의 조직변화, 볼 패드부의 금속간 화합물 층의 성장, 전단시험 후 파단면을 솔더 조성별로 정리하여 나타내었다. 먼저 63Sn/37Pb 공정 조성 솔더에 대해 살펴보면 신뢰도 시험 조건에 따라 솔더 벌크 내에서 Sn과 Pb의 조대화가 관찰되며 T/C 500회 이후에는 두꺼운 금속간 화합물



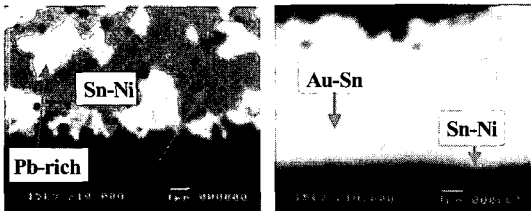
(a) 600 μm



(b) 760 μm

그림 3. 볼 전단응력
Fig. 3. Ball shear strength

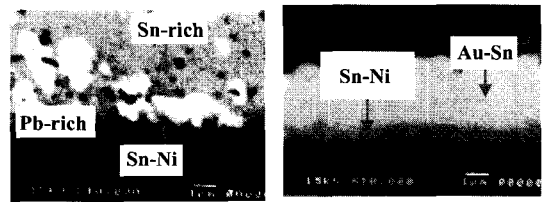
층이 형성됨을 알 수 있다. 또한, 금속간 화합물 층 위에는 연질의 Pb 층이 형성되어 있음이 관찰된다. 그림 4에서와 같이 전단 파단면은 MRT까지는 솔더 벌크 내에서 나타나지만, T/C 500회 이후에는 가장 취약한 Au-Sn/Sn-Ni 계면에서 균열이 발생, 계면을 따라 전파되고, 이 균열은 Au-Sn 층을 통과하여 최종적으로 솔더와 패드를 분리시키게 된다. 이와 같이 MRT 후의 전단강도의 감소는 솔더 조직의 조대화에 따른 솔더 벌크의 기계적 강도 감소로 설명되며, T/C 후는 취성적 성질을 가지는 Au-Sn 금속간 화합물이 두껍게 성장함으로써 강도가 감소함을 알 수 있다.



(a) MRT (b) TC 500

그림 4. 전단응력 시험후 63Sn/37Pb 솔더의 SEM사진
Fig. 4. The SEM photographs of 63Sn/37Pb solder after shearing test.

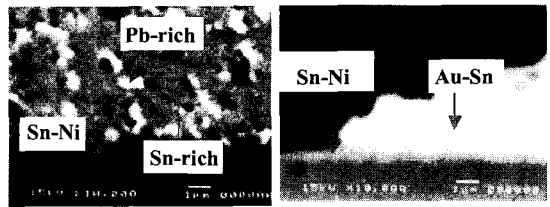
그림 5에서와 같이 62Sn/36Pb/2Ag 조성의 경우에는 공정 조성 솔더와 거의 유사한 파단 형성을 가지지만, 공정 솔더에 비해 솔더 벌크의 물성 자체가 높은 기계적 강도를 가지며, 또한 Au-Sn 금속간 화합물 층의 성장이 느리기 때문에 볼 전단강도 값이 더 높은 값을 보인 것으로 사료 된다.



(a) MRT (b) TC 500

그림 5. 전단응력 시험후 62Sn/36Pb/2Ag 솔더의 SEM사진

Fig. 5. The SEM photographs of 62Sn/36Pb/2Ag solder after shearing test.



(a) MRT (b) TC 500

그림 6. 전단응력 시험후 63Sn/34.5Pb/2Ag/0.5Sb 솔더의 SEM사진

Fig. 6. The SEM photographs of 63Sn/34.5Pb/2Ag/0.5Sb solder after shearing test.

그림 6에서와 같이 63Sn/34.5Pb/2Ag/0.5Sb 조성의 경우 앞서 두 조성의 솔더와 조직상의 커다란 차이를 보이고 있다. MRT 이후에도 솔더 벌크의 조대화가 억제되면서 Au-Sn 층의 형성과 성장이 관찰되지 않는 대신, 얇은 Sn-Ni 금속간 화합물 층이 형성되면서, Sn-Ni 층 위에 연질의 Pb 층이 부분적으로 형성됨을

알 수 있다. SEM 사진에서 보여지는 바와 같이, T/C 500회 이후부터는 다른 솔더에 비해 Au-Sn 층의 형성과 성장이 억제됨을 알 수 있다. 앞의 그림 6과 같이 63Sn/34.5Pb/2Ag/0.5Sb 조성 솔더의 경우 피로 전단강도의 향상 원인은 솔더 조직 조대화의 억제와 Au-Sn 층의 형성과 성장이 억제됨으로 인한 것임을 알 수 있다. 62Sn/36Pb/2Ag 조성 솔더와 같이 63Sn/34.5Pb/2Ag/0.5Sb 조성 솔더를 비교했을 때 동일한 Ag 첨가를 하였어도 조직상 커다란 차이를 보이고 있다. 이것은 Sb의 첨가 효과라고 생각되며, Sb가 Au-Sn 금속간 화합물 확산의 효과적인 저항체로 작용하거나, 솔더 내에 Au-Sn 금속간 화합물의 고용도를 증가시키는 역할을 했을 것으로 사료된다.

4. 결 론

가장 상용화된 63Sn/37Pb 솔더볼의 피로 강도의 변화와 조직의 형성 변화를 알아보고 더 좋은 솔더 성분을 알아보고자 63Sn/37Pb, 62Sn/36Pb/2Ag와 62Sn/34.5Pb/2Ag/0.5Sb에 대하여 패키지 신뢰성 시험 후 전단강도를 측정하였다.

- 1) 동일한 650 μm 직경의 패드에서 63Sn/37Pb, 62Sn/36Pb/2Ag와 62Sn/34.5Pb/2Ag/0.5Sb의 솔더볼 크기가 증가 할수록 전단강도가 저하 되었다. 이러한 현상은 접합부의 크기가 상대적으로 작아져 응력 집중현상이 증가 된것으로 사료된다.
- 2) 62Sn/36Pb/2Ag 솔더는 63Sn/37Pb 솔더와 거의 유사한 파단 기구를 가지지만, 신뢰성 시험 과정에서 Au-Sn 층이 천천히 성장함을 알 수 있었으며, 신뢰성 시험 조건이 가혹해질수록 63Sn/37Pb 솔더는 솔더 벌크 조직의 조대화가 촉진되어 Au-Sn 금속간 화합물 층이 두껍게 성장함으로써 전단강도가 저하되었다. Au-Sn/Sn-Ni 계면층에서 발생되어 Au-Sn 층을 통과하여 최종 파단이

생성된 것으로 사료된다.

- 3) 62Sn/34.5Pb/2Ag/0.5Sb 솔더의 경우 62Sn/36Pb/2Ag, 63Sn/37Pb 솔더에 비례하여 신뢰성 시험 동안 조직의 조대화와 Au-Sn 금속간 화합물 층의 생성과 성장이 느렸으며, 미세한 조직을 유지함으로써 전단강도 저하가 현저하게 적었다. 이는, Sb의 첨가로 인하여 솔더 내부의 원자 확산에 저항체 역할을 한 것으로 사료 된다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 광운대학교 교내 학술 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] E. Zamborsky, *Fundamentals of BGA Rework*. (SMT, Feb. 1999).
- [2] Z. Mei, A. Esclamolchi, and P.Johnson, Brittle Interfacial Fracture of PBGA Packages Soldered on Electroless Ni/Immersion Au, (Electronic Components and Technology Conference, 48th IEEE, 25-28 May 1998).
- [3] M. E. Ferguson, C. D. Fieselman, and M. A. Elkins, Manufacturing Concerns When Soldering with Au Plated Component Leads or Circuit Board Pads, (IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part C, Vol. 20, No. 3, July 1997).
- [4] J. H. Westbrook, *Intermetallic compounds*, (John Wiley & Sons Ltd, New John Wiley & Sons Ltd, New York, NY and Chichester. 1697).
- [5] K. Banerji, and R. F. Darveaux, Microstructures and Mechanical Properties of Aging Materials, The Minerals, Metals and Materials Society (1993).