

Sn-3Ag-6In-2Bi BGA 솔더 접합부의 반응 특성과 접합 강도

Reaction Characteristics and Shear Strength of Sn-3Ag-6Bi-2In BGA Solder Joints.

김상원*, 윤정원*, 정승부*

* 성균관대학교 신소재공학과

1. 서 론

인류의 건강과 환경에 대한 Pb의 유해성이 대두됨으로 인해 Pb의 사용제한에 대한 법제화가 이뤄지고 있으며, 이는 전자 패키징 분야에 대한 무연 솔더 개발을 가속화 시키게 되는 계기가 되었다. 여러 가지 많은 무연 솔더들이 Sn-Pb 솔더 대체재로 고려되고 있으며, 일반적으로 Sn-Cu, Sn-Ag 그리고 Sn-Ag-Cu계가 가장 주목을 받고 있다. 이러한 무연 솔더들은 기존의 Sn-Pb와 유사한 젖음성, 신뢰성, 연성 및 강도를 가지고 있으나 녹는점이 높다는 단점을 가지고 있다. 이는 높은 온도에서 솔더링 공정이 이뤄짐으로써 전자부품의 열적 손상과 같은 여러 가지 문제점을 일으키는 원인이 된다. 또한 공정 온도의 상승으로 인한 장비교체 및 전력량의 증가라는 비용적인 문제 또한 고려해야 한다. 이러한 고용점의 무연 솔더의 문제점을 극복하기 위한 대안으로 Sn-Ag-Bi-In계 솔더가 제안되고 있다. Sn-Ag-Bi-In 솔더는 다른 Sn-Cu와 Sn-Ag계 솔더와 비교하여 상대적으로 낮은 용점을(185~215℃) 가지고 있다.

BGA 접합 기술에서의 주요 관심은 솔더 접합의 신뢰성에 관한 것으로서 제조과정 및 작동 중

의 여러 가지 상황에 대해 각각의 다른 열적 기계적인 하중을 받게 되어 이에 대한 평가를 목적으로 둔다. 예를 들어 솔더 접합부가 고온에 장시간 열처리 했을 때 금속간 화합물이 과도하게 성장 되어 금속간 화합물의 취성 및 결함으로 인해 솔더 접합부의 강도 저하를 야기시킨다. 그러므로 계면에서의 반응 역학에 지배적인 인자를 이해하는 것을 필요로 한다.

기판의 Ni층은 일반적으로 전자 장비에서의 전도체로 사용되는 Cu층 위에 코팅을 하며, 또한

wettability 증진 Au 코팅을 용이하게 해준다. 그리고 아래 Cu 층을 보호해주는 역할을 한다. Ni와 Cu 층은 상호 계면을 가지고 있으나, Cu와 Ni는 전융고용체를 이룸으로써 상호간의 화학적인 반응은 일어나지 않는다. 그러므로 솔더 접합에서의 기판의 문제점은 존재하지 않는다.

이전의 많은 논문에서 Sn-Ag-Bi-In 솔더에 대해 어느 정도 연구가 이뤄져 왔으나 계면 반응 역학 및 Au/Ni/Cu기판에서의 솔더 볼의 전단 테스트에 대한 결과들은 충분하지 않다. 그러므로 본 연구에서는 Sn-3Ag-6Bi-2In 솔더/Au/Ni/Cu에 대해 등은 시효를 통하여 생성되는 Ni₃Sn₄의 금속간 화합물에 대한 성장 역학에 대해 초점을 맞추었다. Ni₃Sn₄ 금속간 화합물의 성장 속도 상수는 온도와 시간의 함수로써 측정 하였으며 Arrhenius 관계식을 통하여 계면의 금속간 화합물에 대한 활성화 에너지 값을 측정하였다. 게다가 솔더 접합의 전단 강도 값은 등은 시효를 통한 온도와 시간에 대한 함수로써 테스트가 이뤄졌다. 전단 강도 값과 솔더 접합부의 계면에서의 미세 조직간의 상호 연관성에 대해 또한 논의 하였다.

2. 실험 방법

2.1 리플로

볼의 직경이 500 μ m인 Sn-3.5Ag-6Bi-2In (mass%) 솔더와 기판은 Au/Ni/Cu로 도금된 BGA 기판(BT laminate)을 사용하였다. 패드 사이즈는 직경이 460 μ m이며 Au/Ni 도금층의 두께는 각각 0.5/7.0 μ m이다. 리플로는 IR 4 zone 리플로 장치를 사용하였으며, 공정중의 최대 온도는 255℃로 60초 동안 실시 하였다.

2.2 시효처리와 미세조직의 관찰

열처리는 70,100,120,150,170℃에서 1~100일 동안 실시하였다. 시효 장비로는 ±1℃의 오차범위를 가지는 항온 항습로로써 실시하였다.

열처리된 시편은 주사전자 현미경으로 조직을 관찰, EDX로 화학적인 조성 분석, XRD로써 상분석이 이뤄졌다. 금속간 화합물의 두께는 image analysis software를 사용하여 측정하였다.

2.3 전단 테스트

전단강도 값 측정은 전단 테스터를 사용하여, 램(ram) 높이를 50μm, 전단 속도를 200μm, 하중을 5kgf의 조건으로 실시하였다. 총 20개의 솔더 볼에 대해 평균값으로써 전단강도 값을 나타내었으며, 전단 측정 후 파면은 SEM으로 관찰 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Micro Structure

Fig. 1은 150℃에서 서로 다른 시간으로 열처리한 시편을 나타낸다. 솔더링 과정 중에 Au 층은 솔더 내로 완전히 용해되어 솔더 내에서 AuSn₄를 형성하였다. 그리고 기판에 남아 있는 Ni층은 솔더와의 반응을 통해 계면에 Ni₃Sn₄를 형성하였다. 이때 초기에 생성된 Ni₃Sn₄의 두께는 0.76 μm이다. EDX 분석 결과 계면의 금속간 화합물의 성분은 Ag, Bi 그리고 In을 포함하지 않는 것으로 확인 되었으며 단지 Ni-Sn계의 화합물만을 나타내었다. 이외의 조성들에 대해서는 솔더 내에서 AuSn₄, Ag₃Sn, 그리고 Bi 상으로써 존재하고 있는 것으로 확인 되었다. Ag₃Sn, Bi상

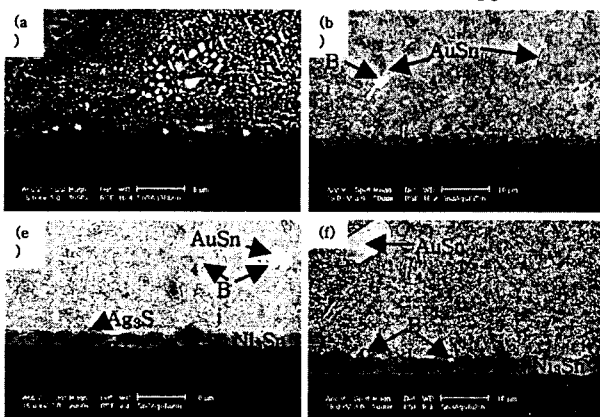


Fig. 1 SEM micrographs of a Sn-3Ag-6Bi-2In /Au/Ni/Cu interface at 150℃ with various aging times; (a) as-reflowed, (b) 1day, (c) 35days and (e) 100days.

은 열처리를 통해 Ni₃Sn₄/솔더 계면에 존재함을 확인할 수 있었다. 150℃ 100일 열처리 후 계면의 금속간 화합물의 두께는 3.29μm로 성장하는 것을 확인할 수 있었다.

각 온도 별 금속간 화합물의 두께는 고전 확산 이론 식(1)을 통하여 성장속도 상수 값이 약 0.5로써 나타남을 확인할 수 있었다. 따라서 금속간 화합물에 대한 성장 메커니즘은 확산 율속임을 알 수 있었다.

$$W = Kt^n \quad (1)$$

W는 금속간 화합물의 두께, K는 성장속도 상수, t는 반응 시간, n은 시간 지수(time exponent)를 나타낸다.

Fig. 2는 계면의 금속간 화합물에 대한 Arrhenius 관계식 (2)을 이용하여 Arrhenius plot으로 나타낸 것이다.

$$K^2 = K_0^2 \exp(-Q/RT) \quad (2)$$

K₀는 진동 인자, Q값은 활성화 에너지, R값은 기체 상수 그리고 T는 절대 온도를 나타낸다.

계면의 금속간 화합물에 대한 활성화 에너지 값은 선형 회귀 분석을 통한 Arrhenius 관계식을 이용하여 구할 수 있었으며, 활성화 에너지 값은 64.8kJ/mol임을 구할 수 있었다.

3.2 Shear Strength

Fig. 3는 열처리 온도와 시간에 대한 전단강도 값을 나타낸다. 초기 리플로 후 평균 전단 강도 값은 1.5kgf. 이다. Fig. 3에 나타낸 것과 같이

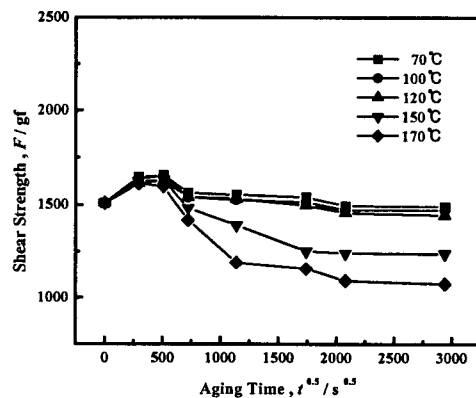


Fig. 2 Arrhenius plot of the IMC growth

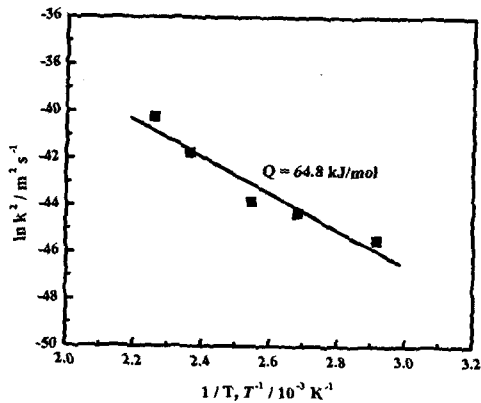


Fig. 3 Variations of the ball shear strength with aging time and temperature.

열처리 시간과 온도가 길거나 높을수록 전단 강도 값은 감소하는 경향을 나타내고 있다.

100일 동안 70, 100, 120, 150, 170℃의 각 온도별 열처리 후 전단강도 값의 변화는 1,3,4,18과 29% 감소한 것으로 나타났다.

초기 리플로 후에는 취성파괴와 연성파괴가 동시에 존재하며, 열처리 온도와 시간이 증가 할수록 솔더/금속간 화합물의 계면에서 취성파괴가 주로 일어 남을 확인 할 수 있었다. 초기의 전단 강도 값이 증가하는 원인으로서는 초기 열처리 동안 솔더 내 다량의 Ag₃Sn과 Bi상이 생성됨으로 인해 전단 강도 값이 증가하는 것으로 사료되며, 70~120℃에서는 전단강도 값이 거의 일정하지만 150, 170℃에서 급격하게 전단 강도 값이 떨어지는 원인으로서는 취성파괴가 솔더와 금속간 화합물의 계면에서뿐만 아니라 금속간 화합물과 Ni 기판 사이에서 또한 파괴가 일어남으로 인해 전단강도 값이 저하되는 것으로 사료된다.

4. 결 론

Sn-Ag-Bi-In 솔더와 Au/Ni/Cu BGA 기판 사이에서의 등온 시효를 통한 실험을 수행함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 리플로 동안 Au층은 전부 용해되어 솔더내에 AuSn₄의 금속간 화합물의 형성하며, 기판에 남아 있는 Ni층은 솔더와의 반응을 통해 Ni₃Sn₄를 형성한다. 이때 Bi와 Ag는 솔더내에서 Bi상과 Ag₃Sn상으로 존재하게 된다. 계면에 형성된 Ni₃Sn₄에서는 Au, Bi, Ag가 검출되지 않았다.

2) 계면에 형성된 금속간 화합물의 두께는 온

도와 시간이 증가함으로써 증가하였으며, 성장 속도 상수, n값이 0.5에 근접한 값을 가짐으로써 계면의 금속간 화합물의 성장이 확산에 의해 지배 됨을 확인하였다. 또한 Ni₃Sn₄의 활성화 에너지 값은 64.8kJ/mol로써 계산되었다.

3) 전단 강도 값은 초기 1,3일 동안 열처리 후에는 증가하였으나 일반적으로 온도와 시간이 증가 함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

참고문헌

1. C.B. Lee, S.B. Jung, Y.E. Shin and C.C. Shur : Materials Transactions 42 (2001)751-755
2. J.W. Yoon, C.B. Lee and S.B. Jung : Materials Transaction 43 (2002) 1812-1826
3. C.B. Lee, J.W. Yoon, S.J. Suh, C.W. Yang, C.C. Shur, Y.E. Shin and S.B. Jung : J. Mater. Sci. Mater. Electron. 14(2003) 487-493
4. J.W. Yoon, C.B. Lee and S.B. Jung : JEM 32 (2003) (in press)
5. J.W. Yoon, C.Y. Lee, C.B. Lee, C.S. Yoo and S.B. Jung : Z. Metallkd 94 (2003) 453-457