

Sn-3.5Ag 무연 솔더를 이용한 Si-wafer와 FR-4기판의 상온접합

Ultrasonic bonding between Si-wafer and FR-4 at room temperature using Sn-3.5Ag solder

김정모*, 조선연*, 김규석*, 이영우*, 정재필*

* 서울 시립대학교 신소재공학과

ABSTRACT Ultrasonic soldering using of Si-wafer to FR-4 PCB at room temperature was investigated. Sn3.5Ag foil rolled 100 μ m was used for solder. The UBM of Si-die was Cu/ Ni/ Al from top to bottom and its thickness was 0.4 μ m, 0.4 μ m, 0.3 μ m respectively. Pad on FR-4 PCB comprised of Au/ Ni/ Cu from top to bottom and its thickness was 0.05 μ m, 5 μ m, 18 μ m respectively. The ultrasonic soldering time was changed from 0.5sec to 3.0sec and its power 1400W. As experimental result, reliable bond joint by ultrasonic at room temperature was obtained. The shear strength increased with soldering time up to 2.5 sec. That means at 2.5sec, the shear strength showed maximum rate of 65.23N. The strength decreased to 33.90N at 3.0 sec because the cracks generated along the intermetallic compound between Si-wafer and Sn-3.5mass%Ag solder. intermetallic compound produced by ultrasonic between the solder and the Si-die was (Cu, Ni)₆Sn₅, and the intermetallic compound between solder and pad on FR-4 was (Ni, Cu)₃Sn₄.

key word : ultrasonic, lead free solder, intermetallic compound, joint strength, Sn-3.5mass%Ag

1. 서 론

플립칩 패키지에서 사용되는 대표적인 접합 방법에는 열 압착법과 초음파와 열을 동시에 가하는 초음파 병용 열 압착법, 초음파 접합법 등이 있다. 이 중에서 초음파 접합법은 와이어 본딩에서 널리 사용되고 있는 방법으로 플립칩 패키지에서는 적용이 연구 단계에 있다.

초음파 접합은 상온(25 $^{\circ}$ C)에서 초음파와 압력을 가하는 방법으로 IC칩이나 FR-4 기판에 열 손상을 최소화 시킬 수 있고 접합 시간이 가장 짧은 장점이 있다. 또한 초음파 접합은 무플럭스 플립칩 접합으로 사용되는 방법 중에 하나이다¹⁾. 초음파를 솔더와 금속표면에 가해주면 산화막과 오염물이 제거되므로 무플럭스 접합이 가능하다²⁾.

본 연구에서는 Sn3.5Ag 범프의 초음파 접합 이전의 기초 연구로서 Sn3.5Ag 압연 솔더를 사용하여 칩과 FR-4 기판을 초음파 접합 하였다. 초음파 접합 시간 증가에 따른 접합부의 미세조직의 변화를 관찰하고 전단 강도 시험을 하였다.

2. 실험 방법

모재로는 Si 웨이퍼와 FR-4기판을 사용하였다. Si 웨이퍼 위의 UBM은 위에서부터 Cu/ Ni/ Al를 각각 0.4 μ m/ 0.4 μ m/ 0.3 μ m 두께로 전자빔 증착기(E-gun evaporator)를 이용하여 증착하였다. FR-4 기판의 패드(pad)는 위에서부터 Au/ Ni/ Cu를 각각 0.05 μ m/ 5 μ m/ 18 μ m 두께로 전해 도금하여 형성하였다. Si 웨이퍼와 FR-4 기판을 상온 초음파 접합하기 위해 솔더로서 100 μ m두께의 Sn3.5Ag 압연 솔더를 사용하였다.

초음파의 접합기의 주파수는 20kHz이고, 전력은 1400W, 압력은 22.56N/cm²이다. 초음파 접합 시간을 0.5초에서 3초까지 0.5초 단위로 증가시키면서 초음파 접합하였다.

초음파 접합 시의 계면에 생성된 금속간 화합물을 조사하기 위해서 접합 된 시편의 단면을 주사전자 현미경(SEM, Scanning Electron Microscope)을 이용하여 관찰하였다. Si-웨이퍼/ 솔더, FR-4 기판 패드/ 솔더 계면에 형성

된 금속간 화합물의 성분을 분석하기 위하여 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy)를 이용하였다. 동일한 시편을 hotplate를 이용하여 2.5초간 250℃에서 솔더링한 후 미세조직을 비교하였다.

초음파 접합부의 접합 강도를 측정하기 위하여 전단강도 시험기(shear strength tester)를 이용하였다. 전단 팁의 너비는 시편의 직경과 동일한 10mm 이다. 전단 속도는 200μm/s, 전단 팁의 높이는 1.1mm로 하였다. 각 조건 당 20회 이상 전단강도를 측정하여 평균값과 표준편차를 계산하였다.

3. 실험 결과

3.1 상온 초음파 접합

초음파 접합 시간을 0.5초로 했을 때는 시편이 접합 되지 않았고, 1.0초에서 3.0초 동안 초음파 접합한 경우에는 시편들이 접합 되었다.

접합 계면에서의 접합 상태를 확인하기 위하여 상온 초음파 접합한 시편의 단면을 주사전자현미경으로 관찰하였다. Fig. 1은 초음파 접합 시간을 1.0초부터 3.0초까지 0.5초 간격으로 변화 시키면서 접합한 시편의 단면이다. 각 단면에서 접합율을 측정하였다. 접합율은 패드 크기 300μm에 대한 접합 단면의 접합된 부분의 비율을 %로 나타낸 것이다. 접합시간 1.0초에서 FR-4 기판 패드와 솔더, Si 웨이퍼와 솔더 사이의 접합율은 각각 59%, 63%이었다. 초음파 접합 시간 1.5초와 2.0초에서는 FR-4 기판의 패드와 솔더 사이의 접합계면에서의 접합율은 100%이었지만 Si 웨이퍼와 솔더 사이의 접합율이 57.3%, 58.3%으로 양호한 접합을 이루지는 않았다. 접합 시간 2.5초 에서 FR-4 기판 패드와 솔더, Si 웨이퍼와 솔더 사이의 접합율이 각각 85.2%, 100%로 양호한 접합을 나타내었다. 이때 초음파 접합 시 접합부의 온도는 74℃이었다. 접합 시간이 3.0초인 시편에서의 FR-4 기판 패드, Si 웨이퍼와 솔더와의 접합 계면에서 균열이 발생하여 접합율이 각각 42.1%, 75.6%로 감소하였다. 이 때 초음파 접합 시 접합부의 온도는 80℃이었다. hotplate를 이용하

여 250℃에서 2.5초간 솔더링한 시편의 접합계면은 균열이 없는 양호한 접합을 이루고 있다.

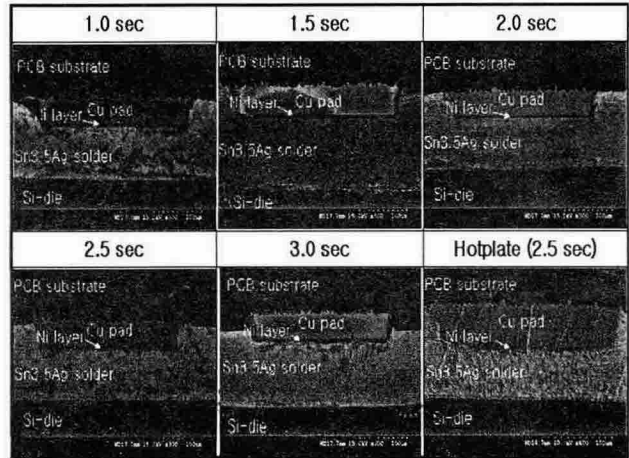


Fig. 1. Solder joints by ultrasonic soldering at various soldering time

3.2 접합부의 미세 조직

FR-4 기판 패드(Au/ Ni/ Cu)와 Sn3.5Ag 솔더 사이의 금속간 화합물의 조성을 분석한 결과 Ni, Cu, Sn이 각각 36.34at%, 3.66at%, 52.58at%로 (Ni,Cu)₃Sn₄로 밝혀졌다. Au층은 산화 방지층 역할을 하는 0.05μm의 얇은 금속층으로 금속간 화합물에서는 Au 성분이 관찰되지 않았고, Sn과 금속간 화합물을 형성하지 않았다. 따라서 Au성분은 솔더 내로 고용된 것으로 사료된다. Ni-Sn계 금속간 화합물 Ni₃Sn, Ni₃Sn₂, Ni₃Sn₄의 298K에서의 금속간 화합물 생성 엔탈피(ΔHf)는 각각 -235.3kJ/mol, -192.5kJ/mol, -102.8kJ/mol으로 Ni₃Sn₄의 생성엔탈피가 가장 낮다³⁾. 따라서 Ni₃Sn, Ni₃Sn₂는 Ni₃Sn₄보다 핵생성이 어렵기 때문에 초음파 접합시 계면에서 성장하는 금속간 화합물은 Ni₃Sn₄로 판단된다.

Si웨이퍼(Cu/ Ni/ Al)와 Sn3.5Ag솔더 사이의 금속간 화합물의 조성을 분석한 결과 Cu, Ni, Sn이 각각 48.10at%, 9.44at%, 40.31at%으로 (Cu,Ni)₆Sn₅로 판단된다. Sn3.5Ag 솔더와 Cu패드사이에서 Cu₆Sn₅와 Cu₃Sn의 활성화에너지는 각각 409, 1536 (단위 없음)이고 구동력은 각각 0.31J/RT, 0.18J/RT이다⁴⁾. Cu₆Sn₅가 Cu₃Sn 보다 훨씬 적은 활성화 에너지와 더 큰 구동력이 필요하다.

이 사실과 이전의 연구 결과⁵⁾를 고려할 때 초음파 접합시 계면에서 성장하는 금속간화합물은 Cu₆Sn₅로 판단된다.

3.2 솔더 접합부의 전단 강도

Fig. 2는 초음파 접합 시간에 따른 전단 강도를 나타낸다. 초음파 접합 시간을 0.5초로 한 경우는 접합이 되지 않았다. 초음파 접합 시간이 1.0초, 1.5초, 2.0초, 2.5초, 3.0초에서 전단 강도는 각각 29.11N, 43.71N, 48.68N, 65.23N, 33.90N을 나타내었다. 모든 조건에서 Si웨이퍼와 솔더 사이의 계면에서 전단 파괴가 일어났다.

M. Mayer등⁶⁾은 34℃의 칩 온도에서 100kHz의 초음파로 직경 100 μ m의 Au를 사용한 볼 본딩 접합 실험을 하였다. 초음파 접합 시간이 증가함에 따라 전단강도가 증가하다가 12ms 이후 전단강도가 감소하는 결과를 보였다. 본 연구에서도 접합 시간이 2.5초가 될 때까지 전단 강도가 증가하였다가 접합 시간 3.0초에서는 전단 강도가 감소하는 결과를 나타내었다. 이는 접합 시간 3.0초의 접합 계면에서 발생한 균열과 접합 단면에서의 접합율의 감소 때문으로 판단된다.

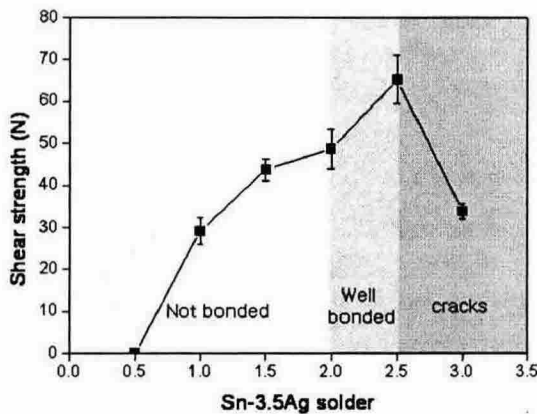


Fig. 2. Shear strengths of Sn3.5Ag solder joint by ultrasonic soldering

4. 결 론

상온 초음파 접합의 플립칩 패키지에 적용 가

능성을 평가 하였다. 접합 시간에 따른 초음파 접합부 특성을 관찰하고 신뢰성 평가를 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 접합 시간 2.5초에서의 접합 온도는 74℃ 이었고, 접합 단면에서 접합된 부분의 비율이 가장 높았다. 접합 시간 3.0초에서의 접합 온도는 80℃이었으며 접합 계면에서 균열이 발생하였다.

2) 접합 시간이 증가함에 따라 전단 강도가 증가 하였다. 접합 시간 2.5초에서 65.23N으로 최대값을 나타내었다. 접합 시간 3.0초에서는 전단 강도가 33.90N으로 감소하였다. 이는 접합 계면에서 발생한 균열과 접합율의 감소 때문으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2004-000-10572-0)지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- H. R. Faridi, J. H. Develetian, and H. P. Le, : A New Look at Flux-Free Ultrasonic Soldering, *Welding Journal* September (2000) 41~45
- R. W. Woodgate : *The Handbook of Machine Soldering-SMT and TH*(3rd ed.), John Wiley & Sons, New York, 1996, p.306
- C. J. Chen and K. L. Lin : The reaction between electroless Ni-Cu-P deposit and 63Sn-37Pb flip chip solder bumps during reflow, *J. Electro. Mater.* No.29,(2000) 1007~1014
- W. K. Choi, H. M. Lee : Prediction of primary intermetallic compound formation during interfacial reaction between Sn-based solder and Ni substrate, *Scripta Materialia*, Vol. 46, (2002) 777~781
- K. H. Prakash, T. Sritharan, : Effect of solid-state annealing on the interfacial intermetallics between tin-lead solders and copper, *Journal of Electronic Materials*, 32- 9 (2003) 939~947
- Mayer, M., Paul, O., Bolliger, D., Baltès, H. : Integrated temperature microsensors for characterization and optimization of thermosonic ball bonding process, *Components and Packaging Technologies*, *IEEE Transactions*, Volume 23, Issue 2, June (2000) 393~398