

와이어 본딩시 본딩 패드 리프트 불량에 관한 연구

논문
11-12-4

Study on the Bonding Pad Lift Failure in Wire Bonding

김경섭*, 장의구**, 신영의***

(Kyung-Seob Kim, Eui-Goo Chang, Young-Eui Shin,)

Abstract

In this study, ultrasonic power of Aluminum wire bonder, bond time and bond force are investigated and valued in order to minimize failure of bonding pad lift. We also tried to control those 3 factors properly. We got the conclusion that if we turn down the ability of ultrasonic power or bond time, we can get a pad lift from a boundary between bond pad and wire because pad metal and wire joining is unstable, but it is best condition when it ultrasonic power is 100~130unit, bond time is 15~20msec and bond force is 4~6gf.

Key Words(중요용어) : Ultrasonic power(초음파력), Bond(접합), Pad lift(패드 리프트), Pull test(인장시험), Wedge Bonding(웨지 본딩)

1. 서 론

반도체 칩과 외부를 연결하는 접속방법으로 와이어 본딩(wire bonding)을 이용하는 방법, TAB(tape automated bonding) 기술을 이용하는 방법, 솔더 범프를 이용하는 플립 칩 본딩(flip chip bonding) 방법 등 크게 3가지로 나눌 수 있다. 이중 와이어 본딩법은 금, 알루미늄 와이어를 사용하여 칩의 전극과 리드 프레임을 연결하는 방법으로, 플립 칩 등의 미세 본딩용 금 볼 범프 형성에도 사용되며, 전자회로의 조립실장에 없어서는 안될 기술로 현재 주류를 이루고 있다. 앞으로도 주류라고 보는 이유는 본딩 방법이 포인트·포인트 본딩이기 때문이다. 미소 피치로 나아가고 있는 반도체에서 빼낸 전극과 외부에 배선을 빼내기 위한 외부 부품 정밀도는 칩의 전극 정밀도와 일치되지 않아도 된다. 즉, 정밀도가 높지 않은 저렴한 부품에 사용할 수가 있다. 또한 설계 변경에 대한 유연성도 있고, 입체적인 2단, 3단 본딩도

할 수 있다는 등의 이점은 모두 포인트·포인트 본딩 조작에서 비롯된다.¹⁾ 이러한 와이어 본딩은 열압착 볼 본딩(Thermocompression ball bonding)과 초음파 웨지 본딩(ultrasonic wedge bonding) 방식이 있으며, 볼 본딩은 금 와이어를 웨지 본딩은 알루미늄 와이어를 주로 적용하고 있다. 그러나 웨지 와이어 본딩시 여러가지 환경에 의해 패드의 일부분이 떨어져 나가는 본딩 패드 리프트(bonding pad lift)와 같은 불량이 발생하고 있으며²⁾³⁾, 조립측면에서의 원인 및 개선 대책에 대해서는 연구가 부족한 실정이다. 그림 1의 (a)는 열압착 볼 본딩, (b)는 초음파 웨지 본딩의 개략도⁴⁾, 그림 2는 와이어가 칩 패드에 본딩된 형태로 (a)는 볼 와이어 본딩, (b)는 웨지 와이어 본딩의 형상을 나타낸 SEM(Scanning Electron Microscopy) 사진이다.

본딩 패드 리프트 불량은 소자의 구조와 기계적 특성, 접합 조건 모두에 영향을 받으며, 이중 소자의 구조에 가장 많은 영향을 받는다. 그러나 소자의 구조를 바꾸는 것은 설계 및 공정 능력과 시간 등에 제약이 있는 것이 현실이다.

본 논문에서는 칩의 전극과 리드 프레임을 연결하는 와이어 접합공정에서 칩의 패드 메탈과 알루미늄 와이어 사이에서 발생하는 패드 리프트 불량을 최소화하기 위하여 와이어 본딩의 초음파력, 접합시간,

* : 여주대학 전자과
(경기도 여주군 여주읍 교리 산 6-16, Fax: 0337-883-5113
E mail : kkseob@yeojoo.ac.kr)
** : 중앙대학교 전기공학과
*** : 중앙대학교 기계설계학과
1998년 8월 20일 접수, 1998년 11월 24일 심사완료

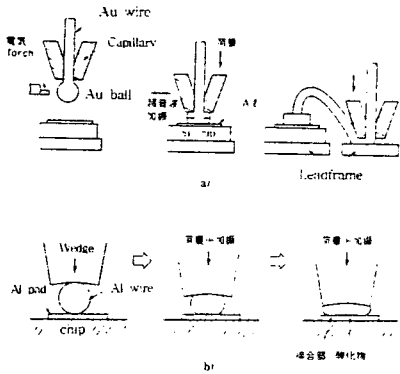


그림 1. 와이어 접속의 개략도
Fig. 1. Schematic of interconnect wire.

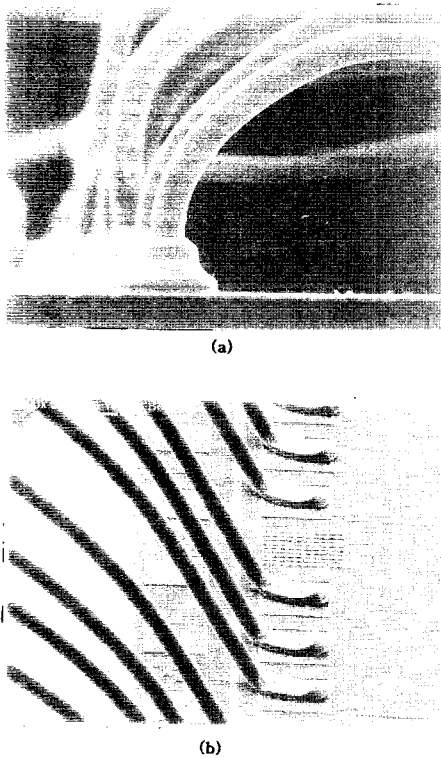


그림 2. (a) 볼 와이어 본딩과 (b) 웨지 와이어 본딩의 형성
Fig. 2. Formation of (a) a ball wire bonding and (b) a wedge wire bonding

접합힘을 3단계로 분류해서, 각각의 요소가 와이어 접합에 미치는 영향과 최적의 조건을 연구하였다.

2. 실험

알루미늄 와이어를 웨지 본딩 후에 저배율 현미경을 이용하여 칩의 전극패드와 와이어의 접합 상태를 육안으로 확인하였다. 또한 와이어 접합 인장 측정기(Model 2400, Dage사)를 이용하여 그림 3과 같은 방법으로 와이어의 인장강도를 측정하여 접합상태를 분석하였다.

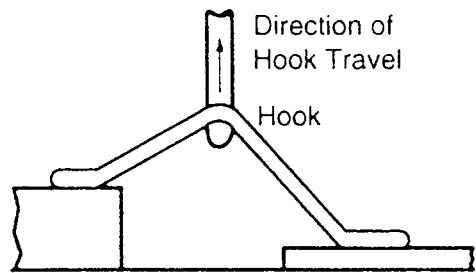


그림 3. 웨지 본딩의 본드 인장법
Fig. 3. Bond pull method of wedge bonding.

실험은 웨지 본딩 공정에서 제품에 전기적인 불량을 야기시키는 패드 리프트의 원인과 최적의 접합 조건을 찾기 위하여 알루미늄 와이어 본딩(K&S

표 1. 시편의 소자 구조

Table 1. Device structure of specimen

Metal structure	Thickness (Å)
Field OX	4500
Poly	1500
WSI	2000
Interlayer	1500
BPSG	6000
Metal	8000
Pad material	Al+Si 1%

표 2. 알루미늄 와이어의 특성

Table 2. Properties of aluminium wire

Material	Al+Si 1%
Diameter	1.25mil
Elongation	1~4%
Melting temperature	660℃

1471)의 초음파력(ultrasonic power), 접합시간(bond time), 접합힘(bond force)의 3요소를 저 수준(low level), 중간 수준(middle level), 높은 수준(high level)의 단계로 분류해서 각각의 접합 요소가 패드 리프트에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 3가지의 접합 요소가 조합되었을 때 패드 리프트에 미치는 영향을 와이어 인장 실험을 통해서 평가하였다. 표 1은 실험에 사용된 시편의 소자구조를, 표 2에는 알루미늄 와이어의 특성을 나타내었다. 실험에 사용된 소자는 8M Mask ROM(5.51×7.80mm)과 100핀 세라믹 QFP를 적용하여 실험하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 불량 분석

불량이 발생된 시편을 분석한 결과 패드 리프트는 BPSG(Boron Phosphorus Silicate Glass)와 베리어 메탈(barrier metal) 사이에서 발생하였다. 불량은 접합된 스티치(stitch)의 면적이 정상적으로 접합된 면적보다 작은 와이어 직경의 1.5~2.5배인 경우가 대부분이고, 스티치의 면적이 와이어 직경보다 2.5배 이상 큰 경우에는 거의 발생하지 않았다. 그림 4는 접합된 스티치의 면적이 와이어 직경보다 1.5~2.5배인 경우에서 불량이 발생한 것으로 리프트되는 면적이 크게 형성됨을 알 수 있다. 따라서 패드 리프트 양은 접합된 면적과 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있었다.

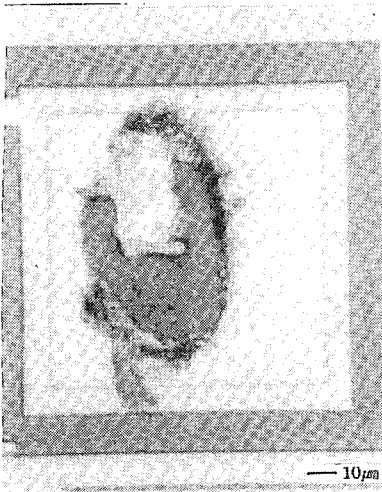


그림 4. 본딩 패드 리프트의 형상
Fig. 4. Shape of bonding pad lift.

3.2 초음파력

접합시간을 20msec, 접합힘은 5gf으로 고정하고 초음파력을 70~200unit로 조절하여 실험한 결과 70~80unit에서는 와이어의 변형폭이 좁고 불량이 증가하였다. 200unit에서는 본딩 패드 리프트 현상은 거의 없었으나, 와이어가 심하게 짓눌리고 인장값도 낮게 나타났다. 표 3에 실험결과를 나타내었고, 초음파력이 100~130unit일때 와이어의 변형상태와 인장값이 가장 안정된 조건으로 판단되며, 표에 나타낸 인장값은 평균값이다. 그림 5는 120unit/20msec/5gf의 조건에서 접합된 형상을 나타내었다.

표 3. 초음파력의 변화에 따른 접합 평가

Table 3. Evaluation of bond with the ultrasonic power

Condition (unit)	70	75	80	100	120	200
Fail(ea)	42/92	43/92	27/92	1/92	0/92	0/92
Pull(gf)	5.27	5.69	7.10	8.24	9.11	3.41
Min~Max	0.61~7.64	1.01~8.30	2.63~10.54	5.54~11.1	6.22~11.37	2.92~5.30
Standard	1.19	2.71	2.22	1.84	1.12	0.80

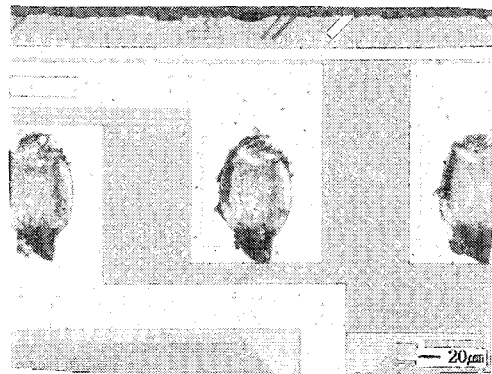


그림 5. 120unit/20msec/5g 조건의 본딩 형상
Fig. 5. Bonding shape of 120unit/20msec/5g condition.

3.3 접합시간

초음파력을 120unit, 접합힘은 5gf으로 고정하고

접합시간을 5~35msec로 조절하여 실험한 결과 시간이 10msec 이하에서는 패드 단락 및 리프트가 쉽게 발생하였고, 30msec 이상에서는 와이어의 스티치 부분이 심하게 짓눌리고 와이어의 인장값이 작게 나타난다. 접합시간의 변화에서 발생한 패드 리프트의 경우 발생된 면적이 상대적으로 초음파력에 따른 면적보다 작게 발생하였다. 표 4는 접합시간의 변화에 따른 결과를 나타내었고, 그림 6은 120unit/5msec/5gf의 조건에서 접합된 형상을 나타내었다.

표 4. 접합시간의 변화에 따른 접합 평가

Table 4. Evaluation of bond with the bond time

Condition (msec)	5	10	15	20	35
Fail(ea)	12/92	9/92	2/92	0/92	0/92
Pull(gf)	8.99	9.36	9.20	9.11	6.84
Min~	6.4~	7.32~	6.85~	6.22~	3.25~
Max	11.61	12.22	13.54	11.37	8.67
Standard	1.43	1.51	1.67	1.12	1.30

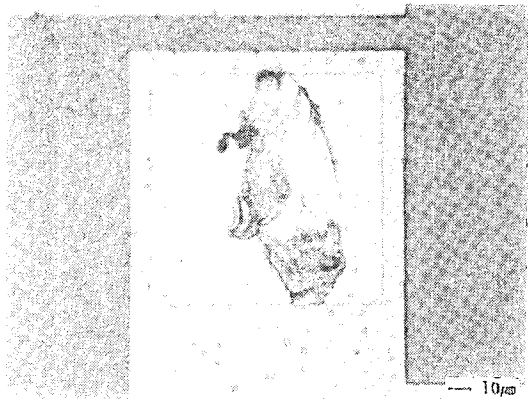


그림 6. 120unit/5msec/5g 조건의 패드 리프트 형상
Fig. 6. Pad lift shape of 120unit/5msec/5g condition.

3.4 접합힘

초음파력을 120unit, 접합시간은 20msec로 고정하고, 접합힘을 2~45gf으로 조절하여 실험한 결과 접합힘의 변화에 따라서 패드 리프트의 불량은 변화가 적었다. 그러나 접합힘의 크기가 15gf 이상 설정되면, 와이어의 스티치 크기가 크게 형성되면서 모양도 균일하지 않았고, 접합힘이 45gf 이상으로 설정되면 와이어가 짓눌리고 접합된 패드 표면에 웨지 자

국으로 인한 손상도 관찰되며 와이어 접합 불량이 연속해서 발생하여 작업 진행이 어려웠다. 표 5는 접합힘의 변화에 따른 결과를 나타내었고, 그림 7은 120unit/20msec/15gf의 조건에서 접합된 형상을 나타내었다.

표 5. 접합힘의 변화에 따른 접합 평가

Table 5. Evaluation of bond with the bond force

Condition (gf)	2	5	10	15	45
Fail(ea)	1/92	0/92	0/92	2/92	No work
Pull(gf)	8.89	9.11	9.10	7.60	
Min~	4.27~	6.22~	5.80~	3.22~	
Max	10.52	11.37	11.64	10.20	
Standard	1.85	1.12	1.23	1.88	



그림 7. 120unit/20msec/15g 조건의 본딩 형상
Fig. 7. Bonding shape of 120unit/20msec/15g condition.

3.5 초음파력과 접합힘

접합시간은 제품의 생산성에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 항목이고, 대부분의 설비에서 적정 접합 조건을 초음파력과 접합힘의 조합으로 설정하기 때문에 이 두가지 요소가 패드 리프트에 미치는 영향을 실험하였다. 접합시간을 20msec로 고정하고 초음파력을 70unit, 120unit, 200unit, 접합힘을 2gf, 5gf, 15gf으로 조절하여 패드 리프트를 확인하였다. 초음파력이 높은 조건에서는 패드 리프트의 발생 차이를 비교하기 어려웠고, 초음파력이 낮은 경우에는 불량 발생 빈도에는 별 차이가 없었으나, 면적에서는 차이를 확인할 수 있었다. 초음파력과 접합힘이 낮

게 설정된 경우에는 그림 8에서와 같이 와이어의 변형이 와이어 직경의 1.5배 이하로 형성되면서 패드 리프트 면적도 작게 형성되었다. 그러나 접합힘이 높게 설정되면 와이어의 변형이 와이어 직경의 1.5~2.5배로 양호한 모습을 보이며, 패드 리프트 면적이 와이어가 변형된 크기 만큼 크게 발생하였다. 또한 접합된 형상에서는 초음파력이 일정 수준이상으로 설정되면 접합힘은 패드 리프트와 와이어의 변형 즉 스티치 크기에는 큰 영향을 미치지 않았다. 초음파력을 200unit, 접합시간은 30msec, 접합힘은 35gf으로 조건을 크게 설정해서 작업한 경우에는 와이어의 스티치 부분이 짓눌려 찢어지는 형상으로 나타나고, 설비의 동작도 부자연스럽게 이루어져 설비와 제품에 무리가 가해진다.

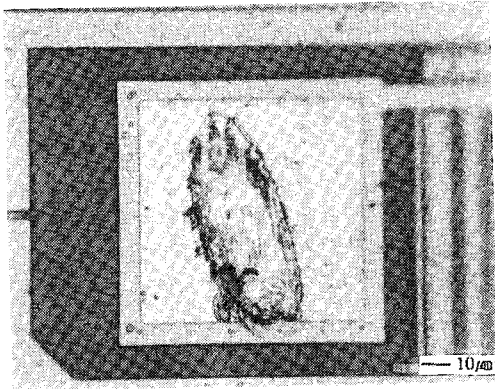


그림 8. 낮은 초음파력과 본드 힘 조건에서의 패드 리프트 형상

Fig. 8. Pad lift shape of low ultrasonic power and bond force conditions.

3.6 장비별 와이어 접합성

장비에 따른 접합성을 평가하기 위해서 K&S 1470 #1, #2 두 대의 장비에 적용하여 실험을 진행하였다. 장비의 제조 회사 및 제원은 동일하며, 단지 제작 일자에서 차이가 있다. 실험 결과 접합 조건이 장비마다 서로 다르고 불량률에서도 많은 차이가 있었다. 불량률이 발생한 시편을 분석한 결과 스티치 크

표 6. 장비에 따른 접합 평가

Table 6. Evaluation of bond with the equipment

구분	Power (unit)	Time (msec)	Force (gf)	Fail (ea)
# 1	2.10	48	36	2/92
# 2	2.72	48	41	22/92

기는 와이어 직경의 2~3배이고, 패드 리프트가 본딩된 면적 전체에서 크게 발생하였다. 표 6은 K&S 1470의 #1, #2 장비에 설정된 접합조건과 패드 리프트 불량률을 나타내었다.

4. 결 론

본 논문에서는 칩의 전극과 리드 프레임을 연결하는 웨지 본딩에서 와이어 본더의 초음파력, 접합시간, 접합힘을 3단계로 분류해서 접합 공정조건에 따른 패드 리프트 불량률에 대해 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본딩 패드 리프트에 영향을 미치는 요소는 초음파력 > 접합시간 > 접합힘 순이다.
- 2) 본딩 패드 불량은 스티치의 면적이 와이어 직경보다 2.5배 이상 큰 경우에는 거의 발생하지 않았다.
- 3) 접합된 스티치 크기가 작고, 패드 리프트 면적이 작은 경우에는 초음파력을 증가시켜서 접합된 스티치 크기를 와이어 직경의 1.5~2.5배로 조절하면 양호하였다.
- 4) 접합된 스티치 크기가 와이어 직경의 1.5~2배이고, 패드 리프트 면적이 넓은 경우에는 초음파력이 낮고, 접합힘이 높은 경우에 발생하였다.
- 5) 초음파력과 접합시간을 높게 설정하면, 알루미늄 와이어가 심하게 짓눌리고, 웨지 자국에 의한 패드 손상이 나타나며 인장강도도 낮게 나타났다.

참 고 문 헌

1. 半導體 パッケージング工學, 宇佐美 保, 日經BP社, 1997.
2. Onuki, J.Masateru, "Study of aluminum ball bonding for semiconductor", Proceeding of the 34th ECC, pp.7-12, 1984.
3. Kamijo, A.Igarashi, "Wire ball bonding and it's ball/pad interface characteristics, Proceeding of the 35th ECC, pp.91-97, 1985.
4. J.H.Lau, Chip on Board Technologies for Multi-chip Modules, Van Nostrand Reinhold, 1994.
5. M.Pecht, Handbook of Electronic Package Design, Marcel Dekker, Inc. 1991.
6. Thomas M.Moore and Robert G.McKenna, Characterization of Integrated Circuit Packaging Materials, Butterworth-Heinemann, 1993.