

Baking 처리에 따른 금선 본딩의 신뢰성 연구

朴用轍* · 金嘆鎬

한양대학교 공과대학 재료공학부

*아남반도체

A Study on the Reliability of the Au Wire Bonding due to Baking

Yong-Chul Park* and Young-Ho Kim

Division of Materials Science and Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791

*Anam semiconductor Co.

(1998년 5월 6일 받음, 1998년 8월 11일 최종수정본 받음)

초 록 baking 전후의 금선의 접합강도 변화를 연구하였다. 금선을 이용하여 Si 칩의 Al 패드와 온도금된 리드프레임 사이를 thermosonic 방법으로 본딩하였다. 본딩된 금선을 175 °C에서 시간을 변화시키면서 baking 처리하였다. 접합강도는 와이어 풀 테스트, 볼 전단 테스트, stud 풀 테스트로 평가하였다. 와이어 풀 접합강도는 baking 처리를 거처도 크게 변화하지 않았지만 파괴 유형이 baking 전에는 볼목 파괴에서 baking 후 스티치 파괴로 바뀌었다. 본딩과 baking 중 금선의 결정립이 크게 성장하였는데 이런 결정립 크기 변화와 금선 접합 부위의 기하학적인 모양에 따라 파괴 유형이 바뀌었다.

Abstract The bond strength of the Au wire before and after baking has been studied. Thermosonic bonds were made between Al pad in Si die and Ag plated lead frame using Au wire. The baking treatment was done at 175 °C for various time. The bond strength was evaluated by the wire pull test, the ball shear test, and the stud pull test. The average pull strength was not greatly affected by baking, while failure mode changed from ball neck failure before baking to stitch failure after baking. Extensive grain growth of Au wire occurred during bonding and baking. The failure site change was related to the grain size and the geometrical shape of Au wire near the bonded region.

1. 서 론

반도체 조립공정에서 칩과 리드프레임을 전기적으로 연결시켜주기 위해 고순도의 금선을 이용한 thermosonic 방법이 주로 사용되고 있다.¹⁾ 이 방법에서는 그림 1에서 보듯이 와이어 본더(wire bonder)의 EFO(Electro Flame Off)를 통해 금선을 용융시켜 동그란 볼 모양을 만든 후 비교적 높은 온도에서 초음파 에너지를 이용하여 금선의 Au와 칩 패드(pad)의 Al을 상호 반응시켜 칩 패드에 볼 형태로 본딩시키며, 리드프레임 쪽에는 본딩 툴(bonding tool)을 통해 초음파 에너지가 전달되어 열압착 형태의 기계적 방법에 의해 초승달모양으로 본딩시킨다.

금선으로 본딩된 접합부분의 초기 접합강도 및 후공정에서 일어나는 열처리에 따른 접합강도 변화 등은 칩 패키지의 수율과 신뢰도에 큰 영향을 미치므로 이런 금선의 접합강도 연구는 중요하다. Au/Al 계면에서의 금속간 화합물의 과도한 성장, 원자공공 형성 등은 금선 본딩 불량률의 주요원인으로 잘 알려져 있다.^{2,3)} 플라스틱 패키지는 공정상 약 175 °C의 온도에서 5시간이상의 post-mold baking이 필요하다.³⁾ 이런 baking 처리에 따라 금선의 접합강도는 변할 수 있으며 접합강도의 변화는 금 본딩의 신뢰도에 영향을 미친다.

따라서 본 연구에서는 baking에 따른 금선의 접합강도의 변화를 wire pull test, ball shear test, stud pull test 방법을 이용하여 종합적으로 측정하였으며 파괴 유형의 변화와 그 원인 규명에 중점을 두고 고찰하였다.

2. 실험 방법

지름이 33 μm (1.3 mil)이며 파괴하중이 14~19 gf 정도의 규격(normal wire)을 가지는 금선(미경사제품)을 KNS1484LXQ wire bonder를 이용하여 thermosonic 방법으로, 칩(chip) 패드와 Ag가 도금된 구리계 리드프레임 합금(C 7025) 사이를 본딩하였다. 목적에 따라 연신율이 각각 3, 5, 8%인 금선을 사용하였으며 본딩 길이가 2540 μm (100 mil), 3048 μm (120 mil), 3556 μm (140 mil), 또는 4064 μm (160 mil)가 되도록 조절하였다. 본딩시 heater block의 온도는 240 °C를 유지하였다. 오븐을 이용하여 금본딩된 시편을 175 °C에서 시간별로 96시간까지 baking하였다. Baking 전후의 시편을 그림 2(a)에서와 같이 Unitech micropull IV tester를 이용하여 wire pull test를 하였다. 또한 금 ball과 칩 패드 사이의 접합강도를 측정하기 위해 micropull BT 23 tester를 이용하여 ball shear test(그림 2(b) 참조)를 하였고 금선과 은이 도금된 리드프레임 사이의 접합력을 측정하기 위해 micropull BT

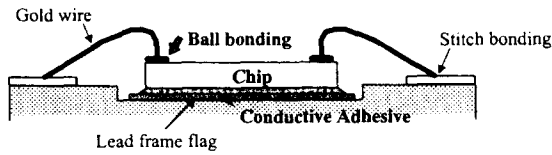


Fig. 1. Schematic diagram of gold ball bonded package.

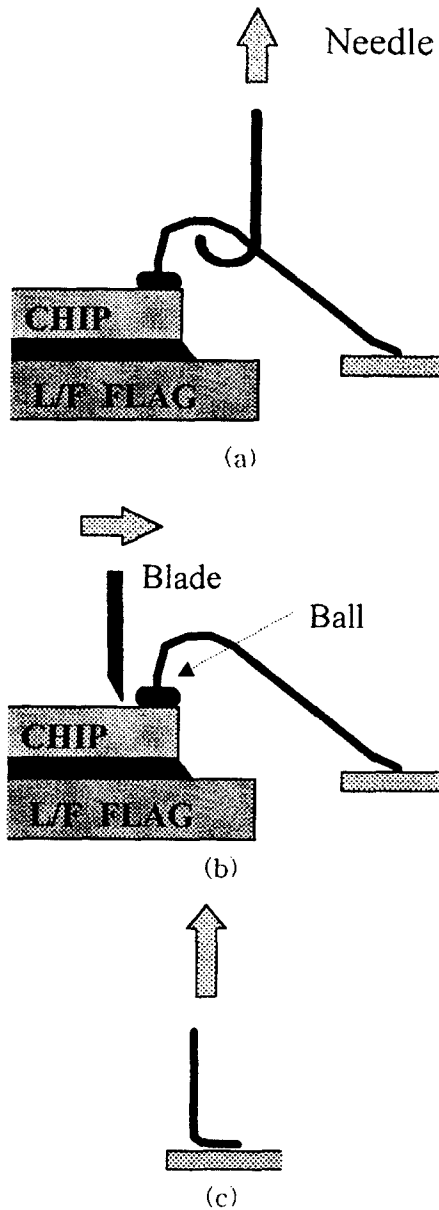


Fig. 2. Schematic diagram of the wire pull test(a), the ball shear test(b), and the stud pull test(c).

22 tester를 이용하여 stud pull test(그림 2(c) 참조)를 실시하였다.⁴⁾ 접합강도 측정은 시편당 적어도 45번 이상 실시하여 평균값, 표준편차를 구하였다. 공정능력지수(C_p , process capability)를 다음 식에 의해 계산하였다.⁵⁾

$$C_p = \frac{|\bar{x} - S|}{3\sigma}$$

여기서 S 는 규정값, \bar{x} 는 평균값, σ 는 표준편차이다. 본 실험조건에서 규정값은 wire pull test의 경우 5 g이며 ball shear test의 경우 30 g이다.

광학 현미경, SEM을 이용하여 볼목과 스티치 지역의 미세구조, 파괴 유형 등을 관찰하였다. 미세구조 관찰을 위해 칭용액으로 50~55°C의 왕수(3HCl+1HNO₃)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Baking 전후의 wire pull test 결과

본딩 길이가 3556 μm (140mil)이며 연신율이 3, 5, 8%인 시편을 baking 전과 6시간 baking 한 후에 wire pull test한 결과를 표 1에 나타내었다. Baking 전의 풀 강도(pull strength)는 10-11 g 정도로서 정상적으로 접합되어 있을 때 얻어지는 값과 일치하였다.³⁾ 연신율에 따라 평균 접합강도는 큰 차이가 없으나 연신율이 커지면 약간 증가하는 경향을 보였다. 이는 연신율이 커짐에 따라 접합강도 시험도중 loop height가 증가하여 풀 접합강도에 영향을 미쳤기 때문이다.³⁾ Baking 전후의 접합강도를 동일한 연신율을 가지는 시편에서 각각 비교하면 baking 후에 모든 시편에서 풀 접합 강도가 약간 증가했으나 증가폭은 크지 않았다. 그러나 baking 전후에 있어서 가장 큰 변화는 파괴 유형의 변화였다. Baking 전에는 대부분의 금선이 볼목에서 파괴(mode 1)되나 baking 후 스티치 파괴유형(mode 2)으로 변화되었다. 또한 연신율이 3%, 5%인 시편에서는 접합강도가 약간 상승하고 표준 편차가 감소하여 공정능력지수는 다소 향상됐으나 공정능력 안정수준의 최소치인 1.33⁶⁾보다 매우 낮으며 8% 연신율의 경우 공정능력지수는 오히려 감소됨을 볼 수 있다.

금선 길이의 영향을 알기 위해 연신율이 3%이고 금선의 길이가 각각 2540 μm (100 mil), 3048 μm (120 mil), 3556 μm (140 mil)인 시편의 wire pull값을 비교한 결과를 표 2에 나타내었다. Baking 처리는 앞 절에서와 마찬가지로 175°C에서 6시간하였다. 금선의 길이가 짧은 경우 baking 전의 풀 접합강도는 증가하고 공정능력지수도 증가하는데 이는 연신율의 영향과 마찬가지로 wire pull test시 형성되는 사이 각이 커져 접합강도에 영향을 미쳤기 때문이다.³⁾ Baking 전후의 접합강도변화는 2540 μm (100 mil) 시편과 3556 μm (140 mil) 시편에서 약간 상반되는 결과를 보여주고 있으나 보통 얻어지는 전형적인 값과 큰 차이를 보이지 않았다.^{3,6)} 그러나 baking 후 파괴유형은 표 1과 마찬가지로 볼목파괴에서 스티치 파괴로 바뀌었다.

스티치 지역에서 파괴되는 유형은 일반적으로 좋지 않다. 즉 볼목파괴는 die coating 또는 저응력 몰딩 컴파운드 적용 등을 통해 해결할 수 있어 크게 문제되지 않으나 stitch 지역의 파괴는 그 대책이 별로 없으므로 이런 파괴 유형은 될 수 있는 한 줄이는 것이 좋다. 그러므로 baking 후 파괴 유형이 볼목부근 파괴에서 stitch 파괴로 변화한다는 사실은 baking 공정이 신뢰도에 심각한 영향을 줄 수 있다는 것을 말해준다.

Table 1. Wire pull test results before and after baking for 6 hours at 175 °C.

연신율	3%		5%		8%	
	bake 전	bake 후	bake 전	bake 후	bake 전	bake 후
baking 여부	bake 전	bake 후	bake 전	bake 후	bake 전	bake 후
접합 강도 (g _i)	10.06	10.87	10.18	11.38	10.88	11.30
표준 편차 (g _i)	1.98	1.88	1.93	1.74	1.47	1.99
공정능력지수	0.85	1.04	0.89	1.22	1.33	1.06
파괴유형* (회)	mode 1 : 43	mode 1 : 0	mode 1 : 42	mode 1 : 3	mode 1 : 39	mode 1 : 11
	mode 2 : 1	mode 2 : 40	mode 2 : 2	mode 2 : 34	mode 2 : 4	mode 2 : 28
	mode 3 : 1	mode 3 : 5	mode 3 : 1	mode 3 : 8	mode 3 : 2	mode 3 : 6

*Note) mode 1 : 볼록 부근에서의 파괴
 mode 2 : Stitch 지역에서의 파괴
 mode 3 : 금선의 중간 지역에서의 파괴

Table 2. The wire pull test results with various wire length before and after baking.

bond 길이	2540 μm (100 mil)		3048 μm (120 mil)		3556 μm (140 mil)	
	bake 전	bake 후	bake 전	bake 후	bake 전	bake 후
baking 여부	bake 전	bake 후	bake 전	bake 후	bake 전	bake 후
접합 강도 (g _i)	13.55	11.70	11.37	8.26	10.06	10.87
표준 편차	1.32	2.11	1.51	1.51	1.98	1.88
공정능력지수	2.16	1.06	1.41	0.72	0.85	1.04
파괴유형* (회)	mode 1 : 60	mode 1 : 17	mode 1 : 27	mode 1 : 0	mode 1 : 43	mode 1 : 0
	mode 2 : 30	mode 2 : 73	mode 2 : 63	mode 2 : 90	mode 2 : 1	mode 2 : 40
					mode 3 : 2	mode 3 : 5

(*파괴유형은 Table 1의 Note를 참조)

Table 3. Wire pull test result as a function of baking time.

bake time (hr)	0	3	6	9	12	24	48	96
접합강도 (g _i)	9.51	9.80	8.66	9.63	9.30	9.68	9.95	10.46
파괴유형*								
mode 1 (%)	100	45	0	0	0	0	0	0
mode 2 (%)	0	55	100	100	100	92	77	85
mode 3 (%)	0	0	0	0	0	8	23	15
공정능력지수	1.33	1.06	0.92	0.82	0.96	0.86	1.02	1.27

(*파괴유형은 Table 1의 Note를 참조)

3.2 Baking 시간에 따른 wire pull test 결과

연신율이 8%이고 금선의 길이가 4064 μm (160 mil) 인 시편에 대하여 baking 시간에 따른 접합강도, 공정능력지수 및 파괴유형을 측정된 결과를 표 3에 나타내었다. Baking 시간이 증가해도 평균접합강도가 크게 변화하지 않으나 표준 편차값 증가에 따라 공정능력지수는 불안정한 수준인 1 이하인 경우도 많이 보인다.⁵⁾ 또한 앞에서 관찰하였듯이 3시간 baking한 시편부터 파괴유형이 변하기 시작하여 6시간부터는 완전히 스티치파괴로 변화하였다. 24시간 이후에는 금선 중간부분에서 파괴되는 mode 3 형태의 파괴가 일부 관찰되는데 이는 열처리에 따라 금선의 결정립이 특정 부위에서 부분적으로 조대하게 성장되어 그 부분의 강도가 떨어지기 때문이며 이런 현상은 시편에 따라 불규칙적으로 발생하는 것으로 생각된다.

3.3 Baking 시간에 따른 ball shear test 및 stud pull test 결과

Baking 시간에 따른 Au와 Al pad 계면 (ball neck 쪽 계면)의 접합강도를 측정하기 위해 연신율이 8%인 금선을 사용하여 ball shear test한 결과를 표 4에 나타내었다. 평

균 접합강도는 baking 함에 따라 증가하다가 9시간 후 최대값을 가지나 그 이후는 크게 증가하지 않았다. 공정능력지수도 baking 시간에 따라 증가하였다. 이런 ball shear test는 wire와 pad 계면의 Au-Al의 접합상태를 평가할 수 있는데³⁾ 열처리함에 따라 Au-Al간의 상호확산에 의해 계면이 안정해져 접합강도가 증가하며 공정능력도 향상됨을 알 수 있다. 파괴유형을 보더라도 baking 처리에 따라 신뢰성이 좋은 mode 1로 변화하였다. 특이할 사항은 96시간 baking한 경우 칩 부근에서 산화물을 노출시키는 바람직하지 않는 유형이 관찰되는데 이는 Au-Al의 과도한 상호확산으로 중간화합물 층이 매우 두꺼워지고 순수한 Al층이 얇아져²⁾ 상대적으로 산화물 층이 약해짐으로써 산화물이 분리되거나 Si층이 노출되는 것으로 생각된다. 또한 리드프레임 부근 Au-Ag간의 접합상태를 평가하기 위해 baking 전후에 stud pull test를 하였다. Baking 전에는 평균접합강도가 8.3 g_i이었는데 6시간 baking 후에는 평균접합강도가 6.9 g_i로 감소하였다. 이는 스티치 부근의 접합은 ball neck 부근과 달리 baking 함에 따라 약화됨을 말해준다. 이 경우 Au/Ag의 접합계면에서 분리되는 것이 아니라

Table 4. Ball shear test results.

bake time (hr)	0	3	6	9	12	24	48	96
접합강도 (g)	52.4	58.7	59.3	63.9	61.6	63.2	58.2	53.6
파괴유형*								
mode A (%)	23	57	100	100	100	100	100	66
mode B (%)	77	43	0	0	0	0	0	0
mode C (%)	0	0	0	0	0	0	0	34
공정능력지수	1.20	1.44	1.53	1.62	1.56	2.09	1.94	0.74

*Note) mode A : Bond pad에 금 찌꺼기를 남기는 신뢰성 높은 유형
 mode B : Au-Al 금속간화합물을 Bond pad에 남기는 유형
 mode C : Oxide나 Bare silicon이 노출되는 유형

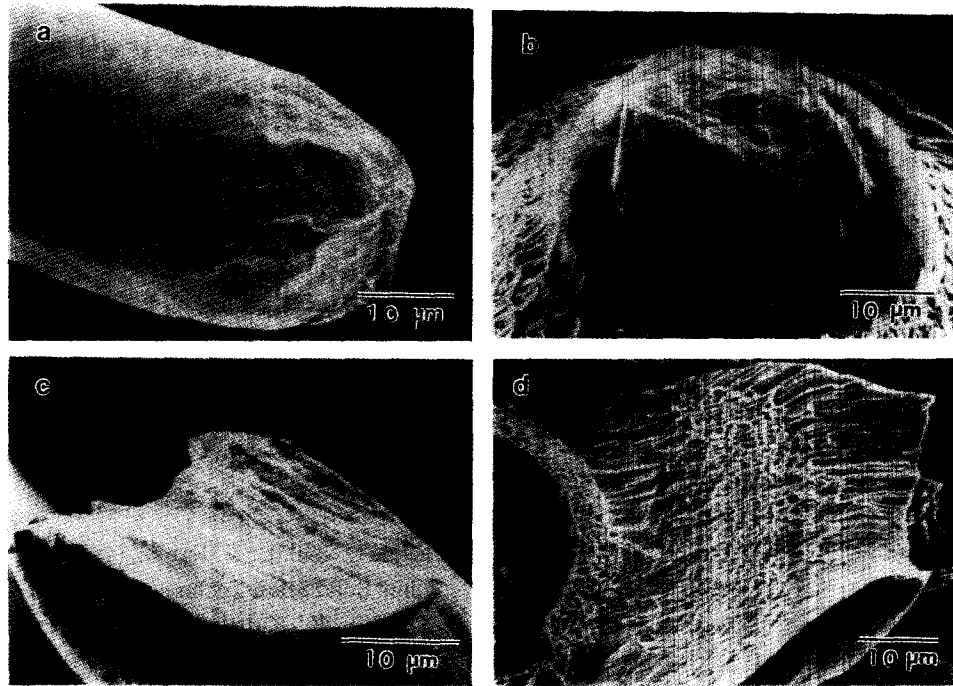


Fig. 3. SEM fractography showing Au wire failure; (a) broken wire (b) pad side in ball neck failure (c) broken wire (d) lead frame side in stitch failure.

스티치부근 금선이 파괴되었다.

3.4 볼록 부분과 스티치 부분의 파괴기구

그림 3은 wire pull test 후 파괴된 볼록과 스티치 부분을 SEM으로 관찰한 결과인데 ball neck 근처에서 파괴가 일어났거나 스티치 쪽에서 파괴가 일어나거나 상관없이 금선이 심하게 변형된 모양을 보여준다. 이로부터 mode 1과 mode 2의 파괴에서는 계면의 파괴가 아닌 금선 자체가 소성 변형되어 일어난 연성파괴임을 알 수 있다.

3.5 Baking 처리에 따른 금선의 결정립 크기 및 파단하중 변화

Baking에 따른 금선의 결정립 크기 변화 및 파단하중을 측정한 결과를 표 5에 나타내었다. Baking함에 따라 결정립 크기는 증가하고 이에 따라 금선이 연화되어 파괴하중이 떨어졌다. 이 표로부터 강도는 금선의 결정립 크기에 직접적인 영향을 받는 것을 알 수 있다. Baking전과 6시간 baking한 후의 결정립의 크기 변화를 표 6에 나타내었다. Baking전의 경우 금선 중앙부근과 스티치부근의 결정립은 작으나 볼록의 결정립은 크게 성장했음을 알 수 있다. 전형

Table 5. Grain size and breaking load changes due to baking.

baking time (hr)	grain size (μm)	breaking load (g)
0	2.5	16.5
6	5.1	10.8
12	7.0	10

Table 6. Average grain size in the bonded wires before and after baking.

site	before baking	after baking
wire center	2.5 μm	5.1 μm
ball neck	6.5 μm	7.2 μm
stitch	2.5 μm	7.0 μm

적인 볼록 부근의 미세구조를 그림 4에 나타내었다. 볼록 밑 부분은 용융된 후 다시 응고된 구조를 보여주며 볼록 근처는 ball이 형성될 때 온도가 상승하므로 완전히 어닐링되어 재결정, 결정립 성장이 일어났음을 보여준다.⁷⁾ Baking 후 볼록 부근의 결정립의 크기 변화는 거의 없었다. 이는 ball 본딩시 온도가 증가하여 결정립이 크게 성장했으며 결



Fig. 4. A typical optical micrograph showing the Au wire microstructure near ball neck region.

정립이 이미 조대화된 후에는 결정립 성장에 대한 구동력이 작아져 그 다음의 baking 과정에서 더 이상 성장이 일어나지 않았음을 의미한다. 반면 금선 중앙 부근과 stitch 부근의 결정립은 크게 성장하였다. 더욱이 stitch 부근은 bonding 도중 압착에 의한 소성변형을 받았으므로 이에 따라 결정립이 더 빨리 성장하였다. 결정립의 크기가 상대적으로 작은 경우 결정립이 빨리 성장하는 이유는 결정립계의 면적을 줄이려는 구동력이 크기 때문이다.

3.6 파괴유형의 변화원인 분석

표 1-표 3의 나타낸 wire pull test 결과는 금선의 길이나 연신율에 관계없이 파괴유형이 거의 동일한 경향을 보여주고 있다. 즉 baking 전에는 볼록 근처에서 파괴가 일어났으나 baking 후 대부분 stitch 부근에서 파괴되었다. 또한 파괴계면을 관찰한 SEM 사진(그림 3)은 금선의 파괴가 금선 자체의 연성파괴임을 보여주므로 이는 계면문제가 아니라 금선의 강도와 관련된 문제임을 말해준다. Ball shear test 결과로부터도 baking함에 따라 Au/Al계면이 안정됨을 확인할 수 있다. 볼록의 목은 본딩 도중 결정립이 조대화되었으므로 가장 연약한 부분이다.³⁾ 그러므로 wire pull test할 때 패드 표면이 오염되거나 금선과 패드의 접합 계면이 매우 불량한 경우를 제외한 대부분의 경우 볼록의 목 부분에서 소성 변형되어 끊어질 것이다. 그림 3의 SEM 관찰 결과에서 보듯이 금선 자체가 연성파괴로 끊어진 현상은 위의 설명을 입증하는 결과이다. 그런데 baking함에 따라 금선의 온도가 증가하게 되므로 금선의 결정립은 성장할 것이다. 특히 본 시편처럼 고순도 금속의 경우 비교적 낮은 온도에서 열처리하더라도 결정립이 쉽게 성장할 수 있다.⁸⁾ 결정립이 성장하여 결정립 크기가 비슷해진 경우 볼록의 단면적은 금선의 단면적보다 크므로 pull test할 때 가해지는 하중을 더 잘 견딜 것이다. 오히려 wire의 stitch 부근의 단면적이 볼록 근처나 금선 자체 단면적보다 더 작으므로 이곳이 가장 약할 것이다. 그러므로 baking후 많은 경우 이곳에서 끊어지게 된다. Baking함에 따라 stitch 부근의 강도가 감소하는 stud pull test 결과도 이런 설명을 뒷받침한다. 고강도 금선을 사용한 경우 금본딩 후 baking하더라도 파괴유형의 변화가 생기지 않았는데 이는 고강도를 얻기 위해 첨가한 합금원소로 인해 낮은 온도에서 baking하더라도

도 금선의 중앙부근이나 스티치부근의 결정립 성장이 억제되었기 때문이다.⁹⁾

4. 결 론

금선을 이용하여 thermosonic 방법으로 칩 패드와 구리계 리드프레임사이를 접합시킨 다음 금선의 접합강도를 baking 전후에 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Baking 전 평균 풀 접합강도는 정상적으로 접합되고 있을 때 얻어지는 값과 비슷하였으며 금선의 연신율, 본딩 길이에 대한 영향은 미미하였다. Baking 후 풀 접합강도는 시편에 따라 약간 증가 또는 감소하였으나 큰 차이가 없었다. 그러나 파괴유형이 baking 전의 볼록 파괴에서 baking 후의 스티치파괴로 바뀌는 특이한 점이 관찰되었다. 파괴기구는 볼록과 스티치 파괴 모두 계면의 파괴가 아니라 금선 자체의 연성파괴였다.

2) Ball shear test 결과를 보면 볼록의 Au와 Al 패드 계면의 강도는 baking 함에 따라 약간 증가하였으며 공정능력 지수도 증가하여 안정한 계면이 형성되었음을 알 수 있었다.

3) Wire pull test 결과에서 관찰한 파괴유형의 변화는 금선의 결정립 크기 변화와 직접적인 관계가 있었다. Baking 전에는 bonding할 때 열을 받아 볼록 근처의 결정립이 먼저 조대화되어 이곳이 가장 강도가 낮아 파괴되었으며 baking 후에는 스티치부근의 결정립도 성장하게 되어 단면적이 가장 작은 이곳에서 파괴가 일어났다.

참 고 문 헌

1. P. M. O'Neill, D. H. Eaton, T. Phus, F. Loh, and B. Chün, *Solid State Technol.*, **40**, 87 (1997).
2. T. Uno, K. Tatsumi, and Y. Ohno, *Proc. Joint ASME/JSME Adv. in Electro. Pack.*, W. T. Chen and H. Abe (Eds.), Vol. 1-2, pp 771, ASME, New York, (1992).
3. G. G. Harman, *Reliability and Yield Problems of Wire Bonding in Microelectronics*, ISHM, Reston, VA, (1991).
4. Y. C. Park, MS Thesis, Hanyang Univ. (1995).
5. E. C. Hwang, *Quality Management*, Backyoungsa, Seoul (1996).
6. S. J. Hu, R. Lim, and G. Y. Sow, *IEEE Trans. Comp. Pack. Manufact. Technol.* **A18**, 230, (1995).
7. P. A. Totta, S. Khadpe, N. G. Koopman, T. C. Reiley, and M. J. Sheatter, *Microelectronics Packaging Handbook*, R. R. Tummala, E. J. Rymaszewski, and A. C. Kloppfenstein (Eds.), Vol. 2, pp. II-129, Chapman & Hall, New York (1997).
8. R. E. Reed-Hill and R. Abbaschian, *Physical Metallurgy Principles*, 3rd ed., pp. 227, PWS-KENT Pub. Co., Boston, (1992).
9. Y. C. Park and Y.-H. Kim, *Adv. in Electro. Pack.* - 1997, E. Suhir, Y. C. Lee, M. Shiratori, and G. Subbarayan (Eds.), EEP-Vol. 19-2, 1755, ASME, New York (1997).