

솔더를 이용한 웨이퍼 레벨 실장 기술

이은성^{1,2}, 김운배², 송인상², 문창렬², 김현철¹, 전국진¹

¹ 서울대학교 전기전자 컴퓨터 공학부, ² 삼성종합기술원 MEMS Lab

초록

본 연구에서는 솔더를 이용한 새로운 웨이퍼 레벨 실장 기술을 제안하였고 순수 주석도금이 솔더로서 이용되었다. 제안된 실장 기술의 가장 큰 차별성은 레고 조립처럼 어셈블리 한 후에 솔더 리프로우를 통해 측면 접합한다는 것이다. 이런 측면 접합 기술은 기본적으로 표면 상태에 매우 둔감하다는 장점과 비아를 통한 전기적 연결 시 끝 단의 노칭(notching)에 의한 전기적 연결 끊김 문제를 해결할 수 있다. 접합 강도는 전단 응력을 측정하여 평가하였고, 실장의 기밀성(Hermeticity)은 가압 헬륨 측정법을 통해서 평가되었다. 실험결과로부터 본 실장 기술은 고 수율 웨이퍼 레벨 실장 기술의 대안이며 실행 가능성을 확인할 수 있었다.

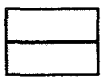


1. 서론

최근 멤스 부품에 대한 고 수율 웨이퍼 레벨 실장 기술이 크게 요구되어지고 있는 상황이며 [1,2] 이는 멤스 기술의 성공을 비롯하여 사업화에 대한 큰 걸림돌이 되고 있다. 멤스 기술이 다양한 분야로의 응용이 많은 연구자에 의해 연구되고 그에 따른 실장 기술 역시 다양하게 진행되어온 것은 사실이나 여전히 멤스 부품은 그들이 제대로 작동되고 사용될 환경(harsh environment)에 신뢰할만한 실장을 이루지 못하고 그 환경에 직접 노출되어 있다. 이러한 상황에서 멤스 부품에 대한 실장기술에 있어서 가장 중요한 이슈는 접합 방법 뿐만 아니라, 실장의 기밀성(Hermeticity)과 접합 강도라 할 수 있다.

웨이퍼 접합 기술은 표 1 에서처럼 그 접합 계면 형태에 따라 크게 두 가지로 분류된다. 일반적으로 유리-실리콘 어노딕 접합 [3], 실리콘 직접 접합 [4], 유테틱 접합 [5], 그리고 adhesive (glass-frit [6], 솔더 [7,8], 폴리머 [9]) 접합 방법이 기밀 실장 기술로 널리 사용되고 있다. 표 1 분류에서, "surface" 접합 기술은 표면 평탄도가 $400 \text{ \AA}_{\text{rms}}$ 이하이어야 한다는 요구조건 때문에 실장 내부에서 외부로의 피드스루(feedthrough) 형성에 어려움이 있다. 실리콘 직접 접합의 경우는 보통 800°C 이상의 고온에서 이루어지므로 멤스 부품에 유해할 수 있다. 최근에는 많은 연구자들에 의해 고온 접합 공정에서의 열적 부담을 해결 하고자 국부 접합 기술이 보고되어지고 있다 [7,10]. 이에 반해 "interlayer" 접합 기술은 상대적으로 표면 평탄도에 민감하지 않는 장점을 가지나 솔더 본딩에서 솔더 프로우에 따른 추가 면적이 필요로 하게 되고 adhesive 접합에서는 outgas 를 피할 수 없다는 단점을 갖는다. 그러나 일반적으로 표 1의 모든 접합 기술이 공통적으로 갖는 문제는 공정 중에 수반되는 웨이퍼의 구부러짐에 의해

수율이 급격히 떨어지게 된다는 것이다.(4 인치 웨이퍼의 경우, 웨이퍼 구부러짐은 수 마이크로에서 수백 마이크로 정도에까지 이른다.) 본 연구에서는 솔더를 이용한 새로운 웨이퍼 레벨 실장 기술을 제안하며 본 기술은 실장 수율을 향상시키고 비 평탄 표면의 웨이퍼 실장에 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

표 1. 웨이퍼 접합 기술의 비교

Techniques		Advantages	Drawbacks
"Surface" Bond		hermetic, vacuum	flat surface required
surface 	anodic	strong bond	high V (~1kV)
	fusion(direct)	strong bond	high temp.(>800°C)
	surface-activated	varies	varies
"Interlayer" Bond		hermetic, non-flat OK	specific material
metallic 	eutectic (Au/Si)	hermetic, vacuum, strong bond	flat surface required
	solder	self-aligning	solder flow
	Thermo-compression	non-flat OK	high force, crack
insulating 	glass-frit	hermetic, vacuum, strong bond	large area, med. high temp
	adhesive	versatile	outgassing
	photo-adhesive	narrow pattern	outgassing

2. 실험 방법

본 연구에서 제안된 실장 기술의 원리는 기존의 일반적인 실장 기술과 비교하여 그림 1 에서 기술하였다. 알려진 바대로 솔더는 리프로우 시에 흡착 층을 따라 웨팅(wetting)되므로 바닥이 원 형태인 경우, 표면장력에 의해 그림 1 의 (a)에서와 같이 볼 형성이 이루어진다. 이러한 자동 정렬 메커니즘은 플립 칩 접합 기술에 널리 사용되고 있다 [11,12]. 본 연구에서 제안된 접합 기술의 큰 차별성과 장점의 원리는 그림 1 의 (b)에 표현되어 있다. 대부분의 기존 실장 기술은 그림 1 의 (b)의 왼쪽과 같이 접합 면과 피 접합 면이 서로 마주보고 있으며 서로 맞닿아야만 접합이 이루어 지는 "intimate contact" 원리인 반면, 제안된 실장 기술은 그림 1 의 (b)의 오른쪽과 같이 접합 면과 피 접합 면이 솔더에 의해 끼워진 상태에서 측면 접합되는 원리를 갖는다. 즉, 솔더 리프로우 시에 솔더는 UBM 웨팅 층을 따라 흐르다가 피 접합 면의 수직 웨팅 층을 만나면서 접합이 시작된다. 이러한 방법을 통하면 접합 면끼리 서로 인접하지 않아도 접합은 자연적으로 완성되게 되므로 접합면의 표면상태에 충분히 둔감하다는 장점을 가질 수 있다. 또한 접합 면이 커지는 효과를 얻을 수 있으므로써 접합강도의 향상을 가져올 수 있다.

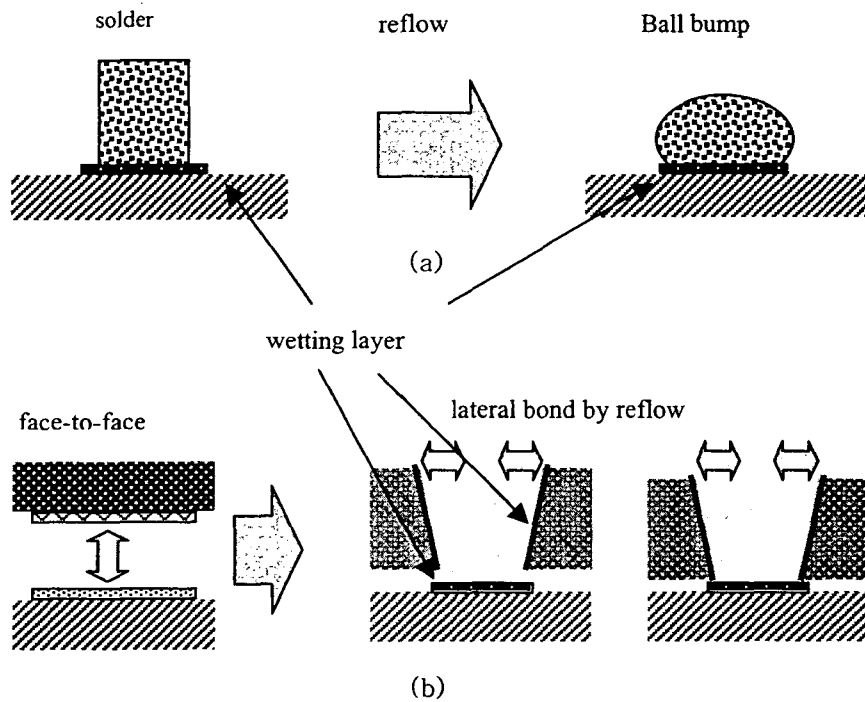


그림 1. (a) 솔더 리프로우 현상 (b) 기존의 접합 원리(좌), 제안된 측면 접합 방법(우)

본 연구에서 제안된 접합 기술의 실현 가능성을 확인하기 위해 제작한 구조의 제조 공정은 그림 2와 그림 3, 그림 4에 묘사된다. 기본적으로 뚜껑(cap) 웨이퍼 공정(그림 2), 바닥 웨이퍼 공정(그림 3), 어셈블리 및 접합(그림 4)의 세가지 공정으로 나눌 수 있다.

뚜껑(cap) 웨이퍼는 300 마이크론 두께의 양면 폴리싱 웨이퍼를 사용하였고 TMAH 습식 식각을 통하여 비아 홀의 일부 및 캐버티(cavity)를 형성하고 1 마이크론 PECVD 산화막을 입힌 후, 스프레이 코팅으로 감광막을 도포하여 패터닝된 트렌치(trench)와 비아 홀 구조를 에칭한다. 이후 바로 산화막을 언더컷(under-cut)에칭하고 Cr(400Å)/Au(4000Å)의 웨딩 층을 스퍼터링하는 방법을 통해 리프트 오프를 구현하였다 (그림 2 (a)~(i)).

바닥 웨이퍼는 300 마이크론의 양면 폴리싱 pyrex 글래스를 사용하였고 마찬가지로 Cr(400Å)/Au(4000Å)의 UBM 웨딩 층을 증착하였다. 여기서 사용된 Pyrex 글래스는 본딩 후 그로스 리크(gross leak) 테스트를 위해 하부 기관으로 사용되었다. 솔더 도금을 위한 몰드는 THB 151N 감광막을 이용하여 80 마이크론 두께로 패터닝 되었다. 패턴이 열린 영역의 잔유물 제거를 위해 O₂ ashing 을 수행하고 전기도금으로 70 마이크론의 주석을 증착하였다. 마지막으로 몰드를 제거하고 도금막의 씨드(seed)층을 제거하여 바닥 웨이퍼를 제조하였다 (그림 3 (a)~(e)).

제작된 뚜껑 웨이퍼와 바닥 웨이퍼는 각기 진공 지그로 평탄화 시킨 상태에서 웨이퍼 레벨 정렬하여 솔더가 트렌치 및 비아에 끼워지도록 하였다. 이후, 정렬이 틀어지지 않도록 고정 클립으로 두 웨이퍼를 고정시키고 질소 분위기의 리프로우 오븐에서 접합을 수행하였다. 접합은 주석의 녹는점보다 다소 높은 250°C 에서 각각 0.5 분과 3 분 수행하였다 (그림 4). 여기서 웨이퍼 레벨 정렬과 조립이 마치 어린아이들이 장난감으로 조립하는 기구의 브랜드 이름

“레고”와 비슷하여 본 연구에서 제안한 접합 기술의 정렬 방법을 “LEGO-kike assembly”로 명명하였다.

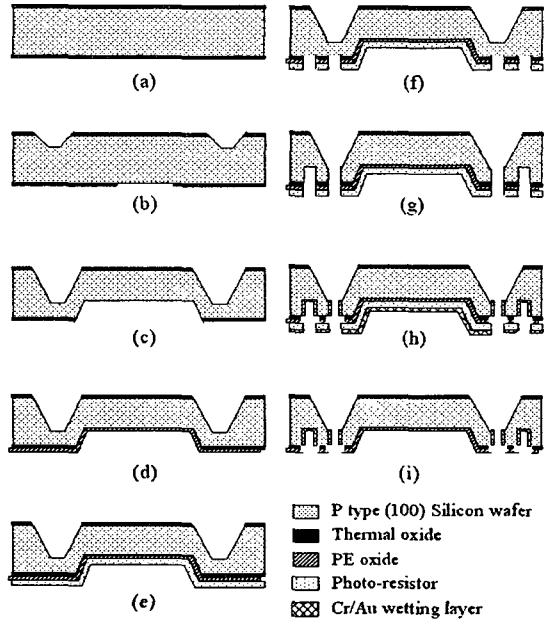


그림 2. 뚜껑(cap) 웨이퍼 제작 공정

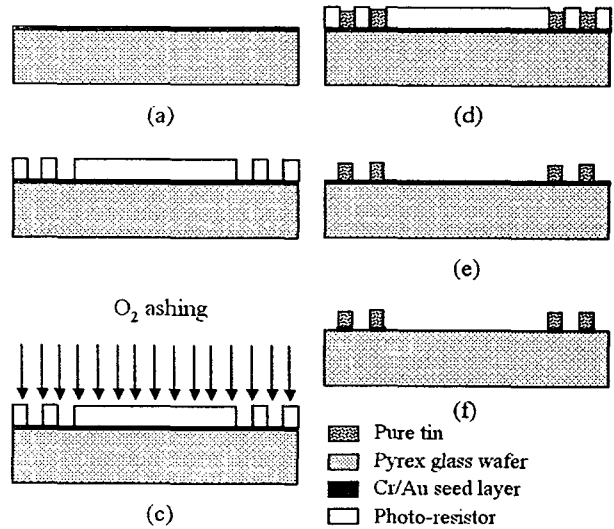


그림 3. 바닥 웨이퍼 제작 공정

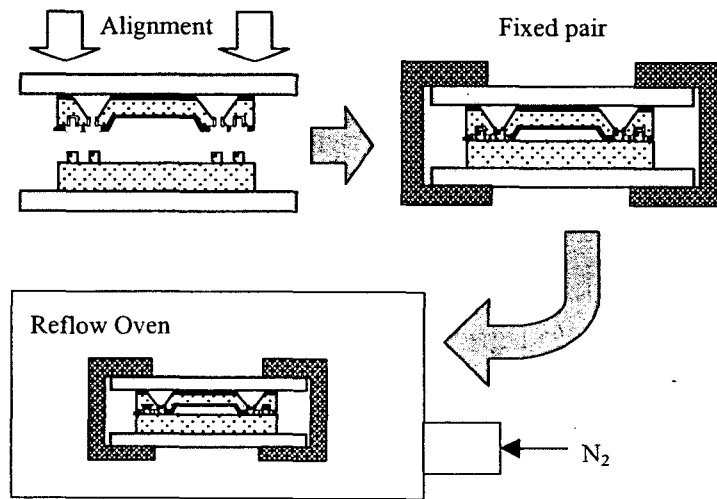


그림 4. 웨이퍼 레벨 정렬 및 리프로우 접합 (“LEGO-like assembly”)

3. 실험결과 및 고찰

접합된 웨이퍼의 단면(그림 5 (a))과 파단 접합면(그림 5 (b))은 그림 5 에서와 같다. 그림 5 (a)에서와 같이 50 마이크론 선폭의 셀 A 와 150 마이크론의 셀 B , 그리고 100 마이크론의 셀 모두 실장이 잘 되어 있음을 보여준다. 접합된 웨이퍼는 전단응력과 실장의 기밀성이 평가되었다. 전단응력 평가는 일정한 실장길이(4800 마이크론)와 각기 다른 라인 폭(50, 100, 150 마이크론)에

대해 평가되었다. 전단응력 평가 방법과 평가 결과는 그림 6 에 나타나 있다. 결과적으로 0.5 분간 접합 시간을 가진 W1W1*웨이퍼가 3 분의 접합시간을 가진 W2W2*웨이퍼의 접합력 보다 우수한 특성을 보였다. 오히려 긴 접합시간을 가진 웨이퍼의 접합 강도가 작게 된 이유는 웨딩 층의 솔더 속으로의 확산에 따른 막 자체의 접합력 저하가 그 원인이었던 것으로 판단된다. 그림 5 의 (b)에서처럼 접합 파단면을 자세히 들여다보면 웨이퍼와 접합 솔더 층이 날카롭게 구분되어 접합이 떨어진 것을 볼 수 있다. 이는 웨딩 층으로 Cr/Au 의 Au 가 주석(Sn)층으로의 확산에 의해 Au 층이 사라짐으로써 막 자체의 기관과의 접합력이 급격히 약해진 것으로 사료된다.

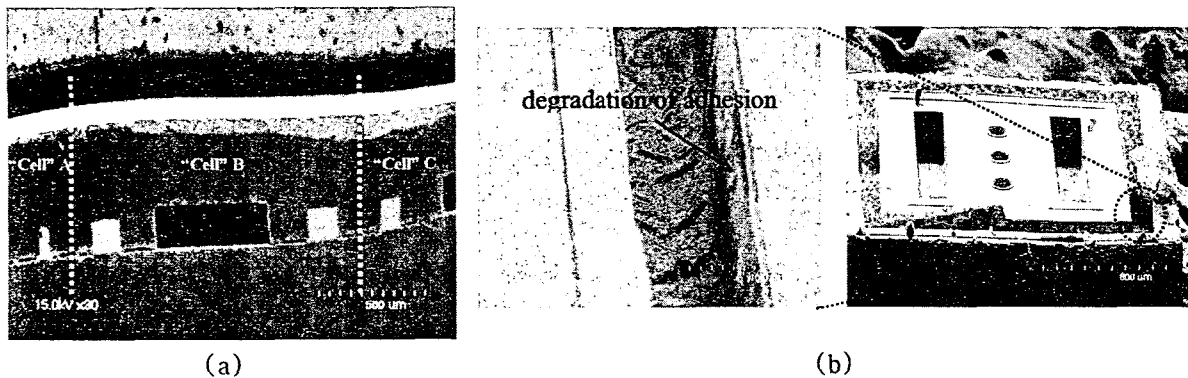


그림 5. (a) 접합 웨이퍼의 단면 (b) 접합 웨이퍼의 파단 접합면

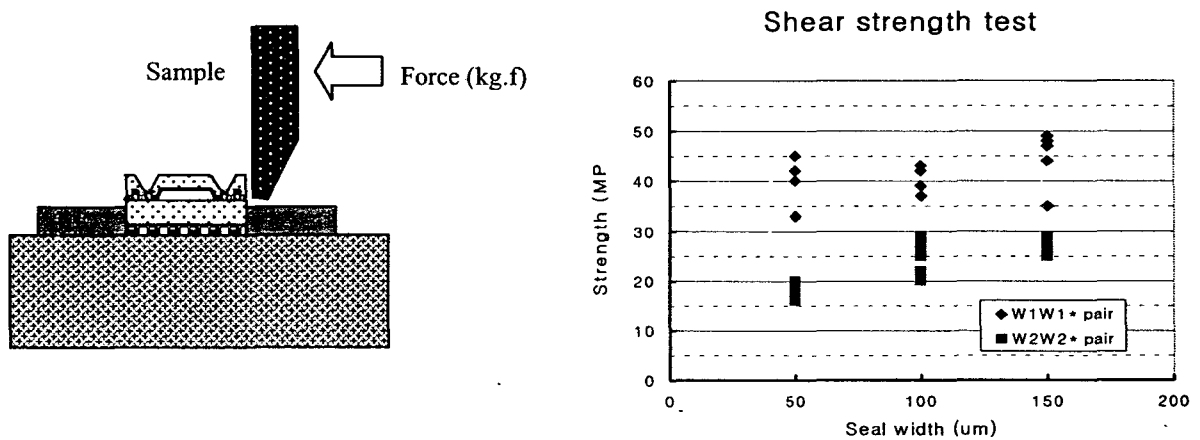


그림 6. (a) 전단응력 평가 방법, (b) 접합 웨이퍼의 공정 조건에 따른 전단응력

접합된 웨이퍼는 실장의 기밀성 정도를 확인하기 위하여 가압 헬륨 누설 특성 방법을 이용하여 평가되었다. 평가는 MIL-STD 883E 의 테스트 조건 A2 를 이용하여 평가되었으며, 측정된 헬륨 누설량은 2.0 E-9 mbar-1/sec He 으로 등가 공기 누설량은 6.05 E-10 mbar-1/sec Air 였으며, 이 결과로부터 MIL-STD 883E 규정에 따라 본 웨이퍼 레벨 실장 기술은 기밀(hermetic)실장이라고 말할 수 있다. 측정은 접합된 웨이퍼를 각각 날개의 셀로 다이싱한 후에 boiling IPA 에 20 분 담그고 급히 냉각 시켜서 pyrex 글래스를 통해 실장 내부를 현미경으로 확인하는 그로스(gross) 누설평가를 통해 누설이 없음이 확인된 100 개의 셀에 대해서 He 미세(fine) 누설 특성을 측정하였다. 가압 조건은 7 기압 5 시간이었으며, 측정시간은 5 분, 캐버티(cavity) 체적은 1.5 E-4 cc 이었다.

4. 결론

본 연구에서는 기존 접합 방법과 달리 측면으로 접합이 이루어지는 새로운 웨이퍼 접합 실장 기술이 제안되었다. 본 기술은 “LEGO-like assembly”와 솔더 리프로우를 통해 측면 접합이 이루어지게 되어 있으며, 기존 방법에 비해 접합면 평탄도에 훨씬 둔감할 뿐만 아니라 비아를 통한 전기적 연결의 노칭(notching) 문제 및 솔더 접합 방법에서의 솔더 흐름 문제를 해결할 수 있는 장점을 갖는다. 또한 접합 강도 특성은 수십 Mpa 정도의 전단 강도와 2.0 E-9 mbar-1/sec He의 기밀성을 보임으로써 제안된 접합 기술이 고 수율 웨이퍼 레벨 실장 기술로서 한 대안이 될 수 있음을 보여주었다.

후기

본 연구는 산업 자원부의 차세대 신기술개발 사업, CATS(Center for Advanced Transceiver systems) 프로그램의 지원을 받았음을 알려드립니다.

참고문헌

- [1] Chad B. O' Neal, Ajay P. Malshe, Sushila B. Singh, and W.D. Brown, “Challenges in the Packaging of MEMS”, International Symposium on Advanced Packaging Materials, 1999, pp. 41-47.
- [2] Rajeshuni Ramesham, and Reza Ghaffarian, “Challenges in Interconnection and Packaging of Microelectromechanical Systems(MEMS)”, IEEE Electronic Components and Technology Conference, 2000, pp.666-
- [3] T. R. Anthony, “Anodic bonding of imperfect surfaces” J.Appl. Phys., vol. 54, pp. 2419-2427, 1983.
- [4] W. H. Ko, J. T. Suminto, and G. J. Yeh, “Bonding techniques for microsensors,” in Micromachining and Micropackaging of Transducers. New York : Elsevier, 1985, p: 41.
- [5] A. L. Tiensuu et al., “Assembling three-dimensional microstructures using gold-silicon eutectic bonding” Sens. Actuators, vol. A45, pp.227-236, 1994.
- [6] Ser Choong Chong; XiaoLin Zhang; Mohanraj, S.; Premachandran, C.S.; Ranganathan, N.; Electronics Packaging Technology, 2003 5th Conference (EPTC 2003) , Dec. 10-12, 2003, Pages:307 - 310
- [7] Seong-A Kim, Young H. Seo, Young-Ho Cho, Geun Ho Kim, Jae Y. Park and Jong U. Bu, “Closed Loop Solder-lines on Heated Substrate” Electronic Comp. And Technology Conference, pp 1101-1105, 2002.
- [8] A. He and D. G. Ivey, S. Akhlaghi, “Multipulse Electroplating of Au/Sn Alloys onto Patterned Wafers for Packaging Applications”, GaAsMANTECH Conference.
- [9] Farhad Sarvar, David A. Hutt and David C. Whalley, “Application of Adhesives in MEMS and MOMEMS Assembly: A Review”, IEEE Polytronic Conference, 2002, pp. 22-28.
- [10] Liwei Lin, “MEMS Post-Packaging by Localized Heating and Bonding”, IEEE Trans. on advanced packaging, Vol. 23, No. 4, November 2000, pp. 608-616.
- [11] Design of Solder Joints for Self-aligned Optoelectronic Assemblies," Wei Lin, S. K. Patra, and Y. C. Lee, IEEE Trans.on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Part A, August, 1995, pp. 543-551.
- [12] Fan, L., Ming, C., Choquette, K.D., "Self Assembled Micro-actuated XYZ Stages for Optical Scanning and Alignment," paper no. 0-7803-3829-4, Transducers 97, Chicago, June 16-19, 1997.