

솔더를 이용한 웨이퍼 레벨 실장 기술

이은성[†] · 김운배* · 송인상* · 문창렬* · 김현철 · 전국진

[†]서울대학교 전기 컴퓨터 공학부, *삼성종합기술원 MEMS Lab.

A novel wafer-level-packaging scheme using solder

Eun Sung Lee[†], Woon Bae Kim*, In Sang Song*,
Chang Youl Moon*, Hyeon Cheol Kim, and Kuk Jin Chun

[†]School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University, Korea

*Samsung Advanced Institute of Technology (SAIT), Korea

ABSTRACT

A new wafer level packaging scheme is presented as an alternative to MEMS package. The proof-of-concept structure is fabricated and evaluated to confirm the feasibility of the idea for MEMS wafer level packaging. The scheme of this work is developed using an electroplated tin (Sn) solder. The critical difference over conventional ones is that wafers are laterally bonded by solder reflow after LEGO-like assembly. This lateral bonding scheme has merits basically in morphological insensitivity and its better bonding strength over conventional ones and also enables not only the hermetic sealing but also its electrical interconnection solving an open-circuit problem by notching through via-hole. The bonding strength of the lateral bonding is over 30 Mpa as evaluated under shear and the hermeticity of the encapsulation is 2.0×10^{-9} mbar · l/sec as examined by pressurized Helium leak rate. Results show that the new scheme is feasible and could be an alternative method for high yield wafer level packaging.

Key Words : Wafer Level Packaging (WLP), Solder, Hermeticity, Interconnection, Lateral Bonding

1. 서 론




최근 맴스(MEMS: microelectromechanical systems) 부품에 대한 고 수율 웨이퍼 레벨 실장 기술이 크게 요구되어지고 있는 상황이며[1, 2] 이는 맴스 기술의 성공을 비롯하여 사업화에 대한 큰 걸림돌이 되고 있다. 맴스 기술이 다양한 분야로 연구됨에 따라 실장 기술 역시 다양하게 개발되어온 것은 사실이나, 여전히 맴스 부품에 대해서는 신뢰성 있는 실장기술이 요구되고 있다. 이러한 맴스 부품의 실장기술에 있어서 가장 중요한 이슈는 접합 방법뿐만 아니라, 실장의 기밀성(Hermeticity)과 접합 강도라 할 수 있다.

웨이퍼 접합 기술은 Table 1에서처럼 그 접합 계면 형태에 따라 크게 두 가지로 분류된다. 일반적으로 유

리-실리콘 양극 접합[3], 실리콘 직접 접합[4], 금속 용융 접합[5], 그리고 adhesive (glass-frit[6], 솔더[7,8], 폴리머[9]) 접합 방법이 기밀 실장 기술로 널리 사용되고 있다. Table 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 맴스 부품에 유해할 수 있다. 최근에는 많은 연구자들에 의해 고온 접합 공정에서의 열적 부담을 해결 하고자 국부 접합 기술이 보고되어지고 있다[7, 10]. 이에 반해 “inter-layer” 접합 기술은 상대적으로 표면 평탄도에 민감하지 않는 장점을 가지나 솔더 본딩에서 솔더 퍼짐에 따른 추가 면적이 필요로 하게 되고 adhesive 접합에서는 outgas를 피할 수 없다는 단점을 갖는다. 그러나 일반적으로 Table 1의 모든 접합 기술이 공통적으로 갖는 문제는 공정 중에 수반되는 웨이퍼의 구부러짐에 의해

[†]E-mail : eslee@mintba.snu.ac.kr

Table 1. 웨이퍼 접합 기술의 비교

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

수율이 급격히 떨어지게 된다는 것이다(4인치 웨이퍼의 경우, 웨이퍼 구부러짐은 수 마이크론에서 수백 마이크론 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.

2. 실험 방법

들에 의해 고온 접합 공정에서의 열적 부담을 해결하고자 국부 접합 기술이 보고되어지고 있다[7, 10]. 이에 반해 "interlayer" 접합 기술은 상대적으로 표면 평탄도에 민감하지 않는 장점을 가지나 솔더 본딩에서 솔더 퍼짐에 따른 추가 면적이 필요로 하게 되고 adhesive 접합에서는 outgas를 피할 수 없다는 단점을 갖는다. 그러나 일반적으로 Table 1의 모든 접합 기술이 공통적으로 갖는 문제는 공정 중에 수반되는 웨이퍼의 구부러짐에 의해 수율이 급격히 떨어지게 된다는 것이다(4인치 웨이퍼의 경우, 웨이퍼 구부러짐은 수 마이크론에서 수백 마이크론 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.

본 연구에서 제안된 실장 기술의 원리는 기존의 일반적인 실장 기술과 비교하여 그림 1에서 보인 것처럼, "LEGO-like assembly"와 솔더 리프로우를 통한 실장이다. 알려진 바대로 솔더는 리프로우 시에 흡착 층을 따라 웨팅(wetting)되므로 바닥이 원 형태인 경우, 리프로우 시 표면장력에 의해 Fig. 1의 (a)에서와 같이 볼

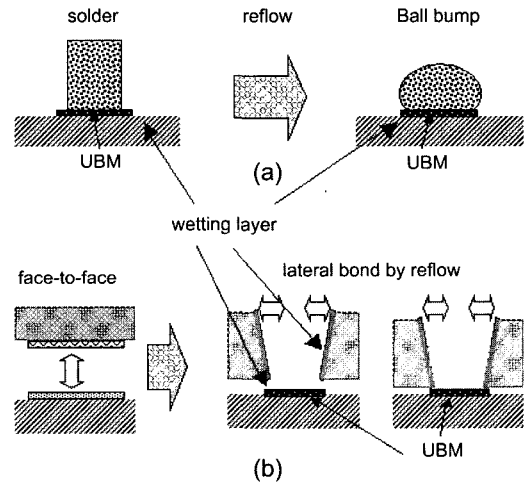


Fig. 1. (a) 솔더 리프로우 현상 (b) 기존의 접합 원리(좌), 제안된 측면 접합 방법(우)

형성이 이루어진다. 이러한 자동 정렬 메커니즘은 플립 칩 접합 기술에 널리 사용되고 있다[11, 12]. 본 연구에서 제안된 접합 기술의 큰 차별성과 장점의 원리는 Fig. 1의 (b)에 표현되어 있다. 대부분의 기존 실장 기술은 Fig. 1의 (b)의 왼쪽과 같이 접합 면과 피 접합 면이 서로 마주보고 있으며 서로 맞닿아야만 접합이 이루어지는 "intimate contact" 원리인 반면, 제안된 실장 기술은 Fig. 1의 (b)의 오른쪽과 같이 접합 면과 피 접합 면이 솔더에 의해 끼워진 상태에서 측면 접합되는 원리를 갖는다. 즉, 솔더 리프로우 시에 솔더는 UBM(Under Bump Metallurgy) 웨팅 층을 따라 흐르다가 피 접합 면의 수직 웨팅 층을 만나면서 접합이 시

작된다. 이러한 방법을 통하면 접합 면끼리 서로 인접하지 않아도 접합은 자연스럽게 완성되므로 접합면의 표면상태에 충분히 둔감하다는 장점을 가질 수 있다. 또한 접합 면이 커지는 효과를 얻을 수 있으므로 접합강도의 향상을 가져올 수 있다.

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

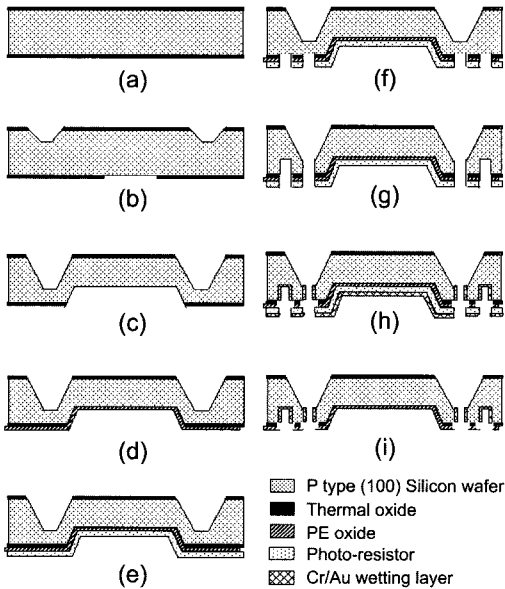


Fig. 2. 뚜껑(Cap) 웨이퍼 제작 공정

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

바닥 웨이퍼는 300 마이크로 두께의 양면 폴리싱 pyrex 글래스를 사용하였고 마찬가지로 Cr(400 Å)/Au(4000 Å)의 UBM 웨팅 층을 증착하였다. 여기서 사용된 Pyrex 글래스는 본딩 후 그로스 리크(gross leak) 테스트를 위해 하부 기판으로 사용되었다. 솔더 도금을 위한 몰드는 THB 151N 감광막을 이용하여 80 마이크로 두께로 패터닝 되었다. 패턴이 열린 영역의 잔유물 제거를 위해 O₂ ashing을 수행하고 전기도금으로 70 마이크로 두께의 주석을 증착하였다. 마지막으로 몰드를 제거하고 도금막의 씨드(seed)층을 제거하여 바닥 웨이퍼를 제조하였다(Fig. 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(C에서 각각 0.5분과 3분 수행하였다(Fig. 4). 여기서 웨이퍼 레벨 정렬과 조립이 마치 어린아이들이 장난감으로 조립하는 기구의 브랜드 이름 “레고”와 비슷하여

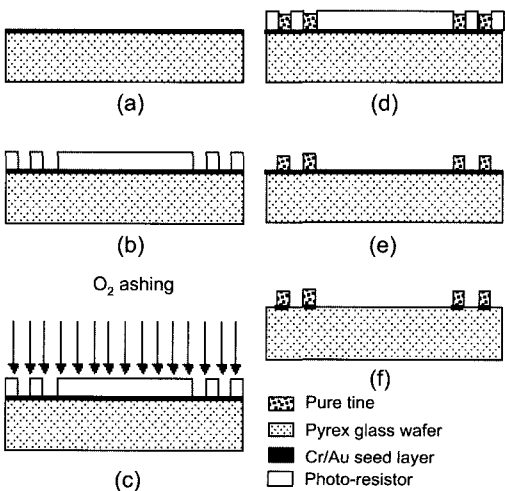


Fig. 3. 바닥 웨이퍼 제작 공정

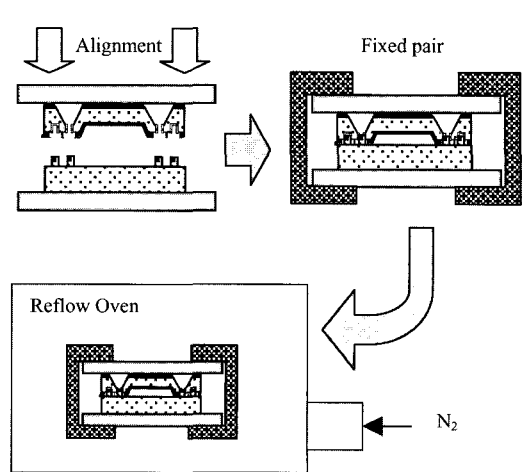


Fig. 4. 웨이퍼 레벨 정렬 및 리프로우 접합 (“LEGO-like assembly”)

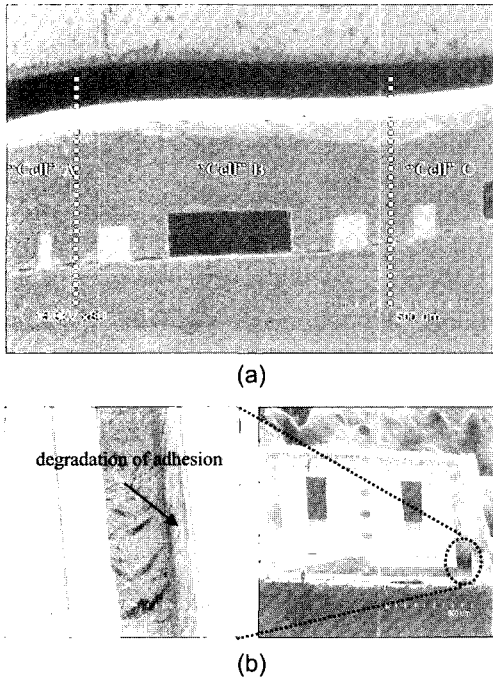


Fig. 5. (a) 접합 웨이퍼의 단면 (b) 접합 웨이퍼의 파단 접합면

본 연구에서 제안한 접합 기술의 정렬 방법을 “LEGO-like assembly”로 명명하였다.

3. 실험결과 및 고찰

접합된 웨이퍼의 단면(Fig. 5(a))과 파단 접합면(Fig. 5(b))은 Fig. 5에서와 같다. Fig. 5(a)에서와 같이 50 마이크로 선폭의 셀 A와 150 마이크로 선폭의 셀 B, 그리고 100 마이크로 선폭의 셀 C 모두 실장이 잘 되어 있음을 보여준다. 접합된 웨이퍼는 전단응력과 실장의 기밀성이 평가되었다. 전단응력 평가는 일정한 실장길이(4800 마이크로)와 각기 다른 라인 폭(50, 100, 150 마이크로)에 대해 평가되었다. 전단응력 평가 방법과 평가 결과는 Fig. 6에 나타나 있다.

결과적으로 Fig. 6(b)에서 보인 것처럼 0.5분간 접합 시간을 가진 W1W1*웨이퍼가 3분의 접합 시간을 가진 W2W2*웨이퍼의 접합력 보다 우수한 특성을 보였다. 오히려 긴 접합 시간을 가진 웨이퍼의 접합 강도가 작게 된 이유는 웨딩 층의 솔더 속으로의 확산에 따른 막 자체의 접합력 저하가 그 원인이었던 것으로 판단된다. Fig. 5의 (b)에서처럼 접합 파단 면을 자세히 들여다보면 웨이퍼와 접합 솔더 층이 날카롭게 구분되어 접합

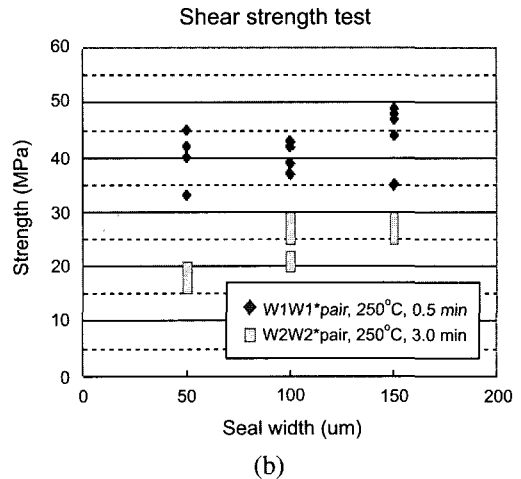
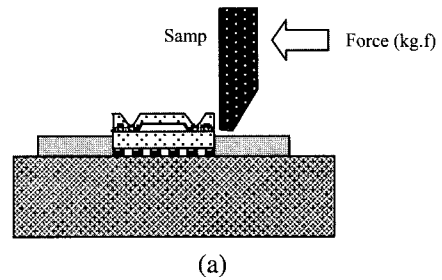


Fig. 6. (a) 전단응력 평가 방법, (b) 접합 웨이퍼의 공정 조건에 따른 전단응력

이 떨어진 것을 볼 수 있다. 이는 웨딩 층으로 Cr/Au의 Au가 주석(Sn)층으로의 확산에 의해 Au 층이 사라짐으로써 막 자체의 기판과의 접합력이 급격히 약해진 것으로 사료된다.

접합된 웨이퍼는 실장의 기밀성 정도를 확인하기 위하여 가압 헬륨 누설 특성 방법을 이용하여 평가되었다. 평가는 MIL-STD 883E의 테스트 조건 A2를 이용하여 평가되었으며, 측정된 헬륨 누설량은 2.0×10^{-9} mbar·//sec He으로 등가 공기 누설량은 6.05×10^{-10} mbar·//sec Air였다. 테스트 조건 A2는 캐비티 체적으로 0.01 cc 이하에 대해서 등가 공기 누설 량으로 환산된 값이 5.0×10^{-10} mbar·//sec Air 이상일 경우, hermetic fail로 규정하고 있으므로, MIL-STD 883E 규정에 따라 본 웨이퍼 레벨 실장 기술은 기밀(hermetic)실장이라고 말할 수 있다.

가압 헬륨 누설 측정 값과 등가 공기 누설 량과의 관계는 아래 식 1과 같다. 여기서 R은 측정된 헬륨 누설 측정 량, L은 등가 공기 누설 량, PE는 노출 가압 절대 압력, P₀는 대기압(1), M_A는 공기의 분자량 (28.7), M은

헬륨의 분자량(4), T_E 는 노출 시간(in seconds), T_{dwell} 는 가압과 누설 측정 사이 유지 시간(in seconds) 그리고 V 캐버티 체적(in cubic centimeters) 이다. 측정은 접합된 웨이퍼를 각각 낱개의 셀로 다이싱한 후에 boiling IPA 에 20분 담그고 급히 냉각 시켜서 pyrex 글래스를 통해 실장 내부를 현미경으로 확인하는 그로스(gross) 누설평가를 통해 누설이 없음이 확인된 100개의 셀에 대해서 헬륨 미세(fine) 누설 특성을 측정하였다. 가압 조건은 7 기압 5시간이었으며, 측정시간은 5분, 캐버티(cavity) 체적은 1.5×10^{-4} cc 이었다.

$$R = \frac{LP_E(M_A)}{P_O(M)}^{1/2} \left\{ 1 - \exp\left(\frac{LT_E(M_A)}{VP_O(M)}^{1/2}\right) \right\} \exp\left(\frac{LT_{dwell}(M_A)}{VP_O(M)}^{1/2}\right)$$

식 1. 가압 헬륨 누설 측정 값과 등가 공기 누설량과의 관계.

4. 결 론

본 연구에서는 기존 접합 방법과 달리 “LEGO-like assembly”와 솔더 리프로우를 통해 측면으로 접합이 이루어지는 새로운 웨이퍼 접합 실장 기술을 제안하였다. 이 기술은 또한 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. 연구 결과, 제안된 접합 기술은 30 Mpa이상의 전단 강도와 2.0×10^{-9} mbar · //sec He의 기밀성을 보임으로써 고수율 웨이퍼 레벨 실장 기술로서 한 대안이 될 수 있음을 보여 주었다.

감사의 글

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 Brown, W. D., “Challenges in the Packaging of

MEMS”, International Symposium on Advanced Packaging Materials, pp. 41-47 (1999).
 2. Rajeshuni Ramesham, and Reza Ghaffarian, “Challenges in Interconnection and Packaging of Microelectromechanical Systems (MEMS)”, IEEE Electronic Components and Technology Conference, pp. 666-675 (2000).
 3. Anthony, T. R., “Anodic bonding of imperfect surfaces” J.Appl. Phys., Vol. 54, pp. 2419-2427 (1983).
 4. Cheng, Y. T. Liwei Lin, and Khalil Najafi, “Localized Silicon Fusion and Eutectic Bonding for MEMS Fabrication and Packaging” Journal of Microelectromechanical systems, Vol. 9, No. 1, March pp. 3-8 (2000).
 5. Tiensuu, A. L. 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. and Ranganathan, N., “Effect of passivation on frit glass bonding method for wafer level hermetic sealing on MEMS devices” Electronics Packaging Technology, 2003 5th Conference (EPTC 2003) , Dec. 10-12 pp. 307-310 (2003).
 7. Kim, S.-A. Seo, Y. H. Cho, Y.-H. Kim, G. H. Jae Y. Park and Jong U. Bu, “Closed Loop Solder-lines on Heated Substrate” Electronic Comp. And Technology Conference, pp. 1101-1105 (2002).
 8. Yang, H.-A. Mingching, W. Weileun Fang, “Localized induction heating solder bonding for wafer level MEMS packaging” Micro Electro Mechanical Systems, 17th IEEE International Conference on. (MEMS) , 25-29 Jan. pp. 729-732 (2004).
 9. Farhad Sarvar, David A. Hutt and David C. Whalley, “Application of Adhesives in MEMS and MOMEMS Assembly: A Review”, IEEE Polytronic Conference, pp. 22-28 (2002).
 10. Liwei Lin, “MEMS Post-Packaging by Localized Heating and Bonding”, IEEE Trans. on advanced packaging, Vol. 23, No. 4, pp. 608-616 (2000).
 11. Wei Lin, Patra, S. K. and Lee, Y. C., “Design of Solder Joints for Self-aligned Optoelectronic Assemblies”, IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Part A, August, pp. 543-551 (1995).
 12. Akiyama, T. Collard, D. Fujita, H., “Scratch Drive Actuator with Mechanical Links for Self-Assembly of Three Dimensional MEMS”, Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 6, No. 1, pp. 10-17 (1997).