

무연솔더를 이용한 실리콘 압력센서의 플립칩 패키지 Flip-Chip Package of Silicon Pressure Sensor Using Lead-Free Solder

조찬섭*
Chan-Seob Cho*

<Abstract>

A packaging technology based on flip-chip bonding and Pb-free solder for silicon pressure sensors on printed circuit board (PCB) is presented. First, the bump formation process was conducted by Pb-free solder. Ag-Sn-Cu solder and the pressed-screen printing method were used to fabricate solder bumps. The fabricated solder bumps had 189-223 μm width, 120-160 μm thickness, and 5.4-6.9 standard deviation. Also, shear tests was conducted to measure the bump shear strength by a Dage 2400 PC shear tester; the average shear strength was 74 g at 0.125 mm/s of test speed and 5 μm shear height. Then, silicon pressure sensor packaging was implemented using the Pb-free solder and bump formation process. The characteristics of the pressure sensor were analogous to the results obtained when the pressure sensor dice are assembled and packaged using the standard wire-bonding technique.

Keywords : Pressure sensor, Flip-chip, Lead-free solder, Packaging

1. 서 론

실리콘 압력센서는 저가격, 우수한 감도, 그리고 장기안정도 특성이 우수하여 널리 사용되고 있다. 그러나 통상적인 압력센서 패키지(package) 방법은 다양한 산업적 요구에 부응하기에는 가격이 상대적으로 비싸고 소형화하는데 한계가 있다. 뿐만 아니라 실리콘 압력센서의 특성과 신뢰성은 패키지 구조와 봉입(encapsulation) 물질에 따라 의존한다^{1,2)}. 따라서 실리콘 압력센서의 패키지 방법에 대한 여러 가지 연구가 진행되고 있으며, 특히 실리콘 센서와 기관간의 직접연결에 대해 연구가 활발히 진행되고 있다³⁾.

마이크로전자기계(Microelectromechanical) 시스템의 패키지 문제를 해결하는 여러 가지 제안된 방법 중에서 플립칩(flip chip) 패키지 방법은 소형화, 신뢰성 및 저가격의 장점을 가지고 있다. 이 방법은 이미 가속도센서의 패키지에 적용된 바 있으며⁴⁾, 최근에는 압력센서 패키지 방법으로 폴리머 플립칩 본딩(polymer-chip bonding)⁵⁾이 적용되었다

Sn-Pb 솔더(Solder)를 이용한 솔더링 기술은 SMT(surface mount technology), BGA (ball grid array)에서의 솔더볼(solder ball) 연결, PCB(printed circuit board)에서의 집적회로 실장과 같은 전자 패키지 분야에서 중요한 역할을 해 왔다⁶⁾. 마이크로 전자기술이 발달함에 따

* 교신저자, 정회원, 경북대학교 이공대학 산업전자전기공학부 교수, 工博
E-mail : chocs@knu.ac.kr

* Corresponding Author, Professor, School of Electronic and Electrical Eng., Ph. D.

라 Sn-Pb 솔더를 사용한 문제점들이 나타나게 되었으며, 이중 가장 큰 문제점 중의 하나는 납(Pb)이 환경과 인체에 매우 유해한 독성물질이라는 점이다. 따라서 무연솔더(lead-free solder) 및 전도성 접착제와 같은 Sn-Pb 솔더의 대체 물질에 대한 많은 연구가 세계 각국의 전자 패키징회사와 연구자들에 의해 이루어지고 있다(7,8).

본 논문에서는 무연솔더와 플립칩 공정을 이용하여 반도체 압력센서 칩에 범프(bump)를 형성하고 이를 패키징하는 공정에 대하여 연구하였다. 사용된 무연솔더는 Sn-3.0/Ag- 0.5/Cu 솔더이며, 미세인쇄기술(Micro Screen printing)을 활용하였다.

2. 실험

2.1 솔더범프 형성

Fig. 1은 솔더범프 형성공정을 나타내었다. 반도체 압력센서의 전극으로 사용된 Al은 플립칩 솔더링 공정에 적합한 금속이 아니기 때문에 범프 패드는 가용성(wettable) 금속으로 코팅(coating)되어야 한다. 먼저 센서 칩 위에 두꺼운 PECVD 산화막을 형성시킨 후, 사진식각공정을 이용하여 Al 패드부분을 노출시킨다. 그런 다음 Al 패드는 아연산염(Zincate) 공정을 거친 후, UBM(under bump metallurgy)층으로 Ni(3 μ m)과 Au(0.1 μ m)를 무전해도금으로 형성시킨다. Sn/Ag/Cu 무연솔더 페이스트를 가압스크린프린팅공정을 이용하여 인쇄한 후 열처리하였다.

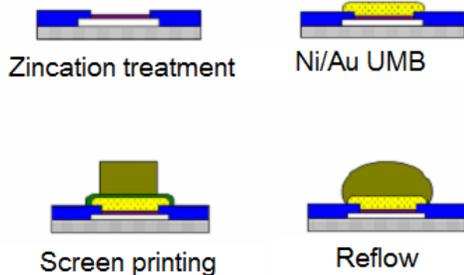


Fig. 1. Bump formation process with screen printing method.

실험에서 사용된 가압스크린프린팅방법을 Fig. 2에 나타내었다. 가압형 인쇄방법은 인쇄 후 마

스크 분리 과정에서 마스크의 열린 공간의 측면 마찰에 의해 솔더 페이스트가 모두 인쇄되지 않고 마스크에 잔류하는 현상을 방지하기 위해 마스크 분리시 압력을 인가하는 방식이다. 이 방식은 패턴이 작으면 작을수록 인쇄되는 면적에 비해 열린 부의 측면 단면적이 넓어져 발생하기 쉬워지는 페이스트의 빠짐성을 개선하여 웨이퍼 전면에 형성되는 솔더범프의 균일성을 개선시킨다.

37Pb/63Sn 솔더를 대체할 많은 무연솔더가 개발되고 실제 적용에서 제안되어 많은 시험을 거쳐 왔지만, 본 실험에서는 인쇄성, 공정 적용성 등을 고려하여 Senju Metal Industry회사 M705-GRN360제품인 Sn-3.0/Ag-0.5/Cu 솔더를 사용하였다

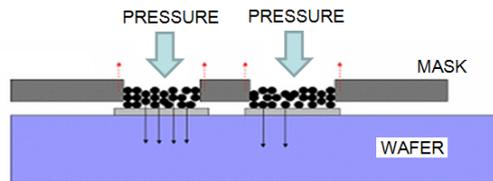


Fig. 2. Pressed-screen printing method.

솔더범프 형성공정에 있어서 가장 어려운 부분 중의 하나가 솔더 공정온도 제어이다. 사용된 솔더가 용점 약 220 $^{\circ}$ C이기 때문에 공정의 Peak 온도는 약 250~260 $^{\circ}$ C를 유지해 주어야 한다. 본 실험에서는 9-Zone의 Furnace를 사용함으로써 구간별 온도 구배를 최대한 적게 하였다. 공정조건은 170 $^{\circ}$ C 예열온도에서 50초간, 260 $^{\circ}$ C 공정피크온도에서 60초간 솔더링 하였다.

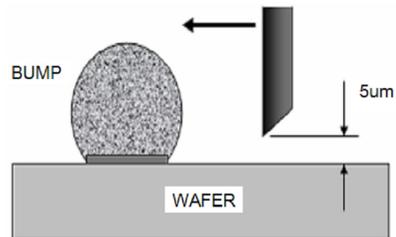


Fig. 3. Schematic diagram of shear test.

솔더범프의 전단응력(shear strength) 평가는

솔더범프가 UBM과 얼마나 안정적인 접합을 하고 있는지를 나타내는 정량적, 정성적 분석방법이다. 이상적인 파단부위는 솔더범프 부위가 되어야 한다. 실험에 사용된 설비는 Dage 2400PC이며, Shear Speed 0.125 mm/sec., 기관 기준 5 μm 위치에서 실험하였으며 Fig. 3에 실험 모식도를 나타내었다.

2.2 압력센서 패키지공정

압력센서 패키지 구조를 Fig. 4에 나타내었다. 이 구조는 PCB중앙부에 구멍이 뚫려있는 구조로 되어 있는데, 이 위에 센서가 플립칩 형태로 솔더링되어 장착되게 된다. 차압센서를 구성할 경우, 압력센서 칩은 PCB 위에 솔더링으로 장착된 후 PCB와 칩 사이의 공간을 밀봉하게 된다. 마지막으로 센서다이의 실리콘 다이어프램(diaphragm)에 압력을 가할 수 있도록 센서 캡(cap)을 추가하여 패키지를 완성한다.

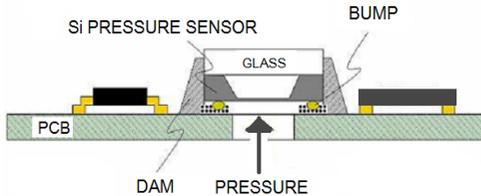


Fig. 4. Cross-sectional drawing of a flip-chip bonded pressure sensor.

실험에 사용된 반도체 압력센서는 약 1,960 μm x 1,960 μm 크기를 가지며, 본딩패드의 크기는 150 μm 수준의 것이다. 센서 칩의 상부 도면은 Fig. 5와 같다. 그림에서와 같이 5개의 본딩패드가 아래위로 위치해 있으면 패드 사이는 150 μm 정사각형 형태이고 가장 가까운 본딩패드간의 간격은 e패드와 d패드 간이 약 200 μm 수준으로 형성되어있다.

Fig. 6은 플립칩 본딩을 이용한 실리콘 압력센서 패키지 공정을 나타낸 것이다. 먼저 PCB 기관표면에 스크린프린팅으로 무연솔더 페이스트(Sn-3.0/Ag-0.5/Cu)를 올렸다. 다음으로 실리콘 압력센서 칩을 기관위에 장착하여 플립칩 본딩을 한 후 에폭시(epoxy)로 센서와 기관사이를 밀봉하였다

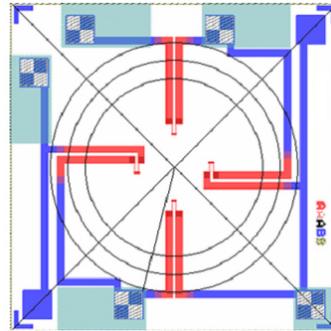


Fig. 5. Top layout of semiconductor pressure sensor chip.

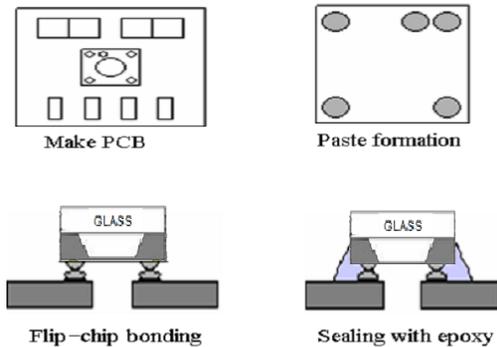


Fig. 6. Silicon pressure sensor packaging using flip-chip bonding.

3. 결과 및 고찰

3.1 솔더범프 형성 특성

Fig. 7은 기존 공정솔더(63Sn/37Pb)와 무연솔더인 Sn-Ag-Cu 솔더의 프린팅(printing)성을 비교 평가한 것이다.

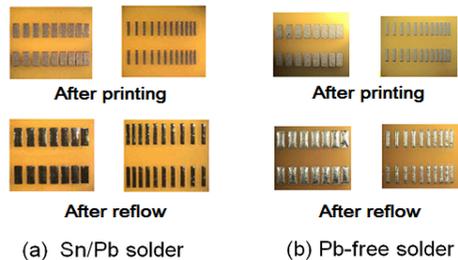


Fig. 7. Solder printing characteristics of (a) 63Sn/37Pb solder and (b) Sn-Ag-Cu Solder on PCB.

Fig. 7(a)는 일반 공정솔더이고 Fig. 7(b)는

무연솔더이다. 일반 공정솔더와 마찬가지로 무연솔더를 사용하였을 경우에도 균일하게 프린팅 되어 범프가 형성되었음을 보여주고 있다. Fig. 8은 무연솔더를 사용하여 스크린 프린팅법으로 제조된 범프의 SEM 사진을 보여주고 있다. 범프 사이즈는 본딩 패드 면적을 고려하여 $200 \mu\text{m} \pm 25 \mu\text{m}$ 로 설계하였다. 스크린프린팅후의 페이스트들이 균일한 모양을 형성하고 있음을 볼 수 있고, 리플로 후 폭 약 $200 \mu\text{m}$, 높이 약 $150 \mu\text{m}$ 의 반구형 범프들이 시편 전체에 걸쳐 균일하게 형성되었음을 확인할 수 있다. 시편 전체에서 범프들은 폭 $189\sim 223 \mu\text{m}$, 높이 $120\sim 160 \mu\text{m}$ 를 가졌으며, 표준편차는 $5.4\sim 6.9$ 정도로 만족할 만한 공정 수준을 확보하고 있음을 확인하였다.

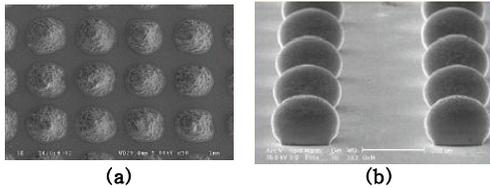


Fig. 8. SEM image of lead-free solder bump on Si (a) before reflow and (b) after reflow.

Fig. 9는 형성된 솔더범프의 전단응력시험 후 솔더범프가 떨어져나간 표면을 나타내고 있다. Fig. 9(b)에서의 빗살형상은 테스트기구의 흔적으로, 범프 중간지점 이후부터 변형에 의한 범프의 강제 파단이 발생되었음을 보여준다. 즉, 범프가 떨어져나간 표면은 범프와 UBM 경계면이 아닌 범프 내부임을 나타내고 있다. 따라서, 설정된 리플로 조건은 범프와 UBM간의 충분한 접합성을 제공하고 있음을 알 수 있다. 전단응력은 $44\sim 99\text{g}$ 의 범위로 측정되었으며, 74g 의 평균값을 가졌다.

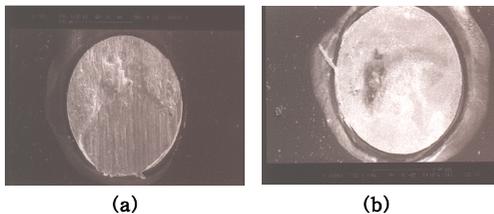


Fig. 9. SEM photograph of solder ball after hear test.

3.2 압력센서 특성

Fig. 10은 반도체 압력센서위에 UBM을 형성한 사진을 보여주고 있다. 무전해도금으로 증착된 $3\mu\text{m}$ 의 Ni 과 $0.1 \mu\text{m}$ 의 Au이 Al 패드위에 형성되었음을 보여주고 있다. Fig. 11는 패키지 후의 압력센서의 사진이다.

제조된 압력센서의 압력에 따른 응답특성을 Fig. 12에 나타내었다. 측정된 압력센서는 비선형도 0.72% F/S, Zero offset 0.029% F/S를 나타내고 있으면, 좋은 선형성을 유지하고 있음을 확인할 수 있다. 플립칩 본딩방법으로 패키징된 압력센서의 압력에 따른 출력 특성은 일반적인 wire-bonding 방법으로 패키징된 압력센서의 출력 특성과 유사한 특성을 보이고 있다.

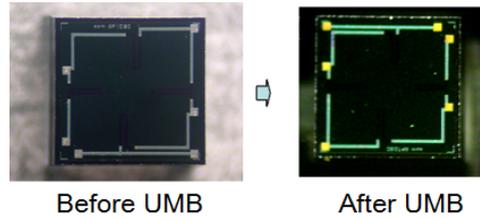


Fig. 10. Photograph of UBM process on sensor chip.

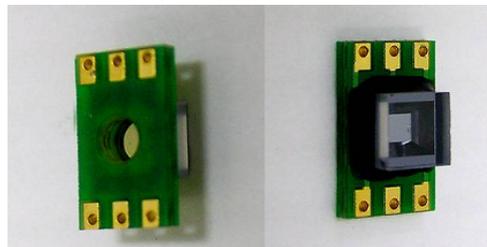


Fig. 11. Photo graph of pressure sensor after packaging.

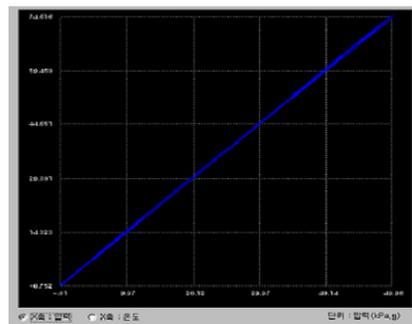


Fig. 12. Output voltage of pressure sensor as a function of the applied pressure.

4. 결 론

본 논문에서는 무연솔더와 플립칩 공정을 이용하여 반도체 압력센서 칩에 범프를 형성하고 이를 패키징하는 공정에 대하여 연구하였다.

무연솔더로 신뢰성이 우수하다고 알려진 Ag-Sn-Cu계 솔더를 사용하였으며, 범프 형성 방법으로는 형성되는 범프의 균일성을 개선하기 위해 가압형 스크린프린팅법을 도입하였다. 제조된 솔더범프의 폭은 189~223 μm , 높이는 120~160 μm 이며, 표준편차는 5.4~6.9 정도로 만족할 만한 공정 수준을 확보하고 있음을 확인할 수 있었다. 솔더범프의 전단응력시험 후 솔더볼이 떨어져나간 표면을 분석한 결과, 설정된 리플로 조건은 범프와 UBM간의 충분한 접합성을 제공하고 있음을 알 수 있었으며, 전단응력강도는 44~99 g의 범위로 측정되었으며, 74 g의 평균값을 가졌다.

무연솔더와 플립칩 본딩방법으로 패키징된 압력센서의 출력 특성은 일반적인 wire-bonding 방법으로 패키징된 압력센서의 출력 특성과 유사한 특성을 보이고 있으며, 좋은 선형성을 유지하고 있음을 확인할 수 있었다.

따라서, 본 연구에서 제안된 실리콘 압력센서의 패키지 방법은 소형 압력센서 시스템을 저가격으로 구현할 수 있어 가격과 크기가 제한된 다양한 분야에 적용 가능할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 경북대학교(상주캠퍼스) 학술연구 지원금에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

- 1) J.B. Nysher, A. Larsen, B. Liverod, P. Ohlckers, *J. Micromech. Microeng.*, 8, 168, (1998)
- 2) M.S. Zarnik, D. Rocak, S. Macek, *Sens. Actuators A*, 116, 442, (2004)
- 3) H. Krassow, F. Campabadal, E. Lora-Tamayo, *Sens. Actuators A*, 82, 229, (2000)
- 4) J.A. Plaza, A. Collado, E. Cabruja, J. Esteve, *J. Microelectromech. Syst.*, 11, 794, (2002)
- 5) C. Li, F.E. Sauser, R.G. Azizkhan, C.H. Ahn, I. Papautsky, *J. Micromech. Microeng.*, 15, 1729, (2005)
- 6) Lau, J. H., "Flip Chip Technologies", MacGraw-Hill, New York, (1995)
- 7) C. Michale Garner, V. Gupta, V. Bissessur, A. Kumar, R. Aspandiar, *Electronics Packaging Technology Conf(ETPC 2000), Proceedings of 3rd*, 6, (2000)
- 8) Kripesh, V., Teo, P. S., Chong, C. T., and Vishwanadam, G., *Proceedings of the 51st Electronic Components and Technology Conf IEEE Proceedings*, Orlando, 665, (2001)

(2009년 9월 14일 접수, 2009년 11월 20일 채택)