

Negative PR의 기밀 특성

최의정[†] · 선용빈

[†]경기대학교 산업정보대학원

Hermetic Characteristics of Negative PR

Eui Jung Choi[†] and Yong Bin Sun

[†]Graduate School of Industrial and Information Technology, Kyonggi University, Kyonggi-do, 443-760, Korea

ABSTRACT

Many issues arose to use the Pb-free solder as adhesive materials in MEMS ICs and packaging. Then this study for easy and simple sealing method using adhesive materials was carried out to maintain hermetic characteristic in MEMS Package. In this study, Hermetic characteristic using negative PR (XP SU-8 3050 N0-2) as adhesive at the interface of Si test coupon/glass substrate and Si test coupon/LTCC substrate was examined. For experiment, the dispenser pressure was 4 MPa and the 200 $\mu\text{m}\Phi$ syringe nozzle was used. 3.0 mm/sec as speed of dispensing and 0.13 mm as the gap between Si test coupon and nozzle was selected to machine condition. 1 min at 65°C and 15 min at 95°C as Soft bake, 200 mJ/cm² expose in 365 nm wavelength as UV expose, 1 min at 65°C and 6 min at 95°C as Post expose bake, 60 min at 150°C as hard bake were selected to activation condition of negative PR. Hermetic sealing was achieved at the Si test coupon/glass substrate and Si test coupon/LTCC substrate. The leak rate of Si test coupon/glass substrate was 5.9×10^{-8} mbar-//sec, and there was no effect by adhesive method. The leak rate of Si test coupon/LTCC substrate was 4.9×10^{-8} mbar-//sec, and there was no effect by dispensing cycle. Better leak rate value could be achieved to use modified substrate which prevent PR flow, to increase UV expose energy and to use system that controls gap automatically with vision

Key words : Hermetic, Leak late, adhesive method, MEMS Packaging, Negative PR

1. 서 론

무선통신 기기의 소형화, 경량화를 추구하기 위해서는 송수신 소자들의 집적화가 선행 되어야 한다. 소자의 집적화는 중간 단계라 할 수 있는 SIP(System In Package)를 거쳐 궁극적으로 SOC(System On Chip)의 연구 개발로 진행되고 있다.

SIP를 실현하기 위해서 무선통신 소자의 경우 RF MEMS(Radio Frequency Micro Electro Mechanical System) 기술이 필요하며, MEMS 소자 구조물은 크기가 작아 particle과 습기가 패키지 내로 침투 되면 소자 성능이 쉽게 악화되므로 외부 환경으로부터 구조물을 보호하기 위하여 진공 또는 N₂ 분위기에서 패키지를 하

기 때문에 기밀성 (hermetic)이 MEMS 소자의 신뢰성 및 수명을 결정하는 중요한 요인 중 하나이다[1,2].

MEMS 소자나 구조물들의 기밀성을 위한 micro-joining 기술은 고상 및 용융 접합공정과 silicon과 관련된 접합공정을 모두 포함한다. 접합 방법은 재료에 따라서 매우 다양하며, 그 중 epoxy 계통의 접착제로 접합하는 방법은 상온에서부터 100°C 범위에서 접합되므로 고온 공정에서 발생하는 열이 개별 디바이스에 전달돼 발생하는 문제를 사전에 방지할 수 있으며, metal ion이 없어 오염을 피할 수 있고, 이중 재료의 접합이 가능하며, 공정이 간단하고 접합 강도가 높으며, 응력을 감소시킬 수 있는 등의 다양한 장점이 있으나 hermetic sealing이 불완전하기 때문에 수분이 접합부를 통하여 침투할 수 있고[2], 온도가 증가하면 수분이 수증기로 변화하며 팽창하여 균열을 발생시키므로 내구성이나 신뢰성이 낮아질 수 있으나[5,6] 이러한 단점

[†]E-mail : euijyng@intizen.com

을 보완한 제품이 개발 출시되고 있다.

본 논문은 Si wafer와의 접착력, 내 흡습성, 강도 특성이 개선되고, 패턴형성 후 남는 잔여 구조물을 다음 공정에 사용할 수 있는 negative PR(XP SU-8 3050 NO-2)을 접합제로서 Si시편/ 유리 기판 또는 Si시편/LTCC 기판의 접합 계면에 도포 시 hermetic 특성 고찰이 목적이다[6].

2. 실험방법

2.1 Si 시편 제조

시편의 준비, 제조와 접착 등에 관한 실험 공정 순서도를 그림 1에 나타냈다[4].

습식 세정장비로 5 inch wafer를 piranha cleaning 후, positive PR 12000Å를 spin coat 하였다. CANON aligner로 expose 후develop 하여 pattern을 형성하였다. Si 기판을 200 μm plasma etch 후에 wafer 앞면의 패턴을 보호하기 위하여 보호 film을 부착하고 wafer sawing 하였다. 개별 test coupon으로 분리 후, 초음파 분위기에서 PR strip을 하였다. Air gun으로 시편의 수분을 제거한 후에 150°C hot plate에 올려놓고 시편을 건조시켜 MIL STD 883-E에 따른 hermetic test용 Si test coupon을 그림 2와 같이 제작하였다.

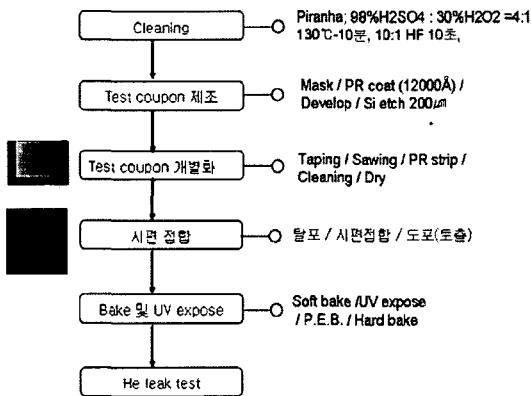
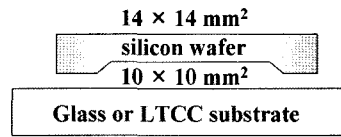


그림 1. 실험 공정도

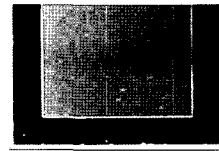
2.2. 장비 조건

Dispenser pendant를 사용, 시린지 노즐이 zig 표면에 닿는 높이를 “Z=0” 으로 설정하였고, X, Y 좌표는 시린지 노즐이 zig에 접촉하는 좌표를 1차로 설정한 후 X, Y 방향으로 미세 조정하여 x, y좌표로 설정하였다.

도포 초기에는 시린지 needle 끝에 PR이 없고, PR 도출 압력이 균일하지 않아 초기 도포 라인이 불 균일할 수 있어, “ㄷ”자 형태의 3개 PR 패턴을 형성 후 3



(a) Design



(b) 실제 시편

그림 2. Hermetic test 시편

번째 패턴의 평균 폭과 높이 값을 선택 하였다.

4 MPa 디스펜서 압력과 Ø200 μm 시린지 nozzle을 사용하였으며, 이때 dispensing 속도는 1.5~3.5 mm/sec 범위에서 0.5 mm/sec증가시키고, 시린지의 간격(높이)은 0.05~0.2 mm 범위에서 0.05 mm 간격으로 변화시키며 라인 형태를 육안으로 관찰한 후, 가장 균일한 라인의 조건을 선정하였다.

2.3. 시편 접합

접합특성을 관찰하기 위하여, 실험에 의해 선정된 dispense 조건으로 Si 시편 4 모서리에 PR을 소량 dispense 후, vacuum tweezers로 Si시편을 잡고, 뒤집은 (flip) 상태에서 한쪽 모서리를 유리기판과 LTCC 기판에 대고 기울이면서 접합하였다.

2.4. 활성화 조건

온도 별 soft bake 시간이 hermetic에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 먼저 hot plate를 조절하여 65°C가 되도록 하였다. Si 시편을 아래로 하여 유리기판 또는 LTCC 기판과 접합한 각각의 시편들을 65°C hot plate에 각각 0.5분, 1분, 2분 올려놓은 후, 95°C로 가열 후 95°C가 되면, 2단계 soft bake를 15분 동안 시행한 후에 공기 중에서 시편을 냉각하였다.

65°C에서 soft bake 시간을 설정 후, 95°C soft bake 시간의 영향을 관찰하기 위하여 95°C hot plate에 Si 시편들을 각각 7.5분, 15분, 30분 동안 유지한 후에 공기 중에서 냉각하였다.

UV expose 영향을 관찰하기 위해 PR을 dispensed한 시편들의 접합계면에 365 nm 파장의 UV 빛을 각각 100, 200, 400 mj/cm² 조사하였다.

PEB(Post Exposed Bake) 조건은 65°C와 95°C의 soft bake 실험 결과를 인용하였으며, Hard bake는 hot

plate가 150°C에 도달 후, Si 시편을 아래로 오도록 하여 60분간 시편들을 150°C hot plate에서 유지한 후에 공기 중에서 냉각시켰다.

2.5. He leak test

MIL standard 883E에 따라 chamber를 75 psi (5.17 bar, 5.103 atm)에서 2시간 동안 가압하며 He를 주입한 후에 Varian사의 He leak detector로 시편을 옮겨서 He leak test를 실시하고 hermetic 특성을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 장비 조건

Dispensing 속도는 1.5 mm/sec에서부터 3.5 mm/sec 까지 0.5 mm/sec씩 변화시키며, gap은 0.05 mm에서부터 0.2 mm까지 0.05 mm씩 변화시키며 dispense 라인의 형상을 관찰하였다. Dispensing 속도 3.0 mm/sec, 0.15 mm gap에서 양호한 형상을 얻었으나 기판의 두께와 수작업으로 인한 오차가 있어 gap을 미세 조정하여 0.13 mm에서 양호한 형상을 얻었다. 시린지 이동속도와 gap이 dispensed 라인 형성에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 즉 gap이 클 때 이동 속도가 빠르면 dispensed 라인이 끊어지고, gap이 작을 때 이동 속도가 빠르면 라인이 뭉치며 라인 내에 void가 관찰되었다.

3.2. 활성화 조건

Si시편/유리기판을 65°C soft bake 조건에서 test한 모든 샘플에서 기밀성 (hermetic)이 유지 되었으나 첫째, 65°C-0.5분 조건은 시간이 짧아 취급이 어렵고 둘째, 65°C-2분 조건은 Si 시편을 유리 기판에 접착 시 미끄러지는 현상이 관찰되어 1단계 soft bake 조건으로 65°C-1분을 선정하였다.

2단계 soft bake 조건인 95°C에서 시간에 따른 Si시편/유리기판의 He leak rate 값을 표 1에 나타내었다. 모든 샘플에서 hermetic이 유지됨을 알 수 있었으며, 100 mj/cm²에서 2단계 soft bake 시간이 증가하면 leak rate 값은 증가하였으나 그 밖에는 일정하였다. 95°C 15분, 3분 hot plate조건에서 UV 조사 에너지에 증가에 따른 leak rate 영향은 관찰되지 않았다.

또한, 암실과 형광등 환경에서 공정을 진행한 시편의 leak rate 값 차이도 거의 없었다. 이는 초기 형광등에 의한 PR의 악화 정도가 미비하기 때문에 leak rate 값의 차이가 없었거나, 또는 측정 오차나 영향인자 범위 내에 있음을 알 수 있었다. 다만 형광등 하에서 24 시간 이상 PR을 방치하니 변색하기 시작하여 파장 대

표 1. 95°C 소프트 베이크 시간과 UV 조사 에너지에 따른 leak rate

Soft bake 시간	UV expose energy	Leak rate, 단위; mbar-l/sec	
95°C-8.5 m	100 mj /cm ² ,	1.5 × 10 ⁻⁸	암실
	200 mj /cm ² ,	1.0 × 10 ⁻⁸	암실
	400 mj /cm ²	1.1 × 10 ⁻⁸	암실
95°C-15 m	100 mj /cm ²	2.2 × 10 ⁻⁸	암실
	200 mj /cm ²	1.3 × 10 ⁻⁸	암실
	200 mj /cm ²	1.2 × 10 ⁻⁸	형광등
95°C-30 m	400 mj /cm ²	1.5 × 10 ⁻⁸	암실
	100 mj /cm ² ,	2.8 × 10 ⁻⁸	암실
	200 mj /cm ² ,	1.1 × 10 ⁻⁸	암실
	400 mj /cm ²	2.1 × 10 ⁻⁸	암실

*가압 2시간 후 bare Si / glass 값; 1.0 × 10⁻¹⁰mbar-l/sec

표 2. Si 시편과 접합 기판, 접합 방법에 따른 leak rate

	토출 방법 단위; mbar-l/sec	Leak rate
Si 시편/ 유리기판	bare Si, glass 기판	1.0 × 10 ⁻¹⁰
	Case 1	5.9 × 10 ⁻⁸
	Case 2	5.9 × 10 ⁻⁸
Si 시편/ LTCC 기판	bare Si, LTCC 기판 값	1.5 × 10 ⁻⁸
	Case 1	4.9 × 10 ⁻⁸
	Case 2	5.4 × 10 ⁻⁷
	접합계면을 피알로 2회 도포.	5.4 × 10 ⁻⁷

Case 1; Si시편 4 모서리만 PR을 바르고, 기판과 접합 후 접합계면에 PR을 토출
Case 2; Si시편 모서리를 PR로 토출 후, 기판과 접합 후 접합계면을 PR로 토출

역에 의한 열화가 있음을 알 수 있었다.

따라서 실험을 위한 PR의 활성화 공정조건을 다음과 같이 설정하였다.

Dispenser: speed 3.0 mm/sec, gap; 0.13 mm,

활성화 공정조건: Soft bake; 65°C-1 m, 95°C-15 m, UV expose; 365 nm, 200 mj/cm², PEB; 65°C-1 m, 95°C-6 m, Hard bake 150°C-60 m

3.3. Hermetic

Si시편 위에 두 방법으로 negative PR을 도포 후, 유리기판 또는 LTCC기판과 접합시킨 다음 재차 PR을 접합계면에 dispensing하였다. 계속해 확립된 활성화 공정을 시행한 후, He leak test로 leak rate를 측정하였다.

표 2에 나타난 결과와 같이 모든 시편에서 hermetic

이 유지되었다. Si시편/유리기판의 leak rate는 5.9×10^{-8} mbar-l/sec로 Si시편 위에 negative PR 토출 방법에 따른 영향이 없었다. Si시편/LTCC기판의 leak rate값은 4.9×10^{-8} mbar-l/sec로 Si시편/유리기판과 차이가 없었으나, 접합 계면에서 PR의 흐름과 기포가 관찰된 시편의 leak rate 값은 5.4×10^{-7} mbar-l/sec로 정상적인 test 시편 값에 비해 10배 큰 것으로 관찰되었다.

이는 접합 계면의 PR이 활성화 화학반응이 일어날 정도의 UV expose를 충분히 받지 못함으로써 SU-8 3050 N-02가 단순 에폭시 수지로 작용함에 따라서 flow가 일어나고 150°C로 가열 시 접합 계면을 따라 기포가 발생한 것이다.

4. 결 론

Negative PR (XP SU-8 3050 N-02)을 접착제로 사용 시 hermetic특성을 관찰하기 위해 $\varnothing 200 \mu\text{m}$ 시린지 노즐을 사용하여, 실험장비 조건으로 4 MP adispenser 압력, 3.0 mm/sec 디스펜서 이동속도, 기판과 시린지 노즐의 간격으로 0.13 mm를 선정하였다.

암실에서 PR의 활성화 공정 조건으로는 Soft bake는 65°C에서 1분, 95°C에서 15분, UV expose는 365 nm 파장의 UV light를 200 mj/cm², P.E.B는 65°C에서 1분, 95°C에서 6분, hard bake는 150°C에서 60분을 선정하였다.

Si시편/유리기판과 Si시편/LTCC기판의 접합 계면에 PR을 토출하고 PR 활성화 공정조건을 행한 시편에서 hermetic이 얻어졌다. Si시편/유리기판의 leak rate는 5.9×10^{-8} mbar-l/sec로 Si시편 위에 negative PR 토출 방법에 따른 영향은 없었다. Si시편/LTCC기판에서의 leak rate는 4.9×10^{-8} mbar-l/sec로 Si시편/유리기판과 유사한 값을 얻었다.

향후 He leak rate를 감소시키기 위해 PR flow를 방지하도록 LTCC 기판을 가공하고, UV expose 에너지를 높이고(400 mj/cm²), 시린지/기판의 간격 조절이 가

능한 vision system이 부착된 자동화 장비를 사용하면 낮은 leak rate 값을 얻을 수 있어 보다 우수한 hermetic이 유지된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 차세대 신기술 개발사업의 일환으로 CATS(Center for Advanced Transceiver Systems)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. S.H. Choa, W.B. Kim, M.S. Choi, J.S. Kim, and C.M. Song, "Study of failure mechanism of wafer level vacuum packaging for MEMS gyroscope sensor", Journal of the Microelectronics & Packaging Society, Vol. 10, No. 2, p.57-65, 2003.
2. Y.D. Shim, K.H. Shin, S.H. Choa and Y.J. Kim, "Low temperature hermetic packaging by localized heating using forced potential scheme micro heater", Journal of the Microelectronics & Packaging Society, Vol. 10, No. 2, p.1-5. 2003.
3. H. Lorenz, M. Despont, N. Fahrni, N.LaBianca and P. Resnaud, "SU-8 a low-cost negative resist for MEMS", J. Microchem. Microeng., 7, pp.121-124, 1997.
4. J. Zhang, K.L. Tan, H.Q. Gong, "Characterization of the polymerization of SU-8 photoresist and its applications in systems", Polymer Testing 20, pp.693-701, 2001.
5. M. Shaw, D. Nawrochi, R. Hurditch, D. Johnson, "Improving the process capability of SU-8", Microsystem technologies, 10, pp.1-6, 2003.
6. P.A. Hammond, D.R.S. Cumming, "Encapsulation of a liquid-sensing microchip using SU-8 photoresist", Microelectronic Engineering, 73-74, pp.893-897, 2004.
7. R.R. Tummala *et al.*, "Microelectronics packaing handbook", International Tomson Publishing(ITP), 1996.