

## Negative PR 의 기밀 특성

최의정\*, 선용빈

\*경기대학교 산업정보대학원

### ABSTRACT

MEMS 소자의 접합과 패키징에 Pb free solder 를 사용하게 됨에 따라 발생하는 문제들로 인하여 보다 쉽고 간편하게 hermetic 이 유지될 수 있는 방법을 검토하게 되었다. 따라서 본 연구는 epoxy 계통의 negative PR 인 XP SU-8 3050 NO-2 를 접착제로 사용 시 Si 시편/ 유리기판, Si 시편/LTCC 기판에서 hermetic 특성의 고찰이 목적이다.

Si 시편/유리기판과 Si 시편/LTCC 기판의 접합 계면에 접착제로 negative PR 을 토출하고 활성화 공정조건을 행한 시편들에서 hermetic 이 얻어졌다. Si 시편/유리기판의 leak rate 는  $5.9 \times 10^{-8}$  mbar-//sec 로 접합방법에 따른 영향은 없었으며, Si 시편/LTCC 기판에서 leak rate 는  $4.9 \times 10^{-8}$  mbar-//sec 로 Si 시편/유리기판과 비슷하였다. 향후 He leak rate 를 개선하기 위해서는 LTCC 기판을 가공하여 PR 흐름방지 턱을 만들고, UV expose 에너지를 높이고 (400mj /cm<sup>2</sup> 조사), 시린지/기판의 gap 조절을 자동화 할 수 있는 vision system 이 부착된 장비를 사용하면, 보다 낮은 leak rate 값을 얻을 수 있어 우수한 hermetic 이 유지된다.

### 1. 서론

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.

SIP 를 실현하기 위해서 무선통신 소자의 경우 RF MEMS(Radio Frequency Micro Electro Mechanical System) 기술이 필요하며, MEMS 소자 구조물은 크기가 작아 particle 과 습기가 패키지 내로 침투 되면 소자성능이 쉽게 악화되므로 외부 환경으로부터 구조물을 보호하기 위하여 진공 또는 N<sub>2</sub> 분위기에서 패키지를 하기 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 silicon 과 관련된 접합공정을 모두 포함한다. 접합 방법은 재료에 따라서도 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 ion 이 없어 오염을 피할 수 있고, 이종 재료의 접합이 가능하며, 공정이 간단하고 접합

---

\* E-mail: Euijyng@hanmail.net

강도가 높으며, 응력을 감소시킬 수 있는 등의 다양한 장점이 있으나 hermetic sealing 이 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 단점을 보완한 제품이 개발 출시되고 있다.

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

## 2. 실험 방법

### 2.1 Si 시편 제조

시편의 준비, 제조와 접착 등에 관한 실험 공정 순서도를 그림 1 에 나타냈다. [4] 습식 세정장비로 5 inch wafer 를 piranha cleaning 후, positive PR 12000 Å 을 spin coat 하였다 CANON align 로 expose 후 develop 하여 pattern 을 형성하였다. Si 기판을 200 μm plasma etch 후에 wafer 앞면의 패턴을 보호하기 위하여 보호 film 을 부착하고 wafer sawing 하였다. 개별 test coupon 으로 분리 후, 초음파 분위기에서 PR strip 을 하였다. Air gun 으로 시편의 수분을 제거한 후에 150°C hot plate 에 올려놓고 시편을 건조시켜 MIL STD 883-E 에 따른 hermetic test 용 Si test coupon 을 그림 2 과 같이 제작하였다.

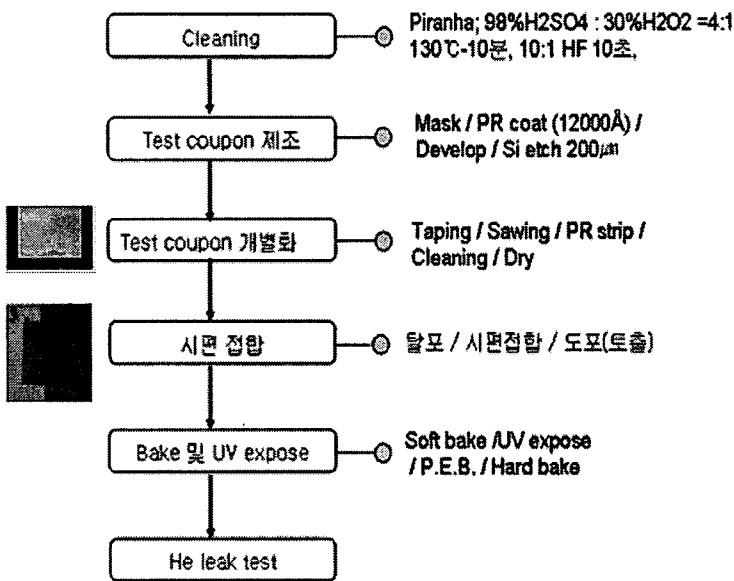
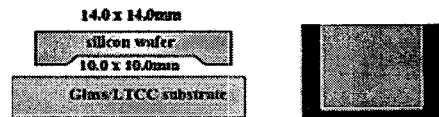


그림 1. 실험 공정도



Design  
그림 2. Si 시편

### 2.2 장비 조건

Dispenser pendant 를 사용, 시린지 노즐이 zig 표면에 닿는 높이를 “Z=0”으로 설정하였고, X, Y 좌표는 시린지 노즐이 zig 에 접촉하는 좌표를 1 차로 설정한 후 X, Y 방향으로 미세 조정하여 그림 3 과 x, y 좌표로 설정하였다.

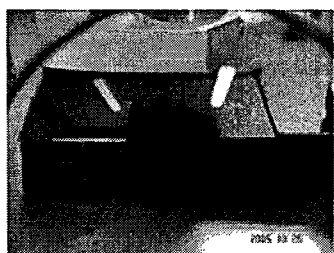


그림 3. 디스펜서의 좌표 설정

도포 초기에는 시린지 needle 끝에 PR 이 없고, PR 토출 압력이 균일하지 않아 초기 도포 라인이 불 균일 할 수 있어, "ㄷ"자 형태의 3 개 PR 패턴을 형성 후 3 번째 패턴의 평균 폭과 높이 값을 선택 하였다.

4 MPa 디스펜서 압력과  $\varnothing 200 \mu\text{m}$  시린지 nozzle 을 사용하였으며, 이때 dispensing 속도는 1.5 ~ 3.5 mm/sec 범위에서 0.5 mm/sec 증가시키고, 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 PR 을 소량 dispense 후, vacuum tweezers 로 Si 시편을 잡고, 뒤집은 (flip) 상태에서 한쪽 모서리를 유리기판과 LTCC 기판에 대고 기울이면서 접합하였다.

### 2.4 활성화 조건

#### 2.4.1 소프트 베이킹 시간

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

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

#### 2.4.2 노광

UV expose 영향을 관찰하기 위해 PR 을 dispensed 한 시편들의 접합면에 365 nm 파장의 UV 빛을 각각 100, 200, 400mj/cm<sup>2</sup> 조사하였다.

#### 2.4.3 Post Exposed Bake (PEB) and Hard Bake

PEB 조건은 65, 95°C의 soft bake 실험 결과를 인용하였다. 단 soft bake 시간의 영향이 크면 2 단계 P.E.B. 시간에 대한 실험을 시행한다.

Hard bake 는 hot plate 가 150°C에 도달 후, Si 시편을 아래로 오도록 하여 60 분간 시편들을 150°C hot plate 에서 유지한 후에 공기 중에서 냉각시켰다.

2.5 He leak test

MIL standard 883E 에 따라 chamber 를 75psi (5.17bar, 5.103 atm)에서 2 시간 동안 가압하며 He 을 주입한 후에 Varian 사의 He leak detector 로 시편을 옮겨서 He leak test 를 실시하고 hermetic 특성을 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 장비 조건

dispensing 속도를 1.5 mm/sec 에서부터 3.5 mm/sec 까지 0.5 mm/sec 씩 변화시키고 gap 을 0.05 mm에서부터 0.2 mm까지 0.05 mm씩 변화시켜가며 dispensed 라인의 형상을 관찰하였다. Dispensing 속도 3.0 mm/sec, 0.15 mm gap 에서 양호한 형상을 얻었으나 기관의 두께와 수작업으로 인한 오차가 있어 gap 을 미세 조정하여 0.13 mm에서 양호한 형상을 얻었다. 시린지 이동속도와 gap 이 dispensed 라인 형성에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 즉 gap 이 클 때 이동 속도가 빠르면 dispensed 라인이 끊어지고, gap 이 작을 때 이동 속도가 빠르면 라인이 뭉치며 라인 내에 void 가 관찰되었다.

3.2 활성화 조건

3.2.1 Soft bake 시간의 영향

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

3.2.2 95°C 소프트 베이킹 시간과 UV 에너지 영향

95°C soft bake 조건에서 시간에 따른 Si 시편/유리기판의 He leak rate 값을 표 1 에 나타내었다.

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

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

\*\* 감압 2시간 후 bare Si / glass 값; 1.0 x 10<sup>-10</sup>mbar-l/sec

한국반도체및디스플레이장비학회 2006년도 춘계학술대회용 논문집

모든 샘플에서 hermetic 이 유지됨을 알 수 있었으며, 100mj/cm<sup>2</sup>에서 2 단계 soft bake 시간이 증가하면 leak rate 값은 증가하였으나 그 밖에는 일정하였다. 95℃ 15 분, 3 분 hot plate 조건에서 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 PR 의 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 PR 을 방치하니 변색하기 시작하여 파장 대역에 의한 열화가 있음을 알 수 있었다.

따라서 실험을 위한 PR 의 활성화 공정조건을 다음과 같이 설정하였다.

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

활성화 공정조건: Soft bake; 65℃-1m, 95℃-15m, UV expose; 365 nm, 200mj /cm<sup>2</sup>,

PEB; 65℃-1m, 95℃-6m, Hard bake 150℃-60m

3.3 Hermetic

Si 시편 위에 두 방법으로 negative PR 을 도포 후, 유리기판 또는 LTCC 기판과 접합시킨 다음 재차 PR 을 접합면에 dispensing 하였다. 계속해 확립된 활성화 공정 시행한 후, He leak test 로 leak rate 를 측정하였다.

표 2 에 나타난 결과와 같이 모든 시편에서 hermetic 이 유지되었다. Si 시편/유리기판의 leak rate 는 5.9 x 10<sup>-8</sup>mbar-l/sec 로 Si 시편 위에 negative PR 토출 방법에 따른 영향이 없었다. Si 시편/LTCC 기판의 leak rate 값은 4.9 x 10<sup>-8</sup>mbar-l/sec 로 Si 시편/유리기판과 차이가 없었으나, 접합 계면에서 PR 의 흐름과 기포가 관찰된 시편의 leak rate 값은 5.4 x 10<sup>-7</sup>mbar-l/sec 로 정상적인 test 시편 값에 비해 10 배 차이가 관찰되었다.

이는 접합 계면의 PR 이 활성화 화학반응이 일어날 정도의 UV expose 를 충분히 받지 못함으로써 SU-8 3050 N-02 가 단순 에폭시 수지로 작용함에 따라서 flow 가 일어나고 150℃로 가열 시 접합 계면을 따라 기포가 발생한 것이다.

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

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

Case 1; Si 시편 4 모서리만 피알을 바르고, 기판과 접합 후 접합계면에 피알을 토출

Case 2; Si 시편 모서리를 피알로 토출 후, 기판과 접합 후 접합계면을 피알로 토출

#### 4. 결론

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

암실에서 PR 의 활성화 공정 조건으로는 Soft bake 는 65°C에서 1 분, 95°C에서 15 분, UV expose 는 365 nm 파장의 UV light 를 200mj/cm<sup>2</sup>, P.E.B 는 65°C에서 1 분, 95°C에서 6 분, hard bake 는 150°C에서 60 분을 선정하였다.

Si 시편/유리기판과 Si 시편/LTCC 기판의 접합 계면에 PR 을 토출하고 PR 활성화 공정조건을 행한 시편에서 hermetic 이 얻어졌다. Si 시편/유리기판의 leak rate 는 5.9x10<sup>-8</sup>mbar-1/sec 로 Si 시편 위에 negative PR 토출 방법에 따른 영향은 없었다. Si 시편/LTCC 기판에서의 leak rate 는 4.9 x 10<sup>-8</sup>mbar-1/sec 로 Si 시편/유리기판과 유사한 값을 얻었다.

향후 He leak rate 를 감소시키기 위해 PR flow 를 방지하도록 LTCC 기판을 가공하고, UV expose 에너지를 높이고(400mj/cm<sup>2</sup>), 시린지/기판의 간격 조절이 가능한 vision system 이 부착된 자동화 장비를 사용하면 낮은 leak rate 값을 얻을 수 있어 보다 우수한 hermetic 이 유지된다.

#### 후기

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 packaing for MEMS gyroscope sensor", Journal of the Microelectronics & Packaing Society Vol 10, No. 2, p57-65. 2003
- [2] Y.D. Shim, K.H. Shin, S.H. Choa and Y.J. Kim, "Low temperature hermetic packaing by localized heating using forced potential scheme micro heater", Journal of the Microelectronics & Packaing Society Vol 10, No. 2, p1-5. 2003.
- [3] H. Lorenz, M. Despont, N. Fahrni, N.LaBianca and P. Resnaud, "SU-8 a low-cost negative resist for MEMS", J. Micorchem. Microeng. 7, pp.121-124, 1997
- [4] J. Zhang, K.L. Tan, H.Q. Gong, "Characterization of thepolymerization of SU-8 photoresist and its applications insystems", Polymer Testing 20 (2001) 693-701
- [5] M. Shaw, D. Nawrochi, R. Hurditich, D. Johnson, " Improving the process capability of 'SU-8", Microsystem technologies 10(2003)1-6.
- [6] P.A. Hammond, D.R.S. Cumming, "Encapsulation of a liquid-sensing microchip using "SU-8photoresist", Microelectronic Engineering 73-74(2004)893-897
- [7] R.R. Tummala, et. al., "Microelectronics packaing handbook" , International Tomson Publishing(ITP), 1996