

Deep cavity를 가진 Cap Wafer와 MEMS 소자의 Polymer Wafer bonding

이현기, 박대준, 윤상기, 박남수, 박형재, 민중환, 이영규
 삼성전기(주) 공법개발그룹(MicroFAB)

Polymer Wafer bonding of MEMS device and Cap Wafer with deep cavity

Hyun-Kee Lee, Tae-Joon Park, Sang-Kee Yoon, Nam-Su Park, Hyung-Jae Park, Jong-Hwan Min, Yeong-Gyu Lee
 Process Methodology development Group(MicroFAB), SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS CO.,LTD

Abstract - MEMS 소자의 Wafer level Package 관련하여 Deep cavity를 가진 Cap Wafer와 Polymer bonding 중 cavity 단차로 인한 Polymer Patterning 및 접합 불량률의 어려움을 극복할 수 있는 새로운 공정 flow를 제안하였다. Cavity를 형성할 때 사용하는 Si deep etching Mask인 기존의 Photoresist를 접합용 감광성 Polymer로 대체하고, cavity 형성 후, 별도의 추가 공정 없이 이 Polymer를 이용해 Wafer bonding을 진행하였다. 이를 통해 cavity 단차에 따른 문제를 해결함과 동시에 공정이 단순하고 제작 비용이 저렴하며, 신뢰성 있는 Wafer level Package를 구현하였다.

1. 서 론

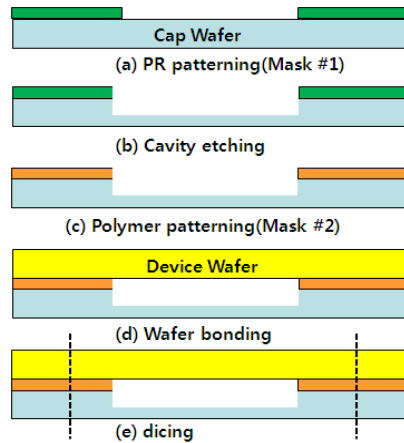
최근 높은 정밀도와 저전력 소비, 저렴한 제작 단가 등의 장점을 지닌 MEMS 센서의 개발이 활발한 가운데, 초소형 모듈의 구현을 통한 Mobile 기기에 대한 본격적인 적용이 이루어지고 있다. 특히 3축의 가속도와 각속도 등의 움직임을 감지하는 Motion Sensor의 경우 Stmicroelectronics, Bosch, Invensense 등에서 이미 양산화 되어 적용 범위가 급속히 확대되고 있다[1]. 이런 Motion Sensor는 외부의 힘에 의해 움직이는 Mass 질량체의 관성력을 주로 이용하며, 크게 comb actuator의 정전력 방식이나 PZT actuator의 Piezoelectric 방식이 있다. 이때 Mass 질량체의 보호를 위해서는 cavity를 가진 cap을 이용한 capping이 필요하며 이러한 capping은 미세한 align과 공정 효율, 제작 비용 등을 고려하여 Cap Wafer와 소자 Wafer간의 Wafer bonding을 이용한 Wafer level Package가 적용된다. 본 논문에서는 최근 Wafer level Package에 많이 활용되는 Polymer Wafer bonding 관련하여 Cap Wafer bonding 시 발생하는 문제점을 검토하고 그 해결 방안을 제시하였다.

2. 본 론

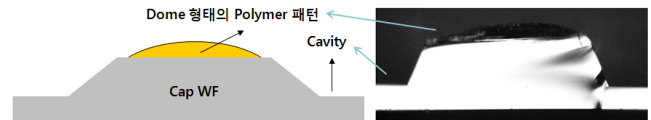
2.1 Polymer Wafer Bonding 시 Cavity의 영향

Wafer level Package에 많이 적용되는 Wafer bonding 방식으로는 Silicon direct bonding, Anodic bonding, Glass frit bonding, Eutectic bonding 등이 있으며, 최근에는 저온 공정이 가능하고, Wafer 표면 상태의 영향을 적게 받는 장점과 공정의 편리성 등을 고려한 Polymer wafer bonding에 대한 연구와 적용이 활발히 진행되고 있다 [2,3]. 일반적인 MEMS 소자의 Polymer Wafer bonding Process는 <그림 1>과 같다. MEMS 소자의 질량체인 Mass 보호를 위해 먼저 Cavity가 있는 Cap Wafer를 제작한다. (a)의 PR(Photoresist) patterning(Mask #1), (b)의 cavity etching을 하고 PR 제거를 한다. 그 위에 (c)와 같이 bonding 용 감광성 Polymer를 coating 및 노광 공정(Mask #2)을 하여 patterning 한 후, (d)에서 device Wafer와 Wafer level로 bonding을 한다. cavity의 깊이는 device의 특성에 맞춰 작게는 수 um에서 크게는 100um 이상이 필요하다. 이때 cavity 깊이 단차에 의해 Polymer의 coating 및 patterning 공정이 용이하지 않고, Wafer 전면에 Polymer 두께 편차가 크게 발생해서 후속 bonding 공정에 접합력 약화를 유발하며, 편차가 크면 bonding 공정 자체가 불가능하게 되는 문제가 있다. <그림 2>는 cavity 깊이 80um, 130um의 Cap Wafer에 Polymer patterning을 했을 때의 Polymer 두께 편차와 형상을 나타낸 것이다. (a)와 같이 cavity와 cavity 사이의 bonding 영역에 coating된 Polymer의 형상은 Spin coating 특성 상 dome 모양을 나타내고, 6 inch Wafer 전면의 polymer 두께를 Surface Profiler로 측정된 결과 10um 이상의 두께 편차를 보여준다. 또한 (c)는 이 Cap

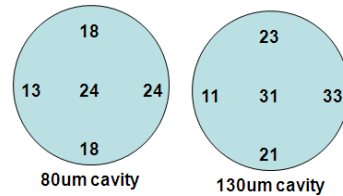
Wafer의 접합 상태를 확인하기 위해 glass Wafer와 bonding하여 top view를 본 것으로 접합 상태가 위치별로 균일하지 못함을 알 수 있다. Bonding 시 장시간, 높은 온도와 압력을 가하거나, Spray coating 방식을 통해 <그림 2>의 접합 상태는 일정 정도의 향상은 가능하나 한계가 있으며, 근본적인 문제 해결을 위해서는 깊은 cavity의 영향을 극복할 수 있는 새로운 공정 flow가 필요하다.



<그림 1> 일반적인 MEMS 소자와 Cap Wafer의 Polymer bonding



(a) cavity 단차에 의한 dome 형태의 Polymer 단면 형상



(b) cavity 단차에 의한 Polymer 두께 편차(surface Profiler, P-10, um)

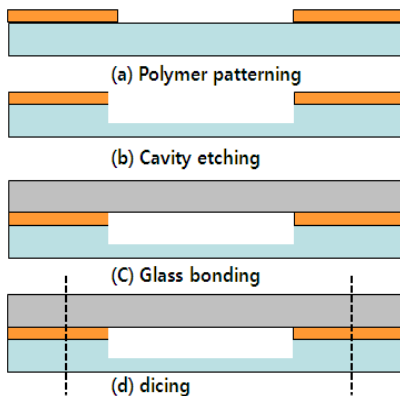


(c) glass Wafer bonding(top view)

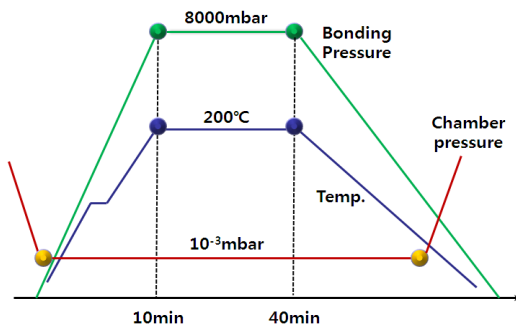
<그림 2> 깊은 cavity에 의한 bonding 영향

2.2 제안된 Cap Wafer bonding Process flow

위에서 검토한 것과 같이 깊은 cavity 위에 Polymer를 coating하고 bonding하는 방식은 cavity 단차에 따른 Polymer 두께 차와 그에 따른 접합 불량을 극복하기 힘들며, <그림 3>과 같은 새로운 공정 flow를 구상하였다. 제안된 방식은 접합용 Polymer가 Cap Wafer의 cavity를 제작할 때 etching Mask로 사용되는 Photoresist를 대체할 수 있을 것으로 기대하여, bare Wafer에 Polymer를 patterning하고 그 Polymer를 etching Mask로 이용하여 cavity를 형성한 후, 바로 Wafer bonding을 수행하는 방법이다. Polymer는 Shinetsu Chemical의 SINR 제품을 사용하였고 세부적인 공정 조건은 다음과 같다. 우선 6inch Bare Si Wafer에 감광성 Polymer를 2000rpm으로 Spin coating을 하고 110°C에서 Hot plate를 이용하여 5분간 baking을 한다. Wafer에 단차의 구조가 없으므로 Polymer의 두께는 20um+/-0.1로 균일하게 얻어지는 장점이 있다. Aligner를 이용해 720mJ의 에너지로 노광을 하고 IPA를 이용해 약 10분간 현상한 후 PEB와 Hard bake를 각각 130°C 2분, 150°C 3분을 진행하여 (a)와 같은 Polymer pattern을 얻는다. 이 Polymer를 etching Mask로 이용하여 (b)와 같이 Si bare Wafer의 cavity를 형성한다. Cavity의 깊이는 약 100um이고 STS의 Pegasus etching 설비를 이용하여 SF6 gas로 Deep Reactive Ion etching 공정으로 구현하였다. Etching 후 Polymer의 두께는 약 15um로 감소하였으나 접합에는 문제가 없는 두께이며, 추가 공정 없이 바로 bonding을 진행하였다. Cap Wafer의 접합 상태를 top view로 확인하기 위해 device Wafer 대신 glass Wafer를 접합하여 현미경으로 관찰하였다. Bonding Process sequence는 <그림 4>와 같이 주요 공정 변수로는 공정시간, 온도, bonding Pressure 등이 있다.



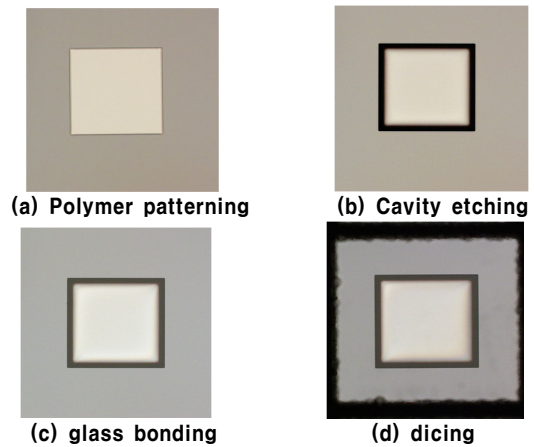
<그림 3> 제안된 Cap Wafer bonding Process flow



<그림 4> bonding Process sequence

2.3 cavity의 영향 없는 Polymer wafer bonding 구현

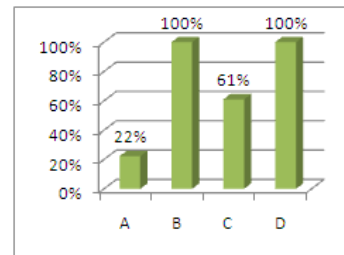
제안된 방법에 따른 접합상태를 확인하기 위해 dicing을 한 후 용액의 침투 여부를 파악하였다. <그림5>는 bonding 된 glass 표면을 통해 현미경으로 단계별 top view를 확인한 것으로 (a)는 Polymer patterning 후 사진이며 (b)는 polymer를 이용해 약 100um 깊이의 cavity를 DRIE 공정으로 etching한 결과이다. (c)는 glass와 200°C에서 8000mbar의 가압으로 30분간 bonding한 후를 나타내며, (d)를 통해 dicing 후 용액 등의 기타 이물질이 침투하지 않아 polymer bonding이 안정적으로 이루어졌음을 알 수 있다. 현미경으로 관찰하여 용액의 침투가 없고 접합 불량 영역이 없는 것을 양호한 샘플로 판단하고, <표 1>의 bonding 조건에 따른 양호한 샘플의 비율(수율)을 <그림 6>에 나타내었다.



<그림 5> 단계 별 top view

<표 1> Polymer bonding 조건

Sample	관찰 chip 수(ea)	EBR 사용	온도(°C)	Pressure(mbar)	시간(min)
A	95	O	160	6000	30
B	132	O	180	8000	120
C	140	X	180	6000	60
D	100	O	200	8000	30



<그림 6> Polymer Bonding 조건 별 수율

160°C에서 6000mbar의 bonding pressure로 30min간 bonding한 샘플 <A>에서 수율 22%의 저조한 결과가 나왔으며, 온도와 시간을 증가시킨 샘플 에서 수율 100%를 얻어 온도와 시간이 중요한 변수임을 알 수 있다. 샘플 <A>와 는 Polymer Spin coating 특성 상 반드시 발생하는 edge bead를 제거하기 위해 Edge Bead Remover 공정을 적용하였으며, EBR의 효과를 알아보기 위해 EBR 공정을 제거하고, Pressure 6000mbar, 60min간 공정한 샘플 <C>에서는 61%의 수율이 나타나 Polymer bonding시 EBR 공정이 반드시 필요함을 알 수 있다. 샘플 의 공정 시간 단축을 위해 샘플 <D>에서는 온도를 200°C로 높이고 Pressure를 8000mbar로 증가시킨 후 공정 시간을 30min으로 단축시킨 실험에서도 bonding 수율 100%가 얻어져, 온도와 Pressure의 증가를 통한 시간의 단축이 가능함을 알 수 있다. 결과적으로 접합용 Polymer를 이용하여 한 번의 Polymer patterning을 통한 cavity의 etching 및 bonding의 Process flow가 가능함을 알 수 있으며, 이에 따른 cavity 단차 문제 해결과 공정 비용 절감 및 공정 단순화, 접합 안정성에 따른 신뢰성 향상 등의 효과를 기대할 수 있다.

3. 결 론

MEMS 소자와 Cap Wafer의 Polymer bonding 관련하여 깊은 cavity 단차로 인한 Polymer Patterning 문제 및 접합 불량의 어려움을 극복하기 위하여, 한 번의 Polymer patterning으로 Cavity를 형성하고 추가 공정 없이 이 Polymer를 이용해 bonding 하는 공정 flow로 cavity 단차에 따른 문제를 해결함과 동시에 공정이 단순하고 제작 비용이 저렴하며, 신뢰성 있는 Wafer level Package를 구현하였다.

[참 고 문 헌]

- [1]www.st.com, www.bosch-sensortec.com, www.invensense.com
- [2]V.Draoi, "Adhesive wafer bonding using Photosensitive polymer layers", Smart Sensors Actuators and MEMS, 2009
- [3]F.Niklaus, "Adhesive wafer bonding", Journal of Applied Physics 99, 031101. 2006