

폴리머를 이용한 CIS(CMOS Image Sensor) 디바이스용 웨이퍼 레벨 접합의 warpage와 신뢰성

박재현 · 구영모¹ · 김은경² · 김구성*

강남대학교 전자공학과, ¹(주)이퍼웍스 ESIP 연구소, ²서울산업대학교 NID융합기술대학원

A Reliability and warpage of wafer level bonding for CIS device using polymer

Jae-Hyun Park, Young-Mo Koo¹, Eun-Kyung Kim², Gu-Sung Kim*

Department of Electronic Engineering, Kangnam University, Gyeonggi 446-702 Korea,

¹ESIP R&D Lab., EPWorks Co., Ltd., Gyeonggi 463-816 Korea,

²Graduate School of NID Fusion Tech., Seoul National University of Technology, Seoul 139-743 Korea

초 록: 본 논문에서는 웨이퍼 레벨 기술을 이용한 CIS용 폴리머 접합 기술을 연구하고 접합 후의 warpage 분석과 개별 패키지의 신뢰성 테스트를 수행하였다. 균일한 접합 높이를 유지하기 위하여 glass 웨이퍼 상에 dam을 형성하고 접합용 폴리머 층을 patterning하여 Si와 glass 웨이퍼의 접합 테스트를 수행하였다. Si 웨이퍼의 접합온도, 접합 압력 그리고 접합 층이 낮을수록 warpage 결과가 감소하였으며 접합시간과 승온 시간이 짧을수록 warpage 결과가 증가하는 것을 확인하였다. 접합 된 웨이퍼를 dicing 하여 각 개별 칩 단위로 TC, HTC, Humidity soak의 신뢰성 테스트를 수행하였으며 warpage 결과가 패키지의 신뢰성 결과에 미치는 영향은 미비한 것으로 확인되었다.

Abstract: In this paper, the polymer adhesive bonding technology using wafer-level technology was investigated and warpage results were analyzed. Si and glass wafer was bonded after adhesive polymer layer and dam pattern for uniform state was patterned on glass wafer. In this study, warpage result decreased as the low of bonding temperature of Si wafer, bonding pressure and height of adhesive bonding layer. The availability of adhesive polymer bonding was confirmed by TC, HTC, Humidity soak test after dicing. The result is that defect has not found without reference to warpage.

Keywords: WLP, Adhesive bonding, CIS package, warpage

1. 서 론

웨이퍼 레벨 패키지 기술은 반도체 제조 기술의 경박단소를 지향하는 양산형 기술로서 많은 주목을 받아왔다. 최근의 전자 패키지 기술은 대표적으로 CIS, MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 등의 분야에서 웨이퍼 레벨 패키지 기술을 사용한 고집적, 고신뢰성의 제품을 개발, 생산하고 있으며 웨이퍼 접합, TSV(Through Silicon Via) 등의 중요 기술들을 중심으로 개발되고 있다.¹⁻² 메모리나 SIP와 같은 고집적 디바이스에서도 웨이퍼 접합 기술을 구현하고 있으며 이를 적용하는 그 웨이퍼의 사이즈 또한 증대되어 8, 12 inch 웨이퍼의 기술 적요가 진행되고 있다.³ 웨이퍼 사이즈의 증대는 신뢰성이라는 중요한 기술적 기반을 필요로 하며 열적 특성 변화에 대한 웨이퍼의 warpage 현상, 균일한 접합 상태, 접합 신뢰성에 대한 연구 개발이 요구되어지고 있다.

일반적으로 웨이퍼 접합은 직접 접합(direct bonding),

양극 접합(anodic bonding), 중간층 접합(intermediate layers bonding)의 대표적인 3가지 방법으로 구분되어진다. 직접 접합 방법은 양 기관 표면의 수소 결합력에 의해 초기 접합을 한 후 고온(800°C이상)에서 열처리 공정을 통해 공유결합을 형성함으로써 주로 동일 기관의 접합에 사용되고 고온의 공정처리 문제점이 있다.⁴⁻⁶

양극 접합은 300-400°C에서 유리기관과 실리콘 기관을 접합하고 높은 전압을 인가하여 SiO₂ 공유결합을 형성하는 접합방법으로 비교적 저온 공정으로 진행되나 높은 전기적 신뢰도 문제와 열팽창계수(coefficient of thermal expansion, CTE) 차이에 의한 열응력에 취약하여 기관선정에 제한적인 문제점이 있다.⁷⁻⁹ 상기의 두 가지 방법은 기본적으로 그 접합의 적용 분야 및 적용에 한계성이 크다. 반면 중간층 접합 법은 메탈, 폴리머 등의 다양한 접합 층을 사용하여 접합함으로써 접합부의 패턴이 가능하고 접합 온도의 선택도가 타 방법에 비하여 용이하여 웨이퍼 스택, sensor, MEMS 패키지 등의 특정한 용

*Corresponding author

E-mail: gkim@kangnam.ac.kr

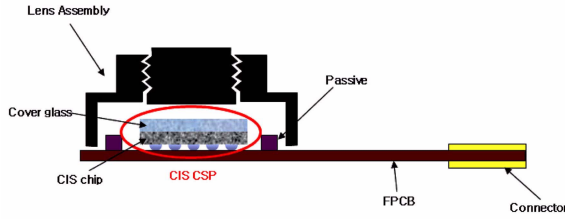


Fig. 1. Corss-sectional structure of CCM assembly using CIS CSP

도에 맞추어 많은 연구가 진행되어지고 있다.¹⁰⁻¹²⁾

Fig. 1은 현재 제작되어지고 있는 CCM(Compact Camera Module) 그림으로 대표적인 중간층 접합 방법을 사용하여 제작되어지는 CIS 디바이스의 패키지(Chip Scale Package, CSP) 실장 예이다. 특정한 sensor부를 외부 환경으로부터 보호하기 위해 cover glass를 필요로 하며 온도에 취약한 sensor부에 충격을 주지 않는 온도 범위 하에서 실행하여야하는 저온의 접합 공정은 필수사항으로 요구되어지고 있다. 그러나 중간층 접합 방법은 상기 두 가지 방법인 직접, 양극 접합과 비교하여 접합력이 현저히 떨어져 그 성능을 높이기 위한 물질 개발 및 공정개선의 노력이 계속적으로 필요한 실정이며 중간층을 이용한 접합 방법에 따라 hermetic sealing 신뢰성 검증 수행 또한 요구되어지고 있다.

본 연구에서는 image sensor부 보호를 위한 cover glass와 Si 웨이퍼의 접합 형태를 갖는 CIS 디바이스의 패키지를 위해 8 inch의 저온 중간층 접합 공정을 수행하였다. Fig. 2에 나타낸 바와 같이 Si과 glass 웨이퍼의 cavity 공간 형성 및 균일한 높이 형성을 유지하며 접합하기 위하여 dam 구조물을 형성하였고 접합용 폴리머를 patterning 하여 웨이퍼 접합을 실시하였다. 접합 공정에 따른 웨이퍼 warpage 결과를 측정하였으며 접합 온도, 접합 압력, 중간 접합 층의 높이, 접합 시간, 승온 시간의 각 공정 변수가 warpage 현상에 미치는 결과를 분석하였다. 또한, 칩 단위로 dicing을 하고 TC(Temperature Cycling), HTS(High Temperature Storage), humidity soak 신뢰성 테

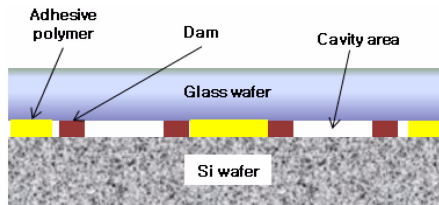


Fig. 2. Schematic of intermediate layer wafer bonding using adhesive polymer for CIS.

스트를 수행하여 접합 결과에 의한 crack, leakage 발생 여부를 micro scope를 사용하여 확인하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용된 각 웨이퍼 접합 재료는 Si 웨이퍼와 image sensor package용으로 사용하는 Borosilicate 유리 웨이퍼를 사용하여 진행하였으며 모두 8 inch 규격을 사용하였다. Borosilicate glass 웨이퍼는 타 glass 재료와 비교하여 내열성 및 내산성이 좋고 CTE가 낮아 Si 웨이퍼와의 CTE 차이가 타 glass 재료와 비교하여 낮은 편이며 경량화 특성과 투과율이 좋아 image sensor 분야에 널리 사용되어지고 있다. 또한, 접합용 폴리머로서 접합 특성, 유리 전이온도, 경화온도를 평가하여 본 연구에 적합한 1종의 접합 폴리머를 선정하였다. 상기 재료의 특성은 Table 1, 2 와 같다.

Si 웨이퍼에는 폴리머와 oxide막의 균일한 결합을 위하여 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 방법을 통해 1000Å의 oxide막을 증착하였다. glass 웨이퍼는 접합의 균일한 높이를 유지하기 위해 접합용 폴리머를 사용하여 dam pattern을 각각 10, 20 μm 두께로 형성하였다. 이때 dam pattern의 높이는 image sensor의 micro lens부에 손상을 주지 않는 범위 하에서 폴리머로 구현이 가능한 최소, 최대 높이로 설정하였다. image sensor 부분과 pad 부분이 cavity 공간을 형성하도록 dam pattern을 설계하였으며 cure 공정을 진행하여 완전 경화시켜 물리적인 지지대 역할을 구현하였다. Dam 구조물 형성 후에 lithography 공정을 통하여 접합용 폴리머를 dam 패턴보다 3 μm(±0.5) 높게 하여 웨이퍼 접합 층을 patterning하였다. Fig. 3은 전체 공정도를 나타낸다.

각 Si과 glass 웨이퍼의 단위 공정 후에 EVG(Electronic Visions Group)사의 520 bonder를 사용하여 진공(1.53×10⁻⁴mbar) 상태에서 접합 공정을 진행하였다. 접합용 폴리머의 Tg점은 약 200°C로 그 이하의 온도에서 경화조건을 만족하는 온도를 설정하여 Si, glass 부분의 온도변화에 따른 접합 상태를 관찰하였다. 접합 압력은 최

Table 1. Material properties of test samples

Type	CTE (ppm/°C)	Young's Modulus (Gpa)	Shear modulus (Gpa)	Height (μm)
Si	2.8	190		750
Glass	3.18	70.9	28.9	500
SiO ₂	0.6	69	30~100	0.1

Table 2. Properties of adhesive polymer

Type	Tg(°C)		CTE (-65~150°C) (ppm)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Water Absorption (%)
	DMA	TMA				
Polymer	215	201	56	90	22	1.5

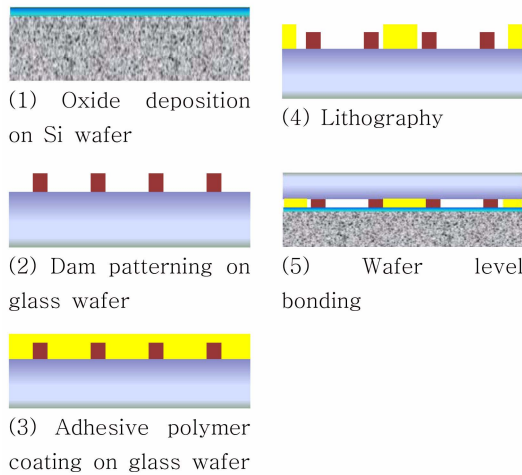


Fig. 3. Wafer level bonding fabrication process flow

Table 3. Wafer bonding conditions

	Bonding temp.(°C)		Pressure (N)	Height (μm)	Time (min)	Rising time (°C/min)
	Si	Glass				
Min.	130	130	5000	10	60	5
Max.	190	190	8000	20	90	20

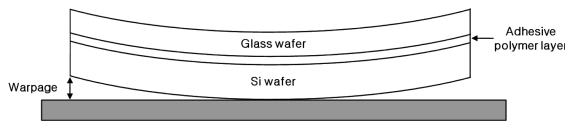


Fig. 4. Schematic diagram of warped wafer

소 5000N에서 폴리머에 의한 전체적인 접합 상태가 이루어지는 것을 확인하였으며 사용 장비의 제한된 부분으로 8000N까지의 압력변화에 따른 결과분석을 진행하였다. 또한 공정시간과, 승온 시간은 폴리머 경화온도의 시간을 고려하여 최소 시간과 최대시간을 선정하였으며 Table 3에 공정조건을 나타내었다. 각 공정 조건은 DOE(Design Of Experiments)를 통해 요인 수준을 분석도IV의 부분 실험 방법을 사용하여 진행하였다.

웨이퍼 접합의 warpage(Fig. 4) 측정은 3차원 비접촉 측정기를 사용하여 실험 웨이퍼를 평평한 테이블에 놓고 가상의 기준점을 형성한 후에 각 포인트별로 높이를 측정하는 방식으로 진행하였다. 또한 접합된 웨이퍼의 접합 성능을 평가하기 위하여 Table 4에 나타낸 JEDEC 기준

Table 4. Reliability test conditions

Type	Test condition	
TC(1)	-55~125°C	100, 200, 300 cycle
TC(2)	-65~150°C	100, 200, 300 cycle
Humidity soak	85°C/85% RH	100, 200, 300 hrs
HTS	85°C	100, 200, 300 hrs

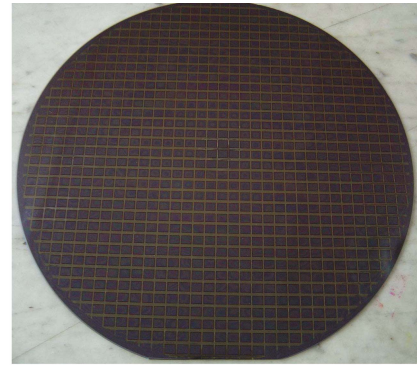


Fig. 5. Si and glass bonding sample using Adhesive polymer

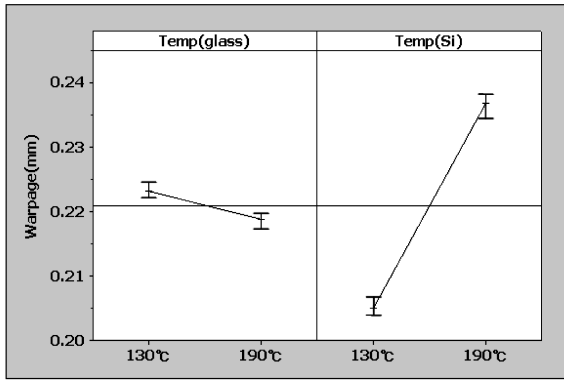
의 각 조건별 TC, Humidity soak, HTS의 신뢰성 테스트를 수행하여 그 결과를 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

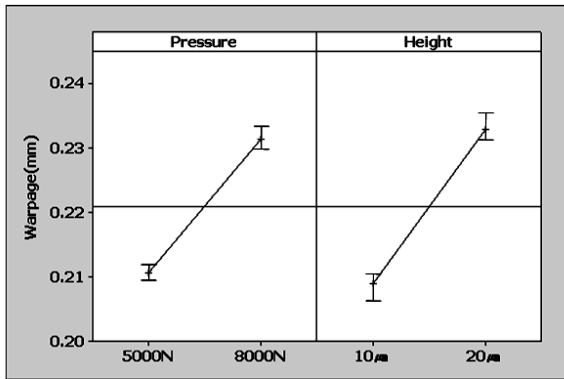
Si, glass 웨이퍼면의 접합 온도, 접합 압력, 폴리머 접합 층의 높이, 접합 시간, 승온 시간의 각 공정요인을 변화하며 웨이퍼 접합을 수행한 샘플(Fig. 5)의 warpage 결과를 측정하여 분석하였으며, 각 칩을 dicing 하여 TC, HTS, Humidity soak 패키지 신뢰성 검사를 수행하였다.

Fig. 6(a)는 Si과 glass의 웨이퍼 접합 시 온도 변화에 따른 warpage 결과를 측정하여 분석한 데이터이다. Si 웨이퍼의 130~190°C 온도 변화에 대한 warpage 결과는 205~236.8 μm로 변화함을 확인하였으며 glass 웨이퍼의 온도 변화에 의한 결과 218.7~223.1 μm 보다 큰 변화폭을 가진다. 이는 본 실험에서 Si 웨이퍼에 증착된 낮은 CTE의 SiO₂ 막과 Si 웨이퍼와의 thermal mismatch에 의해 edge load 현상을 발생시켜 warpage 결과로 나타나는 것으로 추정된다. 이 결과는 타 공정 요인의 결과와 비교하여 가장 큰 변화 값을 보여주며 다층형 구조에서 thermal mismatch에 의한 warpage 현상이 가장 크게 나타남을 보여준다. Glass 웨이퍼의 온도가 높아질수록 warpage 결과가 낮아지는 것은 Si과 SiO₂의 CTE차에 의한 warpage 발생 효과가 더 크기 때문에 glass 웨이퍼의 열팽창 효과가 이를 미세하게 완화시켜주는 결과로 나타나지만 열전도도와 young's modulus가 낮고 cavity 공간이 있는 중간 접합 층이 buffer layer 역할을 하여 전체 웨이퍼의 warpage 결과 변화에 미비하게 작용함을 확인하였다.

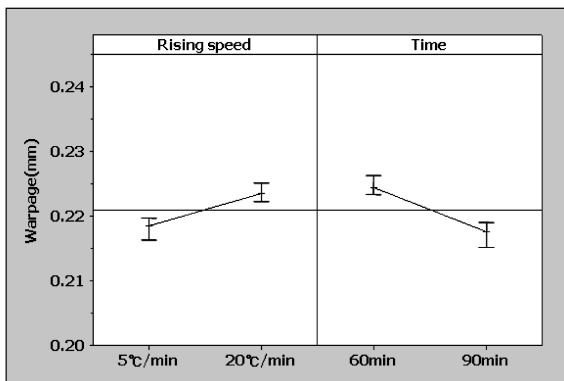
Fig. 6(b)는 접합 압력과 중간 접합 층의 높이 변화에 따른 warpage 결과를 측정하여 분석한 데이터이다. 접합 시 가해주는 압력이 8000 N 일 경우 warpage 값은 231.4 μm로 나타나며 5000 N까지 낮출 경우 210.6 μm까지 warpage 결과가 줄어드는 것을 관찰하였다. 다층 구조에서 접합압력에 따른 내부응력이 발생하게 되고 이는 접합압력과 비례하게 나타나며, thermal mismatch에 의한 변형력과 함께 warpage를 증가시킨다. 접합압력이 작아질수록 내부응력



(a)



(b)



(c)

Fig. 6. Warpage test results with (a) bonding temperature, (b) bonding pressure, height of intermediate layer, (c) rising time and bonding time

은 작아지며 warpage가 줄어드는 결과로 보여 진다. 중간 접합 층의 높이가 20 µm에서 접합한 웨이퍼의 warpage는 232.9 µm, 10 µm에서 209 µm로 높이가 작을수록 warpage 현상이 감소하는 것을 확인하였다. 본 실험에 사용된 중간 접합 층은 Si, glass 웨이퍼와 비교하여 young's modulus의 차이가 크며 22Gpa의 작은 값을 가진다. 이러한 차이는 접합 공정 시 웨이퍼의 양 면에 발생하는 열적, 물리적 응력을 변형을 통해 접합 stress를 흡수하는 접합 층이 낮고 cavity 공간이 작을수록 양 면에서 발생하는 기판

응력에 의해 발생하는 변형의 폭이 작아지고 warpage 결과를 낮추는 결과로 나타난다.

Fig. 6(c)는 웨이퍼 접합의 접합 시간과 목표 온도까지의 승온 시간을 변수로 측정된 결과 데이터이다. 승온 시간을 20°C/min로 진행할 경우 223.4 µm, 5°C/min 일 때 218.5 µm의 결과가 나타나 승온 시간이 긴 5°C/min 조건에서 warpage 현상이 줄어드는 것을 보여준다. 또한 접합 시간이 60 min에 224.3 µm정도를 나타내며 90 min으로 시간이 늘어날 경우 217.6 µm까지 warpage 현상이 감소하였다. 이 두 가지 승온, 접합 시간의 공정 변수는 모두 시간에 대한 변화결과로서 공정시간이 짧을수록 그 warpage 결과가 커지고 반대로 접합 공정에 소요되는 시간이 길어질수록 warpage 정도가 작아지는 것을 보여준다. 접합 공정 시 웨이퍼에 가해진 열적, 물리적 변형은 폴리머 접합 층을 경화시키며 동시에 인장 잔류응력을 발생시키고 폴리머 재료의 일반적인 특성상 물질 변형 진행 시간이 짧을수록 잔류응력은 커지게 된다. 이러한 인장 잔류응력은 CTE 차이 등에 의해 발생하는 응력과 더해져 warpage를 증가시키는 것으로 확인 하였다.

Table 5는 warpage를 측정 한 샘플을 접합된 상태에서 CSP type의 패키지 형태로 dicing하여 각 패키지를 TC, Humidity soak, HTS 신뢰성 테스트를 수행한 결과를 나타내었다. 폴리머 접합 재료의 특성상 X-Ray, SAT의 검사 방법으로 확인은 불가하여 접합부의 crack, leakage의 발생 유무를 micro scope를 사용한 육안 검사법으로 판단 하였다. TC(-55~125°C, -65~150°C)의 조건에서 100, 200, 300cycle 수행결과와 Humidity soak(85°C/85% RH)와 HTS(85°C)를 각 100, 200, 300hrs 조건에서 수행한 결과 각 22개의 실험 샘플에서 crack, leakage의 접합 불량 발생 하지 않았다. 이는 본 실험의 공정 조건을 변화시키며 최대 변화폭이 205~238.6 µm 수준의 warpage가 발생하

Table 5. Reliability test results

Test condition	Scope result	Result
TC(1) (-55~125°C)	100cycle	0/22 PASS
	200cycle	0/22 PASS
	300cycle	0/22 PASS
TC(2) (-65~150°C)	100cycle	0/22 PASS
	200cycle	0/22 PASS
	300cycle	0/22 PASS
Humidity soak (85°C/85% RH)	100hrs	0/22 PASS
	200hrs	0/22 PASS
	300hrs	0/22 PASS
HTS (85°C)	100hrs	0/22 PASS
	200hrs	0/22 PASS
	300hrs	0/22 PASS

였으나, JEDEC 기준의 신뢰성 테스트를 수행하여 각 조건별 22개의 샘플을 랜덤하게 측정 한 결과 접합 불량이나 나타나지 않았으며 본 접합 방법의 다양한 warpage 결과는 패키지의 crack, leakage 등의 신뢰성 불량으로 나타나지 않는 것으로 확인하였다.

4. 결 론

8인치 CIS용 glass 웨이퍼를 이용하여 높이를 균일하게 유지하는 dam 구조물을 형성하였으며 폴리머 접합 층을 형성하여 Si 웨이퍼와 접합을 수행하였다. 웨이퍼 레벨 접합 후에 발생하는 warpage 결과를 측정하여 각 공정 조건의 결과를 DOE를 통해 분석하였다. Si 웨이퍼면의 온도변화에 가장 민감한 warpage 결과 변화를 확인하였으며 중간 접합 층의 높이, 접합 압력의 결과 변화 순으로 결과에 미치는 영향이 큰 것으로 확인되었다. Glass 웨이퍼면의 온도변화, 접합 시간, 승온 시간에 따라 warpage 변화가 발생하였으나 그 결과는 미비한 정도로 관찰되었다. Si 웨이퍼면의 온도, 접합 층의 높이, 접합 압력이 낮을수록 warpage 현상이 감소하였으며 glass 웨이퍼면의 온도가 높을수록, 접합 및 승온 시간이 길수록 미비하게나마 warpage 현상이 감소하는 것을 확인 하였다. 또한, 패키지 형태로 dicing하여 신뢰성 테스트를 수행하였으며 육안 검사를 통하여 warpage 발생이 신뢰성 결함으로 연결되지 않음을 확인하였다.

참고문헌

1. W. H. Ko, J. T. Suminto, and G. J. Yeh, "Bonding techniques

for microsensors", in micromachining and Micropackaging for Transducers, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier(1985)
 2. M. A. Schmidt, "Wafer-to-wafer bonding for microstructure formation", Proc. of the IEEE, vol. 86, pp.1575-1585, Aug.(1998)
 3. Yole Development, "Market trends for 3D stacking", EMC-3D, Yole Roadmap(2007)
 4. P. W. Barth, "Silicon fusion bonding for fabrication of sensors, actuators and microstructures", Sens. Actuators A, vol. 23, pp.919-926(1990)
 5. C. Harendt, H. -G. Graf, B. Hofflinger, and J. E. Penteker, "Silicon fusion bonding and its characterization", J. Micro-mech. Microeng., vol. 2, pp.113-116(1992)
 6. Q. Y. Tong, G. Cha, R. Gafiteanu, and U. Gosele, "Low temperature wafer direct bonding", J. Microelectromech. Syst., vol. 3, pp.29-35, Mar.(1994)
 7. T. Rogers and J. Kowal, "Selection of glass, anodic bonding conditions and material compatibility for silicon-glass capacitive sensors", Sens Actuators A, vol. 46-47, pp.113-120(1995)
 8. H. Henmi, S. Shoji, Y. Shoji, K. Yoshimi, and M. Esashi, "Vacuum packaging for microsensors by glass/silicon anodic bonding", Sens Actuators A, vol. 43, pp.243-248(1994)
 9. Y. T. Cheng, L. Lin, and K. Najafi, "A hermetic glass/silicon package formed using localized aluminum/silicon-glass bonding", J. Microelectromech. Syst., vol. 10, pp.392-399, Sept.(2001)
 10. M. Chiao and L. Lin, "Hermetic wafer bonding based on rapid thermal processing", Sens Actuators A, vol. 91, pp.398-402(2001)
 11. F. Niklaus, P. Enoksson, P. Griss, E. Kalvesten, and G. Stemme, "Low-temperature wafer-level transfer bonding", J. Microelectromech. Syst., vol. 12, pp.525-531, Dec.(2001)
 12. Maik Wiemer, Chenping Jia, Michael Toepper, and Karin Hauck, "Wafer bonding with BCB and SU-8 for MEMS Packaging", Electronics system integration technology conference, pp.1401-1405(2006)