

사각고리형상의 AuSn 합금박막을 이용한 MEMS 밀봉 패키징 및 특성 시험

서영호* · 김성아** · 조영호† · 김근호** · 부종욱**
(2003년 8월 7일 접수, 2004년 1월 19일 심사완료)

On-Chip Process and Characterization of the Hermetic MEMS Packaging Using a Closed AuSn Solder-Loop

Young Ho Seo, Seong-A Kim, Young-Ho Cho, Geun Ho Kim and Jong Uk Bu

Key Words: On-chip Packaging(칩단위 패키징), MEMS(마이크로머신), Hermetic Sealing(밀봉), Pressurized Helium Leak Test(가압헬륨누설시험), Local Heating Method(국부가열법)

Abstract

This paper presents a hermetic MEMS on-chip package bonded by a closed-loop AuSn solder-line. We design three different package specimens, including a substrate heated specimen without interconnection-line (SHX), a substrate heated specimen with interconnection-line (SHI) and a locally heated specimen with interconnection-line (LHI). Pressurized helium leak test has been carried out for hermetic seal evaluation in addition to the critical pressure test for bonding strength measurement. Substrate heating method (SHX, SHI) requires the bonding time of 40min. at 400°C, while local heating method (LHI) requires 4 min. at the heating power of 6.76W. In the hermetic seal test, SHX, SHI and LHI show the leak rates of $8.4 \pm 6.7 \times 10^{-10}$ mbar-*l*/s, $13.5 \pm 9.8 \times 10^{-10}$ mbar-*l*/s and $18.8 \pm 9.9 \times 10^{-10}$ mbar-*l*/s, respectively, for an identical package chamber volume of $6.89 \pm 0.2 \times 10^{-6}$ l. In the critical pressure test, no fracture is found in the bonded specimens up to the applied pressure of 1 ± 0.1 MPa, resulting in the minimum bonding strength of 3.53 ± 0.07 MPa. We find that the present on-chip packaging using a closed AuSn solder-line shows strong potential for hermetic MEMS packaging with interconnection-line due to the hermetic seal performance and the shorter bonding time for mass production.

1. 서론

최근 MEMS 소자에 있어서 패키징의 중요성이 강조되고 있다.⁽¹⁾ 특히, MEMS 소자 중 자이로스코프나 압력센서 등은 밀봉접합을 요구하며 패키징의 접합면을 통해 패키지 내부의 MEMS소자와 패키지 외부의 전기회로간의 연결선(interconnection-line)의 통과가 필요하다. 이러한 경우 MEMS 패키징의 접합부는 연결선을 절연함과 동시에 연결선 두께에 의한 단차를 극복하며 기밀성을 유지해야 한다.

이러한 MEMS 패키징의 요구사항은 Table 1과 같이 기본 요구사항(basic requirement)과 응용별 특이 요구사항(application-specific requirement)의 두 가지 범주로 구분할 수 있다. 기본 요구사항은 기존의 전자소자 패키징의 요구사항과 같이 외부로부터 소자를 보호하기 위한 기계적 강도가 요구되며, 알미늄 도선 등 전기선을 보호하기 위한 저온 공정, 정전기에 민감한 전자소자를 보호하기 위한 저전압 공정이 요구된다. 응용별 특이 요구사항은 MEMS 소자 패키징에서 추가적으로 요구되는 것들로서 높은 Q-factor를 얻기 위한 밀봉접합(hermetic sealing)과 연결선의 통과를 위한 단차극복성(step-coverage) 등이 포함된다. 이상의 MEMS 패키징 요구사항 (Table 1)에 대하여 접합방법에 따른 특성을 Table 2에 비교하였다. 먼저, 접합방법은 크게 두 가지 범주로 구분할 수 있는데, 첫째는 기판 사이에 중간매체 없이 직접적으로 접

* 한국과학기술원 디지털나노공동연구원

** LG전자기술원 마이크로시스템 그룹

† 책임자, 회원, 한국과학기술원 디지털나노공동연구원

E-mail : dnc@kaist.ac.kr

TEL : (042)869-8691 FAX : (042)869-8690

합이 이루어지는 직접접합(direct bonding)이고, 둘째는 기판 사이에 중간 매체를 두어 접합하는 간접접합(indirect bonding)이다.

직접접합에 속하는 양극접합(anodic bonding)이나 용융접합(fusion bonding)은 확실한 기밀성을 보장하지만, 표면거칠기가 접합 특성에 결정적인 영향을 미치므로 연결선에 의한 단차 극복성이나 뽕 뿐만 아니라, 고온 및 고전압 공정조건으로 인해 MEMS 패키징의 기본 요구사항과 응용별 특이 요구사항을 만족하기 힘든 방법이다.⁽¹⁾

이러한 문제를 해결하기 위해서는 간접접합 방법이 유리하다. 간접접합 방법 중 고분자 재료를 이용한 간접접합 방법은 저온공정이지만, 접합강도와 밀봉성이 취약한 문제점들을 가지고 있고 수분에도 약한 단점이 있다. 한편 세라믹을 이용한 간접접합은 600°C 이상의 높은 용융점과 큰 열팽창계수로 인해 접합면에 잔류응력과 형상의 변형을 유발하는 단점이 있다. 이에 잔류응력에 대한 효과를 최소화하고 가열부 면적을 줄이는 방법으로 국부적 가열에 의한 실리콘 용융(fusion) 및 공융접합(eutectic bonding)이 제안되었다.⁽²⁾ 그러나 실리콘이나 Au는 800°C 이상의 고온에서 접합이 이루어진다는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 연결선의 절연을 위한 별도의 절연층이 필요한 단점이 있으나, MEMS 패키징 요구사항에 전반적으로 우수한 특성을 보이는 금속 간접접합 방법(Table 2)을 선택하였으며, 접합용 금속은 저온 용융이 가능한 80Au20Sn (용융점 400°C)의 사용을 제안한다. 특히, 본 연구에서는 AuSn solder를 사각고리형상으로 제작하여 잔류응력의 영향을 줄이고자 하였다. 또한, 연결선이 없는 기판가열 시편(SHX), 연결선이 있는 기판가열 시편(SHI) 그리고 연결선이 있는 국부가열 시편(LHI)를 각각 제작하여 가속화 헬륨 누설시험을 통한 기밀성과 임계압력법을 통한 접합강도를 각각 측정 분석하였다.

2. 시편의 설계

본 연구에서는 가열방법에 대한 효과와 연결선에 의한 단차극복성에 대한 효과를 분석하기 위해서 SHX, SHI, LHI의 서로 다른 세 가지 시편을 설계·제작하였다. Fig. 1은 상판(cap substrate)과 하판(bottom substrate)이 AuSn solder-line으로 접합된 시편의 개략도를 나타낸다.

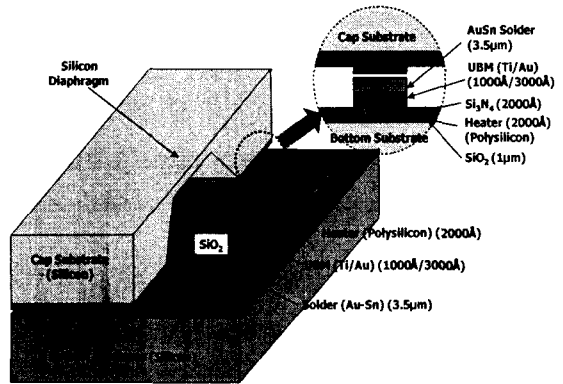


Fig. 1 Schematic view of the test specimen

Table 1 Classification of the requirements of MEMS packaging

MEMS packaging requirements		Purpose
Basic	Strength	Device protection from external force & pressure
	Low temperature	Device and metal line protection
	Low electric field	Electronic device protection
Application specific	Hermeticity	Environment protection & high quality factor
	Step-coverage	Bonding with the interconnecton-lines

Table 2 Comparison of the bonding methods

Bonding methods	MEMS packaging requirements					비고	
	Basic			Application specific			
	Strength	Low temp	Low electric field	Hermeticity	Step-coverage		
Direct bonding	Fusion	○	×	○	○	×	Sensitive to surface roughness
	Anodic	○	△	×	○	×	
Indirect bonding	Polymer	△	○	○	△	○	Weak to humidity
	Ceramic	○	×	○	○	○	High CTE
	Metal	○	△	○	○	○	Require insulation layer

○: Good △: Moderate ×: Poor

Fig. 2는 패키징의 상판과 하판을 각각 나타낸다. 하부 실리콘기판[Fig. 2(a)]에는 국부가열을 위한 다결정실리콘 히터를 설계하였고, 이 다결정실리콘 히터 위에 히터와 접합층 Ti/Au와 전기적 절연을 위해 실리콘질화막(silicon nitride)을 형성한 후 Ti/Au 접착막 위에 AuSn solder-line을 증착한 구조로 설계하였다. 국부가열방법은 실리콘 기판 전체를 가열하지 않고 폴리실리콘 히터로 전류를 흘려 그 위에 증착된 AuSn solder-line만을 녹여 접합한다. 밀봉특성 시험에서 동공(cavity)내부의 압력변화를 측정하기 위하여 상부 실리콘기판[Fig. 2(b)]에 65±1μm두께의 실리콘 박막을 제작하여, 동공내부와 외부의 압력변화를 실리콘 박막의 휘어짐의 변화로 측정하도록 설계하였다. 상부 실리콘기판의 실리콘 박막 주위에 하부 실리콘기판의 AuSn solder-line과 접합을 위해서 접합층으로 Ti/Au 층을 증착하였다.

AuSn solder-line의 설계에 앞서 밀봉접합 특성을 시험하기 위한 실리콘 박막의 치수설계를 먼저 수행하였다. 실리콘 박막의 폭과 두께에 대한 설계에 있어서 박막의 변형을 측정하는 측정장치(ACURA, Intek Inc.)의 한계와 가속화 시험에서 가해지는 압력에 대한 실리콘 박막의 신뢰성 확보가 주요 설계 기준이 된다.

본 연구에서 박막변형 측정을 위해 사용한 간섭계(ACURA Intek, Inc.)는 한번에 최대 2.5mm × 2.5mm의 영역을 측정하므로 박막의 변형량 측정시 최대 변형지점인 박막의 중심과 최소 변형지점인 박막의 가장자리를 동시에 측정하기 위해서 박막의 폭을 4mm로 설계하였다.

다음으로 가해지는 압력에 대한 실리콘 박막의 신뢰성에 대한 제한조건을 고려하였으며, 본 연구에서는 간략한 이론적 사각박막의 거동⁽³⁾을 참고하였다. 실리콘 박막에 가해지는 압력이 균일하며, 그 변형량이 충분히 작은 경우, 박막 중심의 변형량과 박막 중심 및 가장자리에서 발생하는 응력은 아래의 식으로 나타난다.⁽³⁾

$$y_0 = \alpha \frac{P w^4}{Et^3} (1 - \nu^2) \tag{1}$$

$$\sigma_{center} = \beta_1 P \frac{w^2}{t^2} \tag{2}$$

$$\sigma_{edge} = \beta_2 P \frac{w^2}{t^2} \tag{3}$$

여기서 α , β_1 , β_2 는 각각 0.0151, 0.1386, 0.3078⁽³⁾로 사각 박막에 사용되는 상수이며, y_0 , P , w , t , E 그리고, ν 는 각각 박막의 변형량, 외부압력, 박막 폭, 박막 두께, 영 계수(170GPa) 그리고 포아송 비(0.28)⁽³⁾을 나타낸다. 위 수식에 의하면 최대 응력은 박막의 가장자리에서 발생되며, 그 응력은 실리콘 기판의 항복응력인 630MPa⁽⁴⁾를 넘지 않도록 설계되어야 한다. 본 연구에서는 안전계수를 5로 설정하였다.

이상의 두가지 제한조건을 바탕으로 실리콘 박막은 그 두께를 65μm로 결정하였고, 연결전선으로 사용된 폴리실리콘의 두께는 MEMS소자에서 일반적으로 전선으로 사용하는 두께인 2000Å으로 결정하였다. 시험시편의 상세한 치수는 Table 3에 정리하였다.

3. 제작 공정

실리콘 박막과 연결전선을 포함한 상부 실리콘 기판과 AuSn solder-line과 폴리실리콘 히터가 증착된 하부 실리콘 기판은 각각 기판미세가공법과 표면미세가공법을 이용하여 제작하였다. 시편의 제작공정과 제작된 시험시편의 치수는 Fig.3과 Table 3에 각각 나타내었다.

제안된 국부가열 접합방법의 성능을 확인하기 위하여 본 연구에서는 다음과 같이 세 가지 서로 다른 시편을 제작하였다. 세 가지 시험 시편은 연결전선(interconnection-line)을 없으며 기판가열로 접합된 시편(SHX), 연결전선이 있고 기판가열

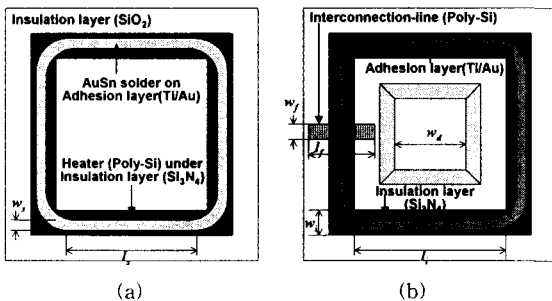


Fig. 2 Test specimen with an electrical interconnection line passing through the bonding area: (a) bottom substrate; (b) cap substrate

로 접합된 시편(SHI), 그리고 연결전선이 있고 국부가열로 접합된 시편(LHI)으로 구성되어 있다.

상부 실리콘 기판에는 KOH 에칭에 의해서 $65\pm 1\mu\text{m}$ 두께의 실리콘 박막을 제작하였고, 연결전선이 있는 경우 기밀성과 단차극복성을 평가하기 위해서 2000 Å 두께의 폴리실리콘을 증착하여 연결선으로 사용하였다. 하부 실리콘 기판에서는 2000 Å 두께의 폴리실리콘 히터를 형성하고 그 위에 절연층으로 2000 Å 두께의 실리콘 질화막을 증착하였다. 1000 Å/3000 Å 두께의 Ti/Au를 접합층으로, $3.5\mu\text{m}$ 두께의 AuSn solder-line을 접합물질로 각각 증착하였다.

접합 공정은 모두 $1\times 10^{-3}\text{Torr}$ 의 압력 하에서 수행하였으며, 시험 시편의 접합조건은 Table 4에 나타내었다. 기판가열 접합공정에서는 가열온도와 접합 시간은 각각 400°C 와 40분이며, 국부가열 접합공정에서는 $1.6\text{k}\Omega$ 의 히터 저항에 4분 동안 $65\pm 5\text{mA}$ 의 전류를 가하였다. 이때 저항의 온도는 4분 동안 약 420°C 까지 증가하였다. 국부가열공정의 경우 기판가열 접합공정에 비해 약 10배 정도 그 공정시간이 줄었음을 알 수 있다.

Fig.6은 제작된 상부 및 하부의 실리콘 기판을 나타내고 Fig.5는 $1\times 10^{-3}\text{Torr}$ 의 압력 하에서 국부가열에 의해 접합된 LHI 시편의 사진이다.

Table 4 Bonding conditions for the test specimen

Bonding conditions	Specimen		
	SHI	SHX	LHI
Heater	Substrate heater	Substrate heater	Line(poly-Si) heater
Temperature or heating power	$400\pm 5^\circ\text{C}$	$400\pm 5^\circ\text{C}$	$65\pm 5\text{mA}$ @ $1.6\text{k}\Omega$
Bonding time	40min.	40min.	4min.
Bonding load	2.069kg	2.069kg	2.069kg
Bonding chamber pressure	$1\times 10^{-3}\text{Torr}$	$1\times 10^{-3}\text{Torr}$	$1\times 10^{-3}\text{Torr}$

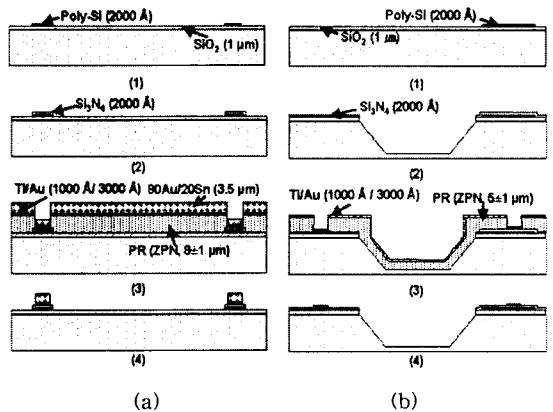


Fig. 3 Fabrication process of the closed-loop solder-line packaging: (a) bottom substrate; (b) cap substrate

Table 3 Measured dimension of the fabricated test specimen

Layer		Specimen		
		SHX*	SHI**	LHI***
Solder (AuSn)	$w_s[\mu\text{m}]$	501 ± 2	502 ± 2	502 ± 2
	$l_s[\mu\text{m}]$	$6,705\pm 2$	$6,705\pm 2$	$6,705\pm 2$
Adhesion metal (Ti/Au)	$w_a[\mu\text{m}]$	502 ± 2	502 ± 2	502 ± 2
	$l_a[\mu\text{m}]$	$6,705\pm 2$	$6,705\pm 2$	$6,705\pm 2$
Insulation layer (Si_3N_4)	$w_i[\mu\text{m}]$	701 ± 2	701 ± 2	701 ± 2
	$l_i[\mu\text{m}]$	$6,705\pm 2$	$6,702\pm 2$	$6,702\pm 2$
Interconnection -line (Poly si)	$w_l[\mu\text{m}]$	-	198 ± 2	199 ± 2
	$l_l[\mu\text{m}]$	-	$2,001\pm 2$	$2,000\pm 2$
Diaphragm (Silicon)	$w_d[\mu\text{m}]$	$3,888\pm 2$	$3,887\pm 2$	$3,887\pm 2$
	$t_d[\mu\text{m}]$	65 ± 1	65 ± 1	65 ± 1

*SHX: Specimen bonded by substrate heating without interconnection-line
 **SHI: Specimen bonded by substrate heating with interconnection-line
 ***LHI: Specimen bonded by polysilicon line heating with interconnection-line

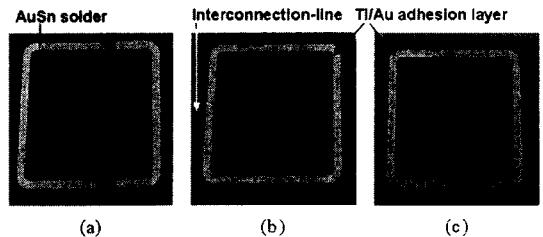


Fig. 4 Fabricated test specimen: (a) bottom substrate; (b) cap substrate with interconnection line; (c) cap substrate without interconnection line



Fig. 5 photographs of the test specimen bonded by underlying polysilicon line heater

4. 밀봉접합 평가

본 연구에서 제안된 패키징 방법의 밀봉접합 특성을 평가하기 위해서 누설시험(leak rate test)을 수행하였다. 기준 누설량, Q [mbar-l/s]는 동공내부와 외부의 압력차가 760mmHg 일 때 25°C, 대기압의 공기가 초당 흘러나온 양으로 정의되거나 동공내부의 부피가 거의 변화가 없을 경우에는 동공내부의 초당 압력변화량, ΔP_{cavity} 에 의해 정의된다.⁽⁵⁾ 측정된 누설량, R 은 주어진 패키지가 특정 조건과 매체에 대해 측정된 양이므로 기준조건으로 그 양을 바꾸어야 하는데, 이렇게 변경된 누설량을 등가 누설량, L 이라 한다.

본 연구에서는 식 (1)을 사용하여 동공내부의 압력변화량, ΔP_{cavity} 를 실리콘 박막의 변형의 변화량으로 계산하였다. 그러나 대기압 하에서 접합시편의 누설시험을 수행하는 것은 많은 시간이 소요되므로 본 연구에서는 시험시간을 줄이고 누설량을 증가시키기 위해서 가속화 시험(accelerated test)을 수행하였다. 가속화 시험은 Fig.6에서 보는 것과 같이 대기압보다 높은 압력조건에서 누설시험을 수행하는 것을 말하며, 보통 가속화 시험에서는 매체를 공기보다 가벼운 질소⁽⁶⁾나 헬륨⁽⁷⁾ 등을 사용한다. 본 연구에서는 2.04atm의 헬륨을 사용하였다.

측정된 누설량, R 을 등가 누설량, L 로 변경하기 위해서 누설량이 1×10^{-5} mbar-l/s 보다 작을 때 적용되는 누설모드인 molecular type⁽⁷⁾을 적용하였다. 누설모드가 molecular type일 경우 아래의 수식 (4)에 의해서 등가 누설량으로 변경이 가능하다.

$$\frac{L}{R} = \sqrt{\frac{M}{M_A}} \times \frac{P_0 - P_{cavity}}{P_E - P_{cavity}} \quad (4)$$

여기서 R [mbar-l/s], L [mbar-l/s], M [kg/mol], M_A [kg/mol], P_0 , P_E , 그리고 P_{cavity} 는 각각 측정된 누설량, 등가 누설량, 공기의 몰 질량, 사용된 매체의 몰 질량, 기준 외부압력, 외부압력 그리고 동공내부 압력을 나타낸다. 여기서 M , M_A , P_E , 그리고 P_0 는 각각 4kg/mol, 28.7kg/mol, 2.04atm 그리고 1atm이다.

제안된 접합방법의 기계적 강도를 예측하기 위

Table 5 Measured deflections of the silicon diaphragms

Deflection [μ m]	Specimen		
	SHI	SHX	LHI
Initial state	26.8±0.1	27.9±0.1	27.8±0.1
After 24hr in air	26.6±0.1	27.7±0.1	27.4±0.1
After 2hr in 30psi He	26.6±0.1	27.5±0.1	27.1±0.1

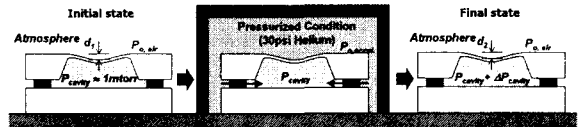


Fig. 6 Accelerated leak test (air tightness test) at the pressurized Helium environment

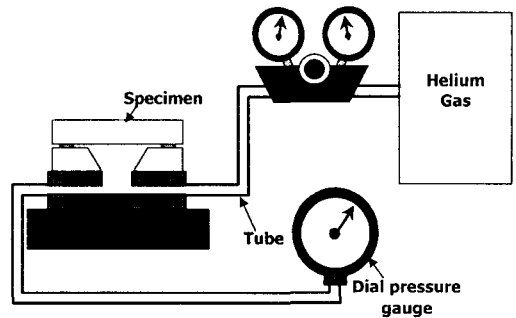


Fig. 7 Critical pressurize test for bonding strength measurement

해서, 접합강도의 측정이 필요하다. 일반적으로 접합강도의 측정에 사용되는 방법에는 인장시험(pull test)과 임계압력시험(critical pressure test)이 있는데, 본 연구에서처럼 시편의 치수가 작은 경우에는 인장시험에서 시편과 장치의 정렬오차에 의해 실험결과의 큰 편차를 가져올 수 있다. 이와 같은 인가하중의 정렬오차를 줄이기 위해 본 연구에서는 임계압력시험을 이용하여 접합강도를 예측하였다. Fig.7은 임계압력시험 장치의 개략도를 나타낸다.

5. 실험결과 및 고찰

접합시편의 기밀성(Hermeticity)를 측정하기 위해서 가압헬륨조건⁽⁷⁾에서 밀봉접합시험을 수행하

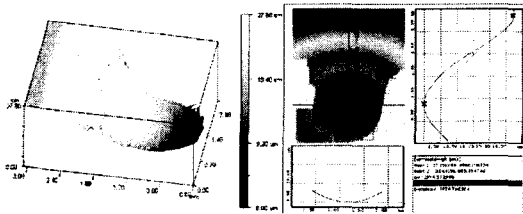


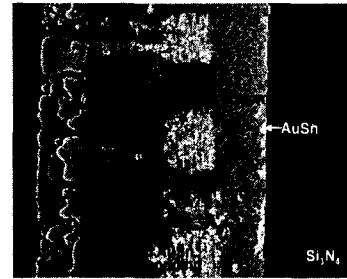
Fig. 8 Measured deflection of the silicon diaphragm using interferometer

였다. 기밀성은 제작된 시편 동공(cavity)의 내부와 외부 압력차이에 의해 형성된 실리콘 박막 변형의 변화량을 측정하여 접합된 시편의 누설량을 측정하였고, 임계압력시험을 통해 접합면의 접합강도를 예측하였다. Fig. 8과 Table 5에 변형된 실리콘 박막의 레이저 간섭계에 의한 측정결과와 시간에 따른 변형된 실리콘 박막의 변화량을 각각 나타내었다.

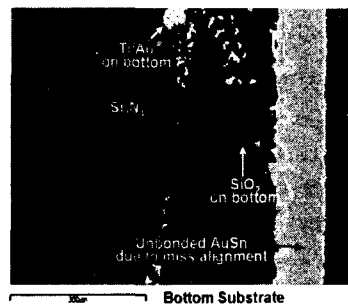
기밀성 시험(air-tightness)에서 시편 SHX, SHI, LHI는 같은 내부 부피인 $6.89 \pm 0.2 \times 10^{-6}$ 에 대해 각각 등가 누설량으로 $8.4 \pm 6.7 \times 10^{-10}$ mbar-ll/s, $13.5 \pm 9.8 \times 10^{-10}$ mbar-ll/s, 그리고 $18.8 \pm 9.9 \times 10^{-10}$ mbar-ll/s의 누설량을 나타내었다. 기관가열로 접합된 SHX 시편과 SHI 시편의 누설량이 국부가열로 접합된 LHI 시편의 누설량보다 작게 나타났지만, 측정된 누설량은 모두 전자제품 기밀성의 기준으로 사용되는 MIL-STD-883E(the leak rate of 5×10^{-8} mbar-ll/s for the internal cavity volume of 4×10^{-4} l)⁽⁹⁾를 만족하였다. 이 실험결과로부터 2000 Å 두께의 폴리실리콘 연결전선은 본 연구에서 제안한 3.5 μm 두께의 AuSn solder-line 패키지의 기밀성에는 영향을 미치지 않음을 알 수 있으며, AuSn solder-line의 용융방법으로 사용된 기관가열 방법과 국부가열방법 또한 기밀성에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

접합강도를 예측하기 위한 임계압력 시험에서는 1 ± 0.2 MPa의 압력 하에서 접합된 시험시편에는 어떠한 파손도 일어나지 않았다. 이 결과로부터 대략적으로 제안된 접합 방법의 접합 강도는 3.53 ± 0.07 MPa로 추정된다. 제작된 시편의 임계접합강도(ultimate bonding strength)를 측정하기 위해서는 본 연구에서 사용한 압력소스보다 큰 압력소스를 사용해야 할 것이다.

접합방법이 누설량에 미치는 영향을 알아보기 위해서 접합된 시편을 상부 기관과 하부 기관으



(a)



(b)

Fig. 9 EDS material analysis at the fracture surface of the specimens bonded by the substrate heater: (a) Cap substrate; (b) Bottom substrate

로 분리하여 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrometer) 분석을 하였다. Fig. 9와 Fig. 10은 EDS 분석결과를 나타내는 그림이다. 접합면의 EDS 분석 결과에 의하면 기관가열로 접합된 시편의 경우(Fig. 9) 대부분 접합층 Ti/Au와 절연층 Si_3N_4 사이에서 파단이 일어난 반면, 국부가열로 접합된 시편의 경우(Fig. 10) 대부분 접합층 Ti/Au와 접합물질 AuSn solder-line 사이에서 파단이 일어났다. 또한 국부가열로 접합된 시편에서는 접합이 일어나지 않은 영역도 관찰되었는데 이는 충분하지 못한 접합시간이 그 원인으로 생각된다. 기관가열로 접합된 시편의 경우, Ti/Au와 Si_3N_4 의 증착에 의한 접합력이 Ti/Au와 AuSn solder-line 사이에 접합력보다 작으며, 반면에 국부가열로 접합된 시편의 경우에는 Ti/Au와 AuSn solder-line 사이의 접합면이 증착되어 접합된 다른 재료의 경계면보다 그 접합력이 떨어짐을 알 수 있다.

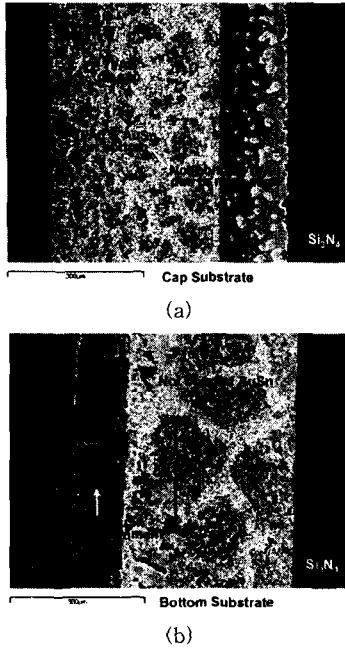


Fig. 10 EDS material analysis at the fracture surface of the specimens bonded by polysilicon line heater: (a) Cap substrate; (b) Bottom substrate

6. 결론

본 논문에서는 국부가열에 의한 사각고리형 AuSn solder-line의 접합에 의한 웨이퍼 단위 MEMS 밀봉 패키지의 구조를 제안하고 관련 공정과 특성들을 분석하였다. 본 논문에서 제안하는 MEMS 패키지의 성능을 조사하기 위해서 3종류의 패키지 시편을 설계 제작하였고 가압헬륨을 이용한 기밀성시험과 임계압력시험을 통해 누설량과 강도를 예측하였다. 또한 본 연구에서는 SHX, SHI 그리고 LHI의 서로 다른 3가지 시편의 특성측정을 통해 가열방법에 따른 성능과 연결전선(interconnection-line)의 유무에 따른 성능을 각각 비교하였다.

기밀성 시험(air-tightness)에서 시편 SHX, SHI, LHI는 같은 내부 부피인 $6.89 \pm 0.2 \times 10^{-6}$ 에 대해 각각 $8.4 \pm 6.7 \times 10^{-10}$ mbar-ll/s, $13.5 \pm 9.8 \times 10^{-10}$ mbar-ll/s, 그리고 $18.8 \pm 9.9 \times 10^{-10}$ mbar-ll/s의 등가 누설량을 나타내었다. 기관가열로 접합된 SHX 시편과 SHI

시편의 누설량이 국부가열로 접합된 LHI 시편의 누설량보다 작게 나타났지만, 측정된 누설량은 모두 전자제품 기밀성의 기준으로 사용되는 MIL-STD-883E를 만족하였다.

접합공정에 필요한 시간을 살펴보면, 국부가열 공정은 약 4분을 필요로 하고 기관가열 공정은 약 40분의 접합시간을 필요로 하므로 국부가열 공정이 MEMS 패키징의 대량생산 측면에서는 기관가열 공정보다 이점을 가짐을 알 수 있다.

추가적으로 수행한 임계압력 시험에서는 1 ± 0.2 MPa의 압력하에서도 접합된 시험시편에는 어떠한 파손도 일어나지 않았다. 이 결과로부터 대략적으로 제안된 접합 방법의 접합 강도는 3.53 ± 0.07 MPa로 계산된다.

EDS 분석 결과에 의하면 기관가열로 접합된 시편이 국부가열로 접합된 시편보다 Ti/Au와 AuSn solder-line 경계면에서 강한 접합력을 보였으나 두 시편 모두 MIL-STD-883E를 만족하였다. 결론적으로 본 연구에서는 국부가열로 제작된 사각고리형 AuSn 금속박막의 접합방법이 연결전선을 가진 밀봉 MEMS 패키지의 대량생산에 적합함을 실험적으로 확인하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 창의적연구진흥사업의 일환인 "생체모사기법을 응용한 디지털나노구동 기관의 구현에 관한 연구" 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Tummala, R.R., 1997, *Microelectronics Packaging Handbook*, p. 886.
- (2) Cheng, Y.T., Lin, L., and Najafi, K., 2000, "Localized Silicon Fusion and Eutectic Bonding for MEMS Fabrication and Packaing," *Journal of Microelectromechanical Systems*, pp.3-8.
- (3) Mario, D.G., 1982, *Flat and Corrugated Diaphragm Design Handbook*, Chapter 20.
- (4) Yi, T., Li, L., and Kim, C.-J., 2000, "Microscale Material Testing of Single Crystalline Silicon: Process Effects on Surface Morphology and

Tensile Strength," *Sensors and Actuators*, Vo. A83, pp. 172~178.

(5) Department of Defense, Test Method Standard Microcircuits, MIL-STD-883E, Method 1014.9 SEAL part.

(6) Mack, S., Baumann, H., and Gosele, U., "Gas Tightness of Cavities Sealed by Silicon Wafer Bonding," *Proc. of MEMS97*, pp. 488~493.

(7) McMaster, R.C., 1982, *Nondestructive Testing Handbook*, Chapter 3~5.