

## 실리콘기판위에 양극접합된 MLCA의 기계적 특성

김재민, 이종춘\*, 윤석진\*\*, 정귀상

동서대학교, 경남정보대학\*, 한국과학기술연구원\*\*

### Mechanical Characteristics of MLCA Anodic Bonded on Si wafers

Jae-Min Kim, Jong-Choon Lee\*, Suk-Jin Yoon\*\*, and Gwi-Yang Chung

Dongseo Univ., Kyungnam Information College\*, KIST\*\*

#### Abstract

This paper describes on anodic bonding characteristics of MLCA(Multi Layer Ceramic Actuator) to Si-wafer using evaporated Pyrex #7740 glass thin-films for MEMS applications. Pyrex #7740 glass thin-films with same properties were deposited on MLCA under optimum RF magneto conditions(Ar 100 %, input power 1 W/cm<sup>2</sup>). After annealing in 450°C for 1 hr, the anodic bonding of MLCA to Si-wafer was successfully performed at 600 V, 400°C in - 760 mmHg. Then, the MLCA/Si bonded interface and fabricated Si diaphragm deflection characteristics were analyzed through the actuation test. It is possible to control with accurate deflection of Si diaphragm according to its geometries and its maximum non-linearity is 0.05-0.08 %FS. Moreover, any damages or separation of MICA/Si bonded interfaces do not occur during actuation test. Therefore, it is expected that anodic bonding technology of MICA/Si wafers could be usefully applied for the fabrication process of high-performance piezoelectric MEMS devices.

**Key Words** : Anodic Bonding, MLCA, Pyrex #7740 Glass, MEMS, Diaphragm Deflection

#### 1. 서론

압전세라믹은 구동력이 크고 동작속도가 빠르며 전기-기계적 변환에 따른 구동효율이 좋기 때문에 현재 FRAM(Ferroelectric Random Access Memory)과 마이크로 센서 및 액츄에이터 등에 광범위하게 응용되고 있다. 특히 최근에는 약물전달 시스템(Drug Delivery System) 및 화학분석시스템(Cheical Analysis System) 등과 같이 극미량의 가스 및 유체를 제어하는 Bio-MEMS(Micro Electro Mechanical System) 제작에 있어 고정밀 제어가 가능한 압전세라믹을 구동부로 사용하기 위한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 압전세라믹중에서도 현재까지 압전 박막형 마이크로 센서 및 액츄에이터에 관한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 압전박막은 극미세제어를 필요로 하는 유체제어시스템 등에 적용가능한 응답속도를 가지고 있지 못하며 변위정밀도와 발생력, 공진 주파수가 낮은 문제점을 가지고 있기 때문에

향후 우수한 열손실 특성뿐만 아니라, 변위 정밀도가 우수하고 동작시간이 짧은 MLCA(Multi-Layer Ceramic Actuator)가 MEMS용 액츄에이터로 크게 각광받을 것으로 기대된다.

Si를 기반으로 하는 MEMS의 경우, 압전세라믹과 Si간의 직접적인 접합은 시스템의 고도화, 집적화 및 기능향상을 위한 가장 중요한 기술 중 하나이다. 지금까지는 대부분의 연구에서 epoxy 등의 유기접착제를 이용하여 압전 세라믹과 Si기판간 접합을 수행하였다. 그러나 유기접착제의 경우, 외부오염의 우려가 있고 접착제의 두께조절이 대단히 어렵기 때문에 공정오차의 큰 요인으로 작용할 수 있으며 접착제의 종류와 점도에 따라 접착강도가 달라지거나 미접합계면이 대면적으로 발생할 수 있는 문제점을 가지고 있다.

양극접합은 유기접착제에 의한 접합보다 강도(약 350 psi 이상)와 내열성이 크며 fusion bonding과 같은 기존 접합 방식에 비해 500°C 이하의 저온에

서도 공정이 가능하다[1-3]. 특히 유리박막을 접합 매개층으로 이용한 양극접합의 경우, 저전압에서 접합이 가능하기 때문에 압전세라믹과 Si기판의 물리적·전기적 특성 및 소자 제작시 전·후 공정에 영향을 주지 않는 장점을 가지고 있다.

본 연구는 MLCA를 이용한 고성능 압전형 MEMS를 개발하기 위한 선행연구로써 MLCA와 Si기판의 양극접합에 관한 것이다. 유기접착제에 의한 접합보다 강도와 내열성이 크며 다른 열접합 방식에 비해 저온, 저전압에서 공정이 가능한 양극 접합기술을 이용하여 파이렉스 #7740 유리박막을 매개층으로 MLCA와 Si기판간 양극접합용 유리박막의 증착 및 접합특성을 분석하였다[4].

따라서, 본 연구에서는 유전체이면서 절연특성을 가지는 파이렉스 #7740 유리를 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 MLCA 표면에 박막 증착한 후, MLCA와 Si기판간 정전기력을 이용한 양극접합을 수행하였다. 그리고 접합계면 특성을 분석하고 제작된 MLCA/Si 접합구조를 마이크로 센서 및 유체제어시스템 등의 압전 구동부로 사용하기 위하여 Si 다이어프램으로 가공한 후, 구동 테스트를 수행하였다. 그리고 레이저 변위계(Sensing Part-AT0061, Deflection Analyzer-AT3700, Graphtec, Japan)를 이용하여 양극접합의 신뢰성 평가와 접합한 MLCA의 중심부 변위특성을 평가 하였다.

## 2. 실험

본 연구에서는 5  $\mu\text{m}$  두께의 파이렉스 #7740 유리박막이 증착된 MLCA(5×5×20 mm)와 직경 2×2 cm, 두께 510  $\mu\text{m}$ 의 p-type(100) Si기판을 사용하였다. 먼저, Si기판에 존재하는 표면 오염물을 제거하고 hydrophilic 성질을 유지하기 위하여 HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, BHF(buffered HF) 등을 순차적으로 사용한 반도체 세정공정을 행하였다. 또한 micro-soap, TCE(trichloroethylene), IPA(Isopropyle alcohol) 등을 이용해 MLCA 표면에 증착한 glass를 각각 20분 동안 초음파 세정하였다. 세정이 완료된 두 장의 기판은 진공도 -760 mmHg, 인가전압 600 V 그리고 인가온도 400°C에서 1시간동안 양극접합을 수행하였다. 또한, SEM 및 레이저 변위계 등을 이용해 접합계면 및 Si 다이어프램 변위특성 등을 평가하였다. 표 1은 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용한 파이렉스 #7740 유리박막의 증착 및 열처리 조건을 각각 요약한 것이다.

표 1. RF 마그네트론 스퍼터링법에 의한 파이렉스 #7740 유리박막의 증착 및 열처리 조건.

Table 1. Deposition and annealing conditions of Pyrex #7740 glass thin-films by RF magnetron sputtering, respectively.

Method	RF sputtering
Target(2")	Pyrex #7740 glass
RF Power density	1 W/cm <sup>2</sup>
Sputtering gas	Ar gas: 20 sccm
Base pressure	2×10 <sup>-3</sup> Torr
Working pressure	4×10 <sup>-3</sup> Torr
Deposition rate	0.1 $\mu\text{m}/\text{hour}$
Substrate temp.	Room temp.
Annealing conditions	450°C, 1 hr.

## 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 MLCA위에 증착된 파이렉스 #7740 유리박막의 응력 완화를 위해 450°C에서 1시간 열처리한 후, MLCA와 hydrophilic 처리된 Si기판을 -760 mmHg 챔버내에서 400°C, 600 V의 인가조건으로 접합을 수행하였다 [5, 6]. 그림 4는 접합이 성공한 MLCA/Si기판의 접합 단면 SEM 이미지이다. 유리박막이 증착된 MLCA와 Si기판 사이에 미접합계면이 존재하지 않는 완벽한 접합이 형성되었음을 확인할 수 있었다. 또한, 최소 1.5  $\mu\text{m}$  이상의 두께에서 접합이 성공하는 것을 확인하였는데, 이는 유리박막 형성시 박막 두께가 증가할수록 상대적으로 표면 거칠기가 감소하면서 Na<sup>+</sup> 이온 함유량이 증가하기 때문이라 사료된다. 따라서, 스퍼터링법에 의한 파이렉스 #7740 유리박막 증착시, 표면 거칠기의 완화를 위해 MLCA/Si기판 접합시 유리박막의 최소 두께가 1.5  $\mu\text{m}$  이상이 되어야 함을 알 수 있다.

최종적으로 접합이 완료된 MLCA/Si 샘플은 100°C 온도의 실리콘 오일내에서 30 kV/cm<sup>2</sup>의 전계를 10분간 인가하여 분극 재처리를 행하였다. 또한 분극처리한 후, 인가전압 100 V에서 16  $\mu\text{m}$ (±0.1  $\mu\text{m}$ ) 정밀 변위를 가지는 MLCA를 이용하여 Si 다

이어프램을 구동시키기 위해, MLCA가 접합된 Si 기판의 후면으로 photolithography 공정을 이용한 다이어프램 식각 패턴 형성한 다음, TMAH 20 wt.% 이등방성 수용액( $80 \pm 1^\circ\text{C}$ )을 이용하여 후면 습식식각을 시행하였다. 또한 MLCA의 기계적 변위특성을 평가하기 위하여 면적(9, 12, 15, 18  $\mu\text{m}^2$ , non-bonded)과 두께(100, 150, 200, 250, 300, 400  $\mu\text{m}$ )을 갖는 Si 다이어프램을 각각 제조하였다. 그리고 DC 전압을 0-100 V까지 점차적으로 인가하면서 레이저 변위계를 이용하여 각각의 Si 다이어프램에 대한 변위특성을 측정하였다. 그림 5는 Si 다이어프램의 직경에 따른 MLCA/Si 다이어프램 구조의 중심부 최대 변위량을 측정된 것이다. 측정 결과, DC 100 V까지 인가전압이 증가하면서 Si 다이어프램 변위량이 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 다이어프램 면적에 따른 최대 비선형성은 0.05-0.08 %FS, 히스테리시스는 0.53-1.19 %FS로써 Furutani 등의 연구결과와 거의 동등하였다[7]. 제조된 MLCA/Si 다이어프램 접합구조가 기계적 변위특성을 그대로 유지하는 것은 양극접합공정으로 인한 capacitance, coupling factor와 같은 물성치의 저하현상이 발생하지 않았기 때문으로 생각된다. 또한, 변위측정간 MLCA/Si 다이어프램 접합구조의 어떠한 파손이나 접합계면 분리도 발생하지 않음을 확인할 수 있었다.

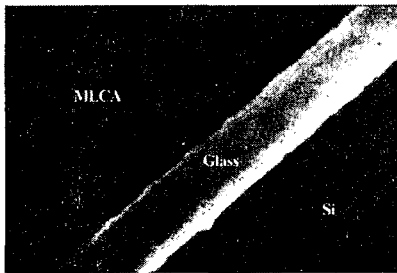


그림 4. MLCA/glass/Si 접합계면 SEM 사진.  
Fig. 4. SEM image of MLCA/glass/Si bonded interface.

그림 6은 인가전압에 따른 Si 다이어프램의 예상 변위량과 실제 변위측정값을 비교한 것이다. 다이어프램 면적 18  $\text{mm}^2$ 에서 중심부 최대 변위량이 최대 13.2  $\mu\text{m}$ 까지 증가하였으며 레이저 변위계를 이용한 반복 측정 결과가 예상변위값과 중첩되는 것을 알 수 있다.

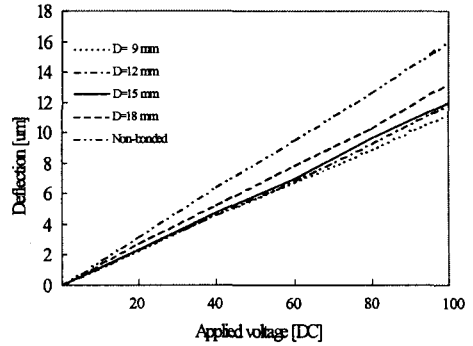


그림 5. Si 다이어프램 크기에 따른 중심부의 최대 변위 분석.

Fig. 5. Analysis of the maximum deflection as functions of different Si diaphragm dimensions.

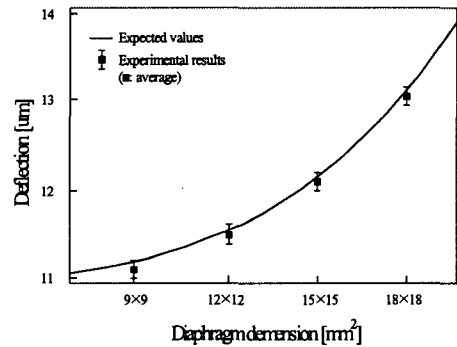


그림 6. Si 다이어프램 크기에 따른 예상 및 측정 변위 비교.

Fig. 6. Deflection comparison with analysis and experimental results as functions of different Si diaphragm dimensions.

그림 7은 다이어프램 두께에 따른 접합 샘플의 최대 변위값을 측정된 것이다. 그림에서 MLCA의 큰 구동력(750 N)으로 인해 다이어프램 두께 200-300  $\mu\text{m}$ 에서 예상 변위값보다 훨씬 큰 10.2-3.4  $\mu\text{m}$ 의 변위특성을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, Si 다이어프램의 두께가 증가함에 따라 다이어프램 중심부 변위량이 급격히 감소함을 알 수 있다. 따라서, MLCA와 접합된 Si기판 식각사 다이어프램 두께를 정밀하게 설계하여 제조할 경우, 마이크로 센서 및 액추에이터 그리고 MEMS의 구동부로서 고신뢰도의 MLCA 변위제어가 가능함을 알 수 있다.

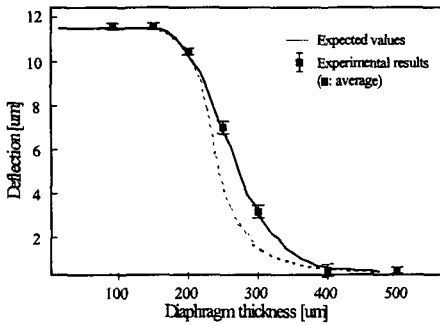


그림 7. Si 다이어프램 두께에 따른 예상 및 측정 변위 분석.

Fig. 7. Deflection comparison with analysis and experimental results as functions of different Si diaphragm thickness.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 MLCA에 파이렉스 #7740 유리박막을 증착한 후, MLCA와 Si기판간 정전기력을 이용한 양극접합을 수행하였다. SEM을 이용한 분석결과, MLCA의 전면에 걸쳐 완벽한 접합면이 형성된 것을 확인하였다. 또한 600 V, 400°C에서 1시간동안 MLCA/Si기판간 양극접합을 수행한 후, 이방성 식각공정으로 Si 다이어프램을 제조하여 구동 테스트를 하였다. 측정결과 Si 다이어프램 변위의 최대 비선형성은 0.05-0.08 %FS, 히스테리시스 0.53-1.19 %FS이었으며 접합면의 어떠한 손상이나 계면분리 없이 고신뢰도를 가지는 Si 다이어프램 구동이 가능함을 알 수 있었다. 결론적으로 본 연구 결과에서 얻어진 접합공정을 MLCA/Si기판 접합 기술에 적용할 경우, 마이크로 밸브 및 펌프, 약물 전달시스템, 유량조절기와 같은 고성능 MEMS 제작공정에 대단히 유용하게 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 21세기 프론티어 연구 개발사업의 일환인 '차세대 소재성형 기술개발사업 단'의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] S. Weichel, R. Rous and M. Rindahl, "Silicon-to-silicon wafer bonding using evaporated glass", *Sensor and Actuators A*, vol. 70, pp. 179~184, 1998.
- [2] H. Quenzer, A. V. schulz, T. kinkopf and T. Helm, "Anodic-bonding on glass layers prepared by a spin-on-glass process; preparation process and experimental results", *The 11th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators*, pp. 230~233, 2001.
- [3] W. B. Choi, B. K. Ju, Y. H. Lee, M. R. Haskard, M. Y. Sung, M. H. Oh, "Anodic bonding technique under low temperature and low voltage using evaporated glass", *J. Vacuum Science and Technology*, vol. B15, no. 2, pp. 477~481, 1997.
- [4] T. Rogers and J. Kowal, "Selection of glass, anodic bonding conditions and material compatibility for silicon-glass capacitive sensors", *Sensors and Actuators A*, vol. 46-47, pp. 113~120, 1995.
- [5] A. S. Sandhu and K. Singh, "Etching and annealing studies of nuclear tracks in glasses", *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 61, pp. 579~581, 2001.
- [6] J. W. Berenschot, J. G. E. Gardeniers, T. S. J. Lammerink and M. Elwenspoek, "New applications of r.f.-sputtered glass thin films as protection and bonding layers in silicon micromachining", *Sensors and Actuators A*, vol. 89, pp. 338~343, 1994.
- [7] K. Furutani, M. Urushibata and M. Mohri, "Displacement control of piezoelectric element by feedback of induced charge", *Nano-technology*, vol. 9, pp. 93~98, 1998.