

# 마이크로 구조체의 전극 거동에 미치는 증착 박막의 효과

박현식

국립 한경대학교 전자전기공학부 전자공학전공

## Effect of thin film deposition on electrode behavior of microstructures

Hyun-Sik Park

School of Electronic & Electrical Engineering, Electronic Engineering, Hankyong National University

**요약** 반도체 공정으로 제작되는 마이크로 구조체는 마이크로 센서 분야 등에 널리 활용되고 있다. 마이크로 구조체는 한쪽 축을 중심으로 한쪽이 움직이는 구조로서 본 연구에서는 마이크로 구조체를 구성하고 있는 상부 전극과 하부 전극 사이에 외부 인가 바이어스 전압에 따른 전극의 거동을 관찰하기 위하여 증착 박막의 특성 분석과 제작된 마이크로 구조체 표면에 박막 증착 전후 거동을 비교 관찰하였다. 본 연구를 위하여 마이크로 구조체를 반도체 공정으로 제작하고, 마이크로 구조체에 증착할 박막을 제작하고 박막의 특성연구를 진행하였으며, 마이크로 구조체에 박막 증착 전후에 인가 바이어스 전압에 따른 전극 거동을 측정하였다. 측정 결과로부터 마이크로 구조체의 상부 전극의 길이가 길어질수록 전극의 부착 발생 바이어스 전압이 낮아지고, 박막 증착 전 보다는 박막 증착 후에 부착 발생 전압이 증가하는 것이 관찰되었다. 이것은 마이크로 구조체의 형상과 박막 증착효과가 마이크로 구조체의 스프링 계수에 영향을 주는 것으로 해석되며 마이크로 구조체의 제어에 형상과 박막 증착으로 제어할 수 있다.

**Abstract** A microstructure manufactured using a process similar to semiconductor processing is widely used in microsensors. This research studied the behavior of electrodes containing this microstructure coated with a thin film optionally and related it to the externally applied bias voltage. Additionally, the characteristics of the deposited thin film were also studied. This study showed that the longer the length of the upper electrode containing the microstructure, the lower the bias voltage for electrode adhesion. In addition, thin film deposition increased the bias voltage for electrode adhesion. Finally, it was observed that the shape of the microstructure and the thin film deposition onto it affected the microstructure's spring coefficient.

**Keywords** : Device, Electrode Behavior, Thin film, Bias, Capacitance, Microstructure

### 1. 서론

반도체 공정으로 제작되는 마이크로 구조체는 센서 분야 등에 널리 활용되고 있다[1-8]. 마이크로 구조체는 Fig. 1과 같이 고정된 축을 중심으로 한쪽이 움직일 수 있는 소형화된 구조로서 상부 지지층의 반응 결과를 기계적 운동으로 변환시킬 수 있는 트랜스듀서(transducer)

로서 주목받고 있다[2,4]. 이와 같은 마이크로 구조체는 상부층과 하부층 사이 정전기적인 물리적인 부착 현상이 발생하게 된다. 따라서 마이크로 디바이스 구조체 활용을 위해서는 상부 전극이 하부전극과 부착이 발생하기 이전의 전압에서 제어될 필요성이 있다. 즉 마이크로 구조체 전극의 부착 발생 이전의 전압 범위에서 사용되어야 상부 전극이 원래의 위치로 복원될 수 있게 된다.

\*Corresponding Author : Hyun-Sik Park(Hankyong National University)

email: hspark@hknu.ac.kr

Received February 8, 2022

Accepted May 6, 2022

Revised March 8, 2022

Published May 31, 2022

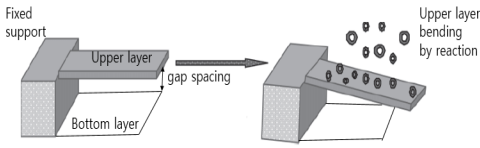


Fig. 1. Operation of Micro device structure for sensing application[4]

따라서 마이크로 구조체가 원래 상태로 복원될 수 있는 기능 상태를 파악하기 위하여 마이크로 구조체의 상부 전극과 하부전극에 전압을 프로브로 인가하고 상부 전극이 원래 상태로 복원 기능이 유지될 필요성이 있다. 보고[6]된 마이크로 구조체의 인가전압에 따른 특성 변화는 Fig. 2와 같다.

즉 마이크로 구조체의 상부 전극과 하부 전극이 존재하는 경우 상부전극과 하부전극 사이 간격(gap spacing)에 인가되는 바이어스 전압에 따라서 전극사이 간격은 정전기적인 효과로 전극사이 간격이 감소하고 Fig. 2와 같이 바이어스 전압 인가 전의 전극사이 간격의 2/3되는 지점에서 급격히 상부 층과 하부 층이 부착되는 현상이 발생하며 정전용량은 급격하게 증가한다. 여기서 정전용량이 증가하는 것은 인가전압이 증가할수록 서로 마주 보고 있는 상하면의 전극 사이 간격이 좁아져 정전용량이 증가하는 것에 기인한 현상이다.

본 연구에서는 이와 같은 마이크로 구조체의 전극 거동을 관찰하기 위하여 인가 바이어스 전압에 따른 마이크로 구조체 전극의 거동 특성을 측정 관찰하였다.

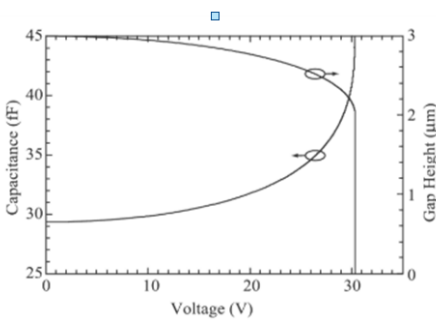


Fig. 2. Variation of bridge parallel plate capacitance and gap height with applied voltage[6]

## 2. 본론

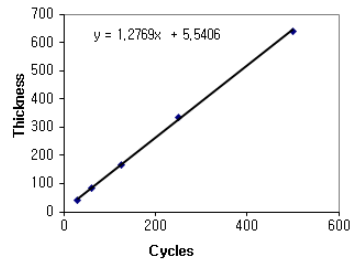
### 2.1 박막 증착

본 연구에서는 마이크로 디바이스 구조체를 Fig. 1과

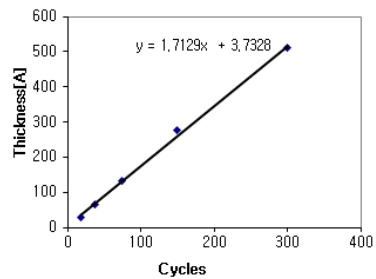
같은 구조의 형상으로 상부 전극(upper electrode)과 고정지지층(fixed support)을 반도체 공정을 이용하여 폴리실리콘으로 제작하였다. 제작된 마이크로 구조체에 박막을 증착하기 전에 먼저 증착될 박막을 HF로 세척된 0.4 Ohm cm의 n타입 실리콘 (100) 웨이퍼 위에 제작하였다. 마이크로 구조체 위에 박막 증착은 상면 전극에 박막이 균일한 두께로 코팅될 수 있도록 Table 1과 같은 화학 반응에 의한 원자층 증착방법을 이용하였다. 박막은 유전적 특성의 알루미늄(시료1)의 경우 고순도 (99.9999%) TMA (Trimethylaluminium), H<sub>2</sub>O 및 캐리어 질소 가스를 450K으로 유지되는 열(thermal) 반응로에 반응식[7,8]에 따라서 반응 싸이클에 따라 공급가스를 노출시간(expoure time)과 퍼지시간(purge time)에 따른 사이클로 주입하였고 저항률이 낮은 산화아연 시료 2의 경우는 아래 반응 싸이클에 따라 제작하였다.

Table 1. Reaction for deposition film

Specimen 1	$\text{AlOH} + \text{Al}(\text{CH}_3)_3 \rightarrow \text{AlOAl}(\text{CH}_3)_2 + \text{CH}_4$ $\text{AlCH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{AlOH} + \text{CH}_4$
Specimen 2	$\text{ZnOH} + \text{Zn}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_2 \rightarrow \text{ZnOZn}(\text{CH}_2\text{CH}_3) + \text{CH}_3\text{CH}_3$ $\text{Zn}(\text{CH}_2\text{CH}_3) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZnOH} + \text{CH}_3\text{CH}_3$



(a)



(b)

Fig. 3. Thickness[Å] vs. Reaction cycles (a) specimen 1, (b) specimen 2

반응 사이클에 의한 증착 공정에 있어 성장막의 두께는 반응 사이클 횟수에 따라서 성장막의 두께가 결정됨으로 반응 사이클 횟수에 따른 성장 박막 두께를 구하였다. 450K 반응로에서 반응 사이클 당 시료1의 박막 증착은 1.28Å으로 Fig. 3(a)와 같이 측정되었고 저항률이 낮은 시료2의 박막은 반응 사이클당 1.71Å으로 Fig. 3(b)와 같이 측정되었다. 마이크로 구조체의 경우도 증착도 상기 조건에서 설정된 조건으로 증착하였고 두께조정을 반응 사이클 수로 결정하여 예를 들면 시료1의 383Å 두께는 295회 반응 사이클을 적용 하였다.

### 2.2 증착된 박막특성 측정결과

증착된 박막은 Fig. 4와 같이 MDC 811 수은(mercury) 프로브(0.437mm<sup>2</sup>)의 수은 전극 면적에 알루미늄 표면을 접촉하여 C-V 값을 측정하여 유전상수 값을 측정하였다. 측정에 사용된 기기는 SR 720 LCR 미터, 캐슬리 485 피코 암미터이며 주파수는 0.1에서 100 kHz 범위로 설정하였고 시료2의 경우는 4 point 프로브로 저항률을 측정하였다.

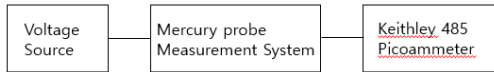


Fig. 4. Measurement System

Fig. 5는 박막 증착을 위하여 450K에서 성장시킨 유전체 특성의 시료1의 박막에 대한 정전용량과 전압관계의 특성 결과 이다. 기판으로 사용된 n타입 반도체에 시료1의 박막이 형성된 MOSCAP(MOS capacitor)구조로 전극에 양의 전압을 가하여 전하 축적으로 양의 전압이 증가할수록 정전용량은 증가하였고 2V이상에서는 2.55x10<sup>-10</sup>[F]범위의 일정한 정전용량을 유지하였고 두

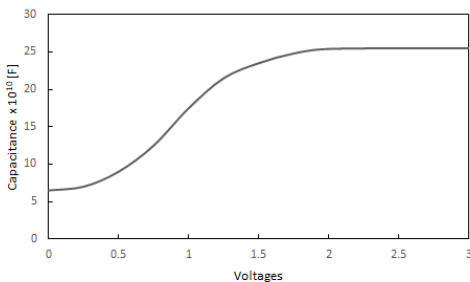


Fig. 5. C-V measurement of specimen 1

께가 증가할수록 정전용량은 감소하였고 시편1의 두께 115nm에서 7.58으로 측정되었다. 이 결과는 보고[7,8]된 유전상수 측정값과 유사하였다.

4 point 로 측정한 시료2의 저항율은 1.069x 10<sup>-5</sup> [ohm·cm]였고 전류 전압 특성 결과는 Fig. 6과 같다.

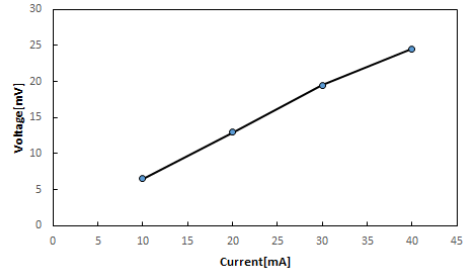


Fig. 6. I-V measurement of specimen 2

시료3은 시료1의 두께 383.3Å, 시료2의 두께 383.3Å로 구성된 3층 구조로서 Fig. 7과 같은 구조의 시편3을 제작하였다.

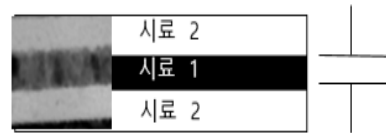


Fig. 7. Structure of Specimen 3

Fig. 8은 시편3과 같은 기본 구조에 박막 층을 여러층이 존재하는 다층 구조로 제작 측정된 결과이다. 다층구조의 구성 박막 두께에 따라서 측정된 정전용량 결과로서 시편1의 박막 두께가 얇아질수록 정전용량은 증가하였다. 즉 유전체 박막의 두께가 얇아질수록 정전용량이 증가하였다.

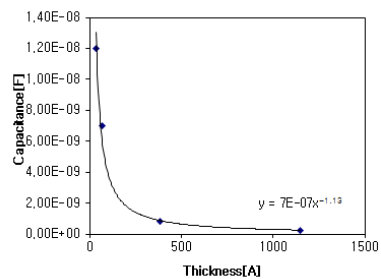


Fig. 8. Capacitance vs. Thickness of specimen 3

### 2.3 마이크로 구조체에 박막 증착 결과

마이크로 디바이스 구조체는 반도체 공정[9]으로 상부 층의 크기를 폭 60  $\mu\text{m}$  및 길이 200  $\mu\text{m}$  크기 형태로 제작하고 박막 제작 반응 싸이클에 따라 두께 제어하면서 박막을 마이크로 디바이스 구조체 표면에 증착하였다.

바이어스 전압에 따른 상부층과 하부층 사이에서 바이어스 전압이 가해지지 않을 때의 간격을 기준으로 Fig. 2에서 제시된 바와 같이 바이어스 전압이 가해질 때 전극 간의 간격이 2/3가 되는 바이어스 전압을 측정하였고 박막 증착 전과 박막 측정 후에 바이어스 전압 변화를 비교 측정하였다. 전극 간의 간격 변화는 광학테이블에 설치된 프로브스테이션(probe station)과 인터페로미터(interferometer)로 관찰하였다. Fig. 9는 마이크로 디바이스 구조체에 바이어스 전압이 가해지지 않았을 때의 형상이 (a)이며 바이어스 전압이 제거된 후 원래상태로 복원된 상태는 (b)와 같다. 부착 현상이 관찰되지 않을 때는 Fig. 9와 같이 완전히 원래상태로 복원됨을 알 수 있다. 이와 같은 방법으로 마이크로 디바이스 구조체의 인가 전압에 따른 전극 간의 간격이 2/3가 되는 바이어스 전압을 측정하였다.

Fig. 10은 마이크로 구조체의 상부층의 길이에 따른 바이어스 전압 측정 결과로서, 마이크로 구조체 상부 층의 길이가 길어질수록 상부층과 하부 층이 접촉되는 바이어스 전압은 Fig. 10의 A곡선과 같이 22.82, 12.92, 8.64, 6.38V로 감소하였다.

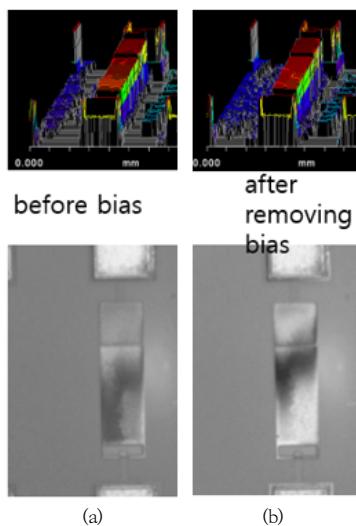


Fig. 9. Variation of shape of microstructure with bias (a)Before bias (b)After removing bias

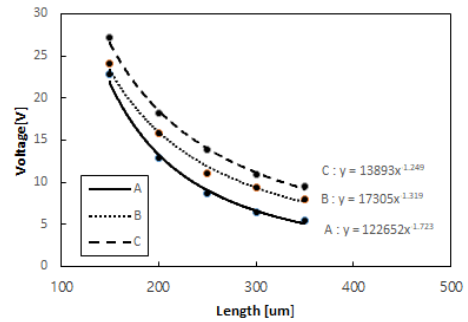


Fig. 10. Voltage vs. Length of micro device structure

시편1의 박막 증착 후에는 Fig. 10의 B곡선과 같이 24.12, 15.88, 11.12, 9.45V였다. 시편3의 박막이 증착된 후에는 Fig. 10의 C곡선과 같이 27.12, 18.23, 13.8, 10.97, 9.5V였다. 즉 상부층의 전극 길이가 길어질수록 부착 발생 전압은 감소하였다.

마이크로 구조체 상부 층의 길이가 길수록 상부층과 하부 층이 접촉되는 바이어스 전압이 낮아지는 현상은 다음 수식으로 해석할 수 있다. 상부 전극과 하부 전극 사이에 인가되는 바이어스 전압에 따른 효과에서 정전기력(electrostatic force)과 원상복구의 회복력 사이의 관계로부터 Eq. (1)을 적용할 수 있다[10,11,12].

$$V = \sqrt{\frac{(8kgap^3)}{(27\epsilon_0 A)}} \quad (1)$$

where,  $\epsilon_0$  denotes free space permittivity,  $A$  denotes electrode cross-sectional area,  $gap$  denotes gap spacing without bias,  $k$  denotes spring constant

스프링계수(K)는  $\frac{2EWt^3}{L^3}$ 에 비례하며 다음과 같은 Eq. (2)로 제안된다[10,11].

$$k = \left( \frac{32Et^3\omega}{L^3} \right) + \frac{8\sigma(1-\nu)tw}{L} \quad (2)$$

where,  $E$  denotes young's modulus,  $t$  denotes thickness of microstructure,  $L$  denotes length of microstructure,  $\sigma$  denotes internal stress,  $\nu$  denotes poisson ratio

즉 전극의 부착 발생을 위한 바이어스 전압은 마이크

로 구조체의 스프링 계수에 의존하며 스프링 계수를 구성하는 기하학적 형상인 마이크로 구조체의 길이에 크게 의존하여 마이크로 구조체의 길이가 증가할수록 스프링 계수는 작아지게 되어 부착발생 바이어스 전압이 감소되는 것으로 해석되었다.

또한 박막 층의 증착으로 바이어스 전압의 증가는 마이크로 구조체 두께 증가 효과로 해석될 수 있으며, 시편 1과 시편 3의 두께가 동일함에도 시편 3의 경우가 바이어스 전압이 높은 경향이 나타난 것은 시편 3의 다층구조가 스프링 계수 등에 증가 요인으로 작용한 것으로 해석할 수 있다. 마이크로 구조체의 상부 전극 길이가 동일한 경우 폴리실리컨 전극으로만 제작된 경우보다는 박막이 증착된 경우가 부착 발생 인가전압이 높게 측정되었다. 즉 마이크로 구조체의 스프링 계수에 마이크로 구조체의 형상과 증착이 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

### 3. 결론

마이크로 구조체를 구성하고 있는 외부 인가 바이어스 전압에 따른 전극의 거동을 관찰하기 위하여 마이크로 구조체 표면에 박막 증착 전후 거동을 비교 관찰하였다. 이를 위하여 증착 박막의 특성을 분석하였고 마이크로 구조체에 박막 증착 전후에 인가 바이어스 전압에 따른 전극 거동을 관찰하였다. 측정 결과 전극 길이가 길어질수록 전극 부착 발생을 위한 전극 부착 발생 바이어스 전압은 낮아졌으며, 박막 증착 전보다는 박막 증착 이후 전극 부착 발생 바이어스 전압이 증가하였다. 이와 같이 전극 부착 발생을 위한 바이어스 전압의 변화는 마이크로 구조체의 기하학적인 형상과 박막증착이 마이크로 구조체의 스프링 계수에 영향을 미치는 것으로 해석될 수 있었다. 따라서 마이크로 구조체의 전극의 거동은 스프링계수에 영향을 미치는 마이크로 구조체의 기하학적 형상과 박막 증착으로 제어될 수 있다.

### References

- [1] Deepak G.Khushalania Rajesh S.Pandea Rajendra M.Patrikarb, "Fabrication and characterization of MEMS cantilever array for switching applications", *Microelectronic Engineering*, Volume 157, PP. 78-82, May 2016, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.mee.2016.02.022>
- [2] Manoj Kumar Dounkal, R. K. Bhan & Navin Kumar, "Effects of various loading on the performance of MEMS cantilever beam for in-field tuning of sensors and actuators for high temperature and harsh environment applications", *Microsystem Technologies*, volume 26, pp.377-394, 2020. DOI:<https://doi.org/10.1007/s00542-019-04551-8>
- [3] P. G. DatskosN. V. LavrikM. J. Sepaniak, "Micromechanical Sensors", Introduction to Nanoscale Science and Technology, SpringerLink, 2004, pp 417-439, DOI:[https://doi.org/10.1007/1-4020-7757-2\\_18](https://doi.org/10.1007/1-4020-7757-2_18)
- [4] Monika Chaudhary and Amita Gupta, "Microcantilever-based Sensors" *Defence Science Journal*, Vol. 59, No. 6, pp. 634-641, Nov. 2009. DOI:<http://doi.org/10.14429/dsj.59.1569>
- [5] Gopinath.P.G.,S.Aruna Mastani, V.R.Anitha, "Sensitivity analysis for improving nanomechanical photonic transducers biosensors" , *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 48, Issue 33, pp1. Aug. 2015. DOI:<http://doi.org/10.1088/0022-3727/48/33/335401>
- [6] Rebeiz, G.M., "RF MEMS Theory, Design, and Technology", Wiley, 2004, pp.45-47. DOI:<http://doi.org/10.1002/0471225282>
- [7] G.S. Higashi, C.G. Fleming, "Sequential surface chemical reaction limited growth of high quality Al2O3 dielectrics", *Appl. Phys. Lett.* 55, pp.1963,1989. DOI:<https://doi.org/10.1063/1.102337>
- [8] Tommi Kääriäinen David Cameron Marja-Leena Kääriäinen Arthur Sherman,"Atomic Layer Deposition: Principles, Characteristics, and Nanotechnology Applications", Wiley, 2013,pp.270-272. DOI:<http://doi.org/10.1002/9781118747407>
- [9] Joel A. Kubby, A Guide to Hands-on MEMS Design and Prototyping, Cambridge University Press, Sept. 2011,pp.10-25. DOI:<https://doi.org/10.1017/CBO9780511984662>
- [10] Deep Kishore Parsediya1, Anil Sharma, "Simulation and analysis of MEMS cantilever designs with fractal surface geometry for TG sensing and frequency switching" *IEEE Sponsored Second International Conference on Electronics and communication Systems(ICECS 2015)*,pp1658-1662,2015. DOI:<http://doi.org/10.1109/ECS.2015.7124868>
- [11] N. Scott Barker, Gabriel M. Rebeiz, "Distributed MEMS True-Time Delay Phase Shifters and Wide-Band Switches", *IEEE Transactions on Microwave theory and techniques*, VOL. 46, NO. 11, pp.1881, 1998. DOI:<http://doi.org/10.1109/22.734503>
- [12] F. Rusu, M.Pustan, C.Birleanu,R.Muller,R. Voicu, A. Bar acu, " Analysis of surface effects on adhesion in MEMS structures", *Applied Surface Science*, 358, pp. 634-640,2015. DOI:<http://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.09.052>

박 현 식(Hyun-Sik Park)

[종신회원]



- 1990년 2월 : 서울대학교 대학원 (공학박사)
- 1996년 1월 ~ 1996년 8월 : 전자 기술연구원(KETI) 부품개발 3팀장
- 1996년 9월 ~ 현재 : 국립 한경대학교 전자전기공학부 전자공학전공 교수

〈관심분야〉

반도체 디바이스, 센서, 전자부품 개발