

## EWOD 구조에서 상유전체 BZN에 의한 micro droplet의 이동 특성

김나영, 홍성민, 박순섭  
전자부품연구원(KETI) NANO-BIO 연구 센터

### The Movement Characteristic of Micro Droplet by BZN in EWOD structure

Nah-Young Kim, Sung-Min Hong, and Soon-Sup Park  
NANO Bio Research Center (KETI)

**Abstract** - This study is about how to lower the driving voltage that enables to move the micro droplet by the EWOD (Electro Wetting On Dielectric) mechanism. EWOD is well known that it is used  $\mu$ -TAS digital micro fluidics system. As the device which is fabricated with dielectric layer between electrode and micro droplet is applied voltage, the hydrophobic surface is changed into the hydrophilic surface by electrical property. Therefore, EWOD induces the movement of micro droplet with reducing contact angle of micro droplet. The driving voltage was depended on the dielectric constant of dielectric layer, thus it can be reduced by increase of dielectric constant. Typically, very high voltage (100V<sup>~</sup>) is used to move the micro droplet. In previous study, we used Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> as the dielectric layer and driving voltage was 23V that reduced 24 percent compared with SiO<sub>2</sub>. In this study, we used BZN(Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) layer which had high dielectric constant. It was operated the just 12V. And micro droplet was moved within 1s on 15V. It was reduced the voltage until 35 percents compare with Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 50 percents compare with SiO<sub>2</sub>. The movement of micro droplet within 1s was achieved with BZN (ferroelectrics) just on 15V.

**Key Word:**

EWOD, Dielectric constant, BZN

### 1. 서 론

최근 Bio-MEMS 분야에서는 샘플의 이동, 반응, 분리 및 분석까지 모든 system을 하나의 칩 위에서 가능하게 하는  $\mu$ -TAS (Micro Total Analysis System)에 관심이 집중되고 있다 [1-3]. 이러한 system 안에서 reservoir를 시작 지점으로 하여 reaction zone, 그리고 outlet까지의 이동과 같은 여러 과정을 수행하기 위한 micro droplet의 제어가 가장 중요하다. 현재 전극에 electric potential을 가하여 micro droplet의 표면 장력을 감소시킴으로써 이동을 제어하는 Electro Wetting에 관한 연구가 활발하게 진행 중이다 [3-5]. 그럼 1은 Electro Wetting 현상을 이용한 micro droplet의 이동을 나타낸다. 이전까지의 연구에서는 1 $\mu$  이상의 Insulator 위에서 micro droplet의 이동시 100V 이상의 구동전압이 요구 되었다 [6]. 그러나  $\mu$ -TAS에서 휴대용 마이크로 칩에 100V 이상의 큰 전압을 인가하기에는 설계와 전력공급에 어려움이 따른다. 구동전압을 낮추기 위해 Electro Wetting은

실리콘 오일이나 전해액으로 채워진 system 안에서 행해졌으나, 이러한 경우 오일과 전해액에 의한 micro droplet의 오염이 문제가 되었다[7]. 유전충 박막 위에서 micro droplet의 contact angle을 제어하는 EWOD[7-8]는 대기 중에서 진행되어 오염의 문제가 없으며 구동전압이 유전충의 유전상수와 관계되므로 유전상수를 이용하여 구동전압을 낮출 수 있다. 구동전압이 100V 이하로 낮아진다면, micro droplet을 세밀하게 제어 하는 Digital Micro fluidic System의 구현이 가능하게 되며,

30V이하로 낮아진다면 cell이 파괴되지 않는 전압 이므로 Culture Solution의 micro droplet에 세포가 포함된 채로 이동 시키는 system의 구현에도 가능성이 생기게 된다. 현재 까지 EWOD 구조에서 유전충으로 SiO<sub>2</sub>가 주로 사용되고 있으나, 이전의 연구에서[9] 우리는 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 유전충으로 하여 기존에 사용되었던 SiO<sub>2</sub>의 구동전압 30V보다 24% 감소 된 23V에서 소자의 구동이 가능했다. 본 연구에서는 강유전체 BZN 충을 제조하여 micro droplet을 이동시키기 위한 구동전압 측정 후 SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, 그리고 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 비교하였다. 이를 기초로 유전상수의 변화에 따른 소자의 구동전압을 연구하였다.

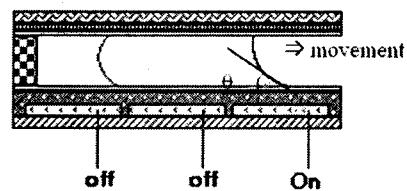


Fig. 1: The movement of microdroplet by contact angle reduction

### 2. 본 론

#### 2.1 Dielectric Constant

EWOD 구조는 전극과 micro droplet 사이에 유전충을 증착하는 구조이다. 이 소자의 전극과 micro droplet 사이에 electric potential을 가하면 전자와 양성자가 재배열 하여 소수성 표면이 친수성 표면으로 전환된다. 이 때, 표면 장력이 감소하여 micro droplet의 contact angle이 작아짐으로써 micro droplet의 이동을 유도한다. 다음 식 (1)은 electric potential(V)와 유전상수 ( $\epsilon$ ) 사이의 관계를 수학적으로 나타내는 Lippmann- Young's

equation이다. 식 (1)에서 보는 바와 같이 유전층의 유전상수 ( $\epsilon$ )를 증가시키고 두께를 줄여 구동전압(V)를 낮출 수 있음을 알 수 있다.

$$\cos\theta - \cos\theta_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon V^2}{2dI_{LG}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

( $\epsilon_0$  : 진공에서의 유전상수,  $\epsilon$  : 유전층의 유전상수, d : 유전층 두께,  $\theta_0$  : 전압인가 전의 contact angle,  $\theta$  : 전압 인가 후의 contact angle,  $I_{LG}$  : liquid-gas 의 표면장력)

## 2.2 BZN(BismuthZincNiobate)

EWOD 구조에서 구동전압을 낮추기 위해서는 high-k 유전체가 필요하다. 그러나 위에서 언급 한 Lippmann-Young's equation에서 살펴보면, 구동 전압과 두께가 반비례 관계이므로 유전층의 두께가 얇을수록 구동 전압이 낮아진다. 강유전체 BST는 200~600의 매우 큰 유전상수를 갖기 때문에 많은 연구가 이루어지고 있으나 박막으로의 제조 시 내부 유전 손실이 생겨 유전 상수가 급격하게 감소하며, 조성 조절 역시 까다로워진다[10-11]. 그러므로 EWOD 구조에 유전층으로 사용 할 때에 많은 어려움이 따른다. 이에 반해, 상유전체 BZN ( $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-ZnO-Nb}_2\text{O}_5$ )은 박막으로의 제조시에도 유전 손실이 ( $\sim 5 \times 10^{-4}$ )로 매우 작다. BZN은 600°C ~ 800°C 사이에서 결정화 하여 유전 손실을 줄일 수 있다. 그럼 2[12]의 그래프에서처럼 700°C 결정화 열처리를 통해 유전 손실을 줄여 160 정도의 유전 상수를 얻을 수 있다. 일반적인 BZN의 유전 상수는 Bulk 일 때, 100~170이며[10-12] 본 소자에서 제작된 BZN 박막의 유전 상수는 11~12로 추정된다.

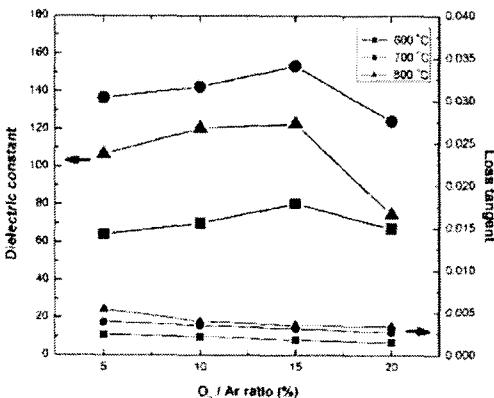


Fig. 2: Dielectric constant and loss tangent of BZN film ms annealed at different temperatures as a function of O/Ar ratio[12]

The dielectric constant of BZN was higher than 600°C and 800°C in 700°C annealing process

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 EWOD 구조

모든 micro droplet 의 이동은 평행한 두 전극 사이에

서 일어나며 상부 전극은 IZO, 하부 전극은 Pt로 각각 제작되었다. 유전층으로  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 는 PECVD,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  와 BZN은 R.F. sputtering 으로 Pt 위에 각각 1000 Å 증착하여 그림 3과 같은 EWOD 구조를 형성하였다.

Micro droplet 과 접촉하게 되는 상부 전극과 유전층 표면은 소수성(Hydrophobic)표면 형성을 위해 DuPont 사의 Teflon으로 300 Å 증착 되었다. 상부 전극과 하부 전극 사이는 JSR 430N 을 사용하여 스페이서 역할을 하는 높이 60  $\mu\text{m}$ 의 블록을 제작하였다.

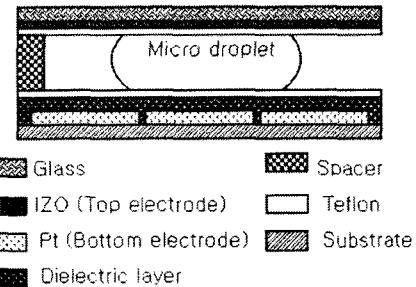


Fig. 3: EWOD Structure  
Dielectric layers were  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  and BZN

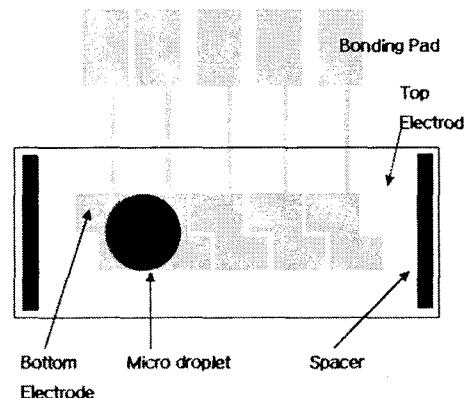


Fig. 3: Device outline

## 2.4 실험결과

표 1에서 보이는 바와 같이 Micro droplet 의 contact angle 이 감소하기 시작하는 전압은  $\text{SiO}_2$ 인 경우에는 21V,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 의 경우에는 17V,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 의 경우에는 15V, 그리고 BZN의 경우에는 11.5V 였다. Contact angle 이 감소하기 시작하는 전압에서 micro droplet 이 이동하기 시작하였으며 이동 시간은 각각  $\text{SiO}_2$  21V 에서는 10s,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  17V 에서는 13s,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 의 15V 에서는 10s 그리고 BZN의 11.5V 에서는 9s였다. 또 한, 소자의 유전층이  $\text{SiO}_2$ 인 경우에는 30V,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 의 경우에는 24V,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 의 경우에는 23V, 그리고 유전상수가 가장 큰 BZN의 경우에는

15V에서 1초 이내에 구동된다는 것이 확인 되었다. 이 결과는 유전층의 유전상수가 클수록 저 전압에서 micro droplet 의 이동이 가능하다는 Lippmann-Young's 식과

일치하였다.

droplet을 세밀하게 제어 하는 Digital Microfluidic System의 저전압 구동이 가능하게 되었다.

	SiO <sub>2</sub>		Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>		Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		BNZ	
	V	Time	V	Time	V	Time	V	Time
Contact angle Change	21V	10s	15V	13s	15V	10s	12V	9s
Movement	30V	1s	24V	1s	23V	1s	15V	0.8s
Dielectric Constant	2.3		7.8		8.5		11	

Table. 1 각 구동 전압에 따른 micro droplet 의 이동 시간과 유전층의 유전 상수

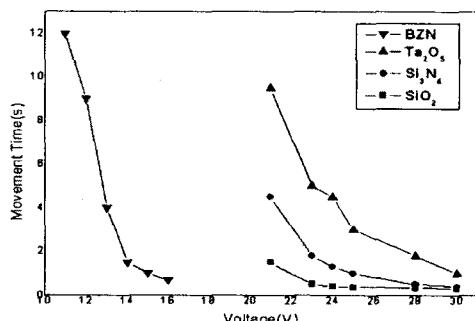


Fig. 3 Required time for complete movement of D.I. water droplet versus applied voltage. BZN, which had the biggest dielectric constant among four dielectric layers, was operated under lower voltage than others.

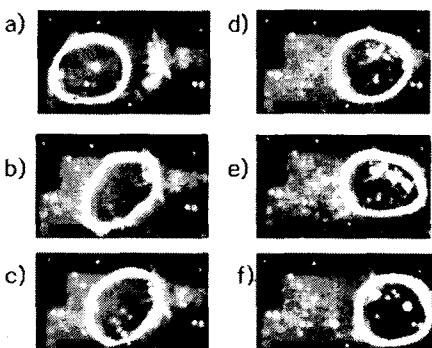


Fig. 10: The movement of micro droplet, which followed Electrodes.

### 3. 결론

이전의 연구[9]에서 유전층으로 사용하여 23V의 구동 전압을 필요로 하던 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>보다 약 2배의 유전 상수를 갖는 BZN 박막을 사용하여 D.I. water micro droplet 은, 단 15V만으로도 1초 이내의 이동이 가능하게 되었다. 이는 SiO<sub>2</sub>를 유전층으로 사용 하였을 때 보다 구동 전압이 50% 이상 감소되었음을 의미한다. 이로써 micro

### ACKNOWLEDGMENTS

본 연구 논문은 산업 자원부의 출연금 등으로 수행한 전자 부품 기반 기술 개발 사업의 연구 결과입니다.

### [참고문헌]

- [1] M.G. Pollack and R.B. Fairb "Electrowetting-based actuation of liquid droplets for microfluidic applications" APPLIED PHYSICS LETTERS VOL. 77, NO. 11 SEPTEMBER 2000 (1725-1726)
- [2] Tianhao Zhang, Hrishnendu Chakrabarty, R. B.Fair "Microelectrofluidic Systems, Modeling and Simulation"
- [3] S.K. Cho, H.J. Moon, and C.J. Kim "Creating, transporting, cutting, and merging liquid droplets by electrowetting based actuation for digital microfluidic circuits" JOURNAL OF MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS, VOL. 12, NO. 1, FEBRUARY 2003 (70-80)
- [4] M.W.J. Prins, W.J.J. Welters and J.W. Weekamp "Fluid control in multichannel structures by electrocapillary pressure," SCIENCE VOL. 291, 2001 (277-280)
- [5] J.H. Lee and C.J. Kim "Surface-tension-driven microactuation based on continuous electro wetting" JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, VOL. 9, NO. 2, JUNE 2000 (171-180)
- [6] B. Berge "Electrocapillarity and wetting of insulator films by water," COMPTES RENDUS DE L'ACADEMIE DES SCIENCES SERIE II, VOL. 317 1993 (157163)
- [7] M. G. Pollack, A. D. Shenderov and R. B. Fair "Electrowetting-based actuation of droplets for integrated microfluidics" LAB CHIP, FEBRUARY 2002 (96-101)
- [8] H.J. Moon and S.K. Cho "Low voltage electrowetting on dielectric" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS VOL. 92, NO. 7 OCTOBER 2002 (4080-4087)
- [9] N.Y Kim, S.M. Hong, S.S. Park and I.G. Lee "The Movement Characteristics of Micro Droplets with the Effect of Dielectric Layers and Electrode Shapes in EWOD structure," The 7th Korean MEMS Conference, PP. 301-304, 2005
- [10] J.H. Park, J. Lu, S. Stemmer, and Robert A. York "Low-Loss, Tunable Microwave Capacitors Using Bismuth Zinc Niobate Thin Films" 2004 IEEE International Ultrasonics, Ferroelectrics, 17 and Frequency Control Joint 50th Anniversary Conference (17-20)
- [11] J. Lu, D.O. Klenov, and S. Stemmer "Influence of strain on the dielectric relaxation of pyrochlore bismuth zinc niobate thin films" APPLIED PHYSICS LETTERS VOL. 84, NO. 6, 9 FEBRUARY 2004
- [12] Y.P. Hong, S.Ha, H.Y. Lee, Y.C. Lee, K.H. Ko, D.W. Kim, H.B. Hong and K.S. Hong "Voltage Tunable Dielectric Properties of RF Sputtered Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZnO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Pyrochlore Thin Films", Thin Solid Films, VOL. 419, ISS 1, 2002(183-188)