

# 임피던스 측정용 측벽전극 내장형 마이크로채널 제작

강길환\*, 노용래\*\*, 김규만<sup>#</sup>

## Fabrication of Micro-Channel with Embedded Electrode for Impedance Measurement

Gil-Hwan Kang\*, Yong-Rae Roh\*\*, Gyu-Man Kim<sup>#</sup>

### ABSTRACT

A new method to fabricate metal electrodes on side wall of the microchannel is presented. Electrical signal can be measured by the metal electrodes on channel side wall when microparticles pass through a polymer microchannel. 3 dimensional metal electrodes on channel side wall could be fabricated by local deposition of metal through a shadowmask and inclined evaporation. The polymer microchannel with side wall electrodes could be precisely aligned onto metal contact patterns on pyrex glass. The impedance measurement test showed possibility of electrical signal measurement using the fabricated device.

**Key Words** : Stencil (스텐실), Microchannel (마이크로채널), Shadow Effect (샤도우효과), Electrode (전극)

### 1. 서 론

광학적 시스템을 이용한 세포 분석기(fluorescence activated cell sorter, FACS)는 뛰어난 성능을 가지지만 여러 부가적인 분석시스템의 필요성으로 인해 이동성에 커다란 제약이 있다. 따라서 최근에는 통신기술과 미세제작기술을 접목하여 분석 장치를 소형화함으로써 환자가 있는 곳에서 직접 검사를 할 수 있는 현장검사용(point of care testing, POCT) 소형분석기기에 대한 연구가 세계 각국에서 활발히 연구 중이다.

마이크로가공(micro machining) 기술을 바탕으로

소형화된 쿨터계수기(Coulter counter)는 분석 전극이 내장된 마이크로채널내에 세포를 흘려 전극을 지나갈 때의 전기적 신호의 변화량을 기록, 분석하여 지나간 세포의 개수와 크기를 측정하는 장치이다. 이런 전기적 신호의 변화량을 탐지하는데 있어 분석 전극의 상대적 위치는 전기적 신호 검출의 성능에 영향을 미친다. 지금까지 발표된 쿨터계수기 관련 논문을 보면 제작하기 쉬운 마이크로 채널 바닥에 전극이 형성되어 있는 것을 알 수 있다<sup>[1,2]</sup>. 그러나 두 전극의 상대 위치에 따른 유한요소(FEM) 해석 결과 마주보는 두 전극이 보다 좋은 민감도를 보임을 나타내었다<sup>[3]</sup>.

본 연구는 마이크로 채널 내 전기적 신호 변화를 효율적으로 측정하기 위하여 채널 측벽에 분석용 전극을 제작하는 새로운 방법을 제안하고, 이를 이용하여 측벽전극이 내장된 마이크로채널을 제작하였다. 제작된 측벽전극을 이용하여 임피던스 측정 테스트

\* 경북대학교 대학원 기계공학부 (현주소: 대동공업)

# 교신저자 : 경북대학교 기계공학부

E-mail : gyuman.kim@knu.ac.kr

\*\* 경북대학교 기계공학부

를 수행하여 세포분석의 가능성을 확인하였다.

## 2. 원 리

Fig. 1에 임피던스 측정을 위한 마이크로채널 장치의 개략도를 나타내었다. 마이크로 입자가 마이크로 채널을 통과하면서 채널측벽의 전극을 이용하여 임피던스를 측정한다. 채널측벽에 있는 전극의 3차원 패터닝을 위하여 기화증착 시 발생하는 섀도우효과를 이용하였다.

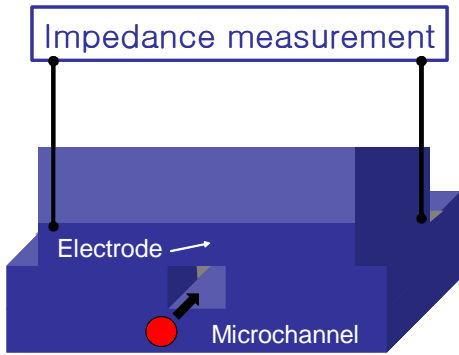


Fig. 1 Schematic view of microfluidic device with electrode on sidewall

섀도우 효과란 금속의 진공 기화증착 시 입자의 직진성과 방향성으로 인하여 증착 소스(source)와 증착표면사이가 가려지는 경우 국부적으로 증착이 이루어지지 않는 현상을 말한다. 섀도우 효과는 증착면 구조형상과 증착방향에 영향을 받는다. 또한, 개방형 패턴이 새겨진 멤브레인(스텐실마스크)을 증착면에 얹으면 섀도우 효과를 이용한 패터닝이 가능하다. 이러한 원리들을 이용하여 마이크로채널에 스텐실을 얹고 마이크로채널 형상에 따라서 계산된 증착방향으로 금속층을 증착하면 채널 측벽에만 전극의 제작이 가능하다. Fig. 2는 증착면 형상에 의한 섀도우 효과와 스텐실마스크 원리를 복합적으로 이용하여 측벽에 전극을 제작하는 원리를 보여준다. 스텐실마스크를 전극위에 얹고 마이크로 채널 측면에 원하는 패턴의 전극이 증착되도록 지그를 이용하여 미리 계산된 각도만큼 PDMS (polydimethylsiloxane) 마이크로채

널을 기울여 원하는 금속을 진공 증착함으로써 전극을 채널 측벽에 패터닝한다. 채널 벽 양쪽면에 전극을 제작하기 위해서는 증착 각도를 달리하여 증착을 2회 수행하여야 한다.

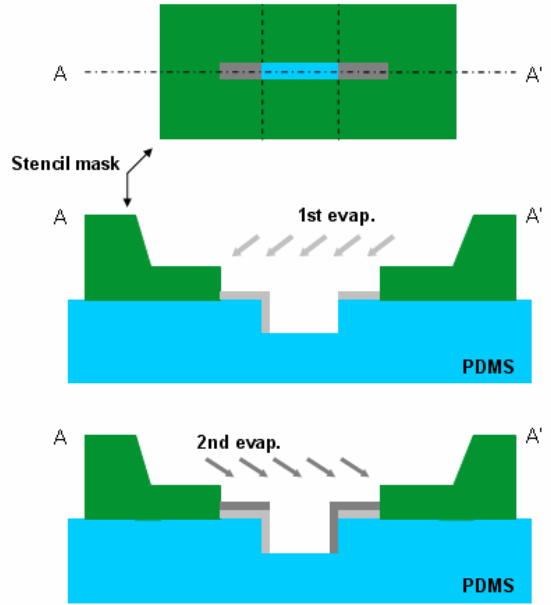


Fig. 2 Principle of shadow evaporation on the side wall of microchannel

국부증착 시 스텐실마스크와 증착표면간의 거리인 갭(gap)은 국부증착되는 패턴의 크기에 영향을 끼친다. 마이크로채널 측벽 전극 제작 시 마이크로 채널 내부 공간으로 인해 갭이 존재하게 되고 이로 인하여 진공 증착 시 전극패턴의 퍼짐현상을 야기할 수 있다. Fig. 3에서 이러한 갭효과에 의한 패턴퍼짐량을 계산하기 위한 도식도를 나타내었다. a는 메탈 소스의 크기, d는 스텐실 마스크의 홀패턴 크기, D는 증착된 패턴의 크기, L은 메탈 소스에서 스텐실 마스크까지의 거리이며 l은 스텐실 마스크로부터 측벽까지의 거리이다. 기하학적으로 계산된 갭효과에 의한 증착패턴 크기 D는

$$D = d + \frac{l}{L}(a + d) \approx d + \frac{al}{L} \quad (1)$$

이고, 여기서 패턴퍼짐(pattern dispersion)  $\delta$ 를

$$\delta = \frac{D-d}{2} = \frac{al}{2L} \quad (2)$$

로 정의 한다. 계산된 갭 l과  $\delta$ 의 관계를 그래프로 그려보면 Fig. 4와 같다. 여기서  $a = 30\text{mm}$ ,  $L = 800\text{mm}$ ,  $d = 29\mu\text{m}$ 를 기준으로 계산하였다. 계산결과  $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$  channel 에서도  $\delta$ 는  $0.625\mu\text{m}$ 의 값을 가지므로써 본 논문의 측벽 전극 제작에 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다.

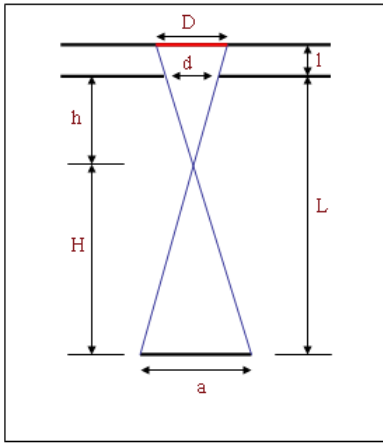


Fig. 3 Diagram of evaporation gap effect through stencil mask

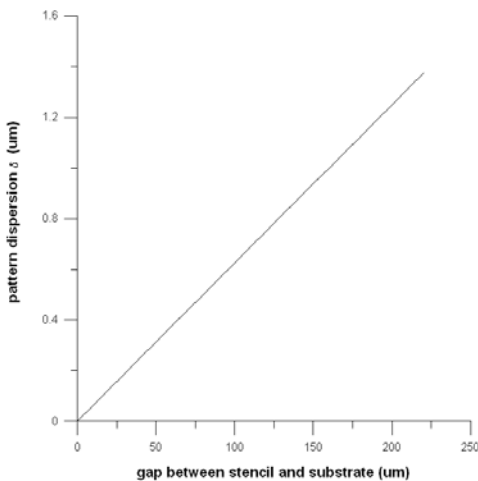


Fig. 4 Pattern dispersion along with gap between stencil and substrate

### 3. 제 작

#### 3.1 스텐실 마스크 제작

스텐실 마스크는 샤도우 효과를 이용하여 마이크로채널 측벽에 전극을 형성하기 위해 필수적인 장치이다. 스텐실 마스크 제작 공정은 다음과 같다<sup>[4]</sup>. 먼저 LPCVD(low pressure chemical vapour deposition)를 사용하여 500nm 두께를 가진 low-stress SiN막을 Si웨이퍼 양면에 증착한다. 포토리소그래피 공정(MA-150 alinger, Karl Süss)으로 웨이퍼 앞면에 스펀코팅된 photoresist(S2828, Shipley)에 준비된 크롬마스크를 접촉시키고 UV광을 노출시켜  $20 \times 2000\mu\text{m}$ 의 직사각형 패턴을 새긴 후 현상(develope)을 한다. Inductively coupled plasma (ICP) (601E, Alcatel: C2F6)를 사용한 비등방성 에칭을 통해 SiN막을 제거한다. 같은 방식으로 웨이퍼 뒷면도  $1400 \times 2000\mu\text{m}$  SiN막을 포토리소그래피와 ICP공정을 통해 제거한다. 남겨진 SiN부분은 Si를 제거하기위한 에칭 마스크로 사용되어진다. 마지막으로 Si를 KOH를 사용하여 에칭하여 앞면의 SiN 멤브레인만 남겨 스텐실 마스크를 완성한다.

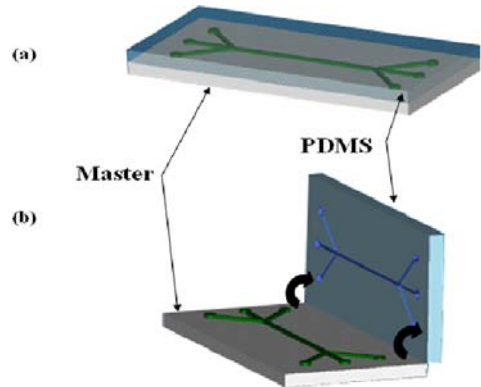


Fig. 5 Principle of polymer microchannel fabrication (a) pouring PDMS on master and curing (b) peeling off PDMS from master

#### 3.2 마이크로 채널 제작

마이크로채널은 PDMS를 사용하여 제작하였다. PDMS는 Si웨이퍼에 비해 가격이 매우 싸고 재질이

투명하여 전기적 분석뿐 아니라 광학적 분석도 가능하게 할뿐 아니라 몰딩을 통해 간단히 마이크로채널을 만들 수 있다. Fig.5에 마이크로채널 제작공정을 간단히 나타내었다. PDMS 마이크로채널을 제작하기 위해 우선 50 $\mu$ m, 100 $\mu$ m 의 넓이를 가진 마이크로채널 몰드를 설계한다. 마이크로채널을 위한 크롬마스크를 제작한 다음 SU-8을 웨이퍼위에 스펀 코팅한 뒤 포토리소그래피를 이용하여 SU-8몰드 마스터를 만든다. 몰드에 정의된 마이크로채널을 PDMS 에 전사하기 위해 레진(resine)과 크로스링커(cross linker)를 9:1로 혼합한 PDMS를 SU-8몰드에 부어 60 $^{\circ}$ C에서 1시간동안 굽는다. SU-8몰드와 굳어진 PDMS를 조심스럽게 분리시켜 PDMS 마이크로채널을 완성한다.

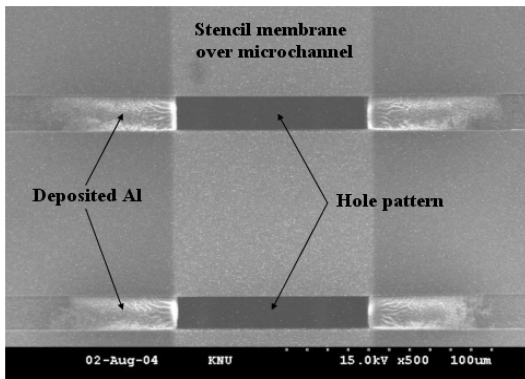


Fig. 6 SEM image of stencil mask after Al evaporation

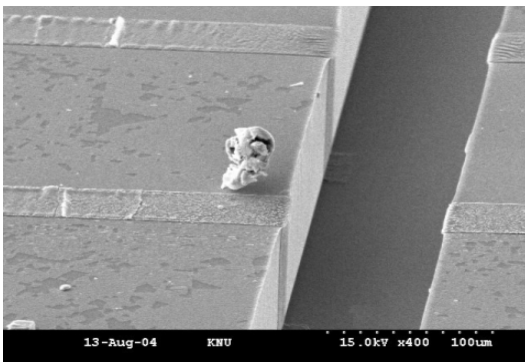


Fig. 7 SEM image of microchannel with electrodes on the side wall

### 3.3 측벽전극제작

마이크로채널 측벽에만 전극을 만들기 위해서는 스텐실 마스크 이외에도 마이크로채널을 기울여줄 지그가 필요하다. 지그의 기울이는 각도는 마이크로채널의 폭과 높이에 의해 결정된다. 마이크로채널 폭이 W, 마이크로 채널 높이가 H일때 기울이는 각도는

$$\theta = \tan^{-1} \frac{W}{H} \quad (3)$$

이다.

마이크로 채널 측벽에 전극이 형성될 위치를 선정 한 후 준비된 스텐실마스크를 PDMS 마이크로채널 위에 붙였다. 스텐실마스크를 붙인 후 마이크로 채널 측면에 전극이 증착 되도록 지그를 이용하여 미리 계산된 각도만큼 PDMS 마이크로채널을 기울여 증착함으로써 전극을 채널 측벽에 제작하였다.

기화증착(thermal evaporator, base pressure 1.5 x 10<sup>-6</sup>Torr)을 사용하여 100nm 두께(평균면 기준)의 Al 전극을 양 측벽에 증착하기 위해 채널을 첫 번째 진공 증착이 끝나고 난후 마이크로채널을 지그에서 떼어 180 $^{\circ}$ 회전시켜 붙인 후 다시 한번 증착하였다. Fig. 6 은 Al을 진공증착한 후 샬도우마스크를 마이크로채널과 분리시키기 전의 SEM사진으로 멤브레인의 구멍패턴(hole pattern) 사이로 증착된 알루미늄과 아래에 놓인 마이크로채널이 보인다.

Fig. 7에 제작된 측벽전극을 나타내었다. Al전극이 마이크로채널 측벽에 형성되었을 뿐 아니라 채널 바닥에도 전극이 형성된 것을 볼 수 있는데 이를 방지하기 위해 PDMS채널의 위치와 기울이는 각도에 관한 정확한 계산을 필요로 한다.

### 3.4 Metal contact 제작

제작된 측벽 전극과 임피던스의 변화량을 측정하는 회로를 연결하고 전압을 가해주기 위해 회로도 와 측벽전극의 교량역할을 해주는 전극(metal contact)을 유리기판(pyrex glass) 위에 제작하였다.

측벽 전극과 잘 맺칭되도록 전극을 디자인하여 Cr 마스크를 제작하였다. pyrex glass위에 Al 박막을 형성하기 위하여 스퍼터(sputter)를 이용하였다. 먼저 DC 전압을 이용하여 아르곤 플라즈마(Ar plasma)를 생성

하고 Al 타겟(target)의 자연산화막을 제거하기 위해 전공정(pre-sputtering) 후 스퍼터링(sputtering)을 시작하였다. pyrex glass에 증착된 Al 박막은 포토리소그라피 공정을 거쳐 Al 전극패턴을 형성한 후 로(furnace)에서 N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>와 함께 350℃에서 20분간 어닐링(annealing)하여 완성되었다.

### 3.5 Metal contact/ 측벽전극 얼라인

제작한 측벽전극을 가진 PDMS마이크로채널과 pyrex glass에 증착된 알루미늄 전극을 얼라인(align)하기 위해 얼라이너를 직접 제작하였다. Pyrex wafer를 잡아 고정시키는 방법으로 진공(Vacuum)을 선택하였다. 수십 마이크로미터의 전극들을 일치시켜 정밀하게 배열하기 위해서 인버티드 현미경(inverted microscope)을 사용하였고, 현미경의 조리개를 떼어내고 대신 제작한 얼라이너를 부착하였다. Fig. 8에 제작된 얼라이너를 나타내었다. pyrex glass 위에 증착된 Al 메탈 컨택트 전극과 PDMS 마이크로채널의 양측벽에 제작된 측벽전극을 진공 얼라이너(Vacuum alinger)를 사용하여 정렬한 후 본딩하였다. Fig. 9에 얼라인된 측벽전극과 메탈 컨택트의 모습을 나타내었다. Fig. 10은 얼라인 후 Pyrex glass와 본딩된 마이크로 채널의 사진이다.

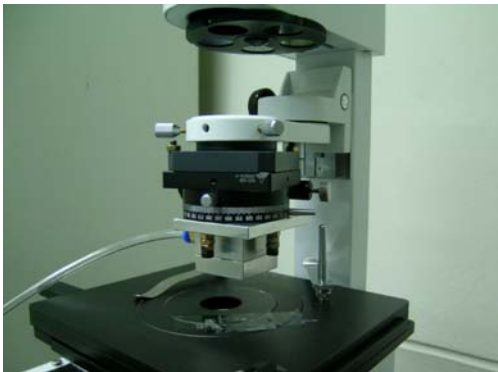


Fig. 8 Vacuum aligner on inverted microscope

임피던스 분석기(impedance analyzer HP4284A)를 사용하였다. 제작된 마이크로 채널시스템의 pyrex glass 기반 마이크로전극(metal contact electrode)을 PCB(printed circuit board)와 와이어본딩(wire bonding) 하여 회로 인터페이스를 구성하였다. PCB 단자는 HP4284A와 연결하였다. 임피던스 측정을 위해 사용된 마이크로 입자로 10um 크기의 폴리스티렌 비드(bead)를 사용하였다. 버퍼용액(buffer solution)으로는 PBS 용액을 사용하였다. 임피던스 측정은 마이크로 입자가 혼합된 PBS 액을 마이크로 채널에 0.1ml/hr와 0.2ml/hr로 흘리면서 100Hz에서 100MHz로 변화하면서 임피던스를 측정하였다. 임피던스 측정결과를 Fig.11에 나타내었다. 측정된 임피던스는 비드의 유무에 따라 큰 차이를 나타내지 않았는데, 분석용 측벽전극과 마이크로 전극(metal contact electrode) 간의 접촉이 불안정하기 때문으로 판단된다. 측벽전극의 경우 시스템 개선을 위한 추후 연구가 필요한 것으로 판단된다.

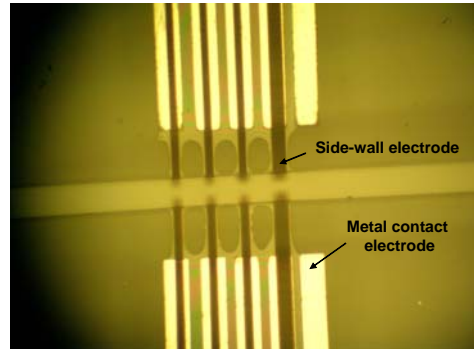


Fig. 9 Picture after aligning and bonding

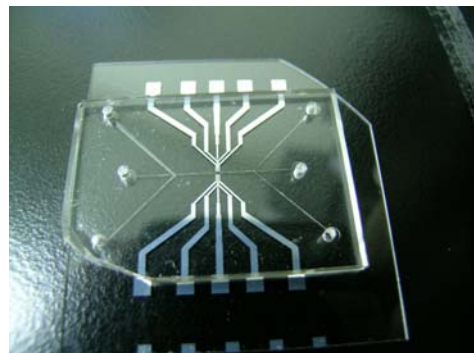


Fig. 10 PDMS microchannel bonded onto metal contact

## 4. 임피던스 측정 테스트

제작된 마이크로 시스템의 성능평가를 위하여 임피던스 측정 테스트를 수행하였다. 임피던스 측정은

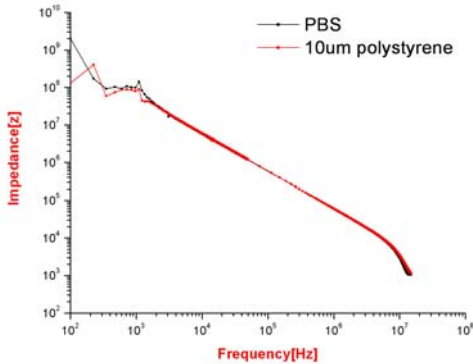


Fig. 11 Impedance test results.

## 5. 결 론

본 연구에서는 분석전극이 채널 측벽에 내장된 임피던스 측정용 마이크로 시스템을 제작하였다. 채널 측벽에 내장된 분석전극을 제작하기 위하여 마이크로 사도우 마스크를 제작하고, 사도우마스크를 통하여 폴리머 마이크로 채널위로 경사 증착을 이용하여 마이크로 채널 측벽에 분석전극을 제작하였다. 한편, 파이렉스 유리 기판위에 MEMS공정을 이용하여 마이크로 전극패턴을 제작하고 이를 마이크로 채널 전극과 얼라이닝하였다. 임피던스 측정 테스트를 수행하여 임피던스 측정이 가능함을 확인하였다. 본 연구 결과는 임피던스 측정뿐만 아니라 다양한 전기적 계측용 마이크로 디바이스 제작에 응용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 후 기

본 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2004-003-D00032)

## 참고문헌

1. Saleh, O. A. and Sohn, L. L. "Quantitative sensing of nanoscale colloids using a microchip coulter

- counter," Review of Scientific Instruments, Vol. 72, No. 12, pp. 4449-4451, December 2001.
2. Koch, M., Evans, A.G.R and Brunnschweiler, A., "Design and fabrication of a micromachined coulter counter," Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 9, pp. 159-161, 1999.
3. Gawad, S., Schild, L. and Renaud, Ph., "Micromachined impedance spectroscopy flow cytometer for cell analysis and particle sizing," lab on a chip, Vol. 1, pp. 76-82, 2001.
4. Kim, G. M., van den Boogaart, M.A.F, Brugger, J., "Fabrication and application of a full wafer size micro/nanostencil for multiple length-scale surface patterning," Microelectronic Engineering, Vol. 67-68, pp. 609-614, 2003.