

마이크로채널 내의 온도 분포 측정을 위한 미소 측정 구조물의 제작

박호준* **, 임근배*, 손상영*, 송인섭*, 박정호**
 * 삼성종합기술원 MEMS lab. ** 고려대학교 마이크로시스템 연구실

Fabrication of a novel micromachined measurement device for temperature distribution measurement in the microchannel

Hojoon Park* **, Geunbae Lim*, Sangyoung Son*, Inseob Song*, and James Jungho Pak**
 *Samsung Advanced Institute of Technology, MEMS lab. and **Korea Univ. Microsystems lab.

Abstract - In this work, an array of resistance temperature detector(RTD) was fabricated inside the microchannel in order to investigate in-situ flow characteristics. A rectangular straight microchannel, integrated with RTD's for temperature sensing and a heat source for generating the temperature gradient along the channel, were fabricated with the dimension of 200 μ m(W) \times 100 μ m(D) \times 48mm(L), while RTD measured precise temperatures at the inside-channel wall.

4" 525 \pm 25 μ m thick P-type <100> Si wafer was used as a substrate. For the fabrication of RTDs, 5300Å thick Pt/Ti layer was sputtered on a Pyrex glass wafer. Finally, glass wafer was bonded with Si wafer by anodic bonding, therefore RTD was located inside the microchannel.

The temperature distribution inside the fabricated microchannel was obtained from 4 point probe measurements and DI water is used as a working fluid. Temperature distribution inside the microchannel was measured as a function of mass flow rate and heat flux. As a result, precise temperatures inside the microchannel could be obtained.

In conclusion, this novel temperature distribution measurement system will be very useful to the accurate analysis of the flow characteristics in the microchannel.

1. 서 론

회로 집적화를 위해 개발된 기술을 기초로 하여 발전된 microfabrication은 MEMS 기술의 발전에 현저한 기여를 하게 되었다. MEMS 기술의 이용으로 일반적인 상황에서 측정하기 어려운 여러 가지 현상들을 실험적으로 연구하고 측정하여 마이크로세계에서의 물리적 현상을 파악할 수 있게 되었으며, 이 기술로 제작된 마이크로채널의 출현은 전기회로의 냉각, DNA chip, 그리고 화학적 분석 시스템 등 다양한 응용을 가능하게 하였다. 특히 MEMS 기술을 이용하여 제작되는 microfluidics devices들 중에서 thermofluidics 분야는 열과 유체의 특성을 초 미세 구조에 적용하여 초소형 시스템의 실현 가능성을 연구하는 분야로서 점차 관심이 높아짐에 따라, 마이크로채널을 지나는 층류 유동 특성 분석[1], 마이크로채널을 지나는 단상 액체 강제 대류상에서의 열전달 특성 파악[2] 그리고 마이크로채널 내에서의 상변화 관찰[3] 등 마이크로채널 내에서의 열전달 특성에 관한 많은 연구가 진행되고 있을 뿐 아니라, 화학적 분석, 생화학적 분석 그리고 DNA 증폭과 같은 분

야에서도 마이크로채널 내 온도 제어 및 온도 측정을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이와 같은 micro thermofluidics 분야에서 공통적인 사항은 채널 내 정확한 온도 측정을 필요로 한다는 점이다. 하지만 현재까지 연구되고 관찰된 현상은 마이크로채널의 외부에 thermocouples를 부착하거나 벽면에 센서를 형성시켜 외벽의 온도 측정으로 얻어진 결과이므로, 외부 대기에 의한 영향으로 인해 실질적인 마이크로채널 내부 온도와는 다소 차이가 있다고 생각되며 유동 특성 파악에는 한계가 있다고 생각된다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점을 최소화하고 채널 내 온도 측정의 신뢰도를 높이기 위해 마이크로채널 내부에 센서를 부착하여 온도를 측정하는 방안을 제시하고, 이에 따라 제작된 온도 센서의 특성을 파악하였다. 또한 제작된 미소 측정 구조물을 이용하여 발열량과 공급 유량의 변화에 따른 마이크로채널 내 유체의 온도 분포를 측정하였다.

2. 본 론

2.1 온도 측정 원리

측온저항체는 온도에 따라 저항값이 일정하게 변하는 특성이 있다. 그러므로, 이러한 특성을 이용하여 온도 변화에 따른 저항 변화값을 측정하고 온도와 저항간의 관계를 수립한 후, 임의의 온도에서 측온저항체의 저항값을 측정하면 이 값에 관련된 온도를 알 수 있다. 측온저항체의 저항값 측정은 4 point probe 방식을 이용하였다. 즉 측온저항체 양단에 4개의 전극을 형성하고 2개의 전극으로 정전류를 인가하여 나머지 2개의 전극으로부터 측정부위의 전압을 측정함으로써 저항을 파악하는 방식이다.

2.2 설계 및 제작

마이크로채널 내 유체의 온도 분포를 측정하기 위해 본 연구에서는 마이크로채널, 측온저항체 그리고 발열체를 집적하여 온도 분포 측정이 가능한 마이크로시스템을 제작하였다. 그림 1.에 제작 공정을 나타냈다. 유체의 통로가 되는 마이크로채널 제작을 위해 두께 525 \pm 25 μ m의 4인치 P형 <100> 실리콘 웨이퍼를 사용하여 반응성 이온 식각(RIE) 공정으로 200 μ m(W) \times 100 μ m(D) \times 48mm(L) 크기의 마이크로채널을 제작하였고, 산화막을 마스크로 하여 실리콘 기판을 TMAH 용액에 넣어 관통 식각을 실시하여 유체의 입구와 출구를 채널 양 끝에 형성하였다. 발열체와 온도 측정용 센서로서 사용된 측온저항체는 1mm 두께의 파이렉스 글래스 웨이퍼 위에 티타늄을 접착층으로 하고 5000Å의 두께로 백금을 스퍼터링하여 제작하였다. 발열체는 대기중으로의 열손실을 줄이기 위한 목적으로, 측정 구조물 내부의 채널 한쪽 끝 주위에 백금을 스퍼터링하여 제작하였다. 발열체의 저항은 200 Ω 로 하였으며 최대 11W까지 발열 가능하도록 하였고, 측온저항체는 선폭을 15 μ m으로 하고 저항값은 100 Ω 이 되도록 하였다. 백금 측온저항체는 저항 온도계수가 크고 직선성이 우수하며 넓은 온도 범위에

서 안정하다는 특성을 가지고 있으므로 본 실험의 측온저항체 재료로 선정하였다. 마지막으로 글래스 웨이퍼와 실리콘 웨이퍼를 양극 접합함으로써 측온저항체가 구조적으로 마이크로채널 내부에 부착되도록 하였다. 그림 2.는 제작된 온도 측정용 미세 구조물의 사진이다. 확대된 사진은 마이크로채널 내에 있는 측온저항체와 발열체를 나타낸 것이다. 그림 3.은 마이크로채널 내에 제작된 측온저항체의 SEM 사진으로서 채널 내부에 부착되어 있는 측온저항체를 확인할 수 있다.

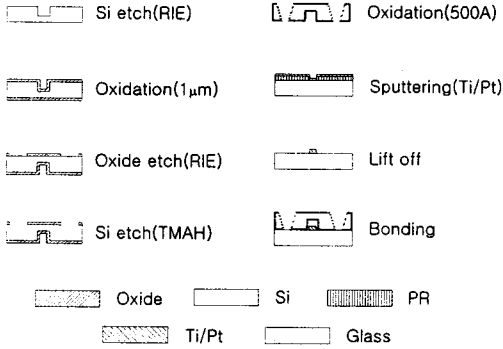


그림 1. 마이크로채널 내 유체의 온도 측정용 미세 구조물의 제작 공정

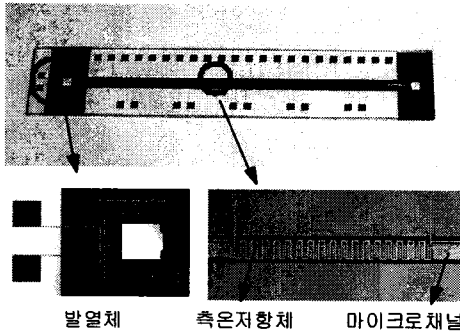


그림 2. 제작된 온도 측정용 미세 구조물 사진(상측도 구조물 전면 사진, 하 좌측도 : 발열체, 하 우측도 : 마이크로채널 내의 측온저항체)

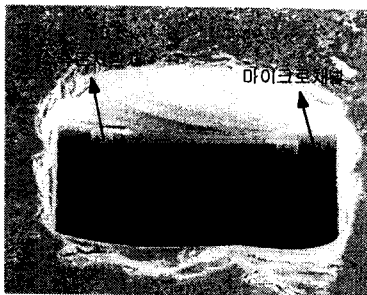


그림 3. 마이크로채널 내에 제작된 측온저항체의 SEM 사진 (×400)

2.3 온도 측정 방법

그림 4.는 온도 측정을 위한 실험 장치 구성도이다. 온도 측정용 미세 구조물을 항온항습조에 넣고 작동 유

체를 공급하지 않은 상태에서 항온항습조 챔버 내의 온도를 변화시키면서 온도에 따른 저항값을 측정 한 후, 측온저항체의 온도-저항 관계를 수립하였다.

수립된 온도-저항의 관계를 이용하여 발열량과 공급 유량의 변화에 따른 마이크로채널 내 유체의 온도 분포를 측정하였다. 작동 유체는 DI water를 사용하였고, syringe pump로 유량을 정확히 제어하여 0.01ml/min, 0.02ml/min 그리고 0.04ml/min으로 변화시키면서 마이크로채널 내에 공급하였으며, 발열체가 있는 부위를 유체의 출구로 하였다. 채널 내 온도 분포를 측정하기 위하여 0.4W부터 0.2W 간격으로 1.4W까지 변화시키면서 일정한 양의 전력을 출구측 발열체에 인가한 후, Data acquisition system을 사용하여 각 측온저항체가 있는 부위별 포화 온도를 측정하였다.

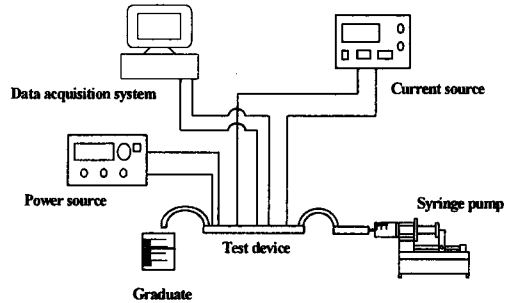
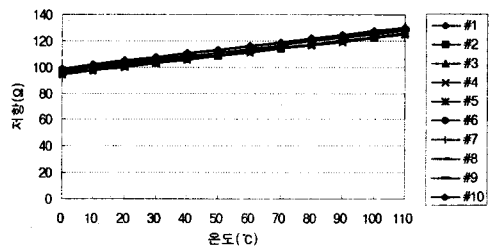


그림 4. 온도 측정 장치 구성도

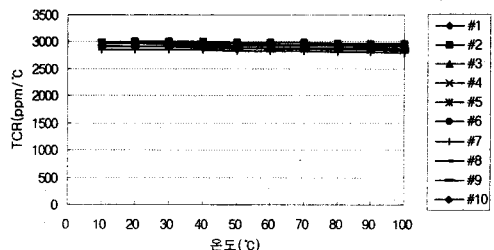
2.4 실험 결과

2.4.1 제작된 측온저항체의 온도-저항 특성

측온저항체의 온도-저항 관계 수립을 위하여 항온항습조에 온도 측정용 미세 구조물을 넣고 0℃~110℃의 범위로 온도를 변화시키면서 측온저항체 각각에 대한 저항값을 측정하였다. 제작된 측온저항체의 온도 변화에 따른 저항값에 대한 그래프를 그림 5.(a)에 나타냈으며, (b)에는 온도 변화에 따른 TCR 값을 나타냈다.



(a) 측온저항체의 온도 변화에 따른 저항값



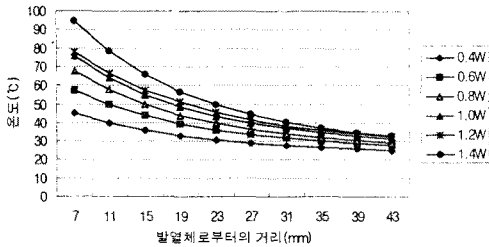
(b) 측온저항체의 온도 변화에 따른 TCR 값

그림 5. 제작된 측온저항체의 온도-저항 특성

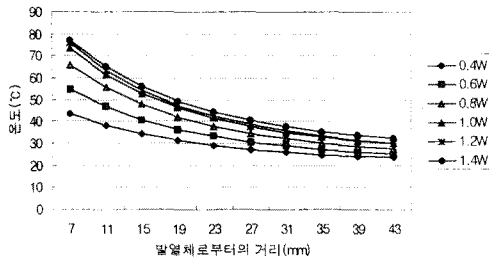
그림에서와 같이 각각의 측온저항체에 따라 0.28~0.29Ω/℃로 약간의 차이는 있지만 온도 변화에 따라 저항값이 선형적으로 변하는 측정 결과를 얻었다. 이를 기초로하여 온도 변화에 대한 저항 변화율, 즉 TCR 값을 계산한 결과 측정 온도 전 구간에 걸쳐 균일한 저항 변화율(2800~2900ppm/℃)을 얻을 수 있었다. 따라서, 제작된 측온저항체는 온도 센서로 사용하기에 적합한 우수한 성능을 보유하고 있음을 확인할 수 있었다.

2.4.2 마이크로채널 내 온도분포

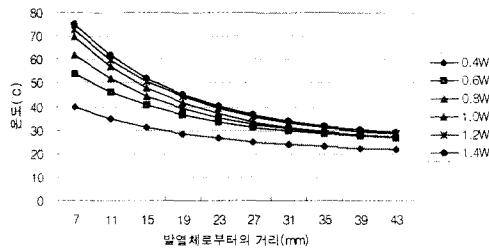
각 측온저항체의 온도-저항 관계를 이용하여 마이크로채널 내에 공급하는 작동유체의 공급 유량과 인가 발열량을 변화시키면서 마이크로채널 내 유체의 온도분포를 측정하여 그림 6.과 같은 결과를 얻었다. x축표는 각 측온저항체와 출구측에 위치한 발열체와의 거리이다.



(a) 공급 유량 0.01ml/min인 경우의 온도 분포



(b) 공급 유량 0.02ml/min인 경우의 온도 분포



(c) 공급 유량 0.04ml/min인 경우의 온도 분포

그림 6. 인가 발열량에 따른 마이크로채널 내 온도 분포

마이크로채널 내 유체의 온도는 발열체에 가까울수록 높게 나타났으며, 인가 발열량이 증가할수록 채널 내 각 부위의 온도는 증가하고, 공급 유량이 증가함에 따라 동일한 발열량에서 각 부위의 온도는 낮아지고 있음을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 마이크로채널 내부에 측온저항체를 형성하고 발열체를 집적하여 마이크로채널 내의 유체와 직

접 접촉하여 온도 분포를 측정할 수 있는 미세 측정 구조물을 제작하였다. 또한, 온도 측정을 위해 사용된 측온저항체는 온도 변화에 따라 저항값이 변하는 특성이 있으므로 온도 변화에 따른 저항값을 측정하여, 온도-저항 관계를 수립하였다. 각각의 측온저항체는 온도 변화에 따라 저항값이 선형적으로 변화하여 2800~2900ppm/℃의 균일한 저항 변화율을 얻을 수 있었다. 수립된 온도-저항 관계를 기초로 하여 공급 유량과 인가 발열량을 변화시키면서 채널 내 온도 분포를 측정하였다. 작동 유체는 DI water로 하였으며, syringe pump를 사용하여 정밀하게 제어된 유량을 마이크로채널 내로 공급하였다. 측정 결과, 발열체에 가까워질수록 채널 내 유체의 온도는 높게 나타났으며, 인가 발열량이 증가할수록 마이크로채널 내 각 부위의 온도는 증가하고, 공급 유량이 증가함에 따라 동일한 발열량에서 각 부위의 온도는 감소하고 있음을 확인할 수 있었다.

제작된 온도 측정용 미세 구조물은 마이크로채널 내부의 온도 측정을 가능하게 함으로써 채널 내부에서의 유동 특성을 좀 더 정확히 파악할 수 있는 가능성을 제시하였을 뿐 아니라, 이와 같은 측정 방법은 구조물을 단열재로 사용하는 경우에 채널 내부의 온도를 측정하기 위해서는 필수적인 방법으로서, microfluidics 분야의 연구에 매우 유용하게 응용 가능하다고 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] D. B. Turcherman and R. F. W. Pease, High-performance heat sinking for VLSI, IEEE Electron Device Letters, EDL-2, pp. 126-129, 1981.
- [2] B. X. Wang and X. F. Peng, Experimental investigation on liquid forced-convection heat transfer through microchannels, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 37, pp. 73-82, 1994.
- [3] Linan Jiang, Man Wong, Yitshak Zohar, Unsteady characteristics of a thermal microsystem, Sensors and Actuators 82, pp. 108-113, 2000.