

다결정 3C-SiC 멤브레인 위에 균일한 온도분포를 갖는 마이크로 히터의 제작과 그 특성

정귀상[†] · 정재민

Fabrication of micro heaters with uniform-temperature area on poly 3C-SiC membrane and its characteristics

Gwiy-Sang Chung[†] and Jae-Min Jeong

Abstract

This paper describes the fabrication and characteristics of micro heaters built on AlN(0.1 μm)/3C-SiC(1 μm) suspended membranes by surface micromachining technology. In this work, 3C-SiC and AlN films are used for high temperature environments. Pt thin film was used as micro heaters and temperature sensor materials. The resistance of temperature sensor and the power consumption of micro heaters were measured and calculated. The heater is designed for operating temperature up to about 800 °C and can be operated at about 500 °C with a power of 312 mW. The thermal coefficient of the resistance(TCR) of fabricated Pt resistance of temperature detector(RTD)'s is 3174.64 ppm/°C. A thermal distribution measured by IR thermovision is uniform on the membrane surface.

Key Words : micro heater, gas sensor, poly 3C-SiC membrane

1. 서 론

마이크로 히터는 마이크로 가스, 유량 그리고 열진공 센서, 열량 측정기와 같은 분야에 적용되고 있다. 현재까지 전력소모가 적으면서도 높은 온도를 발생하는 마이크로 히터에 관한 많은 연구가 수행되었지만, 최근에는 MEMS형 브릿지 또는 캔틸레버 구조를 이용하여 온도 균일성이 우수하며 반응속도가 빠른 마이크로 히터가 개발되고 있으며 thermo mechanical 데이터 저장장치의 팁, dip-pen nanolithography와 같은 분야에 적용되고 있다^[1].

반도체식 가스센서에 있어서 감지물질의 특성을 향상시키기 위해서는 온도분포가 균일한 특성이 중요하므로 멤브레인 물질의 열전도도가 높아야한다^[2]. 현재 SOI, poly-Si, SiO₂ 또는 Si₃N₄와 같은 물질을 주로 사용하여

제작하고 있지만, 열전도도가 낮아 마이크로 히터 작동에 있어서 소비전력이 적은 장점^[3]이 있는 반면, 500 °C 이상에서의 장기적인 수명과 안정성 등과 같은 문제점이 있다^[4]. 그러나, 다결정 3C-SiC는 에너지 밴드갭이 크고 열팽창계수가 낮아 600~800 °C 이상의 고온에서도 동작이 가능하기 때문에 고온에서 사용되는 마이크로 히터에 적용하는 연구가 활발히 이루어지고 있다^[5].

Pt는 화학적, 열적 안정성이 높으며 선형적 응답특성이 양호하기 때문에 소형화, 대량생산, 저가격화, 고속 응답 특성을 갖는 마이크로 히터로써 널리 사용되고 있다. Pt는 산화막에 대한 부착특성이 나쁘기 때문에 Ti 및 Cr 등 일부 금속을 이용하여 Pt의 부착특성을 개선시키는 연구가 많이 진행되고 있지만, 고온 열처리 과정에서 매개층으로 이용된 금속물질과 반응하여 Pt의 고유특성을 저하시킨다^[6].

한편, AlN은 녹는점이 높고 밴드갭이 커서 고온에서 Si과 감지 및 히터 물질 사이의 반응을 방지하고, 센서에 미치는 영향을 줄이며 Pt의 부착특성을 향상시킨다. 특히, 다결정 3C-SiC와 격자부정합의 차이가 약 1 % 밖에 나지 않기 때문에 고온에 발생하는 스트레스를 크게

울산대학교 전기전자정보시스템공학부(School of Electrical Eng., Univ. of Ulsan)

[†]Corresponding author : gschung@ulsan.ac.kr
(Received : April 20, 2009, Revised : May 16, 2009
Accepted : July 16, 2009)

줄일 수 있고^[7], 마이크로머시닝기술을 위한 미소패턴 형성이 용이하여 마이크로 히터 구조 제작에 적합하다.

본 연구에서는 고온에서도 사용 가능한 AlN과 다결정 3C-SiC 박막 멤브레인으로 이용한 브릿지 구조위에 Pt 박막을 증착하여 마이크로 히터와 RTD(resistance of temperature detector)를 각각 설계 및 제작했으며 그 특성을 분석 및 평가하였다.

2. 실험

2.1. 시뮬레이션에 의한 열해석

Fig. 1은 본 연구에서 설계한 마이크로 히터의 멤브레인 영역을 도식적으로 나타낸 것이다. 멤브레인 크기는 375×375 μm²이며 Pt 미소 패턴의 선폭은 30 μm였다. 마이크로 히터로부터 멤브레인을 통해 Si으로 열전도에 의한 열손실과 대류에 의한 열손실에 관한 열전달 방정식과 계면조건을 식(1)과 (2)로 표현할 수 있다.

$$\nabla \cdot (-k \nabla T) = Q \tag{1}$$

$$-n \cdot (-k \nabla T) = h(T_s - T) \tag{2}$$

여기서, h는 열전달 계수이며 T_s는 저항체 주위 공기온도이고, 환경 온도는 300 k로 설정하였다. k는 열전도도이며 Q는 저항체의 단위체적당 소비전력이다. 식(1)과 (2)를 이용하여 멤브레인 영역을 COMSOL 프로그램(COMSOL, Inc)을 이용하여 해석하였다.

2.2. 마이크로 히터의 제작

Fig. 2(a)와 (b)는 제작된 마이크로 히터의 제작공정 과정과 표면 SEM 이미지를 나타낸 것이다. 0.5 μm 두께를 갖는 Si(100) 기판위에 APCVD로 다결정 3C-SiC 막을 1.0 μm 성장한 다음, Pt 히터에 누설 전류를 막기

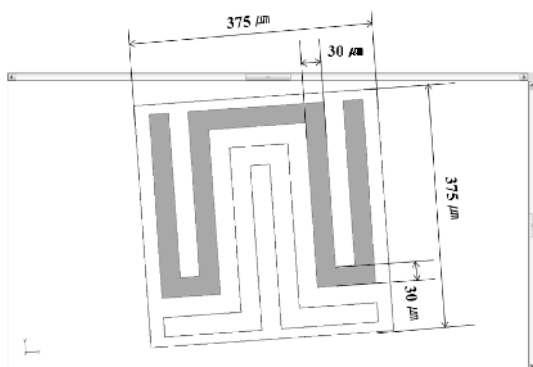


Fig. 1. Membrane region of micro heaters.

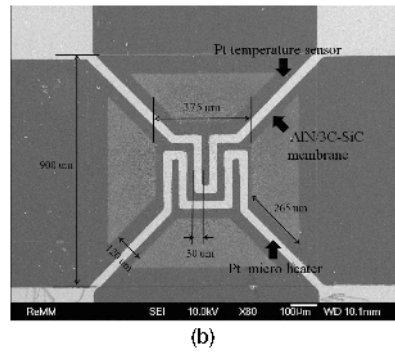
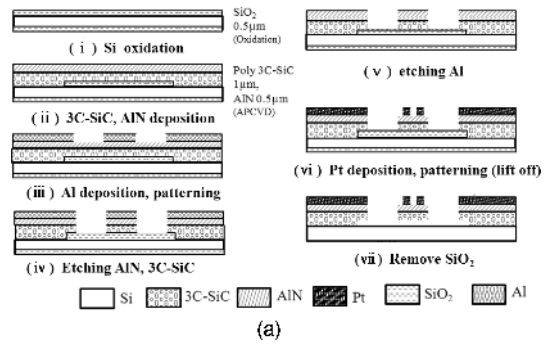


Fig. 2. (a) Schematic of fabrication process and (b) SEM image of the fabricated micro heater.

위한 절연층으로 AlN 박막을 RF 마그네트론 스퍼터링 방법으로 0.1 μm를 증착하였다. Al을 식각 마스크로 사용하여 다결정 3C-SiC를 RIE로 식각하여 AlN/3C-SiC 멤브레인 패턴을 형성하였다. 그 다음에 스퍼터링으로 Pt를 증착하고, Lift off 공정으로 0.3 μm의 Pt 박막을 패턴링했다. 마지막으로 산화막을 제거하여 브릿지 구조를 갖는 마이크로 히터를 제작하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시뮬레이션 결과

Fig. 3은 Pt 히터에 전력을 인가할 경우, 멤브레인 물질인 AlN과 3C-SiC의 열전도에 따른 온도분포와 발열 온도에 관한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로 400 mW의 전력에서 최대 및 최소 온도가 각각 800.5 °C와 800.4 °C로 발열함을 알 수 있다. 이 구조는 기존에 사용된 NON, 산화막 구조보다 열전도도가 커서 전력소모는 비교적 크나, 저항패턴에서 발생하는 온도분포가 매우 균일함을 확인하였다.

3.2. 마이크로 히터의 발열 특성

Fig. 4는 마이크로 히터에 내장된 RTD의 저항 특성

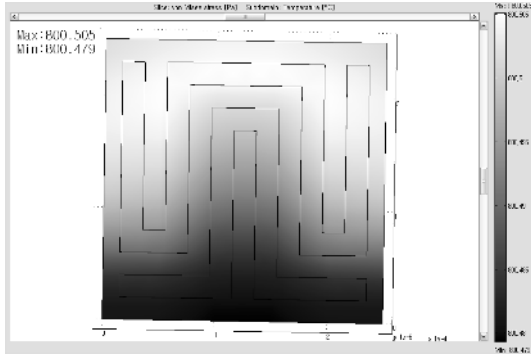


Fig. 3. Simulated result of micro heater membrane region.

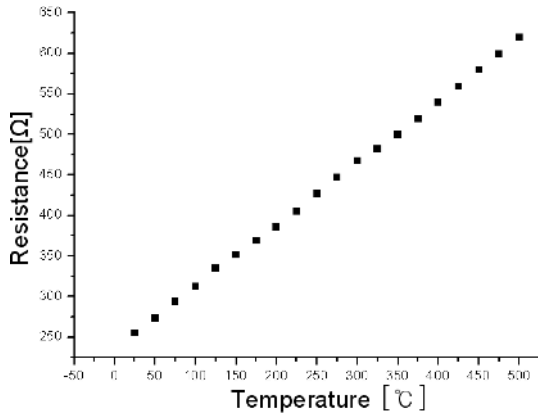


Fig. 4. Resistance variation of the fabricated Pt-RTD with temperature.

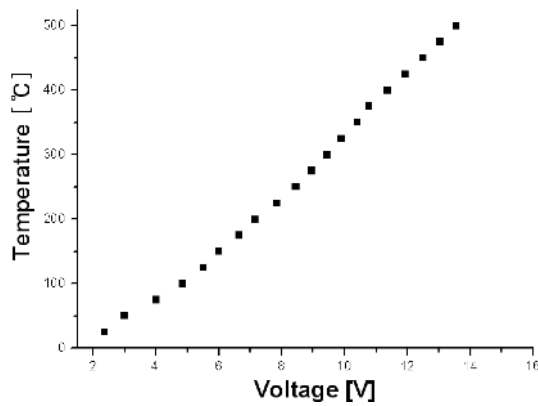


Fig. 5. Thermal characteristic of the fabricated micro heater with applied voltages.

을 나타낸 것이다. 제작된 RTD에 핫 플레이트로 열을 가해주고 KEITHLEY 4200-SCS로 얻어진 전류-전압 특성으로 저항치를 계산하였다. 25 °C에서 500 °C까지의 TCR은 평균적으로 3174.64 ppm/°C로 나타났다.

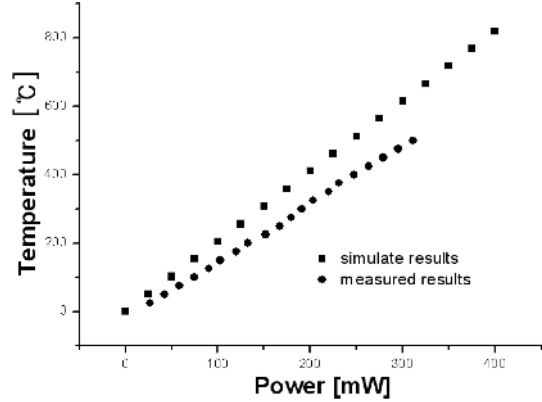


Fig. 6. Temperature variations of simulated and measured of the fabricated micro heater with power consumption.

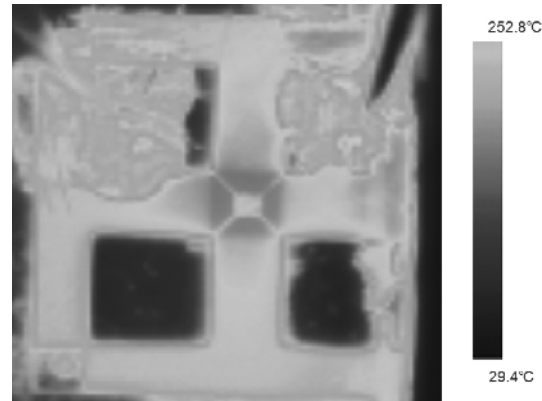


Fig. 7. Temperature distribution measurements by IR thermovision.

Fig 5는 인가전압에 따라 제작된 마이크로 히터의 온도변화를 나타낸 것이다. 마이크로 히터에 인가되는 전압이 증가하면 온도가 상승하여 RTD의 저항이 증가하는 것을 KEITHLEY 4200-SCS로 확인하였다. 인가 전압이 14 V일때, 내장된 RTD의 저항이 619.4 Ω이며 히팅 온도는 500 °C임을 확인할 수 있었다.

Fig 6은 제작된 마이크로 히터와 시뮬레이션 결과를 소비전력 변화에 따른 온도 변화를 나타낸 것이다. 마이크로 히터에 인가전압을 변화시키면서 RTD의 저항을 측정하고 Fig 4와 5에 해당되는 전압과 전류값으로 계산하여 소비전력을 구하였다. 시뮬레이션 결과, 약 800 °C의 온도를 발열하기 위해서 400 mW 정도의 소비전력이 필요했지만, 실제로 제작된 마이크로 히터의 최대 발열온도는 약 500 °C에서 312 mW가 소모되었으며 시뮬레이션에서는 같은 온도를 발열시키는데 240 mW가 소모되었다. 그 차이는 약 70 mW 정도로 시뮬레이션의 경우, 멤브레인을 지탱하는 브릿지 구조, 패드와

팁간의 접촉저항 등을 무시했기 때문이라고 사료된다.

Fig. 7은 제작된 마이크로 히터에 약 300 mW의 전력을 인가하였을 경우, 전체적인 온도분포를 적외선 열화상 카메라로 측정된 것이다. 이 결과, 같은 소비전력에서 RTD의 경우보다 낮은 온도가 측정되었는데, 이는 멤브레인 전체 영역의 평균적인 온도를 감지하였기 때문에 온도가 비교적 낮게 측정됨을 알 수 있다^[2]. 또한 멤브레인 물질을 열전도도가 높은 AlN/3C-SiC 구조를 사용하여 NON, 산화막 구조로 제작된 마이크로 히터 보다 비교적 소비전력이 크나, 온도분포가 매우 균일함을 이 그림을 통해 알 수 있었다.

4. 결 론

본 논문은 AlN/3C-SiC 멤브레인 위에 마이크로 히터를 설계 및 제작하고, 그 특성의 분석에 관한 것이다. Si 기판의 열전도에 의한 열손실을 개선하기 위하여 표면 미세가공기술로 마이크로 브릿지 구조로 제작했으며 AlN과 3C-SiC의 저항패턴에서 발생하는 온도분포가 균일하다는 것을 시뮬레이션과 적외선 열화상 측정을 통해 확인하였다.

제작된 RTD의 TCR은 25 °C에서 500 °C까지 평균 3174.64 ppm/°C였고, 마이크로 히터는 약 500 °C에서 312 mW가 소모되었으며 시뮬레이션 결과, 같은 온도를 발열시키는데 240 mW가 소모되는 것을 확인하였다.

다결정 3C-SiC를 기반으로 하여 소비전력이 적고 온도분포가 균일한 마이크로 히터는 자동차, 조선, 항공기 엔진 분야와 같은 극한 환경용 마이크로 센서와 마이크로 액추에이터, 고온용 전자부품 등 넓은 응용분야에 적용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 주관하는 산학협력실 지

원사업으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] J. C. Lee, T. Beechem, T. L. Wright, B. A. Nelson, S. Graham, and W. P. King, "Electrical, thermal, and mechanical characterization of silicon micro-cantilever heaters", *J. Microelectromech. Syst.*, vol. 15, no. 6, pp. 1644-1655, 2006.
- [2] G. Wiche, A. Berns, H. Steffes, and E. Obermeier, "Thermal analysis of silicon carbide based micro hotplates for metal oxide gas sensors", *Sen. Actu. A*, vol. 123, pp. 12-17, 2005.
- [3] W. C. Choi, H. H. Choi, T. H. Kwon, and M. K. Lee, "Thermal characteristics of microheater for gas sensors", *J. Kor. Sensors. Soc.*, vol. 7, no. 5, pp. 57-63, 1998.
- [4] F. Solzbacher, C. Imawan, H. Steffes, E. Obermeier, and H. Moller, "A modular system of SiC-based microhotplates for the application in metal oxide gas sensors", *Sen. Actu. B*, vol. 64, pp. 95-101, 2000.
- [5] G. B. Han and G. S. Chung, "Mechanical characteristics of polycrystalline 3C-SiC thin films using Ar carrier gas by APCVD", *J. Kor. Sensors. Soc.*, vol. 16, no. 4, pp. 319-323, 2007.
- [6] G. S. Chung, "Fabrication and characterization of micro-heaters with low-power consumption using SOI membrane and trench structures", *Sen. Actu. A*, vol. 112, pp. 55-60, 2004.
- [7] G. S. Chung, K. S. Kim, and J. H. Lee, "Characteristics of polycrystalline 3C-SiC thin films grown on AlN buffer layer for M/NEMS applications", *J. Kor. Sensors. Soc.*, vol. 16, no. 6, pp. 457-461, 2007.

정 귀 상



- 1992년 3월 TUT(공학박사)
- 2004년 2월 UC Berkeley 연구교수
- 현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수
- 주관심분야: Sensor nodes & Energy harvesting based on M/NEMS

정 재 민



- 2007년 8월 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 학사졸업
- 현재 울산대학교 대학원 전기전자정보시스템공학부 석사과정
- 주관심분야: SiC-M/NEMS