

다결정 3C-SiC 기반으로 한 넓은 범위에서 균일한 온도 분포를 갖는 초고온용 마이크로 히터 설계 및 제작

정재민, 정귀상
울산대학교 전기전자정보시스템공학과

Design and Fabrication of microheaters based on polycrystalline 3C-SiC with large uniform-temperature area for high temperature

Jae-Min Jeong, Gwi-Sang Chung
School of Electrical Eng., Univ. of Ulsan

Abstract : This paper presents the fabrication and characteristics of microheaters, built on AlN(0.1 um)/3C-SiC(1 um) suspended membranes. Pt was used as microheater and temperature sensor materials. The results of simulated are shown that AlN/3C-SiC membrane has more large uniform-temperature area than SiO₂/3C-SiC membrane. Resistance of temperature sensor and power consumption of microheater were measured and calculated. Pt microheater generates the heat of about 550°C at 340 mW and TCR of Pt temperature sensor is about 3188 ppm/°C.

Key Words : Poly 3C-SiC, microheater, AlN

1. 서 론

마이크로 히터는 마이크로 가스센서, 유량센서, 열진공 센서, 열량측정기와 같이 많은 분야에 적용된다. 최근에는 전력소모가 적으면서도 높은 온도를 발생하며 온도 균일성이 우수하고, 반응속도가 빠른 마이크로 히터를 구현하기 위해서 브릿지 또는 캔틸레버 구조를 사용한다[1]. 반도체식 가스센서에 있어서 감지물질의 특성을 향상하기 위해서 균일한 온도 분포가 중요하기 때문에 균일한 온도분포를 갖기 위해서는 열전도도가 높은 멤브레인 물질이 요구된다.

마이크로 히터의 구조물에 있어서 멤브레인 물질이 상당히 중요하다. 현재까지SOI, poly-Si, SiO₂ 또는 Si₃N₄와 같은 물질로 된 멤브레인 위에 마이크로 히터를 제작하였다. 그러나, 질화막이나 산화막과 같은 물질들은 200 ~ 500°C의 온도 범위에서만 사용 가능하여 더 높은 온도에서는 견뎌내지 못 한다. 최근에는 600 ~ 800°C의 이상에서도 동작 가능한 마이크로 히터에 관한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다[2].

백금은 화학적, 열적 안정성이 높으며 선형적 응답특성이 양호하기 때문에 소형화, 대량생산, 저가격화, 고속응답 특성을 갖는 마이크로 히터로써 널리 사용되고 있다. 백금은 산화막에 대한 부착특성이 나쁘기 때문에Ti 및 Cr 등 일부 금속을 이용하여 백금의 부착특성을 개선시키는 연구가 많이 진행되고 있지만, 고온 열처리 과정에서 매 개층으로 이용된 금속물질이 백금과 반응하여 백금이 갖는 고유 특성과 백금의 부착특성을 저하시킨다[3].

한편, AlN은 녹는점이 높아 고온에서 센서의 특성에 영향을 미칠 수 있는 실리콘과 감지 물질 및 히터 물질 사이의 반응을 막아주고, 백금의 부착특성을 향상시킨다. 특히, 마이크로머시닝기술을 위한 미소패턴 형성이 용이하여 마이크로 히터 구조 제작에 적합하다.

본 연구에서는 초고온에서도 사용 가능한 AlN과 다결정 3C-SiC 박막을 이용한 넓은 범위에서 균일한 온도 분

포를 갖는 마이크로 히터를 설계했으며 발열 물질인 백금 박막의 온도에 따른 저항 특성과 소비전력에 따른 온도 특성 등을 분석했다.

2. 설계 및 제작

2.1 시뮬레이션에 의한 열해석

그림 1은 본 연구에서 설계한 마이크로 히터의 멤브레인 영역과 브릿지 영역을 각각 매쉬한 결과이다. 멤브레인 크기는 375×375 um² 이며 백금 미소 패턴의 선폭은 20 um이고 멤브레인 브릿지의 크기는 100 × 250 um² 였다.

일반적으로 열전달 방정식과 계면조건에 관한 식은 (1)과 (2)로 표현된다.

$$\nabla \cdot (-k \nabla T) = Q \quad (1)$$

$$-n \cdot (-k \nabla T) = h(T_{\infty} - T) \quad (2)$$

여기서, h는 열전달 계수이고, T_∞는 저항체 주위 공기 온도이고, 주위 온도는 300 K로 설정하였다. k는 열전도도, Q는 저항체의 단위체적당 소비전력이다. 식 (1)과 (2)를 이용하여 그림 1의 멤브레인 영역과 브릿지 영역을 COMSOL로 시뮬레이션하였다.

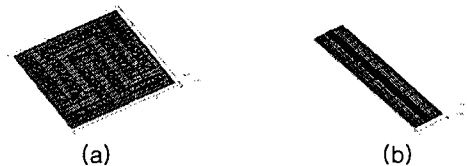


그림 1. 마이크로 히터의 (a)멤브레인과 (b)브릿지영역의 매쉬 결과.

2.2 마이크로히터의 제작

그림 2(a)와 (b)는 제작된 마이크로 히터의 표면사진과 공정도를 나타낸 것이다. 0.5 um 두께를 갖는 Si(100) 기판위에 APCVD로 다결정 3C-SiC를 1.0 um 성장한 후,

백금 히터에 누설 전류를 막기 위해 절연층으로 사용 될 AlN을 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 0.1 um를 증착하였다. 이를 식각 마스크로 사용하여 다결정 3C-SiC를 마그네트론 RIE로 식각하여 AlN/3C-SiC 멤브레인 패턴을 형성하였다. 그 위에 스퍼터링 방법으로 백금을 증착하고, Lift off 공정으로 0.3 um의 백금 박막을 패터닝한다. 마지막으로 산화막을 제거하여 브릿지 구조를 갖는 마이크로 히터를 제작하였다.

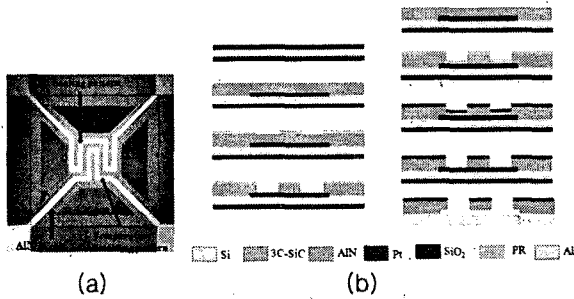


그림. 2 마이크로 히터의 (a)사진과 (b)공정도.

3. 결과 및 고찰

3.1 시뮬레이션 결과

그림 3는 멤브레인 영역과 멤브레인 브릿지 영역에서 멤브레인 물질에 따른 열분포와 소비전력을 COMSOL로 시뮬레이션한 결과이다. 그림3(a)와 (b)는 Pt/AlN/3C-SiC구조의 멤브레인 영역과 브릿지 영역의 열분포 시뮬레이션 결과이고, 그림 3 (c)와 (d)는 Pt/Cr/SiO₂/3C-SiC구조의 멤브레인 영역과 브릿지 영역의 열분포 시뮬레이션 결과이다.

그림 3에서 AlN/3C-SiC구조가 SiO₂/3C-SiC구조보다 열전도도가 높음으로 같은 소비전력에 비해 발열 온도는 낮지만 저항패턴에서 발생하는 열의 분포가 보다 넓은 범위에서 균일함을 알 수 있다.

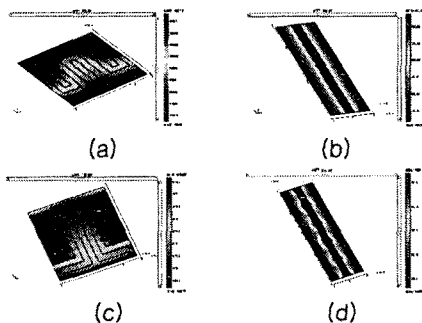


그림. 3 Pt/AlN/3C-SiC구조의 (a)멤브레인 영역과 (b)브릿지 영역, Pt/Cr/SiO₂/3C-SiC구조의 (c)멤브레인 영역과 (d)브릿지 영역의 열분포 시뮬레이션 결과.

3.2 마이크로 히터의 발열 특성

그림 4(a)는 마이크로 히터에 내장된 온도센서의 온도에 따른 저항의 변화를 나타낸 그래프이다. 내장된 온도센서를 핫플레이트로 열을 가해주고 프로브스테이션으로 전류

-전압 특성으로 저항치를 계산하여 25℃에서100℃까지의 온도저항계수(TCR)는 3188.97 ppm/℃로 나타났다. 그림 4(b)는 마이크로 히터의 소비전력에 따른 온도의 변화를 나타낸 것이다. 마이크로 히터에 전압을 인가하면서 디지털 멀티미터로 전류를 측정하고, 온도센서의 저항을 측정하였다. 마이크로 브릿지 구조로 제작하여 실리콘 기판으로의 전도에 의한 열손실을 최소화하여 낮은 소비전력에도 높은 온도를 발생하는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 제작된 마이크로 히터는 550℃의 온도에서 340 mW의 소비전력을 나타내었다.

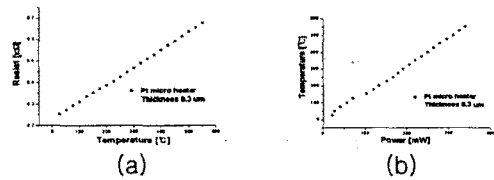


그림. 4 마이크로 히터의 (a)온도에 따른 저항의 변화와 (b)소비전력에 따른 온도의 변화.

4. 결론

AlN/3C-SiC 멤브레인의 균일한 온도 분포 특성을 시뮬레이션으로 분석하였고, 멤브레인 상의 백금 히터와 백금 온도센서를 내장하여 마이크로 히터를 제작하였고, 발열 특성을 분석하였다. 실리콘 기판으로의 열손실을 개선하기 위하여 표면미세가공기술로 마이크로 브릿지 구조를 제작하였다.

AlN/3C-SiC 구조가 SiO₂/3C-SiC 구조에 비해 온도 분포가 넓은 범위에서 균일함을 확인 할 수 있었고, 온도센서의 온도저항계수는 3188.97 ppm/℃이고, 마이크로 히터는 550℃의 온도에서 340 mW의 소비전력을 소모하는 특성을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부·울산광역시 지원 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터의 지원에 의한 것입니다.

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 microcantilever heaters", *J.Microelectromech.Syst.*, Vol. 15, No. 6, p. 164 4, 2006.
- [2] G. Wiche, A. Bems, H. Steffes, and E. Obermeier, "Thermal analysis of silicon carbide based micro hotplates for metal oxide gas sensors", *Sensors&ActuatorsA*, No. 1 23-124, p. 12, 2005.
- [3] J. Puigcorbe, D. Vogel, B. Michel, A. Vila, I. Gracia, C. Cane, "High temperature degradation of Pt/Ti electrodes in micro-hotplate gas sensors", *J.Micromech, Microeng.*, No. 13, p. S119, 2003.