

고온용 저전력소비형 3C-SiC 마이크로 히터의 설계

정재민, 정귀상*

울산대학교 전기전자정보시스템공학부

Design on ultra low power consumption microhotplates based on 3C-SiC for high temperatures

Jae-Min Jeong, Gwi-yang Chung*

School of Electrical Eng., University of Ulsan.

Abstract : This paper reports the design of the ultra low power consumption microhotplates for high temperatures. The microhotplates consisting of a platinum-based heating element on AlN/poly 3C-SiC layers were designed. The microhotplate is a 600 x 600 μm^2 square shaped membrane made of 1 μm thick ploy 3C-SiC suspended by four legs. The microhotplate was compared with $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4(\text{NON})$ structure microhotplate by COMSOL simulation system. Thermal uniformity, power consumption and thermal characterizations of microhotplates based on 3C-SiC thin film are better than microhotplates with NON structure.

Key words : Poly 3C-SiC, microhotplate, high temperature

1. 서론

마이크로 히터는 마이크로 가스센서, 유량센서, 열진공센서, 열량측정기와 같이 많은 분야에 적용된다. 최근에는 전력소모가 적으면서도 높은 온도를 발생하고, 온도 균일성이 우수하고, 반응속도가 빠른 마이크로 히터를 구현하기 위해서 브릿지 또는 캔틸레버 구조를 사용한다. 이 구조는 thermomechanical 데이터 저장장치의 팁, dip-pen nanolithography와 같은 보다 넓은 분야에 연구가 활발히 이루어지고 있다.

마이크로 히터의 구조물에 있어서 멤브레인 물질이 상당히 중요하다. 현재까지 SOI, poly-Si, SiO_2 또는 Si_3N_4 와 같은 물질로 된 멤브레인 위에 마이크로 히터를 제작하였다. 그러나, 질화막이나 산화막과 같은 물질들은 200~500 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위에서만 사용 가능하여 더 높은 온도에서는 견디내지 못 한다. 최근에는 600~800 $^{\circ}\text{C}$ 의 이상에서도 동작 가능한 마이크로 히터에 관한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.

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

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 초고온에서 사용가능한 AlN과 3C-SiC 박막을 이용하여 균일한 온도 분포를 갖는 고온용 마이크로 히터를 설계하였다.

2. 실험

그림 1은 본 연구에서 설계한 마이크로 히터의 평면도이며 또한, 그림 2 (a)는 고온용 마이크로 히터 및 (b)는 일반적인 마이크로 히터의 측면도이다.

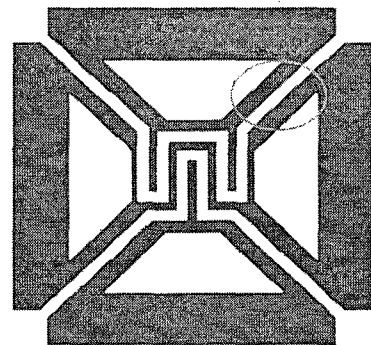


그림 1. 마이크로 히터의 평면도.

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 사용하여 그림 1의 멤브레인 브릿지 영역을 COMSOL

로 시뮬레이션하였다.

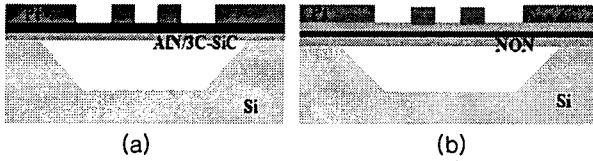


그림 2. 구조가 다른 마이크로 히터의 측면도.
 (a) Pt/AIN/3C-SiC/Si,
 (b) Pt/Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄/Si

3. 결과 및 검토

그림 3는 멤브레인 브릿지 영역에서 구조에 따른 열전도와 소비전력을 COMSOL로 시뮬레이션 결과이다. 멤브레인 브릿지의 크기는 100 × 250 μm² 이다. 그림 3(a)는 0.1 mW 소비전력하에서 AIN과 3C-SiC에 열전도에 따른 온도 분포 결과이다. 발열체에서 3C-SiC 면의 최대 및 최소 온도가 각각 410.328과 410.315℃였다. 이 결과 최대 및 최소의 온도차가 0.013℃로 온도분포가 매우 균일하다는 것을 알 수 있다. 3C-SiC의 열전도도가 비교적 높음으로서 발열체에서 발생하는 열분포가 균일해질 수 있다. 그림 3(b)는 그림 3(a)와 똑같은 조건에서 멤브레인을 NON구조로 사용하여 시뮬레이션 결과이다. 발열체에서부터 외각까지의 최대 및 최소 온도가 각각 407.818과 407.58℃였다. 이 결과 최대, 최소의 온도차가 0.288℃나 차이가 난다. 이는 AIN/3C-SiC 구조에 비해 온도차가 매우 크고, 최대 온도도 2.51℃나 낮다. 이 결과, AIN/3C-SiC 구조의 히터가 NON 구조에서 보다 같은 전력에도 높은 온도를 발열하고, 균일한 온도 분포를 형성함을 알 수 있다.

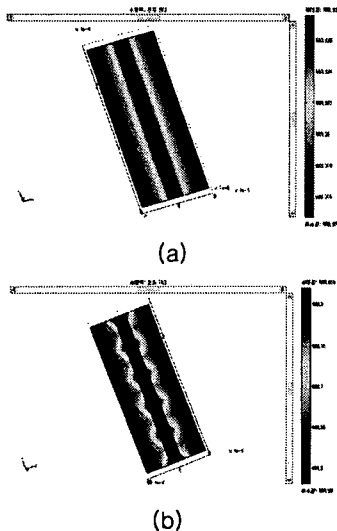


그림 3. 멤브레인 브릿지에서 구조에 따른 열전도와 소비 전력 시뮬레이션 결과.
 (a) Pt/AIN/3C-SiC, (b) Pt/Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄

그림 4는 구조에 따른 소비전력에 대한 온도의 변화를 나타낸 결과이며 AIN/3C-SiC 구조와 NON 구조의 온도 변화율은 각각 3900.27과 3897.01 °C/mW였다.

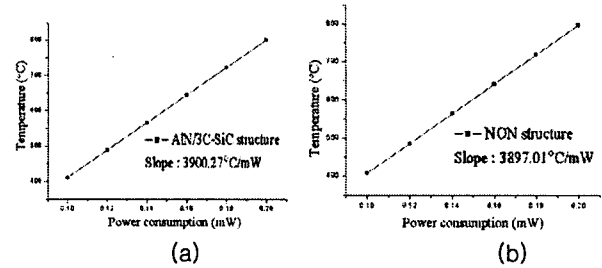


그림 4. 구조에 따른 소비전력에 대한 온도의 변화.
 (a) Pt/AIN/3C-SiC, (b) Pt/Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄

4. 결론

본 연구에서는 COMSOL로 마이크로 히터의 구조 중 브릿지 영역을 멤브레인 구조에 따라 시뮬레이션하였다. AIN/3C-SiC 구조의 마이크로 히터는 최대 및 최소 온도가 각각 410.328과 410.315℃였다. 이 온도차는 0.013℃로 온도분포가 매우 균일하다. 반면, NON 구조의 마이크로 히터는 최대 및 최소 온도가 각각 407.818과 407.58℃였다. 이 온도차는 0.288℃로 온도분포의 균일성이 좋지 않다. 인가전력을 변화시키면서 발열온도를 시뮬레이션한 결과, AIN/3C-SiC구조와 NON 구조의 온도 변화율은 각각 3900.27, 3897.01 °C/mW이다.

본 시뮬레이션 결과, AIN/3C-SiC 구조의 히터가 기존의 NON 구조보다 같은 전력에도 높은 온도를 발열시키며 온도 분포의 균일성도 우수함을 확인하였다. 따라서 각종 열형 마이크로 센서 및 액추에이터에 유용하게 사용 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역 혁신인력양성사업 및 2007년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임으로 수행된 연구결과임(KRF-2007-511-D00155).

참고 문헌

- [1] J. C. Lee, T. Beechem, T. L. Wright, B. A. Nelson, S. Graham, and W. P. King, *J. Microelectromech. Syst.*, Vol. 15, No. 6, p. 1644, 2006.
- [2] G. Wiche, A. Berns, H. Steffes, and E. Obermeier. *Sensors & Actuators A*, Vol. 123, p. 12, 2005.
- [3] J. L. Huang, J. M. Jih, *J. American Ceramic Soc.* Vol. 79, Issue 5, p. 1262, 1996.