

SOI 및 TRENCH 구조를 이용한 저소비 전력형 미세발열체의 설계

Design of Low Consume Power Type Micro-heaters Using SOI and Trench Structures

장 수, 홍 석 우, 이 종 춘, 정 귀 상
동서대학교 정보통신공학부, *경남정보대학 기계시스템공학부

Soo Jang, Seok-Woo Hong, Jong-Chun Lee, Gwi-Sang Chung
School of information and communcation Eng. DongSeo Univ.,
*School of Mechancal System Eng. Kyungnam College of Infor.

ABSTRACT

This paper presents the optimized design of micro-heaters using SOI(Si-on-insulator) substrate and oxide-filled trench structure. In order to justify a lumped model approximation and thermal boundary assumptions, two-dimensional FDM(finite difference mothod) simulation has been employed to monitor the temperature characteristics of micro-heaters. All the heat transfer mechanisms have been modeled in analytic equations, among which conduction is the dominant heat dissipation path. Compared with no-trenchs on the SOI structure, the micro-heaters with trench structures has properties of low heater loss and good thermal isolation. The simulation results show that the heater loss decreases as the number, width and distance of trenchs increases.

Key worde(중요용어) : micro-heater, SOI, trench, FDM, heater loss

1. 서 론

최근 실리콘 미세가공기술을 이용한 소형, 경량, 고속응답 및 대량생산이 가능한 마이크로센서의 연구가 활발히 진행되고 있다.⁽¹⁾ 특히, 열센서(유속/유량센서, 가스, 진공)는 센서의 동작온도가 센서의 특성(; 감도, 선택성, 응답시간)을 최적화시키는데 중요한 요소로서 작용한다. 따라서, 마이크로머시닝기술로 제작된 미세발열체는 저전력소비, 정확한 온도 제어, 저열적 용량 그리고 센서 어레이화가 요구된다. 그리고, 센서의 특성을 향상시키고, 외부와의 열적 절연에 의한 열손실의 감소 및 저전력 소비를 구현하기 위해 여러 구조물을 사용한다. 실리콘 멤브

레인은 양호한 기계적, 전기적 특성때문에 센서의 응용에 일반적으로 많이 사용되고 있다. 그러나, 실리콘의 높은 열전도성에 의한 미세발열체의 열영향 때문에 외부회로에 영향을 줄 수 있다. 따라서, 저전력 동작과 실리콘칩상에서의 주변회로로의 열전달을 막기 위해 센서의 마이크로 히터에 열적 절연을 이룰 필요가 있다. 이러한 목적으로 멤브레인 및 공중부유구조(컨틸레바, 브릿지)⁽²⁾ 등 여러 구조가 활발히 연구되고 있다.

본 논문에서는 SOI(Si-on-insulator)기판상에 멤브레인 및 트랜치구조를 갖는 평면에 미세발열체를 구성하여 발열에 따른 열분포를 수치해석한 것이다. 트랜치 구조에 따른 멤브레인상의 열적 절연을 가정

하고 2차원의 FDM 시뮬레이션을 이용해 이를 확인하였다. 또한, 트랜치 개수, 폭, 사이간격 등의 변수에 따른 수치해석결과로 최적의 미세발열체를 설계하였다.

2. 실험방법

열전달해석을 위하여 컴퓨터를 이용한 수치해석방법에는 대표적으로 유한차분법(Finite Difference Method)과 유한요소법(Finite Element Method), 경계요소법(Boundary Element Method)이 있다. 이 중 유한차분법은 유동적인 열 및 유체의 해석시 컴퓨터를 이용해서 얻은 이론적 결과치와 실제 제작된 샘플의 측정치가 잘 일치하여 유체역학, 열전달, 물질이동 및 전자기학 등의 여러 분야에서 범용적으로 사용되는 수치해석법으로 알려져 있다. 또한, 현재 그 수학적 기초가 완성되어 많은 범용 프로그램이 개발되어 있다.

열전달은 전도(conduction), 대류(convection) 및 복사(radiation) 세 가지의 방식으로 이루어진다. 전도는 물체와 다른 물체 또는 동일 물체의 다른 부분의 접촉에서 오는 온도차이 때문에 생기는 내부에너지 전달로 생각할 수 있으며, 전도되는 열량은 Fourier법칙에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$q = -kA \nabla T \quad (2-1)$$

복사는 유한한 온도의 물질로부터 방사되는 전자기 에너지를 말한다. 복사는 열량은 Stefan-Boltzmann 법칙에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$Q \approx \epsilon \sigma A (T_h^4 - T_f^4) \quad (2-2)$$

복사는 전도 및 대류에 의한 열손실에 비해 매우 작으므로 무시할 수 있다. 대류는 유체를 매질로 하여 일어나는 열교환 현상이며, 강제대류와 자연대류로 분류된다. 대류효과는 Newton의 냉각법칙에 의해 다음과 같이 나타낸다.

$$q = hA(T_s - T_b) \quad (2-3)$$

수치해석에서 사용된 물질정수는 표1에 나타내었다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 물질들의 열전도

물질	Si	SiO ₂	Pt
열전도도 (W/cm · K)	148	1.38	71.6

그림 1은 수치해석을 위한 미세발열체의 단면개략도를 나타낸 것이다. SOI(Si-on-insulator) 기판으로서 실리콘 멤브레인의 두께가 10 μm, 산화막 두께가 3000 Å인 기판상에 온도센서와 미세발열체를 집적화하고 멤브레인(500×500 μm)과 멤브레인 주위로 트랜치를 식각한 것으로 구성하였다. 트랜치는 10 μm 깊이로 1 μm의 실리콘 산화막이 채워져 있는 구조로 구성하였다. 미세발열체 물질로는 화학적, 열적 안정성이 높으며 양호한 선형응답특성을 얻을 수 있는 백금을 사용하였고, 실리콘산화막과 백금의 부착특성을 향상시키기 위해 열적·화학적으로 안정한 MgO 박막을 사용하였다.^[6] 그리고 기판의 뒷면을 이방성 식각함으로써 다이아프램구조로 만들었다.

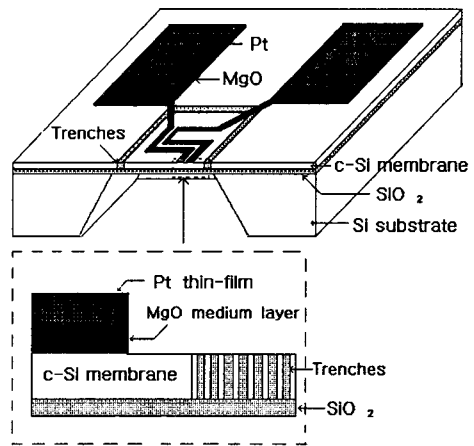


그림1. 미세발열체의 단면개략도.

그림2는 시뮬레이션을 위한 플로우 차트이다. 수치해석을 위해서는 일반적으로 널리 사용되고 있는 프로그램인 FORTRAN을 사용하였다. 2차원 FDM 시뮬레이션은 미세발열체의 패턴형태를 경계조건으로 다이아프램구조에서 실리콘 산화막으로 인해 실리콘 림부분으로의 열전달이 없다고 가정하였다. 또한 주위 온도는 정상상태하에서 20℃라고 고정하고, 이들 조건하에서 멤브레인상의 미세발열체에 의한 열분포를 수치해석하였다. 이때 멤브레인구조상에서 가장 큰 열손실 경로인 전도를 중심으로 해석하고 복사와 대류는 무시하였다. 또한 미세발열체에 가해지는 전력은 0.8 W로 하였으며 가해진 전원은 발열체에서 일정하게 소비되는 것으로 하였다. 시뮬레이션에서 파라미터로는 트랜치의 개수, 폭 그리고 사이간격을 주었다.

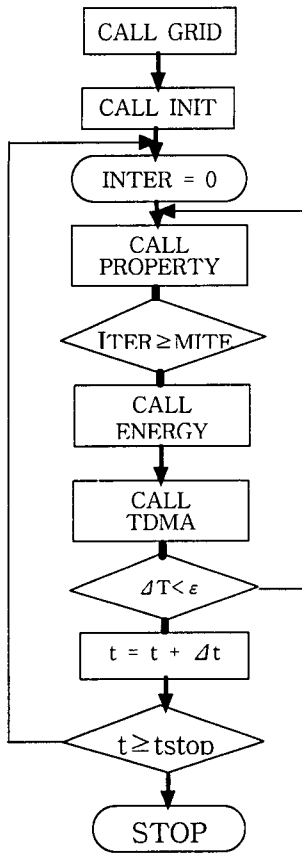


그림 2. SOI기판과 트랜치구조를 이용한 저소비전력형 미세발열체 시뮬레이션용 플로우 차트

3. 결과 및 고찰

그림 3은 트랜치 개수에 따른 미세발열체상의 온도분포를 시뮬레이션하여 나타낸 것이다. 트랜치 폭을 $15\ \mu\text{m}$, 간격을 $15\ \mu\text{m}$ 로 고정하고, 트랜치가 없을 경우와 개수가 3, 4, 7, 10개에 따라 각각 시뮬레이션하였다. 멤브레인 위치는 $325\sim 825\ \mu\text{m}$ 부분에 위치하여 있고, 미세발열체는 $800\ \mu\text{m}$ 부분에 위치하여 있다. 트랜치 개수가 많아질수록 멤브레인상에서 벌크 실리콘쪽으로 생기는 열전도를 차단하고 열손실이 적어져 미세발열체에서 발생한 열량이 멤브레인상에 일정하게 분포됨을 알 수 있다. 히터의 위치가 멤브레인 오른쪽에 치우쳐 있어서 $800\ \mu\text{m}$ 부근에서 높은 열분포가 이루어져 있고, 트랜치 부근에서 급격히 열분포 값이 떨어져 트랜치의 열차단 효과를 확실히 보여 준다. 트랜치를 구성하지 않은 구조 보다 트랜치를 10개 구성 하였을 때 히터 부분에서 약

10 배에 가까운 온도 분포를 나타내었다.

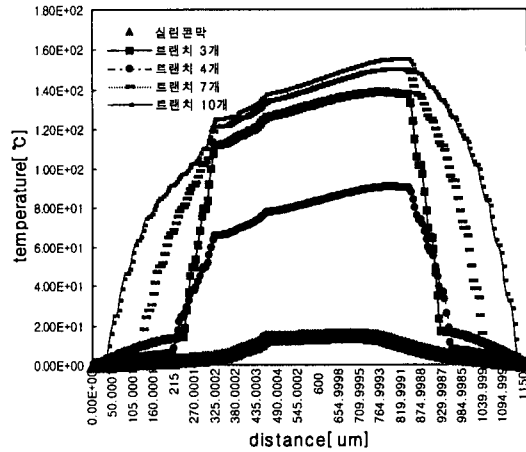


그림 3. SOI기판상에 트랜치 개수에 따른 미세발열체의 온도분포도.

그림 4는 트랜치 폭에 따른 미세발열체상의 온도분포를 시뮬레이션하여 나타낸 것이다. 트랜치 개수 4개, 간격은 $15\ \mu\text{m}$ 로 고정하여 폭을 5, 10, 20, 30, $40\ \mu\text{m}$ 으로 나누어 시뮬레이션 한 것이다. 트랜치 폭이 클수록 멤브레인 부분에서 열손실이 작아짐을 알 수 있다.

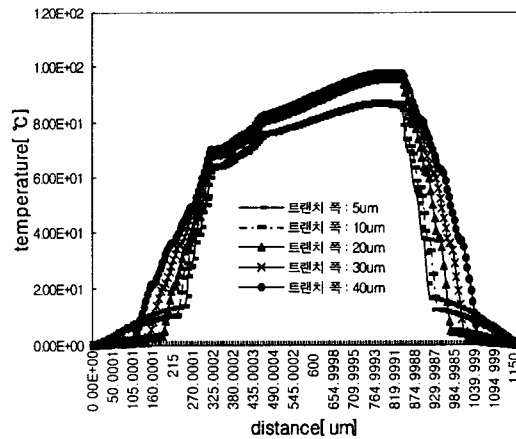


그림 4. SOI기판상에 트랜치 폭에 따른 미세발열체의 온도분포도.

그림 5는 트랜치 간격에 따른 미세발열체상의 온도분포를 시뮬레이션하여 나타낸 것이다. 트랜치 폭 : $15\ \mu\text{m}$, 개수 : 4개로 고정하고 간격을 15, 45, $75\ \mu\text{m}$ 로 나누어 시뮬레이션 하였다. 트랜치 간격이 넓어수록 멤브레인 활성부분의 온도가 높아짐을 알

수 있다. 또한, 트랜치 부분에서 열차단이 되는 것을 확연히 관찰할 수 있다.

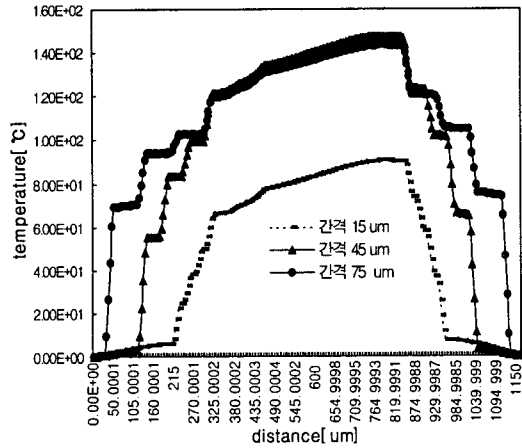


그림 5. SOI기판상에 트랜치 간격에 따른 미세발열체의 온도분포도.

4. 결 론

본 연구에서는 SOI구조에 멤브레인 및 멤브레인 일부부분에 트랜치를 구성하고, 멤브레인상에 백금 미세발열체를 구성하여 열전도에 의한 열손실을 줄이고 외부와의 열차단을 한 구조를 FDM 방법을 이용하여 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션은 트랜치 개수, 폭을 변수로 하여 행하였으며, 그 결과 트랜치를 구성함으로 전도에 의한 열손실을 줄이고 외부와의 열차단을 시켜준다. 트랜치 개수가 많아 질수록 트랜치 폭 및 간격이 넓을수록 미세발열체의 발열이 멤브레인에 고루게 분포되어 열손실을 줄이고 열차단을 시켜준다. 따라서, 미세발열체 제작시 트랜치를 구성함으로 저소비전력으로 원하는 동작온도를 얻을 수 있고, 외부회로에 열적영향을 최소화 할수 있다.

따라서, 본 연구에서 제안한 SOI기판과 트랜치 구조를 갖는 미세발열체는 저소비전력, 고속응답, 소형, 고감도, 고성능 그리고 집적화가 가능한 열형 마이크로 센서 및 액추에이터에 유용하게 사용가능할 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

[1] P. M. Sarro, "Sensor Technology Strategie in Silicon", Sensors and Actuators A, 31, 138-143, 1992.

[2] M.Pameswaran et al, "Micromachined Thermal Radiation Emitter from a Commercial CMOS process", IEEE Electron Device Letters, vol.13. no.2, pp57-59 1991.

[3] E.Yoon, "An integrated Mass flow sensor with on-chip CMOS interface circuitry", IEEE Transactions on Eletron Devices, vol.39, nno.6, pp.1376-1386, 1992.

[4] J.W. Garderer et al., "Interated array sensor for detection organic solvents", Sensors and Actuators B, vol.26-27, pp.135-139, 1995.

[5] U.Dibbern, "A substrate for thin-film gas sensors in microeletronic technology", Sensors and Actuators B, vol.2, pp.63-70, 1990.

[6] G.S. Chung et al., "The Characteristics of Flow Sensor Fabricated by MgO Medium", Summer Conference of KIEE, pp.3319-3321, 1999.