

고온 구동 MEMS 히터의 특성 분석

이국녕*, 정석원, 성우경
전자부품연구원

Characterization of High Temperature MEMS Heater

Kook-Nyung Lee*, Suk-Won Jung, Woo-Kyeong Seong
Korea Electronics Technology Institute

Abstract - 떠 있는 열선 구조를 채택한 고온 구동 마이크로 MEMS 히터의 특성을 평가하고 분석하였다. 고온 MEMS 히터는 적외선을 이용한 광학식 가스센서의 주요한 핵심 부품인 적외선 발광원으로 활용할 수 있다. MEMS 기술을 이용하여 대량생산이 가능하여 가격을 낮출 수 있고 소비전력이 작아 적외선 센서의 광원으로 응용되는 등 관련 분야의 연구가 많이 이루어지고 있다. 본 논문에서는 실리콘 기판으로부터 떠 있는 실리콘 지지구조물 위에 형성된 백금 저항성으로 고온 발열 동작하는 새로운 구조의 MEMS 히터에 대한 온도 특성을 고해상도 적외선 카메라로 측정된 이미지를 이용하여 분석하였다.

1. 서 론

MEMS 히터는 저전력 구동이 가능하고 작은 크기로 대량으로 제작할 수 있는 장점으로 인해 다양한 분야에서 활용될 것으로 예측된다. 최근에는 적외선 발광원이나 반도체식 가스센서를 초기화하고 구동환경을 제공하는 열원으로 응용되고 있다. 히터의 응용에 적합하게 MEMS 히터의 성능을 개선하기위한 연구가 이루어지고 있으며 상용화되고 있다. MEMS 히터는 줄 열에 의한 고온 발열부를 이용한다. 저항선으로는 고온 구동시 열적 안정성이 우수한 백금 저항선을 사용했으며, 발열부가 기판으로부터 열적으로 격리되어 있어야 하므로 열 고립을 위해 기판으로부터 떠 있는 실리콘 빔 구조 상에 저항선을 형성하여 제작하였다. 실리콘 기판 하부를 식각하여 동공구조를 만들고 동공 상부에 열 절연층이 높은 질화막 박막을 형성시켜 그 상부면에 열저항선을 제조하는 일반적인 MEMS 히터 구조[1-2]와는 달리 본 연구진이 제안한 떠 있는 열선을 이용한 MEMS 히터의 구조는 한 장의 포토마스크와 한 번의 사진식각 공정으로 간단하게 제작 가능하다[3-4]. 본 논문에서는 기판 상부에 떠 있는 열 저항선 구조를 이용한 MEMS 히터의 온도 특성을 적외선 카메라를 이용하여 평가하였다.

2. 본 론

2.1 MEMS 히터의 구조

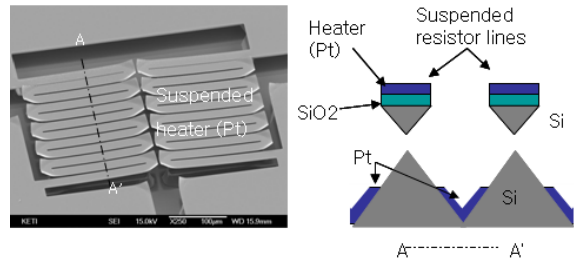
본 연구에 사용된 MEMS 히터는 그림 1에서 보여주는 바와 같이 기판에서 떠 있는 실리콘 지지구조 위에 백금 저항선을 증착시켜 제작하였다. 떠 있는 실리콘 구조는 실리콘의 건식 식각과 습식식각을 연속적으로 수행하여 제작하였으며, 백금 열저항선은 실리콘 구조물이 제작된 후 E-beam 증착장비로 증착하였다. 열저항선의 선폭은 20 μm, 길이는 200 μm이며, 꼬여진 형태로 배치하여 전체 길이는 대략 2.4 mm 가 되도록 하였으며, 떠 있는 열저항선의 기판으로부터의 거리는 대략 50 μm로 제작하였다. 백금 저항선과 실리콘 기판과의 전기적 절연을 위해 백금선 하부에는 실리콘 열산화막을 3000 Å 두께로 증착된 기판을 사용하였다. 백금 열저항선은 백금/티타늄을 2000/200 Å 두께로 증착하여 제작하였다. 그림1의 단면구조에서 알 수 있듯이 떠 있는 실리콘 구조물이 제작된 후 열저항선을 기상증착하므로 열선과 열선 사이의 하부 바닥면에도 금속막이 증착되는 것을 확인할 수 있다. 떠 있는 열저항선은 풀딩된 형태의 직렬선을 여러 개로 제작하고 이를 병렬로 연결하여 구동할 수 있도록 하였다.

2.2 MEMS 히터의 전기적 특성

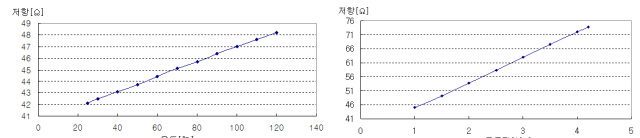
온도에 따른 백금의 저항변화를 측정하였다. 항온 체임버를 이용하여 상온(25 °C)에서부터 120도에 이르기까지 온도를 변화시켜가며 MEMS 히터의 온도에 따른 저항변화 특성을 측정하였다(그림 2). 온도에 따른 백금 저항선의 저항은 선형함수 관계를 갖고 있으므로 식(1)과 같이 저항은 온도에 대한 선형 함수로 표기할 수 있다[5].

$$Tr = To + \frac{R - Ro}{dR/dT} = To + \frac{1}{TCRo} \left(\frac{R}{Ro} - 1 \right) = AR + B \quad (1)$$

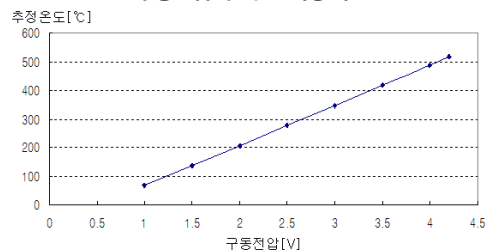
여기서, R은 측정된 저항이며, TCRo와 Ro는 히터 저항선의 초기 TCR과 상온(T= 298 K= 25 °C)에서의 초기 저항값이며, A, B는 선형식 표기에서의 상수에 해당된다. 저항선의 저항은 MEMS 히터의 구동 전압에 따른 전류를 측정 후 이를 환산하여 얻었다(그림 2). 구동 전압에 따른 저항 값을 이용하여 식(1)에 대입하여 구동 전압에 대한 온도 변화를 평가하였다(그림 3). 측정된 저항을 이용하여 온도를 추정해 본 결과 4V 구동(182.8 mW)에서 대략 500 °C 인 것으로 분석되었다.



〈그림 1〉 제작된 MEMS 히터의 구조



〈그림 2〉 제작된 MEMS 히터의 온도에 따른 저항 변화(좌)와 구동전압에 따른 저항(우)

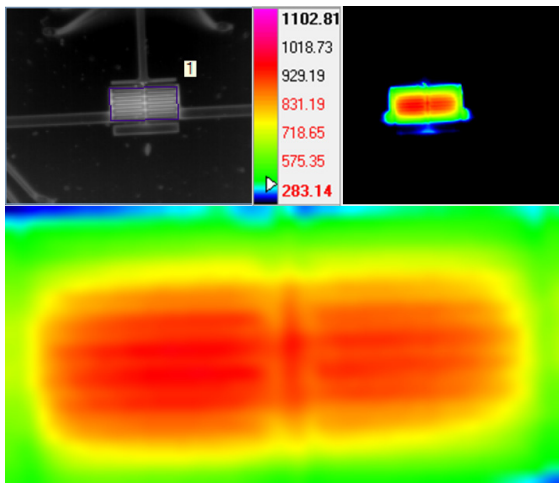


〈그림 3〉 측정 저항을 이용한 MEMS 히터의 온도 추정

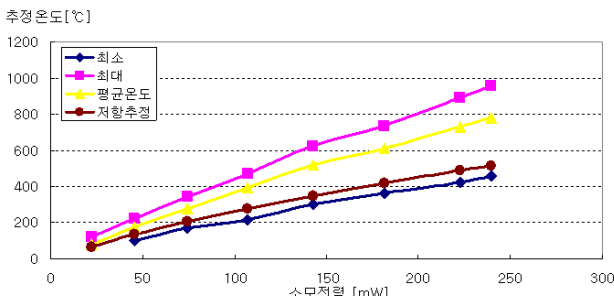
2.3 적외선 카메라를 이용한 온도 평가

적외선 카메라를 이용하여 MEMS 히터의 온도 분포를 측정하였다. FLIR 사의 SC5000 모델의 적외선 카메라를 사용하였다. 카메라의 해상도는 320x256이며, x 3 배율 렌즈를 이용하여 픽셀 해상도는 10 μm이다. 적외선 카메라의 파장 대역은 2.5- 5 μm이다. 구동 전압에 따른 열선의 온도는 적외선 카메라의 이미지 분석을 통해 지정된 영역내의 최고값, 평균값, 최저값 등을 산출하였다. 그림 4는 적외선 카메라로 촬영한 MEMS 히터 온도 분포 이미지이다. 열선의 광학사진과 적외선 이미지를 함께 배치하였으며, 4.2 V (239 mW) 구동 시 영역 1(675픽셀)의 온도 분포를 색깔 변화로 확인해볼 수 있다. 최고 온도는 958°C, 평균온도는 780°C로 평가되었다. 떠 있는 열저항선의 형상을 구분할 수 있으며 기판과 연결된 열저항선 부분은 열전도로 인해 기판 온도에 가깝고 가운데 떠 있는 열선 부분에서 높은 온도를 나타냈다. 열저항선의 표면은 동일한 색깔로 나타나는 것으로 판단할 때 대체로 균일한 온도라는 것

을 유추해 볼 수 있다. 열선이 위치한 영역 이외에는 상온으로 평가하고 있다. 적외선 카메라로 측정된 이미지 분석을 통해 평가한 온도와 열저항선의 저항 측정을 통해 추정된 온도를 비교하여 그림 5에 정리하였다. MEMS 히터의 구동 전력에 따른 평가 온도를 그래프로 나타내었으며 이미지 내의 최고온도와 평균온도, 최저온도도 함께 비교하였다. 4.2 V 전압 동작에서 소비전력은 239 mW이며, 이때 적외선 카메라의 최고 온도와 저항값으로 평가한 온도는 450도에 이르는 상당한 차이를 보였다. 그림 1의 영역 1은 히터의 열선이 있는 부분으로 이미지 분석 영역으로 설정된 부분이다. 적외선 이미지에서 최저 온도는 저항계산법에 의한 평가 온도보다 더 낮게 나타났다. 열선을 벗어난 영역에서의 픽셀 평가값이 반영되었기 때문이다. TCR을 계산하기 위한 수식 1에서는 환경제임버에서 열저항선의 온도가 균일하게 바뀌지만 열저항선 구동시에는 열저항선의 온도가 균일하지 못한 측면이 있으므로 이를 고려하여 평균온도를 평가하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 보다 정확한 온도평가를 위해서는 적외선 카메라의 이미지 해석을 이용할 경우 발열 배선에서의 픽셀만 추출하여 평균온도를 구하는 것이 보다 타당할 것으로 판단되며 이를 위해서는 해상도가 보다 높은 적외선 카메라가 필요하다.



〈그림 4〉 적외선 카메라의 이미지 분석을 이용한 히터의 온도 평가

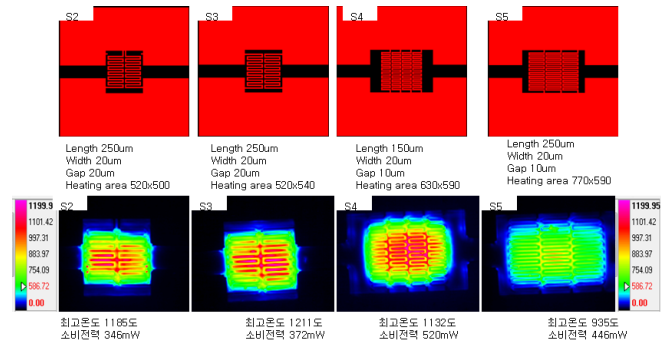


〈그림 5〉 열선영역(그림4의 1 영역)의 최고, 평균, 최저온도와 저항측정에 의해 평가된 온도 비교

떠 있는 배선의 형태를 달리한 여러 가지 MEMS 히터 모델에 대해서도 온도분포를 평가해 보았다. 떠 있는 배선의 길이가 250 μm 에 이르러도 기판으로부터 잘 격리되어 고온 구동이 이루어지는 것을 확인할 수 있으며, 배선 사이의 간격을 2 μm , 10 μm , 20 μm 로 다르게 하더라도 안정적으로 고온 구동이 가능했다. 복수개의 열저항선은 병렬로 연결하여 구동하였는데, 균일한 온도로 히터가 동작하는 것을 확인할 수 있다. 한 가지 더 주목할 것은 배선 부위에 비해서 배선과 배선 사이부분의 온도가 더 높게 평가된다는 점이다. 그림 4의 적외선 이미지와 그림 6의 다양한 형태의 떠 있는 열선의 적외선 이미지에서 모두 나타난다. 동일한 높이에 있는 바닥 부분의 온도가 주변의 상온에 해당되는 온도로 평가되는 것과 비교할 때 열배선과 열배선 사이의 온도는 배선이 배치된 가운데 영역부분에서 온도가 높다. 적외선 센서의 방사계수는 백금에 해당되는 0.1로 설정하였으며, 백금은 열저항선 상부뿐만 아니라 MEMS 히터 시편의 전 영역에 걸쳐서 증착되어 있으므로 표면물질에 의한 것은 아니라고 볼 수 있다. 한 가지 추론이 가능한 것은 떠 있는 열저항선에서 방출되는 적외선이 바닥 기판에 증착된 백금표면에서 대부분 반사되고 이를 적외선 카메라가 감지함으로써 열저항선 사이 부분의 온도가 높게 평가될 가능성이 있다. 배선 사이의 간격을 달리한 히터 샘플의 이미

지 분석에서는 배선과 배선사이의 간격이 클수록 배선부분과 갭의 온도 차이는 더 두드러지게 나타나며 이는 그림1의 단면 모습에서 보여주는 것처럼 바닥 기판에 형성된 V-groove의 영향이 있을 것으로 추정된다. V-groove가 형성되지 않는 배선영역의 외곽에서는 바닥 부분의 온도가 더 높게 나타나는 것으로 분석된다. 이에 대한 보다 명료한 근거를 찾아보기 위해서는 백금 증착을 열저항선 상부에만 되도록 히터 샘플을 제작하여 결과를 분석해 볼 필요가 있다.

열저항선들의 갭 사이 부분에도 열배선 표면에서와 마찬가지로 적외선이 방출된다고 가정할 수 있다면 열저항선의 배치는 동일한 소비전력에 대해서 넓은 방사면적을 갖도록 하는 것이 유리하다. 고온 발열 영역에서의 평균온도 값에 소비전력을 정규화하고, 이를 발열 면적을 온도에 대해 정규화된 소비전력 값으로 나누면 소비전력에 대해 적외선 방사 효율성을 간접적으로 유추해 볼 수 있다. 떠 있는 열저항선의 배치를 그림 6과 같이 다양한 모델에 대해서 비교할 경우 간격 20 μm (s2, s3), 10 μm (s4,s5), 2 μm (s1, 그림 4) 순으로 동일 소비전력에 대해 방사 효율성에 있어 낮아지는 경향이 있으나, 2 μm 로 좁게 한 경우 큰 차별성을 보이지 않으나, 10 μm 와 20 μm 모델 사이에서는 뚜렷한 차이는 나타나지 않았다.



〈그림 6〉 열선 구조에 따른 온도 특성 비교

3. 결 론

떠 있는 열저항선 구조를 갖는 MEMS 히터를 제작하고 고해상도 적외선 카메라를 이용하여 고온 동작시 온도 분포를 분석하였다. 열저항선의 선폭은 20 μm , 길이는 250 μm 로 구성된 줄 히팅 배선을 풀딩된 구조이며, 병렬로 연결되었다. 2개에서 4 개까지의 병렬 연결 구동에도 열저항선은 균일하게 고온 구동되었으며, 500 mW 내외의 소비전력으로 1000 $^{\circ}\text{C}$ 에 이르는 고온 발열이 가능한 것으로 측정되었다. 발열면적은 대략 500 μm x 500 μm 이다. MEMS 히터의 시편 크기는 2 mm x 2 mm이다. 백금선으로 제작된 열저항선은 기판과 연결된 떠 있는 열선의 지지부에서는 상온에 가까우나 가운데 부분에서는 대체로 균일한 온도분포를 보였으며, 열저항선들의 사이 부분에서는 열저항선 보다 더 높은 온도로 평가되었다. 그 이유는 떠 있는 열저항선의 바닥부분에 형성된 V-groove 표면에 증착된 백금이 적외선을 반사시켜주기 때문인 것으로 추정된다.

[감사의 글]

MEMS 히터의 적외선 이미지 사진을 얻을 수 있도록 고해상도 적외선 카메라로 실험을 도와주신 (주)플리어서스템코리아의 엄성진 과장님과 한백전자(주) 이승남 대리님께 감사드립니다.

[참고 문헌]

- [1] J. Spannhake, A. Helwig, G. Müller, G. Fagliab, G. Sberveglieri, T. Doll, T. Wassner, M. Eickhoff, *Sensors and Actuators B* 124 (2007) 421428
- [2] H. Yuasa, S. Ohya, S. Karasawa, K. Akimoto, S. Kodato, K. Takahashi, "Single crystal silicon micromachined pulsed infrared light source", in: *Transducers 1997*, Chicago, June 1619, 1997.
- [3] 이국녕, 정석원, 이대성, 최강욱, 황학인, "떠 있는 열 저항선을 이용한 고온 MEMS 히터", 제 10회 한국 MEMS 학술대회, 2008.
- [4] 이국녕, 신규식, 이대성, 정석원, 황학인, "떠 있는 열선을 이용한 MEMS 히터의 특성", 제 11회 한국 MEMS 학술대회, 2009
- [5] Naoki Kishi and Hitoshi Hara, "Lifetime Evaluation of Self-Modulated MEMS Infrared Light Source made of Single Crystalline Silicon", *SICE Annual Conference*, 2451-2454, 2007