

실리콘 반도체 기판에 제작된 박막 패턴 발열 히터의 열특성 측정

박현식

한경대학교 전기전자제어공학과, IT융합기술연구소

Measurement of Thermal Characteristics of Thin Film Patterned Heating Heater on Silicon Semiconductor Substrate

Hyun-Sik Park

Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, Institute for Information technology
Convergence, Hankyong National University

요약 본 연구에서는 박막 패턴의 히터를 반도체 공정 기술을 이용하여 소형 백금 박막 히터를 실리콘 기판 상에 제작하고 박막히터의 인가전압, 전력, 온도의 열특성을 측정 분석하였다. 박막 패턴 히터의 온도는 전력 증가에 따라서 증가하였으나 높은 전력구간에서는 온도 증가율이 완만해지는 결과를 확인하였다. 백금 박막 패턴 히터의 고온구간의 특성은 측정 환경에 의한 영향으로서 대기분위기와 진공분위기에서 측정된 결과를 열저항 모델을 이용하여 열특성을 해석하였다. 진공분위기에서 측정된 경우가 열저항값 0.79 [K/mW]로서 대기분위기에서의 열저항 값 0.69 [K/mW]보다 높게 측정되었다. 대기분위기보다는 진공분위기에서 낮은 전력으로 박막 패턴 히터의 온도를 유지할 수 있었고 이들 결과는 박막 패턴 히터 소자의 구조 설계에 활용이 기대된다.

Abstract In this study, a miniature thin film-patterned heater was fabricated on a silicon substrate using semiconductor process technology and the thermal characteristics of the applied voltage, power, and temperature of the thin film heater were measured and analyzed. The temperature of the thin film pattern heater increased with increasing power, but the temperature increase rate was gradual at high power intervals. The characteristics of the high temperature section of the platinum thin film-patterned heater were analyzed using the heat resistance model under atmospheric and vacuum conditions. The thermal resistance measured in a vacuum atmosphere was 0.79 [K/mW] higher than the heat resistance value 0.69 [K/mW] in air. The temperature of the thin film pattern heater can be maintained at a low power in a vacuum rather than in air, and these results are expected to be utilized in the structural design of a thin film-patterned heater element.

Keywords : Embedded, Power, Semiconductor, Sensor, Thermal, Thin Film

1. 서론

반도체 공정 기술을 이용한 소형 열식 가속도센서, 유량 센서, 가스센서 등의 반도체 기술을 적용한 마이크로 센서 분야에서는 발열 소형히터[1,2]가 온도 구배의 차이 [3] 혹은 화학반응을 위한 발열 기능[4-6]을 위하여 필요

하다.

기존 발열 소형히터는 대기분위기 측정 조건에서 다양한 기판 구조에 걸쳐서 연구[1,2]되어 왔고, 유리기판상에 제작[1]되거나 혹은 SiO₂ 브릿지(bridge)타입으로 제작[2]되는 등의 연구가 진행되어 왔다. 본 연구에서는 실리콘 기판에 발열 히터가 내장되는 구조로 제작하여 발

Corresponding Author: Hyun-Sik Park(Hankyong National Univ.)

Tel: +82-31-670-5193 email: hspark@hknu.ac.kr

Received March 5, 2019

Revised March 25, 2019

Accepted June 7, 2019

Published June 30, 2019

열 기능이 실리콘 기판상에서 구동되도록 설계 제작하고 대기분위기와 진공분위기 조건에서 열특성을 비교 분석하였다. 발열 기능의 히터는 인가전압에 따른 전력과 히터의 온도 유지의 열특성이 중요한 파라미터이다[7].

본 연구에서는 소형 박막 패턴의 히터를 반도체 공정 기술을 이용하여 실리콘 기판에 제작하고 박막 패턴 히터 패턴의 선/폭비에 따른 특성 변화를 측정하였다. 제작된 박막 패턴 히터의 인가전압에 따른 전력과 박막 패턴 히터의 온도의 열특성을 측정 분석하였다. 또한 열저항 모델을 이용하여 대기분위기와 진공분위기에서의 박막 패턴 히터의 열특성을 비교 해석하였다.

2. 본론

2.1 백금 박막 히터 제작 및 측정

실리콘 (100)기판에 멤브레인 제작을 위한 두께 400 nm의 실리콘 질화막(SiNx)을 증착하였다. 박막 공정은 실리콘 질화막과 백금 박막의 부착성을 유지하도록 설계 되었고 백금 박막 히터 제작은 스퍼터링(sputtering)방법으로 두께 200 nm의 백금 박막을 증착 후에 패턴공정을 수행하였다. 백금 박막 히터 패턴은 포토레지스트 코팅 및 포토리소그래피(photo lithography) 이후에 반응성 이온 에칭(reactive ion etching)을 하였다. 실리콘 기판의 후면은 백금 박막 히터로부터의 열 방출을 줄이기 위하여 이방성 식각방법으로 벌크마이크로머시닝(bulk micromachining)을 하였다. 제작된 칩의 형상 및 구조는 Fig. 1과 같으며 칩의 크기는 4 mm²이다.

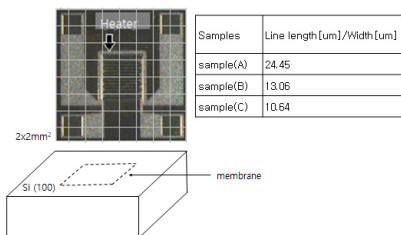


Fig. 1. Fabricated Pt thin film heater structure on Silicon substrate.

본 연구에서는 백금 박막 패턴 히터의 배선 길이/ 폭의 비율을 시료(A)는 24.45, 시료(B)와 시료(C)는 13.06 및 10.64로 각각 달리한 세 종류의 패턴을 제작하여 특성을 비교하였다. 백금 박막 패턴 히터에 전압을 인가하

였을 때 발생하는 온도를 이론적으로 구하기 위해서 온도에 따른 히터의 저항을 알아보는 실험을 진행하였다. 또한 측정환경에 따른 열특성 비교를 위하여 대기분위기와 10⁻² Torr 진공 챔버에서의 진공분위기에서 전력과 온도를 측정하였다.

Fig. 2는 온도에 따른 백금 박막 패턴 히터의 저항을 측정된 것으로 온도가 증가함에 따라 비례하여 증가하였다.

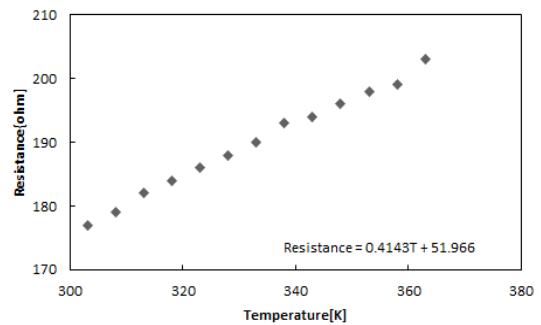


Fig. 2. Variation of resistance Pt thin film heater with temperature.

백금 박막 히터는 열처리온도에 따라서 전기저항률 값의 변화로부터 열처리 온도에 따른 전기 저항률의 온도 계수(TCR: temperature coefficient resistance, 이하 TCR)를 Eq.(1)을 이용하여 측정[7,8]하였다. 이때 측정 기준온도는 상온조건에서 측정하였다.

$$TCR = \left(\frac{R_T}{R_o} - 1 \right) / (T - T_o) \quad (1)$$

where, Ro:resistance@ reference temperature(To), RT:resistance@ measuring temperature(T)

본 연구에서 측정된 TCR값은 2443.84 ppm/K로 측정되었고 측정된 백금 박막 패턴 히터의 전기 저항률의 온도계수로부터 히터의 온도를 산출하였고 열전대를 이용한 온도 보정하였다.

인가전압에 따른 백금 박막 패턴 히터 온도와 소비전력을 측정하기 위하여 Fig. 3과 같이 테스트베드를 구성하여 백금 박막 히터를 정전류 구동으로 일정 온도를 유지하게 하였다. 이때 전류와 박막 히터 단자에 인가하는 전압을 0.5 V간격으로 3 V까지 인가하여 전력을 산출하였다.

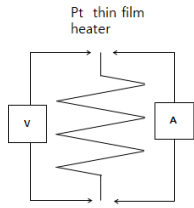


Fig. 3. Measurement system for Pt thin film patterned heater.

2.2 측정 결과

Fig. 4는 시료(A), Fig. 5와 6은 시료(B)와 시료 (C)의 인가전압에 따른 전력 측정 결과이다. 인가전압 증가에 따라서 전력이 증가하였고 인가전압 3V에서 시료(A)에서는 332.62 mW, 시료(B)에서는 409.22 mW 및 시료 (C)에서는 468 mW의 전력이 측정되었다. 초기 저항값이 시료(A)가 16.30 Ohm, 시료(B)가 13.06 Ohm 및 시료(C)가 10.64 Ohm으로서 초기 저항값이 낮은 패턴에서 높은 전력값을 나타냈다.

전력에 따른 백금 박막 히터의 온도 측정 결과는 Fig. 7, 8, 9와 같다. 전력 증가에 따른 백금 박막 패턴 히터의 온도는 전력 증가에 따라서 증가하였다. 인가전압 3 V에서 시료(A)에서는 전력 332.62 mW에서 573 K, 시료 (B)에서는 전력 409.22 mW에서 583 K, 시료(C)에서는 전력 468.88 mW에서 633 K에 각각 도달하였다.

본 연구에서 제작한 백금 박막 패턴 히터의 최고 온도는 633 K으로 측정되었다. 히터의 열특성에서 전력과 온도의 관계는 중요한 파라미터이다. 적은 전력으로 일정 온도를 유지할 수 있는 것이 전력소모가 적기 때문에 바람직하다.

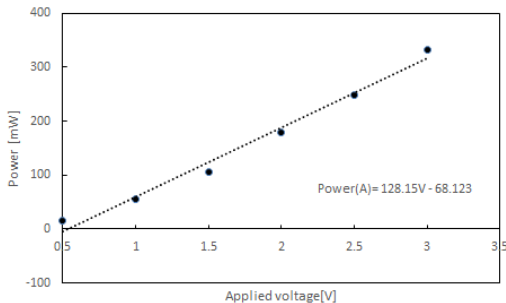


Fig. 4. Power with applied voltages in sample(A).

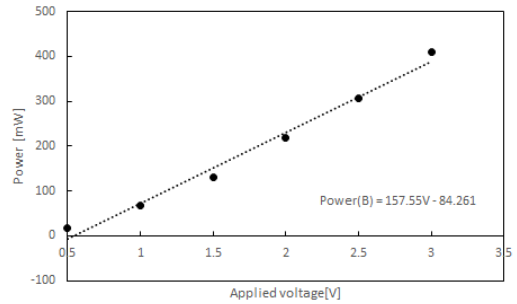


Fig. 5. Power with applied voltages in sample(B).

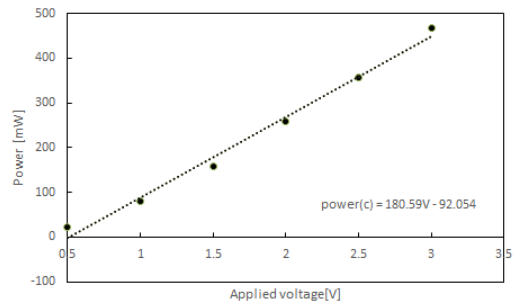


Fig. 6. Power with applied voltages in sample(C).

Fig. 7, 8, 9의 결과로부터 500 K온도에 필요한 전력은 시료(A)가 231.25 mW, 시료(B)와 시료(C)에서는 267.63 mW이상이다. 따라서 본 연구에서는 시료(A)가 상대적으로 적은 전력 소모로 히터를 동작시켰다.

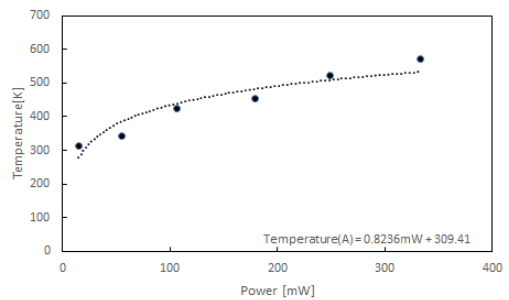


Fig. 7. Variation of temperature with power in sample(A).

Fig. 7, 8, 9에서 전력증가에 따라 온도가 증가하는 경향을 나타내고 있으나 낮은 전력 구간에서 보다는 높은 전력 구간에서는 온도 증가율은 낮은 전력 구간에 비하여 낮아진다는 현상이 관찰되었다.

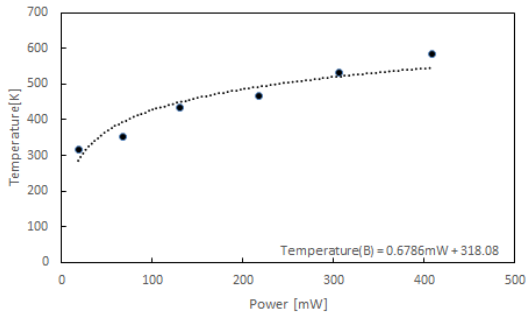


Fig. 8. Variation of temperature with power in sample(B).

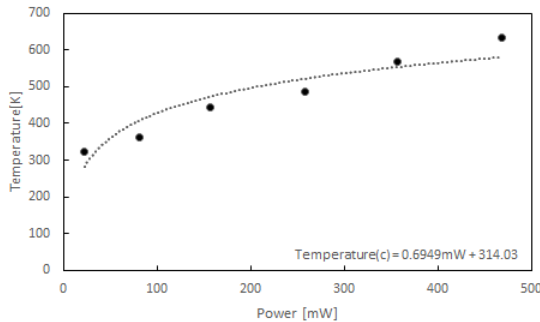


Fig. 9. Variation of temperature with power in sample (C).

온도가 높아지면 전력 소모는 증가하더라도 온도 증가가 완만한 결과이고 이것은 고온구간에서 열전달이 주변으로 많이 되기 때문인 것으로 추정된다.

일반적으로 열전달은 전도, 대류, 복사에 기인[9,10]한다. 즉 백금 박막 패턴 히터의 열특성에 미치는 영향 인자들은 소자의 구조와 소자를 구성하고 있는 소재의 열전도율, 주변온도와 대류와 같은 측정환경에 의해서 결정된다. 소자 구조와 소재가 동일함으로 열특성에 미치는 영향인자는 대류와 같은 측정환경에 기인하는 것으로 추정할 수 있다. 이를 분석하기 위하여 대기분위기와 진공분위기에서 전력에 따른 온도 변화를 측정 비교하였다.

Fig. 10의 결과로부터 진공 분위기에서 소비전력과 온도와의 관계는 대기 분위기에 비해 가파르게 온도가 증가됨을 알 수 있다. 고온일수록 진공 분위기에서의 측정온도가 대기분위기에서의 측정온도 보다 높게 나타났다. 즉 대기분위기에서는 온도가 높은 영역에서 대류에 의한 열방출이 많이 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

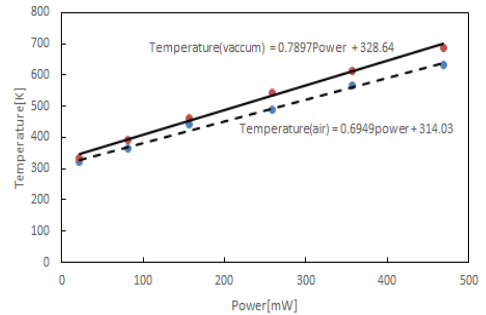


Fig. 10. Comparison of results of temperature measurement under vacuum and air atmosphere.

발열 부분에서 발생한 열이 발산될 때까지의 열은 발열부분에서 주변까지의 열저항(thermal resistance)으로 표시할 수 있다. 방열 특성을 나타내는 열저항은 발생된 열이 외부로 쉽게 빠져 나가게 되면 낮은 값을 나타내고 외부로 방열이 잘 안되면 열저항은 높은 값을 나타내게 된다.

본 연구에 사용된 백금 박막 패턴 히터 발열부에서부터 주변 대기로의 전체 열저항을 $R_{th,HA}$ 라하고 열저항의 등가 모델에서 히터와 기판사이 열저항 $R_{th,HS}$ 이고 기판과 대기의 열저항을 $R_{th,SA}$ 라하면 열저항의 직렬 등가 모델 Eq.(2)를 적용할 수 있다.

$$R_{th,HA} = R_{th,HS} + R_{th,SA} \quad (2)$$

where, $R_{th,HA}$: thermal resistance of heater /ambient, $R_{th,HS}$: thermal resistance of heater/substrate, $R_{th,SA}$: thermal resistance of substrate/ambient

전력과 온도와의 관계에서 상대적인 열저항 값을 선형 관계로 Fig.10과 같이 근사하면 대기분위기에서의 열저항 $R_{th,HA}$ 는 0.69 [K/mW]이며, 진공 분위기에서의 열저항 $R_{th,HA}$ 는 0.79 [K/mW]로서 측정되어 진공분위기에서의 열저항 값이 대기분위기에서 보다 높게 측정되었다. 즉 대기분위기보다는 진공분위기에서 적은 전력으로 히터의 일정온도를 유지할 수 있음을 확인하였다.

방열이 필요한 경우는 열저항 값이 낮은 값이 필요하지만 본 연구와 같이 칩에 발열기능의 박막 패턴 히터를 제작하여 구동할 때는 열저항이 높은 것이 소자 내부에 열을 유지할 수 있으므로 열저항이 높을수록 바람직하다. 따라서 열저항을 높이기 위한 수단으로 히터 발열 부분의 구조설계에 활용이 기대된다.

3. 결론

백금 박막 패턴의 히터를 반도체 공정 기술을 이용하여 실리콘 기판 상에 제작하고 인가전압에 따른 전력과 전력에 따른 히터 온도의 열특성을 측정 분석하였다.

제작된 백금 박막 패턴 히터는 인가전압 증가에 따른 전력 증가와 전력 증가에 따른 박막 패턴 히터의 온도가 증가하였다. 박막 패턴 히터의 온도는 전력 증가에 따라 서 증가하였으나 높은 전력구간에서는 온도 증가율이 완만해지는 결과를 확인하였다.

백금 박막 패턴 히터의 고온구간의 특성은 측정 환경에 의한 영향으로서 대기분위기와 진공분위기에서 측정 한 결과를 열저항 모델을 이용하여 열특성을 해석하였다. 진공분위기에서 측정한 경우가 열저항 값 0.79 [K/mW]로서 대기분위기에서의 열저항 값 0.69 [K/mW]보다 높게 측정되었다. 대기분위기보다는 진공분위기에서 낮은 전력으로 박막 패턴 히터의 온도를 유지할 수 있었고 박막 패턴 히터 소자의 구조 설계에 활용이 기대된다.

References

- [1] Wen-Yang Chang, Y. Sheng Hsihe, "Multilayer microheater based on glass substrate using MEMS technology", *Microelectronic Engineering*, Vol. 149, pp.25-30, January 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mee.2015.09.005>
- [2] Mahanth Prasad, "Design, development and reliability testing of a low power bridge-type micromachined hotplate", *Microelectronics reliability*, Vol.55, Issue 6, pp.937-944, May 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2015.03.005>
- [3] A. Zribi, M. Barthes, S. Begot, F. Lanzetta, J. Y. Rauch, V. Moutarlier, "Design, fabrication and characterization of thin film resistance for heat flux sensing application", *Sensors and Actuators A*, Vol.245, pp.26-39, July 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sna.2016.04.040>
- [4] Jithin M.A., K.L. Ganapathi, G.N.V.R. Vikram, N.K. Udayashankar, " Pulsed DC magnetron sputtered titanium nitride thin films for localized heating applications in MEMS devices", *Sensors and Actuators A*, Vol.272, pp.199-205, April 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2017.12.066>
- [5] Shifeng Yu, S. Wang, M. Lu, L. Zuo, "A novel polyimide based micro heater with high temperature uniformity", *Sensors and Actuators A*, Vol.257, pp. 58-64, April 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2017.02.006>
- [6] Qin Zhou, Allen Sussman, J.Chang, J.Dong, A. Zettl, W.

Mickelson, "Fast response integrated MEMS microheaters for ultra low power gas detection", *Sensors and Actuators A*, Vol.223, pp.67-75, March 2015.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2014.12.005>

- [7] R.M. Tiggelaar, R.G.P.Sanders, A.W.Groenland, J.G.E. Gardeniers, "Stability of thin platinum films implemented in microdevices", *Sensors and Actuators A*, Vol.152, Issue 1, pp. 39-47, May 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2009.03.017>
- [8] M.Sreemany, S.Sen, "Effect of substrate temperature and annealing temperature on the structural, electrical and microstructural properties of thin Pt film by rf magnetron sputtering", *Applied Surface science*, Vol.253, Issue 5, pp.2739-2746, December 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2006.05.040>
- [9] M.Baroncini, P.Placidi, G.C. Cardinali, A.Scorzoni, "Thermal characterization of a microheater for micromachined gas sensors", *Sensors and Actuators A*, Vol.115, Issue 1, pp.8-14, September 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2004.03.012>
- [10] X.jack Hu, A. Jain, Kenneth E. Goodson, "Investigation of the natural convection boundary condition in microfabricated structures", *International Journal of thermal sciences*, Vol.47, Issue 7, pp.820-824, July 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2007.07.011>

박 현 식(Hyun-Sik Park)

[중신회원]



- 1990년 2월 : 서울대학교 대학원 (공학박사)
- 1996년 8월 : KETI 부품개발3팀장
- 1996년 9월 ~ 현재 : 한경대학교 전기전자제어공학과 전자공학전공 교수

<관심분야>

반도체, 센서, 반도체장비 및 계측