

마이크로 가스센서의 저전력 구동을 위한 마이크로 플랫폼의 제작과 특성

장웅진¹ · 박광범¹ · 김인호² · 박순섭¹ · 박효덕¹ · 이인규³ · 박준식^{1,+}

Fabrication and Characteristics of Micro Platform for Micro Gas Sensor with Low Power Consumption

Woong-Jin Jang¹, Kwang-Bum Park¹, In-Ho Kim², Soon-Sup Park¹, Hyo-Derk Park¹, In-Kyu Lee³, and Joon-Shik Park^{1,+}

Abstract

A Micro platform for micro gas sensor consisted of micro heater, insulator, and sensing electrode on 2 μm thick SiN_x membrane. Three types of micro platforms were designed and fabricated with membrane sizes. Total size of micro platform was 2.6 mm by 2.6 mm. Measured power consumptions were 28 mW, 28 mW, and 32.5 mW for Type 1, Type 2, and Type 3. At this moment, temperatures of membranes on the platforms were 295 °C, 297 °C, and 296 °C, respectively. Fabricated micro platform considered appropriate to apply for low power consumption micro gas sensor. Micro gas sensors were prepared by the sequence that SnO_2 nanopowder pastes were dropped on membrane of Type 1 platforms, dried in oven, heat-treated with micro heaters in platforms. One of the micro gas sensors was tested for gas response to 1157 ppm, 578 ppm, and 231 ppm of methane and 1.68 ppm, 0.84 ppm, and 0.42 ppm of NO_2 .

Keywords : MEMS, Micro Gas Sensor, Micro Platform, Low Power Consumption

1. 서론

가스 모니터링에 사용되는 가스센서는 장시간 구동되며 여러 개의 센서를 동시에 사용하는 것이 한 두 개를 사용하는 것 보다 데이터의 신뢰성을 더욱 높일 수 있다. 따라서 감지 재료를 형성하며 감지 재료의 신호를 외부로 전달해주는 역할을 하는 플랫폼은 오랜 시간 동안 구동하는데 부담이 가지 않는 낮은 전력이 요구되며 크기를 최소화 할 수 있도록 소형화가 가능해야 한다. MEMS 공정은 이와 같은 목적을 가능하게 하기 때문에 가스센서를 제작하기 위해 최근에 많이 사용되었다. 예를 들어, 마이크로 히터를 실리콘 질화막 팔에 매달린 형태로 식각하여 형성한 경우[1], 가스 채널을 마이크로 종횡 구조로 형성하여 크로마토그래피 분석으로 휘발성유기화합물 가스 검지를 한 경우[2], 마이크로 히터와 감지 전극을 어레이 형태로 제작한 경우[3], 마이크로 히터를 폴리이미드층에 삽입하여 제작한 경우[4]가 있다.

본 연구에서는 MEMS 공정을 진행하여 가스센서로 이용할 마이크로 플랫폼을 제조하고 마이크로 플랫폼의 마이크로 히터에 인가

되는 소비 전력과 플랫폼 중심부 온도를 측정하여 특성을 조사하였으며 가스센서의 적용성을 확인하기 위해 제조된 마이크로 플랫폼에 감지 재료를 형성하여 마이크로 가스센서로 제작하고 메탄과 NO_2 가스에 대한 감도를 측정하였다.

2. 실험 방법

가스센서 마이크로 플랫폼은 실리콘 웨이퍼를 이용하여 MEMS 공정기술로 제작되었다. 제작된 마이크로 플랫폼 각각은 멤브레인의 크기별로 3가지의 종류(Type 1, 2, 3)가 있다.

마이크로 플랫폼 제작 공정 순서는 Fig. 1과 같다. 이는 저자가 속한 그룹에서 예전에 수행된 공정 순서와 유사하다[5]. 두께 500 μm , 직경 4 inch 실리콘(100) 웨이퍼의 양면에 2 μm 의 실리콘 질화막을 LPCVD(Low Pressure Chemical Vapor Deposition, 공정 수행 : M_2N_2) 방법에 의하여 증착한다. 웨이퍼의 양면 중 윗면은 마이크로 히터와 절연막, 감지 전극을 형성시키며 바닥면은 플랫폼의 멤브레인을 형성하기 위해 습식식각을 진행한다. 세부 공정별로 설명하면, 마이크로 히터를 형성시키기 위해 한쪽 면에 백금을 150 nm의 두께로 증착시킨다. 이때 질화막과 백금간의 접착이 잘 이루어지게 하기 위해 백금과 질화막 사이에 두께 10 nm의 탄탈륨을 증착시킨

¹전자부품연구원 (Korea Electronics Technology Institute)

²(주)신우전자 (Shinwoo Electronics co., LTD.)

³한국항공대학교 (Korea Aerospace University)

⁺Corresponding author: jspark@keti.re.kr

(Received : Jul. 28. 2011, Revised : Sep. 14. 2011, Accepted : Sep. 16. 2011)

다. 증착한 후 백금 표면에 사진 공정을 통하여 포토레지스트 (photoresist, PR) 패턴을 만들고 건식식각을 하여 마이크로 히터를 형성시킨다. 형성된 히터 위에 절연막을 증착한다. 절연막은 실리콘 산화막 500 nm, 실리콘 질화막 250 nm, 실리콘 산화막 250 nm의 순서로 증착한다. 히터의 전극 패드를 노출시키기 위해 사진 공정을 하고 건식식각을 한다. 이후 절연막 위에 감지 전극으로 사용하게 되는 백금 박막을 증착하는데 두께는 200 nm이며 백금과 산화막의 접착이 잘 이루어지게 하기 위해 전과 마찬가지로 산화막과 백금 사이에 티타늄 10 nm를 증착한다. 증착된 백금 박막을 사진 공정을 하고 건식식각을 거쳐 감지 전극과 히터 전극을 형성시킨다. 웨이퍼의 바닥면에 멤브레인을 형성시키기 위하여 PR을 패터닝 하고 실리콘 질화막을 건식식각 한다. 마지막으로 약 25 %의 농도인 KOH 용액에 8 시간이상 웨이퍼를 담가 습식식각을 하면 식각이 진행되어 2 μm 두께의 SiN_x 멤브레인이 형성된다. 이후 칩 크기에 대로 다이싱을 거치면 한 변의 길이가 2.6 mm인 정사각형 마이크로 플랫폼이 완성된다.

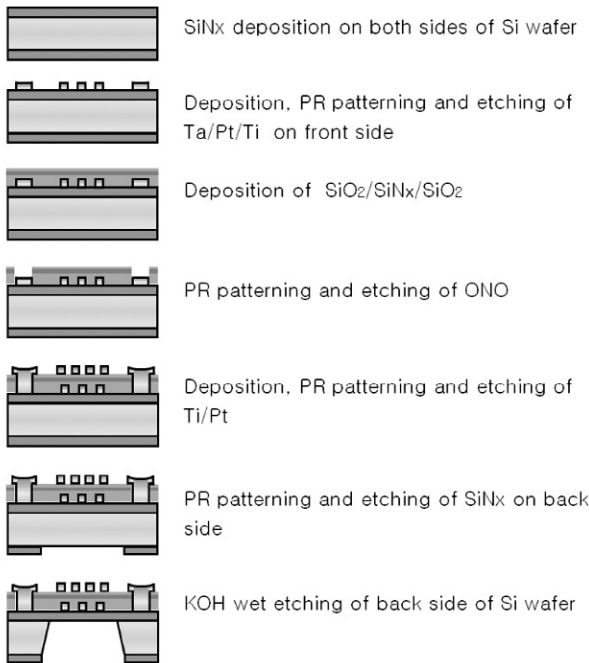


Fig. 1. Process steps to micro platform.

제작을 완료한 후 마이크로 플랫폼의 온도 대 전력 특성을 측정하였다. 측정 방법은 먼저 프로브 스테이션에 마이크로 플랫폼을 연결하였다. 마이크로 히터에 전원 공급기를 연결하여 전력을 공급 및 측정함과 동시에 적외선 열화상 카메라(Wuhan Guide Infrared, M8)의 방사율을 0.2로 설정하여 마이크로 플랫폼의 멤브레인의 온도를 측정하였다.

플랫폼의 히터에 입력 전압을 0.5 V를 인가하여 멤브레인의 온도와 히터에 흐르는 전류를 측정하여 전력값을 계산하였다. 이후 순차적으로 0.5 V씩 입력 전압을 상승시키면서 멤브레인의 온도와 전

력을 측정하였다. 구입한 SnO₂ 나노파우더(American Element, SN-OX-03-NP-080N, 80 nm)를 제작된 마이크로 플랫폼의 감지 전극 위에 도포하고 SEM(JEOL, JSM-7600F) 사진을 촬영한 뒤, TO-5에 패키징하여 완성한 마이크로 가스센서의 메탄과 NO₂ 가스에 대한 감도를 측정하였다. 측정 방법은 마이크로 가스센서를 회로에 연결하여 1728 cc의 챔버 안에 위치시킨 후 메탄의 경우 3.5 V를 인가하며 NO₂의 경우 1.4 V를 인가하였다. 이는 가스마다 감지 재료와의 반응 온도가 다르기 때문이다. 회로에 멀티미터(Fluke 287)를 연결하고 멀티미터와 컴퓨터를 적외선 통신 케이블로 연결하여 감지 전극의 저항값을 측정하였다. 메탄 농도가 10 %(Ar balanced), 그리고 NO₂농도가 100.9 ppm(N₂ balanced)인 가스 용기로부터 주사기를 사용하여 가스를 추출하여 챔버에 주입한 후 2 분간 마이크로 가스센서의 감지 전극의 저항 변화를 측정하여 감도를 계산하였으며 펌프를 이용하여 3 분 동안 챔버 안을 배기하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 제작된 마이크로 플랫폼 중에서 Type 1을 나타내며, Table. 1은 제작된 마이크로 플랫폼의 치수를 나타낸다. Type 1, Type 2, 그리고 Type 3의 멤브레인은 가로, 세로 길이가 각각 1.61 mm, 1.31 mm, 그리고 1.00 mm이다. 히터와 감지 전극 패턴의 모양은 모든 타입에 대해 동일하게 설계되었다. 히터의 폭은 18.46 μm, 29.15 μm, 그리고, 38.86 μm로 구성되어 있으며 감지 전극의 폭은 21.37 μm이며 감지 전극의 간격은 56.34 μm이다.

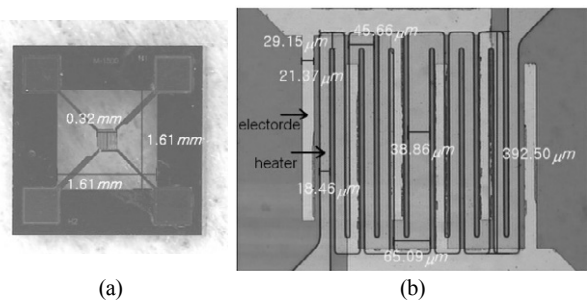


Fig. 2. Photograph of fabricated Type 1 micro platform : (a) Top view (b) heater and sensing electrode area.

Table 1. Measured dimensions of micro platforms

	Type 1	Type 2	Type 3
overall size	2.6 mm × 2.6 mm	2.6 mm × 2.6 mm	2.6 mm × 2.6 mm
membrane size	1.6 mm × 1.6 mm	1.3 mm × 1.3 mm	1.00 mm × 1.00 mm
width of electrode	21.37 μm	22.35 μm	22.35 μm
distance between electrodes	56.34 μm	52.46 μm	55.37 μm
thickness	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm

Fig. 3은 마이크로 플랫폼 각각의 타입의 마이크로 히터 온도와 소비 전력을 나타낸다. Type 1의 경우 멤브레인 중심부의 온도가 295 °C일때 인가한 전력은 28 mW로 측정되었고, Type 2의 경우 멤브레인 중심부의 온도가 297 °C일때 인가한 전력은 28 mW로 측정되었으며, Type 3의 경우 멤브레인 중심부의 온도가 296 °C일때 인가한 전력은 32.5 mW로 측정되었다. Type 1과 Type 2의 소비 전력은 거의 비슷하였으며 멤브레인의 면적이 가장 작은 Type 3의 소비전력이 다른 타입들의 그것에 비해 컸다. 따라서, 멤브레인 면적이 넓을 수록 멤브레인의 열전도율이 실리콘 벌크 부분보다 상대적으로 낮기 때문에 동일한 온도를 유지하기 위해 인가되는 전력이 감소함을 알 수 있었다.

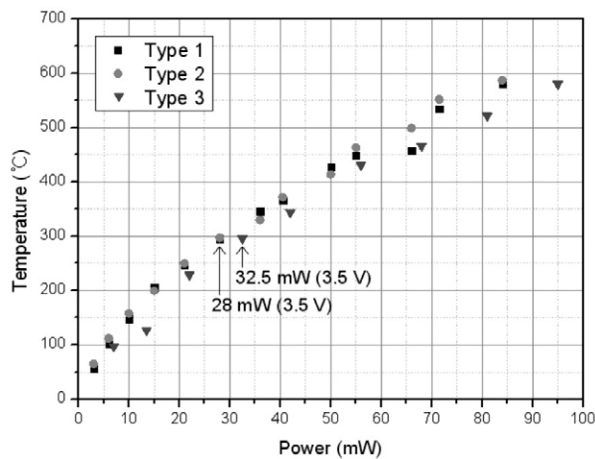


Fig. 3. Temperature of center area of membrane vs. power consumption characteristic of three types of micro platform.

제작된 마이크로 플랫폼의 가스센서 적용을 위한 실험을 수행하였다. Fig. 4는 Type 1 플랫폼에 감지 재료인 SnO₂ 나노파우더를 drop-casting하여 도포하고 건조한 후 촬영한 SEM 사진이다. 파우더 입자의 크기는 수십 nm에서 200 nm 범위 사이에 분포하였다. 감지 재료의 두께를 표면 단차 측정 장비(KLA-Tencor, P-10)를 이용하여 측정했을 때, 약 1.5 μm에서 3.5 μm 사이에 분포하였다. Type 1 플랫폼을 TO-5에 패키징하여 마이크로 가스센서를 완성하였다. Table. 2는 메탄과 NO₂에 대한 마이크로 가스센서의 감도를 측정된 결과이다. 챔버 안에 주입한 메탄 가스 농도는 1157 ppm, 578 ppm, 그리고 231 ppm이며 NO₂ 가스는 1.68 ppm, 0.84 ppm 그리고 0.42 ppm이다. 이는 챔버 부피와 주입 양, 가스 농도로부터 계산하여 얻었다. 감도는 가스를 주입한 후 감지 전극의 저항 변화량을 가스를 주입하기 전 감지 전극의 저항값으로 나누어 계산 하였다. 감도를 계산한 결과 메탄의 경우 가스 농도에 따라 각각 0.25, 0.17, 그리고 0.13이며 NO₂의 경우 가스 농도에 따라 감도는 각각 0.02, 0.01, 그리고 0.004이다. Fig. 5와 6은 Table. 2의 각 회 사이의 시간 간격과 함께 메탄과 NO₂의 다양한 가스농도에 따른 감지 전극의 저항 변화 추이를 보여준다.

Table 2. Methane and NO₂ gas sensitivities of a fabricated micro gas sensor using SnO₂ nanopowder

CH ₄		NO ₂	
gas concentration	ΔR/R ₀	gas concentration	ΔR/R ₀
1157 ppm	0.25	1.68 ppm	0.02
578 ppm	0.17	0.84 ppm	0.01
231 ppm	0.13	0.42 ppm	0.004

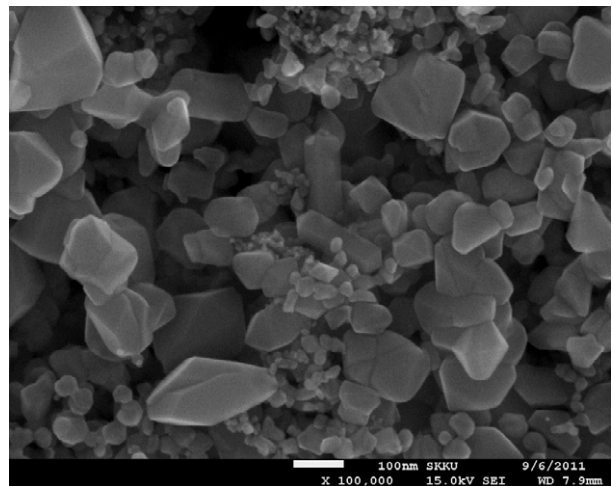


Fig. 4. SEM image of SnO₂ nanopowder using for sensing material drop-casted on micro platform Type 1.

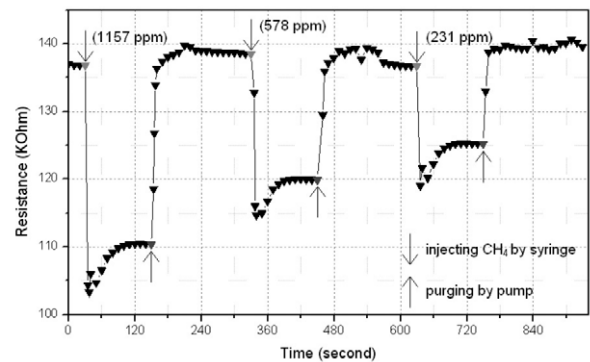


Fig. 5. Gas response of a fabricated micro gas sensor using SnO₂ nanopowder to various concentrations of methane gas.

메탄에 대해 0.5 % LEL(250 ppm, 메탄의 LEL은 50,000 ppm) 이하의 농도에서 감도를 나타내는 것을 확인할 수 있었으며, NO₂에 대해서는 0.5 ppm 이하의 농도에서 감도를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 제조된 마이크로 플랫폼이 마이크로 가스센서로 적용이 가능함을 알 수 있었다.

4. 결론

마이크로 가스센서로 이용할 수 있는 저전력 마이크로 플랫폼을 세 가지 타입으로 구분하여 제작하였다. 마이크로 플랫폼의 크기는 가로, 세로 길이는 2.6 cm이었다. 마이크로 플랫폼의 멤브레인은 정사각형 모양이며 Type 1은 한 변이 1.61 mm, Type 2는 한 변이 1.31 mm, Type 3은 한 변이 1.0 mm이었다. 마이크로 히터의 폭은 18.46 μm , 29.15 μm 그리고, 38.86 μm 로 구성되어 있으며 감지 전극의 폭은 21.37 μm 이었다. 그리고 마이크로 플랫폼의 전력 대 온도 측정 결과 Type 1의 경우 히터 온도가 295 °C일때 인가한 전력은 28 mW로 측정되었고 Type 2의 경우 히터 온도가 297 °C일때 인가한 전력은 28 mW로 측정되었으며, Type 3의 경우 히터 온도가 296 °C일때 인가한 전력은 32.5 mW로 측정되었다. 따라서 멤브레인이 넓을수록 소비전력이 감소함을 알 수 있었다. 제작된 마이크로 플랫폼 Type 1에 SnO₂ 나노입자 페이스트를 도포하고 패키징하여 메탄과 NO₂의 감도를 측정하였다. 메탄의 경우 1157 ppm, 578 ppm, 그리고 231 ppm의 농도에 대해 감도($\Delta R/R_0$)는 각각 0.25, 0.17, 그리고 0.13으로 측정되었으며, NO₂의 경우 1.68 ppm, 0.84 ppm, 그리고 0.42 ppm의 농도에 대해 감도는 각각 0.02, 0.01, 그리고 0.004가 측정되었다. 제조된 마이크로 플랫폼이 마이크로 가스센서로 적용 가능성을 알 수 있었다. 차후 연구를 통해, 제조된 마이크로 플랫폼의 장기 안정성 연구와 다양한 마이크로 가스센서의 연구, 그 장기 안정성에 대한 연구를 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 지원된 중소기업 기술혁신 개발사업과 융복합기술개발 사업의 연구비 지원을 받았으며, 또한, 2006년도 한국항공대학교 교비지원 연구비에 의하여 지원받았습니다. 이에 감사합니다.



장 응 진(Woong-Jin Jang)

- 2007년 2월 단국대학교 전기전자컴퓨터공학과(공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 전자부품연구원 환경소자응용연구센터 위촉연구원
- 2011년 9월 ~ 현재 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 석사과정
- 주관심분야 : 가스센서, MEMS



박 광 범(Kwang-Bum Park)

- 1994년 아주대학교 대학원 물리학과 (이학석사)
- 1994년 ~ 현재 전자부품연구원 재직
- 2009년 1월 ~ 현재 전자부품연구원 융합센서연구센터 책임연구원
- 주관심분야 : MEMS 센서/액추에이터, 마이크로 광학분석 시스템, 촉각 센서

REFERENCES

- [1] J. Cerdà Belmonte, J. Puigcorbè, J. Arbiol, A. Vilà, J.R. Morante, N. Sabaté, I. Gràcia, and C. Cané, "High-temperature low-power performing micromachined suspended micro-hotplate for gas sensing applications", *Sensors and Actuators B.*, vol. 114, pp. 826-835, 2006.
- [2] Jean-Baptiste Sanchez, Franck Berger, Michel Fromm, and Marie-Hélène Nadal, "A selective gas detection micro-device for monitoring the volatile organic compounds pollution", *Sensors and Actuators B.*, vol. 119, pp. 227-233, 2006.
- [3] B. H. Weiller, J. D. Fowler, D. Briand, N. F. de Rooij, C. J. Taylor, M. L. Homer, and M. A. Ryan, "Space applications of micro hot plate chemical sensors", *IMCS The 11th International Meeting on Chemical Sensors*, Brescia, Italy, 2006.
- [4] D. Briand, S. Colin, J. Courbat, S. Raible, J. Kappler, N.F. de Rooij, "Metal oxide gas sensors on polyimide micro-hotplates", *IMCS The 11th International Meeting on Chemical Sensors*, Brescia, Italy, 2006.
- [5] Kwang-Yong Choi, Joon-Shik Park, Kwang-Bum Park, Hyun Jae Kim, Hyo-Derk Park, and Seong-Dong Kim, "Low power micro-gas sensors using mixed SnO₂ nanoparticles and MWCNTs to detect NO₂, NH₃, and xylene gases for ubiquitous sensor network applications", *Sensors and Actuators B.*, vol. 150, pp. 65-72, 2010.

**김 인 호(In-Ho Kim)**

- 2007년 2월 아주대학교 대학원 화학공학과(박사수료)
- 현재 (주)신우전자 부설 연구소 센터팀 차장
- 주관심분야 : 가스센서, 나노소재, MEMS 공정

**박 순 섭(Soon-Sup Park)**

- 1992년 KAIST 재료공학(공학박사)
- 1992년 ~ 현재 전자부품연구원 재직
- 2009년 1월 ~ 현재 전자부품연구원 환경 소자 응용 연구센터장
- 주관심분야: 바이오 센서

**박 효 덕(Hyo-Derk Park)**

- 1993년 경북대학교 대학원 전자공학(반도체공학)(공학박사)
- 1993년 ~ 현재 전자부품연구원 재직
- 2000년 6월 ~ 2005년 6월 과기부 국가 지정연구실 마이크로센서연구실 책임자
- 2009년 1월 ~ 현재 전자부품연구원 신사업 개발 그룹장
- 주관심분야 : 물리 센서, 바이오 센서, 의료 기기, 에너지부품 및 시스템

**이 인 규(In-Kyu Lee)**

- 1992년 8월 미시간대학교 재료공학(공학박사)
- 1993년 3월 ~ 1996년 2월 전자부품연구원 선임연구원
- 1996년 3월 ~ 현재 한국항공대학교 교수
- 주관심분야: MEMS, 태양전지, 나노 분말

**박 준 식(Joon-Shik Park)**

- 2004년 한양대학교 대학원 재료공학과(공학박사)
- 1994년 ~ 현재 전자부품연구원 재직
- 2007년 8월 ~ 2009년 8월 스탠포드대학 재료공학과 파견(Visiting Scholar)
- 2001년 ~ 현재 IEC TC 47(반도체 분야) 국내간사 및 Expert
- 2009년 1월 ~ 현재 전자부품연구원 환경 소자응용연구센터 및 신사업개발 그룹 수석연구원
- 주관심분야 : 반도체 나노선, 화학센서, 마이크로 분석기, MEMS 표준화