

마이크로 스펙트로미터 적외선 센서용 저응력 Si_3N_4 Membrane 상에서의 Thermopile 제조 및 특성

최공희*, **, 박광범**, 박준식**, 정관수*
*경희대학교 전자공학과
**전자부품연구원 나노메카트로닉스센터
e-mail : parkkb@keti.re.kr

Fabrication and Characterization of Thermopile on Low-Stress Si_3N_4 Membrane for Microspectrometer Infrared Sensor

Gong-Hee Choi*, **, Kwang-Bum Park**, Joon-Shik Park**, Kwan-Soo
Chung*

*Dept. of Electronic Engineering, Kyung Hee University,
**Nanomechatronics Center, Korea Electronics Technology Institute

Abstract

Twenty four types of thermopile for micro spectrometer infrared sensors were fabricated on low-stress Si_3N_4 membranes with $1.2\mu\text{m}$ -thickness using MEMS technology. Poly-Si thin film with thickness of 3500 \AA as the first thermocouple material, was deposited by LPCVD method. And aluminum thin film with thickness of 6000 \AA as the second thermocouple material, was deposited by sputtering method. Thermopile were designed and fabricated for optimum conditions by five parameters of thermocouple numbers (16 ~ 48), thermocouple line widths ($10\mu\text{m} \sim 25\mu\text{m}$), thermocouple lengths ($100\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$), membrane areas ($1^2\text{ mm}^2 \sim 2.5^2\text{ mm}^2$) and junction areas ($150\mu\text{m}^2 \sim 750\mu\text{m}^2$), respectively. Electromotive forces of fabricated thermopile were measured $1.1\text{ mV} \sim 7.4\text{ mV}$ at 400°C . It was thought that measurement results could be used for thermopile infrared sensors optimum structure for micro spectrometers.

I. 서 론

적외선 센서는 bolometer, pyroelectric, pneumatic, thermopile 소자 등이 있다. 그 중에서 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 기술을 이용하여 일괄 제조가 가능한 thermopile은 상업화가 되어있다[1]. Thermopile 소자는 출력 신호가 전압이고, 오프셋에 의한 왜곡이 적고, 동작 온도 범위가 넓고 신뢰성, 재현성, 생산성 등 많은 장점을 갖는다[2]. 양단의 온도차에 의해 발생하는 전압을 얻을 수 있는 thermopile은 복수개의 열전대(thermocouple)를 직렬로 연결하여 증폭된 신호를 얻을 수 있고, 출력 전기회로를 꾸미는데 유리하다. 다른 적외선 센서에 비해 감도와 주파수 응답 면에서는 특성이 낮은 단점을 갖고 있으나 여러 장점을 갖고 있는 thermopile은 마이크로 스펙트로미터의 적외선 센서로 적용되고 있다. CO_2 나 기타 대기 중의 가스농도를 측정하기 위한 우수한 특성을 갖는 적외선 센서를 제조하기 위하여 연구를 시작하였다.

Parameter별로 다양한 설계 제작을 통해 특성을 평가하고 이에 따른 결과로부터 최적화된 thermopile 적외선 센서를 만들고자 하였다. 외부 적외선 입력에 대한 출력되는 기전력 변화를 관찰하기 위해 thermopile의 다결정실리콘의 선폭, 열전대의 개수, 길이, 접합 면적 및 멤브레인의 넓이를 설계 parameter로 사용하여

24가지의 형태의 thermopile을 제작하고 그 특성을 평가하였다[3].

II. 실험

2.1 배경 이론

그림 1에서와 같이 서로 다른 도체를 접합하고 접합 부분에 열을 가하면 접합부분과 양단의 온도차에 의해서 기전력이 발생한다. 발생하는 기전력의 크기는 접합점과 도체의 양단의 온도차와 두 도체의 Seebeck 계수에 의해서 결정된다. 이것을 Seebeck effect라고 하며 양단에 발생하는 기전력은 식(1)과 같다[4].

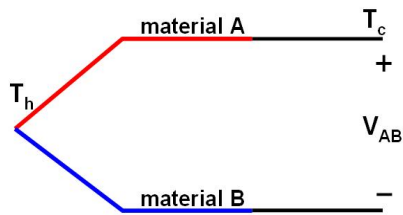


그림 1. Seebeck 효과

$$V_{AB} = (\alpha_A - \alpha_B)(T_h - T_c) \quad (1)$$

식(1)에서 T_h 과 T_c 는 각각 hot과 cold junction에서의 온도이고, α 는 A, B물질의 Seebeck계수, V_{AB} 는 양단에서 출력되는 기전력이다.

2.2 제조 공정

그림 2에 마이크로 스펙트로미터 적외선 센서용 thermopile의 제조 공정 과정을 나타내었다. Thermopile 제작에 10 Ω cm ~ 15 Ω cm의 저항률을 갖는 p-type (100) DSP(double side polished) 4인치 실리콘 기판이 사용되었다. 준비된 기판 상에 LPCVD (low pressure chemical vapor deposition)를 이용하여 실리콘질화막(Si_3N_4)이 두께 약 1.2 μm 로 증착되었다. 실리콘질화막 상에 두께 3500 \AA 의 다결정실리콘이 LPCVD로 증착되어졌으며, 실리콘 기판을 로에 넣고 POCl_3 을 주입 열 확산시켜 다결정실리콘이 20 Ω/\square ~ 25 Ω/\square 의 면저항을 갖도록 도핑시켰다. 다결정실리콘이 증착된 기판이 준비되면 설계 제작된 마스크를 가지고 기판 윗면의 다결정실리콘은 PR 패터닝되었으며, DRIE (Deep reactive ionic etching) 공정을 통해 식각되었다. 기판 상의 thermopile 패턴의 다결정실리콘의 선폭은 10 ~ 25 μm 으로 제조되었다. 패턴 모양은 실리콘질화막 멤브레인 중심부에 hot junction이 형

성되고, 멤브레인 가장자리에 cold junction이 형성되었다. 이러한 구조는 thermopile의 thermal isolation 시킴으로써 효율을 증가시키기 위한 것이다. 다결정실리콘이 식각된 면 위에 두께 6000 \AA 의 알루미늄이 sputter 법을 이용하여 증착되었다.

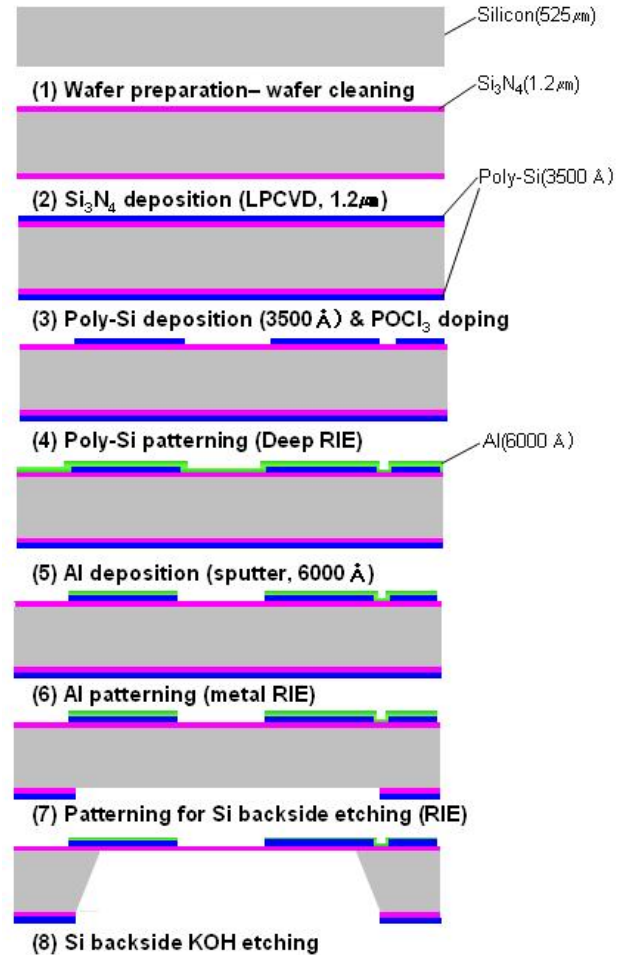


그림 2. 적외선 센서용 thermopile 제조 공정

알루미늄 증착 후, 알루미늄이 PR 패터닝 된 후 metal-RIE로 식각되었다. 마지막으로 멤브레인 구조를 형성시키기 위해 다결정실리콘과 실리콘질화막이 증착된 실리콘 기판 배면에 PR 패터닝하고, 다결정실리콘과 실리콘질화막을 RIE를 이용하여 식각하였다. 윗면에 형성된 thermopile 패턴을 식각 지그로 감싸 보호한 다음에 실리콘 기판은 80 $^{\circ}$ C의 KOH(25wt%) 실리콘 식각 용액에서 이방성 식각되었다. 그림 3에 thermopile 설계 그림과 제조된 thermopile 소자의 윗면과 배면을 광학 현미경 사진과 함께 saw 다이싱 된 소자를 TO-8 패키지에 실장된 thermopile을 나타내었다. 제조된 thermopile 소자의 크기는 4 mm \times 4 mm \times

0.5 mm 이었다.

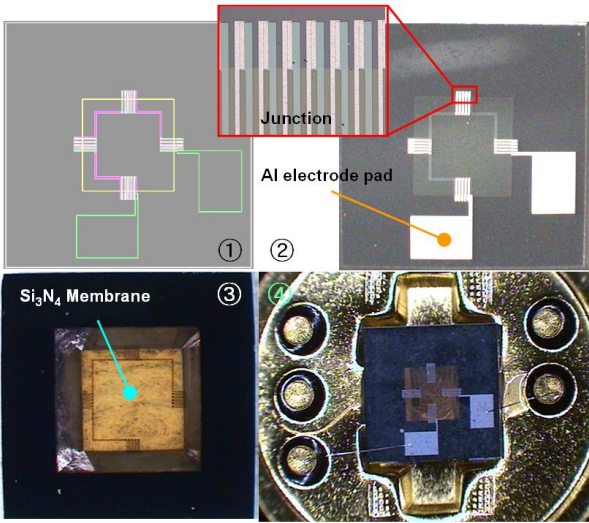


그림 3. 적외선 센서용 thermopile의 설계, 제조 및 패키징 결과 사진(① 설계 ② 제조된 thermopile 윗면 ③ 제조된 thermopile 배면 ④ 패키징된 thermopile)

2.3 실험 결과

실험은 열전대의 개수(16 개 ~ 48 개), 선폭(10 μm ~ 25 μm), 길이(100 μm ~ 500 μm), 집합 면적(150 μm^2 ~ 750 μm^2) 및 멤브레인의 넓이(1 mm \times 1 mm ~ 2.5 mm \times 2.5 mm)를 변화시켜 제조된 thermopile에 대해서 적외선을 입사시킨 후 기전력 변화를 측정하였다. 측정 장비로는 Agilent 34420A nano volt/ micro ohm meter와 Heimann IR-203 infrared source가 사용되었다. 24가지 형태의 thermopile 소자는 400°C의 적외선 광원을 가지고 측정되었다.

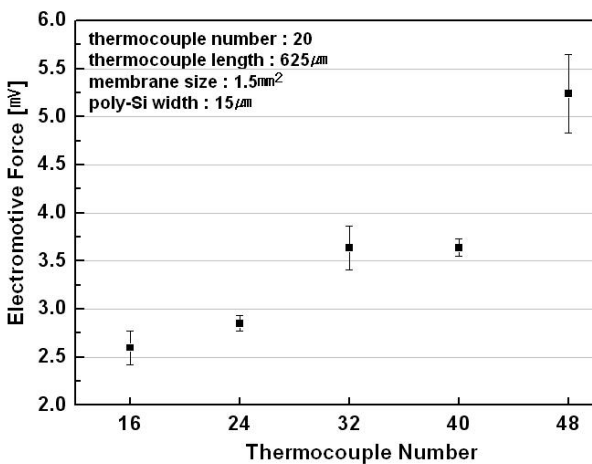


그림 4. 열전대 개수와 기전력과의 관계

그림 4는 열전대의 개수가 증가함에 따라 기전력이 증

가하는 것으로 나타났다. 열전대 개수가 증가되면 큰 기전력을 얻을 수 있으나 소자의 크기와 다결정실리콘과 알루미늄의 선폭 등 제한된 요소 때문에 열전대 개수의 제한을 받는다. 선폭을 줄일 수 있는 공정 조건이 만족된다면 보다 큰 기전력이 기대된다. 그림 5는 열전대의 다결정실리콘의 선폭과 기전력의 관계를 알아보기 위하여 설계 제작된 소자들의 기전력 변화를 측정한 것이다. 다결정실리콘의 선폭이 작을수록 기전력이 커지는 경향을 나타내었다.

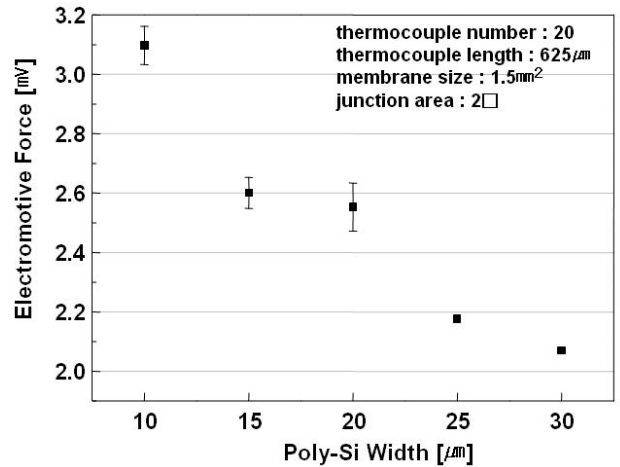


그림 5. 다결정실리콘의 선폭과 기전력 관계

그림6은 열전대 길이와 기전력의 변화를 나타낸 것이다. 열전대의 길이는 멤브레인 크기가 제한되어 500 μm 이내로 제작되었다. 열전대의 길이가 길어질수록 기전력이 증가하는 것으로 나타났다.

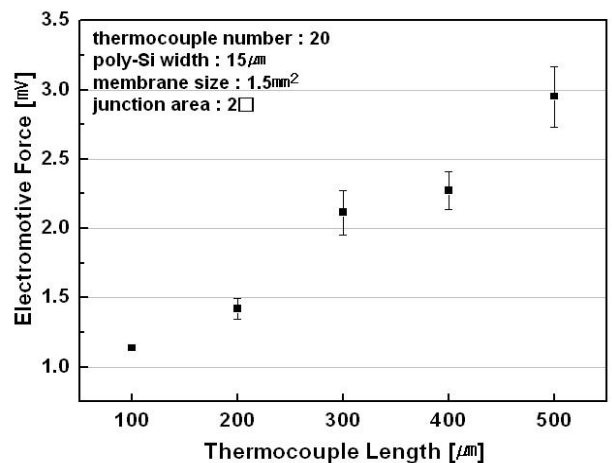


그림 6. 열전대 길이와 기전력과의 관계

그림7은 집합면적과 기전력의 변화를 나타낸 것이다. 집합면적이 증가할수록 기전력이 증가되는 나타났

다. 그러나 실험 데이터의 결과에 오차가 크게 나타남으로써 측정 결과에 대한 신뢰도가 낮아졌다.

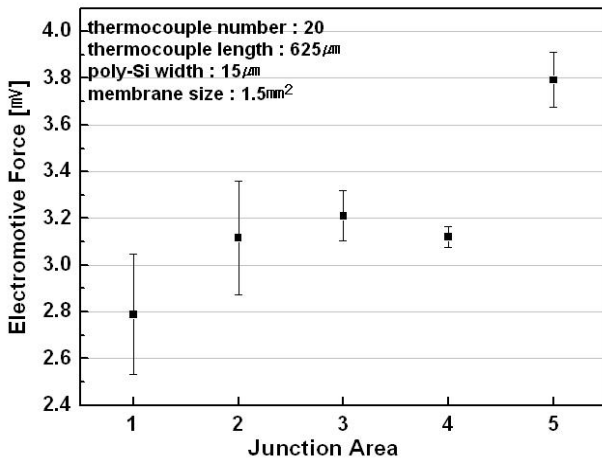


그림 7. 접합 면적과 기전력과의 관계

그림8은 실리콘질화막 멤브레인 크기와 기전력의 관계를 나타낸 것이다. 멤브레인 크기가 증가할 때 기전력의 크기가 증가되는 것으로 나타났다. 멤브레인의 크기는 입사된 적외선에 대한 기전력 발생에 가장 큰 영향을 미치는 parameter로 나타났다. 이 결과에서 멤브레인 크기에 따른 thermal isolation 정도가 thermopile의 효율에 직접적인 관계가 있는 것으로 사료된다.

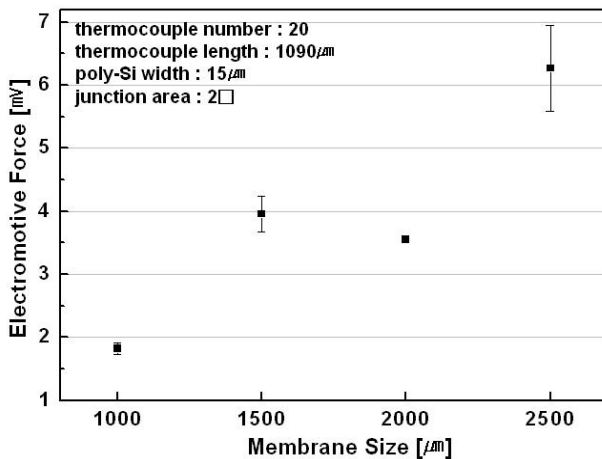


그림 8. 멤브레인 크기와 기전력과의 관계

III. 결 론

적외선 센서로 사용하기 위한 thermopile이 MEMS 공정기술을 이용하여 1.2 µm 두께의 저응력 Si₃N₄ 멤브레인 상에 제조되었다. Thermopile의 특성 최적화를

위해 각각의 parameter를 변화시켜 설계 및 제조되었으며, 설계 parameter 변화에 따른 제조된 thermopile의 기전력 변화가 측정되었다. 기전력은 각각의 설계 parameter에 따라 1.1 mV ~ 7.4 mV로 측정되었다.

본 연구를 통해 적외선 센서로 사용하기 위한 thermopile의 기전력 변화가 각각의 parameter들에 대해 확인되었고, 멤브레인 크기가 2000 µm × 2000 µm인 thermopile에서 열전대의 선폭은 10 µm, 길이는 830 µm, 열전대의 개수는 48개 일 때 보다 큰 기전력을 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 이와 같은 결과들을 활용하여 실제 마이크로 스펙트로미터용 적외선 센서로의 적용 연구가 수행될 예정이다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부와 산업자원부에서 지원된 0580 사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Masakaza Yajima, "Fabrication of Self-Supporting Polysilicon Thermopile", International Symposium on Micromechatronics and Human Science, 2000
- [2] 이성준, "써모파일형 적외선 검출기의 제작에 관한 연구", 새물리, 2000
- [3] C. Escriba, "Complete analytical modeling and analysis of micromachined thermoelectric uncooled IR sensors", Sensors and Actuators, 2004
- [4] R. Muanghlua, "The Study of Silicon Thermopile", Proceedings on TENCON 2000, 2000