

논문 2007-44IE-1-2

# 마이크로 스펙트로미터 적외선 센서용 저응력 SiNx Membrane 상에서의 최적화된 Thermopile 제작 및 특성

(Characteristics and Fabrication of Optimal Thermopile on SiNx Membrane for Microspectrometer)

김 동 식\*

(Dong Sik Kim)

## 요 약

본 연구는 마이크로 스펙트로미터 적외선 센서용으로 thermopile 소자 구조를 이용하여 설계, 제작되어 특성을 평가하였다. MEMS 공정기술을 이용하여 열적 고립 구조를 갖는 Low-stress SiNx 멤브레인상에서 마이크로 thermopile 적외선 센서를 제작하고 특성을 평가하였다. 마이크로 thermopile 적외선 센서를 측정된 결과 열전대 길이, 개수, 멤브레인 넓이에 기전력이 비례하여 출력되고 열전대 물질의 선폭에는 반비례하는 것으로 나타났다. 5가지 요소를 독립적으로 변화시켜 측정된 결과 마이크로 thermopile 적외선 센서는 멤브레인 넓이가 다른 요소에 비해 더 큰 영향을 미쳤다. 이러한 결과로 미루어 본 연구에서 제작된 마이크로 thermopile 적외선 센서는 마이크로 스펙트로미터용 적외선 센서로서 활용이 가능할 것으로 생각되었다.

## Abstract

Twenty four types of thermopile for micro spectrometer infrared sensors were fabricated on low-stress Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> membranes with 1.2 $\mu$ m-thickness using MEMS technology. Thermopile were designed and fabricated for optimum conditions by five parameters of thermocouple numbers (16 ~ 48), thermocouple line widths (10  $\mu$ m ~ 25  $\mu$ m), thermocouple lengths (100  $\mu$ m ~ 500  $\mu$ m), membrane areas (12 mm<sup>2</sup> ~ 2.52 mm<sup>2</sup>) and junction areas (150  $\mu$ m<sup>2</sup> ~ 750  $\mu$ m<sup>2</sup>), respectively. It was thought that measurement results could be used for thermopile infrared sensors optimum structure for micro spectrometers.

**Keywords :** thermopile, 적외선 센서, MEMS

## I. 서 론

적외선 센서는 bolometer, pyroelectric, pneumatic, thermopile 소자 등이 있다. 그 중에서 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 기술을 이용하여 일괄 제작이 가능한 thermopile은 상업화가 되어있다<sup>[1]</sup>. Thermopile 소자는 출력 신호가 전압이고, 오프셋에 의

한 왜곡이 적고, 동작 온도 범위가 넓고 신뢰성, 재현성, 생산성 등 많은 장점을 갖는다<sup>[2, 3]</sup>. 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<sub>2</sub>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, 길

\* 평생회원, 인하공업전문대학 컴퓨터시스템과  
(Dept. of Computer Systems & Engineering, Inha Technical College)

※ 본 연구는 2006학년도 인하공업전문대학 교내 연구비 지원에 의하여 수행 되었습니다.

접수일자: 2006년12월19일, 수정완료일: 2007년2월28일

이, 집합 면적 및 멤브레인의 넓이를 설계 parameter로 사용하여 24가지의 형태의 thermopile을 제작하고 그 특성을 평가하였다<sup>[4]</sup>.

## II. 본 론

### 1. Beer's Law

빛이 어떠한 가스나 액체를 통과하면 빛의 강도가 달라지고 이것은 일정한 비례식을 나타낸다. 그림 1은 흡광 물질에 따른 빛의 세기 변화를 나타내는 그림이다. 이러한 원리로 스펙트로미터에서 기체의 농도를 측정할 수 있다. 흡수띠의 세기는 정량적으로 나타낼 수 있다. 띠의 세기는 분자의 구조에 의존하며 또한 빛의 통로에 있으며 에너지를 흡수하는 분자들의 수에 비례한다. 흡광도와 농도 간에는 다음의 Beer's Law가 성립한다<sup>[5]</sup>.

$$A = ecl \tag{1}$$

여기서  $A$ 는 흡광도,  $\epsilon$ 는 몰흡광계수,  $c$ 는 몰농도,  $l$ 는 빛이 통과하는 시료의 길이를 cm 단위로 나타낸 길이이다. 하지만 Beer's Law는 흡광 물질의 농도가 높으면 법칙을 따르지 않는다.

### 2. Wien's displacement law

절대온도  $T$ 에서 흑체(모든 파장의 복사를 완전히 흡수하는 물체)로부터 방출되는 복사에너지 밀도가 최대가 되는 파장에 반비례한다는 법칙이다.

$$\lambda_{max} T = b \tag{2}$$

## III. 실험

### 1. 제조 과정

그림 1에 마이크로 스펙트로미터 적외선 센서용 thermopile의 제조 공정 과정을 나타내었다.

Thermopile 제작에 10  $\Omega$ cm~15  $\Omega$ cm의 저항률을 갖는 p-type (100) DSP(double side polished) 4인치 실리콘 기판이 사용되었다. 준비된 기판 상에 LPCVD 를 이용하여 실리콘질화막(SiNx)이 두께 약 1.2  $\mu$ m로 증착되고 실리콘질화막상에 두께 3500 Å의 다결정실리콘이 LPCVD로 증착되어졌으며, 실리콘 기판을 로에 넣고 POCl3을 주입 열 확산시켜 다결정실리콘을 20  $\Omega$ /□~25  $\Omega$ /□의 면저항을 갖도록 도핑하였다. 다결정실리콘이 증착된 기판이 준비되면 설계 제작된 마스크를

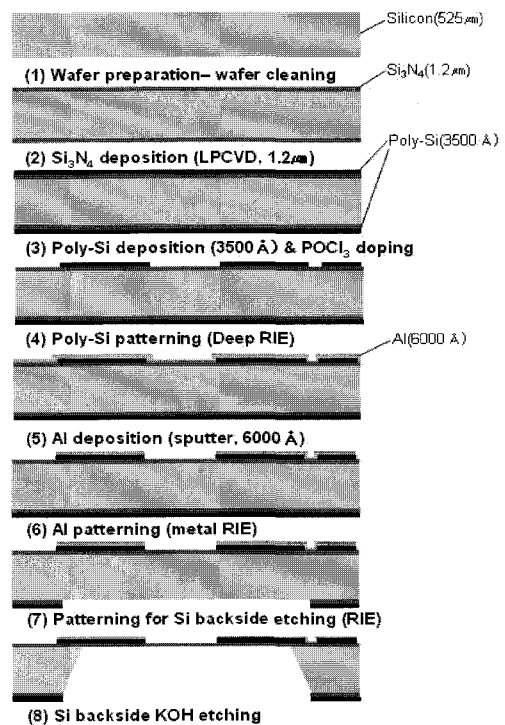


그림 1. 적외선 센서용 thermopile 제조 공정  
Fig. 1. The Fabrication process of IR detector thermopile sensor.

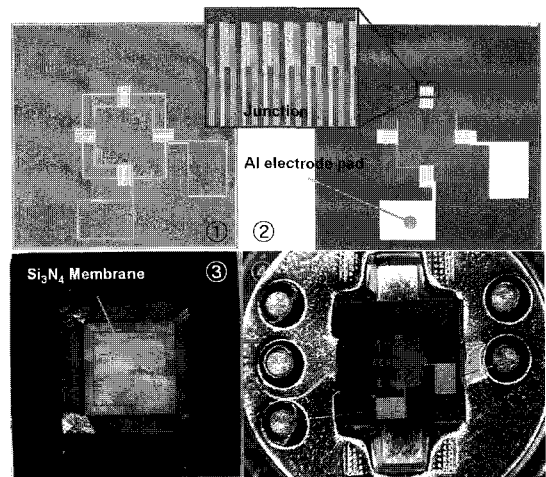


그림 2. 적외선 센서용 thermopile 소자의 사진  
(① 설계 ② 제조된 thermopile 윗면 ③ 제조된 thermopile 배면 ④ 패키징된 thermopile)  
Fig. 2. The picture of the fabricated IR thermopile detector.

(① Design ② Top view of the fabricated thermopile ③Back side view of the thermopile ④ The picture of packaged thermopile)

가지고 기판 윗면의 다결정실리콘은 PR 패터닝되었으며, DRIE 공정을 통해 식각되었다. 기판 상의 thermopile 패턴의 다결정실리콘의 선폭은 10~25  $\mu$ m으로 제조되었다. 패턴 모양은 실리콘질화막 멤브레인 중

심부에 hot junction을 형성하고, 멤브레인 가장자리에 cold junction을 형성하였다. 다결정실리콘이 식각된 면 위에 두께 6000 Å의 알루미늄을 sputter법을 이용하여 증착하였다. 알루미늄 증착 후, 알루미늄을 PR 패터닝된 후 metal-RIE로 식각하고 멤브레인 구조를 형성시키기 위해 다결정실리콘과 실리콘질화막이 증착된 실리콘 기판 배면을 PR 패터닝하고, 다결정실리콘과 실리콘질화막을 RIE를 이용하여 식각하였다. 윗면에 형성된 thermopile 패턴을 식각 지그로 감싸 보호한 다음에 실리콘 기판은 80°C의 KOH(25wt%) 실리콘 식각 용액에서 이방성 식각되었다.

그림 2에 thermopile 설계 그림과 제조된 thermopile 소자의 윗면과 배면을 광학 현미경 사진과 함께 다이싱된 소자를 TO-8 패키징한 thermopile을 나타내었다. 제조된 thermopile 소자의 크기는 4 mm × 4 mm × 0.5 mm 이었다.

2. 실험 결과

실험은 열전대의 개수(16 개~48 개), 선폭(10 μm~25 μm), 길이(100 μm~500 μm), 접합 면적(150 μm<sup>2</sup>~750 μm<sup>2</sup>) 및 멤브레인의 넓이(1 mm × 1 mm~2.5 mm × 2.5 mm)를 변화시켜 제조된 thermopile에 대해서 적외선을 입사시킨 후 기전력 변화를 측정하였다. 그림 3은 열전대의 개수가 증가함에 따라 기전력이 증가하는 것으로 나타났다. 열전대 개수가 증가되면 큰 기전력을 얻을 수 있으나 소자의 크기 등 제한된 요소 때문에 열전대 개수의 제한을 받는다. 그러나 칩 사이즈와 선폭 등의 공정 한계만 극복한다면 더 많은 열전대를 집적시켜 좋은 기전력을 갖는 thermopile을 만들 수 있을 것이라고 판단한다.

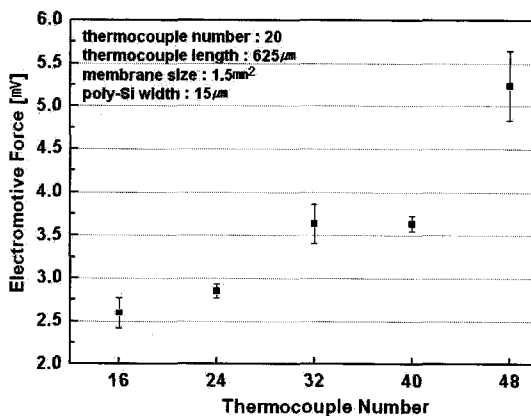


그림 3. 열전대 개수와 기전력과의 관계  
Fig. 3. Thermocouple number vs. electromotive force.

그림 4는 열전대의 다결정실리콘의 선폭과 기전력의 관계를 알아보기 위하여 설계 제작된 소자들의 기전력 변화를 측정된 것이다. 다결정실리콘의 선폭이 작을수록 기전력이 커지는 경향을 나타내었다.

그림 5는 열전대 길이와 기전력의 변화를 나타낸 것이다. 열전대의 길이는 멤브레인 크기가 제한되어 500 μm 이내로 제작되었다. 열전대의 길이가 길어질수록 기전력이 증가하는 것으로 나타났다.

그림 6은 접합면적과 기전력의 변화를 나타낸 것이다. 그러나 실험 데이터의 결과에 오차가 크게 나타냄으로써 측정 결과에 대한 신뢰도가 낮아졌다.

그림 7은 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.

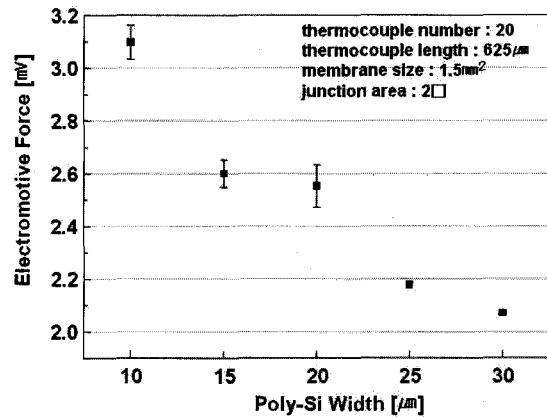


그림 4. 다결정실리콘의 선폭과 기전력 관계  
Fig. 4. Poly Si width vs. electromotive force.

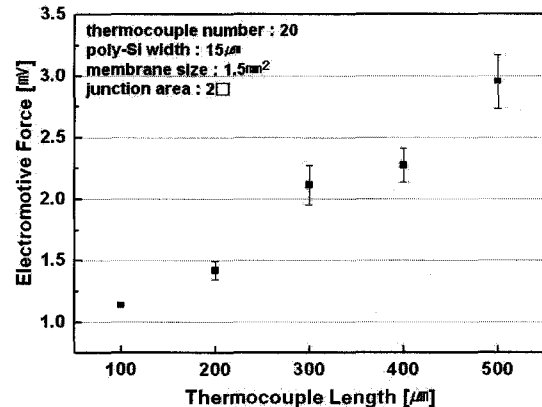


그림 5. 열전대 길이와 기전력과의 관계  
Fig. 5. Thermocouple length vs. electromotive force.

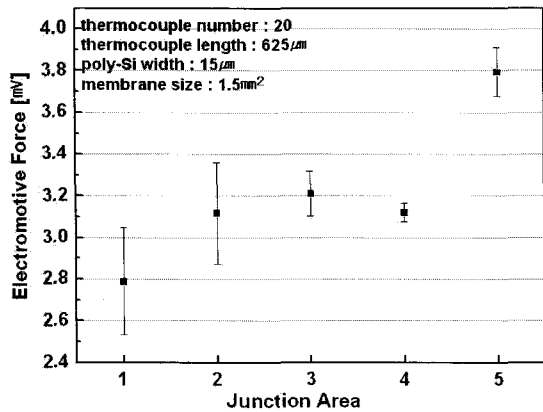


그림 6. 접합 면적과 기전력과의 관계

Fig. 6. Junction Area vs. electromotive force.

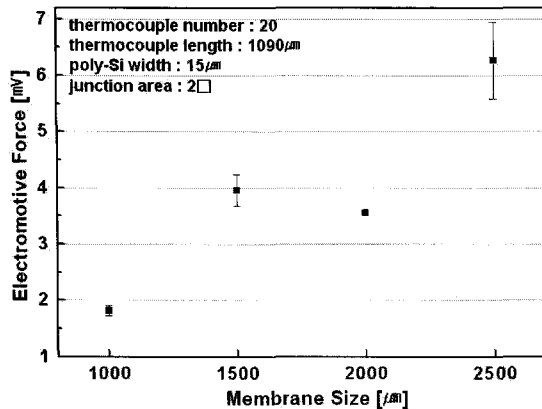


그림 7. 멤브레인 크기와 기전력과의 관계

Fig. 7. Membrane size vs. electromotive force.

#### IV. 결 론

Thermopile의 특성 최적화를 위해 각각의 parameter를 변화시켜 설계 및 제조하였으며, 설계 parameter는 멤브레인 물질의 선폭, 멤브레인 길이, 멤브레인 개수, 접합면적 그리고 멤브레인 크기이며 각 parameter에 따른 thermopile의 기전력 변화를 측정하였다. 열전대의 길이, 개수, 멤브레인의 넓이에 기전력이 비례하여 출력되고, 열전대 물질의 선폭에는 반비례하는 것으로 나타났다. 결과 그림에서 몇 군데 선형성을 벗어난 이유는 제작 과정에서 생긴 오류라고 판단된다. 기전력은 각각의 설계 parameter에 따라 1.1 mV ~ 7.4 mV로 측정되었으며 멤브레인의 크기가 다른 요소에 비해 더 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 현재까지 전기적 감도에 대한 실험은 없었지만, 이와 같은 결과들은 향후 실제 공정에서 마이크로 스펙트로미터용 적외선 센서제작에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

- [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] R. Muanghlua, "The Study of Silicon Thermopile", Proceedings on TENCON 2000, 2000.
- [4] C. Escriba, "Complete analytical modeling and analysis of micromachined thermoelectric uncooled IR sensors", Sensors and Actuators, 2004.
- [5] 권기성의 11명, 일반화학, 일반화학교재연구회, 광림사, 1995.

#### 저 자 소 개

김 동 식(평생회원)  
 대한전자공학회 논문지  
 제43권 IE편 제2호 참조  
 현재 인하공업전문대학 컴퓨터시스템과 부교수