

체온계용 마이크로 써모파일

유금표, 김윤호, 변호민, 강문식, 민남기
고려대학교

Micro Thermopile for body Temperature

Kum-Pyo Yoo, Yun-Ho Kim, H.M. Byun, Moon-Sik Kang, Nam-Ki Min
Korea University

Abstract - MEMS를 기반으로 하는 써모파일은 여러 산업분야에 측정 센서로 각광받고 있다. 이러한 써모파일은 유속, 가스, 칼로리미터 및 비접촉식 체온계 등의 적외선 및 열 측정 소자로 사용되고 있다.

기존의 써모파일은 산화막/질화막/산화막이나 혹은 산화막/질화막의 공정을 사용하여 제작되며, 열전쌍은 지벡 계수가 큰 여러 가지 물질을 사용하여 제작되어 발표되고 있다. 그러나 본 논문에서는 저 스트레스 질화막을 사용하여 다이어프램을 제작하였다. 열전쌍은 인을 주입한 다결정 실리콘과 알루미늄을 직렬로 연결하여, 60쌍으로 제작하였고, 또한, 열접점의 열전쌍의 접합 모양을 변경하여 감도를 증가 시켰다.

소자의 크기는 3×3㎘이고, 활성영역은 1×1㎘ 이다. 그리고 출력은 사람 체온인 37℃일 때, 0.403μV의 출력전압을 보였다.

1. 서 론

써모파일은 열형 적외선 센서로서 비접촉 온도 센서이고, 측정범위는 -20℃에서 1000℃까지 측정이 가능하다. MEMS 공정을 이용한 써모파일은 다결정실리콘과 금속으로 이루어진 열전쌍을 이용하여 제작되어지고 있다. 또한 열 혹은 적외선을 측정하는 여러 분야에서 응용되고 있다.[1]

기존의 써모파일 적외선 센서는 질화막/산화막/질화막(SiO₂/Si₃N₄/SiO₂) 혹은 질화막/산화막(Si₃N₄/SiO₂)의 구조를 가진 다이어프램 위에 열전쌍을 증착하여 제작되었다. 또한 열전쌍의 열을 받는 접합부분인 열접점의 모양의 변화에 따른 출력 변화를 확인하는 실험이 되어 있지 않았다.

본 논문에서는 다층 구조로 제작되어 공정이 복잡하게 되는 다이어프램을 저 응력 질화막을 사용하여, 단층 구조로 공정을 단순화 하였고, 감도를 증가시키기 위해서, 다이어프램 위에 증착되는 열접점의 열전쌍 모양을 확장 사각형(Square) 모양과 속이 빈 사각형(hollow) 모양 두 가지로 하여 출력 특성 및 감도를 확인 하였다. 측정 범위를 사람의 체온이 변화하는 부분으로 35℃에서 42℃까지 국한하여 출력을 측정하였다.

2. 본 론

2.1 이 론

써모파일은 마이크로 단위로 제작된 열전쌍을 직렬로 연결하여 다이어프램 위에 제작한 소자이다. 그림 1은 열전쌍의 구조를 보여 준다. 이러한 열전쌍의 주된 효과는 지벡 효과이다. 지벡 효과는 서로 다른 물질이 직렬로 연결되어 있을 때, 접점(열접점)과 비접점(냉접점)의 온도차이가 발생하면 비접점의 양단에 기전력이 발생되는 현상이다. 이때, 발생하는 전압과 온도차이의 비의 계

수를 지벡 계수라 한다.

한 개의 열전쌍인 물질 A와 물질B에서 온도 차이에 의해서 발생하는 기전력은[2]

$$\Delta V_{AB} = (\alpha_A - \alpha_B)\Delta T$$

이다. 여기서, α_A, α_B 는 각물질의 지벡 계수이고, ΔT 는 열접점과 냉접점의 온도차이다.

그리고 써모파일의 열전쌍이 n개가 직렬로 연결이 되어 있을 때의 감도 S는

$$S = \frac{\Delta V_{AB}}{\Delta T} = n(\alpha_A - \alpha_B)$$

이다.

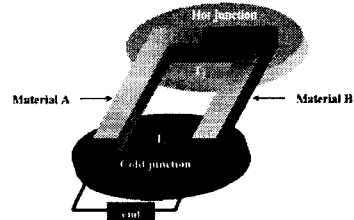


그림 1. 지벡 효과를 이용한 열전쌍 구조

2.2 제작 과정

그림 2는 써모파일의 제작 과정을 나타내었다. 실리콘 기판은 전면 공정이 끝난 후, 후면으로부터 이방성 식각을 하기 위해서 웨이퍼 면이 (100)인 웨이퍼를 사용하고, 크기는 4"이다.

기판위에 다이어프램을 제작하기 위해서 우선 실리콘이 다량으로 함유된 저 응력 질화막을 LPCVD 공정을 이용하여, 8500Å으로 증착한다. 저 응력 질화막위에 열전쌍으로 사용될 물질인 인이 주입된 다결정 실리콘을 증착을 한다. 인(P)이 주입된 다결정 실리콘을 증착하기 위해서는 우선 다결정 실리콘을 LPCVD 공정을 사용하여 증착한 후, 인을 주입한다. 다결정 실리콘에 인을 주입하기 위해서는 두 단계의 공정을 한다. 우선 선증착 공정으로 다결정 실리콘 위에 P₂O₅층을 증착하고, 드라이브-인 시간을 두어 다결정 실리콘에 인을 도핑한다. 마지막으로 증착된 P₂O₅층을 HF를 사용하여 제거하여 준다. 인이 주입된 다결정 실리콘의 지벡 계수는 약 100~500μV/K 이다. 면저항은 14.5Ω/□이고 편차는 0.5Ω/□ 이었다. 인이 주입된 다결정 실리콘위에 알루미늄을 E-beam 증착기를 사용하여 2000Å 증착한다. 인이 주입된 다결정 실리콘과 알루미늄이 열전쌍을 형성하여 지벡 효과를 발생한다. 흑체는 식각이 안되어 열전쌍 위에 흑체를 형성하기 위해서는 리프트-오프 공정을 사용하게 된다. 마지막으로 TMAH를 사용하여 후면 이방성 식각을 실시한다.

TMAH의 온도를 90°C로 하여 웨이퍼를 지그에 넣어 식각을 실시한다.

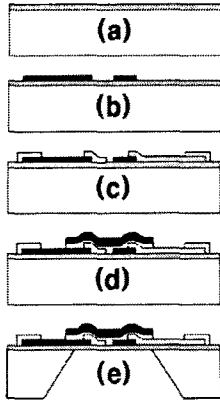


그림 2. 써모파일 제작 과정:(a)질화막 8500Å 증착, (b)P 주입된 다결정 실리콘 증착, (c)Al증착, (d)절연층 및 흑체 증착, (e) 후면 이방성 식각

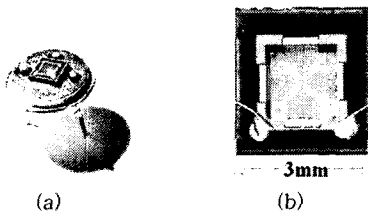


그림 3. 완성된 써모파일: (a) 헤더에 장착한 써모파일 칩, (b) 흑체를 올리지 않은 써모파일 칩

2.3 실험 결과

그림 4는 써모파일의 온도에 따른 출력을 측정하기 위한 시스템이다. 열원을 이용하여 써모파일의 특성을 측정하게 된다. 열원으로는 khantal선을 사용하였다. khantal선은 직렬로 전원 공급 장치를 연결한다. 또한, 온도를 일정하게 유지하기 위해서 열전대(K-type)와 온도 제어기를 설치하여 열원에서의 발생하는 온도를 측정 및 일정한 온도가 되도록 제어한다. 써모파일의 출력을 측정하기 위해서는 신호가 작게 나오므로 출력 전압을 증폭하는 OP-AMP를 설치하고 측정은 agilent사에서 제작된 디지털 멀티미터 34401A와 NI사의 Labview를 사용하여 측정하였다.

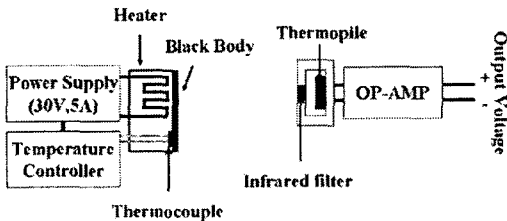
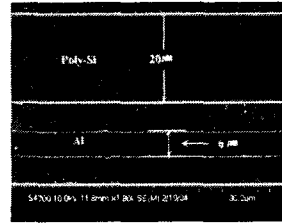


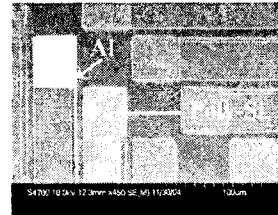
그림 4. 써모파일 온도 특성 측정을 위한 측정시스템

그림 5는 제작된 써모파일의 열전쌍의 선평과 접점의 구조를 나타내고 있다. 알루미늄의 선평은 6μm이고, 다결정 실리콘은 20μm로 제작하였다. 알루미늄과 다결정 실리콘의 접합 부분은 알루미늄의 접합된 부분의 모양을 변경하여 제작하였다. 알루미늄의 속이 짝 찬 사각형 모양

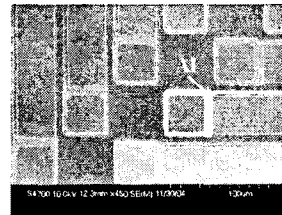
은 50μm×45μm의 직사각형 모양으로 제작되었고, 속이 빈 사각형 모양은 50μm×45μm의 크기에 안쪽에 35μm×35μm 크기로 알루미늄을 식각하여 제작하였다.



(a) 다결정 실리콘과 알루미늄의 선평



(b) 알루미늄의 속이 짝 찬 사각형 모양



(c) 알루미늄의 속이 빈 사각형 모양

그림 5. 써모파일의 열전쌍의 선평과 접점의 구조

그림 6은 제작된 써모파일의 열전점이 속이 빈 사각형 (hollow) 모양과 일반적인 속이 짝 찬 사각형(square) 모양일 때의 출력의 특성을 보여주고 있다. 온도 범위는 체온 측정범위인 35°C에서 42°C까지로 하였다. 그림에서 보는 바와 같이 속이 빈 모양을 가지는 소자의 출력 특성이 더 우수한 것을 볼 수 있다. 출력의 특성은 기존의 써모파일과 같은 비선형적인 특성을 보이고 있으며, 사람의 정상 체온인 37°C일 때 속이 빈 모양의 소자는 출력 전압은 약 0.403mV이었고, 속이 짝 찬 사각형은 약 0.303mV이었다. 속이 빈 사각형 모양이 속이 짝 찬 사각형 모양에 비해 출력이 약 0.1mV 증가한 것을 볼 수 있다.

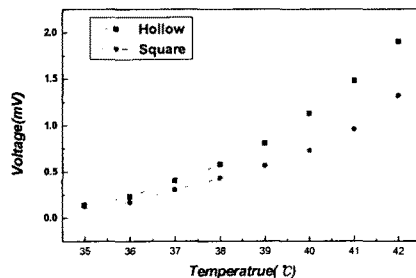


그림 6. 써모파일의 열전점에 따른 출력 특성

3. 결 론

써모파일을 반도체 공정과 벌크 마이크로머시닝 공정으로 제작하여 출력 특성을 확인 하였다. 또한 기존의 다층구조의 다이어프램 대신에 저 용력 질화막 단층으로 다이어프램을 제작하여, 복잡한 구조를 단순화 하였으며, 감도 향상을 위해 열접점의 접합 모양을 변화 시켜 정상 체온인 37℃일 때 출력을 약 0.403μV로 증가 시켰다.

감 사 의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2002-000-00591-0) 지원으로 수행되었음.
--

[참 고 문 헌]

- [1] P.Van Gerwen, T.Slater, "Thin-film boron-doped polycrystalline silicon70%-germanium30% for thermopiles," Sensors and Actuators A, vol. 53, 325-329, 1996.
- [2] S.S. Allison, R.L. Smith, D.W. Howard, "A bulk micromachined silicon thermopile with high sensitivity," Sensors and Actuators A, vol. 104, 32-39, 2003.
- [3] D.T. Chang, D.M. Chen, "CMOS Integrated Infrared Sensor," Proceedings of the 1997 International Conference on Solid-State Sensors and Actuators(Transducers 97), vol. 2, 1259-1262, 1997.
- [4] Sung Jun Lee, Yun Hi Lee, Sang Hi Suh, "Uncooled thermopile infrared detector with chromium oxide absorption layer,"Sensors and Actuators A, vol. 95, 24-28, 2001