

MEMS 기술을 이용한 초소형 풍향 풍속 센서

유은실** , 신규식*, 조남규*, 박정호**, 이대성*
전자부품연구원 나노센서연구센터*, 고려대 전자전기공학과**

A micro wind sensor fabricated using MEMS technology

Eun-Shil Yoo** , Kyu-Sik Shin*, Nam-Kyu Cho*, JungHo Pak**, Dae-Sung Lee*

Nano Sensor RC, Korea Electronics Technology Institute*, School of Electronic and Electrical Engineering, Korea University**

Abstract - 기상관측 분야에서는 풍속센서의 소형화 요구가 커지고 있어 Air flow sensor를 이용한 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 풍향 풍속센서의 응용연구가 활발하다. MEMS 풍향 풍속 센서는 수 mm 크기를 가지면서도 바람의 세기와 함께 방향을 측정하여야 하는데, 센서 칩이 노출되어 있어 외부환경으로부터 영향을 받기 때문에 센서소자의 내오염성과 내구성 확보가 중요하다. 따라서 본 연구에서는 절연막으로 비점착성의 테프론 막을 적용하여 외부환경으로부터 영향을 줄일 수 있는 열감지 방식의 MEMS 풍향 풍속 센서 칩을 제작하였다. 테프론 코팅막을 이용한 풍향 풍속 센서는 0.1m/s의 resolution을 가지며, 최대 15m/s까지 측정이 가능하여, 오염에 강하고 발수성을 센서를 제작하였다.

1. 서 론

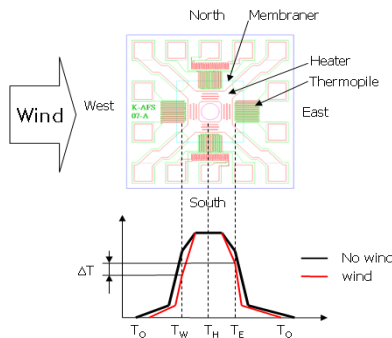
기상관측용 풍향 풍속 센서는 바람에 의해 회전하는 3배식 풍속센서에서 최근의 풍향까지 감지 가능한 초음파식 센서로 발전하였다. 초음파식 센서는 성능이 우수하고 내환경이 뛰어나 기상관측용으로 적합하나 크기가 비교적 크고 가격이 높아, 센서네트워크 또는 유비쿼터스 환경에 적용하기에는 부족한 면이 있다. 따라서 풍향 풍속 센서의 소형화 및 저가격화에 대한 개발요구가 높아지고 있는 현실에서 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술을 이용한 풍향 풍속 센서는 하나의 대안으로 기대하고 있다. MEMS 풍속센서는 공기유량 또는 휴대용 풍속센서로 활용되어 왔고 자동차의 흡기공기량을 측정하는 MAF(Mass Air Flow) 센서로 적용된 예가 있으나, 풍향과 풍속을 동시에 측정할 수 있는 초소형 MEMS 제품은 나오지 않았고, 다만 박막 NTC 방식의 MEMS 센서에 대한 연구가 진행되고 있다[1].

MEMS 풍향 풍속 센서는 수 mm 크기로 제작이 가능하고 감지성을 높일 수 있으나, 센서의 특성상 외부환경에 노출되어 황사, 먼지, 비 또는 눈 등에 영향을 받아 동작이 제한되거나 오동작이 유발될 수 있다. 따라서 MEMS 풍향 풍속 센서는 내오염성과 내구성 확보에 대한 추가 연구가 필수적이다. 본 연구에서는 thermal MEMS 풍향 풍속 센서에 테프론 막을 적용하여 내열성, 비점착성 및 절연 안정성이 높고 마찰계수가 낮은 특성을 갖는 풍향 풍속 센서를 제작하였다.

2. 본 론

2.1 센서의 설계 및 원리

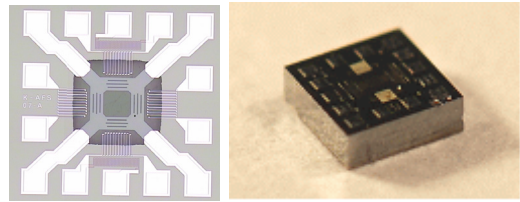
제작한 thermal MEMS 풍향 풍속 센서는 thermopile 센서를 이용하여 온도변화를 감지하도록 한다[2]. 그림 1과 같이 칩 중앙부에 사각형 모양의 발열체가 있고, 그 주위에 thermopile 센서가 동서남북 네 방향으로 나열되어 있다.



<그림 1> MEMS 풍향 풍속 센서의 구조 및 동작원리

센서의 동작원리는 다음과 같다. 칩 중앙부의 발열체는 약 150°C 가량으로 온도를 유지한다. 이때, 외부에서 바람이 유입되면 풍속에 따라 바람 인입부의 온도(T_w)가 인입부 반대편의 온도(T_e)에 비해 낮아진다. 센서 내부의 바람에 노출된 부분은 바람의 세기에 따라 온도가 변하고, 바람에 노출되지 않은 부분은 온도차가 없다. 온도차가 있는 부분을 이용하면, 외부에서 유입되는 바람의 방향을 센서 칩 평면상에서 벡터분해를 통해 동서풍과 남북풍으로 구분하여 측정하고, 이 합벡터를 통해 풍향과 풍속을 알 수 있다.

MEMS 풍향 풍속 센서는 다음 공정을 통해 제작하였다. 우선 500 μ m 두께의 실리콘(Si) 기판에 1 μ m의 실리콘질화막(SiN)을 LPCVD를 사용하여 증착하였다. 실리콘질화막 상단에 0.2 μ m 두께의 폴리실리콘(p-Si)을 패터닝하여 발열체를 구성하였고, 그 위에 0.5 μ m 두께의 알루미늄(Al)과 폴리실리콘(p-Si)으로 thermopile센서를 형성하였다. 실리콘산화막(SiO₂)으로 passivation한 후 그 위에 테프론 막을 코팅하였다. 그림 2는 제작된 MEMS 풍향 풍속 센서의 외형이며, 1.5mm×1.5mm의 크기를 가지고 있다.

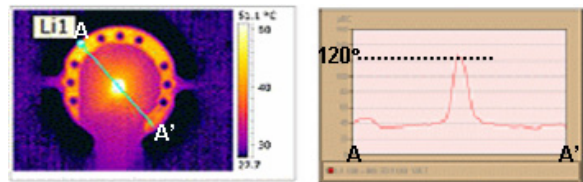


<그림 2> 제작된 MEMS 풍향 풍속 센서

2.2 특성 평가

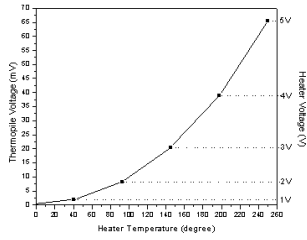
2.2.1 풍향 풍속 센서의 풍향과 풍속에 따른 측정 결과

제작한 풍향 풍속 센서 칩의 발열체에 전압을 인가하면 발열체가 발열하는데, 이 때 인가전압에 따른 발열체의 온도분포를 보기위해서 적외선 온도 프로파일로 전압에 따른 온도를 확인하였다. 그림 3(a)는 풍향 풍속 센서 칩에 5V를 인가하였을 때, 발열체가 발열하는 모습을 적외선 카메라로 찍은 것이고, 이때의 A-A' 사이의 온도를 그림 3(b)의 그래프로 나타내었다. 발열체의 온도는 구동전압이 5V일 때, 약 120°C 수준으로 확인되었다.



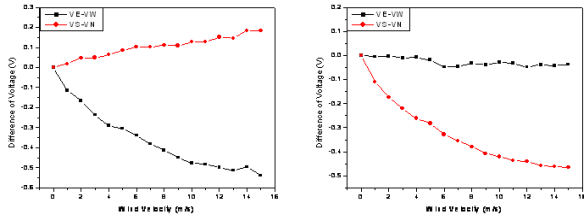
(a) 풍향 풍속 센서 칩의 적외선 카메라 영상
(b) 5V 구동 시 풍향 풍속 센서 칩의 온도 프로파일

그림 4는 발열체에 1V에서 5V까지 1V의 간격으로 전압을 인가하고 각 전압에 해당하는 발열체의 발열된 온도와 thermopile의 출력전압을 나타낸 것이다. 발열체의 온도가 40°C, 92.5°C, 145°C, 197.5°C, 250°C일 때는 thermopile의 출력전압이 각 1.896mV, 8.263mV, 20.407mV, 38.987mV, 65.50mV로 측정되었다. 이것은 발열체의 온도가 높아짐에 따라 thermopile의 출력전압도 높아짐을 확인하였다.



〈그림 4〉 발열체의 온도와 thermopile의 출력전압

그림 5는 발열체에 3V를 인가하고 풍속을 0m/s에서 15m/s까지 1m/s의 간격으로 바람이 불 때 동서 및 남북방향의 출력전압의 차를 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 바람이 동에서 서로 불 때 출력전압의 차(V_E-V_W)를 구한 것으로써 풍속이 빠를수록 동서방향의 출력전압의 차(V_E-V_W)가 커지는 반면 남북방향의 출력전압의 차(V_S-V_N)는 약간의 변화를 보여주고 있다. 그림 5(b)는 바람이 남에서 북으로 불 때 출력전압의 차(V_S-V_N)를 구한 것으로써 동서방향의 출력전압의 차에 비해 남북방향의 출력전압의 차가 크다는 것을 알 수 있다. 이는 풍속이 높아짐에 따라 동서 및 남북방향의 출력전압의 차가 커지는데 이 출력전압의 차로 바람의 속도를 확인할 수 있다.



〈그림 5〉 (a) 동서방향의 풍속으로 인한 출력전압의 차
(b) 남북방향의 풍속으로 인한 출력전압의 차

제작된 풍향 풍속 센서를 풍향에 따라 출력된 전압을 측정하기 위해 고속시험풍향풍동기 안에 설치하였다. 표 1은 고속시험풍향풍동기 안에 설치한 풍향 풍속 센서의 풍향의 변화에 따라 출력된 전압을 측정된 것이다. 풍향은 E에서 W로 불어오는 바람을 동풍(0°), N에서 S로 불어오는 바람을 북풍(90°), W에서 E로 불어오는 바람을 서풍(180°), S에서 N으로 불어오는 바람을 남풍(270°)으로 명칭을 정하였다. 동풍(0°)일 때 V_N-V_S 는 -0.325V, 북풍(90°)일 때 V_E-V_W 는 -0.356V, 서풍(180°)일 때 V_N-V_S 는 0.432V, 남풍(270°)일 때 V_E-V_W 가 0.367V로 측정되었다. 이렇게 측정된 출력전압으로 풍향을 확인할 수 있다.

〈표 1〉 풍향 특성 (단위 : V)

wind direction	East wind(0°)	North wind(90°)	West wind(180°)	South wind(270°)
V_E	1.594	1.482	1.624	1.836
V_W	1.621	1.838	1.598	1.469
V_N	1.488	1.671	1.836	1.649
V_S	1.813	1.571	1.404	1.612
V_E-V_W	(-0.027)	-0.356	(0.026)	0.367
V_N-V_S	-0.325	(0.101)	0.432	(0.039)

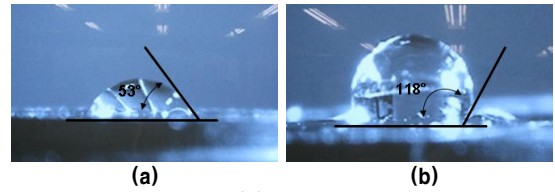
2.2.2 발수 특성

외부로 노출이 되어 발열체와 thermopile을 공기 중의 먼지(황사), 비, 또는 눈과 같은 외부환경에 의해 영향을 줄이기 위해 내열성, 비점착성, 절연 안정성 및 마찰계수가 낮은 특성을 가진 테프론을 풍향 풍속 센서 표면 위에 코팅을 한 후 발수 특성 테스트를 진행하였다.

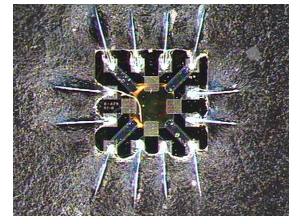
본 실험에서는 풍향 풍속 센서의 발수 특성 테스트를 정적 접촉각 측정법을 사용하여 테프론 코팅하기 전과 후를 비교하였다. 그림 6과 같이 테프론 코팅 전의 접촉각은 53°, 코팅 후의 접촉각은 118°로 측정되었다. 일반적으로 접촉각이 90° 이상이면 발수성(소수성)으로 보는데 테프론 코팅을 한 결과 접촉각이 118°로 높은 발수특성을 보였다. 발수성이 높을수록 고체의 표면에 물방울의 흡착이 어렵게 된다.

그림 7은 테프론 코팅이 끝난 풍향 풍속 센서의 외형이다. 테프론 코팅으로 인해 발수성이 높아진 풍향 풍속 센서는 하면 공기 중의 먼지

(황사), 비, 또는 눈과 같은 외부환경으로부터 보다 효율적으로 발열체와 thermopile을 보호할 것으로 판단한다.



〈그림 6〉 (a) 테프론 코팅 전
(b) 테프론 코팅 후



〈그림 7〉 테프론 코팅 후의 풍향 풍속 센서

3. 결 론

MEMS 기술을 이용하여 센서네트워크의 기상관측용으로 활용이 가능한 초소형 풍향 풍속 센서를 제작하여 풍속 감지 성능과 풍향 감지 가능성을 확인하였다. MEMS 센서 칩의 크기는 1.5mm×1.5mm 수준이었고 약 15m/s까지 성능을 측정하였다. 풍향은 동서남북의 풍향을 물론 센서의 최적화 및 구조보상을 통하여 정밀도를 높일 수 있을 것으로 본다. 또한 풍향 풍속 센서 표면 위에 테프론 코팅을 하여 발수특성 테스트를 한 결과 테프론의 높은 발수특성으로 표면에 오염물질의 흡착을 어렵게 하는 것을 확인하였다. MEMS 센서 칩 표면 위에 테프론 코팅으로 공기 중의 먼지(황사), 비, 또는 눈과 같은 외부환경의 오염물질로부터 노출된 발열체와 thermopile을 보호하여 센서의 내구성을 크게 향상시킬 것이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 전력산업연구개발의 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] S. Park, S. Kim, S. Kim, and Y. Kim, "A FLOW DIRECTION SENSOR FABRICATED USING MEMS TECHNOLOGY AND ITS SIMPLE INTERFACE CIRCUIT", *Sensors and actuators. B*, vol. 91, pp. 347-352, 2003.
- [2] F. Mayer, A. Häberli, H. Jacobs, G. Ofner, O. Paul, and H. Baltes, "SINGLE-CHIP CMOS ANEMOMETER", *IEEE CNF Electron Devices Meeting*, Dec., pp. 895-898, 1997.