

바이메탈형 적외선 이미지 센서 제작과 칸틸레버 변위에 관한 고찰

강정호[#]

A study on MicroCantilever Deflection for the Infrared Image Sensor using Bimetal Structure

Jung-Ho Kang[#]

ABSTRACT

This is a widespread requirement for low cost lightweight thermal imaging sensors for both military and civilian applications. Today, a large number of uncooled infrared detector developments are under progress due to the availability of silicon technology that enables realization of low cost IR sensor. System prices are continuing to drop, and swelling production volume will soon drive process substantially lower. The feasibility of micromechanical optical and infrared (IR) detection using microcantilevers is demonstrated. Microcantilevers provide a simple Structure for developing single- and multi-element sensors for visible and infrared radiation that are smaller, more sensitive and lower in cost than quantum or thermal detectors. Microcantilevers coated with a heat absorbing layer undergo bending due to the differential stress originating from the bimetallic effect. This paper reports a micromachined silicon uncooled thermal imager intended for applications in automated process control. This paper presents the design, fabrication, and the behavior of cantilever for thermomechanical sensing.

Key Words : Infrared Image Sensor(적외선 이미지 센서), Bimetal(바이메탈), MicroCantilever(미세가공 외팔보), Deflection(변형)

1. 서 론

암흑에서도 물체의 형상을 인식할 수 있는 적외선 이미지 센서에 대해 이전의 군사용으로 제작하여 활용되었던 적외선 이미지 센서를 감식, 인식, 검사 분야 등의 일반 생활용으로 사용 가능하도록 하기 위한

개발 연구가 진행되고 있다. 그러나, 종래의 적외선 이미지 센서는 사이즈가 상당히 크며, 가격 또한 고가일 뿐만 아니라 냉각 시스템의 수리 보수 등이 필요한 문제점을 가지고 있으며, 그 사용처가 한정되어 있다. 그러나, 최근 실리콘 기반의 MEMS (Micro Electro Mechanical System) 미세 가공 기술을 이용하여 소형 및 저가의 센서 개발과 제품화에 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 여기에는 모든 물체가 가지고 있는 적외선에 의한 광전 효과 (photoelectric effect)를 이용한 광자(photon)나 양자(quantum)의 이

[#] 교신저자 : 삼성종합기술원 나노센터
E-mail : kangjhspeed@naver.com

등을 직접 감지하는 양자형 (quantum detector) 또는 광자형 (photon detector) 이 있으며, 적외선 입사에 의한 온도 변화를 검출함으로써 야간에 사물을 감지하고자 하는 열감지형(thermal detector)으로 크게 분류할 수 있다. 이러한 열감지형에는 온도 변화에 민감한 저항 소자의 저항 변화를 전기 전도도로 변환하여 감지하거나, 또는 열팽창이 다른 메탈의 온도에 따른 물리적 변화를 정전용량 (capacitance) 으로 전환하여 사물을 감지한다. 그러나, 양자형의 경우에는 에너지 밴드 갭 (energy band gap) 이 좁은 반도체를 사용하기 때문에 고감도 (high sensitivity)와 응답성 (response)이 좋으나 주변 온도에 의한 열여기 (thermal excitation)를 방지하기 위하여 액화 질소를 이용한 냉각 시스템(cooling system) 등의 필요에 의해 전체 시스템이 대형화 되는 단점이 있다. 반면에, 열감지형의 경우는 적외선 입사에 의한 온도 변화를 직접적인 전기적 신호인 저항 또는 감지 구조물의 물리적인 변화를 이용하여 검출함으로써 감도와 응답성은 양자형에 비해 저하되지만, 저항체나 구조물을 MEMS 미세 가공 기술을 이용하여 소형화함으로써 감도 및 응답성의 개선 가능성 등으로 그 제품화에 많은 연구가 진행되고 있다¹⁻⁵⁾.

본 연구에서는 열팽창 계수가 다른 금속 박막 (metal film)으로 구성된 바이메탈 구조의 열감지형 적외선 센서를 MEMS 미세 가공 기술을 이용한 제작에 대한 검토 및 그 구조물의 온도에 따른 변위를 검토함으로써 열감지형 적외선 이미지 센서 제작에 대한 적용 가능성과 더불어 센서의 소형화와 저가격화에 대한 가능성을 고찰 하고자 한다.

2. 미세 가공기술을 이용한 제작

2.1 구조 및 동작원리

바이메탈 구조를 가지는 열감지형 적외선 이미지 센서의 개략도는 Fig. 1에 나타낸다. Pyrex glass위에 하부 전극(electrode)을 증착 공정을 이용하여 제작하고 그 위에 일정한 간격(갭, gap)을 두어 구조물을 형성하며 이 구조물은 바이메탈로 이루어진다. 그리고, 바이메탈의 칸틸레버 위에는 적외선을 흡수하기 위한 적외선 흡수 박막(IR absorbing thin film)을 증착 공정을 이용하여 제작하게 된다. 여기에 물체에

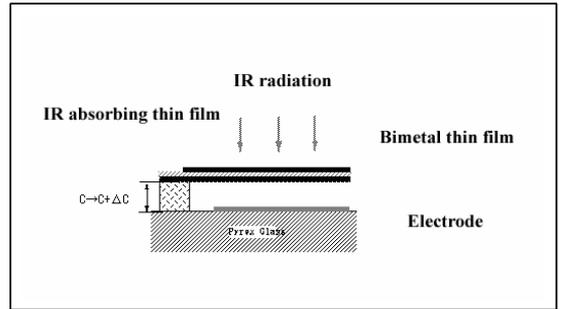


Fig. 1 The schematic diagram of infrared image sensor using bimetal

의한 적외선이 적외선 흡수 박막에 입사하게 되면 적외선이 가지는 열 효과에 의해 각각 열팽창 계수가 다른 두개의 메탈에 변형(deflection)이 발생하게 되고, 이 변형에 의해 하부 전극과 바이메탈 사이에는 간격 변화가 발생한다. 이러한 간격변화를 정전용량(capacitance)과 같은 전기적 신호로 변화하여 칸틸레버의 변위량을 검출하는 구조로 되어 있다. 이때 구조물의 변위와 정전용량의 관계식은 식 (1)에 나타내었다.

식에서 C는 정전 용량(capacitance), ϵ_0 는 유전상수 (dielectric constant), S는 두전극의 단면적이며 d는 두 전극간의 간격이다^[6].

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d} \quad (1)$$

2.2 제작

MEMS 미세 가공 기술을 이용한 바이메탈 구조를 가지는 적외선 이미지 센서의 제작 공정의 개략도는 Fig. 2에 나타낸다.

Pyrex glass 기판 위에 Cr(chromium)을 식각 방지막(etching passivation film)으로 하여 글라스를 식각하고 난 뒤, 그 위에 0.03um의 Ti(titanium)과 0.07um의 Pt(platinum)을 증착하여 검출용 전극을 형성하며, 바이메탈 구조물을 형성하기 위하여 P형 Si (silicon) wafer에 열산화막 (thermal oxidation film)을 이용해 구분되어진 구조물 부분에 4um 두께의 boron 확산 박막을 형성한 뒤 강력한 본딩력(bonding force)을 가지는 양극 접합 (anodic bonding)하여 boron 확산 박막

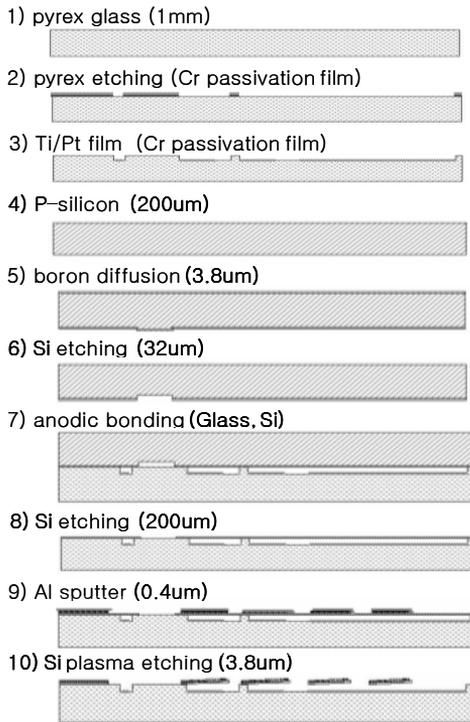


Fig. 2 Fabrication sequence of infrared sensor using the bimetal

부분만을 남겨두고 Si 부분을 Si 식각(etching) 공정을 이용하여 제거하게 된다. 여기에 Si와 열팽창 계수가 크게 다른 Al(aluminum)이 0.04um 두께로 증착하여 바이메탈 구조 부분만 남겨 두고 식각을 행하고 난 뒤 칸틸레버 부분만 남겨 두고 나머지 Si 부분은 식각함으로써 바이메탈 구조를 형성하게 된다. Fig. 3은 제작 된 32x32 화소(pixel)를 가지는 검출 전극과 바이메탈은 정전용 량의 변화를 극대화하기 위하

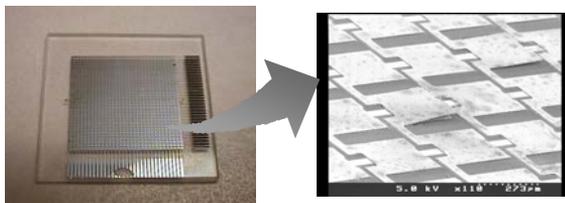


Fig. 3 The optic and SEM photograph of infrared sensor using the bimetal

여 단면적을 정방형으로 제작한 적외선 이미지 센서를 나타내며, Fig. 4는 입체적인 설명도를 나타낸다.

이렇게 제작된 각각의 바이메탈은 효과적으로 두 개의 금속(bimetallic)으로 이루어진 조각으로 되어 있는데, 이는 효율적으로 적외선을 흡수할 수 있는 박막 금속 층으로 만들어져 있다. 열을 받게 되면 칸틸레버는 휘어지고 입사된 적외선량의 크기에 비례하는 정전 용량의 변화를 발생하게 되는 구조로 이루어져 있다.

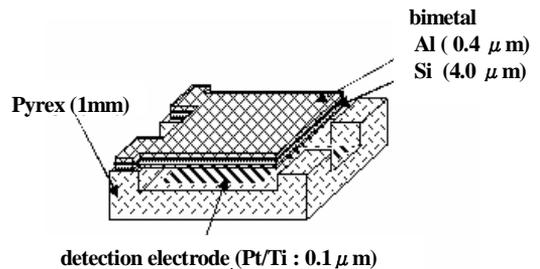


Fig. 4 The schematic diagram of one pixel using bimetal

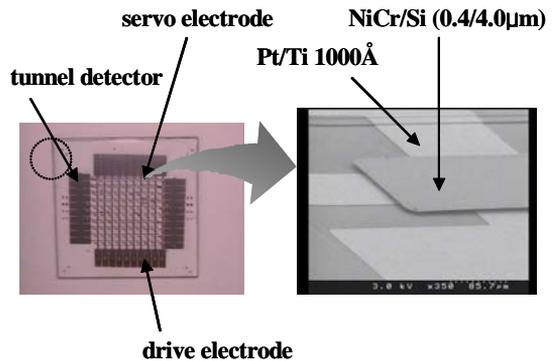


Fig. 5 The optic and SEM photograph of bimetal infrared sensor using NiCr film

그러나, 이러한 구조에서는 제작 중에 열팽창 계수의 큰 차이와 증착 중의 열변화로 Fig. 3과 같이 칸틸레버에 변형이 발생하여 실제로 필요로 하는 정전 용량의 변화를 적게 할 뿐만 아니라 응답성을 저하하는 결점을 가지게 된다는 것을 알 수가 있다. 그리고, Si과 Al 박막 위에 적외선을 흡수하는 흑금(black gold) 박막 증착의 필요하며 이로 인해 또 다

른 칸틸레버의 변형을 유발할 수 있는 가능성을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 열팽창 계수의 차이는 작지만, 적외선 흡수 기능을 가지고 있는 NiCr (nickel chromium) 박막을 이용하여 칸틸레버 구조를 제작하였다, Fig. 5는 길이 650um과 폭이 80um으로 제작된 10x10 화소의 적외선 이미지 센서를 나타낸다.

2.3 구조물 변위 평가

Fig. 4와 같이 제작되어진 적외선 이미지 센서에서 특히 감도에 중요한 역할을 가지는 칸틸레버 구동의 신뢰성에 대한 평가는 열에 의한 변형과 서보 전압에 따른 구동 변위를 측정함으로써 평가되어진다. 이러한 칸틸레버의 열에 의한 변위의 이론 구동식은 식 (2)에 나타낸다⁷⁾.

$$\Delta d = \left[\left(\frac{3X^2}{\theta t_1} \right) (\alpha_1 - \alpha_2) \right] (T - T_0) \cdot \left[\frac{\theta(1+m)}{4 + 6m + 4m^2 + mm^3 + \frac{1}{mm}} \right] \quad (2)$$

여기서, x는 칸틸레버의 길이, m은 바이메탈의 금속 두께의 비, α_1 은 Si 열팽창 계수 ($2.33 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)이며, α_2 는 NiCr의 열팽창 계수($10.0 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$), T는 측정시의 온도($^\circ\text{C}$), T_0 는 초기 온도($^\circ\text{C}$)이다, n는

E_2/E_1 으로 나타내며 E_2 는 NiCr의 탄성 계수 E_1 은 Si의 탄성 계수를 나타낸다. 실제의 온도 변화에 따른 칸틸레버의 변위의 측정에 세라믹 히터 위에 센서와 열전대를 위치하여 변위는 레이저 도플러(laser doppler)를 이용한 변위계를 이용하였다. Fig. 6은 식 (2)에 의한 계산값과 실제의 변위값(experiment)을 비교한 것이며, 어느 정도의 오차 범위를 포함하고 있지만, 미세 가공에 의해 만들어진 칸틸레버의 변위는 이론적으로 계산된 값과 유사한 경향을 보이며, 온도가 3°C 정도 변화함에 따라 칸틸레버의 변위는 약 0.1um 정도의 변위가 발생함을 나타내고 있다.

서보전압에 따른 칸틸레버 변위는 식 (3)에 의해서 이론적으로 계산 되어진다⁶⁾.

$$Z = \frac{1}{6} \epsilon_0 \frac{S_{eff}}{d^2} \frac{1^s}{EI} V^s \quad (3)$$

Z는 변위(deflection), ϵ_0 는 유전상수, S_{eff} 는 $3/8 \times \text{폭} \times \text{길이}$, d는 전극간 간격, 1은 길이, E는 탄성 계수 (Young's modulus), I는 관성 모멘트, V는 전극 전압(electrode voltage)이다. 서보 전압을 인가하여 칸틸레버 변위의 측정은 레이저 도플러를 이용한 변위계를 이용하였다.

Fig. 7은 식(3)의 계산값과 실제 변위 측정값을 비교한 것이며, 온도에 의한 변위의 경우 보다 많은 오차를 포함하고 있지만, 측정값이 계산값과 유사한

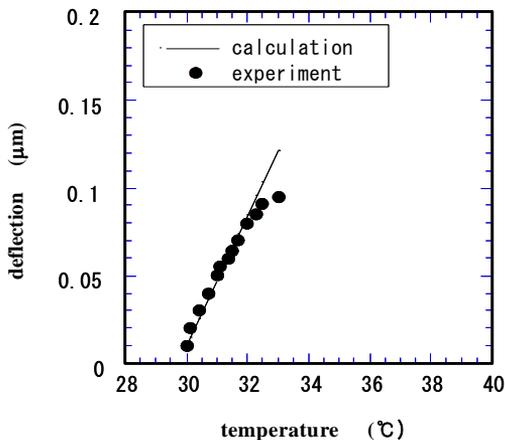


Fig. 6 The deflection of cantilever according to temperature

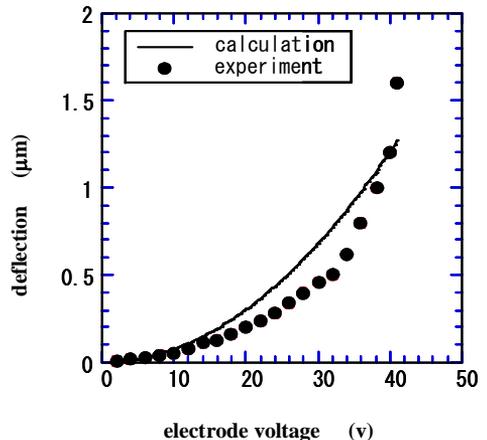


Fig. 7 The deflection of cantilever according to servo voltage

변위값을 가진다고 볼 수 있으며, 40V의 전압에서 칸틸레버는 약 1.2 μ m의 변위를 발생하고 약 1.6 μ m에서 변위가 정지된 것은 전극간의 거리가 약 1.6 μ m임을 알 수가 있었다. 또한 이러한 서보 구동을 이용해 미세 가공에 의해 제작된 칸틸레버를 일정한 간격을 유지할 수 있으며 적외선 입사 시에 직접적으로 변위를 발생함으로써 전기적 신호로 변환하는 것에 그 적용 가능성을 판단할 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 양자형 적외선 이미지 센서의 단점으로 지적되고 있는 가격이 고가인 것과 소형화가 어려운 것을 고려하여 보다 간단한 구조가 가능한 열감지형 적외선 이미지 센서 제작의 가능성을 검증하기 위하여 바이메탈의 칸틸레버 구조물을 MEMS의 미세 가공 기술을 이용하여 제작하였고, 그 구동에 관한 검토의 결과는 아래와 같다.

1. Al과 Si의 바이메탈의 칸틸레버 구조물에서는 열 팽창 계수의 차이에 의해 제작 공정 중의 변형이 발생하는 경우가 있음을 알 수 있었다.
2. MEMS의 미세 가공 기술을 이용하여 제작된 바이메탈의 칸틸레버 구조물은 온도에 의한 변위의 양이 계산값과 실제 변위값이 일치함을 알 수 있었다.
3. MEMS를 이용하여 제작된 칸틸레버 구조물에서도 서보 전압에 의한 변위는 계산값과 실제 변위값이 일치함을 확인 할 수 있었다.
4. 바이메탈의 칸틸레버 구조물을 가지는 초소형 열 감지형 적외선 이미지 센서의 제작 및 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. Breiter, R., Cabanski, W., Koch, R., Rode, W., Zieger, J., "Recent developments for QWIP IR imaging modules at AIM," SPIE Vol. 3379, pp. 423-432. 1998.

2. R. Kennedy McEwen., "European Uncooled Thermal Imaging Technology," SPIE Vol. 3061, pp. 179-190, 1997.
3. Oden, P. I., Wachter, E. A., Datskos, P. G., Thundat, T., and Warmack, R. J., "Optical and Infrared Detection Using Microcantilevers," SPIE Vol. 2744, pp. 345-353, 1996.
4. Kweon, H. K., Choi, S. D., "Development of a New Probe to Realize Nano/Micro Mechanical Machining and In-Process Profile Measurement," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 2, No. 1, pp75-84, 2003.
5. Moon, S. W., Suh, S. H., "Thermal Detectors and Image Sensors," Bull. Of the Korean Inst. of Met. & Mater. Vol. 7, No. 4, pp. 313-320, 1994.
6. Yuji Shiba, Takahiko Ono, Kazuyuki Minami, Masayoshi Esashi, "Capacitive AFM Probe for High Speed Imaging," Technical Digest of the 16th Sensor Symposium, pp. 269-272, 1998.
7. Amantea, R., Knoedler, C. M., Pantuso, F. P., Patel, V. K., Sauer, D. J., Tower, J. R., "An Uncooled IR Imager with 5 mK NEDT," SPIE Vol. 3061, pp. 210-222, 1997.