

Microbolometer의 열적·구조적 설계 및 흡수층 공정

한명수, 박영식, 안수창, 강태영*, 임성수*, 이흥기*

한국광기술원, *(주)오카스

Thermal and Structural Design, and Absorption Layer Fabrication of Microbolometer

Myung-Soo Han, Young-Sik Park, Su-Chang An, Tai-Young Kang*, Sung-Soo Lim*, Hong-Ki Lee*

Korea Photonics Technology Institute, *OCAS Corp.

Abstract : A surface micromachined uncooled microbolometer based on the amorphous silicon was designed and fabricated. We designed the microbolometer with a pixel size of $35 \times 35, 44 \times 44 \mu\text{m}^2$ and a fill factor of about 70 % by considering such important factors as the thermal conductance, thermal time constant, the temperature coefficient of resistance, and device resistance. Finally, we successfully fabricated the microbolometer by using surface MEMS technology, and the properties of bolometer have been measured as such that TCR and absorptance can be achieved above $-2.5\%/K$ and about 90% with titanium layer, respectively.

Key Words : microbolometer, MEMS, amorphous silicon, absorbance

1. 서론

영상기술은 정보화 사회의 발전과 함께 정보량을 인간에게 시각적으로 전달해주는 매개체로 예나 지금이나 그 수요가 꾸준히 요구되고 있다. 현재 개발되고 있는 적외선 열화상 카메라는 물체의 각 부위별로 온도를 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 이하의 분해능으로 측정하며 그것의 분포가 물체의 영상으로 확인되며, 구름이나 안개 등을 투과하여 볼 수 있게 되었다. 장파장 영역인 $8\sim 14 \mu\text{m}$, 중파장 영역인 $3\sim 5 \mu\text{m}$ 에서는 흡수 및 충돌을 일으키지 않고 대기를 무사히 통과하는 대기 투과창 성질을 이용하여 적외선 혹은 열영상 센서를 제작한다. 특히, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 정도의 상온의 물체는 장파장영역에서 중파장 영역보다 50배나 많은 복사 에너지를 방출하기 때문에 야간 관측 및 열영상 이미지 촬영 등과 같은 분야에 널리 응용된다.

적외선 센서는 동작원리에 따라 양자(Photon)형과 열(Thermal)형으로 나눌 수 있는데, 양자형의 냉각형 적외선 센서는 화소 배열과 ROIC를 구성하는 CMOS구조가 분리되어 제작된 후 접합되며, 초저온 냉각기를 필요로 하여 가격이 상승하는 요인이 되지만 온도분해능이 우수하여 군수용 등에 널리 사용된다.

열형의 비냉각형 적외선 센서로서 마이크로볼로미터 구조가 최근에 가장 활발히 연구되고 실용화 되고 있다. 이 센서는 화소가 미세한 볼로미터로 구성되어 있으며, 일사한 열 복사에 의해 변화된 볼로미터의 전기 저항의 차이로 온도 변화를 알아낸다. 이 구조의 센서는 상온에서 동작하며, 실리콘 기판에 MEMS 기술로 화소와 ROIC CMOS 공정을 동시에 일체형으로 진행할 수 있어 경제성이 우수하고, 소형화, 저가격화의 장점이 있다.

볼로미터의 동작 특성은 주위의 온도에 매우 민감하게 영향을 받기 때문에 검출기 내부를 100 mtorr 이하의 진공으로 유지해야 하고, 열전냉각모듈(TE Cooler)을 부착하여 일정한 온도를 유지시켜야 하는 패키지 기술도 필요하다.

따라서, 비냉각형 적외선 센서를 제조하기 위해서는 적외선 센서재료 제조 기술 외에 적외선 흡수층 형성, 열차단, 저잡음 신호검출회로의 설계 및 제조기술, monolithic 접합 공정, 패키지 공정 등에 대한 기술이 필요하다.

본 논문은 비냉각형 적외선 센서의 성능향상을 위한 설계 및 공정 연구로서, 마이크로 볼로미터의 적외선 검출 능력향상을 위한 열적 고립 구조를 가지는 단위 픽셀의 최적화 설계 및 공동흡수구조의 공정을 수행하여 흡수도를 90% 이상 되게 하는 결과를 획득하였다.

2. 마이크로 볼로미터의 단위픽셀 최적화 설계

볼로미터는 air gap을 가지는 마이크로 캔틸레버 구조로서 2개 내지 4개의 앵커로 지탱 되어지며, 열적 고립을 최대화하기 위해 지지다리의 선폭을 좁게 하고, 길이를 크게하여 열전도율을 낮게 하는 구조로서 선폭을 $2 \mu\text{m}$ 로 설계하였다. 도핑된 비정질 실리콘 박막의 두께는 $0.2 \mu\text{m}$, 픽셀 크기는 $44 \mu\text{m}$ 픽셀과 $35 \mu\text{m}$ 픽셀 두가지이며, 앵커 및 leg 등의 크기 및 형상은 MEMS 공정을 고려하여 결정하였다.

그림 1은 2앵커 단위소자에 대하여 MEMS 공정을 위한 leg 길이 및 leg 폭을 설계인자로 하는 이해 도면으로 실험계획법으로 2인자 2수준 설계하였다. 5회의 실험에 의해 캔틸레버의 열 및 잔류 응력에 의한 Z-축 변위값과 열시상수의 값을 예측하였다.

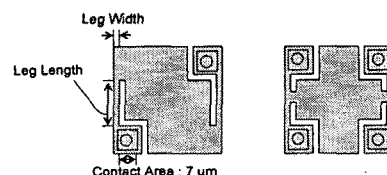


그림 1. 2-앵커 및 4앵커에 대한 단위소자 설계 인자

유한요소 해석법(FEM)에 의해 시뮬레이션 결과를 그

림 2에 나타내었다. 그림 2의 (a)에서 보듯이 Z-축 변위 값은 약 0.12 nm 정도로 미세하게 열적으로 변형함을 알 수 있었다.

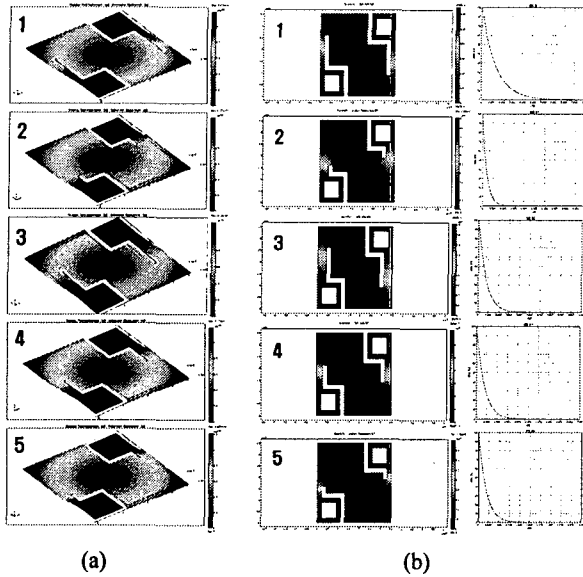


그림 2. 2앵커 소자의 변형력 및 열시상수 분석 결과

볼로미터 적외선 센서의 성능을 좌우하는 온도분해능을 향상시키기 위해서는 열용량을 높이고, 열전도율을 낮게 함으로써 캔틸레버내의 열적 고립구조를 만들어 줄 수 있는 볼로미터 적외선 센서의 설계 기술이 필요하다.

그림 2의 (b)는 볼로미터 소자의 열적 고립구조의 열시상수 시뮬레이션 결과이며, 2앵커 구조의 열시상수는 leg 길이가 15 μm , 폭이 2 μm 일 때 가장 큰 값인 1.7 ms로 나타났으며, 폭이 4 μm 이하 이면서 길이가 길거나 짧을 때는 0.9 ms로 비슷한 결과를 얻었다. 설계된 구조의 열시상수는 1.4 ms 정도로 동영상에 가능한 열적 고립 구조를 나타내었다. 열감지 센서 설계에서 열적고립과 동시에 중요한 요소는 소자의 fill factor이며, 가장 큰 영향은 소자 입사면적이며, 이는 열적고립과 대립되는 값이기도 하다. 3가지의 반응변수를 동시에 만족하는 해석값을 찾았다.

3. 마이크로 볼로미터의 흡수층 공정

본 연구에서 제작한 센서의 구조는 최상부에 매우 얇은 금속 박막과 최하부 금속층인 반사층과 흡수되는 중심파장에 대하여 공명 흡수되는 구조로 구성되어 있다. 우선 SiNx 기판 위에 스퍼터 장비를 이용하여 약 200 nm의 Si를 증착시키고, 이를 식각하여 mirror 및 하부 전극을 제작하였다. 제작된 하부전극 위에 폴리이미드 희생층을 도포하고, 그 위에 PECVD를 이용하여 약 200 nm의 비정질 Si를 증착시킨다. 다음으로 전극 및 앵커로서 Ti/Au를 형성하였으며, 플라즈마 asher를 이용하여 희생층을 제거하여 단위 픽셀 (pixel)을 완성하였다.

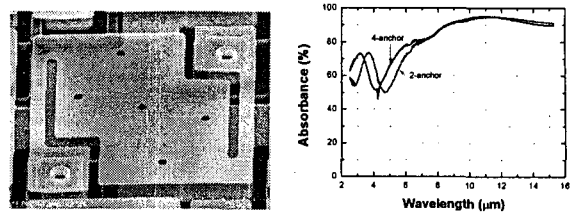


그림 3. 제작된 센서 SEM 사진 및 적외선 흡수도
(a) 단위소자 구조, (b) 흡수율 측정 결과

그림 3은 본 연구를 통하여 제작된 2앵커 마이크로볼로미터 적외선 센서 사진이며, 이 때 실온 25 $^{\circ}\text{C}$ 에서 TCR (Temperature Coefficient of Resistance)은 약 2 %/K로 볼로미터로서의 적용 가능한 전기적 특성을 나타내었으며, 적외선 흡수층은 Ti를 이용하여 공정한 결과 흡수율이 8-12 μm 영역에서 약 90% 이상으로 나타남을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서 열영상용 볼로미터 소자의 열시상수는 1.0 msec로 동영상 구현 시 frame rate를 30 Hz로 구현 할 수 있도록 성능 향상을 위해 시뮬레이션을 하여 최적의 조건으로 제작하였다. 2앵커에 대한 Z-축 변형력을 시뮬레이션한 결과 약 0.12 nm의 값을 얻을 수 있었다. 소자 제작 후 TCR 값은 상온에서 약 -2.5 %/K 이었으며, 적외선 흡수층은 Ti 재료를 이용함으로써 흡수율이 90% 이상의 측정 결과를 얻었다. 온도분해능 및 검출도를 향상시키기 위해 비냉각 적외선 센서의 복사열 전달 및 온도 변화 메카니즘에서 단위 픽셀의 적외선 흡수 면적을 더 넓게 하였으며, 열적 고립과 fill factor 향상을 위해 leg 폭과 길이를 최적하는 설계를 수행하였다.

참고 문헌

- [1] R. A. Wood, "High-Performance Infrared Thermal Imaging with Monolithic Silicon Focal Planes Operating at Room Temperature", IEEE IEDM 93, p 175, 1993.
- [2] R. A. Wood, "Uncooled thermal imaging with monolithic silicon focal planes" Proc. SPIE 2020, p 322, 1993.
- [3] E. L. Dereniak, and G. D. Boreman, "Infrared Detectors and Systems", John Wiley & Sons, 1996.
- [4] Y. Zhao, M. Mao, R. Horowitz, A. Majumdar, J. Varasi, P. Norton, and J. Kitching, "Optomechanical Uncooled Infrared Imaging System Design, Microfabrication and Performance", Journal of MEMS 11, No 20, 2002.
- [5] E. Mottin, A. Bain, J.L. Martin, J.L.Ouvrier-Bufferet, S. Bisotto, J.J.Yon, J.L. Tissot, "Uncooled amorphous silicon technology enhancement for 25 μm pixel pitch achievement", Proceedings of SPIE 4820, p 200, 2003.