초소형 마이크로 적외선 센서의 다중물리 해석 Multiphysics Analysis of Microbolometer with Small Pixel Size

김태현 ¹, 김경민 ¹, 박재홍 ¹, 경기명 ¹, 이태중 ¹,*[#]김희연 ¹

T.H. Kim¹, K.M. Kim¹, J.H. Park¹, K.M. Kyung¹, *[#]H.Y. Kim(hyeounkim@nnfc.re.kr)¹, K.W. Lee¹ ¹국가나노종합팹센터 Sa-FPA 팀

Key words : Microbolometer, Thermal Conductance, Responsivity, Membrane Flatness, Multiphysics

1. 서론

온도변화에 따른 저항의 변화를 통해 적외 선을 감지하는 마이크로 볼로미터는 야간에 물 체를 식별할뿐만 아니라, 복사열에 따른 열영 상을 획득할수있어 최근에 자동차, 군사용 보 안감시 카메라 등 다양한 분야에 응용이 시도 되고 있다.

특히, 적외선 센서가 적용되는 플랫폼이 점 차 소형화, 저가격화 됨에 따라, 센서 및 픽셀 의 크기도 감소하는 추세에 있다. 픽셀 크기가 감소하게 되면 적외선 흡수면적이 줄어들고, 열이 쉽게 빠져 나가기 때문에, 성능의 저하가 불가피하다. 따라서 적외선 흡수면적을 최대화 하면서도 열고립성능을 향상 시킬 수 있는 설 계가 필요하다. 픽셀크기가 감소하게 되면 이 러한 열적인 특성과 동시에, 전기적, 구조적 특 성도 이에 맞게 재설계하여야 한다. Fig. 1 은 동일한 구조에서 픽셀크기가 감소함에 따라 적 외선 흡수면적이 감소하여 적외선 응답도가 감 소함을 나타낸다.

본 연구에서는 픽셀크기가 감소함에 따른 a-Si계 적외선 센서의 열적, 전기적, 구조적인



Fig. 1. Thermal response of microbolometer with various pixel sizes $(45 \rightarrow 35 \rightarrow 25 \rightarrow 17 \text{um})$

특성에 관하여 설계적인 접근방법을 제시하였 다. 또한, 제작된 센서의 동적 특성 평가를 통 하여 해석모델과 성능과의 상관관계를 분석하 였다.

2. 다중물리 해석 및 설계

볼로미터의 면적비를 높이기 위해서는 픽셀당 앵커수를 줄이는 것이 필요하다. 일반적인 픽셀(Fig. 2(a))은 픽셀당 2 개의 Leg 를 사용하는 반면에, 본 연구에서는 25um 크기의 픽셀당 1 개의 앵커를 사용하기 위해서 하나의 앵커를 4 개의 픽셀이 공유하는 구조(Fig. 2(b))를 제안하고 비교하였다. 적외선 센서를 구성하는 각 층(a-Si, SiOx, Ti, Al)의 잔류응력을 측정하고, 변형량을 비교한 결과, 2 개의 Leg 구조(730nm)에 비해 4 개의 Leg(47nm)가 구조적으로 안정한 결과를 나타내었다.

픽셀의 열적인 특성을 결정하는 주요 인자는 열시상수(Thermal Time Constant, τ)이며, 아래와 같이 정의된다.



Fig. 2. Mechanical deformation depending on anchor structure

이때, C, G 는 열용량, 열전도도이다. 즉, C 와 G 는 픽셀판을 구성하는 Layer 의 열물성과 Leg 의 형태에 의해 좌우된다. 적외선 센서를 구성하는 각 층의 재료물성을 이용하여 계산된 열적 특성을 Fig. 3 에 나타내었다. Leg 길이와 갯수가 증가함에 따라 열전도도는 감소함이 확인되었다. 적외선 센서의 열시상수는 통상 10ms 이내에서 결정되므로, 적절한 Leg 설계가 필요하다.

a-Si 계 반도체물질 저항체의 경우, 센서의 응답도는 열평형방정식으로부터 아래식으로 표현된다.

 $\begin{aligned} R_{v} &= \frac{\alpha \varepsilon R_{b} I_{b}}{G_{c} \sqrt{1 + 4\pi^{2} f^{2} \tau^{2}}} = \frac{\alpha \varepsilon V_{b}}{G_{c} \sqrt{1 + 4\pi^{2} f^{2} \tau^{2}}} \frac{R(T)}{R_{L} + R(T)} (V/W) \\ R(T) &= R(T_{s}) \exp\left[\alpha T_{s}^{2} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{s}}\right)\right] \end{aligned}$

응답도는 저항, 바이어스, 펄스시간 등에 의해 결정되며, Fig. 4 에 나타난것처럼, 일정한 저항에서 응답도는 바이어스가 증가함에 따라 증가하나, 펄스시간에 따라 최대값을 나타낸다.

3. 센서 제조 및 응답 특성



Fig. 3. Thermal property depending on leg design



Fig. 4. Electrical responsivity depending on bias and pulse time

25um 픽셀크기를 가지는 a-Si 계 적외선 센 서 어레이를 제조하고, 마이크로 볼로미터의 열적-전기적 특성의 측정 및 모델링을 수행하 였다. 열 평형 방정식은 RC 회로의 미분방정 식과 유사하므로, 열적-전기적 특성을 RC 회로 를 사용하여 PSPICE 모델링이 가능하다.

Fig. 5 는 제작된 적외선 센서의 설계변수 를(1MΩ 저항, 1V 바이어스) 적용하여 펄스 시 간에 따른 온도 천이 특성을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과가 실측치와 잘 맞는 것을 알 수 있다. 바이어스를 가하는 시간이 길어질수 록, self heating 효과에 의하여 온도는 증가하고 저항은 감소하게 되며, 이때 열시상수는 10.06msec 로 결정되었다.

적외선 센서의 바이어스, 펄스 시간은 응답 도뿐만 아니라, 노이즈 특성을 고려하여 최적 화하여야 하므로, 이에 대한 추가연구가 필요 하다.



Fig. 5. Experimental and simulated results of transient thermal response

후기

이 논문은 2009 년도 정부재원(교육과학기술부 중견협동연구)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2009-0085880).

참고문헌

- Paul W. Kruse, "Uncooled Thermal Imaging Arrays, Systems, and Applications" SPIE Vol. No. TT51.
- R.A.Wood, Semiconductors and semimetals Vol.47, Uncooled Infrared Imaging Arrays and Systems.