

비냉각 적외선 센서



이용수

국방과학연구소 전자재료실 선임연구원

1. 머리말

19세기말에 적외선이 발견된 이래로 제 2차 세계대전을 기점으로 이를 활용하기 위한 필요성이 증대되면서 관련기술이 많이 발전하였다. 초기에는 광자(photon)를 이용하는 광자형 적외선 센서에 대한 연구가 주로 이루어졌으며, 그 후 정자장(static magnetic field)을 인가하여 광에 의해 생성된 전하를 분리시켜 이를 전기신호로 검출하는 광전자기형 적외선 센서에 대한 연구도 진행되었다. 이들은 낮은 밴드갭(band gap) 때문에 동작을 위해서 별도의 냉각장치를 필요로 하는 경우가 대부분이다. 그리고 비냉각 광자형 적외선 센서로 $HgCdTe$ 또는 $InGaSbAs$ 등의 조성을 적당히 조절하여 8~12 μm 대역의 적외선을 탐지하기 위한 연구 개발도 진행되고 있다. 열에너지를 이용하는 가열형 적외선 센서에 대해서도 많은 연구가 진행되었으며 이는 비냉각 적외선 센서이다.

광자를 이용하는 데는 PbS , $PbSe$, $PbTe$, II-VI 족의 화합물반도체인 $HgCdTe$, III-V 족인 $InSb$, *Shottky* 접합을 이용하는 $PtSi$ 등이 사용되고 있으며 광증폭 원리를 이용한 야시경은 널리 보급되어 있

다. 가열형 적외선 센서로서는 유전체의 커패시턴스가 변화하는 초전형(pyroelectric), 열기전력이 변화하는 열전대(thermoelectric)형, 저항이 변화하는 볼로미터형(bolometer)형등이 있다.

광자형 적외선 센서중에서 3~5 μm 파장영역에서는 $InSb$ 와 $Hg_{1-x}Cd_xTe$ ($x \approx 0.3$)가 그리고 8~12 μm 파장영역에서는 $Hg_{1-x}Cd_xTe$ ($x \approx 0.2$)를 이용한 적외선 센서가 상용화되어 널리 보급되어 있다. 이들은 광학계, 신호처리회로, 영상재현부, 그리고 냉각장치 등과 더불어 적외선 영상장비를 구성하게 된다. 이들 적외선 센서는 최대 77K 정도까지 냉각을 시키기 위하여 $\sim 10^{-6}$ torr 이하의 진공도가 지속적(5년이상)으로 유지되는 진공용기(dewar) 내에 장착하며, 동작을 위해서는 수명이 1년 정도밖에 되지 않는 초소형 냉각장치를 사용하여야 한다. 이러한 원인으로 인하여 적외선 센서는 가격이 올라가게 된다. 그러나 성능면에서는 광자형 적외선 센서의 성능이 가열형 센서보다 우수하다고 알려져 있다.

비냉각 적외선 센서 여러 종류가 개발 되어 있다. 야시경은 광증폭 원리를 사용한 것으로써 저렴하게 제조할 수 있으나 많은 전력소모, 낮은 온도분해능 그리고 빛이 완전히 차단된 경우에는 제기능을 발휘할 수 없는 단점을 지니고 있다. 실리콘 집적회로 제조 기

술의 발달 덕택에 1980년대 후반부터 볼로미터, 초전 센서 그리고 열전센서가 실리콘 판독회로(Si ROIC, Si readout circuit)와 결합된 가열형 적외선 센서가 상용화되기 시작하였다. 현재에는 80,000 화소이상을 가지는 비냉각 적외선 센서가 상용화되어 있다.

가열형 적외선 센서는 적외선이 센서에 조사되었을 때 센서의 온도가 상승하면 센서 재료의 전기적인 성질이 변하는 것을 이용한다. 이들을 적외선 영상센서로 활용하기 위해서 선형배열(linear array) 또는 2차원배열의 센서를 제작하게 된다. 신호처리를 위하여 hybrid 또는 monolithic 방법으로 실리콘 판독회로(Si readout circuit, Si ROIC)와 결합하여 적외선 영상센서가 완성된다. 가열형 적외선 센서를 제조하기 위해서는 적외선 센서재료 제조기술외에 적외선 흡수층 형성, 열차단(thermal isolation), 저잡음 Si 판독회로의 설계 및 제조기술, hybrid 접합, package 등에 대한 기술이 필요하다. 그렇지만 냉각형 적외선 센서에 비하여 저렴한 비용으로 센서의 제조가 가능하다.

본 글에서는 비냉각 방식의 적외선 센서 가운데 가열형 적외선 센서인 초전형, 저항형 볼로미터, 그리고 열전대형 적외선 센서에 대한 기본적인 동작원리와 제조방법 등에 대하여 간단히 소개하고자 한다. 그리고 본 글에서 언급한 것 이외에도 다양한 종류의 비냉각 적외선 센서가 있다.

2. 초전형(pyroelectric) 적외선 센서

초전재료는 단결정재료, 고분자재료, 그리고 세라믹재료로 나눌 수 있으며 각각 장단점을 지니고 있다. $LiTaO_3$ 등의 단결정재료는 높은 초전계수와 양호한 화학적 안정성을 가지는 반면 기계적 강도가 약하고 친수성이 있으며 단결정 성장이 어려운 단점이

있다. PVDF(polyvinylidene flouride)등의 고분자재료는 우수한 초전특성과 기계적 유연성이 좋아서 대면적화가 가능한 반면 열경화온도가 낮기 때문에 후속 집적화공정에 적용이 용이하지 않다. 그래서 이 두종류의 단점을 동시에 보완할 수 있는 세라믹재료에 대한 연구가 확대되었다. 이 세라믹재료는 상변이점인 큐리(curie) 온도부근에서 초전효과(pyroelectric effect)가 증대되는 강유전체(ferroelectric material)이다. 그 결과 PScT(lead scandium tantalate)나 BST(barium strontium titanate)등의 재료가 개발되어 적외선 영상센서로 사용할 수 있게 되었다. 이들은 대부분 초점면 배열방식(FPA : focal plane array)을 채택하고 있으며 320×240 정도의 배열을 사용한 비냉각 적외선 영상장비가 상용화되어 있다.

초전 센서는 동작 방식에 따라 초전 모드(pyroelectric mode)와 유전 볼로미터 모드(dielectric bolometer mode, DB mode)로 나눌 수 있다. 초전 모드는 초전체로 이용되는 강유전체가 온도변화에 의하여 자발분극이 변화하는 것을 이용하는 것이고, DB 모드는 전장이 인가 되어있을 때 자발분극의 변화로 유전율이 변화하는 것을 이용하는 것이다.

그림 1에 BST를 사용하여 제조된 적외선 센서의 예를 개략적으로 나타내었다. BST를 이용한 적외선 검출기 제조에는 Si ROIC제조 기술과 BST 세라믹의 화소(pixel) 제조기술이 필요하다. CMOS회로를 주로 하여 구성된 실리콘 판독회로에 메사(mesa) 구조를 형성하고 여기에 금속공정을 거쳐서 전극을 형성한다. In 범프(bump)를 이용하여 실리콘 판독회로와 BST 화소를 바로 접합시키기도 하지만 열차단 효과를 증대시키기 위하여 polyimide를 사용하여 메사구조를 형성하고 전극을 형성하기도 한다.

실리콘 판독회로에는 preamplifier, noise fil-

표 1. 초전 재료의 성질

재료1	Curie 온도 ($^{\circ}C$)	초전계수 $Coul \cdot cm^{-2} \cdot K^{-1}$	유전상수	열전도도 $W \cdot cm^{-1} \cdot K^{-1}$	비열 $J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$	밀도 $g \cdot cm^{-3}$
TGS	49	3×10^{-8}	30	6.8×10^{-3}	0.96	1.69
$LiTaO_3$	618	6×10^{-9}	58		0.42	7.45
$BaTiO_3$	126	2×10^{-8}	160	9×10^{-3}	0.5	6.0
$LiNbO_3$	1190	4×10^{-9}	30			4.64
SBN	115	6×10^{-8}	380		0.4	5.2
PVF_2	120	3×10^{-9}	10	4×10^{-5}		
PZT	200	3.5×10^{-8}	250			

ter, row-address shift register, 그리고 column multiplexer등으로 구성되어 있다. 화소를 제조하기 위해서는 BST를 얇게 연마하는 기술, 적외선 투과성 전극의 형성, hybrid 접합기술, 실리콘 판독회로와 BST사이를 열전도도가 작게 하면서 전극을 형성하여 연결하는 기술, BST 기판의 패턴형성기술등이 필요하다.

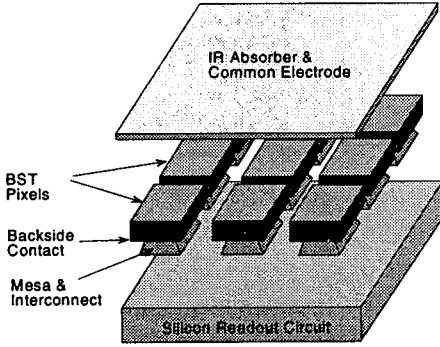


그림 1. BST를 이용한 적외선 검출소자

그림 2는 초전형 적외선 센서의 등가회로를 나타낸 것이다. 손실이 있는 커패시터로 모델링된 것이다.

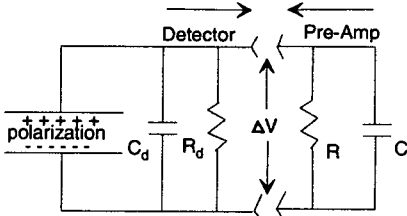


그림 2. 초전형 적외선 센서의 등가회로

Curie온도 이하에서 분극화(polling)된 강유전체는 상유전체로 변하는 온도이하로 동작온도 범위가 제한된다. 재료의 온도가 변하면 전기분극이 변하게 되어 그 변화는 식 (1)과 초전 계수로 나타낼 수 있다.

$$p \equiv \frac{\partial P}{\partial T} \quad (1)$$

초전계수의 단위는 $Coul \cdot cm^{-2} \cdot K^{-1}$ 이며 온도의 함수가 된다. 일반적으로 센서재료의 초전계수가 클수

록 더 우수한 센서의 동작특성을 얻을 수 있다. 두께가 얇고 단면적이 A 인 초전재료에 전극을 형성하고 폐회로를 구성하면 온도변화 때문에 발생한 분극의 변화는 표면전하량의 변화를 가져와 식 (2)와 같은 전류 i_p 가 흐르게 할 수 있다.

$$i_p = ApdT/dt \quad (2)$$

온도변화(dT/dt)가 있을 때 센서를 전류가 흐를 수 있으며, 직류전류는 0이 된다. 적외선 흡수체의 방출도 또는 흡수도가 ϵ 일 때 열균형방정식(heat-balance equation)에서 구한 고전적인 해는 식 (3)과 같다.

$$\Delta T = \frac{\epsilon \Phi_e(t) R_{th}}{\sqrt{1 + \omega^2 R_{th}^2 C_{th}^2}} \quad (3)$$

열시정수 τ_{th} 는 $\tau_{th} = R_{th} C_{th}$ 이며, R_{th} 는 센서재료의 열저항(thermal resistance), C_{th} 는 열용량(thermal capacitance)이다. $d\Delta T/dt = dT/dt$ 로 두고 센서에 정현파적인 복사에너지($\Phi_e(t) = \Phi_{e,0} \cdot \exp(j\omega t)$)가 입력된다고 가정하여 해를 구하면 센서를 통하여 흐르는 전류를 구하면 다음과 같은 전류 응답도를 얻을 수 있다.

$$R_i = \frac{p\epsilon\omega R_{th} A}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau_{th}^2}} \quad (4)$$

식 (4)로부터 직류광이 입사되는 경우 전류 응답도는 0이 되고 $1/(2\pi\tau_{th})$ 보다 큰 초핑(chopping) 주파수 f 에 대해서는 전류 응답도가 초핑 주파수와 거의 무관하게 일정한 값을 갖게 되며 전류 응답도에 대한 차단 주파수의 상한이 없음을 알 수 있다. 전압 응답도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_v = R_i \left(\frac{v}{i} \right) \quad (5)$$

$$R_v = \frac{p\epsilon\omega R_{th} R_d A}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau_{th}^2} \sqrt{1 + \omega^2 \tau_{RC}^2}} \quad (6)$$

식 (6)을 그림으로 나타내면 그림 3과 같이 된다. 잡음등가전력(NEP : noise equivalent power) = v_j/R_v , 단 v_j Johnson 잡음)으로부터 적외선 탐지도(detectivity)는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$D^* = \frac{\sqrt{A\Delta f}}{NEP} = \frac{p\epsilon\omega R_{th} A \sqrt{R_d A}}{\sqrt{4kT} \sqrt{1 + \omega^2 \tau_{th}^2} \sqrt{1 + \omega^2 \tau_{RC}^2}} \quad (7)$$

식 (6)과 식 (7)으로부터 탐지도는 전압 응답도와 같이 초핑 주파수에 크게 의존하는 것을 알 수 있다.

그리고 탐지도가 좋은 센서를 제작하기 위해서는 $R \cdot A$ 가 큰 재료를 사용하여야 하며 이는 센서재료의 열용량과 유전상수가 작아야함을 나타낸다. 물론 초전계수는 커야 한다. 열 차단(isolation)이 잘 될수록 응답도는 증가하며 시정수가 작을수록 응답도가 증가함을 알 수 있다. 즉 비열이 작고 주위 환경에 영향을 잘 받지 않게 검출기를 제작하여야함을 나타내고 있다. 소자의 두께가 작아지면 응답도도 작아지는 것으로 나타나고 있지만 검출기의 커패시턴스가 커지기 때문에 기생 커패시턴스의 영향이 줄어들게 되어 전체적으로는 응답도가 증가하는 효과를 가져온다. 그리고 동작특성을 좋게 하기 위해서는 잡음을 작게 하여야 하는데 프리앰프의 잡음과 BST 때문에 발생하는 유전손실에 의한 잡음, 그리고 주위의 환경 등에 의한 열적 잡음에 의한 열잡음들을 최소화시켜서 좋은 특성을 가지는 적외선 검출기를 제조하기 위한 노력이 진행되고 있다.

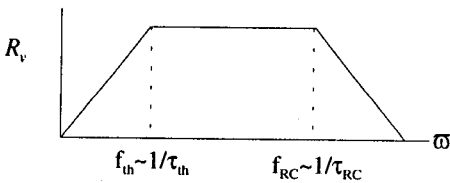


그림 3. 초전형 적외선 센서의 초평 주파수에 따른 전압 감응도

3. 열전대(thermoelectric)형 적외선 센서

열전효과를 이용한 적외선 센서는 금속과의 접합에서 접합부와 비접합부의 온도차이에 의하여 기전력이 발생하는 열전대(thermocouple)의 원리를 이용 것과 같다. 마이크로 머시닝 기술을 이용하여 볼로미터를 형성하고 그위에 서로 다른 두종류의 금속박막을 형성시켜서 소자를 제조한다. 이 열전대형 적외선 센서에 적외선이 입사되면 membran의 온도가 올라가게 되어 "hot junction"이 이루어지고 실리콘 기판쪽에서는 "cold junction"이 형성되어 이 때 발생하는 기전력의 차이를 적외선 검출기로 사용하게 된다.

마이크로머시닝 기술을 이용하여 지지층을 형성하고 여기에 금속끼리의 접합등에서 발생하는 열전효과를 이용한 monolithic 열전대형 적외선 검출기가 개발되고 있으며, 일부 상용화되고 있다. 이러한 형태

의 적외선 검출기는 응답도가 초전형의 경우보다 떨어지고 응답시간이 긴(수십 ms) 단점이 있기는 하지만 비교적 저온에서 뿐만아니라 고온까지 적외선의 검출이 가능하다는 장점이 있다.

그림 4는 열전대형 적외선 센서의 구조를 개략적으로 나타낸 것이다. 열전대형 적외선 센서의 경우에 탐지도는 열전쌍을 구성하는 두 종류의 재료의 열전 성능지수(thermoelectric figure of merit) $Z_{A,B}$ 에 의존하게 된다.

$$Z_{A,B} = \frac{(S_A - S_B)^2}{[(\lambda_A/\sigma_A)^{1/2} + (\lambda_B/\sigma_B)^{1/2}]^2} \quad (8)$$

여기서 $S_{A,B}$ 는 두 재료의 Seebeck 계수이고, $\sigma_{A,B}$ 는 전기 전도도이며, $\lambda_{A,B}$ 는 열전도도이다. 전압응답도는 식 (9)로 표현될 수 있다.

$$S_v = \frac{u_s}{\phi_s} = \frac{\pi \tau_F (a_1 + a_2)}{G_t} \quad (VW^{-1}) \quad (9)$$

여기서 ϕ_s 는 입사된 복사흐름차이(incident radiation flux difference)이고, u_s 는 출력전압 차이이다. τ_F 는 투과도, η 는 흡수도, N 은 열전쌍계수, a_1 과 a_2 는 열전도체들의 열전계수를 나타낸 것이다. 그리고 G_t 는 전체 열전도를 나타낸 것이다. 열전대형 적외선 센서의 비검지도(specific detectivity) D^* 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D^* = \frac{S_v A_s^{1/2}}{U_R} n = \frac{A_s^{1/2}}{NEP} \quad (cmHz \cdot W^{-1}) \quad (10)$$

여기서 $NEP = u_{rn} / S_v (WH_z^{-1})$ 이고 u_{rn} 은 열전대의 rms 잡음전압을 나타내고 있다. 잡음전압은 열전대의 저항에 의한 열잡음에 의해 주로 나타나며 $0.1Hz \sim 1kHz$ 사이에서 크게 나타난다.

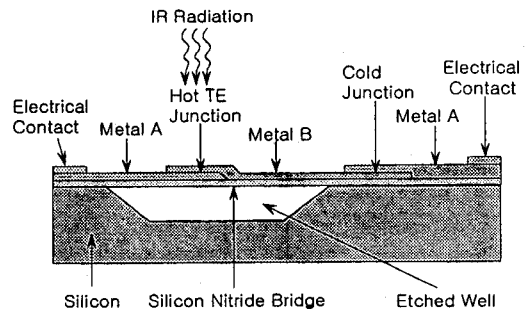


그림 4. 열전대형 적외선 센서 구조도

열전대형 적외선 센서는 접합을 이루는 금속의 종류에 따라서 특성이 다르기는 하지만 비교적 저온에서 고온영역까지 선형적으로 기전력의 변화가 일어나며 넓은 온도분포에 이르는 적외선 탐지가 가능하다. 또한 직류신호를 얻을 수 있다는 장점이 있다.

그외 다결정질 실리콘(poly silicon)으로 다이오드를 제조하여 이 다이오드가 온도에 따라 전류-전압 특성이 변화하는 것을 이용하여 적외선 탐지소자로 이용한 소자도 개발되고 있다.

4. 볼로미터

볼로미터는 재료의 온도가 변화하면 저항값이 변화하는 특성을 이용하여 비냉각 적외선 센서에 이용한 것이다. 특히 최근에 주목 받고 있는 MEMS(microelectromechanical system)기술은 소형화된 마이크로 볼로미터(microbolometer)와 Si ROIC와 결합시켜 성능이 우수한 FPA가 상용화를 가능하게 하였다. 1980년대 초에 Honeywell에서 시작된 비냉각 방식으로 적외선을 검출하고자 한 새로운 방법이 시작되었으며, 1985년에 미국정부의 연구비지원으로 Si의 미세구조(microstructure) 제조기술에 바탕을 둔 비냉각 적외선 볼로미터 FPA를 개발하기 시작하였다. 그 결과 오늘날에는 320×240 정도의 배열을 가지는 마이크로 볼로미터를 채택한 비냉각 적외선 영상장비가 상용화되어 있으며 그 이상의 배열을 가지는 마이크로 볼로미터가 연구 개발되고 있다.

마이크로 볼로미터를 사용한 적외선 센서에 대한 장점으로서는 monolithic의 소자의 제조가 용이하다는 것을 들 수 있다. 또한 초전효과를 이용한 적외선 센서에는 초퍼를 사용하여야 하지만, 볼로미터의 경우에는 직류신호(DC)를 얻을 수 있기 때문에 초퍼를 사용하지 않아도 된다. 따라서 광학계를 제작하기가 용이하고 적외선 영상장비의 크기도 줄일 수 있는 잇점이 있다. 그러나 볼로미터의 동작특성은 주위의 온도에 매우 민감하게 영향을 받기 때문에 검출기 내부를 100mTorr이하의 진공을 유지하여야 하고 항온을 유지하기 위한 TE(thermoelectric) 냉각기(cooler)를 부착하여 일정한 온도를 유지시켜야 하기 때문에 소비 전력이 크다는 단점이 있다. 현재에는 silicon nitride/vanadium oxide /silicon nitride의 구조로 열질량(thermal mass)을 형성한 마이크로 볼로미터 적외선 영상장비가 상용화되어 있다. 그외에 저항체로 여러 가지가 재료가 사용이 가능하며 금속재료로는 Ti, NiFe 그리고 YBCO 등이

이용 되고 있다. 표 2는 볼로미터의 저항체로 사용될 때의 TCR(temperature coefficient of resistance)를 나타낸 것이다. 그리고 그림 5는 마이크로 볼로미터의 구조를 개략적으로 나타낸 것이다.

마이크로 볼로미터는 실리콘 판독회로가 제조된 실리콘 기판위에 마이크로머시닝기술을 이용하여 열질량(thermal mass)을 구성하고 그위에 저항체를 형성하여 제조한다. 적외선의 검출은 이 열질량에 적외선이 조사되면 온도가 상승되는 원리를 이용하여 이루어진다. 즉 이 열질량위에 온도의 변화에 따라 저항의 변화가 큰 저항체를 형성하여 이 저항의 변화를 이용하여 적외선 신호를 검출하게 된다. 볼로미터의 응답도(responsivity)는 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{I_b \alpha R_o \eta}{G(1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}} \quad (11)$$

표 2. 볼로미터 저항체의 대표적인 온도계수(TCR)

Material	TCR(K ⁻¹)
Metals(e.g., NiFe)	0.002
Semiconductor(e.g., ABx)	0.02
Superconductor(e.g., YBaCuO)	2.0

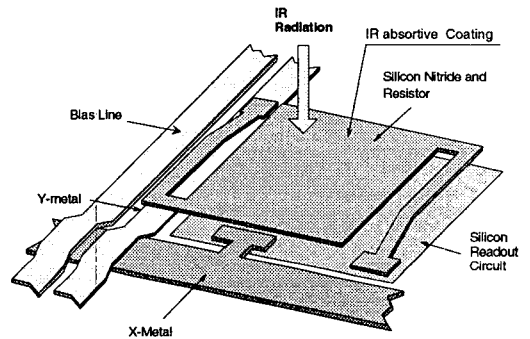


그림 5. 마이크로 볼로미터의 구조도

여기서 R은 응답도, I_b는 인가전류, R_o는 전기저항, η 적외선 흡수율, G는 소광소자와 실리콘 판독회사이의 열전도도, ω는 각변조주파수(angular modulation frequency), α는 저항의 온도계수 {α = (1/R_o)(dR_o/dT)}, T는 절대온도, τ(τ = C/G)는 열

응답시간, 그리고 C 는 수광소자의 비열(열질량)을 나타낸다. 식 (5)에서 나타나고 있듯이 마이크로 볼로미터 화소의 특성에 결정적으로 영향을 미치는 것은 열과 관련된 항목인 C 와 G 이다. 즉 열전도도를 작게 하고 화소의 열질량을 작게 할수록 응답도의 향상을 가져올 수 있음을 나타내고 있다. 현재에는 질화규소(Si_3N_4)가 마이크로 볼로미터의 재료로 널리 사용되고 있다. 이러한 구조는 기대이상의 견고함을 지니며 수천의 G에서의 충격에서도 견딜 수 있다. 최근에는 탄화규소(SiC)를 사용하는 것이 더 우수한 것으로 알려지게 되어 이에 대한 연구개발이 진행되고 있다.

마이크로볼로미터는 보통 0.5 μm 정도의 두께를 가지며 두개의 기판과의 지지대를 가지고 있다. 이 지지대를 통하여 열이 전달되며 이 때 열전도도가 낮을 필요가 있다. 조사된 적외선에 의하여 응답하기 위해서는 주위환경에 의하여 열이 전달되는 것보다 적외선에 의한 응답이 더 커야한다. 실리콘 마이크로머시닝기술을 이용하여 박막의 열저항체를 제조하는 기술의 발전은 미세구조와 물리적으로 얻을 수 있는 열적 차단(thermal isolation)의 한계값인 50 μm^2 의 화소에서 1×10^8 $^\circ C/W$ 정도의 값에 근접하게 되었다. 따라서 소자의 크기를 적절하게 조절하면 1×10^7 $^\circ C/W$ 정도의 열전도도를 가지는 마이크로 볼로미터를 제조할 수 있다고 보고되고 있으며 이는 10nW 정도의 적외선이 입사되면 볼로미터의 온도를 0.1 $^\circ C$ 정도 상승시킬 수 있는 정도이다. 즉 이 정도의 온도 변화이면 높은 적외선 응답도를 가지며 안정된 동작을 하는 적외선 검출소자를 제조할 수 있는 값이다. 이러한 기술발전의 덕택으로 저항성 마이크로 볼로미터는 monolithic의 실리콘 판독회로위에 2차원배열으로 제조가 가능하게 되었으며 높은 응답도를 가지는 적외선 검출기의 제조가 가능하게 되었다.

저항형 마이크로 볼로미터의 열응답시간은 TV의 화면율(화면당 33ms)과 맞게 소자의 구조와 볼로미터를 구성하고 있는 재료들을 조정하게 된다. 특히 초전형 열상장비가 30Hz의 화면율을 구성할 수 있는데 비하여 화면율을 100Hz 또는 그 이상도 가능하기 때문에 초전형 적외선 영상장비 발생하는 잔상 현상을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

5. 향후 개발동향

가열형 비냉각 적외선 센서에서 열차단 구조의 최적화가 성능향상의 주요 사항이다. 그리고 이러한 열차단 구조에 적당한 적외선 센서재료를 박막으로 형성시켜서 원하는 목적에 맞는 적외선 센서를 제조

하기 위한 노력들이 진행되고 있다.

비냉각형 적외선 센서개발은 초전형, 저항형 그리고 열전대형 적외선 센서 또는 어레이를 실리콘 판독회로위에 MEMS기술을 활용하여 monolithic으로 제조하고 이를 적외선 영상센서로 사용하기 위한 방향으로 진행되고 있는 것이 세계적인 추세이다. 이미 기술적으로 크게 안정화가 이루어진 실리콘 판독회로의 설계 및 제조 기술은 열차단 구조의 최적화와 센서 재료의 개발에 많은 연구와 노력을 기울일 수 있게 하였다.

현재 상용화가 이루어진 BST를 320 \times 240 배열의 적외선 영상장비와 산화바나듐을 사용하여 마이크로 볼로미터를 제조한 320 \times 240 배열의 적외선 영상장비의 성능을 개선하기 위한 노력들이 많이 진행될 것이다. BST를 사용하여 현재상용화 된 것은 BULK BST 기판을 얇게 가공하여 소자를 제작한 것이며 향후 BST 뿐만아니라 다른 종류의 강유전체 박막을 형성하여 이를 적외선 센서로 활용하기 위한 노력이 많이 진행될 것이다. 또한 MEMS 기술의 발달은 가열형 적외선 센서의 모든 경우에 열 차단 성능과 적외선을 검출하는 유효면적(fill factor)을 향상시킬 수 있게 될 것이다. 그리고 실리콘 판독회로의 성능 향상을 위하여 잡음을 줄이고 응답속도를 향상시키기 위한 노력이 진행될 것이다. 측정온도의 범위가 큰 열전대형 적외선 센서 제조 기술 개발도 가속화될 전망이다. 표 3에는 가열형의 비냉각 전의 선 센서의 기본적인 동작 조건을 나타낸 것이다.

표 3. 비냉각 적외선 검출기의 종류에 따른 특성 비교

	Resistive Bolometer	Tyroelectric Detector	Ferroelectric Bolometer	Thermo- electric Detector
Responsivity	High	High	High	Low
Bias Required	Yes	No	Yes	No
DC Response	Yes	No	No	Yes
Chopper Required	No	Yes	Yes	No
Time Constant (ms)	1~8	10^{-4} ~0.01		4~30

6. 맺음말

가열형의 비냉각 적외선 센서에 대한 연구 개발은 지속적으로 증대될 전망이다. 그간 산업용 및 민수용으로 많은 수요가 있었음에도 불구하고 우수한 성능의 적외선 영상장비가 널리 보급되지 못했던 것은 제작의 기술적인 어려움 뿐만아니라 냉각형 적외선 센서의 높은 가격 때문이기도 하다.

자연계에서 방울뱀과 같은 종류의 뱀들은 약 8 μ m 파장대역의 적외선을 잘 탐지할 수 있는 감각기관을 가지고 있다. 비냉각 적외선 센서의 개발은 핀홀(pin hole) 사진기처럼 생긴 뱀들의 감각기관을 응용함으로써 시작되었다. 즉 야시경의 개발이 이루어진 것이다.

오늘날 판매되고 있는 냉각형 적외선 영상장비는 수만불 이상의 고가이다. 그리고 대부분 군용으로 사용되고 있다. 1990년대에 들어오면서 본격적으로 상용화되기 시작한 비냉각 적외선 영상장비는 민수용에 적합한 것으로 여겨졌으나, 성능향상과 더불어 군용에 역으로 활용될 분야가 증대되고 있다. 현재 발달의 속도가 가속화되고 있는 실리콘 반도체 제조 기술은 종래의 냉각 방식의 적외선 영상센서에 비하여 수십분의 일의 저렴한 가격으로 생산을 가능하게 하고 있다. 그래서 급속도로 산업 및 민수시장에 확산되고 있다. 비냉각 적외선 영상장비는 군용과 산업 및 민수용으로 화재진압, 경찰의 순찰, 산업현장의 감시, 측정 및 각종제어, 민간항공기 야간 조종, 그리고 선박의 항해등에 매우 다양하게 이용이 가능하다.

오늘날 전세계의 많은 민간기업들과 연구소는 비냉각 적외선 센서 제조 기술을 발전시키기 위한 노력을 진행하고 있다. 특히 박막의 적외선 센서 재료의 개

발에 많은 연구인력과 연구비가 투입되고 있다. 적외선 센서의 화소의 수를 증대시키는 노력 뿐만아니라 성능을 향상시키고 적외선 검출기와 첨단 신호처리 기능을 반도체 집적회로에 통합시키는 연구를 수행하고 있다. 이러한 과정을 성공적으로 수행하기 위해서는 무엇보다도 센서재료의 개발이 선행되어야 함이 강조된다. 향후 저항체 및 열전대 재료 개발에 많은 노력이 필요하며 특히 초전특성이 우수한 강유전체 박막의 개발에 많은 노력이 필요하다고 생각된다. 그렇게 함으로서 장차 크게 확대될 세계시장에서 기술우위를 점할 수 있게 되기를 기대한다.

7. 참고문헌

- [1] E. L. Dereniak and G. D. Boreman, Infrared Detectors and Systems(A Wiley-Interscience Publication, 1996).
- [2] Charles M et al., Infrared Technology (Texas Instruments Technical Journal, 1994).
- [3] R. W. Whatmore, Pyroelectric Devices and Materials, Rep. Prog. Phys. 49, 1335(1986).
- [4] B. Willing et al., Transducers '97, 1245 (1997).
- [5] B. E. Cole et al., Transducers '95 Eurosensors IX, 628(1995).
- [6] Uncooled infrared Imaging Array and Systems, Academic Press, 1997.
- [7] D. Vincent, Fundamentals of Infrared Detector Operation and Testing, Jhon Wiley & Sons, 1990.