

비냉각형 적외선 센서 기술동향



황학인

전자부품종합기술연구소
부품연구 2팀장

1. 서 론

0 °K이상의 모든 물체는 적외선을 방사하고 있으며 물체로부터 방사되는 적외선의 파장과 절대온

도간에는 식(1-1)의 Wien의 법칙을 따른다.[1]

$$\lambda_m \cdot T = 2898 (\mu m \cdot K) \quad (1-1)$$

방사 적외선은 적외선감지소자를 이용하여 비접촉으로 검출함으로써 물체의 온도를 측정하거나 방사, 흡수 스펙트럼을 분석할 수 있다. 적외선감지소자는 측정원리에 따라 양자형과 열형으로 구분되는데 양자형은 Photo-conductive mode나 Photo-voltaic mode로 검지하는 방식이고, 열형은 흡수된 광에너지에 의한 재료의 온도변화에 따른 전기적 특성 변화를 검출하는 방식이다. 일반적으로 양자형은 응답속도가 빠르나 파장에 따라 감도가 다르며 냉각이 필요하다. 열형은 응답속도는 느리나

감도가 적외선 파장에 의존하지 않으며 상온에서도 사용이 가능한 장점이 있다. Table1-1에 비냉각 방식의 적외선 센서의 종류와 특성을 비교하였다.[2~4]

적외선 센서는 주로 양자형을 중심으로 군사용으로 개발이 진행되어 왔으나 최근에는 비냉각형 열형 적외선 센서에 대한 관심이 높으며 재료 및 micromachining 가공기술의 발전에 힘입어 우수한 특성의 센서들이 개발되어 적외선 CCD 카메라와 같은 2차원 array 센서도 개발되어 사용되고 있다.

이러한 적외선 센서는 단순기능으로는 인체감지 기능을 이용하여 방법용감지기, 자동문제어, 자동차

Table 1-1. Properties of thermal mode infrared sensors

Mode	Device	Wavelength (μm)	Detectivity ($cmHz^{1/2}W^{-1}$) $\times 10^{10}$	Chopping frequency(Hz)	Operation Temp.(°K)
Thermal mode	Thermocouple	1.0~40	0.1	30	295
	Blometer	0.2~40	0.02	20	"
	Pyroelectric	0.2~40	0.05	1,000	"

Table 1-2. Application of pyroelectric sensors

Infrared detection	Imaging devices	Others
Atmospheric temperature	Bimedical imaging	Calorimetry
Engine analysis	Electronic testing	Emissivity absorption
Fire alarm	Forest fire detection	Heat transfer
Gas analyzer	Industrial process	Microwave detector
Pollution detection	Military use	Thermal diffusivity
Radiometer	Optical device	Thermometer

명제어, 에어컨 자동제어등에 사용되고 있으며, 군사적으로는 미사일 추적장치나 야간감시카메라 등에, 산업용으로는 건물 열관리 시스템, 전자제품의 열분포측정기 및 의료용 열상진단기등으로 폭 넓게 사용되고 있다. 산업의 발전에 따라 비접촉식 온도측정이나 thermography 및 remote sensing 등의 많은 분야에서 적외선센서를 이용하려는 요구가 계속적으로 증가하고 있으며 이에 따라 고분해능을 위한 기술개발이 요구되고 있다. Table 1-2에 적외선 센서의 응용분야를 요약하였다. [5]

적외선센서의 발전에 있어서 초기의 열형 적외선센서의 출현이후로 감도와 신뢰도에 있어서 많은 진전이 있었으며, 이중 가장 중요한 발전은 ferroelectric 재료가공 기술과 micromachining 기술의 결합으로서 비교적 저렴한 고기능의 센서가 대량으로 생산되게 되었다. 본고에서는 이러한 비냉각형 적외선센서의 원리와 동향에 대하여 개략적으로 소개코자 한다.

2. 초전형(pyroelectric)적외선 센서

2-1. 초전형센서 특성지수

적외선센서 중에서 가장 대표적인 것이 초전형 적외선센서이다. 이는 방법용으로 가장 많이 사용되고 있는 passive sensor로서 주로 perovskite(ABO₃)형 세라믹이나 LiNbO₃ 단결정이 센서소자로서 사용되고 있다. ABO₃형 구조의 초전체로는 자발분극을 갖고 있으며 재료표면에는 대기중에 존재하는 반대극성의 부유전하가 부착되어 전기적으로 중성을 유지하게 된다. 소자의 온도변화에 의한 순간 전하변화량은 식(2-1)로 주어진다.

$$\Delta Q = p \Delta T \quad (2-1)$$

여기서 p 는 재료초전계수, A 는

전극면적, ΔT 는 온도변화이다 초전체재료의 heat conductivity (G)와 heat capacity (H)를 고려하고 입사된 적외선 광량에 대하여 normalized하면 순간전하변화량은 전류로 측정이 가능하여 current response (R_I)는 식 (2-2)와 같이 된다.[6]

$$R_I = \frac{\eta p A \omega}{G \sqrt{1 + \omega^2 \tau_{th}^2}} \quad (2-2)$$

여기서 η 는 흡수계수, τ_{th} 는 열시정수 (H/G), ω 는 센서에 입사되는 적외선의 각주파수이다.

$\omega \gg \tau_{th}^{-1}$ 인 조건에서는 최대

current response가 되어 식(2-3)과 같이된다.

$$R_{I, \max} = \frac{\eta p A}{H} \quad (2-3)$$

만일 전압으로 검출하려면 소자의 impedance를 전류감도에 곱하여 구할 수 있고 다음과 같이 된다.

$$R_V = \frac{\eta p A R \omega}{G \sqrt{(1 + \omega^2 \tau_{th}^2)(1 + \omega^2 \tau_{el}^2)}} \quad (2-4)$$

$\tau_{el}^{-1} \ll \omega \ll \tau_{th}^{-1}$ 인 조건에서는 최대 출력전압이되어 식(2-5)와 같게된다.

$$R_{V, \max} = \frac{\eta p t}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad (2-5)$$

여기서 t 는 초전소자의 두께, ϵ 은 유전율, τ_{el} 은 전기시정수인 RC 이다.

따라서 높은 출력특성을 얻기위해서 재료에 요구되는 특성으로는 유전율과 열전도도 및 열용량이 작고, 재료의 초전계수와 흡수계수가 높아야한다. 실제적 측면에서는 전극면적이 넓고 소체가 두꺼울수록 높은 출력 특성을 보이 나 열용량이 커지므로 특성이 저하되는 상관관계가 있다.

초전센서의 특성을 나타내는데 있어서 위에서 언급한 출력전압도

중요하나 실제로는 신호대 잡음의 비율인 S/N(signal/noise) 값이 더욱 중요하다. 일반적으로 S/N 비를 정량적으로 표시하는 규격으로서 잡음등가입력 (PN)이나 규격화된 검출능인 비검출능 (D^*)을 사용한다. 비검출률은 감도 (R_V)와 총잡음전압 (V_N)과의 비를 나타내는 특성량으로 다음과 같이 정의된다.

$$D^* = R_V \sqrt{A} \sqrt{\Delta f} / V_N =$$

$$\frac{\eta p}{C_p d \sqrt{4KT \cdot \tan \delta \cdot \epsilon_r \epsilon_0 \cdot \omega t}} \quad [\text{cm Hz}^{1/2} \text{W}^{-1}] \quad (2-6)$$

D^* 는 소자두께 t 의 평방근에 반비례하여 t 가 작아질수록 커진다. 지금까지 초전류, 출력전압 및 비검출률에 대해 기술하였으나 재료의 고유한 특성을 표현하는 평가지수는 여러형태로 다음과 같이 표현된다. [7]

초전류지수평가 (F_I)

$$p / C_p d \quad [\text{C} \cdot \text{cm} / \text{J}] \quad (2-7)$$

초전압지수평가 (F_V)

$$p / C_p d \epsilon, \quad [\text{C} \cdot \text{cm} / \text{J}] \quad (2-8)$$

비검출률지수평가 (F_d)

$$p / C_p d \sqrt{\epsilon_r \tan \delta} \quad [\text{C} \cdot \text{cm} / \text{J}] \quad (2-9)$$

에너지변환효율지수평가

$$p^2 / C_p d \epsilon, \quad [\text{C}^2 / \text{Jcm}^2 \text{C}] \quad (2-10)$$

2-2. 초전형 적외선 센서용 재료

일반적으로 초전체 재료가 갖추어야 할 조건은 첫째, 온도변화에 따라 분극변화양이 커야 한다. 즉, 분극변화가 커야만 미소온도변화에 대한 감도가 좋아진다. 둘째, 상온 부근에서 초전류값이 커야 한다. 대부분의 초전센서는 상온 부근에서 물체의 온도 변화를 감지하기 때문에 상온에서 초전류값이 낮으면 고온에서의 초전류값이 높더라도 적외선 센서로서 사

용이 적당하지 않다. 셋째, 사용 온도에서의 유전손실이 작아야 한다. 유전손실은 일반적으로 재료 내에서 열로 변환되어 측정 감도를 나쁘게 하므로 좋은 적외선 센서로 사용이 어렵게 된다.

이러한 특성이 요구되는 초전재료는 단결정과 다결정 강유전체로 분류할 수 있다. 단결정 재료들은 유전율이 100 이하로 낮고 유전손실도 작기 때문에 초전 계수가 작아도 높은 성능 지수를 나타내어 초전 센서로의 응용이 가능하다. Triglycine sulphate (TGS)가 대표적인 재료이지만 습기에 약하기 때문에 사용시에 많은 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 Triglycine sulphate (TGS)를 기본으로 하여 여기에 여러 가지 재료들을 첨가하여 Deutrated

triglycine sulphate (DTGS)와 Alanine & Arsenic doped TGS (ATGSAs) 등을 만들어 개선시켰으며 초전 성능 또한 향상되었다. 그러나 다양한 성분이 첨가된 단결정 초전 재료는 재현성있게 제조하기가 어려울 뿐만 아니라 제조 단가도 비싼 것 등이 문제점이었다. 한편, 다결정 초전재료는 내구성이 좋고 다양한 성분이 첨가된 재료를 재현성 있게 제조할 수 있는 잇점이 있다. 다결정 재료에서 Pb(Zr,Ti)O₃를 기본조성으로 하고 여기에 La₂O₅, SrTiO₃, Nb₂O₅, Fe₂O₃ 등을 다양하게 doping하여서 큐리온도 및 초전전류값을 변화시킨 재료들이 많이 연구되어 지고 있다. 그러나 아직까지도 최적의 doping 조건이 결정되지 못한 상태로서 doping 실험

을 통해서 최적의 재료조성을 결정하기 위한 연구가 많이 수행되고 있다. 현재까지 PZT (94/6), PZNT (90/8/2) 등의 조성계에서 좋은 유전 및 초전특성의 결과가 보고되고 있다.

Table 2-1에 개발된 여러 재료의 특성을 정리하였다.[8][9]

Modified PZT 계에서는 C_p는 0.31로서 조성변화에 따라 변화를 보이지 않고 있으며, 또한 C_p·a는 1.6~3.3[J/cm³deg]의 범위로서 큰 차이를 보이고 있지 않으므로 재료평가지수는 초전계수, 비유전률, 유전손실에 의해 주로 지배된다. 즉, 재료의 초전 특성 평가측면에서 보면 초전계수가 크고 비유전률과 유전손실이 작으며 C_p·a가 작은 조성의 개발이 필요하다.

Table 2-1. Figure of merits of modified PZT ceramics and other materials

Composition			ϵ_r	$\tan \delta$	β	F_i	F_v	F_d	C_p	a	τ_c	τ_t
x	y	z (ref.1)	(100Hz)	$\times 10^{-8}$	$\times 10^{-8}$	$\times 10^{-8}$	$\times 10^{-10}$					
0.00	0.50	0.50	700	5.0	11.0	4.5	0.64	0.76	0.31	7.8	1.21	39.4
0.05	0.65	0.30	390	1.3	5.0	2.1	0.53	0.93				
0.05	0.56	0.39	680	0.7	7.4	3.0	0.44	1.37				
0.10	0.27	0.63	380	1.4	17.9	7.4	1.95	3.21				
LiTaO ₃			43	-	1.8	0.55	1.29	-	0.43	7.45	38.1	52.2
LiNbO ₃									0.635	4.64	24.8	48.1
TGS			35	-	4.0	1.6	4.0	-	0.97	1.69	4.43	26.8
PbTiO ₃			200	-	6.0	1.88	0.94	-				
Sr _{0.48} Ba _{0.52} Nb ₂ O ₆			380	-	6.5	3.13	0.823	-	0.4	5.2	3.36	33.9

(ref.1) $xPb(Sn_{1/2}Sb_{1/2})O_3+yPbTiO_3+zPbZrO_3$

ϵ_r : dielectric constant

$\tan \delta$: dielectric loss [%]

β : pyroelectric coefficient [$C/cm^2 \cdot C$]

C_p : specific heat [$J/g \cdot C$]

a : density [g/cm^3]

$F_i = \beta/C_p a$ [$C \cdot cm/J$]

$F_v = \beta/C_p d \epsilon_r$ [$C \cdot cm/J$]

$F_d = \beta/C_p a \sqrt{\epsilon_r \tan \delta}$ [$C \cdot cm/J$]

$\tau_c = \epsilon_r \epsilon_0 \rho$: electrical time constant [sec]

$\tau_t = C_p d L/g_i$: thermal time constant [sec]

$xPb(Sn_{1/2}Sb_{1/2})O_3+yPbTiO_3+zPbZrO_3$ 계 세라믹에서는 z의 비율이 증가함에 따라서 초전특성을 지배하는 재료평가지수가 증가하는 경향을 보이고 있다. Modified PZT계를 중심으로한 세라믹재료에서도 단결정의 초전특성에 견줄 만한 있는 우수한 재료개발이 되어 실용화 되었다.

3. Bolometer형 적외선 센서

또 다른 적외선 센서의 원리로서 온도변화에 따른 유전율변화(dielectric bolometer)나 저항변화(thermister bolometer)를 이용하는 방법이 있다.[10][11]

Dielectric bolometer용 재료에 요구되는 조건은 첫째, 큐리온도는 상온부근에 있어야 한다. 둘째, 사용온도에서 유전율의 변화가 급격하게 이루어져야 한다. 셋째, 사용온도에서의 유전손실값이 작아야 한다. 일반적으로 BST계열의

재료가 이러한 요구조건을 만족시킬 수 있는 재료로 생각되어지고 있으나 적외선센서로서 가장 적합한 Ba/Sr의 조성비는 아직 결정되어지지 않은 상태이다.

집적화된 thermister bolometer에서 사용되는 저항체의 온도저항계수TCR은 약2~6%범위이고 대표적인 재료로서 VOx가 사용되고 있다. 이러한 bolometer를 작동시키기 위해서는 정확하게 조절된 bias 전류가 적정한 전원과 저항을 통하여 공급되어야한다.

4. Thermocouple

초기의 적외선센서로서 이용되던 방식은 Seeback효과를 이용한 것이다. 가장 많이 사용되던 금속은 bismuth-silver, copper-constantan, bismuth-bismuth/tin alloy 등이다. 현재는 Seeback효과가 급속보다 훨씬 큰 반도체 thermopile 개발되어 현재 상용화되고 있으나 온도안정성이요구되는 곳에서는 금속형이 주류로 쓰이고 있다.

5. 열형 적외선 이미지센서의 개발

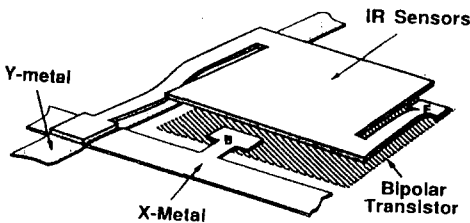


그림 5.1 Honeywell 센서의 cell 구조

열감지형 적외선 이미지 센서는 2차원적으로 배열된 미소한(50×50 μm^2)감지소자에 적외선이 흡수될때 생기는 소자의 국부적 온도

상승에 의한 물성변화를 측정함으로써 적외선을 감지하는 것으로서, 감지소자와 주위 구조물과의 단열효과가 센서의 감도와 응답도를 결정하게 된다. 과거의 열감지 센서는 단열 구조의 제작 자체가 어렵고, 또 제작이 가능하더라도 복잡한 패키징 방법으로 구현할 수 밖에 없기 때문에 높은 감도를 얻을 수 없었다. 그러나 micromachining 기술을 이용하면 이러한 단열 구조를 효과적으로 작은 면적에서 구현할 수 있다.

90년대 초이후로 비냉각형 열감지 소자들이 집중적으로 연구되기 시작되어 상품화되었다. 대표적으로는 미국의 Honeywell과 TI社가 있다.

그림5.1과 5.2는 각각 Honeywell과 TI의 micromachining된 적외선 센서의 단열셀 구조를 보인 것이다.

Honeywell사는 surface micromachining 기술과 VOx bolometer 기술을 결합하여 감시장비, 조준경, 조정사 관측경 및 방공포용 적외선 탐지 및 추적장비용으로 사용되는 적외선이미지센서를 개발하였다. Table 5.1에 Honeywell社의 resistive type micro-

uncooled IR focal plane array sensor를 개발하였다. BST (Ferroelectric Barium Strontium Titanate) 소자의 pyroelectric 효과와 작동 온도 근방에서 미소온도 변화에 대한 큰 유전율변화를 이용한 것이다.

30 μm 두께로 박판가공된 BST소자를 ion mill을 통하여 미소cell로 분리하고 microbump-bonding을 통하여 readout IC와 결합하여 센서를 제작하였고, 8비트의 디지털 NTSC 비디오 출력을 제공토록 하였다.

Table 5.2에 TI사의 uncooled IR focal plane array소자의 사양 및 특성을 나타내었다.

센서의 신호처리 기술로서 digital FPA(Focal Plane Array) image sensor에서 대표적으로 자리잡고 발전한 기술은 CCD (Charge Coupled Device) 방식이었으나 최근에는 여러가지 장점을 갖춘 CMOS 방식의 이미지 처리 기술이 연구되고 있다. CCD방식에 비해 CMOS방식의 장점으로는 상용화된 Logic/DRAM 기술을 사용하기 때문에 가격을 떨어뜨릴 수 있으며, 적은 전력소모 및 single power supply로 시스템 구성이 간단하며, 각 기능블럭을 한

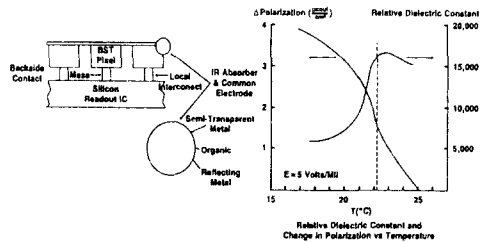


그림5.2 TI 센서의 cell 구조

bolometer array의 특성에 대 정리하였다.

TI社는 dielectric bolometer type의 감지소자를 사용하여

개의 칩상에 집적화할수 있기 때문에 소형화하여 휴대용으로 적용이 가능하다. 또한, 임의의 pixel을 addressing할 수 있는 random

Table 5.1 Uncooled microbolometer infrared sensor의 특성

Parameter	Typical	Anticipated
Mass	1×10^{-9} gm	
Thermal Mass	1×10^{-9} J/°C	
Thermal Conductance to Substrate	1×10^{-9} W/°C	$<1 \times 10^{-7}$ W/°C
Thermal Response Time	10ms	
Operating Temperature	Room Temperature	
Vacuum	<100 mTorr	
FIII-Factor	50%	75-85%
Shock Tolerance	>20,000 G	
Absorption(8-14um band)	80 %	
Pixel Size	2×2 mil	1×1 to 3×3 mil
Blas voltage	1.5V	
Resistance	5k Ω	
TCR	2 %/°C	
Responsivity	70,000 V/W	2.5% to 3%/°C
Noise	10 μ v rms	250,000 V/W
Sensitivity(NETD)	0.1°C	5 μ V rms
Array Dimensions	240×340 Pixels	0.015°C
Dead Pixels	<25 per Array	Larger
Uniformity	20% per Pixel	0 per Array

Table 5.2 TI사의 uncooled IR focal plane array sensor의 특성

Parameter	Typical	Planned
Detector Material	(BaSr)/TiO3	
Pyroelectric constant	630 nC/cm ² /°C	
Dielectric constant	10,000	
Capacitance	3 pF	
Operation temperature	22°C	
Bias voltage	15V	
Responsivity	85,000 V/W	
Pixel pitch	48.5 μ m	48.5 μ m × 35 μ m
Pixel thickness	25 μ m	5 μ m
Thermal isolation	200,000°C/W	2,000,000°C/W
Thermal Time Const	15ms	
Optical fill factor	100%	
Absorber efficiency	95%	
Array size	245×328	245×454
ROIC	1 μ m CMOS	0.8 μ m CMOS
NETD	<0.08°C	0.03°C
Defects	<100	

access 방식으로 쉽게 전자적으로 pan/zoom/windowing 기능을 갖을 수 있다. 초기의 digital 위주의 CMOS의 기술은 analog 회로를 포함하였고 one-chip 상에 multi function block를 결합하여 custom화된 CMOS(ASIC) 기술로 발전해왔다. 그동안 고해상도, 저잡음 등의 장점으로 인하여 CCD 방식이 주종이었던 이차원 digital image system도 analog CMOS 기술이 접목된 custom CMOS 기술의 발전으로 CMOS 방식의 image sensor가 90년 이후로부터 연구개발 되어져 왔다. 구동회로는 가시광 이미징 센서용 회로가 기본이 되어 연구되어 왔으며 대표적인 업체는 다음과 같다.

- 1) Toshiba : 1997년 2월 0.6 μ m CMOS 기술을 이용하여 1318 × 1030 Pixel을 갖고 구동전압 3.3V 전력소모 30mW의 CMOS Image sensor chip 개발
 - 2) Polaroid : 1997년 0.8 μ m CMOS를 이용하여 768 X 512 sensor 개발
 - 3) HP(1997): 0.35 μ m 640×480개발
 - 4) IMEC(1995, 네델란드) - 0.5 μ m 2048 X 2048개발
- 그림 5.3은 지금까지 개발되어 온 제품의 성능개선추이를 보이고 있으며 그림 5.4는 이론적계산 결과로서 분해능의 한계치를 보이고 있다. 적외선 이미징 센서는 온도분해능을 향상시키기 위하여 많은 분야에서 개발이 진행되어 왔으며

열용량을 작게하기위해 마이크로 머시닝 기술을 이용한 재료 가공 및, 새로운 재료의 개발, 반도체회로 기술의 발전 등에 의하여 NETD (온도분해능을 의미)가 현재 0.02°C 수준에 이르고 있다. 그림 5.5 (a)는 적외선 카메라를 구성하는 적외선 센서 및 신호처리 보드와 mechanical chopper 부품과 (b)는 광학렌즈 및 온도관리 모듈이 부착된 카메라 (c)는 촬영된 적외선 영상 이미지를 나타낸다. 자동차 및 사람의 형상이 확연히 구분됨을 알 수 있다.

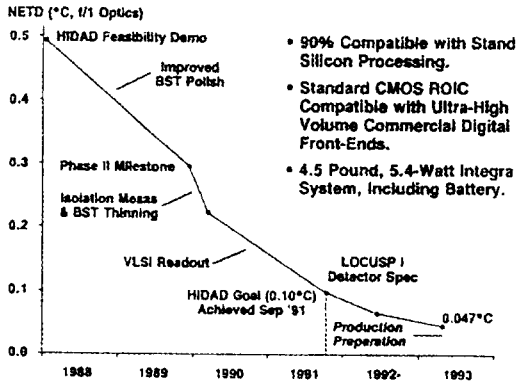


그림5.3 NETD 개선 추이

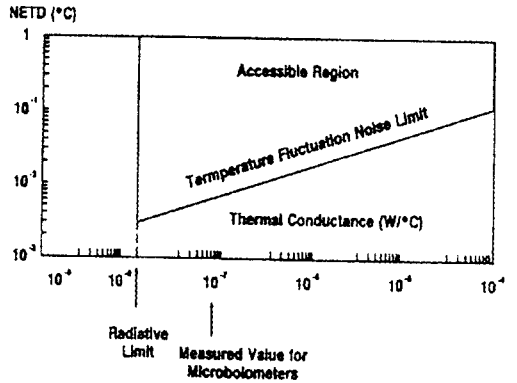


그림5.4 열전도도와 NETD의관계

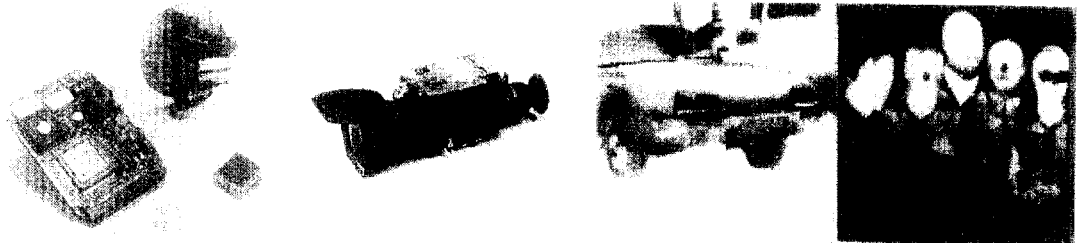


그림 5.5 적외선 카메라 및 열영상

6. 시장 규모

적외선 이미지 센서는 과거 주요 market이던 military application 으로부터 새로운 commercial application으로의 이동이 예상되며 대상응용분야는 다음과 같다.

- Driving - vehicle sensors, collision avoidance system
- Industrial Automation - electric, mechanical, troubleshooting
- Surveillance - police, INS
- Security Systems - homes, business
- Airport - landing aids, traffic monitor
- Firefighting - IR goggles

Table6.1에서 보이듯 비냉각형 적외선센서의 기술발전에 의하여 저온 동작이 필요한 양자형(MQW) 방식은 점차 줄어들 전망이다.

Ferroelectric 방식(pyroelectric, dielectric bolometer)이 가격경쟁력에서 유리하여 시장을 주도할 것으로 예상되며 micro-bolometer 방식도 계속 경쟁으로 성장될 전망이다.

현재 시장을 차지하고 있는 것은 ferroelectric 방식은 세라믹소자와 구동회로가 있는 실리콘 기판간을 microbump 기술을 이용하여 연결하는 하이브리드 형태(Boeing, TI 사 및 GEC사)가 주종을 이루고 있으나 앞으로는 thin film

ferroelectric material을 micro-machining 기술을 이용하여 실리콘기판에 집적화하는 기술개발을 통하여 fully integrated 된 thin film ferroelectric IR sensor 개발이 주목되고 있다.

7. 결론

상어적으로 성공된 대형 hybrid 초전체이미지센서는 perovskite ceramic을 사용하여 제작되었으며 dielectric bolometer용 세라믹에 대한 연구와 thermal isolation개선을 위한 연구가 계속되고 있다. 적정비용의 hybrid기술이 개발되면, 이러한 장치들은 상업적, 산업

Table 6.1 IR image system market

Year	Unit (Million)	IR sensors Revenues (\$Million)	Revenue Growth Rate(%)	PORC (%)	Commercial Product Revenues (\$Million)	Percent of Revenues by uncooled IR type		
						Ferro(%)	Micro Bolometer(%)	MQW(%)
1997	5.1	720.2	4.6	26.2	188.8	45.6	24.5	29.9
1998	9.1	809.6	12.4	26.1	211.4	58.4 (@\$3000)	32.5 (@\$5000)	9.1
1999	16.3	991.4	22.5	27.0	267.9	58.7	38.6	2.7
2000	30.3	1202.0	21.2	31.6	379.8	57.8	40.6	1.6
2001	56.1	1447.9	20.5	37.3	540.4	64.6 (@\$1000)	34.1 (@\$1600)	1.3

적 그리고 군사적 응용면에서 적 외선과 thermal imaging의 사용 범위를 늘려갈 것으로 기대된다. readout IC chip위에 detector재료가 집적된 IR array기술은 high imaging performanc와 low cost에 대한 높은 잠재력을 가지고 있으며 이 기술을 이용하여 ferroelectric bolometer와 resistance bolometer기술이 경쟁할 것으로 예상된다. 이러한 비냉각형 적 외선센서는 소재기술, 실리콘 및 세라믹 마이크로머시닝기술, 반도체회로 기술의 결합에 의해 개발될 수 있는 제품으로서 다양한 기술에 대한 흥미뿐만 아니라 시장 전망도 좋은 분야이다. 특히 ferroelectric IR sensor의 경우 국내에도 많은 기관에서 비교적 연구자원이 갖추어져 있기 때문에 상용화를 위한 연구에 진입할 수 있을 것으로 생각된다. 조기에 상용화를 위해서는 하이브리드 형태의 구조가 효과적일 것으로 판단

되며 가격을 낮추기 위해서는 패키징과 광학계를 포함한 연구의 병행이 필요한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] E.L.Dereniat, G.D.Boreman, Infrared Detectors and System, pp. 69-70. 1996.
 [2] 浜川, "光センサと画像処理技術", 電學誌 97(8), pp. 677-682, 1977. 8.
 [3] 高橋, "センシング・デバイスの現況と動向", 電學誌 97(8), pp. 664-667, 1977. 8.
 [4] 久保田, "光學技術ハンドブック", 朝倉書店, pp. 976-985, 1971..
 [5] E.H.Puttley, "The Applications of Pyroelectric Devices", Ferroelectrics, Vol.33, pp. 207-216, 1981.
 [6] A.Hossain,M.H.Rashid, Pyroelectric detectors and their

aplication,IEEE Trans.Industrial Appl.27(1991)834-829

[7] E.Fatuzzo, H.Kiess and R. Nishe, "Theoretical Efficiency of Pyroelectric Converters", J. Appl. Phys., Vol.37, pp. 510-516,1966.
 [8] C.B.Roundy, R.L.Byer, "Sensitive LiTaO₃ Pyroelectric Detector", J. Appl. Phys., Vol. 44(2), pp. 927-931, 1973.
 [9] R.L.Byer, C.B.Roundy, "Pyroelectric Coefficient Directric Measurment Technique and Application to a NSEC Response Time Detector", Ferroelectric, Vol. 3, pp.333-338, 1973.
 [10] R.w whatmore, Frroelectrics, 76,351-367,1987
 [11] R.W. Whatmore, ferroelectrics,106,387-392,1990

< 전 덕 영 위 원 >