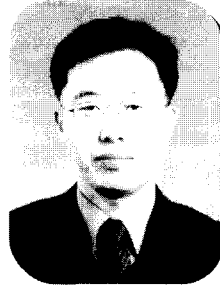


비냉각 초전형 적외선 검출기



한명수
한국광기술원
선임연구원

1. 서론

모든 물체는 절대온도 0도 이상에서 복사에너지를 방출한다. 이러한 에너지는 물체 내부의 원자 및 분자의 진동과 회전에 의해 생성되며 소스(source)로부터 바깥쪽으로 직진하고 진공, 공기, 가스, 액체 및 고체 등의 물리적 전달체를 통하여 전파된다. 따라서 외부로부터 빛의 공급이 없이도 표적 자체가 발하는 복사에너지를 집합시켜 눈으로 볼 수 있는 가시광선으로 변화시켜 관측케 하는 장비를 열상시스템(thermal imaging system)이라 한다. 열상시스템은 기존의 가시광선을 이용한 일반 열상장비와는 다르다. 물체의 단위면적당, 단위 시간당 방출되는 복사에너지 즉, 복사 방출량의 차이를 영상화함으로써 빛이 전혀 없는 야간이라 할지라도 관측이 가능하다. 이러한 적외선 열상시스템 개발 초기에는 적외선 검출기의 응답시간 지연으로 실시간 열영상 구현이 불가능했으나, 1950년대 초 검출재료의 개발과 냉각 방식의 적외선 검출기의 도입으로 짧은 시정수를 갖는 소자가 개발되었다. 이후 1960년대 이후 1974년 사이에 약 60여종의 열상시스템이 개발되어 상용화 되었다. 본격적으로 열영상 시스템이 적용된 시기는 1970년대 후반으로 군사용의 야간관측이나

사격통제 장비의 센서로 이용되기 시작하였으며, 현재까지는 산업용이나 의료용으로도 광범위하게 사용되고 있다. 최근 반도체 기술의 발달과 군사기술의 민간산업으로의 이양 정책에 따라서, 산업용에서 환경감시용으로 이르기까지 다양하다.

이러한 적외선 열영상 시스템은 미약한 열 신호를 감지하여 전기적 신호를 발생시키는 적외선 검출기, 검출기에서 발생된 전기적 신호를 처리하는 readout 회로, 그리고 영상 구현을 위한 신호처리 시스템 등으로 구성된다.

본 논문에서는 대표적인 적외선 검출기의 종류와 동작원리에 대해 살펴보고 본 저자가 개발했던 결과를 중심으로 초전형 비냉각 적외선 검출기에 대해 언급하며, 앞으로의 기술동향 및 국내 적외선 검출기의 개발방향에 대해 간단히 언급한다.

2. 초전형 적외선 검출기

2.1 검출기의 종류 및 성능

검출기 제작 초기에는 PbS를 이용한 적외선 검출기 연구가 활발하였으며 이후 PbSe, PbTe 재료를 사용한 적외선 검출기가 개발되었다. 오늘날에는 II-VI족 화합물 반도체인 HgCdTe(MCT)와 III-V족



인 InSb 결정으로 제작된 적외선 검출기가 상용화되고 있다. 적외선 영상을 구현하기 위하여 3-5 μm 파장영역에서는 InSb와 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x\sim 0.3$)를, 8-12 μm 파장영역에서는 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x\sim 0.2$)를 이용한 적외선 검출기가 사용되고 있다. 이들을 이용한 열영상 시스템(적외선 카메라)은 정교하게 설계되고 광학계, 검출기, 신호처리 회로, 그리고 영상 재현부 등으로 구성되어진다. 특히 이러한 적외선 검출기는 80 K (-193 $^{\circ}\text{C}$) 근처에서 동작되기 때문에 별도의 냉각장치가 요구된다. 또한 $\sim 10^{-5}$ Torr 이상으로 수년간 지속적으로 유지시킬 수 있는 진공용기(dewar)가 필요하고, 수명이 5000 시간 정도 되는 냉각장치를 부착하여야 한다. 이러한 원인들이 열영상 장비의 가격을 높이는 이유이다.

비냉각 적외선 검출기는 여러 가지 형태로 개발되었으며, 이는 별도의 냉각장치가 필요치 않으며, 검출기 특성을 안정화시켜 주는 전자냉각 모듈만이 필요하다. 흔히 잘 알려져 있는 비냉각 열영상 장비로는 야시경이 있는데 이는 물체의 표면에서 반사되는 근적외선 영역의 빛을 광 증폭 원리를 이용하여 영상화하는 장비로써 비교적 저렴하게 제작할 수 있다. 그러나 이는 전력소모가 많고 온도분해능이 떨어지며, 또한 흐린 야간이나, 빛이 완전히 차단된 공간에서는 제 기능을 발휘할 수 없다는 단점이 있다. 이외는 다른 비냉각 적외선 검출기로는 열

형 검출기(thermal detector)가 있는데, 강유전체가 상전이점인 큐리온도 부근에서 전기분극의 변화가 커지는 초전현상을 이용한 초전형 적외선 검출기, 초미세가공으로 볼로미터(bolometer)를 형성하고 그 위에 온도의 변화에 따라 저항이 변화하는 박막의 저항체를 성장시킨 저항형 마이크로 볼로미터, 열질량에 저항체 대신에 금속 접합의 열전대 현상을 이용한 열전대형 볼로미터(thermoelectric microbolometer) 등이 그것들이다. 표 1에 적외선 검출기의 종류 및 주요재료를 나타내었다.

강유전체는 전계를 인가했을 때 전기분극이 발생하며, 초전효과는 전기분극현상이 온도에 의하여 영향을 받게되는 것을 나타낸다. 이 때 물체에서 방사되는 적외선의 양(온도)을 강유전체의 분극량 변화를 이용하여 전기적 신호를 얻게 된다.

모든 물체는 그 물체의 온도에 해당하는 복사선을 방출한다. 적외선 파장 중 대기 중에서 흡수가 적게 일어나는 대기의 창이라고 불리는 1-3 μm , 3-5 μm , 그리고 8-14 μm 파장 영역이 있다. 8-14 μm 경우는 상온(약 300 K)의 물체가 방출한 복사 스펙트럼의 피크에 일치하는 파장 영역이므로 특별한 관심을 받고 있는 영역이다. 물체가 복사하는 적외선을 검지하여 이용하는 적외선 기술에서는 물체가 복사하는 적외선이 물체의 온도에 비례하여 그 양과 스펙트럼 분포가 다르기 때문에 물체의 온도를 측정

표 1. 적외선 검출기의 종류 및 주요 재료.

Photon	Thermal
<ul style="list-style-type: none"> • Photoconductivity • Photovoltaic • Photoelectromagnetic • Phototransistor • Photon drag • Quantum counter • Photoemissive 	<ul style="list-style-type: none"> • Bolometer Metal, Semiconductor, Superconductor, Ferroelectric, Hot electron • Thermocouple/thermopile • Pyroelectric • Golay cell/gas microphone • Absorption edge • Pyromagnetic • Liquid crystal • Thermomechanical
HgCdTe, PbS, Ge: Au, Hg InAs, InSb, InGaAs	Si, VOx PZT, SBN, TGS, LiTaO ₃ , BaSrTiO ₃

할 수 있고, 원거리에서도 물체의 성질을 알 수 있으며, 낮과 밤, 안개, 노을 등에 관계 없이 물체를 관찰할 수 있다는 점 등이 가시광선 기술에 비하여 단연 우수하다. 또한 전파에 비하여 파장이 짧기 때문에 가시광과 마찬가지로 상으로서 포착할 수 있으며, 상호간에 서로 방해되지 않는다는 것들이 전파기술에 비하여 우수한 점이다.

적외선에 대한 눈(eye)의 기본 구성은 적외선 용렌즈, 주사 구동계, 센서 혹은 검출기 등으로 되어 있으며, 검출기로 얻어진 화상 신호는 증폭된 후 표시기, 분석기 등으로 연결된다. 양질의 적외선 영상을 얻기 위해서는 온도 분해능과 영상으로서의 공간 분해능이 뛰어나야 한다. 높은 온도 분해능을 얻기 위해서는 검출기의 감도가 높고, 그 파장 특성이 타겟 온도와 일치되어야 하며, 높은 공간 분해능을 얻기 위해서는 화면을 구성하는 화소(pixel) 수가 많아야 한다. 따라서 뛰어난 감도와 pixel 크기가 아주 작은 적외선 검출기를 개발할 필요가 있다.

적외선 검출기의 발달은 크게 3단계로 나뉘어진다. 제 1세대는 단소자 검출기를 이용하여 광학계를 2차원으로 기계 주사함으로써 열상을 얻는 방법이다. 따라서 주사에 시간이 요하기 때문에 실시간 표시는 곤란하지만, 목표가 정지되어 있을 경우에는 양질의 화상을 얻을 수 있으므로 널리 사용되고 있다.

제 2 세대는 linear array 검출기와 1차원 기계 주사의 조합에 의해 적외선 열상을 얻는 방법이다. 보통 FLIR (Forward Looking Infrared) 시스템이라고도 하는데 array가 수직 시야를 커버하고 수평기계 주사로 적외선 열상을 얻게 된다. 이 방법은 검출기의 특성에 대한 균일성이 엄격하게 요구된다.

제 3 세대는 2 차원 array를 이용한 면적 센서를 사용하는 경우인데, 기계 주사가 필요하지 않고 전자 주사만으로 열상을 얻기 때문에 장치의 소형화는 물론 고성능화시킬 수 있다. 양질의 적외선 열영상을 얻기 위해서는 온도분해능과 공간 분해능이 우수해야 하는데, 이를 위해서는 감도가 뛰어나야 하며 단위면적당 화소수가 많아야 되고 각 화소들은 균일한 감도를 가져야 한다.

적외선 센서의 감도는 응답성 R (responsivity), 탐지도 D* (detectivity), NEP (noise equivalent

power) 등으로 나타낼 수 있다. 또한 적외선 열상 시스템의 경우에는 최소 검출 온도차 (NETD; noise equivalent temperature difference)가 작고, 시야 각도의 분해능이 높으며, 밀도 높은 영상화면을 단시간에 얻어야 한다.

2.2 초전형 적외선 검출기의 구성

실리콘 직접회로의 기술과 초미세가공 기술 등의 발전으로 새로운 비냉각 적외선 소자의 개발을 비약적으로 발전시켰다. 그 대표적인 것 중의 하나가 상변이점인 큐리 온도 부근에서 초전효과(Pyroelectric Effect)를 증대시키는 강유전체를 이용한 적외선 검출기 이다. 이러한 강유전체는 PST(Lead Scandium Tantalate)나 BST(Barium Strontium Titanate)등이 있으며 미국 Raytheon 사에서는 BST를 이용한 비냉각 적외선 검출기를 생산하고 있다. 이들은 대부분 320x240 배열의 초점면 배열(FPA : focal plane array) 검출기를 채택하고 있다. 국내에서는 KEC에서 BST에 Ca을 첨가한 BaSrCaTiO₃를 이용한 320x240 비냉각 적외선 검출기를 개발하기에 이르렀다.

개발된 비냉각 320x240 BaSrCaTiO₃ 적외선 검출소자 규격을 표 2 에 나타내었다. 이러한 규격을 바탕으로 검출재료 및 소자를 제작하고, 최종 package에 조립하여 테스트를 거침으로써 개발이 완료된다.

표 2. 비냉각 320x240 BaSrCaTiO₃ 적외선 검출 소자 규격.

항 목	규 격
Pixel size	35×35 μm ² (±3 μm)
Line width	15 μm (±3 μm)
Thickness	20~25 μm
Pitch	50×50 μm ²
Curie temperature	22℃ (±1℃)
Dielectric constant	5000~8000 (@4kV/cm ²)
Dielectric loss(tanδ)	≤ 2 %
Capacitance	1.92~6.39 pF
Grain size	≤ 3 μm
Density	≥ 98 %
Resistivity	5×10 ¹² Ω cm

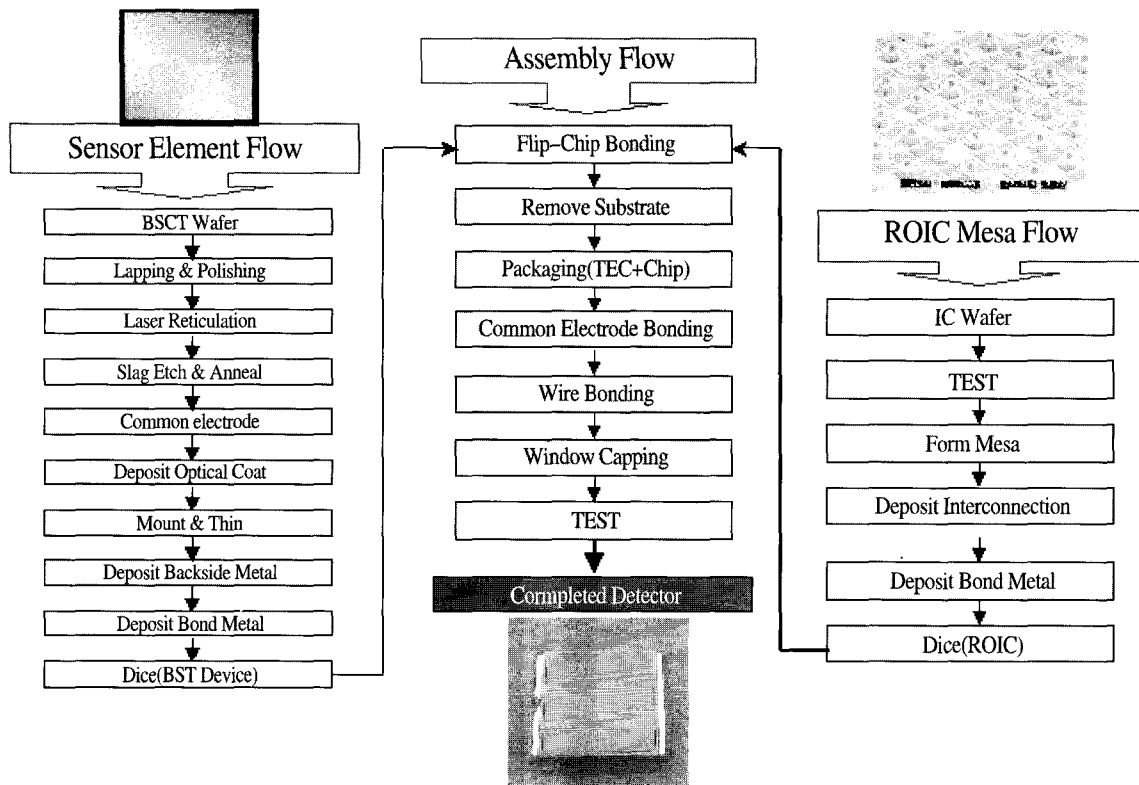


그림 2. BSCT 320x240 FPA 공정 순서도.

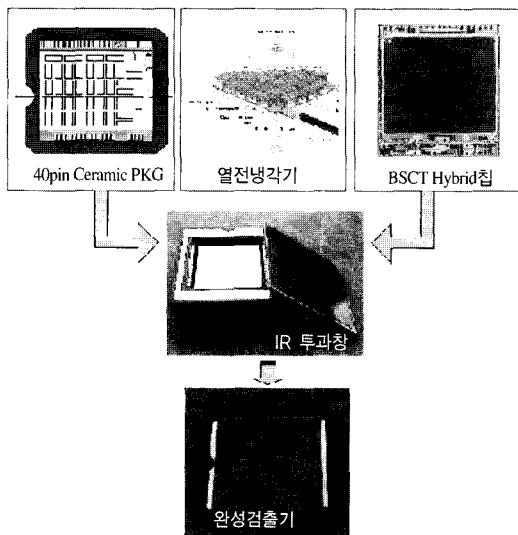


그림 3. 비냉각 320x240 적외선 검출기의 구성도.

그림 2에 개발공정 순서를 도식적으로 나타내었다. Sensor Element Flow에서 재료와 핵심 소자인 BSCT 320x240 소자를 제작하는 공정이며, 오른쪽 ROIC Mesa Flow에서는 Foundry로 부터 제작한 Si-IC wafer를 사용하여 Mesa 공정을 하는 단계이며 이 두 소자를 결합하는 Hybridization 공정과 조립 및 특성평가 단계를 거침으로 검출기가 완성된다.

그림 2에 나타난 흐름도를 통해 개발된 제품의 사진을 그림 3에 나타내었다. 검출소자를 열전냉각기가 부착된 package에 장착하고 내부에 Ar 가스를 주입하고 난 후 윈도우를 접착함으로써 검출기가 완성된다.

2.3 초전형 검출기의 특성과 원리

열형 센서는 적외선이 가지는 열효과에 의해서 소자의 온도가 상승하면 전기적 성질이 변하게 되

는데, 이를 검지하여 적외선을 검출하는 것을 말한다. 열형 센서에는 thermopile, bolometer, 초전형 적외선 검출기 등이 있다. 초전 센서는 그 작동 방식에 따라 초전 모드(pyroelectric mode)와 유전 bolometer 모드(dielectric bolometer mode, DB mode)로 구분 된다. 초전 모드는 온도변화에 따라 강유전체의 자발 분극의 변화를 이용한 것이고, DB 모드는 인가 전기장 하에서 온도변화에 따른 강유전체의 자발 분극 및 유전율의 변화를 이용한 것이다. 현재 개발된 적외선 검출기는 강유전체인 BSCT를 사용한 DB 모드를 이용하는 것이다.

열상장비의 군사적인 용도는 육군의 개인용 야간 투시경을 비롯한 휴대 장비에서부터 전술적인 항공기 탐지나 위성탐사 장비 및 자동 조기 경보 시스템에 이르기 까지 폭넓다. 특히 휴대용 열상 장비의 경우에는 전자기기의 일반적인 발전 방향인 輕薄短小 외에 높은 신뢰도와 저렴한 가격과 유지비 및 적절한 사용 온도 구간 등이 부가적으로 요구된다는 점에서도 광자형 보다는 열형이 적합하다.

초전(비냉각) 열상 기술은 2차원 array 방법을 사용하는데 이는 element 타겟에 발생된 전하를 읽은 뒤 이를 개개의 증폭기로 증폭 또는 multiplexing 한 뒤에 신호처리하여 표시하는 것이다. Array는 선형(linear) array와 2차원 array가 있는데 선형 array는 frame 당 1-2초의 느린 주사속도에서만 양질의 영상을 얻을 수 있으나, 2차원 array는 비교적 주사속도가 빨라 TV와 같은 화상을 실현할 수 있다. 2차원 array에서는 증폭기 array, multiplexer 등과 같은 특별한 2차원 readout 회로를 필요로 한다. 시스템의 크기를 줄이기 위해서는 readout IC, 적외선 광학계, 화소 등의 크기를 최소화 시켜야 한다.

고성능화 및 소형화에 적합한 검출 소자의 구조에는 hybrid형과 monolithic형이 있다. Hybrid형의 검출기는 열분산에 의한 분해능의 저하를 막기 위해 reticulation된 소자와 증폭 및 신호처리 회로용 Si-multiplexer로 구성되는데, 서로 다른 두 소자사이의 전기적 결선은 solder 혹은 인듐 bump를 사용한 flip-chip technique에 의하여 주로 이루어지고 있다. 여기서는 균일한 검출소자 제작 기술과 reticulation 기술 및 hybrid화 기술이 요구된다.

Monolithic형의 검출기는 readout Si wafer 상에 검출재료 박막을 직접 형성시킴으로써 IC화의 정도가 높아서 제조 공정이 간단할 뿐만 아니라 제조 단가가 낮아 앞으로 많은 분야에서 응용이 기대되지만 소자들간의 열적 고립이 나빠서 열에 의한 cross-talk으로 인하여 전기-광학 성능이 저하된다.

초전센서에서는 대상 물체로부터 복사된 적외선에 변화가 있을 때에만 초전 출력을 얻을 수 있기 때문에, 이동하는 물체나 온도가 변화하는 물체 이외에는 chopper를 사용하여 입사 적외선을 변화시켜야만 연속적인 관찰이 가능하다.

결정체는 그 대칭성에 따라 32가지 점군(點群)으로 분류된다. 그 중에 21가지는 비대칭성 점군이며 극성을 띠는 대칭 요소들을 가지고 있다. 또 몇가지 점군들은 하나 또는 그 이상의 polar axis를 가지고 있어서 압전성, 초전성, 강유전성 같은 여러 극성 효과들(polar effects)을 나타낼 수 있다. 압전성을 갖는 점군들 중 10개는 자발 분극 현상을 보이는 독특한 polar axis를 갖는다. 이를 초전체라 하며 그 중 강유전체로 따로 분류할 수 있다.

자발 분극은 보통 외부 또는 내부 전도도 또는 쌍정을 통해 상쇄된다. 강유전체의 영구 쌍극자는 저온에서는 쌍극자의 상호작용에 의하여 규칙적으로 배열되지만 결정의 온도가 올라가면 열적 효과에 의하여 규칙성이 점차 상실되어 자발 분극이 고온으로 될수록 감소하여, 어느 온도에 이르면 소멸된다. 초전성은 결정의 온도가 변했을 때 전하가 polar axis에 수직인 결정 표면에 발생하는 현상으로, 극성재료들의 자발분극의 온도의존성에 기인한 것으로 단 결정체인든 다결정체인든 강유전체에서 나타낸다.

초전효과는 초전계수 벡터 p ($\mu\text{C}/\text{cm}^2\text{K}$)에 의해 다음과 같이 나타내어진다.

$$\Delta P_s = p\Delta T$$

이 식에서 P_s 는 자발 분극 벡터($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)이고 $T(\text{K})$ 는 온도이다. 전기장 E 가 인가되었을 때 전기적 변위(electric displacement)는 다음과 같이 나타내어진다.

$$\begin{aligned} D &= P + \epsilon_0 E \\ &= (P_s + P_{induced}) + \epsilon_0 E \\ &= P_s + \epsilon E \end{aligned}$$



이 식에서 ϵ_0 는 진공에서의 비유전율, ϵ 는 유전율이다. 그러므로 초전계수

$$P_g = \left(\frac{\partial D}{\partial T}\right)_E = \left(\frac{\partial P_s}{\partial T}\right) + E\left(\frac{\partial \epsilon}{\partial T}\right)_E$$

여기서 첫 번째 항은 전기장이 인가되지 않았을 때의 초전계수 p 를 나타내며, 진성 초전계수 (true pyroelectric coefficient)라고도 한다. 두 번째 항은 인가된 전기장에 의해 유도된 초전효과로서 모든 유전체에 나타나고 강유전체에서는 유전율의 온도에 대한 기울기는 크므로 진 초전계수에 비교될 만 하며, 강유전체의 유전손실이 감소하는 큐리 온도 이상에서도 발생할 수 있다. p_g 는 전기장이 인가되었을 때의 초전계수이다.

발생된 초전 전하량(ΔQ)과 검지부의 정전용량(C_E)으로부터 출력신호전압(ΔV)은

$$\Delta V = \frac{\Delta Q}{C_E} = P_g AT \frac{\Delta}{C_E}$$

로 나타낼 수 있으며, $C_E = \epsilon A/d$, $V_b = dE$ 로

부터

$$\Delta V = \frac{\left(\frac{\partial \epsilon}{\partial T}\right)V_b + d\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)}{\epsilon}$$

가 신호전압으로 발생한다.

3. 비냉각 320x240 초점면 배열 검출기 제조 공정

그림 4에 BSCT 320x240 적외선 검출소자의 구조를 나타내었다. BSCT를 이용하여 적외선 검출기를

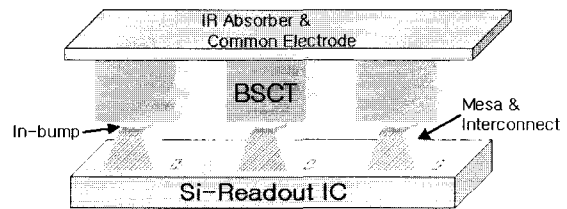


그림 4. BSCT 320x240 적외선 검출기의 구조.

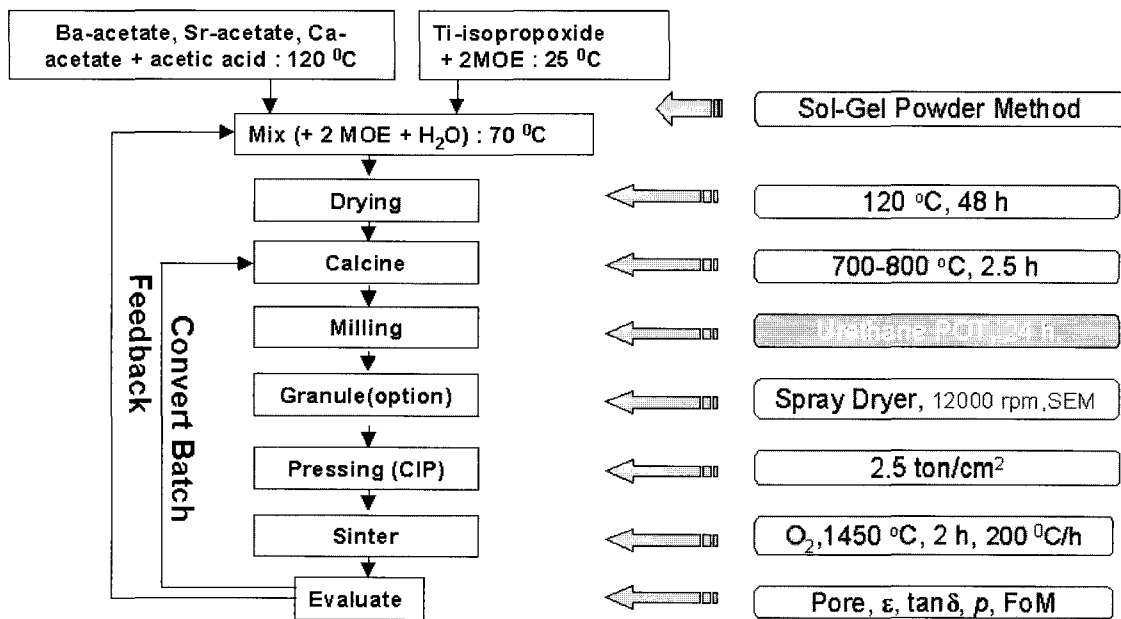


그림 5. BSCT Wafer 제조 공정도.

제조하기 위해서는 먼저 BSCT 세라믹 웨이퍼를 졸-겔(Sol-gel)법으로 BSCT 분말을 제작하고, cold isostatic pressing 법으로 성형하여 일반 세라믹 공정으로 소결, 유전 및 초전 특성을 평가하고 이를 연마와 경면 polishing을 통해 thinning한다. 그림 5는 세라믹 BSCT 제작과정을 도식화하여 나타내었다.

비냉각 적외선 검출소자 320x240 pixel array를 구현하기 위해서는 결정립 크기가 1-3 um 정도이고 유전율이 높아야 하며, 초전계수가 큰 재료가 요구된다. 이 때 BSCT 조성은 다음과 같다.

$$(Ba_a, Sr_b, Ca_c)_{1-x}, D_x Ti_{1-y}, A_y O_3$$

$$a=0.6, b=0.3, c=0.1$$

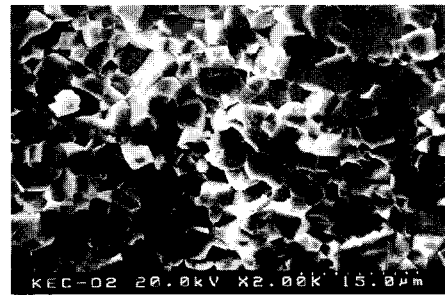
$$D_x (Donor): Y_2O_3=0.005$$

$$A_y (Acceptor): MnCO_3=0.001$$

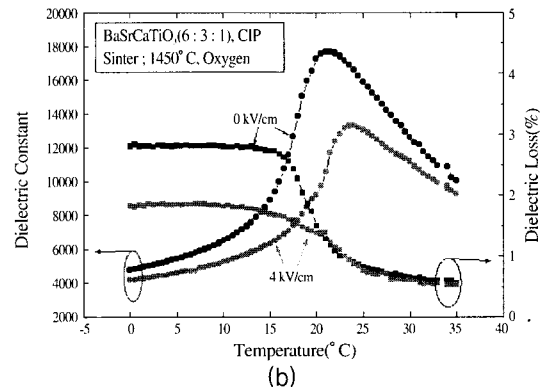
상기 조성식에서 donor는 결정립 크기를 줄이고, 누설전류를 줄이기 위해 첨가하였으며, acceptor는 BSCT 세라믹이 소결이 진행되면서 산소결핍 현상이 일어나 비저항을 감소시켜 유전손실을 증가시키는데, 이를 보상해 주는 역할을 한다.

BSCT wafer의 성능은 유전율과 유전손실 그리고 초전계수 및 성능지수를 측정하여 평가한다. 그림 6은 소결된 BSCT 세라믹 웨이퍼의 파단면의 SEM 사진과 온도와 직류 바이어스에 따른 유전율, 유전손실을 나타내었다.

소자 패턴 공정, 즉 320x240 픽셀(pixel)을 형성하기 위하여 레이저 (Nd-Yag, UV파장)를 이용한다. 이는 습식이나 건식 식각법으로 형성하기에는 시간적인 문제와 픽셀 정의가 정확하지 못하다는 문제점이 있다. 따라서 약 20 um 세라믹 웨이퍼를 식각하기 위해 물리적인 방법으로 레이저를 이용한 것이다. 미국 Raytheon 사에서도 이온 밀링법을 시도하였으나 결국 이러한 문제에 부딪쳐 레이저를 이용한 픽셀 구현으로 양산하고 있는 실정이다. 여기에서 고도의 레이저 정밀가공 기술(포토 마스크 정렬 오차범위에서 제어)을 필요로 한다. 이렇게 pixel이 정의된 Bulk BSCT 웨이퍼를 가지고 금속막 증착, 적외선 흡수층 형성, 후면 polishing, 후면 금속막 증착, 그리고 인듐 범프(In-bump)를 형성하는 공



(a)



(b)

그림 6. BSCT wafer의 파단면(결정립 크기)(a)과 온도 및 직류바이어스에 따른 유전율 및 유전손실 (b).

정 순으로 BSCT 소자가 이루어진다.

열차단 효과를 증대시키기 위해 Si 판독 회로 (ROIC : Readout Integrated Circuit) 위에 메사 (Mesa)를 형성하고 신호 연결 금속 층을 형성한 후 In-bump 공정으로 마무리한다. BSCT 소자와 Si-ROIC를 플립칩 본더 장치를 이용하여 하이브리드화한다. 여기에서 또한 약 80000개의 픽셀을 일대일로 접합하는 Flip-Chip 본딩 기술이 요구된다. 이렇게 형성된 하이브리드 칩을 전자냉각모듈이 내장된 세라믹 Package에 장착하여 본딩 및 조립한 후 적외선 윈도우(Ge Window)를 덮고 Ar 가스를 주입한 후 봉합하면 이로써 검출기가 완성된다. 이러한 검출기의 성능을 평가하기 위해서는 적외선 검출기의 성능을 측정할 수 있는 시스템에 물려 최종 검출기의 良不을 판정한다. 그림 7에 완성된 BSCT 320x240 적외선 검출기 사진을 나타내었다. 한 개의 칩 크기는 17mm x 13mm로 대면적이다.

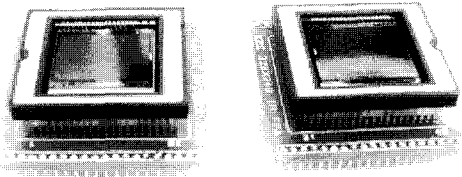


그림 7. 완성된 BSCT 적외선 검출기 모듈(적외선 창 장착 전).

ROIC (ReadOut IC)는 신호의 간섭을 줄이기 위하여 특별히 설계된 나선형의 spiral chopper의 열림과 닫힘에 의해 불연속 적으로 발생하는 두 프레임의 신호를 readout 하여 순차적으로 출력한다. ROIC에서 출력된 두 frame의 data는 preamplifier와 analog-to-digital converter (ADC)를 거쳐 14 bit의 digital 신호로 변환되고, digital 신호처리를 통한 다음 표준영상신호로 출력된다. 상온 동작의 열 영상 system은 대부분 8-12 μm 의 원적외선 sensor로서 인체 및 원거리 탐지에 유리하고, 소비전력이 작다. 미소한 열 신호의 변화를 감지하기 위하여 BSCT sensor와 ROIC의 impedance matching과 high gain 구현이 필수적이며, 또한 320×240 화소의 구동을 위한 저 전력 회로설계 기술이 필요하다. 그림 8은 검출기 pixel의 신호에 대한 반응도 측정 데이터이다. 제작된 검출기는 입력에 따라서 수십 μV 에서 수 mV 의 입력에 대하여, 98%의 fill factor, $5 \times 10^8 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$ 의 탐지도, 15000 V/W 의 반응도를 보였고, 설계 목표에 잘 근사하였다.

이러한 비냉각 적외선 검출기를 이용한 시스템에 장착하여 열영상 테스트 실험을 한 결과 그림 9와 같은 열상을 얻을 수 있었다.

4. 검출기 개발 동향 및 맺음말

비냉각 적외선 검출기는 현재 반도체 공정과 호환성이 있느냐 없느냐에 따라 다르게 발전한다. 즉, 반도체의 공정 장비와 호환성 있게 제작할 수 있다면 수량 면에서 유리하고 시장진입에 용이하므로, 이러한 방향으로 가는 것은 당연하다. 다만 성능면에서 문제가 없어야 하므로 저가격화, 소형화에 맞

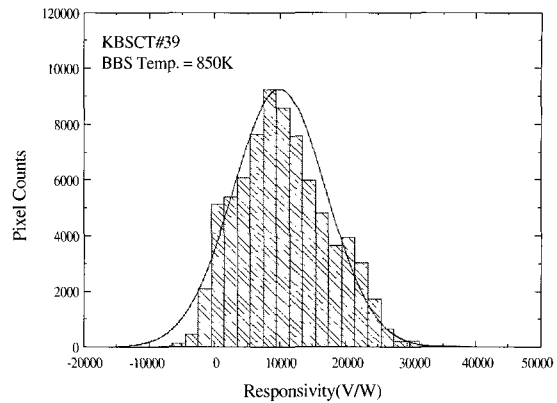


그림 8. 비냉각 320×240 BSCT 검출기의 반응도 특성. 76800 pixel의 반응도.



그림 9. BSCT 320×240 검출기를 이용한 적외선 열 영상.

추어 개발하는 것이 합리적이다. 이렇게 볼 때 복잡한 공정 혹은 비반도체 공정이 혼재해 있는 초전형 적외선 검출기 보다는 볼로미터 형 적외선 검출기가 향후 시장을 지배하게 될 것으로 예상된다. 저항형 마이크로 볼로미터는 재료를 Si또는 VOx를 사용하므로 Si 공정과 호환성 있게 설비를 이용할 수 있으며, 성능 측면에서도 냉각형 검출기에 비할 만큼 기술이 도달해 있으므로, 특수한 성능이 요구되는 시장에서는 HgCdTe또는 InSb를 이용한 냉각형 검출기를 사용하고, 산업용, 의료용 등으로는 비냉각형 적외선 검출기가 향후 크게 확대될 것으로 판단된다. 표 3에 비냉각 적외선 검출소자의 종류에 따른 특성을 나타내었다.

냉각형 적외선 검출소자 분야에서도 3~5 μm 의

표 3. 비냉각 적외선 검출기의 종류 및 특성.

	Monolithic resistive bolometer	Monolithic pyroelectric detector	Hybrid pyroelectric detector	Hybrid ferroelectric bolometer	Monolithic thermoelectric detector
Responsivity	High	High	High	High	Low
Bias Required	Yes	No	No	Yes	No
DC response	Yes	No	No	No	Yes
Chopper required	No	Yes	Yes	Yes	No
Response time(ms)	1-8	10 ⁻⁴ -0.01	10 ⁻⁴ -0.01	-	4-30
Dynamic range linearity	High	Unknown	Low	Low	High
Radiometric capability	Excellent	Unknown	Poor	Poor	Excellent
Array availability	Yes	No	No	Yes	Yes
Production status	Medium	No	No	High	Medium
Possibility of performance improvement	High	High	Low	Low	Medium

MWIR 영역에서 PtSi를 이용한 쇼트키 장벽 검출소자와 InSb가 시장을 지배할 것으로 보이며, 시장이 가장 큰 8~12 um LWIR 영역은 HgCdTe가 주를 이루겠지만, AlGaAs/GaAs 구조의 양자우물 구조의 소자가 새로운 시장을 형성할 것으로 예측된다.

따라서 적외선 검출기 시장은 화재진압, 산업현장의 감시, 보안 순찰, 측정 및 각종 제어, 선박의 항해, 호텔 및 주택 감시 등 매우 다양하므로 실리콘 반도체 제조 공정과 초미세 가공 기술(MEMS)을 이용하여 적외선 검출소자를 제작하면 열영상시스템의 저가격화 실현은 물론 화소수가 증가하여 성능이 향상된 검출기가 개발될 수 있을 것으로 본다.

참고 문헌

[1] E. L. Dereniak and G. D. Boreman, *Infrared Detectors and Systems* (A Wiley -Interscience Publication, 1996).
 [2] Sung-Soo Lim and Myung-Soo Han et al, *Dielectric and Pyroelectric Properties of (Ba,Sr,Ca)TiO3 Ceramics for Uncooled Infrared Detectors*, Jpn. J. Appl. Phys. 39,

p4835, 2000.

[3] Paul W. Kruse, *Uncooled Thermal Imaging* (SPIE Press, 2001).
 [4] R. S. Balcerak, *Uncooled infrared sensors: rapid growth and future perspective*, Proc. SPIE Vol. 4028, *Infrared Detectors and Focal Plane Arrays VI*, p.36, 2000.
 [5] E. L. Dereniak, *Infrared Focal Plane Arrays*, SPIE Short Course, 2002.

· 저 · 자 · 약 · 력 ·

<p>성명 : 한명수</p> <p>◆ 학력</p> <ul style="list-style-type: none"> · 1990년 동국대 물리학과 이학사 · 1993년 동국대 대학원 물리학과 이학석사 · 1997년 동국대 대학원 물리학과 이학박사 <p>◆ 경력</p> <ul style="list-style-type: none"> · 1995년-1997년 서경대, 세명대 물리학 강사 · 1997년-2003년 (주)KEC 종합연구소 선임연구원 · 2003년-현재 한국광기술원 선임연구원
