

반도체 세라믹 기반 고해상도 열영상 소자 기술

글 _ 한명수, 고향주, 장원근
한국광기술원

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 열상 장비와는 다르다. 물체의 단위면적당, 단위시간당 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 상용화되었다. 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 따라, 산업용에서 환경, 보안감시용에 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 동작 원리에 대해 살펴보고, 특히 산화물을 기본으로 하는 적외선 감지재료에 대한 특성 및 열상모듈에 대한 자료를 중심으로 현 기술동향과 다중채널 열상소자의 개발방향에 대해 논하고자 한다.

2. 적외선 검출기의 종류와 특징

전자기 스펙트럼의 적외선 영역은 1800년경 William Herschel에 의해 발견되었다. 그 이후 1923년경 마이크 로웨이브와 적외선 영역에 대한 스펙트럼을 알게 되었다. 적외선 센서의 최초의 형태는 약 1830년경에 열적효과인 열전대와 열전쌍의 형태가 알려지게 되었고¹⁾, 1880년 경에 볼로미터를 이용한 전기적인 형태의 센서가 개발되었다.²⁾

20세기에 접어들면서 양자역학이 학문으로 자리를 잡게 됨에 따라 반도체 재료를 이용한 양자형 센서가 개발되기 시작하였다. 양자형 검출기 제작 초기에는 PbS를 이용한 적외선 검출기 연구가 활발하였으며 이후 2차 세계대전 당시 군사적인 목적으로 근적외선 영역대인 1.5-3 μm 영역에 반응하는 PbSe, PbTe 재료를 사용한 적외선 검출기가 개발되었다. 1950년대 이후 영국에서 II-VI족



화합물 반도체인 HgCdTe(MCT)와 III-V족 인 InSb 결정으로 제작된 적외선 검출기를 개발하여 상용화되고 있다. 이를 계기로 전 적외선 영역을 감지할 수 있는 센서가 개발되었으며, 새로운 재료 및 화소수를 늘려가는 방향으로 연구개발이 진행되었다. 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 10,000 시간 정도 되는 냉각장치를 부착하여야 한다. 이러한 원인들이 열영상 장비의 가격을 높이는 이유이다.

Fig. 1은 대기창의 투과 특성에 대해 적외선의 영역을 구분하는 광스펙트럼 차트를 보여주고 있다. 파장에 따라 적외선 흡수영역을 제외한 세 가지 영역으로 분류할 수 있는데, 1-3 μm 의 근적외선(short-wavelength infrared), 3-5 μm 의 중적외선(mid-wavelength infrared), 8-14 μm 의 원적외선(long-wavelength infrared)이 바로 그것이다. Planck는 흑체에서 나오는 적외선을 온도와 파장에 따라 복사량을 구하였는데, Fig. 1의 우측상단의 곡선으로 표

시할 수 있다. 따라서 적외선의 에너지와 파장은 반비례 관계임을 알 수 있다.

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

제 2세대는 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 3세대는 이차원 array를 이용한 면적 센서를 사용하는 경우인데, 기계 주사가 필요하지 않고 전자 주사만으로 열상을 얻기 때문에 장치의 소형화는 물론 고성능 화시킬 수 있다. 양질의 적외선 열영상을 얻기 위해서는 온도분해능과 공간 분해능이 우수해야 하는데, 이를 위해서는 감도가 뛰어나야 하며 단위면적당 화소수가 많아 야 되고 각 화소들은 균일한 감도를 가져야 한다. Table 1에 적외선 검출 재료에 대한 개발 역사를 요약하였다.

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

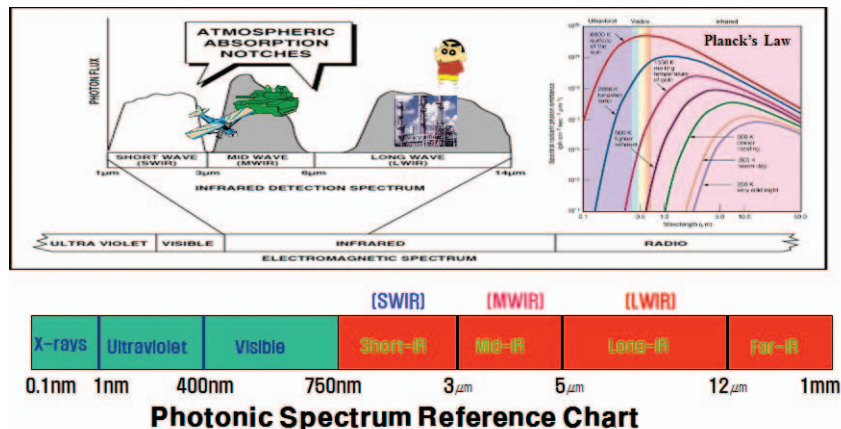


Fig. 1. 대기창의 복사에 의한 파장에 따른 적외선 영역의 광스펙트럼 차트.

Table 1. 적외선 검출기 개발 역사

년도	적외선 검출기	비고
1940년 이전	열형 센서	
1940년대	PbS, PbSe	
1950년대	Ge:X, InSb	
1960년대	HgCdTe, PbSnTe, Si:X	1세대 이미지 센서 (스캐닝 시스템)
1970년대	Si:X/CCD, PtSi/CCD	
1980년대	HgCdTe/CCD	2세대 이미지 센서 (이차배열 시스템)
1990년대	HgCdTe SPRITE, InGaAs, QWIP	
1990년대	Bolometer FPAs, Pyroelectric FPAs	
1990년대	Two-color FPAs, QDIP	
2000년대	MEMS FPAs, Four-color FPAs	3세대 이미지 센서 (2컬러 이차배열)
2000년대	Two-color Type II FPAs	

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 측정할 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 적외선용 렌즈, 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 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.

3. 비냉각형 열상 이미지 센서

비냉각 적외선 열상센서는 1970년대부터 연구되기 시작했다. 1978년에 Texas Instrument사에서 BST (Barium Strontium Titanate) 재료를 이용한 강유전체 적외선 센서에 대해 특허를 출원하였으며, 1979년에 처음으로 제품을 선보이게 되었다. 거의 동일한 시기에 Honeywell사에서 미세가공기술을 이용한 볼로미터 기술을 연구하기 시작하였다.^{3,4)} 오늘날에는 볼로미터의 성능이 우수하여 BST를 더 이상 미 국방부에서는 사용하지 않고 있다. 비냉각 적외선 검출기는 별도의 냉각장치가 필요치 않으며, 검출기 특성을 안정화시켜 주는 전자냉각 모듈이 장착되는 경우가 있으며, 근래에는 이러한 전자냉각 장치 및 서터, 초표 등도 사라진 초소형 적외선 카메라 시스템이 개발되었다. 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. 이와는 다른 열형 검출기 (thermal detector)는 빛이 전혀 없는 야간에도 이미지를 얻을 수가 있어서 현재에는 가장 많이 사용되는 검출기이다. 이러한 열형검출기는 크게 동작원리에 따라 분류할 수 있는데, 강유전체가 상전이점인 큐리온도 부근에서 전기분극의 변화가 커지는 초전현상을 이용한 초전형 적외선 검출기 (pyroelectrics), 초미세가공으로 볼로미터를 형성하고 그 위에 온도의 변화에 따라 저항이 변화하는 막막의 저항체를 성장시킨 저항형 마이크로볼로미터 (microbolometer), 열질량에 저항체 대신에 금속 접합의 열전대 현상을 이용한 열전대형 검출기 (thermopile) 등이 그것들이다. 상업용으로 성능이 우수하고 많이 적용되는 것이 볼로미터형 검출기이다. 이는 MEMS (Micro Electro Mechanical System) 공정을 이용하여 비정질 실리콘 또는 산화바나듐 재료를 적외선 감지재료로 이용하여 만들어진다. 단 소자 및 저화소급의 적외선 센서로 사용할 경우 가장 유리한 것이 바로 실리콘 직접회로의 기술과 초미세가공



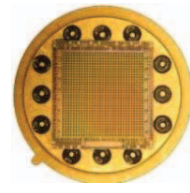
기술 등의 발전으로 새로운 비냉각 적외선 소자의 개발을 비약적으로 발전시켰다.

그 대표적인 것 중의 하나가 상변이점인 큐리 온도 부근에서 초전효과 (pyroelectric effect)를 증대시키는 강유전체를 이용한 적외선 검출기이다. 이러한 강유전체는 PST (Lead Scandium Tantalate)나 BST 등이 있으며 미국 Raytheon사에서는 BST를 이용한 비냉각 적외선 검출기를 1990년대 초에 개발하여 상용화하였다. 이들은 대부분 320x240 배열의 초점면 배열 (FPA : focal plane array) 검출기를 채택하고 있다. 국내에서는 2002년 (주) KEC에서 BST에 Ca를 첨가한 BaSrCaTiO₃를 이용한 320x240 비냉각 적외선 검출기를 개발하였으나 부피가 크고 공정의 복잡성의 원인과 볼로미터의 등장으로 상용화하지는 못하였다 (Fig. 2).

볼로미터 적외선 검출기는 VOx 및 a-Si를 사용하여 개발되고 상품화 되어왔다. VOx는 a-Si에 비해 온도저항계수가 커 열상카메라의 온도분해능이 우수한 장점이 있으며, 세계적으로도 VOx를 이용한 열화상 카메라가 약 70%의 시장을 점유하고 있다. a-Si 볼로미터는 Si 공정



(a) 탄소자 센서 (~4-pixel)



(b) 어레이 적외선 센서 (32x32 이상)

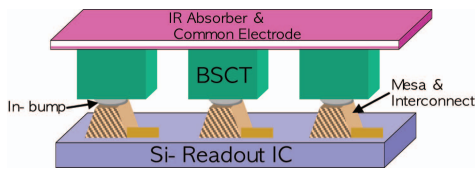
Fig. 3. 저가의 탄소자 및 어레이 형태의 열전쌍 적외선 센서.

과 호환이 되는 장점이 있어 신호취득회로와 monolithic 공정이 자유롭다는 점에서 선호되고 있다.

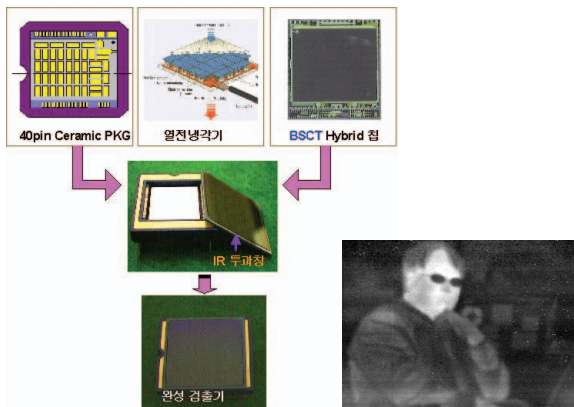
열전쌍 적외선 센서는 주로 온도계측을 위한 센서로 개발이 되어왔으며, 최근에는 온도센서로 array 타입이 개발되기 시작했다. 저가의 온도센서 시장은 거의 이러한 열전쌍 및 초전형 적외선 센서가 시장을 장악하고 있다. 저가의 온도센서 및 적외선 열감지 센서는 주로 TO can 패키지에 조립되었는데(Fig. 3), 최근에는 크기의 축소 및 저가화를 위해 wafer-level package 형태로 개발되고 있다.

4. 마이크로볼로미터 열영상 소자

본 논문에서는 마이크로볼로미터 적외선 검출기의 재료 및 공정에 대해서 살펴본다. 볼로미터 감지재료로 가장 많이 사용하는 물질은 VOx와 a-Si (비정질 실리콘)으로써 이러한 물질은 온도저항계수 (TCR)이 크고 반도체 공정과 호환성 및 열감지 반응도 및 탐지도 특성이 우수하기 때문에 선호하는 물질이다. 볼로미터는 입사된 적외선을 흡수하여 열적으로 고립된 멤브레인 (membrane) 저항체의 온도가 올라가고, 이 온도변화는 흡수된 적외선 에너지에 비례해서 볼로미터 저항체의 전기저항 변화 원리로 감지된다. Fig. 4는 마이크로볼로미터 소자의 구조 및 단면도를 나타낸 것이다. 볼로미터 저항체와 주위와의 열전도를 최소화하기 위한 용도인 다리 (leg)는 길면서도 작은 단면적 및 낮은 열전도를 가지는 물질이며, 통상 열전도는 10⁻⁸ W/K 정도이다. 그리고 볼로미터 센서의 패키지는 소자와 주위 대기로 열손실을 막아주기 위해 약 0.01 mbar 정도의 진공을 유지해야만 한다. 이

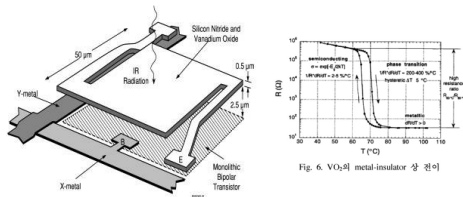


(a) BSCT 초전형 검출소자



(b) BSCT 적외선 검출기 및 열영상

Fig. 2. 320x240 BSCT 적외선 검출소자의 구조 및 구현된 열영상.



(a) 마이크로볼로미터 소자 구조 (b) 마이크로볼로미터 단면도

Fig. 4. 마이크로볼로미터 소자 구조 및 단면도

러한 진공을 장기간 유지하기 위해 getter라는 물질을 사용하여 펌프역할을 하게 되어 패키지 내부의 소자 및 각종 재료에서 발생하는 이물질의 탈가스 역할을 하게 된다. 수광면적을 나타내는 필팩터(fill factor)는 입사하는 적외선을 흡수하는데 사용하는 픽셀면적으로 정의하는데, 일반적으로 약 60-70% 정도의 필팩터를 가지고 있다. 이러한 필팩터를 증가시키기 위해 미국의 DRS사는 Fig. 5와 같이 2-층의 우산형태의 픽셀로 제작하는 경우도 있다.⁵⁾

마이크로볼로미터 감지재료는 높은 온도저항계수와 작은 1/f 잡음을 가지는 물질이어야 한다. 현재 상용화되고 있는 물질은 산화바나듐(VOx) 및 비정질 실리콘(a-Si)이 대표적이다. VOx는 상온에서 -2~3 %/K의 TCR 특성이 있으며, VOx는 VO₂, V₂O₅, V₂O₃ 등 많은 산소의 상(phase)이 존재한다. VO₂의 경우 Fig. 6과 같이 특정온도에서 절연체나 반도체로부터 금속 상으로 변하는 특성이 있다.⁶⁾ 단결정의 VO₂와 V₂O₅는 -4%/K 이상의 TCR 특성이 있으나 제조하기가 어려운 면이 있다. 고압의 산소분위기에서 V 타겟을 이용한 이온빔 증착을 하게되면 V₂O₅가 형성이 되나 저항이 매우 높다는 단점이

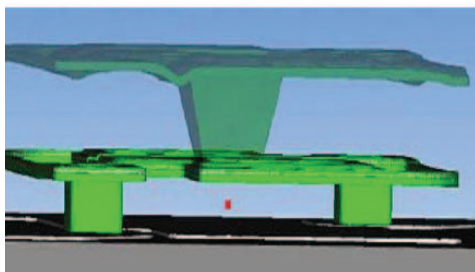


Fig. 5. Fill factor 향상을 위한 2-층 구조의 우산형태의 볼로미터 소자.

있다. 반면 V₂O₃는 저온에서 반도체로부터 금속상으로 상변태를 겪으며 상온저항이 매우 낮아지는 현상이 발생한다. 소자의 저항이 높을수록 잡음이 증가하기 때문에 낮은 저항을 갖는 V₂O₃의 생성이 중요하다. 이 외에도 바나듐-텅스텐 산화물(VWOx)^{7,8)} 및 Ti-W 도핑을 통해 -5%/K 이상의 TCR 재료가 연구되고 있다.

한국광기술원과 (주)유우일렉트로닉스 공동연구로 VOx에 W 합금을 첨가하여 낮은 저항 및 높은 TCR을 갖는 적외선 감지재료를 사용한 마이크로볼로미터를 제작하고 있다(Fig. 7). 이러한 TCR값은 20~60°C 온도범위에서 계산된 것으로 상온 약 25~30°C에서는 약 -3%/K 이상의 값을 나타내며 저항은 약 50~80 KΩ으로 매우 낮게 나타나 소자의 적용에 매우 유리함을 알 수 있다.⁹⁾

또한 한국광기술원에서는 기존의 VOx 재료를 이용한 볼로미터 감지재료를 개발하고 있으며, 최근 발표된 결과를 본고에서 논하고자 한다. 우선 기존의 VOx 박막은 고압의 산소분위기에서 sputtering 방법을 통하여 증착하였으나, 새롭게 개발된 박막은 낮은 산소압 하에서 RF

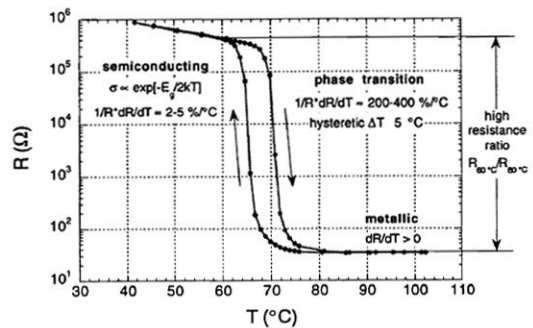


Fig. 6. VO₂의 metal-insulator 상 전이.

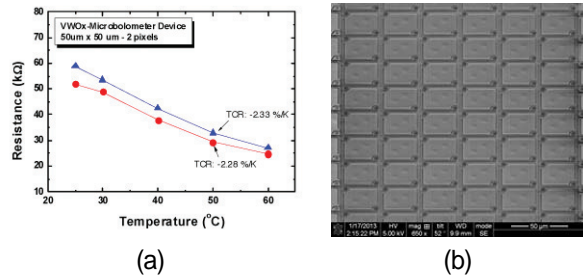


Fig. 7. VWOx 마이크로볼로미터의 열저항 곡선(a) 및 이를 이용한 32x32 어레이 소자(b).



sputtering 방법으로 증착하여 TCR 값이 약 -3.0 %/K 이상의 값을 나타내었다. Fig. 8(a)은 VOx/ZnO/VOx 다층 박막을 sputtering 방법으로 증착하여 300 °C에서 50분간 산소열처리한 시료의 TCR 특성을 나타낸 그림이다. 산소 가스 유량을 1.32 sccm와 1.35 sccm으로 하였을 경우 1.35 sccm 유량에서 약 -3.37 %/K의 높은 TCR 값을 나타내었다. TCR값이 높게 나타난 것은 J. Li 등¹⁰⁾이 연구한 IBED (ion beam enhanced deposition) 방법으로 증착된 VOx 박막의 열처리 분위기에 따른 열저항 곡선에서도 알 수 있듯이 N₂ 또는 Ar 분위기에서 열처리한 산화바나듐 박막은 금속-절연체 전이현상이 약 60 °C 근처에서 나타남을 알 수 있다. 그러나 산소분위기에서 열처리한 시료는 온도에 따라 저항이 선형적으로 변화하여 센서감지재료의 특성이 나타남을 확인할 수 있다. Fig. 8(b)는 동일 시료에 대한 X-ray diffraction 측정 데이터로, as-deposition 시료에서는 약 44° 근처에서 V₂O₅ phase의 피크가 관측되었으나 열처리 후에는 56°에서 VO₂ 상의 피크가 새롭게 나타남을 볼 수 있다.^{10,11)} 이러한 데이터로부터 다층박막 구조에서 열처리에 의해 VOx phase가

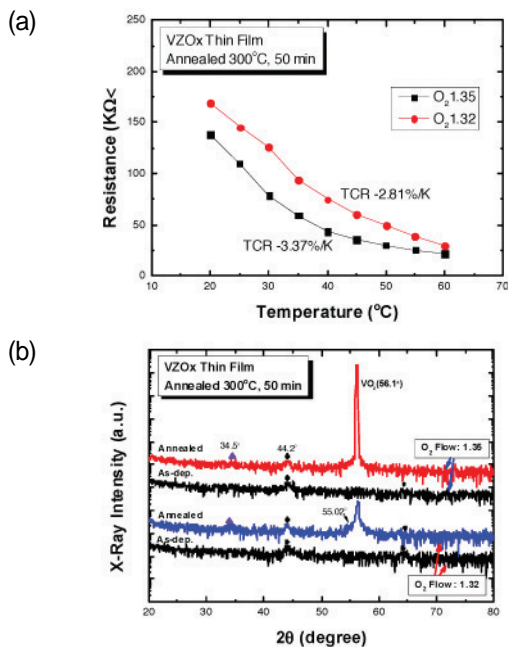


Fig. 8. RF Sputtering에 의한 VOx/ZnO/VOx 다층박막의 열처리에 의한 열저항 곡선 및 XRD 스펙트럼(입사각 $\omega=3^\circ$).

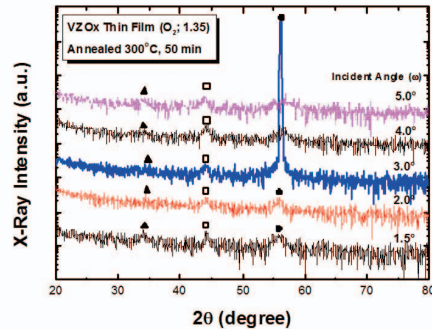


Fig. 9. 산소 열처리된 VOx/ZnO/VOx 다층박막의 grazing incidence 각도변화에 따른 XRD 스펙트럼.

결정성이 향상된 VO₂ phase로 변화됨을 알 수 있다. 즉, 이러한 다층막의 구조는 기존의 VOx 박막 또는 VWOx 박막에 비해 매우 높은 TCR 값을 가짐을 알 수 있었으며, 이를 이용한 볼로미터 어레이 검출기를 제작할 경우 높은 탐지도 및 고분해능 카메라의 제작이 예상된다.

XRD 데이터로부터 알 수 있는 것은 VOx phase가 열처리에 의해 혼합상을 만드는 현상으로 해석된다. 즉, ZnO 층을 삽입하여 VOx 박막 사이에서 샌드위치 구조를 형성함으로써 갖 증착된 박막의 phase를 형성하였고, 이를 산소분위기에서 열처리할 경우 주된 phase가 VO₂로 변화됨과 동시에 결정성도 향상되었을 것으로 분석된다. 따라서 X-ray 입사각을 1.5~5° 범위에서 변화시켜 깊이

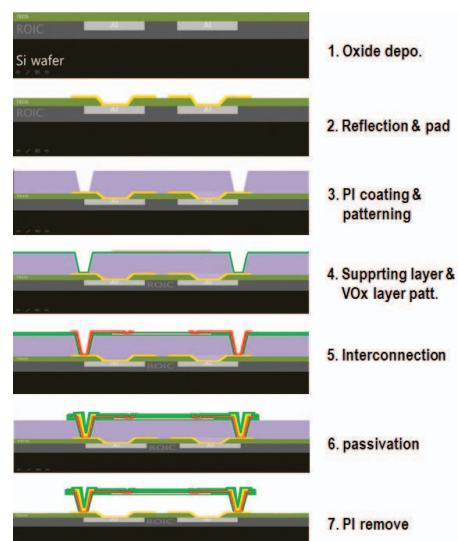


Fig. 10. 표면 MEMS 공정에 의한 마이크로볼로미터 소자 공정 순서도.

방향에 따라 XRD 스펙트럼을 관측했을 경우 중간 입사 각인 3°에서 VO₂ peak 세기가 최대임을 알 수 있었다. 이는 박막층에서도 중간층에는 주로 VO₂ phase가 주된 상으로 형성되었음을 보여준다 (Fig 9).

적외선 단위소자를 제작하기 위해 표면 MEMS 공정을 이용하였으며, 소자의 특성을 평가하기 위해 메탈진공 패키지에 조립공정을 거쳐 적외선 반응도 및 탐지도를 측정하였다.

Fig. 10에 마이크로볼로미터 소자 공정 흐름도를 나타내었다. 일반적으로 bulk micromachining (bulk MEMS) 공정과 surface micromachining (surface MEMS) 공정에 의한 소자 제작 방법이 있는데, 본 논문에서는 surface MEMS 공정에 의한 단위소자 제작 및 특성에 대해서 보고한다. 열적고립을 위해 polyimide 희생층을 코팅하고 부유층으로 SiN_x 박막을 지지층으로 하여, 감지층인 VO_x/ZnO/VO_x 다층막을 형성한 후 전극공정과 passivation 공정 순서로 수행한다. 마지막으로 희생층을 제거함으로써 소자가 완성된다. 적외선 반응면적은 50 μm × 50 μm 크기로 설계하였으며, 전극에 연결하기 위해 금속패드를 형성하였으며, 공명흡수에 의한 효율을 향상시키기 위해 금속반사막을 동시에 형성하였다. Fig. 11에 VO_x 다층막으로 제작된 마이크로볼로미터 단위소자 SEM 사진 및 array 광학현미경 사진을 나타내었다.

제작된 소자의 광반응 특성을 조사하였다. 적외선 반응도 및 탐지도는 SBIR 사의 RTB-3000 측정 장비를 통해 측정하였다. 흑체온도 500 °C, Chopper 주파수 20 Hz, 바이어스 전압 1.5 V 로 하여 측정된 신호와 잡음을 통해 반응도 및 탐지도를 Fig. 12에 나타내었다. 16개의 단위소자에 대해 측정한 결과 평균 반응도는 38,800

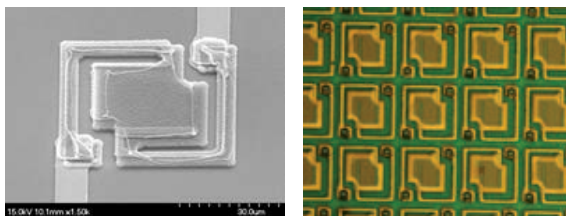


Fig. 11. VO_xZnO/VO_x 마이크로볼로미터 단위소자의 SEM 사진(a) 과 어레이소자의 광학 현미경 사진(b).

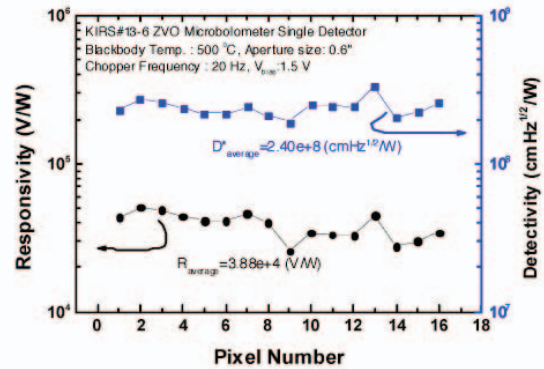


Fig. 12. VO_xZnO/VO_x 볼로미터 소자의 반응도 및 탐지도 특성.

V/W, 탐지도는 약 2.40x10⁸ cm · Hz^{1/2}/W의 값을 가지는 센서소자로 특성이 매우 우수함을 알 수 있다.

국내의 볼로미터 인체감지 어레이 센서 관련 연구는 한국광기술원과 (주)유우일렉트로닉스 참여로 중소기업융복합기술개발 사업 “저가형 고감도 열상용 마이크로볼로미터 적외선 센서 개발” 과제가 수행되고 있으며 (2012. 06 - 2014. 05), 나노종합기술원, 아이쓰리시스템(주), 한국나노기술원에서 활발히 연구개발이 진행되고 있다. VO_x에 금속물질 또는 산화물을 첨가한 반도체 세라믹을 이용한 열영상 소자를 개발은 현재 해외 선진국에서 상용화 되어있는 고해상도 열영상 카메라와의 기술격차를 줄이고 세계 최고의 기술위치를 점하기 위해서는 저화소급 검출기의 개발에서부터 시작하여 고해상도 적외선 array 검출기의 개발이 이루어져야 한다. 이러한 고해상도 열영상 소자는 첨단 의료분야, 보안감시, 휴대폰용 열상 등에 적용이 가능하리라 예상되며 시장 또한 연평균 약 20% 이상의 성장률을 보일 것으로 예측된다 (Yole Report, 2013).

주야간 전천후 이용할 수 있는 카메라는 가시광선부터 적외선 전파장을 감지할 수 있는 기능인 다중채널 열영상 소자 개발과 동시에 가격을 낮춰 휴대단말기에 장착하기 위해서는 부피의 축소를 compact 한 카메라 모듈을 제작하는 기술이 개발되어야 한다. 콤팩트한 적외선 검출기를 제작하기 위해서는 패키지의 크기가 축소되어야 하는데, 볼로미터 적외선 센서는 기존에는 금속 진공 패키지를 이용하여 부피가 매우 크다는 단점을 가지고 있다.

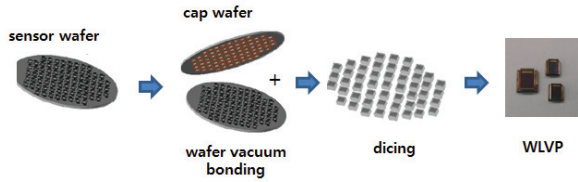


Fig. 13. 마이크로볼로미터 적외선 검출기의 wafer-level vacuum package 공정도.

반면 웨이퍼 레벨 진공패키지를 개발하게 되면 기존의 패키지에 비해 약 1/10로 축소되므로 휴대단말기의 온도 센서, 스마트빌딩의 에너지 절전 센서, 사무실 인력관리, 공항이나 터미널 등의 공공장소의 인력 카운터, 체열진단 등 적용분야가 매우 많을 것으로 본다.

웨이퍼 레벨 진공패키지 공정으로 저가의 센서를 제작할 수 있기 때문에 최근 적외선 검출기 공정에 많이 적용되고 있다.¹²⁾ 본 논문에서는 유우일렉트닉스와 공동으로 개발한 32x32 어레이 마이크로볼로미터 검출기의 열상구현에 대해 논하고자 한다.⁹⁾

보통 웨이퍼 접합은 Au-Sn을 이용하여 진공하에서 이루어지는데, 상부 윈도우 웨이퍼는 8-12 μm를 투과할 수 있는 파장의 200 μm 두께의 Si wafer를 비반사 코팅을 하여, 내부에 진공을 오랜 시간동안 유지하기 위하여 박막 getter를 증착하여, Au-Sn 댄을 형성한 후 하부 공정이 완료된 센서 웨이퍼를 wafer bonder 장비를 이용하여 진공접합을 한다. Fig. 13은 웨이퍼레벨 진공 패키징 공정 순서도를 도시화하여 나타낸 것이다. 칩별로 패키지를 dicing한 후 PCB 보드에 실장한 후 개발된 광각(FoV=50°)의 비구면 광학계를 장착하여 구현한 열영상을 Fig. 14에 나타내었다. 32x32 pixel의 특성은 5 m 전방에서 인체온도를 감지할 수 있는 성능을 얻을 수 있었다.

이러한 결과들은 향후 열영상 소자의 연속적인 개발로 이어질 것이며, 향후 인체감지 뿐 만 아니라 산업용 영상 온도계측, 의료용 열영상 카메라, 군수용 열상시스템 등에 지속적인 적용이 있을 것으로 판단되며, 휴대단말기 등에 사용하기 위해서는 저가, 소형, 고분해능의 기술 동향으로 발전할 것이라고 판단된다. 미국의 DRS사에서는 열영상 소자를 웨이퍼레벨 진공패키징 공정을 적용하고 chip-scale 렌즈 광학계를 적용하여 320x240 화소의 초

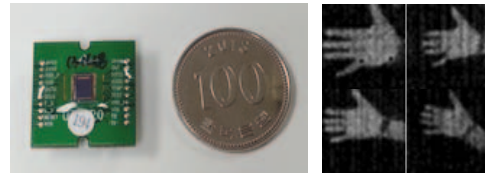


Fig. 14. 웨이퍼레벨 진공패키지 및 이를 이용한 열영상 구현.

소형 열상카메라모듈(Fig. 15)을 선보였다.¹³⁾

해외 선진국에서는 이미 다중밴드 카메라 개발에 돌입했다. 즉, 가시광선에서 원적외선까지 2중 밴드 또는 3중 밴드를 선택하여 가시광선과 융합된 영상을 동시에 볼 수 있는 이미지 센서 개발을 서두르고 있다.¹⁴⁾ 이에 국내에서도 열상 이미지 센서를 개발하는데 정부의 투자가 절실히 필요하고, 대형국책과제를 통한 투자와 산업부 및 미래부의 관심을 필요로 한다.

5. 결 언

적외선 검출기 및 열영상 이미지 센서에 대한 기본적인 원리와 세계 연구개발 동향에 대해 서술하였고, 한국 광기술원과 국내의 비냉각형 열영상 이미지 센서에 대한 기술동향을 살펴보았으며, 앞으로의 열영상 소자의 개발 방향에 대해서 간략히 요약하였다. 결국은 열영상 센서의 국산화 및 저가형, 초소형, 고분해능의 열영상 소자로 발전하리라고 내다본다.

국내 열영상소자의 개발이 정부의 집중적이면서 장기간의 투자에 의해 장래 먹거리 산업으로 자리잡을 것이라고 확신하며, 다중채널 및 소형 열상소자로 큰 진전이 있기를 바란다.

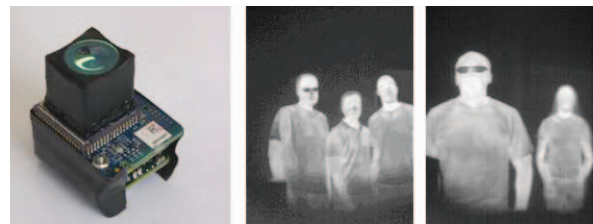


Fig. 15. Chip-scale 광학계 및 웨이퍼레벨 진공패키지된 thermal imager.

참고문헌

1. A. Schaufelbuhl, N. Schneeberger, U. Munch, M. Waelti, O. Paul, O. Brand, H. Baltes, C. Menolfi, H. Qiuting, E. Doering, and M. Loepfe, "Uncooled Low-cost Thermal Imager Based on Micromachined CMOS Integrated Sensor Array," *J. Microelectro mech. Syst.*, **10** [4] 503-10 (2001).
2. C. B. Aiken, W. H. Carter, and F. S. Philips, "The Production of Film Type Bolometers with Rapid Response," *Rev. Sci. Instrum.*, **17** [10] 377-85 (1946).
3. R. A. Wood, "Monolithic Silicon Microbolometer Arrays," *Semicond. Semimetals*, Vol. 47, pp. 45-121, Academic Press, San Diego, 1997.
4. P. W. Kruse, "Uncooled IR Focal Plane Arrays," *Opto-Electron. Rev.*, No. 7, 253-258 (1999).
5. C. Li, G. D. Skidmore, C. Howard, C. J. Han, L. Wood, D. Peysha, E. Williams, C. Trujillo, J. Emmett, G. Robas, D. Jardine, C.-F. Wan, and E. Clarke "Recent Development of Ultra Small Pixel Uncooled Focal Plane Array at DRS," *Proc. SPIE 2007*, Vol.6542, pp.1Y.1-1Y.12, Orlando, USA.
6. C. D. Reintsema, E. N. Grossman, and J. A. Koch, "Improved VO₂ Microbolometers for Infrared Imaging: Operation on the Semiconducting-metallic Phase Transition with Negative Electrothermal Feedback," *SPIE*. **3698**: 190-200 (1999).
7. N. Chi-Anh, H-J. Shin, K. Kim et. al., "Characterization of Uncooled Bolometer with Vanadium Tungsten Oxide Infrared Active Layer," *Sens. Actuators, A*, **123** 87-92 (2005).
8. Y-H. Han, K-T. Kim, H-J. Shin, and S. Moon, "Enhanced Characteristics of an Uncooled Microbolometer Using Vanadium-tungsten Oxide as a Thermometric Material," *Applied Physics Letters*, **86** [25] 254101-03 (2005).
9. M-S. Han, S. M. Han, H. J. Kim, J. C. Shin, M. S. Ahn, H. W. Kim, and Y. H. Han, "Low-cost Compact Thermal Imaging Sensors for Body Temperature Measurement", *Proc. of SPIE*, **8704**, 87041O (2013).
10. J. W. Lee, S. R. Min, Han N. Cho, and C. W. Chung, "Effect of O₂ Concentration on Metal-insulator Transition Properties of Vanadium Oxide Thin Films Prepared by Radio Frequency Magnetron Sputtering," *Thin Solid Films*, **515** [20-21] 7740-43 (2007).
11. J. Li, N. Yuan, and J. Xie, "Annealing Characteristics of Vanadium Oxide Films Prepared by Modified Ion Beam Enhanced Deposition," *Appl. Surf. Sci.*, **243** [1-4] 437-42 (2005).
12. T. Kviserø, H. Jakobsen, C. Vieider, S. Wissmar, P. Ericsson, U. Halldin, F. Niklaus, F. Forsberg, G. Stemme, J.-E. Kallhammer, H. Pettersson, D. Eriksson, J. Franks, J. VanNylen, H. Vercammen, and A. VanHulsel, "Far Infrared Low-cost Uncooled Bolometer for Automotive Use," *Proc. AMAA 2007*, Berlin, Germany.
13. C. Li, C. J. Han, G. D. Skidmore et al., "Low Cost Uncooled VOx Infrared Camera Development," *Proc. of SPIE*, **8704**, 87041L (2013).
14. C. Li, C. J. Han, G. D. Skidmore, "Overview of DRS Uncooled VOx Infrared Detector dDevelopment," *Optical Engineering*, **50** [6] 061017 (2011).

한명수



- 1997년 동국대학교 고체물리학 이학박사
- 1997년 (주)KEC 종합연구소 선임연구원
- 2003년 한국광기술원 책임연구원

고항주



- 2000년 동북대학교 응용물리학 박사
- 2002년 금속재료연구소(IMR) JSPS 외국인 특별연구원
- 2003년 한국광기술원 책임연구원

장원근



- 1998 미국 University of Colorado at Boulder, 이학박사
- 1994년 6월-1994년 11월 일본 SONY사 중앙연구소 인턴연구원
- 1998년-2001년 미국 Kent State Univ., University of Colorado at Boulder 박사후 과정
- 2000년 6월-2000년 10월 미국 Displaytech, Inc. 연구원
- 2001년 한국광기술원 책임연구원