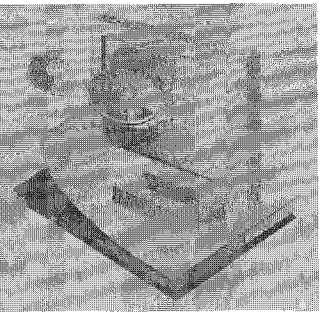


# MEMS 적외선센서 기술동향



김희연 선임연구원 (나노중합법센터)

## 1. 서론

적외선은 가시광보다 큰 0.75  $\mu\text{m}$ 부터 1000  $\mu\text{m}$ 까지의 파장영역에 걸쳐 분포하는 전자기파의 일종이다. 절대온도 이상인 모든 물체는 원자의 진동으로 인한 고유진동수를 가지며, 플랑크의 법칙 (Plank's law)에 따라, 흑체 (Black body)복사를 한다. 고체와 같이 밀도가 있는 물체는 연속스펙트럼형태의 복사를 하게 되며, 총 복사량은 스테판-볼츠만 (Stefan-Boltzmann)식에 따라 온도의 4승에 비례한다. 그림 1은 온도가 -50~80C로 변할 때 흑체에서 복사되는 적외선 영역의 복사스펙트럼을 계산한 결과이다.

$$M(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} [W / cm^2 \cdot sr]$$

$$M_t = \sigma T^4 \quad (1)$$

적외선은 0.8~1.4  $\mu\text{m}$  영역의 NIR, 1.4~3  $\mu\text{m}$  영역의 SWIR, 3~5  $\mu\text{m}$  영역의 MWIR, 8~14  $\mu\text{m}$  영역의 LWIR, 14  $\mu\text{m}$  이상의 FIR 등으로 분류하며, 특히 MWIR 및 LWIR 영역은 다른 파장대에 비해 공기에 대한 투과도가 좋아서 적외선 센서에 가장 많이 쓰이는 파장대이다 (그림 2). 특히 8~14  $\mu\text{m}$  영역의 대기의 창은 300 K에 해당하는 적외선이 최대 나오는 영역으로 물체를 식별하는데 많이 사용되고 있으며,

3~5  $\mu\text{m}$  영역은 비행기나 미사일의 연기에서 나오는 온도 (900 K)와 일치하기 때문에, 군사적으로 많이 사용되고 있다.

적외선 센서는 크게 광자형 (Photon) 및 열형 (Thermal)으로 분류된다. 광자형은 주로 HgCdTe, InSb 등의 화합물 반도체를 사용하여 입사한 적외선의 에너지를 흡수하여 여기된 전자 신호를 검출하는 광전도 현상을 이용하며, 성능은 뛰어나나 액체질소 냉각기가 필요하여 가격이 높은 단점이 있다. 반면에 열형은 복사되는 열에너지를 저항이나 전류 또는 기전력변화로 검출하는 방식으로서 광자형에 비해 성능은 떨어지지만 냉각기가 필요 없고 가격이 저렴하여, 일반적으로 가장 많이 쓰이고 있다. MEMS 기

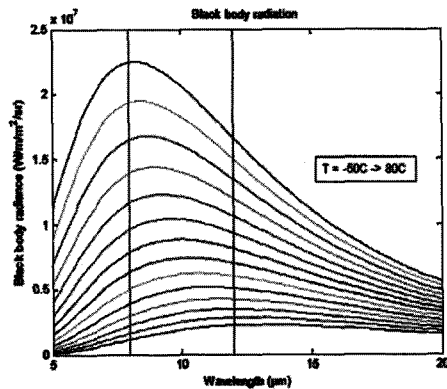


그림 1. -50~80C로 온도가 변할 때 흑체 복사 스펙트럼 계산결과.

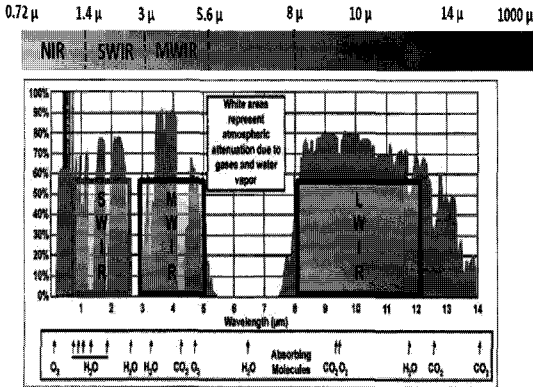


그림 2. 적외선 파장에 따른 대기 중의 투과 스펙트럼.



(a)



(b)

그림 3. 적외선 센서의 대표적인 응용분야인 (a) 적외선 이미지 및 (b) 열영상 (Thermography).

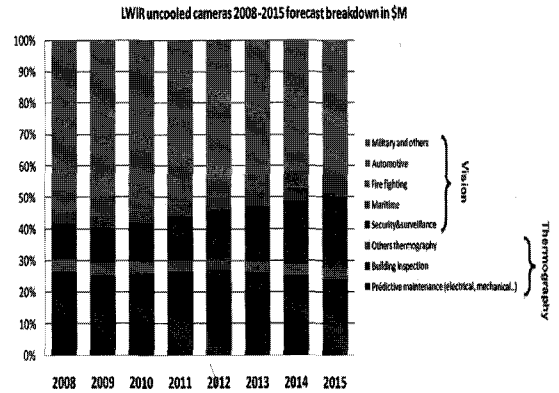


그림 4. MEMS형 적외선 센서의 세계시장 규모 및 분포.

솔로 제작된 대부분의 적외선 검출소자는 열형으로, 선형 또는 2차원의 센서 어레이를 배열하여 적외선 이미지 센서로 활용되고 있다. 적외선 이미지 센서는 적외선 센서 초점면 배열 (FPA), 적외선의 투과 및 집속을 위한 광학계, 신호처리부 (ROIC)로 구성되며, 최근에는 FPA와 신호처리소자를 일체화하거나, 웨이퍼레벨 패키징 등을 적용하여 전체적인 센서 크기를 소형화한 제품들이 속속 출시되고 있다.

MEMS형 적외선 센서의 응용 분야는 크게 물체로부터 방출되는 적외선을 이미지화하는 적외선 영상 분야 (Vision)와 주위온도와의 온도 차이를 이미지화하는 열영상 분야 (Thermography)로 크게 나눌 수 있다 (그림 3). 적외선 센서시장은 연평균 10%의 성장률로 2015년에 세계시장규모는 약 34억달러로 추정되고 있다 (그림 4).

본고에서는 MEMS형 적외선 센서의 기본적인 작동원리와 종류를 알아보고, 주요성능지표, 재료개발 동향을 살펴보았다. 또한, 최근에 늘어나고 있는 자동차, 국방, 환경 분야의 응용현황을 고찰하였다. 본고를 통해 MEMS형 적외선 센서에 관심있는 분들에게 최신 기술동향을 파악하는데 도움이 되었으면 한다.

## 2. MEMS 적외선 센서의 구조 및 제조공정

열형 적외선 센서는 다시 초전형 (Pyroelectric

and ferroelectric), 저항형 (Resistive or microbolometer), 열전형 (Thermoelectric)으로 나뉘며, 현재 주로 사용되고 있는 열형 센서는 초전형 및 저항형이다. 이 중에서 MEMS 적외선 센서는 주로 저항형의 마이크로볼로미터를 의미한다. 볼로미터의 어원은 그리스어 Bole에서 온 것이며, 전자기파를 흡수할 때 온도가 변하는 열저항 센서를 의미한다. 대부분의 적외선 이미징에 사용되는 볼로미터는 8~14  $\mu\text{m}$  영역대의 파장의 복사를 검출하기 위해 설계되어왔다.

볼로미터의 작동원리는 입사된 적외선을 흡수하여 열적으로 고립된 멤브레인 (Membrane) 저항체의 온도가 올라가고 이 온도변화는 흡수된 적외선 에너지에 비례하여 볼로미터 저항체의 전기저항변화로 측정된다. 높은 감도 (낮은 NETD값)를 가지는 마이크로볼로미터를 설계하기 위해 다양한 설계안들이 제안되어왔다. 중요한 설계인자들은 볼로미터와 주위 환경과의 낮은 열전도, 넓은 흡수면적을 통한 높은 적외선 흡수율, 높은 온도-저항 계수 (TCR)을 갖는 저항체 물질, 낮은  $1/f$  노이즈 특성, 충분히 낮은 열시상수 등이 있다. 동시에 상용화를 위해서는 볼로미터 픽셀크기가 충분히 작아야 하며, 픽셀크기가 작으면 동일한 공정으로 높은 해상도를 갖는 센서개발이 가능할 뿐만 아니라, 적외선 광학계 전체가 축소되어 초소형, 저가격 제품의 개발이 가능하게 된다 (그림 5). 최근에는 17  $\mu\text{m}$  픽셀크기를 가

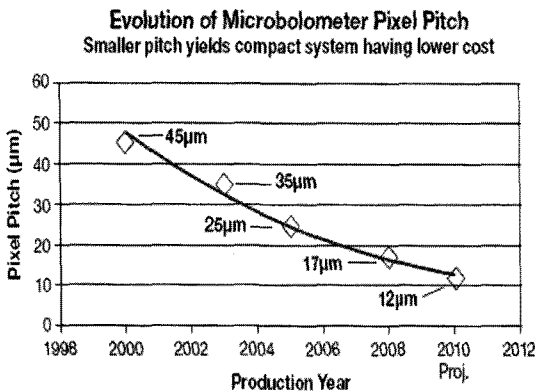
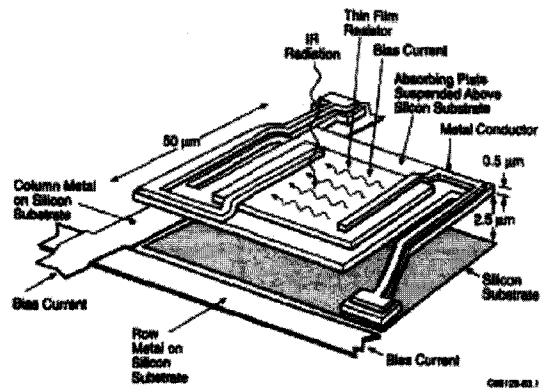


그림 5. 픽셀피치 감소추세.

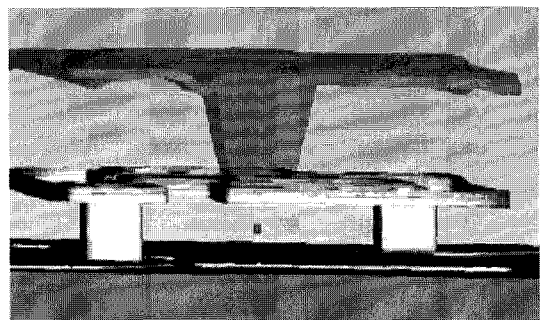
지는 VGA급 제품들이 출시되고 있는 실정이다.

그림 6은 전형적인 볼로미터 구조를 보여준다. 볼로미터와 주위와의 열전도를 최소화하기 위해 레그 (Leg)는 길면서도 작은 단면적과 낮은 열전도를 가지는 물질로 구성되어 있다. 레그는 볼로미터와 신호처리 IC와의 전기적 연결을 위한 얇은 금속층을 포함한다. 볼로미터 레그를 통한 열전도는 통상  $10^{-8}$  W/K만큼 낮다. 일반적으로 볼로미터와 주위 대기로의 열전도를 최소화하기 위해 진공 패키징이 필수적이며, 대개 0.01 mbar 정도의 진공도로 유지된다.

볼로미터 픽셀의 필 팩터 (Fill factor)는 입사되는 적외선을 흡수하는데 사용되는 픽셀면적으로 정의



(a)



(b)

그림 6. (a) 단일층 마이크로볼로미터 구조 및 (b) 2층 구조 (Umbrella 형).

되며 나머지 면적은 레그, 인접 픽셀사이의 공간, 볼로미터와 IC를 연결하는 Via로 소비된다 (그림 6(a)). 일반적인 단일층 볼로미터는 60~70%의 필 팩터를 가지며, 2층 구조의 볼로미터 (Umbrella형, 그림 6(b))는 90% 이상의 높은 필 팩터를 가지기도 한다. 레그와 저항체가 적외선 흡수층인 멤브레인 하부에 놓이기도 하는데, 이러한 Umbrella형은 매우 작은 픽셀크기를 요하는 볼로미터에 주로 적용되고 있다.

볼로미터 멤브레인에서 적외선 흡수율을 높이기 위해 목표로 하는 파장대에 최적화된 Feby-Perot 형의 광학적 공진구조가 필요하다. 가장 일반적인

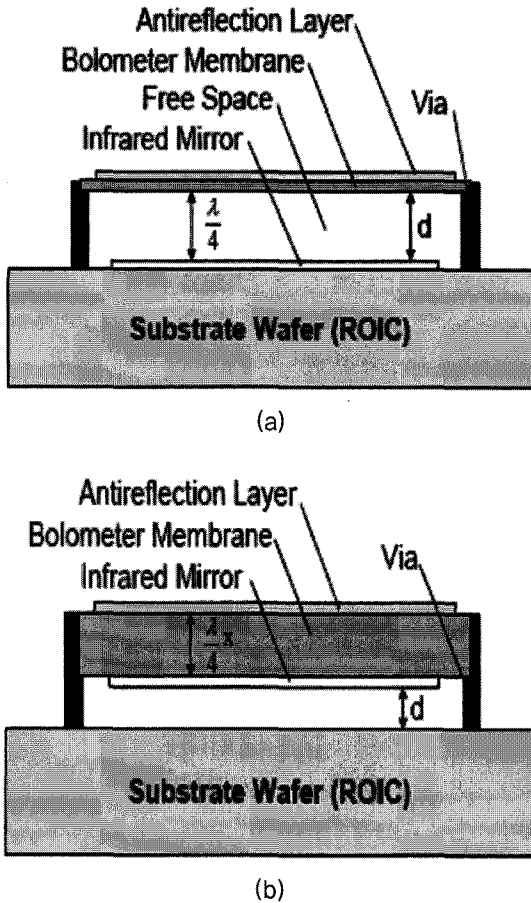


그림 7. 2가지 형태의 공진구조를 가진 볼로미터 설계.

공진구조는 그림 7(a)에 나타난 것처럼, 적외선 반사층이 하부기판에 있고 멤브레인은 반사층으로부터  $\lambda/4$ 거리만큼 위치하여  $\lambda$ 의 파장으로 입사된 적외선의 대부분이 멤브레인에 흡수되는 구조로 되어 있다. 예를 들어 8~14  $\mu\text{m}$  파장의 적외선 흡수를 위해서 멤브레인과 반사층은 약 2~2.5  $\mu\text{m}$ 의 간격을 가진다. 두 번째의 공진구조는 그림 7(b)에 나타난 것처럼, 멤브레인 자체를 공진구조로 구현한 것이다. 멤브레인 하부에 반사층이 있고, 멤브레인의 두께를 공진구조인  $\lambda/4$ 로 맞춘다. 대부분 멤브레인은 그림 7(a) 구조로 제작되는데 낮은 열용량을 위하여 멤브레인 두께를 줄일 수 있으므로, 열전도를 감소시켜 온도분해능 (NETD)을 최소화할 수 있기 때문이다. Feby-Perot 공진구조 상층부의 금속층은 8~14  $\mu\text{m}$  파장대에서 공진구조가 제대로 특성을 발휘할 수 있도록 377  $\Omega/\text{sq}$ 의 면저항을 가지게 제작한다.

대부분의 볼로미터는 그림 8에 나타난 것처럼 일

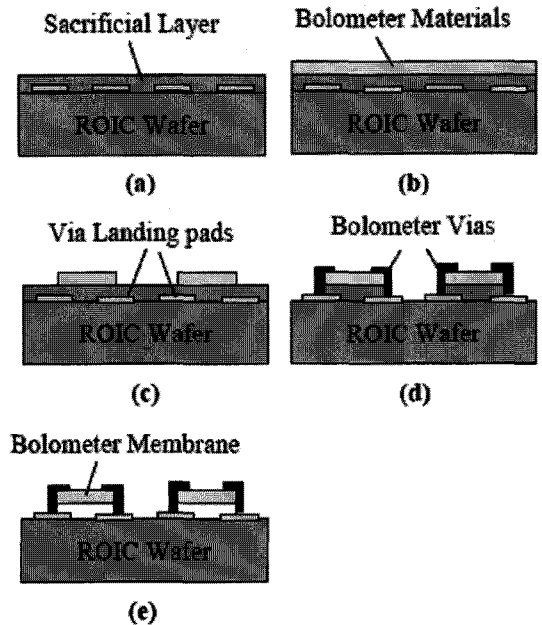


그림 8. 볼로미터 일괄공정 예 (a) 희생층 증착, (b) 볼로미터 재료 증착, (c) 볼로미터 재료 패터닝, (d) via 형성, (e) 희생층 제거.

팔공정으로 제작된다. 일괄공정 시 신호처리 회로(ROIC)가 먼저 제작되고 연속적으로 ROIC 웨이퍼 위에 볼로미터 공정이 진행된다. 일반적으로 고온에 안정한 폴리이미드(Polyimide)가 희생층으로 사용된다. 마지막 단계에서 폴리이미드는 제거되어 열적으로 고립된 볼로미터 멤브레인이 형성된다. 현재 대부분의 볼로미터는 일괄공정으로 ROIC 위에 형성되며, 가격이 저렴하고 표준화된 CMOS 후공정이 사용되고, ROIC가 볼로미터 멤브레인 하부에 효과적으로 배치할 수 있는 장점이 있다. 일괄공정의 단점은 고온에서 ROIC가 손상될 수 있기 때문에, 볼로미터의 온도감지물질의 증착공정이 450℃ 이하로 제한되어 단결정과 같은 재료를 사용할 수 없다는 것이다. 따라서 다양한 온도감지물질의 선정을 제한하게 만든다.

두 번째로 많이 적용되는 공정은 그림 9의 벌크 마이크로머시닝 공정이다. 볼로미터가 기판표면에 구현되고, 볼로미터 그림 9의 기판이 선택적 에칭으로 제거되어 열적고립구조를 형성한다. 벌크 마이크로머시닝 공정은 CMOS 회로 공정을 구현하기 전, 중간, 후에 모두 가능하다. 벌크 마이크로

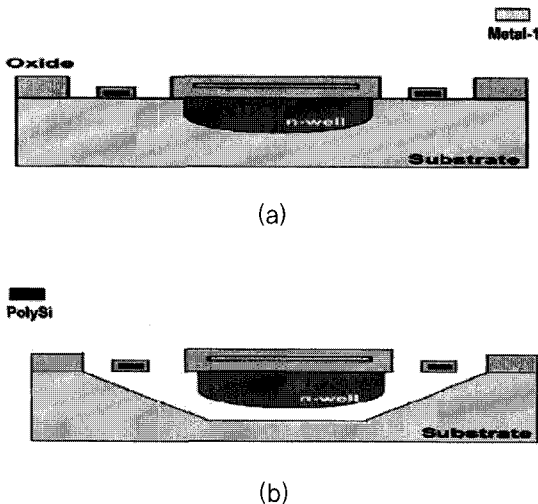


그림 9. 벌크 마이크로머시닝을 이용한 볼로미터 공정 (a) 볼로미터와 회로의 형성, (b) Si의 선택적 에칭에 의한 열적 고립구조 구현.

머시닝이 가장 많이 적용되는 볼로미터는 다이오드(Diode) 볼로미터이다. 벌크 마이크로머시닝의 장점은 회로와 볼로미터가 표준 CMOS 공정을 활용하여 동시에 제조될 수 있다는 것이다. 또한, 단점은 일반적으로 회로가 멤브레인 하부가 아니라 옆에 위치하여야 하므로, 필 팩터가 감소한다는 것이다.

3D 볼로미터 집적 공정은 ROIC 위에 고성능의 단결정 온도감지물질의 결합을 위해 제안된 공정이다(그림 10). 3D 결합 시 볼로미터는 핸들 웨이퍼에 먼저 증착된다. 이 재료는 저온 접착제를 사용하여 핸들 웨이퍼로부터 ROIC 웨이퍼로 전사된다. 최종 구조는 일괄공정으로 제작된 볼로미터의 형상도 동일할 뿐만 아니라, 고성능의 단결정 온도감지물질을 적용할 수 있다는 장점이 있다.

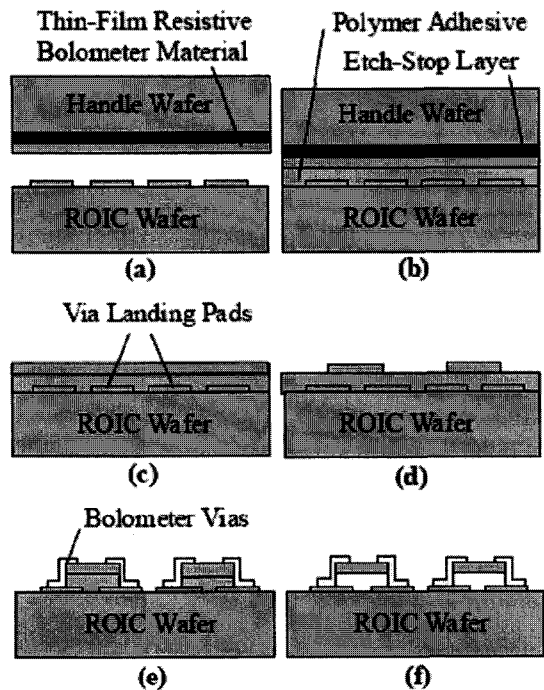


그림 10. 3D 볼로미터 집적 공정 (a) 볼로미터 재료가 증착된 핸들웨이퍼와 ROIC 웨이퍼 준비, (b) 웨이퍼 접합 (c) 핸들웨이퍼 연마 (d) 볼로미터 구현 (e) via 형성 (f) 희생층 제거.

### 3. 주요성능지표

마이크로 볼로미터의 중요한 성능지표는 온도분해능인 NETD, 응답도 ( $R_v$ ), 노이즈 등가 파워 (NEP), 감지도 ( $D^*$ ) 등이 있다. NETD는 적외선 이미징 시스템을 평가하는 가장 중요한 성능지표이며 두 개의 흑체가 1만큼 차이 나는 S/N비를 가질 때의 온도차이로서 정의되며, 8~13  $\mu\text{m}$  파장영역에서 NETD는 아래 식으로 정의된다.

$$NETD = 1.57 \times 10^4 \frac{V_n \cdot T_{no}^2}{R_v \cdot A} \quad (2)$$

$V_n$ 은 볼로미터와 ROIC의 총 노이즈,  $T_{no}$ 은 광학계의 T/number,  $A$ 는 볼로미터의 흡수면적이다. 응답도  $R_v$ 는 픽셀에 입사되는 적외선 입사에너지당 출력 신호로서 정의되며,

$$R_v = \frac{\alpha \epsilon V_b}{G \sqrt{1 + 4\pi^2 f^2 \tau^2}} \quad (3)$$

이며,  $V_b$ 는 바이어스 전압,  $\alpha$ 는 온도저항계수,  $\epsilon$ 는 적외선 방사율,  $G$ 는 열전도도,  $f$ 는 Frame rate,  $\tau$ 는 열시상수이다.

위 식(3)에서 알 수 있듯이, 우수한 응답도를 가지는 적외선 센서를 위해서는 높은 온도저항계수를 가지는 물질의 적용과, 낮은 열전도도 ( $G$ )를 가지는 볼로미터 설계가 필요하다. 또한, 열시상수는 아래 식에 따라 결정되므로, 주어진 열전도도하에서 필요한 열시상수를 가질 수 있도록 볼로미터의 열용량 설계가 필요하다.

$$\tau = \frac{C}{G} \quad (4)$$

한편, NEP는 RMS 노이즈 출력과 동일한 신호 출

력을 생성하는 적외선 입사 파워로 정의된다. 검출도는 단위 면적의 볼로미터에 입사되는 RMS 입사 파워에 해당하는 1 Hz 밴드폭의 RMS S/N 비로서 정의되며, 아래 식과 같다.

$$D^* = \frac{R_v \sqrt{A_d \Delta f}}{V_n} \quad (5)$$

따라서, 응답도와 노이즈를 정확하게 측정하면 검출도와 NETD를 정의할 수 있게 된다. 실제로는 바이어스가 펄스형태로 인가되는 경우가 많으므로, Joule 열에 따른 볼로미터의 동적 온도변화와 이에 따른 응답도 변화를 예측하는 것이 중요하다.

마이크로볼로미터의 주요 노이즈원은 Johnson, 1/f, 열적 노이즈로 구분한다. Johnson 노이즈는 모든 형태의 저항성분에 존재하며, 1/f 노이즈는 펄스형태의 바이어스를 인가할 때 발생하며, 온도에 따른 열적노이즈로 구분된다. 전체노이즈는 아래와 같이 각 노이즈의 기하평균으로 나타낼 수 있다.

$$V_n = \sqrt{V_J^2 + V_{1/f}^2 + V_{TH}^2} \quad (6)$$

이러한 노이즈 특성도 인가되는 바이어스와 동적 온도특성에 좌우되므로, 정확한 측정을 통하여 회로적으로 제거하는 것이 중요하다.

### 4. 감지물질의 종류

온도감지물질은 볼로미터의 감도 (NETD)에 큰 영향을 미친다. 높은 온도저항계수 (TCR)와 작은 1/f 노이즈를 가지는 물질이 요구된다. 또한, ROIC 회로 제작을 위한 CMOS 공정과 호환성을 유지하여 저렴한 비용으로 제작이 가능하여야 한다. 오늘날, 대부분의 마이크로볼로미터용 온도감지물질로는 바나듐 산화물 (VOx)과 비정질 실리콘 (a-Si), 실리콘 다이오드 등이 사용된다. BST와 같은 강전 (Ferroelectric)물질도 사용되나, 이는 초전형 적외선 센서이고, 점차 활용도가 줄어들고 있으므로, 본고

에서는 제외하기로 한다.

볼로미터의 NETD는 일반적으로 온도감지물질의 1/f 노이즈에 의해 제약을 받는다. 1/f 노이즈는 재료마다 큰 차이를 가지는 재료상수이며 재료조성의 작은 변화로도 1/f 노이즈 상수는 크게 변하게 된다. 대부분의 재료에 대해 1/f 노이즈에 대해 상세한 데이터는 알려져 있지 않지만, 단결정 재료가 비정질이나 다결정 재료에 비해 우수한 1/f 노이즈를 나타낸다고 보고되고 있다.

### 4.1 VO<sub>x</sub>

바나듐 산화물 박막은 상온에서 2~3%/K의 TCR을 가지며, 가장 널리 적용되고 있는 물질이다. 바나듐 산화물은 VO<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 많은 상들이 존재하며 특정 온도에서 절연체나 반도체로부터 금속상으로 상변태를 겪는다(그림 11). 단결정 VO<sub>2</sub>와 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 4%/K이상의 TCR을 가지나 제조하기가 어렵다. 일반적으로 사용되는 Evaporation이나 Sputtering은 비정질 또는 다결정 박막을 생성하며, 고압의 산소분위기에서 바나듐 타겟을 이용한 이온빔 증착의 경우 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 형성되거나 저항이 매우 높다. V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 낮은 형성에너지치를 가지며 저온에서 반도체로부터 금속상으로 상변태를 겪으며 상온저항이 매우 낮다. 소자의 저항이 높을수록 노이즈가 증가하기 때문에 낮은 저항을 가지는 V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 생성이 중요하다. 바나듐 산화물 박막을 제조하기 위하여 다양한 시도들이

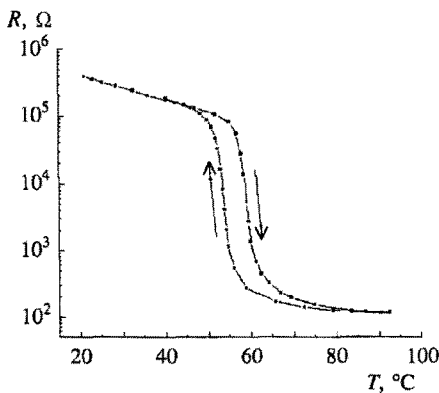


그림 11. VO<sub>2</sub> 박막의 온도-저항 특성.

있어왔다. Han. 등은 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, V, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 샌드위치 구조를 통해 상조절이 용이한 제조공정을 제안하였고, Lv. 등은 4.4%/K의 TCR과 20 kΩ/sq 정도의 낮은 저항을 얻을 수 있었다. 이외에도 바나듐-텅스텐 산화물 및 Ti-W co-doping 등을 통해 5%/K 이상의 TCR을 보고하기도 하였다.

### 4.2 a-Si

액정 디스플레이의 TFT나 태양전지의 활성층으로 주로 사용되어왔던 비정질 실리콘은 2000년에 Syllaios 등에 의해 마이크로볼로미터에 적용되었다. 비정질 실리콘은 2~3%/K 정도의 적절한 TCR을 가지고 있다. 특히 바나듐 산화물이 특허권의 제약을 받아 수입이 자유롭지 않은 반면에 비정질 실리콘은 기존 반도체 생산설비에서 제조될 수 있는 장점으로 인하여 최근에 관심이 고조되고 있다. 비정질 실리콘으로 된 볼로미터 멤브레인은 매우 얇아 열용량이 낮으므로 열시상수를 유지하기 위해 열전도를 낮게 유지하는 설계가 필요하다. 비정질 실리콘은 주로 PECVD나 스퍼터링과 같은 비평형 공정에 의해 제조되어 상대적으로 1/f 노이즈가 큰 것이 단점이라 할 수 있다(그림 12).

### 4.3 실리콘 다이오드

pn 접합 또는 Schottky 배리어 접합의 정방향 전

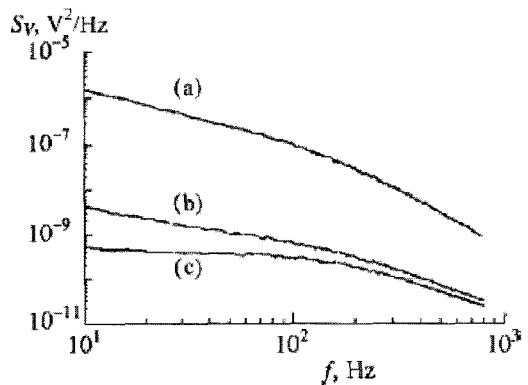


그림 12. a-Si:H 박막의 1/f 노이즈 특성 (a) PECVD, (b) 스퍼터링, (c) Johnson 노이즈.

압의 온도의존성을 통한 적외선 센싱이 가능하다. 일반적으로 pn 접합의 경우 0.7 V, Schottky 다이오드의 경우 0.6 V의 정방향 전압을 가지며, 1~2 mV/K의 온도-전압 특성을 통해 0.2%/K의 TCR을 나타내며, 저항형 볼로미터보다는 낮은 값을 나타낸다. 다이오드를 사용하는 장점은 다이오드가 저항체보다 훨씬 작은 면적으로 구현이 가능하여 훨씬 작은 픽셀 크기를 구현할 수 있다는 것이다.

#### 4.4 기타

가장 용이한 온도 감지 재료는 금속박막이며, 이들은 CMOS ROIC 공정과 쉽게 호환이 가능하고, 1/f 노이즈도 낮다. 그러나 TCR이 매우 낮아 (Ti의 경우 0.35%/K), 성능 면에서 불리하다.

PECVD나 반응성 스퍼터링에 의해 제조된 비정질  $Ge_xSi_{1-x}O_y$ 는 5.1%/K의 높은 TCR을 보이나 1/f 노이즈가 높은 단점이 있다. 열전도도는 상대적으로 낮은 장점을 가진다.

LPCVD로 약 30% 정도의 Ge 함량을 가지는 다결정 SiGe도 사용된다. 증착 및 열처리 온도가 높기 때문에 금속배선공정전에 멤브레인이 형성되어야 한

다. MBE 등 고진공으로 증착된 Si/SiGe 다층 에피박막의 경우 고품질의 단결정을 형성하여 3.3%/K의 높은 TCR과 낮은 1/f 노이즈 특성을 보인 결과가 보고되었다.

넓은 밴드갭을 가지는 PECVD 증착된 비정질 또는 나노결정 SiC 등도 적용되어왔는데, TCR은 0.7~2.3%/K 범위 내에서 조절이 가능하다. TCR이 증가함에 따라 노이즈도 증가하므로 적절한 조절이 필요하다.

이외에도 반도체성 YBaCuO, CMR (Colossal magneto resistance), 탄소 박막 등도 적용이 보고되고 있다.

### 5. MEMS 적외선 센서 응용 분야

현재 마이크로볼로미터를 개발, 공급하고 있는 회사들은 미국의 FLIR, L-3, BAE, DRS, 프랑스의 ULIS, 일본의 미쯔비시, NEC, 이스라엘의 SCD 등이 있다. 감지물질로는 바나듐 산화물, 비정질 실리콘, 실리콘 다이오드를 사용하나, 바나듐 산화물을 가장

표 1. 상용화된 마이크로볼로미터 센서 현황.

| Company           | Bolometer type                     | Array format (pixels) | Pixel pitch ( $\mu\text{m}$ ) | Detector NETD ( $F=0, 20\text{-}60\text{ Hz}$ ) |
|-------------------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|---|
| FLIR, USA         | $VO_x$ bolometer                   | 160x120 - 640x480     | 25                            | 35 mK   |
| L-3, USA          | $VO_x$ bolometer                   | 320x240               | 37.5                          | 50 mK   |
|                   | $\alpha$ -Si bolometer             | 160x120 - 320x240     | 30                            | 50 mK   |
| BAE, USA          | $VO_x$ bolometer                   | 320x240 - 640x480     | 28                            | 30-50 mK  |
|                   | $VO_x$ bolometer (standard design) | 160x120 - 640x480     | R&D: 17                       | 50 mK   |
| DRS, USA          | $VO_x$ bolometer (umbrella design) | 320x240               | 25                            | 35 mK   |
|                   | $VO_x$ bolometer (umbrella design) | 320x240               | R&D: 17                       | 50 mK   |
| Raytheon, USA     | $VO_x$ bolometer                   | 320x240 - 640x480     | 25                            | 30-40 mK  |
|                   | $VO_x$ bolometer (umbrella design) | 640x512               | R&D: 17                       | 50 mK   |
| ULIS, France      | $\alpha$ -Si bolometer             | 160x120, 640x480      | 25-50                         | 35-100 mK                                       |
| Mitsubishi, Japan | Si diode bolometer                 | 320x240               | 25                            | 50 mK   |
| NEC, Japan        | $VO_x$ bolometer                   | 320x240               | 23.5                          | 75 mK   |
| SCD, Israel       | $VO_x$ bolometer                   | 384x288               | 25                            | 50 mK   |





많이 적용하고 있다. 대부분의 볼로미터는 단일층으로 설계되어 있으나 일부 개발단계에 있는 작은 크기의 픽셀에는 2층 구조의 볼로미터가 적용되고 있다. 표 1은 현재 상용화되어있는 볼로미터 개발업체들과 그 제품들을 보여준다.

현재 마이크로볼로미터는 민수용과 국방용으로 사용되고 있으며, 민수용으로는 보안감시 카메라, 차량용 Night Vision 시스템, 건물 에너지 제어 시스템, 적외선 진단시스템 등에 적용되고 있다.

### 5.1 보안감시 분야

사람과 주위환경과의 높은 명암대비효과로 마이크로볼로미터를 적용한 적외선 카메라는 야간에 주로 사용되는 보안감시분야에 매우 적합하다. 일반적인 보안 감시카메라뿐만 아니라, 최근에 가장 높은 성장속도를 보이고 있는 것이 자동차용 나이트 비전(Night Vision) 분야이다.

나이트 비전 시스템은 야간뿐만 아니라, 안개, 우천 시 등 열악한 운전상황에서 운전자의 시야를 확보하고, 차선이탈방지 및 자율주행시스템 등과 연동되어 지능형 자동차 개발에 있어서 필수기능으로 평가를 받고 있다. 현재 나이트 비전은 적외선 열원을 통해 방출된 적외선이 물체에 반사되어 돌아오는 적외선을 검출하는 능동형의 근적외선 방식과 인체를 비롯한 대상물체에서 방출되는 적외선을 검출하는 수동형의 원적외선 방식으로 구분된다. 마이크로볼



그림 13. BMW 차량에 장착된 나이트 비전 시스템 사례.

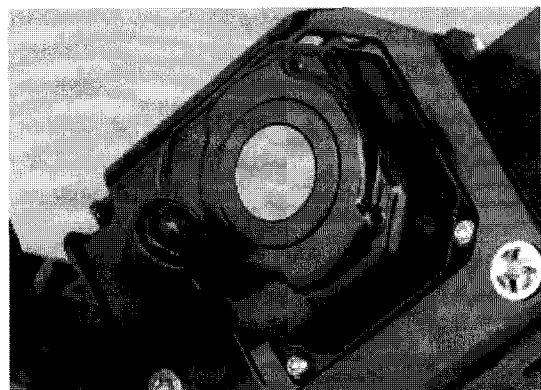
로미터를 적용한 원적외선 방식은 가격이 높다는 단점이 있으나, 근적외선 방식에 비해 긴 가시거리와 우수한 노이즈 특성으로 인해 고가차량위주로 채용이 확대되고 있는 실정이다.

### 5.2 국방 분야

일반적으로 군사용으로 적외선 검출기가 활용되는 곳은 야간시계를 확보할 필요성이 있는 곳이다. 해안 또는 철책선의 감시 장비 (Thermal Observation Device, TOD), 포병의 사격을 위한 주야 관측 장비, 전차의 전차장 및 포수의 열상 조준경 등의 지상 장비로부터 정밀 유도무기의 탐색기, 무



(a)



(b)

그림 14. (a) 차량전면부에 장착 사진 및 (b) 장착된 QVGA급 마이크로볼로미터 센서.

인기를 포함한 항공기의 항법용 FLIR (Forward Looking IR) 및 정보 수집용 탑재장비, 정찰 위성 등에도 적외선 검출기는 열상 시스템에 탑재하여 사용되며, 최근 미사일 경보시스템 등의 전자광학전에도 적외선 검출기 기술은 필수 핵심기술로 활용된다. 미국의 경우, 초기에는 냉각형 검출기 위주로 개발 및 적용되었으나, 마이크로볼로미터 타입의 비냉각 검출기 기술이 충분히 성숙되었다는 판단 하에 최근에는 바나듐 산화물계의 마이크로볼로미터 적용이 점차 늘어나고 있는 추세이다.

### 5.3 환경 에너지 분야

2010년부터 정부는 대형건물의 경우 에너지목표 관리제를 시범 실시하고 있는데, 이때 건물의 에너지 사용정도와 누출위치를 찾을 때 가장 효율적인 방법이 적외선 열영상이다. 특히 벽이나 땅속에 묻힌 배관의 경우 파손없이 배관의 파손여부를 적외선 열영상으로 확인이 가능하다.

### 5.4 의료 분야

의학적 용도로 적외선 카메라가 가장 많이 사용되고 있는 곳은 많은 사람들이 모이는 장소에서 신종플루와 같이 고열의 환자들을 검출하기 위한 용도이며, 한꺼번에 많은 사람들을 검사할 수 있는 장점이 있다. 적외선 센서의 열영상 기능을 활용하여 일



그림 15. 건물의 에너지 누출위치를 보여주는 적외선 카메라 사례.

정체온 이상을 가지는 사람들을 검출하는데 주로 사용되고 있다.

한편, 적외선 체열 진단 (DITI, Digital Infrared Thermographic Imaging)은 인체의 피부 표면에서 자연적으로 방출되는 적외선을 감지하여 통증부위 및 기타질병부위의 미세한 체열변화를 영상으로 나타내 줌으로써, 신체의 이상 유무를 진단하는 검사 방법이다. 특히, 감각신경 섬유에의 자극 즉, 통증이 있는지 없는지와 그 부위를 객관적으로 시각화할 수 있는 장점이 있다. 신경계질환, 혈관계질환, 근골격계 질환, 유방암 진단 등에 주로 이용되며, 침술 및 약물 치료 전, 후의 경과 비교 분석에도 활용되고 있



(a)



(b)

그림 16. (a) 혈관 및 (b) 양손의 체열 차이를 보여주는 적외선 체열 영상.



다. 적외선 체열 진단은 인체의 해부학적 이상 유무를 진단하는 CT나 MRI 등 타 의료장비와는 달리 전리방사선을 사용하지 않아 인체에 무해한 장점을 가지고 있다.

## 6. 결론

MEMS형 적외선 센서인 마이크로볼로미터 기술의 발전에 힘입어, 통상 수 mK의 온도분해능을 가지는 광자형과의 기술격차가 날로 좁혀지고 있다. 무게, 전력소모, 가격 등 여러 가지 장점을 가지고 있기 때문에 마이크로볼로미터는 대량생산에 훨씬 적합하다고 할 수 있다. 현재 성능별로 VGA급 이상의 해상도 및 낮은 NETD 성능을 가지는 소자의 경우 군사 및 정찰분야, QVGA급 및 35 mK 정도의 해상도는 자동차 및 보안감시 분야, QVGA 이하 및 150 mK 정도의 NETD 성능을 가지는 소자는 일반 카메라 분야에 주로 적용되고 있다.

대량생산을 위해서는 가격을 낮추기 위한 여러 가지 기술적인 문제점들이 있다. 첫째, 칩 전체가격의 상당부분을 차지하는 진공 패키징비용을 최소화하기 위하여 값싼 웨이퍼 레벨 패키징 기술이 조속히 개발되어야 한다. 둘째, 기존 반도체 파운드리에서 쉽게 적용될 수 있는 재료 및 공정개발이 시급히 되어야 한다. 이를 통해 양산단가를 낮추는 것이 필요하다. 셋째, 카메라 모듈 조립의 혁신이 필요하다. 적외선 광학계 조립에 필요한 각종 부품의 가격이 아직도 비싼 상황에서 소형화되면서도 저렴한 조립 설계기술이 요구된다.

## 참고 문헌

[1] A. Rogalski, "Infrared Detectors", Gordon & Breach, 2000  
 [2] F. Niklaus, C. Vieider, H. Jakobsen, "MEMS-based uncooled infrared bolometer arrays-a review", Proc. of SPIE Vol. 6836, 68360D, 2007  
 [3] R.K. Bhan, R.S. Saxena, C.R. Jalwania, S.K. Lomash, "Uncooled infrared microbolometer

arrays and their characterisation techniques", Defence Science Journal, Vol.59, No. 6, 2009  
 [4] B. Li, S. Huang, X. Zhang, "Transient mechanical and electrical properties of uncooled resistive microbolometer focal plane arrays", Proc. of SPIE Vol. 5564, 2004  
 [5] 이용수, "비냉각 적외선 센서", 전기전자재료 제12권 제12호, 1999.  
 [6] 박승만, "적외선 검출기의 기술현황과 발전전망", 국방과학기술플러스, 2007.  
 [7] www.sofradir-ec.com  
 [8] www.flir.com  
 [9] J. Kallhammer, "The road ahead for car night-vision", Nature Photonics, Sep. 2006.  
 [10] P.W. Kruse, D.D. Skatrud, "Uncooled infrared imaging arrays and systems", Academic Press, 1997.  
 [11] P.W. Kruse, "Uncooled thermal imaging: arrays, systems, and applications", SPIE Press, 2001.  
 [12] Yole Report, "Uncooled infrared cameras and detectors: Thermography and Vision Markets", 2010.  
 [13] V. Yu. Zerov and V. G. Malyarov, "Heat-sensitive materials for uncooled microbolometer arrays", J. Opt. Technol. 68 (12), December 2001.

## 담방위원



성명 : 김희연

◆ 학력

- 1990년 한양대학교 공과대학 금속공학과 공학사
- 1993년 KAIST 재료공학과 공학석사
- 2005년 KAIST 신소재공학과 공학박사

◆ 경력

- 1993년 - 2000년 국방과학연구소 선임연구원
- 2006년 - 2008년 삼성전기 수석연구원
- 2008년 - 현재 나노종합팩센터 선임연구원