

Hg_{1-x}Cd_xTe를 이용한 적외선 검지소자기술

맹성재* 이재진** 김진섭***

〈요 약〉

적외선검출기용 반도체소자(Hg_{1-x}Cd_xTe)의 특성 및 응용에 대하여 조사하고, 국외의 연구 현황과 국내의 문제점 및 향후 전망에 대하여 기술하였다. Hg_{1-x}Cd_xTe는 조성에 따라 검지기 파장영역을 조절할 수 있으며, 그 차체에 검지부와 신호처리부를 집적할 수 있는 monolithic 기술이 유망하여 앞으로 중요한 반도체중의 하나로 확립될 것이다.

I. 서론

3원계 화합물반도체인 Hg_{1-x}Cd_xTe(이하 MCT라 한다)는 1959년 영국의 Lawson 등이 처음으로 적외선 검지소자로서 이용 가능성을 제안한 후 오늘날에는 적외선 검지기와 적외영상배열에 있어서 가장 중요한 반도체가 되었다.

MCT 소자의 개발은 초기부터 산업분야의 국가기관에 의해 주도되어 학계에서의 연구는 최근어야 이루어지게 되었는데 이는 반도체의 연구가 대학에서 시작되어 산업에의 응용으로 넘어가는 일반적인 추세와 대조를 보인다. 이러한

목 차

- I. 서론
- II. Hg_{1-x}Cd_xTe의 특성 및 응용
 - 1. 구조적·전기적 특성
 - 2. 검지기 특성
 - 3. 칩접면 검지기 배열
- III. Hg_{1-x}Cd_xTe 검지기 연구현황
- IV. 결론

* 신소자재료연구실 연구원
 ** 신소자재료연구실 선임연구원
 *** 신소자재료연구실 실장

이유는 MCT가 적외선 검지의 군사적 응용에서 독특한 역할을 하였기 때문이다.

레이더 기술은 일찌기 2차대전 당시에 전성 시대를 이루었지만, PbS 단일 셀과 능동성 적외영상 전환장치로 구성되는 적외선 기술은 초보적인 단계여서, 군사적 요구사항인 수동성 열영상에의 응용은 현실적으로 어려웠다. 전후 10년간 PbS, PbSe, PbTe 등의 납염계가 개발되어 미사일 유도장치에 사용되었으나, PbSe와 PbTe는 3~5 μ m 열영상 장치에만 유용성이 있었다. 열영상시대는 50년대 중반에 들어, III-V족 화합물 반도체인 InSb의 개발로 새로운 장을 열게 되었으며, 또한 Ge에 불순물을 첨가한 Ge : Au, Ge : Hg 등도 새로운 재료로 개발되었다. 군사적 응용을 위해 Ge : Hg와 InSb가 주로 연구되었는데, Ge : Hg는 8~12 μ m의 영역에서는 장점을 갖지만 30K의 냉각이 필요한 단점이 있었으며, 한편 InSb는 77K에서 동작되지만 3~5 μ m 영역에 한해 동작되는 단점이 있었다. 따라서 8~12 μ m 감응을 갖고 77K 이상에서 동작되는 새로운 물질이 필요하게 되었다. 이러한 요구를 만족하는 재료로서, 0.1eV 정도의 좁은 밴드갭을 갖는 반도체로 간주된, gray Sn이 제안되었으나, 이는 실온에서 불안정한 반금속으로 밝혀졌다. 또 하나의 후보로서 HgSe, HgTe 등이 있었으나, 이들 역시 반금속으로 밝혀져 열감응소자로서 응용이 불가하였다.

1959년 Lawson 등은 Hg_{1-x}Cd_xTe 합금이 수많은 조성영역을 가진 반도체라는 논문을 발표하였다. 금지대역이 조성 X에 의존하여 X=1일때는 넓은 갭이 되고, X=0일때는 반금속이 되었다. 이것은 InSb와 비슷한 특성을 가지고 있어 미국, 프랑스, 폴란드, 소련 등에서 연구가 시작되었다. 군사적 응용으로 인해 이러한 연구는 비밀리에 행해졌다.

1960년대 초기 연구는 12 μ m 흡수단을 갖는 적당한 X값을 갖는 MCT 결정을 성장하는 방

법에 집중되었다. 결정성장에서 Hg의 높은 증기압 때문에 개관 성장방법을 쓸 수 없어 폭발을 방지하는데 역점을 두었다. 초기의 접근 방법은 Bridgman방법이었다. 이 방법은 원소들을 석영관에 밀봉하여 적당한 조성에 맞는 액상온도로 가열한 다음 온도 구배를 주어 냉각하는 것이었다. 애플을 만드는 석영의 품질이 일정하지 않았으며 폭발이 자주 일어났다. 또한 조성적 과냉에 의한 수지상 성장이 문제점으로 등장하였다. 초기에는 주로 n형 시료에 관해 연구가 집중되어 조성비 X=0.20, 전자농도 10¹⁵cm⁻³인 시료가 제작되었다. Hall곡선에서는 특이한 모양인 이중 crossover가 나타나고 Hall 계수도 낮은 온도에서 오목한 모양을 나타내었다.

한편 단결정성장연구와 더불어 적외선 검지기의 제작과 특성평가가 동시에 이루어져 n형 광도전 검지기 제작에 착수하였으나 여기에서도 이상한 효과가 나타났다. 각 개별 검지기에서의 조성 및 순도의 불균일성이 광기전력 효과로 나타나 파장 감응대역과 감응성 측정에 혼란을 초래하였던 것이었다.

이와 같은 모든 난점에도 불구하고 그 필요성 때문에 MCT 기술은 빠른 속도로 발전하여 1965년에는 열영상 시스템에 사용할 수 있는 prototype의 광도전형 적외선 검지기가 개발되었다. InSb와 Ge : Hg의 단일 소자 또는 작은 선형 배열에 기초한 airborne thermal mapper가 개발되어 미국에서 제한적 생산단계에 접어들었다.

1960년대 중반에 들어서면서 MCT의 에피층 성장에 관심을 쏟았다. CdTe 기판위에 HgTe를 밀폐 증착방법으로 시작된 것을 비롯하여 sputtering 및 LPE법 등이 시도되었다.

1970년대는 MCT 기술이 급속히 발전하였다. 광도전형 검지기 기술, 특히 8~12 μ m 대의 mapper와 FLIR(forward looking infrared) 시스템이 성숙단계에 이르렀다. 1~3, 3~5 및 15~30 μ m

범위에 적당한 조성도 개발되었다. 광기전력형 검지기도 빠른 속도로 발전하여 10.6 μ m에서 동작하는 CO₂ 레이저가 통신에서 헤테로다인 수신기로 사용되었다.

오늘날 MCT는 Si와 GaAs 다음으로 중요한 반도체로 부상하였다. 상업적으로 MCT가 GaAs, GaP, InP, AlGaAs, GaAsP 보다는 알려지지 않았지만 총액에 있어서는 위의 5가지 화합물 반도체에 필적하는 수십억불의 시장성에 가지고 있다. 기술적인 측면에서도 60~180개의 선형 배열검지기는 common modular FLIR용으로 미국에서 대량 생산되고 있다. MCT PV detector/Si CCD hybrid array는 기지를 공격하는 미사일 탐지를 위해 개발되었다. 2~3 μ m대를 검지하는 검지기 배열은 미사일 군락을 검지하며, 15~30 μ m에서는 우주비행 물체를 검지하는데 응용된다. 군사적 목적외에도 의료용으로 암 등의 환부를 검지하는 열영상시스템으로 응용되고 있다.

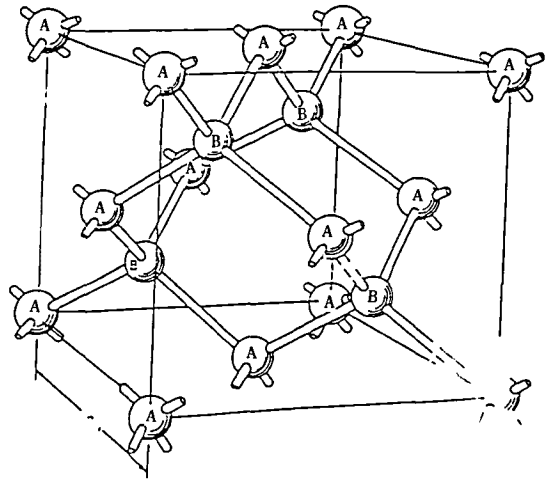
본 고에서는 MCT의 구조적, 반도체적 특성을 살펴보고 최근에 개발된 적외 축점면 검지기 배열과 연구동향을 조사하였다.

II. Hg_{1-x}Cd_xTe의 특성 및 응용

1. 구조적·전기적 특성

MCT의 결정구조는 <그림1>과 같은 zincblende 입방구조이다.

이 구조는 두개의 면심 입방격자가 입방구조의 대각선을 따라 (1/4, 1/4, 1/4)만큼 엇물려 위치한다. 이중 하나는 양이온(Hg, Cd)이고, 다른 하나는 음이온이다(Te). 각 양이온은 2개의 가전자를 가지며 각 음이온은 6개의 가전자를 갖는다. 결합의 형태는 공유결합으로 인접한 원자와 가전자를 공유하여 사면체를 형성한다. 여기에 A와 B 원자의 전기적 음성도 차이에



<그림1> Zincblende 결정구조

의한 이온성 결합도 존재한다.⁽¹⁾

각 원자의 이온반경과 결합에너지를 <표1> 및 <표2>에 각각 나타내었다.

<표1> 각 원소의 이온반경

ion	r _i (Å)	ion-ion	d ₀ (Å)
Te	2.21	Hg - Te	2.50
Hg	1.10		
Cd	0.97	Cd - Te	2.50

<표2> 각 원소의 결합에너지(eV)

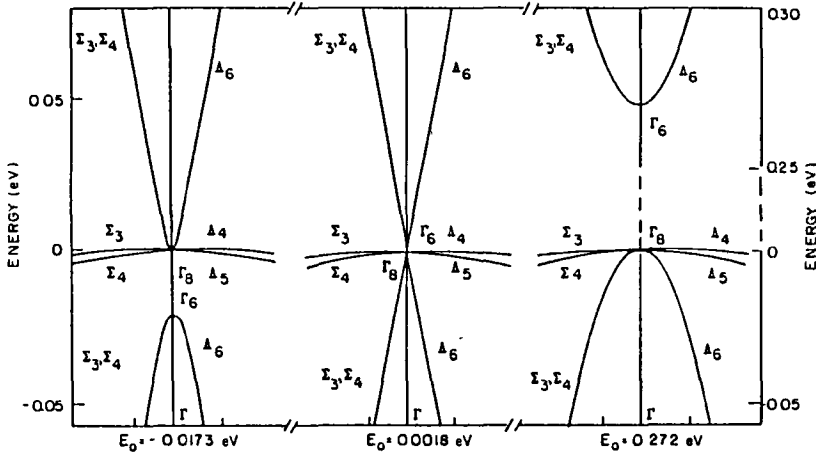
bond	covalent bond	ionic bond	total bonding
HgTe	-3.11	+2.82	-0.58
CdTe	-3.11	+3.36	-0.89

표에서 보는 바와 같이 자유이온일 때보다 HgTe, CdTe 등에서 보는 바와 같이 결합으로 인하여 원자간격이 줄어든다. 또 총결합에너지 면에서 공유결합성이 우세하며 HgTe는 CdTe 결합에너지의 65%에 불과하여 불안정한 결정이 된다. 그래서 MCT 결정성장시에 HgTe 결합을 깨지 않도록 하는 것이 중요하다. Hg의 결합이 약하여 격자에서 공공이나 전위등의 결합을

초래한다. Zincblende 격자의 단순분포는 하나의 A 원자와 하나의 B 원자, 즉 2개의 원자를 갖는다. 두 종류의 양이온이 합금이나 혼정을 이룰때 일반적으로 $A'_{1-x}A''_x B$ 로 표시한다. A', A'' 는

전체적으로 Zincblende 구조가 유지되도록 결정내의 A 자리에 무작위로 배치된다.

MCT의 에너지 밴드구조는 <그림 2>에 보인 바와 같은 구조를 갖는다.⁽²⁾



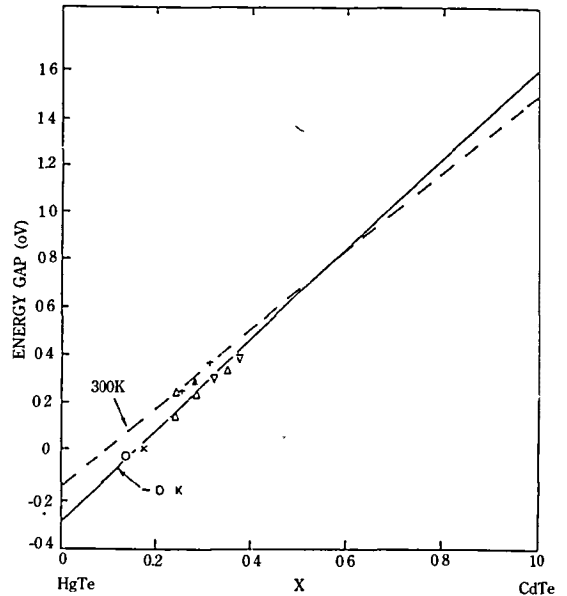
<그림 2> $Hg_{1-x}Cd_xTe$ Γ 점 근처의 에너지 밴드 구조

그림중 좌측의 그림은 HgTe와 X 값이 0 K에서 0.16보다 작은 $Hg_{1-x}Cd_xTe$ 에서 나타나는 반금속적 특성을 보인다. CdTe의 전도대 최소값인 Γ_6 상태가 가전자대 최대값인 Γ_8 상태보다 낮은 에너지에 위치한다. 따라서 에너지 갭은 음의 값을 갖는다. 보통 가벼운 정공의 가전자대가 전도대가 되고 전도대가 가벼운 정공의 가전자대가 된다. 중앙의 그림은 에너지 갭이 약간 양의 값을 갖는 것을 보여준다. 여기서 가벼운 정공의 가전자대가 정상적인 Γ_8 이 되고 전도대가 Γ_6 이 된다. 가전자대와 전도대는 포물선 형태가 아니며 대칭적이다. 우측은 Γ 점에서의 에너지 갭이 비교적 넓은 경우를 나타낸다.

<그림 3>에는 $\Gamma_6 - \Gamma_8$ 천이의 금지대역을 0 K ~ 300 K에서 조성변화에 따라 나타내었다.

CdTe의 에너지 갭의 온도 계수는 음으로 대부분의 반도체와 같으나 HgTe는 양이 된다.

<그림 4>는 X가 0.40 이하인 값에 대해 조성과 온도의존성을 상세히 나타내었다. 일례로 $Hg_{0.795}$

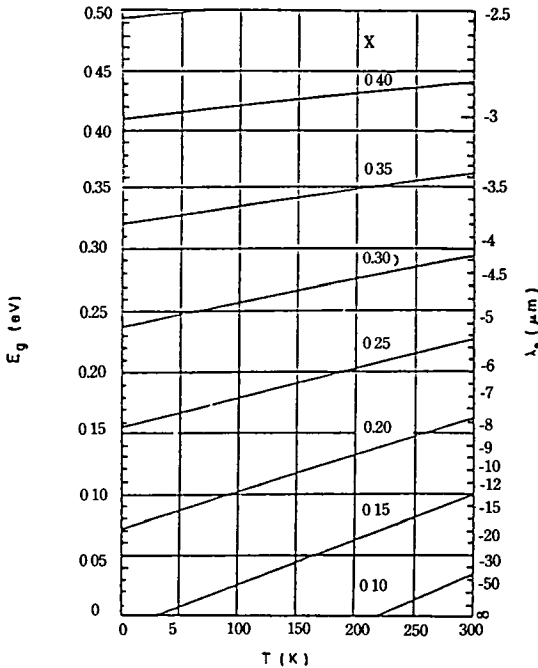


<그림 3> $Hg_{1-x}Cd_xTe$ 의 조성에 따른 에너지 갭

○, interband magnetoreflexion at 77K ; X, interband magnetoreflexion at 4K ; +, optical absorption at 300K ; △, ▲, photovoltaic studies at 77 and 300K ; ▽, photoluminescence at 12K.⁽¹⁾

Cd_{0.205}Te는 77K에서 0.1 eV의 에너지 갭을 가지며 이때 파장흡수단은 12.4 μ m가 된다. 에너지갭을 수식적으로 표현하면 다음과 같다.⁽³⁾

$$E_g(eV) = 1.59X - 0.25 + 5.233 \times 10^{-4}T(1 - 2.08X) + 0.327X^3$$

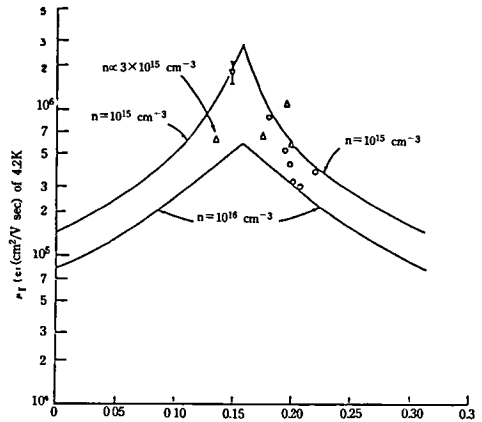


<그림4> Hg_{1-x}Cd_xTe의 조성과 온도에 따른 에너지 갭과 장파장 한계 의존성

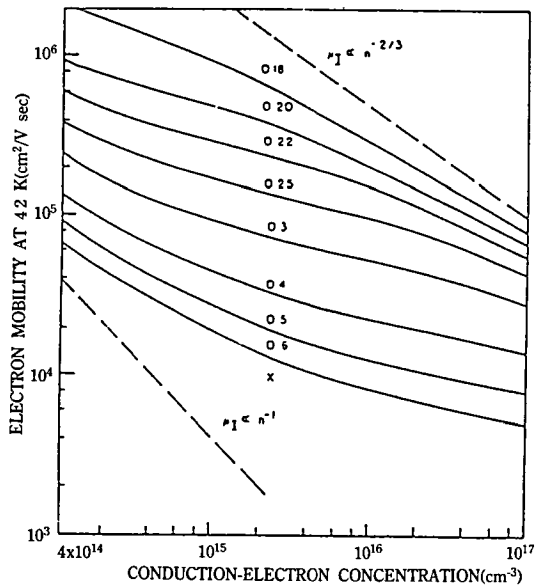
<그림 5>는 4K에서 조성변화에 대한 자유전자의 이동도 변화를 나타낸다. 변수 μ_H 는 Hall 이동도, 즉 Hall 계수를 비저항으로 나눈 값이다. 이 곡선은 이론적인 것으로 산란은 이온화된 단일 불순물이나 외인성 농도와 같은 결합 센터에 의한 것으로 가정한다. Δ , \circ 표시는 측정치를 나타낸다. 고순도 시료의 높은 이동도는 반도체-반금속 천이 근처에서 관찰된다.⁽⁴⁾

자유전자의 이동도를 4.2K에서 조성과 자유전자 농도에 관해 도시하면 <그림 6>과 같다. 자유전자 농도가 $2 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 보다 작은 n형

시편에서 측정된 실험적인 Hall 이동도를 <그림 7>에 나타내었다. 30K 이하에 Hg_{0.80}Cd_{0.20}Te의 이동도는 $3 \times 10^6 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 로 매우 큰 값을 나

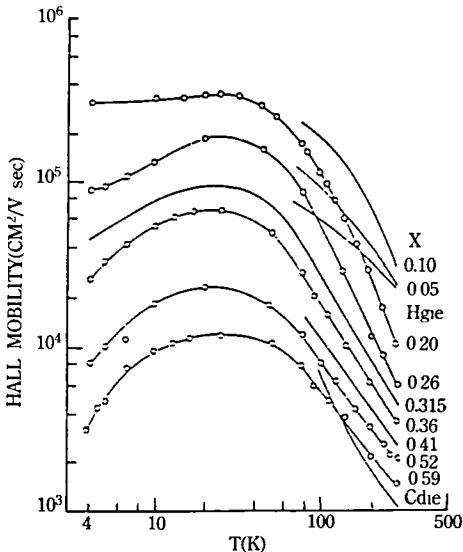


<그림5> 4K에서 조성에 따른 Hg_{1-x}Cd_xTe의 Hall 이동도



<그림6> 4.2K에서 조성에 따른 Hg_{1-x}Cd_xTe의 전자 이동도

타낸다. 또한 실온에서의 이동도는 $1 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 이다. X값이 증가할수록 이동도는 단조 감소한다. $X \geq 0.25, 4 \leq T \leq 20\text{K}$ 에서 이동도는 온도가 증가할수록 증가한다. 이 조성과 20K이상에서는 이온화된 도너 불순물의 산란이 우세해진다.⁽¹⁾



〈그림7〉 조성에 따른 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 의 Hall 이동도의 온도 의존성

2. 검지기 특성

MCT는 조성 x 가 0.2~0.3인 범위에서 밴드갭을 0.11~0.25eV(77K)을 갖는 좁은 밴드갭 반도체로써 3~5 μm (MWIR)와 8~14 μm (LWIR)범위에 대응하는 적외선 검지물질로 매우 유용하다.

MCT를 이용한 소자는 광자검지기구에 따라 광도전효과 소자와 광기전력효과 소자로 나뉘며 적외선을 검지하는 기술이 넓은 밴드갭 광학창효과에 기초를 두느냐, 아니면 계면에서 에너지 밴드 프로필이 중요한 인자가 되느냐에 따라 수동성 이종계면 MCT 소자나 또는 능동성 이종계면 MCT 소자인가로 구분된다.

현재는 2세대 IR 영상시스템 시대로 접어들면서 고밀도, 고감도의 2차원적 검지기 배열을 한 촛점면 배열(FPA : Focal Plane Array)을 이용한 응시방식 영상처리시스템에 연구를 집중하고 있다. 또한 LSI기술을 이용하여 신호를 다중화, 시분할하는 기술로써 검지와 신호처리를 하는 hybrid기술과 연결선 없이 MCT자체에서 검지와 신호처리를 하는 monolithic기술이 있다.

적외선 검지물질로서는 MCT외에 InGaSb, InAsSb, PbSeTe, InSb, PbTe, Si : Ga, Si : In, Si : Se, Si : Ti 등과 pyroelectrics가 있는데 모든 상황에서 가장 좋은 것은 있을 수 없지만 MCT는 다음과 같은 우수성으로 가장 일반적인 물질로 부각되고 있다.

첫째, 고감도의 검출능력과 소자동작온도가 높다.

타 물질에 비해서 감도가 높고 액체질소 온도에서의 동작이 양호하며 전자 정공 쌍 간의 여기가 가전자대와 전도대간에 일어나는 진성 광도전체가 된다.

둘째, 광반응영역을 임의 제어할 수 있다.

MCT는 반금속인 HgTe와 반도체인 CdTe의 pseudo-binary alloy로서 밴드갭을 -0.3eV~1.6eV로 조절이 가능하며 이에 대한 응답 파장범위는 2~25 μm 이다.

셋째, 다중광을 처리할 수 있는 능력이 크다.

다층구조로서 cut-off wavelength에 대해 선택적 조절을 할 수 있다. 일례로 상층은 cut-off wavelength까지의 모든 조사 에너지를 흡수하고 처리하며 하층은 나머지 에너지에 대해 추가적인 처리를 할 수 있다.

넷째, 초고주파, 초고속성을 가진다.

높은 흡수계수는 높은 양자효율을 초래하며, 박막구조와 dielectric기판에 붙여 사용하므로 일반적인 광리소그래피 기술사용이 가능하고, 낮은 유전상수를 가지므로 낮은 photodiode junc-

tion capacitance를 초래하여 향상된 RC-limited band width(수 GHz)를 갖는다. 광전도형의 life time은 약~100ns정도로 도핑정도를 조정하거나 bias를 걸어 짧게 할 수 있다.

다섯째, 전도형변화를 간단히 시킬 수 있다.

단결정 성장시 n 또는 p 형으로 기를 수 있으며 annealing으로도 변화시킬 수 있다. 또한 photo conductive mode (PC mode), photo voltaic mode (PV mode)로 요구조건에 따라 제작할 수 있다.

여섯째, FPA 제조시에 가장 적합한 물질이다.

Photovoltaic hybrid와 monolithic 응용에 대한

다양성과 spectral band의 다양성으로 FPA제조에 가장 적합한 물질이다. 이것은 중간파장영역(MWIR)에서 열전냉각으로도 충분히 동작할 수 있으며 중간파장영역(MWIR)과 장파장영역(LWIR)에 대한 광범위한 파장선택에 대한 동 조성에 기인한다. MCT에 대한 투자는 매년 증가하여 현재 MCT를 선택한 시스템들이 개발되고 또한 새로운 시스템이 제안되고 있다. <표3>은 IR검지기 물질들을 상호 비교한 것으로 MCRT가 일반적인 물질인 것을 알 수 있다.

<표3> 여러가지 검지기 재료의 선택사양

DESIRED CHARACTERISTICS	DETECTOR MATERIAL CANDIDATES											
	PV HgCd Te	InCu Sb	InAs Sb	PbSn Te	PbSe Te	InSb	PbTe	pc HgCd Te	Si ₃ Ge	Si ₃ In	Si ₃ Se	Si ₃ Ti
FLEXIBLE SPECTRAL RESPONSE	●	○	○	●	○	○	○	●	○	○	○	○
INTERMEDIATE-TEMPERATURE OPERATION	●	●	●	○	●	○	●	●	○	○	○	○
FOCAL-PLANE COMPATIBILITY	●	●	●	○	○	●	○	○	●	●	●	●
INDUSTRIAL COMPETITIVE BASE	●	○	●	●	○	●	○	●	●	●	○	○
MATERIAL MATURITY	○	○	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○
SYNERGISTIC INTER-AGENCY DEVELOPMENT	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

● EXCELLENT ○ SATISFACTORY ○ UNSATISFACTORY

3. 초점면 검지기 배열

적외선 영역은 100년이상 과학자들의 흥미를 끌어왔으나, 현재까지 인간의 눈과 비슷한 적외선 센서를 만들기가 불가능하였다. 최근의 돌파구는 광학시스템의 초점면에 수천개의 검지기를 배열하는 대형의 2차원적 고상소자배열의 제작이다. 또 주사방식에서 응시방식으로서의 전환이 돌파구가 될 것이다.

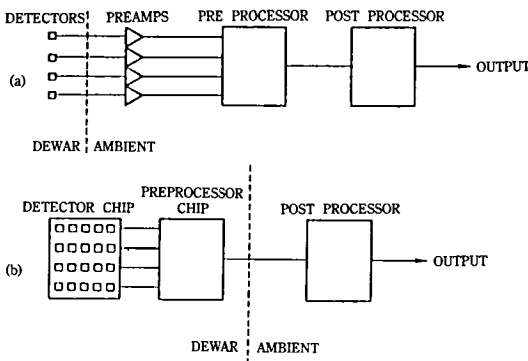
적외선 초점면 배열에 대한 연구는 동일물질에 검지와 신호처리를 동시에 하는 monolithic방법과

각각을 다른 물질을 사용하는 hybrid방법의 두 가지 방향에서 이루어진다.

초점면 배열(FPA) 기술의 목적은 집적회로 기술에 의해서 다수의 검지기 배열에 대한 요구조건을 만족시키는 것이다. 이런 방법은 같은 칩에서 신호처리 이전의 필요한 모든 기능을 수행한다. 즉, 수천개의 검지기를 가진 칩에서 나온 신호들을 신호처리기로 판독하여 하나의 선으로 보낼 수 있어야 한다.

<그림8>에 기존의 적외선 검지기의 FPA를

비교하여 도시하였다. FPA 기술로의 특수한 접근방법이 <그림9>이다. 이 방법은 MCT검지기 배열을 실리콘 전하전송소자(CTD)에 직접 연결되어 있다. IR이 검지기에 입사되어 들어오면 전하로 변환되고 이 전하는 즉시 밑에 있는 저장소자에 전송된다. 실리콘 전하저장배역은 parallel shift register로 구성되어 있다. 일련의 pulse를 이 shift register에 가하면 각 전하 묶음이 readout register에 직렬로 전달된다. 또 다른 pulse set를 readout register에 가하면 이 전하는 배열의 한 열부터 pre-amplifier에 전달된다. 이



<그림 8> (a) 제1세대 검지기와 (b) 초점면 검지기 배열 접근방법

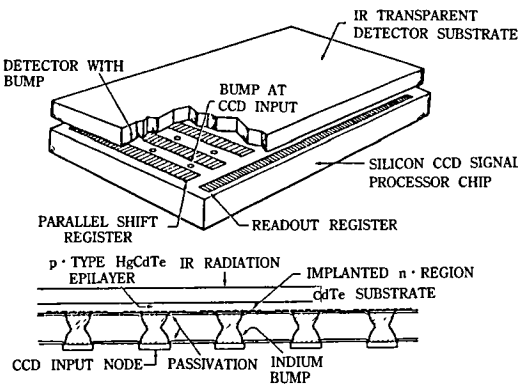
러한 단계들은 shift register의 모든 열(row) signal processor로 읽혀질 때까지 반복되어 IR의 한 화면의 single frame image를 제공한다. FPA의 또다른 접근방법은 detector와 CTD array를 MCT 같은 하나의 물질에 집적시키는 것이다.

FPA의 장점은 첫째 경제적으로 초점면에 검지기를 고집적화 시키는 것이고 둘째는 초점면에서 신호처리를 할 수 있다는 것이다. 이러한 장점들에 의해 응시배열이나 TDI 배열을 만들 수 있다. 또 aperture 및 파장범위 등의 장치 인자의 설계 여유도가 있어 유연성이 있다. 현재 사용하는 시스템에는 <그림 8(b)>와 같이 냉각 용기로부터 신호인입선을 감소시키고 각 개별 검지기에 preamplifier와 multiplexer를 붙이고 있는데, 이러한 일반적인 신호처리 회로의 제거로 FPA 시스템은 매우 간단하게 된다.

다중화 기능이 냉각용기내에서 행해진다면 전체적인 시스템설계는 개별소자와 그에 관계되는 부품의 시스템보다 훨씬 간단하다. 고집적 검지기 배열은 원거리에서 날아오는 미사일과 같은 point sources를 감지하는 감응도가 훨씬 커진다. 주사형 센서에서 이론적인 감응도의 성능은 noise equivalent irradiance(NEI)로 표시되는데 FPA와 다른 센서의 변수에 대해서 비례성으로 사용된다.

$$NEI^2 \propto \frac{(Az \text{ IFOV}) (EI \text{ IFOV}) (\text{Scan rate}) (\text{spectral band width})}{(\text{TDI stages}) (\text{aperture})}$$

여기서 Az IFOV는 방위각 방향에서 순간시야(instantaneous field of view)이고 EI IFOV는 높이 방향에서의 순간시야이다. 파장대(spectral band width)는 단지 작은 파장대에서만 NEI에 비례한다. 주사형 센서에서 TDI FPA를 통한 주사방향에서 더 많은 샘플에서 얻는 감응도는 설계자에게 다른 시스템 변수에 대하여 선택적으로 평균취합(trade-off)을 제공한다. 평균 취합은 다음과 같은 것을 포함한다.



<그림 9> 제2세대 혼성 FPA 개략도

- 1) TDI가 연장되어 효과적인 정지시간으로부터의 감응도 향상
- 2) 협소한 파장대를 가진 산란 태양광의 감소
- 3) 좀더 작은 검지기를 사용함으로써 감소된 IFOV로부터 오는 NEI 감소
- 4) 작은 광학시스템을 사용함으로써 무게와 크기 감소
- 5) 등가 감응도에 대한 빠른 주사 속도
- 6) 좀더 많은 샘플링을 함으로써 향상된 공간여과

그러나 검지기 크기를 줄이면서 전체시야를 유지하기 위해서는 검지기의 수가 증가하여야 하며 그만큼 data 비율은 증가한다. 배경 제한 IR장치에서 오직 방사적 요인만 고려한다면 범위(range)는 검지기 수의 4제곱근 승에 비례한다. 그런데 대기감소를 고려할 때 그것은 총 검지기수의 대수에 비례한다.

$$R=K \cdot \log_{10}N_D$$

그러므로 IR영상 시스템의 범위를 2배로 하려면 현재의 검지기수 180개를 18,000개로 늘려야 한다. 2차원적 IR 배열은 오동작을 일으키는 구름, 지상 등의 배경 산란에 대한 공간 분해능을 향상시킨다. 또 staring mode를 가능하게 하여 기계적인 주사기를 제거함으로써 크기, 무게, 전력, 비용을 감소시키면서 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있다.

III. Hg_{1-x}Cd_xTe 검지기 연구 현황

삼원계 화합물 반도체인 Hg_{1-x}Cd_xTe는 1959년 영국의 Lawson 등이 처음으로 적외선 검지소자로서 이용가능성을 제안한 이후 60년대에 급속학적인 연구가 이루어지면서 1965년 열영상 시스템으로 등장하였다. 70년대에는 적외영상공

통모듈(commom module)이 FLIR(forward-looking infrared)시스템으로 각광을 받아왔고 현재의 적외선센서 기술은 실리콘의 집적화가 막 이루어지기 전인 시기와 유사한 상황이다. 현재 사용중인 적외선 검지시스템은 하나의 검지소자 또는 선형배열된 검지소자가 냉각용기 속에 들어 있어, 여기에 적외선이 방사되면 전자적인 전하로 변환되고 증폭기로 신호를 증폭한다. 이러한 현재의 기술로는 크기, 열부하, 잡음 및 냉각용기에 검지기와 전자회로를 package하는데 관련된 신뢰성 등의 이유로 200개 이상의 검지기가 사용되는데는 문제점이 있다.

수많은 군사적인 응용을 위해서 향상된 분해능과 감도를 위해서는 수천개의 검지기가 집적되는 검지기 배열이 필요한데, 그것을 실현시키는 한 방법이 촛점면의 모든 검지기 결과를 다중화시키는 기술이다.

이러한 적외촛점면 배열(IRFPA)의 연구방향은 두분야로 나뉘어진다. 하나는 monolithic array로 적외검지와 판독을 단일물질구조에서 처리하는 것이며, hybrid array는 검지기와 판독구조가 평면상에 같이 있거나 Z-technology(Z축 또는 광축)를 사용한 검지기층과 신호처리층으로 이루어진다.

MCT를 이용한 연구는 정부, 기업체, 연구소 및 학교에서 이루어지고 있는데, 1984회계년도부터 시작된 미국의 전략방위계획(SDI)를 살펴보면 그 중요도를 알 수 있다.⁽⁶⁾

SDI를 실현하는 병기 시스템 기술계획중 SATKA(Surveillance, Acquisition Tracking, and Kill Assessment)센서기술이 포함되어 있는데 이것은 목표의 감시포착, 추적 및 피격을 행하는 기능을 위한 센서시스템으로 SDI의 30%에 달하는 46억달러('84~'88년간)의 예산이 책정되어 있으며, 그중 적외선과 레이저부분이 60%를 차지한다. SATKA센서 기술은 11개 항목의 project와 20

개항의 목표가 있는데 그중 5번째 project가 적외선 센서 기술이다. 여기에는 광학계 기술, 적외선 추적면 기술 및 우주용 냉각장치기술등의

목표가 있다. MCT의 구체적 응용연구계획을 살펴보면 <표4>와 같다.

<표4> 적외선 센서기술

단 계	system	sense기능	
Boost	BSTS ¹⁾ 위성 (정지궤도상에 5기)	MWIR sensor · range 36,000km · 분해능 1km, · HgCdTe/PtSi	· 10 ⁶ 개 이상의 추적 array에 의해 응시 · 내 방사선 sensor · 장수명 냉각기 (50,000hr) · horn port신호 처리 10°OPS
		LWIR sensor · range 17,000km · 분해능 100m · HgCdTe/E-Si · 개구경 4m · 시야각 4°×4°	
Post-Boost -Mid Course	SSTS ²⁾ 위성 (10,000km궤도에 100기)	LWIR sensor · range 160km · 시야각 20°×100°	
Mid Course terminal	AOA ³⁾ (비행고도2km)	LWIR sensor · range 1,600km	
	DOT ³⁾ (rocket probe)	LWIR sensor · range 1,600km	

- 주1) BSTS(Boost Surveillance and Tracking system)
 2) SSTS(Space Surveillance and Tracking System)
 3) AOA (Airborne Optical Adjunct)

여기서 주목할 만한 것은 종래의 기계식 주사(진동mirror 또는 linear array에 의한 push broome 방식)방식에서 다소자, 고밀도 및 고감도의 2차원 배열을 초점면에 배열하는 응시(staring) 방식의 사용으로 신호처리를 지상국에서 하지 않고, 추적면 또는 근추적면에서 전처리하고 horn port 신호처리에 의하여 data link와 전투관리측과의 부담을 덜어주는 새로운 방식의 사용이다. 이와 함께 미해군에서는 응시방식과 주사방식의 광범위한 응용을 위한 고성능 배열(array)을 제공할 수 있다는 점에서 MCT개발에 주력하고 있는데 다음과 같은 해군의 독특한 응용을 위해 3~5μm 와 8~12μm 밴드에 민감한 2차원 IR FPA(focal plane array)를 개발하여 1990년에서 2000년대에 채용할 계획을 진행시키고

있다.

- airborne high-resolution ocean surveillance FLIR imagers
- infrared search and track(IRST)
- missile seekers
- airborne missile threat warning sensors
- submarine periscope imagers
- airborne standoff reconnaissance sensors
- antiship and land attack cruise missiles

한편 NASA에서는 1983년에 발사한 IRAS(Infrared Astronomical Satellite)와 1987년에 발사한 Space Telescope에 사용하는 적외선 센서는 SSTS용으로 우주배경등에 관한 귀중한 데이터 베이스를 제공하고 있다. 또 NASA의 계획중 FPA를 개발하는 Rockwell International Science Center의

Jet Propulsion 연구소에서는 다중스펙트럼 영상을 위해 32×32 와 64×64 MCT 하이브리드 FPA를 개발하였는데 32×32 하이브리드는 AIS (Airborne Imaging Spectrometer)시스템에 사용된다. Hughes 항공회사의 자회사 SBRC(Santa Babara Research Center)는 적외검지소자, 적외시스템, 광전우주기구 등의 연구개발 및 설계, 생산하는 회사로 민수용 및 군수용의 실험기로부터 인공위성에 사용되는 광범위한 제품을 생산하고 있다. 이밖에 미육군의 NVEOL(Night Vision and Electro Optics Laboratory), Texas Instruments, Honey well, University of Illinoise 및 University of Arizona 등 수많은 기업체, 연구기관 및 대학교에서 FPA, 고품위 대구경 단결정 성장 및 초격자제조 등에 관한 연구가 진행되고 있다.

유럽에서는 영국, 프랑스, 독일, 폴란드 등의 여러나라에서 기본물성과 광기전력 소자에 관한 연구가 진행중인데 그중 영국의 RSRE (Royal Signal and Radar Establishment)와 Mullard사는 SPRITE(Signal Processing In The Element)검지기를 개발하였고, 현재 8채널 SPEITE가 발매되고 있으며 이것을 이용한 적외TV 카메라가 발표되었다.

센서가 발달된 일본에서도 MCT에 대한 연구가 활발하여Fujitsu등에서 영상배열 등의 영상소자가 개발되었으며, 일본 Telescona, Houshyo Photonics, SAT 등에서도 MCT 적외검지소자를 생산하고 있다.

IV. 결론

MCT는 개발역사가 짧은 만큼 국내에서는 별로 알려지지 않은 반도체로서 용도 또한 특수한 분야에서만 사용되어 그 중요성은 인식하지만 국내 시장의 협소로 기술투자를 꺼리고 있어

소수의 대학 및 연구소에 기초적인 연구만 하고 있는 실정이다. 본 연구실에서는 첨단인 신소재 및 신소자로서 부가가치가 높은 MCT 반도체의 응용을 위해 기초연구를 수행한 바 있으며 앞으로 장기적인 과제를 도출하기 위해 방법을 모색중에 있으나 여건상 당장 수행은 어려울 것으로 사료된다. 그러나 이미 실리콘과 GaAs에서 확립된 에피성장기술을 바탕으로 LPE 나 MBE를 이용한 기초적인 검지소자를 제작할 수 있어 정책적인 측면에서 지원만 있으면 선진국과의 기술격차를 좁힐 수 있으리라 생각된다.

지금 MCT는 실리콘 반도체가 막 집적화되기 전의 단계와 비슷한 시기로 앞으로 급속도로 발전할 것이다. 즉, MCT는 실리콘과 단결정 성장과정만 다르고 그외의 소자제작공정은 비슷하므로 이미 확립된 실리콘 공정을 응용하면 집적화는 쉽게 이루어질 것이다. 이렇게 될 경우 생산성과 수율측면에서 보다 큰 면적의 웨이퍼를 필요하게 된다. Bulk 단결정 성장에 의한 대구경화는 기술적 한계가 있어 CdTe, GaAs, InSb, Si 및 sapphire 등의 기판을 사용하여 MCT 에피층을 성장시키는 에피택셜 공정이 앞으로는 일반적인 기술로 정착될 전망이다.

또한 광학시스템의 초점면에 수천개의 검지기를 배열하는 대형의 2차원적 고해상 소자배열인 초점면 검지기 배열(focal plane array)에 의해 분해능, 감도 및 신뢰성을 향상시키고 있다. 또한 LSI기술을 이용하여 신호를 다중화하고 시분할하는 기술로서 MCT 자체에서 감지와 신호처리를 하는 monolithic기술이 각광을 받을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] D. Long, Energy Bands in Semiconductors, Wiley, New York, 1968.

- [2] H. Overhof, Phys. Status Solidi, B45, 315, 1971.
- [3] J.L. Schmit and E.L. Steizer, J. Appl. Phys., 40, 4865, 1969.
- [4] D. Long and J.L. Schmit, Mercury Cadmium Telluride and closely related alloys, Semicond. Semimet. 5, 1970.
- [5] M.W. Scott, J. Appl. Phys., 43, 1055, 1972.
- [6] 太田正司, 兵器와 技術, 10月, 1, 1986.
- [7] 한국전자통신연구소, 적외선 검출기용 반도체소자(Hg_{1-x}Cd_xTe) 기술개발을 위한 기초연구, 동연구소 연구보고서(7IBD100334430), 1988.