

## II - VI 족 화합물 반도체의 개발동향 및 전망

馬 東 星  
(正 會 員)

韓國電子通信研究所 基般技術研究部 研究委員(理學博士)

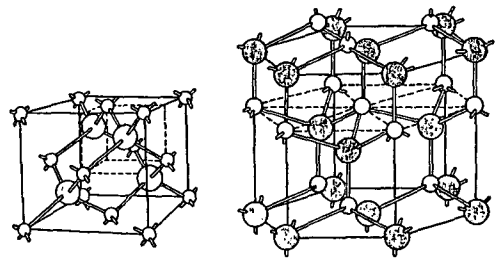
### I. 서 론

II - IV 족 화합물 반도체는 원소 주기율표상의 II 족과 VI 족 원소의 2 원계(binary) 또는 3 원계(ternary) 등의 화합물 형태로 이루어진 반도체이다. 그림 1 에 II - VI 족 화합물 반도체를 구성하는 주요 II 족 및 VI 족 원소를 나타내었다.

II	III	IV	V	VI
	B	C	N	O
	Al	Si	P	S
Zn	Ga	Ge	As	Se
Cd	In	Sn	Sb	Te
Hg	Tl	Pb	Bi	Po

그림 1. II - VI 족 화합물 반도체의 주요 구성원소

II - IV 족 화합물 반도체의 결정구조는 대개 용액으로 부터 성장시키는 경우 zincblende 구조를 하고, 기상성장(vapor phase growth)을 할 경우는 wurzite와 zincblende 구조가 혼합된 형태로 된다. 그러나 물질별 결정구조를 보면 ZnO, CdS 및 CdSe 등은 wurzite 구조이고 ZnSe, ZnTe 및 CdTe 등은 zincblende 구조를 하며, 반금속(semi-metal) 성의 HgSe 및 HgTe 등은 zincblende 구조이다. 이들 zincblende 및 wurzite 구조를 그림 2 에 나타내었다. 또한 II - VI 족 화합물 반도체의 주종을 이루는 2 원계 화합물 반도체의 일반적인 물성을 표 1 에 나타내었다. 이외에도 3 원계 II - VI 족 화합물 반도체로서 대표적인 MCT(mercury cadmium telluride :  $Hg_{1-x}Cd_xTe$ )와 3 원계 또는 4 원



(a) Zincblende형

(b) Wurzite형

그림 2. II - VI 족 화합물 반도체의 결정구조

표 1. 2 원계 II - VI 족 화합물 반도체의 기본물성

	에너지 갭 ( $E_g, eV$ ) (300K)	이 동 도 ( $cm^2/v \cdot sec$ )		유 효 질 량		격자상수 ( $\text{\AA}$ )	결정구조
		전 자 ( $\mu_n$ )	정 공 ( $\mu_p$ )	전 자 ( $m_n^*$ )	정 공 ( $m_p^*$ )		
ZnO	3.2	180	-	0.24	1.8	a:3.241 b:5.196	WZ
ZnS	3.66	160	10	0.34	0.58	5.409	ZB
						a:3.806 c:12.44	WZ
ZnSe	2.67	600	40	0.17	0.60	5.660	ZB
						a:4.01 c:6.54	WZ
ZnTe	2.26	340	110	0.09	0.68	6.103	ZB
CdS	2.38	15	15	0.28	0.8	a:4.137	WZ
						c:6.717 5.464	ZB
CdSe	1.74	650	-	-	0.5	a:4.299	WZ
						c:7.015	WZ
CdTe	1.44	1,050	80	-	0.86	6.481	ZB
HgS	2.5	-	-	0.031	-	5.851	ZB
HgSe	-0.15	20,000	-	-	-	6.084	ZB
HgTe	-0.14	32,000	-	0.032	0.45	6.460	ZB

주) WZ : Wurzite, ZB : Zincblende

계의 격자일부가 Mn이나 Fe 등의 자기성 이온으로 치환된 DMS(diluted magnetic semiconductor) 등이 근래에 와서 핵심적인 연구개발의 대상이 되고 있다.

II-VI족 화합물 반도체가 반도체 신소재 및 소재로서 중요시 되는 이유중의 하나는 광범위한 광전소자(optoelectronic device)의 응용때문으로서, 그 종류를 보면 대개 LD(laser diode), LED(light emitting diode), EL(electroluminescence) 소자, 태양전지, 광검지 및 핵방사능(nuclear radiation) 검지기 등으로 나눌 수 있다.

본고에서는 II-VI족 화합물 반도체의 응용 소자별로 그 기능 및 특성을 고찰하고, 특히 근래에 와서 중요한 연구개발 대상이 되고 있는 3원계 화합물 반도체인 MCT를 중심으로 국내의 기술 개발동향 및 전망에 관해서 논하기로 한다.

II. II-VI족 화합물 반도체의 소자 응용

금속이나 절연체의 특성과는 달리 화합물 반도체에서 전형적으로 나타나는 특성으로서는 광전효과, 열전효과, 자전효과, 압전효과, 구조에 따른 특성변화 및 원자간의 제어등이다. 여기서는 주로 광전효과를 응용한 소자에 대해서 논의하기로 한다.

1. 광검지기(photo-detector)

II-VI족 화합물 반도체의 중요한 소자 응용중의 하나가 광검지이다. 이상적인 광검지는 RF로부터 UV 또는 X선에 이르기까지 광범위한 파장영역에 대해 민감해야 하나, 실제로는 파장에 대한 감도가 제한되어, 각각의 검지기는 특별히 제한된 영역, 즉 원적외, 근적외, 가시광, 자외, 광자 및 소립자선에 따라 재료가 달라진다. 반도체가 검지할 수 있는 복사선의 가장 긴 파장  $\lambda_c$ (maximum cutoff wavelength)는 다음의 식과 같이 에너지 밴드갭에 의해 결정된다.

$$\lambda_c(\mu m) = \frac{1.24}{E_g(eV)}$$

따라서 각 반도체의 에너지 밴드갭은 그 물질의 응용범위를 한정짓는 중요한 인자가 된다. II-VI족 화합물 반도체에서는 거의 같은 결정구조와 화학적인 구조를 가지고 있고, 전조성에서 상호 고용될 수 있는 조성상의 혼정(mixed crystal)을 구성할 수 있어 넓은 범위의 파장에 대한 감도를 갖는다.

광검지 소자에 응용되는 광전현상은 광전자 방출효과, 광도전효과, 광기전력효과 및 광자전효과등으로 세분되는데, II-VI족 화합물 반도체와 관련지어 보면 다음과 같다.

(1) 광도전 효과(photoconduction effect)

광도전 효과는 광에 의한 자유 캐리어가 생성되어 반도체의 저항이 감소하는 현상으로 그림3에 그 소자구조를 나타내었다. 앞에서 언급한 바와 같이 II-VI족 화합물 반도체의 에너지 밴드갭은 근자외선부터 적외선에 까지 분포하며, 그 저항률도  $1\Omega\cdot cm$ 에서  $10^{10}\Omega\cdot cm$  정도로 광범위한 파장에 대한 광검지소자로 응용된다.

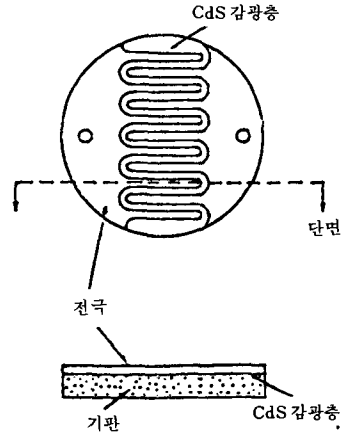


그림 3. CdS 광도전형 검지소자

가시광용 광도전 소자로서 CdS와 CdSe가 많이 연구되어 왔으며, 고감도의 n형 광도전체로 알려져 가시광 영역에서도 널리 사용되고 있다. CdS 셀은 보통 소결법에 의하여 제작되는데 전극으로는 Al, In, Sn등을 진공증착 한다. CdSe 소자의 제작법도 CdS와 비슷한데 CdS 셀은 500~600nm CdSe 셀은 700~800nm 파장범위에 대한 감도를 가지며 CdS와 CdSe를 혼합하여 열처리 하면 이들 두가지 파장(500~800nm)에 대한 감도를 갖는 소자를 제작할 수 있다.

현재 적외선 검출용 광도전 소자로 중요한 위치를 차지하고 있는 것은 MCT이다. MCT는 3~5 $\mu m$ , 8-14 $\mu m$  영역에서 주로 응용되며, 10~20K에서 동작하는 다른 소자들보다 비교적 높은 온도인 77K에서 동작하여 액체 He냉각 대신 열전냉동등의 냉각장치를 사용할 수 있어 항공우주 시스템등에서 유용하게 사용된다. 또한 Hg와 Cd의 조성비 변화에 의한 검지 파장영역의 조정이 용이하나, 표면의 불안정성, 기판의 결함에 의한 잡음과 Hg의 높은 증기압으로 인한 소자의 불안정성 등이 해결해야 할 주요한 과제로 남아 있다. ZnS는 에너지 밴드갭이 3.7eV로 340nm의 감도피크를 나

타내어, 자외선 검출용 광도전 소자로 응용된다.

(2) 광기전력 효과(photovoltaic effect)

반도체에 빛을 조사할 때 빛의 에너지가 반도체의 밴드갭 보다 크면 가전자대에서 전도대로 전자가 여기 되어 전자와 정공의 쌍이 생성된다. 이러한 전자와 정공에 의해 반도체 내부에 전계가 형성된다. 반도체 내부에 전계를 발생시키는 방법으로서 p-n접합, 이중 접합 및 Schottky 접합등이 있는데, p-n접합의 경우 광을 조사하면 p-n 접합부근에 흡수된 광이 전자-정공 쌍을 만들어 p-n접합의 내재전위(built-in potential)에 의하여 전자는 n형, 정공은 p형 반도체로 이동하게 된다. p형과 n형의 반도체가 외부회로에 의해 단락되는 경우 이때 흐르는 전류를 단락전류 ( $I_{sc}$ )라 한다. 또한 p-n형간의 개방전압( $V_{oc}$ )이 존재하게 된다. 그림 4에서 광도전 및 광기전력 효과의 원리를 나타내었다.

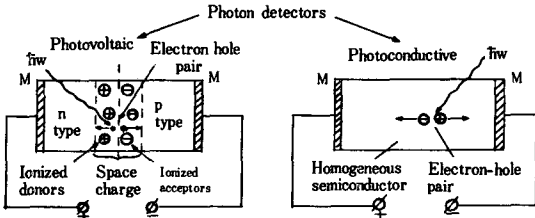


그림 4. 광도전 및 광기전력 효과의 원리

(3) 광자전 효과(photoelectromagnetic effect)

균일한 자장내에 있는 반도체에 빛이 조사되면 반도체 표면에서 전자와 정공쌍이 생성된다. 이때 캐리어들은 빛이 조사되지 않는쪽으로 확산 하려는데 이 운동은 자장에 의존한다. 결과적으로 확산하려는 캐리어의 경로는 자장에 의해 휘게 되어 확산방향과 자장의 방향에 수직으로 힘이 작용한다. 처음에는 전자와 정공이 같은 방향으로 확산되나 서로 반대부호를 가진 전하이므로 반대방향으로 휘어져 반도체의 양끝은 반대 전하를 띠게 되고 결과적으로 광자전 전위(photoelectromagnetic potential)가 발생한다. 이것을 Dember 전위라고도 하며 반도체의 특성을 측정하는데 이용된다. 그림 5는 광자전 검지기의 개략도이다. 현재는 경사 밴드갭 구조의 HgCdTe가 광자전 효과를 응용한 IR 검지기로 활용되고 있다.

2. 태양전지

태양전지는 일반적으로 광기전력 효과를 응용한 소자로서 전계를 발생시키는 구조에 따라 동중접합, 이중

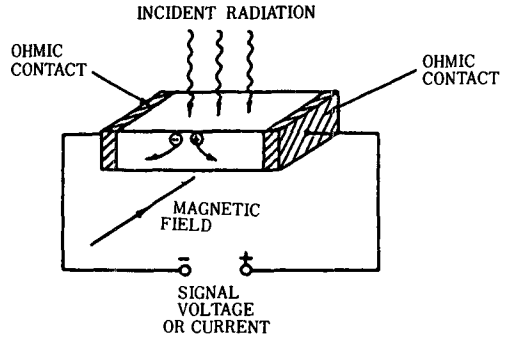


그림 5. 광자전 검지기의 원리

접합, 매물형접합, Schottky접합 및 반도체-전해질 접합형으로 나뉘어진다. 태양전지의 선택은 단가와 큰 면적의 생산성 문제로 Si이나 GaAs와 같은 단결정 셀에서 박막셀 형태로 연구가 집중되고 있다. 태양전지의 이론적 최대효율은 약 27%로서 이에 따른 밴드갭은 1.5eV로 CdTe의 에너지 밴드갭에 해당된다. CdTe는 광흡수 계수가 크고 직접 천이대를 가지므로 태양전지에 적합하다. 그러나 광흡수 계수가 큰 CdTe는 빛의 대부분이 표면이 가까운 영역에서 흡수되어 큰 직렬저항과 캐리어의 짧은수명 및 표면재결합 때문에 동중접합의 형태로는 연구가 별로 진행되지 않고, 에너지 밴드갭이 큰 CdS, ITO(indium tin oxide) 등을 광투과층으로 이용한 이중접합 태양전지에 대해 연구가 집중되고 있다.

CdS를 이용한 태양전지는 CdS/Cu<sub>x</sub>S계와 n-CdS/p-CdTe계로 진공증착법, 스크린 프린팅 및 소결법 등으로 제작된다. 유리기판 위에 CdS, CdTe반죽을 차례로 도포하고 소결하여 다결정 박막 태양전지를 제조하는 스크린 프린팅/소결법은 대량생산 및 자동생산화에 적합하므로 실용화가 유망하다. 그림 6은 CdS/CdTe 태양전지의 개략도이다.

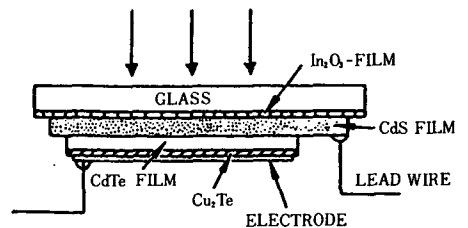


그림 6. CdS/CdTe 태양전지의 개략도

3. EL(Electroluminescence) 소자

EL은 전기적인 방법으로 전자나 정공을 주입하고 주입된 여분의 캐리어가 재결합할 때 발광하는 현상을 이용하는데, 캐리어의 주입방식에 따라 발광 다이오드와 레이저 다이오드 등의 주입형 EL과, 강전계에 의한 열전자의 충돌 전리로 빛을 내는 진성 EL이 있다. 경우에 따라서는 CRT(cathode ray tube), VFD(vacuum fluorescent display) 등을 EL에 포함시키기도 하나 이를 CL(cathode luminescence)로 따로 분류 하기도 한다.

II-VI족 화합물 반도체 소자의 에너지 변환효율은 20% 정도로 대체로 III-V족 화합물 반도체의 것보다 높으나, LED 응용상의 난점은 수수 캐리어의 주입이 어렵다는 점이다. 그래서 II-VI족 화합물 반도체에서는 높은 전압을 가함으로써 열생성 캐리어를 가속해 격자와 일시에 충돌시키는 EL을 많이 사용한다. EL 소자의 구성은 투명전극/절연막/활성층/금속전극으로 된 다층박막 구조로 되어있다. 표2와 같이 활성층에는 발광색을 결정하는 Zn이나 TeF 같은 불순물을 함유한 ZnS, ZnSe등의 반도체가 사용된다. 이러한 활성층 형성방법에는 미리 불순물을 함유한 ZnS 분말을 도포하는 방법과 전자선 가열 증착이나 스퍼터링으로 불순물과 모재료를 동시에 증착하는 방법이 있는데, 이를 각각 분산형 ELP, 박막 ELP라 한다. EL 발광의 경우는 고체속에서 가속된 전자가 발광중심에 충돌하면서 빛을 낸다. 표시용 소자로서 ELP의 특징은 우선 능동형 즉 자기발광 표시인 만큼 시각이 넓어 보기에 편리하다는 점이다. 그리고 면적을 크게하는 것이 용이하고 다른 능동형 소자와 비교해 볼 때 소비전력이 낮고 초박막 형성이 가능하다는 것도 큰 잇점이 된다. 또한 발광색을 변화시킬 수 있어 정보처리면에서 독특한 소자라고 말할 수 있는데, 이러한 특성을 응용하여 복합표시 시스템의 실현에 필수적인 신기능 소자로서 막대한 수요가 예측되고 있다.

4. LED 및 LD

LED는 GaP, GaAs 및 AlGaAs 등의 III-V족 화합

표 2. EL 소자의 특성

Phosphor	Colour	Efficiency (%)
ZnS : Ag, Cl	Blue	25
CaS : Ce, Cl	Green	20
ZnS : Cu, Cl	Green	22
CaS : Mn	Yellow/orange	16
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> S : Eu	Red	11

물 반도체가 주류를 이루지만 청색 LED가 없다는 점에서 표시용 소자의 실용화에 문제점이 있다. 그러나 II-VI족 화합물 반도체는 III-V족에서 얻기 곤란한 파장범위의 소자를 얻을 수 있다는 점에서 중요한 위치를 차지한다. II-VI족 화합물 반도체 LED의 분광 특성을 표3에 나타내었다.

표 3. II-VI족 화합물 반도체 LED의 피크 파장

Material	Colour	Peak wavelength(Å)
ZnS	UV	3,400
ZnSe	Blue	4,600
CdS	Dark Green	5,200
ZnTe	Green	5,500
Cd <sub>1-x</sub> Mn <sub>x</sub> Se	-	X-dependent
Cd <sub>1-x</sub> Mn <sub>x</sub> Te	-	X-dependent

광, 전자빔, p-n접합의 순방향 주입 및 avalanche 증배에 의한 LD의 자극방출은 직접천이형 반도체에서 관찰된다. 그러므로 II-VI족 화합물 반도체는 대부분 직접천이형 반도체로서 레이저 소스로 사용될 수 있다. 10.28μm 레이저 펄프에 의한 MCT spin-flip Raman 레이저는 분광분석계와 광통신, 광레이다 등에 응용된다. 최근에는 Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te/Cd<sub>1-y</sub>Mn<sub>y</sub>Te와 ZnSe/ZnMnSe 등 다층막 구조의 MQW(multi-quantum well) 레이저를 개발하기 위한 연구가 진행중이다.

III. II-VI족 화합물 반도체 기술 개발동향

1. MCT 소자기술의 개요

앞장에서 언급한 각종 소자의 응용을 위한 2원계 또는 3원계의 II-VI족 화합물 반도체가 연구 개발되고 있으나, 그중 특히 3원계 화합물인 MCT 소자기술 개발은 단결정 성장에서 부터 시스템응용에 이르기까지 II-VI족 화합물 반도체 기술을 대변하는 핵심기술로서 연구개발이 집중되고 있는 분야이다.

MCT는 반도체인 CdTe와 반금속 HgTe의 혼정이며, Cd와 Hg의 조성비에 따라 그림 7과 같이 에너지 대역폭이 선형적으로 변하는 직접천이(direct-transition)형 반도체로써 원적외선에서 근적외선 영역에 이르는 적외선 검지소자에 응용된다. 또한 MCT 소자의 구동 원리로는 광도전(PC, photo-conduction)형 및 광기전력(PV, photo-voltaic)형의 두가지가 있다. 이러한 MCT 소자는 분광분석, 유도(guidance), CO<sub>2</sub> 레이저

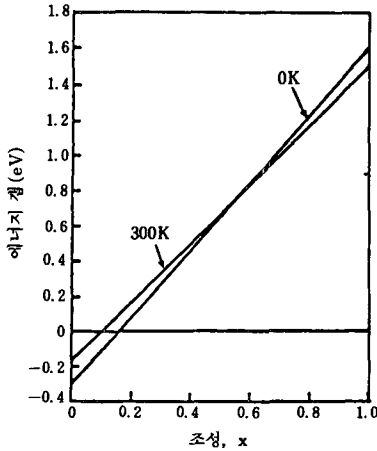


그림 7. Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te의 조성 x에 따른 에너지 갭의 변화

검지, 탐지/추적 및 식별, 조기경보, 열 및 자원분포 측정, 의용 온도측정 및 산업용 공정제어 시스템에 응용된다. 표 4는 이미 상용화된 MCT 적외선 검출소자의 일반적인 특성을 나타내고 있다.

MCT 단결정 성장방법에는 여러가지 많은 방법이 있으나, 현재 CM (common module) 광도전 array에 사용되는 것은 고상 재결정 (solid-recrystallization) 공정에 의해 성장된 bulk형 MCT이다. 이 성장공정이 생산 공정으로 이전되어, 소자의 성능은 이룬적인 값에 가까워 단결정 성장에 의한 소자의 성능향상은 기대할 수 없으므로, 다만 소자의 생산성과 가격면에서 에피택셜 구조의 사용 가능성이 있는 것으로 본다. 그러나 bulk 형태로 성장된 MCT는 웨이퍼의 크기, 가격 및 소자의 집적화 등에 많은 어려움이 있기 때문에 최근에

표 4. 상용화된 MCT 적외선 검출기의 특성 (Source: Santa Barbara Research Center)

Detector Type	Operating Temperature (K)	Coolant	Window	$\lambda_{max}$ ( $\mu m$ )	$C_{BB-PK}$ Factor	Performance (See Notes 7, 8)				
						$D^*(\lambda_{max})$ ( $10^{10} cmHz^{1/2} / W$ )	$R(\lambda_{max})$ (A/W)	$R_D$ ( $\Omega$ )	T	
See Note 1	See Note 2	See Note 3	See Note 4	See Note 5	See Note 6	See Notes 9, 13	See Note 10	See Note 11	See Notes 12, 13	
A	77	Nitrogen	IRTRAN2	10.6-12.0	2.0	0.5-3	3-30	15-100	0.4-1 $\mu s$	
B	77	Nitrogen	IRTRAN2	12.0-13.5	2.0	0.5-3	3-30	15-11100	0.4-1 $\mu s$	
HgCdTe (PC)	C	77	Nitrogen	IRTRAN4 or KRS-5	13.5-14.5	2.0	0.5-2	2-20	10-100	0.2-1 $\mu s$
D	77	Nitrogen	KRS-5	14.5-16.0	2.0	0.2-0.4	2-20	5-50	0.1-0.5 $\mu s$	
E	193	TEC or Freon 13	Sapphire	4.5-5.5	~5	2-5	5-50	100-1K	1-10 $\mu s$	
HgCdTe (PV)	77	Nitrogen	IRTRAN2	10.6	2.0	0.5-2	4-6	20-10K	10-100ns	

Notes 1

- Values listed are typical of most detectors shipped. See individual detector pages for guaranteed values.
- Temperatures listed are those commonly used, not necessarily the optimum temperatures.
- "TEC" means thermoelectric cooler.
- Windows listed are commonly used; inquire if other windows are desired. The wavelength in parenthesis is the AR coating peak wavelength. Standard windows are 0.040 inch thick with the exception of IRTRAN4 and KRS-5 windows which are 0.080 inch thick.
- Wavelength of maximum responsivity, detectivity.
- Factor used to convert 500K blackbody responsivity and detectivity values to their value at  $\lambda_{max}$ .
- Unless otherwise noted, data is at 780 Hz with a 60° field of view. Variation of detector parameters with field of view is described in the addendum.
- Unless otherwise stated, the values listed apply to a 1mm (0.040 inch) square detector. For other configurations, scale the listed values according to the rules given in the table at sight.
- $D^*(\lambda_{max})$  is the specific detectivity at  $\lambda_{max}$  ( $10^{10} cmHz^{1/2} / W$ ).
- $R(\lambda_{max})$  is the short circuit current responsivity at  $\lambda_{max}$  (amps/watt). This parameter is independent of the circuit resistance. To obtain responsivities in volts/watt from the values listed (amps/watt) multiply by an effective circuit impedance  $R_e$ :  $R_e = R_{PARALLEL} = (R_L \times R_D) / (R_L + R_D)$  for a voltage mode amplifier with a typical bias circuit. ( $R_L$  = Load Resistance;  $R_D$  = Detector Resistance)  $R_e \approx R_f$  for an operational amplifier with feedback resistance  $R_f$ .
- $R_D$  is the dynamic resistance  $dV/dI$  of the detector. For photovoltaic detectors it is specified at  $V=0$ .
- T is the time constant defined as  $1/e$  of max signal.
- In general these  $D^*$  and T values cannot be obtained simultaneously. The load resistance (feedback resistance in an operational amplifier circuit) will determine  $D^*$  versus frequency response trade-off.

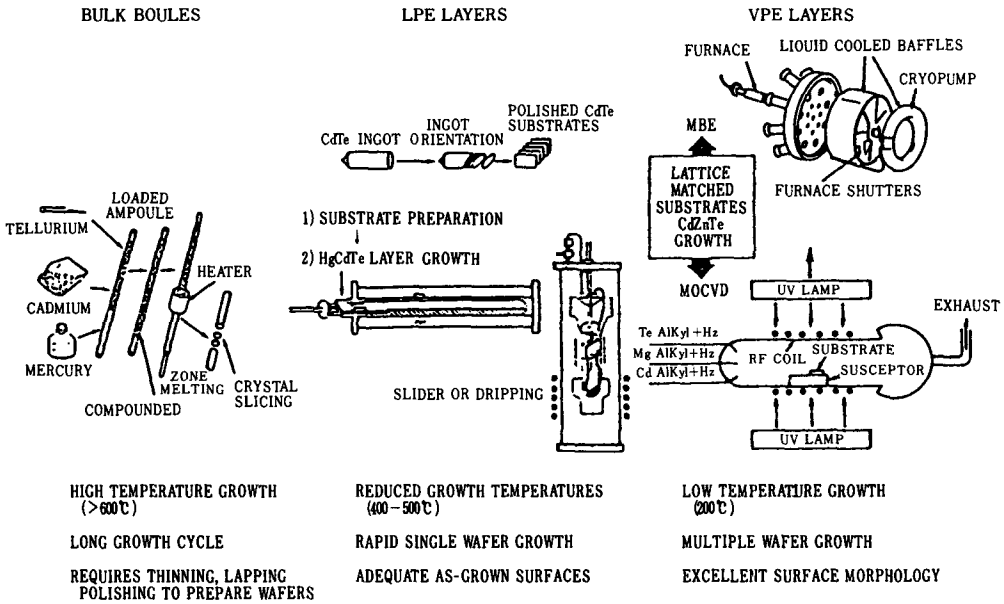


그림 8. MCT 성장기술의 발전 동향

는 에피택셜층 성장에 대한 연구가 집중되고 있다.

그림 8은 MCT 단결정 성장기술 발전추세를 나타내고 있다. 에피택셜층 성장법에는 현재까지 널리 쓰이고 있는 LPE(liquid phase epitaxy), VPE(vapor phase epitaxy), MOCVD(metal-organic chemical vapor deposition) 및 MBE(molecular beam epitaxy) 등이 있다. 각 방법마다 장단점이 있으나, 최근 수년간에 걸쳐, 성장속도가 약 1 $\mu$ m/hr 정도로 느리기는 하지만 373-493K 범위의 저온성장, 신속한 성장의 개시 및 정지, 원자층 수준의 평탄한 표면을 얻을 수 있고 성장시 현장·현시적인 성분분석이 가능한 MBE 성장법으로 가고 있다. 또한 에피택셜층 성장기판으로는 CdTe, HgCdTe, CdSeTe, InSb, GaAs 및 Si등이 사용될 수 있으나, MCT와 격자정합(lattice matching)이 좋고, 또한 열팽창 계수가 적으며 가격이 비교적 저렴한 CdTe 기판이 가장 널리 사용되고 있다.

MCT 소자의 시스템 응용은 1959년 영국의 Lawson 등이 처음으로 적외선 검지소자로서의 이용 가능성을 제안한 후, 1960년대에 와서는 금속화적인 연구가 이루어지면서 1965년에 열영상(thermal image) 시스템이 등장하게 되었다. 1970년대에는 그림 9와 같은 적외선 영상 공동 모듈이 그림 10의 FLIR(forward-looking infrared) 시스템으로 발전되었다.

현재 사용중인 적외검지 시스템은 개별검지소자 또

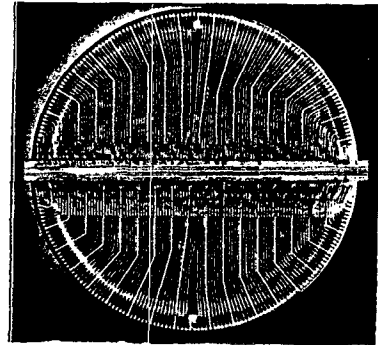


그림 9. 180개의 개별소자로 이루어진 Common Module Linear Array

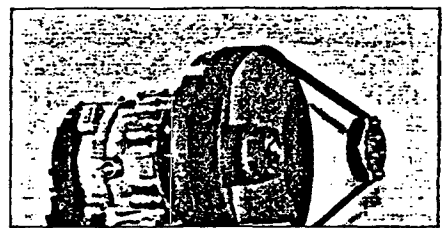


그림 10. FLIR 영상시스템

는 선형으로 배열된 검지소자가 냉각용기 속에 들어있어 여기에 적외선이 방사되면 광도전 또는 광기전

력 변화에 의한 신호를 증폭하는 형태이다. 이러한 현재의 기술로는 크기, 열부하, 잡음 및 냉각용기에 검지기와 전자회로를 포장하는데 관련된 신뢰성 등의 이유로 200개 이상의 개별검지 소자의 사용에는 한계가 있다. 보다 향상된 분해능과 감도를 얻기 위해서는 수천개의 개별검지 소자가 집적될 수 있는 검지기 배열이 필요한데, 이것을 실현하기 위해 제안된 방법으로는 초점면의 모든 검지소자의 반응을 다중화 시키는 monolithic 배열이나 그림11과 같은 CCD와 검지 array를 혼합한 hybrid 형태의 적외 FPA(infrared focal plane array)이다.

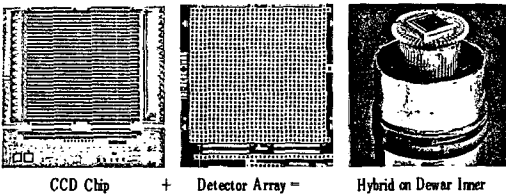


그림11. MCT(PV) 배열과 실리콘 CCD가 결합된 Hybrid FPA

## 2. 국외의 기술개발 동향

미국의 경우 MCT 소자 또는 이것의 응용시스템에 대한 본격적인 연구개발은 1984년 미국의 전략방위계획(strategic defense inniative program)으로부터 시작되었다고 볼 수 있다. SDI 계획을 실현하는 시스템 기술개발 계획중에는 SATKA(surveillance, acquisition, tracking and kill assessment) 검지소자 기술이 포함되어 있으며, 여기에 1984~1988년간 SDI 예산의 약 30%에 해당되는 46억 달러가 책정되어 있다. 이와 더불어 미해군에서는 1990년에서 2000년대에 걸쳐 사용하기 위해 파장이 3~5 $\mu$ m와 8~12 $\mu$ m 감지 범위의 2차원 IR FPA를 개발하려 하고 있다.

한편 NASA에서는 1983년에 발사한 IRAS(infrared astronomical satellite)와 올해 발사에정인 space telescope에 사용하려는 적외선 검지소자도 SSTS(space surveillance and tracking system)용으로 우주배경등에 관한 귀중한 데이터베이스를 제공하고 있다. 또한 NASA의 계획중에는 Rockwell International Science Center의 Jet Propulsion 연구소에서 다중분광(multi-spectral) 영상을 위한 32×32 및 64×64 MCT 혼합형 FPA를 개발하는 계획도 포함되어 있다.

Hughes 항공회사의 자회사인 SBRC(stanta babara research center)는 MCT 적외선 검지소자 및 적외선 검지 시스템등의 연구개발과 설계/생산하는 회사로 민수용 및 군수용에 이르는 광범위한 제품을 생산하고 있다. 이밖에도 미육군의 NVEOL(night vision and electro-optics Lab.), TI, Honeywell, Illinois 대학 등 산업계, 연구소 및 대학에서 고품질 대구경의 단결정 성장, 초격자 제작등에 관한 연구에 박차를 가하고 있다. 표 5에서 미국내에 수행되고 있는 조사가 가능한 연구기관별 기술개발 내용을 요약하였다.

유럽에서는 영국, 프랑스, 독일 및 폴란드 등의 국가에서 MCT에 대한 기본물성과 광기전력에 관한 연구가 진행중이며, 그중 영국의 RSRE(royal signal and radar establishment)와 Mullard사는 SPRITE(signal processing in the element) 검지기를 개발하여, 현재 8 채널 SPRITE를 생산하고 있으며, 이것을 이용한 적외선 TV 카메라도 개발하였다.

일본의 경우도 예외는 아니어서 MCT에 대한 연구가 활발하여 Fusitu등에서 영상 array등 영상소자를 개발하였으며, 일본 Telecom, Houshyo Photonics 및 SAT 등에서도 MCT 적외선 검지소자를 개발 생산하고 있다.

## 2. 국내의 기술개발 동향

우리나라에서의 MCT에 대한 연구개발은 1960년대 중반부터 일부 대학에서 결정성장 및 물성에 관한 기초연구로 시작되었으나, 1980년대 초에 와서 MCT의 중요성 및 그 필요성이 인식되면서 결정의 성장에 대한 연구가 본격적으로 착수되었다.

1984년 부터 연세대학교에서는 Bridgman법, vertical zone melting 법 및 THM(travelling heater method) 등으로 MCT 결정성장(nucleation and growth)에 관한 연구가 시작되었다. 또한 고려대학교에서도 수년전부터 MCT 결정성장 연구를 시작하였으며, c 최근 DMS 물질로서 중요한 연구대상이 되고 있는Cd-MnTe 결정성장도 착수하였다.

전북대학교에서도 1960년대 중반부터 이 분야에 대한 연구가 시작되어 ZnTe와 CdTe를 사용하여 ZnCdTe 단결정 성장 및 그 결정의 특성연구와 IR LED의 개발을 하고 있다. 그리고 향후 핵방사능 검지기 및 광변조기등, 소자 수준의 연구도 착수할 예정이다.

10여년전 부터는 ZnS 및 CdTe등을 응용한 박막형태의 EL 소자에 대한 연구개발이 경북대학교에서 시작되어, 현재는 CaS 및 SrS 등의 박막 EL 소자에

표 5. 연구기관별 MCT 소자의 연구 개발 동향(sources: Photonics Spectra, 1984, 1987)

연구 기관 명	연구 개발 내용	연구 개발비
○ University of Illinois, Chicago Circle Chicago, Ill.	- MBE growth (HgCdTe/CdTe) - Growth and doping mechanism for MCT - HgCdTe superlattice (8 - 12 $\mu$ m, 20 $\mu$ m) - Recently HgCdTe/InSb, HgCdTe/GaAs	DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency)
○ Rockwell International Science Center, Thousand Oaks, Calif.	- Epitaxial deposition process - No bulk materials are being used - Photovoltaic HgCdTe arrays	A variety of coporate and military sources
○ North Carolina State University Raleigh, N. C.	- (MBE) growing thin films of HgCdTe and CdTe - CdTe/foreign materials (such as sapphire) - HgCdTe/CdTe/sapphire	National Science Foundation
○ GE Electronics Laboratory, Syracuse, N. Y.	- R & D oriented - MBE work with Schetzina, Photon-assisted MOCVD (near-room-temp. operation) - Non-CdTe substrate - Isothermal conversion of thin-film CdTe to HgCdTe	Company funding
○ McDonnell-Douglas Corp., St. Louis, Mo.	- Developing both HgCdTe materials and focal plane technology	Company funding
○ Texas Instrument Central Research Labs, Texas Instruments Govt. Prods, Div., Dallas, Texas	- 3 - 5 $\mu$ m and 8 - 14 $\mu$ m focal plane arrays - Common module detectors - R & D and production of bulk HgCdTe - R & D on several thin-film growth technique (LPE and MOCVD)	
○ Georgia Tech. Research Institute, Atlanta, Ga.	- IR materials - Materials for focal plane arrays, 1-3 $\mu$ m laser diodes for optical communications - New materials structures using MBE - Growing ternary compounds such as ZnCdTe	Industry funding
○ AT&T Bell Lab., Murray Hill, N. J. ○ AT&T Bell Lab., Holmdel, N. J.	- Not military application - Long-wavelength fiber optic communications in the 3-to-5 $\mu$ m range - Transmission window of newer fluoride fiber	
○ Honeywell Research Center, Minneapolis, Minn.	- MBE - Superlattice and alloys - IR detector applications	In-house
○ Honeywell E-O Operations, Lexington, Mass.	- LPE, MBE, MOCVD - working on HgCdTe materials and devices - Photoconductive and photovoltaic devices - Linear arrays to military customers - Photovoltaic detectors for CO <sub>2</sub> laser radiator (at 77K)	DARPA, NASA, Three military services and inhouse
○ New England Research Center, Sudbury, Mass.	- Bulk growth apposed to epitaxial techn. - 1st-generation and 2nd-generation HgCdTe development - Large linear scanning arrays at 8-12 $\mu$ m - Two-dimensional staring arrays at 3-5 $\mu$ m - Mostly doing device work (multiplexed linear array)	• Aerospace prime contractors, DoD contracts • 2/3 outside, 1/3 : inside
○ Aerospace Corp., Los Angeles, Calif.	- Passivating the HgCdTe surface with a SiO <sub>2</sub> insulator (photochemical deposition) - Thermoelectrically-cooled devices (-50 to -100°C) for operation from 3 to 5 $\mu$ m - Room-temp. devices for 10.6 $\mu$ m use	



대한 연구가 진행중에 있으며, 1986년에는 한국과학기술원에서 LPE법으로 1.3 $\mu\text{m}$ 용 optical fiber detector 및 10 $\mu\text{m}$  파장대의 적외선 검출기 개발에 착수, 연구 개발중에 있다.

국내 기업의 현황을 보면 II - VI족 화합물 반도체 분야의 광범위한 연구개발 및 생산활동은 보이지 않고, 표시기로 사용되는 제한적인 EL소자를 개발하는 정도이다.

#### IV. 결 론

II - VI족 화합물 반도체의 기술개발 현황과 그 응용에 대해서 고찰하였다. 현재 II - VI족 화합물 반도체 소자의 구체적인 시장규모는 발표된 적이 없지만, 타 반도체 소자보다 훨씬 높은 부가가치를 갖는 소자이므로 시장규모는 오히려 타 반도체소자의 시장규모를 합한 것보다 큰 것으로 추정된다. 다가오는 2000년대 정보사회를 구현하기 위해서 민수용과 방산용에 필수적으로 요구될 II - VI족 화합물 반도체 기술의 개발은 타 반도체 분야의 연구개발과 연계되어 단결정 성장에서부터 소자 및 시스템응용에 이르기까지, 차세대 반도체의 기반기술로서 가속적으로 추진되어야 할 것으로 본다.

앞장에서 언급한 바와 같이 기술 선진국들은 오래전부터 이 분야에 대한 기술개발을 본격적으로 하여, 현재는 단결정 성장 및 기본물성 연구에 대한 극히 초보적이거나 학문적인 결과만을 발표할 뿐, MCT 웨이퍼 등 관련재료와 기술은 사실상 무기화 하고 있다.

국내의 일부 대학에서 수행하고 있는 MCT 성장방법은 대개 bulk 형태로서 양질의 단결정 성장에는 주목할만 하지만, 앞으로 이 분야에 요구될 집적화 및 생산성등을 고려할 때 LPE, MOCVD 및 MBE 등에 의한 에피택셜층 성장의 연구개발이 수행되어야 할 것이다.

또한 소자나 시스템 수준의 목적기초 또는 응용 및 개발연구가 추진되어야 할 것으로 본다.

#### 參 考 文 獻

- [1] Semiconductors and Semimetals, vol. 18 Academic Press, 1981.
- [2] J. Timothy Riordan, "HgCdTe: Military High Flyer," Photonics Spectra, pp. 95-97 August 1984.
- [3] 今井哲二, 生駒俊明, 佐藤安夫, 藤本正友, 「化合物半導體デバイス」, 工業調査會, 1985.
- [4] 과학기술처, "2000년대를 향한 과학기술 장기발전계획(1987년~2001년)," 1986.
- [5] "兵器と技術", 10月 1986.
- [6] Charles T. Troy, "SDI sets its sights on large detector arrays," Photonics Spectra, pp. 107-108, October 1986.
- [7] "센서技術", vol. 7, no. 3, 1987.
- [8] IR Technology, Photonics Spectra, January 1987.
- [9] Eustace L. Dereniak, "Infrared focal plane arrays," Optical Engineering, vol. 26, no. 3, pp. 181-190, March 1987.
- [10] Raymond Balcerak, James F. Gibson, William A. Gutierrez and John H. Pollard, "Evolution of a new semiconductor product: mercury cadmium telluride focal plane arrays," Optical Engineering, vol. 26, no. 3, pp. 191-200, March 1987.
- [11] Kadri Vural, "Mercury cadmium telluride short-and medium-wavelength infrared staring focal plane arrays," Optical Engineering, vol.26, no. 3, pp. 201-208, March 1987. \*

#### ◆ 用 語 解 說 ◆

##### 반도체 레이저(Semiconductor laser)

반도체를 능동 매질로 사용한 레이저 접합으로 캐리어를 주입하여 여기하는 반도체 레이저를 접합 레이저 또는 주입 레이저라고 하는데, 그 다이오드라는 의미에서 레이저 다이오드라고 한다. 빛 또는 전자빔으로 인하여 캐리어를 발생시키는 반도체 레이저를 각각 광여기 반도체 레이저, 전자빔 여기 반도체 레이저라고 한다. 반도체 내의 포논(phonon)에 의한 라만(raman)산란, 브리유행 산란광을 발진시키는 반도체 레이저를 라만 레이저, 반도체 브리유행 레이저라고 한다. 또한 사용하는 재료에 따라 AlGaAs 반도체 레이저, InGaAsP 반도체 레이저, PbSnTe 반도체 레이저 등으로 불린다.