

## 광소자 기술 동향

李範哲, 李慶哲, 鄭基雄

韓國電子通信研究所 交換硏究部

### I. 서 론

광소자란 외부에서 에너지를 흡수하여 광을 방출하거나, 광을 흡수하여 임의의 에너지 형태로 방출하는 소자를 말한다.

광소자는 광학기기, 전송 장치에서 주로 사용되어 왔으나, 최근 통신, 컴퓨터, 의학용 기기, 가전 기기 등에까지 널리 사용되어지고 있다. 특히 통신 분야의 전송장치에 주로 사용되던 광소자는 최근 LAN(local area network), 광교환기, 가입자망 등에까지 사용범위가 증대하고 있다.

광소자는 전자소자에 비해 빠른 속도와 넓은 대역폭을 갖고 있으며, 전자기장에 대한 간섭 및 누화 등이 없어 고신뢰성을 유지할 수 있다는 장점이 있다. 한편, 개별 광소자 기술이 발전함에 따라 광소자의 장점을 최대한 살려 기존의 전자소자와 광소자를 집적화 하는 기술이 발전되고 있으며, 이미 표준화된 광전자 집적소자들이 상용으로 생산되고 있고, 가격 또한 급속히 저렴화되어 전자소자와 더불어 차세대의 주요한 소자로 주목받고 있다.

따라서 본 고에서는 통신, 컴퓨터 등에서 주로 사용되고 있는 광소자에 대하여 종류별 특성 및 최근까지의 기술 동향을 기술하고, 앞으로의 전망을 살펴 보았다.

### II. 광원 및 검출 소자

광원은 전기적인 신호를 광신호로 변환하는 소자로서 광 시스템의 송신부에 응용되며, 그 종류에는 레이저 다이오드(laser diode)와 발광 다이오드(light emitting diode)가 있고, 광 검출 소자는 광원에서 발생한 광신호를 다시 전기적인 신호로 변환하는 소

자로서 광 시스템의 검출부에 응용되며, 그 종류에는 대표적으로 pin 포토 다이오드(photo diode)와 어벌런치(avalanche)포토 다이오드가 있다.

광원 및 광검출 소자는 광 시스템에서 필수적으로 사용되는 소자이며, 발진파장과 대역폭, 출력과 수광감도 등을 주 특성 요소로 상호 보완적으로 개발되고 있다.

#### 1. 광원

광원은 광소자를 사용하는 모든 광 시스템에서 공통적으로 쓰이는 기본 소자로서, 장거리 전송분야 등에 많이 사용되는 레이저 다이오드(laser diode)와 데이터 통신 등의 내부 링크 구성에 많이 사용되는 발광 다이오드(light emitting diode)가 있다.

##### 1) 레이저 다이오드

레이저 다이오드란 유도방출 현상을 이용하여 광공진기(optical resonator)에서 방출광을 증폭시키는 장치를 말한다. 단색성이 높고, 직진성이 좋으며, 높은 출력을 낼 수 있으나 공정이 복잡하고, 동작온도에 따라 출력 변화가 크고, 수명이 짧으며(상온에서 20년 이내), 문턱 전류가 크다는 등 단점이 있다. 현재 레이저 다이오드에 대한 요구조건으로 낮은 문턱 전류, 고출력, 제조공정의 간소화에 주력하여 계속 연구 진행 중이다.

스펙트럼을 좁게 하는 구조적인 요인은 external cavity이며, external cavity를 집적시킨  $1.5\mu\text{m}$  대의 DFB-DC-PBH(distributed feedback double channel planar buried heterostructure)레이저 다이오드에서 1.2MHz의 스펙트럼 폭을 얻을 수 있었다.<sup>[1]</sup> 레이저 다이오드는 좁은 발진 스펙트럼으로 인해 다양한 발진 파장을 가질 수 있는데, 현재 상용화 되어있는

레이저 다이오드를 발진 파장 별로 표 1에 나타냈다.

통신의 전송 장치에서 사용되는 레이저 다이오드의 출력은 10mW 이내로 비교적 작지만 광 교환, 광학, 산업용 기기등에 사용되는 레이저 다이오드는 수백 mW에서 수십 W의 출력이 요구된다. 상용화되어 있는 반도체 레이저 다이오드의 최대 출력 동작 범위는 수십 W까지 가능하나 고효율을 내기 위해서는 방열에 주의해야 하며, 현재는 10-20mW의 안정된 출력 범위의 레이저 다이오드를 쉽게 제작할 수 있다.

레이저 다이오드의 높은 문턱 전류를 낮추려는 연구로 최근 다중양자우물(multiple quantum well) 레이저 다이오드가 주목받고 있다. AlGaAs/GaAs 양자우물을 이용한 레이저 다이오드에서 190A/cm<sup>2</sup>의 문턱전류밀도가 보고되어 있고,<sup>[2]</sup> BH 구조의 AlGaAs/GaAs GRIN-SCH(graded index separate confinement

heterostructure)레이저 다이오드에서 2.5mA의 문턱 전류가 보고되어 있다.<sup>[3]</sup>

레이저 다이오드의 복잡한 제조공정을 단순화하려는 새로운 공정기술이 개발되고 있는데, 최근 알루미늄 활성층에 불순물을 직접 주입시킴으로써 박막 제조 공정을 단순화하면서도 클래드 층에 불순물 농도를 높일 수 있는 공정 기술이 연구 중에 있다. 또한 기존의 LPE에 의한 박막공정 기술은 MOCVD(metalorganic chemical vapor deposition), MBE(molecular beam epitaxy)등으로 대체될 것이 예측된다.

이와 다른 종류의 레이저 다이오드로 5nm의 파장 간격으로 서로 다른 5개의 파장의 빛을 방출하는 선형 어레이 DFB-레이저 다이오드가 개발되어 있으며, 4×4 매트릭스 어레이 레이저 다이오드가 종래의 Fabry-Perot 공진기 레이저 다이오드와 공진기에서 45° 기울어진 거울면을 이용하여 구현되었고,<sup>[4]</sup>

표 1. 상용 레이저 다이오드의 발진 파장별 분류

파장 (nm)	광출력 (mW)	동작전류 (mA)	상승및 하강시간 (ns)	스펙트럼 폭 (nm)	재 질	동작온도 (°C)	품 명	제조회사	비고
800~900	100~100,000	2,000~40,000	-	5~9	GaAs/GaAlAs	-20~70	LE, LB Series	STC	
895~915	700~25,000	15,000~40,000	-	-		-40~70	LA Series		
1,265~1,345	0.15~0.25	20~50	1.0	3	GaInAsP	-20~65	QLM3S810 Series	L. T.	C. H.
1,270~1,330	1.0	80	-	5	GaInAsP/InGaAs	-20~70	TC7035	STC	
	0.25~1.0	-		5~10		-20~65	LST0605, LST0705	BT&D	
1,280~1,320	0.25	20~40	1.0	3	GaInAsP	-20~65	QLM3S855 Series	L. T.	C. H.
	0.75~2.5						QLM3M870 Series		
	1.0	QLM3S765 Series							
	0.25~1.0	25~40	0.5	5	GaInAsP/InGaAs	-20~70	LC71-18	STC	
	2.5	20~40				LC72-18			
	0.1	20~45	-	-	InGaAsP	-10~65	LCX73-18		
0.1~0.4	100	3~10				LSC2300	BT&D		CL
1,290~1,330	1.0	50	0.1	0.1	GaInAsP/InP	-20~65	QLM1300DFB Series	L. T.	
	0.5~1.0	150	0.25~1	3.5			P35-9300 Series	Plessey	
1,500~1,560	1.0	50	0.1	0.1	GaInAsP	-20~65	QLM1550DFB	L. T.	C. H.
		5~50	0.3	QLM5S790 Series					
1,510~1,560	0.25	20~50	1	3	GaInAsP/InP	-20~65	QLM3S876 Series		
	0.25~1.0		0.3	2.8			LC81-19, LC83-17		
1,500~1,570	0.25~1.0	30~60	0.2	0.1		0~60	LC111-18	STC	
	0.5~1.0					-20~60	LC113-17		

L. T. ;Lasertron.  
 BT&D;British Telecom and Dupont.  
 C. H. ;Cooler와 Heater가 내제되어 있는 모듈  
 CL;Cooler가 없는 모듈

박막 성장층에 수직인 빛을 방출하는 2×2 매트릭스 어레이 표면 방출형 레이저 다이오드가 InGaAsP/InP 구조로 구현되었다.<sup>16)</sup> 앞으로는 어레이 소자와 함께 고속 소자, 코히어런트(coherent)소자가 광 교환, 광 신호처리 등에서 수요가 확대될 것으로 예상된다.

2) 발광 다이오드

발광 다이오드는 전기 에너지에 의하여 반도체내에 여기된 전자-정공 쌍이 다시 안정한 상태로 재결합할 때 에너지 차이만큼 광으로 방출되는 현상을 이용한 에너지 변환 소자이다. 발광 다이오드는 레이저 다이오드에 비하여 직진성, 단색성, 출력면에서 많이 떨어지나 구동 회로가 레이저 다이오드에서 보다 간단하고, 온도 특성이 우수하며, 제조 공정이 비교적 간단하므로 널리 응용되고 있다.

발광 다이오드는 구조 별로 분류하면, 기판에 수직하게 자연광을 방출하는 표면 발광형과 기판에 평행하게 유도 방출을 일으키는 단면 발광형으로 나눌 수 있다. 표면 발광형 발광 다이오드는 온도 안정도가 높고, 신뢰도가 높으며, 저렴한 반면 출력이 작고(10μW 이하), 발광 스펙트럼폭이 크다. 한편 표면 발광형 발광 다이오드의 출력과 최대 변조 대역폭 간에는 서로 상충 관계가 있어, 용례에 따른 적절한 구조적 설계가 요구된다. 단면 발광형 발광 다이오

드는 발광 스펙트럼의 폭이 좁고, 출력이 크지만 온도 의존도가 크므로 신뢰도가 낮으며, 구조적으로 복잡하여 제조 공정에 다소 어려운 점이 있다.

발광 다이오드의 주요 재료로는 GaAs나 GaP와 같은 3-5족 화합물 반도체가 사용된다. 발광 다이오드의 가장 큰 특성 요인은 방출되는 파장영역과 고속 스위칭 기능인데, 방출 광의 파장영역에 대해서는 고신뢰성과 장거리 전송에 유리한 장파장화에 주력하고 있다. 방출광은 InGaAsP, AlGaAs, GaAsP 등 3원 또는 4원계 혼성 반도체를 사용하여 에너지 갭을 조절함으로써 조절이 가능한데 현재는 InGaAsP의 4원계 3-5족 화합물 반도체를 이용하여 1.5μm의 파장을 방출하는 발광 다이오드가 실현되어 있다. 또한 발광 다이오드의 고속 기능에 대한 연구 결과로 1.3μm 파장대에서 2Gbit/s의 실험이 실현되어 있다. 표2에 현재 상용화되어 있는 발광 다이오드를 파장별로 분류하고 재료 및 특성을 나타냈다.

2. 광검출 소자

광검출 소자는 광 신호를 검출하여 전기적인 신호로 변환하는 광 시스템의 기본 소자로서, 통신, 광학 기기, 광센서 등에 널리 쓰이고 있다.

광검출 소자는 대역폭, 신호 대 잡음비, 수광 효

표 2. 상용 발광 다이오드의 파장별 분류

파장 (nm)	광출력 (mW)	동작전류 (mA)	상승/하강시간 (ns)	스펙트럼폭 (nm)	재 질	동작온도 (℃)	품 명	제조회사
1,260~1,310	0.0015~0.006	150	2.5~7	-	GaInAsP/InP	-20~80	P35-7300	Plessey
1,300	0.05~0.07	150	1~1.5	80		-20~70	LH74-62	STC
	0.005	120	1	120	-20~80	LST0400	BT&D	
0.05	LST2400							
1,270~1,330	0.005~0.08	150	3	90	GaInAsP	-20~60	QLD35S501	L. T.
	0.002~0.015	150	1~1.5	80			QLD35S502	
							QLD3M501	
	0.01~0.07	200	2~3	90		-20~70	LH473-62	STC
0.001~0.003	LH70-24							
0.04~0.65	LH43-69							
1,280~1,340	0.0005~1.0	150	2.5~5	115~150	InGaAsP	-40~80	LH44-23, LH52-19	PCO
1,500~1,550	0.003~0.04	150	3	125		-40~70	QLD5S501	
					QLD5S502			

을, 압전류 등이 주 특성 요소이며, 현재 실용화되어 있는 광검출 소자는 포토 다이오드와 포토 트랜지스터로 대별된다. 또한 포토 다이오드에는 pn 포토 다이오드, pin 포토 다이오드, 어벌런치 포토 다이오드가 있다.

1) 포토 다이오드

포토 다이오드란 반도체 내부로 흡수된 광에너지에 의하여 반도체의 전도도가 변화하는 성질을 이용한 광검출용 소자를 말하며, 광통신 및 광학 기기에 널리 응용되고 있다.

포토 다이오드의 주요 소재로, 0.5 $\mu\text{m}$ 인 가시광 영역에서는 이미 제조 기술이 확립된 Si이 사용되고 있으며, 광통신용인 1.0~1.5 $\mu\text{m}$  영역에서는 Ge, In-GaAs가 사용되며, 광학용인 5~10 $\mu\text{m}$  영역에서는 HgCdTe, InSb 등이 사용되며, 400nm 이하의 자외광 영역에서는 ZnS와 같은 밴드 폭이 큰 소자가 사용된다. 그림 1에 포토 다이오드 사용 재료에 따른 수광 파장 범위를 나타냈다.

는 경우 많이 사용되며 최근 1.06 $\mu\text{m}$  파장 대에서 67GHz의 고속 기능 실험이 보고되어 있다.<sup>[6]</sup> 상용화되어 있는 pin 포토 다이오드의 종류 및 특성을 표3에 나타냈다.

(2) 어벌런치 포토 다이오드

저출력의 광 신호를 감지할 경우, 포토 다이오드가 어벌런치 영역에서 동작되도록 구조적으로 설계되어 어벌런치 항복 현상을 이용, 수광 감도를 증가시킨 광검출 소자이다. 어벌런치 포토 다이오드는 어벌런치 항복 현상을 유도하기 위해서 pin 포토 다이오드보다 높은 역방향 바이어스로 동작시킨다.

어벌런치 포토 다이오드는 pin 포토 다이오드보다 수광 감도가 높고, 전류이득 대역폭이 넓기 때문에 고속, 고이득이 필요하고 그다지 직진성을 필요로 하지 않는 경우 사용된다. 0.95 $\mu\text{m}$ 에서 1.65 $\mu\text{m}$  파장 영역에서는 separate absorption and multiplication 영역 어벌런치 포토 다이오드가 사용되고 있으며, 대역폭을 넓히기 위해 밴드갭 (band gap) 층 사이에 다중양자우물 층을 끼워 넣는 구조가 개발되어 있다.<sup>[7]</sup> 현재 어벌런치 포토 다이오드의 고속 기능으로는 1.3 $\mu\text{m}$  파장 영역에서 60GHz의 전송 실험이 보고되어 있다.<sup>[8]</sup>

단거리 (0.6 $\mu\text{m}$ ~0.9 $\mu\text{m}$ ) 전송용 포토 다이오드로는 실리콘의 pin 포토 다이오드와 어벌런치 포토 다이오드가 사용될 전망이지만 전자는 성능, 제조, 가격의 측면에서 충분한 장점을 가지고 있는 반면 후자는 제조기술 상의 개선이 뒤따라야 할 것이다. 장거리 (1.0 $\mu\text{m}$ ~1.5 $\mu\text{m}$ ) 전송용 포토 다이오드로는 3-5 족 화합물 반도체인 InGaAs 등의 pin 포토 다이오드와 어벌런치 포토 다이오드가 실용화 되고 있지만 MBE, MOCVD 등 고도의 박막 공정 기술을 요한다.

(3) 포토 트랜지스터 (photo transistor)

포토 트랜지스터는 포토 다이오드를 npn 트랜지스터로 증폭한 것이다. 신호가 동일 칩 내에서 증폭되고 있기 때문에 잡음이 적고 출력이 크지만 출력의 직선성 면에서는 포토 다이오드보다 뒤떨어지며, 광결합기나 광 isolator에 응용되고 있다.

포토 트랜지스터는 고속화와 고출력화인데, 고출력을 내기 위해서는 콜렉터, 베이스간 전압을 크게 해야 하지만 이는 베이스 저항을 증가시켜 응답특성을 저하시킨다. 따라서 주파수 특성을 증가시키기 위해 빗형 또는 오버레이 구조에 폴리실리콘 전극을 사용하여 적외공의 대부분을 베이스 부분까지 흡수시키는 방법이 고안되어 있다. 또한 고속화, 소형화를 위하여 수광부와 증폭부를 떼어 전원회로, 증폭회로, 파

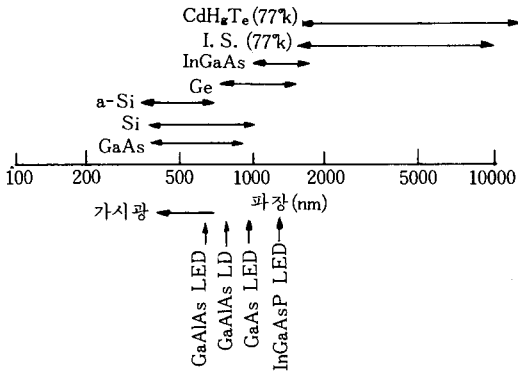


그림 1. 포토 다이오드 주 재료의 파장 범위

(1) Pin 포토 다이오드

Pin 포토 다이오드는 반도체의 p층과 n층 사이에 높은 저항을 갖는 진성 (intrinsic) 층을 성장시킨 구조를 갖는다. Pin 포토 다이오드의 수광 효율과 대역폭간에는 서로 상충되는 관계가 있는데 즉, 수광 효율을 높이면 대역 폭이 줄고, 대역 폭을 늘리면 수광 효율이 낮아지므로 용례에 따라 적절한 구조적 설계가 요구된다. Pin 포토 다이오드는 매우 신뢰도가 높고, 낮은 전압에서 동작하고, 비교적 잡음이 작기 때문에 널리 사용되고 있다. 특히, 고속동작이 요구되

표 3. 상용 pin 포토 다이오드의 종류 및 특성

파장 (nm)	광응답 (A/W)	암전류 (nA)	상승/하강시간 (ns)	재. 질	동작온도 (°C)	품 명	제조회사
850~1,550	0.35~8	-	-	InGaAs	-40~85	PIN-500-B	PCO
1,000~1,650	0.8	1	0.1			PIN-35 Series	
	0.7~0.75	5	0.2~0.5			PIN-75 Series	
	0.75	1.50	2			PIN-300 Series	
1,000~1,650	0.6~0.85	1~5	0.5~0.85		-20~80	DRP-67T DRP-75T DRP-41/42T DRP-43T DR-51T	STC
		7~25	0.2~17.0	DR-75T			
1,300~1,500	0.6~0.8	-	0.04~0.05	GaInAs	0~50	QDEUHS-075	L. T.
	0.9~1.0	0.1	1.0	InGaAs	-20~80	PDH0004/0104	
	0.75~0.9					PDT0411 Series PDT0412 Series PDT1411-PT Series	
	0.75~0.8					PDC4310	
	0.6~0.9	-	0.3~0.5	GaInAs/InP	P35-2600 Series	Plessey	
1,100~1,600	0.6~0.75	5~20	0.04~0.05	GaInAs	-40~85	QDE-C10-001	L. T.

형성회로 등과 함께 한 소자 안에 내장하여 집적화된 것이 있다.

### III. 광전자 집적소자(OEIC)

광전자 집적소자(optoelectronic integrated circuit)란 레이저 다이오드, 발광 다이오드, 포토 다이오드 등의 광소자들이 전자소자와 함께 집적된 소자를 말하며, 직선적 전파 특성(rectilinear propagation property), 신호의 비 간섭성, 자유로운 배선 등의 특성이 있다.

광전자 집적소자에서 나타나는 장점은 정전용량과 인덕턴스를 줄임으로 인한 광전자 소자의 성능향상, 광 상호 정합에 의한 집적회로의 성능향상 등이 있으며 단점으로는 서로 다른 형태의 소자들을 집적하는데 기인한 낮은 수율, 복잡한 웨이퍼 공정, 소자 사이의 누화 등을 들 수 있다.

1972년 S. Somekh와 A. Yariv가 처음 제안한 광전자 집적소자<sup>9)</sup>는 1980년경까지만 해도 한 개의 광소자와 한 개의 전자소자를 한 기관 내에 결합하는 정도에 불과하였으나 점차 전송이나 신호처리 등의 복

합 기능을 갖는 고집적 소자로 발전하였으며,<sup>10)</sup> 개별 광소자와 전자소자의 성능 향상 및 새로운 기능의 소자 개발을 목적으로 성능, 속도, 감도 등의 특성을 향상 시키려는 연구가 계속 진행 중이다.

현재 광전자 집적소자는 주요 기관재료로 GaAs 또는 InP계의 3-5족 화합물 반도체가 이용되고 있으며, 사용 파장 영역에 따라 단파장(0.8 $\mu$ m 이하) 광전자 집적소자와 장파장(1.1 $\mu$ m~1.6 $\mu$ m) 광전자 집적소자로 또는 응용 예에 따라 송신기 광전자 집적소자와 검출기 광전자 집적소자로 분류된다. 표 4에 광전자 집적소자의 주요 소재들의 특징 및 그의 응용 예를 정리하였다.

#### 1. 단파장 송신기 광전자 집적소자

송신기 광전자 집적소자란 광통신용 레이저 다이오드, 발광 다이오드가 전자소자와 함께 집적된 소자를 말하며, 단파장대의 기관재료로는 GaAs가 주로 사용된다.

개발 초기에는 구조 및 제작이 간단한 DH(double heterostructure)레이저 다이오드가 많이 이용되었

표 4. 광전자 집적소자의 주요 소재

재 료	광 소 자	전 자 소 자
AlGaAs/GaAs	• 0.8 $\mu$ m 광원 • 검출소자로는 많은 어려움이 있음	• SSI (small scale integration) 시작단계 • MESFET
InGaAsP/InP or InGaAs/InP	• 1.3~1.5 $\mu$ m 광원 • 양호한 광검출 소자	• 연구개발 초기단계 • MISFET, JFET, HBT • 표면처리에 많은 어려움 있음
Si	• 0.8 $\mu$ m 이하의 고감도 광검출소자 • 광원으로는 불가	• LSI, VLSI 확립

SSI: Small Scale Integration,  
MESFET: Metal Semiconductor Field Effect Transistor  
MISFET: Metal Insulator Semiconductor FET,  
JFET: Junction FET,  
HBT: Heterostructure Bipolar Transistor,  
LSI: Large Scale Integration  
VLSI: Very Large Scale Integration

으나 근래에 TGS (transverse junction stripe)<sup>[11]</sup> 또는 TS (terraced substrate) 레이저 다이오드<sup>[12]</sup>가 많이 이용되며, 단위 전자소자로는 건 (gunn) 다이오드, 쇼트키 게이트 FET (field effect transistor), HBT (heterojunction bipolar transistor) 등이 집적될 수 있으나 소자 구조가 간단하고 제작이 용이한 GaAs MES (metal semiconductor) FET가 주로 집적되고 있다. 그림 2에 GaAs를 기판 재료로 하여 제작된 송신기 광전자 집적소자의 예를 나타냈다.<sup>[13]</sup>

3개의 저항, 회로동작을 감지하기 위한 2개의 MESFET와 1개의 저항 그리고 1개의 포토 다이오드가 포함되어 있다. 다중양자우물은 레이저 다이오드의 문턱전류를 낮추는데 많이 응용되고 있으며, 이 경우 40mA의 문턱전류, 19%의 양자 효율을 얻었다. 표 5에 현재 실현되어 있는 단파장 송신기 광전자 집적소자의 예를 정리하였다.

표 5. 단파장 송신기 광전자 집적소자

구조	기판재료	박막성장기술	광 소 자	전 자 소 자	개발년도	참고문헌
H	SI GaAs	LPE	BM-LD	MESFET	1982	[15]
H	SI GaAs	LPE	TJS-LD	MESFET	1982	[11]
H	n-GaAs	MBE	LED	3 MESFET	1982	[18]
H	SI-GaAs	LPE	TS, LD, PD	5 MESFET	1983	[12]
H	SI GaAs	MBE	MQW-RW-LD	2 MESFET	1984	[19]
H	SI GaAs	MOVPE	MQW-LD, PD	12 MESFET	1985	[20]
H	SI GaAs	MBFE	GRIN-SCH-LD	4 MESFET	1985	[21]
H	SI GaAs	MBE	TJS-LD	2 MESFET	1986	[22]

H: 수평구조, V: 수직구조,  
BH: Buried Heterostructure, TJS: Transverse Junction Stripe  
TS: Terraced Substrate,  
MQW: 다중 양자우물, SD: 쇼트키 다이오드  
RW: Ridge Waveguide, GRIN: Graded Index,  
SCH: Separate Confinement Heterostructure,  
SI: Semi Insulating  
DFB: Distributed Feed Back,  
DC-PBH: Double Channel Planar buried heterostructure  
MSM: Metal Semiconductor Metal,  
LD: 레이저 다이오드, PD: 포토 다이오드  
MBE: Molecular Beam Epitaxy,  
MIC: Metal Insulator Semiconductor  
VPE: Vapor Phase Epitaxy, CBE: Chemical Beam Epitaxy,

2. 단파장 검출기 광전자 집적소자

검출기 광전자 집적소자란 광검출 소자들이 전자소자와 함께 집적되어 광 검출용으로 사용되는 소자를 말한다. 단파장 검출기 집적소자에 있어서는 종래의 수직적 구조<sup>[14]</sup>를 갖는 pin 포토 다이오드에서 수평적 구조<sup>[15]</sup>를 갖는 MSM (metal semiconductor metal) 포토 다이오드의 집적이 증가하고 있다. 이들은 FET 게이트 공정과 호환성을 갖기 때문에 평면회로의 생산을 단순화시켜 대규모 광전자 집적소자의 제작을 용이하게 한다. 표 6에 현재 실현되어 있는 단파장 검출기 광전자 집적소자의 예를 정리하였다.

3. 장파장 송신기 광전자 집적소자

장파장대의 광전자 집적소자의 기판재료로는 1.1 $\mu$ m

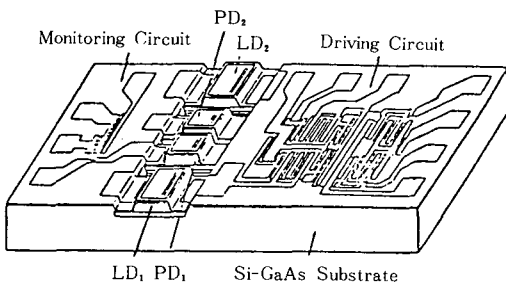


그림 2. 송신기 광전자 집적 소자

그림 2의 광전자 집적소자에는 MOVPE (metal-organic vapor phase epitaxy)로 제작된 SAS-MQW (self-aligned structure multi-quantum well) 레이저 다이오드, 이를 구동키 위한 10개의 MESFET와

표 6. 단파장 검출기 광전자 집적소자

구조	기판재료	박막성장기술	광 소 자	전 자 소 자	개발년도	참고문헌
H	SI GaAs	LPE	pin-PD	6 MESFET	1985	[23]
H	SI GaAs	MOVPE	MSM-PD	6 MESFET	1985	[24]
H	SI GaAs	LPE	pin-PD	3 MESFET	1985	[20]
H	SI GaAs	LPE	PD	7 MESFET	1986	[25]
H	GaAs	MOCVD	4MSM-PD	8000FET	1989	[26]

~1.6 $\mu$ m대의 InP 또는 InP/InGaAsP가 주로 사용되고 있으나 아직 InP에 대한 재료적 또는 공정상의 문제가 많이 남아 있다.

단위 전자소자로는 MESFET보다는 MIS (metal insulator metal) FET, J (junction) FET, HBT가 주로 집적된다. 단위 광소자에 있어서, 초기에는 1982년 Koren 등이 처음 제안한<sup>[16]</sup> grooved 레이저 다이오드가 많이 이용되어 왔으나 근래에 높은 전류와 고속 스위칭 기능에 적합한 HBT 또는 BH (buried heterostructure) 레이저 다이오드가 많이 이용되고 있으며, n-InP를 기판재료로 제작된 레이저 다이오드 HBT 광전자 집적소자에서 20~30mA의 문턱전류, 단일모드 동작, 10mW의 광출력, 20%의 양자효율, 1.6GHz의 고속 변조 기능이 실현되어 있다.<sup>[17]</sup>

표 7에 현재 실현되어 있는 장파장 송신기 광전자 집적소자의 예를 정리하였다.

표 7. 장파장 송신기 광전자 집적소자

구조	기판재료	박막성장기술	광 소 자	전 자 소 자	개발년도	참고문헌
H	SI InP	LPE	Groove-LD	MISFET	1982	[16]
-	n-InP	LPE	BH-LD	3 HBT	1984	[17]
H	SI InP	LPE	LD	2MISFET	1984	[27]
H	SI InP	LPE	DFB-LD, PD	2MISFET	1985	[28]
H	SI InP	LPE	DC-PBH-LD	3 HBT	1986	[29]
H	SI InP	LPE, MBE	LD	3MESFET	1987	[30]
H	SI InP	MOCVD	LD	MESFET	1988	[31]
H	SI InP	MO, LPE, MBE	LD	MESFET	1989	[32]

#### 4. 장파장 검출기 광전자 집적소자

대부분의 장파장 검출기 광전자 집적소자에서는 InP나 InGaAsP에의 양호한 쇼트키(Shottky) 접합이 어려운 점으로 인하여 JFET와 InGaAsP pin 포토 다이오드가 주로 집적되어 왔으나 최근 InAlAs 층에 쇼트키 접합을 형성시킨 InAlAs/InGaAs MSM 포토 다이오드와 heterojunction FET등을 집적시킨 광전자 집적소자가 보고되어 있다.

표 8에 현재 실현되어 있는 장파장 검출기 광전자 집적소자의 예를 정리하였다.

광전자 집적회로의 개발 목표는 최고 성능의 소자 개발보다는 구성 부품들을 높은 안정도로 결합하여 다양하고 편리한 소자를 개발하는데 있다. 또한 광전자 집적회로에는 서로 타입이 다른 소자들이 집적되기 때문에 각 소자의 구조와 그들의 생산 공정등을 절충하는 것이 필요하다. 그러므로 광전자 집적회로에서는 집적에 적합한 고성능 소자 구조와 서로 다른 종류의 소자들을 집적하기 위한 새로운 제조공정을 개발하는 것이 중요한 문제이다.

표 8. 장파장 검출기 광전자 집적소자

구조	기판재료	박막성장기술	광 소 자	전 자 소 자	개발년도	참고문헌
H	SI InP	LPE	pin PD	3 JFET	1986	[33]
V	SI InP	MBE	PD	JFET	1986	[34]
H	SI InP	LPE	PD	MISFET	1986	[35]
H	InP	VPE, MBE	pin PD	HEMT	1988	[36]
H	InP	MOCVD	pin PD	3 FET	1988	[37]
H	InP	MOCVD, MBE	pin PD	12FET, BSD	1989	[38]
H	InP	CBE	MSM PD	FET	1990	[39]

현재 광전자 집적회로는 성능 면에서는 5Gbit 이상의 고속 집적 광학 송신기와 수신기가 구현되는 수준에 있으며, 앞으로는 개별 소자들을 더욱 집적화하여 보다 다양한 기능의 소자개발로 연구 진행될 추세이다.

## IV. 광 교환 소자

### 1. 광 교환 소자

광 교환 소자란 광학기술을 정보의 교환 (switching)에 적용한 소자로서, 전자소자에 비해 10배 정도 빠른 전송 속도, 방향성 결합소자 (directional coupler)의 경우 Tera 비트, SEED의 경우 Giga 비트를 갖는 넓은 대역폭, 2차원으로 배열된 정보들을 동시에 정보처리하여 파장이 1 $\mu$ m인 경우 최고 백만개의 신호를 동시에 처리할 수 있는 병렬성, 광 신호간의 비 간섭성 (interference)을 가지는 특징이 있다.

광 교환 소자는 주로 교환망, 전송망에 사용되며 궁극적으로는 광 컴퓨터 구성에 사용될 것으로 예상된다. 광 교환 소자에는 광 컴퓨터, 교환망, 전송망에서 사용하게 될 광 기억소자, 광 논리소자와 교환망의 공간 분할교환 장치에서 사용되는 광 매트릭스

교환 소자와 교환망의 파장분할 교환 장치에서 사용되는 가변레이저(tunable laser), 가변 광 여파기(tunable optical filter), 파장 변환기(wavelength converter) 등이 있다.

## 2. 광 매트릭스 교환 소자

광 매트릭스 교환 소자는 소자의 크기, 삽입 손실, 왜곡, 교환 속도, 구동 전압 등의 특성 요인이 있는데, 소자의 크기와 삽입 손실이 적은 LiNbO<sub>3</sub>를 주로 이용하여 광 매트릭스 교환 소자를 제작한다. 최근까지 LiNbO<sub>3</sub>를 이용하여 개발된 매트릭스 교환 소자를 표 9에 보였다. 매트릭스 교환 소자는 도파관 교환 소자인 방향성 커플러 교환 소자, 교선 도파관 교환 소자와, 게이트 교환 소자인 광/전기 및 전기/광 변환을 이용한 교환 소자, 레이저 다이오드 교환 소자, 광검출기 교환 소자와 홀로그래프 교환 소자가 있다.<sup>[40]</sup>

### 1) 방향성 커플러 교환 소자(directional coupler switch)

방향성 커플러는 두개의 티타늄 도파관을 LiNbO<sub>3</sub>속으로 확산 시키는데 이때 한 도파관을 다른 도파관에 가깝게 한다. 도파관 위에 전극을 설치하고 이 전극에 바이어스 전압을 가해 위상을 어긋나게 하여 도파관을 통과하는 광에 손실을 제어함으로써 광을 교환한다. 방향성 커플러 교환 소자는 편광, 삽입 손실, 누화 구동전압 등의 교환 성능을 특징짓는 요인이 있는데 최근에는 방향성 커플러 교환 소자의 구동 전압을 5V 이내로 낮추려는 실험이 보고되어 있고,<sup>[41]</sup> 편광에 비종속적인 방향성 커플러 교환 소자에 대한 실험도 보고되고 있다.<sup>[42]</sup>

### 2) 교선 도파관 교환 소자(intersectional waveguide switch)

내부 전반사를 이용한 스위치로서, 굴절을 변화로 인한 캐리어 주입을 이용하는 경우와 다중광자우물 구조의 굴절을 변화로 인한 전기장을 이용하는 경우의 소자가 있다. 이 소자는 cross 영역이 짧고, 분극에 독립적이며(캐리어 주입형), 고속 교환이 가능(다중광자우물 구조형)하다.<sup>[43]</sup>

### 3) 게이트 매트릭스 교환 소자(gate matrix switch)

단일 모드와 다중모드 시스템에 이용되며, 신호의 증폭, point to multipoint 교환 장점을 가진 게이트 매트릭스 교환 소자는 포토 다이오드, 전기적 증폭기와 레이저 다이오드로 구성된 하이브리드 모듈로 제작된다. 이 게이트 매트릭스 교환 소자는 입력 신호가

표 9. LiNbO<sub>3</sub>를 이용한 매트릭스 교환소자

	Size	Structure	Worst case crosstalk	Insertion loss [1]	Switch element length
NEC 1987	8×8	crossbar	-15 dB	7 dB	2.2 mm
AT&T 1987	4×4	tree-structure	<-35 dB	13 dB[3]	-
Fujitsu 1987	4×4	modified crossbar	<-20 dB	5 dB	10mm
AT&T 1988	4×4	duo banyan	-36 dB	9 dB	8.5 mm
OKI 1988	4×4	duo banyan	-14 dB	7 dB	5.5 mm
Plessey 1988	8×8	modified lattice [2]	<-20 dB	5 dB	4 mm
Ericsson 1988	4×4	tree [4]	-35 dB	9 dB	4.3 mm
NEC 1988	4×4	duo banyan [4]	-15 dB	5 dB	15mm
AT&T 1989	8×8	dilated Benes [2]	<-22 dB	11 dB	8 mm
NEC 1989	8×8	duo banyan [4]	-15 dB	10 dB	4.6 mm
Ericsson 1989	4×4	tree [4]	-20 dB	7 dB	5.7 mm
Plessey 1989	16×16	Benes [2]	-	-	-

[1] Average or average of max and min

[2] Rearrangeble non-blocking

[3] Including 6 dB splitting loss

[4] Polarization independent

전기적으로 변환되어 게이트로 분배되는 repeater-gate array 교환 소자와<sup>[44]</sup> 입력 신호가 광으로 게이트에 분배되는 optical branch/repeater gate 교환 소자<sup>[45]</sup> 및 Si 기판과 위에 SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>를 사용한 웨이브 가이드와 레이저 다이오드 열로 구성되어, 광신호를 전기/광, 광/전기 변환을 하지 않는 레이저 다이오드 교환 소자의 3가지가 있다.

## 3. 광 기억소자(Optical Memory)

광 기억소자는 일반적으로 쌍안정 레이저 다이오드와 비선형 Fabry-Perot etalon을 이용한 소자, 광 제한 회로로 구성된 SEED(self electro-optic effect device)를 이용한 소자로 구분된다.

비선형 Fabry-Perot etalon을 이용한 소자는 양자 구조의 양단에 거울을 만들어 etalon을 형성한 것으로 전자적인 것이 배제되고 모두 광학적으로 제어된다.<sup>[46]</sup> SEED는 광 기억소자, 광논리소자, 광변조기 등에 사용범위를 확대해가고 있는 소자로 광 기술분야에 획기적인 소자로 주목받고 있다. SEED는 화합물 반도체로 MBE, MOCUD 등의 성장 기술을 이용해서 다중 양자우물 구조를 갖게 함으로써 적층구조에서만 볼 수 있는 전기 광학적 특성을 이용한 것이다.

다중 양자우물 구조에서는 일정한 세기의 빛을 가

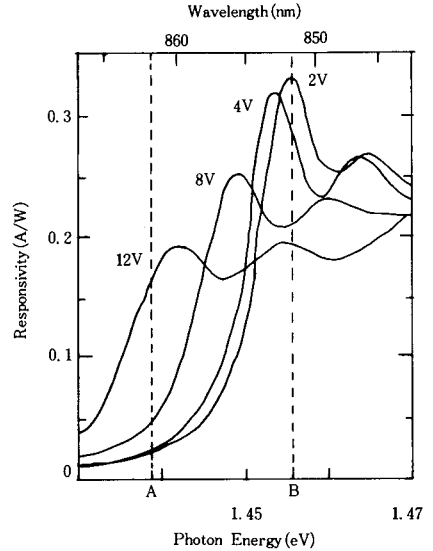


하면서 전기장을 걸어주면 투과되는 빛의 세기가 그림 3 과 같이 되는데 SEED는 그림 3 과 같은 특성을 가진 소자에 또하나의 다중 양자우물 소자를 직렬부하로 연결한 소자이다. SEED는 직렬로 연결된 부하의 형태에 따라 다양한 특성을 갖는 소자를 만들 수 있는데 주로 부하로는 다중양자우물 구조 소자를 사용한 S (symmetric)-SEED가 많이 응용되고 있다. S-SEED는, GaAs 기판에 MBE 방법으로, 그림 4 와 같이 두개의 다중양자우물 pin 다이오드를 직렬로 연결한 구조로 되어 있는데 두 다이오드는 역방향 바이어스로 동작한다. 동작은 상대 다이오드에 입사하는 광의 양에 따라 다이오드에 입사한 광의 투과율이 달라져 출력되는 광이 on/off 된다. S-SEED는 RS 플립플롭, 논리 게이트, 링 계수기 등 응용 범위가 급속도로 늘어나고 있다.<sup>[47]</sup>

4. 파장 변환기 (Wavelength Converter)

광 파장변환은 LiNbO<sub>3</sub> 또는 유기물질을 이용한 2차 고조파 발생기가 연구되고 있으나, 2 차 고조파 발생기의 비선형 광특성을 이용하려면 높은 광출력이 요구되기 때문에 주로 가변 파장 레이저를 이용하여 하고 있다. 이 가변파장 레이저에는 cleave-coupled-cavity 레이저 다이오드, phase tunable distributed feedback(DFB) 레이저 다이오드와 tunable distributed bragg reflector (DBR) 레이저 다이오드의 3종류가 있다.<sup>[48,49]</sup>

파장 변환기의 성능은 파장분할 수와 교환 시간에 의해서 결정되는데 두개의 레이저 cavity 사이의 상호작용을 이용하여 원하는 모드의 진동을 크게하고 주파수를 단계적으로 가변할 수 있는 장점을 지닌 cleave-coupled-cavity 레이저는 두개의 결합된 레이저 부분으로 구성되는데, 하나는 광원으로 동작하는 부분이고 다른 하나는 etalon 또는 변조기로 동작하는 부분이다. Cleave-coupled-cavity 레이저의 파장분할은 1.0 $\mu$ m~1.3 $\mu$ m 파장대에서 일반적으로 2nm 이고 가변(tuning)은 주입되는 전류에 의해서 제어된다. 또한, 변조시에도 우수한 단일 주파수 선택특성이 있어 side mode를 20-35dB로 억압하는 특성을 가진 DFB 가변 레이저 다이오드는 채널 주파수 분할이 수 GHz-수십 GHz까지 가능한 주파수 분할 다중 광 전송 시스템에 이용되고, 분할적으로 주입된 캐리어가 굴절율을 변화시켜 파장이 전기적으로 조절되는 DBR 레이저 다이오드는 연속적으로 136GHz (1nm)범위의 파장 가변이 필요하고 이 가변 범위는



(responsivity: 광 전류/입사광의 세기)

그림 3. SEED에 역으로 인가된 전압에 대한 반응

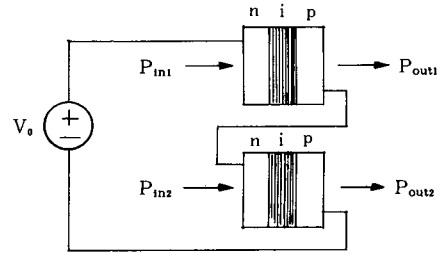


그림 4. S-SEED의 구조

수 GHz 채널 공간내에서 100 파장 이상 교환이 가능하다.

5. 가변 광 여파기 (Tunable Optical Filter)

가변 광 여파기는 현재 완전하게 광 교환 시스템에 이용되지 않고 있으나 몇가지 종류의 가변 광 여파기가 제시되었다.<sup>[50,51]</sup> 한 실험에서 1.3 $\mu$ m 파장에서 InGaAs/InP DFB 레이저 다이오드를 이용한 DFB 레이저 증폭기는 0.1nm 범위내의 가변 능력이 있고, 이 여파기의 대역폭은 0.06~0.15nm, 15~11dB의 광 흡수력을 가지고 있다. 다른 실험에서는 cleave-coupled-cavity 레이저 다이오드를 이용하여 파장 가변을 시도했으며 이는 2개의 다른 파장 광신

호(2.8nm)중 한 개를 선택하여 on/off 비율을 5.1dB로 증폭이 가능하다. 이 광 여파기의 장점은 증폭으로 인해 높은 광 이득을 얻어 noise를 감소시키고, 0.02nm의 대역폭을 갖는다. 현재에는 1250nm~1600nm까지 연속으로 가변 가능하고 입력은 단일모드 광 섬유, 출력은 다중모드와 접속되고 삽입손실이 4dB인 가변 광 여파기가 시판되고 있다.<sup>[52]</sup>

## V. 광 섬유 및 접속장치

### 1. 광 섬유 및 광케이블

광 섬유란 빛을 전달하는 원통형 유전체 도파관을 말하며, 15여년전 그의 도입 이래 일반 가입자의 서비스에 이르기까지 급진적 성장을 하였다.

광 섬유는 광의 굴절을 분포에 따라 계단(step index:SI)형과 언덕(graded index:GI)형으로, 사용 파장에 따라 자외 광 섬유, 근적외 광 섬유 그리고 적외 광 섬유로, 전파모드에 따라 단일모드(single mode:SM)와 다중모드(multi-mode:MM)로, 사용 재료에 따라 석영계, 다성분계, 플라스틱계, PCS, 적외선 재료 등으로 분류된다.

상용 광 섬유는 저 손실성과 환경에 대한 고신뢰성의 이유로 석영계 광 섬유가 대부분을 차지하고 있다. 단일모드 광 섬유는 다중모드 광 섬유에 비하여 손실이 적을 뿐만 아니라 광대역 전송에 유리하며, SiO<sub>2</sub>에 R<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ge<sub>2</sub>O, CaO 등을 첨가한 다성분 glass계 광 섬유는 양산성이 우수하며, plastic 클래드 광 섬유는 선형계유리로 된 코어계 plastic 클래드를 입힌 광 섬유도 손실특성이 우수하다.

광 섬유에 대한 연구개발이 시작된 당초에는 계단형 광 섬유가 검토되었으나, 실용적인 도입에 있어서는 광대역성 때문에 언덕형 광 섬유가 주로 사용되었다. 이때의 사용 파장은 단파장인 0.85 $\mu$ m 대이었으나, 그 후 2~3년간 언덕형 광 섬유의 사용 파장대는 더욱 저손실 특성을 나타내는 장파장인 1.3 $\mu$ m 대로 이행되어 보다 고속인 장거리 무중계 전송 시스템이 도입되기에 이르렀다. 그리고 그동안 단일모드형 광케이블의 제조기술 확립 등으로 단일모드 광 섬유가 적극적으로 도입되었다.

광 섬유가 최저 손실을 나타내는 1.55 $\mu$ m 대용 단일모드 광 섬유로서는 컷 오프 시프트 광 섬유(CSF)나 분산 시프트 광 섬유(DSF)가 개발되어 실용화되어 있다. 컷 오프 시프트 광 섬유는 1.55 $\mu$ m 대에서 광 섬유의 굽힘에 대한 특성을 향상시키기 위해

단일모드형 광 섬유의 컷 오프 파장을 장파장측으로 이행시킨 것으로, 1.3 $\mu$ m 대용 단일모드형 광 섬유와 동등한 설계로 되어 있다.

광 섬유의 개발에 있어서 하나의 중요한 목표는 저손실화인데, 이러한 관점에서 석영계 광 섬유의 손실값에 대한 레벨은 거의 이론적 한계에 가까운 상태에 와 있다. 그 때문에 2 $\mu$ m 상의 파장에서 이론적으로는 0.01dB/Km이하라는 저손실 특성이 기대되는 불화물 광 섬유나 chalcogenide 광 섬유, 또는 다결정 광 섬유의 개발이나 회토류 원소인 erbium을 석영계 광 섬유에 첨가하고 광 증폭 기능을 광 섬유에 부가하여 등가적으로 광 섬유의 저손실화를 실현하는 방법도 개발되고 있다.

1988년에는 광 섬유 제품의 80% 정도가 전기통신용이었으나, 현재는 광 섬유가 거의 가입자망에까지 도입되고 있다. 벨계 전화회사와 대규모 독립계 전화회사는 서비스 구역내에서 FTTH(fiber to the home)프로그램을 실시하고 있으며, 광 LAN은 활성화되고 있다.

### 2. 스플라이서(Splicer)

중속된 여러 케이블 심선들의 접속 문제를 해결하기 위한 스플라이서 기술이 국가별, 시장별로 다양하게 개발되어 있으며, 향후 융착접속방식이 가입자망에 보편화될 전망이다. 표10에 현재 사용화된 스플라이서의 종류 및 특성을 정리하였다.

### 3. 광 커넥터(Optical Connector)

광 케이블간 또는 광케이블과 광소자간의 접속을 가능케하는 장치를 말한다. 종류로는 미국의 Biconic ST, -SMA, 일본의 FC, D4 형태등이 있으며, 일본 NTT에서 TELCO 가입자용으로 개발한 PC형태와 LAN 응용을 위한 FDDI 형태가 있다. 응용분야에 따라 일반 통신에는 Biconic, ST, FP, PC, D4가 데이터 통신에는 Biconic, SMA, ST가 주로 사용된다. 기존 스크루(screw)형태의 광 커넥터는 접속이 용이하고 소형의 광 커넥터로 교체되고 있는데, 이 광 커넥터에는 대표적으로 SC,  $\mu$ BNC와 빠른 어셈블 커넥터(fast assemble connector)등이 있다. 현재 일본 광 커넥터의 표준이 되어가고 있는 SC 커넥터는 밀어서 어댑터나 리셉터클에 접속시키고, 필요없는 공간을 최소화하기 위하여 사각형으로 구성되어 있으며, 모두 세라믹 ferrule과 플라스틱으로 제작하여 가격이 저렴하다.  $\mu$ BNC 커넥터는 Bayonet 접속 광

표 10. 상용 스플라이서의 종류 및 특성

	AMP	AT&T	GTE	SIECOR	3 M	DSI
Dimensions	3mm OD 25mm length	.28" OD 1.56" length	.15" OD 1.55" length	4mm OD 40 mm length	4mm OD 56mm length	.125" OD 2.125" length
(Tuned) Mean Splice Loss	.25 dB	.10 dB	.15 dB	.2 dB	.2 dB	.05 dB
(Blind) Mean Splice Loss	.25 dB	.2 dB	.25 dB	.5 dB	.5 dB	.2 dB
Temp. Range	-55 to+85C	-40 to+77C	-40 to+70C	-40 to+80C	-40 to+60C	-55 to+85C
Vibration	10-55 Hz	10-55 Hz	10-55 Hz	10-55 Hz	10-55 Hz	10-55 Hz
Tensile Strength	.75 lbs.	.75 lbs.	.75 lbs.	.3 lbs	1 lbs	8 lbs
Fiber End Prep.	S&C	Pot & Polish	S&C	S&C	S&C	S&C
Cost (Tool kit)	~\$6000	~\$1100	Basic \$ 745 (no cleave tool) Complete \$ 1630	Unknown	Unknown	~\$ 1350
Cost(Splice)	~\$ 20 125 $\mu$ m	~\$ 26 125 $\mu$ m	~\$ 24 125 or 125 $\mu$ m	~\$ 20 125 $\mu$ m	~\$ 20 125 $\mu$ m	~\$ 19.95 70 through 125 $\mu$ m
Fiber Sizes	Cladding only	Cladding only	140 $\mu$ m Cladding	Cladding only	Cladding only	230 $\mu$ m Claddings
Number of Pieces	One	Seven	One	One	Three	Four

커넥터로서 커넥터 프리그 지름이 5mm로서 FC 커넥터의 1/2이다. 또한, 기존의 커넥터를 조립하기 위해서 수 시간을 소비하였지만 새로 개발된 fast assemble connector는 5분 이내로 커넥터 조립 시간을 단축할 수 있다.<sup>[53]</sup> 미래의 광 커넥터는 크기를 축소화하고, 고밀도화 하기 위해 다 경로의 커넥터가 필요하게 될 것이다.

4. 광 커플러(Optical Coupler)

광 커플러는 일반적으로 tree coupler와 star coupler의 두가지 종류가 있는데 tree coupler는 한 광 채널을 다중의 광 채널로 분배하고, 다중의 광 채널을 한 광 채널로 합류시키는 역할을 한다. Tree coupler의 모든 출력단들의 광 전력은 동일하고 1:N의 입출력 특성을 갖고 있어 대부분의 tree coupler는 양방향성이며 광 전력 분배기 또는 결합기로 사용된다. 여기서 1은 입력단이고, N은 출력단의 수이다. Star coupler는 일반적으로 입력단의 수와 출력단의

수가 같은 N×N의 구조와 M×N의 구조를 갖는다. 여기서 N은 2보다 크고 M은 1-N 사이의 수이다. 따라서 광 커플러는 광 통신 시스템내에 실장되는 외에 전송로 감시, 계측기용, LAN 등에 사용된다.

VI. 결 론

본 고에서는 광소자의 종류에 따른 최근 기술 동향에 대해서 기술하였다. 아직은 광소자가 전자소자만큼 다양하고, 표준화되어 상용되고 있지는 않지만 머지않아 전자소자가 함께 널리 사용될 것으로 예상된다. 특히 레이저 다이오드 재료, 구조, 공정부분에서 성능 향상을 위해 연구중이고, 광전자 집적회로는 집적되는 소자와 집적도가 증가되어 전자소자처럼 표준화된 소자가 상용화될 것으로 예상된다. 광 교환 소자는 LiNbO<sub>3</sub>를 사용한 광 매트릭스 교환소자와 SEED를 사용한 광 기억소자가 지금 활발히 연구되고 있는데 이들 소자는 앞으로 통신, 컴퓨터의 핵심 부분

에 전자소자를 대체해서 사용될 것으로 예상된다.

끝으로, 광소자는 전자소자와는 달리 제조 공정이 복잡하고 또한 전자소자처럼 범용으로 쓰이지 않고, 소자 개발에 축적된 기술이 필요하고 비용도 많이 드나 광 소자 제작 및 응용기술은 차세대에 핵심 기술이 될 것이 틀림없기 때문에 이 분야에 많은 관심이 필요하다.

### 參 考 文 獻


- [1] M.R. Matthews, K.H. Cameron, R. Wyatt, and W.J. Devlin, "Packaged frequency-stable tunable 20KHz linewidth 1.5 $\mu$ m InGaAsP external cavity laser," *Elect. Lett.*, vol. 21, pp. 113-115, 1985.
- [2] Fujii, T., Yamakoshi, S., Wada, O. and S. Hiyamizu, "Extremely high-quality GaAs-AlGaAs GRIN-SCH with a superlattice buffer laser by MBE for OEIC Applications," Extended Abstract, 16th Conf. State Devices and Materials, Kobe, pp. 145-148, 1984.
- [3] Tsang et. al., "Ultra-low threshold graded-index waveguide separate confinement on buried-heterostructure lasers," *Elect. Lett.*, vol. 18, pp. 845-847, 1982.
- [4] L.N. Walpole and E.C. Liaw, "Monolithic 2-D arrays of high power GaAlAsP/InP surface-emitting lasers," Presented at 26th Conference on Lasers and Electro-optics, TUB2, Sanfrancisco, 1986.
- [5] S. Uchiyama and K. Iga, "Two dimensional arrays of improved InGaAsP/InP surface emitting lasers," presented at 25th Conference on Lasers and Electro-optics, TUB2, Sanfrancisco, 1986.
- [6] R.S. Tucker, A.J. Tayler, C.A. Burrus, G. Eisenstein and J.M. Weisenfeld, "Coaxially mounted 67 GHz bandwidth InGaAsP pin photodiodes," *Elect. Lett.*, vol. 22, pp. 917-918, 1986.
- [7] F. Capasso, "Lightwave Communication Technology (W.T. Tsang, Ed), " Semiconductors and semimetals," vol. 22, ch. 1 p. 166, Academic Press, New York, 1985.
- [8] H. Inoue, K. Hiruman, K. Isida, T. Asia, and H. Matsumura. "Low loss GaAs optical waveguides," *IEEE Jour. Lightwave Tech.*, vol. LT-3, pp. 1270-1276, 1985.
- [9] S. Somekh, A. Yariv, *Fiber Optic Communications, Proc. Conf. International Telemetry, Losangeles.*, pp. 407-418, 1972.
- [10] Goodwin et. al., "Optical interconnections for VLSI systems," *IEEE*, vol. 72, pp. 850-866, 1984.
- [11] Carney et. al., "Monolithic optoelectronic/electronic circuits," GaAs IC symposium, pp. 38-41, 1982.
- [12] Matsueda et. al., "Integration of a laser diode and a twin FET," *Jpn. J. Apply. Phys.*, vol. 20, pp. 193-197, 1981.
- [13] Nakano et. al., "Monolithic integration of laser diodes, photo-monitors, and laser diving and monitoring circuits on semi-insulating GaAs," *J. Lightwave Tech.*, vol. LT-4, pp. 574-582, 1986.
- [14] Fukuzawa et. al., "Monolithic integration of a GaAlAs injection laser with a Schottky-gate field effect transistor," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 36, pp. 181-183, 1980.
- [15] Ury et. al., "A metal semiconductors field effect transistor," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 34, pp. 430-431, 1982.
- [16] Koren et. al., "Monolithic integration of an InGaAsP/InP laser diode with heterojunction bipolar transistors," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 45, pp. 191-193, 1982.
- [18] Wada et. al., "Monolithic integration of an AlGaAs/CaAs DH LED with a GaAs FET driver," *IEEE Electron Devices Lett.*, vol. EDL-3, pp. 305-307, 1982.
- [19] Sana a et. al., (1984). Monolithic integration of an AlGaAs/GaAs multiquantum well laser and GaAs metal-semiconductor field-effect transistor on a semi-insulating GaAs substrate by a molecular beam epitaxy. *Appl. Phys. Lett.*, vol. 44, pp. 325-327.
- [20] Matsueda et. al., "Integration of optical devices with electronic circuits for high speed communications," *Inst. Phys. Conf. Ser.*, no. 79, ch. 12, Int. Symp. GaAs and Related Compound, Kaurizawa, Jpn., 1985.
- [21] Sanada et. al., "Monolithic integration of a low threshold current quantum well laser and a driver circuit on a GaAs substrate," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 46, pp. 226-228, 1985.

- [22] Ohta et. al., "Monolithic integration of a transverse junction stripe laser and metal semiconductor field effect transistors on a semi-insulating GaAs substrate," Tech. Digest, The first Optoelectronics Conference (OEC'86) Tokyo, A7-2, 1986.
- [23] Wada et. al., "AlGaAs/GaAs p-i-n photodiode/preamplifier monolithic photoreceiver integrated on a semi-insulating GaAs substrate," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 46, pp. 981-983, 1985..
- [24] Wada et. al., "Monolithic four channel photodiode/amplifier array integrated on a semi-insulating GaAs substrate," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 46, pp. 981-983, 1985.
- [25] Lee et. al., "Monolithic GaAs photoreceiver for high-speed signal processing application," *Elect. Lett.*, vol. 22, pp. 147-148, 1986.
- [26] J.F. Ewen, IOOC '89, vol. 3, p. 204, 1989.
- [27] Kasahara et. al., "Monolithically integrated InGaAs/InP-MISFET photoreceiver," *Elect. Lett.*, vol. 20, pp. 314-315, 1984.
- [28] Kasahara et. al., "Monolithically integrated high speed light source using  $1.3\mu\text{m}$  wavelength DFB-DC-PBH lasers," Tech. Digest IOOC-EOOC'85, Venetia, pp. 295-297, 1985.
- [29] Inomotozui, "High performance InGaAsP/InP LD-HBTs light source OEIC," Tech. Digest, The first Optoelectronics Conference (OEC'86) Tokyo, A6-4, 1986.
- [30] A. Suzuki, ECOC '87, vol. 3, p. 37, 1987.
- [31] N. Suzuki, *Elect. Lett.*, vol. 24, p. 467, 1988.
- [32] Y.H. Lo, *Elect. Lett.*, vol. 25, p. 666, 1989.
- [33] Suzuki, A., Kasahara, K., Fujita, S., Inomoto, Y., Terakado, M. "Long wavelength high speed transmitter-receiver OEIC," Tech. Digest, Optical and Quantum Electronics Meeting, OQE86-14, pp. 101-108, 1986.
- [34] Wake, D., Scott, E.G., and Henning, I.D. "Monolithically integrated InGaAs/InP PIN-JFET photoreceiver," *Elect. Lett.*, vol. 22, pp. 719-721, 1986.
- [35] Ohnaka, K., Inoue, K., Uno, T., Hasegawa, K., Hase, N., and Serizawa, H. "A planar InGaAs PIN/JFET fiber-optic detector," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-21, pp. 1236-1239, 1985.
- [36] H. Nobuahra, Fujitsu, *Elect. Lett.*, vol. 24, p. 1246, 1988.
- [37] G. Sasaki, Sumitomo, *Electron. Lett.*, vol. 24, p. 1201, 1988.
- [38] J. Shimizu, IOOC '89, vol. 3, p. 206, 1989.
- [39] L. Yang, *IEEE Photon. Tech. Lett.*, vol. 2, p. 59, 1990.
- [40] M. Sakaguchi, K. Kaede. "Optical switching device technologies," *IEEE Communication Magazine*, vol. 25, no. 5, pp. 27-32, May 1987.
- [41] H. Okayama, T. Ushikbo, T. Ishida. "Low Drive Voltage Directional Coupler Optical Switch with Reduced Voltage Length Product." International Topical Meeting on Photonic Switching, pp. 113-115, April 12-14, 1990.
- [42] S. Suzuki, M. Nisio. "Photonic Space Division Switching Systems for Broadband Services," XIII ISS., vol. 1, pp. 153-158, 1990.
- [43] H. Yamamoto, M. Asada, Y. Sematsu, "Intersectional waveguide type optical switch with quantum well structure," *Trans. of IECE of Japan*, vol. E68, pp. 737-739, 1985.
- [44] Y. Okikawa, T. Iwama, K. Yamaguchi, T. Horimatsu, H. Hamaguchi. "4x4 GaAs OEIC Switch Module." 1984 National Conference on Optical and Radio Wave Electronics, IECE of Japan. p. 284, 1984.
- [45] M. Fujiwara, A. Ajisawa, T. Sawano, Y. Ohta. "Optical Branch Repeater Gates Type Matrix Switches." 1084 National Conference on Optical and Radio Wave Electronics, IECE of Japan, p. S5-1, 1984.
- [46] N.A. Olsson, W.T. Tsang. "An optical switching and system using frequency tunable cleaved-coupled-cavity semiconductor lasers." *IEEE Jour. Quantum Electron.*, vol. QE-20, pp. 332-334, 1984.
- [47] S. Murata, I. Mito, K. Kobayashi, "Spectral Characteristics of  $1.5\mu\text{m}$  DBR DC-PBH Laser with Frequency Tuning Region." Presented at 10th IEEE International Semiconductor Laser Conference. B-3, Kanazawa, Japan, 1986.
- [48] T. Terakado, A. Suzuki, "Optical Filter

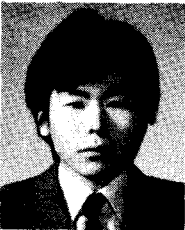
Using DFB-LD," 1984 National Conference on Optical and Radio Wave Electronics, IECE of Japan, p. 326, 1984.

- [49] T/ Kinoshita, K. Sano, E. Yoneda. "Tunable 8-channel wavelength multiplexer using an acoust-optic light deflector." *Elect. Lett.*, vol. 22, pp. 669-670, 1986.
- [50] "Advanced Products Data Sheet," British Telecom and Dupont.
- [51] Antony L. Lentine, H. Scott Hinton., "Symmetric self-electro optic effect device: optical set-reset latch, differential logic gate, and differential modulator/

detector." *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 25, no. 8, pp. 1928-1936, Aug. 1989.

- [52] Y. Odagiri, K. Komatsu, S. Suzuki. "Bistable Laer-Diode Memory for Optical Time-Division Switching Applications," Presented at Conference on Lasers and Electro Optics, THJ3, Anaheim. CA, 1984.
- [53] J. Kouya Komatsu. "Technical trend in optical connector development," *Journal of Electronic Engineering*, vol. 27, no. 285, pp. 45-47, Sep. 1990. 

筆者紹介



李 範 哲  
 1957年 8月 16日生  
 1981年 2月 경희대학교 전자  
 공학과 졸업(학사)  
 1983年 9月 연세대학교 대학원  
 전자공학과 졸업(석사)

현재 한국전자통신연구소 TDX 개발단 교환회로 개발실 선임연구원



鄭 基 雄  
 1960年 12月 1日生  
 1988年 2月 광운대학교 전기재료과  
 졸업(학사)  
 1990年 2月 광운대학교 대학원  
 전자재료과 졸업(석사)

현재 한국전자통신연구소 TDX 개발단 교환회로 개발실 연구원



李 慶 哲  
 1961年 9月 18日生  
 1985年 2月 광운대학교 전자통신과  
 졸업(학사)  
 1987年 2月 광운대학교 대학원  
 전기통신과 졸업(석사)

현재 한국전자통신연구소 TDX 개발단 교환회로 개발실 연구원