

## 소 특 집

# 반도체 광 송수신 소자기술 및 동향

편 광 의

(주) 옵토\*온

## I. 서 론

광 통신에 이용하는 반도체 광 소자는 그 종류가 매우 다양하나, 여기에서는 반도체를 이용한 장과장 용(1,100~1,600nm) 광 송수신 소자에 한정하기로 한다. 일반적으로 반도체를 이용한 광 송수신 소자는 레이저 다이오드(Laser Diode: LD), 포토 다이오드(Photo Diode: PD)가 대표적이며, LD는 Fabry Perot, DFB(Distributed Feed Back)로 구분하고 PD는 PiN, APD(Avalanche Photo Diode)로 구분한다. 이러한 광 소자를 구현하기 위해서는 실리콘 반도체보다 물질특성이 광에 적합한 화합물반도체인 InP를 주로 사용하며, GaAs를 사용하는 경우도 있다. 현재의 광 통신은 완전한 전광(All Optical)방식이 아닌, 광전 또는 전광변환에 의한 통신이며, 인터넷 등의 traffic 증가에 따른 통신망의 고속 및 대용량화 추세에 따라, 관련 광 소자 및 전자소자가 고속화 되고 있다. 현재 완전히 상용화되었다고 할 수는 없지만, 40Gbps 급으로 동작하는 광 소자 및 전자소자가 일반화되고 있으며, 이에 따라 통신망의 전송용량도 Tbps 급으로 대용량화 되고 있다. 그러나, 근래에 세계경기의 침체에 따라 이러한 고속화 경향은 다소 느려지고 있다. 반도체 광 소자는 기간 통신망에도 중요하지만, 광 통신의 활성화를 위해 가입자 망에서의 역할도 중요하게 된다. 근래에 전반적인 경기의 위축에도 불구하고 일본 등에서는 NTT 주도로 FTTH를 목표로 하여 e-Japan 프로젝트를 추진하고 있으며, 여기에서도 광 송수신 소

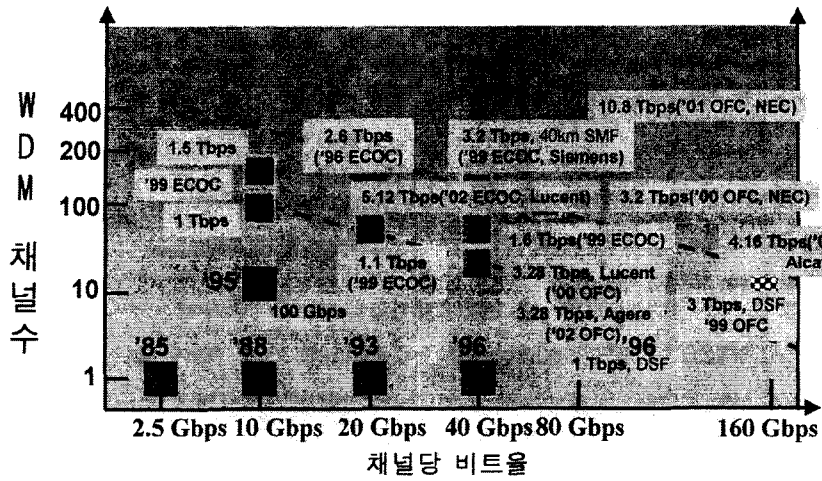
자의 역할은 절대적이며, 이 경우에는 광 소자의 cost-down이 FTTH 확산에 가장 중요한 요소로 인식되고 있다. 따라서, 이러한 광 소자의 저가화를 위한 개발이 관련기업에게는 가장 중요한 issue가 되고 있다. 여기에서는 광통신 망의 고속, 대용량화 경향 및 이에 따른 광 송수신 소자 및 전자소자의 개발동향을 살펴보고, 최근 관심이 집중되고 있는 관련 시장에 관해 간략히 살펴보기로 한다.

## II. 소자 기술동향

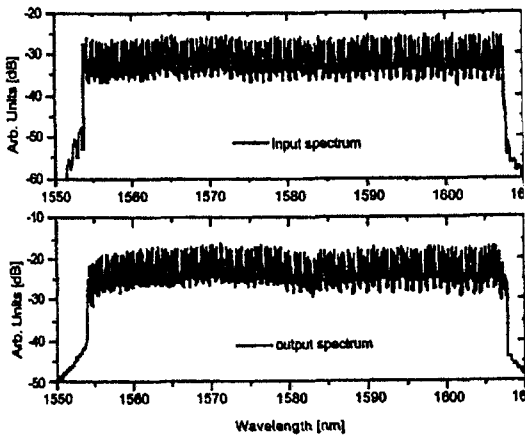
〈그림 1〉은 고속 및 대용량화 추세를 보여주는 시스템 개발사들의 전송시험 결과이다.<sup>[1][2]</sup> 주로 고속 시스템을 생산하고 있는 Alcatel, Lucent, Agere, NEC 등이 기술개발을 선도하고 있으며, 연도에 따른 전체 전송용량의 증가 추세는 다소 주춤하고 있음을 알 수 있다.

〈그림 2〉는 이 중, 2002년 ECOC에서 Lucent가 발표한 Raman 증폭기를 이용하여 5.12 Tbps(128×42.7Gbps)의 전송 속도로 1,280 Km를 전송한 후의 입력과 출력 spectrum의 비교 결과이고, 〈그림 3〉은 각 channel 별로 측정된 BER과 OSNR의 측정 결과이다. BER을 수정(error coerection)했을 경우,  $10^{-14}$ ~ $10^{-16}$ 의 수준을 보여준다.

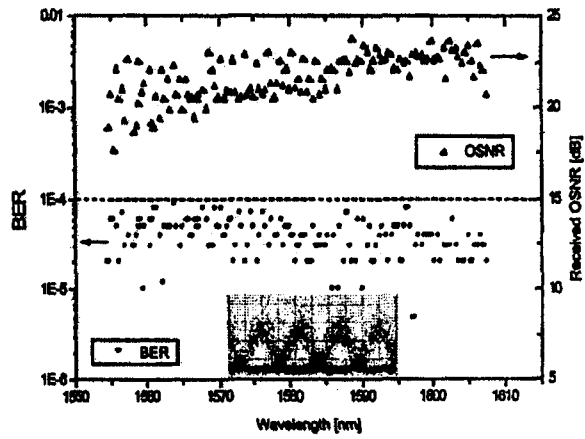
이러한 광 통신 시스템에 사용하는 반도체 광 소자는 단순한 bare chip 보다는, 모듈의 형태로 제작 사용하며, 모듈의 패키지 형태는 다양한 형



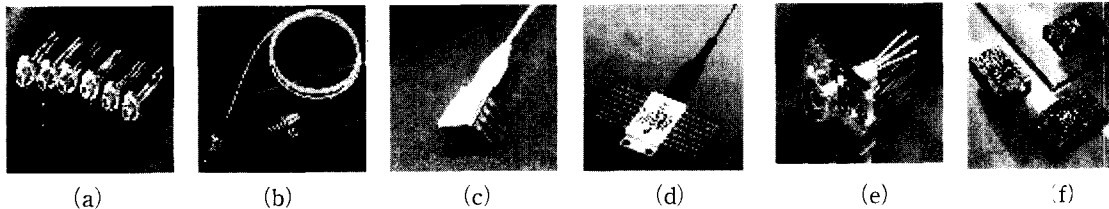
〈그림 1〉 광 통신시스템 전송시험 결과



〈그림 2〉 전송 후의 입출력 spectrum



〈그림 3〉 각 channel의 BER 및 OSNR



- (a) TO package with cap,
- (b) Coaxial module,
- (c) Mini-DIL module,
- (d) Butterfly module,
- (e) Receptacle module,
- (f) 1×9 duplex transceiver

〈그림 4〉 광 소자의 패키지

태가 있으나, 일반적인 형태는 <그림 4>와 같다.<sup>[3]</sup>

이 중 TO package를 광 모듈 제작 시, 가장 기본적으로 사용하며, mini-DIL이나 butterfly 패키지의 경우에는 bare chip을 일반적으로 사용하고 있으며, Gbps급의 고속 소자용 패키지로 사용한다. 상기한 패키지 이 외에도 가입자 용으로 많이 사용하는 패키지로는 2×5 SFF(Small Form Factor), SFP(Small Form factor Plug) 등이 있다. <표 1>은 광 모듈을 사용하는 SMF 광 통신용 band를 나타낸 것이다. 일반적인 수신소자는 이러한 전 band에서 사용할 수

<표 1> 광 통신 band

Band 명칭	파장 (nm)
O(Original) band	1260-1360
E(Extended) band	1360-1460
S(Short) band	1460-1530
C(Conventional) band	1530-1565
L(Long) band	1565-1625
U(Ultra-long) band	1625-1675

있으며, 현재 가장 일반적으로 사용하는 band는 O, C band이다.

<표 2> 광 소자 개발현황

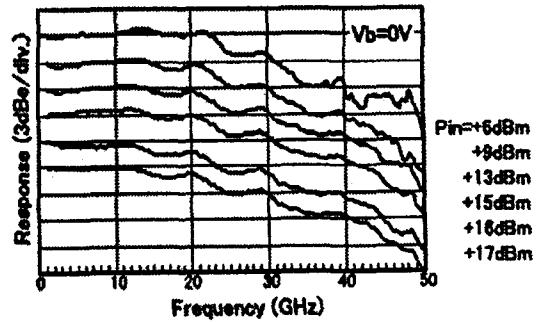
소 자	개발기관	비 고
Tunable Laser	Intune : setup time 13 μs/custom made(ECOC 2001)	아일랜드
	Agility : C-band/40 nm/4 mW (ECOC 2001)	미국
	Agility : C-band/40nm/10mW (OFC 2002)	
	Marconi : 10 Gbps with integrated GaAs MZ/35 nm/1 mW (ECOC 2001)	영국
	Beam express : C-band/38 nm/1 mW (ECOC 2002)	스위스
	Bandwidth9 : VCSEL/MEMS/28 nm/-6 dBm (ECOC 2001)	미국
Laser Module	JDS Uniphase : 10 nm/10 mW (OFC 2001)	미국
	Multiplex : EML/10 Gbps/1~3 mW/O, C-band (ECOC 2001)	미국
	Opto Speed : 1550 nm/FP, DFB/10 Gbps (ECOC 2001)	스위스
	Agere : 10 Gbps (OFC 2001)	미국
	Alcatel : 10 Gbps (OFC 2001)	프랑스
	Mitsubishi : 10 Gbps (ECOC 2001)	일본
	VertiLas GmbH : 1550 nm/VCSEL/0.73 mW @RT (ECOC 2002)	독일
	Nortel : 10 Gbps (OFC, ECOC 2001)	캐나다
	NEL : 10 Gbps (OFC, ECOC 2001)	일본
	Sumitomo : 10 Gbps with LD driver (ECOC 2002)	일본
Samsung : 10 Gbps/1300 nm/2 dBm (ECOC 2002)	한국	
Receiver Module	Opto Speed : 40 Gbps/monolithic (ECOC 2001)	스위스
	Mitsubishi : PD, APD/10 Gbps (ECOC 2001)	일본
	NEL : 50 GHz/0.7 A/W (ECOC 2001)	일본
	Marconi : 40 Gbps (ECOC 2001)	영국
	NEC : 40 Gbps WG-APD/-19 dBm (ECOC 2002)	일본
	Hitachi : 10 Gbps APD (ECOC 2002)	일본
	Univ., of Texas : 28 GHz/WG-APD (OFC 2002)	미국

반도체 광 송수신 소자로서, 현재 관심을 끌고 있는 송신소자는 tunable laser, fixed laser와 장 파장용 VCSEL이 있으며, 수신소자로는 PiN PD와 APD가 있다. 이 외에 이러한 광 소자를 구동하기 위한 전자소자가 필요하게 된다. 이러한 광 송수신 소자를 평가하기 위한 기술 척도로는 동작전압 및 속도, 출력, 파장가변 범위, 수신 감도 및 집적도 등이 있으며 <표 2>에 2001~2002년 OFC 및 ECOC에서 발표된 주요 관련 소자들을 정리하였다.<sup>[12]</sup>

이러한 광 소자 개발현황을 보면, 국내에서는 유일하게 삼성이 발표하고 있고, 일본, 유럽 및 미국의 기업이 개발을 주도하고 있다. 40 Gbps급 소자도 가끔 발표는 되고 있으나, 아직은 10 Gbps급 송신소자가 가장 실용성 있는 고속소자로 판단된다. 40 Gbps급 소자가 상용화되기 위해서는 비선형 효과와 더불어, OSNR, 색 분산 및 PMD 등의 문제가 선결되어야 할 것으로 보인다. 송신 측 소자로는, laser module과 함께 중요한 소자인 modulator가 있으며, 40 Gbps급의 반도체 modulator가 개발되고 있다. <그림 5>와 <그림 6>은 Mitsubishi에서 발표한 40 Gbps급의 반도체 EA modulator의 주파수 특성 및 BER 특성이다. 반도체 modulator외에도 장거리 전송 시, chirp등의 특성이 우수한 3 V의 저전압으로 동작하는 40 Gbps급의 LiNbO<sub>3</sub> modulator가 발표되고 있으며, 40 Gbps급의 BER 특성은 <그림 7>과 같다.

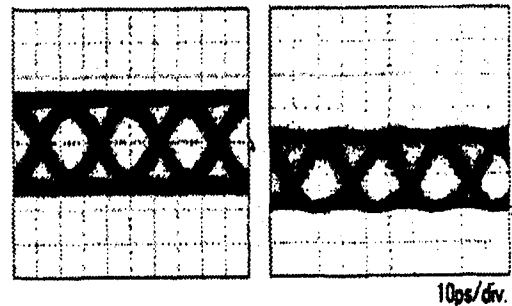
이러한 고속 송수신 소자와 함께 사용하는 전자소자에 대한 개발도 진행되고 있으며, 이의 개발에 사용하는 반도체 소자기술은 다음과 같다. <그림 8>

고속전자 소자용 반도체 소자기술은, MOS와 Bipolar 기술로 대별되며 제조한 소자의 동작속도는 design rule과 사용하는 반도체 물질에 의해서 결정된다. 실리콘 CMOS 기술이 가장 잘 발달한 기술이지만 0.13 μm 정도의 rule을 적용해도 10 Gbps급의 전자소자를 제작하는 것은 어려울 것으로 판단되며, 40 Gbps급의 전자소자를 제조하기 위해서는 현재 InP를 이용한 HBT,



<그림 5> 반도체 modulator f 특성

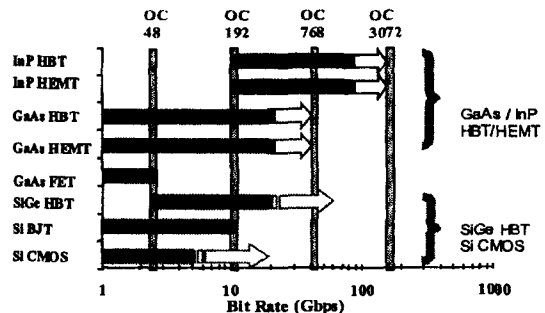
(a) driver waveform (b) EAM optical waveform



<그림 6> 반도체 modulator BER 특성



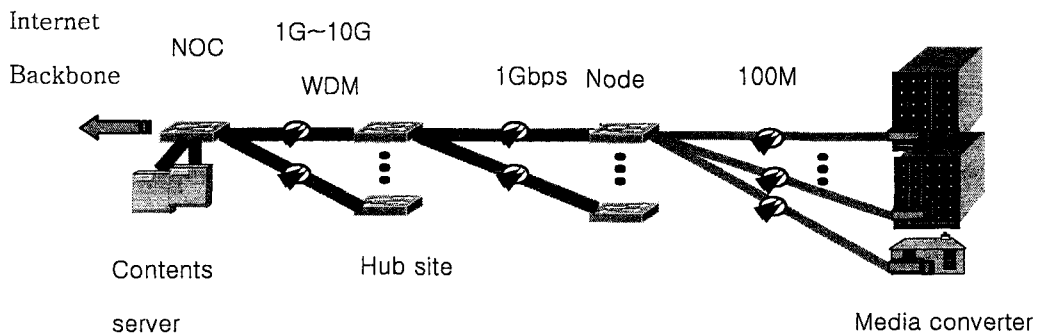
<그림 7> LiNbO<sub>3</sub> modulator의 BER 특성



<그림 8> 고속 전자소자 용 소자기술

〈표 3〉 전자소자 개발현황

소 자	개발기관	비 고
GaAs p-HEMT	Multilink Tech., GmbH : 43 Gbps modulator driver (ECOC 2002)	독일
	TriQuint : 40 Gbps driver (OFC 2002)	미국
SiGe HBT	Multilink Tech., GmbH : 50 Gbps 4 : 1 Mux, deMux	독일
	Sierra Monolithics : 40 Gbps TIA (OFC 2002)	미국
	Univ., of California : 80 Gbps MS latch (ECOC 2002)	미국



〈그림 9〉 일본의 FTTH 서비스

HEMT 기술이 가장 유력한 것으로 보인다. 이러한 기술 중, 가장 경쟁력이 있는 기술로는 실리콘 기술과 화합물 기술이 융합된 SiGe HBT 기술로 판단된다.

〈표 3〉에 2001~2002년 OFC 및 ECOC에서 발표된 주요 전자 소자들을 정리하였다.<sup>[1][2]</sup>

간략하게, 중요한 학회인 OFC, ECOC에서 발표된 2년 동안의 관련 기술현황을 검토한 결과 그다지 빠른 발전속도를 보이지 않고 있으며 최근의 경제상황과도 연관이 있는 것으로 보인다. 고속 소자 외에도, 실제 시장에서는 가입자 계에 가까운 광 송수신 모듈의 개발은 상당히 중요한 문제이다. 현재 시장이 침체되어 있는 상황이기 때문에 관련 광 소자 모듈의 cost-down을 하기 위해서는 상당히 고 난도의 기술이 요구된다. 현재, 저속모듈 관련시장으로는 NTT가 주도하고 있는 일본의 e-Japan project가 있다. 이는 2005년 까지, 4,400만 가입자의 40% 정도의 가입자에게 30~100 Mbps의 고속 access 서비스

를 제공하는 project이며, 현재 진행 중에 있는 project이다. 이러한 서비스의 개념도는 〈그림 9〉와 같으며<sup>[4]</sup> media converter를 제작 시 100 Mbps급 1.3 μm 및 1.5 μm의 양 방향 광 송수신 모듈이 필요하다. 이와 관련하여 일본의 전신 전화기술위원회에서 2002년 5월 23일 TS-1000 사양서를 release하였다.<sup>[5]</sup>

주요 사양으로는 관련 광 모듈의 속도, 파장 및 관련 protocol에 대한 정의이다. 속도는 최소 125 Mbps 이상이고, single fiber를 사용하는 WDM 방식이다. 가입자 용은 기술을 만족하면서, 저가의 제품이 필요하기 때문에 여러 가지 기술을 응용하고 있으며, 특히 광 모듈의 가격구성이 60% 이상을 차지하므로, cube형의 방식 외에 PLC(Planar Light wave Circuit) 기술을 적용하고 있다. 이 기술은 대량생산 시, 기존 방식에 비하여 단가를 대폭 낮출 수 있을 것으로 판단된다. 이 기술은 일본 측의 기술개발이 우세하며, 다음과 같은 장점을 갖고 있다.<sup>[6]</sup> 첫째,

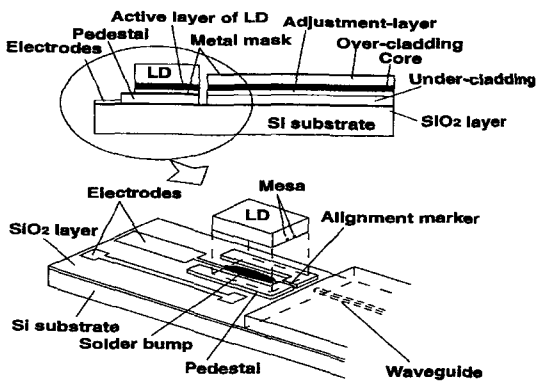
PLC platform 기술이다. 광과 전자소자를 함께 집적할 수 있는 platform 제작기술 개발이 필요하며, 칩의 mount 뿐만 아니라, 고주파 도파로를 함께 형성할 수 있는 platform 개발이 필요하다. 패키징 기술로는 칩을 기판에 직접 부착할 수 있는 solder-bump 기술이 필요하다.

둘째, 출력 빔의 모양을 변환 할 수 있는 반도체 소자의 개발이 필요하다. 이러한 기술은 반도체와 도파로 또는 광 섬유와 결합 시의 손실을 줄이기 위하여 대단히 중요하다. 즉 SS(Spot size converted Semiconductor) 레이저 다이오드, SOA 등의 개발이 필요하며 이는 광의 손실과 패키징 시의 허용오차를 넓힐 수 있다.

셋째, 멀티-칩 본딩 기술 개발이 필요하다. 멀티-칩을 집적하기 위해서는 두 가지 assemble 기술이 중요하며, 즉 칩을 정렬하여 PLC 위에 놓는 기술과 이러한 칩을 Solder-bump 공정을 이용하여 PLC에 본딩하는 기술이다. 이러한 기술의 정렬오차는 현재 +/-1um 정도이다.

넷째, 단일 Platform을 사용하여 여러 기능의 모듈을 집적하여 대규모의 기능모듈을 개발 시 필요한 모듈간의 직접 부착기술의 개발이다. 이 기술은 각각 제작한 PLC를 부착하여 더 큰 기능의 모듈을 제작 시 유용한 기술이다.

<그림 10>은 Fujitsu에서 발표한 PLC platform의 구조이며, 종합적인 반도체 공정 및 solder bump 기술을 사용하여, LD칩의 수평부분의 오차를 1µm까지 줄인 것이 특징이다.

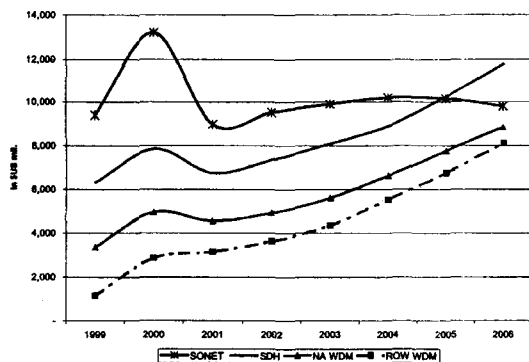


<그림 10> PLC platform 구조

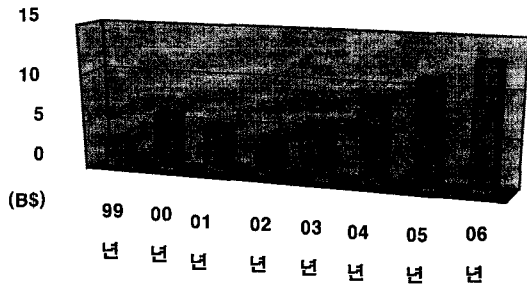
### III. 시장 동향 및 전망

1999~2000년에는 광 통신 관련시장이 가파르게 성장하여, 계속 상승세를 이어갈 것으로 전문 예측기관이나 종사자들도 기대하였으나, 현재 회복세를 보이지 않고 있다. 이는 인터넷 및 이동통신 traffic의 급격한 증가에 따른 기존 및 신규 통신사업자의 치열한 경쟁으로 인한 땅의 설비 확충에 원인이 있으며, 투자결과는 다른 경제 불안요인과 맞물려 기대 이하의 실적을 보였고 이는 신규 사업자의 도산 및 기존 사업자의 보수적인 경영으로 나타났다. 이에 따라, 관련 광 부품 시장도 동반하여 하강 세를 보였고 부품가격의 급락에 따라 시장규모가 축소되는 양상으로 전개되었다. 이러한 경향에 따라, 전 기술영역, 즉 고속 및 저속 소자를 막론하고 수 년 전에 비해 20~30% 대의 가격을 유지하고 있으며, 특히 가입자 분야는 더욱 이러한 경향이 가속되고 있는 실정이다. 그러나, 최근 들어 metro 시장의 성장가능성 및 WDM 방식의 성장에 따라 2003년부터는 시스템 및 광 부품의 시장회복세를 예측하는 자료들이 발표되고 있다. <그림 11>과 <그림 12>는 각각 시스템 및 부품의 시장 동향을 예측한 자료이다.<sup>17)</sup>

<그림 11>을 보면, 2003년 하반기부터 완만한 상승세를 예측하고 있으며, SONET 시스템보다는 상대적으로 SDH 및 WDM 시스템의 성장세



<그림 11> 광 통신 시스템 시장동향



Fiber Optics Vol.22, No.4, 2002.1.25.

〈그림 12〉 광 부품 시장동향

가 클 것으로 예측하고 있다. 이러한 시스템의 추세에 따라 관련 부품의 시장 추세도 〈그림 12〉와 같이 동반 상승하는 경향을 보이고 있다. 그러나, 이러한 추세를 검증할 만한 징후는 아직 나타나고 있지 않다.

#### IV. 결 론

반도체 광 송수신 소자기술에 대한 현황을 정리하면 다음과 같이 생각된다.

첫째, 통신 시스템 사업자의 고속 광통신 시스템에 대한 투자가 보수적으로 변화한 것으로 보이며.

둘째, 이에 따라, 신규 사업자와 기존 사업자의 기술력 격차가 더욱 벌어질 것으로 보인다.

셋째, 따라서 시스템 및 광 부품 시장규모도 약세를 보이며, 특히 기간 망 등의 고속 분야는 가입자 분야에 비해 상대적으로 더욱 열세로 판단된다.

넷째, 시스템 및 부품의 전 분야에서, cost-down(패키징 기술)이 가장 중요한 경쟁력의 관건이 되고 있으며, 특히 가입자 분야에서는 더욱 그러하다.

다섯째, 관련 시장의 완만한 회복세에 대해, 2003년 하반기 또는 2004년으로 관련 기관들이 예측 함.

#### 참 고 문 헌

- [1] OFC 2002, Technical Digest, Mar., 2002, Anaheim CA
- [2] ECOC 2002, Proceedings, Sep., 2002, Copenhagen, Denmark
- [3] 제1회 광통신 부품기술 워크샵, pp.206-209, 2001. 11. 광주
- [4] 한국전자통신연구원 자료, 2002. 8.
- [5] 광 가입자선 interface/100 Mbps 일심 WDM 방식, pp. 6-15, 일본 TTC, 2002. 5.
- [6] SSDM Technical Digest, 1999
- [7] Optical and Core Infrastructure Markets, pp.12-25, Probe Research, 2001

#### 저 자 소 개



片 廣 毅

1990년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과(박사), 1982년 3월~1984년 5월: 해군사관학교 교수 부 전자공학과, 1984년 6월~2001년 5월: 한국전자통신연구원, 실장, 부장, 팀장 2001년 6월~현재: (주) 옵토\*온 대표이사, <주관심 분야: 광 통신용 반도체 광 소자>