

# WDM-PON 광부품 기술동향

Technical Trends of Optical Components for WDM-PON

스마트 & 그린 융합부품소재기술 특집

정종술 (J.S. Jeong) 차세대LED연구팀 선임연구원  
권오균 (O.K. Kwon) 차세대LED연구팀 팀장

## 목 차

- .....
- I . 서론
  - II . 기술동향
  - III . 결론

스마트폰, IPTV, 클라우드 서비스 등의 새로운 서비스 등장으로 유발된 데이터 통신량의 폭주는 초고속/대용량 차세대 액세스 네트워크 구현을 필요로 하고 있다. 본고에서는 차세대 액세스 네트워크 방식에서 가장 유력한 후보인 WDM-PON 구현을 위한 주요 광부품인 AWG, 비주입형 광송신기 광원, 주입형 광송신기 광원에 대한 발전 현황을 기술하였다. 광부품 기술의 발전 방향은 시장 경쟁력 강화를 위한 저가화, 대단위 포설을 대비한 소형화, 네트워크의 소비 전력 폭주를 대처하는 저전력화 등으로 요약된다.

## I. 서론

파장분할 다중방식 수동형 광네트워크(WDM-PON) 기술은 초고속/대용량 광인터넷 서비스를 제공할 수 있는 차세대 액세스 네트워크로서 스마트폰, IPTV, 클라우드 컴퓨팅 등의 신개념 서비스로 인하여 (그림 1)에서와 같이 매년 10배 정도 폭주할 것으로 전망되는 데이터 통신량을 수용할 수 있는 가장 유망한 기술로 인지되고 있다[1],[2]. WDM-PON 방식은 서로 다른 파장을 갖는 다수의 광신호를 하나의 광섬유를 통해 전송하는 방식이다. WDM-PON 시스템의 구성은 중앙기지국(CO)의 광회선 종단 장치(OLT)와 광가입자 장치(ONU), 그리고 OLT 장치와 ONU 장치들을 연결하는 광 분배망으로 이루어진다. 광 분배망은 광가입자들의 인접 지역에 광다중/역다중화기가 포함되는 원격 노드(RN)를 설치하고 CO와 RN 사이를 단일 광섬유로 연결한 이후에 RN과 ONU 장치들 사이를 광섬유로 연결하는 성형 구조를 갖는다.

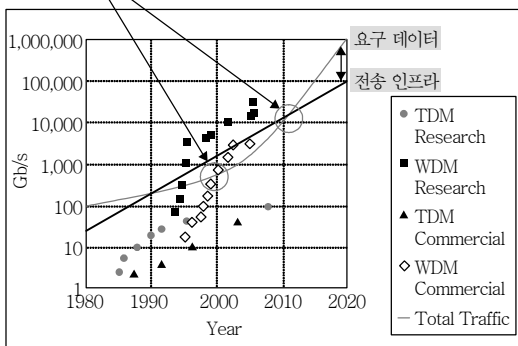
가장 보편적인 WDM-PON 구조는 상향 신호와 하향 신호가 서로 다른 파장 대역을 사용하는 파장-대역 분리형 방식을 채택하고 있다. 이러한 파장-대역 분리형 방식의 WDM 네트워크 구조는 RN에 하나의 순환형 파장다중/역다중화기를 배치하고 단일 광

섬유로 OLT와 RN을 연결한 이후에 파장다중/역다중화기의 각각의 포트와 ONU를 성형 구조를 연결하는 것이 가장 대표적이다.

WDM-PON의 구현 기술은 외부 광대역 광원을 이용하여 광신호의 파장을 고정할 수 있는 주입형 WDM(seeded WDM) 방식과 외부 광원 없이 파장-가변형 광원을 이용하는 비주입형 WDM(seedless WDM) 방식으로 구분할 수 있다. 주입형 기반의 WDM 방식은 광신호의 파장을 제어하는 장치가 필요하지 않아 시스템 구현이 기술적으로 용이하고 구축 비용도 상대적으로 낮지만 광신호의 품질이 외부 광대역 광원의 잡음 특성에 크게 의존하고 상향 광신호는 광섬유에서 발생하는 Rayleigh 역산란 잡음의 영향 등이 시스템의 제약 요인으로 작용하여 전송 거리가 단축된다. 반면에 비주입형 기반의 WDM 방식은 파장-가변형 광원을 사용하므로 광신호의 파장 제어가 필요하고 구축 비용도 상대적으로 높지만 시스템 설계가 단순하고 장거리 전송이 가능하다는 장점을 제공한다. 그래서 CO 영역과 가입자 영역 간의 거리 분포에 따라 주입형 WDM 방식과 비주입형 WDM 방식이 선별적으로 포설되고 있다.

본고에서는 WDM-PON 시스템 구현을 위한 주요 광부품인 파장다중/역다중화기와 주입형 또는 비주입형 광송신기의 광원 기술에 대한 발전 현황을 기술한다

Two Special Years 2000 and 2011



(그림 1) 요구 데이터와 전송 인프라의 비교

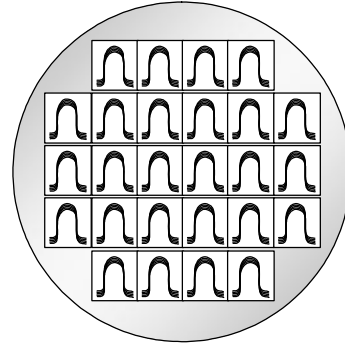
## II. 기술동향

WDM-PON 광부품 기술의 발전 방향은 시장 경쟁력을 강화하기 위한 저가화와 아울러 액세스 네트워크의 대단위 포설을 대비하기 위한 광부품의 소형화 및 집적화, 소비 전력 폭주를 대처하기 위하여 저전력화 등으로 요약될 수 있다.

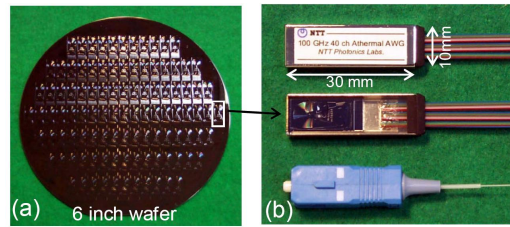
### 1. 파장다중/역다중화 광부품 기술

파장다중/역다중화기는 공간적으로 분리되어 있는 서로 다른 파장의 광신호를 단일 공간으로 모으는 기능과 단일 공간에 있는 다파장 광신호를 파장별로 공간적으로 분리하는 기능을 수행하는 광부품으로 WDM 기반의 네트워크 구현을 위한 핵심 소자이다. 현재, 파장다중/역다중화기로 가장 많이 사용되는 광소자는 광도파로 격자 소자(AWG)이다[3]. AWG는 평판형 광도파로에 구현된 광신호의 파장을 공간적으로 분할 및 결합하는 광소자로서 파장다중/역다중화기의 상용화를 촉발시키는 계기가 되었고 고밀도 파장분할다중화(DWDM) 통신 방식의 산업화를 유도하였다.

가장 많이 보급되고 있는 AWG는 광도파로의 굴절률 비율이 0.75%인 것으로 손실이 적고 패키징이 상대적으로 용이하다는 장점이 있다. 그러나 요구되는 곡률 반경이 5mm 이상으로 칩 크기가 40×20mm 정도로 되어 4인치 웨이퍼 기준 보통 4개 정도 제작된다. 이것은 AWG 칩의 가격 경쟁력을 떨어뜨리는 하나의 요인이 되고 있다. 그래서 최근에 많은 AWG 업체에서 곡률 반경을 2mm 정도로 줄일 수 있는 1.5% 굴절률 차이를 갖는 AWG를 개발하여 (그림 2)에서와 같이 웨이퍼당 칩 제작 수량을 증가시키고 있다. 반면에 1.5% AWG는 광섬유와의 결합손실이 크므로 모드-크기 변환기가 필요하고 패키징 비용도 증가한다는 단점이 있다. 하지만 AWG 칩의 단가 절감과 아울러 소형화 및 집적화가 가능하여 국사에 있는 OLT 장치의 소형화를 유도할 수 있다는 장점 등으로 AWG 업체의 선호도가 높아 2011년에 의결된 주입형 DWDM의 표준 AWG로 채택되었다[4]. 한편, (그림 3)과 같이 2008년 ECOC에서 NTT는 매우 소형화된 2.5% AWG로 제작된 30×10mm 크기의 AWG 모듈을 보



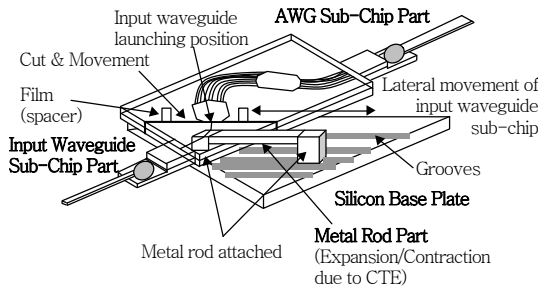
(그림 2) 1.5% AWG의 웨이퍼 배치도



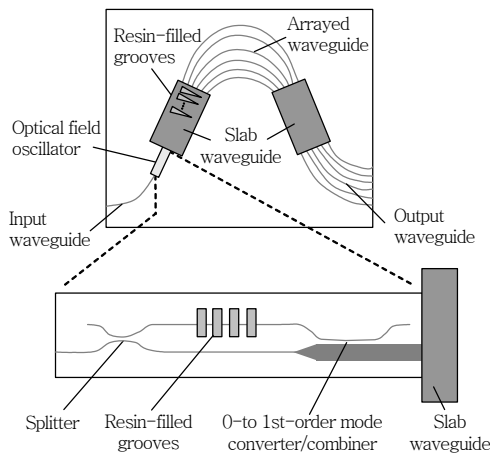
(그림 3) 2.5% AWG의 웨이퍼 배치도와 모듈

고하기도 하였다[5].

AWG가 WDM-PON 시스템에서 파장다중/역다중화기로 많이 활용되고 있는 주요 원인으로는 AWG에서 본질적으로 제공할 수 있는 파장-대역 순환(cyclic) 특성과 2000년대 초반에 상용화된 온도-무의존(athermal) 기술을 꼽을 수 있다. 온도-무의존성 AWG는 모듈의 저가화와 소형화뿐만 아니라 WDM-PON 시스템 설계를 크게 단순화하였다. 상용화된 대부분의 AWG 칩은 실리카 기반으로 제작되는데, 실리카 굴절률의 온도 의존성 때문에 AWG의 중심파장이 +0.012nm/°C 정도로 이동하는 특성이 있다. 이러한 AWG의 온도 의존성을 보상하기 위한 방안은 (그림 4)에서 나타낸 것과 같은 기구적 보상 방법(mechanical-compensation method)[6]과 (그림 5)에서 나타낸 레진-그루브 보상 방법(resin-filled groove method)[7]으로 나눌 수 있다. 기구적인 보상 방법은 시장에 보급된 온도-무의존성 AWG(ath-



(그림 4) 기구-보상형 Athermal AWG



(그림 5) 레진-그루브-보상형 Athermal AWG

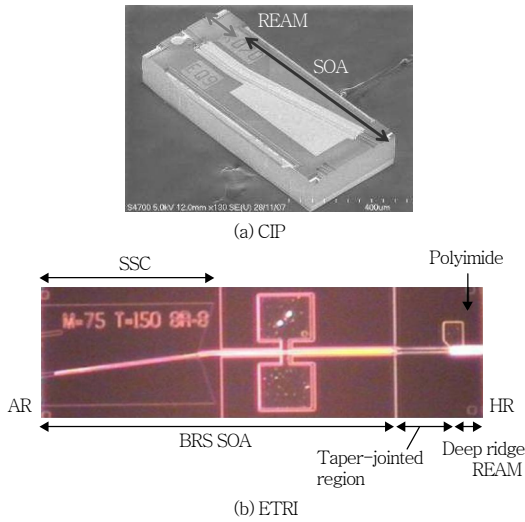
ermal AWG) 모듈에 가장 많이 채택되고 있는 방안으로서 AWG의 파장 이동 특성을 금속성 기구의 열 팽창 특성으로 보상하는 기술이다. 레진-그루브 보상 방법은 NTT에서 제안된 방법으로 굴절률 변화가 큰 실리콘-레진 등을 이용하여 광 진행 경로를 변화시켜 AWG의 파장 이동 특성을 보상하는 방법이다. 레진-그루브 보상 방법은 패키징과 AWG의 소형화 등에 유리하지만 정밀한 AWG 칩 공정 기술이 요구되는 단점이 존재한다.

## 2. 주입형 광송신기 광원 기술

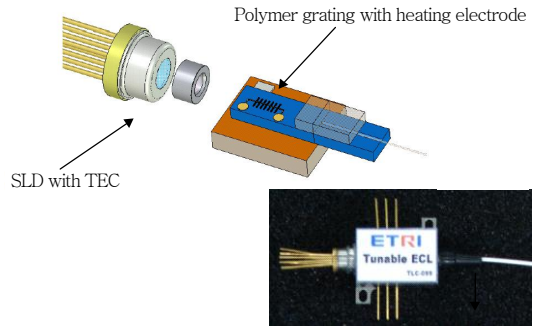
주입형 광송신기 광원은 외부 광대역 광원과 파장 다중화기를 이용하여 광신호의 파장을 고정하는 주

입형 WDM-PON 방식에서 사용되는 광원이다. 주입형 WDM-PON 방식은 ITU-T에서 2011년 12월에 표준화된 액세스 네트워크 방식으로[4], EDFA, SLED, 또는 다파장 레이저 광원 등의 광대역 광원이 CO 또는 RN에 위치하는 파장다중화기의 파장 분할 특성에 의해서 파장 분할되어 광송신기 광원으로 주입되는 방식이다. 광신호의 파장은 파장다중화기에 의해서 결정되므로 기본적으로 광송신기 광원의 파장과 파장다중화기의 채널별 중심파장은 동일하게 된다. 그러나 광대역 광원의 파장 분할로 인해서 주입 광원의 잡음이 증가하고 광송신기에서 생성되는 광신호의 품질이 외부 주입 광원의 잡음 특성에 많이 의존하게 되는 현상은 발생한다. 특히, 상향 광신호는 광섬유에서 발생하는 Rayleigh 역산란 등에 민감하게 된다[8]. 그러나 광송신기 광원의 파장을 제어할 필요가 없고 광원의 제작 공정이 단순하며 더불어 시스템 구현이 상대적으로 쉽고 구축 비용도 많이 저렴한 편이어서 액세스 네트워크 분야에서 가장 먼저 상용화와 표준화가 이루어진 WDM 방식이다.

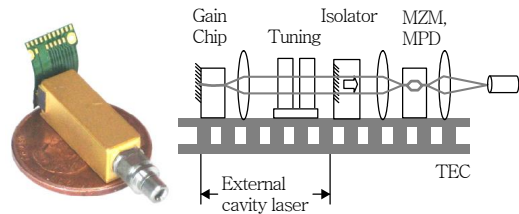
주입형 광원으로는 F-P LD, RSOA, REAM-SOA 등이 사용되고 있다. F-P LD와 RSOA는 제작 공정이 비교적 단순하여 저가화 및 집적화 측면에서 장점이 있다. 또한 외부에서 주입되는 광원을 직접 변조하면서 동시에 광신호의 파워를 증폭하고 잡음을 억제하는 장점도 제공한다[9],[10]. 하지만 직접 변조 방식에서는 이득 매질 운송자의 반응 속도가 늦어 동작 속도가 최대 2.5Gbps 정도로 제한되고 있다[11],[12]. 반면에, (그림 6)에서 나타난 바와 같이, REAM과 SOA가 단일 집적되어 있는 REAM-SOA는 외부 주입 광원의 파워 증폭은 SOA가 담당하고 주입 광원의 변조는 REAM이 담당함으로써 광송신기의 동작 속도를 10Gbps 정도로 높일 수 있게 되어 최근에 활발한 연구가 진행되고 있다[13]-[16].



(그림 6) 10Gbps REAM-SOA 칩



(그림 7) 폴리머 격자를 이용한 외부-공진형 TLD

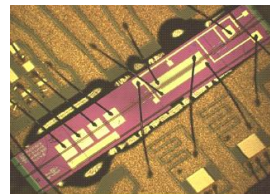


(그림 8) Emcore사의 외부-공진형 TLD

### 3. 비주입형 광송신기 광원 기술

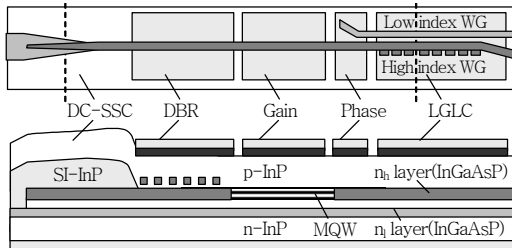
비주입형 광송신기 광원은 파장-가변형 레이저 다이오드(TLD)를 사용하므로 광신호의 파장 제어가 필요하고 구축 비용도 상대적으로 높지만 시스템 구성이 많이 단순화되고 광신호의 출력과 품질이 우수하여 장거리 전송 등에서 장점이 있다. TLD는 반도체 이득 매질과 발진 파장을 규정하는 공진기, 파장을 가변 또는 안정화하는 온도 제어 및 안정화 장치 등으로 구성되기 때문에 제작 단가가 주입형 광원과 비교하여 상대적으로 높게 형성된다.

주입형 WDM-PON용 광송신기 광원 중에서 폴리머 격자와 RSOA를 이용한 외부-공진형 TLD는 국내 고유 기술로 구현되었으며 가장 먼저 상용화에 성공하였다. (그림 7)은 ETRI에서 개발한 2.5Gbps 동작 속도를 갖는 폴리머 격자 기반의 외부-공진형 TLD를 나타낸 것이다. 폴리머 격자는 굴절률의 온도계수가 높아 작은 온도 변화로 넓은 범위의 파장 이동이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 직접 변조 방식을 사용하고 있으므로 최대 동작 속도가 2.5Gbps 정도이다



(그림 9) Oclaro사의 단일-집적형 TLD

[17]. 그래서 Emcore사는 (그림 8)에서 나타낸 것과 같이 2010년 OFC/NFOEC에서 외부 변조기를 채택한 외부-공진형 TLD를 개발하여 동작 속도를 10Gbps로 향상시켰음을 보고하였다[18]. 한편, Oclaro사는 (그림 9)에서 보여 지는 단일-집적형 TLD를 꾸준히 개발 중이며 2010년 ECOC에서 DS-DBR 기반의 비냉각형 단일-집적형 TLD를 발표하였다[19]. 아울러 최근에는 파장-가변형 XFP 모듈 개발을 목적으로 하



(그림 10) Hitachi사의 단일-집적형 TLD

는 MZ 변조기가 단일 집적된 DS-DBR 기반 TLD를 발표하였다[20]. 그리고 Hitachi에서는 (그림 10)에서 나타난 바와 같이 기존의 DBR 구조를 LGLC로 대체하여 파장-가변 범위가 확장된 단일-집적형 TLD를 개발하여 2011년 ECOC에서 발표하였다[21]. 특히, 파장-가변형 TLD는 WDM-PON 분야뿐만 아니라 ROADM과 파장-변환 스위치 등 많은 분야에 활용될 수 있으므로 시장성이 매우 높을 것으로 전망되어 Emcore, Oclaro, JDSU, Finisar, Menara, Hitachi 등 세계 주요 광부품 회사들 사이의 개발 경쟁이 계속 심화되는 상황이다.

### III. 결론

차세대 액세스 네트워크 방식으로 가장 유력한 후보인 WDM-PON 구현을 위한 주요 광부품 기술의 발전 동향에 대해서 기술하였다. WDM-PON 광부품 기술의 발전 방향은 시장 경쟁력을 강화하기 위한 저가화와 액세스 네트워크의 대단위 포설을 대비하기 위한 광부품의 소형화 및 집적화와 아울러 소비 전력 폭주를 대처하기 위하여 저전력화 등으로 요약된다.

AWG는 칩과 모듈의 소형화를 통하여 저가화하는 방안이 계속 연구되고 있다. 그리고 주입형 광원과 비주입형 광원은 생산수율 증가와 비냉각형 구동 실현 등으로 모듈의 저가화 및 저전력화를 위한 노력을 계

속하고 있다. 특히, 세계 여러 업체 간의 경쟁이 심화되고 있고 기술 발전 속도가 매우 빨라 광부품 기술의 주도권을 유지하고 차세대 기술 진화를 선도하기 위하여 많은 투자와 전략적인 접근이 필요한 상황이다.

### ● 용어해설 ●

**WDM-PON**: 서로 다른 파장을 갖는 다수의 광신호를 하나의 광섬유를 통해 전송하는 방식. 시스템의 구성은 중앙기국(CO)의 광회선 종단 장치(OLT)와 광가입자 장치(ONU), 그리고 OLT 장치와 ONU 장치들을 연결하는 광 분배망으로 이루어진다. 광 분배망은 광가입자들의 인접 지역에 광다중/역다중화기가 포함되는 원격 노드(RN)를 설치하고 CO와 RN 사이를 단일 광섬유로 연결한 이후에 RN과 ONU 장치들 사이를 광섬유로 연결하는 성형 구도를 갖음.

**REAM-SOA**: REAM과 SOA가 단일 집적되어 있는 구조로서 외부 주입 광원의 파워 증폭은 SOA가 담당하고 주입 광원의 변조는 REAM이 담당하여 동작 속도를 높일 수 있도록 설계된 광소자

### 약어 정리

AWG	Arrayed waveguide grating
CO	Central office
DS-DBR	Digital supermode distributed Bragg reflector
EDFA	Erbium-doped fiber amplifier
F-P LD	Fabry-Perot laser diode
LGLC	Lateral-grating assisted lateral co-directional coupler
MZ	mach-Zehnder
OLT	Optical line terminal
ONU	Optical network unit
REAM	Reflective electro-absorption modulator
RN	Remote node
ROADM	Reconfigurable optical-add-drop multiplexer
RSOA	Reflective semiconductor optical amplifier
SLED	Superluminescent light emission diode
TLD	Tunable laser diode
WDM-PON	Wavelength division multiplexing passive optical network
XFP	10 Gigabit small form factor Pluggable

## 참고 문헌

- [1] R.W. Tkach, "Technologies for a Renaissance in Long-Distance Optical Communications," *Asia-Pacific Optic. Commun. Conf.*, Plenary, Hangzhou, China, 2008.
- [2] C.-H. Lee, W.V. Sorin, and B.Y. Kim, "Fiber to the Home Using a PON Infrastructure," *J. Lightw. Technol.*, vol. 24, 2006, pp. 4568-4583.
- [3] Y. Hibino, "Recent Advances in High-Density and Large-Scale AWG Multi/Demultiplexers With Higher Index-Contrast Silica-Based PLCs," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 8, 2002, pp. 1090-1101.
- [4] ITU-T G.698.3, Dec. 2011.
- [5] M. Itoh et al., "Ultra Small 100 GHz 40 ch Athermal AWG Module Using 2.5%- $\Delta$  Silica-Based Waveguides," *ECOC*, Mo.4.C.4, 2008.
- [6] T.H. Kim et al., "Athermal AWG Multiplexer/Demultiplexer for E/C-band WDM-PON application," *Optic. Fiber Commun. Optoelectronics Conf.*, Shanghai, China, 2007, pp. 330-332.
- [7] S. Kamei, "Recent Progress on Athermal AWG Wavelength Multiplexer," *OFC/NFOEC*, 2009, OW01.
- [8] M. Fujiwara et al., "Impact of Backreflection on Upstream Transmission in WDM Single-Fiber Loopback Access Networks," *J. Lightw. Technol.*, vol. 24, 2006, pp. 740-746.
- [9] J.S. Jeong, H.-K. Lee, and C.-H. Lee, "1.25 Gb/s Operation at 50-GHz Channel Spacing Based on Intensity Noise Suppression of Wavelength-Locked Fabry-Perot Laser Diode," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 21, no. 9, 2009, pp. 602-604.
- [10] A.D. McCoy et al., "Noise Suppression of Incoherent Light Using a Gain-Saturated SOA: Implications for Spectrum-Sliced WDM Systems," *J. Lightw. Technol.*, vol. 23, 2005, pp. 2399-2049.
- [11] D.C. Kim et al., "2.5 Gbps Operation of RSOA for Low Cost WDM-PON Sources," *ECOC*, 2009, P2.14.
- [12] H.-S. Kim et al., "Improvement of Modulation Bandwidth in Multisection RSOA for Colorless WDM-PON," *Opt. Express.*, vol. 17, 2009, pp. 16372-16378.
- [13] C. Kazmierski, "Remote Amplified Modulators: Key Components for 10 Gb/s WDM PON," *Proc. OFC*, Paper OWN6, 2010.
- [14] N. Dupuis et al., "10-Gb/s AlGaInAs Colorless Remote Amplified Modulator by Selective Area Growth for Wavelength Agnostic Networks," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 20, 2008, pp. 1808-1810.
- [15] H.-S. Kim et al., "10.7 Gb/s Reflective Electroabsorption Modulator Monolithically Integrated with Semiconductor Optical Amplifier," *Opt. Express*, vol. 18, 2010, pp. 23324-23330.
- [16] A. Borghesani, "Reflective Based Active Semiconductor Components for Next Generation Optical Access Networks," *Proc. ECOC*, 2010, Paper Mo 1.B.1.
- [17] K.-H. Yoon et al., "2.5-Gb/s Hybridly-integrated Tunable External Cavity Laser Using a Superluminescent Diode and a Polymer Bragg Reflector," *Opt. Express*, vol. 18, 2010, pp. 5557-5561.
- [18] A. Daiber et al., "Tunable DWDM XFP with an External Cavity Laser Transmitter and Transmission Performance Matching 300-Pin Transponders," *OFC/NFOEC*, 2010, OThC5.
- [19] S.H. Lee et al., "Athermal Colourless C-band Optical Transmitter for Passive Optical Networks," *ECOC*, 2010, Mo.1.B.2.
- [20] Oclaro; M.J. Wale, "Photonic Integration Technology," *Symp. Photon. Integr.*, Nov. 2011, Eindhoven, Netherlands. [http://www.jeppix.eu/document\\_store/Oclaro\\_Mike\\_Wale.pdf](http://www.jeppix.eu/document_store/Oclaro_Mike_Wale.pdf)
- [21] T. Suzuki et al., "LGLC Laser Monolithically Integrated with Low-loss, Dual-core, Spot-size Converter for Tunable XFP Modules," *ECOC*, 2011, We.10.P1.29.