

## 광대역 ASE 광원과 PI-RSOA를 이용한 WDM-PON 시스템에서의 방송 신호 전송

오영국 · 이혁재<sup>†</sup>

경남대학교 정보통신공학과  
Ⓞ 631-701 경남 창원시 마산합포구 경남대학로 7

(2012년 10월 26일 받음, 2012년 11월 27일 수정본 받음, 2012년 11월 27일 게재 확정)

본 논문에서는 파장분할 다중방식의 수동형 광 가입자망(WDM-PON: Wavelength Division Multiplexing - Passive Optical Network)에서 매우 구조가 간단하고 저비용으로 구현 가능한 방송신호 전송 방법을 제안한다. 이는 하나의 광대역 증폭된 자발 광원(Amplified Spontaneous Emission: ASE)과 편광 독립 반사형 반도체 광 증폭기(Polarization Independent-Reflective Semiconductor Optical Amplifier: PI-RSOA) 만으로 구현이 가능하기 때문이다. 채널당 1.25 Gb/s 속도에서 24개의 가입자 채널에 대해 30 Km 이상의 방송 신호 전송 시, 무오류(error-free) 성능을 갖는 것을 실험적으로 증명하였다.

## Broadcast Signal Transmission on a WDM-PON System Using a Polarization Independent RSOA and a Broadband ASE Light Source

Yeong Guk Oh and Hyuek Jae Lee<sup>†</sup>

Department of Information Communication & Engineering, Kyungnam University,  
7, Kyungnamdeahak-ro, MasanHappo-gu, Changwon 631-701, Korea

(Received October 26, 2012; Revised manuscript November 27, 2012; Accepted November 27, 2012)

In this paper, we propose a new method for broadcasting in a WDM-PON system which has the merits of a simple and cost effective structure. It can be constructed using only an ASE (Amplified Spontaneous Emission) light source and a PI-RSOA (Polarization Independent - Reflective Semiconductor Optical Amplifier). Error-free broadcast signal transmission over 30 Km for 24 channels at 1.25 Gb/s has been successfully demonstrated.

Keywords: WDM-PON, PI-RSOA, Injection-locked, Broadcast signal transmission

OCIS codes: (140.3520) Lasers, injection-locked; (250.5980) Semiconductor optical amplifier; (060.4252) Networks, broadcast

### I. 서 론

최근 국내·외 통신 시장에서는 전화, 방송, 인터넷 등 각종 통신 기술이 융합되고 있는 추세이며, 멀티미디어 서비스 기반의 콘텐츠가 증가하면서 통신 서비스도 이에 따라 변화하고 있다. Nielson의 법칙에 의하면 1983년 이후부터 인터넷 회선을 사용한 가입자가 필요로 하는 대역폭이 매년 50%씩 증가하였고, 넓은 대역폭을 갖는 광대역 통신 시스템의 구축이 필요할 것으로 보고 있다. 이러한 흐름에 발 맞춰 사용자가 요구하는 대역폭을 만족시킬 수 있는 방안으로 광 가입자망 기술이 부각 되고 있다<sup>[1]</sup>. 광 가입자망 구현 기술 중 하나인 파장분할 다중화 방식의 수동형 광 가입자망 기술은

각 가입자 마다 점 대 점 연결이 가능하여 광대역 신호를 프로토콜에 관계없이 전송 할 수 있으며, 보안에 강한 장점을 갖는다. 그러나, 점 대 점 연결을 이룰 수 있게 한 네트워크 구조가 반대로 방송 신호 전송에는 취약한 구조가 된다. 이를 해결하기 위해 최근 몇 가지 방법들이 제안되었다<sup>[2-6]</sup>. 그 중 제일 간단한 방법은 EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier)로 부터 생성되는 ASE(Amplified Spontaneous Emission)에 외부 변조기를 이용하여 방송신호를 변조한 다음, 하향 점 대 점 신호와 함께 다른 밴드를 통해 전송하는 방법이다<sup>[2]</sup>. 그 이후에 상호 주입 잠김 F-P LD(Fabry-Perot Laser Diode)<sup>[3]</sup> 혹은 Side-mode suppressed multi-wavelength fiber laser<sup>[4]</sup>를 이용하여 다파장 광원을 만들고, 그 광원을 변조시켜 방송

<sup>†</sup>E-mail: [hyuek@kyungnam.ac.kr](mailto:hyuek@kyungnam.ac.kr)

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

신호를 만드는 방법과 멀티캐스트 신호를 Overlay 하는 방법이 제안되었는데<sup>5, 6</sup>, 이 경우 매우 복잡한 코딩 방법과 동기화 제어가 필요하며 고가의 외부 변조기를 사용하므로 효과적으로 가입자망을 구현하기 어려운 단점을 갖는다.

본 논문은 참고문헌<sup>2</sup>의 방법에서 단점인 고가의 외부 변조기 대신 편광 독립 반사형 반도체 광 증폭기(PI-RSOA: Polarization Independent-Reflective Semiconductor Optical Amplifier)를 사용하여 증폭과 변조를 수행할 수 있는 WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing-Passive Optical Network)에서의 새로운 방송 신호 전송 방법을 제안한다. 각 가입자단에서 적절한 프로토콜을 사용하여 방송 그룹에 가입하지 않은 가입자는 방송 신호를 받지 못하도록 구성 한다면 멀티캐스팅 구조로의 전환도 쉽게 가능하다.

## II. 광대역 ASE 광원과 PI-RSOA를 이용한 WDM-PON 시스템에서의 방송 신호 전송 시스템

그림 1은 본 논문에서 제안하는 전체 시스템의 구성도이다. 기존의 WDM-PON 시스템에 본 논문에서 제안하는 방송 신호 전송 시스템 부분이 추가 되어 있는 것을 알 수 있다. 추가된 부분은 광대역 ASE 광원, 1xN splitter, PI-RSOA, optical circulator, WDM coupler로 구성 되어 있다. WDM-PON의 상향과 하향 신호의 파장대역은 그림 1에서 ‘UP’ 과 ‘DOWN’으로 표시 하였고, 방송 신호 전송을 위해서는

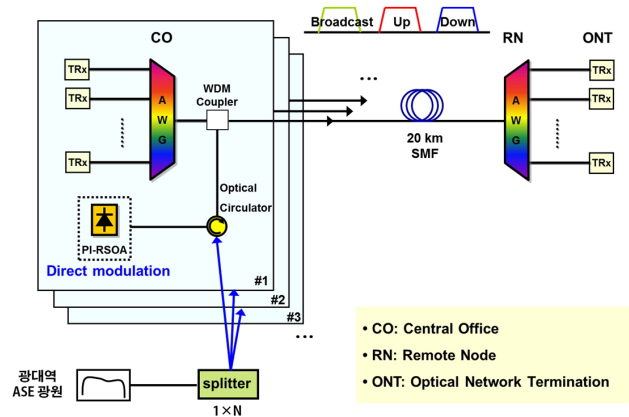


FIG. 1. Conceptual configuration of an overall system.

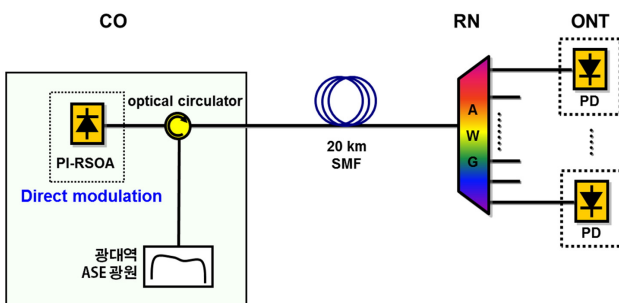


FIG. 2. Experimental setup.

‘Broadcast’ 파장 영역을 이용한다. 따라서, 방송신호와 점 대 점 하향 신호는 CO(Central Office)에서 각각 생성되어 WDM coupler에 의해 합쳐진 다음 20 km 광섬유를 통해 전송되고, 이 신호는 RN(Remote Node)의 AWG(Arrayed Waveguide Grating)에 의해 가입자단으로 분기 된다. 이렇게 분기된 신호는 가입자 단, ONT(Optical Network Termination)의 TRx 내에서 방송신호와 하향신호가 WDM 필터에 의해 각각 분리 되어 수신된다. 하나의 큰 광대역 ASE 광원을 구성해 놓으면 그림 1과 같이 다수(#1, #2, #3, 등등)의 WDM-PON 시스템에 분배되어 CO에서 효과적인 방송전송 시스템 구현이 가능 해짐을 보여준다.

그림 2에 보인 실험 구성도는 점 대 점 연결을 위한 WDM-PON 시스템 부분이 생략되어 있고, 방송 신호 전송을 위한 부분만으로 이루어져 있다. 점 대 점 전송 신호와 방송신호는 그림 1에서와 같이 WDM coupler에 의해 합쳐지는데, 두 신호는 파장 대역이 다르기 때문에 그림 2와 같이 실험하는 것만으로도 제안된 시스템을 검증하기에 충분하다. 또한, 간단한 실험을 위해 하나의 CO를 구현하였고, 그 구성은 광대역 ASE 광원과 PI-RSOA, 광 써클레이터로 이루어진다. 광대역 ASE 광원은 그림 1과 같이 다수의 CO에 1xN 광 splitter를 통해 공유 될 수 있다. 실험에 사용된 PI-RSOA의 특성은 편광에 관계없이 이득을 얻기 위하여 Tensile strained bulk 형태를 가지며, 구조는 Active 영역(500 μm)과 Passive 영역(400 μm)으로 구성되어 있다. 이렇게 구성된 CO의 PI-RSOA에는 광 써클레이터를 통해 광대역 ASE 광원이 주입 된다. 주입된 빔은 PI-RSOA에 의해 변조되는 동시에 증폭되고, 광섬유를 통해 전송된 다음 RN의 AWG에 의해 ONT의 각 가입자로 분기 된다.

## III. 실험 결과

그림 3은 PI-RSOA에 주입하기 전의 광대역 ASE 광원과 주입 된 후의 출력 광의 스펙트럼을 보여준다. 또한, 비교를 위해 PI-RSOA 자체에서 발생하는 ASE에 대한 스펙트럼을

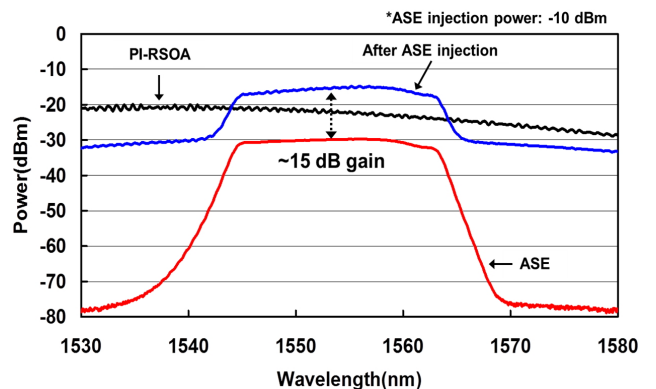


FIG. 3. Spectrum of the PI-RSOA before and after the injection of the broadband ASE light, and spectrum of the broadband ASE light itself for comparison's sake.

함께 그렸다. ASE 광원 주입 없이 PI-RSOA 만을 켜진 상태에서는 3.48 dBm의 광 전력을 보였고, 광대역 ASE 광원 주입 후에는 4.65 dBm으로 증가 하였다. 그림 3에서 알 수 있듯이 주입된 광대역 ASE 광원은 PI-RSOA에 의해 관심 파장 대역에서 15 dB 이상 증폭된 것을 알 수 있다. PI-RSOA에서 출력된 광 신호는 20 km 광섬유를 통해 RN에 위치한 AWG로 연결 된다. 실험에 사용된 AWG는 100 GHz의 채널 간격을 갖는 flat-top 형태의 통과 특성을 가지며 3-dB 통과 대역폭은 약 0.64 nm이다.

그림 4에서는 6-dB 대역폭이 19.7 nm인 ASE 광원을 주입 하였을 때 AWG를 통과한 후 24개의 채널이 생성된 결과를 나타내었다. PI-RSOA에 주입되는 ASE 광원의 전력은 -10 dBm으로 맞췄고, 각 채널은 PI-RSOA에 의해 1.25 Gb/s 속도에서 NRZ 신호 패턴 형태(PRBS,  $2^{31}-1$ )로 직접 변조되어 전송된다.

그림 5는 20 km 전송된 신호의 품질을 평가하기 위해 24개의 채널에 대해 측정된 BER(Bit Error Rate) 결과를 나타내었다. 그 결과 채널당 1.25 Gb/s 속도에서 측정된 24개의 모든 채널에서 error-free 특성을 얻을 수 있었으며,  $10^{-9}$  BER에서 최상과 최하 채널과의 광전력 차이는 0.35 dB보다 작았다.

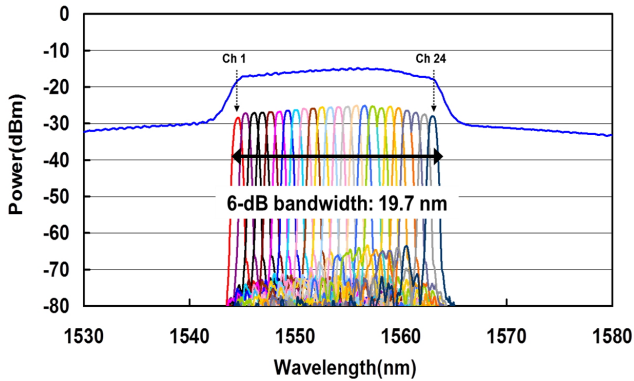


FIG. 4. Spectrum of the PI-RSOA's output light for 24 channels after passing the AWG.

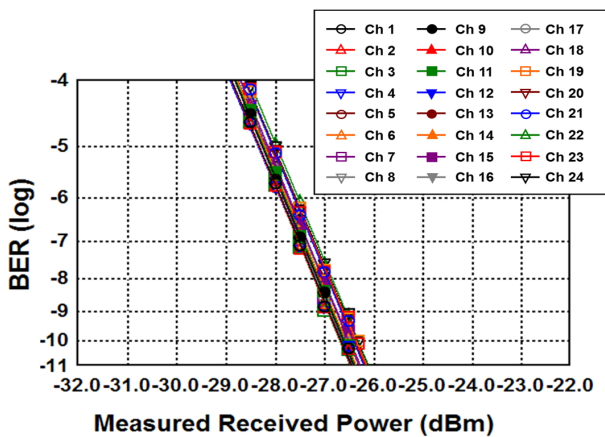


FIG. 5. Measured BER curves for 24 channels after 20 km transmission.

$$BL|D|\Delta\nu < \frac{1}{2} \tag{1}$$

$$BL < \frac{1}{2} \frac{1}{|D|\Delta\nu} = \frac{1}{2} \left( \frac{\text{km}}{16.75 \times (10^{-12}) \times \Delta\nu} \right) \tag{2}$$

여기에서,  $\Delta\nu = 0.64 \text{ nm}$   
 $D = 16.75 \text{ ps/nm/km (@1556.7 nm)}$   
 $B = 1.25 \text{ Gbps}$

$$\therefore L < 37.3 \text{ km} \tag{3}$$

그림 6은  $B(=1.25\text{Gb/s})$  전송신호에서 광섬유 분산에 따른 파워 페널티( $\Delta P$ )의 특성을 계산한 결과를 보여준다<sup>[7]</sup>.  $\Delta P$ 에 대한 수식은 그림 6에 함께 보였다. 본 논문에서 제안한 시스템은 채널당 1.25 Gb/s의 전송 속도(B)를 가지며, AWG를 통해 필터링 된 하나의 채널에 대한 선평( $\Delta\nu$ )은 0.64 nm이다. 파워 페널티  $\Delta P=1\text{dB}$ 를 보여주는 전송 거리를 찾기 위해 정리된 식은 (1)과 같다. 식 (1)은 식 (2)와 같이 정리되고, 최종적으로 B, D,  $\Delta\nu$ 에 대한 값을 대입하여 풀이 하면, 식 (3)과 같은 결과가 얻어진다. 즉, 1 dB 파워 페널티를 주는 전송거리는 이론적으로 최대 37.3 km가 된다.

그림 7에서는 24개의 채널 중 임의로 선택한 채널 22에 대해 전송거리에 따른 신호의 품질을 평가하기 위해 측정된 BER 결과를 나타내었다. 그 결과 20 km와 30 km를 전송 하였을 때, 0.18 dB와 0.73 dB의 파워 페널티를 가지며, error-free한 특성을 보였다. 40 km 전송에서는 대략 1 dB의 파워 페널티를 보여주었으나 10-10 BER에서 error-floor 특성이 나타남을 알 수 있다. 그림 6의 계산결과로부터 예측된 1 dB 파워 페널티를 보여주는 최대 전송거리는 37.3 km였고, 실제 측정에서는 error-floor를 보여주지만, 약 40 km였다. 따라서, error-free한 전송 성능을 보여주는 제안 시스템의 최대 전송 거리는 대략 35~40 km 사이에 있게 됨을 추정할 수 있다.

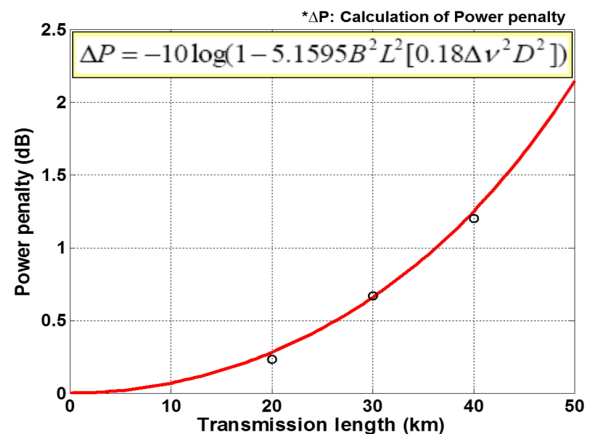


FIG. 6. Calculation of power penalty versus transmission length when  $B=1.25 \text{ Gb/s}$ ,  $\Delta\nu=064 \text{ nm}$ ,  $D=16.75 \text{ ps/nm/km}$ .

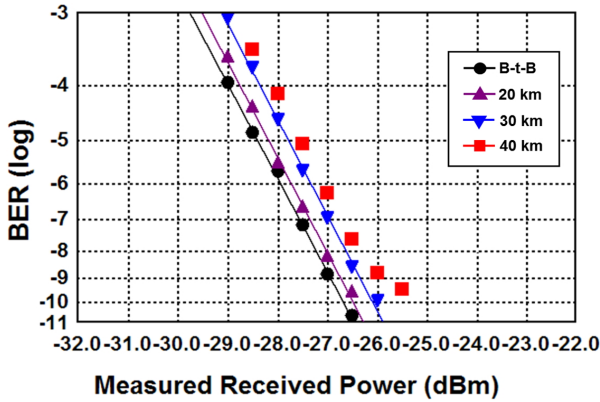


FIG. 7. BER curves versus transmission lengths for channel 22.

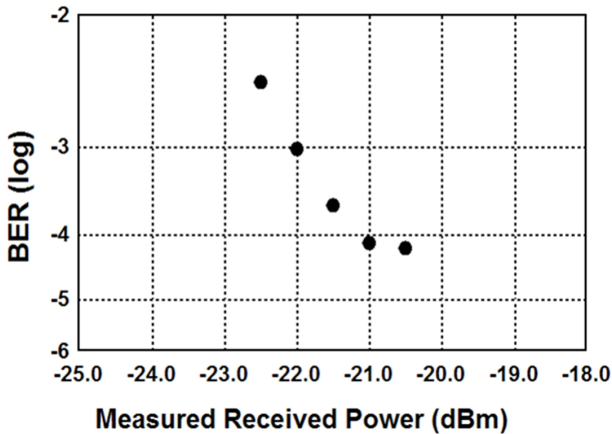


FIG. 8. Measured BER curve when 2.5 Gb/s modulated speed.

그림 8은 2.5 Gb/s 전송 속도에서 수신된 광전력에 대한 BER 측정 결과이다.  $10^{-4}$  BER 근방에서 error-floor 한 특성을 보이는데, 이는 1<sup>st</sup> Gen. FEC(Forward Error Correction)<sup>[8]</sup> Threshold 아래에 위치하므로 광 수신기에 FEC(Forward Error Correction)를 채용한다면 error-free BER 성능을 충분히 얻게 만들 수 있다.

그림 9는 24개의 채널에 대해서 PI-RSOA에 ASE 광원을 주입하기 전 과 후의 RIN 측정 결과를 보여주고 있다. ASE 주입 후 PI-RSOA로부터 출력되는 광 신호의 RIN이 평균 0.12 dB 개선 되었다. 일반적으로 SOA에 충분한 광 전력을 주입하면 cross gain에 의해 intensity noise가 줄어드는 현상을 보이는데<sup>[9]</sup>, 그림 9의 결과는 그 효과가 매우 작다. 이는 광대역 ASE 광원을 주입함으로써 해서 PI-RSOA의 이득이 분산되기 때문으로 분석된다. 따라서, 제안된 방법은 RIN(Relative Intensity Noise)의 개선보단 여러 채널에 대해 입력되는 ASE 광원을 증폭하면서 방송신호 변조를 동시에 수행할 수 있는데 큰 장점이 있다. 그림 10은 24개의 채널에 대하여 가입자 단에서의 광수신 전력을 보였다. 그림 5의 결과에서 알 수 있듯이  $10^{-9}$  BER은 대략 -27.0~-26.5 dBm 광 수신 전력에서 보여주기 때문에 전체적으로 약 4~7 dB 정도의 Power margin을 보여줄 수 있다.

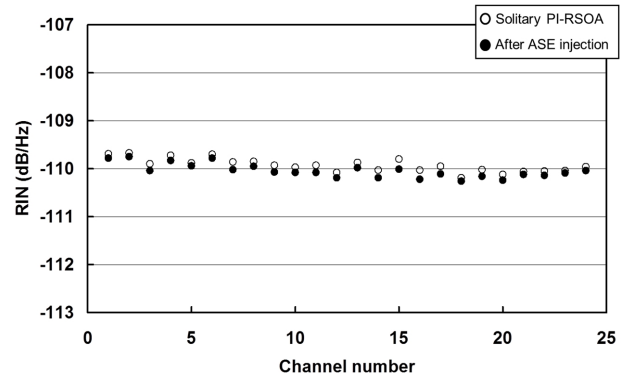


FIG. 9. RIN measurement results for 24 channels before/after ASE injection into the PI-RSOA.

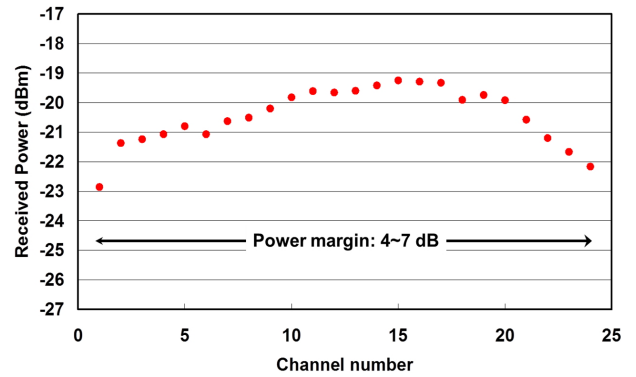


FIG. 10. Received optical power at access node for 24 channels.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 광대역 ASE 광원과 PI-RSOA를 이용하여 새로운 WDM-PON용 방송신호 전송 방법을 제안하고, 실험을 통해 그 가능성을 증명 하였다. 제안된 방법은 하나의 ASE 광원과 PI-RSOA 만으로 방송 신호를 생성할 수 있었기 때문에 구조가 매우 간단하면서 저가격 구현이 가능한 장점을 갖는다. 사용된 PI-RSOA는 외부에서 주입되는 ASE 광원에 의해 약 15 dB이상의 광 이득을 얻을 수 있었으며, 1.25 Gb/s 속도로 직접 변조하여 24개의 채널 가입자를 수용할 수 있었다. 실험을 통해 30 km 이상의 장거리 방송 신호 전송에서 error-free한 특성을 확인할 수 있었다. 2.5 Gb/s 속도에서는  $10^{-4}$  BER 근방에서 error-floor 특성을 보였다. 그러나, 광 수신기에 FEC와 같은 부가코드에 의한 에러정정 방법을 사용한다면 error-free 성능도 얻을 수 있다.

#### 감사의 글

이 논문은 2012년도 한국방송통신전파진흥원의 방송통신 기술개발사업의(과제번호:2009-F-049-01) 일환인 광통신 및 광가입자망을 위한 저잡음 다파장 광원 기술 개발 사업의 지원으로 수행되었습니다.

## References

1. C.-H. Lee, W. Sorin, and B.-Y. Kim, "Fiber to the home using a PON infrastructure," *J. Lightwave Technol.* **24**, 4568-4583 (2006).
2. J. Cho, J. Kim, D. Gutierrez, and L. G. Kazovsky, "Broadcast transmission in WDM-PON using a broadband light source," in *Proc. Conf. Optical Fiber Commun. (OFC/NFOEC 2007)* (Anaheim, USA, Mar. 2007), paper OWS7.
3. S.-H. Yoo, H.-K. Lee, D.-S. Lim, J.-H. Jin, L. Byun, and C.-H. Lee, "2.5-Gb/s broadcast signal transmission in a WDM-PON by using a mutually injected Fabry-Perot laser diodes," in *Proc. Lasers and Electro-optics (OSA/CLEO 2011)* (Baltimore, USA, May 2011), paper CFH7.
4. K.-I. Lee, S.-B. Lee, J.-H. Lee, C.-H. Kim, and Y.-G. Han, "Side-mode suppressed multi wavelength fiber laser and broadcast transmission," in *Proc. Conf. Optical Fiber Commun. (OFC/NFOEC 2008)* (San Diego, USA, Feb. 2008), paper OThF1.
5. J. Xu, Y. Zhang, L. K. Chen, and C. K. Chan, "A delay-based multicast overlay scheme for WDM passive optical networks with 10-Gb/s symmetric two-way traffic," *J. Lightwave Technol.* **28**, 2660-2666 (2010).
6. L. Cai, Z. Liu, S. Xiao, M. Zhu, R. Li, and W. Hu, "Video-service-overlaid wavelength-division-multiplexed passive optical network," *IEEE Photon. Technol. Lett.* **21**, 990-992 (2009).
7. K.-H. Han, E.-S. Son, H.-Y. Choi, K.-W. Lim, and Y.-C. Chung, "Bidirectional WDM PON using light-emitting diodes spectrum-sliced with cyclic arrayed-waveguide grating," *IEEE Photon. Technol. Lett.* **16**, 2380-2382 (2004).
8. T. Mizuochi, "Next generation FEC for optical communication," in *Proc. Conf. Optical Fiber Commun. (OFC/NFOEC 2008)* (San Diego, USA, Feb. 2008), paper OTuE5.
9. X. Zheng, F. Liu, D. Wolfson, and A. Kloch, "Suppression of interferometric crosstalk and ASE noise using a polarization multiplexing technique and an SOA," *IEEE Photon. Technol. Lett.* **12**, 1091-1093 (2000).