

파장분할다중 광가입자망을 위한 반사형 반도체 광증폭기 변조 성능 분석 연구

The performance analysis of Reflective Semiconductor Optical Amplifier Modulator in WDM-PON system

심우진, 신용식, 박용길
Woojin Shim, Yongsik Shin, Yonggil Park
SK Telecom

Abstract

One of the core technology in WDM-PON system is a generation and modulation technique of the optical source in Optical Network Unit (ONU). In this paper, we propose a reflective semiconductor optical amplifier (RSOA) as a modulator in WDM-PON system. Its performance is analyzed by simulation and actual experimentation.

Using RSOA in WDM-PON system as a modulator, it obtains higher gain compared to the conventional SOA due to the double pass gain effect. Furthermore RSOA can provide high gain with comparatively low input power. This is very helpful when we set up the actually system because using lower input power, it can reduce the load of the driving circuit which makes very economical module structure. Therefore, when RSOA is used as a modulator, not only it gives noise suppression effect, but also provides certain amount of gain as well. In addition, comparing with conventional SOA which gives fairly large insertion loss, RSOA can provides more important merits.

Keywords

WDM-PON, FTTH, ONU, RSOA,

I. 서 론

21세기를 맞이하여 통신시스템은 인터넷 이용의 폭발적인 증가, 무선 통신의 저변 확대 등으로 통신 용량의 비약적인 증가가 요구되고 있으며 초고속 정보통신망의 구축이 필연적이다. 이러한 광대역 서비스를 가입자에게 공급하기 위하여 광섬유를 가입자단까지 직접 연결하는 광가입자망에 관한 관심이 높아지고 있다 [1].

향후 가장 궁극적인 가입자망의 목표는 모든 가정을 광케이블로 연결하는 FTTH(Fiber to the Home)구조의 초고속 멀티미디어 서비스망이다 [2]. 예전에는 주로 Point-to-Point 구성이 주종을 이루었으나 효율적이고 경제적인 광가입자망 구축을 위한 광선로 기술, WDM(Wavelength Division Multiplexing), 광소자 기술(광증폭기, 광교환 소자), 광선로 분배기술 등의 관련 기술들이 최근 급속히 개발됨에 따라 보다 효율적으로 광네트워크망을 구성할 수 있게 되었다. 이러한 가입자망으로 수동형 광가입자망(PON: Passive Optical Network)이 활발히 연구되고 있는데 PON 기술은 주로 ATM-PON, Ethernet-PON, 그리고 WDM-PON 시스템이 연구되고 있으며 최종 형태의 가입자망은 WDM-PON기술로 통합될 것이다. WDM-PON 시스템에서 가장 핵심적인 기술은 ONU에서의 광원의 생성과 변조기술이다. ONU의 광원으로는 어느 지역에서도 사용할 수 있는 호환성이 필요하며 단일 DFB-LD(Distributed Feedback Laser Diode)를 이용하는 방법, LED(Light Emitting Diode)를 사용하여 RN(Remote Node)에서 spectrum slicing하는

방법, 또는 FP-LD(Fabry-Perot Laser Diode)를 이용한 injection locking 방법 등이 있다. 단일 DFB-LD를 이용하는 방법은 속도와 안정성 면에서는 탁월하지만 생산성과 가격이 비싼 단점이 있고, 각각의 ONU마다 할당된 파장을 생성하기 어려운 단점이 있다. LED를 직접 변조하여 RN에서 spectrum slicing하여 전송하는 방법은 변조속도에 한계가 있고 스펙트럼을 분할할 때 생기는 광 power 손실 때문에 상대적으로 낮은 광 power 출력이 발생하고 이로 인해서 가입자 수나 전송 용량이 제한을 받게 된다. FP-LD를 이용하여 injection locking하는 방법은 동일한 FP-LD를 모든 ONU에서 사용할 수 있다는 장점이 있으나 injection locking을 위해 또 다른 광원이 CO(Central Office)에서 전송돼야 한다는 단점이 있다 [3].

본 논문에서는 호환성을 위해서 ONU에서 사용되는 광원을 CO단에 두고 이 CW (Continuous Wave) 신호를 ONU로 전송하여 ONU단에서 반사형 형태의 SOA (Semiconductor Optical Amplifier)를 이용하여 변조하는 방법을 제안하였다. 이 방법을 이용하면 ONU단에는 광원이 불필요하기 때문에 구조적으로 간단하게 할 수 있을 뿐 만 아니라 가격 또한 줄일 수 있다는 장점이 있다. 그리고 RSOA를 사용하게 되면 신호가 RSOA를 진행하면서 증폭되기 때문에 WDM-PON 구조에서 신호가 전송되면서 겪는 손실을 별도의 증폭기가 불필요하다는 큰 장점이 있다.

2 장에서는 RSOA 와 RSOA 변조기의 구조와 동작 특성 등 전반적인 설명과 모델링 방법을 제시하였다. 3 장에서는 RSOA를 변조기로 사용해서 시뮬레이션을 통한 변조특성을 분석하였고, 4 장에서는 ROSA의 기본 동작 특성을 실험을 통해 검증하였고 마지막으로 5 장에서는 결론을 제시하였다.

II. RSOA 구조 및 변조기 모델링 방법

1. Reflective SOA 의 동작원리와 해석

RSOA는 SOA를 기반으로 한 동작특성을 가지고 있기 때문에 RSOA를 살펴보기 전에 우선 RSOA의 바탕이 되는 SOA를 살펴보도록 하겠다. SOA는 가전자대역의 정공과 전류 주입에 의한 전도대역의 자유전자가 입력 광신호의 자극에 의해 재결합하면서 발생하는 유도방출

을 이용해 입력 광신호를 증폭하는 반도체 소자이다. 즉 레이저와 같은 방식으로 입사하는 광신호를 증폭시키지만 양쪽 단면에 AR (Anti-Reflection) 코팅을 하여 단면의 반사율을 0에 가깝게 줄임으로써 입력 광신호가 캐비티 내에서 공진하지 않고 곧바로 증폭되는 특징을 갖는다 [4]. 그러나 RSOA같은 경우에는 한쪽 단면에 높은 반사를 주고 광신호가 반사 되어서 다시 되돌아가는 형태가 된다. 그림 1은 BH (Buried Hetero) 구조를 갖는 SOA의 구조를 나타낸다.

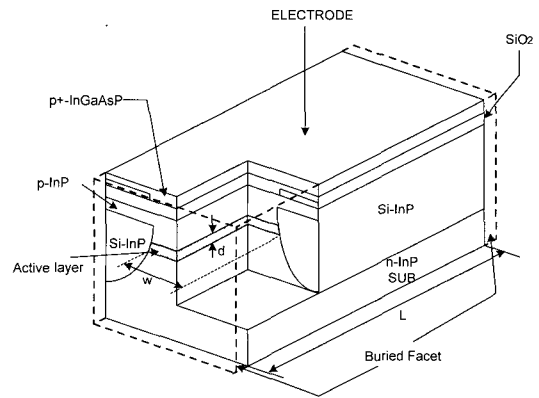


그림 1 Buried Hetero 구조의 SOA
Fig. 1 SOA with Buried Hetero Structure

2. RSOA 변조기의 모델링 방법

그림 2는 반사형 반도체 광 증폭기를 변조기로써 모델링한 그림을 나타낸다. 본 논문에서는 입력 단에서 -20dBm의 CW 신호를 입력시켰다. 이 이유는, 본 논문에서 사용한 WDM-PON 구조에서 신호가 전송되면서 겪는 손실을 고려했을 때 가장 이상적인 입력 power 라고 계산했기 때문이다. 그림에서 나타나고 있는 것과 같이 입력신호가 RSOA를 진행하면서 반대편 단에서 반사 되어서 다시 입력 단으로 돌아오는 구조이다. RSOA에 변조전류와 바이어스 전류를 주입시켜주면서 입력된 CW 신호가 전류에 실리면서 출력단에서 변조된 신호가 나오게 되는 구조가 된다 [5].

그렇다면 RSOA에 주입되는 변조 전류의 폭을 정하는 과정을 살펴보겠다. 그림 3을 보면 ROSA 의 반사율이 0.9일 때 가장 좋은 출력 특성을 가지고 있는 것을 알 수 있었는데, 본 논문에서 변조 폭을 정할 때 RSOA의

LI-curve를 통해서 가장 선형적인 부분을 정해서 모의실험을 실행하였다.

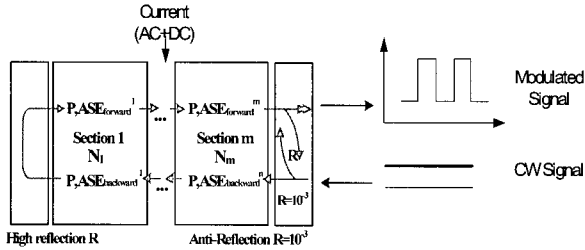


그림 2 TMM 을 이용한 RSOA변조기 모델링
Fig.2 RSOA modulator modeling using TMM

3. RSOA 기본 특성

RSOA가 갖는 가장 큰 장점중 하나는 출력이 일반적인 SOA와 비교했을 때 더 크다는 점이다. 그림 3에 나타내고 있는 SOA와 RSOA의 전류변화에 따른 출력 특성을 보게 되면 같은 양의 전류를 주입했을 때 RSOA가 더 높은 출력을 얻는 것을 알 수 있고 ROSA 변조기의 가장 큰 장점이라고 할 수 있다. RSOA가 일반적인 SOA와 비교 했을 때 더 큰 출력이 나오는 이유는 RSOA에 입력된 신호가 HR(High Reflection)단면의 반사에 의해 double pass gain을 얻기 때문이다. RSOA의 이러한 특성이 중요한 이유는 WDM-PON 구조에서 겪는 손실을 별도의 증폭기 없이도 보상할 수 있기 때문이다.

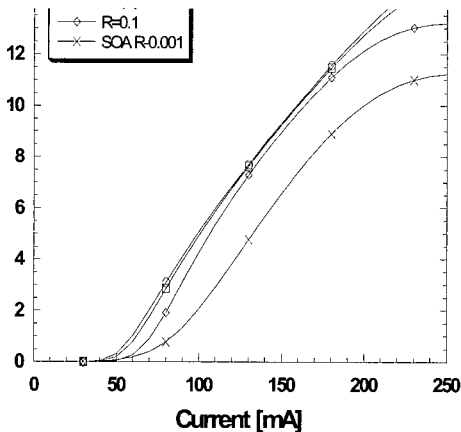


그림 3 SOA와 RSOA의 LI-Curve
Fig.3 LI-Curve of SOA and RSOA

III. RSOA 변조기 동작 특성 모의실험 결과

1. RSOA와 SOA의 시간 축에서의 출력 Pulse 비교

RSOA와 SOA를 변조시켜서 Output 펄스를 비교하였다. 그림 4에서는 Input Power로는 -20dBm을 입력시켰고 current swing은 off level을 50mA, on level을 150 mA로 하였고, RSOA의 경우는 반사율에 따른 경향을 살펴보기 위해 반사율을 바꾸어 가면서 622Mbps에서 변조시켰다. 그 결과 SOA를 변조했을 때 나오는 출력은 대략 5mA 정도였고 RSOA의 경우 8mA 가까운 값이 나왔는데 이것은 RSOA에 들어간 신호가 반사되면서 double pass gain을 얻어서 나오기 때문이다. WDM-PON 구조에서 ONU에서 CO쪽으로 전송할 때 손실이 생기게 되는데 RSOA의 이러한 높은 출력 특성을 이용하면 별도의 증폭기 없이도 충분히 사용할 수 있다는 큰 장점이 있다.

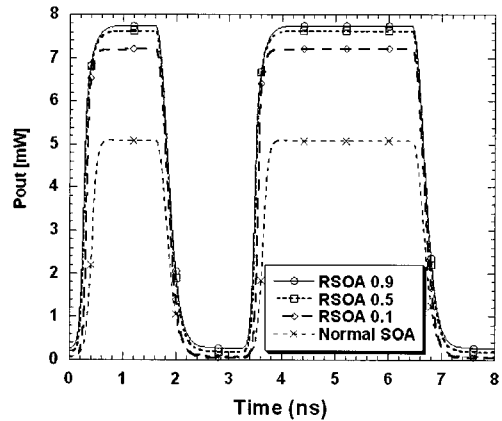


그림 4 RSOA의 반사율에 따른 출력특성과 SOA 출력특성
Fig. 4 Out put characteristics of SOA and RSOA with different reflectivity

2. 전류 변조 폭에 따른 Chirp 특성

RSOA를 변조기로 이용해서 입력신호에 전류를 인가해서 변조시켰을 때 SOA보다 출력이 더 높게 나온 것을 알 수 있었다. 하지만 실제 WDM-PON 구조에서 전송을 했을 때 출력이 높은 것이 장점만 되는 것은 아니다. 출력이 높아지면 그만큼 chirp 도 커지는 것을 알 수 있었다. SOA를 intensity modulation시키게 되면, 캐리어 변화에 따른 굴절을 변화가 생기는데 이것은 위상

도 변화시키고 이러한 optical pulse의 시간 축에 종속된 위상변이가 생기는데 이것을 chirp이라고 한다. 이런 chirp을 가진 optical 신호가 진행하면서 서로 다른 주파수 성분에 의한 속도 차에 의해 spectrum이 넓어지고 이것을 dispersion이라 부른다. 그리고 이 dispersion이 시스템 성능을 저하시키는 주된 요인이 된다.

그렇기 때문에 RSOA를 변조 시켰을 때 chirp에 의한 영향은 얼마나 받는지 살펴볼 필요가 있었다. 모의실험에서 current modulation의 swing depth를 변화시켜 가면서 chirp이 어느 정도인지 측정하고 이것이 WDM-PON 구조에서 전송했을 때 문제가 되는지를 알아봤다.

그림 5는 변조 전류 폭을 바꾸어 가면서 chirp의 특성을 본 그림이다. 기본적으로 사용한 off-level을 50mA로 정하고 on-level을 150mA로 정했는데, 다른 변조 전류를 변화시키면서 chirp 특성을 살펴본 결과 변조전류 폭이 커지면 chirp의 특성도 커지는 것을 알 수 있었다. 그리고 변조 전류 폭을 똑같이 하고 on-off level을 낮게 해도 chirp이 커지는 것을 볼 수 있는데 그 이유는 LI-curve에 있는 것과 같이 낮은 전류에서는 선형적인 부분을 벗어나 있기 때문에 chirp도 커지는 것을 알 수 있다.

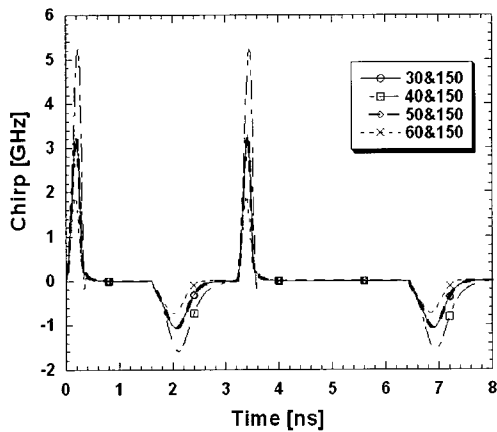


그림 5 Current Swing에 대한 Chirp 특성
Fig. 5 Chirp characteristic with different input current

3. 파장대역에 따른 출력 특성의 변화

추후에 고려해야 하는 문제 중 하나가 용량 확대에 따른 동작 가능 여부이다. ONU의 수가 증가하게 되면 증가된 수만큼 파장 갯수 역시 같이 증가해야 된다. 그

렇다면 RSOA를 변조기로 사용할 때 쓰이는 파장대역의 특성에 대해서 알아볼 필요가 있다. 그림 6에서는 1550nm에서 1580nm까지 10nm 단위로 출력 특성을 살펴보았다. 그림에서 보면 알다시피 낮은 파장대역에서는 출력이 낮은 것을 알 수 있다. 하지만 낮은 출력에서도 데이터를 전송할 때 큰 문제가 없고, RSOA를 사용해서 변조했을 때 충분히 넓은 파장 대역에서도 작동시킬 수 있는 것을 알 수 있었다.

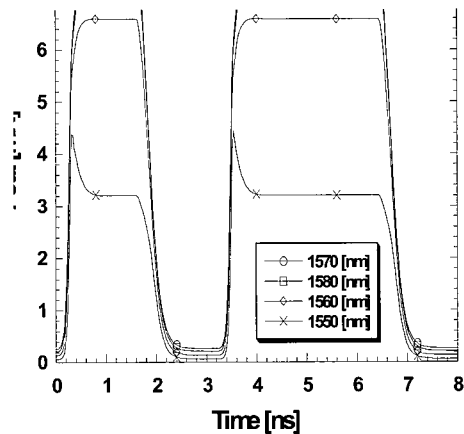


그림 6 파장대역에 따른 출력 Pulse
Fig. 6 Output pulse with variation of wavelength

IV. ROSA의 동작 특성 및 변조 특성 실험 결과

1. 실험 Setup

RSOA의 기본동작 특성을 알아보기 위해서 다음과 같이 실험을 했다. 그림 7에 있듯이 일단 Tunable LD로부터 optical source를 제공한 후 circulator를 지나서 RSOA를 통과해서 PPG에서 변조된 신호를 RSOA에 입력하고 RSOA에서 변조된 신호가 반사돼서 출력하게 된다. 반사되면서 변조된 신호가 다시 circulator로 들어가서 3번째 port로 출력되면 그 출력된 신호를 OSA로 측정했다.

2. Gain Saturation 특성

그림 8은 파장이 1570nm인 경우의 반사형 반도체 광 증폭기의 입력파워의 증가에 의한 이득 포화 특성을 30mA에서 110mA까지 20mA 간격으로 증가시킨 것을 보여준다. 제안된 구조에서 CO단의 CW신호가 약 0dBm의 파워로 출력될 때 이 신호가 AWG를 거쳐 실제

ONU단의 반사형 반도체 광증폭기로 입사되는 파워는 전송손실과 소자들의 삽입손실을 고려하면 대략 -20dBm에서 -15dBm정도이다. 반도체 광증폭기의 이득 포화 특성은 변조기로 동작할 경우 잡음제거 효과에 영향을 준다.

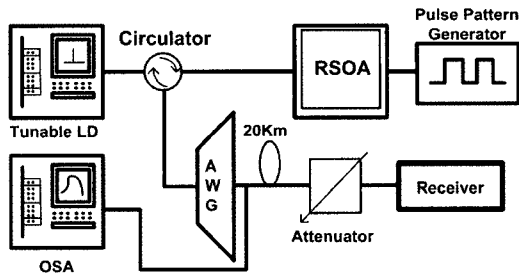


그림 7 ROSA 기본동작 특성 실험 Setup
Fig. 7 Experiment Setup

그림에서 알 수 있듯이 RSOA를 변조할 경우 1540~1560nm 대역의 파장을 이용하면 상대적으로 전류에 대한 이득의 차이가 커서 큰 소광비를 얻을 수 있지만 1570nm대역의 피크파장으로부터 멀리 떨어져있기 때문에 절대적인 이득이 작아 좋은 변조특성을 기대할 수 없다. 이와 반대로 1560nm~1580nm 대역의 파장을 이용하면 상대적으로 소광비는 작지만 피크파장대역이기 때문에 충분한 이득을 제공할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 광대역 통합망의 구현에 있어 가장 핵심적인 역할을 담당하는 초고속 광가입자망의 새로운 구조를 제안하고 이를 실험을 통해 성능을 분석하였다.

WDM-PON 시스템에서 RSOA를 변조기로서의 성능을 모의실험과 실제 실험을 통해서 분석하여 사용 가능성에 대한 타당성을 검증하였다. 본 논문에서 제안한 방식은 CO단에서 CW 신호를 ONU단으로 전송하고 ONU단에서 RSOA를 변조기로 이용하여 재송신하는 방법이다. RSOA와 SOA의 변조성능을 비교하기 위해 우선 각각 소자를 모델링 하여 특성을 비교하였다. 모의실험 결과 RSOA는 SOA에 비해 이득을 얻는 영역을 두 번 통과하므로 낮은 전류에서도 큰 이득을 제공하여 변조를 위한 동작전류 값을 크게 줄일 수 있었다. 또한 낮은 입력신호의 파워에도 보다 높은 이득을 제공할 수 있다.

이는 실제 시스템을 구현할 경우 구동회로의 부하를 줄일 수 있어 경제적인 모듈 구성을 가능하게 해준다. 따라서 RSOA를 변조기로 이용하면 잡음억제 효과뿐만 아니라 이득도 제공할 수 있어 일반적인 변조기를 이용할 경우 큰 삽입손실이 발생하는 점과 비교하면 큰 장점을 갖는다.

실험 결과를 살펴보면 RSOA를 변조기로 사용했을 때, 비교적 낮은 구동 전류와 입력파워에서도 동작 가능한 것을 알 수 있었고 높은 파장대역에서 높은 이득을 제공하였다. 또한, BER에 있어서도 전송했을 때 충분히 검출할 수 있는 것을 알 수 있었다.

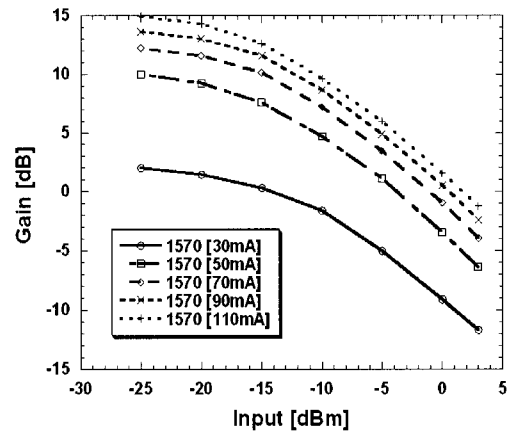


그림 8 RSOA 의 ASE Spectrum
Fig. 8 ASE spectrum of RSOA

[참고 문헌]

- [1] M. Listanti, and R. Sabella, "Architectural and technological issues for future optical internet networks," *IEEE Communications Magazines*, vol. 38, pp. 82-91, 2000.
- [2] G. P. Agrawal, *Fiber Optic Communication Systems*, John Wiley and Sons, Inc., 1992.
- [3] A. Ohki, et al., *Proceedings of 8th OptoElectronics and Communications Conference*, vol. 23, pp. 609-610, 2003.
- [4] C. Lawetz, J. C. Cartledge, C. Rolland, and J. Yu, "Modulation characteristics of semiconductor Mach-Zehnder Modulators," *IEEE J. Lightwave Technology*, vol. 15, pp. 697-703, 1997.
- [5] *Bell Labs Technology: Trends and Developments*, vol. 3, no. 1, spring, 1999.
- [6] Y.-K. M. Lin, and D. R. Spears, "Passive optical subscriber loops with multi access," *IEEE/OSA J. Lightwave Technol.*, vol. 7, pp. 1769-1777, 1989.

- [7] K. Okada, et al., Full Service Access Network Third workshop, Venice, 1988.
- [8] G. E. Keiser, "A review of WDM technology and applications," *Optical Fiber Technology*, vol. 5, pp. 3-39, 1999.

Bioraphy



심 우 진

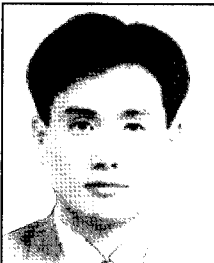
2001년 Vanderbilt 대학교 전기전자공
학과 졸업

2005년 연세대학교 대학원 전기전자공
학과(공학석사)

2005년~현재, SK 텔레콤 네트워크연
구원

<주관심분야> HomeNetwork, USN 등

<이메일> shimw@sktelecom.com



신 용 식

1994년 홍익대학교 산업공학과 졸업

1996년 홍익대학교 대학원 산업공학과
(공학석사)

2000년 홍익대학교 대학원 산업공학과
(박사학위)

2000년~현재 SK텔레콤 네트워크연구
원 선임연구원

<주관심분야> BcN, Home Network, Ubiquitous Network,
USN 등

<이메일> ysshin@sktelecom.com



박 용 길

1986년 서울대학교 전자공학과 졸업

1988년 서울대학교 대학원 전자공과
(공학석사)

1989년 KT 통신망 연구소

1995년~2001년 신세기통신 기술연구소

2002년~현재 SK텔레콤 네트워크연구원
책임연구원

<주관심분야> RF 성능개선, SDR, Home Network 등

<이메일> ygpark@sktelecom.com