

論文93-30A-5-6

에르븀 첨가 광섬유증폭기의 특성측정

(Characterization of Erbium-Doped Fiber Amplifier)

韓正熙*, 李在升*, 朱武楨*, 沈昌燮*

(Jeung Hee Han, Jae Seung Lee, Moo Jeung Chu and Chang Sup Shim)

要約

1.48 μm LD로 순방향 여기된 에르븀 첨가 광섬유증폭기를 제작하여 이득 및 잡음 특성을 측정하였다. 신호용 광원으로 발진파장 1548 nm의 DFB LD를 사용하였다. 에르븀광섬유 길이 17.6 m, 입력 광신호와 여기광이 각각 -25 dBm, 58 mW 일때 소신호 이득 21.8 dB, 최대이득계수 0.7 dB/mW를 얻었다. 입력 광신호가 -5 dBm 일때 포화출력은 1 dBm, 그리고 입력 신호광세기 -40 dBm 에서 광주파수 분석기를 사용하여 측정한 잡음지수는 약 5.8 dB 였다.

Abstract

An erbium doped fiber amplifier(EDFA) pumped by a single 1.48 μm LD was fabricated, and its gain and noise characteristics were measured. As a signal source, 1548 nm wavelength DFB LD was used. The small signal net gain of the EDFA module was 21.8 dB with maximum gain coefficient 0.7 dB/mW for the erbium fiber length of 17.6 m, the pump power of 58 mW, and an input signal power of -25 dBm, respectively. The saturation power of the EDFA was 1 dBm for the input signal power of -5 dBm and the noise figure, measured by using an optical spectrum analyzer, was 5.8 dB for the input signal power of -40 dBm.

1. 서론

광신호를 전기신호로 변환하지 않고 빛의 상태로 직접 증폭하는 광섬유 증폭방식은 최근의 급격한 기술발전으로 다양한 통신분야에서 그 사용이 확실시되고 있다. 특히 회토류 원소인 에르븀(erbium)이 첨가된 광섬유증폭기(erbium doped fiber amplifier

: EDFA)는 광섬유의 최저손실 파장영역인 1.5 μm 대역에서 편광에 무관한 높은이득(20 ~ 50 dB), 이론적 한계치에 가까운 낮은 잡음지수, 100 kHz 이상 변조시 무시할 수 있는 채널간의 누화, 일반 광섬유와의 낮은 결합손실 등 증폭용 소자로서 많은 장점을 가지고 있다.

에르븀 대신에 역시 회토류 원소인 프라세오디뮴(praseodymium: Pr)을 석영계 광섬유가 아닌 zirconium fluoride 복합체인 ZBLAN 광섬유에 첨가 하여, 범용화된 기존의 광통신 파장인 1.3 μm 대역의 광신호를 증폭하는 방식도 성공을 거두고 있다. 최근 NTT에서는 1.017 μm 영역에서 동작하는 Ti : sapphire 레이저(300mW)를 여기광원으로 사용하여

* 正會員, 韓國電子通信研究所 光通信研究室
(Optical Transmission Section, ETRI)
(* 본 연구는 한국통신 수탁과제 중 "2.5Gbps 광전송시스템 개발"의 일환으로 수행된 것입니다.)
接受日字: 1993년 1월 21일

1.31 μm 에서 38.2 dB의 신호이득을 얻었다.^[1] 그러나 ZBLAN 광섬유는 내구성이 취약하고 습기에 민감하며 기존 광섬유와의 융착접속이 어려운 문제가 아직 남아 있다.

에르븀 광섬유의 여기용 광원으로는 효율이 좋고 고출력을 얻을 수 있는 InGaAs계의 0.98 μm 혹은 InGaAsP계의 1.48 μm 파장의 LD가 주로 사용되며, 출력 300 mW 이상까지 가능한 것으로 보고되고 있으나, 0.98 μm LD의 경우 신뢰도가 떨어진다.^[2] 고무적인 것은 이테르븀(ytterbium: Yb)을 에르븀과 함께 사용하면, 1.06 μm 파장으로 이테르븀을 여기시키고, 여기된 이테르븀이 다시 에르븀을 여기하는 방식으로 광여기가 가능하다는 점이다.^[3] 따라서 가장 안정된 AlGaAs계의 수 Watt 이상 고출력 LD를 사용한 초소형화된 Nd:YAG 레이저를 여기광원으로 사용할 수 있으며, 아니면 아예 네오디뮴(Neodymium: Nd)을 첨가한 광섬유를 1.06 μm 광원으로서 에르븀 광섬유에 융착접속하여 EDFA 광증폭기를 구성할 수도 있게 되었다.

본 논문에서는 1.48 μm LD를 여기용 광원으로 사용하여 설계 제작된 EDFA에 대해서 기술하고자 한다. 2절에서는 EDFA의 구성방법과 제작상의 문제점을 설명하고, 3절에서는 소신호 증폭특성 및 잡음특성을 측정하여 국간전송시스템에서 광송신부의 광출력을 높이기 위한 광후치증폭기, 광수신부의 수신감도를 높이기 위한 광전치증폭기로서의 활용가능성에 대해 논의하고자 한다.

II. EDFA 제작

에르븀 광섬유를 이득 매질로 하여 EDFA를 구성하는 방법을 그림 1에 나타내었다. 여기광과 신호광을 결합하여 동일한 에르븀 광섬유로 통과시키기 위해 이색성 결합기를 사용한다. 여기광과 신호광의 진행 방향이 반대방향인 그림 1-b의 경우, 진행 방향이 같은 그림 1-a의 경우에 비해 일반적으로 이득 특성은 좋으나 증폭기 입력단에서 잡음이 많이 발생하고 그것이 에르븀 광섬유를 따라 계속 증폭되어 잡음특성이 나빠지게 된다. 따라서 이득은 약간 감소하더라도 잡음특성이 우수한 그림 1-a 구조가 광전치증폭기로 많이 활용된다. 좀더 복잡한 구조로서 그림 1-c와 같이 에르븀 광섬유 중간에 아이솔레이터를 설치하고 양방향으로 여기하는 구조도 있는데, 에르븀 광섬유 입력단 부근의 역방향 ASE(amplified spontaneous emission)를 차단하므로 높은 이득과 우수한 잡음 특성을 동시에 얻을 수 있는 것으로 보고되고 있다.^[4,5]

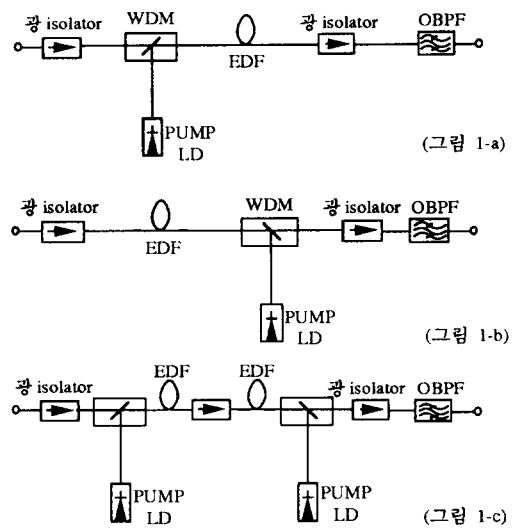


그림 1. EDFA 구성 방법 (a) 순방향 여기, (b) 역방향 여기, (c) 양방향 여기

Fig. 1. EDFA configuration. (a) forward pump type, (b) backward pump type, (c) bidirectional pump type(c).

그림 2에 설계 제작한 EDFA의 구조를 나타내었다. 여기광은 0.98 μm LD보다 효율 및 잡음 특성은 나쁘지만 구조적으로 안정하여 수명이 길고 고출력을 낼 수 있는 1.48 μm LD를 채택하였다. 본 실험에서 사용한 LD는 발진임계전류(I_{th}) 60 mA, 광출력 58 mW인 Philips 사의 CQF75-D 이다. 여기광과 신호광을 동시에 에르븀 광섬유로 결합시키기 위하여 신호광(1548 nm)과 여기광에 대한 삽입손실이 각각 0.4 및 0.3 dB 인 WDM 결합기를 사용하였다. WDM 결합기 출력단에 표 1에 나타낸 에르븀 광섬유를 그림 1-a와 같이 순방향 여기구조로 융착접속(fusion splicing) 하였다. 일반 광섬유와의 융착접속은 모드필드 직경 차이 때문에 큰 손실(약 1 dB)을 지나 부가적으로 약한 arc를 3-4회 가해주면 에르븀 광섬유의 코어가 확장되므로 접속손실을 0.2 dB 이하로 줄일 수 있다.^[6] 접속손실(P_0) 측정방법은 발진파장 1.3 μm 의 광원을 사용하여 에르븀 광섬유의 손실(P_1)을 측정후 그림 2에서 신호광원을 1.3 μm 광원으로 대체하여 WDM 결합기 출력단의 광출력(P_2)을 측정한다. 융착접속 완료후 에르븀 광섬유 출력단에서 광출력(P_3)을 측정하여 접속손실($P_0=P_2-P_3-P_1$)을 구할 수 있다. 그림 2에서 광 Isolator의 삽입손실(1.07 dB)을 포함하면 신호광의 에르븀 광섬유 입력 총손실은 1.8 dB이다.

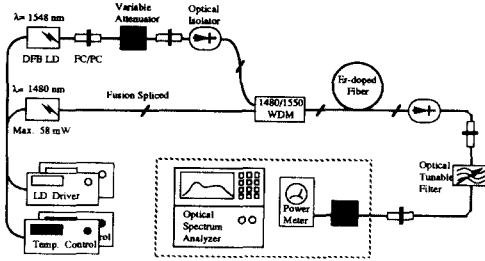


그림 2. EDFA의 구성도
Fig. 2. Schematic diagram of EDFA.

EDFA 출력단에는 증폭된 신호광 뿐만 아니라 ASE 잡음성분 및 잔류 여기광도 함께 나오므로 광학 필터를 사용해서 신호광만 걸러내야 한다. 본 실험에서는 반치폭(full width half maximum : FWHM) 2.5 nm, 삽입손실 2.0 dB, 튜닝범위 1520 ~ 1567 nm 인 JDS FITEL Inc.의 optical bandpass filter (TB1570-FP)를 사용하였다. EDFA는 이득이 매우 크므로 광섬유 양쪽 끝단에서 반사되는 작은 신호에 의해서도 레이저 발진을 일으킨다. 이를 방지하기 위해서 EDFA의 입력단과 출력단에 편광에 무관한 광섬유 pig-tailed Isolator (역방향 손실 60 dB)를 각각 융착 접속하였다.

표 1. 에르븀 광섬유의 제원
Table 1. Parameters of erbium-doped fiber.

항 목	재 원
1. 길 이	17.6 m
2. 광섬유 외경	125 μ m
3. 모드필드 직경	5.4 μ m
4. Relative refractive index difference(Δn)	0.0124
5. 차단 주파수	1.1 μ m
6. Ge / Al 비율	50 / 50

III. EDFA 특성 측정

1. 증폭특성

EDFA는 three-level 에너지준위 소자로 볼 수 있으므로 여기광의 출력이 낮을 경우, 기저상태에 존재하는 에르븀 이온에 의한 흡수로 신호광이 오히려 감

소한다. 여기광의 세기가 증가함에 따라 밀도반전이 이루어져 EDFA의 이득은 급격히 증가한다. 여기광을 계속 증가시키면 에르븀 이온은 거의 다 여기상태에 이르게 되고, 이득은 매우 완만히 증가하는 포화 특성을 갖는다. [7, 8] 그림 3은 여기광 출력에 대한 EDFA의 이득특성을 나타내었다. 신호광원으로 NEC사의 OD8336 DFB LD(1548 nm)를 사용하였다. 여기광출력 약 10 mW에서 EDFA는 무손실 상태가 되며 입력신호광 -25 dBm, 에르븀 광섬유 길이 17.6 m, WDM 결합기의 입력단에서 여기광출력이 58 mW일 때, 최대 21.8 dB의 광이득을 실현하였다. 이때 최대이득계수(gain coefficient)는 그림 3에서 기울기 값으로 측정하였으며, 0.7 dB/mW로 나타났다.

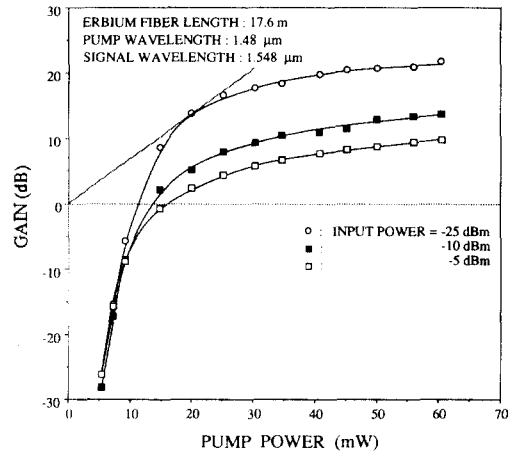


그림 3. 여기광출력에 대한 EDFA의 이득 특성
Fig. 3. Signal gain characteristics versus pump power.

정해진 여기광출력에 대한 신호광출력을 변화시켰을 때 출력광의 세기와 이득 사이의 관계를 그림 4에 나타내었다. 정해진 여기광출력에서 신호광출력이 낮은 영역의 이득은 일정한 값을 유지하지만, 신호광출력을 증가시키면 EDFA의 이득이 감소하게 된다. 즉, 입력 신호광 세기에 대해서 출력광의 세기는 항상 비례하는 것이 아니라 포화되며, 포화상태의 이득이 비포화 이득에 비해 3 dB 감소하는 광출력을 "포화출력"으로 정의한다. 그림 4에서 여기광출력 58 mW 일때 포화출력은 약 1 dBm으로 나타났다. 포화출력(I_{SAT})은 아래와 같이 신호광에 대한 에르븀 광섬유의 흡수단면적(absorption cross section : σ_a), 자연방출수명(spontaneous emission lifetime : τ

sp), 그리고 여기율(pump rate : R)의 함수이다.^[9]

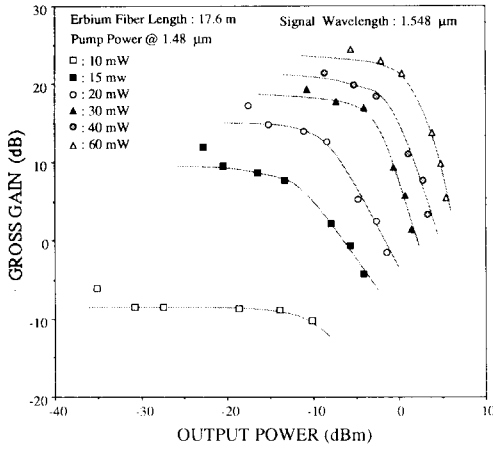


그림 4. 출력 신호광의 세기에 대한 이득의 포화 특성

Fig. 4. Gain saturation characteristics versus output signal power.

$$I_{SAT} = \frac{R\tau_{sp} + 1}{2\sigma_s\tau_{sp}} \quad (1)$$

자연방출수명은 수십 msec로 거의 일정한 값을 가지며, 흡수단면적을 작게하는에는 한계가 있다. 따라서 전송시스템에서 EDFA를 광송신기 출력을 높여주기 위한 광후치증폭기로 사용하기 위해서는 양방향 여기 방식으로 여기광출력을 키워주는 것이 바람직하다.

2. ASE 및 잡음특성

여기광출력의 세기를 달리하면서 광주파수분석기(ANDO, AQ6320C)를 이용하여 측정한 ASE 스펙트럼을 그림 5에 나타내었다. 출력이 최대가 되는 파장은 1531 nm이고 약 20 nm의 flat-band가 존재하므로 다채널 전송에 매우 유리함을 알 수 있다.

여기광출력 30 mW 이상에서 ASE 스펙트럼은 거의 일정한 모양을 유지하고 있는데, 이것은 그림 3의 이득특성 곡선이 포화되는 지점과 일치하는 것으로, 에르븀 광섬유의 길이가 사용가능한 최대 여기광출력(58 mW)에 비해 짧은 것을 보여준다 비포화영역에서 동작하는 EDFA의 출력은 그림 6-a에 나타낸바와 같이 증폭된 신호광, 신호광파장 부근의 넓은영역(약 40 nm)의 ASE 잡음성분, 그리고 잔류 여기광으로 이루어져 있다. 잔류 여기광은 필터를 이용하여 차단되므로 그 영향을 무시할 수 있다. 입력 신호광의 세

기가 증가하면 그림 6-b와 같이 여기광은 주로 신호광의 증폭에 사용되고 ASE 출력은 감소하는 특성을 보이는데, 이는 이득이 포화되면서 gain competition에 의해 ASE가 억제되기 때문이다.

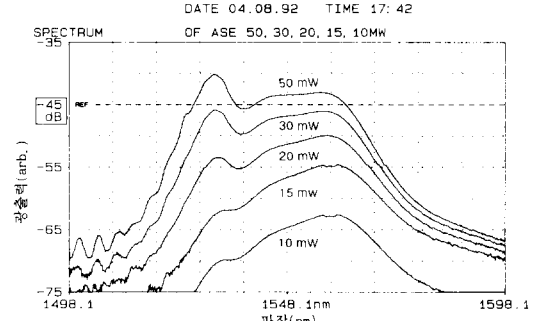


그림 5. 여기 광출력에 대한 ASE 스펙트럼

Fig. 5. ASE spectrum versus pump power.

입력된 신호가 코히런트한 경우, 광검출기 부하저항에 나타나는 EDFA 출력단 잡음성분은 증폭된 신호에 의한 산탄잡음(shot noise), ASE 성분의 산탄잡음, 신호와 ASE 성분의 beat 잡음, 그리고 ASE 성분들 간의 beat 잡음으로 구성된다. 증폭기의 출력단에 ASE 성분을 차단하기 위하여 ASE에 비해 매우 좁은 투과밴드폭을 갖는 광필터를 통과한 후 신호를 검출하였을 때, 광신호의 크기에 비례하는 잡음성분인 신호의 산탄잡음과 신호와 ASE 성분의 beat 잡음은 전력밀도 값이 광필터의 밴드폭과 무관한 반면, 광신호와 무관한 잡음인 ASE 산탄잡음과 ASE 성분들간의 beat 잡음의 전력밀도 값은 광필터의 밴드폭을 줄이면 그 영향도 줄어든다. 산탄잡음은 광검출기에 흐르는 전류에 비례하므로 증폭기의 이득에 비례하나, beat 잡음은 이득의 제곱에 비례하는 항들이 우세하여서, 일반적으로 산탄잡음보다 beat 잡음에 의한 영향이 크다. 따라서 EDFA의 잡음특성은 신호광이 클 경우 신호와 ASE 성분 간의 beat 잡음에 의해 제한되지만, 신호광이 작을 경우 ASE 성분들 간의 beat 잡음에 의해 제한된다.^[10]

그림 6-c는 대역폭 2.5 nm의 광학필터를 통과한 출력 스펙트럼이다. 필터의 대역폭이 신호광원의 폭(0.1 nm)에 비해 충분히 넓기 때문에 ASE 성분들 간의 beat 잡음이 많이 포함되어 있다. 그림 4의 출력광 세기와 이득 관계 그래프에서 입력신호 광출력이 -25 dBm 이하로 낮아지면 이득이 증가하는 것처럼 보이는데, 이것은 필터의 대역폭이 너무 커서 ASE 성분들

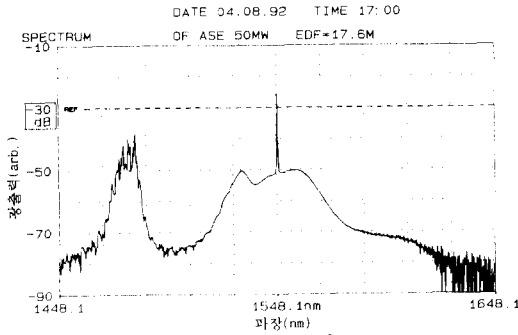
간의 beat잡음을 완전히 차단하지 못하는데서 기인한 것이다. EDFA를 광전치증폭기로 사용할 경우, 신호와 자연방출 성분 간의 beat 잡음에 의해 광수신기의 수신감도가 결정되도록하기 위해서는 변조속도(data rate)의 50배 이하에 해당하는 대역폭을 갖는 필터가 필요하다.^[11] 즉, 2.5Gb/s 로 변조된 신호의 경우, FWHM 1 nm 이하의 대역통과 필터를 사용하면 ASE 성분들 간의 beat 잡음을 차단할 수 있다.

EDFA의 잡음지수(noise figure: NF)는 증폭기의 이득이 크고 신호와 ASE 성분간의 beat 잡음이 우세할 때 $NF=2N_{sp}$ 로 근사되는데 N_{sp} 는 자연방출계수로서 에르븀 이온의 밀도반전 정도를 나타낸다.

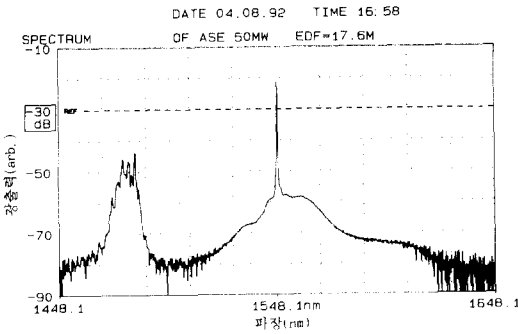
광주파수 분석기를 이용하면 잡음지수는 아래의 N_{sp} 관계식으로 부터 구할 수 있다.^[12]

$$2N_{sp} = \frac{P_{ASE}}{h\nu(G-1)B} [dB] \quad (2)$$

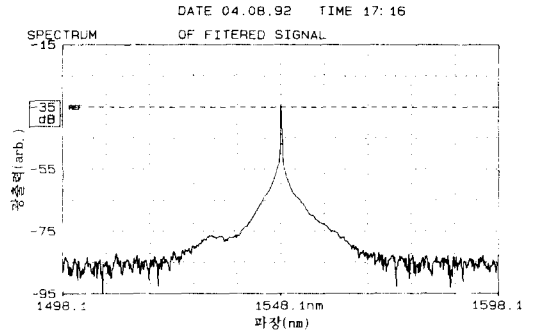
위식에서 G는 에르븀 광섬유의 이득, h는 플랑크 상수, ν 는 사용된 신호광원의 주파수, B는 광학필터의 투과대역, P_{ASE} 는 투과대역이 B인 필터를 통과한 ASE 출력의 세기를 나타낸다.



(a)



(b)



(c)

그림 6. EDFA 출력의 잡음 스펙트럼. (a) 비포화 영역(입력신호광 : -25 dBm), (b) 포화 영역(입력신호광 : -5dBm), (c) 대역폭 2.5 nm 필터 통과 후 (입력신호광 : -25 dBm)

Fig. 6. Noise spectrum of EDFA. (a) unsaturated region(input signal : -25 dBm), (b) (input signal : -5 dBm), (c) FWHM 2.5 nm optical filter passed (input signal : -25 dBm).

여기광출력을 25 mW, 광주파수분석기의 B=1.0 nm로 하고 입력신호광의 세기를 변화시키면서 측정 한 잡음지수를 그림 7에 나타내었다.

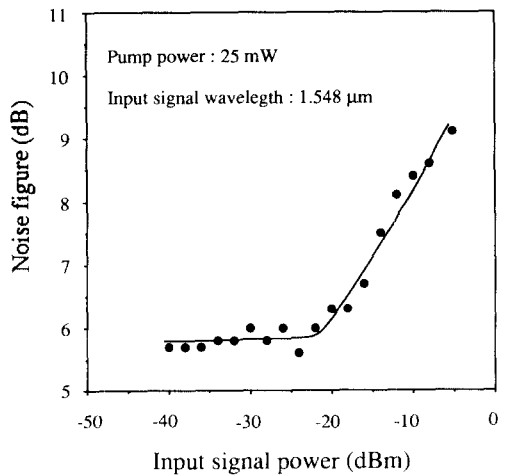


그림 7. 입력신호광의 세기에 대한 잡음지수 특성
Fig. 7. Noise figure characteristics versus input signal power.

EDFA가 광전치증폭기로 사용되는 비포화영역에서 잡음지수는 약 5.8 dB이다. 그러나 입력광의 세기가 증가하면 잡음지수는 일정한 값을 유지하다가 -15dBm 이상의 비교적 큰 신호광 영역에서 나빠지게 된다. 이는 대신호 영역에서 증폭된 신호광의 세기가 여기광의 세기와 비슷하거나 오히려 더 커지게 되므로, 신호광에 의해 에르븀 광섬유가 포화되어 밀도반전을 감소시키는데 원인이 있다. 측정된 잡음지수는 이론적 한계치(3 dB)에 비해 나쁜데, 그 이유는 신호광원과 여기광원의 파장이 유사하여 완전한 밀도반전이 이루어지지 않으므로 자연방출계수 $N_{sp}=1.8$ 정도이기 때문이다. EDFA를 광전치증폭기로 사용하기 위해서는 잡음지수를 더욱 줄여야 한다. 따라서 발전 파장 0.98 μm LD를 여기용 광원으로 사용하고, Fiber Fabry-Perot 필터와 같은 보다 좁은 밴드폭을 갖는 광학필터로 ASE 성분들간의 beat 잡음을 더욱 줄이는 작업이 필수적으로 요구된다.

IV. 결론

여기광으로 1.48 μm LD, 신호광원으로 1.548 μm DFB LD, 에르븀 광섬유 17.6 m를 사용하여 EDFA를 구현하고 이득 및 잡음 특성을 측정하였다. 신호광 입력 -25 dBm, 여기광출력 58 mW 일때, 21.8 dB의 소신호 이득을 실현하였다. 이때 최대이득계수는 0.7 dB/mW 였고, 입력 신호광출력이 -5 dBm일 때 포화출력은 1 dBm 이었다. 그리고 광전치증폭기로 사용되는 입력 신호광출력이 -30 dBm 이하에서 약 5.8 dB의 잡음지수를 얻었다.

향후 Fiber Fabry-Perot 필터와 같은 좁은 밴드폭을 갖는 광학필터를 사용하여 잡음지수를 개선하고 광수신부의 수신감도를 높이기 위한 광전치증폭기로서 활용하는 방안과, 양방향 여기구조를 채택하여 광송신부의 광출력을 높이기 위한 연구 및 EDFA를 사용한 광전송시스템 연구등을 계속할 것 이다.

감사의 글

에르븀 광섬유를 제공해주신 AT&T Bell 연구소 박용관 박사님과 실험에 조언을 해주신 전북대학교 박희갑 교수님께 감사드립니다.

参 考 文 献

[1] Y. Miyajima *et al.*, "38.2 dB amplification at 1.31 μm and possibility

of 0.98 μm pumping in Pr³⁺-doped fluoride fiber," *Elect. Lett.*, vol. 27, no. 19, pp. 1706-1707, 1991.

[2] Kami *et al.*, "Ultrahigh output power of 1.48 μm GaInAs/GaInAsP strained-layer MQW laser diodes," *Optical Fiber Communication Conference*, paper TuH6, 1992.

[3] Stephen G. Grubb, "Diode-pumped solid-state laser pumping of codoped erbium optical amplifiers," *Optical Fiber Communication Conference*, paper TuG1, 1992.

[4] R. Olshansky, "Noise figure for erbium-doped optical fiber amplifiers," *Elect. Lett.*, vol. 24, no. 22, pp. 1363-1365, 1988.

[5] R. I. Laming, M. N. Zervas, and D. N. Payne, "Erbium-Doped Fiber Amplifier with 54 dB Gain and 3.1 dB Noise Figure," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 4, p. 1345, 1992.

[6] M. Hamada *et al.*, "Characteristics of fusion splice of Er³⁺-doped fiber for optical amplifier," *Technical Digest on OEC '92*, 17B3-5, 1992.

[7] 한정희, 주무정, 이재승, 박희갑, "Ar 이온 레이저와 1.48 μm LD로 여기된 Er-doped 광섬유의 ASE 및 이득 특성," 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, 제14권 제2호, pp. 514-519, 1991.

[8] 한정희, 이재승, 주무정, 심창섭, "1.48 μm LD로 펌핑된 Er³⁺-doped 광섬유증폭기의 제작과 특성 측정," 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, 제15권 제1호, pp. 531-534, 1992.

[9] A. Takada *et al.*, "1.8Gb/s transmission over 210 km using an erbium-doped fiber laser amplifier with 20 dB repeater gain in a direct detection system," *Trans. of IEICE*, vol. E73, no. 1, 1990.

[10] K. Nakagawa *et al.* "Trunk and distribution network application of erbium-doped fiber amplifiers," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 9, pp. 198-208, 1991.

- [11] R. C. Steels et al., "Sensitivity of optically preamplified receivers with optical filtering," *IEEE photon. Technol. Lett.*, vol. 3, no. 6, pp. 545-547, 1991.
- [12] C. R. Giles, E. Desurvire, J. L.

Zyskind, and J. R. Simpson, "Noise performance of Erbium-doped fiber amplifier pumped at 1.49 μm and application to signal preamplification at 1.8Gb/s," *IEEE photon. Technol. Lett.*, vol. 1, p. 367, 1989.

著者紹介



韓正熙(正會員)

1964年 3月 30日生. 1986年 2月 부산대학교 전자공학과 졸업. 1988年 2月 동 대학원 전자공학과 석사학위 취득. 1993年 3月 ~ 현재 KAIST 전기및전자공학과 박사과정 재학. 1988年 2月 ~ 현재 한국전자통신연구소 광통신연구실 선임연구원. 주관심분야는 반도체레이저 응용, 광증폭, 광송수신기, 초고속광전송 등임.



朱武楨(正會員)

1958年 2月 6日生. 1980年 2月 연세대학교 물리학과 졸업. 1982年 2月 KAIST 물리학과 석사학위 취득. 1985年 2月 KAIST 물리학과 이학박사 학위 취득. 1985年 3月 ~ 현재 한국전자통신연구소 광파통신연구실 선임연구원. 1989年 1月 ~ 1989年 10月 독일 HHI 방문연구원. 주관심분야는 광주파수변환, 광파통신기술, 광증폭기술 등임.

李在升(正會員)

1959年 12月 5日生. 1982年 2月 서울대학교 전자공학과 졸업. 1984年 2月 KAIST 전기및전자공학과 석사학위 취득. 1989年 8月 KAIST 전기및전자공학과 박사학위 취득. 1989年 9月 ~ 현재 한국전자통신연구소 광통신연구실 선임연구원. 주관심분야는 광도파로 해석, 광증폭기술, 광파통신 등임.



沈昌燮(正會員)

1952年 5月 6日生. 1975年 2月 서울대학교 응용물리학과 졸업. 1987年 7月 한남대학교 대학원 물리학과 석사학위 취득. 1988年 2月 ~ 현재 KAIST 전기및전자공학과 박사과정 재학. 1975年 3月 ~ 1982年 12月 국방과학연구소 선임연구원. 1983年 3月 ~ 현재 한국전자통신연구소 책임연구원 광통신연구실장. 주관심분야는 광통신시스템 개발, 광전소자 개발 등임.