

저 잡음 에르븀 첨가 광섬유 증폭기의 제작 및 광전치 증폭 실험

(Fabrication of low Noise Erbium-Doped Fiber Amplifier and Optical Pre-amplification Experiment)

李相受*, 韓正熙*, 尹泰烈*, 李昌熹*, 沈昌燮*

(Sang Soo Lee, Jeung Hee Han, Tae Yeoul Yun, Chang Hee Lee and Chang Sup Shim)

要約

광전치 증폭기용으로 저 잡음 에르븀 첨가 광섬유 증폭기를 제작하여 그 특성을 조사하였다. 역방향으로 진행되는 증폭된 자연방출광에 의해 에르븀 광섬유의 입력단이 포화되는 것을 방지하기 위하여 에르븀 광섬유의 중간에 광 아이솔레이터를 설치하여 고이득과 저잡음지수를 동시에 얻을 수 있게 하였다. 그 결과 34dB의 소신호 이득과 5.5dB의 잡음지수를 얻을 수 있었다. 제작된 광전치 증폭기로 2.5Gbps로 직접변조된 광신호를 증폭하여 BER 10^{-9} 에서 -39.7dBm의 수신감도를 얻을 수 있었고, 47km의 일반 광섬유를 통하여 전송실험한 결과 -39.3dBm의 수신감도를 얻었다.

Abstract

A low noise erbium doped fiber amplifier for optical pre-amplification has been demonstrated. The amplifier incorporates an optical isolator in its midway to prevent decrease of population inversion at the input port due to backward traveling amplified spontaneous emission. Then, high gain and low noise can be achieved simultaneously. A small signal gain of 34dB and a noise figure of 5.5dB have been achieved. With this amplifier, we obtained a receiver sensitivity of -39.7dBm with back to back configuration and -39.3dBm with 47km normal fiber for 10^{-9} BER at 2.5Gbps direct modulated optical signal.

1. 서론

에르븀이 첨가된 광섬유 증폭기(Erbium Doped

* 正會員, 韓國電子通信研究所 光通信研究室
(Optical Transmission Section, ETRI)

※ 본 연구는 HAN/B-ISDN 출연과제중
"10Gbps SDH 광전송 시스템 개발"의
일환으로 수행되었습니다.

接受日字 : 1993年 9月 2日

Fiber Amplifier, EDFA)는 일반 광섬유의 최저 손실 대역인 1550nm 영역에서 편광에 무관한 고이득, 저잡음지수, 전송속도나 방식에 무관한 증폭등의 장점을 지니고 있기 때문에 광통신 시스템에의 응용이 매우 활발히 진행되고 있다.

이러한 EDFA는 사용 목적에 따라 송신단에서 송신 광출력을 높여주는 광전력 증폭기(optical power amplifier), 수신단의 수신감도를 높여주는 광전치 증폭기(optical pre-amplifier) 및 장거리 전송시 전송로에서의 손실을 보상해 주는 중계기(repeater) 등

기존의 광섬유 증폭기의 구조에서 최적화된 길이보다 1.8배 정도 길게하고, 전단과 후단의 비율을 25:75로 한 것이다. EDFA의 입력 및 출력단에는 접속을 위한 FC/PC 커넥터를 설치하였다. 사용된 에르븀 광섬유는 모드필드직경이 $5.4\mu\text{m}$, 1480nm에서의 손실이 5.0dB/m, 1530nm에서의 손실이 11.38dB/m이며, 차단파장은 1100nm. 코어와 클래딩 간의 굴절률 차를 나타내는 ΔN 은 0.0124이다.

III. EDFA의 이득 및 잡음지수 측정

EDFA의 이득과 잡음지수는 광주파수 분석기(optical spectrum analyzer, ANDO AQ6320C)를 이용하여 측정하였다.¹⁰⁾ 일반적으로 광전지 증폭기에서는 좁은 투과 대역폭을 갖는 필터를 사용하여 ASE 및 잔류 여기광을 제거한다. 그러나 이득 및 잡음지수의 경우에는 출력 스펙트럼 만으로 측정이 가능하기 때문에 필터를 사용하지 않고 광주파수 분석기의 분해능을 1.0nm로 하여 측정하였다. 이때 분해능은 광주파수 분석기 내부의 슬릿 크기를 나타내며 입사광의 대역폭을 1.0nm로 제한하기 때문에 반치폭이 1.0nm인 필터를 사용한 것으로 볼 수 있다. 따라서 이러한 특성을 이용하면 필터를 직접 사용하지 않더라도 이득과 잡음지수의 측정이 가능하다.

한편, 광주파수 분석기는 내장되어 있는 회절격자가 입사광의 편광상태의 변화에 따라 회절효율이 변하기 때문에 편광 조절기를 사용하여 EDFA 출력단에서 나오는 증폭된 신호광의 편광상태가 일정하게 유지될 수 있도록 하였다.

이득의 경우는 식(1)과 같이 출력광 세기에서 ASE 성분을 제거하여 이를 입력 신호광과 비교하여 다음과 같이 계산하였다.

$$G = 10 \log [(P_{\text{OUT}} - P_{\text{ASE}}) / P_{\text{IN}}] \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

위 식에서 P_{OUT} 는 증폭된 신호광의 세기, P_{ASE} 는 신호광 대역 내의 ASE 출력의 세기, P_{IN} 은 입력신호광의 세기를 각각 나타낸다.

신호광의 파장을 1550nm, 세기를 -30.0dBm으로 고정시키고 여기광 출력을 변화시킬 경우 이에 대한 이득의 변화를 그림 2에 나타내었다. 여기광 출력이 낮을 경우 기저상태의 에르븀 이온의 흡수로 신호광이 감소하기 때문에 이득을 갖지 못하다가 여기광 출력 약 12mW에서 이득을 가지기 시작한다. 여기광 출력이 증가하면 이득이 급격히 증가하다가 30mW 이상의 여기광 출력에 대해서는 에르븀 이온들이 대

부분 여기되어 서서히 포화되는 것을 볼 수 있으며, 최대 이득은 여기광 출력 55mW에서 34dB였다. 이는 입력결합손실 0.8dB와 출력결합손실 1.2dB를 보 상해 준 에르븀 광섬유 만의 이득이며, EDFA의 입력과 출력단 사이의 이득은 입/출력결합손실 만큼 감소하므로 32dB가 된다.

EDFA에서 잡음지수의 측정은 수신기에서의 고주파 잡음(RF electrical noise)을 측정하는 방법과 광주파수 분석기 상에서 ASE 출력을 측정하여 계산하는 방법이 있는데 그 결과는 거의 비슷하기 때문에 측정이 간단한 광주파수 분석기를 사용하는 방법이 널리 사용되며 본 실험에서도 이를 채택하였다.¹⁰⁾ 일반적으로 EDFA의 잡음지수는 $NF = 2N_{\text{sp}} [\text{dB}]$ 로 나타내는데 이때 N_{sp} 는 자연방출계수로서 에르븀 이온들의 밀도반전(population inversion) 상태를 나타내며, 기저상태의 밀도분포를 N_1 , 여기상태의 밀도분포를 N_2 라고 할때 $N_{\text{sp}} = N_2 / (N_2 - N_1)$ 을 나타낸다. 따라서 밀도반전이 완전할 경우 N_{sp} 는 1이 되어 잡음지수는 이론적 한계치인 3dB를 나타내지만, 실제로는 980nm 여기서 1.05~1.1, 1480nm 여기서 1.3~1.8을 나타낸다.¹¹⁾ 한편, ASE 출력으로 잡음지수를 결정하는 경우 N_{sp} 는 다음과 같다.⁹⁾

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

위식에서 G 는 에르븀 광섬유의 이득, h 는 플랑크 상수, ν 는 사용된 신호광원의 주파수, B 는 광학필터의 투과대역, P_{ASE} 는 투과대역이 B 인 필터를 통과한 ASE 출력의 세기를 나타낸다. 여기서 측정된 N_{sp} 혹은 잡음지수는 사용하는 필터의 대역폭에 무관한 값이다.

-30.0dBm의 입력 세기를 가지는 1550nm의 신호광에 대하여 여기광 출력의 변화에 따른 잡음지수의 변화를 B 가 1.0nm인 경우에 대하여 측정하였다. 그림 2에 나타난 바와 같이 여기광 출력이 낮은 영역에서는 이득이 작고 밀도반전이 불완전하기 때문에 잡음지수가 매우 크지만 여기광 출력이 증가함에 따라 급격히 감소하고 그 출력이 15mW 이상 인 경우에는 거의 일정한 값을 유지하고 있는 것을 알 수 있으며, 이 영역에서의 평균값은 5.5dB로 나타났다. 여기광 세기에 따른 이득의 증가율을 나타내는 이득 계수를 입력신호광의 세기가 -40.0dBm인 경우에 대해 계산한 결과가 그림 3에 나타나 있다. 여기광 출력이 증가함에 따라 이득계수는 급격히 증가하다가 여기광 출력 20mW 부근에서 그 값이 약 1.2dB/mW로 최대를 나타내는데 이때의 이득은 24dB이며, 그 이후로는 여기광 출력을 증가시키면 이득은 완만히 증가

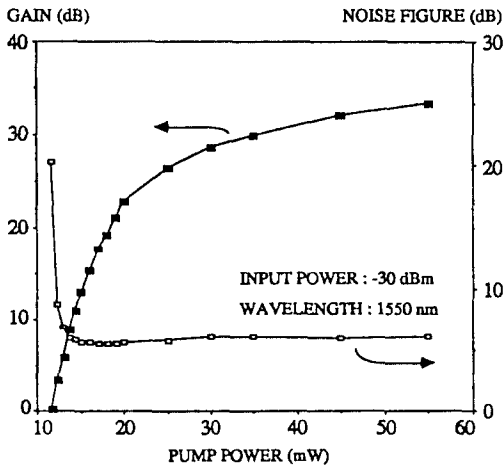


그림 2. 여기광 출력의 변화에 대한 EDFA의 이득 및 잡음지수특성
 Fig. 2. Gain and noise figure characteristics of EDFA to the variation of pump power.

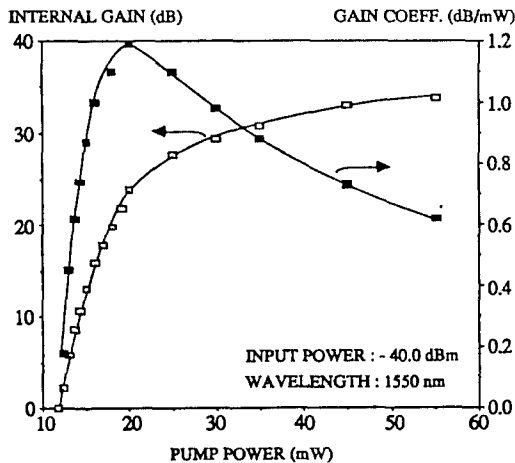


그림 3. 여기광 출력의 변화에 대한 EDFA의 이득 및 이득계수 특성
 Fig. 3. Gain and gain coefficient characteristics of EDFA to the variation of pump power.

하나 이득이 포화되기 때문에 이득계수는 오히려 감소함을 알 수 있었다.

한편, 입력광의 세기를 -44.0dBm에서 -8.0dBm 까지 2dBm 간격으로 변화시켰을 때의 이득과 잡음지수의 변화를 그림 4에 나타내었다. 이때 여기광의 출력은 이득계수가 크게 나타났던 25mW로 하였다.

입력광의 세기가 -30.0dBm 이상 되면 이득은 급격히 감소하지만 잡음지수는 일정한 값을 유지하다가 -15dBm 이상의 비교적 큰 신호광 영역에서는 증가함을 볼 수 있다. 이는 대신호 영역에서 증폭된 신호광의 세기가 여기광의 세기와 비슷하거나 오히려 더 커지게 되어 신호광에 의해 에르븀 광섬유가 포화되어 밀도반전을 감소시키기 때문이다.^[12] 그런데 EDFA를 무중계 장거리 전송용 광전치 증폭기로 사용할 경우 전송로를 지나온 광신호의 세기는 대개 -40dBm 이하가 되어 이 영역에서의 잡음지수가 매우 중요한데, 제작된 EDFA의 잡음지수 특성은 이 영역에서도 우수하므로 광전치 증폭기로 적합함을 알 수 있다.

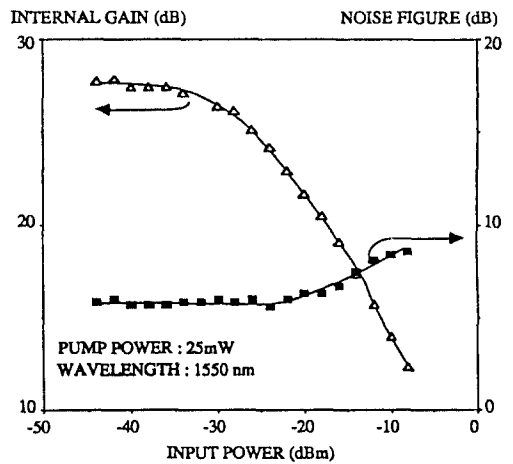


그림 4. 입력 신호광 세기에 대한 EDFA의 이득 및 잡음 지수 특성
 Fig. 4. Gain and noise figure characteristics of EDFA to the variation of input signal power.

Ⅳ. 2.5Gbps 광신호 증폭실험

그림 5에 제작된 EDFA를 이용하여 2.5Gbps 광신호의 전송실험을 하기 위한 실험장치도를 나타내었다. 광송신기는 pseudorandom bit sequence (PRBS $2^{23}-1$) 패턴발생기의 출력인 2.5Gbps non return to zero(NRZ) 신호에 의해 직접 강도변조되며 발진중심파장이 1549nm, 송신광출력은 0dBm인 DFB 레이저 다이오드를 사용하였다. 실험시 레이저 DC 바이어스 전류는 발진임계전류의 1.5배, 변조전류는 30mA로 하였으며, 이때의 -20dB 발진선폭은 0.61nm 였다. 전송로인 광섬유는 1550nm 영역에

서의 손실이 0.2dB/km이고 색분산이 17ps/nm-km 인 단일모드 광섬유를 사용하였다. 광수신기는 avalanche photodiode, 전치증폭기, 주증폭기, 클럭 추출 및 정형부로 구성되어 있으며, 최대 수신 입력세기는 -9dBm이다. 한편, 광전치 증폭기의 경우 높은 수신감도를 얻기 위해서는 ASE를 효과적으로 제거하여야 하는데, 이를 위하여 투과대역의 반치폭이 12GHz이고 free spectral range(FSR)가 10nm 인 광섬유 Fabry-Perot 필터를 사용하였다. FSR이 EDFA의 ASE 출력 대역폭 보다 좁기 때문에 3~4개의 투과대역이 존재하므로 반치폭이 2.5nm인 tunable bandpass 필터를 광섬유 Fabry-Perot 필터와 직렬로 사용하여 신호광의 대역만 투과할 수 있도록 하였다. EDFA 입력단 앞에 있는 광 아이솔레이터는 EDF I에서 발생한 역방향 ASE가 광섬유를 진행하다가 Rayleigh backscattering에 의해 EDFA로 재입력되어 잡음을 증가시키는 것을 방지하기 위한 것으로서^[13] 향후 제작되는 전치 증폭기용 EDFA에서는 입력단에 광 아이솔레이터를 설치하여야 할 것이다.

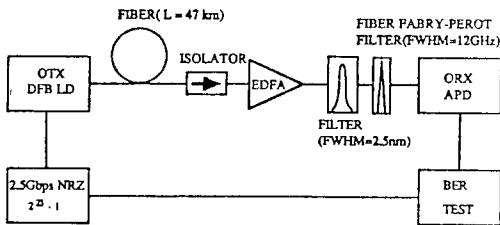


그림 5. 2.5Gbps 광신호 전송 실험도
Fig. 5. Schematic diagram for 2.5Gbps optical signal transmission experiment.

먼저 EDFA를 사용하지 않은 경우의 수신감도를 보면, 그림 6에서와 같이 광섬유를 연결하지 않은 상태에서 BER 10^{-9} 에 대하여 -34.0dBm 이었으며, 47km의 광섬유를 사용한 경우에는 -33.2dBm이었다.^[14] 그렇지만 여기광 출력을 38mW로 하여 약 30dB의 소신호 이득을 가지는 EDFA를 사용한 경우 입력단에서의 수신감도는 광섬유를 연결하지 않은 경우에는 -39.7dBm, 47km의 광섬유를 사용한 경우에는 -39.3dBm을 나타냈다. 즉, EDFA를 사용하여 약 5.7dB의 시스템 이득이 증가하였으며(광섬유를 사용하지 않은 경우와 비교하였을 때) 이는 광섬유의 손실을 0.2dB/km로 가정할 경우 약 30km 정도의 손실을 보상할 수 있을 것이다.

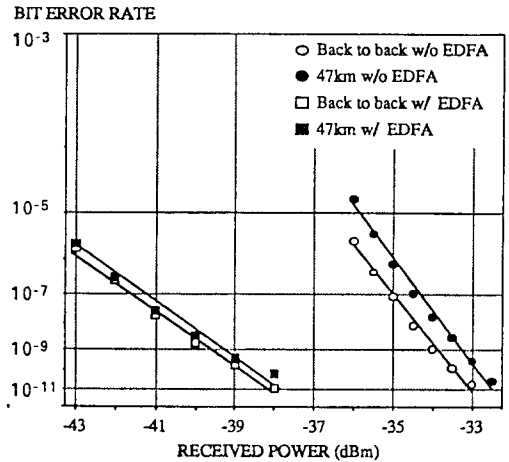


그림 6. 2.5Gbps 광신호 증폭의 BER곡선
Fig. 6. Measured BER curves of 2.5Gbps signal with and without preamplifier.

2.5Gbps의 전송속도에서 -39.7dBm은 334 photons/bit에 해당하는데, 이는 이상적인 광전치 증폭기의 양자론적 한계의 수신감도인 38 photons/bit(2.5Gbps인 경우 -49.1dBm)^[15]에 비해 9.4dB 열화 된 것이다. 이상적인 광전치 증폭기는 EDFA의 잡음지수 3dB, 입력결합손실 0dB, 송신기의 소광비 무한대, 전송속도에 해당하는 대역폭을 갖는 광학필터 및 전송속도의 1/2의 대역폭을 갖는 수신기로 구성된다.^[16] 그러나 실제로 제작된 EDFA는 잡음지수 5.5dB, 입력결합손실 1.0dB, 송신기의 소광비 8dB, 광학필터의 대역폭 12GHz, 수신기의 대역폭이 2GHz가 된다. 이에 대한 페널티는 잡음지수에서 2.5dB, 입력결합손실에서 1.0dB, 소광비에 의해 2.9dB,^[14, 17] 광학 필터 및 수신기의 대역폭에서 3.5dB^[16]로 총 페널티는 9.9dB가 된다. 이는 근사치로서 정확한 계산이 아니므로 실제로 나타난 페널티와 약 0.5dB의 오차가 있으나 대략적인 페널티의 원인을 알 수 있다. 보다 높은 수신감도를 얻기 위하여 페널티를 줄여야 하는데, 980nm 여기광원과 효율이 좋은 에르븀 광섬유를 사용하면 잡음지수에서 2dB 정도의 페널티가 줄어들며, 송신기에서의 소광비를 현재의 8dB에서 13dB로 하면 약 2dB의 페널티가 감소되므로^[17] 약 4dB 정도의 수신감도가 개선될 것으로 예상된다. 실제로 송신기의 레이저 바이어스 전류를 발진임계전류의 1.2배로 하여 소광비를 13dB로 한 경우 대역폭이 1.0nm인 광학필터를 사용하더라도 BER 10^{-9} 에서의 수신감도가 -40.5dBm으로 개선되었다. 따라서, EDFA의 잡음지수와 광송신기의

소광비 특성만 개선하여도 -43~44dBm 정도의 수신 감도를 얻을 수 있을 것으로 기대된다

V. 결론

에르븀 광섬유의 중간에 광 아이솔레이터가 삽입된 구조의 EDFA를 제작하고 1480nm LD로 순방향 여기를 하여 이득 및 잡음지수 특성을 조사하였다. 그리고 제작된 EDFA를 2.5Gbps 광 송수신기와 결합하여 전송실험을 수행하여 광전치 증폭기의 시스템 응용 가능성을 알아 보았다.

실험결과, 입력신호광 세기가 -30.0dBm인 소신호 영역에서 34dB의 이득과 5.5dB의 잡음지수를 얻었다. 이득계수가 최대인 여기광 세기는 약 20mW이고 15~25mW 범위 내에서 매우 높은 수치를 나타내었는데, 이 영역은 잡음지수도 낮은 영역이므로 제작된 EDFA를 광통신 시스템에 적용할 경우 여기광 세기를 이 범위 내로 택하는 것이 효율적임을 알았다. 입력광 세기의 변화에 따른 이득과 잡음지수의 측정으로부터 제작된 EDFA는 -44.0dBm의 소신호 영역에서도 높은 이득과 낮은 잡음지수를 나타냄을 알 수 있었다. 그리고 이를 투과대역의 반치폭이 12GHz인 광섬유 Fabry-Perot 필터와 결합하여 2.5Gbps 광링크에서 전치 증폭기로 사용한 경우 BER 10^{-9} 에 대하여 -39.7dBm의 수신감도를 얻었다. 또한 47km의 일반광섬유를 전송로로 사용하였을 경우 BER 10^{-9} 에 대하여 -39.3 dBm의 수신감도를 얻었다.

감사의 글

본 논문의 저자들은 실험에서 사용된 에르븀 광섬유를 제공해 주신 AT&T Bell 연구소의 박용관 박사님께 감사드립니다.

參 考 文 獻

- [1] Y.K.Park, S.W.Granlund, T.W.Cline, L.D.Tzeng, J.S.French, J.M.P. Delavaux, R.E.Tench, S.K.Korotky, J. J.Veselka, and D.J.DiGiovanni, "2.488Gb/s-318km repeaterless transmission using erbium-doped fiber amplifier in a direct-detection system." *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.4, no.2, pp.179-182, Feb.1992.
- [2] O.Gautheron, G.Grandpierre, L.Pierre, J-P.Thiery, and P.Kretzmeyer, "252km repeaterless 10Gbit/s transmission demonstration." *Technical Digest on Optical Fiber Communication '93*, PD11, 1993.
- [3] M.N.Zervas, R.I.Laming, and D.N. Payne, "Tradeoff between gain efficiency and noise figure in an optimized fiber amplifier." *Technical Digest on Optical Fiber Communication '92*, WK7, 1992.
- [4] O.Lumholt, K.Schusler, A.Bjarklev, S. Dahl-Petersen, J.H.Povlsen, T. Rasmussen, and K.Rottwitt, "Optimum position of isolators within erbium-doped fibers." *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.4, no.6, pp.568-570, Jun. 1992.
- [5] S.Yamashita, and T.Okoshi, "Performance improvement and optimization of fiber amplifier with a midway isolator." *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.4, no.11, pp.1276-1278, Nov.1992.
- [6] R.I.Laming, M.N.Zervas, and D.N. Payne, "Erbium-doped fiber amplifier with 54dB gain and 3.1dB noise figure." *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.4, no.12, pp.1345-1347, Dec.1992.
- [7] M.N.Zervas, R.I.Laming, and D.N. Payne, "Efficient erbium-doped fiber amplifier with an integral isolator." *Technical Digest on Optical Amplifier and Their Applications '92*, FB2, 1992.
- [8] 한정희, 이재승, 주무정, 심창섭, "에르븀 첨가 광섬유증폭기의 특성측정." 전자공학회지 제30 권 A편 제5호, pp.45-51, 1993년 5월.
- [9] J-M.P.Delavaux, J.Federici, D.J. DiGiovanni, and S.Y.Huang, "Dependence of noise and gain on pump wavelength in Er-doped fiber preamplifier near 980nm." *Proceedings on European Conference on Optical Communication '92*, We P2.6, 1992.
- [10] C.R.Giles, E.Desurvire, J.L.Zyskind, and J.R.Simpson, "Noise performance of erbium-doped fiber amplifier

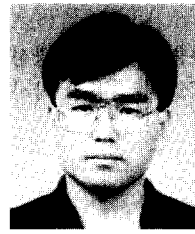
- pumped at 1.49 μm , and application to signal Pre-amplification at 1.8Gb/s," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.1, no.11, pp.367-369, Nov.1989.
- [11] K.Nakagawa, S.Nishi, K.Aida, and E.Yoneda, "Trunk and distribution network application of erbium-doped fiber amplifier," *J. Lightwave Technol.*, vol.9, no.2, pp.198-208, Feb.1991.
- [12] R.I.Laming and D.N.Payne, "Noise characteristics of erbium-doped fiber amplifier pumped at 980nm," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.2, no.6, pp.418-421, Jun. 1990.
- [13] N.Henmi, Y.Aoki, S. Fujita, Y. Sunohara, and M.Shikada, "Rayleigh scattering influence on performance of 10Gb/s optical receiver with Er-doped optical fiber pre-amplifier," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.2, no.4, pp.277-278, Apr. 1990.
- [14] 윤태열, 한정희, 이창희, 심창섭, "2.5Gbps 신호의 98km 무중계 광섬유 전송," 전자공학회지 제31권 A편 제2호, pp.26-38, 1994년2월.
- [15] P.S.Henry, "Error-rate performance of optical amplifier," *Technical Digest on Optical Fiber Communication '89*, ThK3, 1989.
- [16] A.H.Gnauck, and C.R.Giles, "2.5 and 10Gb/s transmission experiments using a 137photon/bit erbium-doped preamplifier receiver," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.4, no.1, pp.80-82, Jan.1992.
- [17] H.Kressel, *Semiconductor devices for optical communication*, Springer-Verlag, Berlin, p145, 1987.
- [18] F.F.Ruhl and R.W.Ayre, "Explicit expressions for the receiver sensitivity and system penalties of optically preamplified direct-detection systems" *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.5, no.3, pp.358-361, Mar.1993.

 著 者 紹 介



李相受(正會員)

1965年 8月 25日生. 1988年 2月 인하대학교 응용물리학과 졸업. 1990년 2월 동 대학원 응용물리학과 석사학위 취득. 1990년 7월~현재 한국전자통신연구소 광통신 연구실 연구원. 주관심 분야는 광 증폭, 초고속 광전송 등임.



韓正熙(正會員)

1964年 3月 30日生. 1986年 2月 부산대학교 전자공학과 졸업. 1988년 2월 동 대학원 전자공학과 석사학위 취득. 1993년3월~현재 KAIST 전기 및 전자공학과 박사과정 재학. 1988년 2월~현재 한국전자통신연구소 광통신연구실 선임연구원. 주관심 분야는 반도체 레이저 응용, 광증폭, 광송수신기, 초고속광전송 등임.

著 者 紹 介



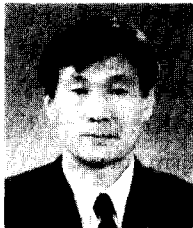
尹 泰 烈(正會員)

1964年 12月 6日生. 1987年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업. 1989年 2月 KAIST 전기 및 전자공학과 석사학위 취득. 1989年 3月~현재 한국전자통신연구소 광통신연구실 선임연구원. 주관심 분야는 초고속 광링크, 초고주파 집적회로 등임.



李 昌 熹(正會員)

1961年 9月 23日生. 1983年 2月 한양대학교 전자공학과 졸업. 1985年 2月 KAIST 전기 및 전자공학과 석사학위 취득. 1989年 2月 KAIST 전기 및 전자공학과 박사학위 취득. 1989年 7月~1990年 6月 Bellcore(Red Bank) Post Doc. 1989年 3月~현재 한국전자통신연구소 선임연구원. 주관심 분야는 광통신(광링크), 광증폭, 반도체 레이저, 극초단 광펄스 생성 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. 1994年 2月 KAIST 전기 및 전자공학과 박사학위 취득. 1975年 3月~1982年 12月 국방과학연구소 선임연구원. 1983年 3月~현재 한국전자통신연구소 책임연구원. 광통신연구실 실장. 주관심 분야는 광통신 시스템 및 반도체 레이저 개발, 565Mbps/2.5Gbps/10Gbps 광전송 시스템 개발 등임.