

論文99-36D-8-8

넓은 입력 다이내믹 영역을 가지는 상호이득변조 방식의 전광 파장변환기

(All Optical Wavelength Converters Based on XGM for Wide Input Power Dynamic Range)

房俊鶴*, 李相綠*, 李聖恩*, 李鍾弦*

(Joon-Hak Bang, Sang-Rok Lee, Sung-Un Lee, and Jong-Hyun Lee)

요 약

본 논문에서는 반도체 광 증폭기내에서 상호이득변조 방식을 이용한 파장변환기의 입력 다이내믹 영역을 넓히기 위한 구조를 제안하였다. 파장변환기에서의 성능의 척도가 되는 파워 페널티에 대한 입력 펌프 및 프로우브 광 세기의 영향을 조사하였으며, 그 결과 프로우브광의 세기가 펌프광의 세기보다 약 3 dB 낮은 경우에 최적의 BER 성능을 보였다. 이러한 특성을 이용하여 입력 펌프광의 세기를 감지하고 그에 따라 프로우브 광원에 가해지는 바이어스 전류로 프로우브광의 세기를 제어하는 파장변환기 구조를 제안하였다. 따라서 넓은 입력 다이내믹 영역을 가지는 파장변환기를 구현할 수 있으며, 2.5 Gb/s 광신호에 대해 20 dB 이상의 입력 다이내믹 영역을 얻었다.

Abstract

In this letter, a scheme for increasing the input power dynamic range of wavelength converters based on cross-gain modulation (XGM) in semiconductor optical amplifiers (SOA's) is proposed. We investigate the effect of input pump and probe powers on the power penalty, the measure of performance for the wavelength converters. As a result, we show that the optimal bit error rate (BER) performance can be obtained when the probe power is kept 3 dB weaker than the pump power. Using this characteristic, we propose the wavelength converter scheme that controls the probe power level by monitoring the input pump power and adjusting the bias current of probe source accordingly. Consequently, the wavelength converter for wide input power dynamic range can be implemented. We show that an input power dynamic range of more than 20 dB at 2.5 Gb/s is achievable.

I. 서 론

* 正會員, 韓國電子通信研究院 光通信硏究部

(Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI) Optical Communication Department)

※ 본 연구는 정보통신부 출연의 "초고속 광대역 광전달망 기술연구" 과제로 수행되었으며, 본 연구 수행에 많은 도움을 주신 김재근 박사, 서완석 박사께 감사드립니다.

接受日字:1998年4月19日, 수정완료일:1999年7月20日

최근 국내외적으로 정보량의 급증에 따라 전송시스템의 대용량화도 필요하게 되었는데, 단일 파장을 이용하는 기존의 광전송 기술에서는 전기적 신호 처리의 한계로 인하여 ~40Gb/s의 전송속도가 최대치로 인식되고 있다. 따라서 여러 개의 파장을 사용함으로써 광섬유가 제공하는 넓은 대역폭을 효과적으로 이용할 수 있는 파장분할다중방식(wavelength division multi-

plexing: WDM)에 의한 전송방식이 관심을 끌고 있다. 이러한 WDM 전송장치를 이용하는 통신망에서 광증폭기와 더불어 핵심요소가 되는 것이 파장변환기이다. 파장변환기는 전송속도 및 전송방식에 무관하게 전송신호의 파장을 변환하는 장치로서, WDM 통신망 내에서의 파장 충돌(contention)(동일한 파장의 두 채널이 같은 경로를 지나게 되는 경우)에 의한 블로킹을 줄일 수 있는 것과 유용한 파장을 재사용함으로써 고정된 파장들에 대한 망의 유연성 및 용량을 증가시키는 역할을 수행할 수 있다^[1-2]. 또한 망을 분산시켜서 관리할 수 있도록 해주며, 보호 절체를 보다 쉽게 할 수 있도록 하는 것도 파장변환기의 중요한 역할이다^[3]. 파장변환 방식에는 여러 가지가 있는데, 크게 세 가지의 범주로 나눌 수 있다. 첫번째는 가장 단순한 방법으로 광/전-전/광(O/E-E/O) 변환을 통하여 파장변환을 하는 광전 파장변환(optoelectronic wavelength conversion)^[4], 두번째는 반도체 광 증폭기(semiconductor optical amplifier: SOA)내에서의 상호이득변조(cross gain modulation: XGM) 및 상호위상변조(cross phase modulation: XPM)를 이용하여 파장변환을 하는 광 게이트 파장변환(optical gating wavelength conversion)^[5-8], 그리고 세번째는 광파혼합을 통하여 새로운 파장의 광신호를 생성하여 파장변환을 하는 광파혼합 파장변환(wave-mixing wavelength conversion)이다^[9-10]. 이러한 여러가지 방식 중, 반도체 광 증폭기내에서의 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환기의 경우 구현하기에 단순하고 효율이 높다는 장점이 있는 반면, 파장변환된 출력 신호광의 소광비 저하, 비트스트림(bit-stream)의 반전 및 입력 다이내믹(dynamic) 영역이 좁다는 문제점을 지니고 있다^[5-7].

본 논문에서는 이러한 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환기에서 입력 다이내믹 영역을 개선할 수 있는 방법을 제안하였다. 파장변환기의 성능이 SOA에 입력되는 펌프(pump)광의 세기와 프로우브(probe)광의 세기의 비에 의존하는 것을 발견하였으며, 이를 이용하여 파장변환기로 입력되는 펌프광의 세기를 감지하고 이에 따라 프로우브광의 세기가 자동으로 제어되어 펌프광 및 프로우브광 세기의 비가 일정하게 유지될 수 있도록 하였다. 따라서 입력되는 펌프광의 세기가 변하더라도 파장변환기의 성능은 거의 일정하게 유지가 되어 넓은 입력 다이내믹 영역을 가지는 XGM 방식

의 파장변환기를 구현할 수 있다. 이는 기존의 단순한 XGM 방식의 파장변환기에서^[6-7] 입력 광세기에 따라 성능이 매우 민감하게 변하는 문제점을 개선하여 파장변환기로 입력되는 신호광의 세기 변화에 대해서 충분히 넓은 동작 대역폭을 확보할 수 있게 된다. 즉, 기존의 방법에 비해 보다 넓은 범위의 입력 신호광 세기의 변화에 대해서도 최적의 성능을 유지하면서 파장변환이 가능한 장점이 있다.

II. 동작 원리 및 구성

상호이득변조 방식은 SOA의 이득이 포화되는 원리를 이용한 것으로 강한 펌프광으로 SOA의 이득을 변조하고 변환하고자 하는 파장의 연속 신호(continuous wave: CW)가 이득변조의 영향으로 펌프광에 실려있는 정보패턴과 같은 형태로 변조가 되며 이를 검출해 내는 방식이다. 동작원리를 설명하기 위한 개념도를 그림 1에 나타내었다. 강도 변조된 펌프광이 SOA로 입력되면 SOA의 이득은 입력 신호가 '1'이면 감소하고, 입력 신호가 '0'이면 원래의 이득 값으로 복구된다. 여기에 CW 신호인 프로우브광을 입력시키면 프로우브광은 강도 변조된 펌프광에 의해 변조된 이득의 영향을 받아 SOA의 이득이 클 때 증폭되어 나오며 이득이 작을 때는 증폭이 거의 되지 않으므로 연속적인 프로우브는 '1'과 '0'의 신호로 강도 변조되어 결과적으로 λ_{pump} 에서 λ_{probe} 로 파장이 변환하게 된다. 이 때 프로우브 신호는 펌프 신호가 논리적으로 반전된 형태가 된다.

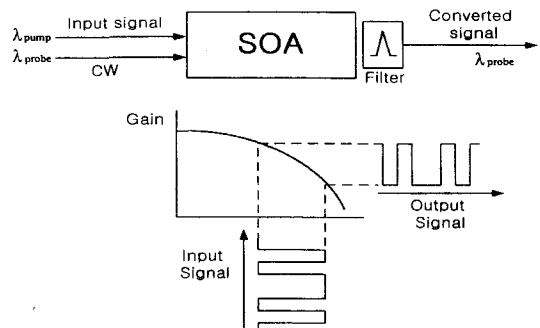


그림 1. SOA의 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환 원리

Fig. 1. The principle of wavelength conversion based on XGM in SOA's.

SOA의 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환 방식

은 SOA의 이득이 포화되어 입력 광신호의 세기에 따라 이득이 변조되는 성질을 이용한 것이므로, 변환되는 신호 용량의 제한은 펌프 신호의 '0'과 '1'이 전환되고 프로우브 신호가 '0'에서 '1'로(또는 반대로) 변화될 때 증폭기의 이득 회복 시간(gain recovery time)에 의해서 결정된다^[6, 7].

즉, 높은 비트율에서의 파장변환을 수행하기 위해서는 프로우브 입력 신호의 세기를 크게 하여 SOA의 이득 회복 시간을 짧게 해 주어야 한다. 그러나, 프로우브 입력 신호의 세기를 크게 하면 그 자체로 증폭기의 이득을 포화시켜 펌프광에 의해 변조될 수 있는 이득 레벨이 줄어들게 되어 소광비가 낮아지게 된다. 따라서 최적의 파장변환 기능을 수행하기 위해서는 입력 펌프 신호 및 프로우브 신호의 세기를 적절히 조절해 주어야 한다.

입력 신호광들의 세기에 따른 파장변환기의 특성을 알아보기 위해 펌프 및 프로우브광의 세기를 변화시키면서 파장변환기의 성능의 척도가 되는 파워 페널티(power penalty)를 조사하였다. 사용한 펌프 및 프로우브 광의 파장은 각각 1557.3 nm와 1555.3 nm로 2 nm의 파장변환 간격을 가지며, 펌프광은 2.5 Gb/s의 NRZ 신호(PRBS 2²³-1)로 강도 변조된 신호이다. SOA에 입력되는 펌프 및 프로우브광의 평균 세기를 가변 감쇄기를 사용하여 변화시키면서 최종 파장변환된 신호에 대한 수신감도를 측정하여 파워 페널티의 변화를 그림 2에 나타내었다. 이때 펌프광을 -15 dBm 부터 5 dBm까지 2 dB 간격으로 변화시키면서 각각의 펌프광 세기에 대해 프로우브광의 세기를 변화시키면서 10⁻⁹ 에러율에서의 파워 페널티를 측정하였다. 그림에서 보듯이 최적의 성능을 보이는 프로우브광의 세기는 -7 ~ 5 dBm의 펌프광의 세기에서 펌프광 세기에 비례하는 것을 알 수 있다. 즉, 프로우브광의 세기가 펌프광의 세기보다 약 3 dB 낮은 경우에 최적의 성능을 보이고 있으며, 그때의 파워 페널티는 0.9 dB이다.

SOA에 입력되는 펌프 및 프로우브광의 세기를 변화시키면서 파장변환기의 특성을 조사한 결과, 그림 2에서처럼 파장변환기의 성능이 펌프광의 세기와 프로우브광의 세기의 비에 의존한다는 것을 알 수 있었다. 본 논문에서는 이러한 특성을 이용하여, 파장변환기에 입력되는 신호광(펌프광)의 세기가 변하더라도 펌프광의 세기를 감지하고 그에 비례하게 프로우브광의 세기

를 자동으로 제어해 주어 파장변환기의 성능이 거의 일정하게 유지가 되는, 즉 넓은 입력 다이내믹 영역을 가지는 파장변환기를 제안하였다. 제안한 파장변환기의 구성도는 그림 3과 같다.

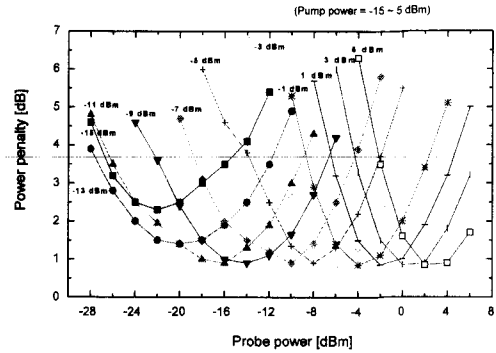


그림 2. 입력 펌프 및 프로우브광 세기 변화에 따른 파워 페널티의 변화

Fig. 2. The variation of power penalties for input pump and probe powers.

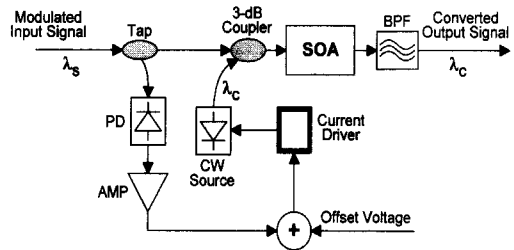


그림 3. 제안한 파장변환기의 구성도

Fig. 3. The configuration of proposed wavelength converter.

펌프광은 파장이 λ_s 인 강도 변조된 입력 신호광이며, 프로우브광은 CW 광원에서 나오는 파장이 λ_c 인 CW 광이다. 프로우브광의 세기를 펌프광의 세기에 비례하게 자동으로 제어하기 위해서는 펌프광의 세기를 감지해야 하므로, 탭 커플러(tap coupler)를 사용하여 펌프광의 일부를 추출한다. 이를 광 검출기(photo detector: PD)를 사용하여 전기신호로 바꾸고 AMP로 증폭을 시킨 후, 전류구동부에 공급되는 기존의 오프셋 전압에 더해지게 된다. 이 더해진 전압은 전류구동부를 동작시켜 적절한 세기의 전류를 CW 광원에 공급해 주게 된다. 이때 AMP의 이득을 적절히 조절해 주면 CW 광원 출력으로는 펌프광의 세기에 비례하는(펌프광보다 3 dB 낮은) 세기의 CW 광이 나오게 된다. 펌프광 및 프로우브광은 3-dB 광 커플

러를 통해 SOA에 동시에 입력되고, 펌프광에 의해 SOA의 이득이 변조되며 프로우브광이 이득 변조의 영향을 받아 펌프광과 같은 형태로 강도 변조가 된다. SOA 출력단에는 펌프광 및 프로우브광, 즉 파장변환된 빛이 모두 나오므로 대역통과 필터로 파장변환된 신호만을 통과시킴으로써 파장변환된 신호를 얻게 된다.

본 논문에서 제안한 파장변환기 구조의 핵심은 펌프광의 일부를 램 커플러로 추출하여, 추출된 광세기에 따라 CW 광원에 공급되는 바이어스 전류값이 자동 제어되어 프로우브광의 세기가 펌프광의 세기에 비례하도록 하는 데에 있다.

이와 같이 프로우브광의 세기를 펌프광의 세기에 따라 자동 제어함으로써 입력되는 신호광의 세기가 변할 경우에도 파장변환기의 성능이 일정하게 유지되는 영역이 넓게 되어 입력 신호광에 대한 다이내믹 영역을 개선시키게 된다.

III. 결과 및 분석

파장변환 실험에서 사용한 펌프 및 프로우브광의 파장은 각각 1557.3 nm와 1555.3 nm이며, 따라서 2 nm down-conversion에 대해 기존의 일반적인 파장변환기와 제안한 구조의 파장변환기의 성능을 비교 분석하였다.

그림 4는 파장변환기의 입력 신호 및 파장변환된 출력 신호에 대한 아이 패턴을 나타낸다.

(a)는 2.5 Gb/s로 변조된 입력 신호의 아이 패턴을 나타낸 것이고, 입력 신호광의 세기가 0 dBm 일 때 (b)는 프로우브광의 세기가 -6 dBm으로 고정되어 있는 일반적인 XGM 방식 파장변환기의 출력 신호에 대한 아이 패턴이며, (c)는 프로우브광의 세기를 제어하는 제안한 구조의 파장변환기의 출력 신호에 대한 아이 패턴을 나타낸 것이다.

각 신호의 소광비는 (a)는 17.23 dB, (b)는 5.98 dB, (c)는 9.26 dB이다. 입력 신호광의 세기가 0 dBm 일 경우, 파장변환기는 그림 3에서 알 수 있듯이 프로우브광의 세기가 입력 신호광보다 3 dB 적은 -3 dBm일 때가 최적의 상태가 된다. 따라서 일반적인 파장변환기는 최적의 상태가 되지 못하며 프로우브광 세기 제어에 의해 최적의 상태를 유지하는 제안한 구조의 파장변환기에 비해 소광비가 낮아지게 된다.

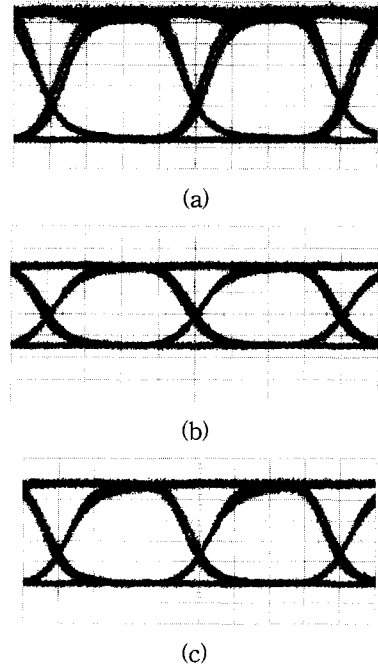


그림 4. 아이 패턴 (a) 2.5 Gb/s로 변조된 입력신호, (b) 일반적인 파장변환기의 출력 신호, (c) 제안한 구조의 파장변환기의 출력 신호

Fig. 4. Measured eye patterns (a) 2.5 Gb/s modulated input signal, (b) output signal of conventional wavelength converter, (c) output signal of proposed wavelength converter.

그림 5는 펌프광의 세기에 따른 파장변환기의 성능의 척도가 되는 파워 페널티의 변화를 나타낸 그림이다. 펌프광의 세기를 -15 dBm 부터 7 dBm 까지 2 dB 간격으로 변화시키면서 각각의 펌프광 세기에 대해 프로우브광의 세기를 -6 dBm으로 고정시킨 경우의 일반적인 XGM 방식 파장변환기에서 측정된 파워 페널티와 본 논문에서 제안하는 방법을 적용하여 프로우브광의 세기를 펌프광의 세기보다 3 dB 낮게 변화시킨 경우에 측정된 파워 페널티를 서로 비교하였다. 그림에서 보듯이 프로우브광의 세기를 제어하지 않고 일정하게 유지시킨 경우에는 파장변환기의 입력 신호인 펌프광의 세기 변화에 따라 파장변환기의 성능이 매우 민감하게 변함을 알 수 있다. 이는 펌프광의 세기에 따라 SOA의 이득변조 특성이 달라져, 이득변조의 영향을 받는 프로우브 신호의 소광비가 달라지기 때문이다. 입력 다이내믹 영역을 파워 페널티가 2 dB 이하로 동작되는 입력 광세기 영역으로 정의할 경우, 일반적인 XGM 방식의 파장변환기는 약 6 dB의 다

이내믹 영역을 가지게 된다. 반면, 프로우브광의 세기를 제어해 주게 되면 펌프광의 세기가 변하더라도 프로우브광의 세기도 이에 비례하게 변하게 되어 프로우브 신호가 받는 이득변조의 영향은 거의 일정하게 되므로, 소광비의 변화도 거의 없게 된다. 그 결과 그림과 같이 파장변환기의 성능은 거의 일정하게 유지가 된다. 따라서 제안한 구조에 의해 20 dB 이상의 입력 다이내믹 영역을 가지는 XGM 방식의 파장변환기를 구현할 수 있다.

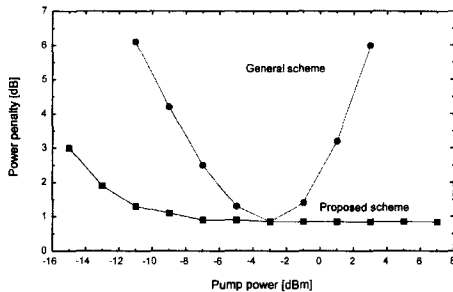


그림 5. 펌프광의 세기에 따른 파워 페널티의 변화
Fig. 5. The variation of power penalties for input pump powers.

IV. 결 론

반도체 광 증폭기내에서 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환기는 비교적 구현하기에 단순하고 효율이 높은 장점이 있으나, 파장변환 후의 소광비 저하, 비트 스트림의 반전 및 입력 다이내믹 영역이 좁다는 문제점을 지니고 있다. 본 논문에서는 이러한 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환기에서의 문제점들 중 입력 다이내믹 영역을 개선할 수 있는 방법을 제안하고 기존의 방식과 비교하였다. 입력 신호광의 세기에 따른 파장변환기의 특성을 조사하기 위해 펌프광 및 프로우브광의 세기를 변화시키면서 파워 페널티를 조사한 결과, 파장변환기의 성능이 펌프광 및 프로우브광 세기의 비에 의존하는 것을 알 수 있었다. 따라서, 펌프광 및 프로우브광 세기의 비가 최적의 상태($P_{\text{probe}} = P_{\text{pump}} - 3 \text{ dB}$)에서 일정하게 유지될 수 있도록 파장변환기로 입력되는 펌프광의 세기를 감지하고 이에 따라 프로우브광의 세기가 자동으로 제어되게 하여, 입력 신호광의 세기가 변하더라도 파장변환기의 성능은 거의 일정하게 유지될 수 있도록 하였다. 2.5 Gb/s 광신호에 대해 파장변환을 수행한 결과, 일반적인

XGM 방식 파장변환기의 입력 다이내믹 영역은 약 6 dB 였으며, 제안한 구조의 파장변환기는 20 dB 이상의 넓은 입력 다이내믹 영역을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] Okamoto and K. Sato, "Optical Path Cross-connect Systems for Photonic Transport Networks," in *Proc. IEEE Global Telecommun. Conf.*, pp. 474-480, Nov. 1993.
- [2] C. A. Brackett, A. S. Acampora, J. Schweitzer, G. Tangonau, M. T. Smith, W. Lennon, K. C. Wang, R. H. Hobbs, "A Scalable Multiwavelength Multihop Optical Network: A Proposal for Research on All-optical Networks." *J. Lightwave Technol.*, vol. 11, pp. 736-752, May/June. 1993.
- [3] K. Sato, S. Okamoto, and H. Hadama, "Network Performance and Integrity Enhancement with Optical Path Layer Technologies," *J. Select. Areas Commun.*, vol.12, pp. 159-170, Jan. 1994.
- [4] M. Kovacevic and A. S. Acampora, "Electronic Wavelength Translation in Optical Networks," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, no. 6, pp. 1161-1169, Jun. 1996.
- [5] T. Durhuus, B. Mikkelsen, C. Joergensen, S. L. Danielsen, and K. E. Stubkjaer, "All-Optical Wavelength Conversion by Semiconductor Optical Amplifiers," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, no. 6, pp. 942-954, Jun. 1996.
- [6] C. Joergensen et al., "4 Gb/s Optical Wavelength Conversion Using Semiconductor Optical Amplifiers," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 5, no. 6, pp. 657-660, Jun. 1993.
- [7] J. M. Wiesenfeld, B. Glance, J. S. Perino, and A. H. Gnauck, "Wavelength Conversion at 10 Gb/s using a Semiconductor Optical Amplifier," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 5, no. 11, pp. 1300-1303, Nov. 1993.

- [8] T. Durhuus, C. Joergensen, B. Mikkelsen, R. J. S. Pedersen, and K. E. Stubkjaer, "All Optical Wavelength Conversion by SOA's in a Mach-Zehnder Configuration," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 6, no. 1, pp. 53-55, Jan. 1994.
- [9] M. C. Tatham, G. Sherlock, and L. D. Westbrook, "20-nm Optical Wavelength Conversion Using Nondegenerate Four-Wave Mixing," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 5, no. 11, pp. 1303-1306, Nov. 1993.
- [10] David F. Geraghty et al., "Wavelength Conversion up to 18 nm at 10 Gb/s by Four-Wave Mixing in a Semiconductor Optical Amplifier," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 9, no. 4, pp. 452-454, Apr. 1997.

저 자 소 개



房 俊 鶴(正會員)

1971年 11月 21日生 1994年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1996年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1996年 2月 현재 한국전자통신연구원 연구원. 주관심분야는 광전달망, 광증폭

기 등임

李 聖 恩(正會員)

1956年 1月 27日生 1978年 2月 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1980年 8月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1992年 8月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사). 1980年 9月 현재 한국전자통신연구원 책임연구원. 주관심분야는 파장분할다중 전송시스템임

李 相 緣(正會員)

1968年 7月 16日生 1991年 2月 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993年 2月 고려대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1997年 8月 고려대학교 전자공학과 졸업(공학박사). 1997年 12月 현재 한국전자통신연구원 선임연구원. 주관심분야는 광전달망, 광링크 특성측정 등임



李 鍾 弦(正會員)

1959年 2月 16日生 1981年 2月 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1983年 2月 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1992年 2月 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학박사). 1991年 12月 전기통신기술사. 1983年 3月 현재 한국전자통신연구원 책임연구원. 주관심분야는 광전송시스템 및 전송망, WDM 광전송기술, 전광통신망임