論文2000-37SD-5-7

광섬유 브래그 격자를 이용한 새로운 구조의 양방향 파장가감기

(A new Structure of Bidirectional add/drop Multiplexer Using Fiber Bragg Gratings)

金 正 浩 *, 李 昺 浩 **

(Jungho Kim and Byoungho Lee)

요 약

양방향 환형망의 구성에 필수적인 새로운 구조의 양방향 파장가감가를 제안하였다. 제안된 구조는 광섬유 브래그 격자를 이용하였으며 실험을 통하여 이것의 성능을 광스펙트럼의 영역에서 검증하였다.

Abstract

We propose a new structure of bidirectional add/drop multiplexer that is a key component to implement bidirectional ring network. The proposed bidirectional add/drop multiplexer is based on fiber Bragg gratings. In experiment, we demonstrate the operation of the proposed bidirectional add/drop multiplexer in optical spectrum domain.

Ⅰ. 서 론

인터넷과 같은 데이터 통신량의 폭발적인 증가에 대비하기 위해 파장분할 다중화(wavelength division multiplexing: WDM) 통신 기술을 이용하여 광통신 시스템의 전송 용량을 증가시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중에서 하나의 광섬유를 사용하여 양방향으로 광신호를 전송하는 환형망(ring network)은 광통신 망을 구현하는 데 필요한 광섬유와 소자들의 수를 반으로 줄일 수 있어서 우수한 가격 경제성을 갖는다[1]. 양방향 파장가감기(bidirectional wavelength add/drop multiplexer)는 하나의 광섬유를 사용한 양방향 환형망을 구성하기 위해서는 필수적이다. 최근에 도파관열 격자 (arrayed-waveguide grating) 다중화기를 이용한 양방향 파장가감기의 구조가 제안되었다[2,3]. 본 논문에서는 광섬유 브래그 격자(fiber Bragg grating)를 이용한 새로운 구조의 양방향 파장가감기의 구조를 제안하고자 한다. 제안된 구조는 광섬유 브래그 격자를 사용하기 때문에 훌륭한 파장 분리 특성을 가지고, 다중단자(multi-port) 광써큘레이터(optical circulators)를 효율적으로 사용할 수 있기 때문에 가격 경쟁력이 높다. 또한, 양방향 광전송 시스템에서는 Rayleigh backscattering과 광소자들의 반사 등에 의한 상대강도(relative intensity)잡음이 발생하는데 제안된 구조의 양방향 파장가감기는 이를 효과적으로 제거할 수 있다.

Ⅱ. 양방향 파장가감기의 구조

그림 1은 각 방향으로 세 개의 광신호를 전송할 경우 사용할 수 있는 양방향 파장가감기의 구조도이다. 각 방향의 세 개의 광신호는 6 단자 광써큘레이터의 2번 단자로 들어가서 3번 단자에 연결된 세 개의 광섬유 브래그 격자들에 의해 반사된다. 이 때, 3번 단자에 연결된 광섬유 브래그 격자들이 chirping 되었다면, 반

* 學生會員, ** 正會員, 서울大學校 電氣工學部
(School of Electrical Engineering, Seoul National University)

※ 본 연구는 1999년도 두뇌한국 21사업에 의해 지원되었습니다.

接受日字:2000年1月10日, 수정완료일:2000年5月2日

사된 광신호들은 분산보상(dispersion compensation)이 될 것이다. 반사된 광신호들은 광써큘레이터의 4번 단자로 나온다. 4번 단자에는 두 개의 광섬유 브래그 격자들만 있으므로, 이 광섬유 브래그 격자와 파장이 일치하지 않는 한 개의 광신호는 광섬유 브래그 격자들을 그대로 통과하여 2 × 2 광스위치(optical switch)에 도달한다. 반사된 두 개의 광신호는 광써큘레이터의 다음 단자를 통해 나온다. 같은 방법으로 다른 광신호들도 분리가 되어 각각 2 × 2 광스위치에 도달한다. 2 × 2 광스위치는 각 광신호의 add/drop이나 pass through를 결정한다. 각각의 광스위치를 거친 광신호들은 파장 역다중화기(wavelength demultiplexer)나 1 × N 커플러에서 결합되어 양방향 파장다중화기를 빠져나간다. 이 구조에는 양방향 파장다중화기의 삽입 손실 보상을 위한 광증폭기(optical amplifier)와 양방향 파장다중화기의 출력단에서의 광출력을 일정하게 하기 위한 광감쇄기(optical attenuator)가 적절한 위치에 삽입될 수 있다.

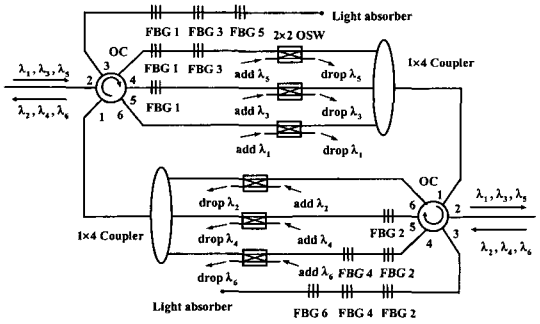


그림 1. 제안된 양방향 파장가감기의 구성도 (OC; Optical circulator, OSW: Optical switch, FBG: Fiber Bragg grating)

Fig. 1. Schematic diagram of the proposed bidirectional wavelength add/drop multiplexer. (OC; Optical circulator, OSW: Optical switch, FBG: Fiber Bragg grating).

일반적으로 양방향 전송에서는 Rayleigh backscattering과 광소자에 의한 반사 등에 의해 상대강도잡음이 발생하여 수신단의 민감도(sensitivity)를 저하시킨다[4]. 또한, 양방향 전송에서 광증폭기의 최대 이득은 Rayleigh backscattering과 광소자에 의한 반사 등에 의해 발생하는 다중경로 반사 잡음(multiple path reflection noise)에 의해 제한된다[5]. 그러나, 제안된 구조의 양방향 파장가감기에서는 이러한 효과들이 광섬유 브래그 격자에 의해 충분히 억제된다. 반대 방향으로 진행하는 광신호가 다른 파장이라면 Rayleigh backscattering과 광소자에 의한 반사 등에 의해 발생하는 원하지 않는 광신호들은 6 단자 광써큘레이터의 3번 단자에 연결되어 있는 광섬유 브래그 격자를 통과하여 광 흡수기(light absorber)에 의해 제거된다.

제안된 양방향 파장가감기의 구조에서 광섬유 브래그 격자가 연결된 6 단자 써큘레이터는 파장 역다중화기로 생각할 수 있다. 도파관열 격자 다중화기와 같은 일반적인 파장 역다중화기와 비교해 볼 때, 광섬유 브래그 격자를 사용한 구조는 더 좋은 파장 필터링 특성을 갖는다[6]. 광써큘레이터의 제작 기술이 발전함에 따라 일반적으로 널리 쓰이고 있는 3 단자 광써큘레이터뿐만 아니라, 6 단자나 8 단자의 광써큘레이터도 구입이 가능하며 이것의 가격도 3 단자의 그것에 비해 커다란 차이가 나지 않는다. 그리고, 두 개의 6단자 광써큘레이터는 광섬유에서 양방향으로 진행하는 광신호를 분리하는 역할도 하고 있기 때문에 다른 구조의 양방향 파장가감기와 같이 별도의 3 단자 광써큘레이터가 필요 없다[2,3]. 또한, 그림 2에서처럼 앞에 있는 6 단자 광써큘레이터의 3 번 단자에 또 다른 광섬유 브래그 격자가 연결된 다중 단자 광쎄큘레이터를 연결하면 스위칭할 수 있는 광신호의 수를 증가시킬 수 있다.

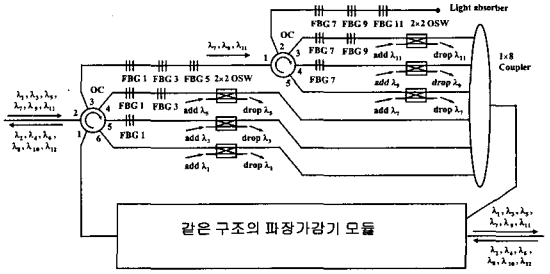


그림 2. 제안된 양방향 파장가감기의 구조에서 다중 단자 광써큘레이터를 직렬 연결하여 스위칭할 수 있는 광신호의 수를 증가시킨 경우의 구성도 (OC; Optical circulator, OSW: Optical switch, FBG: Fiber Bragg grating)

Fig. 2. Schematic diagram of the proposed bidirectional wavelength add/drop multiplexer that increases the number of switchable optical channels by cascading a multi-port optical circulator. (OC; Optical circulator, OSW: Optical switch, FBG: Fiber Bragg grating).

Ⅲ. 실험결과

그림 3은 양방향 파장가감기의 성능을 알아보기 위한 실험 구성도이다. 제안된 양방향 파장가감기의 구조는 양방향의 광신호에 대해 대칭이고, 다른 방향의 광신호들이 서로 영향을 끼치지 않기 때문에 실험에서는 한쪽 방향의 add/drop 노드만을 구현하였다. 6단자 광써큘레이터는 E-Tek 사의 제품으로 평균 삽입손실이 1 dB 정도이고, 옆 단자들과의 isolation은 60 dB이상이다. 2 × 2 광스위치도 E-Tek 사의 제품으로 5 V의 전기적인 펄스를 가하여 스위치의 연결 상태를 바꿀 수 있다. 이것의 평균 삽입 손실은 0.7 dB이며, 연결 상태가 다른 단자간의 crosstalk는 60 dB 이상이다. 파장분할된 광신호들을 다중화 시키기 위해 사용된 1 × 4 광결합기는 평균 삽입 손실이 7 dB 정도이다. 사용된 광섬유 브래그 격자들은 KrF 엑시머 레이저와 위상 마스크(phase mask)를 이용하여 직접 제작하였으며, 격자의 길이, 3-dB 대역폭, 반사율은 각각 1 cm, 0.4 nm, 25dB이다. 제작된 광섬유 브래그 격자의 중심파장은 λ_1 = 1554.24 nm, λ_2 = 1555.84 nm, λ_3 = 1557.44 nm가 되게 하였으며 이것들은 1.6 nm의 채널 간격을 갖는다. 광써큘레이터 3번 단자에 연결되어 있는 광섬유 브래그 격자들을 통과한 광신호들이 반사되어 다시 광서큘레이터로 들어가지 못하는 기능을 하는 광흡수기(light absorber)로서 본 실험에서는 FC/APC 커넥터를 사용하였다.

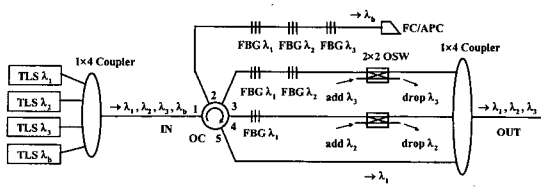


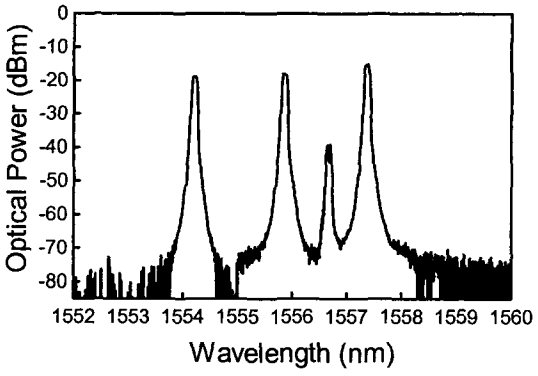
그림 3. 제안된 양방향 파장가감기의 성능을 검증하기 위한 실험 구성도 (TLS: Tunable light source, OC: Optical circulator, OSW: Optical switch, FBG: Fiber Bragg grating, FC/APC: FC/APC connector)

Fig. 3. Experimental setup of the proposed bidirectional wavelength add/drop multiplexer. (TLS: Tunable light source, OC: Optical circulator, OSW: Optical switch, FBG: Fiber Bragg grating, FC/APC: FC/APC connector).

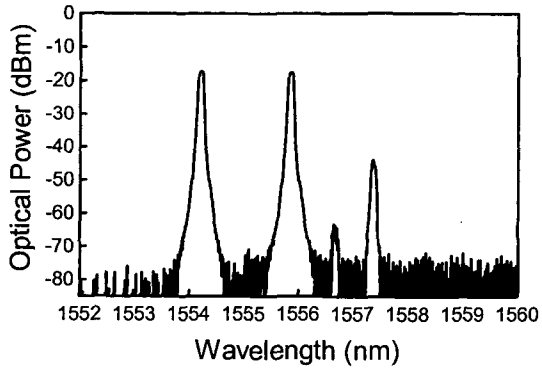
세 개의 파장가변 레이저 다이오드(tunable laser diode)에서 나오는 광신호의 파장(λ_1, λ_2, λ_3)을 광섬유 브래그 격자들의 중심 파장에 각각 일치시켰다. 이와 반대 방향으로 진행하는 광신호들이 위의 세 개의 광신호 (λ_1, λ_2, λ_3)와 다른 파장을 가진다면, 반대 방향으로 진행하는 광신호들이 Rayleigh backscattering과 반사를 겪으면서 생성되는 원하지 않는 광신호들도 위의 세 개의 광신호와 다른 파장을 갖는다. 따라서, 본 실험에서는 반대 방향으로 진행하는 광신호가 Rayleigh backscattering과 반사를 겪으면서 생성되는 원하지 않는 광신호를 나타내기 위하여 새로운 광신호 λ_b를 세 광신호 λ_1, λ_2, λ_3에 첨가하였다. 광신호 λ_b의 중심 파장은 광신호 λ_2와 λ_3의 중간인 1556.64 nm로 하였으며, 이 경우 반대방향으로 진행하는 광신호들의 중심 파장들은 1.6 nm의 파장간격을 갖는 1555.04 nm, 1556.64 nm, 1558.24 nm 이 될 수 있을 것이다. 네 개의 파장가변 레이저 다이오드에서 나오는 광출력의 세기는 그림 3의 IN 위치에서 모두 5 dBm이 되도록 하였다.

그림 4(a), (b), (c), (d)는 두 개의 광스위치의 상태에 따른 그림 3의 OUT 위치에서의 광스펙트럼이다. 사용한 OSA(optical spectrum analyzer)의 분해 대역폭(resolution bandwidth)은 0.1 nm이다. 그림 4(a)는 세 광신호가 모두 통과될 때 OUT에서 광스펙트럼이다. λb와 다른 세 광신호와의 crosstalk은 -20 dB정도이며 이것은 같은 세기의 광신호가 들어갔을 때의 결과이다. 일반적으로 20 km 이상의 장거리 광섬유에서 Rayleigh backscattering에 의해 발생하는 반사의 크기는 약 32 dB이다[7]. 따라서, 실제 시스템에서 λ_b는 세 광신호 (λ_1, λ_2, λ_3)보다 작은 광세기를 갖기 때문에 -20 dB의 crosstalk은 사용하기에 충분한 값이다. 또한 광섬유 브래그 격자의 3-dB 채널폭이 더 줄어들거나 광신호들의 간격을 더 넓게 한다면 λ_b와 다른 세 광신호와의 crosstalk은 더욱 줄어들 것이다. λ_b와 다른 세 광신호와의 crosstalk은 광섬유 브래그 격자의 roll-off에 의한 반사 때문이다. 광섬유 브래그 격자의 중심 파장이 광신호 λ_b의 파장과 일치하지 않더라도 광신호 λ_b의 적은 양은 광섬유 브래그 격자의 roll-off에 의해 반사된다. 광신호 λ_b가 광섬유 브래그 격자의 roll-off에 의해 반사되는 회수가 많아지면 광신호 λ_b는 더욱 줄어들 것이다. 그림 4(b)는 광신호 λ_3만이 2 × 2 광스위치에 의해 drop되었을 때 OUT에서의 광스펙트럼이다. 이

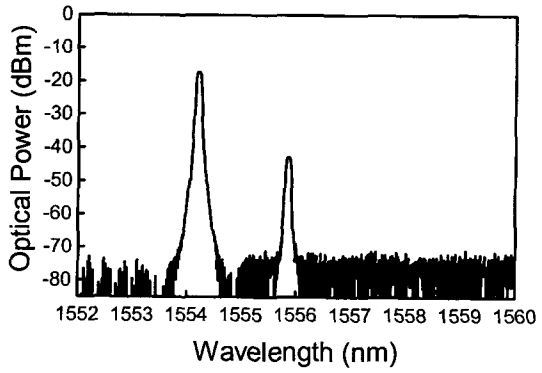
경우 광섬유 브래그 격자의 roll-off에 두 번 반사되는 광신호 λ_b가 OUT에 도달하기 때문에 다른 광신호 사이의 crosstalk은 -40 dB로 개선된다. 그림 4(c)는 광신호 λ_1만을 통과시킬 때, OUT에서의 광스펙트럼이다.



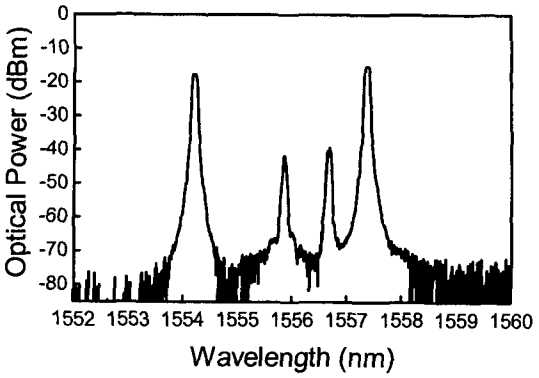
(a)



(b)



(c)



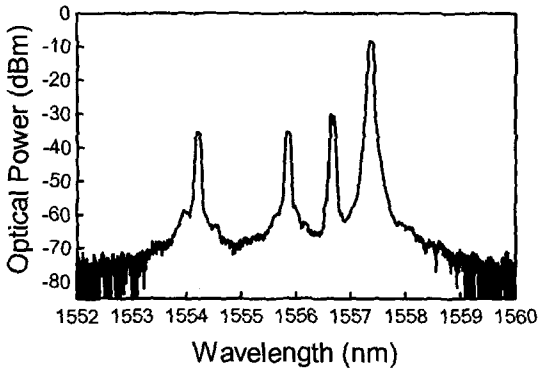
(d)

그림 4. OUT 위치에서의 광스펙트럼. (a) 모든 광신호가 통과할 때 (b) 광신호 λ_3만 drop될 때 (c) 광신호 λ_2와 λ_3가 동시에 drop될 때 (d) 광신호 λ_2만 drop될 때

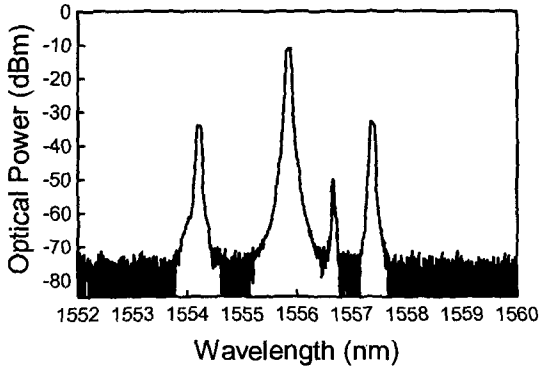
Fig. 4. Optical spectra obtained at port OUT. (a) When all optical channels pass through, (b) when the optical channel λ_3 is dropped, (c) when both the optical signals λ_2 and λ_3 are dropped, and (d) when the optical channel λ_2 is dropped.

이 경우 광신호 λ_b는 세 번 반사되어 60 dB의 crosstalk을 가지므로 광신호 λ_b의 광출력이 OSA의 noise level보다 낮기 때문에 광신호 λ_b는 보이지 않는다. 그림 4(d)는 광신호 λ_2만이 drop되었을 때, OUT에서의 광스펙트럼이다. 이 경우 광신호 λ_b의 crosstalk은 20 dB로 그림 4(a)와 거의 같다. 그 이유는 광써큘레이터 단자 3에서 들어오는 광신호 λ_b의 crosstalk이 4, 5번 단자에서 나오는 것보다 크기 때문이다.

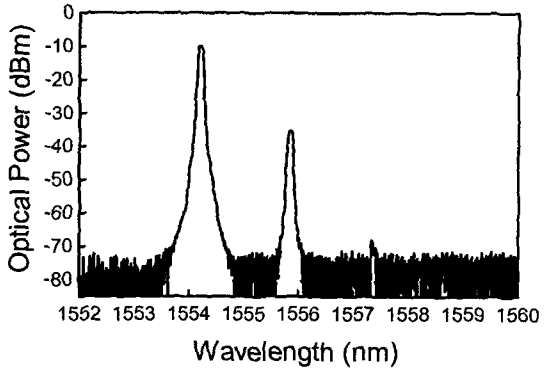
그림 5(a), (b), (c)는 서로 다른 지점에서의 drop된 광신호들이다. 광신호 λ_1을 측정할 때는 6 단자 써큘레이터의 단자 5와 1 × 4 커플러를 떼어 놓은 상태에서 측정하였다. 그림 4에서 drop되는 광신호 λ_1은 광써큘레이터에 의해 네 번의 삽입 손실을 겪기 때문에 총삽입 손실이 가장 크다. 그러나, 이것의 광신호대잡음비(optical signal to noise ratio)는 크게 저하되지 않는데, 그 이유는 다른 광신호들간의 crosstalk이 줄어들기 때문이다. 그림 5(c)에서 광신호 λ_3의 출력 세기는 거의 OSA의 noise level이다. 이것은 단자 5에 도달하는 광신호 λ_3는 광섬유 브래그 격자의 roll-off에 의해 두 번 반사되는 것들이기 때문이다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 여러 위치에서 drop된 광신호들의 광스펙트럼 (a) drop된 광신호 λ_3 (b) drop된 광신호 λ_2 (c) drop된 광신호 λ_1

Fig. 5. *Optical spectra of dropped optical channels at different locations. (a) Dropped optical channel λ_3, (b) dropped optical channel λ_2, and (c) dropped optical channel λ_1.*

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 다중 단자 광써큘레이터와 광섬유 브래그 격자를 이용한 새로운 구조의 양방향 파장가감기를 제안하였다. 제안된 구조는 훌륭한 파장 소거 특성을 보이고 있으며, 다중 단자 광서큘레이터를 효율적으로 사용할 수 있기 때문에 가격 경쟁력이 높다. 광섬유 브래그 격자를 이용하여 반대 방향으로 진행하는 신호들이 Rayleigh backscattering과 광반사를 겪으면서 발생하는 원하지 않는 광신호들을 20 dB 억제하였다. 이러한 억제율은 광섬유 브래그 격자의 대역폭을 줄이거나 광신호의 채널 간격을 넓힘으로써 더 개선될 여지가 있으며, 이것을 통해 양방향 전송에서 문제가 되는 상대강도 잡음의 영향을 크게 줄일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] C. H. Kim, C. H. Lee, and Y. C. Chung, "Bidirectional WDM self-healing ring network on simple bidirectional add/drop amplifier modules", *IEEE Photon. Technol. Lett. vol. 10*, no. 10, pp. 1340-1342, Oct. 1998.

[2] C. H. Kim, C. H. Lee, and Y. C. Chung, "A novel bidirectional add/drop amplifier", IEEE Photon. Technol. Lett. vol. 10, no. 8, pp. 1118-1129, Aug. 1998.

[3] Y. Zhao, X. J. Zhao, J. H. Chen, and F. S. Choa, "A novel bidirectional add/drop module using *waveguide grating routers and* wavelength channel matched fiber gratings", IEEE Photon. Technol. Lett. nol. 11, no. 9, pp. 1180-1182, Sept. 1999.

[4] J. L. Gimlett and N. K. Cheung, "Effects of phase-to-intensity noise conversion by multiple reflections on gigabit-per-second DFB laser transmission systems", J. Lightwave Technol. vol. 7, no. 6, pp. 888-895, June 1989.

[5] M. O. van Deventer and O. J. Koning, "Unimpaired transmission through a bidirectional erbium-doped fiber amplifier near

lasing threshold", IEEE Photon. Technol. Lett. vol. 7, no. 9, pp. 1078-1080, Sept. 1995.

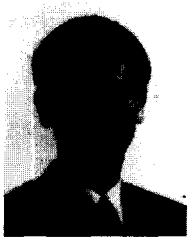
[6] W. H. Loh, F. Q. Zhou, and J. J. Pan, "Novel designs for sampled grating-based multiplexers-demultiplexers", Opt. Lett. vol. 24, no. 21, pp. 1457-1459, November 1. 1999.

[7] N. Henmi, Y. Aoki, S. Fujita, Y. Sunohara, and M. Shikada, "Rayleigh scattering influence on performance of 10 Gb/s optical receiver with Er-doped optical fiber preamplifier", IEEE Photon. Technol. Lett. vol. 2, no. 4, pp. 277-278, April 1990.

저 자 소 개

金 正 浩(學生會員)

1974년생. 1998년 2월 서울대학교 전기공학부 졸업(공학사). 2000년 2월 서울대학교 대학원 전기공학부 졸업(공학석사). 2000년 4월~현재, 서울대학교 기초전력연구소 전임연구원. 주관심분야는 광통신 소자 및 광섬유 브래그 격자 소자 등임



李 竝 浩(正會員)

현재 서울대학교 전기공학부 조교수. 1987년 서울대학교 전자공학과 졸업(학사). 1989년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1993년 University of California at Berkeley 전기공학과 졸업(Ph.D.). 1994년~현재, 서울대학교 전기공학부 근무(현 조교수). 국내외 논문지 및 학술대회에 논문 280편 발표, 1998년 대한전자공학회 해동 논문상 수상, 1999년 국가지정연구실 지정, 2000년 한국광학회 논문상 수상. 주관심분야는 광섬유 격자와 응용, 홀로그래피 및 3차원 디스플레이, 양자소자 모델링임