

論文2003-40SD-4-3

채널 간격을 가변할 수 있는 샘플격자 (A Channel Spacing-Tunable Sampled Fiber Gratings)

趙 峻 庸 * , 金 成 春 * , 李 景 植 *

(Joon Yong Cho, Sung Chun Kim, and Kyung Shik Lee)

요 약

광탄성효과를 이용해 채널 간격을 가변할 수 있는 샘플격자를 구현하고 이론적으로 고찰해 보았다. 제안된 샘플격자의 채널 간격은 광섬유격자에 인가되는 압력주기를 변화시킴으로써 간단히 가변될 수 있으며, 실험결과 580 μm 에서 1000 μm 로 압력주기를 튜닝해서 채널 간격을 1.4nm에서 0.8nm로 가변할 수 있었다. 샘플격자에 대한 시뮬레이션 결과 실험치와 잘 일치하고 있음을 알았다.

Abstract

In this paper, a channel spacing-tunable sampled fiber gratings(SFGs) is proposed, and analytically and experimentally investigated. The channel spacing of the proposed SFGs can be tuned by simply changing the period of the external pressure on the fiber Bragg gratings(FBGs). The channel spacing of 1.4nm was tuned to 0.8nm by changing the pressure period from 580 μm to 1000 μm . The experimental results agree well with the theoretical results.

Keywords : 샘플격자, 광탄성효과, WDM, 광섬유격자

I. 서 론

최근 광통신 망에서는 다파장의 신호를 동시에 전송 시킴으로써 대용량의 데이터를 전송시킬 수 있는 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 방식이 주류를 이루고 있다. 이러한 다파장의 신호를 이용한 WDM 광전송방식에서 여러 파장을 동시에 반사시킬 수 있는 샘플격자의 응용 및 중요성은 점차 높아지고 있다. 샘플격자(Sampled fiber grating)란 일정한 채널 간격마다 반사 피크를 갖는 특수한 광섬유격자의 일종으로, 현재

다파장 WDM 신호광원, 다채널 분산 보상기^[1], 다채널 광 추가/추출기(OADM)^[2,3] 그리고 EDFA(Erbium doped fiber amplifier)의 필터^[3] 등 여러 WDM 광통신 소자 및 시스템에 응용되고 있으며, 최근 들어 센싱 시스템^[4,5]에도 응용이 확대되고 있다. 이러한 샘플격자의 제작 방법에는 현재까지 여러 방식들이 소개되었는데, 대표적으로는 광섬유격자 내에 위상지연(π -phase 또는 multiple phase shift)구간을 삽입시키는 방식^[6]과 진폭 마스크(Amplitude mask)와 위상 마스크(Phase mask)를 동시에 사용하여 UV빔을 조사하는 방식^[7]이 있다. 광섬유격자 내에 위상지연구간을 삽입시키는 방법은 설계 및 구현이 용이하지 않고 재현성이 좋지 않다는 단점과 함께 제작 후에는 샘플격자의 채널 간격을 조절하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 그리고 진폭 마스크와 위상 마스크를 이용한 방식은 재현성은 뛰어나지만 채널 간격을 조절하기 위해서는 주기가 다른 진폭 마스크를 사용하여야 하고 위상지연구간 삽입방법과 마찬가지로 샘플격자를 제작한 후에는 채널 간격을

* 正會員, 成均館大學校 情報通信工學部
(School of Information and Communications Eng., SungKyunKwan University)

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-00251)지원으로 수행되었음.

接受日字:2002年 7月25日, 수정완료일:2003年 3月28日

쉽게 조절할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 기존의 제작 방법들의 문제점들을 다소 해결할 수 있는 채널 간격 가변 가능한 새로운 샘플격자를 제안하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 샘플격자는 광탄성효과를 이용해 광섬유격자 내부에 주기적인 굴절률 변화를 야기시켜 줌으로써 구현되었으며, 샘플격자의 채널 간격은 제작된 광섬유격자에 인가되는 압력의 주기에 의해 결정된다. 따라서 샘플격자의 채널 간격은 인가되는 압력의 주기를 변화시킴으로써 쉽게 가변될 수 있다.

좀 더 자세한 설명을 위해, II장에서는 본 논문에서 제안하는 채널 간격을 가변할 수 있는 샘플격자의 구현 원리에 관해서 살펴볼 것이며, III장에서는 제안하는 샘플격자의 제작방법과 제작된 샘플격자의 특성에 관해서 살펴볼 것이다. 그리고 시뮬레이션을 통해서 예상되는 이론치와 실험결과를 III장에서 비교분석해 보도록 하겠다.

II. 채널 간격 가변 가능한 샘플격자의 구현 원리

본 장에서는 채널 간격 가변 가능한 샘플격자의 구현 원리에 대해서 간단히 살펴보도록 하겠다. <그림 1(a)>와 <그림 1(b)>는 제안된 샘플격자의 구현 원리에 대해 설명하는 그림으로, <그림 1(a)>는 압력을 인가하기 전의 광섬유격자를 나타내고 <그림 1(b)>는 광섬유격자에 주기적인 압력을 인가하여 구현된 샘플격자를 나타낸다. 여기서, Λ 는 광섬유격자의 주기를 나타내며, L_p 는 광섬유격자에 인가되는 압력의 주기를 나타낸다. 그리고 n_1 과 n_2 는 UV빔의 조사에 의해 형성된 굴절률 변화를 나타내고 n_3 와 n_4 는 광섬유격자에 인가되는 압력에 의해 변화된 굴절률을 나타낸다. Λ 의 주기를 갖는 광섬유격자에 일정한 주기(L_p)의 압력이나 힘을 인가시키면 압력이나 힘이 인가된 광섬유격자 부위의 굴절률이 광탄성효과(Photoelastic effect)에 의해 변화됨으로써 샘플격자를 형성하게 된다. 이때 인가된 압력이나 힘에 의해 형성된 광섬유격자 내부의 굴절률 변화량(Δn)은 인가된 압력이나 힘에 비례하게 되는데^[8], 예를 들어, <그림 1(b)>의 y축 방향으로 압력이 인가된다고 가정할 때, 광섬유 내부의 굴절률은 빔의 편광상태에 따라 식 (1)과 같은 굴절률 변화량을 갖게 된다^[9].

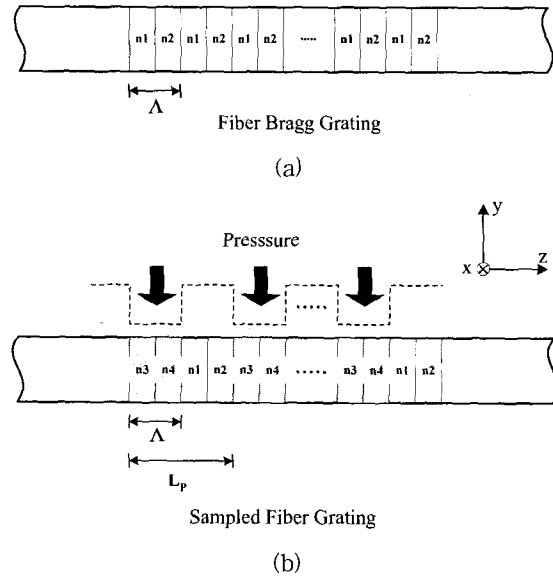


그림 1. 채널 간격을 가변할 수 있는 샘플격자의 구현 원리

(a) 압력(P)를 가하기 전의 Fiber Bragg grating의 구조

(b) 압력(P)에 의해서 형성된 Sampled fiber grating의 구조

Fig. 1. Schematic diagram of a channel spacing-tunable Sampled fiber grating(SFG);

(a) before pressure (P)

(b) after pressure (P).

For x-polarization

$$\Delta n_x = -\frac{n_0^3}{2} [P_{11} \epsilon_x + P_{12} (\epsilon_y + \epsilon_z)]$$

For y-polarization

$$\Delta n_y = -\frac{n_0^3}{2} [P_{11} \epsilon_y + P_{12} (\epsilon_x + \epsilon_z)] \quad (1)$$

여기서, n_0 는 압력이나 힘이 인가되지 않은 초기 광섬유 굴절률이고 P_{11} 과 P_{12} 는 광탄성 계수를 나타낸다.

다음은 제안된 샘플격자의 채널 간격 및 채널 간격 가변에 대해 살펴보겠다. 샘플격자의 채널 간격($\Delta\lambda$)은 광섬유격자에 인가되는 압력 주기(L_p)에 관계되기 때문에 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_B^2}{2 n_{eff} L_p} \quad (2)$$

식 (2)에서 볼 수 있듯이 샘플격자의 채널 간격($\Delta\lambda$)

은 인가되는 압력주기(LP)에 반비례하기 때문에 압력 주기를 변화시킴으로써 쉽게 샘플격자의 채널 간격을 가변시킬 수 있다. 여기서, λ_B 는 압력이 인가되는 광섬유격자의 중심파장(Bragg wavelength)을 나타내고, n_{eff} 는 광섬유격자의 유효굴절률을 나타낸다. 다음은 샘플격자의 채널 간격을 가변시키기 위해서 광섬유격자에 인가되는 압력주기를 변화시키는 예를 <그림 2>에 나타내었다. 광섬유격자가 삽입된 광섬유 또는 주기적인 압력을 인가시키는 plate를 θ 만큼 회전시키면 $L'_p = L_p / \cos \theta$ (L_p : 압력주기, L'_p : 가변된 압력주기)의 관계식에 의해 압력주기를 가변시킬 수 있고 결과적으로 샘플격자의 채널 간격을 쉽게 변화시킬 수 있게 된다. 광섬유 또는 압력 plate의 회전은 회전 스테이지를 회전시킴으로써 구현될 수 있다.

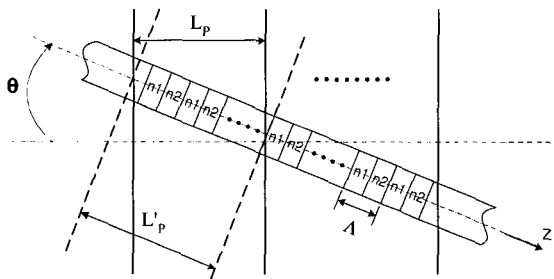


그림 2. 제안하는 샘플격자의 채널 간격의 튜닝 원리
Fig. 2. Principle of tuning a channel spacing of the SFG.

III. 채널 간격 가변 가능한 샘플격자의 제작 및 특성분석

본 연구에서 제안하는 샘플격자는 아래와 같이 제작되었다. 먼저, 샘플격자 제작에 사용된 광섬유격자는 상온 1550psi에서 7일간 수소 처리된 일반 광통신용 단일 모드 광섬유에 동작파장이 248nm인 KrF 엑시머 레이저를 조사하여 제작되었으며, 이때, 엑시머 레이저의 펄스반복율과 에너지 밀도는 각각 10Hz와 250[mJ/cm²]이었으며, 약 6분간 조사하여 제작하였다. 제작된 광섬유격자의 총 길이는 20mm이었으며, 중심파장은 1552.6nm이었다. <그림 3>은 제작된 광섬유격자의 반사 스펙트럼을 나타내고 있으며, 반사율은 99% 이상이었다. 제작된 광섬유격자를 이용하여 채널 간격 가변 가능한 샘플격자를 구현하였으며, 제작 시스템은 <그림

4>와 같다. 샘플격자의 형성과정을 실시간으로 관찰하기 위하여 광대역 광원과 분해능이 0.1nm인 OSA(Optical Spectrum Analyzer)를 사용하였으며, 샘플격자 형성을 최적화하기 위해서 광섬유 편광자(FP: Fiber Polarizer)를 이용하여 입사하는 빔의 편광 상태를 조정하였다. 광섬유격자에 주기적인 압력을 인가하는 grooved plate의 총 길이는 20mm이었고 V-groove의 주기는 580μm이었다. 광섬유격자에 인가되는 압력의 크기는 조절이 가능하도록 설계되었고 압력주기는 회전 스테이지를 이용하여 변화하였다.

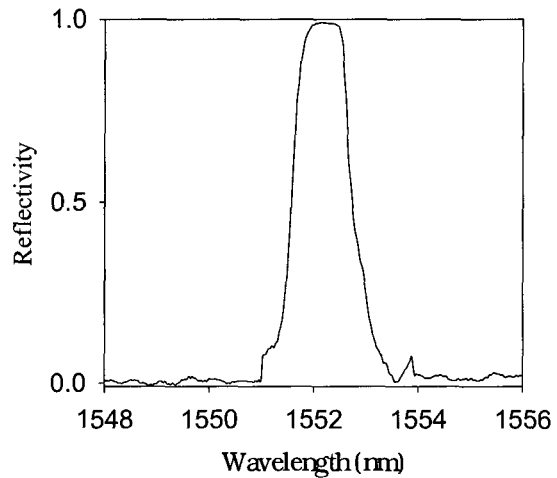


그림 3. 샘플격자를 구현하기 이전의 광섬유격자의 반사 스펙트럼
Fig. 3. Reflection spectrum of a FBG used for the SFG.

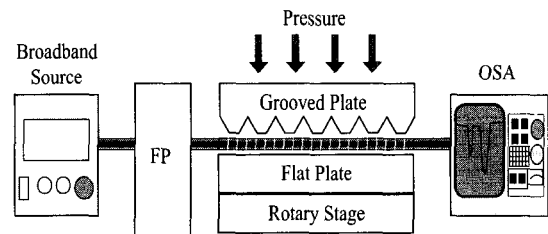


그림 4. 채널 간격 가변 가능한 샘플격자를 구현하기 위해 사용된 시스템
Fig. 4. Experimental setup for forming a channel spacing-tunable SFG.

위에 언급된 제작 시스템을 이용하여 샘플격자를 제작해 보았다. <그림 5>는 광섬유격자에 인가되는 압력이나 힘의 변화에 따른 샘플격자의 스펙트럼 변화를 나타낸 그림으로, 압력주기(LP)는 580μm로 고정하고 압

력을 29.4 (kN/m)에서 49.0 (kN/m)로 변화시켜 가면서 샘플격자의 스펙트럼을 관찰하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 광섬유격자 내의 굴절률 변화량은 인가되는 압력의 크기에 비례하기 때문에 <그림 5>에서 보는 바와 같이 압력의 크기가 증가함에 따라 광섬유격자의 중심파장 양쪽으로 여러 피크들이 점차 성장하는 것을 볼 수 있다. 본 스펙트럼은 분해능이 0.1nm인 OSA를 이용하여 측정되었지만 분해능이 좀더 뛰어난 OSA나 TLS(Tunable Laser Source)와 OSA를 연동하여 측정하였다면 좀더 향상된 스펙트럼을 얻을 수 있을 것이라 생각된다.

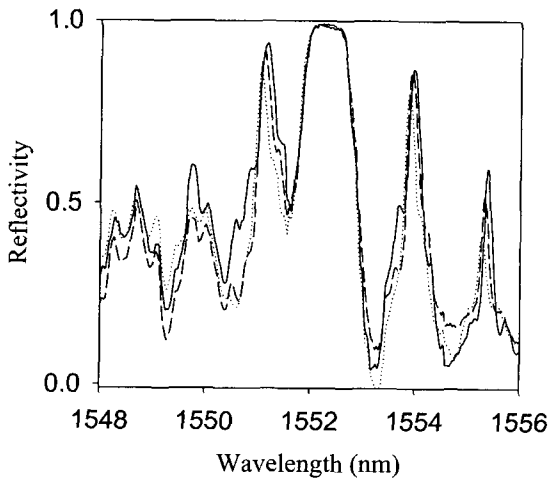
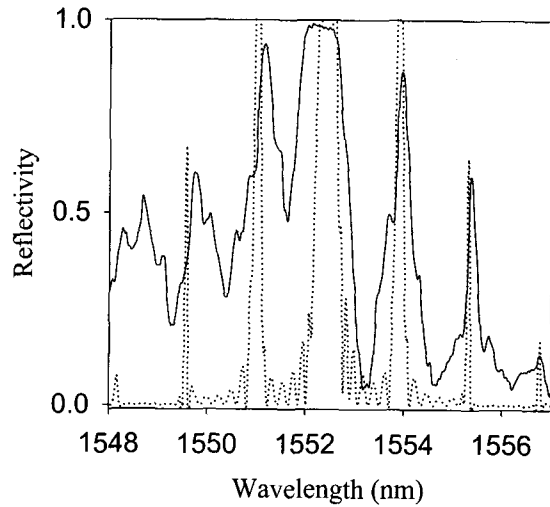
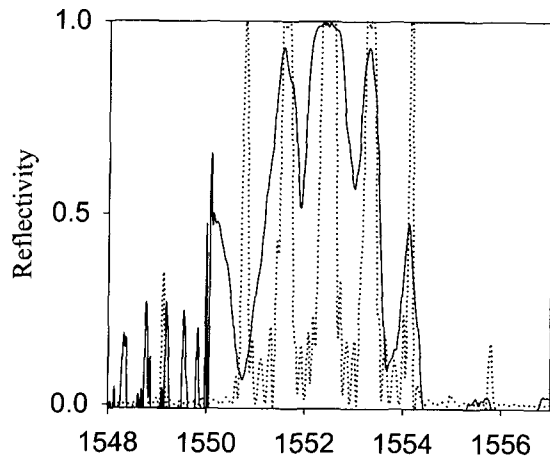


그림 5. 압력이나 힘의 변화에 따른 샘플격자의 반사 스펙트럼
 (... : 29.4 (kN/m), --- : 39.2 (kN/m),
 — : 49.0 (kN/m)
 Fig. 5. Reflection spectra of the SFGs with different external pressures
 (... : 29.4 (kN/m), --- : 39.2 (kN/m),
 — : 49.0 (kN/m)).

다음은 압력주기를 변화시켜 가면서 샘플격자의 채널 간격 가변 스펙트럼을 측정해 보았으며, 이 실험 결과를 시뮬레이션을 통해서 추정되는 스펙트럼과 비교 분석해 보겠다. <그림 6(a)>와 <그림 6(b)>는 인가 압력주기를 각각 580 μm 와 1000 μm 로 조절함으로써 샘플격자의 채널 간격을 가변시켰을 때의 스펙트럼을 나타내는 그림으로, 이때, 두 경우 모두 압력은 49.0 (kN/m)로 동일하게 인가해 주었다. 여기서, 실선(—)은 측정된 스펙트럼을 나타내고 점선(...)은 시뮬레이션을 통해 얻어진 예상되는 스펙트럼을 나타내고 있다. 시뮬레이션



(a)



(b)

그림 6. 압력 주기에 따른 샘플격자의 채널 간격 변화
 (a) LP=580 μm , (b) L/P=1000 μm
 (— : 측정된 스펙트럼,
 ... : 예상되는 스펙트럼)
 Fig. 6. Reflection spectra of the SFGs with two different periods ;
 (a) LP=580 μm , (b) L/P=1000 μm
 (— : measured spectra,
 ... : predicted spectra).

결과는 결합모드이론(coupled mode theory)에 의한 matrix multiplication 방법을 이용하여 얻어진 결과이고 광섬유격자의 굴절률 변화량과 인가된 압력에 의한 굴절률 변화량은 각각 5×10^{-4} 과 1×10^{-3} 으로 가정하였다. 실험을 통해서 얻어진 측정된 스펙트럼과 예상된 스펙트럼을 비교해 보면, <그림 6(a)>는 제작된 광

섬유격자에 $580\mu\text{m}$ 주기의 압력을 인가하였을 때(회전 스테이지를 회전하지 않았을 때, $\theta=0^\circ$) 샘플격자의 스펙트럼을 나타낸 그림으로, 구현된 샘플격자의 채널 간격($\Delta\lambda$)은 1.4nm 이었고 시뮬레이션을 통해서 예상되는 채널 간격은 1.43nm 로 거의 일치함을 알 수 있었다. 그리고 이때, 측정된 채널간격의 표준편차는 0.3 이었다. 또한 광섬유격자에 주기가 $1000\mu\text{m}$ 인 압력을 인가하였을 때의 샘플격자의 스펙트럼을 <그림 6(b)>에 나타내었으며, 압력주기는 광섬유격자를 고정하고 있는 회전 스테이지를 회전($\theta = \sim 54.6^\circ$)시킴으로써 가변하였다. 이때, 샘플격자의 채널 간격($\Delta\lambda$)은 0.8nm 가 측정되었고 이론치는 0.83nm 로 측정치와 이론치가 거의 일치함을 알 수 있었다. 샘플격자의 채널 간격 가변 실험에서 발생된 측정치와 이론치의 오차는 압력 주기 가변을 위해 설치된 회전 스테이지가 높은 정밀도의 각도를 조절할 수 없기 때문에 발생된 것으로 예상되며, <그림 6>에서 측정된 스펙트럼에서의 반사피크들이 예상되는 스펙트럼보다 작은 피크 특성을 나타낸 것은 측정에서 사용된 OSA의 분해능이 높지 않았고 광섬유격자에 압력을 인가하였을 때, 광탄성효과에 의한 굴절률 변화가 예상치보다 작게 이루어진 것으로 예상된다. 그리고 측정치의 피크 파장들의 대역폭이 예상치에 비해 넓은 것은 측정 당시, 빔의 편광상태가 정확히 조절되지 않은 것으로 생각된다. 그러나 이러한 문제점들은 향후 추가적인 연구를 통해 개선될 수 있을 것으로 생각되어 진다.

IV. 결 론

본 논문에서는 제작된 광섬유격자에 주기적인 압력을 인가함으로써 채널 간격을 가변할 수 있는 샘플격자를 구현하는 새로운 방법을 제안하였다. 제작된 샘플격자의 특성을 측정해 보았고, 측정치를 이론치와 비교해 보았다. 중심파장이 1552.6nm 인 광섬유격자에 주기적인 압력을 인가함으로써 샘플격자를 구현할 수 있었으며, 인가되는 압력이 증가함에 따라 샘플격자의 여러 피크들이 점차 성장하는 것을 볼 수 있었다. 또한 광섬유격자에 인가되는 압력주기를 회전 스테이지를 이용하여 $580\mu\text{m}$ ($\theta=0^\circ$)에서 $1000\mu\text{m}$ ($\theta = \sim 54.6^\circ$)로 변화시킴으로써 샘플격자의 채널 간격을 1.4nm 에서 0.8nm 로 가변할 수 있었으며 이들 값들은 이론값들($\Delta\lambda = 1.43\text{nm}, 0.83\text{nm}$)과도 잘 일치하고 있음을 알았다. 이

번 연구에서 나타난 문제점들은 향후 지속적인 연구를 통해 개선될 것으로 생각되며, 본 연구에서 제안된 채널 간격 가변 가능한 샘플격자는 WDM 광통신용 소자 및 센싱 시스템에도 응용이 가능할 것으로 여겨진다.

참 고 문 헌

- [1] J. X. Cai, K. M. Feng, A. E. Willner, V. Grubsky, D. S. Starodubov, and J. Feinberg, "Simultaneous Tunable Dispersion Compensation of Many WDM Channels Using a Sampled Nonlinearly Chirped Fiber Bragg Grating", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 11, No. 11, pp. 1455~1457, 1999.
- [2] 이종훈, 조준용, 박광노, 이경식, "샘플격자를 이용한 파장가변형 다채널 추출필터", 제7회 광전자 및 광통신 학술회의, ThB2-4, pp. 141~142, 2000
- [3] Jorg Hubner, Dan Zauner, and Martin Kristensen, "Strong Sampled Bragg Gratings for WDM Applications", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 10, No. 4, pp. 552~554, 1998.
- [4] Chunn Yenn Lin, Lon A. Wang, and Gia Wei Chen, "Corrugated Long-Period Fiber Gratings as Strain, Torsion, and Bending Sensors", Journal of Lightwave Technology, Vol. 19, No. 8, pp. 1159~1168, 2001.
- [5] A Ping Zhang, Bai Ou Guan, Xiao Ming Tao, and Hwa Yaw Tam, "Mode Couplings in Superstructure Fiber Bragg Gratings", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 14, No. 4, pp. 489~491, 2002.
- [6] Y. Nasu and S. Yamashita, "Multiple phase-shift superstructure fiber Bragg grating for DWDM systems", Electronics Letters, Vol. 37, No. 24, pp. 1471~1472, 2001.
- [7] 이종훈, 조준용, 이경식, "샘플격자를 이용한 새로운 파장가변형 다채널 OADM", 대한전자공학회 논문지 제37권 SD편 제 12호 pp. 43~49, 2000
- [8] K. S. Lee and J. Y. Cho, "Polarization mode coupling in birefringent fiber gratings", Journal of Optical Society of America A, in Press,

August 1, 2002.

- [9] Rachid Gafsi and Mahmoud A. El-Sherif, "Analysis of Induced-Birefringence Effects on Fiber Bragg Gratings", Optical Fiber Technology, Vol. 6, pp. 299~323, 2000.

저 자 소 개



趙 峻 庸(正會員)

1998년 2월 성균관대 공대 전자공학과 졸업. 2000년 2월 성균관대 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업(석사). 2000년 2월~현재 성균관대 대학원 정보통신공학부(박사과정) 재학중. <주관심분야 : 광통신, 광전

자, 광센서>



金 成 春(正會員)

2002년 2월 호남대학교 공대 전자공학과 졸업. 2002년 3월~현재 성균관대 대학원 정보통신공학부(석사과정) 재학중. <주관심분야 : 광통신, 광전자, 광센서>



李 景 植(正會員)

1979년 성균관대 공대 전자공학과 졸업. 1978년 12월~1980년 8월 한국통신기술연구소(현 전자통신연구소) 근무. 1982년 University of Colorado (Boulder)대 석사. 1985년 8월 University of Colorado대 박사학위 취득(Electrical Engineering dept.). 1985년 9월~1986년 8월 University of Colorado대 연구원. 1986년 9월~1988년 7월 미국립표준연구소(NIST) 근무. 1988년 7월~1990년 2월 미 TACAN Corp. 근무. 1998년 9월~1999년 8월 University of Rochester, Institute of Optics, 방문 교수, 1990년 3월~현재 성균관대 정보통신공학부 교수. <주관심분야 : 광통신소자 및 시스템, 광섬유소자, 광섬유센서, PMD 보상, photonic devices 등>