

새로운 스트레인 인가장치를 이용한 광섬유 링 레이저의 파장가변 특성

김성춘 · 장현수 · 이경식[†]

성균관대학교 정보통신공학부 광통신 연구실
☎ 440-746 경기도 수원시 장안구 천천동 300

(2004년 2월 22일 받음, 2004년 9월 24일 수정본 받음)

광섬유 링 레이저의 출력파장 가변을 위해서 신뢰성있는 새로운 스트레인 인가장치를 제작하고 이 장치를 이용하여 파장가변 광섬유 링 레이저를 구현하였다. 제작된 광섬유 링 레이저의 출력파워는 -12 dBm이었으며, 선폭은 0.05 nm이었다. 새로운 스트레인 인가장치를 이용하여 광섬유에 8000 $\mu strain$ 을 인가하였을 때 광섬유 링 레이저의 출력파장은 약 10 nm 가변되는 것을 확인 할 수 있었다.

주제어 : optical fiber ring laser, fiber bragg grating, mechanical strain device.

I. 서 론

최근 정보화 사회에서는 초고속 광대역 통신 서비스의 요구가 증가하고 있으며, 이를 수용하기 위해서 WDM(Wavelength Division Multiplexing)에 의한 광전송 연구가 활발히 진행되고 있다. 파장 가변 레이저는 WDM 시스템에서 파장 간의 채널 겹침으로 인한 채널 잡음을 완화 시켜 시스템 관리의 유연성을 높여 줄 수 있기 때문에 차세대 광통신 시스템에서 필요한 핵심 광통신 소자이다. 파장 가변 레이저로 많이 사용되는 광섬유레이저는 자체가 광섬유소자이므로 광섬유에 부착이 용이하고 간단하며, 전광소자로 확장이 용이하다. 특히 특정 대역을 선택할 수 있는 광섬유격자의 등장으로 단일 모드 광섬유레이저의 획기적인 발전이 이루어졌으며, 요구되는 구성의 소자를 최소로 줄여 디자인을 간소화 할 수 있다. WDM통신의 광원으로서는 넓은 파장가변 범위, 좁은 선폭, 단일파장 출력의 구현을 위한 여러 가지 형태의 광섬유레이저에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 광섬유레이저의 종류는 DBR방식^[1]과 DFB방식,^[2] 링구조 방식^[3-6]으로 크게 3가지로 구분된다. DBR방식은 일반 반도체레이저와 같이 가운데 이득 매질을 두고 양 끝에 광섬유격자를 두는 방식이고, DFB구조는 공진기의 궤환 요소(feedback component)가 공진기 전체에 분포되어 있는 구조이며, 링 구조는 광섬유를 원형으로 공진기를 구성하여 광이 한쪽 방향으로만 진행하도록 하는 방식이다. 위의 3가지 방식 중 광섬유 링 레이저는 광 필터의 교체가 용이하여 파장 선택이 자유로우며, 공진기안에 광 필터를 여러 개 설치 가능하여 멀티채널이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 광섬유 링 레이저에 사용되는 광 필터로는 Fabry-Perot 필터,^[3] 광섬유격자^[4-6] 등이 있으나, 사용이 간편하고 저가인 광섬유격자가 광 필터로 많이 이용되고 있다. 이러한 광섬유격자를 사용한 광섬유 링 레이저는

0.15 nm이하의 좁은 선폭, 뛰어난 파장 선택성과 정확성의 장점을 가지고 있으며, 광섬유격자 부분에 물리적인 압력이나 장력 또는 온도를 변화시켜 10 nm이상의 출력파장을 가변 할 수 있다.^[4-6] 그러나 스트레인을 인가하여 튜닝 하는 경우 인가장치의 부피가 크고 특히, 광섬유격자의 최대 물리적인 인장력이 대략 4800 $\mu strain$ 이기 때문에 파장 이동이나 센서로서의 제약이 따르게 된다.^[7] 본 논문에서는 이를 극복하기 위한 방법으로 광섬유격자를 리코팅하고, 안정적인 스트레인을 인가할 수 있는 소형의 새로운 스트레인 인가장치를 개발함으로써 상품화가 가능한 광섬유 링 레이저를 구현해 보고자 하였다.

본 논문의 II절에서는 광섬유 링 레이저의 동작원리 및 새로운 스트레인 인가장치의 동작원리를 기술하고, III절에서는 파장 가변 광섬유 링 레이저의 구현 및 특성 결과에 대하여 논의를 하고, IV절에서는 결론을 맺고자 한다.

II. 광섬유 링 레이저의 및 스트레인 인가장치의 동작 원리

그림 1은 광섬유 링 레이저의 구성 및 스트레인 인가장치를 보여주는 실험 장치도이다. 이 실험 장치는 크게 광섬유 링 레이저와 기계적으로 광섬유에 스트레인을 인가시키는 장치로 되어있다. 광섬유 링 레이저는 빛을 펄핑시켜주는 LD영역, 펄핑된 빛을 증폭시켜주는 EDF(Erbium Doped Fiber)영역, 증폭된 빛 중에서 특정파장만을 반사시키는 광섬유격자부분, 그리고 특정 파장이 증폭된 빛이 레이징되어 나오는 출력부분등으로 되어있다. 본 실험에서 빛을 증폭하기 위해 사용한 펄핑 LD(Lasertron, G037DD0335)는 980 nm에서 발진하며 문턱 전압은 17mA이고, 출력파워는 대략 0.15 mW ~ 150 mW이었다. 이 광원에 의해 펄핑된 980 nm의 빛은 WDM 커플러를 통해 EDF를 진행하면서 C밴드 대역인 1530 nm에서 1565 nm까지의 빛을 증폭하게 된다. 이때 사용한 EDF의 길이는

[†]E-mail: kslee@skku.ac.kr

10 m이었으며, 증폭되어진 파워를 C밴드 전체적으로 균일하게 안정시키기 위해 구동드라이버(M-Tech, MSLD-5)를 사용해서 펌핑 LD의 온도와 전류를 25°C와 35 mA로 일정하게 유지하였다. 이때 펌핑된 평균파워는 약 40 dBm이었다. 이 증폭된 빛은 서큘레이터를 통해 광섬유격자 부분으로 입력되며, 광섬유격자에서 특정 파장의 빛이 반사되어 다시 서큘레이터를 통해 9:1 비대칭 커플러로 입력된다. 이 부분에서 10% 출력단자 부분의 빛이 레이징되어 출력 되며, 나머지 90% 출력단자 부분의 빛은 한쪽 방향으로만 회전 할 수 있도록 아이솔레이터를 지나 WDM 커플러의 입력 단자로 들어가서 그림 1과 같이 회전하게 된다. 이때 연결된 광섬유 전체가 공진기 역할을 하게 되고, 본 실험에서의 공진기 길이는 30 m이었다.

기존의 스트레인 인가방법에는 일반적으로 Piezoelectric transducer(PZT)를 이용하거나,^[8] translation 스테이지를 이용하여 광섬유의 수평방향으로 광섬유를 잡아당겨 스트레인을 인가하는 방법이었다.^[9] 하지만, 위의 방법들은 신뢰성에서 떨어지고, 실험장치의 규모가 커진다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해서 새로운 인가장치를 제작하였다. 그림 1에 스트레인 인가장치의 개략도를 나타내었다. 새로운 스트레인 인가장치는 광섬유에 스트레인을 인가할 때 스트레인 이외에 다른 외부 힘이 광섬유에 작용하는 것을 최소화 시킨 장치로써, 광섬유에 수직방향으로 가해지는 힘을 수평방향으로 가해지는 힘으로 전환하여 광섬유에 스트레인이 인가되게 하는 원리로 동작한다. 스트레인 인가 장치의 구성은 크게 광섬유 홀더부분, 수직방향으로 힘을 인가하는 부분, 몸체 부분으로 나뉜다. 광섬유 홀더부분은 에폭시를 이용하여 광섬유를 고정하였으며, 홀더 사이의 거리는 40 mm이다. 수직방향으로 힘을 인가하는 부분은 몸체 부분에 있는 광섬유에 스트레인을 전달하기 위하여 외부에서 힘을 가하는 부분으로 몸체 부분에 가해지는 힘이 증가할수록 광섬유에 전달되는 스트레인이양이 증가하며, 힘을 제거하면 광섬유에 전달되는 스트레인이양도 다시 원점으로 돌아간다. 그러므로 외부에서 힘을 인가하면 스트레인이 전달되어 광섬유격자의 중심파장을 가변시키고, 힘을 제거하면 원상 복귀되어 광섬유격자의 중심파장이 다시 원상태로 되

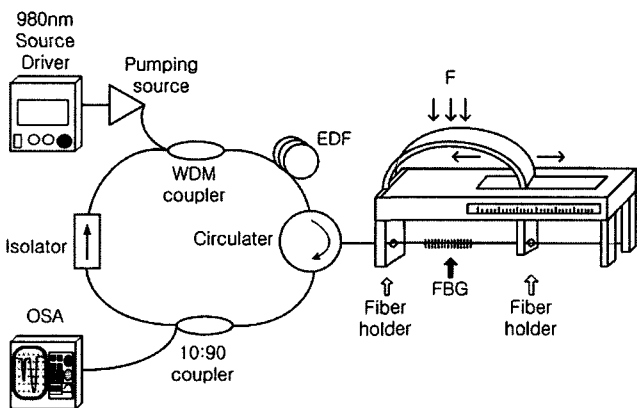


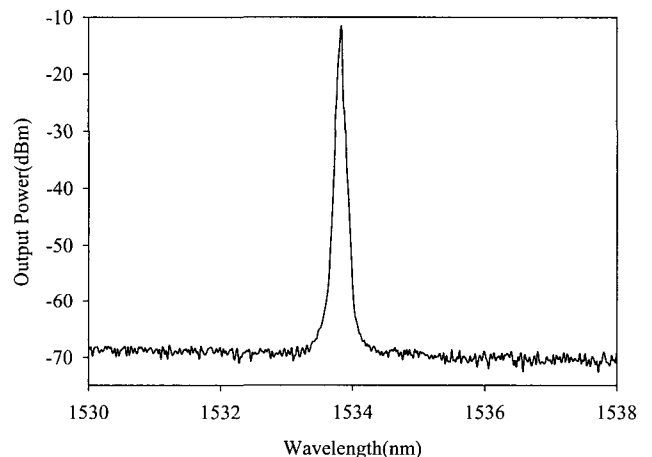
그림 1. 광섬유 링 레이저와 스트레인 인가 장치의 구조.

돌아온다. 몸체 부분은 외부의 힘이 인가되었을 때 홀더와 홀더 사이의 평행을 유지시켜 주는 것으로 중간에 광섬유가 비틀림으로 인해 끊어지는 것을 방지하고, 몸체의 눈금을 통해 스트레인 양을 측정을 할 수 있다. 그리고 홀더와 홀더 사이에 있는 광섬유격자는 리코팅을 함으로써 광섬유가 가지고 있는 물리적인 특성의 한계를 극복하였다.

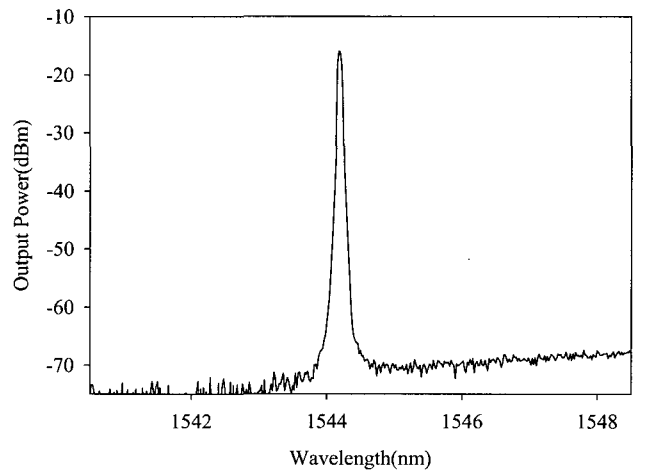
위의 광섬유 링 레이저는 다른 구조의 광섬유레이저와는 달리 광섬유격자를 쉽게 교체할 수 있기 때문에 파장 선택이 자유로우며, 신뢰성 있는 스트레인 인가 장치를 사용함으로써 안정하게 광섬유레이저의 파장을 가변 할 수 있었다. 기존의 다른 형식의 파장 가변 레이저는 복잡하고 고가의 장비를 이용해 제작해야 하는 어려움이 있었으나 위의 방법을 이용하면 쉽게 경제적으로 제작할 수 있기 때문에 상품화도 가능하다.

III. 광섬유 링 레이저의 파장 가변 특성

그림 2는 주기가 다른 광섬유격자를 사용한 광섬유 링 레



(a) FBG 1(1532.82 nm)



(b) FBG 2(1544.16 nm)

그림 2. 광섬유 링 레이저의 출력스펙트럼.

이저의 출력 스펙트럼을 나타내고 있다. 실험에 사용한 광섬유 유격자들은 100 bar의 기압으로 148시간 동안 수소 처리한 광섬유에 KrF excimer 레이저(248 nm)를 이용하여 5 Hz, 120 mJ의 파워로 3분 동안 UV에 노출하여 제작하였다. 위상마스크를 이용하여 제작한 광섬유격자의 중심반사파장(λ_p)은 1533.82 nm(FBG 1)와 1544.16 nm(FBG 2)이었다. 이들 광섬유 유격자의 FWHM 대역폭은 0.35 nm, 반사율은 99.8%이고 광섬유의 유효 굴절률(n_{eff})은 1.448이었다. 이렇게 제작된 광섬유 유격자를 이용한 광섬유 링 레이저에서 EDF를 증폭시켜 주기 위한 펌핑 LD의 전류는 35 mA, 온도는 25°C로 조정하였으며, 광 스펙트럼 분석기(ANDO, AQ6317B)를 이용하여 분해능 0.02 nm로 측정하였다. 그림 2(a)에서 광섬유 링 레이저의 발진중심파장은 1533.82 nm, 광출력 파워는 -12 dBm 이었고, 그림 2(b)의 발진중심파장은 1544.16 nm이며, 광출력 파워는 -13 dBm이었다. 또한 이들 레이저들의 발진 파장 선포는 0.05 nm이었다.

그림 3은 스트레인을 인가하였을 때 광섬유 링 레이저 출력파장의 가변 정도를 나타내는 광섬유 링 레이저의 출력 스펙트럼이다. 광섬유 링 레이저의 광섬유 격자에 스트레인을 인가하였을 때 스트레인(ϵ)에 의한 광섬유 격자의 중심파장의 변화 값은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

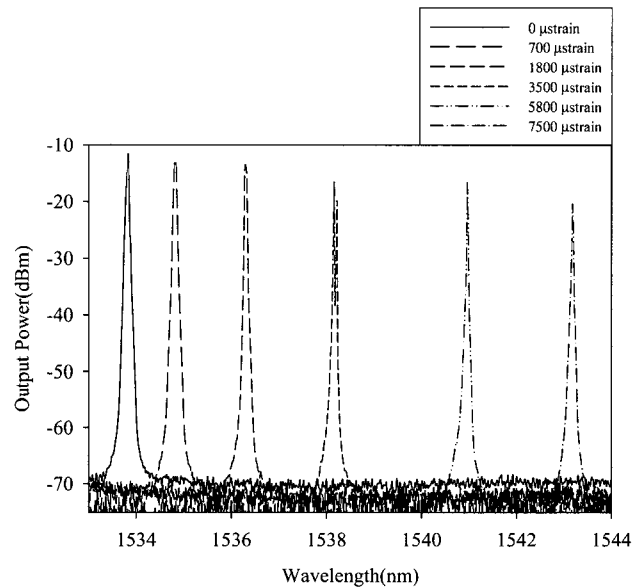
$$\Delta\lambda = \lambda_p(1 - p_e)\epsilon \quad (1)$$

여기에서, p_e 는 광탄성 계수(effective photoelastic constant)를 말하며, 광섬유 격자의 중심파장이 1540 nm인 경우 $1 \mu strain$ 당 1.21 pm의 파장이 이동한다.^[10,11]

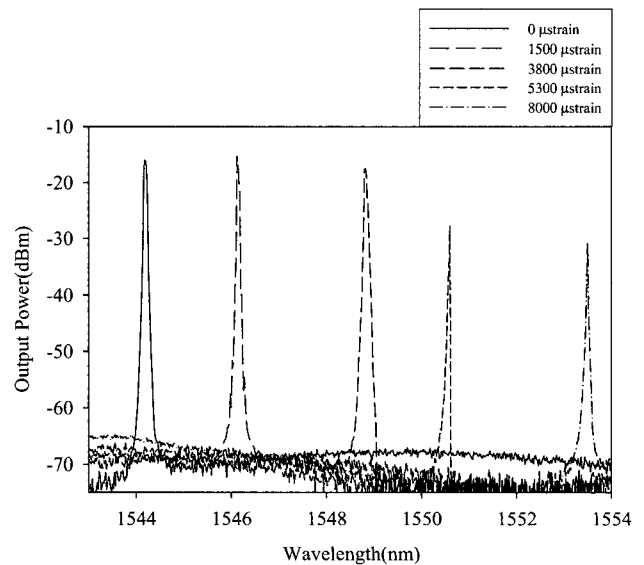
그림 3(a)에서 스트레인을 인가하기 전의 광섬유 링 레이저의 출력파장은 1532.82 nm이며, 스트레인을 인가함으로써 출력 파장이 점점 장파장 쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있었다. 스트레인을 최대 7500 $\mu strain$ 을 인가하였을 때, 출력 파장은 9.30 nm 정도 이동하였고, 이 때의 출력파워는 약 6 dBm 정도 줄어들었다. 그림 3(b)에서 스트레인을 인가하기 전의 광섬유 링 레이저의 출력파장은 1544.16 nm이었으며 첫 번째 광섬유 격자와 마찬가지로 스트레인을 인가할수록 장파장 쪽으로 출력 파장이 이동하였다. 최대 8000 $\mu strain$ 을 인가하였을 때 출력 파장은 9.64 nm 정도 이동하였으며, 이 때의 출력파워는 약 13 dBm 정도 감소하였다. 그림 3(a)와 그림 3(b)에서의 파워 손실은 스트레인 인가장치의 홀더 부분에서 에폭시를 사용하여 광섬유를 부착할 때 발생하는 광섬유의 밴딩 로스와 편광변화에 의한 것으로 추정된다. 또한 동일한 실험 조건에서 광섬유에 리코팅을 하지 않고 일반 translation 스테이지를 이용하여 스트레인을 인가하였을 경우에는 광섬유에 약 4800 $\mu strain$ 이 가해질 때 광섬유가 끊어지는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 현상의 원인은 리코팅을 하지 않은 광섬유의 파괴점이 리코팅한 광섬유의 파괴점보다 낮고, translation 스테이지에서의 광섬유에 가해지는 눈에 보이지 않는 약간의 비틀림으로 인한 외부의 영향이라고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 리코팅된 광섬유 격자와

신뢰성 있는 스트레인 인가장치를 이용하여 약 3200 $\mu strain$ 을 더 인가할 수 있었으며 좀 더 파장튜닝 범위를 넓혀 줄 수 있었다.

그림 4는 그림 3에서의 스트레인 변화량에 따른 출력 파장 변화를 나타낸 그림이다. 검정 점들은 실험치이고, 실선은 이론치이다. 실험치 중에서 ■ 점과 ● 점들은 각각 FBG 1 (1532.82 nm)과 FBG 2(1544.16 nm)에 대해서 실험을 통해 얻은 값들로서 광섬유 격자에 인가되는 스트레인이 증가할수록 장파장 쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다. 이 그래프를 통해 광섬유 격자에 인가된 스트레인 양에 따라 파장이동이 선형적으로 일어나며, 이론치와 거의 일치하는 것을 알 수 있다.



(a) FBG 1(1532.82 nm)



(b) FBG 2(1544.16 nm)

그림 3. 광섬유 링 레이저의 출력파장 가변 스펙트럼.

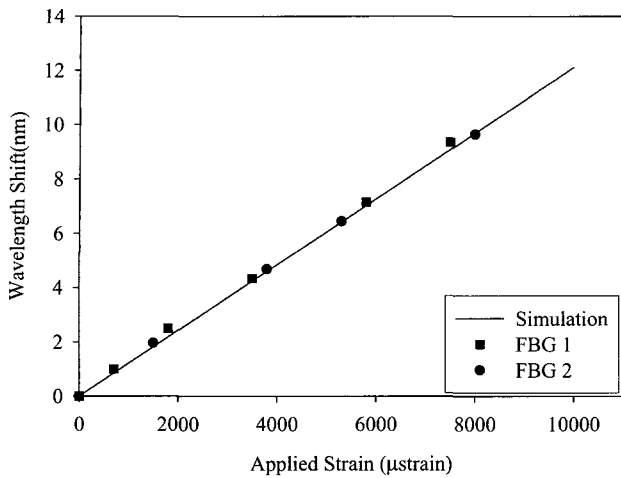


그림 4. 광섬유 링 레이저의 스트레인에 따른 출력파장 변화.

IV. 결 론

광섬유격자에 스트레인을 최대로 인가하기 위하여 광섬유 격자를 리코팅하고, 신뢰성 있는 새로운 스트레인 인가장치를 제작하여 파장 가변형 광섬유 링 레이저를 구현하였다. 새로운 스트레인 인가장치를 이용하여 광섬유격자 부분에 최대 8000 $\mu strain$ 까지 스트레인을 인가할 수 있었으며, 이 때 광섬유 링 레이저의 출력 파장은 약 10 nm 정도 가변되는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제시한 새로운 스트레인 인가장치를 이용한 광섬유 링 레이저는 다른 파장 가변 레이저와 달리 고가의 복잡한 실험장비가 필요치 않으며 쉽게 경제적으로 제작할 수 있기 때문에 파장가변 레이저의 성능을 높여주는 경우 상품화도 가능할 것으로 생각된다.

참고문헌

[1] Y. Z. Xu, H. Y. Tam, S. Y. Liu, and M. S. Demokan, "Pump-Induced Thermal Effects in Er-Yb Fiber Grating DBR Lasers," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, no.

9, pp. 1253-1255, 1998.
 [2] Hong Yoon, Kyoo Man Cho, Sang Bae Lee, Sang Sam Choi, and Dongwook Park, "Tunable Er³⁺-doped fiber distributed-feedback laser," *LEOS 2000*, pp. 401-402, 2000.
 [3] Shinji Yamashita and Masato Nishihara, "Widely tunable erbium-doped fiber ring laser over 80nm," *Proc. APCC/OECC '99*, Beijing, China, pp. 1509-1510, 1999.
 [4] J. J. Pan, Y. Shi, and T. Zhu, "Continuously tunable high power fiber lasers with 11nm tunability," *Proc. OFC '99*, San Diego, CA, pp. 199-201, 1999.
 [5] A. D. Dersey and W. W. Morey, "Multi-element bragg-grating based fibre-laser strain sensor," *Electron. Lett.*, vol. 29, no. 11, pp. 964-966, 1993.
 [6] Sungchul Kim, Jaejong Kwon, Seungwoo Kim, and Byoung-ho Lee, "Multiplexed strain sensor using fiber gating-tuned fiber laser with a semiconductor optical amplifier," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 13, no 4, pp. 350-351, 2001.
 [7] P. J. Moreira, L. A. Ferreira, J. L. Santos, and F. Farahi, "Dynamic range enhancement in Fiber Bragg Grating sensors using a multimode laser diode," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, no. 6, pp. 703-705, 1999.
 [8] Sung Chul Kang, Se Yoon Kim, Sang Bae Lee, Seo Won Kwon, Sang Sam Choi, and Byoung-ho Lee, "Temperature-Independent Strain Sensor System Using a Tilted Fiber Bragg Grating Demodulator," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, no. 10, pp. 1461-1463, 1998.
 [9] Bai-Ou Guan, Hwa-Yaw Tam, Xiao-Ming Tao, and Xiao-Yi Dong, "Simultaneous Strain and Temperature Measurement Using a Superstructure Fiber Bragg Grating," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, no. 6, pp. 675-677, 2000.
 [10] A. T. Alavie, S. E. Karr, A. Othonos, and R. M. Measures, "A multiplexed bragg grating fiber laser system," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 5, no. 9, pp. 1112-1114, 1993.
 [11] A. D. Kersey, M. A. Davis, H. J. Patrick, M. LeBlance, K. P. Koo, C. G. Askins, M. A. Putnam, and E. J. Friebele, "Fiber Grating Sensor," *J. Lightwave Technol.*, vol. 15, no. 8, pp. 1442-1463, 1997.

Wavelength tunability of a fiber ring laser using a novel strain device

Sung Chun Kim, Hyun Soo Jang, and Kyung Shik Lee[†]

School of Information and Communications Engineering, SungKyunKwan University, Suwon, 440-746, Korea

[†]E-mail: kslee@skku.ac.kr

(Received February 22, 2004 Revised manuscript September 24, 2004)

We fabricated a tunable fiber ring laser consisting of a novel strain device and fiber Bragg gratings. The lasing power and FWHM bandwidth of the optical fiber ring laser was -12dBm and 0.05nm respectively. The fiber ring laser was tuned as much as 10nm at a 8000.

OCIS Codes : 140.3510, 050.2770.