

## 영역이 분리된 칩 광섬유 격자를 이용한 광 채널 스위칭용 투과 필터의 설계

박세강<sup>†</sup> · 박진우

고려대학교 대학원 전자공학과

Ⓣ 136-701 서울시 성북구 안암동 5-1

구현덕 · 이상배

한국과학기술연구원 광기술연구센터

Ⓣ 130-650 서울시 성북구 하월곡동 39-1

(2000년 12월 15일 받음, 2001년 8월 29일 수정본 받음)

본 논문에서는 반사대역 내부에 분리된 다수의 통과대역을 갖는 영역이 분리된 칩 광섬유 격자를 이용하여 각 채널을 독립적으로 제어할 수 있는 광 투과 필터를 제안하였다. 영역이 분리된 칩 광섬유 격자는 원하는 영역을 설정할 수 있는 슬릿을 사용하여 제작되었다. 분리된 대역은 압전소자에 광섬유 신장기를 부착하여 조절하였고, 조절된 반사 대역은 채널을 독립적으로 선택하는데 사용되었다. 광대역 광원과 파장가변 레이저를 사용하여 투과 스펙트럼의 파장이동에 따른 입력 채널의 선택을 보였다.

분류코드 : FO.010.

### I. 서 론

빠른 속도로 발전하고 있는 광통신시스템에서 최근에 파장 분할 다중화 전송의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 이러한 추세에 따라, 그에 부합하는 광 소자에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 이러한 광소자 중에서도 특히 광섬유 격자는 높은 파장 선택도와 낮은 삽입손실, 그리고 높은 반사도를 갖고 있어 부가적인 시스템의 추가없이 격자가 새겨진 광섬유 자체만으로 원하는 동작 특성을 얻어낼 수 있기 때문에 많은 주목을 받고 있다. 광섬유 격자를 이용한 여러 광통신 시스템에의 응용 중에서도 광 필터는 광섬유 격자의 내재적인 필터링 특성 때문에 다양한 구조로서 실험이 실행되고 적용되어 왔다.<sup>[1]</sup> 광섬유 격자를 기초로 한 광섬유 필터는 파장 분할 다중화 시스템의 광 크로스 커넥트(OXC)<sup>[2]</sup>나 광 분기/결합 장치(ADM)<sup>[3]</sup>에서 특정한 채널을 선택하는 데 매우 중요한 소자로 사용된다. 특히 칩 광섬유 격자는 특정 파장만을 반사시키는 단주기 격자와는 달리 넓은 반사 대역을 가지고 있기 때문에 4 채널 이상의 입력 신호를 동시에 반사시킬 수 있으며, 그 반사대역을 변화시킬 수 있다면 더욱 유동적인 필터로서 사용될 수 있을 것이다. 그리하여 칩 광섬유 격자의 반사대역 내부에 특정한 통과대역을 만드는 노력이 여러 방식으로 행해져 왔는데, 그 중에서 칩 무아레(Moire) 격자를 이용하는 방법,<sup>[4]</sup> 반사대역 내부에 불규칙한 인장을 가하는 방법,<sup>[5]</sup> 그리고 부분적인 파장 이동이 가능하도록 분리된 압전소자(PZT)의 스택을 사용하는 방법,<sup>[6]</sup> 그리고, 칩 광섬유 격자를 제작

후 추가적으로 UV를 입사하여 통과대역을 만들어내는 방법<sup>[7]</sup> 등이 최근에 제안되었다. 그러나 무아레 격자를 이용하는 방식은 칩 무아레 격자를 만드는 자체가 재생산성이 없고 또한 특정한 파장의 위치가 아닌 무아레 패턴을 따라 통과대역이 고정되어 생성되는 단점이 존재한다. 그리고 불규칙한 인장을 가하거나 부분적인 파장이동을 이용한 방식은 결과에서 볼 때 투과되는 각 신호의 출력 파워가 서로 다르고, 정확한 투과 파장을 임의로 결정할 수 없는 단점이 존재한다. 마지막으로 언급한 제작 후 추가적인 UV를 입사하는 방식도 UV빔의 세기와 스팟 크기(spot size)에 따라 투과도가 포화되며, 투과된 각 채널의 파워가 서로 다른 단점이 존재한다. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하고 간단한 구조로 구성할 수 있는 광 투과 필터를 설계하고 실험적으로 그 특성을 보였다.

### II. 영역이 분리된 칩 광섬유 격자의 제작과 새로운 파장 이동 방식

실험에 사용한 칩 광섬유 격자는 100°C 온도 100-atm 압력에서 48시간동안 수소처리한 일반 통신용 단일모드 광섬유에 0.4 nm/cm의 칩 레이트(chirp rate)를 갖고 평균주기가 1074 nm인 5 cm 길이의 2.9 nm대역용 마스크를 사용하여 에너지 밀도가(200 mJ/cm<sup>2</sup>)/pulse, 펄스 반복율이 4-5 Hz로 22-23 kV에서 약 20분간 248 nm 펄스형 KrF 레이저를 사용하여 제작되었다. 2.9 nm의 반사대역 내에 통과대역을 만들기 위하여 마스크 앞단에 엑시머 레이저의 빔을 특정한 위치에서 막아주기 위해 철판으로 제작된 슬릿을 사용하였다. 그림 1과 2의 (a)는 슬릿의 위치에 따라 전체 5 cm영역에서 격자가 생성된

<sup>†</sup>E-mail: rose92@korea.ac.kr

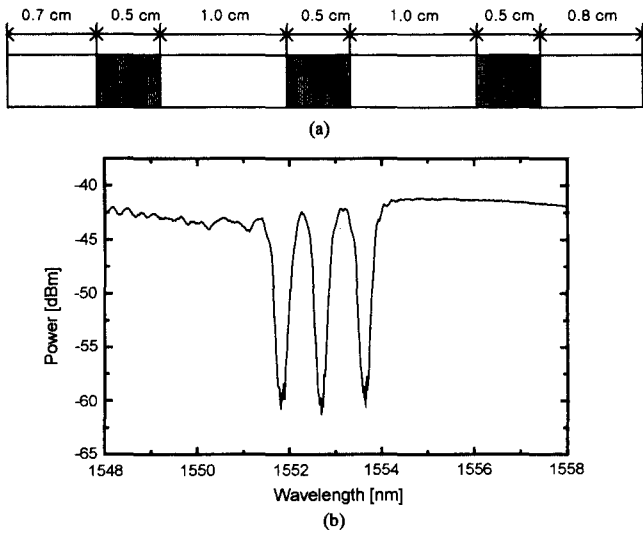


그림 1. 슬릿을 사용하여 제작된 3 피크 투과 스펙트럼. (a) 제작된 격자의 영역, (b) 투과 스펙트럼.

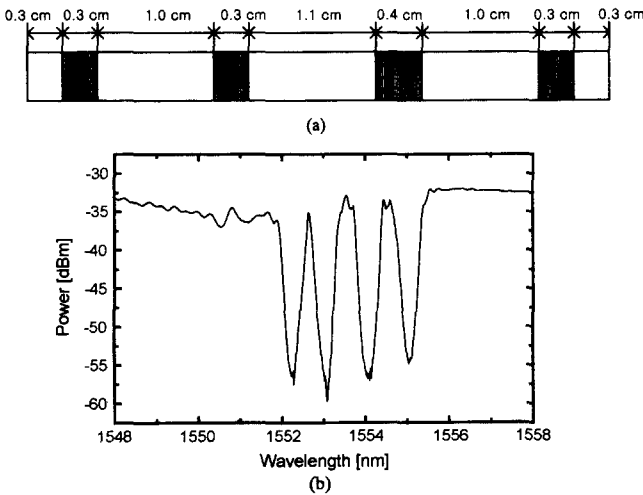


그림 2. 슬릿으로 제작된 4 피크 투과 스펙트럼. (a) 제작된 격자의 영역, (b) 투과 스펙트럼.

부분과 생성되지 않은 광섬유의 부분을 길이별로 보인 것이다. 그림 1(b)에서 보인 3 피크는 5 cm 길이의 칩 광섬유 격자의 영역 중에서 1 cm 간격으로 0.7~1.2 cm, 2.2~2.7 cm, 그리고 3.7~4.2 cm의 위치에서만 0.5 cm 길이의 빔이 격자를 생성시키도록 만든 슬릿으로 제작된 영역이 분리된 격자(그림 1(a))의 투과 스펙트럼이다. 그림 2(b)에서 보인 4 피크는 5 cm 길이의 칩 광섬유 격자의 영역 중에서 1 cm 간격으로 0.3~0.6 cm, 1.6~1.9 cm, 3~3.4 cm 그리고 4.4~4.7 cm의 위치에서만 0.3~0.4 cm 길이의 빔이 격자를 생성시키도록 만든 슬릿으로 제작된 영역이 분리된 격자(그림 2(a))의 투과 스펙트럼이다. 제작된 결과에서 보는 것처럼 피크의 파워가 일정하고 또한, 슬릿의 위치에 따라 원하는 파장을 얻어낼 수 있으며, 제작시간에 따라 원하는 반사도(99.9% 이상)를 얻어낼 수 있었다.

그림 3은 3-포트 광 쉐플러와 압전소자를 사용하여 실험한 구조를 보여주고 있다. 처음 입력된 신호는 쉐플러

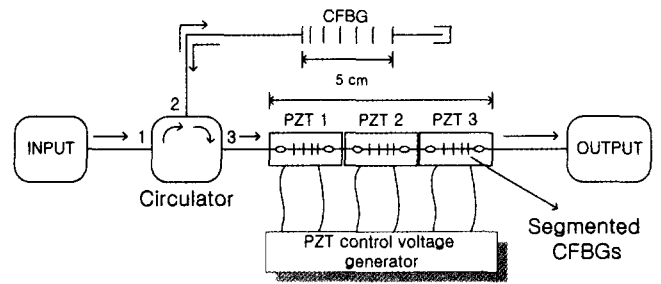


그림 3. 제안된 광 투과 필터의 실험 구성도.

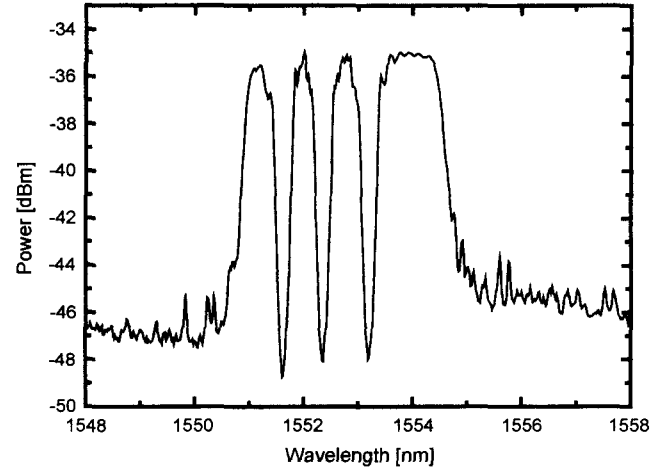


그림 4. 칩 광섬유 격자 통과 후 얻어진 네 개의 투과 대역.

를 통해 포트 2로 출력되게 되고 다시 포트 2에 연결된 일반 칩 광섬유 격자를 만나 반사되어 다시 영역이 분리된 칩 광섬유 격자가 연결된 포트 3으로 출력되게 된다. 사용될 네 채널과 무관한 단, 장파장의 신호를 억제하고 또한 네 채널만의 통과대역을 얻어내기 위해 2.9 nm 대역의 일반 칩 광섬유 격자를 영역이 분리된 칩 광섬유 격자의 앞 단에 먼저 사용하였다. EDFA의 ASE를 광대역신호로 사용하여 일반 칩 광섬유 격자에서 반사시킨 후에 새로 제작된 영역이 분리된 칩 광섬유 격자를 통과시켜 얻어진 네 개의 통과대역은 그림 4와 같다. 그림에서 보인 것처럼 출력포트에서 얻은 스펙트럼도 제작시의 세 피크의 투과 스펙트럼을 그대로 따른다.

이렇게 제작된 영역이 분리된 칩 광섬유 격자를 바탕으로 각 파장의 채널을 독립적으로 스위칭하기 위해서는 격자가 생성된 세, 네 부분만 부분적으로 서로 영향을 미치지 않도록 파장 이동을 하여야 하는데 이를 위해 각각의 위치별로 압전소자를 고정시켜 제어 신호를 조절함으로써 부분 튜닝을 수행하였다. 압전소자를 움직이기 위해 사용된 제어 신호의 인가 전압에 대한 격자의 파장 이동은 0.025 nm/V로서 선형적이며, 옆 채널과의 사이 간격 즉, 0.3~0.4 nm만 이동시키면 되므로 파장 이동 시 채널 간에 서로 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다. 다음 그림 5는 위에서 보인 최종 투과 스펙트럼을 특정채널을 선택하기 위하여 압전소자를 이용하여 통과대역을 장파장으로 이동시킨 스펙트럼을 보여준다. 그림 5(a)는 채널 2를 억제시키기 위해서 해당하는 압전소자의 인가 전압을 증

가시켜 첫 번째 반사 피크의 위치를 채널 2의 위치로 이동시킴으로써 채널 2는 투과되지 않고 반사되도록 조절한 스펙트럼을 보여주고 있다.

마찬가지로 그림 5(b)는 채널 3을 억제시키기 위해서 해당하는 압전소자의 인가 전압을 증가시켜 두 번째 반사 피크의 위치를 그림과 같이 채널 3의 위치로 이동시킴으로써 채널 3은 반사 되도록 조절한 스펙트럼을 보여주고 있다. 반사되는 격자의 중심파장이 변하면 반대로 격자가 존재하지 않는 영역 (phase-shift region)도 변하게 되므로 넓게 말하면 phase-shifted 격자로 생각할 수 있는데, 결국 그림 5는 phase-shift 양에 따른 스펙트럼 특성의 변화를 보여주는 것이 된다.

이러한 방식으로 부분적으로 세, 네 피크의 반사 대역을 조절하게 되면 입력된 신호 중에서 원하는 파장의 신호를 투과 혹은 반사시켜 선택적으로 출력단에서 수신할 수 있게 된다.

슬릿을 두는 위치에 따라 전체 반사대역 내에 한 개부터 네 개까지의 반사 피크(peak)를 만들 수 있었고 위치의 정밀한 조작으로 원하는 반사 파장도 임의로 얻어낼 수 있었다. 결국 단주기 격자가 여러개 배열 (array) 되어 있는 것과 같은 스펙트럼을 얻어 낼 수 있는데 특정 파장을 얻어내기 위해 정확한 파장의 마스크를 사용해야 하는 단주기 광섬유 격자에 비해

재생산성이 좋고 채널 간격도 임의로 조절이 가능하므로 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)에 사용하기 용이하다.

### III. 제안된 필터의 동작 특성 및 실험결과

본 장에서는 칩 광섬유 격자의 제작 시 슬릿을 두어 넓은 대역 중 원하는 부분에서만 격자가 생성되도록 하고, 새겨진 각각의 격자에 압전소자를 부착하여 입력 신호 각각을 독립적으로 스위칭 할 수 있는 필터를 제안하였다. 네 채널의 신호는 coherence-control을 사용하지 않았을 때에 coherence length가 1500m이고, spectral linewidth가 200 kHz보다 작은 SANTEC제품의 ECL-200 파장가변레이저를 사용하였는데, 0.8 nm 간격의 1551.4 nm, 1552.2 nm, 1553 nm, 1553.8 nm를 선택하였다. 본 구조는 제작된 영역이 분리된 칩 광섬유 격자 하나만으로도 네 채널 입력신호의 선택이 가능하나, 그림 3과 같이 포트 2에 연결되어 사용된 칩 광섬유 격자는 앞서 언급한대로 입력된 네 개의 신호와 무관한 단, 장파장의 신호를 제거해주는 역할과 또한 사용될 네 영역의 통과대역을 결정하기 위해 사용하였다. 이렇게 결정된 네 영역의 통과대역은 각각 부착된 압전소자에 전압을 인가하여 채널별로 독립적으로 브

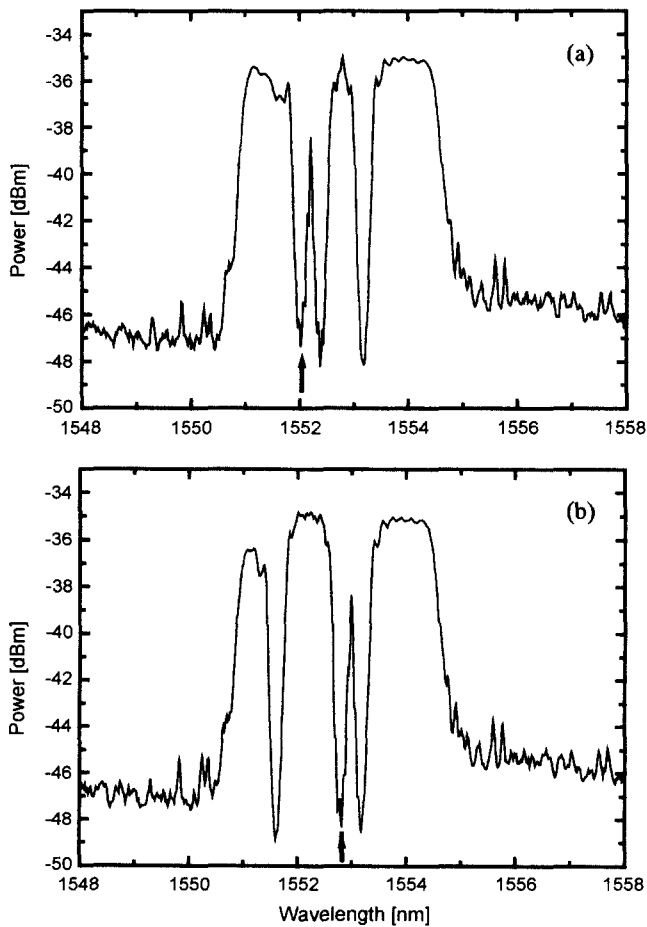


그림 5. 부분 튜닝방식으로 채널을 억제한 스펙트럼의 예. (a) 채널 2 억제 스펙트럼, (b) 채널 3 억제 스펙트럼.

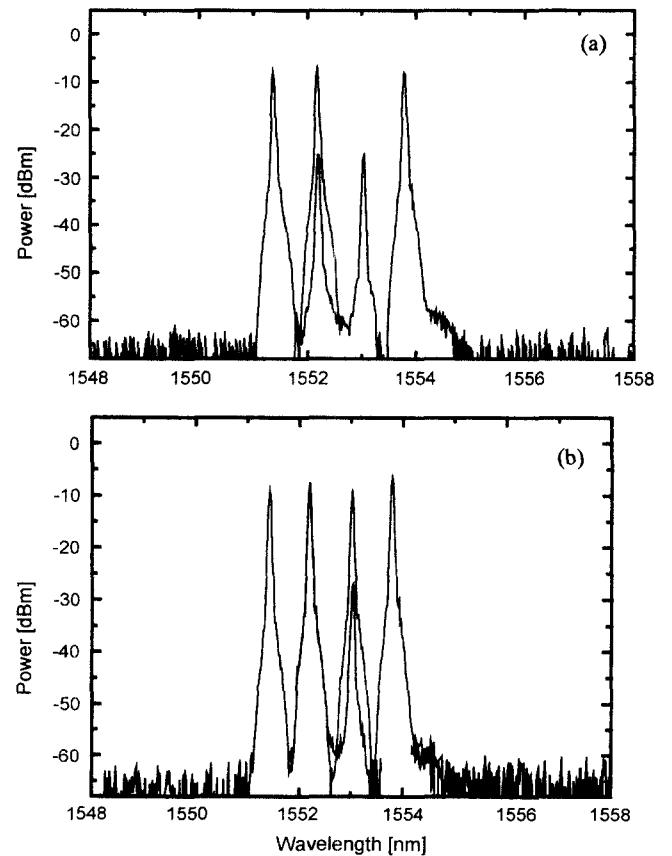


그림 6. 제안된 필터에서 측정된 실험결과 예. (a) 압전소자를 이용한 채널 2의 스위칭, (b) 압전소자를 이용한 채널 3의 스위칭.

래그 파장을 조절함으로써 입력신호를 통과 또는 반사시키게 된다. 본 구조는 단주기 격자의 어레이(array)로 구성할 경우 채널이 증가함에 따라 격자를 추가해야 하는 단점을 보완하고 또한 칩 광섬유 격자 단 한 개로서 1~4채널의 신호를 통과 또는 억제할 수 있는 장점이 존재한다. 물론 사용하는 칩 광섬유 격자의 대역이 실험에 사용한 2.9 nm 보다 넓다면 반사대역 내부에 더 많은 피크를 만들어 낼 수 있으므로, 더 많은 입력 신호를 칩 광섬유 한 개로서 수용할 수 있을 것이다.

그림 6은 실험결과의 두 가지 예를 보여주고 있다. 그림 6(a)의 결과에서는 그림 3에서 부착된 압전소자 2에 전압을 인가하여 채널 3은 억제시키고, 압전소자 1의 인가 전압을 조절하여 통과대역을 가변함으로써 채널 2가 통과 또는 억제되는 결과를 동시에 보인 것이다. 또한 그림 6(b)의 결과에서는 입력 채널 3의 투과여부를 결정하는 압전소자 2의 인가전압을 조절하여 채널 3이 투과 또는 억제되는 결과를 동시에 볼 수 있다. 네 채널의 입력 신호를 사용하여 모든 가능한 출력 신호를 실험적으로 확인하였다.

본 구조는 칩 광섬유 격자를 기반으로 구성되므로 격자가 갖고 있는 기본적인 특성을 그대로 따르기 때문에 삽입손실이 작고 반사도도 제작 시 조절 가능하며, 또한 높은 파장 선택도를 갖는다. 실험 시 압전소자의 스위칭 시간은 1 ms 이하이며, 채널간 크로스 토크는  $-20$  dB 이하이다. 측정된 광 손실은 써클레이터와 격자의 투과 손실을 포함하여 출력단에서 6 dB 이하였다.

#### IV. 결 론

단주기 격자의 배열이 아닌 칩 광섬유 격자에 통과대역을 만들기 위해 슬릿을 사용한 영역이 분리된 칩 광섬유 격자를 제작하였으며, 이를 이용하여 독립적으로 각 채널을 스위칭할 수 있는 광 투과 필터를 설계하고 실험적으로 그 특성을 보였다. 옆 채널과의 크로스 토크는  $-20$  dB 이하이며, 제작시의 슬릿의 위치와 반사도에 의해서 임의적인 파장을 선택할 수 있었고, 각 채널에 해당하는 압전소자에 전압을 인가함으로써 파

장 이동도 용이하게 하였다. 슬릿을 사용하여 제작된 칩 광섬유 격자 하나만으로 모든 네 채널을 선택할 수 있는 본 구조는 파장 다중화 시스템에서 필수적인 채널 필터링 기능뿐만 아니라 원하는 곳으로 특정한 파장의 신호를 라우팅할 수 있는 기능도 수행할 수 있으므로 광 크로스 커넥트나 광 분기/결합 장치와 같은 광 네트워크상에서 필수적인 소자로 사용될 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- [1] A. Iocca, H. G. Limberger, and R. P. Salathe, "Bragg grating fast tunable filter," *Electron. Lett.*, vol. 33, pp. 2147-2148, 1997.
- [2] S. K. Park, J. W. Park, S. R. Lee, H. Yoon, S. B. Lee, and S. S. Choi, "Multiwavelength bidirectional optical crossconnect using fiber Bragg gratings and polarization beam splitter," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, no. 7, pp. 888-890, 2000.
- [3] S. Y. Kim, S. B. Lee, S. W. Kwon, S. S. Choi, and J. Jung, "Channel-switching active add/drop multiplexer with tunable gratings," *Electron. Lett.*, vol. 34, pp. 104-105, 1998.
- [4] L. R. Chen, D. J. F. Cooper, and P. W. E. Smith, "Transmission filters with multiple flattened passbands based on chirped Moire gratings," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, pp. 1283-1285, 1998.
- [5] S. Li, K. T. Chen, J. Meng, and W. Zhou, "Adjustable multi-channel fibre bandpass filters based on uniform Bragg gratings," *Electron. Lett.*, vol. 34, pp. 1517-1518, 1998.
- [6] M. G. Xu, A. T. Alavie, R. Maaskant, and M. M. Ohn, "Tunable fibre bandpass filter based on a linearly chirped fibre Bragg grating for wavelength demultiplexing," *Electron. Lett.*, vol. 32, pp. 1918-1919, 1996.
- [7] L. Zhang, K. Sugden, J. A. R. Williams, and I. Bennion, "Postfabrication exposure of gap-type bandpass filters in broadly chirped fiber gratings," *Opt. Lett.*, vol. 20, pp. 1927-1929, 1995.

## **An optical channel-switching transmission filter using the segmented chirped fiber Bragg grating**

Se Kang Park<sup>†</sup> and Jin Woo Park

*Department of Electronics Engineering, Korea University, Seoul 136-701, KOREA*

*<sup>†</sup>E-mail: rose92@korea.ac.kr*

Heun Duk Ku and Sang Bae Lee

*Photonics Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 130-650, KOREA*

(Received December 15, 2000 ; revised manuscript received August 29, 2001)

We propose a novel channel-switching transmission filter using segmented chirped fiber Bragg gratings (CFBG's) each of which has separate transmission bands in the reflection spectrum of the CFBG. The segmented CFBG's are made by using specially designed slits. The separated reflection spectral bands of the segmented CFBG's are controlled by the attached fiber stretchers, and the controlled reflection bands are used to choose the channels independently. Tunability of the transmission spectra is experimentally demonstrated in WDM transmission experiments.

*Classification code* : FO.010.