

論文98-35D-3-9

# WDM 전송용 광섬유 Fabry-Perot 가변 광필터의 제작 및 특성 분석

## (Fabrication and Characterization of Optical Fiber Fabry-Perot Tunable Filter for WDM Transmission)

金允中\*, 金昌敏\*, 金明鎮\*\*, 尹大源\*\*

(Yun Jung Kim, Chang Min Kim, Myoung Jin Kim, and Dae Won Yun)

### 요 약

WDM 전송시스템의 핵심 소자인 fiber Fabry-Perot (FFP) 가변광필터를 설계, 제작한 후 특성을 관찰하였다. 광콜리메이터 단면을 기판으로 하고,  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$  교번구조로 다층박막을 구성하는 미러를 전달행렬법에 의하여 설계하였다. 제작된 미러는 예상대로  $\lambda=1.55\mu\text{m}$  부근에서 98% 이상의 고반사율을 보였다. PZT를 이용하여 가변 필터를 제작한 후 FSR, FWHM, finesse, crosstalk, insertion loss 등을 관찰하였으며 WDM전송시스템에서 요구하는 광필터에 대한 특성사항을 만족함을 확인하였다.

### Abstract

Fiber Fabry-Perot (FFP) tunable filters, the essential component of WDM transmission, were designed, fabricated and characterized. Multi-layered thin film mirrors that consist of an optical collimator's cross section as a substrate and  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$  alternating multi-layered films as a filter were designed by means of the transfer matrix method. Fabricated mirrors showed the high reflectivity over around 98% as expected. After fabricating the tuneable filters using PZT, we measured FSR, FWHM, finesse, crosstalk and insertion loss, confirming that the built devices satisfied the optical filter's specifications required in the WDM transmission systems.

### I. 서 론

기존의 광전송 방식에서 전송용량의 증대를 위해서는 펄스 변조 속도를 증가시키는 방향으로 연구되어

왔으나 이러한 방식으로는 10Gbps급 정도가 기술적, 경제적 한계인 것으로 판단되며 그 이상의 초고속 대용량의 정보전송을 위해서는 광섬유의 넓은 전송 대역폭을 이용한 파장분할 다중화(Wavelength Division Multiplexing; WDM) 방식<sup>[1]</sup>과 광주파수 분할 다중화(Optical Frequency Division Multiplexing; OFDM) 방식<sup>[2]</sup>이 우선적으로 고려된다. 이러한 WDM/OFDM 전송 시스템에서 원하는 채널의 선택을 위해서는 빠른 속도와 높은 안정성을 갖는 주파수 및 파장 필터가 반드시 필요하게 되며 광필터의 성능 향상과 다양화는 광다중화방식의 발전을 가능케하는 필수적인 요소가 된다.

\* 正會員, 서울시立大學校 電子工學科  
(University of Seoul, Department of Electronics Eng.)

\*\* 正會員, 電子部品綜合技術研究所 部品研究1팀  
(Korea Electronics Technology Institute Materials and Components Research Team #1)

※ 본 연구는 정보통신부, 과학기술처에서 주관하고 총괄주관기관의 관리하에 수행한 B-ISDN 공동연구 개발사업의 연구결과임

接受日字1997年12月29日, 수정완료일:1998年2月28日

광필터는 크게 Fabry-Perot형<sup>[3]-[6]</sup>과 도파로

형<sup>[7],[8]</sup>으로 구분되는데 도파로형은 제작공정의 다양화와 집적화의 장점에도 불구하고 도파로 자체의 손실과 광섬유와의 결합손실, 편광 의존성 등의 단점이 있기에 이의 개선을 위한 연구가 진행되고 있다. 광섬유형 Fabry-Perot 필터는 미리 코팅된 광섬유 단면 사이에서 일어나는 간섭현상을 이용한 것으로 파장 선택기능외에 광섬유 증폭기(Erbium Doped Fiber Amplifier; EDFA)의 출력단의 잡음 제거와 가스 및 전류 광센서로의 응용에 대해서도 많은 연구결과들이 발표되고 있다<sup>[9],[10]</sup>.

본 연구에서는 WDM 및 OFDM 전송시스템의 핵심소자인 광섬유 Fabry-Perot 필터를 제작하여 파장 선택특성을 고찰하여 설계치와 비교하여 파장선택소자로서의 유용성을 제시하고자 한다.

먼저 TiO<sub>2</sub>와 SiO<sub>2</sub> 단일박막을 제작하여 두께 및 굴절율을 측정하여 λ/4n의 두께 조건을 확립하였으며 각 박막의 광학계수들로 전달행렬<sup>[11]</sup>을 구성한 후 다층박막 미러를 설계하였다. 이렇게 설계된 값과 실제 제작된 미러특성을 비교하기 위해 먼저 유리기판에 다층박막 미러를 제작하여 미러 특성을 관찰하였다. 이렇게 유리기판위에 제작된 다층박막 미러의 제작·관찰을 통해 수립된 조건을 이용하여 광 콜리메이터에 다층박막을 제작하였으며, stage 상에서 필터특성을 관찰한 후 마지막으로 실제 패키징하여 FSR, FWHM, finesse, Crosstalk, Insertion loss의 필터 특성을 고찰하였다.

## II. Fabry-Perot 간섭계의 이론 및 설계

### 1. 간섭계 이론 및 필터 파라미터

일반적인 Fabry-Perot 간섭계는 그림 1과 같이 거리가 d만큼 떨어져 있는 두 개의 plate의 형태로 구성된다.

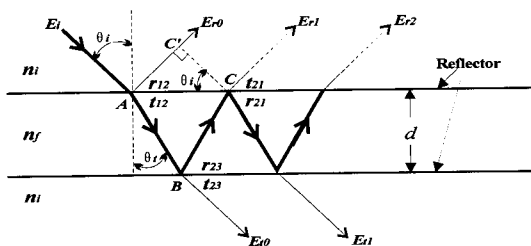


그림 1. 다중화된 빔의 반사와 투과  
Fig. 1. Reflection and transmission of a multiplexed beam.

이때 파장 λ, 진폭 E<sub>i</sub>와 입사각 θ<sub>i</sub>를 갖는 빔이 입사되면 두 plate에서 반사 및 투과 빔은 그림 1과 같이 평행한 다중화된 빔을 구성하게 된다. 이 때 연속적으로 반사되는 두 빔간의 경로차 Δ는

$$\Delta = \left( \frac{n_f}{\sin \theta_i} - n_f \sin \theta_i \right) 2d \tan \theta_i = 2dn_f \cos \theta_i \tag{1}$$

가 된다. 이와 같이 경로차 Δ를 가질 때 두 빔간의 위상차 δ는

$$\delta = k\Delta = \frac{4\pi n_f d \cos \theta_i}{\lambda} \tag{2}$$

가 된다. 여기서 다중화된 투과빔의 세기는 각각 다음과 같다.

$$I_T = \frac{(1 - r_{12}^2)^2}{(1 - r_{12}^2)^2 + 4r_{12}^2 \sin^2(\frac{\delta}{2})} |E_i|^2 \tag{3}$$

이 때 입사빔의 세기 I<sub>i</sub>는

$$I_i = |E_i|^2 \tag{4}$$

이므로 다중반사를 고려한 빔의 투과율(transmittance)은

$$T = \frac{1}{1 + \frac{4r^2}{(1 - r^2)^2} \sin^2(\frac{\delta}{2})} \tag{5}$$

이 된다. 위 식에서 finesse 계수, f를 정의하면

$$f \equiv \frac{4r^2}{(1 - r^2)^2} = \frac{4R}{(1 - R)^2} \tag{6}$$

이며 이는 간섭줄무늬의 예리함 정도를 나타내며 반사율이 0~1의 값을 가질 때 f는 0~∞의 값을 갖는다. 그림 2에 위상차의 변화에 따른 투과도의 변화를 finesse 계수 f를 파라미터로 하여 나타내었다. 그림 2에서 보면 f가 클수록 즉, 반사도가 클수록 투과곡선의 예리함 정도가 큼을 알 수 있다.

투과빔의 폭을 나타내는 FWHM(Full Width of Half of Maximum)은

$$FWHM = (\Delta)_{\min} = 2\delta_c = \frac{4}{f} \tag{7}$$

가 되며 이는 두 개의 서로 다른 파장을 가진 빔이 입사할 때 필터로 식별가능한 최소의 폭을 의미한다.

필터가 중첩없이 자유로이 가변가능한 파장범위를 *FSR*(Free Spectral Range)이라 하며

$$(\Delta\lambda)_{FSR} = \frac{\lambda}{m} = \frac{\lambda^2}{2dn_f} \quad (8)$$

이 된다.

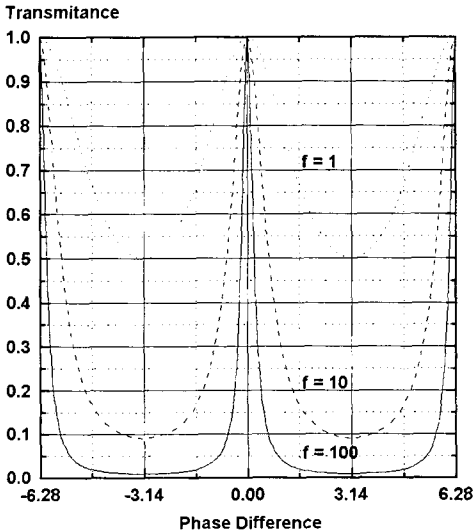


그림 2. 위상차의 변화에 따른 Fabry-Perot 간섭계의 투과특성 변화  
Fig. 2. Transmission char. of FP interferometer with respect to phase difference.

한 채널이 이웃채널에 의해 간섭받지 않으면서 동시에 얼마나 많은 채널이 수용되는지를 나타내는 지표로서 *FWHM*과 *FSR*의 비로 *finesse*(정밀도), *F*가 정의되는데 이는

$$F \equiv \frac{FSR}{FWHM} = \frac{2\pi}{2\delta_c} = \frac{2\pi}{4\sqrt{f}} = \frac{\pi\sqrt{R}}{(1-R)^2} \quad (9)$$

로 나타내어진다. 이는 필터특성을 나타내는 가장 중요한 파라미터로서 미러 반사율의 함수임을 알 수 있다. 그림 3에 미러 반사율과 *FWHM*, *finesse*의 관계를 나타내었다.

그림 3에서 반사율이 1에 가까울수록 *FWHM*은 줄어들고 *finesse* 즉, 필터의 수용가능한 채널수는 증가함을 볼 수 있다. 이론상 *finesse* 300 이상을 얻기 위해서는 대략 반사율이 95%이상의 반사율의 미러가 필요함을 알 수 있다.

2. 다층박막의 특성행렬 구성

본 연구에서는 높은 반사율의 미러를 제작하기 위해

그림 4와 같은 구조로 설계하였다. 즉, 다층박막미러의 구조는

$$Air: (HL)^{\frac{N-1}{2}} \cdot H: Sub$$

와 같다. 여기서 *H*, *L*은 각각  $\lambda/4n$ 의 두께를 갖는 High index material과 Low index material을 나타낸 것으로서 본 연구에서는  $TiO_2$ 와  $SiO_2$  박막을 교번구조로 사용하였다. 또한 *N*은 코팅할 총 층수를 나타낸다.

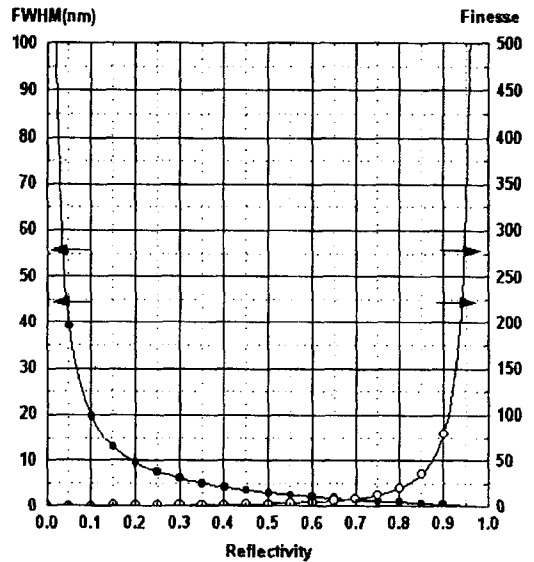


그림 3. 반사율의 변화에 따른 FWHM과 finesse의 변화  
Fig. 3. FWHM and finesse with respect to reflectivity.

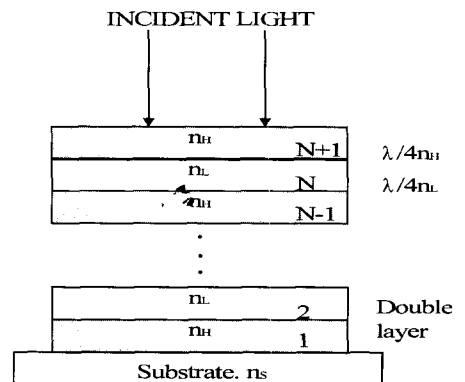


그림 4.  $TiO_2$ - $SiO_2$  교번층을 갖는 다층박막 구조  
Fig. 4. Multi-layered structure with  $TiO_2$ - $SiO_2$  alternating layers

일반적인 유전체 박막의 특성행렬은

$$M = \begin{bmatrix} \cos \delta & \frac{i \sin \delta}{\eta_f} \\ i \eta_f \sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} \quad (11)$$

이며 박막의 두께가  $\lambda/4n$ 이며 수직입사로 가정하면 각 박막의 특성행렬은

$$M_H = \begin{bmatrix} 0 & \frac{i}{\eta_H} \\ i \eta_H & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$M_L = \begin{bmatrix} 0 & \frac{i}{\eta_L} \\ i \eta_L & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

가 된다. 여기서  $\eta_H, \eta_L$ 은 각각  $\text{TiO}_2, \text{SiO}_2$ 의 광학 어드미턴스를 의미한다. 식 (11), (12)를 이용해 총 전달행렬식을 쓰면

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = (M_H \cdot M_L)^{\frac{N-1}{2}} \cdot M_H \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_m \end{bmatrix} \quad (14)$$

이 된다. 이때 전체 시스템의 특성 어드미턴스는

$$Y = \frac{C}{B} \quad (15)$$

이며 반사계수  $r$ 은

$$r = \frac{\eta_0 - Y}{\eta_0 + Y} \quad (16)$$

이며 반사율  $R$ 은

$$R = \left( \frac{\eta_0 - Y}{\eta_0 + Y} \right) \left( \frac{\eta_0 - Y}{\eta_0 + Y} \right)^* \quad (17)$$

가 된다. 따라서 다층박막미러의 반사율은

$$R_{2N+1} = |r_{2N+1}|^2 = \left[ \frac{(n_0/n_s)(n_L/n_0)(n_L/n_H)^{2N} - 1}{(n_0/n_s)(n_L/n_0)(n_L/n_H)^{2N} + 1} \right]^2 \quad (18)$$

이 된다. 식 (17)에서 다층박막미러의 반사율은 두 물질의 굴절율 비와 층수에 관계됨을 알 수 있다. 그림 5에 교번층의 굴절율비에 따른 다층박막미러의 반사율을 층수에 따라 나타내었다.

그림 5에서 굴절율 비가 0.5에 가까울수록 층수가 적게 올라가도 반사율이 상대적으로 높음을 알 수 있다. 실제  $\text{TiO}_2$ 와  $\text{SiO}_2$ 의 굴절율 비는 0.65정도이며 이때 99%이상의 반사율을 얻기 위해서는 13층 이상의 다층박막이 필요함을 알 수 있다. 앞에서 얻은 행

렬식 (16)으로부터 파장에 따른 반사율의 변화를 구해 그림 6에 나타내었다.

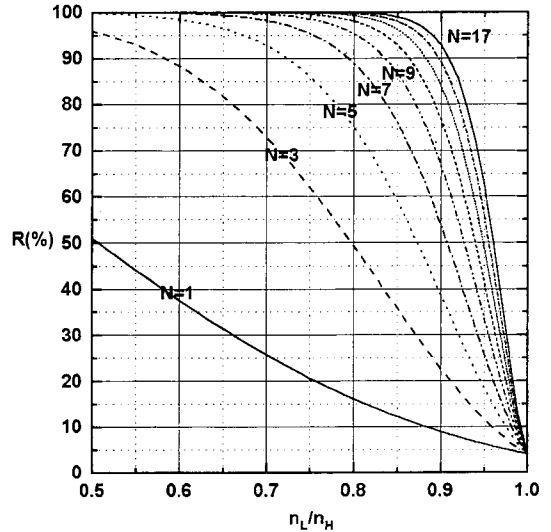


그림 5. 교번층의 굴절율비에 따른 반사율 변화  
Fig. 5. Reflectivity of multi-layered mirror vs. the index ratio of alternating layers.

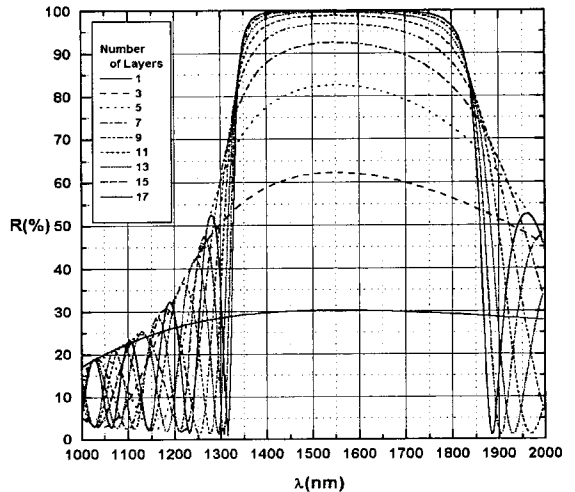


그림 6. 다층박막미러의 파장에 따른 반사율 변화  
Fig. 6. Reflectivity of multi-layered mirror vs. wavelength.

그림 6에서 층수가 많아짐에 따라 반사율이 높아지고 높은 반사율을 유지하는 반사대역폭이 넓어짐을 알 수 있다. 또한 중심파장을 중심으로 반사대역폭이 약 400nm 정도에 이르는 층수는 대략 13층 이상임을 알 수 있다.

### III. 다층박막 제작 및 특성

#### 1. 박막 제작

본 연구에서는 RF Magnetron Sputter를 이용하여  $TiO_2$ ,  $SiO_2$  박막을 제작하였다. 장비의 대략적인 구성은 그림 7과 같은데 target은 Ti, Si 두가지 교번 코팅할 수 있는 형태로 구성되었으며 target과 substrate와의 거리는 대략 25cm이다.

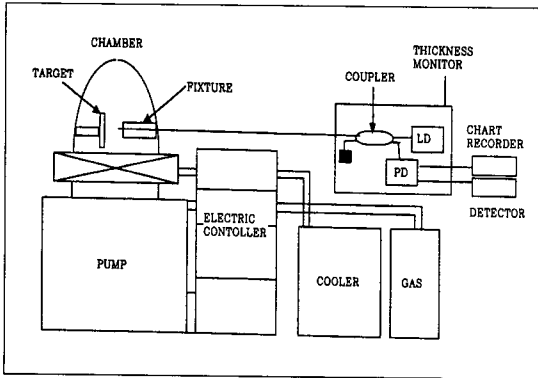


그림 7. RF Magnetron Sputter 개략도  
Fig. 7. Configuration of RF magnetron sputter.

각 target의 순도는 Ti, Si 모두 99.999%를 사용하였으며 증착시  $Ar$ 과  $O_2$ 를 흘려넣어 박막의 조성비를 맞추었다. 각 박막의 증착조건은 표 1과 같다.

표 1. 박막 제작 증착조건

Table 1. Condition for thin-film deposition.

Film	$TiO_2$	$SiO_2$
Target	Ti (99.999%)	Si (99.999%)
초기진공(torr)	$4 \times 10^{-6}$	
Gas Flow	$O_2$ (박막·조성용)	1.5 sccm
	$Ar$ (Sputtering 용)	9.0 sccm
Gas 안정화시 진공도(torr)	$2 \times 10^{-3}$	
코팅시 진공도(torr)	$2.5 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-3}$
증착속도(A/sec)	0.6597 A/sec	4.5235 A/sec

증착박막의 두께 조절은 그림 8과 같이  $1.55\mu m$ 파장의 LD광원과 아이솔레이터,  $2 \times 2$  광섬유 커플러, 포토 다이오드, Digital voltage meter 등으로 제작하여 증착에 따른 두께 변화가 반사율을 변화시키는 원리를 이용하여 두께 변화를 감지하였다.  $\lambda/4n$ 의 두께에서 박막의 반사율이 극치를 이루는 것을 응용한 것으로 각 박막의  $\lambda/4n$ 두께가 증착되는 시간을 정밀하

게 측정할 수 있다.

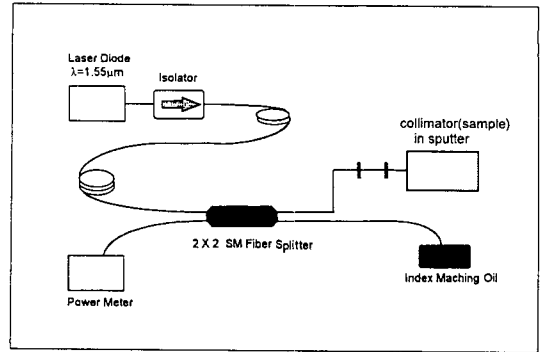


그림 8. 박막 두께 감지 시스템  
Fig. 8. Thickness Monitoring System.

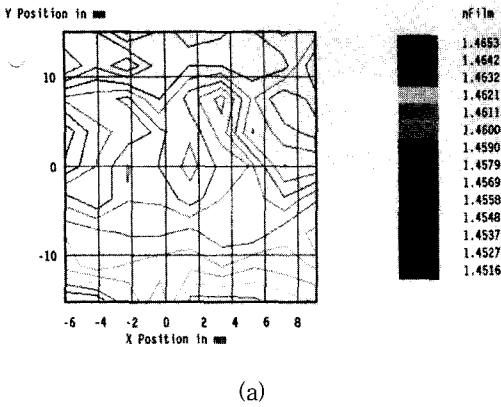
이와 같이 제작된 단일 박막의 굴절율과 두께는 PLAS MOS의  $1.55\mu m$  ellipsometer를 사용하여 측정하였다. 또한 다층박막은 3층~13층까지 유리기판에 먼저 제작하여 반사도 및 투과도는 Hitachi의 spectrophotometer를 사용하여 측정하였으며 설계치와 비교 후 광섬유와 광폴리메이터 단면에 코팅을 수행하였다.

#### 2. 단층박막 특성

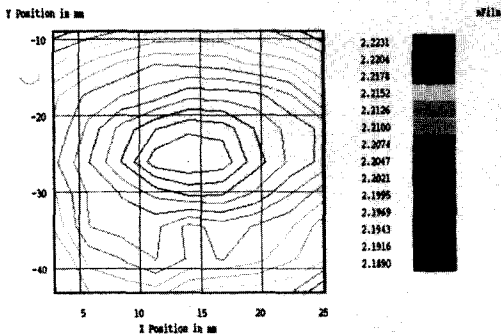
##### a. 굴절율 특성

박막의 굴절율은 증착시 가해지는 RF power, 주입되는 가스량과 분압비, 기판의 온도와 그 영향으로 인한 결정의 크기 등에 따라 증착물질의 조성비가 변하여 영향을 받는다.  $TiO_2$ 와  $SiO_2$  박막의 굴절율은 이와 같은 공정조건에 대한 의존성이 크기 때문에 이를 수치적으로 명확히 규정하기 어렵다. 그러나 일반적으로 알려진  $TiO_2$ 와  $SiO_2$ 의 굴절율은 사용하는 파장을 고려할 경우 적외선과 가시광선 영역에서 각각 2.2~2.7, 1.44~1.46 정도가 된다. 본 연구에서는  $1.55\mu m$ 파장의 ellipsometer를 사용하여 2 inch Si 웨이퍼 기판에 제작된 각각의 단일박막의 굴절율 및 두께 특성을 측정하였다.

그림 9에 Si 웨이퍼에 제작된  $TiO_2$ 와  $SiO_2$  단층박막을  $1.55\mu m$  파장에서 측정한 굴절율 분포를 나타내었다. 여러 샘플을 측정한 결과  $TiO_2$ 와  $SiO_2$  박막에 대해 굴절율에 대한 재현성은 2.19~2.22, 1.44~1.45 정도의 변화를 갖고 있으며 한 샘플에 대한 평균 굴절율 분포는 각각  $\pm 0.005$ 와  $\pm 0.006$ 이 됨을 알 수 있었다.



(a)



(b)

그림 9. 단일박막의 굴절율 분포 특성

(a) SiO<sub>2</sub>의 굴절율 분포 (b) TiO<sub>2</sub>의 굴절율 분포

Fig. 9. Refractive index profile of a single-layered thin film.

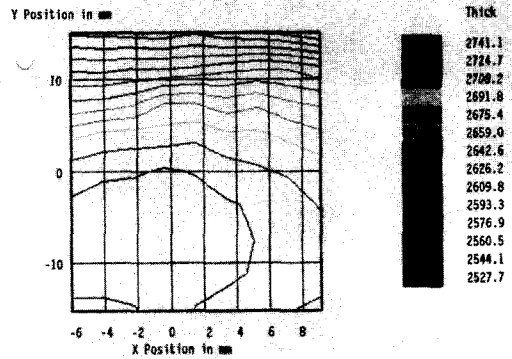
(a) Refractive index profile of SiO<sub>2</sub> (b) Refractive index profile of TiO<sub>2</sub>

이러한 재현성과 굴절율 분포변화는 실제 공진기 제작시 콜리메이터를 이용하므로 사용되는 박막의 영역이 매우 작고 전체 굴절율 변화가 광학적 두께 변화에 1~2nm 정도의 영향을 주기 때문에 전체 다층박막미러 제작시 큰 영향을 주지 못할 것으로 예상된다.

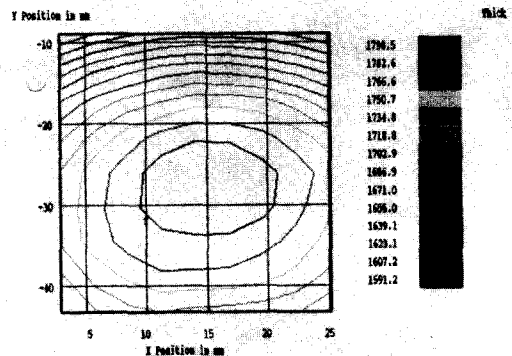
b. 두께 특성

굴절율을 측정된 TiO<sub>2</sub>와 SiO<sub>2</sub> 박막에 대해 굴절율에 대응되는 λ/4n의 두께로 증착하여 ellipsometer로 측정된 결과를 그림 10에 나타내었다. 각 그림에서와 같이 동일 샘플의 2cm×2cm 내의 평균 두께 균일성은 각각 ±2nm와 ±3nm이며 여러 샘플에 대한 두께 재현성은 각각 170~176nm와 262~268nm 정도로 측정되었다. 이 결과는 굴절율 특성과 비교할 때 다층박막미러의 제작시 요구되는 수 nm 정도의 두께 균일성과 재현

성을 만족시킨다.



(a)



(b)

그림 10. 단일박막의 두께 분포 특성

(a) SiO<sub>2</sub>의 두께 분포 (b) TiO<sub>2</sub>의 두께 분포

Fig. 10. Thickness profile of a single-layered thin film.

(a) Thickness profile of SiO<sub>2</sub> (b) Thickness profile of TiO<sub>2</sub>

3. 다층박막 특성

앞에서 얻은 단일박막의 조건을 이용하여 13층 다층박막미러를 유리 기판에 제작하여 측정하였으며 그 한 예를 그림 11에 나타내었다. 이 결과 측정치와 설계치의 반사곡선과 비교하면 반사대역폭이 50nm 정도 줄어들고 중심파장이 단파장쪽으로 70nm 정도 이동되어 있음을 알 수 있다. 이것은 각 단일 박막이 λ/4n의 두께 조건을 완전히 만족시키지 못해 점점 누적된 결과라 할 수 있으며 대기중의 습기의 흡착 또한 원인이라 할 수 있다. 그러나 반사 대역폭을 400nm 정도로 넓게 설계하였으며 실제 필터에서 사용파장은 1520~1570nm 정도로 반사대역에 비해 상당히 좁으므로 이러한 파장 shift는 필터의 특성에 큰 영향을 주지 않을

것이라고 예상할 수 있다.

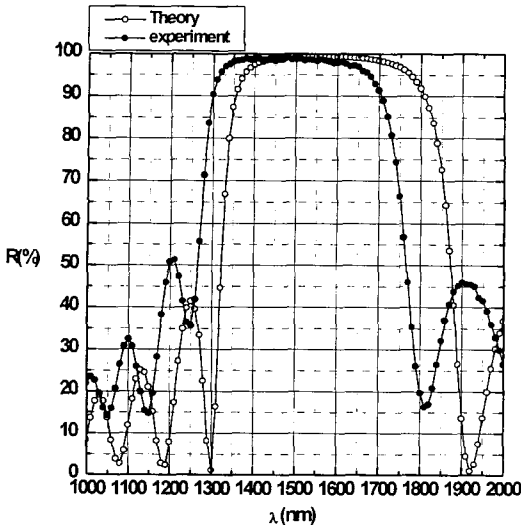


그림 11. 13층 다층박막미러의 반사율 특성곡선  
 Fig. 11. Reflectivity of 13-layered thin film mirror with respect to  $\lambda$ .

그림 11에서 보는 바와 같이 13층의 다층박막미러의 경우 설계시의 최대 반사율은 99.4%이며 측정계측기의 오차를 포함한 최대 반사율 측정치는 99.5%로 매우 잘 일치됨을 알 수 있다. 1.55 $\mu$ m 부근에서의 반사율은 98.24%로 측정되어 이러한 다층박막을 이용하여 광필터를 제작했을 때 얻을 수 있는 finesse는 170 정도가 됨을 예상할 수 있으며 다음에 실험치와 비교될 것이다.

#### IV. Fabry-Perot 필터 제작 및 특성

본 연구에서는 광섬유 Fabry-Perot 필터를 제작하기 위한 다층박막 코팅의 기판으로 광섬유와 광콜리메이터를 사용하였다. 두 가지 기판을 사용해 필터를 구성해 본 결과 광섬유는 core가 직경이 8~9 $\mu$ m로 대단히 작아 광 정렬이 용이하지 않아 그다지 만족스런 결과를 얻지 못해 실장용으로는 광콜리메이터만을 사용하였다. 광 콜리메이터는 대략 1mm 정도의 넓은 면적의 평행광을 만들어 주므로 정렬에 훨씬 많은 잇점을 갖게 된다. 측정시 입력광원은 1.55 $\mu$ m를 중심으로 약 40nm의 대역폭을 갖는 EDFA의 ASE 출력을 사용하였으며 그 예를 그림 12에 나타내었다.

또한 공진기 간격을 40~50 $\mu$ m 폭을 갖게 하였으며

각도 변화가 가능한 5축 stage 상에서 공진기 길이를 미세하게 변화시키며 spectrum analyzer를 이용하여 필터특성을 측정하였다. 이렇게 측정된 필터를 이용하여 직접 전압으로 가변가능토록 packaging을 하였다. Aluminum으로 고정대를 제작하고 coating된 collimator를 epoxy를 사용하여 고정하였으며 PZT를 부착하여 전압으로 가변토록 하였다. 실제 패키징된 가변광필터의 개략도를 그림 13에 나타내었다.

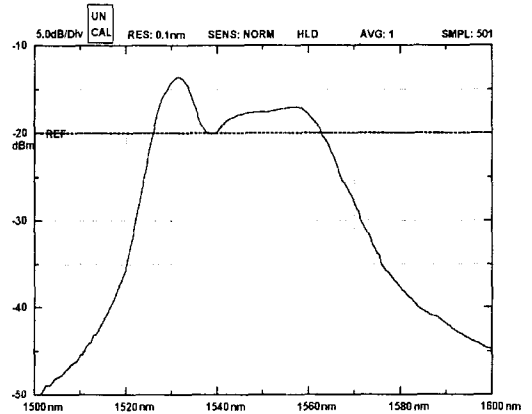


그림 12. EDFA ASE 출력 특성  
 Fig. 12. Output char. of EDFA ASE.

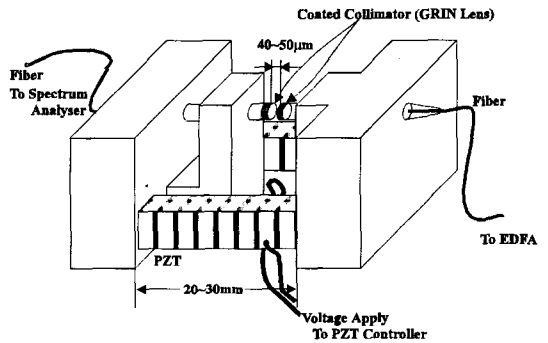


그림 13. 광섬유 Fabry-Perot 가변광필터의 개략도  
 Fig. 13. Configuration of optical fiber Fabry-Perot tunable filter.

그림 13에서 보는 바와 같이 고정대에 부착된 두 개의 다층박막 코팅된 collimator(GRIN Lens)를 서로 마주보게 정렬하였으며 두 고정대를 PZT로 연결하여 고정하였다. PZT는 전압공급선이 연결되어 DC로 공급함으로써 콜리메이터간의 간격을 변화시켜 가변할 수 있도록 하였다. 이렇게 제작된 광필터의 실제 패키징 상태를 그림 14에 사진으로 나타내었다.



그림 14. 가변광필터 시작품의 내부사진  
Fig. 14. picture of optical tunable filter test model.

그림 14와 같이 제작된 필터의 특성을 관찰하기 위해 입력단은 EDFA로, 출력단은 Spectrum analyzer로 연결하였다. 본 연구에서는 FSR이 20, 30, 40nm인 필터를 제작하여 각각의 FWHM, finesse, crosstalk, insertion loss의 특성을 관찰하였으며 그 결과를 다음절에 나타내었다.

a. FFP 필터 A (FSR = 20nm)

먼저 광섬유 Fabry-Perot (FFP) 필터 A의 FSR 특성을 측정하기 위해 관찰된 필터의 출력특성을 그림 15에 나타내었다. 이때 spectrum analyzer의 분해능은 0.05nm이며 광원과 계측기의 안정화가 이루어진 후 측정하였다.

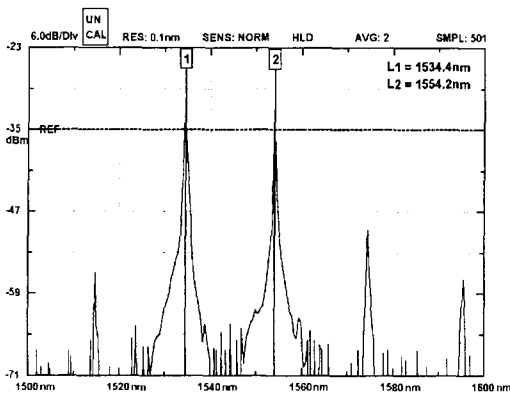


그림 15. FFP A의 FSR 측정  
Fig. 15. FSR measurement of FFP A.

그림 15에서 출력 fringe의 최대값에 line marker 1, 2를 위치하였으며 각각  $L_1 = 1534.4\text{nm}$ ,  $L_2 = 1554.2\text{nm}$ 로서 FSR이 20nm가 됨을 확인하였다. 그림 15와 같이 FSR이 20nm로 제작된 필터의 finesse를

측정하기 위해 FWHM을 측정하였으며 그 결과를 그림 16에 나타내었다.

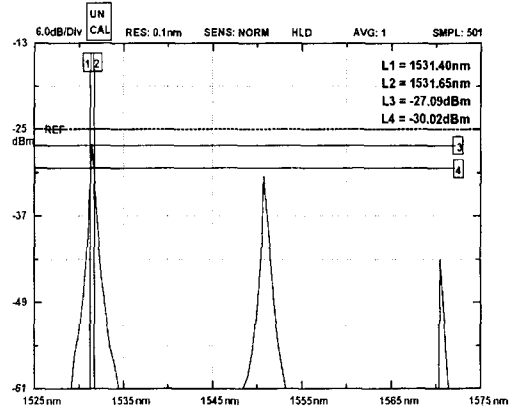


그림 16. FFP A의 FWHM 측정  
Fig. 16. FWHM measurement of FFP A.

그림 16에서 line marker 3, 4는 필터의 fringe의 최대값과 3dB 떨어진 곳에 위치하였으며 3dB에서의 파장값을 line marker 1, 2로 읽어들이었다. 이 때  $L_1 = 1531.4\text{nm}$ ,  $L_2 = 1531.65\text{nm}$ 이었으며 FWHM은 0.25nm임을 알 수 있었다. 앞에서 얻은 파라미터 관계식 (9)로부터 FFP A의 finesse는 80임을 알 수 있었다.

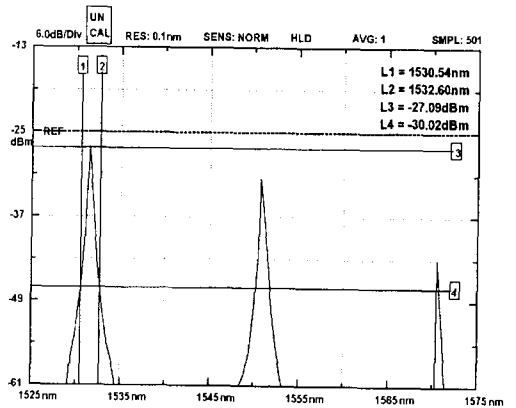


그림 17. FFP A의 20dB선폭 측정  
Fig. 17. 20dB-linewidth measurement of FFP A.

다음은 필터의 crosstalk을 고려한 20dB선폭을 측정하기 위해 출력특성을 관찰하였으며 그 결과를 그림 17에 나타내었다.

그림 17에서 line marker 3, 4를 filter fringe의 최대값과 20dB 떨어진 곳에, line marker 1, 2는 20



dB에서의 파장값에 각각 위치하였다.  $L_1 = 1530.54\text{nm}$ ,  $L_2 = 1532.60\text{nm}$ 로서 FFP A의 20dB선폭은 2.24nm이며 이 때 선택가능한 채널수는 10개임을 알 수 있었다.

b. FFP 필터 B (FSR = 30nm)

다음은 FFP. B의 특성을 관찰하였다. FFP. B는 패키징시 FFP. A보다 콜리메이터 간의 간격을 좁혀 FSR을 30nm로 제작하였으며 그 결과를 그림 18에 나타내었다.

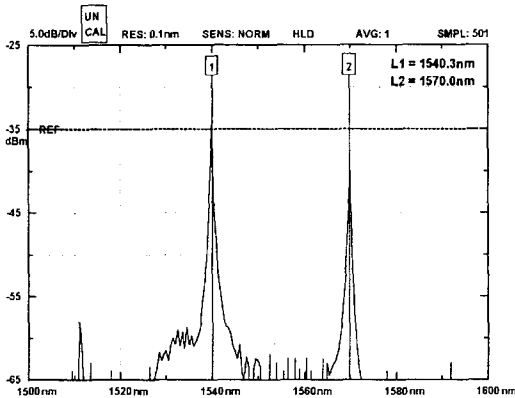


그림 18. FFP B의 FSR 측정  
Fig. 18. FSR measurement of FFP B.

그림 18에서  $L_1 = 1540.3\text{nm}$ ,  $L_2 = 1570.0\text{nm}$ 로서 FSR이 30nm가 됨을 확인하였다.

다음은 FFP. B의 FWHM을 측정하기 위해 출력 특성을 관찰하였으며 그 결과를 그림 19에 나타내었다.

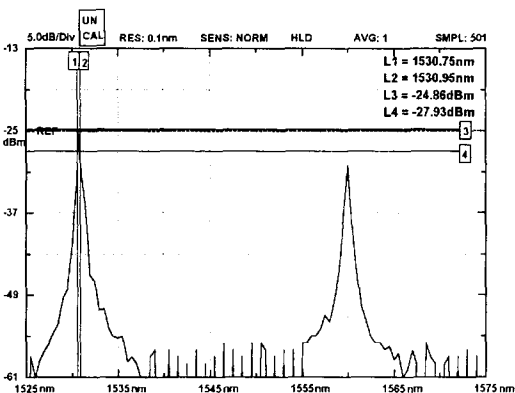


그림 19. FFP B의 FWHM 측정  
Fig. 19. FWHM measurement of FFP B.

그림 19에서 보는 바와 같이 최대값에서 3dB 떨어

진 곳에서의 파장값은  $L_1 = 1530.75\text{nm}$ ,  $L_2 = 1530.95\text{nm}$ 로 FFP. B의 FWHM은 0.3nm로 측정되었다. 이로부터 계산되는 FFP. B의 finesse는 100이 됨을 알 수 있다.

다음은 FFP. B의 20dB선폭을 측정하기 위해 그림 20과 같이 출력특성을 관찰하였다.

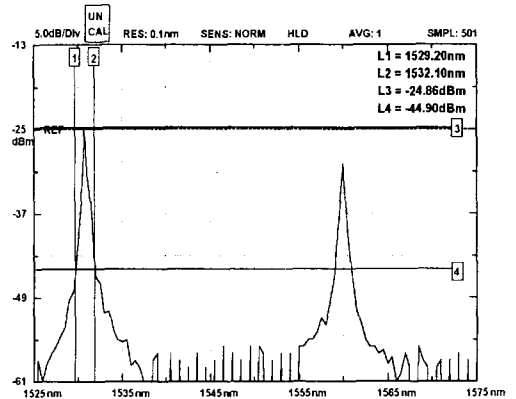


그림 20. FFP B의 20dB선폭 측정  
Fig. 20. 20dB-linewidth measurement of FFP B.

그림 20에서  $L_1 = 1529.20\text{nm}$ ,  $L_2 = 1532.10\text{nm}$ 로 crosstalk을 고려한 20dB선폭은 3nm정도이고 crosstalk을 고려했을 때 FFP. B로 선택가능한 채널 수는 10개임을 알 수 있다.

c. FFP 필터 C (FSR = 40nm)

다음은 FSR을 40nm로 제작한 FFP. C의 특성을 관찰하였다. 먼저 FSR을 결정하기 위해 관찰한 출력 특성을 그림 21에 나타내었다.

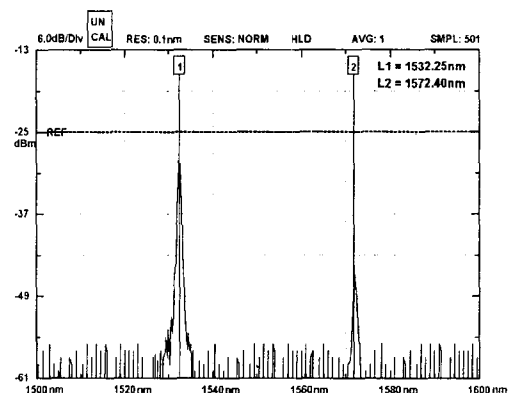


그림 21. FFP C의 FSR 측정  
Fig. 21. FSR measurement of FFP C.

그림 21에서  $L_1 = 1532.25\text{nm}$ ,  $L_2 = 1572.40\text{nm}$ 로

FSR이 대략 40nm로 정해져 있음을 알 수 있다. 이렇게 제작된 필터 FFP. C의 finesse를 계산하기 위해 FWHM을 측정하였는데 그 결과를 그림 22에 나타내었다.

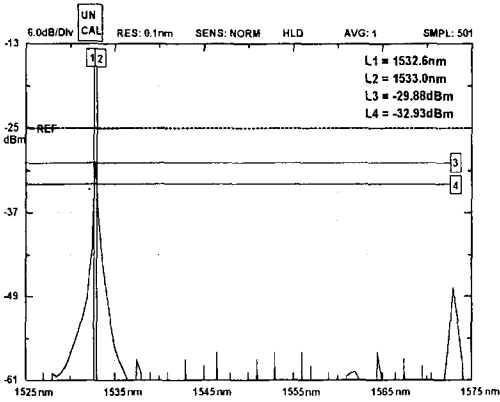


그림 22. FFP C의 FWHM 측정  
Fig. 22. FWHM measurement of FFP C.

그림 22에서와 같이 FFP. C의 3dB에서의 파장값은  $L_1 = 1532.60\text{nm}$ ,  $L_2 = 1533.00\text{nm}$ 이었으며 이때 FWHM은 0.4nm임을 알 수 있다. 여기서 FFP. C의 finesse는 식(9)로부터 100을 얻을 수 있었다.

앞의 두 필터와 마찬가지로 FFP. C의 20dB선폭을 관찰한 결과를 그림 23에 나타내었다.

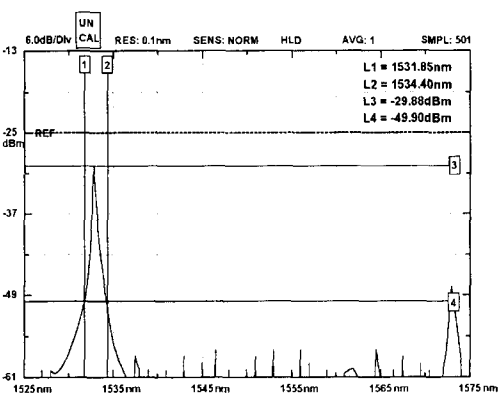


그림 23. FFP C의 20dB 선폭측정을 위한 출력특성  
Fig. 23. 20dB-linewidth measurement of FFP C.

그림 23에서  $L_1 = 1531.85\text{nm}$ ,  $L_2 = 1534.40\text{nm}$ 로 20dB선폭은 2.5nm로 측정되었으며 따라서 FFP. C의 crosstalk을 고려하여 선택가능한 채널수는 16임을 알 수 있었다.

d. Insertion loss

앞에서 얻은 필터의 특성들과 마찬가지로 insertion loss 또한 필터의 성능을 결정하는 중요한 파라미터가 된다. Insertion loss는 다층박막의 흡수, 패키징 접착 시 발생하는 광축의 흐트러짐 등에 의해 발생된다. 실제 필터의 insertion loss를 측정한 예를 그림 24에 나타내었다.

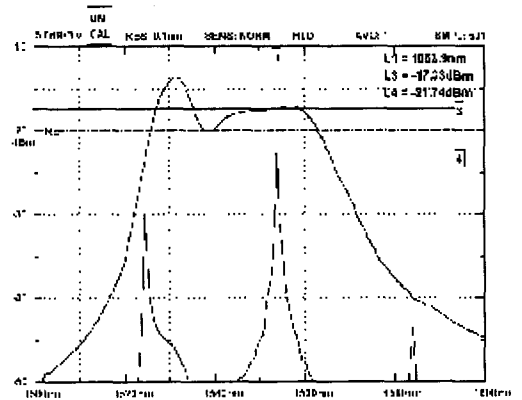


그림 24. FFP B의 insertion loss 측정을 위한 입출력 특성  
Fig. 24. Input and output char. for measuring the insertion loss of FFP B.

그림 24는 제작된 필터중 FFP B의 예를 든 것으로서 EDFA의 ASE 출력을 입력으로 하여 출력과 비교한 것이다. 그림에서 line marker  $L_3$ 는 입력상에,  $L_4$ 는 출력에 위치하여 두 값을 읽어들이는 결과  $L_3 = -17.33\text{dBm}$ ,  $L_4 = -21.74\text{dBm}$ 으로 이 필터의 insertion loss는 4.41dB가 됨을 알 수 있다. 이와 같은 방법으로 측정한 결과 본 연구에서 제작된 필터의 insertion loss는 3~6dB로 측정되었다.

e. 동조특성

앞에서 얻은 세가지 가변 광필터의 동조특성을 PZT controller를 이용하여 관찰하였다. PZT controller는 전압을 변화시켜 PZT의 길이를 수  $\mu\text{m}$ 범위로 변화시켜 광필터를 수  $\mu\text{m}$ 의 미소변화를 가능하게 하였다. 동조특성의 예로서 FFP C의 동조특성을 그림 25에 나타내었다.

그림 25는 FSR이 40nm인 FFP. C를 1530nm부터 1570nm까지 PZT controller를 이용하여 가변시킨 것이다. 동조의 분해능은 PZT의 분해능과 컨트롤러의 성능과 연계되며 소비전압은 낮을수록 좋다. 본 연구에서 제작된 필터들의 구동전압은 모두 40V이하이며

1.5nm이하의 분해능을 갖고 있다.

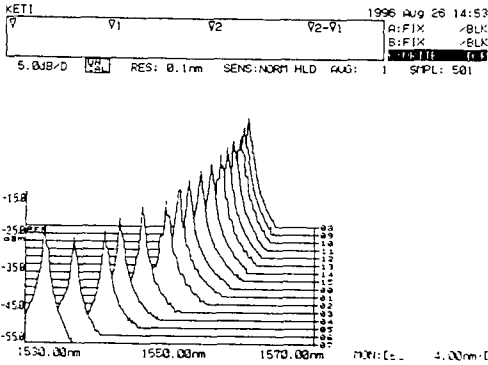


그림 25. FFP C의 동조특성  
Fig. 25. Tuning char. of FFP C.

다음은 FFP. C를 예로 들어 crosstalk을 고려하여 동조특성을 관찰한 결과를 그림 26에 나타내었다.

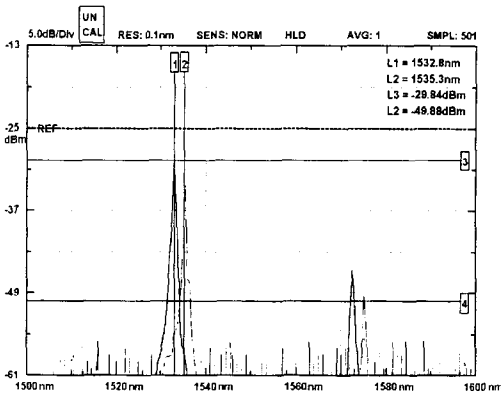


그림 26. FFP. C의 crosstalk를 고려한 동조특성  
Fig. 26. Tuning char. of FFP C in consideration of crosstalk.

앞에서 살펴본 바와 같이 FFP. C의 20dB 선폭은 2.5nm이었으므로 본 실험에서 정확히 2.5nm를 동조시켜 나타내었다. 즉, 20dB이하에서 파장다중을 하는 경우 FFP. C는 16개의 채널선택이 가능함을 본 실험을 통해 확인하였다.

### V. 결론

WDM 및 OFDM 전송시스템에서 빠른 동조속도로 원하는 채널선택을 목적으로 하는 가변광필터는 광전송방식에 핵심소자이며 광필터의 성능향상은 광전송

시스템의 성능과 직접 연관되어 다양한 광다중방식의 발전을 가능케하는 요소이다. 본 연구에서는 이러한 필요성으로 EDFA의 파장중폭영역인 1530~1580nm에서 사용가능한 광섬유형 가변광필터를 제작·특성을 관찰하였다.

먼저 단층 및 다층박막미러는 RF 마그네트론 스퍼터를 이용하였으며 이렇게 제작된 박막은 박막의 접착력, 두께 및 굴절률 균일성에 대해 우수한 특성을 보였다. TiO<sub>2</sub>와 SiO<sub>2</sub> 박막의 굴절율은 각각 2.22와 1.45이었으며 굴절율의 오차는 무시할 수 있을 정도로 매우 작았다. 또한 λ/4n으로 예상된 박막두께는 각각 175±2nm와 266±3nm로 비교적 균일한 것을 알 수 있었다. 다층박막미러의 반사율 특성은 반사 대역폭이 약 70nm정도 단파장쪽으로 이동하였으나 설계시 반사 대역폭을 충분히 크게 하여 영향을 최소화하였으며 1.55μm에서 반사율은 98.24로 측정되었다.

필터를 제작하기 위해 광섬유와 광콜리메이터에 다층박막미러를 제작하였으며 그 결과 광섬유보다 광콜리메이터에 의한 특성이 훨씬 월등하였다. 이는 광콜리메이터의 단면상태가 기울기, 평평도, 세척 등에 기준이상으로 유지되는 반면 광섬유의 경우 단면 연마의 어려움, 단면상태의 불균일성, 정렬의 난해함 등의 문제점이 있기 때문이다.

본 연구에서는 광콜리메이터를 이용하여 FSR이 20, 30, 40nm의 가변광필터를 제작하였다. 각 필터의 FWHM은 0.25, 0.3, 0.4nm로 측정되었으며 이때 각 필터의 finesse는 80, 100, 100이었으며 각 필터의 insertion loss는 3~6dB로 측정되었다.

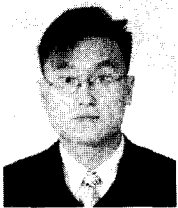
필터의 동조특성의 분해능은 컨트롤러와 PZT의 분해능과 연관되며 제작된 가변광필터의 경우 최소 1.5nm로 동조가 가능하였으며 소비전압은 40V 이하로 측정되었다. 또한 각 필터들의 crosstalk를 고려한 20dB 선폭을 측정한 결과 2~3nm이며 이로부터 40nm 광대역 영역에서 16채널을 선택할 수 있으며 WDM전송시스템에서 요구하는 광필터에 대한 특성사양을 만족하였다.

향후 dense WDM이나 OFDM과 같은 전송시스템에 적용하기 위해서는 다층박막미러의 반사율 증가, 패키징의 정밀화에 의한 finesse의 증가, 높은 분해능을 갖는 컨트롤러의 개발과 같은 연구가 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [ 1 ] C. A. Brackett, "Dense Wavelength Division Multiplexing Networks : Principles and Applications," *IEEE J. of Selected Areas in Communications*, vol. 8, no. 6, pp. 948-964, 1990.
- [ 2 ] H. Toba, K. Oda, K. Nakanishi, N. Shibata, et. al., "A 100-Channel Optical FDM Transmission/Distribution at 622 Mb/s over 50km," *J. of Lightwave Technology*, vol. 8, no. 9, pp. 1396-1401, 1990.
- [ 3 ] P. D. Atherton, N. K. Reay, "Tuneable Fabry-Perot Filters," *Optical Eng.*, vol. 20, no. 6, pp. 806-814, 1981.
- [ 4 ] S. R. Mallinson, "Wavelength-Selective Filters for Single-Mode Fiber WDM Systems Using Fabry-Perot Interferometers," *Applied Optics*, vol. 26, no. 3, pp. 430-436, 1987.
- [ 5 ] J. Stone, L. W. Stulz, "Pigtailed High-Finesse Tuneable Fibre Fabry-Perot Interferometers with Large, Medium and Small Free Spectral Ranges," *Electronics Letters*, vol. 23, no. 15, pp. 781-783, 1987
- [ 6 ] J. Stone, "Optical-Fiber Fabry-Perot Interferometer with Finesse of 300," *Electronics Letters*, vol. 21, no. 1, pp. 504-505, 1985.
- [ 7 ] B. L. Heffner, D. A. Smith, J. E. Baran, et al, "Integrated-Optic Acoustically Tuneable Infrared Optical Filter," *Electronics Letters*, vol. 24, no. 25, pp. 1562-1563, 1988.
- [ 8 ] F. Tian, Ch. Harizi, et al, "Polarization-Independent Integrated Optical, Acoustically Tuneable Double-Stage Wavelength Filter in LiNbO<sub>3</sub>," *IEEE Journal of Lightwave Technology*, vol. 12, no. 7, pp. 1192-1197, 1994.
- [ 9 ] T. Yoshino, K. Kurosowa, and T. Ose, "Fiber-Optic Fabry-Perot Interferometer and It's Sensor Applications," *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. QE-18, no. 10, pp. 1624-1633, 1982.
- [ 10 ] S. J. Petuchowski, T. G. Giallorenzi, S. K. Sheem, "A Sensitive Fiber Optic Fabry-Perot Interferometer," *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. QE-17, no. 11, pp. 2168-2170, 1981.
- [ 11 ] H. A Macleod, *Thin-Film Optical Filters*, Second Edition, Adam Hilger Ltd., 1969.

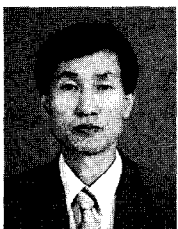
저 자 소 개



金允中(正會員)

1973년 10월 24일생. 1996년 서울시립대학교 전자공학과 졸업. 1998년 2월 동 대학원 전자공학과 공학석사. 1998년 2월 ~ 현재 삼성전자 재직 중. 주관심분야는 도파/집적광학, 광섬유 설계, FEM, BPM등 수치해석

입



尹大源(正會員)

1949년 10월 7일생. 1988년 Texas A&M 대학교 전기공학과 박사학위 취득. 1973년 ~ 1982년 금성정밀공업(주) 중앙연구소 근무. 1989년 ~ 1991년 현대전자산업(주) 반도체연구소 근무. 1991년 ~ 1998년 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구본부장. 주관심분야는

Integrated Optics, Passive Optical Device, Optical PKG



金昌敏(正會員)

1950년 4월 10일생. 1975년 서울대학교 전자공학과 졸업. 1982년 서울대학교 대학원 전자공학과 공학석사. 1989년 U. Florida 전기공학과 Ph. D. 1983년 ~ 현재 서울시립대학교 전자공학과 교수. 주관심분야는 도파

/집적광학, 광섬유 설계, 고속광변조기 설계 및 제작 등

입



金明鎭(正會員)

1965년 1월 22일생. 1988년 인하대학교 응용물리학과 석사학위 취득. 1994년 ~ 1998년 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구1팀 전임연구원. 인하대학교 전자재료학과 박사학위 과정. 주관심분야는 Passive

Optical Device, Optical PKG