

SiO₂/TiO₂ 다층박막 구조의 광필터 특성

김득영*, 윤대원**

*동국대학교 반도체학과

** 전자부품종합기술연구소

광섬유 단면에 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 SiO₂/TiO₂ 다층박막을 증착하여 이를 이용한 가변 광필터 구조를 제작하여 그 특성을 분석하였다. Si 기판 위에 $\lambda/4n$ 의 두께로 증착된 SiO₂ 및 TiO₂ 단일층 박막의 두께 및 굴절률 분포는 각각 두께 $\pm 3\text{nm}$ 및 굴절률 ± 0.005 정도이었다. 가변광필터 구조의 다층박막 증착을 위해 두께 감지장치가 내장된 시스템을 구성하여 광섬유 단면에 SiO₂/TiO₂ 을 교차하여 13층의 구조의 박막을 증착하였다. 이를 이용하여 Fabry-Perot 공진기를 구성, 이로부터 가변광필터 특성인 free-spectral range 및 finess 값들을 분석하였다.

I. 서론

기존의 전송방식에서는 펄스변조의 속도를 증대 시키는 방법을 이용하여 전송용량을 확장시켜 왔으며, 다채널 전송은 시분할다중화(Time Division Multiplexing: TDM) 방식을 사용하고 있다. 이러한 방식으로는 10Gbps 정도가 기술적, 경제적 한계인 것으로 알려져 있으며, 향후의 100Gbps급 광전송을 위하여는 파장분할다중화(Wavelength Division Multiplexing: WDM)와 광주파수 다중화(Optical Frequency Division Multiplexing: OFDM) 전송방식이 유망한 것으로 밝혀져 현재 이에관한 연구가 활발히 진행중이다.^{(1), (2)}

WDM/OFDM 전송 시스템에서 원하는 채널의 선택을 위하여는 빠른 동조 속도와 높은 안정성을 갖는 가변주파수/파장 필터(Tunable band pass filter: TBF)가 반드시 필요하며 광필터의 성능향상은 광다중화 방식의 전송 시스템에서 매우 중요한 요소가 된다. 전송된 광신호로부터 원하는 한 채널을 선택하는 방법으로는 파장가변 레이저를 국부발진기로 사용하여 연속검파하는 방법과 하나의 파장 및 주파수를 선택적으로 투과하는 광필터를 이용하는 방법이 있으나, 운용방식의 단순성 및 경제성을 고려하여 후자의 방법을 많이 이용한다.^{(3), (4)}

본 연구에서는 Fabry-Perot형 가변광필터의 제작을 위해 RF 스퍼터링법을 이용하여 SiO₂ /TiO₂ 교차 다층박막 구조를 제작하고, 이를 이용하여 공진기를 구성한 다음 이의 광필터 특성을 조사하였다.

II. 실험결과 및 논의

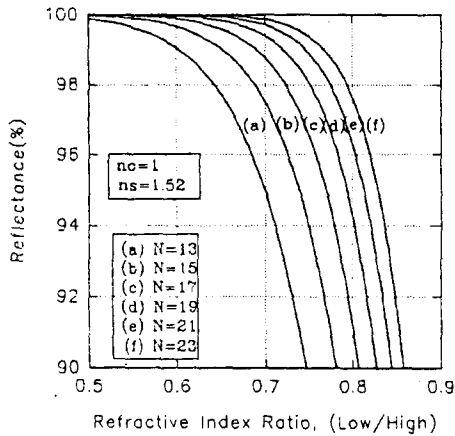
다층박막을 제작하기 전에 먼저 TiO₂ 및 SiO₂ 단일층 박막을 Si 기판 위에 각각 $\lambda/4n$ 의 두께로 증착하여 두께 및 굴절률 분포를 ellipsometer로 분석하였다. 본 연구에서 증착된 TiO₂ 단일층 박막의 파장 1.55 μm 에 대한 굴절률 분포 및 두께 분포는 기판 중심 4cm² 걸쳐 각각 2.22 - 2.19 및 170 - 176nm의 값으로 매우 균일한 분포를 하고 있음을 알 수 있었다. SiO₂의 경우에도 $\lambda/4n$ 에 대한 굴절률 및 두께는 각각 ± 0.005 및 $\pm 3\text{nm}$ 이내의 값으로 분포하고 있었다. 실제 광필터 제작시에는 직경 10 μm 의 광섬유 단면에 증착하는 점을 감안 하면 광섬유 단면에서의 두께 및 굴절률 분포는 매우 균일할 것으로 짐작할 수 있다.

광섬유 단면에 교차 다층박막을 증착함에 있어 박막의 층수는 반사율을 결정하는 매우 중요한 변수이다. 본 연구에서는 transfer-matrix 이론에 근거하여⁽⁵⁾ SiO₂/TiO₂ 다층 박막의 층수에 따른 반사율을 computer simulation으로 분석하였고, 그 결과를 그림 1-(a)에 나타내었다. 이 그림에서와 같이 두 물질간의 굴절률비(n_1/n_2) 값이 작고 또 박막의 층 수가 많을수록 반사율은 1에 근접함을 알 수 있다. 이에 근거하여 먼저 굴절률이 높은 TiO₂ 박막을 증착하고 이어서 굴절률이 낮은 SiO₂ 층을 증착하였다. 이와같이 계속 서로 교차 증착하여 최종층을 TiO₂이 되게 하였다. 그림 1-(b)는 고반사율을 얻기 위한 n_1/n_2 구조의 박막 증착의 순서를 개념적으로 나타내는 그림이다. 증착중 박막의 두께는 $\lambda/4n$ 로 제어하며 스퍼터링 시스템에 설계내장된 두께 감지 장치로 monitor 하였다. 증착시에는 공진기 구성을 용이롭게 하기 위하여 시판중인 광통신용 광섬유가 내장된 광콜리메이터를 입수하여 단면을 세척한 후 이를 스퍼터링 장치에 장착하여 각각의 박막을 증착하였다.

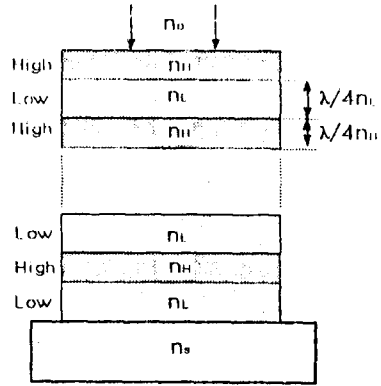
그림 2는 이렇게 제작된 시료로 Fabry-Perot 공진기를 구성하여 측정된 free-spectral range(FSR) 특성이다. 이 실험에서 공진길이 d는 각각 30 μm 및 60 μm 로 하였다. 그림에서 보는 바와 같이 FSR($\Delta\lambda$)은 40nm 및 20nm로써 이는 공진거리 d와 FSR과의 관계식을 아주 잘 만족하는 값이다. 공진길이 d와 FSR과는 $FSR = \lambda^2/2nd$ 의 관계로 표현된다.⁽⁶⁾

한편 대역폭(FWHM)은 가변광필터 구동시 중심파장이 서로 다른 두개의 파장이 입사할 때, 필터로 식별가능한 최소의 폭을 규정짓는다. 박막의 층수가 13층으로 구성되고 FSR이 30nm인 경우의 FWHM은 0.3nm이었다. 본 연구에서 측정된 FWHM은 FSR 값이 동일할 때 박막의 수를 증가할 수록 감소하는 값을 갖고 있었다. 이는 FWHM에 대한 FSR의 비

율이 Finess로 정의 되고, Finess는 반사율이 커지면 증가하는데, 이때 반사율이 층수에 크게 의존하기 때문이다. Finess는 정성적으로 어느 한 채널이 이웃한 채널에 영향을 받지 않고 동시에 얼마나 많은 채널을 수용할 수 있는지를 나타내는 지표로써 가변광필터에서는 매우 중요한 인자이다. 본 연구결과로부터 얻은 Finess는 FSR이 30nm일 때 9층의 구조에서 50, 13층의 구조에서 100의 값을 얻었다.

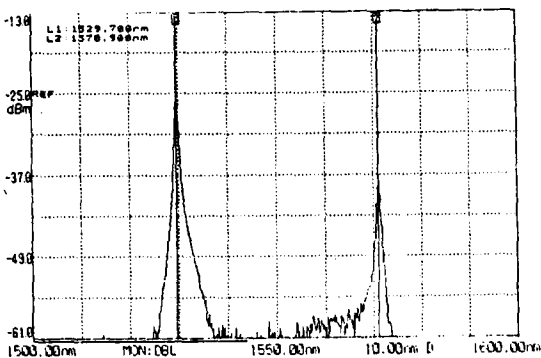


(a)

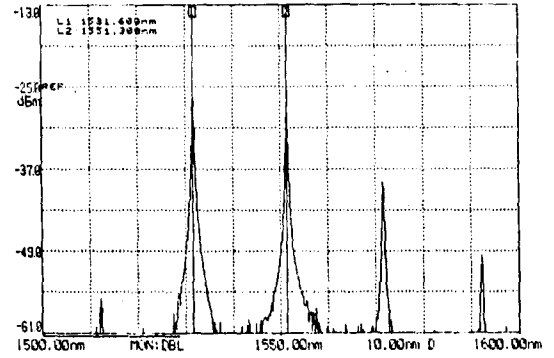


(b)

그림 1. 굴절률비 및 박막의 층수에 따른 반사율 simulation 결과(a) 및 고반사율을 얻기 위한 다층교차 박막구조(b)



(a)



(b)

그림 2. 공진길이 d=30 μm(a) 및 60 μm(b) 에서의 FSR 특성(13층)

III. 결론

본 연구에서는 두께 감지장치가 내장된 RF 마그네트론 스퍼터 시스템을 이용하여 광섬유 단면에 SiO₂ 및 TiO₂ 박막을 증착하여 가변광필터의 특성을 연구하였다. 2 inch Si 기판 위에 증착된 단일층 박막의 특성은 두께 및 굴절률 분포는 SiO₂ 및 TiO₂ 모두 매우 균일한 분포를 하고 있음을 알았다. 광섬유 단면에 이들 박막을 13층으로 교차 주기적으로 증착하여 공진기를 구성한 후 FSR 특성을 분석한 결과 공진거리에 따른 이론식과 잘 일치함을 보였다.

참고문헌

1. H. Toba and M. Fukuda, J. Lightwave Technol., 8, 1396(1990).
2. J. J. Pan and F. Liang, Laser Focus World, 30, 111(1994).
3. A. Frenkel and C. Lin, Electron. Lett., 24, 159(1988).
4. K. Hyrabayshi and T. Kurukawa, IEEE Photon. Technol. Lett., 4, 740(1992).
5. A. Ghatak and K. Thyagarajan, Optical Electronics, Cambridge Univ. Press(1989).
6. J. Stone and W. Stultz, Electron. Lett., 27, 2239(1991).