

Fabry-Perot 필터의 투과중심파장의 온도의존성

Temperature Dependence of Transmission Center Wavelength
of Fabry-Perot Filters

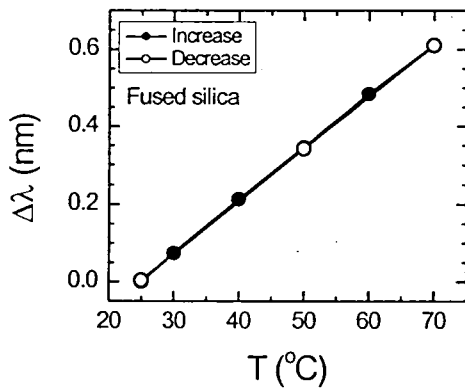
김성화*, 황보창권
 인하대학교 물리학과
 hwangbo@inha.ac.kr

최근 wavelength division multiplexing (WDM) 시스템에서 채널수가 증가하여 DWDM 필터와 같은 협대역 투과필터의 밴드폭이 좁아짐에 따라 필터의 투과중심파장의 외부 환경 변화에 대한 안정성이 아주 중요하게 다루어지고 있다. 일반적으로 협대역 투과필터의 투과중심파장은 주위 환경의 습도와 온도 변화에 의해 이동하게 된다. 특히 낮은 조밀도를 갖는 필터의 경우 박막 내부로 수분이 침투되어 박막의 유효굴절률과 광학두께를 증가시켜 필터의 투과중심파장은 장파장 영역으로 이동하게 된다⁽¹⁾. 그러나 이온보조증착(IAD)이나 플라즈마 이온보조증착(PIAD)과 같은 높은 에너지를 이용하는 증착기술의 적용으로 조밀도가 1에 가까운 박막을 제작할 수 있다^(2,3). 박막의 조밀도가 1인 경우에는 필터의 투과중심파장 이동에 대한 외부 습도의 영향을 제거할 수 있으며, 온도변화에 의한 투과중심파장 이동만을 고려할 수 있다. H. Takashashi는 IAD 방법으로 단일공동 간섭필터를 제작하여 온도변화에 따른 필터의 중심파장 이동에 대한 연구를 하였다⁽²⁾. 그는 필터의 중심파장 이동을 해석하기 위하여 단일공동 간섭필터를 유효굴절률의 단일 등가층으로 대체하였다. 그러나 다중공동을 갖는 간섭필터의 경우는 하나의 등가층으로 대체하는 것이 쉽지 않기 때문에 등가 이론을 적용하기 어렵다.

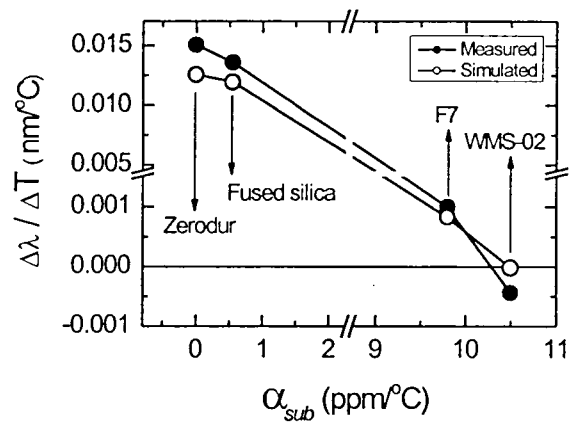
본 연구에서는 단일공동뿐만 아니라 다중공동을 갖는 Fabry-Perot 필터의 투과중심파장 이동에 대한 온도의존성을 알아보기 위해, 다층박막의 각각의 층들에 대해 Takashashi 모델을 적용하였다. 여기서 다층박막의 물질은 고굴절률로 Ta_2O_5 ($n_f=2.065$)와 저굴절률로 SiO_2 ($n_f=1.465$)를 사용하였다. 온도변화에 따른 각 층들의 새로운 굴절률과 광학두께에 대한 수식을 박막과 기판의 열팽창계수와 온도의 함수로 표현하였으며, 이들 함수에 대한 박막의 굴절률과 광학두께의 변화 그래프로부터 기판과 박막의 열팽창계수 차이가 9~10 ppm/°C 근처일 때 굴절률과 광학두께의 변화가 거의 없음을 알 수 있었다. 온도변화에 따른 각 층의 새로운 굴절률과 광학두께의 값을 이용하여 Fabry-Perot 필터의 투과스펙트럼을 전산 모의하였으며, 이들 스펙트럼으로부터 온도변화에 따른 투과중심파장의 이동량을 알아내었다. 또한 필터의 투과중심파장 이동에 대한 기판의 의존성을 알아보기 위해 열팽창계수가 서로 다른 4가지 기판들 (Zerodur, fused silica, F7, WMS-02)을 적용하였다. PIAD 방법으로 4가지 기판 위에 단일공동 Fabry-Perot 필터들을 증착하였으며, 증착된 필터들의 투과스펙트럼을 측정하기 위하여 tunable laser source와 optical spectrum analyzer를 이용하였다. 실온(=25 °C)에서 70 °C의 온도범위에서 필터들의 투과중심파장 이동량을 조사하였으며, 전산모의로부터 얻은 이론적인 값과 비교하였다.

그림 1은 온도(T)에 따른 fused silica 기판 위에 증착된 단일공동 Fabry-Perot 필터의 측정된 투과중심파장의 이동($\Delta\lambda$)을 보여주고 있다. 그림에서 검은 점은 25 °C에서 70 °C로 온도를 증가시키면서 투과스펙트럼을 측정된 경우이고 흰 점은 70 °C에서 25 °C로 온도를 감소시키면서 측정된 경우이다. 25

°C에서 70 °C까지 온도를 증가시켰을 때 필터의 투과중심파장은 약 0.6 nm 이동한 후 다시 25 °C로 감소시킨 경우 원래의 투과중심파장으로 돌아온 것을 볼 수 있다. 이것은 본 실험이 탄성변형이 일어나는 영역에서 진행되었음을 말해준다. 필터의 투과중심파장의 이동량($\Delta\lambda/\Delta T$)은 그림 1의 온도에 대한 투과중심파장 이동의 그래프로부터 선형맞춤하여 얻었다. 그림 2는 서로 다른 열팽창계수(α_{sub})를 갖는 4가지 기판 위에 증착된 단일공동 Fabry-Perot 필터들에 대한 투과중심파장의 이동량($\Delta\lambda/\Delta T$)을 보여주고 있으며, 측정된 투과스펙트럼으로부터 얻은 값(\bullet)과 전산모의된 투과스펙트럼으로부터 얻은 값(\circ)을 비교하였다. 그림에서 10 ppm/°C 근처의 높은 열팽창계수를 갖는 F7과 WMS-02 기판의 경우는 필터의 $\Delta\lambda/\Delta T$ 이 아주 작은 반면에, 열팽창계수가 0 ppm/°C 근처인 Zerodur와 fused silica 기판의 경우는 상당히 크다. 이 결과는 10 ppm/°C 근처의 열팽창계수를 갖는 기판을 사용함으로써 Fabry-Perot 필터의 투과중심파장의 주위 온도에 대한 안정성을 얻을 수 있다는 것을 보여준다. 또한 전산모의된 필터의 투과스펙트럼으로부터 얻은 $\Delta\lambda/\Delta T$ 가 측정된 값과 동일한 경향을 가지며 비슷한 값을 갖는다. 이 결과로부터 다층박막의 각 층들에 Takashashi 모델을 직접 적용하여, 온도변화에 따른 새로운 굴절률과 광학 두께의 값을 구함으로써 Fabry-Perot 필터의 투과중심파장의 이동을 예측할 수 있음을 알 수 있다.



[그림 1] Fused silica 기판 위에 증착된 단일공동 Fabry-Perot 필터의 온도변화에 따라 측정된 투과중심파장의 이동. 여기서 검은 점(\bullet)은 온도를 증가시킬 때이고, 흰 점(\circ)은 온도를 감소시킬 때이다.



[그림 2] 열팽창계수(α_{sub})가 서로 다른 기판 위에 증착된 단일공동 Fabry-Perot 필터의 투과중심파장의 이동. 여기서 검은 점(\bullet)은 측정된 값이고, 흰 점(\circ)은 계산된 값이다.

참고문헌

1. 황보창권, "박막광학", 다성출판사, 서울, pp. 189-192, pp. 354-356, 2001.
2. H. Takashashi, "Temperature stability of thin-film narrow-bandpass filters produced by ion-assisted deposition," Applied Optics, 34(4), 667-675 (1995).
3. A. Zoller, Hagedorn, A. Lotz, P. Pecher, and O. Treichel, "Ultra Narrow Band Pass Filters Produced by Plasma Ion Assisted Deposition," the Proceedings of the 8th Topical Meeting on Optical Interference Coatings, Banff, Alberta, Canada, July 15-20, 2001.

F
A