

WDM용 실리콘 파브리-페로 파장가변 필터에 관한 연구

Silicon Fabry-Perot Tunable Filter for WDM Applications

박수연, 길상근

수원대학교 전자공학과

feelyoursea@hotmail.com

기존의 WDM용 실리콘 파브리-페로 파장 가변 필터의 경우는 E-beam 박막 증착^[1]이나 CVD 박막 증착법^[2]을 사용하여 두께 제어가 잘 이루어지지 않았고, 제작된 실리콘 파브리-페로 필터의 굴절율을 변화시키기 위한 패턴이 고가의 백금(Pt)으로 이루어졌다. 이에 수 nm로 박막 두께를 제어해보고, 고가의 백금이 아닌 저가의 물질을 이용하여 온도제어를 이루어 보고자 하였다.

파브리-페로 구조에서 투과되는 빛의 파장 의존성은

$$T(\lambda) = \frac{t^2}{(1-r)^2} \frac{1}{1 + \frac{4r}{(1-r)^2} \sin^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda} nd \right)} \quad (1)$$

와 같이 나타낼 수 있다.

식(1)에서 t 와 r 은 각각 유전체 거울의 투과율과 반사율을 나타낸다. λ 는 입사빛의 파장이고 n 과 d 는 각각 유전체 거울사이 존재하는 물질의 굴절률과 간격을 의미한다. 식(1)에서 $nd/\lambda = m/2$ (m 은 정수)의 조건이 만족될 때마다 투과도가 최대가 됨을 알 수 있다. 이와 같은 조건은 입사빛의 파장 변화에 따라 투과도가 변화함을 나타내며, 이는 파브리-페로 구조가 특정 파장의 빛만을 투과하는 파장 선택 필터 장치로 사용될 수 있음을 의미하며, 물질의 굴절률(n) 또는 간격(d)을 변화시키면 최대 투과도를 가지는 파장을 가변 할 수 있다.

실리콘 파브리-페로 필터의 가변적인 응답을 위해서 온도 변화에 의해 발생하는 굴절율 변화인 열-광학 효과^[4]를 사용한다. 실리콘에서 열-광학 효과는 매우 강하고 열-광학 상수는 1550nm 파장에서 식(2)과 같이 나타난다.

$$\frac{\partial n}{\partial \theta} = 1.85 \times 10^{-4} [K^{-1}] \quad (2)$$

[그림 1]은 실리콘 파브리-페로 파장 가변 필터 장치의 구조를 나타내는 것으로 이러한 파장 가변 필터 장치에서 일반적인 실리콘 웨이퍼를 CMP 공정을 통해 100um 두께의 양면이 거울면을 갖도록 하였다. 이 웨이퍼를 공진기로 삼아 양면에 굴절율이 다른 물질 SiO_2 ($n_{low}=1.44$)와 Si ($n_{high}=3.48$)를 스퍼터링을 이용 1550nm를 중심파장으로 하여 $\lambda/4$ 의 두께로 증착시켜 3층 박막의 실리콘 파브리-페로 필터를 제작하였다. 이러한 실리콘 파브리-페로 필터에 열을 가하면 물리적인 두께도 변화 할 뿐만 아니라 굴절율도 변화하여 투과 파장이 가변하게 되는 열-광학 효과를 이용, 공진기의 굴절율을 변화시키기 위해

서 시편에 열이 가하여 지는데, 전압을 가하면 온도가 증가하며 일정 온도에서 포화되는 특성을 가진 PTC 써미스터^[3]를 제작된 시편에 부착하여 실리콘 파브리-페로 파장 가변 필터를 완성하였다. 완성된 필터의 특성 평가에는 파장 가변 레이저 소스와 광 스펙트로미터 분석기가 이용되었다.

온도에 따른 필터 특성을 측정하기 전, 시편에 부착된 PTC에 전압을 인가하여 시편의 온도가 어떻게 달라지는지를 비 접촉식 적외선 온도센서를 이용하여 측정하였다. 실험결과는 [그림 2]에서 볼 수 있듯이, 반사율이 약 90%로 FSR은 약 3.4nm, FWHM은 약 0.132nm으로 나타남으로 이론값과 일치함을 알 수 있었다. 또한, 기존의 방법으로는 ±10%로 두께 제어가 되던 것이 스퍼터링을 이용하여 ±3%이내에서 제어되었다.

본 논문에서 시도한 실리콘 파브리-페로 파장 가변 필터는 달라진 굴절율을 이용하여 원하는 파장을 얻는 것이 가능함을 알려주었다. 또한, 기존의 파브리-페로 에탈론 구조에서 두 거울 사이의 정확한 정렬 문제도 실리콘 웨이퍼의 평탄도와 박막 제작시의 증착 평탄도가 균일하다면 해결될 수 있으리라 생각되며, 4층 박막을 실시하여 반사도를 높이고, PID 온도 제어 시스템을 도입하여 좀더 안정적인 온도변화를 얻는다면 좀더 좋은 결과를 얻을 수 있으리라 기대된다.

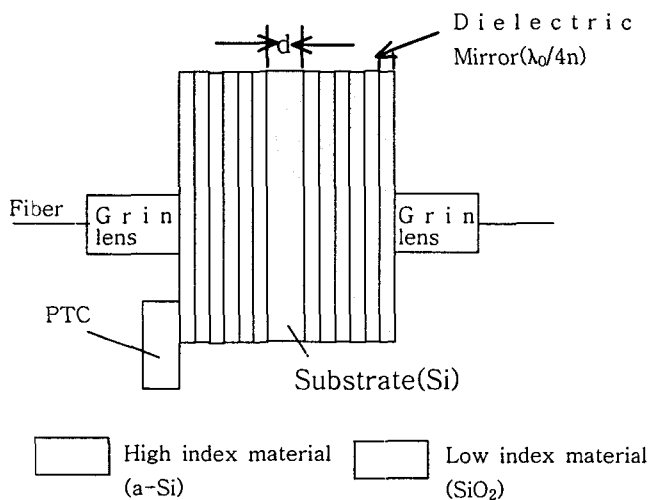


그림 1 실리콘 파브리-페로 파장 가변 필터의 구조

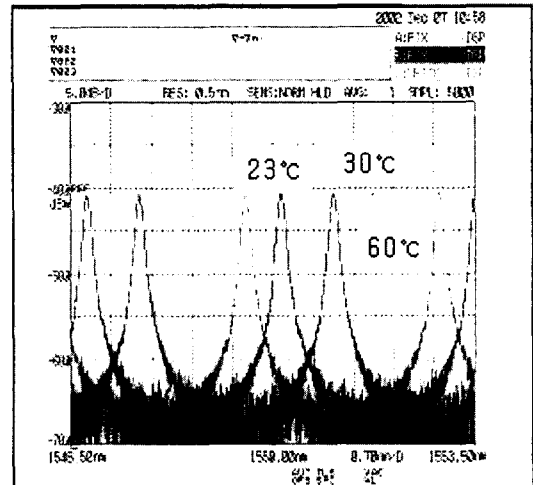


그림 2 온도증가에 따른 투과 파장의 이동 모습

참 고 문 헌

1. M. Iodice, et al., "Silicon Fabry-Perot filter for WDM systems channels monitoring", Optics Communications, 415-418, 2000
2. D. Hohlfeld, et al., "Tunable Thermo-Optic filter for WDM Applications", IEEE, 564-567, 2002
3. A. J. Moulson and J. M. Herbert, "Electroceramics. - Materials, Properties, Applications", 17-85, 1990
4. G. Cocorullo, I. Rendina, Electron. Lett. 28,(1992),83