

Silicon Fabry-Perot Tunable Thermo-Optic Filter

실리콘 파브리-페로 파장가변 열광학 필터

Su-Yeon Park*, Dong-Heon Kang**, Young-Ho Kim*, Sang-Keun Gil****

박수연*, 강동현**, 김영호*, 길상근****

Abstract

A silicon Fabry-Perot tunable thermo-optic filter for WDM using the thin film silicon coating is proposed and experimented. The filter is implemented by using the CMP process and polishing both sides of the commercial silicon wafer with normal thickness of $100\mu\text{m} \pm 1\%$. The filter also has 2-layer or 3-layer dielectrics thin film coating mirror which are alternated $\lambda/4$ layers of SiO_2 ($n_{\text{low}}=1.44$) and a-Si ($n_{\text{high}}=3.48$) for the central wavelength of 1550nm by RF sputtering. The experiment shows that FSR is 3.61nm and FWHM is 0.56nm and the finesse is 6.4 for 2-layer mirror with the reflection of 61%, and that FSR is 3.36nm and FWHM is 0.13nm and the finesse is 25.5 for 3-layer mirror with the reflection of 89%. According to thermo-optic effect, the transmitted central wavelength of 1549.73nm at 23°C is shifted to 1550.91nm at 30°C and 1553.46nm at 60°C for 2-layer mirror, and the transmitted central wavelength of 1549.83nm at 23°C is shifted to 1550.92nm at 30°C and 1553.07nm at 60°C for 3-layer mirror.

요약

실리콘 박막 코팅을 이용한 WDM용 파장가변 실리콘 파브리-페로 열광학 필터를 제안하고 실험하였다. 실리콘 파브리-페로 파장가변 필터는 일반적인 실리콘 웨이퍼를 CMP 공정을 통해 $100\mu\text{m} \pm 1\%$ 의 두께로 가공하여 양면에 거울면을 갖도록 박막 코팅하고 온도를 변화시키기 위해 PTC 써미스터를 부착하여 제작하였다. 거울면의 형성은 1550nm를 중심 파장을 갖도록 양면에 굴절율이 다른 물질 SiO_2 ($n_{\text{low}}=1.44$)와 a-Si ($n_{\text{high}}=3.48$)을 $\lambda/4$ 의 두께로 증착시켜 2층 박막과 3층 박막의 거울면을 제작하였다. 실험결과, 2층 박막의 경우 FSR이 3.61nm, FWHM이 0.56nm, finesse가 6.4로 나타났고, 3층 박막의 경우 FSR이 3.36nm, FWHM이 0.13nm, finesse가 25.5로 나타났다. 열광학 효과에 의한 파장 이동은 2층 박막 거울을 가진 필터의 경우 온도가 23°C에서 투과 중심 파장이 1549.73nm, 30°C에서 1550.91nm, 60°C에서 1553.46nm로 파장 이동을 하였고, 3층 박막 거울을 가진 필터의 경우는 온도가 23°C에서 투과 중심 파장이 1549.83nm, 30°C에서 1550.92nm, 60°C에서 1553.07nm로 파장 이동을 하였다.

Key words : tunable thermo-optic filter, Fabry-Perot filter, wavelength division multiplexing.

1. 서론

파장분할 다중방식(WDM : Wavelength Division Multiplexing)을 이용한 광통신 방식은 한 광섬유 내에 다른 파장을 가지는 신호를 다중화하여 전송하고 수신단에서 파장에 따라서 신호를 분리하여 광섬유의 전송용량을 증가시키는 통신 방식으로 기존 광통신망에 추가 설치비용 부담없이 용량을 증가시키거나 시스템을 확장시킬 수 있는 기술이다. 이에 따라 각각의 파장에 정보를 실어 전송하는 WDM 방식에 있어서 각각의 파장에 실려 온 정보를 정확하게 필터링하

* 韓國機械研究院 나노機械研究本部
(Nano-Mechanical Systems, Korea Institute of Machinery and Materials)
** 水原大學校 電子材料工學科, 電子部品素材 RIC
(Dept. of Electronic Materials Engineering, The University of Suwon, RIC for Electronic Materials)
*** 水原大學校 電子工學科
(Dept. of Electronic Engineering, The University of Suwon)
★ 교신저자: skgil@suwon.ac.kr

接受日:2008年 7月 18日, 修正完了日: 2008年 9月 24日

는 것이 중요하다. 일반적으로 광통신에서 널리 사용되는 필터는 입사된 빛의 특정 파장 성분만을 통과 또는 차단시키는 소자를 의미하며, 필터 중 파장가변 필터는 이와 같은 특정 파장을 원하는 값으로 바꿀 수 있는 소자이다.

WDM용 파장가변 광필터로는 fiber Bragg grating 필터 [1], 도파로 Bragg 필터 [2], acousto-optic 필터 [3], 파브리-페로 필터 [4-8] 등이 있는데, 파브리-페로 필터의 특징은 매우 높은 파장 분해능과 광 손실 특성, 넓은 응용분야, 대역폭, 전력소모, 가격 면에서 다른 방식의 가변 필터보다 뛰어나다고 할 수 있다. 파브리-페로 파장가변 필터는 두 개의 편평한 유리면에 고 반사율을 지닌 유전체 필름을 코팅하여 공진기를 형성시킨 광학적 간섭 소자로서 여러 다른 파장 중에 공진기 간격에 의해 결정되는 오직 한 개의 파장만이 반사광 공진을 야기시켜 통과하는 원리를 이용한 필터이다. 여기서 파브리-페로 파장가변 필터의 구현 방식을 살펴보면 첫 번째 방법은 기계적으로 회전시켜 입사각을 변화시키는 방법이 있는데 가격은 저렴하다는 장점은 있지만 불균일한 삽입 손실과 기계적 동작이 단점이다. 두 번째 방법은 양 끝단을 코팅한 광섬유와 압전소자(PZT)를 이용한 공진기 가변 방법으로 이 방법은 광섬유를 통과한 빛의 비평행광 성질에 의하여 높은 finesse를 얻기 힘든 단점이 있다. 세 번째 방법은 압전소자 위에 반사경을 장착하여 공진기 길이를 가변시키는 것으로 높은 finesse를 제공하지만 정밀한 PZT 제어기가 필요하다. 네 번째 방법은 공진기안에 액정(liquid crystal)을 채워 굴절율을 변화시켜 가변시키는 방법으로 높은 finesse를 제공하고 정밀한 제어장치가 필요 없는 우수한 방식이다. 다섯째 방법으로는 2000년에 M. Iodice 등에 의해 처음 소개된 실리콘 파브리-페로 필터로 실리콘 웨이퍼의 양면을 거울 가공하고, 그 위에 굴절율이 낮고, 높은 물질을 교대로 증착하여 유전체 거울을 만들어 파브리-페로 에탈론 필터의 구조를 만든다. 만들어진 파브리-페로 에탈론 필터의 양 쪽 면에 온도에 변화를 주어 열광학 효과(thermal-optic effect)에 의한 굴절율을 변화시켜 파장 가변을 일으키는 방법이다 [5]. 파브리-페로 에탈론 필터를 이와 같이 실리콘 웨이퍼를 이용하여 만들게 된다면 반도체 공정을 이용하게 되어 대량 생산이 가능하며 공정도 단순해진다는 장점이 있다. 하지만 기존의 실리콘 파브리-페로 파장가변 필터는 E-beam 증착이나 CVD를 이용하였고 굴절율을 변화시키기 위한 온도 제어용 패턴도 고가의 백금(Pt)으로 이루어졌다 [6]. 이에 본 논문에서는 필터의 성능이 기존의 것과 차이가 없고 박막 두께의 제어가 용이하며 공정 시간도 단축시킬 수 있는 효과

적인 방법으로 RF sputtering 방법을 사용하고 고가의 백금이 아닌 저가의 물질을 이용하여 용이한 온도 제어가 이루어지는 방법을 제시하고자 한다.

II. 본론

그림 1은 실리콘 파브리-페로 파장가변 필터 장치의 구조를 나타내는 것으로 이러한 파장가변 필터 장치에서 실리콘 웨이퍼는 CMP(Chemical Mechanical Polishing) 공정을 거쳐 매우 얇은 두께로 균일하게 가공한 후 양면을 polishing하여 거울 면을 만들고, 이것을 기판으로 하여 양면에 굴절율이 다른 물질을 교대로 증착시켜 유전체 박막 거울을 만든다. 증착 물질은 고 굴절율 물질과 저 굴절율 물질을 사용하게 되는데, 기판을 실리콘 웨이퍼를 사용하였으므로 비정질 실리콘 a-Si($n_{\text{high}}=3.48$)을 고 굴절율 물질로 SiO_2 ($n_{\text{low}}=1.44$)를 저 굴절율 물질을 선택하여 이 두 물질을 $\lambda/4$ 의 두께로 실리콘 웨이퍼 양면에 교대로 증착을 한다. 증착을 하는 방법은 본 논문에서는 RF sputtering을 이용하여 물질을 증착시켰다. 제작된 실리콘 파브리-페로 필터 장치에 PTC(Positive Temperature Coefficient) 써미스터를 부착하여 열을 가하면 물리적인 두께도 변화할 뿐만 아니라 굴절율도 변화하게 되어 투과 파장이 가변적으로 된다. 이렇게 만들어진 실리콘 파브리-페로 파장가변 필터는 이미 실리콘 웨이퍼의 양면이 편평한 상태이므로 두 기판 사이 간격을 균일하게 유지시키고도 파장가변을 이룰 수 있다.

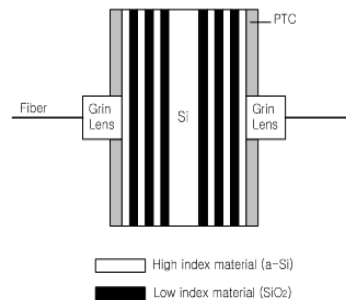


Fig. 1. Structure of silicon Fabry-Perot tunable filter
그림 1. 실리콘 파브리-페로 파장가변 필터의 구조

파브리-페로 공진기 구조에서 투과되는 빛의 파장 의존성은 식 (1)과 같이 표현된다.

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

식 (1)에서 t 와 r 은 각각 유전체 거울의 투과율과 반사율을 나타낸다. λ 는 입사빛의 파장이고 m 과 d 는 각각 유전체 거울사이에 존재하는 물질의 굴절율과 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 나타내고, 이는 파브리-페로 공진기 구조가 특정 파장의 빛만을 투과하는 파장 선택 필터 장치로 사용될 수 있음을 의미하며, 물질의 굴절율 또는 간격을 변화시키면 최대 투과도를 가지는 파장을 가변할 수 있다.

식 (1)에서, 파장가변을 이루기 위해서는 두 거울 사이의 거리를 변화시키거나 물질의 굴절율을 변화시키는 것이다. 이러한 방법 중 본 논문에서는 제작된 필터에 온도를 가하여 굴절율을 변화시키는 방법을 택하였다. 먼저 통과 대역에서의 최대 투과가 일어나는 파장인 중심 파장(central wavelength) λ_0 의 식은

$$\lambda_0 = \frac{2nd}{m} \cos\theta \quad (2)$$

과 같다. 여기서, d 는 두 반사경 사이의 거리인 공진기의 간격, n 은 공진기 사이 매질의 굴절율, θ 는 입사각이며 m 은 정수이다. 연속적인 통과 대역 사이의 파장 차로 필터의 가변 범위를 나타내는, 다시 말하자면 파장사이의 간격이라 할 수 있는 FSR(Free Spectral Range)은

$$FSR = \frac{\lambda_0^2}{2nd} \quad (3)$$

과 같이 된다. 이번에는 투과광이 최대치가 되는 중심파장을 중심으로 최대 세기의 1/2가 되는 대역폭(FWHM)은

$$FWHM = \frac{\lambda_0^2(1-r)}{2nd\pi\sqrt{r}} \quad (4)$$

과 같이 된다. 반사율 r 이 클수록 그만큼 FWHM의 폭은 좁아지게 된다. Finesse는 FSR과 FWHM의 비로 다른 파장으로부터 하나의 파장을 분리할 수 있는 필터의 성능을 나타낸다.

$$F = \frac{FSR}{FWHM} = \frac{\pi\sqrt{r}}{(1-r)} \quad (5)$$

식(5)에서 볼 수 있듯이 F 가 클수록 WDM 통신 방식에서는 더 많은 채널을 지니게 된다. 더 많은 채널을 지니기 위해서는 FSR은 커야하고 FWHM은 그 만큼 더 작아야 한다. 즉 파장간의 간격은 넓을수록 각 파장의 폭은 좁을수록 더 많은 채널을 지니게 된다.

실리콘 파브리-페로 필터의 가변적인 응답을 위해서 온도 변화에 의해 발생하는 굴절율 변화인 열광학 효과를 사용한다. 실리콘에서 열광학 효과는 매우 강하고 열광학 상수는 1550nm 파장에서 다음 식과 같이 나타난다[6].

$$\frac{\partial n}{\partial T} = 1.85 \times 10^{-4} [K^{-1}] \quad (6)$$

이렇게 온도 변화에 따른 굴절율의 변화가 주어질 때 변화되는 파장의 변화는

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta n \cdot \lambda_0}{n} \quad (7)$$

와 같이 나타내어진다. $\frac{\partial n}{\partial T}$ 와 파장 이동을 나타내는 식 (7)로 부터 열 가변 상수는 1550nm의 파장에서 다음과 같이 쉽게 얻을 수 있다.

$$\frac{\Delta\lambda}{\Delta T} \approx 0.083 [nm/K] \quad (8)$$

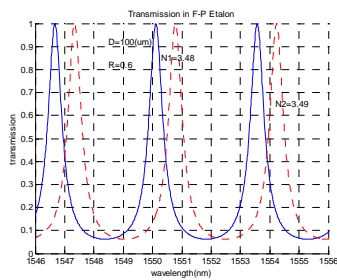
유전체 코팅된 파브리-페로 공진기 필터의 설계는 Matlab에 의하여 수행되었다. 이러한 방법은 열 가변 하에 필터 내부의 굴절율 변화와 마찬가지로 다층 거울의 반사율과 공진기에서 발생하는 삽입 손실이 적절히 계산되어진 것이다. 또한 설계시 고려해야 할 파라미터는 코팅에 사용된 물질들에 대한 열광학 상수이다.

III 실험 및 분석

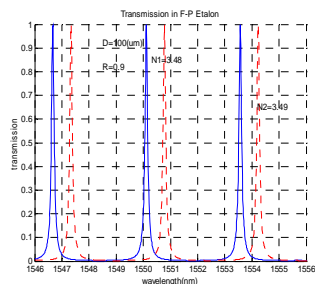
1. 전산시뮬

실리콘 파브리-페로 에탈론 공진기 필터에 온도를 가하여 굴절율을 변화시킨다는 전제하에 Matlab으로 전산시뮬하였다. 식 (6)~(8)에 의해 실리콘 파브리-페로 필터에 열을 가하여 굴절율을 변화시켰을 때 굴절율의 변화를 살펴보면, 온도 10°C 올리면 굴절율이 약 1.85×10^{-3} 만큼 변화하고 50°C의 변화를 보였을 경우 약 9.25×10^{-3} 의 변화율을 갖으며, 또한 이러한 굴절율의 변화로 인하여 변화 되는 중심 파장의 이동은 각각 0.83nm과 4.15nm라는 것을 알 수 있다. 그림 2는

파브리-페로 에탈론에서의 공진기 간격이 100 μm 이고 반사율이 60%일 때와 반사율이 90%일 때 온도 변화에 따른 굴절을 변화에 기인한 파장 이동 모습이다. 그림 2(a)에서 볼 수 있듯이 반사율이 60%일 때 20 $^{\circ}\text{C}$ 에서 굴절을 3.48에서 장파장 광통신 전송대역인 중심파장 1550nm를 얻었고 FSR은 약 3.5nm로 계산되었다. 이때 FWHM은 약 0.56nm이고 finesse는 약 6이다. 한편 50 $^{\circ}\text{C}$ 가 증가된 70 $^{\circ}\text{C}$ 에서 굴절율은 3.49로 변하고 중심파장이 1554.15nm로 식 (8)에 의하여 약 4.15nm정도 오른쪽으로 이동하였다. 그림 2(b)는 반사율이 90%이고 온도 변화가 20 $^{\circ}\text{C}$ 에서 70 $^{\circ}\text{C}$ 로 변했을 때 중심 파장 이동을 보여준다. 이때 FWHM은 약 0.12nm이고 finesse는 약 30이다.



(a) 반사율 60% 공진기 거울



(b) 반사율 90% 공진기 거울

Fig. 2. Transmission wavelength shift due to thermal-optic effect in Fabry-Perot etalon resonator

그림 2. 파브리-페로 에탈론 공진기에서 열광학 효과에 의한 투과 파장 이동 특성

2. 제작 실험 및 평가

파브리-페로 공진기 파장가변 필터의 매질로 사용하기 위한 실리콘 웨이퍼 가공은 CMP 공정을 이용

하였으며, 일반적인 450 μm 의 실리콘 웨이퍼 양면을 우선 굽은 연마제로 lapping하여 깎아낸 뒤 100 μm 의 두께를 갖도록 양면 polishing을 하여 양면이 거울면을 갖도록 하였다. 실험을 위하여 가공되어 사용된 실리콘 웨이퍼의 두께 균일도는 1%의 오차의 측정 결과를 나타내었다. 또한 가공된 실리콘 웨이퍼는 SPM용액에서 10분간 세정한 뒤, HF와 물을 1:100으로 희석한 용액에서 2분간 처리하여 자연 산화막을 제거하고 초순수로 세척후 N₂를 불어주어 건조시켰다. 일반적인 파브리-페로 에탈론 구조의 필터는 향상된 성능을 위하여, 고반사율의 거울이 사용된다. 본 논문에서는 가공된 실리콘 웨이퍼를 공진기로 삼아 양면에 굴절율이 다른 물질 SiO₂(n_{low}=1.44)와 a-Si(n_{high}=3.48)를 RF sputtering을 이용 1550nm를 중심파장으로 하여 $\lambda/4$ 의 두께로 증착시켜 2층 박막과 3층 박막의 실리콘 파브리-페로 공진기 필터를 제작하였다. 이러한 실리콘 파브리-페로 공진기 필터에 열을 가하여 필터의 온도가 증가하면 굴절율이 변화하고 이에 중심 파장이 이동하는 열광학 특성을 나타낸다. 이러한 열광학 특성이 나타나도록 필터에 열을 가하기 위해 온도 제어가 쉽고 값이 싼 PTC 써미스터를 필터에 부착하여 실리콘 파브리-페로 파장가변 필터를 완성하였다. PTC 써미스터는 전압을 가하면 온도가 증가하며 일정 온도에서 포화되는 특성을 가진다[9].

2층 박막과 3층 박막의 온도에 따른 필터 특성을 측정하기 전, 필터에 부착된 PTC 써미스터에 전압을 인가하고 이에 필터의 온도가 어떻게 달라지는지를 비 접촉식 적외선 온도센서를 이용하여 측정하여 보았다. 10번을 측정하여 평균한 측정 결과는 표 1과 같다.

Table 1. Temperature change according to the applied voltage to PTC thermistor

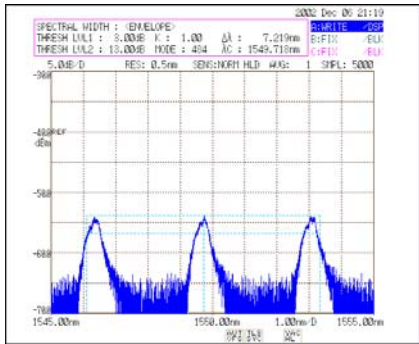
표 1. PTC 써미스터 인가 전압에 따른 필터의 온도 변화

인가전압 (V)	평균 필터온도 (°C)
0	23
1.5	30
2.5	60
3.0	70

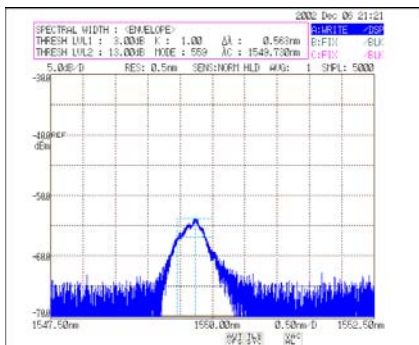
완성된 필터의 특성 평가를 위하여 파장 가변 레이저(AQ4321D, ANDO)와 광 스펙트로미터 분석기(AQ6713B, ANDO)를 사용하였다.

그림 3은 필터를 2층 박막 증착을 하였을 때, 전압을 인가하지 않아 상온(23 $^{\circ}\text{C}$)에서의 FSR과 FWHM을 측정한 그래프이다. 그림 3(a)에서 첫 번째 파장과 세

번째 파장 사이의 거리가 약 7.22nm이므로 측정된 FSR은 약 3.61nm임을 알 수 있다. 또한 그림 3(b)는 FWHM을 측정한 것으로 약 0.56nm의 폭을 가졌음을 알 수 있다. 이로부터 식 (5)를 통해 계산된 finesse F는 6.4이고 반사율은 약 61%라는 것을 알 수 있고 이는 앞에서 고찰한 전산시뮬의 결과와 대략 일치한다.



(a) FSR



(b) FWHM

Fig. 3. (a) FSR and (b) FWHM of Fabry-Perot tunable filter with 2-layer thin film mirror

그림 3. 2층 박막 거울을 가진 실리콘 파브리-페로 파장 가변 필터에서의 (a) FSR과 (b) FWHM

그림 4는 2층 박막 거울을 가진 실리콘 파브리-페로 파장가변 필터의 PTC 써미스터에 전압을 인가하여 필터의 온도를 변화시키고 이에 투과 파장의 이동 모습을 보여주는 그래프이다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 필터의 온도를 증가시킬 때 투과 중심 파장이 오른쪽으로 이동함을 알 수 있다. 실험에서는 표 1과 같이 PTC 써미스터에 인가해준 전압이 0V, 1.5V, 2.5V일 때 측정된 필터 온도는 23°C, 30°C, 60°C이었다. 그래프를 살펴보면, 23°C의 상온에서는 1549.73nm에 있던 투과 중심 파장이 약 30°C가 되자 약 1.18nm

오른쪽으로 이동하여 1550.91nm이었으며, 60°C에 이르자 약 3.73nm를 이동하여 1553.46nm이었다. 이는 PTC 써미스터에 전압을 인가하지 않은 상온(23°C)에서의 FSR에 의해 결정되는 상위 종모드 중심 파장 1553.45nm와 대략 일치한다.

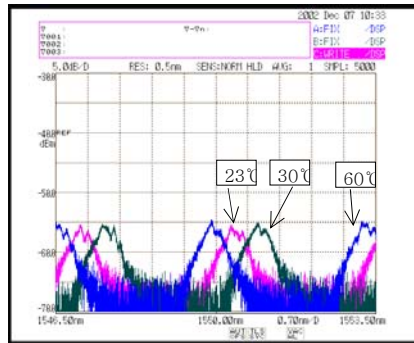
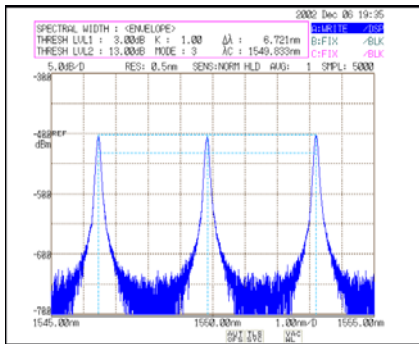


Fig. 4. Transmission wavelength shift due to temperature increase in silicon Fabry-Perot tunable filter with 2-layer thin film mirror (reflection coefficient: 61%)

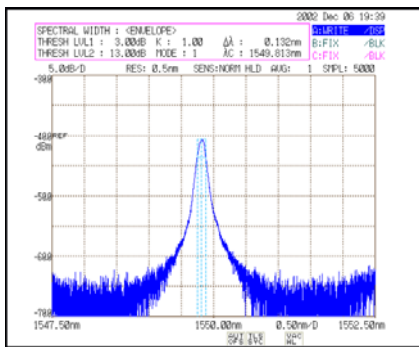
그림 4. 2층 박막 거울(반사율 61%)을 가진 실리콘 파브리-페로 파장가변 필터에서 온도 증가에 따른 투과 파장의 이동 모습

그림 5는 필터를 3층 박막 증착을 하였을 때, 전압을 인가하지 않아 상온(23°C)에서의 FSR과 FWHM을 측정한 그래프이다. 그림 5(a)에서 첫 번째 파장과 세 번째 파장 사이의 거리가 약 6.72nm이므로 측정된 FSR은 약 3.36nm임을 알 수 있다. 또한 그림 5(b)는 FWHM을 측정한 것으로 약 0.13nm의 폭을 가졌음을 알 수 있다. 식 (5)로부터 finesse F는 25.5, 반사율은 약 89%로 계산되었고 이는 앞에서 고찰한 전산시뮬의 결과와 대략 일치하였다.

그림 6은 3층 박막 거울을 가진 실리콘 파브리-페로 파장가변 필터의 PTC 써미스터에 전압을 인가하여 필터의 온도를 변화시키고 이에 투과 파장의 이동 모습을 보여주는 그래프이다. 그래프를 살펴보면, 23°C의 상온에서는 1549.83nm에 있던 투과 중심 파장이 약 30°C가 되자 약 1.09nm 오른쪽으로 이동하여 1550.92nm이었으며, 60°C에 이르자 약 3.24nm를 이동하여 1553.07nm이었다. 이는 PTC 써미스터에 전압을 인가하지 않은 상온(23°C)에서의 FSR에 의해 결정되는 상위 종모드 중심 파장 1553.19nm와 대략 일치하였다.



(a) FSR



(b) FWHM

Fig. 5. (a) FSR and (b) FWHM of Fabry-Perot tunable filter with 2-layer thin film mirror

그림 5. 3층 박막 거울을 가진 실리콘 파브리-페로 파장 가변 필터에서의 (a) FSR과 (b) FWHM

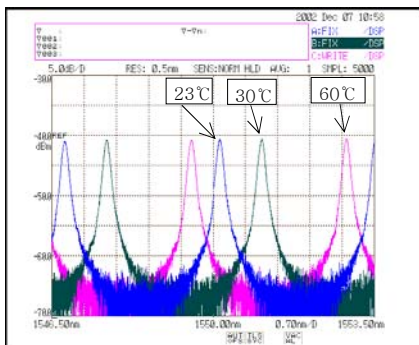


Fig. 6. Transmission wavelength shift due to temperature increase in silicon Fabry-Perot tunable filter with 3-layer thin film mirror (reflection coefficient: 61%)

그림 6. 3층 박막 거울(반사율 89%)을 가진 실리콘 파브리-페로 파장가변 필터에서 온도 증가에 따른 투과 파장의 이동 모습

IV 결론

본 논문에서는 WDM용 광필터 중에서 파장가변 필터의 한 형태인 실리콘 파브리-페로 파장가변 필터를 설계, 제작 및 특성평가를 실시하였다. 실리콘 파브리-페로 공진기 필터는 상용되는 실리콘 웨이퍼를 CMP 공정을 통해 $100\mu\text{m}(\pm 1\%)$ 의 두께를 갖도록 만든 뒤 양면 polishing을 거쳐 양면이 거울면을 갖도록 하고 양면에 굴절율이 다른 물질 $\text{SiO}_2(n_{\text{low}}=1.44)$ 와 a-Si($n_{\text{high}}=3.48$)를 RF sputtering을 이용 1550nm를 중심파장으로 하여 $\lambda/4$ 의 두께로 증착시켜 2층 박막과 3층 박막의 실리콘 파브리-페로 공진기 필터를 제작하였고, 이러한 공진기 필터에 전압을 가하면 온도가 증가하는 특성이 있는 PTC 써미스터를 공진기 필터에 부착하여 열 변화에 따른 굴절율의 변화를 일으키는 열광학 효과를 이용한 실리콘 파브리-페로 파장가변 필터를 완성하였다. 유전체 박막 증착 거울 제작은 두께 제어가 용이한 RF sputtering을 이용하였다. 2층 박막 거울의 경우에는 필터에 가해지는 온도 변화에 따른 큰 변화 없이 FSR은 약 3.61nm, FWHM은 약 0.56nm으로 측정되어 finesse는 약 6.4이었으며 이는 61%의 반사율을 나타내었다. 3층 박막 거울의 경우에는 FSR은 약 3.36nm, FWHM은 약 0.13nm으로 측정되어 finesse는 약 25.5이었으며 이는 89%의 반사율을 나타내었다. 본 논문에서 시도한 실리콘 파브리-페로 파장가변 필터는 온도가 증가되거나 하강할 때 모두 파장의 이동을 시킬 수 있다. 실험을 통하여 2층 박막 거울을 가진 필터의 경우 온도가 23°C에서 투과 중심 파장이 1549.73nm, 30°C에서 1550.91nm, 60°C에서 1553.46nm로 파장 이동을 하였고, 3층 박막 거울을 가진 필터의 경우는 온도가 23°C에서 투과 중심 파장이 1549.83nm, 30°C에서 1550.92nm, 60°C에서 1553.07nm로 파장 이동을 하였다. 이러한 가능성은 본 논문에서 제안한 파장가변 필터가 WDM 통신에 적용시 전송되는 많은 정보들 중에서 원하는 정보를 선택적으로 얻어 낼 수 있음을 나타낸다. 또한 기존의 파브리-페로 에탈론 구조에서 두 거울 사이의 정확한 정렬 문제도 본 논문에서 제안한 방법을 통해 실리콘 웨이퍼의 평탄도와 박막 증착시 평탄도가 균일하다면 해결될 수 있으리라 생각된다.

참고문헌

[1] M. Mahomoud, Z. Ghassemlooy, "Tunable Fiber Gratings Modeling and Simulation," Proceedings of the 36th Annual Simulation Symposium, 2003.
 [2] M. B. J. Diemeer and W.J. de Vries, "Fused

Coupler Switch using a Thermo-optic Cladding," Elect. Lett., vol.24, no.8, pp.458-, 1988.

[3] D. A. Smith, J. E. Hwang, and J. J. Johnson, Appl. Phys. Lett., vol.56, no.3, 1990.

[4] M. Aziz, J. Pfeiffer, M. Wohlfarth, C. Lubber, S. Wu, and P. Meissner, "A new and Simple Concept of Tunable Two-Chip Microcavities for Filter Applications in WDM Systems," IEEE Photonics Technology Letters, vol.12, pp.1522-1524, 2000.

[5] M. Iodice, G. Cocorullo, F. G. Della Corte, I. Rendina, "Silicon Fabry-Perot Filter for WDM Systems Channels Monitoring", Optics Communications, pp.415-418, Sep. 2000.

[6] D. Hohlfeld, M. Epmeier, H. Zappe, "Tunable Thermo-Optic Filter for WDM Applications", The 15th IEEE International Conference, pp.564-567, 2002.

[7] 박현용, 황병철, 이승길, 오범환, 이일항, 박세근, 최두선, 열광학 효과를 이용한 파장가변 필터의 특성, 한국광학회 2003년도 하계학술발표회, pp.114-115, 2003.

[8] 김성화, 황보창권, Fabry-Perot 필터의 투과중심파장의 온도의존성, 한국광학회 2004년도 동계학술발표회, pp.214-215, 2005.

[9] A. J. Moulson and J. M. Herbert, "Electroceramics-Materials, Properties, Applications", pp.17-85, 1990.

저 자 소 개

박수연 (정회원)



2001년 : 수원대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

2003년 : 수원대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

2005년 3월~현재 : 한국기계연구원 연구원

<주관심분야> 광필터, 광계측, 박막공정, 나노소자

강동현 (정회원)



1982년 : 연세대학교

세라믹공학과 졸업 (공학사)

1984년 : 연세대학교 대학원

세라믹공학과 (공학석사)

1988년 : 연세대학교 대학원

세라믹공학과 (공학박사)

1990년 3월~현재 : 수원대학교 전자재료공학과 교수

<주관심분야> 센서재료, 유전체 박막, 압전소자

김영호 (정회원)



1977년 : 연세대학교 전기공학과 졸업 (공학사)

1979년 : 연세대학교 대학원

전기공학과 (공학석사)

1983년 : 연세대학교 대학원

전기공학과 (공학박사)

1987년 3월~현재 : 수원대학교 전자재료공학과 교수

<주관심분야> 반도체 소자, 박막공정, 스마트센서

길상근 (정회원)



1984년 : 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1986년 : 연세대학교 대학원

전자공학과 (공학석사)

1992년 : 연세대학교 대학원

전자공학과 (공학박사)

1993년~1998년 : 고등기술연구원 책임연구원

1998년 3월~현재 : 수원대학교 전자공학과 교수

<주관심분야> 광정보처리, 광센서, 광계측, 광소자