

논문 95-4-3-10

광섬유 Fabry-Perot 간섭형 센서 제조를 위한 TiO_2 반사막의 형성 및 그 특성

박동수*, 김명규*, 김창원**, 이정희*, 강신원**, 손병기*

Fabrication of TiO_2 In-line Reflection Mirror and Its Characteristics for Fiber Optic Fabry-Perot Interferometric Sensor

Dong-Soo Park*, Myung-Gyoo Kim*, Chang-Won Kim**, Jung-Hee Lee*

Shin-Won Kang** and Byung-Ki Sohn*

요 약

응답특성이 빠르고, 좁은 영역에서의 측정에 있어 매우 유리한 고 분해능의 광섬유 Fabry-Perot 간섭형 센서를 제조하기 위해 반사막으로 사용될 TiO_2 박막의 형성법에 대해 조사하였다. RF magnetron sputtering 방법을 이용하여 증착된 TiO_2 박막은 굴절률이 2.36~2.48정도, 그리고 O/Ti의 원소조성비는 거의 2에 가까운 화학양론적인 조성비가 되어 e-beam 증착법으로 증착된 박막보다 우수한 특성을 나타내었다. 또한 용융 접합법을 사용하여 광섬유 선로내에 TiO_2 반사막을 형성할 경우 RF 전력이 120W인 조건에서 증착된 반사막이 가장 큰 반사율을 나타내었을 뿐만아니라 우수한 반사율 조절특성을 보였다.

광섬유 선로내에 이러한 조건에서 증착된 TiO_2 반사막을 가지는 진성 광섬유 Fabry-Perot 간섭계는 매우 안정된 간섭특성을 나타내어 이를 여러가지 센서에 응용할 경우 고정도의 우수한 감지 특성을 나타낼 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

For the fabrication of high sensitive intrinsic fiber optic Fabry-Perot interferometric sensor, the deposition conditions of TiO_2 thin film used to the internal mirrors of the sensor were investigated. The TiO_2 film deposited by RF magnetron sputter had higher refractive index (2.36~2.48) and better stoichiometry ($\text{O}/\text{Ti} = 2$) than that deposited by e-beam evaporator. In the case of forming TiO_2 internal mirror by using fusion splicing technique, the TiO_2 reflection mirror deposited by RF magnetron sputter in the condition of 120W RF power showed high reflectance and excellent controllability of reflection power. The fabricated intrinsic fiber optic Fabry-Perot interferometer with two TiO_2 internal mirrors deposited under the condition showed very stable fringe patterns. It is, therefore, expected that the interferometer will be applicable to various high precision sensors.

* 경북대학교 전자·전기공학부
(School of Electronic and Electrical Engineering,
Kyungpook National University)

** 경북대학교 센서기술연구소
(Sensor Technology Research Center, Kyungpook
National University)
<접수일자 : 1995년 7월 5일>

I. 서 론

과학기술의 급속한 발달로 인해 최근 정밀계측 및 산업자동화에 적용할 초소형, 초경량의 고감도 센서가 크게 요구되고 있다. 이에 부응하여 지금까지 광통신 분야에서 사용되어 왔던 광섬유를 센서분야에 응용하

기 위한 연구가 크게 각광 받고 있다^[1-3]. 광섬유 센서는 종래의 전기적 방식의 센서에 비해, 센서 재질인 광섬유가 신호의 전송역할을 겸하고 있으므로 외부 전자파에 의한 영향을 받지 않아 원격제어가 용이하며, 화재나 폭발의 위험이 있는 열악한 환경에서도 안전하게 사용될 수 있다. 또한 광섬유 센서는 고 감도, 고 분해능 및 빠른 응답특성을 가지므로 정밀계측에 매우 적합한 센서이다.

그러나 광섬유 센서는 여러가지 종류의 광부품을 필수적으로 사용하여야 함으로 고가인 단점이 있어 지금까지 특수 분야 즉, 국방, 항공 산업용으로 개발되어 일부 사용되고 있다.

광섬유 센서의 감지기구로는 주변 환경(온도, 압력, 변형 등)의 변화로 인해 광섬유를 따라 전파되는 광의 강도^[4], 위상^[5], 편광^[6], 그리고 파장^[7] 등의 변화를 이용하는 것으로 알려져 있다. 이 중 광의 위상변화를 이용한 광섬유 Fabry-Perot 간섭형 센서^[8]는 광 손실에 영향을 받지 않으며, 높은 정밀도 및 넓은 동작 영역을 나타낼 뿐만아니라 다른 간섭형(Mach-Zender^[2], Michelson^[1], Sanac^[9]) 센서에 비해 국소 부위에서의 측정에 매우 유리한 장점이 있어 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

광섬유 Fabry-Perot 간섭계는 두 반사막(mirror) 사이의 공극(cavity) 길이, 굴절률 등의 변화에 의한 출력신호의 위상 변화로 외부환경의 변화를 감지하는 것으로 반사막 물질로는 TiO_2 , Al_2O_3 등이 보고되고 있다. TiO_2 반사막은 높은 굴절률을 가지며, 가시광 및 적외선 영역에서 투과율이 우수하여 Fabry-Perot 간섭계의 반사막으로 많이 사용되고 있으나 아직 이의 형성법 및 형성 조건에 대한 체계적인 연구는 매우 미흡한 상태이다.

본 연구에서는 빠른 동작 특성을 가진 고 정도의 광섬유 Fabry-Perot 간섭형 센서를 제조하기 위해 e-beam 증착법과 RF Magnetron sputtering법으로 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 반사막으로 사용될 TiO_2 박막을 형성하여 이의 물리적 특성을 조사하였다. 또한 광섬유 단면에 증착된 TiO_2 박막을 이용하여 광섬유 선로내에 두 반사막을 가진 진성 광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 제조하였다.

II. 광섬유 Fabry-Perot 간섭형 센서의 원리

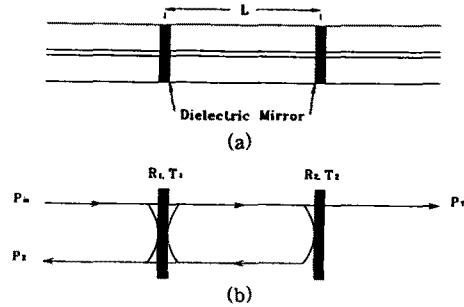


그림 1. 광섬유 선로내에 두 반사막을 가진 intrinsic 광섬유 Fabry-Perot 간섭계
(a) 단면도 (b) 동작원리

Fig. 1. A intrinsic fiber optic Fabry-Perot interferometer with two internal mirrors

(a) Cross-sectional view (b) Operating principle

광섬유 Fabry-Perot 간섭계는 그림 1에 나타난 것과 같이 광섬유 내에 두개의 반사면을 가지고 있다. 그림 1(b)에서와 같이 반사면의 반사율이 각각 R_1 , R_2 인 간섭계에서 반사 광출력은 아래의 식으로 표현될 수 있다.

$$P_R = \frac{P_{IN} [R_1 + R_2 (T_1 - R_1)^2 \exp(-2\delta)]}{1 + R_1 R_2 \exp(-2\delta) - 2\sqrt{R_1 R_2} \exp(-\delta) \cos \phi} + \frac{P_{IN} [2\sqrt{R_1 R_2} (T_1 - R_1) \exp(-\delta) \cos \phi]}{1 + R_1 R_2 \exp(-2\delta) - 2\sqrt{R_1 R_2} \exp(-\delta) \cos \phi} \quad (1)$$

여기서 P_{IN} 은 입력 광 power, T_1 은 첫번째 반사면의 투과율, δ 는 간섭계내에서의 왕복 광손실이다. 그리고 ϕ 는 간섭계에서의 왕복 광위상차로서

$$\phi = \frac{4\pi nL\nu}{c} \quad (2)$$

와 같다^[8]. n 은 간섭계의 유효 굴절률, L 은 두 반사면 사이의 거리, ν 는 광주파수이고 c 는 진공에서의 빛의 속도로 약 3×10^8 m/sec이다.

식 (1)에서 두 반사면 사이의 거리가 수 cm이내로 작은 경우, 간섭계 내에서의 왕복 광손실이 무시($\delta \approx 0$)될 수 있으므로 식 (1)로 부터 다음 식과 같이 나타

낼 수 있다.

$$R = \frac{P_R}{P_{IN}} = \frac{R_1 + R_2 (T_1 - R_1)^2 + 2\sqrt{R_1 R_2} (T_1 - R_1) \cos \phi}{1 + R_1 R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2} \cos \phi} \quad (3)$$

또한 두 반사면의 반사율 R₁ 및 R₂가 각각 1보다 훨씬 작다는 조건을 만족시키고, 반사면 내에서의 광손실이 무시될 수 있다면

$$R = R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2} \cos \phi \quad (4)$$

와 같이 간략화 될 수 있다.

식 (4)에서 본 바와 같이 입력 광 power와 출력 광 power의 비 R은 왕복 광위상차 ϕ 의 값에 따라 다음과 같은 반복된 값을 갖게 된다.

$$R = R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2}, \quad \phi = (2m)\pi \quad (5)$$

$$R = R_1 + R_2, \quad \phi = \frac{(2m+1)}{2} \pi \quad (6)$$

$$R = R_1 + R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2}, \quad \phi = (2m+1)\pi \quad (7)$$

여기서 m = 0, 1, 2, 3 ... 인 정수이다. 따라서 반사광 출력은 왕복 광위상차 ϕ 의 변화에 따라 달라지게 된다.

이러한 광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 센서 분야에 응용할 경우 왕복 광위상차 ϕ 의 인자인 n, L, ν 의 변화를 이용하여 주위 환경의 변화(온도, 압력, 응력 등)를 감지할 수 있다. 이 경우 각 인자의 변화에 따른 왕복 광위상차는 다음과 같다.

$$\phi = \phi_0 + \Delta\phi_L + \Delta\phi_\nu + \Delta\phi_T \quad (8)$$

여기서,

$$\Delta\phi_L = \frac{4\pi\nu n}{c} \Delta L \quad (9)$$

$$\Delta\phi_\nu = \frac{4\pi L}{c} (n + \nu \frac{dn}{d\nu}) \Delta\nu \quad (10)$$

$$\Delta\phi_T = \frac{4\pi L}{c} (L \frac{dn}{dT} + n \frac{dL}{dT}) \Delta T \quad (11)$$

이다.

광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 온도센서에 응용할 경우를 예를들면, 광섬유의 재질인 용융실리카의 경우, 20~30℃의 영역에서는 $1/L \times dL/dT$ 는 $5 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 이고, $dn/dT = 1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}^{[3]}$ 정도로 나타남으로 온도의 변화에 따른 n의 변화분이 주된 성분이 되어 간섭계의 반사광 출력의 위상은 변화하게 된다. 따라서 출력광의 위상차를 측정하여 온도의 변화를 감지할 수 있게 된다.

III. TiO₂ 반사막의 형성 및 물리적 특성

광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 반사막 형성을 위해 e-beam evaporator(Varian 841, USA)와 RF magnetron sputter(Apex, Korea)를 이용하여 반사막의 증착물, 굴절률, 두께 등을 α -step(Tencor Co., Alpha-step 100, USA) 및 ellipsometer(Gaertner Co., L116B, USA)로 조사하였다. 그리고 TiO₂ 막의 원소 조성을 알아보기 위해 표면 AES(Auger electron spectroscopy, Perkin Elmer Co. ϕ -660, USA) 분석을 하였으며, 막의 표면을 깊이방향으로 약 20Å/min로 식각하면서 그 원소의 조성을 AES 분석하였다. 또한 반사광 전력은 광학시스템을 이용하여 디지털 스토리지 오실로스코프(Gould 400 series, USA)로 측정하였다.

절연물질인 광섬유 위에 증착된 TiO₂ 막막은 두께, 증착물, 원소조성 등을 직접 측정하기 어렵기 때문에 시료로서 P-type (100) 실리콘 웨이퍼를 사용하였다.

1. e-beam evaporator를 이용한 TiO₂ 막막의 증착

e-beam evaporator에 사용될 정제(tablet)는 순도 99.99%의 TiO₂ 분말(Aldrich, USA)을 다이스로 약 2톤 가량 압착한 후, O₂ 분위기, 400℃에서 1시간 열처리하여 제조하였다. e-beam evaporator를 사용하여 TiO₂막막을 형성하기 위한 증착조건은 표 1에서와 같다.

표 1. e-beam 증착기를 이용한 TiO₂ 박막의 증착 조건.

Table 1. Deposition conditions of TiO₂ film by e-beam evaporator

Deposition parameters	Range
voltage	3000 V
current	10 mA
vacuum	10 ⁻⁵ torr
time	15 ~ 20 min
O ₂ pressure	1×10 ⁻¹ ~ 2.5×10 ⁻⁴ torr
fiber-to-tablet distance	12.5 cm

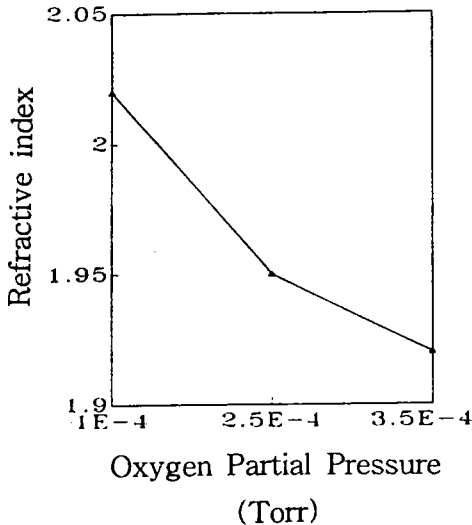


그림 2. e-beam 증착법에 의해 증착된 TiO₂ 박막의 산소분압에 따른 굴절률의 변화.

Fig. 2. Dependence of refractive indices the TiO₂ thin film by e-beam evaporator on oxygen partial pressure

그림 2는 표 1 과 같은 조건으로 증착된 TiO₂ 박막의 산소분압에 따른 굴절률의 변화를 나타낸 것으로 산소분압이 낮을수록 굴절률은 커지는 경향을 나타내었다. 이는 산소 분압이 낮을수록 증착된 박막의 Ti와 O의 원소조성비에서 O의 결핍에 의한 것으로 생각된다.

산소분압이 2.5×10⁻⁴인 조건에서 증착된 TiO₂박막의 조성비를 깊이 방향으로 AES 조사한 결과 그림 3과 같이 Ti와 O의 조성비가 1:2인 화학양론적인 조성이

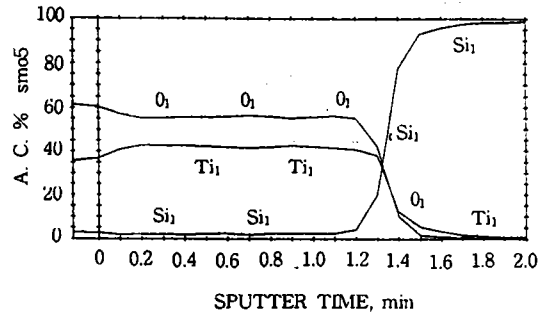


그림 3. e-beam 증착법에 의해 증착된 TiO₂ 박막의 AES 깊이 방향의 분석

Fig. 3. AES depth profile of the TiO₂ thin film deposited by e-beam evaporator

표 2. RF magnetron sputtering법을 이용한 TiO₂ 박막의 제조조건

Table 2. Deposition conditions of TiO₂ thin film deposited by RF magnetron sputter

Deposition parameters	Range
RF power	80 W ~ 140 W
working pressure	5 mtorr
Ar gas	4 sccm
fiber-to-target distance	8.5 cm
sub. temperature	ambient
thickness	800 ~ 2000 Å

이루어지지 않고 산소결핍 현상이 나타났다. 이는 타겟으로 쓰이는 정제의 제조 공정에서 생기는 순도의 저하와 낮은 진공도 그리고 O₂의 휘발특성 등에 의한 것으로 생각된다.

2. RF magnetron sputtering 장치를 이용한 TiO₂ 박막의 증착

RF magnetron sputtering 장치를 사용하여 광섬유 단면에 TiO₂ 박막을 형성하기 위한 증착조건은 표 2에서와 같다. 이때 사용한 타겟은 TiO₂(Cerac, USA)로 직경 3인치, 순도 99.998 %였다.

그림 4는 RF 전력에 따른 증착된 박막의 굴절률 및 증착률을 나타낸 것이다. RF 전력이 증가함에 따라 증착률은 증가하였다. 또한 굴절률은 2.36~2.48 정도

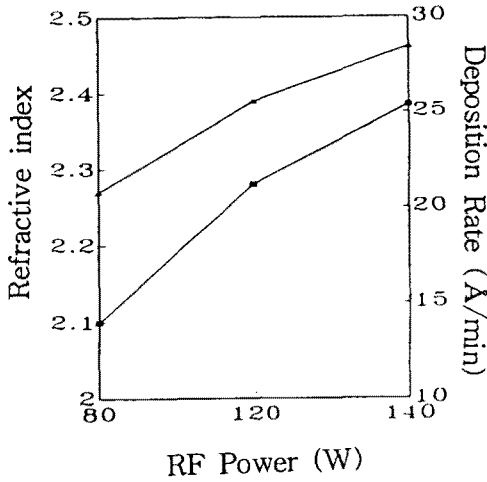


그림 4. RF magnetron sputtering법을 이용하여 증착된 TiO₂ 박막의 RF 전력에 따른 굴절률과 증착률의 변화

Fig. 4. Dependence of refractive indices and deposition rate of the TiO₂ thin film deposited by RF magnetron sputter on RF power.

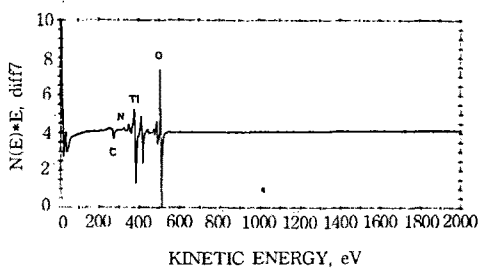


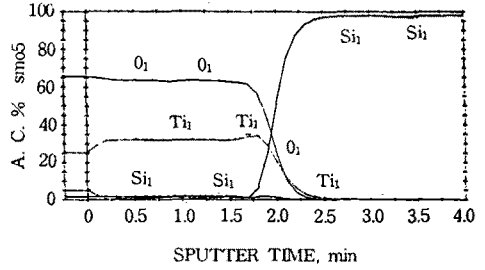
그림 5. RF magnetron sputtering법을 이용하여 증착된 TiO₂ 박막의 AES 표면 분석.

Fig. 5. AES surface spectrum of the TiO₂ thin film deposited by RF magnetron sputter.

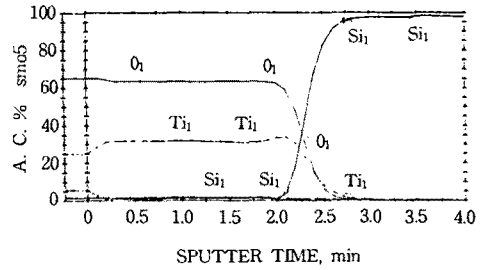
로 RF 전력에 따라 증가하였다.

TiO₂ 박막 표면의 AES 분석 및 깊이방향으로의 AES 분석결과를 그림 5와 그림 6에 각각 나타내었다. TiO₂ 박막을 표면분석한 결과 증착된 TiO₂ 막내에 미량의 C와 N이 포함되어 있음을 알 수 있다. 그림 6에서와 같이 증착된 TiO₂ 박막은 RF 전력에 거의 무관하게 O/Ti의 비가 화학양론적인 조성비인 2에 거의 근접하게 나타났다.

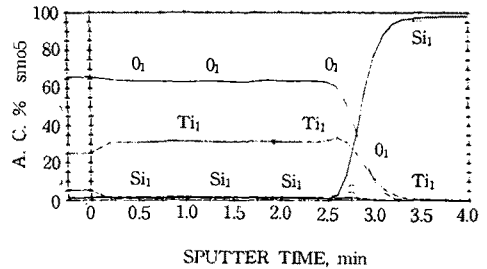
이상의 결과로 보아 RF magnetron sputter장치를



(a) 80W RF power



(b) 120W RF power



(c) 140W RF power

그림 6. RF magnetron sputtering법으로 증착된 TiO₂ 박막의 AES 깊이 방향 분석

Fig. 6. AES depth profiles of the TiO₂ thin film deposited by RF magnetron sputter.

사용하여 증착된 TiO₂ 박막은 e-beam evaporator를 사용하여 증착된 박막에 비해 굴절률 및 O/Ti의 조성비에서 매우 우수한 특성을 나타내어, 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 반사막으로 적합할 것으로 생각된다.

IV 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 제조 및 특성

1. 광섬유 단면에 형성된 TiO₂ 반사막의 특성

광섬유 선로내에 광 반사막을 형성하기 위해 RF

magnetron sputtering 장치를 사용하여 광섬유 단면에 TiO₂ 박막을 형성한 후 이를 수직 절단된 광섬유와 용융접합하였다.

용융접합 횟수에 따른 TiO₂ 반사막의 광반사 특성을 조사하기 위해 그림 7과 같은 시스템을 사용하였다. 사용된 광원은 출력과장이 1.3 μm인 레이저 다이오드와 이의 온도 의존성을 보상하기 위한 서미스터(thermister) 및 열전냉각기(thermoelectric cooler)가 내장된 레이저 모듈(Lasertron Co., QLM 3S855, USA)이다.

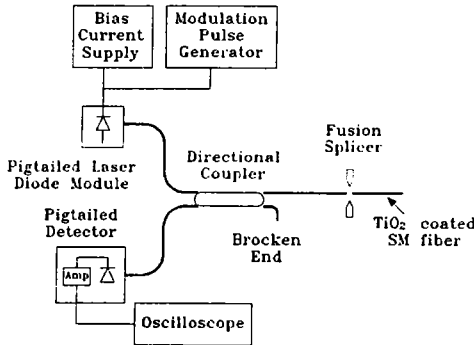


그림 7. 광반사 특성을 측정하기 위한 시스템.
Fig. 7. A measurements system for optical reflection power.

표 3. 용융접합 조건
Table 3. Fusion conditions of fusion splicer.

Fusion parameters	Range
time	0.5 sec
autofeed	20 μm
fusing current	8.5 mA

용융접합조건은 표 3과 같으며, 용융접합기로는 Siecor사의 model M 91을 사용하였다.

그림 8은 RF 전력이 각각 80 W, 120 W, 140 W인 조건에서 광섬유 단면에 형성된 TiO₂ 박막을 용융접합했을 때 용융접합 횟수에 따른 광반사 특성의 변화를 조사한 것이다. 이때 이론적으로 광 반사율이 약 3.4 %인 수직 절단된 광섬유와 공기와의 경계면에서 반사광 전력은 0.4 V로 나타났으며, 이는 입사광 전력에 따라 다르게 나타난다.

그림 8 (a)와 (c)는 각각 RF 전력이 80 W, 140 W인 조건에서 증착된 TiO₂ 반사막의 용융접합 횟수에

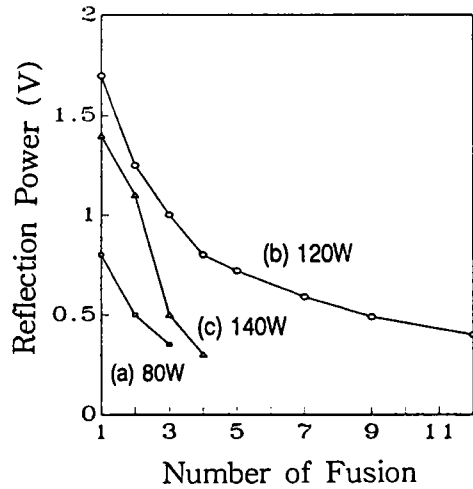


그림 8. 용융접합 횟수에 따른 TiO₂ 반사막의 반사광 전력의 변화
Fig. 8. Dependence of reflection power of the TiO₂ mirror on the number of fusion splicing.

따른 반사광 전력의 변화를 나타낸 것으로 용융접합을 3회와 4회 반복했을 때 반사광 전력은 급격히 감소하여 반사율이 약 3.4 %인 0.4 V로 나타났다. 그림 8(b)는 120 W의 RF 전력에서 증착된 TiO₂ 반사막을 사용한 것으로 반사광 전력은 서서히 감소하여 용융접합을 12회 반복하였을 때 0.4 V로 감소하였다.

광섬유 선로내에 TiO₂ 광반사막 형성시 RF 전력이 120W 인 조건에서 증착된 박막을 사용하였을 때 광 반사율이 가장 크게 나타났으며, 용융접합시 반사율의 변화가 가장 완만하여 반사율의 조절이 용이함을 알 수 있었다.

2 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 제조 및 특성

그림 9는 진성 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 제조 공정도이다. 이때 사용된 광섬유는 Corning사의 단일 모드 광섬유이다. 먼저 광섬유의 피복제를 제거한 후 cleaver(fiber cutter : Siecor, FBC-005, Germany)를 사용하여 광섬유를 수직 절단하고(a), 절단된 광섬유의 단면에 반사면을 형성하기 위해 RF magnetron sputtering 장치를 이용하여 TiO₂ 박막을 증착하였다(b). TiO₂가 코팅된 광섬유의 코어와 수직 절단된 광섬유의 두코어를 정렬한 후 용융접합기로 용융접합 하

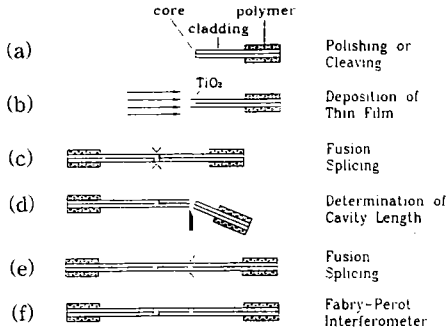


그림 9. 진성 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 제조 공정도.

Fig. 9. Fabrication process of intrinsic fiber optic Fabry-Perot interferometer.

였다(c). 이때 아크용접을 위해 흘려주는 용융시간, 용융전류 그리고 용융횟수에 따라 반사면의 반사율은 변하게 되어 이를 이용하여 첫번째 반사면의 반사율을 결정하게 된다. 첫번째 반사면을 형성한 후 두번째 반사면을 형성할 위치에 cleaver를 사용하여 수직 절단한(d) 다음 (c)에서와 같이 다시 TiO₂가 코팅된 광섬유와 정렬한 후 용융접합하여 두번째 반사면을 형성하여(e), Fabry-Perot 간섭계를 제조하였다(f).

그림 10은 그림 7과 같은 시스템을 사용하여 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 제조 순서에 따라 각각 나타난 출력신호이다. 이때 간섭계 제조시 사용된 TiO₂ 반사막의 형성조건은 표 2와 같으며 RF 전력은 120W이다.

그림 10(a)는 광섬유를 수직 절단한 단면에서의 반사광 출력을 나타낸 것이다. 용융접합기로 반복하여 그림 10(b)처럼 반사율이 약 3.4% 인 0.3V의 출력전압이 될 때까지 용융접합하여 첫번째 반사막을 형성시킨 후 이 반사막으로부터 2cm 떨어진 위치에 두번째 반사막을 형성시켜 Fabry-Perot 간섭계를 제조하였다. 그림 10(c)는 제조된 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 출력 신호로서 첫번째 반사막에서 반사된 광과 두번째 반사면에서 반사된 광이 서로 간섭을 일으켜 나타남 파형이다.

그림 11은 그림 7에서와 같은 측정시스템을 사용하여 레이저 다이오드를 톱니파로 변조했을 때 나타남 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 출력신호이다. 시간에 따라 전력이 증가하는 광이 두 반사면에서 각각 반사

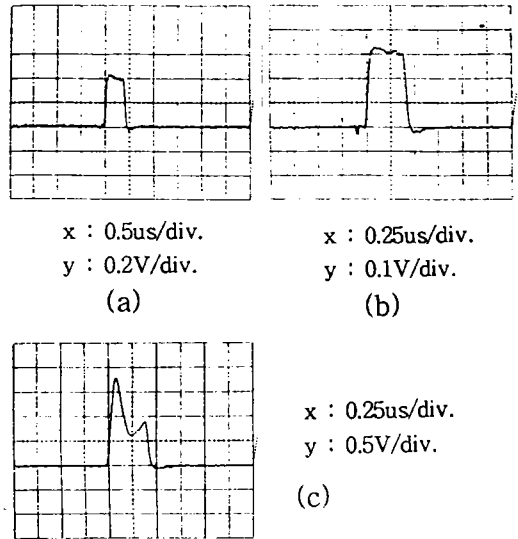


그림 10. 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 제조 순서에 따라 나타난 출력파형.

- (a) 광섬유 단면
- (b) 첫번째 반사막
- (c) Fabry-Perot 간섭계

Fig. 10. Output waves of the Fabry-Perot interferometer according to the fabrication sequence.

- (a) optical fiber end mirror
- (b) first reflection mirror
- (c) Fabry-Perot interferometer

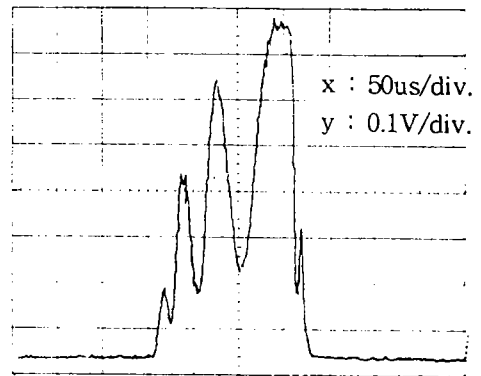


그림 11. 레이저 다이오드를 톱니파로 구동했을때의 Fabry-Perot 간섭계의 출력 파형.

Fig. 11. The output wave of the Fabry-Perot interferometer using saw-tooth wave modulated laser

되어, 서로 간섭을 일으켜 톱니파 형태의 우수한 공간 섭 파형을 나타내었다.

광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 센서에 응용할 경우 신호처리를 위해 어떤 형태의 신호로 레이저 다이오우드를 변조시킬 경우에도 간섭계의 출력파형은 안정하게 나타남을 알 수 있었다.

V. 결 론

고 감도의 광섬유 간섭형 센서 중의 하나인 광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 제조하기 위해 광섬유 선로 내에 RF magnetron sputtering법으로 TiO_2 반사막을 형성하고 그 물리적 및 광학적인 특성을 조사하였으며 이를 바탕으로 광섬유 선로내에 두 반사막을 가지는 진성 광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 제조하였다. e-beam 증착법과 RF magnetron sputtering법으로 각각 TiO_2 박막을 형성하여 특성을 조사한 결과 RF magnetron sputtering법으로 제조된 TiO_2 박막이 굴절률은 2.36~2.48 정도, O/Ti의 원소조성비 면에서도 거의 2 정도로 우수한 특성을 보였다.

광섬유 선로내에 용융접합법을 이용하여 TiO_2 반사막 형성시 RF전력이 120 W인 조건에서 증착된 박막이 반사광 전력이 가장 크게 나타났으며, 우수한 반사율 조절특성을 보였다. 이러한 조건에서 형성된 TiO_2 반사막을 가진 Fabry-Perot 간섭계를 제조하였으며, 이를 구형파 및 톱니파로 레이저 다이오우드를 변조 구동하였을 경우에도 매우 안정된 광 간섭파형을 얻을 수 있었다.

광섬유 선로내에 RF magnetron sputtering법으로 증착된 TiO_2 반사막을 가진 Fabry-Perot 간섭계는 온도, 압력, 응력 등의 다양한 센서에 응용할 경우 고정도의 우수한 감지특성을 나타낼 수 있을 것이므로 군사 및 항공산업 뿐만아니라 정밀계측이나 산업자동화 분야에 크게 기여 할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] L. C. Gunderson, "Fiber Optic Sensors," *Optics News*, pp. 43-44, 1989.
- [2] F. Bucholtz, A. M. Yurek, "Fiber Interferometric Sensors : Technology and Applications," *Optics News*, 1989.
- [3] C. E. Lee, J. J. Alcoz, Y. Yeh, W. N. Gilber, R. A. Atkins, and H. F. Taylor, "Optical fiber Fabry-Perot sensor for smart structures." *Smart Mater. Struct.*, 1, pp.123~125, 1992.
- [4] Lagakos N., Litovitz T., Macedo P., Mohr R., and Meister R., "Multimode Optical Fiber Displacement Sensor," *Applied Optics*, vol. 20, no. 2, pp. 167~168, 1981.
- [5] C. E. Lee, R. A. Atkins, and H. F. Taylor, "Performance of a Fiber-Optic Temperature Sensor from -200 to 1050°C," *Optics Letters*, vol. 13, no. 11, pp. 1038~1040, 1988.
- [6] X. Fang, A. Wang, R. G. May, K. A. Murphy, R. O. Claus, "Reciprocal-compensated fiber optic electric current sensor," *Tenth International Conference on optical fiber sensors, SPIE*, pp. 427~429, 1994.
- [7] 김영수, 신건학, 전병철, "광섬유 온도센서를 위한 InP의 광학적 특성연구," *센서학회지*, vol. 3, no. 3, pp. 36~44, 1994.
- [8] C. E. Lee and H. F. Taylor, "Interferometric Optical Fibre Sensors using Internal Mirrors," *Electronics Letters*, vol. 24, no. 4, pp. 193-194, 1988.
- [9] S. C. Lin, T. G. Giallorenzi, "Sensitivity Analysis of the Sagnac-effect Optical-fiber Ring Interferometer," *Applied Optics*, vol. 18, no. 6, 1979.

 著 者 紹 介

박 동 수

『센서학회지 제4권 제2호』 논문 95-4-2-04, p.28 참조
 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정.

김 명 규

『센서학회지 제4권 제2호』 논문 95-4-2-04, p.28 참조
 현재 경북대학교 전자공학과 대학원 박사과정.

김 창 원

『센서학회지 제4권 제2호』 논문 95-4-2-04, p.28 참조
 현재 경북대학교 센서기술연구소 연구원.

이 정 희

『센서학회지 제4권 제2호』 논문 95-4-2-04, p.28 참조
 현재 경북대학교 전자·전기공학부 조교수.

강 신 원

『센서학회지 제4권 제1호』 논문95-4-1-05, p.34참조.
 현재 경북대학교 센서기술연구소 전임강사.

손 병 기

『센서학회지 제1권 제1호』 논문92-10, p.92 참조.
 현재 경북대학교 전자·전기공학부 교수, 센서기술연구소장.