

논문 98-7-3-01

유전체 박막을 이용한 다이아프램형 광섬유 Fabry-Perot 간섭계 압력센서의 특성
김명규*, 유양욱**, 권대혁***, 이정희****, 김진섭****, 박재희****, 채용웅****, 손병기****

Characteristics of A Diaphragm-Type Fiber Optic Fabry-Perot Interferometric Pressure Sensor Using A Dielectric Film

M. G. Kim*, Y. W. Yoo**, D. H. Kwon***, J. H. Lee****, J. S. Kim****,
J. H. Park****, Y. Y. Chai****, and B. K. Sohn****

요 약

$\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4(\text{N/O/N})$ 다이아프램과 결합된 고감도의 광섬유 Fabry-Perot 압력센서를 개발하여 스트레인 및 그 응답특성을 조사하였다. 먼저, 44 wt% KOH 수용액을 이용한 실리콘 이방성식각기술로 600 nm 두께의 N/O/N 다이아프램을 제조하였으며, 제조된 다이아프램과 광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 결합하여 광섬유 압력센서를 구성하였다. 단일모드 광섬유(SMF)내에 TiO_2 유전체 박막을 용융접합하여 공극의 길이가 약 2 cm인 광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 제작하였다. 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 한쪽 끝은 N/O/N 다이아프램과 결합하였으며, 나머지 한쪽을 3 dB 광결합기를 통해 광측정장치에 연결하였다. $2 \times 2 \text{ mm}^2$ 및 $8 \times 8 \text{ mm}^2$ 크기의 N/O/N 다이아프램에 대해 응답특성을 조사한 결과, 각각 약 0.11 rad/kPa과 1.57 rad/kPa의 압력감도를 나타내었으며, 선형오차는 0.2 %FS이내였다.

Abstract

The strain characteristics of a fiber optic Fabry-Perot pressure sensor with high sensitivity using a $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ (N/O/N) diaphragm is experimentally investigated. A 600 nm thick N/O/N diaphragm was fabricated by silicon anisotropic etching technology in 44 wt% KOH solution. An interferometric fiber optic pressure sensor has been manufactured by using a fiber optic Fabry-Perot interferometer and a N/O/N diaphragm. The 2 cm length fiber optic Fabry-Perot interferometers in the continuous length of single mode fiber were produced with two pieces of single mode fiber coated with TiO_2 dielectric film utilizing the fusion splicing technique. The one end of the fiber optic Fabry-Perot interferometer was bonded to a N/O/N diaphragm, and the other end was connected to an optical setup through a 3 dB coupler. For the N/O/N diaphragm sized $2 \times 2 \text{ mm}^2$ and $8 \times 8 \text{ mm}^2$, the pressure sensitivity was measured 0.11 rad/kPa and 1.57 rad/kPa, respectively, and both of the nonlinearities were less than 0.2% FS.

* 한국전자통신연구원 반도체단(Semiconductor Div., ETRI)

** (주) 메타텍(Metatech co.)

*** 경일대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Eng., Kyungil Univ.)

**** 경북대학교 전자전기공학부(School of Electronic & Electrical Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

***** 인제대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Eng., Inje Univ.)

***** 계명대학교 컴퓨터전자공학부(Dept. of computer & Electronics Eng., Keimyung Univ.)

<접수일자 : 1997년 8월26일>

1. 서 론

압력센서는 기본적인 물리량의 하나인 압력을 감지해서 전기적인 신호로 변화시키는 감지소자로서 가전 제품을 비롯하여 자동차, 생체공학용 의료기, 환경제어와 산업체의 대규모 시스템제어 등에 광범위하게 응용되고 있다. 최근에는 시스템 자동화의 증가에 따라 효율적인 제어를 위해 감지부의 고감도를 요구하는 압력

센서가 요구되고 있다. 현재 주로 사용되고 있는 전기적 신호방식의 압력센서에서는 미소압력의 측정이 힘들고 원격측정에 있어서 전력공급이 어려울 뿐만 아니라 신호전송시 잡음의 영향을 심하게 받는다. 이에 비해 광섬유 압력센서는 광섬유 자체가 절연성을 가지고 신호전송로 역할을 겸할 수 있으며, 또한 주위의 전자장 및 열악한 환경(고압, 고온 및 부식...) 등에 의한 영향을 받지 않을 뿐만 아니라 높은 정밀도 및 빠른 응답특성을 나타낸다. 따라서 이들 광섬유 압력센서는 국방, 항공, 의료, 산업 등의 광범위한 분야에서 그 연구가 활발히 진행되고 있다^[1-5]. 광간섭에 의한 위상변화를 이용하는 광섬유센서는 J. A. Bucaro 등^[6]에 의해 최초로 보고되었으며, 사용되는 간섭계의 구조에 따라 여러 가지의 간섭계로 분류할 수 있다^[7-10]. 특히 광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 이용한 광간섭형 광섬유센서의 경우, 감지영역이 정확하게 정의되어 있어 국소 부위에서의 측정이 가능하고 여러지점에서의 동시측정 측면에서도 매우 유리하다. 그 대표적인 예로서 K. Iwamoto 등^[11]은 압력의 변화에 따라 스테인레스 다이아프램의 휨정도가 달라지는 특성을 이용하여 7.9~39.3 MPa의 넓은 측정범위에서 매우 선형적인 감압특성을 나타내는 압력센서를 제작하였으나, 스테인레스 다이아프램을 사용함으로써 넓은 압력범위에서의 측정은 가능하지만, 미소압력 측정이 어렵다는 단점이 있다. 본 논문에서 실리콘 식각기술에 의해 제조된 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ (N/O/N) 다이아프램과 광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 결합시킨 광간섭형 광섬유 압력센서를 제작하여 스트레인 및 그 압력 응답특성을 조사하였다.

II. 실험

N/O/N 박막 형성을 위한 기판으로는 결정면이 (100), 비저항이 2~3 $\Omega \cdot \text{cm}$, 직경이 5 인치, 그리고 두께가 약 610 μm 인 붕소(B)가 도핑된 P형 실리콘 기판을 사용하였다. 먼저 실리콘 기판 위에 N/O/N 박막을 형성하기 위하여, 상층 및 하층의 Si_3N_4 막은 780 $^\circ\text{C}$ 에서 LPCVD방법으로 증착하였고, 중간층의 SiO_2 막으로는 APCVD방법으로 380 $^\circ\text{C}$ 에서 SiH_4 와 N_2O 의 혼합가스 분위기에서 불순물을 도핑하지 않은 LTO를 증착하였다. 이때 3층 유전체 박막에 나타나는 내부 스트레스를 최소화하기 위해서 Si_3N_4 막의 경우는 상층 및 하층

으로 나누어 각각 약 150 nm씩 증착하였고, SiO_2 막의 경우는 상층 및 하층에 있는 실리콘 Si_3N_4 막 사이에 삽입되게 약 300 nm의 두께로 증착하여 샌드위치 구조의 적층박막의 두께가 약 600 nm가 되도록 하였다. 3.2×10^8 Pa의 압축스트레스를 갖는 SiO_2 막과 9.7×10^8 Pa의 인장스트레스를 갖는 Si_3N_4 막으로 각각 구성된 N/O/N 적층박막의 스트레스는 인장성을 나타내었지만, 상호스트레스 상쇄효과로 인하여 스트레스에 의한 다이아프램의 손상은 없었다^[12]. 상기한 공정으로 적층박막을 형성함으로써, 상온에서부터 400 $^\circ\text{C}$ 까지의 온도범위에 걸쳐 기판의 온도변화에 따른 N/O/N 박막에 나타난 스트레스의 변화를 감소시킬 수 있어 비교적 안정된 기계적인 스트레스 특성을 나타내며, 김명규 등^[12]과 F. Volklein^[13]이 보고한 바와 같이 실리콘 기판보다 훨씬 낮은 열전도도를 갖는 N/O/N 박막을 제조할 수 있었다.

상기한 N/O/N 박막을 압력센서에의 압력전달을 목적으로 사용하기 위한 다이아프램의 제조공정을 그림 1에 나타내었다. 건식식각 공정에서 N/O/N 박막의 표면보호 및 N/O/N 박막의 패턴형성을 위해 양각 감광액(AZ1512)을 각각 스펀코팅하였다.

사진식각공정을 마친 후, 기판 뒷면에 있는 150 nm Si_3N_4 막은 100%의 CF_4 가스를 사용하여 각각 건식식각하고, 중간층의 300 nm SiO_2 막은 6:1 BHF로 약 1분간 습식식각하였다. 그 다음 시편들을 44 wt%의

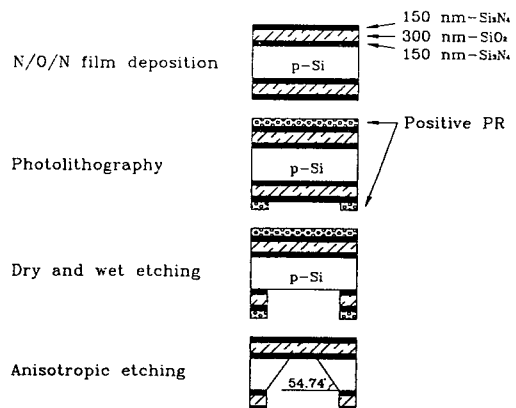


그림 1. N/O/N 다이아프램 제조 공정

Fig. 1. Process sequence for the fabrication of N/O/N diaphragm

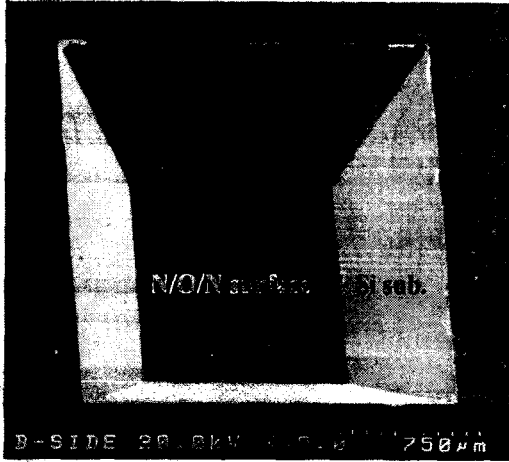


그림 2. 다이아프램의 주사형 전자현미경 사진
Fig. 2. Scanning electron microphotograph of diaphragm.

KOH 수용액으로 약 80 ± 1 °C의 항온조 속에서 약 7시간 동안 이방성식각을 하여 N/O/N 다이아프램을 제조하였다. 이때 실리콘기판의 깊이방향 식각률은 약 1.45 $\mu\text{m}/\text{min}$ 였다.

그림 2는 그림 1의 공정으로 제조한 N/O/N 다이아프램의 뒷면을 촬영한 주사형 전자현미경 사진으로 식각된 실리콘과 N/O/N 박막과의 경계부분이 상당히 깨끗하게 식각되었으며, N/O/N 박막 표면은 잔류 실리콘이 없이 매우 깨끗하게 식각되었음을 알 수 있었다. 또한, 다이아프램은 거의 투명하였고, 1,150 °C로 습식산화를 하기 전과 후에도 다이아프램의 변형의 변화는 거의 나타나지 않았다¹²⁾.

그림 3은 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 제조공정도를 나타낸 것이다. 광섬유 절단기를 사용하여 광섬유를 수직 절단하고(a), 절단된 광섬유의 단면에 반사면을 형성하기 위해 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 TiO_2 박막을 증착하였다. TiO_2 박막이 증착된 광섬유 코어와 수직 단면의 TiO_2 박막이 증착되지 않은 광섬유의 두 코어를 정렬한 후 용융접합기로 접합하였다(c). 이때 아크용접을 위한 용융접합 조건은 용융시간은 0.5초, 용융전류는 8.5 mA, 그리고 자동피이드(autofeed)은 20 μm 로 하였다. 이러한 조건에서 용융접합 횟수에 따라 TiO_2 박막의 반사율을 점차적으로 낮추어 결국 약 9%의 광반사율을 갖는 첫 번째 반사면을 제조하게 된다. 첫 번째 반사면을 형성한 후, 두 번째 반사면을 형성할 위치에서 광섬유 절단기를 사용하

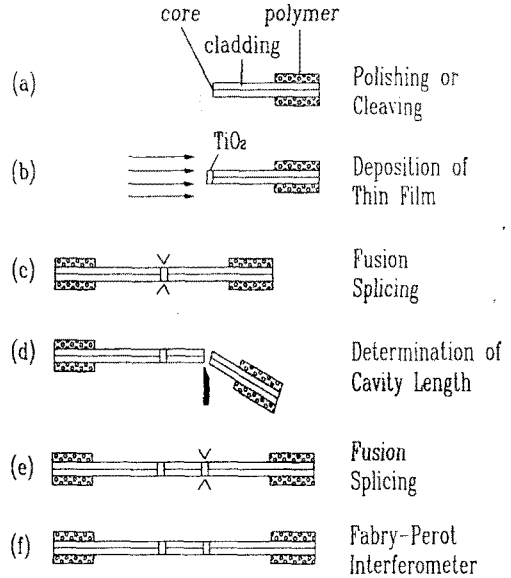


그림 3. 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 제조공정도
Fig. 3. Fabrication process of fiber-optic Fabry-Perot interferometer.

여 수직 절단한다(d). 본 실험에 사용된 광섬유 Fabry-Perot 간섭계는 두 반사면 간의 거리 L이 약 2 cm가 되도록 제조하였다. 사용된 거리 L은 광원의 coherent length이내에 해당하는 길이이다. 그림 3(c)에서와 같이 다시 TiO_2 박막이 코팅된 광섬유와 정렬한 후 용융접합하여 두 번째 반사면을 형성하여(e), 광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 제조하였다(f).

그림 4는 제작된 간섭형 광섬유 압력센서의 제작 과정과 특성측정 과정을 설명하기 위한 그림이다. N/O/N 다이아프램과 광섬유 간섭계를 각각 XYZ-stage 위에 고정시키고, 다이아프램의 중앙에 적당한 UV 접착제(optical adhesive, Norland, USA)를 바른 후 XYZ-stage를 이용하여 간섭계 끝단을 다이아프램의 중앙에 오도록 정렬시킨 뒤 간섭계의 맨 끝이 다이아프램의 중앙부에 접촉되도록 서서히 앞으로 접근시킨다. 이때 최대의 압력감도를 얻기 위해서 UV 접착제와 간섭계의 끝단은 다이아프램의 상하 좌우를 기준으로 한 가운데에 위치하도록 정렬하였다. 마지막으로 UVC 접합램프(splice lamp, model P/N 5200-117V, Norland, USA)를 이용하여 광섬유 Fabry-Perot 간섭계에 UV를 약 5분간 쬐어 N/O/N 다이아프램에 고정 시키게 된다.

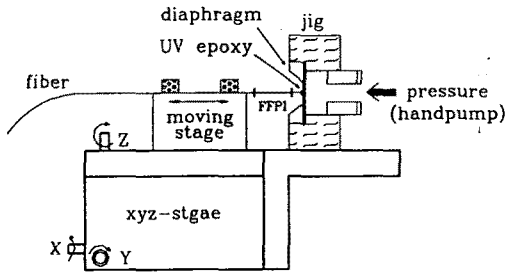


그림 4. 다이어프램형 광섬유 압력센서의 개략도
 Fig. 4. Schematic diagram of a diaphragm-type fiberptic pressure sensor.

III. 측정결과 및 고찰

그림 5는 압력센서의 특성측정을 위한 장치의 개략도로서 사용된 광원(model QLM 3S855-002, Lasertron, USA)은 출력파장이 1.3 μm , 상온에서의 문턱전류가 약 33 mA이며, 온도의존성을 보상하기 위한 서미스터 및 열전냉각기가 내장되어 있으며 단일모드 광섬유와 피그테일(pigtail) 되어있는 레이저 다이오드 모듈이다. 단일모드 광섬유가 pigtail된 광검출기(PIN detector, model RTZ-565-395, PCO, USA)를 3-dB 광섬유 결합기의 한쪽에 연결시키고 다른 한쪽에는 제작된 센서를 연결하였다. 입사광은 3-dB 광섬유결합기를 통하여 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 두 반사면에서 반사되어 광검출기에서 측정된다. 이때 간섭계로부터의 출력파형을 효율적으로 검출하기 위하여 레이저 다이오드는 펄스 구동되며, 간섭계 출력파형의 변화로부터 감지아암의 광경로 변화에 의한 간섭계의 반사율 변화를 감지하게 된다. 핸드펌프를 사용하여 가해지는 압력을 증가

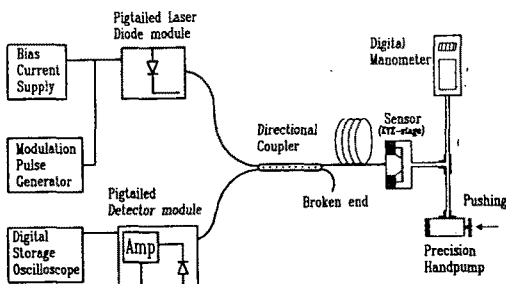


그림 5. 측정장치의 개략도
 Fig. 5. Schematic diagram of measurement setup.

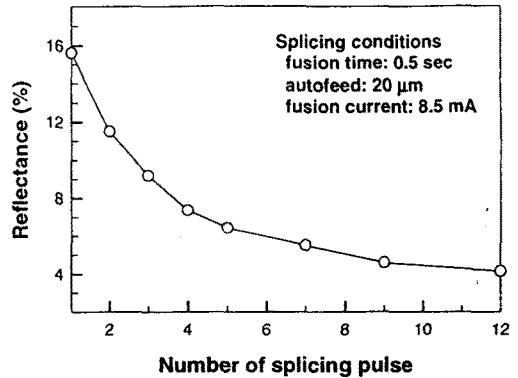


그림 6. 용융접합 횟수에 따른 TiO₂ 박막의 반사율
 Fig. 6. Reflection of the TiO₂ film with the number of fusion splicing pulses.

시킴으로써 센서의 출력특성을 측정하였다. 측정시 주 위온도 및 진동 등에 의한 효과는 고려하지 않았으며, 단일모드 광섬유의 미소밴딩(micro-bending) 효과를 최소화하기 위해 감지 아암의 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 광섬유부분을 제외한 나머지 부분의 광섬유는 테이블위에 고정시킨 상태에서 측정을 행하였다.

그림 6은 광섬유 FP 간섭계의 거울로 사용된 TiO₂ 박막의 용융접합 횟수에 따른 반사율의 변화를 나타낸 것으로 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 형성한 TiO₂ 박막의 굴절률은 약 2.35였으며, 두께는 약 800 Å였다. 이때 박막의 굴절률 및 두께는 엘립소미터로 측정하였다.

TiO₂ 박막의 광반사율은 용융접합 횟수가 증가함에 따라 감소하였으며 광섬유와 공기의 경계면에서의 광반사율인 3.4%에 근접함을 알 수 있다. 이때 아크용접을 위한 용융접합 조건은 간섭계 제조공정을 위해 사용한 조건과 동일하게 하였다. TiO₂ 박막의 광반사율은 약 10%이내에서 조절 가능하였으며, TiO₂ 박막을 사용하여 광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 제작할 수 있었다^[14]. 위의 결과에서 알 수 있듯이, 용융접합 횟수를 적절히 조절함으로써 광검출기에서 감지되는 간섭출력의 변화를 가시도가 최적인 상태로 유지할 수 있게 된다.

광섬유 Fabry-Perot 간섭계 센서의 출력파형은, 펄스구동시 레이저의 발진 주파수 이동현상인 chirping 효과^[15]에 의해 펄스폭 기간동안 변화하며, 외부의 물리적 변화량은 출력파형의 위상변화량 이동정도로부터 측정 가능하다.

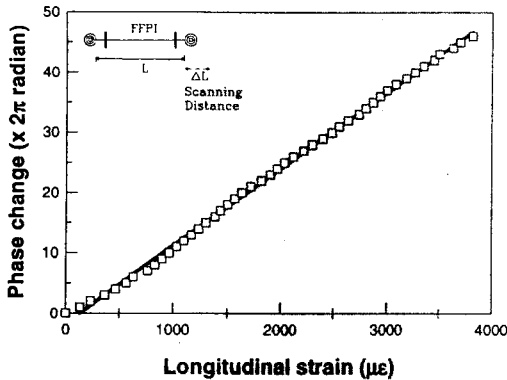


그림 7. 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 스트레인 특성
Fig. 7. Strain characteristics of fiber optic Fabry-Perot interferomer

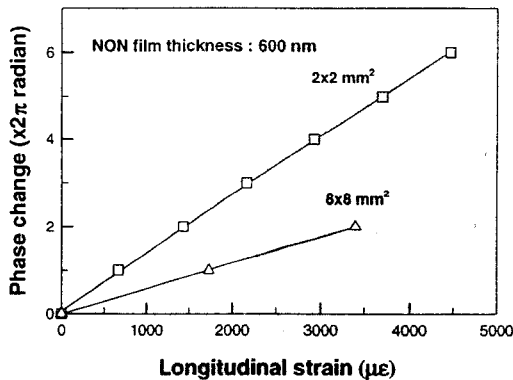


그림 8. 다이아프램식 광섬유 Fabry-Perot 간섭형 압력센서의 스트레인 특성
Fig. 8. Strain characteristics of a diaphragm-type fiber optic Fabry-Perot interferometric pressure sensor.

광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 스트레인 특성을 그림 7에 나타내었다. 약 2 cm 길이의 광섬유 간섭계의 양 끝을 고정시키고 길이방향으로 약 2.5 μm의 인장 스트레스를 인가했을 때, 출력파형이 한 파장 주기(2π)만큼의 위상변화를 나타내었으므로, 한 파장 주기의 위상변화를 얻기 위한 스트레인의 크기(ΔL/L)는 약 83.33 με 였다.

그림 8은 그림 4의 다이아프램식 광섬유 Fabry-Perot 간섭형 압력센서의 스트레인에 대한 특성을 나타낸 것이다. 정사각형의 다이아프램의 크기가 각각 2

× 2 mm와 8×8 mm일 때, 간섭계가 한 파장 주기(2π)만큼의 위상변화를 얻기 위해서 필요한 스트레인의 크기는 각각 약 733 με 와 1730 με 였으며, 따라서 그 감도는 각각 약 8.57 × 10³ rad/με 및 3.67 × 10³ rad/με 으로 측정되었다. 그림 8의 결과로부터 한 파장 주기만큼의 위상변화에 필요한 광섬유 Fabry-Perot 간섭형 압력센서의 스트레인의 크기는 그림 7의 광섬유 Fabry-Perot 간섭계 자체의 스트레인 크기보다 증가되었음을 알 수 있다. 그 이유는 N/O/N 다이아프램이 스트레인에 의한 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 길이변화를 감소시키는 완충층(buffer)의 역할을 하는 것으로 생각된다.

그림 9는 두께 600 nm의 N/O/N 다이아프램을 사용한 압력센서의 다이아프램 크기에 따른 응답특성을 나타낸 것이다. 다이아프램의 크기를 각각 2×2 mm와 8×8 mm로 하였을 때 종축방향의 인가압력에 대한 위상변화특성은 두 경우 모두 약 0.2 %FS 이내의 선형오차를 나타내었다. 다이아프램의 크기가 2×2 mm일 때는 매 57 kPa의 압력변화마다 한 주기의 위상변화를 얻을 수 있었다. 따라서, 다이아프램의 크기가 각각 2×2 mm와 8×8 mm일 때 센서의 압력감도는 각각 약 0.11 rad/kPa 및 1.57 rad/kPa였으며, 대기압(1×10⁵ Pa)이하의 낮은 압력범위에서 우수한 선형특성을 나타내었다. 이상의 응답특성으로 보아, 다이아프램의 크기가 16배 증가할 때 감도는 약 14배 증가하는 것으로 확인되었다.

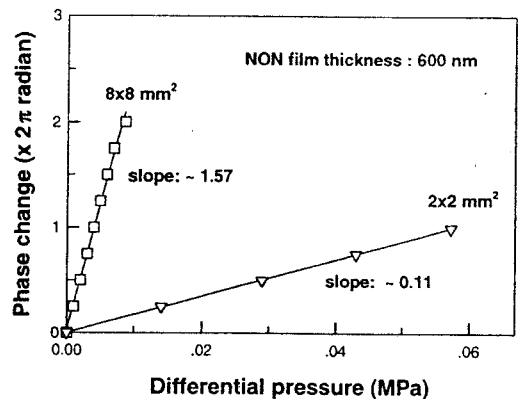


그림 9. 종축방향의 압축 스트레스트하에서의 N/O/N 다이아프램 크기에 따른 압력센서 특성
Fig. 9. Characteristics of a developed pressure sensor on the N/O/N diaphragm size under longitudinal compressive stress.

이상의 결과로부터 알 수 있듯이, 증가하는 다이아프램의 크기에 따라 제조된 센서의 압력감도는 14배에 이르나 스트레인 특성은 압력감도와는 반대로 오히려 1/2배 이하로 떨어진다. 이는 스트레인의 경우, 다이아프램이 작을수록 스트레인 변화에 대해 힘이 작아 광섬유 Fabry-Perot 간섭계의 길이변화를 더욱 쉽게 일으킬 수 있기 때문이다.

IV. 결 론

TiO₂ 박막을 용융접합하여 제작한 광섬유 Fabry-Perot 간섭계와 N/O/N 다이아프램을 결합하여 공간섭형 고감도 광섬유 압력센서를 제작하여 스트레인 특성 및 응답특성을 조사하였다. KOH 수용액으로 이방성 식각한 지지대를 갖는 600 nm 두께의 N/O/N 다이아프램을 제작하고, 여기에 광섬유 선로내에 두 개의 반사막을 가진 2 cm 길이의 광섬유 Fabry-Perot 간섭계를 결합함으로써 압력센서를 구현하였다. 광섬유 단면의 TiO₂ 박막은 10%이하 범위에서 반사율을 쉽게 제어할 수 있었으며, 효율적으로 간섭출력을 검출하기 위하여 레이저 다이오드를 펄스 구동하였다. 정사각형의 다이아프램의 크기를 각각 2×2 mm² 및 8×8 mm²로 달리 하였을 때, 측정된 스트레인 특성은 각각 약 8.57 × 10³ rad/με 및 3.67 × 10³ rad/με였으며, 그 압력감도는 각각 0.11 rad/kPa 및 1.57 rad/kPa로 높게 나타났다. 제작된 센서에 대해 대기압이하의 낮은 압력범위에서 우수한 선형특성을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] E. Singer G. L. Duveneck, M. Ehrat, and H. M. Widmer, "Fiber optic sensor for oxygen determination in liquids," *Sensors and Actuators A*, vol. 41, pp. 542~546, 1994.
- [2] O. Tohyama, M. Kohashi, K. Yamamoto, and H. Itoh, "A fiber-optic silicon pressure sensor for ultra-thin catheters," *Transducers '95*, pp. 596~599, 1995.
- [3] F. W. Cuomo, "Pressure and pressure gradient fiber-optic lever hydrophones," *J. Acoust. Soc. Am.* vol. 73, no. 5, pp. 1848~1857, 1983.
- [4] T. G. Giallorenzi, J. A. Bucaro, A. Dandridge, G. H. Sigel, J. H. Colf, S. C. Tashleigh, and R. G. Priest, "Optical fiber sensor technology," *J. Quantum. Electron.*, vol. QE-18, no. 4, p. 626, 1982.
- [5] Laser & Optronics buying guide, p. 329, 1991.
- [6] J. A. Bucaro and H. D. Dardy, "Fiber optic hydrophone," *J. Acoust. Soc. Amer.*, vol. 62, no. 5, pp. 1302~1304, 1977.
- [7] C. E. Lee and H. F. Taylor, "Interferometric optical fiber sensors using internal mirrors," *Electronics Letters*, vol. 24, no. 4, pp. 193~194, 1988.
- [8] F. Bucholtz A. M. Yurek, "Fiber interferometric sensors: Technology and applications," *Optics News*, vol. 15, no. 11, pp. 20~27, 1989.
- [9] J. Dakin and B. Culshaw, *Fiber optic sensors*, Artech House, pp. 57~64, 1988.
- [10] S. C. Lin and T. G. Giallorenzi, "Sensitivity analysis of the Sagnac-effect optical-fiber ring interferometer," *Applied Optics*, vol. 18, pp. 915~931, no. 6, 1979.
- [11] K. Iwamoto and I. Kamata, "Pressure sensor using optical fibers," *Applied Optics*, vol. 29, no. 3, pp. 375~378, 1990.
- [12] 김명규, 박동수, 김창원, 박진섭, 이정희, 이종현, 손병기, "스트레스 균형이 이루어진 Si₃N₄/SiO₂/Si₃N₄ 유전체 멤브레인의 제작," *센서학회지*, 4권 3호, pp. 51~59, 1995.
- [13] F. Völklein, "Thermal conductivity and diffusivity of a thin film SiO₂-Si₃N₄ sandwich system," *Thin Solid Films*, vol. 188, pp. 27~33, 1990.
- [14] C. E. Lee R. A. Atkins, and H. F. Taylor, "Reflectively tapped optical fiber transversal filter," *Electronics letters*, vol. 23, no. 11, pp. 596~598, 1987.
- [15] Yunhae Yeh, "Development of fiber-optic interferometric temperature sensor system," *Ph D. Dissertation*, Texas A&M University, pp. 24~30, 1991.

著 者 紹 介

김 명 규

『센서학회지 제4권 제2호』 논문 95-4-2-04, p. 28 참조.
현재 한국전자통신연구원 반도체단 Post-doc.

유 양 옥

『센서학회지 제5권 제4호』 논문 96-5-4-01, p. 7 참조.
현재 (주) 메타텍 연구원.

권 대 혁

『센서학회지 제2권 제2호』 논문 93-2-2-04 p.29 참조.
현재 경일대학교 공과대학 전자정보공학과 부교수

이 정 희

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

김 진 섭

『센서학회지 제 4권 제3호』 논문 95-4-3-08, p. 59 참조.
현재 인제대학교 공과대학 전자공학과 부교수.

박 재 희

『센서학회지 제5권 제6호』 논문 96-5-6-01, p. 6 참조.
현재 계명대학교 컴퓨터전자공학부 전임강사.



채 용 응

1958년 8월 16일생. 1985년 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사).
1991년 Oklahoma State University 졸업(공학석사). 1994년 Oklahoma State University 졸업(공학박사).
1985년~1988년 LG 정보통신 PABX 설계팀. 1995년~1996년 삼성전자 통신반도체 설계팀. 1997년~현재 계명대학교 컴퓨터전자공학부 조교수. 주관심분야 : 집적회로설계, 시스템 센서설계, 신경회로망.

손 병 기

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-08, p. 101 참조.
현재 경북대학교 전자전기공학부 교수, 센서기술연구소장.