

논문 96-5-4-01

## 광학적 신호감지의 유전박막 다이아프래임을 이용하는 압력센서

金明奎\*, 柳亮旭\*, 朴東秀\*, 金鎮燮\*\*, 李正熙\*, 孫炳基\*

## Thin dielectric diaphragm pressure sensor with optical readout

Myung-Gyoo Kim\*, Yang-Woog Ryu\*, Dong-Soo Park\*,  
Jin-Sup Kim\*\*, Jung-Hee Lee\* and Byung-Ki Sohn\*

## 요 약

실리콘 미세가공기술로 약 0.6  $\mu\text{m}$  두께의 150 nm-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/300 nm-SiO<sub>2</sub>/150 nm-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 다이아프래임을 실리콘 기판위에 형성하고, 이것과 광섬유를 결합하여 광강도형 압력센서를 제작하였다. 센서의 광원에서 사용하는 파장인 1.3  $\mu\text{m}$  근방에서 다이아프래임의 광투과도는 약 50 %였으나, 다이아프래임에 약 1,000 Å의 금(Au)을 증착하여 다이아프래임의 광투과도를 수 %정도로 감소시킬 수 있어서 이 다이아프래임을 센서의 광반사막으로 사용할 수 있었다. 다이아프래임의 크기를 3 × 3 mm<sup>2</sup>, 4 × 4 mm<sup>2</sup> 및 5 × 5 mm<sup>2</sup>로 각각 변화시켜 제작한 센서에서, 센서의 광출력은 0~77 torr의 측정압력범위에서 인가하는 압력을 증가시킴에 따라 각각 선형적으로 감소하였으며, 이들 센서의 압력감도는 각각 0.52 nW/torr, 0.65 nW/torr 및 0.77 nW/torr로서 다이아프래임의 크기를 증가시킴에 따라 증가하였다.

## Abstract

Optical intensity-type pressure sensor was fabricated by coupling optical fiber with a micromachined thin dielectric diaphragm, which consists of a 300 nm thick SiO<sub>2</sub> layer sandwiched between 150 nm thick top and bottom Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> layers. At the wavelength of the sensor light source near 1.3  $\mu\text{m}$ , the optical transmittance of the diaphragm was about 50 %, but it was decreased to a few percents by depositing 1,000 Å thick gold(Au) layer on the diaphragm, which is sufficient enough to be used as a light reflection layer of the sensor. From the optical output power-pressure characteristics of the sensors, it was found that the output power linearly decreased with increasing applied pressure from 0 to 77 torr regardless of the diaphragm size. The respective sensitivities were 0.52, 0.65, and 0.77 nW/torr for the diaphragm sizes of 3 × 3, 4 × 4, and 5 × 5 mm<sup>2</sup>, indicating that the sensitivity increases as diaphragm size decreases.

## 1. 서 론

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

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

※ 본 연구는 1995년도 센서기술연구소의 연구비  
지원에 의해 수행되었음.

<접수일자 : 1996년 2월 21일>

최근 광통신이 크게 발달하면서 여러가지 종류의 광섬유가 개발되어 이를 응용하기 위한 연구활동이 다양한 분야에서 매우 활발히 진행되고 있다. 지금까지 주로 사용하여온 전기적 신호방식의 압력센서에서는 미소압력의 측정이 힘들고 원격측정에 있어서 전력공

급이 어려울 뿐만 아니라 신호전송시 잡음의 영향을 심하게 받으므로, 이러한 문제점들을 개선하기 위해서는 새로운 방식의 센서가 요구된다<sup>[1,2]</sup>. 광섬유를 응용한 압력센서는 기존의 전기적 신호방식만을 사용하는 센서에 비해 광섬유 그 자체가 신호전송로 역할을 겸할 수 있고 주위의 전자장에 의한 영향을 받지 않으며 내식성도 강할 뿐만 아니라 넓은 범위의 동작 압력에서 높은 정밀도 및 빠른 응답특성을 나타내므로, 국방, 의료진단 및 산업자동화 등의 여러분야에서 광섬유를 응용한 압력센서의 필요성이 급증하고 있다<sup>[3,4]</sup>. 지금까지 다수의 연구자들이 광섬유를 응용한 압력센서에 대한 연구결과를 보고하여 왔으며, 그 대표적인 예로서 Y. Haga 등<sup>[5]</sup>은 광섬유 절단면에 반도체 사진식각공정을 적용한 초소형 광섬유 압력센서의 제작 가능성에 대한 보고를 한 바 있고, 또한 M. A. Chan 등<sup>[6]</sup>은 실리콘 미세가공기술을 이용하여 제작한 광간섭형 광섬유 압력센서에 대해 보고한 바 있다.

본 연구에서는 온도변화에 따른 박막내부에 발생하는 스트레스의 변화가 매우 적고, 압력에 의한 박막의 미소한 휨을 광출력으로 변환시키는 광반사막 역할을 할 수 있는 약 0.6  $\mu\text{m}$ 의  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ (이하 'N/O/N'으로 표시함)구조의 다이아프래임을 실리콘 미세가공기술로 형성하였고<sup>[7]</sup>, 제작한 N/O/N 다이아프래임의 광투과에 의한 광출력의 손실을 줄이기 위해 높은 광반사율을 갖는 금(Au)을 광섬유다발의 절단면과 마주보는 다이아프래임면에 두께 약 1,000 Å으로 증착하였으며<sup>[8]</sup>, 금을 증착한 다이아프래임의 광투과도 측정을 통하여 센서의 광출력을 상당히 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 다이아프래임에 금을 증착하여 제작한 광강도형 압력센서는 0~77 torr의 압력 측정범위에서 압력에 따른 광출력 특성이 우수한 선형성을 나타내었으며, 광투과에 의한 광출력의 손실도 수 %로 줄일 수 있었다. 본 연구결과로부터 향후 압력센서의 특성개선을 위한 센서제작상의 문제점에 대해서도 논의하였다.

## II. 압력센서의 제작

### 1. $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 박막형성

$\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$  3층 박막 형성을 위한 기판으로는 결정면이 (100), 비저항이 2~3  $\Omega \cdot \text{cm}$ , 직경이 5 인치, 그리고 두께가 약 610  $\mu\text{m}$ 인 붕소(B)가 도핑된 P형 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 먼저 실리콘 기판위에

N/O/N 구조의 박막을 형성하기 위하여, 상층 및 하층의 실리콘 질화막은 780  $^{\circ}\text{C}$ 에서 LPCVD방법으로 증착하였고, 중간층의 실리콘 산화막으로는 APCVD방법으로 380  $^{\circ}\text{C}$ 에서  $\text{SiH}_4$ 와  $\text{N}_2\text{O}$ 의 혼합가스 분위기에서 불순물을 도핑하지 않은 LTO를 증착하였다. 이때 3층 구조의 유전체박막 전체에 최종적으로 나타나는 내부 스트레스(internal stress)를 최소화하기 위해서, 실리콘 질화막의 경우는 상층 및 하층으로 나누어 각각 약 150 nm씩 증착하였고, 실리콘 산화막의 경우는 상층 및 하층에 있는 실리콘 질화막사이에 삽입되게 약 300 nm의 두께로 증착하여, 샌드위치 구조로 적층된 박막의 전체 두께가 약 600 nm가 되도록 하였다.

상기한 공정으로 이러한 구조의 적층박막을 형성함으로써, 김명규 등<sup>[7,9]</sup>이 보고한 바와 같이 상온에서 400  $^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위에 걸쳐 기판의 온도변화에 따른 박막에 나타난 스트레스의 변화를 감소시킬 수 있어 기계적인 스트레스가 비교적 안정되고, 또한 F. Völklein<sup>[10]</sup>이 보고한 바와 같이 실리콘 다이아프래임 및 실리콘 기판보다 훨씬 낮은 열전도도를 갖는 N/O/N 박막을 얻을 수 있었다.

### 2. 다이아프래임 및 센서헤더 제작

N/O/N 다이아프래임의 제작공정을 그림 1에 나타내었다. 실리콘 이방성식각과정에서 마스크역할을 하는 기판뒀면 N/O/N 박막의 패턴형성 및 건식식각을 하는 동안 N/O/N 마스크층의 표면보호를 위해 웨이퍼 앞면 및 뒷면에 공히 약 2  $\mu\text{m}$  두께의 양각 감광액을 각각 스펀코팅하였다.

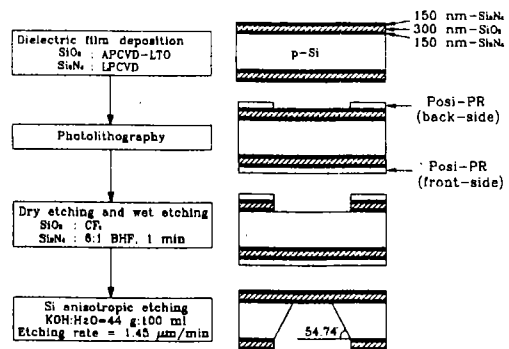
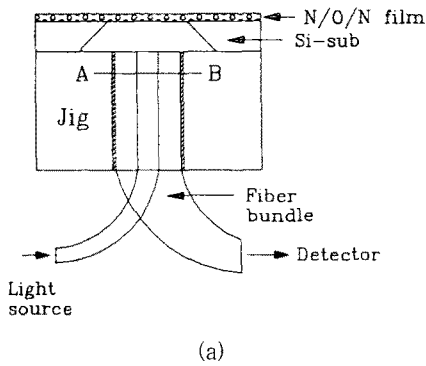


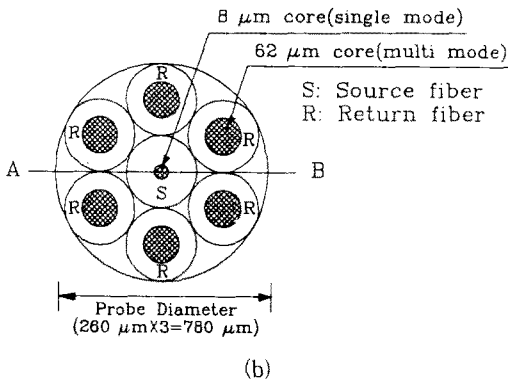
그림 1. N/O/N 다이아프래임의 제작공정

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

사진식각공정을 마친후, 웨이퍼 뒷면의 상층 및 하층에 각각 있는 150 nm-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 막은 CF<sub>4</sub>가스를 사용하여 각각 건식식각하고, 중간층의 300 nm-SiO<sub>2</sub> 막은 6 : 1 BHF로 약 1분간 습식식각하였다. 그 다음 이 시편들을 KOH : H<sub>2</sub>O = 44 g : 100 ml로 혼합된 수용액으로 약 80 °C의 항온조속에서 약 7시간동안 이방성식각을 하여 N/O/N 다이아프래임을 제작하였다. 이때 실리콘기판의 깊이방향 식각율은 분당 약 1.45 μm였다.



(a)



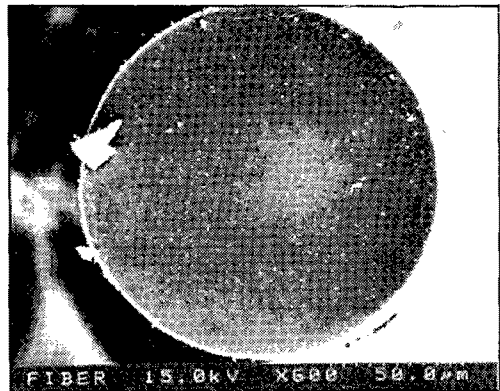
(b)

그림 2. (a) 센서헤더 및 (b) 광섬유 프로브의 단면 개략도

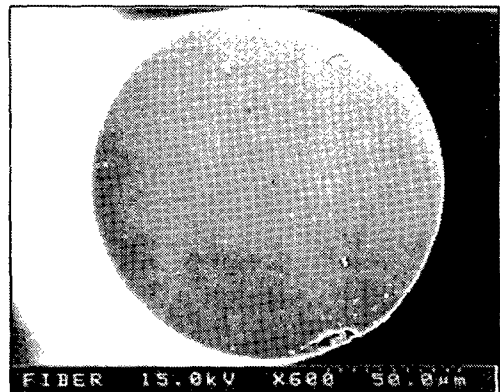
Fig. 2. Cross-sectional schematic diagrams of (a) sensor header and (b) optical fiber probe.

상기한 다이아프래임과 광섬유를 결합하여 제작한 센서헤더와 광신호의 송수신을 담당하는 광섬유 프로브의 단면 개략도를 그림 2에 나타내었다. 광신호의 송수신용 광섬유로 구성된 센서의 프로브는 7 가닥의 광섬유를 압축튜브속에 고정시킨 다발형태로 되어 있다. 프로브의 중앙에 있는 단일모드의 광송신 광섬유는 광섬유 연결기를 사용하여 광원과 연결시켰고, 가장자리

에 있는 다이아프래임에서 반사된 광을 수신하는 6 가닥의 다중모드 광수신 광섬유는 광검출기에 연결하였다. 이때 광섬유다발의 단면과 다이아프래임의 거리는 이들의 정렬을 비교적 용이하게 하기 위해서 본 실험에서 사용한 웨이퍼의 두께와 거의 동일한 610 μm로 하였다. 광섬유다발의 단면과 다이아프래임의 정렬은 주로 수작업에 의해 이루어져 이들의 정렬거리에 대한 신뢰성이 다소 떨어지므로, 광출력 특성의 선형영역중 최대 감도를 나타내는 인가 압력범위에서 센서를 동작시키기 위해서는 센서헤더의 자동정렬기술이 꼭 필요한 것으로 생각된다<sup>[11]</sup>.



(a)



(b)

그림 3. 광섬유 절단면에 대한 (a) 세척전 및 (b) 세척후의 주사형 전자현미경 사진

Fig. 3. Scanning electron microphotographs of the cutting plane in optical fiber (a) before cleaning and (b) after cleaning.

본 연구에서는 다이아프래임 표면에 광을 주고 받는 광섬유 절단면의 평탄도가 센서의 동작특성에 있어서 관건이 되는 매우 중요한 요소가 된다. 왜냐하면 광섬유의 절단면이 평탄하지 않을 경우 광신호를 송수신할 때 산란에 의한 광손실을 초래할 뿐만 아니라, 광섬유 내의 광강도 분포를 균일하게 유지시킬 수 없기 때문이다<sup>[12]</sup>.

광섬유 절단면의 평탄도를 조사하기 위하여 이 절단면에 대한 주사형 전자현미경 사진을 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)는 광섬유를 절단한 직후에 촬영한 SEM 사진으로 절단시 발생한 미세파면들이 광섬유의 절단면에 다수 존재하고 있음을 보여주고 있으나, 이것을 용융접합기(Fusion Splicer: Model M01, Siecor, Germany)의 세척모드에서 순간 세척한 결과 그림 3(b)와 같이 그 면이 상당히 깨끗하고 평탄할 뿐만 아니라 광축과 수직을 이룰 수 있는 광섬유 단면을 얻을 수 있었다.

### III. 특성측정 및 고찰

#### 1. N/O/N 다이아프래임의 광투과 특성

N/O/N 박막의 광투과도를 측정하기 위해 크기가  $8 \times 8 \text{ mm}^2$ 인 다이아프래임을 제작하고, 분광광도계(UV-VIS-NIR Spectrophotometer: Model U-3501, Hitachi, Japan)를 사용하여 파장 200 nm에서 2,000 nm범위에 걸쳐 이것의 광투과도를 측정한 결과를 그림 4에 나타내었다.

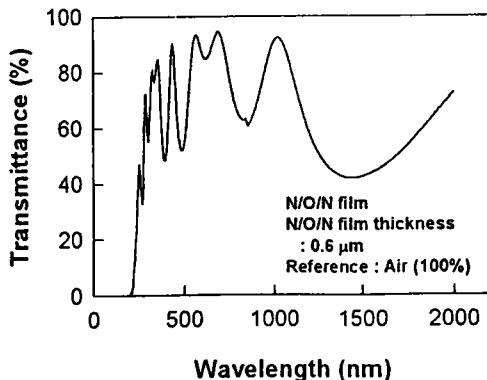


그림 4. N/O/N 다이아프래임의 광투과 스펙트럼  
Fig. 4. Optical transmission spectrum of N/O/N diaphragm.

그림 4에서 광투과 스펙트럼은 자외선, 가시광선 및 근적외선영역에 걸쳐 진동하는 형태로 나타났는데, 이것은 J. A. Dobrowolski 등<sup>[13]</sup>이 보고한 바와 같이 N/O/N 3층 박막의 상층 표면, 3층 박막을 구성하는 각각의 개별 박막들 사이의 계면 및 N/O/N 박막과 실리콘 기판사이의 계면에서 각각 입사광의 위상지연으로 인한 간섭효과때문인 것으로 생각한다. 측정된 대부분의 파장영역에서 다이아프래임의 광투과도는 40~90%였으며, 특히 센서의 광원으로 사용하는 파장 1.3  $\mu\text{m}$  부근에서의 광투과도는 약 50%였다. 따라서 이러한 다이아프래임을 직접 광강도형 압력센서의 광반사막으로 사용할 경우, N/O/N 박막 다이아프래임에서 반사되어 수신단의 광섬유로 되돌아오는 광은 광원에서 공급되는 광강도에 비해 거의 50%가 광투과에 의해 손실됨을 알 수 있었다. 다이아프래임 자체의 광투과특성에 의한 광손실을 감소시켜 광검출기에 수신되는 광강도를 향상시키기 위해 광섬유다발의 절단면과 마주보는 다이아프래임의 표면에 이온빔증착기(Ion Beam Coater: Model IB-3, Eiko, Japan)를 사용하여 약 1,000 Å 두께의 금(Au)을 증착한 후, 이것의 광투과 스펙트럼에 대한 측정결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5가 보여주는 바와 같이 금을 광섬유다발의 절단면과 마주보는 다이아프래임면에 증착하였을 때, 1.3  $\mu\text{m}$ 의 파장 부근에서 광투과에 의한 광손실을 수%까지 줄일 수 있었으며, N/O/N 다이아프래임만을 광반사막으로 사용할 때 발생하는 광손실문제를 해결할 수 있었다.

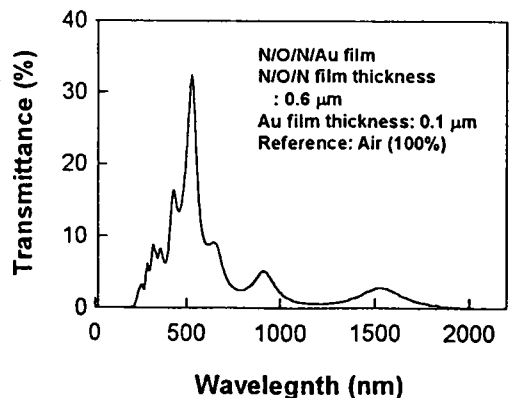


그림 5. 금(Au)을 증착한 N/O/N 다이아프래임의 광투과 스펙트럼  
Fig. 5. Optical transmission spectrum of the Au-deposited N/O/N diaphragm.

2. 광강도형 압력센서의 특성

본 연구에서 제작한 광강도형 압력센서의 압력특성을 조사하기 위한 측정장치를 그림 6에 나타내었다. 여기서 광원(Stabilized Light Source: Model MG921A, Anritsu, Japan)은 파장이  $1.3(\pm 0.02) \mu\text{m}$ 이었고, 광출력이  $-6 \text{ dBm}$  이상이었으며, CW(continuous wave)모드로 구동시켰고, 센서에서 나오는 광출력은 광검출기(Photodetector: Model 261, Graseby Optronics, USA)를 통해 연결된 광전력계(Optical Power Meter: Model 731, Graseby Optronics, USA)를 사용하여 측정하였다. 센서헤드는 유리관속에 지그(jig)로 고정하였고, 또한 누수를 방지하기 위하여 유리관과 지그와의 접촉면을 실리콘고무로 밀봉하였다.

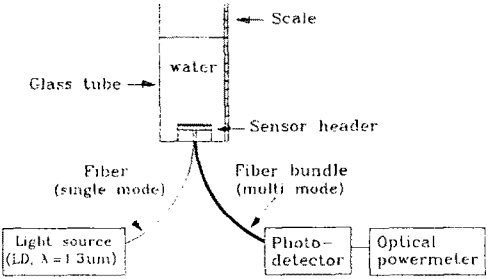


그림 6. 광강도형 압력센서의 광출력-압력특성 측정 장치

Fig. 6. Optical output power-pressure characteristics measurement apparatus of optical intensity-type pressure sensor.

그림 6의 측정장치를 사용하여 물의 높이를 변화시키면서 인가한 압력에 대한 센서의 광출력을 그림 7에 나타내었다. 여기서 차압력(differential pressure)은 유리관속에 있는 물의 높이만에 의해 센서의 다이아프래임에 인가되는 압력이다. 그림 8에서 센서의 다이아프래임에 압력을 가하지 않았을 때 광출력은 다이아프래임의 크기에 따라 각각 다른 값을 나타내었는데, 이것은 광섬유다발의 절단면과 다이아프래임 반사면과의 거리를 압력을 가하지 않았을 때 동일한 광출력이 나타나도록 각각 최적화하여 정렬시키지 못함으로써 발생하는 광출력때문이다<sup>[13]</sup>. 따라서 이러한 현상을 없애기 위해서는 광섬유와 크기가 각각 다른 다이아프래임을 정렬시키는 과정에서 압력을 인가하지 않았을 때

센서의 광출력이 동일하게 나타나도록 광섬유의 절단면과 다이아프래임면과의 거리를 세밀하게 조정하여야 한다.

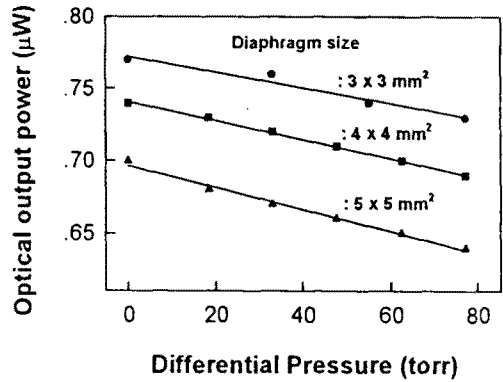


그림 7. 광강도형 압력센서의 광출력-압력특성  
Fig. 7. Optical output power-pressure characteristics of optical intensity-type pressure sensor.

다이아프래임의 크기를  $3 \times 3 \text{ mm}^2$ ,  $4 \times 4 \text{ mm}^2$  및  $5 \times 5 \text{ mm}^2$ 로 각각 변화시켜 제작한 센서의 압력 특성으로서, 다이아프래임의 크기 및 모양이 동일한 경우  $0 \sim 77 \text{ torr}$ 의 측정 압력범위내에서 인가하는 압력을 증가시킴에 따라 센서의 광출력은 각각 선형적으로 감소하였으며, 이들 센서의 압력감도는, 그림 7에서 압력에 대한 광출력이 선형영역인 범위에서 압력변화에 대한 광출력의 변화비를 센서의 압력감도로 정의할 때, 각각  $0.52 \text{ nW / torr}$ ,  $0.65 \text{ nW / torr}$  및  $0.77 \text{ nW / torr}$ 로서 다이아프래임의 크기를 증가시킴에 따라 센서의 감도도 증가하였다. 이때 다이아프래임의 크기가  $5 \times 5 \text{ mm}^2$ 로 제작된 센서의 전체크기는  $1.0 \times 1.0 \text{ cm}^2$ 였다.

IV. 결 론

실리콘 미세가공기술로 온도변화에 대해 내부스트레스가 안정된 약  $6,000 \text{ \AA}$  두께의 N/O/N 다이아프래임을 실리콘 기판 위에 형성하고, 이것과 광섬유를 결합시켜 광강도형 압력센서를 제작하였다. 파장  $200 \text{ nm}$ 에서  $2,000 \text{ nm}$ 범위에 걸쳐 N/O/N 다이아프래임의 광투과도는 대개  $40 \sim 90 \%$ 였고 특히 센서의 광원에서 사용하는 파장인  $1.3 \mu\text{m}$  근방에서의 광투과도가 약  $50 \%$ 로서, 이 다이아프래임은 센서의 광반사막으로 응용

하기 어려울 정도의 큰 광투과도를 나타내었으나, 이러한 문제점을 개선하기 위하여 광섬유다발의 절단면과 마주보는 다이아프레이밍의 반사면에 약 1,000 Å의 금(Au)을 증착하여, 다이아프레이밍 자체의 광투과특성에 의한 반사광의 손실을 수 %로 감소시킬 수 있었다. 다이아프레이밍의 크기를  $3 \times 3 \text{ mm}^2$ ,  $4 \times 4 \text{ mm}^2$  및  $5 \times 5 \text{ mm}^2$ 로 각각 변화시켜 제작한 광강도형 압력센서의 압력특성을 조사한 결과, 다이아프레이밍의 크기 및 모양이 동일한 경우 0~77 torr의 측정압력범위내에서 인가압력의 변화에 따라 센서의 광출력은 각각 선형적인 응답특성을 나타내었으며, 또한 이들 센서의 압력감도는 각각 0.52 nW/torr, 0.65 nW/torr 및 0.77 nW/torr로서 다이아프레이밍의 크기를 증가시킴에 따라 증가하였다.

본 실험에서 측정된 압력범위보다 훨씬 넓은 압력범위에서도 센서 광출력의 선형적인 응답특성을 얻을 수 있을 것으로 생각되며, 광출력의 선형영역에서 센서의 최대감도를 얻기 위해서 뿐만 아니라 인가압력이 없을 때의 광출력을 동일하게 하기 위해서는, 다이아프레이밍과 광섬유다발의 절단면과의 거리를 정확하게 정렬할 수 있는 센서헤드의 제작이 필수적이다. N/O/N 유전체 다이아프레이밍은 본 연구에서와 같이 광신호처리를 위한 광반사막으로의 응용외에도, 실리콘 기판에 비해 매우 낮은 열전도도를 나타낼 뿐만 아니라, 실온에서 약 400 °C의 온도범위에 걸쳐 안정된 스트레스트 특성을 나타내므로, 유체센서, 열변환기, thermopile 및 적외선센서 등에 있어서 센서내부의 열차단(thermal isolation)막으로도 다수 응용되고 있으며, 또한 본 연구에서 제작한 압력센서의 원리는 수위센서(level sensor) 등의 제작에도 응용가능할 것으로 본다.

### 참 고 문 헌

- [1] R. A. Atkins et al., "Fiber-optic pressure sensors for internal combustion engines," *Applied Optics*, vol. 33, no. 7, pp. 1315-1320, 1994.
- [2] K. Fischer et al., "Elastooptical properties of SION layers in an integrated optical interferometer used as a pressure sensor," *J. of Lightwave Tech.*, vol. 12, no. 1, pp. 163-169, 1994.
- [3] O. Tohyama et al., "A fiber-optic silicon pressure sensor for ultra-thin catheters," *Proc.*

- of The 8th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, Transducers '95 - Eurosensors IX*, pp. 596-599, 1995.
- [4] K. Iwamoto and O. Kamata, "Pressure sensor using optical fibers," *Applied Optics*, vol. 29, no. 3, pp. 375-378, 1990.
- [5] Y. Haga et al., "A fiber-optic ultra miniature pressure sensor," *Technical Digest of The 12th Sensor Symposium*, pp. 135-138, 1994.
- [6] M. A. Chan et al., "A micromachined pressure sensor with fiber-optic interferometric readout," *Sensors and Actuators A*, vol. 43, pp. 196-201, 1994.
- [7] 김명규 등, "스트레스균형이 이루어진  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$  유전체 멤베레인의 제작," *센서학회지*, vol. 4, no. 3, pp. 51-59, 1995.
- [8] Optical Coating Laboratory Inc., from the Publishers of Photonics, *The Photonics design and applications handbook*, Book 3, pp. H-366-369, 1994.
- [9] N. A. Winfree et al., "The effects of boundary conditions on implementing the stoney formula for stress measurements," *Proc. of The 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, Transducers '93*, pp. 179-182, 1993.
- [10] F. Völklein, "Thermal conductivity and diffusivity of a thin film  $\text{SiO}_2\text{-Si}_3\text{N}_4$  sandwich system," *Thin Solid Films*, vol. 188, pp. 27-33, 1990.
- [11] B. Culshaw, *Optical fiber sensing & signal processing*, Institution of Electrical Engineers, pp. 73-77, 1984.
- [12] Federico Tosco, *Fiber optic communications handbook*, TAB Professional and Reference Books, pp. 274-278, 1990.
- [13] J. A. Dobrowolski et al., "Practical magnetron sputtering system for the deposition of optical multilayer coatings," *Applied Optics*, vol. 31, no. 19, pp. 3784-3789, 1992.

著 者 紹 介

金 明 奎

『센서학회지 제4권 제2호』 논문95-4-2-04, p.28 참조.  
현재 경북대학교 대학원 박사과정

金 鎮 雙

『센서학회지 제4권 제3호』 논문95-4-3-08, p.59 참조.  
현재 인제대학교 공과대학 전자공학과 조교수.



柳 亮 旭

1972년 4월 26년생, 1995년 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 1995~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주 관심분야: 광섬유 센서, 마이크로 머시닝 등임.

李 正 熙

『센서학회지 제4권 제2호』 논문95-4-2-04, p.28 참조.  
현재 경북대학교 전자전기공학부 조교수.

孫 炳 基

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-10, p.92 참조.  
현재 경북대학교 전자전기공학부 교수, 센서기술연구 소장.

朴 東 秀

『센서학회지 제4권 제2호』 논문95-4-2-04, p.28 참조.  
현재 경북대학교 대학원 박사과정