



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0172946
(43) 공개일자 2023년12월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01D 5/353 (2006.01) G01D 21/02 (2006.01)
G01K 11/3206 (2021.01) G01N 21/41 (2006.01)
G01N 21/43 (2006.01) G01N 33/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01D 5/35316 (2013.01)
G01D 21/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0073732

(22) 출원일자 2022년06월16일

심사청구일자 2022년06월16일

(71) 출원인

조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)

(72) 발명자

권민기
광주광역시 북구 첨단연신로 217 (신용동, 첨단2
지구중흥에스클레스)

안태정

광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)

(74) 대리인

특허법인 남앤남

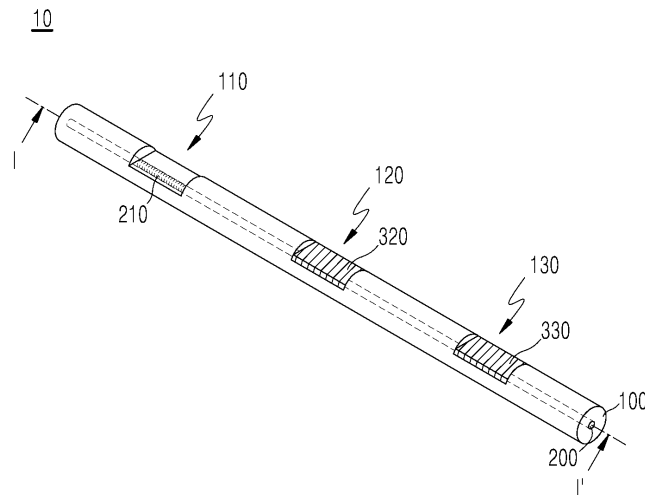
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 광섬유 센서

(57) 요약

본 발명의 광섬유 센서는, 광섬유 브래그 격자(Fiber Bragg Grating, FBG)를 포함하는 온도 센싱부; 제1 코팅층을 포함하는 습도 센싱부; 및 제2 코팅층을 포함하는 CO₂ 센싱부를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01D 5/3537 (2013.01)
G01K 11/3206 (2021.01)
G01N 21/41 (2013.01)
G01N 33/004 (2013.01)
G01N 2021/432 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711160837
과제번호	2020R1F1A1058371
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	광섬유 간섭계를 이용한 실시간 박막 증착율 모니터링 기술 개발
기 여 율	1/3
과제수행기관명	조선대학교 산학협력단
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345349918
과제번호	2016R1D1A1B01013847
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(교육부)
연구과제명	가상현실 구현 디스플레이를 위한 초고속 초소형 LED 연구
기 여 율	1/3
과제수행기관명	조선대학교 산학협력단
연구기간	2022.03.01 ~ 2022.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711172011
과제번호	2022R1F1A1074660
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	실시간 호흡 모니터링을 위한 이차원 나노 소재 연구
기 여 율	1/3
과제수행기관명	조선대학교 산학협력단
연구기간	2022.06.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

광섬유 브래그 격자(Fiber Bragg Grating, FBG)를 포함하는 온도 센싱부;

제1 코팅층을 포함하는 습도 센싱부; 및

제2 코팅층을 포함하는 CO₂ 센싱부를 포함하는 광섬유 센서.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 온도 센싱부, 습도 센싱부 및 CO₂ 센싱부는 D형 광섬유인 것을 특징으로 하는 광섬유 센서.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 습도 센싱부는 D형 광섬유 상에 코팅된 상기 제1 코팅층을 포함하고,

상기 제1 코팅층은 제1 MoS₂를 포함하는 것을 특징으로 하는 광섬유 센서.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 CO₂ 센싱부는 D형 광섬유 상에 코팅된 상기 제2 코팅층을 포함하고,

상기 제2 코팅층은 제2 MoS₂를 포함하는 것을 특징으로 하는 광섬유 센서.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제1 MoS₂ 및 제2 MoS₂는 서로 다른 결함을 포함하는 것을 특징으로 하는 광섬유 센서.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 결함은 공공(vacancy), 자기 침입형 원자(self-interstitial atom), 침입형 불순물 원자(interstitial impurity atom), 및 치환형 불순물 원자(substitutional impurity atom) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 광섬유 센서.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 제1 MoS₂는 불순물 원자를 포함하는 것을 특징으로 하는 광섬유 센서.

청구항 8

제4항에 있어서,

상기 제2 MoS₂는 공공(vacancy)을 포함하는 것을 특징으로 하는 광섬유 센서.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 광섬유 센서는 곡률을 가지는 것을 특징으로 하는 광섬유 센서.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 광섬유 센서는 서포터를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 광섬유 센서.

청구항 11

브래그 격자가 형성된 코어;

상기 코어를 둘러싸는 클래딩; 및

상기 클래딩의 일부가 제거되어 형성된 제1 단면, 제2 단면 및 제3 단면을 포함하고,

상기 제1 단면, 제2 단면 및 제3 단면의 적어도 어느 두 단면은 서로 다른 결함을 포함하는 MoS_2 코팅층을 포함하는 것을 특징으로 하는 광섬유 센서.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 결함은 공공(vacancy), 자기 침입형 원자(self-interstitial atom), 침입형 불순물 원자(interstitial impurity atom), 및 치환형 불순물 원자(substitutional impurity atom) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 광섬유 센서.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 MoS_2 는 Sulfur vacancy를 포함하고,

상기 MoS_2 는 CO_2 를 선택적으로 흡착하는 것을 특징으로 하는 광섬유 센서.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광섬유 기반의 센서에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 기존에 온·습도를 측정하기 위한 센서는 정전용량 방식을 사용하고 있다. 그러나, 다습 환경에서 부식 및 먼지와 같은 오염원에 의해 손상 및 왜곡되기 쉽고 상대적으로 정밀한 측정이 어렵다는 문제가 있다.

[0003] CO_2 센서 중 전기화학식 센서는 선택성이 좋지만 수명이 짧다는 문제가 있고, 광학식 센서는 감도 및 선택성이 우수하며 수명도 길다는 장점이 있다. 그러나, 센서의 크기가 크고 가격이 비싸다는 단점이 있다. 저항형 센서도 활용되고 있으나, 선택성이 낮아 신뢰도가 떨어진다는 단점이 있다.

[0004] 주변의 습한 공기와 센서 물질에 침전되는 벤젠 또는 에틸렌글리콜 등의 휘발성 유기 화합물에 계속 노출되면 센서의 정확도가 낮아진다. 이는 높은 유지보수 비용을 초래한다.

[0005] 이러한 문제를 해결하기 위해, 광섬유 센서가 제안되고 있지만 외부 충격 등에 의해 쉽게 손상되고 진동 등에 의해 신뢰도가 떨어진다는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 따라서 본 발명의 목적은 상술한 문제를 해결하기 위한 것으로, 민감도가 우수하고 응답속도가 빠르며 손상으로 부터 자유로운 광섬유 센서를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기와 같은 본 발명의 목적을 달성하기 위해서,

[0008] 본 발명의 광섬유 센서는, 광섬유 브래그 격자(Fiber Bragg Grating, FBG)를 포함하는 온도 센싱부; 제1 코팅층을 포함하는 습도 센싱부; 및 제2 코팅층을 포함하는 CO₂ 센싱부를 포함한다.

발명의 효과

[0009] 본 발명의 광섬유 센서는 스마트팜의 분산형 센서로 사용될 수 있다. 본 발명의 광섬유 센서는 부식 또는 오염에 자유로우며 전기 잡음이 없고 소형화가 가능하다는 장점이 있다. 또한, 실시간 감시, 원격 감시 기능을 부여할 수 있다.

[0010] 본 발명의 광섬유 센서는 온도, 수분 및 CO₂를 동시에 측정 가능하며, 외부 충격 또는 진동 등에 의한 손상으로 부터 자유롭다. 또한, 민감도가 우수하고 응답속도가 빠르며, 센서 교체 비용이 저렴하다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광섬유 센서의 사시도이다.

도 2는 도 1의 I-I '를 따라 절단한 단면도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 광섬유 센서의 사시도이다.

도 4는 도 3의 II-II' 를 따라 절단한 단면도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 광섬유 센서의 제조 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 6의 (a)는 MoS₂의 코팅 과정을 보여주는 사진이고, (b)는 습도 센싱부의 SEM 이미지이다.

도 7은 MoS₂의 라만 스펙트럼 측정 결과이다.

도 8은 MoS₂가 코팅되지 않은 식각된 광섬유의 호흡에 대한 출력 광 세기를 측정한 그래프이다.

도 9는 MoS₂를 코팅한 후 광섬유 센서의 호흡에 대한 출력 광 세기를 측정한 그래프이다.

도 10은 온습도 제어 챔버를 이용한 개략적인 실험 구성도를 보여준다.

도 11의 (a)는 제작된 센서의 출력 광 세기 분포를 시간에 따라 나타낸 그래프이다. 도 11의(b)는 습도 챔버 자체에서 측정된 습도 챔버 내부의 습도 변화를 나타낸다. 도 11의(c)는 습도 챔버 자체에서 측정된 습도 챔버 내부의 온도 변화를 나타낸다.

도 12는 도 11의 실험 결과를 가지고 습도 챔버 내부 습도 변화에 따른 MoS₂ 식각 광섬유 습도센서의 출력 광 세기 분포 그래프를 나타낸다.

도 13의 (a)는 온도에 따른 FBG의 중심 파장 이동을 보여주고, (b)는 중심 파장 대 온도 그래프이다.

도 14의 (a)는 FBG와 결합된 광섬유 습도 센싱부의 습도 변화에 따른 스펙트럼 변화이고, (b)는 FBG 피크 강도 대 상대 습도에 관한 그래프이다.

도 15는 챔버 내 광섬유 습도 센서의 온도 변화에 따른 중심 파장 이동 및 광 강도 변화를 보여주는 그래프이다.

도 16은 CO₂ 반응성을 테스트하기 위한 개략적인 실험 구성도를 보여준다.

도 17 및 도 18을 CO₂ 반응성을 테스트한 결과 그래프들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 광섬유 센서(10)는 온도 센싱부(110), 습도 센싱부(120) 및 CO₂ 센싱부(130)를 포함할 수 있다.
- [0013] 광섬유 센서(10)는 D형 광섬유를 기반으로 한 센서일 수 있다. 광섬유 센서(10)는 코어(200) 및 코어(200)를 둘러싸는 클래딩(100)으로 구성될 수 있다. 코어(200)는 광섬유 브래그 격자(Fiber Bragg Grating, FBG)를 포함할 수 있다. 또한, 클래딩(100)의 일부가 제거되어 형성된 평평한 단면에 각 센싱부가 형성될 수 있다. 예를 들면, 클래딩(100)의 일부가 제거되어 형성된 평평한 단면은 제1 단면, 제2 단면 및 제3 단면을 포함할 수 있다. 이때, 적어도 어느 두 단면은 서로 다른 결함을 포함하는 MoS₂ 코팅층을 포함할 수 있다. 이를 통해, 각각 습도 및 CO₂를 센싱할 수 있다.
- [0014] 구체적으로, 온도 센싱부(110)는 광섬유 브래그 격자(Fiber Bragg Grating, FBG)를 포함할 수 있다. 즉, 온도 센싱부(110)는 D형 광섬유의 코어(200)에 형성된 제1 FBG(210)를 이용하여 온도를 센싱할 수 있다. 온도 센싱부(110)는 온도 변화에 따른 FBG의 Grating 간격 변화로 인한 파장 shift를 측정함으로써 온도를 감지할 수 있다.
- [0015] 습도 센싱부(120)는 제1 코팅층(320)을 포함할 수 있다. 습도 센싱부(120)는 클래딩(100)의 일부가 제거되어 형성된 평평한 단면에 코팅된 제1 코팅층(320)을 포함할 수 있다. 한편, 습도 센싱부(120)도 온도 센싱부(110)와 유사하게 코어(200)에 형성된 제2 FBG(220)를 포함할 수 있다. 습도 센싱부(120)는 제1 코팅층(320)의 수분 흡착에 의한 굴절률 변화 및 이로 인한 세기 변화를 통해 습도를 감지할 수 있다.
- [0016] 이때, 제1 코팅층(320)은 제1 MoS₂를 포함할 수 있다. 제1 MoS₂는 1T 상을 갖는 MoS₂일 수 있다. 또는, 제1 MoS₂는 불순물 원자를 포함할 수도 있다. 예를 들면, 제1 MoS₂는 p형 도펀트인 Nb, Co, 및 Ni 중 적어도 어느 하나의 불순물을 포함할 수 있다. 또는, 제1 MoS₂는 n형 도펀트인 N, Au 및 Re 중 적어도 어느 하나의 불순물을 포함할 수 있다. 특히, 제1 MoS₂가 n 도핑될 경우, H₂O의 흡착이 강화될 수 있다.
- [0017] CO₂ 센싱부(130)는 제2 코팅층(330)을 포함할 수 있다. CO₂ 센싱부(130)는 클래딩(100)의 일부가 제거되어 형성된 평평한 단면에 코팅된 제2 코팅층(330)을 포함할 수 있다. 한편, CO₂ 센싱부(130)도 온도 센싱부(110)와 유사하게 코어(200)에 형성된 제3 FBG(230)를 포함할 수 있다. CO₂ 센싱부(130)는 불활성 기체인 CO₂ 흡착에 의한 굴절률 변화 및 이로 인한 세기 변화를 통해 습도를 감지할 수 있다.
- [0018] 이때, 제2 코팅층(330)은 제2 MoS₂를 포함할 수 있다. 제2 MoS₂는 공공(vacancy)을 포함할 수 있다. 더 구체적으로, 제2 MoS₂는 Sulfur vacancy를 포함할 수 있다. Sulfur vacancy은 MoS₂ 결정구조 내에서 S 원자가 차지하는 격자점에 S가 빠져나간 빈 격자점을 의미한다. 이러한 Sulfur vacancy를 통해 CO₂를 선택적으로 검출할 수 있다. Sulfur vacancy가 높은 제2 MoS₂는 Mo:S의 비율이 1:1.89일 수 있다. 또한, 제2 MoS₂는 1T 상을 갖는 MoS₂로, 80.1 %의 1T 상을 포함할 수 있다.
- [0019] 또는, 제2 MoS₂는 금속 나노입자가 도핑된 것일 수 있다. 예를 들면, 제2 MoS₂는 Au, Pd, Pt, Ni, Co 및 이들의 합금으로 이루어진 군에서 선택된 적어도 어느 하나의 금속 나노입자로 도핑될 수 있다. 더 구체적으로, 제2 MoS₂는 Au, Pd, Pt, Ni, Au-Co 합금, Pd-Co 합금, Pt-Co 합금 및 Ni-Co 합금으로 이루어진 군에서 선택된 적어도 어느 하나의 금속 나노입자로 도핑될 수 있다. 이러한 금속 나노입자의 종류에 따라 흡착 강도가 달라질 수 있다. 즉, 금속 나노입자의 결합길이가 짧을수록 강한 흡착이 일어날 수 있다.
- [0020] 이와 같이, 제1 MoS₂ 및 제2 MoS₂는 서로 다른 결함을 포함할 수 있다. 이때, 결함은 공공(vacancy), 자기 침입형 원자(self-interstitial atom), 침입형 불순물 원자(interstitial impurity atom), 및 치환형 불순물 원자(substitutional impurity atom) 중 어느 하나일 수 있다.
- [0022] 도 3 및 도 4를 참고하여, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 광섬유 센서를 설명한다.
- [0023] 도 3 및 도 4를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 광섬유 센서(11)는 곡물을 가질 수 있다. 즉, 광섬유 센서

(11)는 구부러진 형상을 가질 수 있다. 이때, 광섬유 센서(11)의 하부에 서포터(400)가 더 배치될 수 있다. 이러한 서포터(400)는 퀴즈(quartz), 석영 또는 실리콘 등의 연마 지지대일 수 있다.

[0024] 본 발명의 실시예에 따른 광섬유 센서(11)는 광섬유에 곡률을 주고 석영 블록과 같은 서포터(400)에 고정된 후, 표면을 연마하여 제작할 수 있다. 이후 레이저를 이용하여 FBG를 형성하고, 식각된 표면에 각각 제1 MoS₂ 및 제2 MoS₂를 도포하여 제작할 수 있다.

[0025] 보다 더 구체적으로, 도 5를 참고하면, 광섬유를 석영 블록(Quartz Block)의 V-groove에 정렬한 후 에폭시(Epoxy)로 고정하고, 고정된 광섬유를 연마기에서 연마하여 석영 블록의 표면까지 광섬유 측면을 연마할 수 있다. 연마 깊이에 따라 광섬유 코어로 진행되는 빛과 외부 센싱부 간에 반응성이 높아질 수 있다. 다음으로, 코어가 일부 노출된 광섬유 표면에 Sensing Membrane, 즉 제1 MoS₂ 및 제2 MoS₂를 코팅할 수 있다.

[0026] 코팅층이 없는 부분은 앞서 설명한 온도 센싱부(110)로 기능할 수 있고, 제1 MoS₂에 의한 코팅층을 포함하는 부분은 습도 센싱부(120)로 기능할 수 있고, 제2 MoS₂에 의한 코팅층을 포함하는 부분은 CO₂ 센싱부(130)로 기능할 수 있다.

[0027] 본 발명의 광섬유 센서는 스마트팜의 분산형 센서로 사용될 수 있다. 본 발명의 광섬유 센서는 부식 또는 오염에 자유로우며 전기 잡음이 없고 소형화가 가능하다는 장점이 있다. 또한, 실시간 감시, 원격 감시 기능을 부여할 수 있다.

[0028] 본 발명의 광섬유 센서는 온도, 수분 및 CO₂를 동시에 측정 가능하며, 외부 충격 또는 진동 등에 의한 손상으로부터 자유롭다. 또한, 민감도가 우수하고 응답속도가 빠르며, 센서 교체비용이 저렴하다.

[0030] 실시예 : 광섬유 센서의 제작

[0031] 코어 직경은 약 50 μm이고 클래드 직경은 약 125 μm이고 길이가 약 1 cm인 광섬유를 석영 블록(Quartz Block)의 V-groove에 정렬한 후 에폭시(Epoxy)로 고정하고, 고정된 광섬유를 연마기에서 연마하여 석영 블록의 표면까지 광섬유 측면을 연마하였다. 다음으로, 코어가 일부 노출된 광섬유 표면에 각각 제1 MoS₂ 및 제2 MoS₂를 코팅하였다.

[0032] 이때, 습도 센싱을 위한 제1 MoS₂는 Na₂MoO₄ · 2H₂O 0.363 g, CH₃CSNH₂ 0.33 g을 200 ° C에서 24시간 동안 합성한 후 DI Water 50 ml와 혼합하여 원심 분리를 통해 합성하여 준비하였다. 식각된 부분에 제1 MoS₂를 코팅하기 위해, MoS₂ 용액을 디메틸포름아미드(DMF) 용액과 1:10 비율로 혼합하였다. 도 6의 (a)와 같이 식각된 광섬유를 패트리 접시에 실리콘으로 고정하고, 혼합된 MoS₂와 DMF 용액에 30분간 노출시켰다. DMF용액 안에 MoS₂ 입자들이 반데르 발스 힘(van der Waals force)에 의해 예칭된 광섬유 표면에 결합되어 건조 과정을 통해 코팅이 된다. 시간이 지남에 따라 DMF 성분은 빠르게 기화되어 사라진다. 최종적으로 MoS₂ 입자가 식각 광섬유 표면에 달라붙으면서 습도 센싱부가 제작된다. 도 6의 (b)는 습도 센싱부의 SEM 이미지이다. 도 6의 (b)를 참고하면, 식각 광섬유 표면에 MoS₂의 작은 입자들이 달라붙어 있는 것을 확인할 수 있다.

[0033] CO₂ 센싱을 위한 제2 MoS₂로는 Mo:S의 비율이 1:1.89인 MoS₂를 사용하였다.

[0035] 실험예 1: 수분 측정

[0036] 식각된 광섬유 위에 MoS₂의 증착이 잘 되었음을 확인하기 위해 라만 분광법을 이용하여 MoS₂의 특성 피크를 분석하였다. 그 결과, 도 7을 참고하면, 380 nm의 E_{2g}¹ 피크와 405 nm의 A_{1g}로 볼때 3층 정도 두께를 갖는 MoS₂ 입자가 광섬유 표면에 코팅되었음을 확인할 수 있다.

[0037] 습도를 감지하는 방법은 식각 광섬유 센서의 습도 센싱부가 공기 중의 H₂O 분자와 반 데르 발스 힘으로 인해 인력이 작용하여 MoS₂ 입자 표면에 흡착되고 동시에 발생하는 MoS₂의 광학적 특성 변화로 인한 센서의 출력 광 세

기 변화를 모니터링하여 측정하는 방식이다.

[0038] MoS₂가 코팅된 식각 광섬유의 출력 광 세기는 약 -15.137 dB의 손실률을 가진다. 호흡 활동에서 발생하는 공기는 60~100%에 가까운 습도를 가진다. 광섬유 센서의 호흡에 대한 노출은 습도 변화에 대한 반응을 간접적으로 확인할 수 있는 실험 방식이다. 호흡 실험을 진행하는 방식은 2초간 숨을 들이마신 후, 날숨을 쉬어 2초간 광섬유 센서에 노출시켰다. 센서와의 거리는 약 15 cm를 유지하였으며, 실험 환경에서 온도는 약 19° C, 습도는 31%의 환경을 유지하며 진행하였다.

[0039] 도 8은 MoS₂가 코팅되지 않은 식각된 광섬유의 호흡에 대한 출력 광 세기를 측정한 그래프이다. 기본 출력 광 세기를 기준으로 호흡 시 약 0.05 dB의 광 출력 세기가 증가하였다. 실험 당시 실제 광섬유의 온도는 기온과 비교하면 좀 더 낮은 상태에서 호흡으로 인한 열 발생이 광섬유 코어의 굴절률을 높이고 이것은 광섬유 모드 직경을 줄여 광결합 효율을 높여 광세기가 다소 높아진 것으로 보인다. 광섬유의 자체 손실률이 감소하면서 제작된 센서의 출력 광 세기가 증가하는 결과로 이어졌다.

[0040] 다음으로 MoS₂를 코팅한 후 광섬유 센서의 호흡에 대한 반응을 실험하여 측정하였다. 실험 결과는 도 9의 그래프와 같이 나타났다. 호흡 시 광섬유 센서의 출력 광 세기는 최대 -0.5 dB 정도의 손실을 보였으며 코팅 전 호흡 시 출력 광 세기가 상승하던 반응과는 상반된 결과가 보였다. 이것은 호흡에 포함된 수분이 MoS₂에 흡착되어 밴드갭 변화에 의해 흡수율이 높아져서 입력된 빛의 세기를 급격히 줄이게 된 것이다. 호흡에 대해 광 세기 변화의 반응 속도는 약 0.85초였으며, 반응 후 다시 본래 광 세기로 회복하는데 걸리는 시간은 최종 회복 신호 대비 90% 회복된 지점을 고려할 때 약 5.82초였다. 호흡 실험에서 호흡하는 시간, 세기, 센서와의 간격에 따라서 매우 다른 반응도를 보였다. 해당 실험을 통해 호흡에 의한 MoS₂의 광학적 특성이 변화하여 광섬유 센서의 출력 광 세기가 영향을 받은 것을 확인했다. 하지만 인간의 호흡에는 높은 습도뿐만 아니라, 다양한 성분의 기체, 바람에 의한 압력 등 다양한 물리량 변화가 발생한다. 따라서 본 실험에에서는 온습도 제어 챔버를 통해 제한된 환경에서 온도와 습도의 변화만을 통해 MoS₂ 습도 센싱부의 습도 변화에 대한 반응 측정 실험을 진행하였다.

[0041] 제작된 MoS₂ 기반 식각 광섬유 센서의 습도 변화에 대한 반응을 확인하기 위해 온습도 제어 챔버(SE-600-6-6, Thermotron)를 이용한 실험을 진행했다. 온습도 제어 챔버 실험을 통해 외부 환경 변인을 최대한 통제된 후 습도, 온도 변화를 주어 그에 따른 광학적 특성 변화를 확인했다. 실험에 사용된 광원은 기존 실험에 사용된 광대역광원을 사용하였으며, 입력 광 세기는 10 mW로 설정하였다. 도 10은 온습도 제어 챔버를 이용한 개략적인 실험 구성도를 보여준다. 습도 변화에 따른 반응 실험의 경우 온도를 40 ° C로 고정하여 습도를 40%에서 80%까지 제어하였으며 5% 단위로 5분간 상태를 유지하여 안정화한 후 측정을 진행하였다. 실험에 사용된 챔버는 습도 제어 능력의 한계로 인해 습도 제어 시 ±2.5%의 오차가 발생했다. 온도 변화에 따른 반응 실험의 경우 온도를 25° C에서 80° C까지 변화를 주어 실험을 진행하였다. 제작된 센서는 챔버 내부 중앙에 위치하여 진행하였다.

[0042] 실험 결과는 센서의 출력 광 세기 변화 흐름이 챔버의 내부 습도 변화에 따라서 변화하는 것을 확인하였다. 도 12는 실험 결과를 나타낸 그래프이다. 도 11의 (a)는 제작된 센서의 출력 광 세기 분포를 시간에 따라 나타낸 그래프이다. 도 11의(b)는 습도 챔버 자체에서 측정된 습도 챔버 내부의 습도 변화를 나타낸다. 도 11의(c)는 습도 챔버 자체에서 측정된 습도 챔버 내부의 온도 변화를 나타낸다. 해당 실험에서 습도가 80%일 때 광 세기를 기준으로 습도가 40%로 낮아졌을 때 광 세기가 최대 0.126 dB까지 상승하는 것을 확인하였다. 습도 챔버의 습도 제어 능력이 한계로 인해 일부 습도 변화 구간에서 급격한 습도 변화를 일으키는 현상이 발생했다. 제작된 습도 센서의 경우 그러한 습도 챔버의 습도 변화에도 출력 광 세기가 같은 습도 변화 경향을 보임으로써 높은 반응 속도를 보였다. 도 12는 도 11의 실험 결과를 가지고 습도 챔버 내부 습도 변화에 따른 MoS₂ 식각 광섬유 습도 센서의 출력 광 세기 분포 그래프를 나타낸다. 습도가 상승할 때 광섬유 센서의 출력 광 세기 변화와 습도가 하강할 때 출력 광 세기 변화를 비교하였다. 결과에 따르면 출력 광 세기의 변화량이 낮은 습도의 습도 변화 구간에 비해서 높은 습도의 습도 변화 구간에서 더 높은 변화율을 보였다. 해당 결과에서도 높은 습도에 대해서 출력 광 세기 변화율이 더 높은 것으로 보인다. 습도가 상승할 때와 하강할 때는 동일한 광 세기를 가져, 제작된 MoS₂ 식각 광섬유 습도센서는 습도 변화에 대해 가역적인 반응을 보이는 것으로 확인되었다.

[0044] 실험예 2 : 온도 측정

[0045] 온도 센싱부로 광섬유 격자(Fiber Bragg Grating: FBG)를 사용하여 온도를 측정하였다. 사용된 FBG는 중심 파장

1550 nm 이다. 사용된 광원으로 1550 nm 중심파장을 가지고 100 nm 대역폭을 가진 광대역광원을 사용하였다. 광섬유격자에서 반사된 1550 nm 파장의 빛은 광서클레이터를 통해 Optical Spectrum Analyser(OSA, MS9780A, Anritsu)로 파장과 손실율을 분석한다. 실험 구조에 따르면 MoS₂ 습도 센싱부를 통과한 광 신호는 습도 센싱부로 인하여 출력 광 세기에 변화가 발생한다. 그 후 측정 환경의 온도에 따라, FBG에 의해서 특정 파장에서 반사가 일어난다. 반사된 광 신호는 MoS₂ 습도 센싱부를 다시 한번 경험하게 되는데, 이 과정에서 습도센싱부의 반응도가 증폭되는 결과를 가져온다. 온, 습도 측정 시스템을 실험하기 위해 먼저 FBG의 온도 변화에 따른 중심 파장을 측정하기 위해 온습도 챔버를 이용하여 25° C에서 60° C까지 온도를 조절하여 스펙트럼을 측정하였다. 측정된 결과를 통해 추후 습도 제어 실험에서 측정된 스펙트럼의 중심 파장에 따라서 측정 환경에서의 온도를 계산할 수 있다.

[0046] 도 13에서 선형 피팅 후 기울기를 계산하여 실험 결과 사용된 FBG는 25° C에서 60° C까지 0.01299 nm/° C로 변화하는 것을 알 수 있다. 다음으로 온도, 습도 변화에 대한 반응 실험을 진행했다. 측정 방식은 OSA를 통해 스펙트럼을 측정했다. 온도 변화는 설정하지 않았으며, 이를 통해서 습도 변화에 따라서 일정하게 챔버의 온도가 변화하게 된다. 습도는 30 %RH에서 90 %RH까지 변화하여 측정하였다. 도 14를 참고하면, 습도 변화 측정 결과 30 %RH에서 90 %RH까지 비선형적으로 출력 광 세기가 감소하였다. 측정된 결과는 낮은 습도 구간에서 더 높은 변화율을 보였다. 측정된 광 세기는 FBG를 통해 반사된 광신호 스펙트럼의 광 세기가 가장 높은 지점을 기준으로 하였다. 기존의 MoS₂ 코팅된 식각 광섬유의 출력 광 신호 세기를 측정한 결과와 반응성이 다른 이유는 광섬유를 통해 전달되는 신호의 파장에 따라 습도 변화에 대한 손실률 변화량이 다르기 때문이다.

[0047] 습도 챔버의 온도 변화를 통한 내부 습도 변화를 측정하였다. 온도는 25° C에서 60° C까지 5° C씩 온도를 상승하여 각 온도 구간에서 5분씩 안정화 후 측정되었다. 도 15를 참고하면, 온도 변화 측정 결과로는 25° C부터 60° C까지 중심 파장이 선형적으로 변화하였으며, 그에 따른 습도 변화량도 확인할 수 있다.

[0049] 실험예 3 : CO₂ 측정

[0050] 도 16을 참고하면, CO₂ 센싱부에 CO₂ 발포제를 이용하여 실험을 진행하였고, 센싱부 표면에 blowing 하면서 진행하였다.

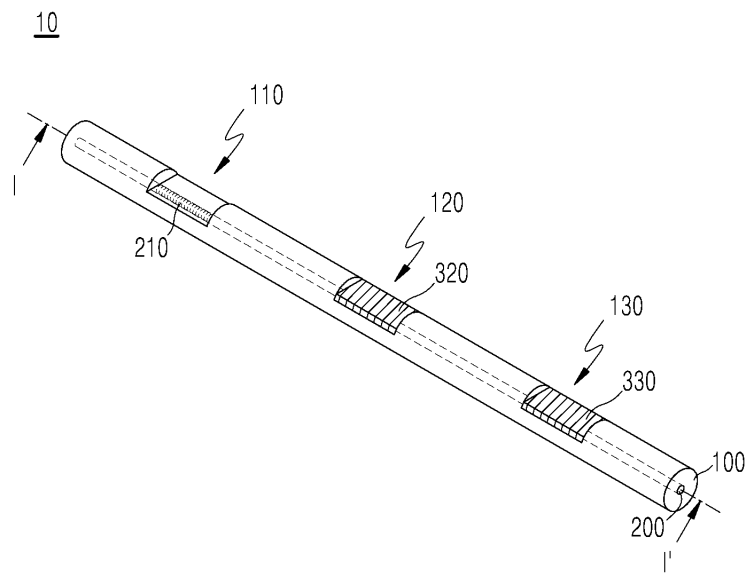
[0051] 그 결과, 도 17을 참고하면, CO₂ 반응성이 우수함을 확인할 수 있다.

[0052] 또한, 도 18의 (a) 내지 (e)를 참고하면, CO₂ 농도가 커질수록 CO₂ 반응성이 커짐을 확인하였다. 도 18의 (f)를 참고하면, 1 sccm의 낮은 농도의 CO₂ 에 대해서도 반응함을 확인하였다. 따라서, 본 발명의 CO₂ 센싱부는 CO₂ 반응성이 우수함을 확인하였다.

[0054] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

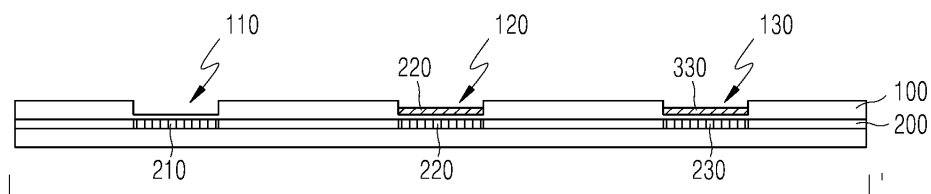
도면

도면1



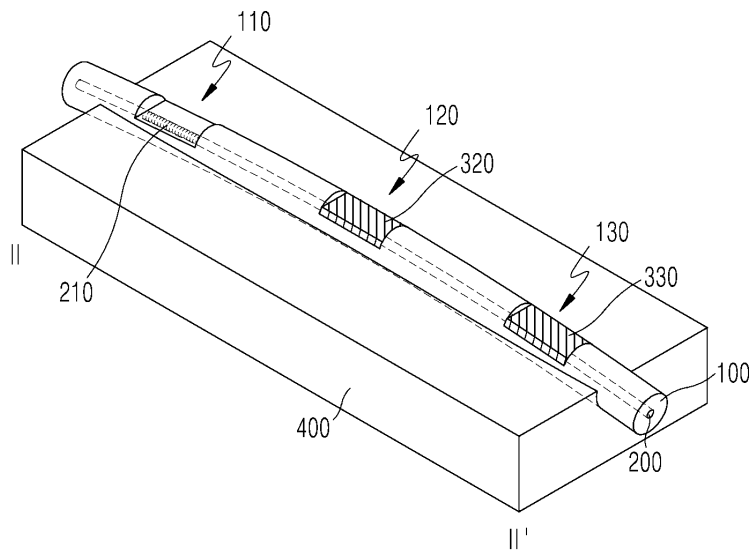
도면2

10



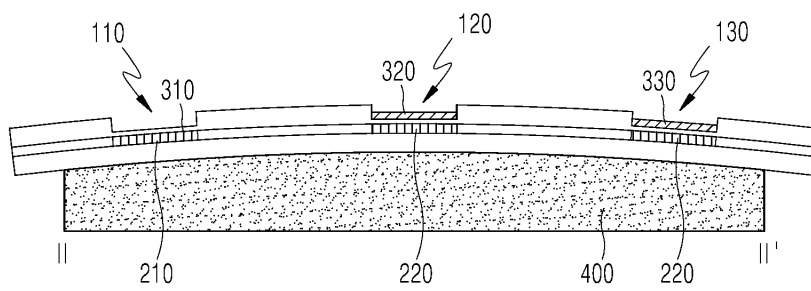
도면3

11

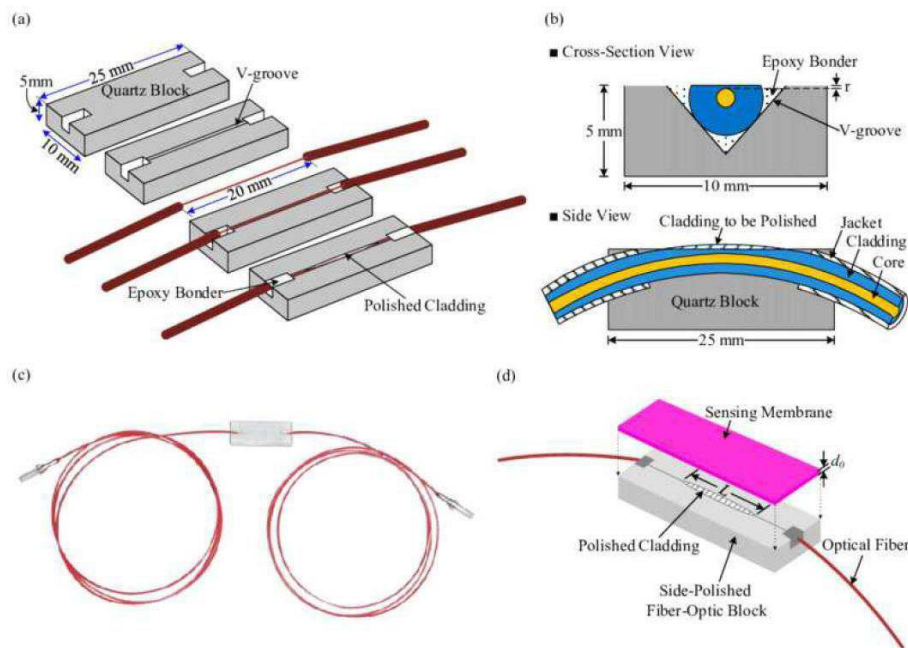


도면4

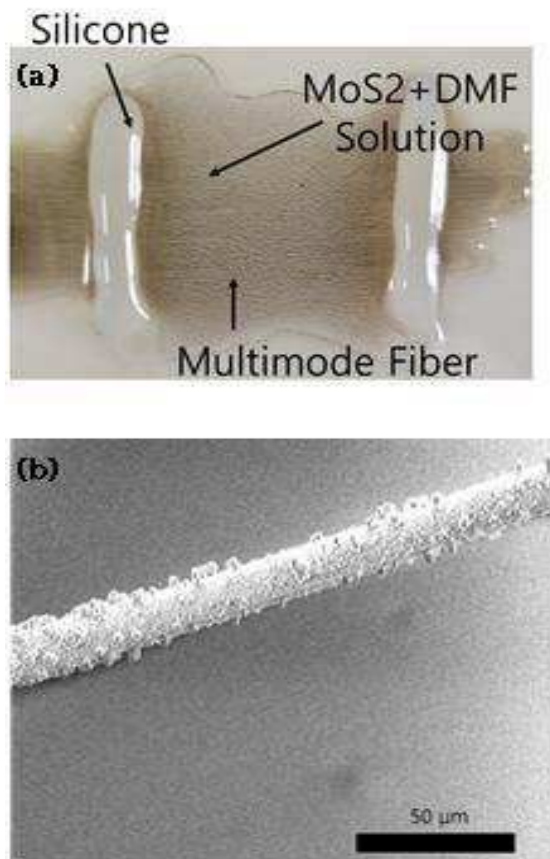
11



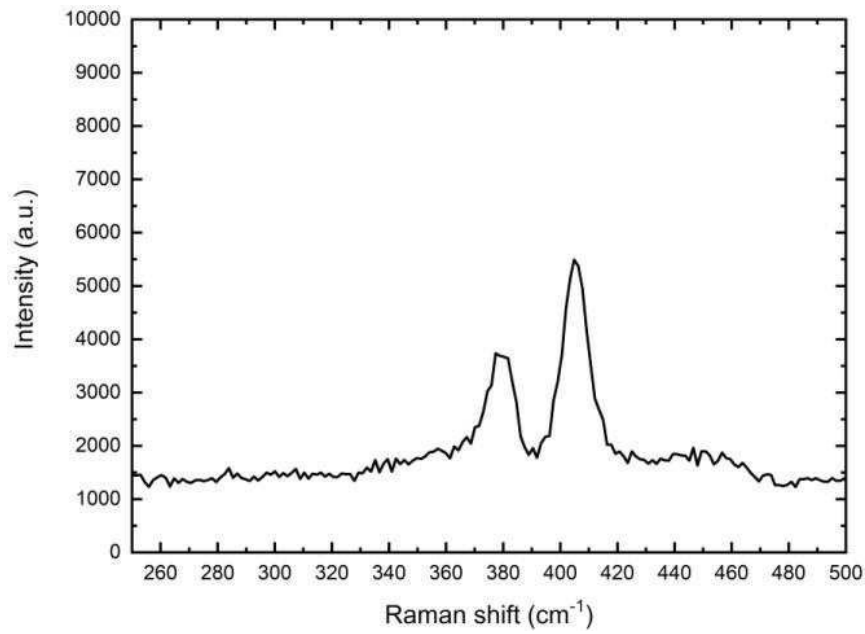
도면5



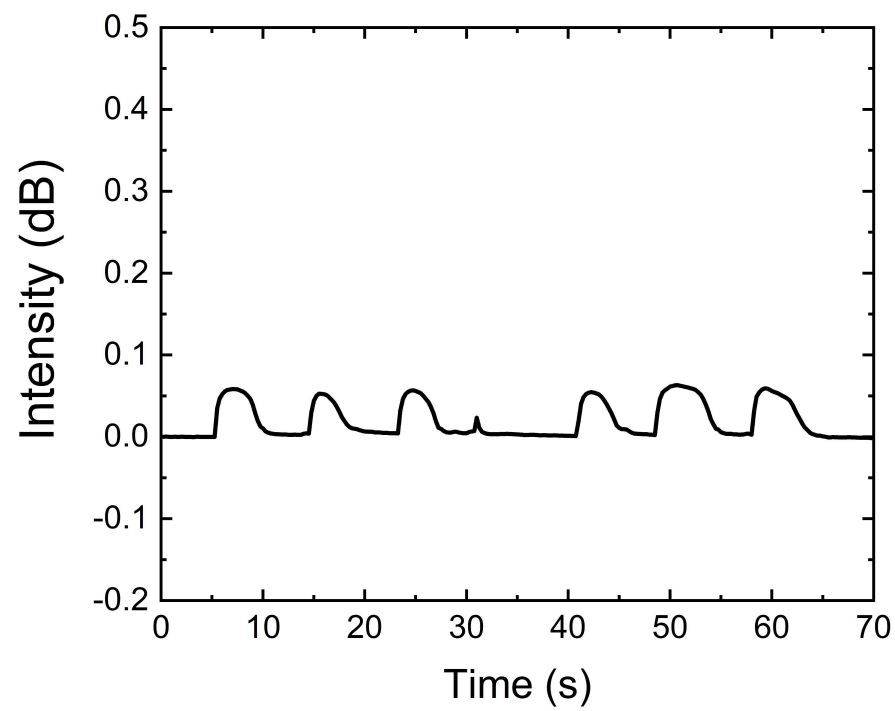
도면6



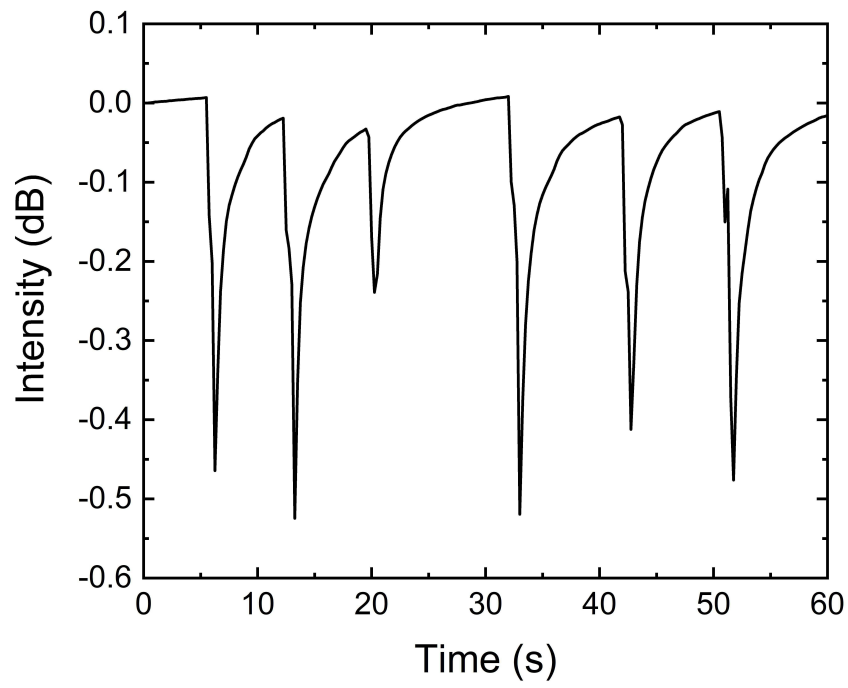
도면7



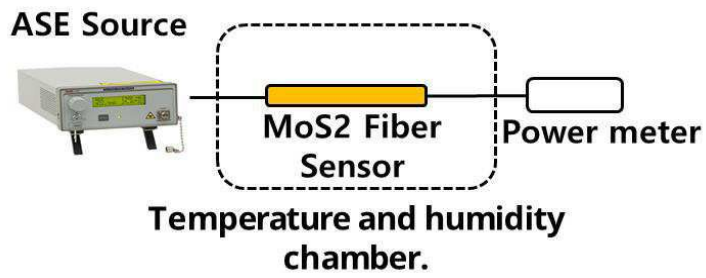
도면8



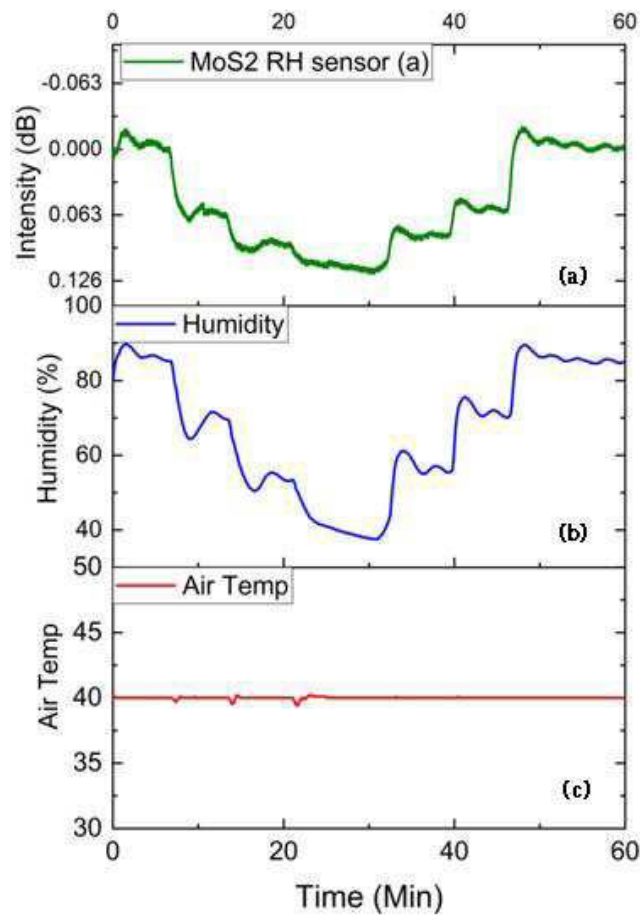
도면9



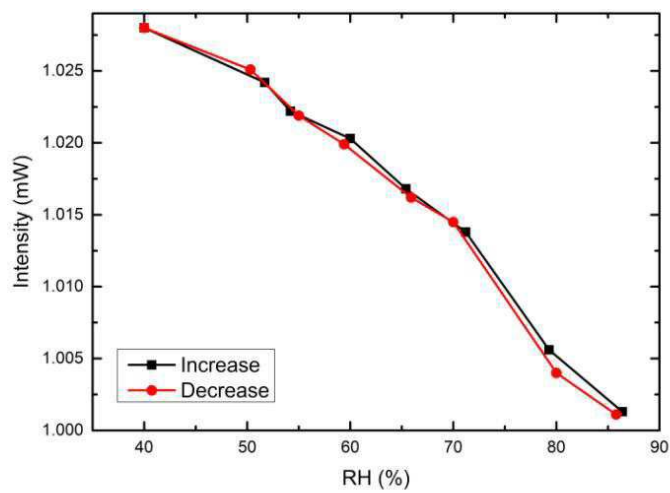
도면10



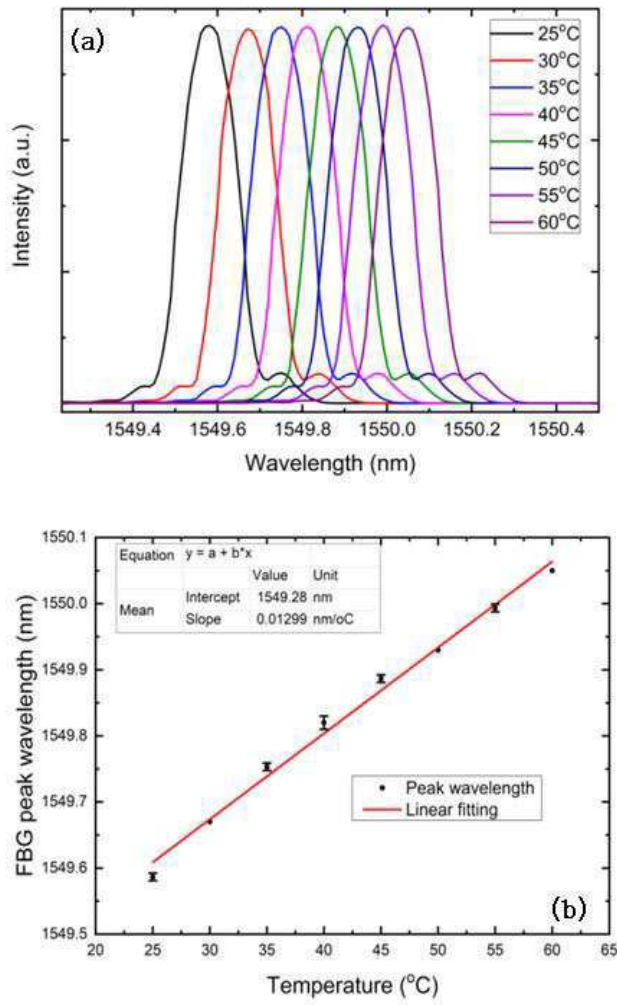
도면11



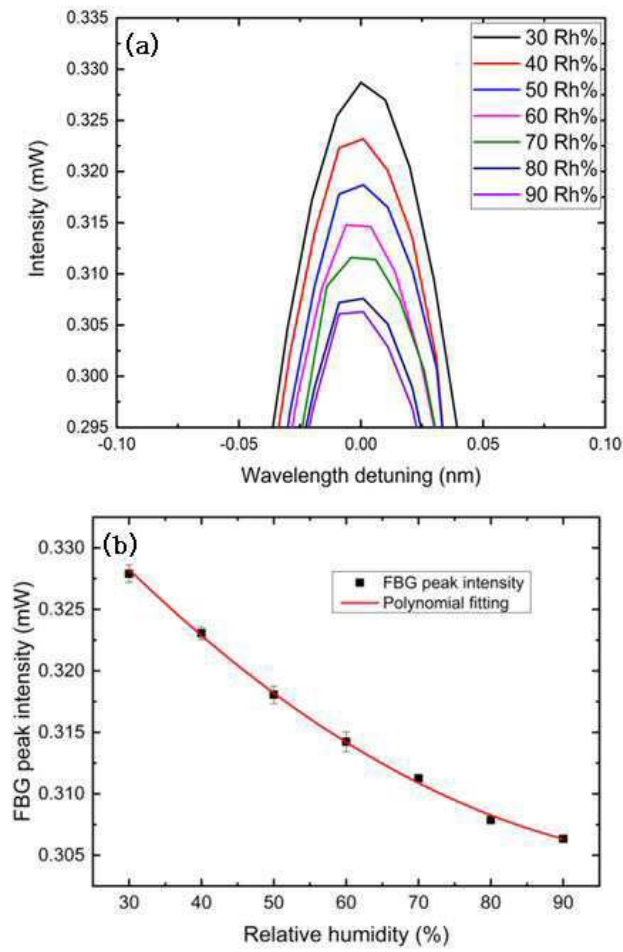
도면12



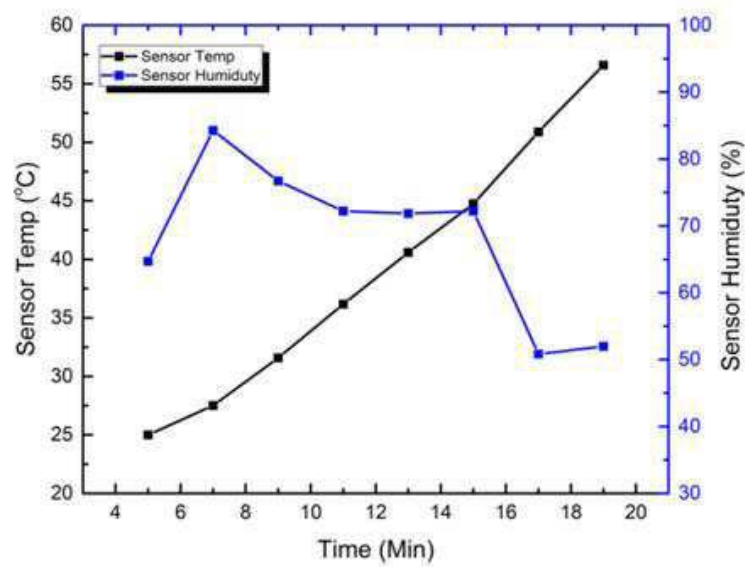
도면13



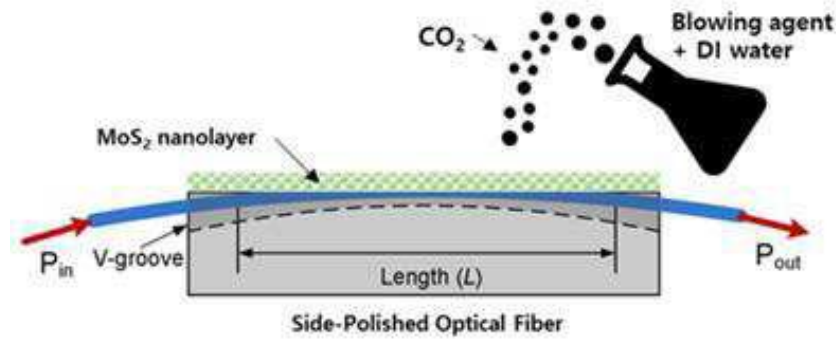
도면14



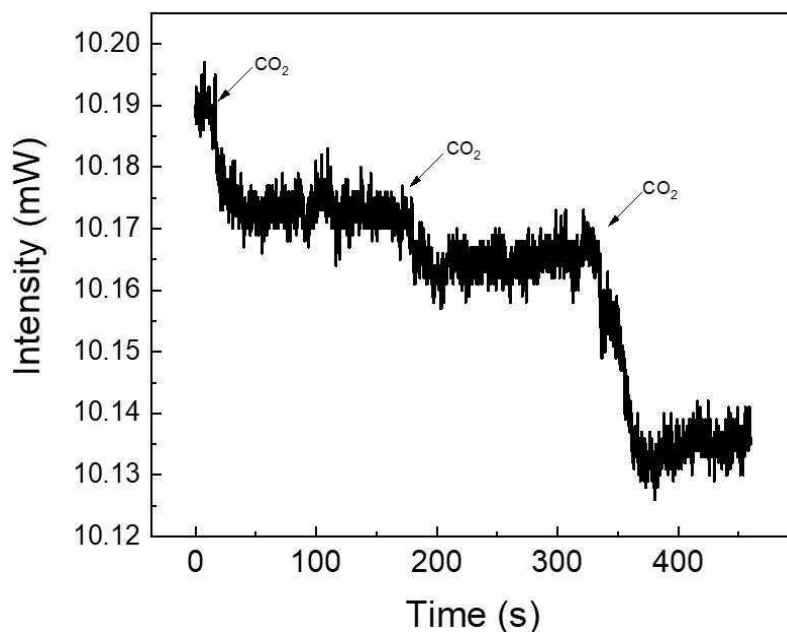
도면15



도면16



도면17



도면18

