



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0176615
(43) 공개일자 2024년12월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/43 (2006.01) G01N 21/45 (2006.01)
G01N 33/569 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G01N 21/431 (2013.01)
G01N 21/45 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0077468
(22) 출원일자 2023년06월16일
심사청구일자 2023년06월16일

(71) 출원인
국립부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
이용욱
부산광역시 남구 분포로 113, 220동 2502호(용호동, 엘지메트로시티)
배민찬
대구광역시 달성군 다사읍 대실역북로 55, 106동 1303호(대실역 동화 아이위시)
(74) 대리인
김정수

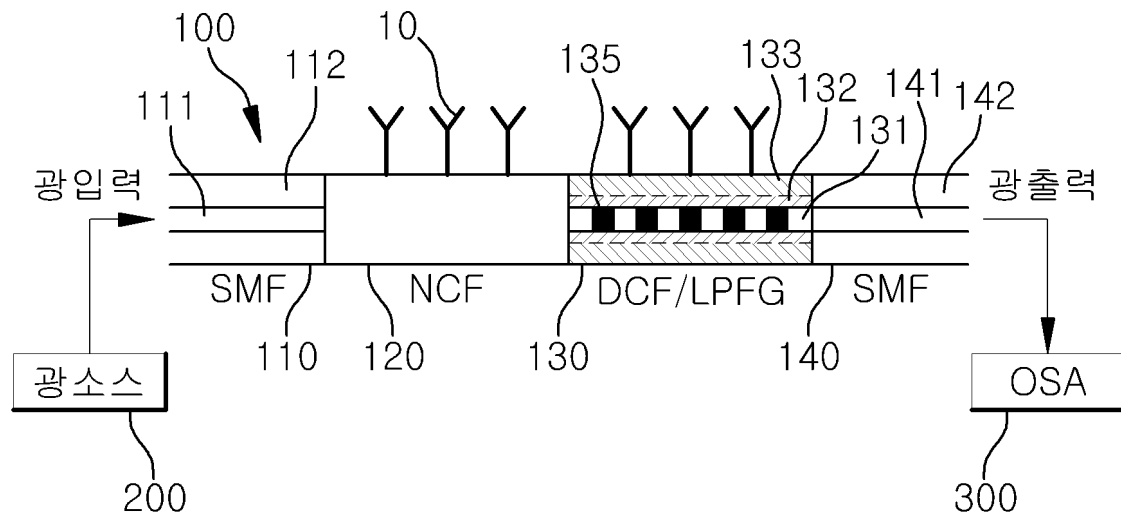
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서 및 검출 시스템

(57) 요약

SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서 및 시스템이 개시된다. SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서는, 단일모드 광섬유(SMF: single-mode fiber)로 형성되며, 광을 입력받는 입력부, 코어없는 광섬유(NCF: no-core fiber)로 형성되며, 입력부로부터 광을 전달받고, 전달된 광에 다중모드 간섭(MMI: multi-mode interference)을 생성하는 간섭부, 장주기 광섬유 격자(LPFG: long-period fiber grating)가 형성된 이중 클래딩 광섬유(DCF: double-clad fiber)로 형성되며, 간섭부로부터 다중모드 간섭이 생성된 광을 전달받고, 전달된 다중모드 간섭이 생성된 광에 격자 공진(grating resonance)을 중첩시키는 공진부 및 단일모드 광섬유로 형성되며, 공진부로부터 다중모드 간섭과 격자 공진이 중첩된 광을 전달받아 출력하는 출력부를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 33/56983 (2013.01)

G01N 2021/432 (2013.01)

G01N 2021/436 (2013.01)

G01N 2021/458 (2013.01)

G01N 2333/165 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345365836
과제번호	2019R1I1A3A01046232
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학학술연구기반구축
연구과제명	초고대비 특수 광섬유 격자 저단가 제작 및 격자 기반 다물리량 측정 기법 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	부경대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서에 있어서,

단일모드 광섬유(SMF: single-mode fiber)로 형성되며, 광을 입력받는 입력부;

코어없는 광섬유(NCF: no-core fiber)로 형성되며, 상기 입력부로부터 광을 전달받고, 전달된 광에 다중모드 간섭(MMI: multi-mode interference)을 생성하는 간섭부;

장주기 광섬유 격자(LPFG: long-period fiber grating)가 형성된 이중 클래딩 광섬유(DCF: double-clad fiber)로 형성되며, 상기 간섭부로부터 상기 다중모드 간섭이 생성된 광을 전달받고, 상기 전달된 다중모드 간섭이 생성된 광에 격자 공진(grating resonance)을 중첩시키는 공진부; 및

단일모드 광섬유로 형성되며, 상기 공진부로부터 상기 다중모드 간섭과 상기 격자 공진이 중첩된 광을 전달받아 출력하는 출력부를 포함하는 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서.

청구항 2

제1항에 있어서,

SARS-CoV-2 스파이크 단백질의 농도의 측정을 위하여, 상기 코어없는 광섬유 및 상기 이중 클래딩 광섬유의 표면에는 상기 SARS-CoV-2 스파이크 단백질이 결합되는 수용체가 부착되는 것을 특징으로 하는 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 출력부로부터 출력된 광의 파장별 세기를 나타내는 투과 스펙트럼에는, 상기 간섭부 및 상기 공진부에 의하여 생성되는 2개의 골이 나타나는 것을 특징으로 하는 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 간섭부에 의하여 생성된 골은 항원 단백질 표지자(antigen protein indicator)로 이용되고,

상기 공진부에 의하여 생성된 골은 온도 표지자(temperature indicator)로 이용되는 것을 특징으로 하는 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 이중 클래딩 광섬유는 코어, 내측 클래딩 및 외측 클래딩으로 구성되고, 미리 설정된 주기로 장주기 광섬유 격자가 형성되는 것을 특징으로 하는 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 SARS-CoV-2 스파이크 단백질을 검출 광섬유 센서는, 상기 코어없는 광섬유와 상기 이중 클래딩 광섬유를 직렬로 연결하고, 상기 이중 클래딩 광섬유에 이산화탄소 레이저를 조사하여 장주기 광섬유 격자를 형성함으로써 제작되는 것을 특징으로 하는 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서.

청구항 7

SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 시스템에 있어서,

광대역의 광을 출력하는 광 소스;

상기 광 소스로부터 광을 입력받아 다중모드 간섭(MMI: multi-mode interference) 및 격자 공진(grating resonance)을 발생시켜 출력하는 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서; 및

상기 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서로부터 출력된 광의 파장별 세기를 나타내는 투과 스펙트럼을 측정하는 광 스펙트럼 분석기를 포함하는 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출을 위한 광섬유 센서 및 검출 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전자기 간섭(electromagnetic interference) 내성, 절연성, 방수성, 경량, 다중화 기능, 빠른 응답 등의 장점을 이유로 광섬유(optical fiber)를 이용해 특정한 물리량을 측정하는 기술은 약 30년전부터 시작되었고, 일부 측정 기술은 이미 상용화가 되어있는 상황이다. 광섬유를 이용하여 물리량을 측정하는 일반적인 원리를 설명하자면, 광섬유를 통해 전파되는 빛이 외부 물리량 변화에 의해 그 세기(intensity), 파장(wavelength), 위상(phase), 편광(polarization) 등의 변화를 겪게 되고, 이를 광전 변환기(optoelectronic transducer) 등을 통해 전기신호로 바꾸어 광섬유에 인가된 외부 물리량을 분석하는 것이다.

[0003] 광섬유 바이오센서(biosensor)의 대표적인 사례 중 하나로, 광섬유 격자(fiber grating) 기반 센서가 있다. 광섬유에서 실제로 빛이 전파되는 코어(core) 영역에 주기적인 굴절률 변화를 인가하여 격자를 형성하면, 외부의 물리량 변화에 따라 격자 부분의 굴절률이나 격자 주기가 변하여 광섬유 격자를 통과하는 빛의 특성(세기, 파장, 위상, 편광 등)도 변화하게 된다.

[0004] 이러한 광섬유 격자의 대표적인 예로, 일반적인 광섬유 코어에 약 $1\mu\text{m}$ 의 주기로 굴절률 변화를 유도하여 제작되는 광섬유 브래그 격자(FBG: fiber Bragg grating)가 있다. FBG는 특정한 격자 공진(grating resonance) 파장에 해당하는 빛을 통과시키지 않고 반사시키는 특성을 가지고 있다. 이러한 공진 파장은 광섬유 코어의 유효 굴절률과 격자 주기에 의해 결정된다. 따라서, FBG에 외부 물리량이 인가되어 광섬유 코어의 유효 굴절률 또는 격자 주기가 변화되면, FBG의 격자 공진 파장에 천이(shift)가 일어난다. 이를 여러 가지 복조 방식을 통해 측정하면, FBG에 인가된 물리량 변화를 계산할 수 있다.

[0005] 한편, FBG에 비해 약 1000배 정도 격자 주기가 큰 장주기 광섬유 격자(LPFG: long-period fiber grating)도 온도, 굽힘, 스트레인(길이 방향 장력), 비틀림(torsion/twist) 및 굴절률과 같은 물리 및 화학적 변수들을 측정하기 위한 센서로 사용되어 왔다. 이러한 센서의 측정 변수들 중 굴절률은 광범위한 분야에 적용이 가능한 중요한 변수 중 하나이다. 구체적으로, 광섬유 굴절률 센서는 대기, 수질, 토양 등의 조건을 감지하는 환경 분야, 혈당, 혈압, 산소 포화도 등의 생체 신호를 측정하는 의료 분야, 박테리아, 바이러스, 단백질 등을 검출하는 생명 과학 분야, 특정 유체의 레벨이나 농도를 측정하는 제조 및 운송 분야, 구조물 내 파손 및 손상을 감지하는 안전 분야 등에 유용하게 활용될 수 있다.

[0006] 그러나, 광섬유 격자 센서를 포함하는 광섬유 기반 센서는 굴절률과 온도 사이의 교차 민감도가 센서의 검출 성능을 저하시키는 한계를 가지기 때문에, 온도 변화가 존재하는 환경에서 정밀한 굴절률 변화를 측정하기 위해서는, 광섬유 센서의 온도 교차 의존성 문제가 반드시 해결되어야 한다. 이러한 광섬유 센서의 온도 교차 의존성 문제를 해결하기 위해 현재까지 굴절률 및 온도, 비틀림 및 온도, 스트레인 및 온도와 같은 다중 변수를 동시에

측정하는 연구들이 다수 수행되어 왔다. 특히, 바이러스 항원 단백질 농도의 미세 변화를 측정하는 광섬유 바이오 센서의 경우, 항원 단백질 검출 시에 수반될 수 있는 주변 온도 변화에 의한 단백질 농도 측정 오차를 최소화하는 것이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 대한민국등록특허공보 제10-2412231호(2022.06.20)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 다중모드 간섭과 격자 공명의 상보적인 외부 굴절률 및 온도에 대한 반응을 이용하여 SARS-CoV-2 스파이크 단백질의 농도 및 주변 온도를 동시에 측정하는 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서 및 검출 시스템을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 측면에 따르면, SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서가 개시된다.

[0010] 본 발명의 실시예에 따른 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서는, 단일모드 광섬유(SMF: single-mode fiber)로 형성되며, 광을 입력받는 입력부, 코어없는 광섬유(NCF: no-core fiber)로 형성되며, 상기 입력부로부터 광을 전달받고, 전달된 광에 다중모드 간섭(MMI: multi-mode interference)을 생성하는 간섭부, 장주기 광섬유 격자(LPFG: long-period fiber grating)가 형성된 이중 클래딩 광섬유(DCF: double-clad fiber)로 형성되며, 상기 간섭부로부터 상기 다중모드 간섭이 생성된 광을 전달받고, 상기 전달된 다중모드 간섭이 생성된 광에 격자 공진(grating resonance) 특성을 중첩시키는 공진부 및 단일모드 광섬유로 형성되며, 상기 공진부로부터 상기 다중모드 간섭과 상기 격자 공진이 중첩된 광을 전달받아 출력하는 출력부를 포함한다.

[0011] SARS-CoV-2 스파이크 단백질의 농도 측정을 위하여, 상기 코어없는 광섬유 및 상기 이중 클래딩 광섬유의 표면에는 상기 SARS-CoV-2 스파이크 단백질이 결합되는 생체수용체(bioreceptor)가 부착된다.

[0012] 상기 출력부로부터 출력된 광의 파장별 파워를 나타내는 투과 스펙트럼에는, 상기 간섭부 및 상기 공진부에 의하여 생성되는 2개의 골(dip)이 나타난다.

[0013] 상기 간섭부에 의하여 생성된 골은 항원 단백질 표지자(antigen protein indicator)로 이용되고, 상기 공진부에 의하여 생성된 골은 온도 표지자(temperature indicator)로 이용된다.

[0014] 상기 이중 클래딩 광섬유는 코어, 내측 클래딩 및 외측 클래딩으로 구성되고, 미리 설정된 주기로 장주기 광섬유 격자가 형성된다.

[0015] 상기 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서는, 상기 코어없는 광섬유와 상기 이중 클래딩 광섬유를 직렬로 연결하고, 상기 이중 클래딩 광섬유에 이산화탄소 레이저를 조사하여 장주기 광섬유 격자를 형성함으로써 제작된다.

[0016] 본 발명의 다른 측면에 따르면, SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 시스템이 개시된다.

[0017] 본 발명의 실시예에 따른 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 시스템은, 광대역의 광을 출력하는 광 소스, 상기 광 소스로부터 광을 입력받아 다중모드 간섭(MMI: multi-mode interference) 및 격자 공진(resonance)을 생성하여 출력하는 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서 및 상기 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서로부터 출력된 광의 파장별 세기를 나타내는 투과 스펙트럼을 측정하는 광 스펙트럼 분석기를 포함한다.

발명의 효과

[0018] 본 발명의 실시예에 따른 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서 및 검출 시스템은, 다중모드 간섭과 격자 공진의 상보적 굴절률 및 온도에 대한 반응을 이용하여 SARS-CoV-2 스파이크 단백질의 농도 및 주변 온도를

동시에 측정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 시스템의 구성을 개략적으로 예시하여 나타낸 도면.

도 2 내지 도 5는 도 1의 본 발명의 실시예에 따른 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 시스템을 설명하기 위한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0021] 이하, 본 발명의 다양한 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상술하겠다.

[0022] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 시스템의 구성을 개략적으로 예시하여 나타낸 도면이고, 도 2 내지 도 5는 도 1의 본 발명의 실시예에 따른 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 시스템을 설명하기 위한 도면이다. 이하, 도 1을 중심으로, 본 발명의 실시예에 따른 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 시스템에 대하여 설명하되, 도 2 내지 도 5를 참조하기로 한다.

[0023] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 시스템은, SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서(100), 광 소스(200) 및 광 스펙트럼 분석기(300)를 포함하여 구성될 수 있다.

[0024] SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서(100)는 광 소스(200)로부터 광을 입력받아 다중모드 간섭(MMI: multi-mode interference) 및 격자 공진(grating resonance)을 발생시켜 광 스펙트럼 분석기(300)로 출력한다. 이러한 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서(100)는 도 1에 도시된 바와 같이, 입력부(110), 간섭부(120), 공진부(130) 및 출력부(140)를 포함하여 구성될 수 있다.

[0025] 입력부(110)는 단일모드 광섬유(SMF: single-mode fiber)로 형성되며, 광 소스(200)와 연결되어 광 소스(200)로부터 광을 입력받는다. 여기서, 입력부(110)의 단일모드 광섬유는 도 1에 도시된 바와 같이, 코어(111) 및 클래딩(112)으로 구성될 수 있다.

[0026] 간섭부(120)는 코어없는 광섬유(NCF: no-core fiber)로 형성되며, 입력부(110)로부터 광을 전달받고, 전달된 광에 다중모드 간섭을 생성한다.

[0027] 공진부(130)는 장주기 광섬유 격자(LPFG: long-period fiber grating)(135)가 형성된 이중 클래딩 광섬유(DCF: double-clad fiber)로 형성되며, 간섭부(120)로부터 다중모드 간섭이 생성된 광을 전달받고, 전달된 다중모드 간섭이 생성된 광에 격자 공진이 중첩된 스펙트럼을 생성한다. 여기서, 이중 클래딩 광섬유는 도 1에 도시된 바와 같이, 코어(131), 내측 클래딩(132) 및 외측 클래딩(133)으로 구성될 수 있으며, 코어(131)에 미리 설정된 주기로 장주기 광섬유 격자(135)가 형성될 수 있다.

[0028] 예를 들어, 도 2는 고주파 이산화탄소 레이저 펄스로 이중 클래딩 광섬유에 장주기 광섬유 격자를 형성하는 것을 나타낸다. 용착 접속기를 이용하여 20mm 길이의 코어없는 광섬유 가닥과 18mm 길이의 이중 클래딩 광섬유 가닥을 직렬로 연결하여, 다중모드 간섭 및 격자 공진 스펙트럼을 갖는 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서(100)를 제작할 수 있다. 장주기 광섬유 격자는 도 2에 도시된 바와 같이, line-by-line 기법을 이용하여 이중 클래딩 광섬유 가닥에 10.6 μm 이산화탄소 레이저를 조사하여 제작될 수 있다. 5.5%의 펄스 폭 듀티 비율(duty ratio)에서 20kHz로 변조된 레이저의 펄스 출력은 최대 피크 전력이 30W이고, 평균 전력이 2.78W이다. 빔(beam) 확장기에 의하여 출력 빔의 직경이 증가될 수 있으며, 확장된 빔은 f- θ 렌즈에 의하여 초점이 맞춰져 스팟(spot) 직경이 68 μm 가 된다. 초점이 맞춰진 빔은 2차원 광학 스캐너를 통해 이중 클래딩 광섬유 가닥을 스캔한다. 전용 컴퓨터에 의하여 제어되는 빔 스캐닝 전력, 마크(mark) 속도, 격자 주기 및 격자 주기 수와 같은 장주기 광섬유 격자의 제작 파라미터는 각각 3.08W, 33mm/s, 600 μm 및 27 개이다. 결과적으로, 격자 길이는 16.2mm가 된다. 고출력의 이산화탄소 레이저에 의한 장주기 광섬유 격자 제작 시 이중 클래딩 광섬유의 내측 클

래딩 영역까지 레이저에 의한 식각이 이루어지면 코어로 진행하던 빛이 이중 클래딩 광섬유 외부로 빠져나올 수 있어 외부 굴절률에 둔감한 특성이 감소될 수 있다. 그래서, 가능한 한 주변 매질의 굴절률에 둔감한 장주기 광섬유 격자를 제작하기 위하여, 이산화탄소 레이저에 의해 식각되는 영역의 대부분이 이중 클래딩 광섬유 가닥의 외측 클래딩에 존재하도록 낮은 레이저 출력으로 이중 클래딩 광섬유를 스캔한다.

- [0029] SARS-CoV-2 스파이크 단백질의 농도 측정을 위하여, 간섭부(120) 및 공진부(130) 즉, 코어없는 광섬유 및 이중 클래딩 광섬유의 표면에는 도 1에 도시된 바와 같이, SARS-CoV-2 스파이크 단백질이 결합되는 ACE2(angiotensin converting enzyme 2)와 같은 수용체(10)가 부착될 수 있다.
- [0030] 출력부(140)는 단일모드 광섬유로 형성되며, 공진부(130)로부터 다중모드 간섭과 격자 공진 스펙트럼이 중첩된 광을 전달받아 광 스펙트럼 분석기(300)로 출력한다. 여기서, 출력부(140)의 단일모드 광섬유는 도 1에 도시된 바와 같이, 코어(141) 및 클래딩(142)으로 구성될 수 있다.
- [0031] 광 소스(200)는 광대역 광원(broadband light source)으로서, SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서(100)로 광대역의 광을 입사시킨다.
- [0032] 광 스펙트럼 분석기(300)는 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서(100)를 투과한 광의 파장별 세기를 나타내는 스펙트럼을 측정한다.
- [0033] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서(100)가 공기 중에 위치할 때, 파장별 파워를 나타내는 투과 스펙트럼 (transmission spectrum)을 1460~1580nm 파장 대역에서 측정한 결과를 나타낸다. 도 2의 투과 스펙트럼에 나타난 두 투과 골은 센서 표지자(D_A , D_T)로 이용될 수 있다. D_A 는 코어없는 광섬유에 의하여 생성된 항원 단백질 표지자(antigen protein indicator)로 이용될 수 있고, D_T 는 장주기 광섬유 격자가 형성된 이중 클래딩 광섬유에 의하여 생성된 온도 표지자(temperature indicator)로 이용될 수 있다.
- [0034] 도 4는 항원 단백질 농도 변화 및 주변 온도 변화에 따른 항원 단백질 표지자 및 온도 표지자의 파장 변화를 측정하기 위하여 구성된 실험 셋업을 개략적으로 예시하여 나타낸 것이다. 도 4의 실험 셋업을 이용하여, 본 발명의 실시예에 따른 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서(100)에 인가되는 SARS-CoV-2 스파이크 단백질의 농도가 $0 \sim 10^4$ ng/mL 범위에서 변화될 때, 발생하는 투과 스펙트럼의 변화가 측정된다. 이때, 부착된 ACE2 수용체와 인가된 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 사이의 결합이 원활하게 이루어질 수 있도록, SARS-CoV-2 스파이크 단백질 용액을 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서(100)에 인가하고 5분간 배양한 후에 결합이 이루어지지 않은 SARS-CoV-2스�파이크 단백질을 세척하여 제거한 뒤에 스펙트럼 측정이 진행된다. 미리 설정된 농도의 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 용액을 인가하고 배양시간 경과 후 투과 스펙트럼을 측정하고 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서(100)를 세척하는 순서로, 저농도(0ng/mL)부터 고농도(10^4 ng/mL)의 용액까지 반복 측정을 진행하였다. 특히, 10^4 ng/mL의 고농도 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 용액에 대한 검출 과정에서는 평면형 히터(hot plate)를 이용하여, 주변 온도를 24°C 에서 34°C 까지 증가시켰다. 여기서, 주변 온도는 여름철에 SARS-CoV-2 스파이크 단백질을 검출하는 공간에서 발생할 수 있는 온도 범위를 고려한 설정값이다.
- [0035] 도 5는 항원 단백질 표지자 및 온도 표지자의 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 농도 변화에 따른 파장 변화 및 항원 측정 시 인가된 주변 온도 변화에 따른 파장 변화의 측정 결과를 나타낸다.
- [0036] 도 5의 (a)를 참조하면, 항원 농도가 10배씩 증가함에 따라 다중모드 간섭에 의하여 생성된 항원 단백질 표지자(D_A)는 약 260pm의 파장이 변화하였다. 그리고, 장주기 광섬유 격자가 형성된 이중 클래딩 광섬유의 격자 공진에 의하여 생성된 온도 표지자(D_T)는 약 -40pm의 파장이 변화하였다. 여기서, 측정된 온도 표지자(D_T)의 작은 변화량은 항원 용액을 담기 위해 측정에 사용된 유리 용기(glass container) 내에서 발생하는 온도 요동에 기인한 것으로 추측된다.
- [0037] 이에 반해, 도 5의 (b)를 참조하면, 항원 측정 시 주변 온도를 변화시킬 경우, $24 \sim 34^\circ\text{C}$ 범위의 온도 변화에 대하여 항원 단백질 표지자(D_A)는 20pm, 온도 표지자(D_T)는 560pm의 파장이 변화하였다.
- [0038] 이러한 측정 결과를 기반으로, 본 발명의 실시예에 따른 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서(100)는 두 표지자의 굴절률 및 온도에 대한 상보적 반응 특성을 이용하여, SARS-CoV-2 스파이크 단백질 농도 변화에 따른 굴절률 변화를 주변 온도 변화에 둔감하게 비표지 방식으로 검출할 수 있을 뿐만 아니라, SARS-CoV-2 스파이크 단백질 농도 변화 측정 시 발생할 수 있는 주변 온도 변화를 독립적으로 측정하는 것도 가능하다. 따라서,

본 발명의 실시예에 따른 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서(100)는 온도 외란에 의한 측정 오차를 개선할 수 있는 정확도가 높은 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출용 광섬유 바이오센서로 활용될 수 있다.

[0039] 즉, 본 발명의 실시예에 따른 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서(100)는 항원 단백질 농도 변화에 따른 굴절률 변화 및 주변 온도 변화를 측정하기 위하여 복수의 센서를 사용할 필요 없이, 스펙트럼 상의 두 센서 표시자의 파장 이동만을 확인함으로써, 두 물리량의 동시 측정이 가능하다. 또한, 광섬유 브래그 격자 대신에 격자 주기가 약 1000배 큰 장주기 광섬유 격자가 사용되기 때문에, 제작 공정의 편의성이 향상되며, 제작 비용이 절감될 수 있다. 또한, 장주기 광섬유 격자 제작 시 이산화탄소 레이저를 사용함으로써, 진폭 마스크 없이 제작이 가능하여 저단가 제작이 가능하다. 또한, 코어없는 광섬유의 다중모드 간섭의 스펙트럼 골과 장주기 광섬유 격자의 공진 스펙트럼 골을 각각 SARS-CoV-2 스파이크 단백질 농도와 주변 온도 측정에 독립적으로 이용할 수 있기 때문에, 일반적인 다중모드 간섭이나 장주기 광섬유 격자 공진 스펙트럼 골에서 개별적으로 발생할 수 있는 굴절률 및 온도 교차 민감도에 의한 오차를 최소화할 수 있다.

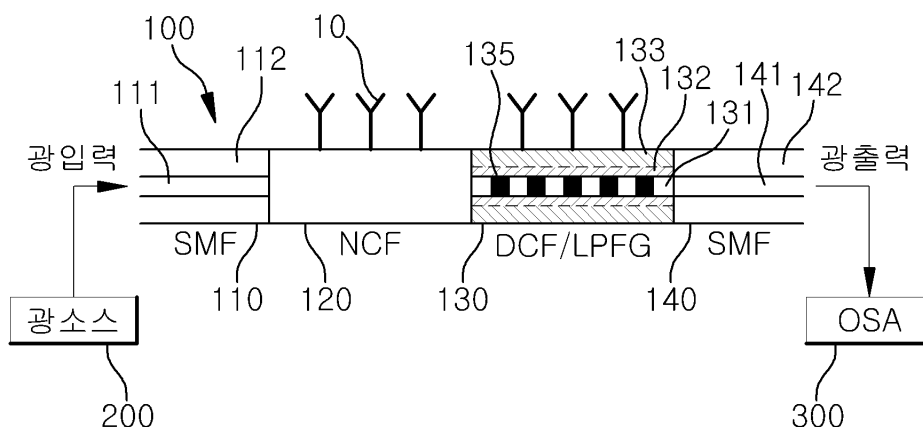
[0040] 상기한 본 발명의 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대한 통상의 지식을 가지는 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

부호의 설명

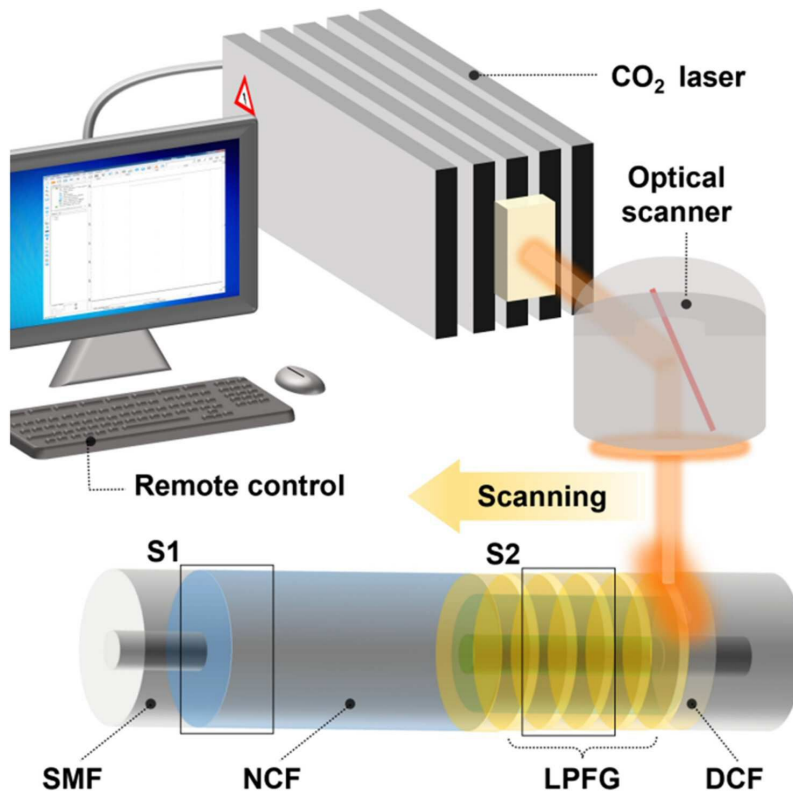
- [0041]
- 10: 수용체
 - 100: SARS-CoV-2 스파이크 단백질 검출 광섬유 센서
 - 110: 입력부
 - 120: 간섭부
 - 130: 공진부
 - 131: 코어
 - 132: 내측 클래딩
 - 133: 외측 클래딩
 - 135: 장주기 광섬유 격자(LPFG: long-period fiber grating)
 - 140: 출력부
 - 200: 광 소스
 - 300: 광 스펙트럼 분석기

도면

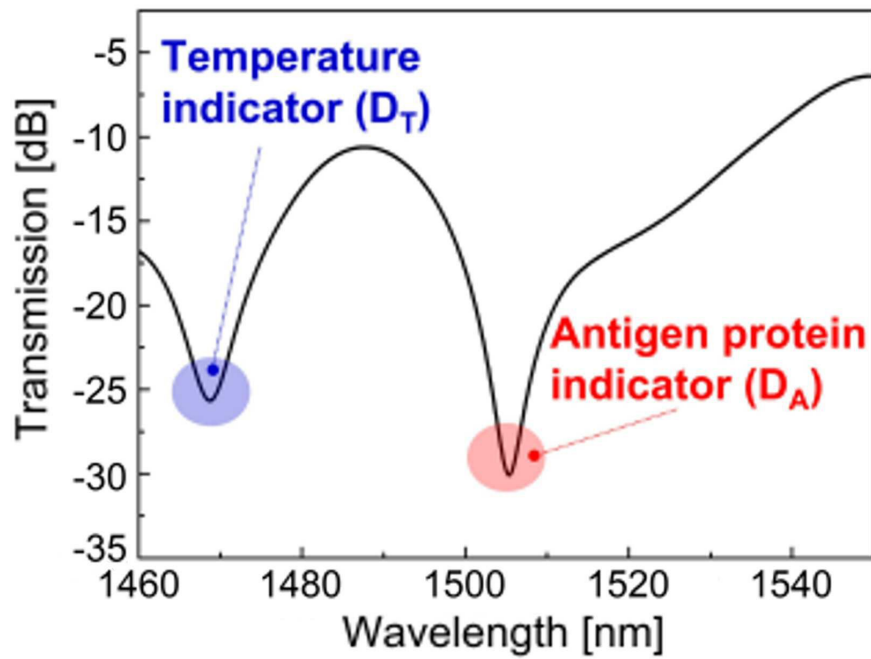
도면1



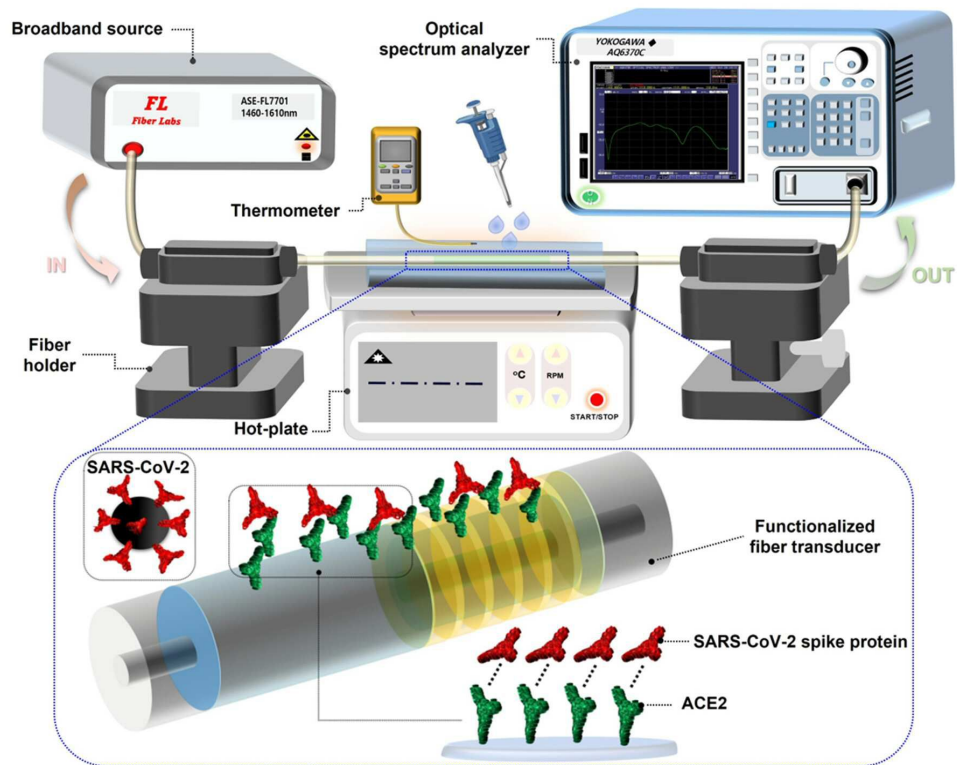
도면2



도면3



도면4



도면5

