



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년12월04일
(11) 등록번호 10-2186972
(24) 등록일자 2020년11월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01D 21/02 (2006.01) G01K 11/32 (2006.01)
G02B 6/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01D 21/02 (2013.01)
G01K 11/32 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0104334
(22) 출원일자 2019년08월26일
심사청구일자 2019년08월26일
(56) 선행기술조사문헌
A Hybrid fiber optic sensing system for simultaneous strain and temperature measurment and its applications(Ginu Rajan 외 9명, PHOTONICS LETTERS OF POLAND, VOL. 2(1), 46-48(2010). 공지시점 2010년)*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
한국전력공사
전라남도 나주시 전력로 55(빛가람동)
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
(72) 발명자
이용욱
부산광역시 남구 분포로 113, 엘지메트로시티 22 0동 2502호
김지훈
경상남도 김해시 인제로 167 101동 505호
(74) 대리인
특허법인아주

전체 청구항 수 : 총 4 항

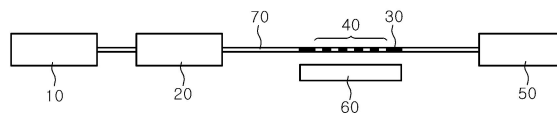
심사관 : 김기환

(54) 발명의 명칭 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자를 포함하는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서 및 이를 이용한 온도 및 스트레인 동시 측정 방법

(57) 요약

편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자를 포함하는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서로서, 상기 센서는 특정 파장 대역의 광 신호를 발생시키는 광원; 상기 광 신호의 편광 상태를 임의로 조절할 수 있는 편광 조절기; 상기 광 신호의 전송 경로가 되는 단일 또는 다수의 편광 유지 광자 결정 광섬유; 상기 편광 유지 광자 결정 광섬유 상에 형성된 장주기 광섬유 격자; 및 상기 장주기 광섬유 격자로부터 출력된 광 신호를 전기 신호로 변환하여 출력하는 광전 변환부를 포함하는 것인, 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자를 포함하는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서 및 이를 이용한 온도 및 스트레인 동시 측정 방법이 제공된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01L 1/242 (2013.01)
G02B 6/02057 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

Bragg Gratings in Pure-Silica
Polarization-Maintaining Photonic Crystal
Fiber(Bai-Ou Guan 외 4명, IEEE PHOTONICS
TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 20, NO. 3, pp.
1980-1982. 공지시점 2008년)*

KR1020010113696 A

KR101343954 B1

JP2011150133 A

KR1020050000607 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	R17XA05-65
부처명	한국전력공사
과제관리(전문)기관명	한국전력공사 전력연구원
연구사업명	지능형 전력망 내 하이브리드 안전 진단 시스템을 위한 나노 구조 광섬유 센서 개발
연구과제명	Development of nano-structured optical fiber sensor for a hybrid diagnosis
system in smart-grid	
기여율	1/1
과제수행기관명	부경대학교
연구기간	2017.05.01 ~ 2020.04.30
공지예외적용	: 있음

명세서

청구범위

청구항 1

편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자를 포함하는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서로서, 상기 센서는

특정 파장 대역의 광 신호를 발생시키는 광원;

상기 광 신호의 편광 상태를 임의로 조절할 수 있는 편광 조절기;

상기 광 신호의 전송 경로가 되는 단일 또는 다수의 편광 유지 광자 결정 광섬유;

상기 편광 유지 광자 결정 광섬유 상에 형성된 장주기 광섬유 격자; 및

상기 장주기 광섬유 격자로부터 출력된 광 신호를 전기 신호로 변환하여 출력하는 광전 변환부를 포함하는 것인, 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자를 포함하고,

상기 장주기 광섬유 격자에서 주기는 $10\mu\text{m}$ 내지 10mm 이고,

상기 편광 유지 광자 결정 광섬유는 코어와 클래딩으로 구성되고, 상기 클래딩은 주기적으로 배열된 다수의 공기 구멍들을 가지고 있고, 상기 클래딩 중 상기 코어 주변의 공기 구멍들의 크기는 상기 코어 주변 이외의 공기 구멍 대비 다르고, 상기 코어: 상기 클래딩의 길이의 비는 1:20 내지 1:10인 것인,

편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자를 포함하는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 광원, 상기 편광 조절기, 상기 편광 유지 광자 결정 광섬유, 상기 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자, 및 상기 광전 변환부는 일직선 상으로 배열된 것인, 편광 유지 광자 결정 광 섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자를 포함하는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서.

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 코어는 서로 직교하면서 다른 굴절률을 갖는 2개의 광축을 가지는 것인, 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자를 포함하는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서.

청구항 6

제1항, 제2항, 제5항 중 어느 한 항의 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자를 포함하는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서를 사용하는 단계를 포함하는 것인, 온도 및 스트레인을 동시에 측정하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자를 포함하는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서 및 이를 이용한 온도 및 스트레인 동시 측정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 광섬유(optical fiber)를 이용해 특정한 물리량을 측정하는 기술은 오래전부터 알려져 있었고, 이미 널리 상용화가 되어 있다. 광섬유를 통해 전파되는 빛이 외부 물리량 변화에 의해 세기 또는 파장의 변화를 겪게 되고 이를 광전 변환기 등을 통해 전기 신호로 바꾸어 분석함으로써, 광섬유를 통해 물리량을 측정할 수 있다.

[0004] 광섬유 센서의 대표적인 사례 중 하나로서, 광섬유 격자(grating) 기반 센서가 있다. 이것은 광섬유에서 실제로 빛이 전파되는 코어(core) 부위에 주기적인 굴절률 변화를 주어 격자를 만들면, 외부의 물리량 변화에 따라 격자를 지나는 빛의 특성도 변화하게 되고, 이를 분석함으로써 외부의 물리량을 측정하는 것이다.

[0005] 일반적으로 단일 모드 광섬유(single-mode fiber)의 코어에 주기적인 굴절률 변화를 주어 광섬유 브래그 격자(fiber Bragg grating)를 제작할 수 있다. 이렇게 제작된 광섬유 격자는 특정한 공진 파장(resonance wavelength)에 해당하는 빛을 통과시키지 않고 반사시키는 특성을 가지고 있다. 공진 파장은 광섬유 코어의 유효 굴절률과 격자의 주기에 의해 결정된다. 따라서, 광섬유에 인가되는 자극에 의해 광섬유 코어의 유효 굴절률 또는 격자의 주기가 바뀐다면 공진 파장에 천이(shift)가 일어나게 되고, 이러한 천이를 측정하여 물리량 변화를 계산할 수 있다.

[0006] 그러나, 대부분의 광섬유 센서는 외부 온도에 민감하게 반응하기 때문에, 온도 이외의 다른 물리량(스트레인, 진동, 압력, 전류 등)을 측정하기 위해서는 온도에 대한 변화량을 함께 고려하여 측정값을 보상(compensation)해줄 필요가 있다.

[0007] 이를 위한 종래의 기술 중에서 대표적으로 한국공개특허 제2003-0067352호에서 개시된 편광 유지 광섬유 격자를 이용한 센서가 있다. 이것은 특수한 광섬유인 편광 유지 광섬유(polarization-maintaining fiber)에 광섬유 브래그 격자를 새겨서 센서 헤드(sensor head)로 사용하였고, 두 가지의 물리량을 동시에 측정할 수 있도록 한 것이다.

[0008] 그러나 이 기술은 편광 유지 광섬유에 광섬유 브래그 격자를 새기기 힘들다는 문제점이 존재한다. 또한, 편광 유지 광섬유는 서로 다른 광학적 특성 및 열팽창계수(thermal expansion coefficient)를 가지는 물질들로 구성되어 있어, 편광 유지 광섬유 격자의 특성을 결정하는 편광 유지 광섬유의 복굴절이 측정 물리량 외 환경적 외란(굽힘, 압력, 진동 등)에 민감하다는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 목적은 저 비용으로 그리고 더 높은 수율로 제조될 수 있는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서를 제공하는 것이다.

[0011] 본 발명의 다른 목적은 온도와 스트레인 2개의 물리량을 측정하기 위하여 복수의 센서를 사용할 필요가 없이 단일 센서만을 이용하고 편광 조절기를 통해 입력 편광만을 조절함으로써 2개의 물리량을 동시에 측정할 수 있는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서를 제공하는 것이다.

[0012] 본 발명의 또 다른 목적은 실리카 단일 소재로 구성된 편광 유지 광자 결정 광섬유를 이용함으로써 외부 물리량 인가 시 센서의 안정성과 신뢰성을 향상시킬 수 있는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명의 하나의 관점은 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자를 포함하는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서에 관한 것이다.

[0015] 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자를 포함하는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서는 특

정 파장 대역의 광 신호를 발생시키는 광원; 상기 광 신호의 편광 상태를 임의로 조절할 수 있는 편광 조절기; 상기 광 신호의 전송 경로가 되는 단일 또는 다수의 편광 유지 광자 결정 광섬유; 상기 편광 유지 광자 결정 광섬유 상에 새겨진 장주기 광섬유 격자; 및 상기 장주기 광섬유 격자로부터 출력된 광 신호를 전기 신호로 변환하여 출력하는 광전 변환부를 포함한다.

- [0016] 일 구체예에서, 상기 광원, 상기 편광 조절기, 상기 편광 유지 광자 결정 광섬유, 및 상기 광전 변환부는 일직선 상으로 배열될 수 있다.
- [0017] 일 구체예에서, 상기 광학 요소들 간의 연결에는 단일 모드 광섬유를 사용할 수 있다.
- [0018] 일 구체예에서, 상기 장주기 광섬유 격자에서 격자 주기는 $10\mu\text{m}$ 내지 10mm 일 수 있다.
- [0019] 일 구체예에서, 상기 편광 유지 광자 결정 광섬유는 코어와 클래딩(cladding)으로 구성되고, 상기 클래딩은 주기적으로 배열된 다수의 공기 구멍들을 가지고 있으며, 상기 클래딩 중 상기 코어 주변의 공기 구멍들의 크기는 상기 코어 주변 이외의 공기 구멍 대비 다를 수 있다.
- [0020] 일 구체예에서, 상기 코어는 서로 직교하면서 다른 굴절률을 갖는 2개의 광축을 가지며 두 축의 굴절률 차이에 해당하는 복굴절은 10^{-3} 내지 10^{-5} 일 수 있다.
- [0021] 본 발명의 다른 관점은 온도 및 스트레인 동시 측정 방법이다.
- [0022] 온도 및 스트레인 동시 측정 방법은 본 발명의 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자를 포함하는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서를 사용하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

- [0024] 본 발명은 저 비용으로 그리고 더 높은 수율로 제조될 수 있는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서를 제공하였다.
- [0025] 본 발명은 온도와 스트레인 2개의 물리량을 측정하기 위하여 복수의 센서를 사용할 필요가 없이 단일 센서를 이용하고 편광 조절기를 통해 입력 편광만을 조절함으로써 2개의 물리량을 동시에 측정할 수 있는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서를 제공하였다.
- [0026] 본 발명은 실리카 단일 소재로 구성된 편광 유지 광자 결정 광섬유를 격자 제작에 이용함으로써 외부 물리량 인가 시 센서의 안정성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서를 제공하였다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 센서의 모식도이다.
- 도 2는 (a)편광 유지 광자 결정 광섬유(PM-PCF)의 단면도, (b)편광 유지 광섬유(PMF)의 단면도, (c)광자 결정 광섬유(PCF)의 단면도이다.
- 도 3은 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자에 선형 편광된 광대역 광원을 입사시킨 후 입력 편광에 따른 출력 스펙트럼을 측정한 결과이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서에서 온도를 측정하는 실험 셋업의 모식도이다.
- 도 5는 도 4의 셋업에서 온도 변화를 주었을 때 투과 스펙트럼 상 첫번째 골의 공진 파장 변화를 나타낸 것이다.
- 도 6은 도 4의 셋업에서 온도 변화를 주었을 때 투과 스펙트럼 상 두번째 골의 공진 파장 변화를 나타낸 것이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 센서에서 스트레인을 측정하는 실험 셋업의 모식도이다.
- 도 8은 도 7의 셋업에서 스트레인 변화를 주었을 때 투과 스펙트럼 상 첫번째 골의 공진 파장 변화를 나타낸 것이다.
- 도 9는 도 7의 셋업에서 스트레인 변화를 주었을 때 투과 스펙트럼 상 두번째 골의 공진 파장 변화를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 첨부한 도면을 참고하여 실시예에 의해 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성 요소에 대해서는 동일한 명칭을 사용하였다. 도면에서 각 구성 요소의 길이, 크기는 본 발명을 설명하기 위한 것으로 본 발명이 도면에 기재된 각 구성 요소의 길이, 크기에 제한되는 것은 아니다.
- [0030] 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 것이다.
- [0031] 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있으므로 그 정의는 본 발명을 설명하는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0032] 본 발명의 발명자는 편광 유지 광자 결정 광섬유(polarization-maintaining photonic crystal fiber)에 새겨진 장주기 광섬유 격자(long-period fiber grating)를 형성하여 온도 및 스트레인을 동시에 측정하는 센서 헤드로 사용함으로써, 센서를 저 비용으로 수월하게 제조할 수 있고, 하기 상술되는 종래 편광 유지 광섬유 상 격자 제작 시 요구되었던 미세 정렬이 필요 없으며 종래 편광 유지 광섬유에 형성된 광섬유 격자에 비하여 더 높은 수율로 광섬유 격자를 제조할 수 있음을 확인하였다.
- [0033] 또한, 본 발명의 센서는 온도와 스트레인 2개의 물리량을 측정하기 위하여 복수의 센서 헤드를 사용할 필요가 없이 단일 센서 헤드를 이용하고 편광 조절기를 통해 입력 편광만을 조절함으로써 2개의 물리량을 동시에 측정할 수 있다.
- [0034] 또한, 하기에서 상술되는 바와 같이 실리카 단일 소재로 구성된 편광 유지 광자 결정 광섬유를 격자 제작에 이용함으로써 외부 물리량 인가 시 센서의 안정성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다.
- [0035] 본 발명의 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자를 포함하는 온도 및 스트레인 동시 측정용 센서는 특정 파장 대역의 광 신호를 발생시키는 광원; 상기 광 신호의 편광 상태를 임의로 조절할 수 있는 편광 조절기; 상기 광 신호의 전송 경로가 되는 단일 또는 다수의 편광 유지 광자 결정 광섬유; 상기 편광 유지 광자 결정 광섬유 상에 새겨진 장주기 광섬유 격자; 및 상기 장주기 광섬유 격자로부터 출력된 광 신호를 전기 신호로 변환하여 출력하는 광전 변환부를 포함한다. 이하, 도 1을 참조하여, 본 발명의 센서를 설명한다.
- [0036] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 센서는 광원 (10), 편광 조절기 (20), 편광 유지 광자 결정 광섬유 (30), 장주기 광섬유 격자 (40), 광전 변환부 (50)를 구비한다.
- [0037] 편광 조절기 (20)은 단일 모드 광섬유 (70)에 의해 편광 유지 광자 결정 광섬유 (30)와 연결되어 있을 수 있다. 도 1에서 도시되지 않았지만, 광원 (10)은 단일 모드 광섬유에 의해 편광 조절기 (20)에 연결될 수 있다. 도 1에서 도시되지 않았지만, 편광 유지 광자 결정 광섬유 (30)는 단일 모드 광섬유 (70)에 의해 광전 변환부 (50)에 연결될 수 있다.
- [0038] 광원 (10)으로부터 나온 광 신호는 편광 조절기 (20)를 통과하면서 편광 상태가 변경되어 전송되고, 전송된 광 신호는 편광 유지 광자 결정 광섬유 (30)를 통과할 수 있다. 이때 편광 유지 광자 결정 광섬유 상에 새겨진 장주기 광섬유 격자 (40)에서는 외부에서 물리량이 인가되고 이를 통해 광 신호가 변화되고, 변화된 광 신호는 광전 변환부 (50)에서 전기적 신호로 전환 및 분석됨으로써 구동된다.
- [0039] 광원 (10)은 특정 파장 대역의 광 신호를 발생시키는 것으로서 자외선, 가시광선, 적외선 파장 대역 중에서 선택되는 어느 하나의 전자파를 포함하는 광을 출력시킬 수 있다. 광원 (10)은 유기 발광 다이오드 등을 포함하는 발광 다이오드, 태양광, 형광등, 백열등, 증폭자발방출광(amplified spontaneous emission light), 초연속체광(supercontinuum light) 및 레이저 중에서 선택되는 어느 하나를 포함할 수 있지만, 이에 제한되지 않는다.
- [0040] 편광 조절기 (20)는 광원 (10)으로부터 나온 광 신호를 수용하고 광 신호의 편광 상태를 변경한다. 광 신호 중 특정 편광 상태의 광 신호가 편광 조절기 (20)를 통해 전송된다.
- [0041] 편광 유지 광자 결정 광섬유 (30)는 편광 조절기 (20)을 통해 나온 편광된 광 신호를 수용하여 전송한다. 본 발명에서는 장주기 광섬유 격자가 새겨지는 광섬유로서 편광 유지 광자 결정 광섬유를 사용하는 것을 특징으로 한

다.

- [0042] 편광 유지 광자 결정 광섬유 (30)는 편광 유지 광섬유의 특성과 광자 결정 광섬유의 특성을 동시에 갖는 광섬유이다. 도 2를 참조하여, 편광 유지 광자 결정 광섬유, 편광 유지 광섬유, 광자 결정 광섬유에 대해 상세하게 설명한다.
- [0043] 도 2를 참조하면, 편광 유지 광섬유(PMF)(b)는 광섬유를 진행하는 빛의 편광을 의도적으로 유지하기 위하여 제작된 고 굴절률 광섬유이다. 편광 유지 광섬유는 서로 직교하면서 다른 굴절률을 갖는 2개의 광축을 갖는다. 즉, 코어의 굴절률이 2개이다. 이러한 특성을 구현하기 위하여 편광 유지 광섬유는 코어의 측면 즉 클래딩에 스트레스 로드(stress rod)를 삽입하여 인위적인 응력을 인가한다. 광자 결정 광섬유(PCF)(c)는 클래딩에 다수의 작은 공기 구멍들을 주기적으로 배열하여 얻어지는 광 밴드 갭(bandgap) 효과를 이용하여 광을 도파시킬 수 있는 광섬유로서, 코어와 클래딩이 단일한 물질로 이루어져 있어 다른 광섬유에 비하여 온도 변화에 대해서 낮은 민감도를 보인다.
- [0044] 본 발명에서 사용되는 편광 유지 광자 결정 광섬유(PM-PCF)(a)는 광자 결정 광섬유와 마찬가지로 클래딩에 주기적으로 배열된 다수의 작은 공기 구멍들을 가질 수 있으며, 코어에 복굴절을 유도하기 위해 상기 클래딩 중 코어 주변의 공기 구멍들의 크기를 나머지 즉 코어 주변의 공기 구멍들에 비해 크게 형성한다. 즉, 편광 유지 광자 결정 광섬유는 상술한 편광 유지 광섬유의 특성과 광자 결정 광섬유의 특성을 동시에 갖는다. 따라서, 편광 유지 광자 결정 광섬유는 단일 물질로 이루어져 온도에 둔감하면서 안정적으로 광 신호를 전송할 수 있고, 입력 편광에 따라 서로 다른 코어 굴절률을 가져 두 물리량을 동시에 측정할 수 있는 격자 제작이 가능하다.
- [0045] 또한, 종래 편광 유지 광섬유에 격자를 형성하는 경우를 살펴보면, 격자 형성을 위해 편광 유지 광섬유에 레이저를 조사하여도 코어 양 옆에 존재하는 스트레스 로드(rod)가 레이저 광의 투과를 방해하여 격자가 제대로 새겨지지 않는 문제점이 있었다. 이를 방지하기 위하여 레이저 조사 전에 스트레스 로드(rod)의 위치를 미리 파악하여 조사되는 레이저가 스트레스 로드(rod)가 없는 쪽의 편광 유지 광섬유 코어 부분으로 진행할 수 있도록 편광 유지 광섬유의 종방향 축에 대해 미세하게 정렬할 필요가 있었다. 그러나, 이러한 종방향 축의 미세 정렬 과정은 편광 유지 광섬유의 종방향 축의 정밀한 각도 조절이 필요하고, 이러한 정밀 작업은 제조 단가를 상승시킴과 동시에 격자 형성 수율을 심각하게 낮출 수 있다.
- [0046] 반면에, 본 발명에서 제안하는 편광 유지 광자 결정 광섬유에 격자를 형성하고자 하는 경우, 코어와 다른 물질로 이루어진 스트레스 로드(rod)가 존재하지 않으므로, 상술한 광섬유 축의 미세 정렬이 필요 없고, 편광 유지 광섬유에 비하여 더 높은 수율로 격자를 제조할 수 있어, 공정 효율성을 높일 수 있다.
- [0047] 편광 유지 광자 결정 광섬유 (30)는 코어와 클래딩(cladding)으로 구성되고, 상기 클래딩은 주기적으로 배열된 다수의 작은 공기 구멍들을 가질 수 있으며, 코어 주변의 공기 구멍들은 그 크기가 나머지 공기 구멍들과 다를 수 있다. 또한, 코어는 서로 직교하면서 다른 굴절률을 갖는 2개의 광축을 가진다. 예를 들어, 코어의 복굴절은 10^{-3} 내지 10^{-5} 의 값이 될 수 있지만, 이에 제한되지 않는다.
- [0048] 편광 유지 광자 결정 광섬유의 단면에서 코어:클래딩의 길이의 비는 1:20 내지 1:10이 될 수 있다. 광통신에 주로 사용되는 적외선 대역의 빛은 일반적으로 코어의 직경이 8 내지 $10\mu\text{m}$ 인 단일 모드 광섬유에서 단일 모드로 도파될 수 있다. 그러나, 입력되는 빛의 특성에 따라 단일 모드로 도파되는 조건이 다르기 때문에, 코어:클래딩 길이의 비는 이에 제한되지 않는다.
- [0049] 편광 유지 광자 결정 광섬유는 단일 모드 광섬유와 동일 재질로 형성될 수 있다. 예를 들면, 편광 유지 광자 결정 광섬유는 실리카 단일 물질로 형성될 수 있지만, 이에 제한되지 않는다.
- [0050] 편광 유지 광자 결정 광섬유 (30)는 상업적으로 시판되는 제품을 사용할 수 있지만, 이에 제한되지 않는다.
- [0051] 장주기 광섬유 격자 (40)는 종래 광섬유 브래그 격자 대비 주기가 큰 광섬유 격자로서, 격자의 주기가 크기 때문에 광섬유 브래그 격자에 비해 수월하게 그리고 저 비용으로 제조될 수 있다.
- [0052] 일 구체예에서, 장주기 광섬유 격자 (40)에서 격자 주기는 $10\mu\text{m}$ 내지 10mm 가 될 수 있다. 상기 격자 주기 범위에서, 광섬유 격자의 제작 공정 효율성이 우수하고, 광섬유 격자의 외부 물리량에 대한 민감도도 높일 수 있다.
- [0053] 편광 유지 광자 결정 광섬유 (30)에 장주기 광섬유 격자 (40)를 형성하는 방법은 특별히 제한되지 않으며, 종래 편광 유지 광섬유에 광섬유 격자를 형성할 때 적용하는 방법을 채용할 수 있다. 예를 들면, 편광 유지 광자 결정 광섬유 (30)에 엑시머 레이저와 같은 자외선 레이저나 CO_2 레이저와 같은 적외선 레이저를 광섬유의 측면에

주기적으로 조사한다. 높은 에너지를 갖는 레이저 빛이 광섬유의 코어에 도달하면 코어의 굴절률에 변화가 생긴다.

- [0054] 장주기 광섬유 격자가 새겨진 광섬유에 광대역 광원을 입사시키면 위상 정합 조건(phase matching condition)에 따라 특정 파장 대역의 빛이 클래딩으로 빠져나가게 되며, 해당 파장 대역은 출력 스펙트럼에서 손실로 나타나게 된다. 광섬유 브래그 격자와 달리 공진 파장에 해당하는 빛이 클래딩으로 빠져나가므로 반사가 없으며, 공진 파장은 위상 정합 조건을 결정하는 격자의 주기, 코어 및 클래딩의 유효 굴절률에 의해 결정된다. 따라서, 외부 물리량에 의해 격자의 주기나 광섬유의 굴절률이 변하게 되면 위상 정합 조건에 따라 공진 파장도 바뀌게 되므로, 변화된 공진 파장을 측정하면 인가된 외부 물리량 변화를 역으로 계산할 수 있다.
- [0055] 장주기 광섬유 격자가 새겨진 편광 유지 광자 결정 광섬유에 온도 및 스트레인과 같은 물리적 자극이 인가되면, 격자의 주기 또는 광섬유 코어 및 클래딩의 유효 굴절률(effective refractive index)이 변하면서 장주기 광섬유 격자의 공진 파장이 이동하게 되고, 여기서 공진 파장의 이동량을 측정하면 간단한 계산을 통해 격자에 인가된 물리량을 얻어낼 수 있게 된다. 본 발명의 편광 유지 광자 결정 광섬유에 형성된 장주기 광섬유 격자는 편광 조절기를 통해 격자로 입력되는 입력 편광에 따라 출력 스펙트럼의 손실 대역이 변하는 특성을 갖는다. 본 발명의 센서에서도 외부 물리량의 변화는 두 직교 입력 편광에 대해 얻어지는 상기 손실 대역의 공진 파장 변화를 이용하여 측정될 수 있다.
- [0056] 도 3은 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자에 선형 편광된 광대역 광원을 입사시킨 후 입력 편광에 따른 출력 스펙트럼을 측정한 결과이다. 도 3을 참조하면, 편광 유지 광자 결정 광섬유는 서로 다른 굴절률을 가지는 2개의 직교하는 광축을 가지고 있으므로, 하나의 광축과 일치하는 선형 편광된 빛을 입사시켜 줌으로써 이 광축에서 빛이 느끼는 굴절률에 해당하는 위상 정합 조건을 만족하는 손실 스펙트럼 골(dip)을 얻을 수 있다. 또한, 두 광축은 서로 직교하므로 입사되는 빛의 편광을 90도 변경하면 다른 위상 정합 조건을 만족하는 다른 공진 파장의 손실 골을 얻을 수 있다. 즉, 단일 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자로부터 서로 다른 공진 파장을 가지는 2개의 손실 골을 입력 편광에 따라 선택할 수 있다.
- [0057] 종래 사용되었던 편광 유지 광섬유에 장주기 광섬유 격자를 형성한 센서의 경우 광섬유가 단일한 물질로 이루어지지 않았기 때문에 제안하는 발명의 센서에 비해 안정성과 신뢰성이 떨어지며, 격자 제조 공정이 복잡하여 격자 형성 수율이 낮다는 문제점이 있을 수 있다.
- [0058] 종래 사용되었던 광자 결정 광섬유에 장주기 광섬유 격자를 형성한 센서의 경우 광자 결정 광섬유가 축에 따른 명백한 복굴절을 가지고 있지 않기 때문에 입력 편광에 따른 출력 스펙트럼의 손실 대역 변화가 없으며, 단일 센서만으로 온도와 스트레인 2개의 물리량을 동시에 측정할 수 없다는 문제점이 존재한다.
- [0059] 다시 도 1을 참조하면, 편광 유지 광자 결정 광섬유에 형성된 장주기 광섬유 격자로부터 출력된 광 신호는 광전 변환부 (50)을 통해 전기 신호로 변환되어 출력됨으로써 외부 물리량을 알 수 있게 된다.
- [0060] 외부 물리량 공급 수단 (60)은 온도 변화, 스트레인 변화를 제공할 수 있는 통상의 수단을 포함할 수 있다.
- [0061] 일 구체예에서, 광원, 편광 조절기, 편광 유지 광자 결정 광섬유, 편광 유지 광자 결정 광섬유에 형성된 장주기 광섬유 격자, 및 광전 변환부는 일직선 상으로 배열될 수 있다.
- [0062] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 센서에서 온도를 측정하는 실험 셋업의 모식도이다. 도 4를 참조하면, 센서는 광원 (10), 편광 조절기 (20), 편광 유지 광자 결정 광섬유 (30), 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자 (40), 광전 변환부 (50), 온도 변화 공급 수단 (60A)을 구비한다. 도 1 대비 온도 변화 공급 수단 (60A)을 구비하는 점을 제외하고는 도 1과 실질적으로 동일하다.
- [0063] 온도 변화 공급 수단은 장주기 광섬유 격자 (40)에 온도 변화를 제공하는 것으로서, 전기식 히터 등을 포함할 수 있지만, 이에 제한되지 않는다.
- [0064] 광원 (10)에서 나온 빛은 단일 모드 광섬유를 통해 편광 조절기 (20)를 지나면서 적절한 편광으로 바뀐 뒤, 장주기 광섬유 격자 (40)에 입사되며, 최종적으로 광전 변환부 (50)를 통해 출력 스펙트럼 특성에 따라 다르게 도출된다. 장주기 광섬유 격자 (40)는 온도 변화 공급 수단 (60A) 상에 배치되어 인위적으로 온도 변화를 인가할 수 있게 한다. 도 4의 센서를 이용하여 장주기 광섬유 격자에 단계적인 온도 변화를 인가하였을 때, 투과 스펙트럼의 결과를 도 5, 도 6에 나타내었다.
- [0065] 도 5를 참조하면, 도 5는 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자에 단계적인 온도 변화를 인가하였을 때, 투과 스펙트럼 상 첫 번째 손실 골의 공진 파장 변화를 측정한 결과이다. 편광 유지 광자 결정 광섬유

기반 장주기 광섬유 격자는 입사되는 빛의 편광에 따라 2개의 손실(공진) 골이 관측된다. 여기서는 단과장 측의 골이 나오도록 입력 편광을 조절한 뒤 온도 변화에 따른 골의 공진 파장 이동을 조사하였다. 측정 결과 온도가 증가함에 따라 공진 파장(즉, 골의 파장)은 장과장 쪽으로 천이되었으며, 약 8.0pm/°C의 온도 민감도를 얻을 수 있었다. 상기 "온도 민감도"는 온도에 의한 전체 파장 천이량을 격자에 인가된 전체 온도 변화량으로 나눠 계산될 수 있다.

[0066] 도 6을 참조하면, 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자에 입사되는 빛의 편광을 바꾸어 장과장 측에 있는 공진 파장 측, 두 번째 골이 출력되도록 한 뒤, 이전과 동일한 온도 특성 실험을 반복한 결과이다. 마찬가지로 온도가 증가함에 따라 공진 파장이 장과장 쪽으로 천이되었으며, 온도 민감도는 약 8.57pm/°C이었다.

[0067] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 센서에서 스트레인을 측정하는 실험 셋업의 모식도이다. 도 7을 참조하면, 센서는 광원 (10), 편광 조절기(20), 편광 유지 광자 결정 광섬유 (30), 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자 (40), 광전 변환부 (50), 스트레인 변화 공급 수단 (60B)을 구비한다. 도 4 대비 실질적으로 동일하되, 스트레인을 인가하기 위해 장주기 광섬유 격자 (40) 양 끝단에 스트레인 변화 공급 수단 (60B)인 이동식 스테이지(translation stage)를 배치하고 접촉제로 장주기 광섬유 격자를 부착하여 길이 방향으로 장력을 주면서 정량적인 스트레인 변화를 인가할 수 있도록 하였다.

[0068] 도 7의 센서를 이용하여 장주기 광섬유 격자에 스트레인을 인가하였을 때, 투과 스펙트럼의 결과를 도 8, 도 9에 나타내었다.

[0069] 도 8을 참조하면, 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자에 단계적인 스트레인 변화를 인가하였을 때, 단과장 쪽 골(첫 번째 골)의 공진 파장 변화를 측정한 결과이다. 온도에 대한 반응과는 달리 인가되는 스트레인이 증가함에 따라 공진 파장이 단과장 쪽으로 천이되었으며, 스트레인 민감도는 약 -0.824pm/μ ε 이었다.

[0070] 도 9를 참조하면, 도 8의 측정 실험에 대해 직교하는 입력 편광에서 얻어지는 장과장 쪽 두 번째 골에 대해서도 스트레인 인가에 따른 공진 파장의 변화 특성을 조사하였다. 도 9를 참조하면 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자에 도 8의 측정 실험과 동일한 스트레인을 인가하면서 공진 파장의 변화를 측정하였다. 측정 결과, 스트레인이 증가함에 따라 공진 파장이 단과장 쪽으로 천이되었으며, 스트레인 민감도는 약 -1.43pm/μ ε 이었다.

[0071] 본 발명에 따른 센서는 단일 센서 헤드로 복수의 출력을 얻을 수 있고, 각 출력별로 인가되는 물리량에 대한 민감도가 모두 선형이고 다른 값을 갖는다면 1차 연립방정식을 통해 두 인가된 물리량을 분리할 수 있다. 만약, 상기 언급된 민감도가 물리량 별로 모두 같은 값을 갖게 된다면 연립방정식이 부정이 되어 두 물리량을 구분할 수 없다. 일반적으로 장주기 광섬유 격자는 여러 물리량에 교차 민감도를 가지므로, 장주기 광섬유 격자 하나의 단일 출력으로부터 센서 헤드(장주기 광섬유 격자)에 인가되는 두 가지 물리량을 구분하여 동시에 측정하는 것은 불가능하다.

[0072] 표 1은 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반의 장주기 광섬유 격자를 사용하여 측정한 온도 및 스트레인 민감도를 입력 편광에 따른 골에 따라 정리한 것이다. 4개의 민감도가 온도나 스트레인별로 전부 다르기 때문에 각 골의 파장 변화를 측정하면 하기 식 1을 이용하여 인가된 온도 및 스트레인 변화를 간단히 분리할 수 있다.

[0073] [식 1]

$$\begin{bmatrix} \Delta T \\ \Delta \epsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \kappa_{T1} & \kappa_{\epsilon 1} \\ \kappa_{T2} & \kappa_{\epsilon 2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta \lambda_1 \\ \Delta \lambda_2 \end{bmatrix}$$

[0075] (상기에서, 여기서 ΔT와 Δε는 온도 및 스트레인의 변화량이며, Δλ₁과 Δλ₂는 각 골의 공진 파장 변화량, 그리고 κ_{T1} 및 κ_{T2}는 각 골의 온도 민감도, κ_{ε1} 및 κ_{ε2}는 각 골의 스트레인 민감도이다).

표 1

구분	온도 민감도 [pm/°C]	스트레인 민감도 [pm/μ ε]
골 1	약 8.0	약 -0.824
골 2	약 8.57	약 -1.43

[0077] 본 발명의 센서는 온도와 스트레인 뿐만 아니라, 압력, 구부림, 비틀림, 굴절률, 가스, 전압, 전류, 자기장 중 1종 이상의 외부 물리량도 측정할 수 있다.

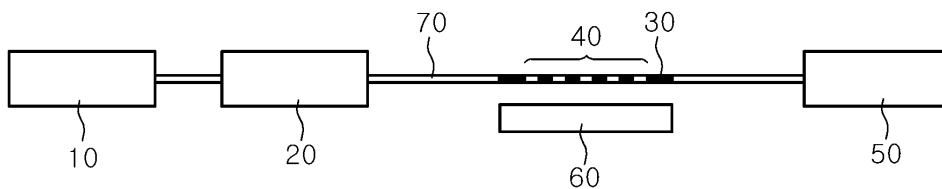
[0079] 본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 이 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의하여 용이하게 실시될 수 있으며, 이러한 변형이나 변경은 모두 본 발명의 영역에 포함되는 것으로 볼 수 있다.

부호의 설명

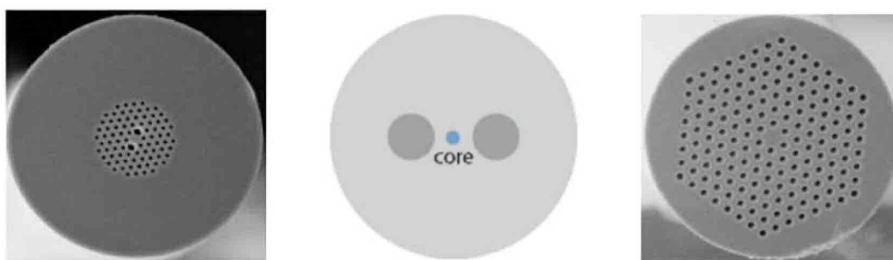
- [0081] 10: 광원 20: 편광 조절기
 30: 편광 유지 광자 결정 광섬유 40: 장주기 광섬유 격자
 50: 광전 변환부 60: 외부 물리량 공급 수단
 60A: 온도 변화 공급 수단 60B: 스트레인 변화 공급 수단
 70: 단일 모드 광섬유

도면

도면1



도면2

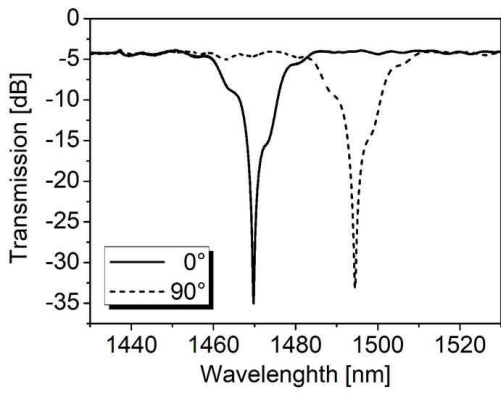


(a) PM-PCF

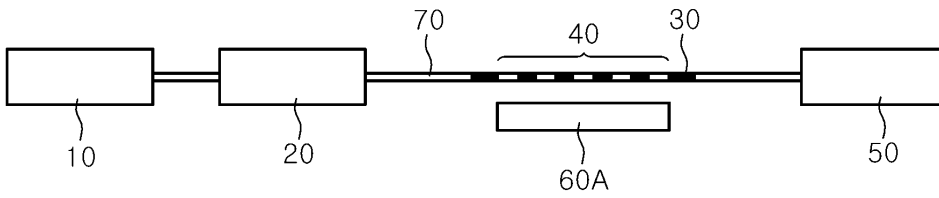
(b) PMF

(c) PCF

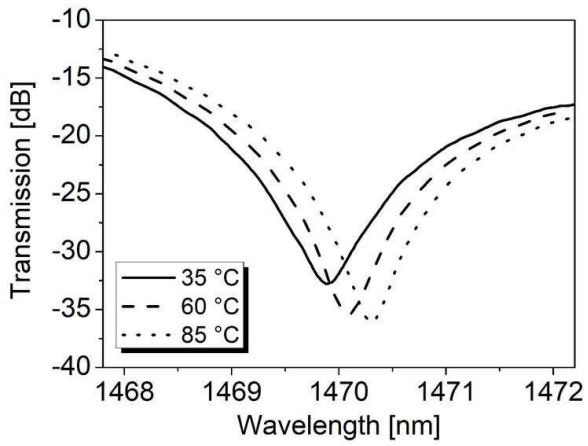
도면3



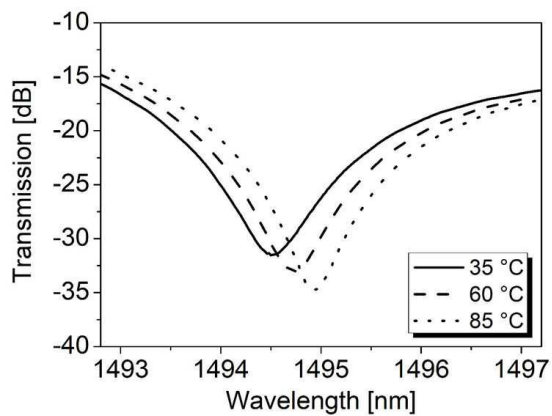
도면4



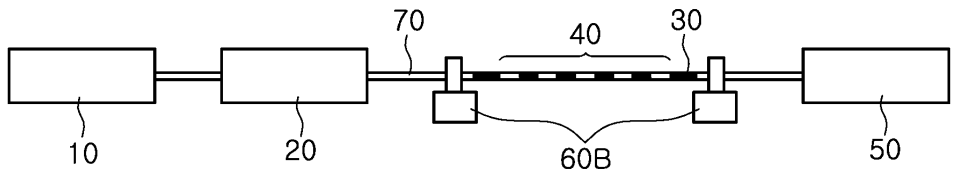
도면5



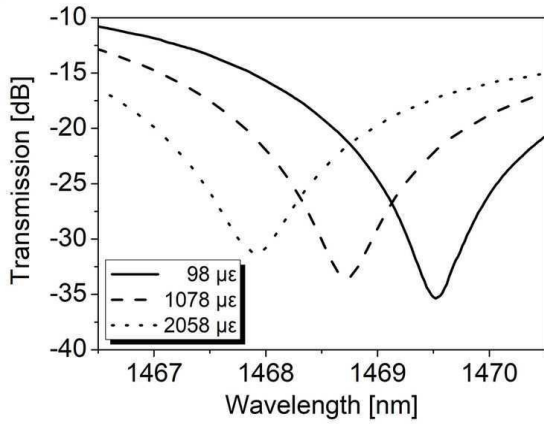
도면6



도면7



도면8



도면9

