

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2021-0131578
(43) 공개일자 2021년11월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01D 5/26 (2006.01) G01D 5/353 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01D 5/268 (2013.01)
G01D 5/35316 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0049830
(22) 출원일자 2020년04월24일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국전력공사
전라남도 나주시 전력로 55(빛가람동)
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
이용욱
부산시 남구 분포로 113, 220동 2502호
김지훈
경상남도 김해시 인제로 167, 101동 505호
(74) 대리인
특허법인아주

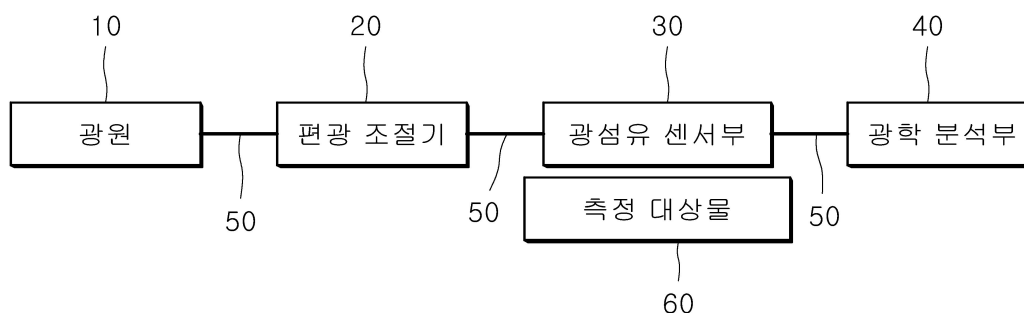
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치

(57) 요약

본 발명은 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치가 개시된다. 본 발명의 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치는, 특정 파장 대역의 광신호를 발생시키는 광원; 광 신호의 편광 상태를 임의로 조절할 수 있는 편광 조절기; 장주기 광섬유 격자가 형성된 편광 유지 광자결정 광섬유로 구성되어 비틀림을 측정하기 위한 측정 대상물에 설치되는 광섬유 센서부; 광섬유 센서부로부터 출력되는 광신호의 광학 스펙트럼의 변화를 분석하는 광학 분석부; 및 광원, 편광 조절기, 광섬유 센서부 및 광학 분석부 사이에서 광신호의 전송 경로가 되는 단일모드 광섬유;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

특정 파장 대역의 광 신호를 발생시키는 광원;

상기 광 신호의 편광 상태를 임의로 조절할 수 있는 편광 조절기;

장주기 광섬유 격자가 형성된 편광 유지 광자결정 광섬유로 구성되어 비틀림을 측정하기 위한 측정 대상물에 설치되는 광섬유 센서부;

상기 광섬유 센서부로부터 출력되는 상기 광신호의 광학 스펙트럼의 변화를 분석하는 광학 분석부; 및

상기 광원, 상기 편광 조절기, 상기 광섬유 센서부 및 상기 광학 분석부 사이에서 상기 광신호의 전송 경로가 되는 단일모드 광섬유;를 포함하는 것을 특징으로 하는 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 광원, 상기 편광 조절기, 상기 광섬유 센서부 및 상기 광학 분석부는 일직선 상으로 배열된 것을 특징으로 하는 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치.

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 광원은, 자외선, 가시광선 및 적외선 파장 대역 중에서 선택되는 어느 하나의 전자파를 포함하는 광을 출력하는 것을 특징으로 하는 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치.

청구항 4

제 1항에 있어서, 상기 장주기 광섬유 격자의 격자 주기는, $10\mu\text{m}$ 내지 10mm 인 것을 특징으로 하는 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치.

청구항 5

제 1항에 있어서, 상기 편광 유지 광자 결정 광섬유는, 코어와 클래딩으로 구성되고, 상기 코어와 상기 클래딩은 서로 다른 유효 굴절률을 가지는 것을 특징으로 하는 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치.

청구항 6

제 5항에 있어서, 상기 코어는, 서로 직교하면서 다른 굴절률을 가지는 2개의 주축을 가지는 것을 특징으로 하는 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치.

청구항 7

제 1항에 있어서, 상기 광학 분석부는, 다수의 광 신호 소거 대역의 파장 변화 또는 세기 변화를 분석하여 측정

대상물의 비틀림을 측정하는 것을 특징으로 하는 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 편광 유지 광자결정 광섬유에 제작된 장주기 광섬유 격자를 이용하여 편광상태를 임의로 조절한 광 신호를 인가한 후 출력되는 광 스펙트럼을 분석하여 기계적 왜곡인 비틀림을 측정하는 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 광섬유(optical fiber)를 이용하여 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.
- [0003] 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.
- [0004] 일반 단일 모드 광섬유(single-mode fiber ; SMF)의 코어에 주기적인 굴절률 변화를 주어 광섬유 브래그 격자(fiber Bragg grating ; FBG)를 제작할 수 있다. 이렇게 제작된 광섬유 브래그 격자는 특정한 공진 파장(resonance wavelength)에 해당하는 빛을 통과시키지 않고 반사시키는 특성을 가지게 된다.
- [0005] 여기서, 공진 파장은 광섬유 코어의 유효 굴절률(effective refractive index)과 격자의 주기에 의해 결정된다. 따라서, 광섬유에 인가되는 자극에 의해 광섬유 코어의 유효 굴절률 또는 광섬유 브래그 격자의 격자 주기가 바뀐다면 공진 파장에 천이(shift)가 일어나게 되어, 이러한 천이를 측정하면 물리량 변화를 계산할 수 있다.
- [0006] 본 발명의 배경기술은 대한민국 공개특허공보 제10-2019-0123506호(2019.11.01. 공개, 광섬유를 이용한 회전각도 측정장치)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 이와 같이 광섬유 브래그 격자를 포함한 광섬유 격자를 이용한 광섬유 센서로 온도, 스트레인(strain) 및 굽힘(bending)과 같은 물리량 센서들이 다수 존재하지만 스트레인과 굽힘 성분이 제외된 기계적 왜곡에 해당하는 비틀림(twist)을 측정하는 광섬유 센서는 아직 부족한 실정이다.
- [0008] 또한, 대부분의 광섬유 센서는 외부 온도에 민감하게 반응하기 때문에, 실제 현장에서 온도 이외의 다른 물리량만을 정확히 측정하기 위해서는 온도에 대한 변화량을 함께 고려하여 측정값을 보상(compensation) 해주어야 하는 문제점이 있다.
- [0009] 본 발명은 상기와 같은 문제점들을 개선하기 위하여 안출된 것으로, 일 측면에 따른 본 발명의 목적은 편광 유지 광자결정 광섬유에 제작된 장주기 광섬유 격자를 이용하여 편광상태를 임의로 조절한 광 신호를 인가한 후 출력되는 광 스펙트럼을 분석하여 기계적 왜곡인 비틀림을 측정하는 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명의 일 측면에 따른 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치는, 특정 파장 대역의 광 신호를 발생시키는 광원; 광 신호의 편광 상태를 임의로 조절할 수 있는 편광 조절기; 장주기 광섬유 격자가 형성된 편광 유지 광자결정 광섬유로 구성되어 비틀림을 측정하기 위한 측정 대상물에 설치되는 광섬유 센서부; 광섬유 센서부로부터 출력되는 광신호의 광학 스펙트럼의 변화를 분석하는 광학 분석부; 및 광원, 편광 조절기, 광섬유 센서부 및 광학 분석부 사이에서 광신호의 전송 경로가 되는 단일모드 광섬유;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

- [0011] 본 발명에서 광원, 편광 조절기, 광섬유 센서부 및 광학 분석부는 일직선 상으로 배열된 것을 특징으로 한다.
- [0012] 본 발명에서 광원은, 자외선, 가시광선 및 적외선 파장 대역 중에서 선택되는 어느 하나의 전자파를 포함하는 광을 출력하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 본 발명에서 장주기 광섬유 격자의 격자 주기는, 10 μ m 내지 10mm 인 것을 특징으로 한다.
- [0014] 본 발명에서 편광 유지 광자 결정 광섬유는, 코어와 클래딩으로 구성되고, 코어와 클래딩은 서로 다른 유효 굴절률을 가지는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 본 발명에서 코어는, 서로 직교하면서 다른 굴절률을 가지는 2개의 주축을 가지는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 본 발명에서 광학 분석부는, 다수의 광 신호 소거 대역의 파장 변화 또는 세기 변화를 분석하여 측정 대상물의 비틀림을 측정하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0017] 본 발명의 일 측면에 따른 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치는 편광 유지 광자결정 광섬유에 제작된 장주기 광섬유 격자를 이용하여 편광상태를 임의로 조절한 광 신호를 인가한 후 출력되는 광 스펙트럼을 분석하여 기계적 왜곡인 비틀림 방향과 각도를 측정할 수 있을 뿐만 아니라 온도에 매우 둔감하여 온도 보상을 할 필요 없이 비틀림 측정 가능하며, 복조가 용이한 광 세기 기반의 센서이므로 복조 회로 및 시스템 구축 비용 절감할 수 있고, 제작이 용이한 장주기 광섬유 격자를 사용하므로 센서부의 제작 수율 향상 및 제작 비용 절감할 수 있으며, 실리카 단일 물질로 이루어진 편광 유지 광자 결정 광섬유를 사용하여 외부 물리량 인가 시 센서의 안정성, 신뢰성 및 정확도를 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치를 나타낸 블록 구성도이다.
- 도 2는 (a)편광 유지 광섬유(PMF)의 단면도, (b)광자 결정 광섬유(PCF)의 단면도, (c)편광 유지 광자 결정 광섬유(PM-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 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치의 광섬유 센서부에 비틀림을 인가하였을 때 출력되는 광학 스펙트럼의 변화를 관측하기 위한 실험 모식도이다.
- 도 5는 도 4의 실험 모식도에 따라 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 단계적으로 비틀었을 때 나타나는 출력 스펙트럼의 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 6은 도 4의 실험 모식도에 따라 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자에 단계적인 비틀림을 주었을 때 투과 스펙트럼에 나타나는 두 골의 광 파워 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치의 광섬유 센서부에 인가되는 온도변화에 따라 출력되는 광학 스펙트럼의 변화를 관측하기 위한 실험 모식도이다.
- 도 8은 도 7의 실험 모식도에 따라 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자에 비틀림과 온도 변화를 인가했을 때 골의 스펙트럼 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 9는 도 7의 실험 모식도에 따라 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자에 비틀림과 온도 변화를 인가했을 때 투과 스펙트럼 상에 나타나는 두 골의 파장 차이와 깊이 변화 특성을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치를 설명한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다. 또한, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된

용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치를 나타낸 블록 구성도이다.
- [0021] 도 1에 도시된 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치는, 광원(10), 편광 조절기(20), 광섬유 센서부(30), 광학 분석부(40) 및 단일모드 광섬유(50)를 포함할 수 있다.
- [0022] 광원(10)은 특정 파장 대역의 광 신호를 발생시키는 것으로, 자외선, 가시광선 및 적외선 파장 대역 중에서 선택되는 어느 하나의 전자파를 포함하는 광을 출력할 수 있다.
- [0023] 편광 조절기(20)는 광원 (10)으로부터 나온 광 신호를 수용하고 광 신호의 편광 상태를 변경한다. 광 신호 중 설정 편광 상태의 광 신호가 편광 조절기(20)를 통해 전송된다.
- [0024] 광섬유 센서부(30)는 장주기 광섬유 격자가 형성된 편광 유지 광자결정 광섬유로 구성되어 비틀림을 측정하기 위한 측정 대상물(60)에 설치된다.
- [0025] 여기서, 광섬유 센서부(30)를 구성하는 장주기 광섬유 격자가 형성된 편광 유지 광자결정 광섬유에 대해 보다 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0026] 도 2의 (a)에 도시된 바와 같이 편광 유지 광섬유(polarization-maintaining fiber : PMF)는 광섬유를 진행하는 빛의 편광을 유지하기 위해 의도적으로 높은 복굴절을 갖도록 제작되는 특수 광섬유로 서로 직교하면서 다른 굴절률을 갖는 2개의 주축(principal axis)을 갖는다. 즉, 단일 모드 광섬유는 코어가 단일 굴절률을 가지지만 편광 유지 광섬유는 코어의 굴절률이 2개인 복굴절을 갖는다.
- [0027] 따라서 이러한 특성을 구현하기 위하여 편광 유지 광섬유는 코어의 측면인 클래딩(cladding)에 스트레스 로드(stress rod)를 삽입하여 코어에 특정한 방향으로 인위적인 응력을 인가한다.
- [0028] 다음으로 (b)에 도시된 광자 결정 광섬유(photonic crystal fiber : PCF)는 실리카(silica) 단일 물질로 이루어진 광섬유에 주기적인 공기 구멍(air hole) 들이 뚫려있는 구조를 갖는다. 코어와 클래딩(cladding)의 굴절률 차이를 이용해 전반사로 빛을 도파(guide) 시키는 일반적인 광섬유와 달리, 광자 결정 광섬유는 주기적인 구조에서 발생하는 광 밴드갭(photonic bandgap) 효과를 이용하여 빛을 도파시킬 수 있는 특수 광섬유로 단일 물질로 이루어져 있어 다른 광섬유에 비해 낮은 온도 민감도를 보이는 특성이 있다.
- [0029] 마지막으로, (c)에 도시된 편광 유지 광자 결정 광섬유(PM-PCF)는 위에서 설명된 편광 유지 광섬유(PMF)와 광자 결정 광섬유(PCF)의 특성을 동시에 지니고 있는 광섬유로서 단일 물질로 이루어져 온도에 둔감하면서 안정적인 광자 결정 광섬유의 특성과, 주축에 따라 서로 다른 2개의 굴절률(복굴절)을 갖는 편광 유지 광섬유의 특성이 결합되어 있다.
- [0030] 이와 같이 광섬유를 포함한 다양한 광섬유의 코어에 인위적으로 주기적인 굴절률 변화를 주면 광섬유 격자를 제작할 수 있는데, 격자 주기에 따라 광섬유 브래그 격자(FBG)와 장주기 광섬유 격자(Long-Period Fiber Grating : LPFG)로 나누어지며, 두 격자는 제작 공정 및 광학적 특성에서 큰 차이를 갖는다.
- [0031] 장주기 광섬유 격자(LPFG)는 광섬유 브래그 격자(FBG)와 달리 격자 주기가 $10\mu\text{m}$ 내지 10mm 정도로 큰 광섬유 격자이며, 격자 주기가 크기 때문에 광섬유 브래그 격자에 저비용으로 수월하게 제작이 가능하다. 또한, 광섬유에 장주기 광섬유 격자를 제작하기 위해서는 엑시머 레이저(excimer laser)와 같은 자외선 레이저나 CO_2 레이저와 같은 적외선 레이저를 광섬유의 측면에 주기적으로 조사(illumination) 하여야 하고, 높은 에너지의 레이저 빔이 광섬유 코어에 도달하면 코어의 굴절률에 변화가 발생하게 된다.
- [0032] 따라서 장주기 광섬유 격자가 제작된 광섬유에 광대역 광원을 입사시키면 위상 정합 조건(phase matching condition)에 따라 특정 파장 대역의 빛이 클래딩으로 빠져나가게 되며, 해당 파장 대역은 출력 스펙트럼(spectrum)에서 손실로 나타나게 된다.
- [0033] 즉, 광섬유 브래그 격자와 달리 공진 파장에 해당하는 빛이 클래딩으로 빠져나가므로 반사가 없으며, 공진 파장은 위상 정합 조건을 결정하는 격자 주기와 코어 및 클래딩의 유효 굴절률에 의해 결정된다.
- [0034] 따라서, 측정 대상물(60)에 비틀림과 같은 외부 물리량이 발생하여 광섬유 센서부(30)를 구성하는 장주기 광섬

유 격자의 격자 주기나 코어 및 클래딩 유효 굴절률이 변하게 되면 위상 정합 조건이 바뀌면서 공진 파장도 바뀌게 되므로, 변화된 공진 파장을 측정하면 역으로 인가된 외부 물리량 변화인 비틀림을 측정할 수 있다.

- [0035] 본 실시예에서 광섬유 센서부(30)를 구성하는 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자는 격자 주기가 $10\mu\text{m}$ 내지 10mm 정도로 크기 때문에 광섬유 브래그 격자의 제작 시 요구되는 고정밀의 광학적 정렬이 필요하지 않고, 편광 유지 광자 결정 광섬유(PM-PCF)는 격자 제작 과정에서 편광 유지 광섬유(PMF)와 같이 격자 제작 시 레이저 투과를 방해하는 스트레스 로드와 같은 물질이 없으므로 제작 수율을 높일 수 있어 저비용으로 제작할 수 있다.
- [0036] 광학 분석부(40)는 광섬유 센서부(30)로부터 출력되는 광신호의 광학 스펙트럼의 변화를 분석하여 비틀림을 측정할 수 있다.
- [0037] 즉, 광학 분석부(40)는 다수의 광 신호 소거 대역의 파장 변화 또는 세기 변화를 분석하여 측정 대상물(60)의 비틀림을 측정할 수 있다.
- [0038] 여기서, 광원(10), 편광 조절기(20), 광섬유 센서부(30) 및 광학 분석부(40)는 일직선 상으로 배열되고, 광원(10), 편광 조절기(20), 광섬유 센서부(30) 및 광학 분석부(40) 사이에서 광신호의 전송 경로가 되는 단일모드 광섬유(50)로 연결된다.
- [0039] 도 3은 편광 유지 광자 결정 광섬유에 새겨진 장주기 광섬유 격자에 선형 편광된 광대역 광원을 입사시킨 후 입력 편광에 따른 출력 스펙트럼을 측정한 결과이다.
- [0040] 도 3에 도시된 바와 같이 편광 유지 광자 결정 광섬유는 서로 다른 굴절률을 갖는 2개의 주축을 가지고 있어, 주축과 일치하는 선형 편광된 빛을 입사시켜줌으로써 원하는 공진 파장의 골(dip)을 얻을 수 있다. 또한, 두 주축은 서로 직교하므로 입사되는 빛의 편광을 90도만큼 변경하면 다른 위상 정합 조건을 만족하는 공진 파장이 다른 골을 얻을 수 있다. 따라서 만약 입사광의 편광을 기준 편광(0도)에서 45도만큼 변경해 줄 경우, 골의 깊이(소거율)는 알지만 2개의 골을 동시에 얻을 수 있다.
- [0041] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치의 광섬유 센서부에 비틀림을 인가하였을 때 출력되는 광학 스펙트럼의 변화를 관측하기 위한 실험 모식도이고, 도 5는 도 4의 실험 모식도에 따라 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 단계적으로 비틀었을 때 나타나는 출력 스펙트럼의 변화를 나타낸 그래프이며, 도 6은 도 4의 실험 모식도에 따라 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자에 단계적인 비틀림을 주었을 때 투과 스펙트럼에 나타나는 두 골의 광 파워 변화를 나타낸 그래프이다.
- [0042] 도 4에 도시된 바와 같이 광대역 광원(10)에서 출력된 빛은 단일 광섬유(50)를 통해 편광 조절기(20)를 지나면서 적절한 편광으로 바뀐 뒤, 광섬유 센서부(30)의 편광 유지 광자 결정 광섬유에 제작된 장주기 광섬유 격자에 입사되며, 최종적으로 광학 분석부(40)의 광학 스펙트럼 분석기(optical spectrum analyzer)를 이용하여 출력 스펙트럼 특성을 분석할 수 있다.
- [0043] 또한, 실험 모식도와 같이 광섬유 센서부(30)의 양 측면에 고정장치(72)와 회전장치(74)를 배치하고 광섬유 양단을 각 장치에 고정한 뒤, 회전장치(74)를 시계 방향(CW) 또는 반시계 방향(CCW)으로 돌림에 따라 정량적인 비틀림을 인가할 수 있도록 하였으며, 고정장치(72)와 회전장치(74) 사이의 거리는 20 cm 이하로 설정하였다.
- [0044] 이와 같은 실험 모식도와 같이 광섬유 센서부(30)에 비틀림과 같은 물리적인 자극인 인가하게 되면 격자 주기나 진행하는 빛의 편광 상태, 그리고 코어 및 클래딩의 유효 굴절률 등이 변화하게 된다. 따라서 이러한 변화들로 인하여 장주기 광섬유 격자의 공진 파장이 천이하거나 공진 파장에서 발생하는 골의 깊이가 변화하게 되기 때문에 출력 스펙트럼의 변화를 측정하면 간단한 계산을 통해 격자에 인가된 물리량을 추산할 수 있다.
- [0045] 도 5에 도시된 바와 같이 편광 유지 광자 결정 광섬유(PM-PCF) 기반 장주기 광섬유 격자(LPFG)에 220도까지 단계적인 비틀림을 인가하였을 때 관측되는 PM-PCF 기반 LPFG의 투과 스펙트럼 변화를 살펴보면, PM-PCF 기반 LPFG는 입사되는 빛의 편광에 따라 2개의 공진 파장 중 하나를 선택할 수 있는데, 입력 편광을 45도로 설정할 경우, 깊이는 알지만 동시에 2개의 골을 얻을 수 있다.
- [0046] 여기서는 비틀림을 인가하지 않은 초기 상태(즉, 0도)에서 입력 편광을 45도로 설정한 후 비틀림 인가 실험을 수행하였다.
- [0047] 또한, 비틀림을 인가함에 따라 두 골의 깊이가 변화하는 것을 알 수 있으며, 비틀림 각도가 0도에서 단계적으로

증가함에 따라 단파장 측 끝에 해당하는 왼쪽 끝의 깊이는 점점 깊어져서 220nm의 비틀림 각도에서 최대가 되고, 이와 동시에 장파장 측 끝에 해당하는 오른쪽 끝의 깊이는 점점 줄어들어 비틀림 각도가 220nm가 되었을 때는 끝이 거의 사라지는 것을 확인할 수 있다.

[0048] 이와는 반대로, PM-PCF 기반 LPFG를 0nm에서 -220nm까지 반대로 비틀었을 경우에는 장파장 측 끝이 점점 깊어지고 단파장 측 끝은 얕아지는 특성을 관찰할 수 있다. 여기서 끝의 깊이가 깊어진다는 것은 해당 공진 파장 대역의 손실이 커진다는 것이며, 결과적으로 출력되는 광 파워(optical power)가 작아진다는 것을 의미하고, 반대로 끝의 깊이가 얕아진다는 것은 해당 파장 대역에서 출력되는 광 파워가 커진다는 것을 의미한다.

[0049] 도 6은 비틀림 각도와 광 파워의 관계를 선형 스케일(linear scale)로 나타낸 그래프로써, 각 끝의 광 파워는 비틀림 각도에 따라 3차 곡선(cubic curve)의 관계를 가지고 있고, 상대적으로 좁은 비틀림 범위인 140nm에서 220nm 범위에서는 높은 선형성을 보이기 때문에 실제 응용처에 따라 비틀림 측정 범위를 줄이는 대신 높은 선형성을 얻는 것도 가능하다.

[0050] 특히, 두 끝은 도 5와 도 6에서 확인할 수 있듯이 응답 특성이 대칭적인 관계를 보이고 있어 이러한 특성을 이용하여 신호처리 시 두 끝의 광 파워 변화를 동시에 측정하여 이용한다면 더욱 높은 정확도로 비틀림을 측정할 수 있다.

[0051] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치의 광섬유 센서부에 인가되는 온도변화에 따라 출력되는 광학 스펙트럼의 변화를 관측하기 위한 실험 모식도이고, 도 8은 도 7의 실험 모식도에 따라 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자에 비틀림과 온도 변화를 인가했을 때 끝의 스펙트럼 변화를 나타낸 그래프이며, 도 9는 도 7의 실험 모식도에 따라 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자에 비틀림과 온도 변화를 인가했을 때 투과 스펙트럼 상에 나타나는 두 끝의 파장 천이와 깊이 변화 특성을 나타낸 그래프이다.

[0052] 도 7에 도시된 바와 같이 광섬유 센서부(30)에 온도 변화를 인가하기 위해 전기식 히터(76)를 배치하여 인위적으로 온도 변화를 인가할 수 있도록 하였고, 비틀림 변위가 큰 상황에서의 온도 영향을 조사하기 위해 온도 변화는 PM-PCF 기반 LPFG를 각각 220nm 및 220nm로 먼저 비튼 뒤에 인가하여 실험하였다.

[0053] 이와 같이 실험한 결과 도 8에 도시된 바와 같이 광섬유 센서부(30)의 비틀어진 PM-PCF 기반 LPFG에 35°C에서 85°C까지 단계적으로 온도 변화를 인가했을 때 출력 스펙트럼의 변화를 살펴보면, 좌측 그래프는 PM-PCF 기반 LPFG를 220nm로 비틀고 온도 변화를 인가했을 때 단파장 측 끝의 스펙트럼 변화를 나타낸 그래프이고, 우측 그래프는 PM-PCF 기반 LPFG를 -220nm로 비틀고 온도 변화를 인가했을 때 장파장 측 끝의 스펙트럼의 변화를 나타낸 그래프로써, 측정자가 되는 두 끝 모두 온도 변화가 존재할 경우에도 끝의 파장이나 깊이에 거의 변화가 발생하지 않음을 볼 수 있다.

[0054] 또한, 도 9에 도시된 그래프는 220nm 및 220nm로 비튼 PM-PCF 기반 LPFG에 단계적인 온도 변화를 주었을 때 투과 스펙트럼 상에 나타나는 두 끝의 파장 천이(좌)와 깊이 변화(우) 특성을 나타낸 그래프로써, PM-PCF 기반 LPFG에 온도 변화가 인가되어도 공진 파장 및 끝의 깊이에는 유의미한 변화가 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다.

[0055] 따라서, 광섬유 센서부(30)로 사용되는 PM-PCF 기반 LPFG 주변에 온도 변화가 발생하더라도 끝의 초기 공진 파장에서의 광 파워는 거의 영향을 받지 않기 때문에 추가적인 온도 보상 없이 비틀림을 측정할 수 있다.

[0056] 또한, 광섬유 센서부(30)의 주변 온도가 변화하더라도 끝의 공진 파장이 거의 변화하지 않는다는 특성을 이용하면, 센서 보조 회로를 더욱 단순화할 수 있으므로 상대적으로 저비용의 비틀림 측정장치를 구축할 수 있다.

[0057] 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 의한 편광 유지 광자 결정 광섬유 기반 장주기 광섬유 격자를 이용한 비틀림 측정 장치에 따르면, 편광 유지 광자결정 광섬유에 제작된 장주기 광섬유 격자를 이용하여 편광상태를 임의로 조절한 광 신호를 인가한 후 출력되는 광 스펙트럼을 분석하여 기계적 왜곡인 비틀림 방향과 각도를 측정할 수 있을 뿐만 아니라 온도에 매우 둔감하여 온도 보상을 할 필요 없이 비틀림 측정 가능하며, 복조가 용이한 광 세기 기반의 센서이므로 복조 회로 및 시스템 구축 비용 절감할 수 있고, 제작이 용이한 장주기 광섬유 격자를 사용하므로 센서부의 제작 수율 향상 및 제작 비용 절감할 수 있으며, 실리카 단일 물질로 이루어진 편광 유지 광자 결정 광섬유를 사용하여 외부 물리량 인가 시 센서의 안정성, 신뢰성 및 정확도를 향상시킬 수 있다.

[0058] 본 명세서에서 설명된 구현은, 예컨대, 방법 또는 프로세스, 장치, 소프트웨어 프로그램, 데이터 스트림 또는 신호로 구현될 수 있다. 단일 형태의 구현의 맥락에서만 논의(예컨대, 방법으로서만 논의)되었더라도, 논의된

특징의 구현은 또한 다른 형태(예컨대, 장치 또는 프로그램)로도 구현될 수 있다. 장치는 적절한 하드웨어, 소프트웨어 및 펌웨어 등으로 구현될 수 있다. 방법은, 예컨대, 컴퓨터, 마이크로프로세서, 집적 회로 또는 프로그래밍 가능한 로직 디바이스 등을 포함하는 프로세싱 디바이스를 일반적으로 지칭하는 프로세서 등과 같은 장치에서 구현될 수 있다. 프로세서는 또한 최종-사용자 사이에 정보의 통신을 용이하게 하는 컴퓨터, 셀 폰, 휴대용/개인용 정보 단말기(personal digital assistant: "PDA") 및 다른 디바이스 등과 같은 통신 디바이스를 포함한다.

[0059] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.

[0060] 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 청구범위에 의해서 정하여져야 할 것이다.

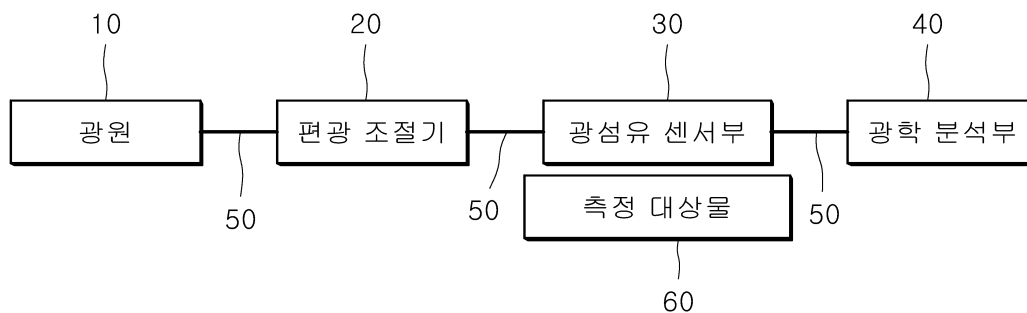
부호의 설명

[0061]

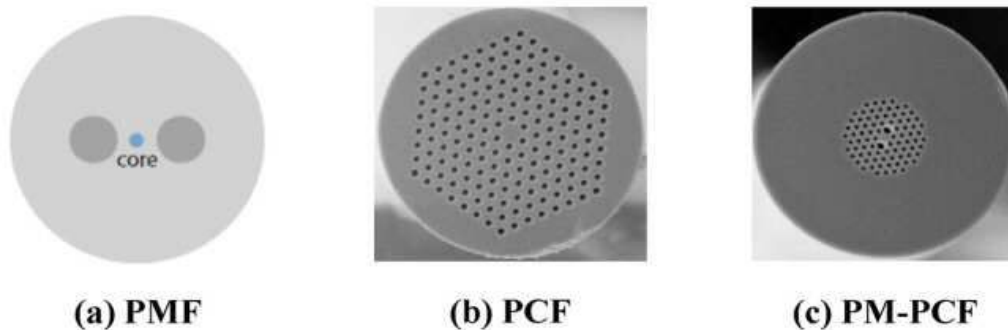
10 : 광원	20 : 편광 조절기
30 : 광섬유 센서부	40 : 광학 분석부
50 : 단일 광섬유	60 : 측정 대상물
72 : 고정장치	74 : 회전장치
76 : 히터	

도면

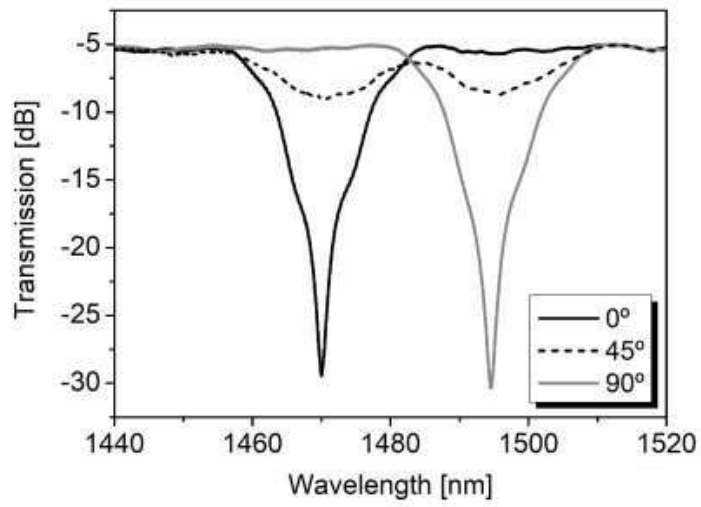
도면1



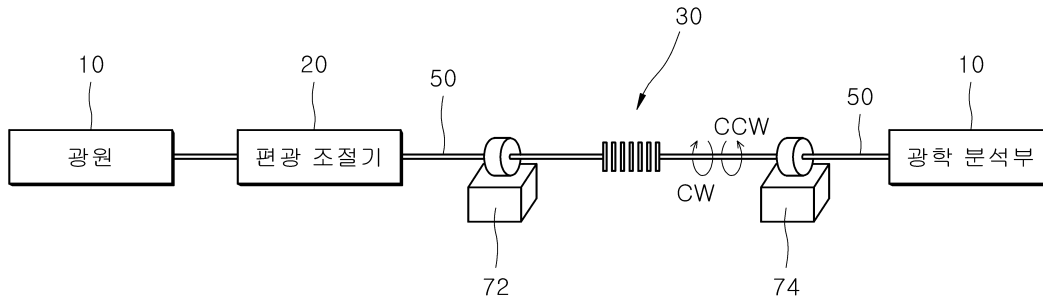
도면2



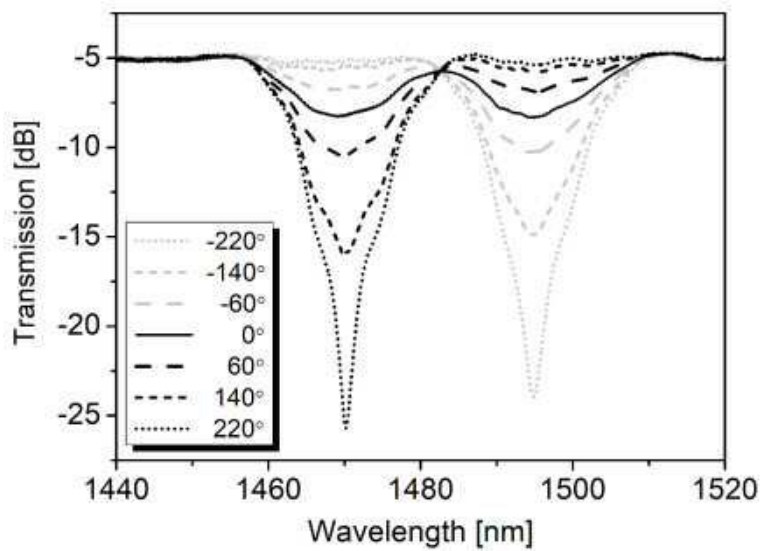
도면3



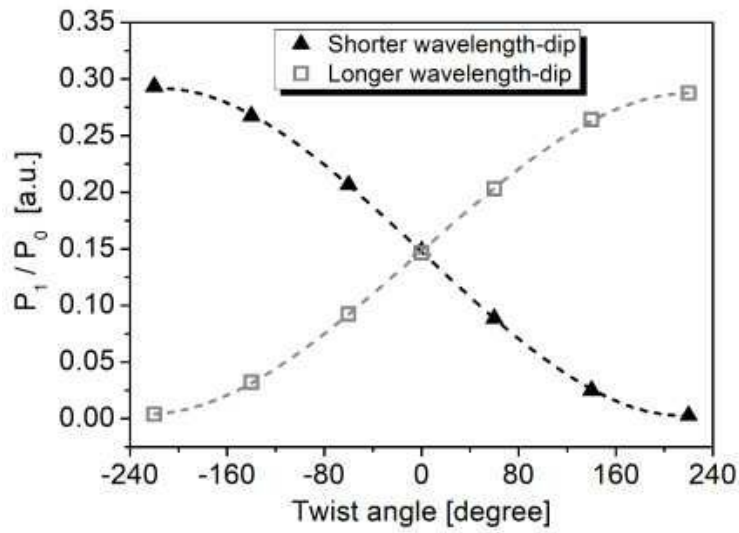
도면4



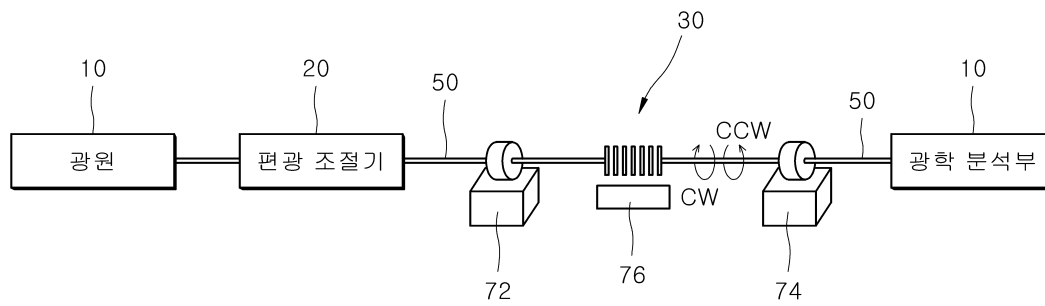
도면5



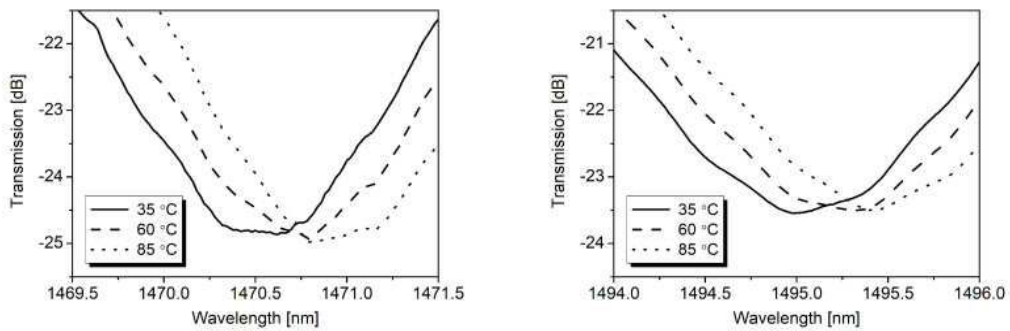
도면6



도면7



도면8



도면9

