



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년03월17일
 (11) 등록번호 10-1374913
 (24) 등록일자 2014년03월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01J 5/00 (2006.01) G02B 6/00 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2013-0089631
 (22) 출원일자 2013년07월29일
 심사청구일자 2013년07월29일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR100277548 B1*
 KR100279518 B1*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 서울과학기술대학교 산학협력단
 서울특별시 노원구 공릉로 232 (공릉동, 서울과학기술대학교)
 (72) 발명자
 김대현
 서울 마포구 마포대로7길 22, 301동 1001호 (공덕동, 삼성래미안공덕3차아파트)
 김현영
 강원도 평창군 평창읍 송학로 71
 (74) 대리인
 김정현

전체 청구항 수 : 총 2 항

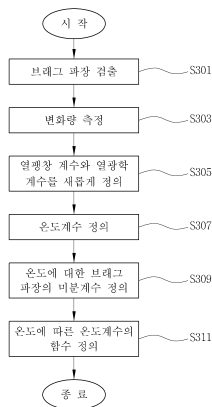
심사관 : 심송학

(54) 발명의 명칭 **광섬유 브래그 격자 센서를 이용한 온도 측정 방법**

(57) 요약

본 발명은 광섬유 브래그 격자 센서에 관한 것으로서, 본 발명은 광섬유 브래그 격자 센서(Fiber bragg grating sensor, FBG sensor)를 이용한 온도 측정 방법에 있어서, 광섬유 브래그 격자 센서에 광 대역 광을 입사시키고, 반사되는 빛에서 브래그 조건(Bragg condition)을 만족하는 브래그 파장을 검출하는 단계, 검출되는 브래그 파장의 변화량을 측정하는 단계, 상기 광섬유 브래그 격자 센서의 열 팽창 계수와 열 광학 계수가 온도에 따라 변화한다고 가정하고, 온도에 따라 변화하는 열 팽창 계수와 열 광학 계수로부터 온도 계수(Thermal Coefficient)를 정의하는 단계 및 상기 브래그 파장의 온도에 따른 변화를 미분 계수로 표현하고, 상기 온도 계수를 상기 미분 계수를 포함하는 온도에 따른 미분 방정식으로 표현하는 단계를 포함한다. 본 발명에 의하면 광섬유 브래그 격자 센서를 이용하여 온도를 정확하게 측정할 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

광섬유 브래그 격자 센서(Fiber bragg grating sensor, FBG sensor)를 이용한 온도 측정 방법에 있어서,
 광섬유 브래그 격자 센서에 광 대역 광을 입사시키고, 반사되는 빛에서 브래그 조건(Bragg condition)을 만족하
 는 브래그 파장을 검출하는 단계;

상기 광섬유 브래그 격자 센서의 열 팽창 계수와 열 광학 계수가 온도에 따라 변화한다고 가정하고, 온도에 따
 라 변화하는 열 팽창 계수와 열 광학 계수로부터 온도 계수(Thermal Coefficient)를 정의하는 단계;

상기 브래그 파장의 온도에 따른 변화를 미분 계수로 표현하고, 상기 온도 계수를 상기 미분 계수를 포함하는
 온도에 따른 미분 방정식으로 표현하는 단계;

상기 브래그 파장을 온도에 따라 변하는 임의의 함수로 표현하고, 이를 통해 온도에 대한 브래그 파장의 미분
 계수를 다시 표현하는 단계; 및

다시 표현된 미분 계수를 포함하는 함수로 상기 온도 계수를 다시 표현하는 단계를 포함하되,

n_e 는 광섬유 격자의 유효 굴절률(effective refractive index)로서 빛이 광섬유 브래그 격자의 한 주기를 진행
 할 때의 평균 굴절률을 나타내며, Λ 는 광섬유 코어에 새겨진 격자의 간격(grating period)을 의미할 때, 브래
 그 조건에 해당하는 브래그 파장 λ_B 는,

$$\lambda_B = 2 n_e \Lambda \quad (\text{수학식 1})$$

로 나타내고,

α_f 는 온도에 의한 광섬유의 열 팽창 계수이고, ξ_f 는 온도에 의한 광섬유의 굴절률 변화를 나타내는 열 광학
 계수라고 할 때, 브래그 파장의 변화량 $\Delta \lambda_B$ 는,

$$\Delta \lambda_B = \lambda_B [(\alpha_f + \xi_f) \Delta T + (1 - p_e) \varepsilon] \quad (\text{수학식 2})$$

로 나타내고,

상기 열 팽창 계수와 열 광학 계수가 온도에 따라 변화한다고 가정하면,

$$\alpha_f(T) = \frac{1}{\Lambda} \frac{d\Lambda}{dT} \quad \xi_f(T) = \frac{1}{n_e} \frac{dn_e}{dT} \quad (\text{수학식 3})$$

으로 정의하고,

상기 수학식 2에서 센서의 변형률이 발생하지 않는다고 가정하고($\varepsilon=0$), 상기 수학식 3에서 정의한 열 팽창 계
 수와 열 광학 계수를 적용하면,

$$\frac{1}{\lambda_B} \frac{\Delta \lambda_B}{\Delta T} = \alpha_f(T) + \xi_f(T) \quad (\text{수학식 4})$$

으로 수식을 정의하고,

$\alpha_f(T) + \xi_f(T)$ 의 값을 온도 계수(Thermal coefficient) $K_f(T)$ 로 정의하고, 브래그 파장의 온도에 따른
 변화를 미분 계수(Differential Coefficient)로 표현하면, 온도 계수를

$$\frac{1}{\lambda_B(T)} \frac{d\lambda_B(T)}{dT} = K_f(T) \quad (\text{수학식 5})$$

의 온도에 따른 미분 방정식으로 표현하는 것을 특징으로 하는 광섬유 브래그 격자 센서를 이용한 온도 측정 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 수학식 5에서 브래그 파장을 온도에 따라 변하는 임의의 함수로서,

$$\lambda_B(T) = f(T) \quad (\text{수학식 6})$$

로 표현할 수 있고,

온도에 대한 브래그 파장의 미분계수를,

$$\frac{d\lambda_B(T)}{dT} = f'(T) \quad (\text{수학식 7})$$

의 수식으로 표현할 수 있고,

온도에 따른 온도계수의 함수를,

$$\frac{1}{\lambda_B(T)} \frac{d\lambda_B(T)}{dT} = \frac{f'(T)}{f(T)} = K_f(T) \quad (\text{수학식 8})$$

로 정의할 수 있는 것을 특징으로 하는 광섬유 브래그 격자 센서를 이용한 온도 측정 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 광섬유 브래그 격자 센서에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 광섬유 브래그 격자 센서를 이용한 정밀 온도 측정 원리에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 현재 광섬유 센서(Optical Fiber Sensor)를 응용하여 활발한 연구가 진행되고 있는데, 그 중에서 광섬유 브래그 격자(FBG; Fiber Bragg Grating)는 광섬유 레이저 및 필터, 펄스압축 등에 이용되고 있다.

[0003] 광섬유 브래그 격자(FBG) 센서의 장점은 단일 센서를 이용한 측정뿐만 아니라, 단일 광섬유 안에 여러개의 센서를 삽입하여 여러 지점의 물리적 변화량을 동시에 측정할 수 있고, 센서에서 반사되어 돌아온 파장을 측정하기가 용이하다는 것이다.

[0004] 광섬유 브래그 격자(FBG) 센서는 광섬유 코어 안에 주기적인 굴절률을 만들어 구성하며, 외부의 물리적 변화에 의해 광섬유 브래그 격자(FBG) 센서에 의해 반사된 광신호의 중심 파장이 물리적 변화량 만큼 변화한다.

따라서, 파장 변화량을 검출한다면 물리적 변화량을 계산할 수 있는 것이다.

[0005] 본 기술은 광섬유 브래그 격자 센서를 이용하여 온도를 정밀하게 측정하는 방법을 제안한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 10-1082467

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 광섬유 브래그 격자 센서를 이용하여 온도를 측정하는 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 이와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은 광섬유 브래그 격자 센서(Fiber bragg grating sensor, FBG sensor)를 이용한 온도 측정 방법에 있어서, 광섬유 브래그 격자 센서에 광 대역 광을 입사시키고, 반사되는 빛에서 브래그 조건(Bragg condition)을 만족하는 브래그 파장을 검출하는 단계, 검출되는 브래그 파장의 변화량을 측정하는 단계, 상기 광섬유 브래그 격자 센서의 열 팽창 계수와 열 광학 계수가 온도에 따라 변화한다고 가정하고, 온도에 따라 변화하는 열 팽창 계수와 열 광학 계수로부터 온도 계수(Thermal Coefficient)를 정의하는 단계 및 상기 브래그 파장의 온도에 따른 변화를 미분 계수로 표현하고, 상기 온도 계수를 상기 미분 계수를 포함하는 온도에 따른 미분 방정식으로 표현하는 단계를 포함한다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에서 상기 브래그 파장을 온도에 따라 변하는 임의의 함수로 표현하고, 이를 통해 온도에 대한 브래그 파장의 미분 계수를 다시 표현하는 단계 및 다시 표현된 미분 계수를 포함하는 함수로 상기 온도 계수를 다시 표현하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0010] n_e 는 광섬유 격자의 유효 굴절률(effective refractive index)로서 빛이 광섬유 브래그 격자의 한 주기를 진행할 때의 평균 굴절률을 나타내며, Λ 는 광섬유 코어에 새겨진 격자의 간격(grating period)을 의미할 때, 브래그 조건에 해당하는 브래그 파장 λ_B 는,

$$\lambda_B = 2 n_e \Lambda$$

(수학식 1)로 나타내고, α_f 는 온도에 의한 광섬유의

열 팽창 계수이고, ξ_f 는 온도에 의한 광섬유의 굴절률 변화를 나타내는 열 광학 계수라고 할 때, 브래그 파장의 변화량 $\Delta \lambda_B$ 는, $\Delta \lambda_B = \lambda_B [(\alpha_f + \xi_f) \Delta T + (1 - p_e) \epsilon]$ (수학식 2)로 나타내고, 상기 열 팽창 계수와

$$\alpha_f(T) = \frac{1}{\Lambda} \frac{d\Lambda}{dT} \quad \xi_f(T) = \frac{1}{n_e} \frac{dn_e}{dT}$$

열 광학 계수가 온도에 따라 변화한다고 가정하면, (수학식 3)으로 정의하고, 상기 수학식 2에서 센서의 변형률이 발생하지 않는다고 가정하고($\epsilon = 0$), 상기 수학식 3에서 정의한

열 팽창 계수와 열 광학 계수를 적용하면, $\frac{1}{\lambda_B} \frac{\Delta \lambda_B}{\Delta T} = \alpha_f(T) + \xi_f(T)$ (수학식 4)으로 수식을 정의하고,

$\alpha_f(T) + \xi_f(T)$ 의 값을 온도계수(Thermal coefficient) $K_f(T)$ 로 정의하고, 브래그 파장의 온도에 따른

변화를 미분계수(Differential Coefficient)로 표현하면, 온도 계수를 $\frac{1}{\lambda_B(T)} \frac{d\lambda_B(T)}{dT} = K_f(T)$ (수학식 5)의 온도에 따른 미분 방정식으로 표현할 수 있다.

[0011] 상기 수학식 5에서 브래그 파장을 온도에 따라 변하는 임의의 함수로서, $\lambda_B(T)=f(T)$ (수학식 6)로 표현할 수 있고, 온도에 대한 브래그 파장의 미분계수를, $\frac{d\lambda_B(T)}{dT}=f'(T)$ (수학식 7)의 수식으로 표현할 수 있고, 온도에 따른 온도계수의 함수를, $\frac{1}{\lambda_B(T)} \frac{d\lambda_B(T)}{dT} = \frac{f'(T)}{f(T)} = K_f(T)$ (수학식 8)로 정의할 수 있다.

발명의 효과

[0012] 본 발명에 의하면 광섬유 브래그 격자 센서를 이용하여 온도를 정확하게 측정할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 일반적인 광섬유 브래그 격자 센서의 구조와 원리를 설명하기 위한 도면이다.
 도 2는 광섬유 브래그 격자 센서 시스템의 동작과 파형을 도시한 도면이다.
 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 광섬유 브래그 격자 센서에서의 온도 측정 방법을 보여주는 흐름도이다.
 도 4 내지 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 광섬유 브래그 격자 센서의 온도 측정 성능을 확인하기 위해 실험을 수행한 결과 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0015] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0016] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 갖고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 갖는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0017] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0018] 도 1은 일반적인 광섬유 브래그 격자 센서(Fiber bragg grating sensor, FBG sensor)의 구조와 원리를 설명하기 위한 도면이다.

[0019] 도 1을 참조하면, 광섬유 브래그 격자 센서는 광섬유의 코어(Core)에 주기적인 격자를 만들고, 이에 따른 빛의 굴절률 변화를 이용한다. 즉, 브래그 격자에 광대역 광을 입사시키면 굴절률이 변하는 경계면에서 빛을 반사시키게 되는데, 브래그 조건(Bragg condition)에 해당하는 브래그 파장 λ_B 의 빛은 브래그 격자를 통과하지 못하고 반사되며, 이 외 다른 파장의 빛은 브래그 격자를 통과하게 된다. 브래그 조건은 다음 수학식과 같다.

수학식 1

$$\lambda_B = 2 n_e \Lambda$$

[0020]

여기서, n_e 는 광섬유 격자의 유효 굴절률(effective refractive index)로서 빛이 광섬유 브래그 격자의 한 주기를 진행할 때의 평균 굴절률을 나타내며, Λ 는 광섬유 코어에 새겨진 격자의 간격(grating period)을 의미한다.

[0022]

즉, 수학식 1과 같은 브래그 조건(Bragg Condition)에 해당하는 브래그 파장의 빛은 브래그 격자를 통과하지 못하고 반사되며, 이 외에 다른 파장의 빛은 통과하게 되는 것이다.

[0023]

수학식 1로 나타낼 수 있는 광섬유 브래그 격자에서 반사되는 브래그 파장은 유효 굴절률과 격자 간격의 함수로서, 광섬유 브래그 격자에 단거리 변형률 등의 외부 물리량을 가할 경우, 이들 값에 의하여 브래그 파장이 달라진다. 이 브래그 파장의 변화를 정밀하게 측정함으로써, 광섬유 격자에 가해진 미지의 물리량이 구해질 수 있다.

[0024]

광섬유 브래그 격자 센서는 측정량이 브래그 반사 파장의 변화량이므로 측정이 간편하며, 광섬유 브래그 격자의 반사 파장의 선폭이 좁기 때문에 분해능이 높은 센서를 구성할 수 있다. 또한, 브래그 반사 파장이 서로 다른 광섬유들은 서로 영향을 받지 않으므로 하나의 광섬유를 이용한 다중점 측정이 가능하다.

[0025]

광섬유 브래그 격자 센서는 한 가닥의 광섬유에 여러 개의 격자가 사용되는데, 이 경우, 각 격자의 반사 파장을 모두 다르게 함으로써, 반사된 광원의 스펙트럼으로부터 특정 격자가 겪는 물리량을 쉽게 구분할 수 있다. 이러한 방법을 파장 분할 방식이라 한다.

[0026]

격자에서 반사되는 브래그 파장은 유효 굴절률과 격자 간격의 함수이며, 광섬유 브래그 격자 센서에 외부 물리량을 인가할 경우, 브래그 파장이 달라지므로, 브래그 파장의 변화를 측정한다면 광섬유 브래그 격자 센서에 인가된 물리량을 구할 수 있다.

[0027]

도 2는 광섬유 브래그 격자 센서 시스템의 동작과 파형을 도시한 도면이다.

[0028]

도 2를 참조하면, 광대역 광원(210)에서 광대역 광을 광섬유(230)에 입사시키면, 굴절률이 변하는 경계면에서 빛이 반사되고, 이들 중 수학식 1과 같은 브래그 조건에 해당하는 브래그 파장 λ_B 의 빛은 브래그 격자를 통과하지 못하고 반사되며, 그 외 다른 빛은 브래그 격자를 통과하여 전송된다.

[0029]

광 검출기(220)는 브래그 격자를 통과하지 못하고 반사되는 빛을 검출하는 역할을 한다.

[0030]

도 2에서, 입력 스펙트럼 파형(a), 브래그 격자를 통과하여 전송된 신호 파형(b), 반사된 신호 파형(c)이 도시되어 있다.

[0031]

수학식 1은 유효 굴절률과 격자의 주기로 표시되는데, 이는 온도와 변형률의 함수라고 할 수 있으며, 광섬유 브래그 격자에 온도나 변형률 등의 외란이 가해지면 브래그 파장 λ_B 가 변한다.

[0032]

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 광섬유 브래그 격자 센서에서의 온도 측정 방법을 보여주는 흐름도이다.

[0033]

도 3을 참조하면, 광섬유 브래그 격자 센서에 광대역 광을 입사시키고, 반사되는 빛에서 브래그 조건에 해당하는 브래그 파장을 검출한다(S301). 브래그 파장의 브래그 조건은 전술한 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

[0034]

다음, 브래그 파장의 변화량을 측정한다(S303).

[0035]

본 발명에서는 브래그 파장의 변화량 $\Delta \lambda_B$ 를 측정함으로써, 광섬유 브래그 격자에 가해진 온도나 변형률을 계산할 수 있는데, 다음 수학식 2와 같다.

수학식 2

[0036] $\Delta\lambda_B = \lambda_B [(\alpha_f + \xi_f) \Delta T + (1 - p_\varepsilon) \varepsilon]$

[0037] 수학식 2에서 α_f 는 온도에 의한 광섬유의 열 팽창 계수로서, 통상적으로 $0.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 값의 상수가 사용된다.

그리고, ξ_f 는 온도에 의한 광섬유의 굴절률 변화를 나타내는 열 광학 계수로서, 통상적으로 $6 \times 10^{-6} \sim 11 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 값의 상수가 사용되고 있다.

[0038] 그러나, 광섬유의 열 팽창 계수와 열 광학 계수가 온도에 따라 변화한다면, 다음 수학식과 같이 열 팽창 계수와 열 광학 계수를 새롭게 정의할 수 있다(S305).

수학식 3

[0039] $\alpha_f(T) = \frac{1}{\lambda} \frac{d\lambda}{dT}$ $\xi_f(T) = \frac{1}{n_s} \frac{dn_s}{dT}$

[0040] 또한, 수학식 2에서 센서의 변형률이 발생하지 않는다고 가정하고($\varepsilon=0$), 수학식 3에서 정의한 열 팽창 계수와 열 광학 계수를 적용하면, 다음 수학식 4와 같은 수식을 정의할 수 있다.

수학식 4

[0041] $\frac{1}{\lambda_B} \frac{\Delta\lambda_B}{\Delta T} = \alpha_f(T) + \xi_f(T)$

[0042] 본 발명에서는 온도계수(Thermal coefficient)라는 인자($K_f(T)$)를 도입하여, 수학식 4에서

$\alpha_f(T) + \xi_f(T)$ 의 값을 $K_f(T)$ 로 정의한다(S307).

[0043] 그리고, 브래그 파장의 온도에 따른 변화를 미분계수(Differential Coefficient)로 표현하면, 수학식 4는 다음 수학식 5와 같이 온도에 따른 미분방정식으로 정의될 수 있다.

수학식 5

[0044] $\frac{1}{\lambda_B(T)} \frac{d\lambda_B(T)}{dT} = K_f(T)$

[0045] 그리고, 수식의 단순화를 위해 브래그 파장을 온도에 따라 변하는 임의의 함수로서 다음 수학식 6과 같이 $f(T)$ 로 표현할 수 있다.

수학식 6

[0046] $\lambda_B(T) = f(T)$

[0047] 이를 통해, 온도에 대한 브래그 파장의 미분계수를 다음 수학식 7과 같이 $f'(T)$ 로 표현할 수 있다.

수학식 7

$$\frac{d\lambda_B(T)}{dT} = f'(T)$$

[0048]

[0049] 최종적으로, 온도에 따른 온도계수의 함수는 다음 수학식 8과 같이 정의된다.

수학식 8

$$\frac{1}{\lambda_B(T)} \frac{d\lambda_B(T)}{dT} = \frac{f'(T)}{f(T)} = K_f(T)$$

[0050]

[0051] 결국, 수학식 8을 통해 온도계수가 일정한 상수 값이 아닌, 온도에 따라 변하는 변수임을 증명할 수 있게 된다. 즉, 광섬유의 열 팽창 계수와 열 광학 계수는 단순한 상수가 아닌 온도 변화를 반영한 함수임을 확인할 수 있다.

[0052] 결과적으로 본 발명에서 도출된 함수식을 적용하여 온도를 측정하게 되면 보다 정확한 온도 측정이 가능해진다.

[0053] 도 4 내지 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 광섬유 브래그 격자 센서의 온도 측정 성능을 확인하기 위해 실험을 수행한 결과 그래프이다.

[0054] 본 발명의 실험에 사용된 광섬유 브래그 격자 센서는 외부 요인의 영향을 최소화하기 위하여 리코팅을 하지 않은 센서를 사용하였다.

[0055] 본 실험에서는 약 20 °C의 실온에서부터 100 °C까지의 온도 구간에서 온도를 연속적으로 증가시키며 광섬유 브래그 격자 센서와 열전쌍의 데이터를 저장하고, 이들 데이터를 이용해 온도를 측정하였다.

[0056] 도 4는 실온(20 °C)에서 100 °C까지 온도 구간에서 광섬유 브래그 격자 센서의 시간에 따른 파장 변화와 열전쌍의 온도 변화를 동시에 나타내고 있다.

[0057] 그리고, 광섬유 브래그 격자 센서의 브래그 파장 변화를 온도 변화에 따라 나타내면 도 5에 나타난 그래프와 같다.

[0058] 도 5의 그래프에서 Third lagrange polynomial fitting을 적용하여 온도(T)에 따른 파장의 변화를 함수식으로 도출하고, 도출된 함수를 수학식 6을 사용하여 온도 계수를 도출하면, 도출된 3차 다항식은 도 6에 도시된 표와 같다.

[0059] 도 6의 표에 있는 다항식을 그래프로 나타내면 도 7과 같다. 또한, 도 6에 표현된 다항식을 미분하여 수학식 7에 적용하면 최종적인 온도 계수식을 정의할 수 있게 된다.

[0060] 결론적으로, 온도 변화에 따른 온도 계수의 경향은 도 8과 같이 나타나게 되며, 도 8에서 보는 바와 같이 온도 계수가 일정한 상수 값이 아닌 변수 값을 확인할 수 있다.

[0061] 이상 본 발명을 몇 가지 바람직한 실시예를 사용하여 설명하였으나, 이들 실시예는 예시적인 것이며 한정적인 것이 아니다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 지닌 자라면 본 발명의 사상과 첨부된 특허청구범위에 제시된 권리범위에서 벗어나지 않으면서 다양한 변화와 수정을 가할 수 있음을 이해할 것이다.

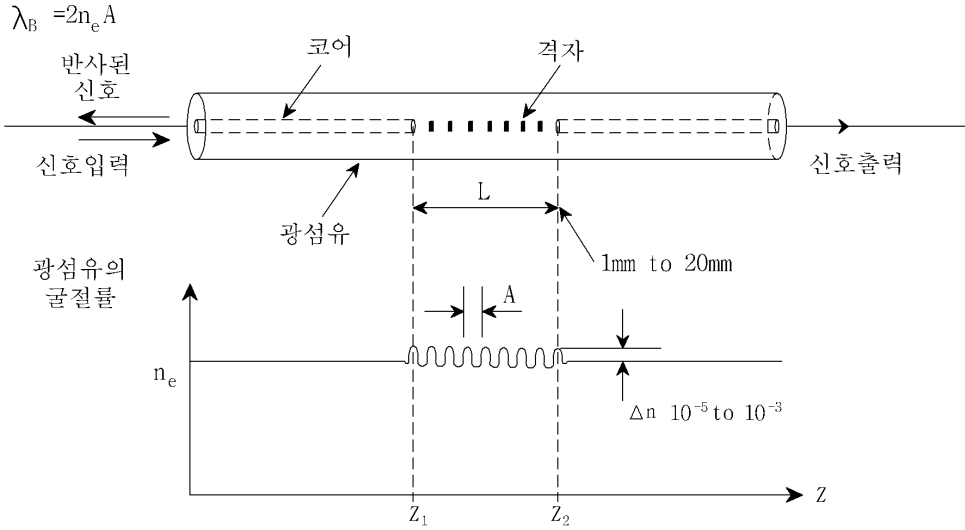
부호의 설명

- [0062] 210 광 대역 광원
- 220 광 검출기

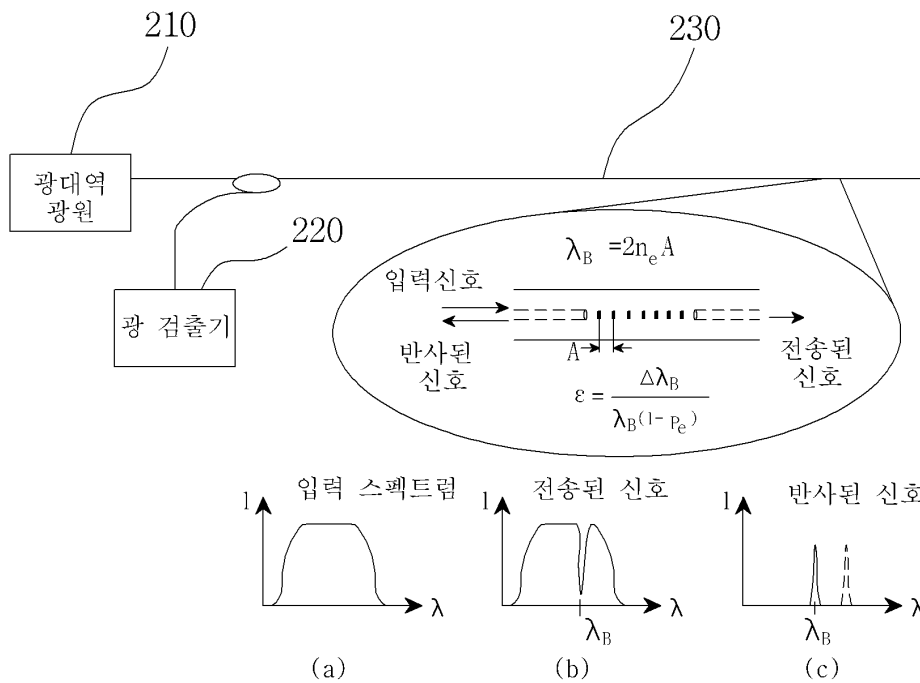
230 광섬유

도면

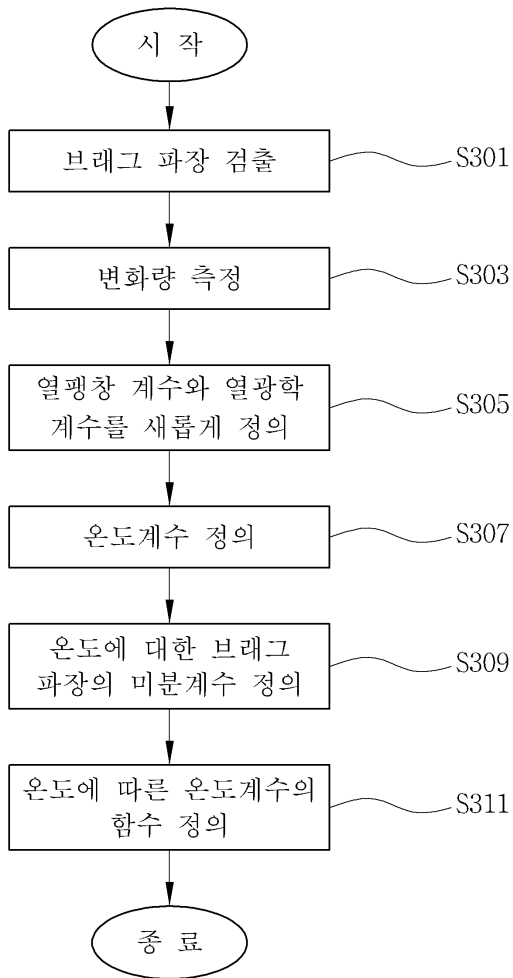
도면1



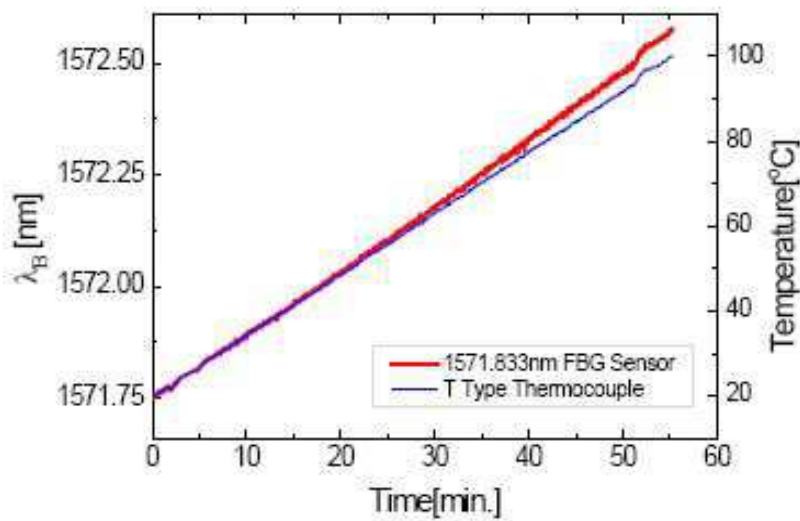
도면2



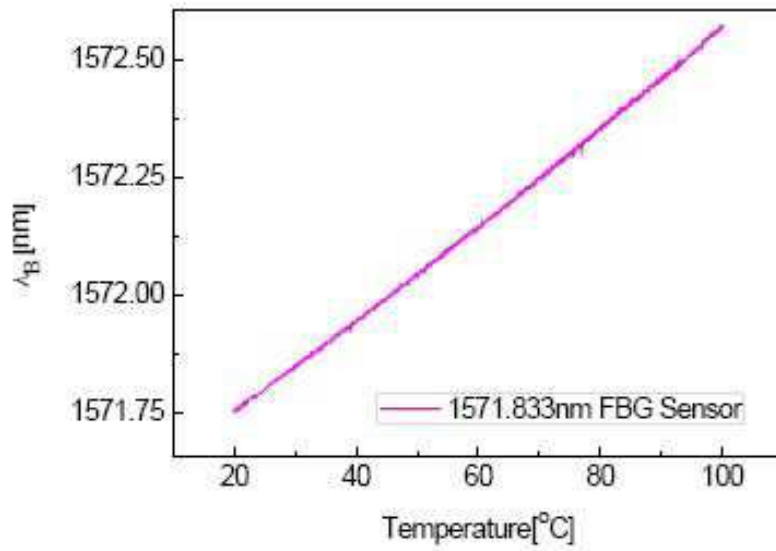
도면3



도면4



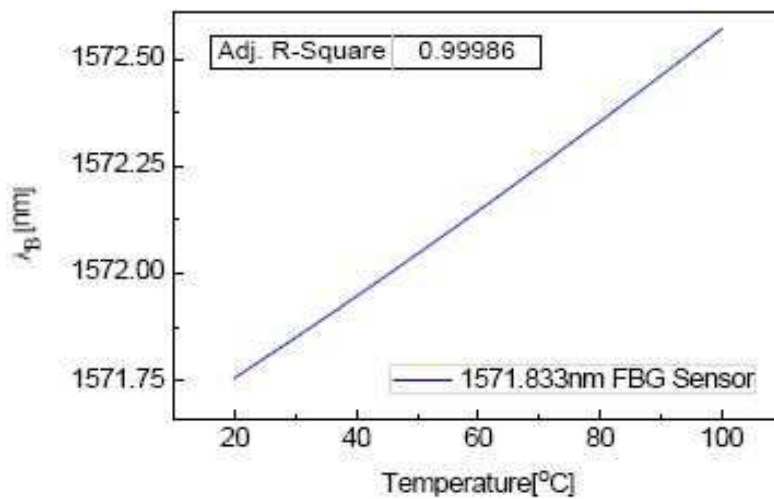
도면5



도면6

$\lambda_B(T) = aT^3 + bT^2 + cT + d$			
a	b	c	d
-1.84E-08	1.41E-05	0.00873	1571.57622

도면7



도면8

