



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0129665
(43) 공개일자 2011년12월02일

(51) Int. Cl.

G01K 11/32 (2006.01) G01B 9/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0049169

(22) 출원일자 2010년05월26일

심사청구일자 2010년05월26일

기술이전 희망 : 기술양도, 실시권허여, 기술지도

(71) 출원인

조선대학교산학협력단

광주광역시 동구 서석동 375 조선대학교 내

(주)옵토네스트

광주광역시 북구 대촌동 958-6

(72) 발명자

안태정

광주광역시 광산구 산월동 호반3차아파트 312동 102호

정희석

광주광역시 북구 운암3동 일신아파트 103동 315호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

위병갑, 성정현

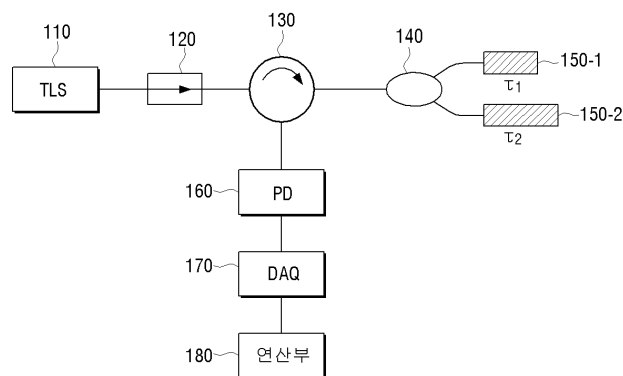
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) MMF 간섭계를 이용한 온도센서 및 그의 온도 측정방법

(57) 요약

MMF 간섭계를 이용한 온도센서 및 그의 온도 측정방법이 제공된다. 본 온도센서는, 온도 측정 대상에 위치한 제1 MMF 간섭계, 온도 측정 대상 이외의 곳에 위치한 제2 MMF 간섭계, 광원에서 출사되는 광을 분배하여 제1 MMF 간섭계 및 제2 MMF 간섭계로 전달하고 제1 MMF 간섭계 및 제2 MMF 간섭계에서 반사된 광들을 결합하는 광커플러 및 광커플러에서 결합되어 출력되는 광을 기초로 온도 측정 대상의 온도를 계산하는 연산부를 포함한다. 이에 의해, FBG를 사용하지 않고도 MMF 간섭계를 이용하여 동일한 기능을 하는 온도센서를 제작할 수 있게 되어, 온도센서의 제조 단가를 낮출 수 있게 된다.

대표도 - 도8



(72) 발명자

최동석

광주광역시 서구 화정동 삼익아파트 5동 406호

이수남

광주광역시 남구 양림동 휴먼시아아파트 201동 801호

서병서

광주광역시 북구 일곡동 청솔아파트 201동 901호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 000376930109

부처명 중소기업청

연구관리전문기관

연구사업명 산학 공동기술개발지원사업

연구과제명 두모드 광섬유를 이용한 온도 센서 시스템 개발

기여율

주관기관 조선대학교 산학협력단

연구기간 2009년 6월 1일~2010년 3월 31일

특허청구의 범위

청구항 1

광원;

온도 측정 대상에 위치한 제1 MMF(Multi Mode Fiber) 간섭계;

상기 온도 측정 대상 이외의 곳에 위치한 제2 MMF 간섭계;

상기 광원에서 출사되는 광을 분배하여 상기 제1 MMF 간섭계 및 상기 제2 MMF 간섭계로 전달하고, 상기 제1 MMF 간섭계 및 상기 제2 MMF 간섭계에서 반사된 광들을 결합하는 광커플러; 및

상기 광커플러에서 결합되어 출력되는 광을 기초로, 상기 온도 측정 대상의 온도를 계산하는 연산부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 온도센서.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 연산부는,

상기 광커플러에서 결합되어 출력되는 광의 주파수 성분을 분석한 후 분석 결과를 시간 영역으로 변환하고, 시간 영역에서 상기 광의 피크 위치를 기초로 상기 온도 측정 대상의 온도를 계산하는 것을 특징으로 하는 온도센서.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 광의 피크 위치는,

상기 온도 측정 대상의 온도 변화시 상기 제1 MMF 간섭계에 발생하는 광 굴절률을 변화로 인해 변화하는 것을 특징으로 하는 온도센서.

청구항 4

광원;

적어도 하나의 MMF(Multi Mode Fiber) 간섭계;

상기 광원에서 출사되는 광을 분배하여 상기 적어도 하나의 MMF 간섭계로 전달하고, 상기 적어도 하나의 MMF 간섭계에서 반사된 광들을 결합하는 광커플러; 및

상기 광커플러에서 결합되어 출력되는 광을 기초로, 상기 적어도 하나의 MMF 간섭계 중 어느 하나가 위치한 온도 측정 대상의 온도를 계산하는 연산부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 온도센서.

청구항 5

광원에서 출사되는 광을 분배하여, '온도 측정 대상에 위치한 제1 MMF 간섭계' 및 '상기 온도 측정 대상 이외의 곳에 위치한 제2 MMF 간섭계'로 전달하는 단계;

상기 제1 MMF 간섭계 및 상기 제2 MMF 간섭계에서 반사된 광들을 결합하는 단계; 및

상기 결합단계에서 결합되어 출력되는 광을 기초로, 상기 온도 측정 대상의 온도를 계산하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 온도 측정 방법.

명세서

기술 분야

본 발명은 온도센서 및 그의 온도 측정방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 광섬유 간섭계를 이용한 온도센서

및 그의 온도 측정방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 정밀한 센싱을 위한 기존의 광섬유 센서는 그 구성이 복잡하여 상당히 고가로 제공된다. 예를 들어, FBG(Fiber Bragg Grating : 광섬유 격자)를 이용한 광섬유 센서가 대표적이다.
- [0003] FBG는 광섬유 내에 UV를 조사하여 굴절률을 길이 방향으로 주기적인 변화를 주어 특정한 파장에서 반사되고 나머지 파장은 투과시키는 광섬유 소자이다. 이때, 온도와 장력에 의해 중심 파장이 이동하는 현상이 발생하므로, FBG를 이용하면 센서를 구현할 수 있다.
- [0004] 하지만, 파장에 대한 정보를 직접 얻거나 이것을 빛의 세기에 대한 변화로 바꿔주기 위해 비싼 장비를 이용하여야 한다. 또한, FBG를 제작하는 비용 역시 만만치 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0005] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은, 제조 비용을 낮추기 위한 방안으로, FBG를 이용하지 않으면서도 정확한 온도 측정이 가능한 온도센서를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

- [0006] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른, 온도센서는, 광원; 온도 측정 대상에 위치한 제1 MMF(Multi Mode Fiber) 간섭계; 상기 온도 측정 대상 이외의 곳에 위치한 제2 MMF 간섭계; 상기 광원에서 출사되는 광을 분배하여 상기 제1 MMF 간섭계 및 상기 제2 MMF 간섭계로 전달하고, 상기 제1 MMF 간섭계 및 상기 제2 MMF 간섭계에서 반사된 광들을 결합하는 광커플러; 및 상기 광커플러에서 결합되어 출력되는 광을 기초로, 상기 온도 측정 대상의 온도를 계산하는 연산부;를 포함한다.
- [0007] 그리고, 상기 연산부는, 상기 광커플러에서 결합되어 출력되는 광의 주파수 성분을 분석한 후 분석 결과를 시간 영역으로 변환하고, 시간 영역에서 상기 광의 피크 위치를 기초로 상기 온도 측정 대상의 온도를 계산하는 것이 바람직하다.
- [0008] 또한, 상기 광의 피크 위치는, 상기 온도 측정 대상의 온도 변화시 상기 제1 MMF 간섭계에 발생하는 광 굴절률을 변화로 인해 변화하는 것이 바람직하다.
- [0009] 그리고, 상기 광의 피크의 위치가 "0" 에서 멀수록 상기 온도 측정 대상의 온도는 높게 계산되고, 상기 광의 피크의 위치가 "0" 에 가까울수록 상기 온도 측정 대상의 온도는 낮게 계산될 수 있다.
- [0010] 또한, 상기 제1 MMF 간섭계의 길이는, 상기 제2 MMF 간섭계의 길이와 상이한 것이 바람직하다.
- [0011] 그리고, 상기 제1 MMF 간섭계 및 상기 제2 MMF 간섭계의 MMF는, TMF(Two Mode Fiber)일 수 있다.
- [0012] 또한, 상기 TMF는, 광섬유 코어에 Boron이 도핑될 수 있다.
- [0013] 한편, 본 발명에 따른, 온도센서는, 광원; 적어도 하나의 MMF(Multi Mode Fiber) 간섭계; 상기 광원에서 출사되는 광을 분배하여 상기 적어도 하나의 MMF 간섭계로 전달하고, 상기 적어도 하나의 MMF 간섭계에서 반사된 광들을 결합하는 광커플러; 및 상기 광커플러에서 결합되어 출력되는 광을 기초로, 상기 적어도 하나의 MMF 간섭계 중 어느 하나가 위치한 온도 측정 대상의 온도를 계산하는 연산부;를 포함한다.
- [0014] 한편, 본 발명에 따른, 온도 측정 방법은, 광원에서 출사되는 광을 분배하여, '온도 측정 대상에 위치한 제1 MMF 간섭계' 및 '상기 온도 측정 대상 이외의 곳에 위치한 제2 MMF 간섭계'로 전달하는 단계; 상기 제1 MMF 간섭계 및 상기 제2 MMF 간섭계에서 반사된 광들을 결합하는 단계; 및 상기 결합단계에서 결합되어 출력되는 광을 기초로, 상기 온도 측정 대상의 온도를 계산하는 단계;를 포함한다.

발명의 효과

- [0015] 이상 설명한 바와 같이, 본 발명에 따르면, FBG를 사용하지 않고도 TMF 등의 MMF 간섭계를 이용하여 동일한 기능을 하는 온도센서를 제작할 수 있게 되어, 온도센서의 제조 단가를 낮출 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1은 각 모드별 V-number에 대한 유효 굴절률,
 도 2는 광섬유 모재 제작 방법의 설명에 제공되는 도면,
 도 3은 광섬유 인출 타워의 구조를 도시한 도면,
 도 4는 SiCl₄ 유량 변화에 따른 Boron 증착 효율 분석 방법과 제작된 시료의 굴절률 분석결과를 도시한 도면,
 도 5는 제작된 시료의 EPMA 정량 분석 결과를 도시한 도면,
 도 6은 증착 온도 변화에 따른 Boron의 증착 효율 조사 분석결과를 도시한 도면,
 도 7은 위 과정을 통해 제작된 TMF의 모드 분석 결과를 도시한 도면,
 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른, TMF 간섭계를 이용한 온도센서를 도시한 도면,
 도 9a 및 도 9b는, 도 8에 도시된 온도 센서를 실 제작한 결과를 촬영한 사진,
 도 10은 PC에 의한 주파수 성분 분석 결과 및 이를 시간 영역으로 변환한 결과를 도시한 도면,
 도 11a 및 도 11b는, 오븐의 온도를 30℃에서 70℃까지 증가시키는 경우에 발생하는 피크 위치 변화를 나타낸 그래프, 그리고,
 도 12는 본 발명의 다른 실시예에 따른 온도센서를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.
- [0018] 본 발명에서는 온도 변화에 굴절을 변화가 민감한 TMF(Two Mode Fiber)를 제시하고, TMF 간섭계를 OFDR(Optical Frequency-Domain Reflectometry : 광주파수 영역 반사광 분석법)에 적용하여 구현한 온도센서를 제시할 것이다.
- [0019] **1. TMF**
- [0020] **1-1. 모드 분석 및 광섬유 구조 해석**
- [0021] 다중모드를 가지는 MMF(Multi Mode Fiber : 다중모드 광섬유)를 제작하기 위해서는 모드 분석 및 광섬유 구조 해석이 필수적이다.
- [0022] 일반적으로, SMF(Single Mode Fiber : 단일모드 광섬유)의 경우 광섬유 코어 반지름이 약 4~5 μm이고, 코어와 클래딩의 굴절률 차이가 약 0.3%이다.
- [0023] 다중모드를 갖게 하기 위해서는 광섬유 코어를 크게 하거나, 굴절률을 높여주어야 한다. 크기를 얼마나 조절해야 하는지 여부를 광섬유 구조에 대한 모드 분석을 통해서 확인하였다. 1550nm 파장(λ)에서 단일모드를 가지기 위한 조건을 대략 계산해보면 다음과 같다. 단일모드의 cutoff 조건은 V-number로부터 계산할 수 있다. 다음 수학적 식 1은 V-number를 나타낸다.

수학적 식 1

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_{co}^2 - n_{cl}^2}$$

- [0024]
- [0025] 여기서 코어의 반지름(a)은 4 μm로 동일하게 유지한다고 했을 때 코어의 굴절률을 높여서 2개의 모드를 가질 수 있는 V-number의 범위는 2.405 ~ 3.8이며, 이는 도 1을 통해 확인할 수 있다. 이것으로부터 굴절률 값의 범위를 계산하면 1.4645 ~ 1.4757(클래딩의 굴절률이 1.457 일 때)를 얻을 수 있다. 도 1에서, TE₀₁ 모드와 HE₂₁

모드는 모드 그룹으로 LP11 모드에 해당하여 하나의 모드와 같다고 가정할 수 있다.

1-2. 설계 최적화 조건

광섬유는 step-index 구조를 가지며 코어의 반지름은 $4\mu\text{m}$, 굴절률은 클래딩에 대한 상대 굴절률(refractive index difference)이 0.0075~0.019 사이의 값을 가지도록 함이 바람직하다.

그리고, 광섬유 코어에 온도 민감도를 높이기 위해 Boron을 함께 도핑하는 것이 바람직하다. 또한, Ge만 도핑하는 일반적인 공법과는 다르기 때문에 굴절률을 감소시키는 Boron 도핑에 대한 공정 최적화 조건을 잡아주는 것이 필요하다.

1-3. 광섬유 제작 및 특성 평가

1-3-1. 광섬유 제작 방법

1-3-1-1. 광섬유 모재 제작

도 2에는 MCVD 공정을 나타내었다. 광섬유의 주재료인 실리콘과 굴절률 제어 도펀트들의 할로젠 화합물 기체들을 산소(O_2)와 혼합하여 선반에 물려 있는 석영 유리 튜브 안으로 공급한다.

선반의 이송대에는 가스버너가 달려 있어서 왕복 이동을 하며 석영 유리 튜브를 외부에서 가열하여 광섬유 석영 유리와 도펀트 산화물의 수트가 튜브 내벽에 증착되도록 하는 구조이다. 이때 각각의 재료 기체를 진한 황산을 통과하게 함으로써 기체 안에 있는 수분(H_2O)을 제거한다.

석영 유리 튜브 속에 기체 상태의 규소 할로젠 화합물(SiCl_4)과 도펀트인 게르마늄, 인, 붕소 등의 할로젠 화합물(GeCl_4 , POCl_3 , BBr_3 등)의 혼합 기체를 불어 넣으며 선반의 이송대에 의해 석영 유리 튜브의 길이 방향으로 왕복 운동하는 수소 버너로 튜브의 외부를 1800도 이상 가열하면 할로젠 원소보다는 산소의 결합력이 강하므로 이들 할로젠 산화물들은 염소 분자를 방출하고 산소와 결합하여 SiO_2 , GeO_2 , P_2O_5 , B_2O_3 의 산화물 수트가 석영 유리 튜브 내벽에 증착된다.

수트 분말은 수소 버너 불꽃 가열로 소결되어 곧 맑은 유리 모양으로 석영관 내벽에 유리가 형성되어 점차 튜브 안쪽으로 유리의 층이 두껍게 성장해 간다.

증착/소결 과정을 통해 처음에는 클래딩 층을 형성한다. 클래딩 층이 설계된 두께까지 성장하여 완성되면 다음에는 굴절률을 높이는 도펀트의 농도를 높여서 코어 부분을 형성한다.

코어 부분을 형성할 때 굴절률 분포 설계에 따라 도펀트의 농도를 조절하여 광섬유 모재의 굴절률 분포가 광섬유 설계의 굴절률 분포와 일치하도록 한다.

1-3-1-2. 광섬유 인출(Draw tower)

도 3에는 광섬유 인출 타워의 구조를 도시하였다. 광섬유 모재를 용융로(furnace)에 넣어 2000도로 가열하여 반 용융상태로 된 모재의 끝이 중력에 의해 밑으로 늘어지면 이 끝을 잡아 당겨서 광섬유를 뽑아낸다.

광섬유를 뽑아내는 속도는 $10\text{m/sec} \sim 20\text{m/sec}$ 정도이다. 광섬유 외경을 설계된 대로 정확하게 유지하기 위하여 광섬유 외경 측정기로 측정한 광섬유 외경이 설계 값과 다르면 광섬유 인출 속도를 조절하여 광섬유의 외경을 맞춘다. 인출을 빠르게 하면 광섬유 외경이 가늘어지고 인출을 느리게 하면 광섬유의 외경이 굵어진다.

광섬유는 휘거나 기계적 충격을 받으면 부러지기 때문에 겉면에 아크릴 수지로 코팅을 한다. 코팅된 아크릴 수지가 빨리 경화되고 적당한 탄성을 가지도록 자외선으로 처리를 한다. 이런 과정을 통해 최종적으로 광섬유를 제작한다.

1-3-2. 도핑 농도 최적화 조건 조사

광섬유 제작 공정에는 기본적으로 굴절률에 변화없이 SiO_2 증착만 담당하는 SiCl_4 와 굴절률을 증가시키는 GeCl_4 , POCl_3 , 그리고 굴절률을 감소시키는 CF_4 , BCl_3 등의 화학 시료를 사용한다. 광섬유의 각 화학 시료에

따른 증착 효율 및 굴절률에 대한 조건을 조사하였는데, 시료의 증착 정도는 EPMA 분석법으로 정량 분석하였으며 더불어 굴절률 측정 장치를 이용하여 굴절률을 분석하였다.

1-3-2-1. BC13를 일정하게 유지하면서 SiCl4의 변화에 따른 증착 분석

증착 온도는 1980도로 일정하게 유지하였다. 도 4의 좌측에 제시된 바와 같이, SiO2 기판을 중심으로 도넛 형태로 SiCl4, BC13와 POC13, CF4, SiCl4를 번갈아가며 증착하였다. BC13를 일정하게 유지하면서 SiCl4의 양을 줄였을 때 상대적 Boron의 증착률이 높아질 것으로 예상하였으나, 도 4의 우측에 제시된 바와 같이, 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

한편, 도 5는 제작된 시료의 EPMA 정량 분석 결과를 도시한 도면이다. 도 5에 도시된 바에 따르면, Boron 도핑량은 BC13 flow를 20 SCCM으로 일정하게 유지할 때 60~20 SCCM의 SiCl4 flow량 변화에 크게 의존하지 않음을 알 수 있다.

1-3-2-2. 증착 온도 변화에 따른 Boron의 증착 효율 조사

앞에서 SiCl4의 유량 증가가 Boron의 증착 효율에 크게 영향을 주지 않음을 확인하였다. 이번에는 증착 온도에 따라 Boron의 증착 효율을 조사해 보았다. 온도를 1680도에서 1980도로 100도씩 증가시키면서 앞의 실험과 동일한 시료를 제작하였다.

도 6은 증착 온도 변화에 따른 Boron의 증착 효율 조사 분석결과를 도시한 도면이다. 도 6에 도시된 바에 따르면, 굴절률 측정 결과를 통해서 온도가 높을수록 굴절률이 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 높은 온도에서 Boron의 증착 효율이 높음을 의미한다. 따라서, 본 실험에서는 1980도에서 실험하는 것으로 결정하였다.

1-3-2-3. 두모드 광섬유

위의 실험을 통해서 BC13의 유량에 대한 증착을 조사하였으며, 기존의 GeCl4의 정보를 통해서 TMF를 얻었다.

2. 광섬유의 모드 분석

도 7에는 위 과정을 통해 제작된 TMF의 모드 분석 결과를 도시하였다. 모드 분석에는 1550nm의 Gain-switching pulse laser와 40Gbps high-speed sampling oscilloscope를 이용하였다. 광섬유의 길이는 약 100m였다. 도 7에 도시된 바에 따르면, 제작된 TMF는 두개의 모드를 가짐을 확인할 수 있으며, 두 번째 모드가 고차 모드인 것을 알 수 있다. 고차모드일 경우 광섬유 구부러짐에 의해서 제거되기 때문에 쉽게 확인할 수 있다. 그리고, 모드간 지연 시간 차가 대략 20 ps/m 정도 발생하는 것을 확인할 수 있다.

3. TMF 간섭계를 이용한 온도센서

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른, TMF(Two Mode Fiber) 간섭계를 이용한 온도센서를 도시한 도면이다. 도 8에 도시된 바와 같이, 본 실시예에 따른 온도센서는, TLS(Tunable Laser Source)(110), OI(Optical Isolator)(120), OC(Optical Circulator)(130), 광커플러(140), 제1 TMF 간섭계(150-1), 제2 TMF 간섭계(150-2), PD(Photo Diode)(160), DAQ(170) 및 연산부(180)를 구비한다.

TLS(110)는 파장이 가변되는 레이저를 연속적으로 출사하는 광원으로 기능한다.

OI(120)는 광이 한쪽 방향으로만 진행하도록 하는 광소자로, TLS(110)로부터 입사되는 광이 OC(130)로만 진행하도록 하는 반면, OC(130)에서 출사되는 광은 TLS(110)로 진행하지 않도록 한다.

OC(130)는 OI(120)를 통해 TLS(110)로부터 입사된 광을 광커플러(140)로 전달하는 한편, 전달한 광이 TMF 간섭계들(150-1,2)에서 반사되어 광커플러(140)를 통해 입사되면 이를 PD(160)로 전달한다.

광커플러(140)는 OI(120)와 OC(130)를 통해 TLS(110)로부터 입사된 광을 분배하여 제1 TMF 간섭계(150-1)와 제2 TMF 간섭계(150-2)에 전달한다. 또한, 광커플러(140)는 제1 TMF 간섭계(150-1)와 제2 TMF 간섭계(150-2)에

서 반사된 광들을 결합하여 OC(130)로 전달한다.

- [0060] 제1 TMF 간섭계(150-1)는 전술한 방법에 의해 제작된 TMF를 이용하여 구현할 수 있다. 제1 TMF 간섭계(150-1)로 입사된 광은 2개의 모드로 분리되는데, 끝단에서 반사된 후 다시 결합된다. 이때, 제1 TMF 간섭계(150-1) 내에서 모든 간의 간섭이 발생하는데, 이를 IMI(Internal Modal Interference)라 한다.
- [0061] 제1 TMF 간섭계(150-1)는 온도 측정 대상에 위치한다. 제1 TMF 간섭계(150-1)의 굴절율은 온도에 따라 변화하며, 굴절율 변화는 제1 TMF 간섭계(150-1)에서 출사되는 광의 피크 위치 변화를 유발한다.
- [0062] 제2 TMF 간섭계(150-2)도 전술한 방법에 의해 제작된 TMF를 이용하여 구현할 수 있다. 제2 TMF 간섭계(150-2)로 입사된 광도 2개의 모드로 분리되는데, 끝단에서 반사된 후 다시 결합된다. 이때, 제2 TMF 간섭계(150-2) 내에서 모든 간의 간섭이 발생하는데, 이를 IMI라 한다.
- [0063] 한편, 제2 TMF 간섭계(150-1)는 온도 측정 대상이 위치한 곳이 아닌 대기 중에 위치한다. 제2 TMF 간섭계(150-1)는 제1 TMF 간섭계(150-1)에서의 온도 측정시에 부가되는 노이즈를 제거하여 보상하기 위한 보조 간섭계로 기능한다.
- [0064] 도 8에 도시된 바와 같이, 제1 TMF 간섭계(150-1)의 길이와 제2 TMF 간섭계(150-2)의 길이는 상이하다. 제1 TMF 간섭계(150-1)에서의 모드간 지연은 τ_1 이고, 제2 TMF 간섭계(150-2)에서의 모드간 지연은 τ_2 이다.
- [0065] 제1 TMF 간섭계(150-1)에서 반사된 광과 제2 TMF 간섭계(150-2)에서 반사된 광은 광커플러(140)에서 결합된다. 이 과정에서, 제1 TMF 간섭계(150-1)에서 반사된 광과 제2 TMF 간섭계(150-2)에서 반사된 광의 간섭이 발생하는데, 이를 EMI(External Modal Interference)라 한다.
- [0066] PD(160)는 광커플러(140)에서 결합된 광을 검출하고, 검출 결과를 DAQ(170)로 전달한다. 그러면, DAQ(170)는 PD(160)에 의한 검출결과를 수집하여 연산부(180)로 전달한다.
- [0067] 연산부(180)는 DAQ(170)에서 수집된 PD(160)의 검출 결과를 통해, 온도 측정 대상의 온도를 계산한다.
- [0068] 구체적으로, 연산부(180)는 PD(160)의 검출 결과를 통해, 제1 TMF 간섭계(150-1)와 제2 TMF 간섭계(150-2)에서 각각 반사한 후 광커플러(140)에서 결합된 광의 주파수 성분을 분석한다.
- [0069] 그리고, 연산부(180)는 분석 결과를 시간 영역으로 변환하고, 시간 영역에서 광의 피크 위치를 기초로 온도 측정 대상의 온도를 계산한다. 온도 측정 대상의 온도 변화시, 제1 MMF 간섭계(150-1)에서는 굴절률을 변화가 유발되기 때문이다.
- [0070] 광의 피크 위치가 "0" 에서 멀수록 온도 측정 대상의 온도는 높게 계산되고, 광의 피크의 위치가 "0" 에 가까울수록 온도 측정 대상의 온도는 낮게 계산된다.
- [0071] 이하에서는, 도 8에 도시된 온도센서에서 제1 TMF 간섭계(150-1)가 위치한 온도 측정 대상의 온도를 측정하는 과정에 대해, 상세히 설명한다.
- [0072] 먼저, TLS(110)에서 출사된 광이 OI(120)와 OC(130)를 통해 광커플러(140)로 전달된다. 광커플러(140)로 입사된 광은 제1 TMF 간섭계(150-1)와 제2 TMF 간섭계(150-2)로 분배되어 입사된다.
- [0073] 제1 TMF 간섭계(150-1)와 제2 TMF 간섭계(150-2)로 입사된 광은 2개의 모드로 분리되는데, 끝단에서 반사된 후 다시 결합된다.
- [0074] 한편, 제1 TMF 간섭계(150-1)는 온도 측정 대상에 위치하므로, 온도 측정 대상과 대기의 온도 변화에 따라 굴절율이 변화한다. 반면, 제2 TMF 간섭계(150-2)는 대기 중에 위치하므로, 대기의 온도 변화에 따라서만 굴절율이 변화한다.
- [0075] 제1 TMF 간섭계(150-1)와 제2 TMF 간섭계(150-2)에서 반사되어 출사되는 광들은 광커플러(140)에서 결합되어 PD(160)에서 검출된 후 DAQ(170)에서 수집되어 연산부(180)로 전달된다.
- [0076] 그러면, 연산부(180)는 광의 주파수 성분 분석 결과를 시간 영역으로 변환하고, 시간 영역에서 광의 피크 위치를 기초로 온도 측정 대상의 온도를 계산하게 된다.

[0077] **4. TMF 간섭계를 이용한 온도센서 실험 제작 결과**

- [0078] 도 9a는, 도 8에 도시된 온도 센서를 실 제작한 결과를 촬영한 사진이다. 도 9a에서 "TLS"로 표시된 장비는 도 8에 도시된 TLS(110)이고, 도 9a에서 "주간섭계"와 "보조간섭계"로 표시된 광섬유는 도 8에 도시된 제1 TMF 간섭계(150-1)와 제2 TMF 간섭계(150-2)에 각각 해당한다. 그리고, 도 9a에서 "PC"로 표시된 장비가 도 8에 도시된 연산부(180)에 해당한다.
- [0079] 또한, 도 9a에서 "오븐"으로 표시된 대상은 온도 측정 대상이고, 도 9a에서 "정밀 온도계"로 표시된 것은 실 제작된 온도 센서의 성능 분석을 위해 오븐의 온도를 직접 측정할 온도계이다.
- [0080] 도 9b에 도시된 바와 같이, 주간섭계의 TMF 부분과 정밀 온도계의 프로브를 오븐 안에 설치한 후, 온도센서와 정밀온도계를 이용하여 각각 온도를 측정하였다.
- [0081] PC로 입사된 광의 주파수 성분 분석결과는 도 10의 상부에 도시되어 있으며, 이를 시간 영역으로 변환한 결과는 도 10의 하부에 도시되어 있다.
- [0082] 도 10의 하부에 도시된 바에 따르면, 시간 영역에서 광의 피크 위치가 소정 시간 지연되어 나타남을 확인할 수 있는데, 이때 지연 정도 즉, 광의 피크 위치가 오븐의 온도를 나타내는 정보라 할 수 있다.
- [0083] 즉, 광의 피크 위치가 "0sec" 에서 멀수록 오븐의 온도는 높고, 광의 피크의 위치가 "0sec" 에 가까울수록 오븐의 온도는 낮다고 할 수 있다.
- [0084] 도 11a에는 오븐의 온도를 30℃에서 70℃까지 증가시키는 경우에 발생하는 피크 위치 변화, 즉 지연 변화를 그래프로 나타내었다. 도 11a에 도시된 바에 따르면, 오븐의 온도 변화는 피크 위치 변화를 유발하며, 구체적으로는 온도가 높을 수록 피크 위치가 "0sec" 에서 멀어짐을 확인할 수 있다.
- [0085] 도 11b에는 오븐의 온도 변화에 따른 피크 위치 변화를 나타낸 그래프로, 도 11b에 도시된 바에 따르면, 온도 변화에 따른 피크 위치 변화는 선형성을 띄고 있음을 확인할 수 있다.

[0086] 5. 변형예

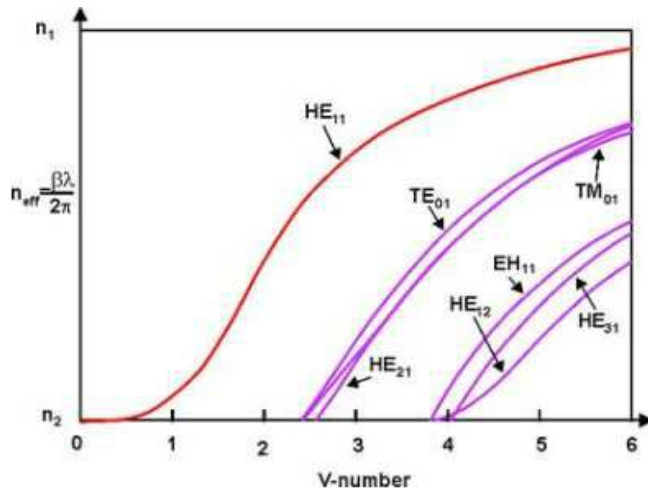
- [0087] 지금까지, TMF 간섭계를 이용한 온도센서에 대해 바람직한 실시예를 제시하여 상세히 설명하였다. 위 실시예에서 TMF 간섭계의 개수를 2개로 구현하였으나 이는 설명의 편의를 위한 일 예에 불과하다.
- [0088] TMF 간섭계의 개수를 2개 보다 많은 개수로 구현하는 것이 가능하다. 이때, TMF 간섭계들의 모드 간 지연시간은 각기 다르게 구현하는 것이 바람직하다. 도 12에는 각기 다른 모드 간 지연시간을 가지는 4개의 TMF 간섭계들(150-1, 150-2, 150-3 및 150-4)로 구현한 온도센서를 도시하였다.
- [0089] 도 12에 도시된 온도센서에 대한 상세한 설명은 도 9에 도시된 온도센서의 상세한 설명으로부터 유추가능하기에 생략한다.
- [0090] 또한, 위 실시예에서는 TMF를 이용한 간섭계를 상정하였으나, TMF가 아닌 다른 MMF를 이용한 간섭계로 온도센서를 구현하는 것도 본 발명의 범주에 포함됨은 물론이다.
- [0091] 또한, 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 발명은 상술한 특징의 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진자에 의해 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 이러한 변형실시들은 본 발명의 기술적 사상이나 전망으로부터 개별적으로 이해되어져서는 안될 것이다.

부호의 설명

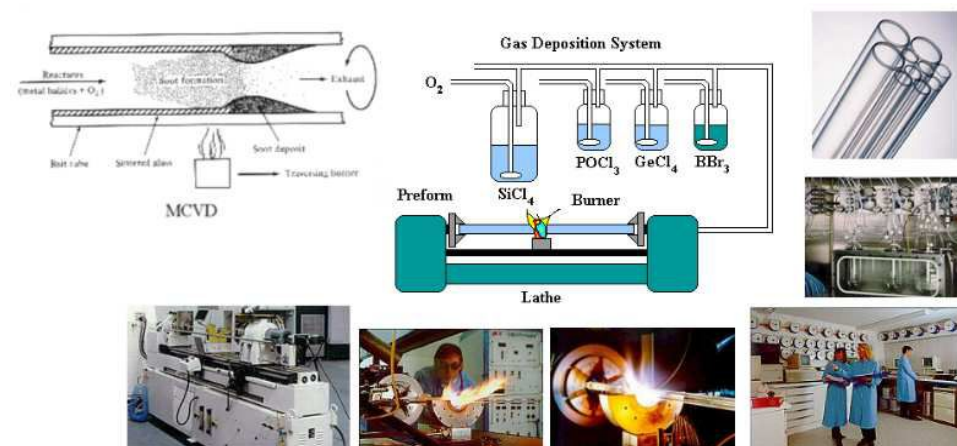
- [0092] 110 : TLS 120 : OI
- 130 : OC 140 : 광커플러
- 150-1, 150-2, 150-3 및 150-4 : TMF 간섭계
- 160 : PD 170 : DAQ
- 180 : 연산부

도면

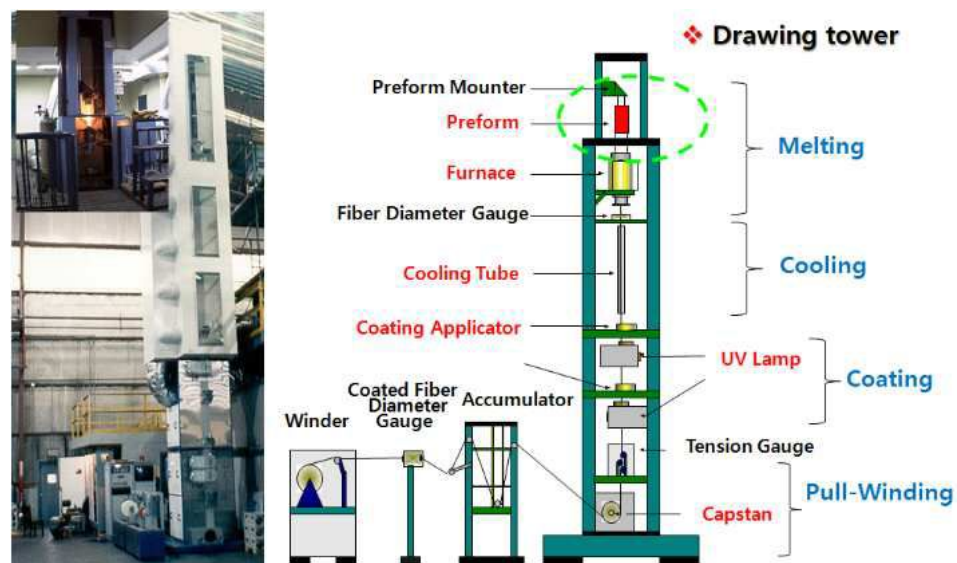
도면1



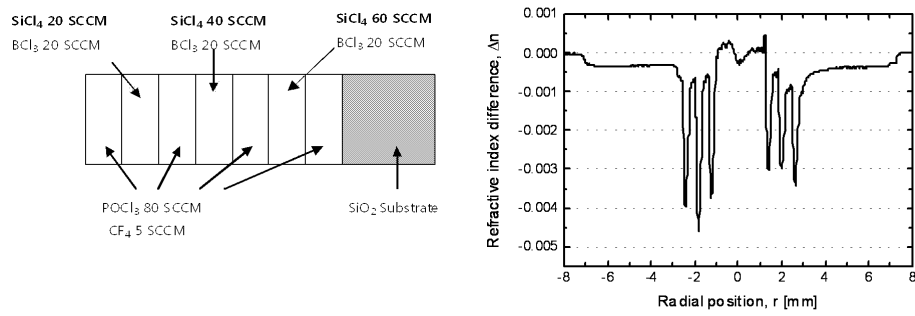
도면2



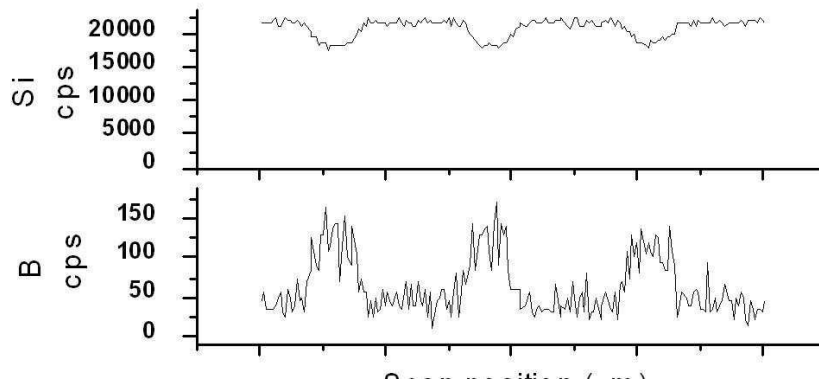
도면3



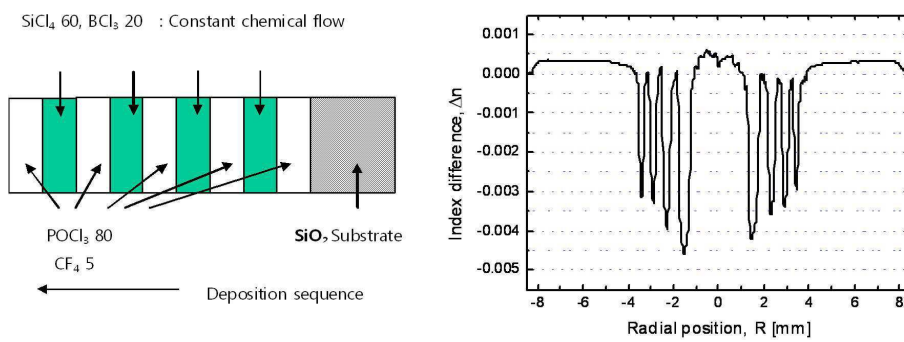
도면4



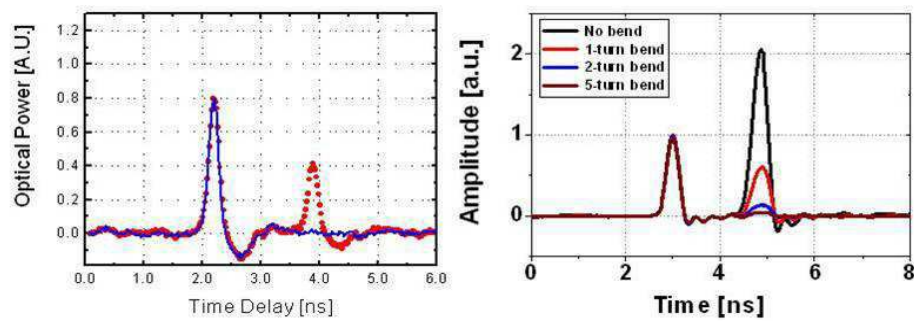
도면5



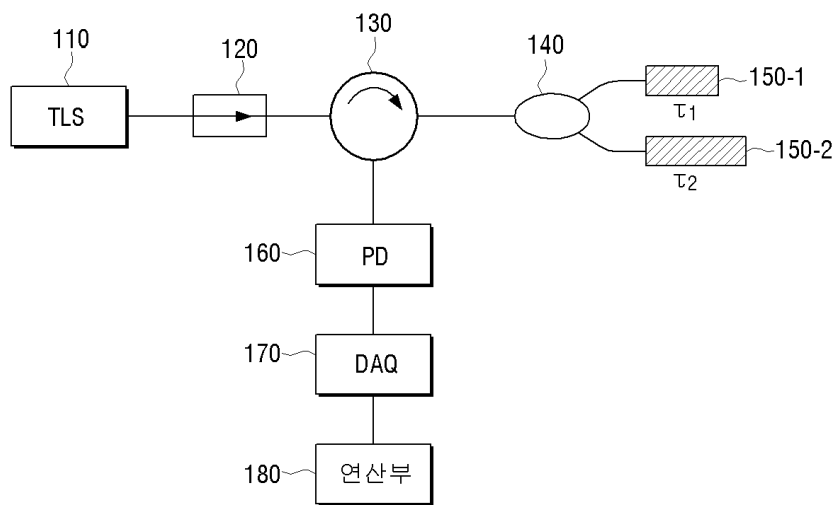
도면6



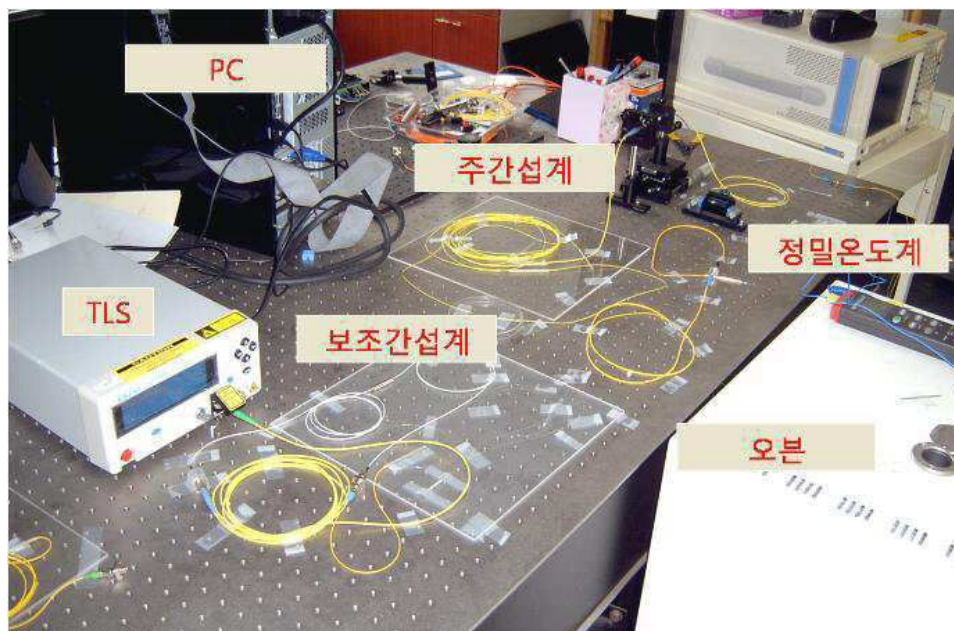
도면7



도면8



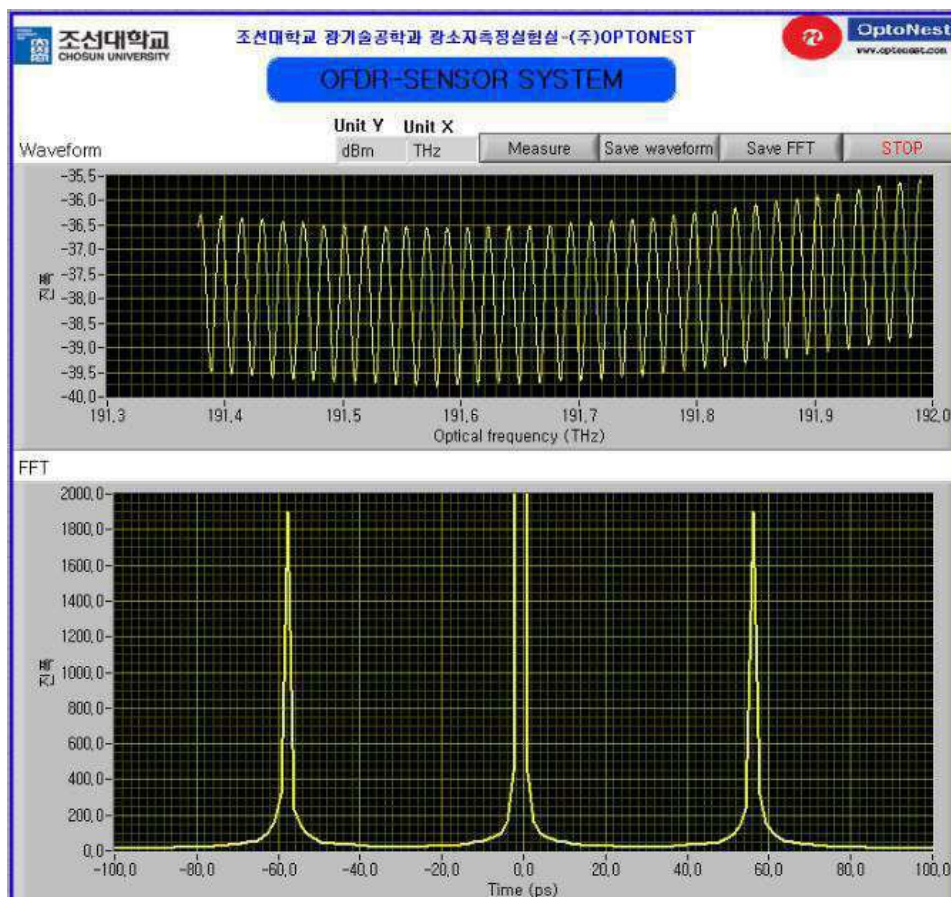
도면9a



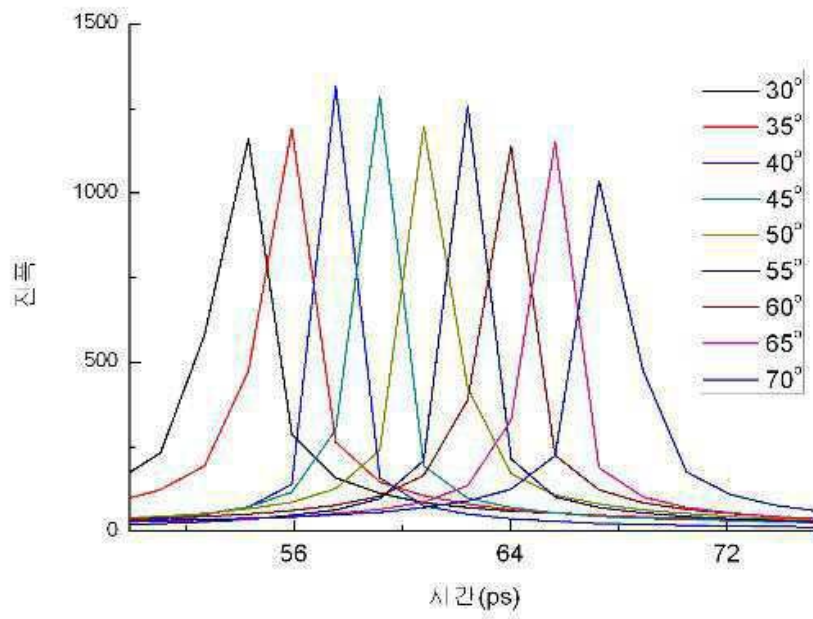
도면9b



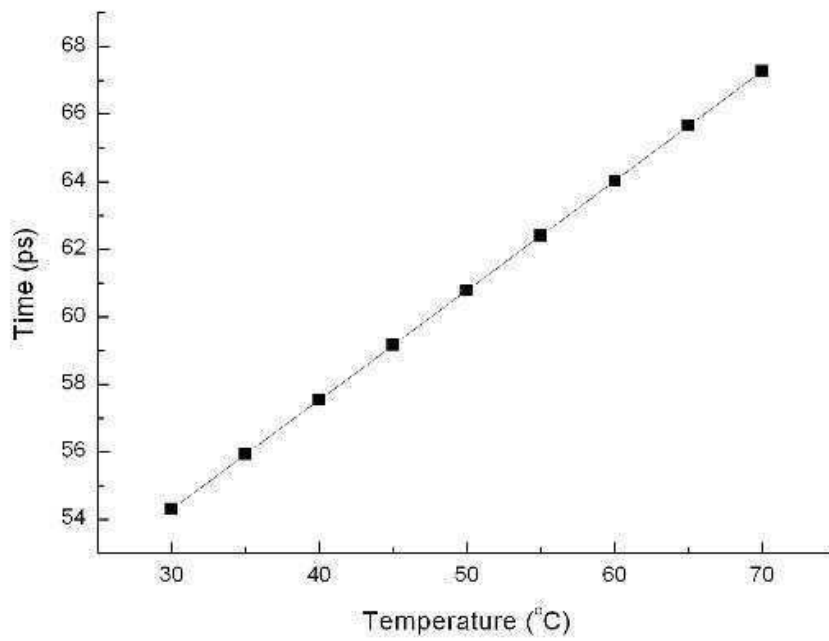
도면10



도면11a



도면11b



도면12

