



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0091144
(43) 공개일자 2019년08월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/45 (2006.01) G01B 11/06 (2006.01)
G01B 9/02 (2006.01) G01D 21/02 (2006.01)
G01J 3/02 (2006.01) G01N 21/41 (2006.01)
G06F 17/14 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 21/45 (2013.01)
G01B 11/0625 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0010227
(22) 출원일자 2018년01월26일
심사청구일자 2018년01월26일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
김경현
인천광역시 연수구 먼우금로 126 (동춘동, 현대대림2차아파트) 209동 501호
(74) 대리인
김윤배

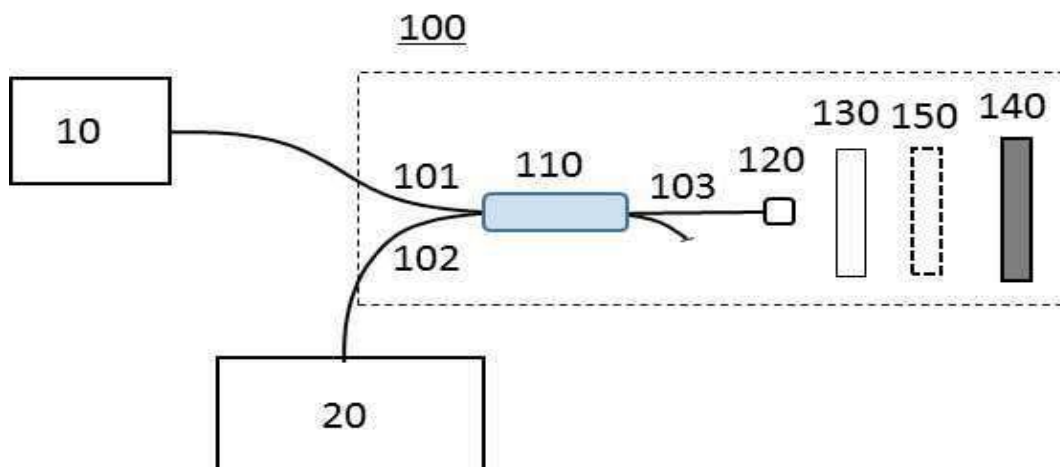
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 페브리-페롯 간섭계 기반 평판의 두께 및 굴절률 측정 방법

(57) 요약

페브리-페롯 간섭계 기반 평판의 두께 및 굴절률 측정 방법에 대한 발명이다. 본 발명은 투명성이 있는 평판 샘플의 두께와 굴절률 및 파장에 따른 위상 굴절률 값을 측정할 수 있는 방법으로 넓은 파장 빛을 내는 광원에서 나오는 빛을 광섬유를 통해 보내고, 이 광섬유와 연결된 광섬유 커플러의 반대편 출력단 광섬유에는 그런 렌즈를 (뒷면에 계속)

대표도 - 도1



연결하여 광섬유에서 출력되는 빔을 평행광으로 만들어 보내며, 이 그린 렌즈의 출력단면과 평행한 투명 윈도우와 거울을 두어 페브리-페롯 간섭계를 만들어 간섭무늬가 형성이 되도록 하여 거울에서 반사된 빔은 그린렌즈와 광섬유 커플러를 거쳐 광섬유 커플러의 입력단 쪽의 다른 광섬유 경로로 출력되고, 이 광섬유 출력단의 끝은 광 스펙트럼분석기에 연결하여 광 스펙트럼을 분석한 다음 투명 윈도우와 거울 사이에 평판 샘플을 빔 경로에 수직하게 삽입하여 출력되는 간섭무늬 스펙트럼을 광 스펙트럼분석기로 측정된 후 이들 두 경우의 간섭무늬 스펙트럼들을 푸리에 변환하여 주파수 분포를 구하고 각 면 들 사이의 간섭무늬에 해당하는 주파수 관계로부터 샘플의 두께와 균굴절률을 구하고, 평판 샘플의 양면에 의한 간섭무늬에 해당하는 주파수만 푸리에 필터링하여 평판 샘플의 양면에 의한 간섭무늬 스펙트럼만 추출하여 페브리-페롯 간섭 이론식에 의거하여 파장에 따른 평판 샘플의 위상굴절률을 간단하게 비접촉식으로 정확히 구할 수 있는 측정 방법을 제공한다.

(52) CPC특허분류

G01B 9/02 (2013.01)

G01D 21/02 (2013.01)

G01J 3/02 (2013.01)

G01N 21/4133 (2013.01)

G06F 17/14 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

투명성이 있는 평판 샘플의 두께와 균굴절률, 파장에 따른 위상 굴절률 값을 측정하는 방법으로서,
광원과 광 스펙트럼 분석기를 사용하여 광을 투명 윈도우와 거울로 구성된 페브리-페롯 간섭계에 비추어 간섭무늬를 측정하는 제1 단계;
상기 간섭계 내부에 투명도가 있는 평판 샘플을 광선에 수직하게 삽입하여 간섭무늬를 다시 측정하는 제2 단계;
상기 제1 단계와 제2 단계로부터 측정된 간섭무늬 스펙트럼 각각에 대한 푸리에 변환(Fourier Transform)하여 주파수 분포를 구하는 제3 단계;
푸리에 변환된 주파수와 간섭계 간격 및 샘플 두께와의 환산 값을 구하는 제4 단계;
상기 간섭계의 투명 윈도우와 거울 및 상기 평판 샘플의 각 면 사이의 간격에 해당하는 주파수 성분으로부터 평판 샘플의 두께와 균굴절률을 구하는 제5 단계;
상기 제2 단계에서 평판 샘플이 삽입된 경우의 간섭무늬를 푸리에 변환한 주파수 분포에서 샘플의 양면에 의한 간섭무늬에 해당하는 주파수만을 필터링하여 상기 평판 샘플에 기인하는 간섭무늬를 추출하는 제6 단계;
상기 제6 단계에서 상기 평판 샘플에 의한 간섭무늬의 피크점들을 찾아 파장이 가장 짧은 피크와 파장이 긴 쪽의 바로 다음 2번째 피크 간의 파장 간격을 주파수 간격($\Delta \nu$)으로 바꾸어 하기의 식 (a)로부터 임시 굴절률(n)을 구하는 제7 단계;
상기 제7 단계에서 평판 샘플 양면 간의 간격이 해당 피크의 반파장에 몇 배가 되는지를 하기의 식 (b)로부터 정수(m) 값을 구한 후 상기 2번째 피크 파장에서의 위상굴절률($n(\lambda)$)을 하기의 식 (c)로부터 구하는 제8 단계;
및
상기 제8 단계에서 상기 2번째 다음 피크 파장들에 대해서는 상기 m 보다 1을 순차적으로 뺀 정수 값을 m 값으로 하고, 상기 피크 파장에서의 위상굴절률($n(\lambda)$)을 하기의 식 (c)로부터 계산하여 위상굴절률 분포를 구하는 제9 단계;를 포함하는, 페브리-페롯 간섭계 기반 평판의 두께 및 굴절률 측정 방법.

식 (a) 임시굴절률(n) = (진공에서의 빛 속력)/(2*샘플 두께* $\Delta \nu$)

식 (b) 정수(m) = (2* n *피크 주파수*두께)/(진공에서의 빛속력)

식 (c) 위상굴절률 $n(\lambda)$ = ($m\lambda$)/(2*샘플두께)

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제4 단계는, 평판 샘플의 두께와 굴절률을 아는 기준 샘플을 사용하여 교정하는 단계를 더 포함하는, 페브리-페롯 간섭계 기반 평판의 두께 및 굴절률 측정 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제4 단계는, 평판 샘플을 페브리-페롯 간섭계 내에서 아는 거리만큼 이동할 때 푸리에 변환 주파수 변화 정도를 측정하여 푸리에 변환 주파수와 거리 관계를 교정하는 단계를 더 포함하는, 페브리-페롯 간섭계 기반 평판의 두께 및 굴절률 측정 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 제5 단계는, 다층 박막으로 구성된 평판 샘플을 이용하는 경우에는 측정된 간섭무늬 스펙트럼의 푸리에 변환된 주파수 분포 가운데, 각 박막 층에 해당하는 주파수를 분리하여 분석함으로써 투명성이 있는 평판 샘플의 두께와 파장에 따른 위상 굴절률 값을 측정하는 단계를 포함하는, 페브리-페롯 간섭계 기반 평판의 두께 및 굴절률 측정 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 페브리-페롯 간섭계는, 넓은 파장 영역의 빛을 발산하는 광원을 포함하며, 상기 광원에 연결된 광섬유, 상기 광섬유에 연결된 광섬유 커플러, 상기 광섬유 커플러의 반대편에 연결된 간섭계용 광섬유, 상기 간섭계용 광섬유 끝단에 연결된 광 시준용 렌즈, 상기 렌즈의 끝단과 평행하여 놓여 있는 투명 윈도우와 거울 및 상기 광섬유 커플러의 광원 쪽에 달린 다른 팔의 광섬유와 광섬유에 연결된 광 스펙트럼분석기로 구성되며, 상기 평판 샘플은 광원 빔에 수직하고 상기 윈도우와 거울과는 평행하도록 위치시키는 구도를 사용하는, 페브리-페롯 간섭계 기반 평판의 두께 및 굴절률 측정 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 페브리-페롯 간섭계는, 광섬유가 달리지 않은 넓은 파장 영역의 빛을 발산하는 광원 및 벌크형 빔 분파기와 광 스펙트럼분석기 그리고 상기 광원 빔에 수직하게 놓여 있는 투명 윈도우 및 거울, 광 시준기 및 집속렌즈로 구성되고, 상기 평판 샘플은 광원 빔에 수직하고 상기 윈도우와 거울과는 평행하도록 위치시키는 구도를 사용하는, 페브리-페롯 간섭계 기반 평판의 두께 및 굴절률 측정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 평판 기관형 광학 소재의 두께 및 군굴절률(group index), 넓은 파장 영역에서의 위상 굴절률(phase index)을 간단하게 측정할 수 있는 페브리-페롯(Fabry-Perot) 간섭계 기반 평판의 두께 및 굴절률 측정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 평판 기관형 광학 소재의 두께와 굴절률의 정밀한 측정은 집적형 광소자 및 광센서 등의 구현에 매우 중요하다. 이러한 평판 기관형 광학 소재의 두께와 굴절률을 비접촉식으로 측정하는 방법은 다양하게 제안되어 있다. 이들 기존 기술들은 평판 샘플의 두께와 군굴절률을 측정하거나 혹은 특정한 파장에서의 위상 굴절률을 측정하는 방법들이다. 또한 넓은 파장 영역에서의 위상 굴절률 측정 방법으로는 평판 샘플을 광학계 상에서 회전시키는 방법이 제안되어 있으나 두께 값을 알고 있어야 하는 단점들이 있다.

[0003] 종래의 박막의 굴절률과 두께를 동시에 측정하는 비접촉식 기술로 낮은 가간섭성 광원(low coherent light source)을 사용하여 평판형 박막 샘플의 앞면과 뒷면에서의 반사 신호와의 자기상관(autocorrelation) 신호 측정으로 박막의 두께와 군굴절률을 측정하는 방법과 구도(US 5,633,712)가 제안된 바 있다. 이 측정 방법에서는 단지 두께와 군굴절률을 측정할 수는 있으나, 파장에 따른 위상 굴절률을 측정하지 못하는 제한적인 특성을 가지고 있다.

[0004] 다른 종래의 물리적 파라미터를 측정하는 페브리-페롯 간섭계형 측정기로는 2개의 평행한 거울면이 일정 간격으로 떨어져 있는 구조와 피조우 간섭계(Fizeau interferometer) 구조를 이용하여 상호 상관관계(cross-correlation) 신호 측정을 통해 압력이나 온도, 액체의 굴절률 등을 측정하는 간섭계 구도(US 5,392,117)가 있다. 이 간섭계 구도는 두께를 측정하지 못하고 단지 한가지 굴절률만 측정하고 복잡한 간섭계 구도를 가지는 단점이 있다.

[0005] 또 다른 종래의 물리적 파라미터를 측정하는 페브리-페롯 간섭계형 측정기로는 다중 파장의 백색 광원을 사용하고 광섬유 끝 단에서의 페브리-페롯 간섭계의 간격이 외부 압력이나 온도, 인장력, 굴절률 등의 물리적인 파라미터에 의해 변할 때 간섭무늬의 피크 간격 변화로부터 자기상관(correlation) 신호의 변화 정도를 파악하여 그

물리적인 파라미터 값을 구하는 센서 구도(US 2005/0151975)와 간섭무늬에 해당하는 인터페로그램(interferogram)을 구해 물리적인 파라미터 값을 구하는 센서 구도(US 2009/0219542)가 있다. 이 측정 방법들에서는 단지 페브리-페롯 간섭계 간격과 군굴절률을 측정할 수는 있으나, 파장에 따른 위상 굴절률을 측정하지 못하는 제한적인 특성을 가지고 있다.

[0006] 다른 종래의 박막의 두께 및 굴절률을 측정하는 기술로 파장가변 광원을 박막으로 수직에서 약간 기울어진 각도에서 조사하여 박막의 면들에서 반사하는 광신호를 광검출기로 검출하여 넓은 파장 영역에서의 반사 스펙트럼을 측정하여 두께와 파장에 따른 이론적인 굴절률 및 흡수 계수 분포 식으로 최적 피팅 계산치를 구하여 두께와 굴절률 분포를 얻는 방법(US 6,091,485)가 제안된 바 있다. 이 방법에서는 반사 스펙트럼에 대해 이론적으로 최적 피팅 계산치를 구하는 문제가 상당히 어려울 뿐만 아니라 직접적으로 두께와 굴절률을 측정하는 방식이 아니어서 정확도에 있어서는 다소 제한적인 특성을 가지고 있다.

[0007] 다른 종래 박막의 두께 및 굴절률을 측정하는 기술로 편광된 빛을 이용한 타원편광반사계 방식(US 3,985,447)이 있으나, 이 방법은 샘플의 물질이 균일하지 않거나 등방성을 가지지 못한 경우에는 측정이 어렵고 분석이 매우 까다로운 단점이 있다.

[0008] 다른 종래 평판의 두께 및 굴절률을 측정하는 기술로 레이저 빔에 대해 평판 샘플의 기울어진 각도에 따른 빔 경로의 편향 정도를 측정하여 두께와 단일 파장에서의 위상 굴절률을 측정하는 방법(US 6,731,380)이 있으나, 이 방법은 샘플의 두께가 제법 커야하고 단일 파장에서의 위상 굴절률을 측정하는 단점을 가지고 있다.

[0009] 다른 종래의 샘플의 굴절률을 측정하는 기술로 광간섭계 구도에서 삼각형 웨지(wedge) 모양의 샘플을 이용하여 굴절률을 측정하는 방법(US 2012/0243002)이 있으나 이 방법에서는 두께를 측정할 수 없는 단점이 있다.

[0010] 다른 종래 박막의 두께 및 굴절률을 측정하는 기술로 마이켈슨 간섭계 구도로 샘플에 대물렌즈로 광원 빔을 초점에 맞추어 초점 위치를 바꾸면서 다른 간섭계 팔의 거울 위치를 조절하여 광 경로 변화에 따른 간섭무늬 신호를 측정하여 샘플의 두께와 군굴절률을 측정하는 방법(US 6,172,752 및 Optics Letters 23(12), 966 (1998))가 있다. 이 방법에서는 광경로 변화를 주는 스테이지의 정밀도에 따라 두께와 굴절률 오차가 발생하고, 군굴절률과 광원의 중심 파장에서의 하나의 위상 굴절률만을 측정할 수 있는 단점이 있다.

[0011] 또 다른 종래 박막의 두께 및 굴절률을 측정하는 기술로는 상기 기술과 유사한 구도로 백색광의 마이켈슨 간섭계 구도로 간섭무늬로부터 푸리에 변환을 통해 위상 도표를 얻고 측정 샘플에 대한 모델링을 통해 굴절률과 두께를 예측하여 오차 함수에 대한 최적화 방법으로 두께와 군굴절률을 얻는 방법(US 6,545,763)이 있다. 이 방법은 군굴절률만 알 수 있는 방법임에 반해 물리적인 이동 스테이지의 정밀도에 의한 측정 정밀도의 한계점을 가진 단점이 있다.

[0012] 또 다른 종래의 박막의 두께를 측정하는 기술로는 백색광원의 간섭무늬 측정과 이에 대한 푸리에 변환으로 공간적인 간섭파형의 분석을 통해 각 박막의 두께를 측정하는 방법(US 5,523,840)이 있다. 이 방법에서는 박막의 두께만 측정하고 굴절률을 측정할 수 없는 단점이 있다.

[0013] 다른 종래의 평판의 위상 굴절률을 측정하는 기술로 평판 샘플의 회전을 통해 얻어진 백색광 간섭계 간섭무늬로부터 파장에 따른 위상 굴절률을 측정하는 방법(KR 10-1108693 및 Applied Optics 49(5), 910 (2010))이 있다. 이 방법에서는 샘플의 파장에 따른 위상 굴절률을 측정할 수 있으나, 샘플의 두께는 알고 있어야 하는 단점이 있다.

[0014] 또 다른 종래 평판의 두께 및 굴절률을 측정하는 기술로는 페브리-페롯 간섭계 구도에 평판형 샘플을 삽입하여 간섭무늬의 변화에 따른 푸리에 변환 그래프를 이용하여 평판형 샘플의 두께와 군굴절률을 측정하는 방법(Applied Optics 53(31), 7483 (2014))이 있다. 이 방법에서는 단지 평판형 샘플의 두께와 군굴절률을 측정할 수 있고, 파장에 따른 위상 굴절률을 측정할 수 없는 단점이 있다.

[0015] 또 다른 종래 평판의 두께 및 굴절률을 측정하는 기술로는 마이켈슨 간섭계 구도에 평판형 샘플을 삽입하여 간섭무늬의 변화에 따른 푸리에 변환 그래프를 이용하여 평판형 샘플의 두께와 군굴절률을 측정하는 방법(Applied Optics 48(13), 2462 (2009))이 있다. 이 방법에서는 광섬유로 구성된 마이켈슨 간섭계의 간섭 무늬를 기준으로 두께 측정 정확도를 높인 구도를 제시하고 있으나 단지 평판형 샘플의 두께와 군굴절률을 측정할 수 있고, 파장에 따른 위상 굴절률을 측정할 수 없는 단점이 있다. 이에 따라, 샘플의 두께와 파장에 따른 위상 굴절률 값을 간단하게 비접촉식으로 정확히 측정할 수 있는 기술이 필요하고, 이는 여러 산업 분야에서 아주 중요하게 활용될 수 있다.

선행기술문헌

- [0016] 특허문헌 1. KR 등록특허 제10-1108693호
- [0017] 특허문헌 2. US 등록특허 제6,731,380호
- [0018] 특허문헌 3. US 등록특허 제5,523,840호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0019] 본 발명은 상기한 기존 기술들의 문제점을 해결하기 위해 발명된 것으로, 간단한 페브리-페롯 간섭계 구조에 삽입되는 투명성이 있는 평판형 샘플의 양면에서 반사되는 백색광의 페브리-페롯 간섭무늬를 기반으로 샘플의 두께와 굴절률, 여러 파장에서의 위상 굴절률을 동시에 측정할 수 있는 측정 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0020] 상기 목적들은, 본 발명에 따르면, 광원과 광 스펙트럼 분석기를 사용하여 광을 투명 윈도우와 거울로 구성된 페브리-페롯 간섭계에 비추어 간섭무늬를 측정하는 제1단계, 상기 간섭계 내부에 투명도가 있는 평판 샘플을 광선에 수직하게 삽입하여 간섭무늬를 다시 측정하는 제2 단계; 상기 제1 단계와 제2 단계로부터 측정된 간섭무늬 스펙트럼 각각에 대한 푸리에 변환(Fourier Transform)하여 주파수 분포를 구하는 제3 단계, 푸리에 변환된 주파수와 간섭계 간격 및 샘플 두께와의 환산 값을 구하는 제4 단계, 상기 간섭계의 투명 윈도우와 거울 및 상기 평판 샘플의 각 면 사이의 간격에 해당하는 주파수 성분으로부터 평판 샘플의 두께와 굴절률을 구하는 제5 단계; 상기 제2 단계에서 평판 샘플이 삽입된 경우의 간섭무늬를 푸리에 변환한 주파수 분포에서 샘플의 양면에 의한 간섭무늬에 해당하는 주파수만을 필터링하여 상기 평판 샘플에 기인하는 간섭무늬를 추출하는 제6 단계; 상기 제6 단계에서 상기 평판 샘플에 의한 간섭무늬의 피크점들을 찾아 파장이 가장 짧은 <즉 주파수(= 진공에서의 빛 속도/파장)가 가장 큰> 피크와 파장이 긴 쪽의 바로 다음 2번째 피크 간의 파장 간격을 주파수 간격($\Delta \nu$)으로 바꾸어 하기의 식 (a)로부터 임시 굴절률(n)을 구하는 제7 단계; 상기 제7 단계에서 평판 샘플 양면 간의 간격이 해당 피크의 반파장에 몇 배가 되는지를 하기의 식 (b)로부터 정수(m) 값을 구한 후 상기 2번째 피크 파장에서의 위상굴절률($n(\lambda)$)을 하기의 식 (c)로부터 구하는 제8 단계; 및 상기 제8 단계에서 상기 2번째 다음 피크 파장들에 대해서는 상기 m 보다 1을 순차적으로 뺀 정수 값을 m 값으로 하고, 상기 피크 파장에서의 위상굴절률($n(\lambda)$)을 하기의 식 (c)로부터 계산하여 위상굴절률 분포를 구하는 제9 단계;를 포함하는, 페브리-페롯 간섭계 기반 평판의 두께 및 굴절률 측정 방법으로 달성될 수 있다.
- [0021] 식 (a) 임시굴절률(n) = (진공에서의 빛 속도)/(2*샘플 두께* $\Delta \nu$)
- [0022] 식 (b) 정수(m) = (2* n *피크 주파수*두께)/(진공에서의 빛속력)
- [0023] 식 (c) 위상굴절률 $n(\lambda)$ = (m * λ)/(2*샘플두께)
- [0024] 본 발명에 따르면, 제4 단계는, 평판 샘플의 두께와 굴절률을 아는 기준 샘플을 사용하여 교정하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0025] 본 발명에 따르면, 제4 단계는, 평판 샘플을 페브리-페롯 간섭계 내에서 아는 거리만큼 이동할 때 푸리에 변환 주파수 변화 정도를 측정하여 푸리에 변환 주파수와 거리 관계를 교정하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0026] 본 발명에 따르면, 상기 제5 단계는, 다층 박막으로 구성된 평판 샘플을 이용하는 경우에는 측정된 간섭무늬 스펙트럼의 푸리에 변환된 주파수 분포 가운데, 각 박막 층에 해당하는 주파수를 분리하여 분석함으로써 투명성이 있는 평판 샘플의 두께와 파장에 따른 위상 굴절률 값을 측정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0027] 본 발명에 따르면, 페브리-페롯 간섭계는, 넓은 파장 영역의 빛을 발산하는 광원을 포함하며, 상기 광원에 연결된 광섬유, 상기 광섬유에 연결된 광섬유 커플러, 상기 광섬유 커플러의 반대편에 연결된 간섭계용 광섬유, 상기 간섭계용 광섬유 끝단에 연결된 광 시준용 렌즈, 상기 렌즈의 끝단과 평행하여 놓여 있는 투명 윈도우와 거울 및 상기 광섬유 커플러의 광원 쪽에 달린 다른 팔의 광섬유와 이 광섬유에 연결된 광 스펙트럼분석기로 구성되며, 상기 평판 샘플은 광원 빔에 수직하고 상기 윈도우와 거울과는 평행하도록 위치시키는 구도를 사용할 수 있다.

[0028] 본 발명에 따르면, 페브리-페롯 간섭계는, 광섬유가 달리지 않은 넓은 파장 영역의 빛을 발산하는 광원 및 벌크형 빔 분파기와 광 스펙트럼분석기 그리고 상기 광원 빔에 수직하게 놓여 있는 투명 윈도우 및 거울, 광 시준기 및 집속렌즈로 구성되고, 상기 평판 샘플은 광원 빔에 수직하고 상기 윈도우와 거울과는 평행하도록 위치시키는 구도를 사용할 수 있다.

발명의 효과

[0029] 본 발명에 의하면, 간단한 비접촉 방식으로 투명성이 있는 평판 샘플의 두께와 파장에 따른 위상 굴절률 값을 정확히 측정할 수 있다. 또한, 반도체 공정이나 다양한 박막 샘플의 정밀 두께 및 굴절률 측정으로 여러 산업 분야에서 아주 중요하게 활용될 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 본 발명의 제1 실시 예로써 페브리-페롯 간섭계 구도로 투명 평판 샘플의 두께와 균굴절률, 위상굴절률을 측정하는 구도이다.

도 2는 도 1의 투명 윈도우와 거울로 구성된 페브리-페롯 간섭계와 이들 사이에 일정 두께를 가진 평판 샘플을 넣었을 때 이 둘 간의 간격을 표시한 도식도이다.

도 3(가)와 (나)는 본 발명의 한 실시 예로써 도 1의 구도에서 평판 샘플이 없이 투명 윈도우와 거울 간의 페브리-페롯 간섭계에 의한 간섭무늬 스펙트럼과 이를 푸리에 변환한 주파수 분포의 예시도이다.

도 3(다)와 (라)는 본 발명의 한 실시 예로써 도 1의 투명 윈도우와 거울 사이에 투명성이 있는 기판과 같은 평판 유리샘플을 위치시킨 다음 측정된 간섭무늬 스펙트럼과 이를 푸리에 변환한 주파수 분포를 나타낸 예시도이다.

도 4(가), (나), (다), (라)는 본 발명의 한 실시 예로써 도 1에서 투명 윈도우와 거울 사이에 평판 유리 샘플을 위치한 다음 이 샘플의 위치를 0 m에서 한쪽 방향으로 100 μm 씩 이동하여 각각 0, 100, 200, 300 μm 까지 이동한 경우에 측정된 간섭무늬를 푸리에 변환한 주파수 분포의 예시도이다.

도 5는 도 4에서의 측정된 주파수들이 샘플의 위치 이동에 따른 변화하는 정도를 그래프로 나타낸 예시도이다.

도 6의 (가)와 (나)는 도 3의 (다)와 (라)에 해당하며, 도 1에서 투명 윈도우와 거울 사이에 평판 샘플이 위치한 경우에 측정된 간섭무늬와 이를 푸리에 변환한 주파수 분포의 예시도이다.

도 6(다)는 도 6(나)의 주파수 분포에서 샘플의 두께에 해당하는 주파수만을 필터링 한 경우에 푸리에 필터링된 샘플의 양면에 의한 간섭무늬를 나타낸 예시도이다.

도 7은 일정 두께의 평판 샘플에 파장이 λ 인 빛이 입사할 경우 이 빛에 대한 샘플의 굴절률과 샘플 내에서의 파장 관계, 또 이 파장의 절반에 정수배가 되는 경우에 간섭무늬가 공진 파장이 되는 도식도의 예시이다.

도 8은 본 발명의 한 실시 예로서 유리 샘플에 대해 측정된 위상 굴절률값을 나타낸 그래프의 예시이다.

도 9는 본 발명의 한 실시 예로서 백색광의 페브리-페롯 간섭 무늬를 기반으로 샘플의 두께와 균굴절률, 여러 파장에서의 위상 굴절률을 동시에 측정할 수 있는 측정 방법을 기술하는 순서도 예시이다.

도 10은 본 발명의 한 실시 예로서 광섬유가 달리지 않은 광원 및 벌크형 빔 분파기, 광 스펙트럼분석기, 광 시준기 및 집속렌즈 등으로 구성된 평판 샘플의 두께와 파장에 따른 위상 굴절률 값을 정확히 측정할 수 있는 구도의 예시이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 이하, 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 설명한다.

[0032] 본 발명은, 넓은 파장 영역의 빛을 내는 광원에서 나오는 빔을 광섬유를 통해 보내고, 이 광섬유와 연결된 2x2 또는 2x1 광섬유 커플러의 반대편 출력단 광섬유에는 그린 렌즈를 연결하여 광섬유에서 출력되는 빔을 평행광으로 만들어 보내고, 이 그린 렌즈의 출력단면과 평행하게 투명 윈도우와 거울을 두어 페브리-페롯 간섭계를 만들어 간섭 무늬가 형성되도록 하여 거울에서 반사된 빔은 그린 렌즈와 광섬유 커플러를 거쳐 광섬유 커플러의 입력단 쪽의 다른 광섬유 경로로 출력되고, 이 광섬유 출력단의 끝은 광 스펙트럼 분석기에 연결하여 광 스펙트럼을 분석한다. 투명 윈도우와 평행한 거울 사이에 투명성이 있는 평판 샘플을 빔 경로에 수직하게 삽입하여 출력

되는 간섭무늬 스펙트럼을 광스펙트럼분석기로 측정한다. 이렇게 샘플이 없을 때와 있을 때 측정된 간섭무늬 스펙트럼 각각에 대해 푸리에 변환을 하게 되면 간섭무늬의 주기성에 대한 주파수 분포 스펙트럼을 얻을 수 있다. 평판 샘플을 투명 윈도우와 평행한 거울 사이에서 앞뒤로 움직이면서 간섭 스펙트럼을 얻어 푸리에 변환을 해 보면 평판 샘플의 양면에 의한 간섭무늬에 해당하는 주파수를 확인할 수 있고, 이 주파수만 푸리에 필터링을 하게 되면 평판 샘플의 양면에 의한 간섭무늬 스펙트럼만 추출해 낼 수 있다. 샘플이 없을 때와 있을 때 측정된 간섭무늬 스펙트럼에 대해 푸리에 변환된 주파수 분포와 평판 샘플의 양면에 의한 간섭무늬 스펙트럼을 이용하여 평판 샘플의 두께와 균굴절률, 백색광원 파장에 따른 위상굴절률을 구할 수 있는 페브리-페롯 간섭계형 두께 및 굴절률 측정 방법을 제안한다.

- [0033] 본 발명의 실시 예에 따른 페브리-페롯 간섭계 기반 평판의 광학 특성 측정방법은 투명성이 있는 평판 샘플의 두께와 파장에 따른 위상 굴절률 값을 측정함으로써 평판 기관의 광학 특성을 측정한다.
- [0034] 광원과 광 스펙트럼 분석기를 사용하여 광을 투명 윈도우와 거울로 구성된 페브리-페롯 간섭계에 비추어 간섭무늬를 측정하고(제1 단계), 상기 간섭계 내부에 투명도가 있는 평판 샘플을 삽입하여 간섭무늬를 다시 측정한다(제2 단계).
- [0035] 상기 제1 단계와 제2 단계로부터 측정된 간섭무늬 스펙트럼들을 각각 푸리에 변환(Fourier Transform)하여 주파수 분포를 구하고(제3 단계), 이 둘 주파수와 간섭계 간격 및 샘플의 두께와의 환산값을 구한다(제4 단계).
- [0036] 상기 푸리에 변환된 주파수 분포로부터 간섭계의 투명 윈도우와 거울 및 상기 평판 샘플의 각 면 사이의 간격에 해당하는 주파수 성분으로부터 평판 샘플의 두께와 균굴절률을 구한다(제5 단계).
- [0037] 상기 제3 단계에서 평판 샘플이 삽입된 경우의 간섭무늬에 해당하는 푸리에 변환된 주파수 분포에서 샘플의 양면에 의한 간섭무늬에 해당하는 주파수만을 필터링하여 상기 평판 샘플에 기인하는 간섭무늬를 추출한다(제6 단계).
- [0038] 상기 제6 단계에서 평판 샘플의 간섭무늬의 피크점들을 찾아 파장이 가장 가장 짧은 <즉 주파수(= 진공에서의 빛 속도/파장)가 가장 큰> 피크와 파장이 긴 쪽의 바로 다음 2번째 피크 간의 파장 간격을 주파수 간격($\Delta \nu$)으로 바꾸어 아래의 식 (a)로부터 임시 굴절률(n)을 구한다(제7 단계).
- [0039] 식 (a)
- [0040]
$$\text{임시굴절률}(n) = (\text{진공에서의 빛 속도}) / (2 * \text{샘플 두께} * \Delta \nu)$$
- [0041] 상기 제7 단계에서 구한 임시 굴절률(n)을 이용하여 평판 샘플 양면 간의 간격이 해당 피크의 반파장에 몇 배가 되는지를 아래의 식 (b)로부터 정수(m) 값을 구한 후 상기 2번째 피크 파장에서의 위상굴절률($n(\lambda)$)을 아래의 식 (c)로부터 구한다(제8 단계).
- [0042] 식 (b)
- [0043]
$$\text{정수}(m) = (2 * n * \text{피크 주파수} * \text{두께}) / (\text{진공에서의 빛 속도})$$
- [0044] 식 (c)
- [0045]
$$\text{위상굴절률 } n(\lambda) = (m * \lambda) / (2 * \text{샘플두께})$$
- [0046] 상기 제8 단계에서 상기 2번째 다음 피크 파장들에 대해서는 상기 m 보다 1을 순차적으로 뺀 정수 값을 m 값으로 하고, 상기 피크 파장에서의 위상굴절률 $n(\lambda)$ 을 상기의 식 (c)로부터 계산하여 위상굴절률 분포를 구한다(제9 단계).
- [0047] 상기 제8 단계에서 구한 각 피크점들에서의 위상굴절률 값들을 이용하여 이들 피크들 간의 파장에 대한 위상굴절률 값은 보간법(interpolation)을 이용하여 연속적인 파장영역에서의 위상굴절률 값으로 구한다(제10 단계).
- [0048] 본 발명의 실시 예에 따른 페브리-페롯 간섭계 기반 평판의 광학 특성 측정방법을 보다 구체적으로 설명한다.
- [0049] 도 1은 본 발명에 의한 제1 실시 예에 따른 페브리-페롯 간섭계형 평판 샘플의 두께와 균굴절률, 위상굴절률 측정 구도로 넓은 파장 영역의 빛을 발산하는 광원(10)을 간섭계(100)에 입사시킨다. 이 간섭계(100)는 광원과 연결된 광섬유(101)와 이 광섬유에 연결된 광섬유 커플러(110), 이 광섬유 커플러(110)의 반대편에 연결된 간섭계용 광섬유(103), 간섭계용 광섬유 끝단에 연결된 그린 렌즈(120), 이 그린 렌즈의 끝단과 평행하여 놓여 있는 투명 윈도우(130) 및 거울(140), 광섬유 커플러의 광원 쪽에 달린 다른 팔의 광섬유(102)로 구성된다. 이 광섬유(102)에 연결된 광 스펙트럼분석기(20)로 간섭무늬를 측정하고, 투명성이 있는 평판 샘플(150)은 그린 렌즈로

부터 나오는 평행광에 수직하고 유리 윈도우와 거울과는 평행하게 이들 사이에 위치시키는 구도를 보여주고 있다.

[0050] 도 2는 도 1의 간섭계(100)의 세부 구도로 투명 윈도우(130)와 거울(140) 간의 간격을 S_0 로 표시하고, 이들 사이에 위치하는 두께 T 인 평판 샘플(150)을 넣을 때 이 샘플의 왼쪽 면과 투명 윈도우(130)와의 간격은 S_1 으로, 샘플(150)의 오른쪽 면과 거울(140) 간의 간격은 S_2 로 표시한 도식도를 보여주고 있다. 이 그림으로부터 이들 간의 관계식은

[0051]
$$S_0 = S_1 + T + S_2 \quad (1)$$

[0052] 가 되고, 샘플을 지나는 광 경로 T_0 와 실제 샘플의 물리적인 두께 T 및 샘플의 굴절률 n_g 와의 관계는

[0053]
$$T_0 = n_g T \quad (2)$$

[0054] 가 된다.

[0055] 도 3(가)와 (나)는 도 1에서 평판 샘플(150)이 없이 투명 윈도우(130)와 거울(140) 간의 페브리-페롯 간섭계에 의한 간섭무늬 스펙트럼과 이를 푸리에 변환한 주파수 분포를 보여주고 있으며, 도 3(다)와 (라)는 투명 윈도우(130)와 거울(140) 사이에 투과도가 있는 기판과 같은 평판 샘플(150)을 위치한 다음 측정된 간섭무늬 스펙트럼과 이를 푸리에 변환한 주파수 분포를 보여주고 있다. 도 2에서 샘플이 없을 때 투명 윈도우(130)와 거울(140) 간의 간격 S_0 에 해당하는 주파수는 116097에서 샘플이 있을 때에는 이 간격 S_1 에 해당하는 주파수 118598로 늘어나게 된다. 샘플의 거울쪽 면과 거울 간의 간격 S_2 에 해당하는 간섭계에 의한 간섭무늬의 푸리에 변환 주파수는 69954이며, 샘플의 반대편 면과 거울 간의 간격 S_2+T 에 해당하는 간섭계에 의한 간섭 무늬의 푸리에 변환 주파수는 62196이다. 여기에서 T 에 해당하는 간섭계에 의한 간섭 무늬의 푸리에 변환 주파수는 이들 차이로부터 대략 7758이 된다. 이 주파수에 해당하는 주파수가 약 7950 영역에서 보여진다.

[0056] 도 4(가)에서 (라)는 도 1에서 투명 윈도우(130)와 거울(140) 사이에 평판 샘플(150)을 위치한 다음 이 샘플의 위치를 한쪽 방향으로 100 μm 씩 0 μm 에서 100 μm , 200 μm , 300 μm 까지 이동한 경우에 측정된 간섭무늬를 푸리에 변환한 주파수 분포도를 보여주고 있다.

[0057] 도 5는 도 4에서의 측정된 주파수들이 샘플의 위치 이동에 따른 변화하는 정도를 그린 그래프로 샘플의 위치 이동에 따라 샘플의 양면과 거울 면 사이의 간섭계 폭인 S_2 의 변화가 확인되어 평판 샘플의 두께에 의한 간섭무늬에 해당하는 주파수의 변화는 없고 대략 7950 영역임을 확인할 수 있다. 또한 샘플 이동 거리에 따른 주파수 변화로부터 주파수 값에 해당하는 거리 값을 구할 수 있다. 이 그림에서 간격 S_2 와 S_2+T 에 해당하는 그래프의 변화로부터 기울기는 대략 -10.348 Frequency/ μm 가 되고, 이 값의 역수로부터 주파수 값의 변화당 변화하는 거리 값의 절대치는 0.09663 $\mu\text{m}/\text{frequency}$ 가 됨을 알 수 있다. 샘플 두께 T 에 해당하는 간섭계에 의한 간섭 무늬의 푸리에 변환 주파수가 7950 이므로, 샘플의 광학적 두께 T_0 는 $T_0 = 7950 \times 0.09663 = 768.24 \mu\text{m}$ 가 된다. 샘플의 오른쪽 면과 거울 간의 간격 S_2 에 해당하는 간섭계에 의한 간섭무늬의 푸리에 변환 주파수는 62196로부터 이 간격치는 6,010.24 μm 이며, 샘플의 왼쪽 면과 투명 윈도우 간의 간격에 해당하는 거리 S_1 는 $S_1 = (118598 - 69954) \times 0.09663 = 4,700.66 \mu\text{m}$ 가 된다. 아울러 샘플이 없을 때 유리 윈도우(130)와 거울(140)의 간섭계에 의한 간섭무늬 주파수는 116097 이므로, 이 때 이들 사이의 거리 S_0 는 $S_0 = 116097 \times 0.09663 = 11,218.91 \mu\text{m}$ 가 된다. 식 (1)로부터 샘플의 물리적인 두께 T 는 $T = S_0 - S_1 - S_2$ 가 되므로, $T = 11,218.91 - 768.24 - 4,700.66 = 508.00 \mu\text{m}$ 가 된다. 샘플의 굴절률을 n_g 는 식 (2)로부터 $n_g = \frac{T_0}{T} = \frac{768.24}{508.00} = 1.512$ 로 구해진다.

[0058] 도 6의 (가)와 (나)는 도 3의 (다)와 (라)와 동일한 것이며, 도 1에서 투명 윈도우(130)와 거울(140) 사이에 평판 샘플(150)을 위치한 경우에 측정된 간섭무늬와 이를 푸리에 변환한 주파수 분포이다. 도 6(다)는 샘플의 두께에 해당하는 주파수만을 필터링 한 경우에 푸리에 필터링된 샘플의 양면에 의한 간섭무늬를 보여주고 있다.

[0059] 도 7은 두께가 T 인 평판 샘플에 파장이 λ 인 빛이 입사하면 이 빛에 대한 샘플의 굴절률 $n(\lambda)$ 에 의해 샘플 내

에서의 파장은 $\lambda' = \lambda/n(\lambda)$ 가 되고, 이 파장의 절반에 정수배가 되는 경우에 공진이 되어 간섭무늬가 피크가 되는 도식도를 보여주고 있다. 이것을 식으로 나타내면

$$T = m \frac{\lambda'_m}{2} = m \frac{\lambda_m}{2n(\lambda)} \quad (3)$$

으로 된다. 여기에서 빛의 파장 λ 와 주파수 ν 와의 관계식 $\lambda = \frac{c}{\nu}$ 을 이용하면, 식 (3)은 다음과 같이 기술된다.

$$T = m \frac{c}{2n(\lambda)\nu} \quad (4)$$

여기에서 c 는 진공에서의 빛의 속력이고, 이 식으로부터 간섭무늬의 피크 주파수는

$$\nu_m = m \frac{c}{2n(\lambda)T} \quad (5)$$

가 된다. 이웃 피크 주파수 간의 주파수 간격은

$$\Delta\nu = \nu_{m+1} - \nu_m = \frac{c}{2n(\lambda)T} \quad (6)$$

가 되며, 이 식을 다시 정리하면 다음 식을 얻는다.

$$n = \frac{c}{2T\Delta\nu} \quad (7)$$

식 (4)를 m 에 대해서 풀어 보면

$$m = \frac{2n\nu T}{c} \quad (8)$$

를 얻으며, 이 m 값을 식 (3)에 대입하여 위상굴절률을 구하면 다음 식을 얻는다.

$$n(\lambda) = m \frac{\lambda_m}{2T} \quad (9)$$

도 6(다)에 보여지는 샘플의 양면에 의한 간섭무늬 스펙트럼 데이터들에 대한 보간법(interpolation)을 통해 정확한 피크 점들을 찾고, 피크점에 대한 파장을 $\lambda = c/\nu$ 식으로 주파수로 바꾸어 피크들 간의 주파수 간격 $\Delta\nu$ 를 구한다. 주파수가 가장 긴(파장이 가장 짧은) 피크와 바로 그 아래 2번째 피크 간의 간격치 $\Delta\nu$ 를 식 (7)에 대입하고 앞서 구한 샘플의 두께를 이용하여 임시 굴절률 $n = c/(2T\Delta\nu)$ 값을 구한다. 이 n 값을 식 (8)에

대입하여 $\frac{2n\nu T}{c}$ 를 계산하고, 이 계산 값에 가장 가까운 정수 값을 2번째 피크 파장에서의 m 값으로 정하고, 이 값과 앞서 구한 샘플의 두께를 이용하여 식 (9)로부터 이 피크 파장에서의 위상 굴절률 $n(\lambda)$ 값을 구한다. 이 2번째 피크 다음 피크들 부터는 앞서 구한 m 값에서 순차적으로 1을 빼주어 그 피크 파장에서의 m 값으로 정하고, 바로 앞 피크와의 간격 $\Delta\nu$ 를 식 (9)에 대입하여 각 피크 파장에서의 위상 굴절률 $n(\lambda)$ 값을 구한다. 이렇게 구한 피크 파장들에서의 위상 굴절률 값들에 대해 보간법(interpolation)을 이용하여 이 파장 영역에서의 위상 굴절률 그래프를 그려보면 도 8과 같이 된다.

도 8은 본 발명의 한 실시 예로서 0.5 mm 두께의 유리 샘플에 대해 앞서 기술된 방식으로 1548 ~ 1553 nm 파장 영역에 대해 구한 위상 굴절률 측정값 그래프를 보여주고 있다.

도 9는 본 발명의 실시 예로서 백색광의 페브리-페롯 간섭 무늬를 기반으로 샘플의 두께와 굴절률, 여러 파장에서의 위상 굴절률을 동시에 측정할 수 있는 측정 방법을 기술하는 순서도를 나타낸다. 도 1의 구도를 이용하여 <1단계> 투명 윈도우와 거울로 구성된 페브리-페롯 간섭계의 간섭 스펙트럼을 측정한 후, <2단계> 이들 사이에 평판 샘플을 위치시켜 다시 간섭 스펙트럼을 측정한다. <3단계> 이 간섭 스펙트럼들에 대한 푸리에 변환을 하여 간섭무늬들에 대한 주파수 분포를 구하고, <4단계> 이미 두께와 굴절률을 알고 있는 기준 평판 샘플을 이용하여 이 평판 샘플의 위치를 페브리-페롯 공진기내 앞뒤로 일정 거리를 이동하면서 푸리에 변환된 주파수와 간섭계 간격과 샘플 두께와의 관계를 나타내는 환산 값을 구할 수 있다. <5단계> 상기 두 간섭 스펙트럼의 주파

수 분포에 해당하는 거리 값으로부터 상기 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 샘플의 두께와 균굴절률 값을 구한다. 다음으로 <6단계> 샘플이 있을 때의 간섭스펙트럼에 대한 푸리에 변환된 주파수 분포에서 샘플의 양면에 의한 간섭무늬에 해당하는 주파수를 찾아 푸리에 필터링을 수행하여 샘플에 해당하는 간섭무늬만 분리한다. 그리고 <7단계> 샘플에 해당하는 분리된 간섭무늬로부터 보간법(interpolation) 과정으로 데이터 커브의 정확한 피크 파장을 구하고, 이 파장을 $v = c/\lambda$ 관계식으로 주파수 값으로 바꾼 후 주파수가 가장 큰 피크 주파수와 바로 그 아래 2번째 피크 주파수 간의 간격 Δv 를 구한 후 상기에서 구한 두께 값과 함께 식 (7)로 부터 임시 n 을 구한다. <8단계> 2번째 피크 주파수 값 v 에 대해 상기 n 값을 식 (8)에 대입하여 $\frac{2nvT}{c}$ 값을 구한다. 이 m 값에 가장 가까운 정수 값을 이 피크 주파수(파장)에 대한 m 값으로 정한 후 식 (9)를 이용하여 이 파장에 대한 위상 굴절률을 구한다. <9단계> 그리고 2번째 피크 다음 피크들 각각에 대해서는 m 값 보다 1을 순차적으로 뺀 정수 값을 이 들 피크에 대한 m 값으로 정하여 이 들 각 피크 주파수(파장)에 대해 식 (9)를 이용하여 위상 굴절률을 구한다. <10단계> 위에서 구한 각 피크 파장에 대한 위상 굴절률 값에 대해 보간법(interpolation)을 이용하여 이들 파장 영역에서의 위상굴절률 분포를 구할 수 있다.

[0076] 도 10은 본 발명의 다른 실시 예로서 광섬유가 연결된 광원, 광 커플러, 광 스펙트럼분석기 대신에 기존의 벌크형 광학계를 이용하여 위에 기술된 방법으로 평판 샘플의 두께와 파장에 따른 위상 굴절률 값을 정확히 측정할 수 있는 구도를 보여주고 있다. 넓은 파장 영역의 빛을 발산하는 광원(310)과 이 광원의 빔을 평행광(420)으로 바꾸어 줄 수 있는 광 시준기(collimator)(320)를 통해 벌크형 광 간섭계(400)에 입사시킨다. 이 벌크형 광 간섭계(400)는 빔 분파기(410), 분파된 빔(430), 이 빔에 수직으로 놓여 있는 투명 윈도우(130) 및 거울(140), 평판 샘플(150)로 놓여지도록 구성하여 빔 분파기로부터 출력되는 광간섭계 출력 빔(440)이 반대편에 위치한광 스펙트럼분석기(340)와 이 광 스펙트럼의 슬릿으로 빛이 집속하여 입사될 수 있도록 하는 광 집속 렌즈(330)로 구성된 측정 구도를 만들 수 있다.

[0077] 본 발명에 의하면, 간단한 비접촉 방식으로 투명성이 있는 평판 샘플의 두께와 파장에 따른 위상 굴절률 값을 정확히 측정할 수 있는 방법을 제안하고 있다. 이는 반도체 공정이나 다양한 박막 샘플의 정밀 두께 및 굴절률 측정으로 여러 산업 분야에서 중요하게 활용될 수 있는 장점이 있다.

[0078] 상기에 기술된 실시 예들이 비록 한정된 실시 예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나 구도 및 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 동일한 개념과 방법으로 평판 샘플의 두께와 굴절률, 위상 굴절률의 파장 분포값이 측정될 수 있다. 그러므로, 다른 구성품이나 다른 실시예 및 방법들, 관련 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

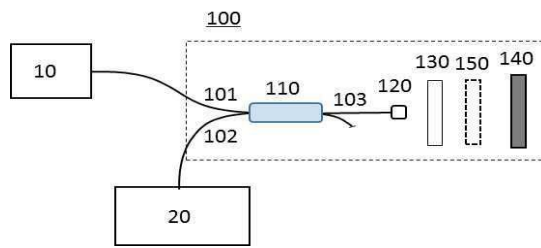
부호의 설명

[0079]

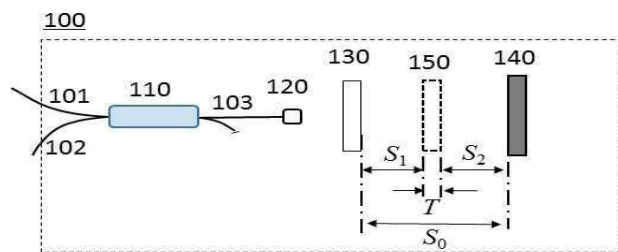
10: 광원	20: 광 스펙트럼분석기
101.102: 광섬유	103: 간섭계 광섬유
100: 광섬유형 광 간섭계	110: 광섬유 커플러
120: 그린 렌즈	130: 투명 윈도우
140: 거울	150: 평판 샘플
310: 벌크형 광원	320: 광 시준기(collimator)
330: 광 집속 렌즈	340: 광 스펙트럼분석기
400: 벌크형 광 간섭계	410: 벌코평 광 분파기
420: 광원의 평행광	430: 분파된 빔
440: 광간섭계 출력 빔	

도면

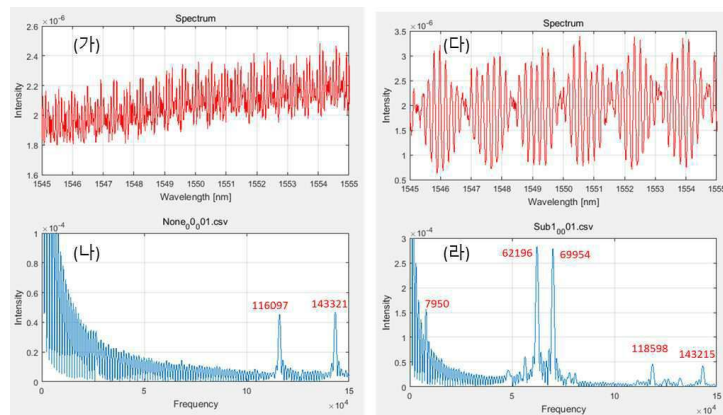
도면1



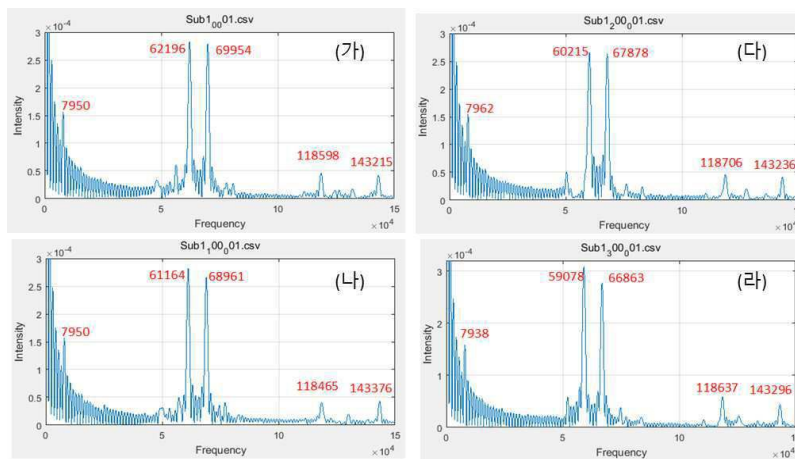
도면2



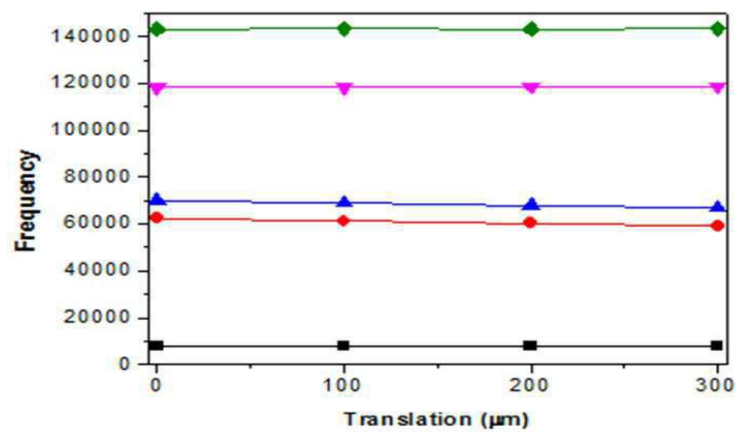
도면3



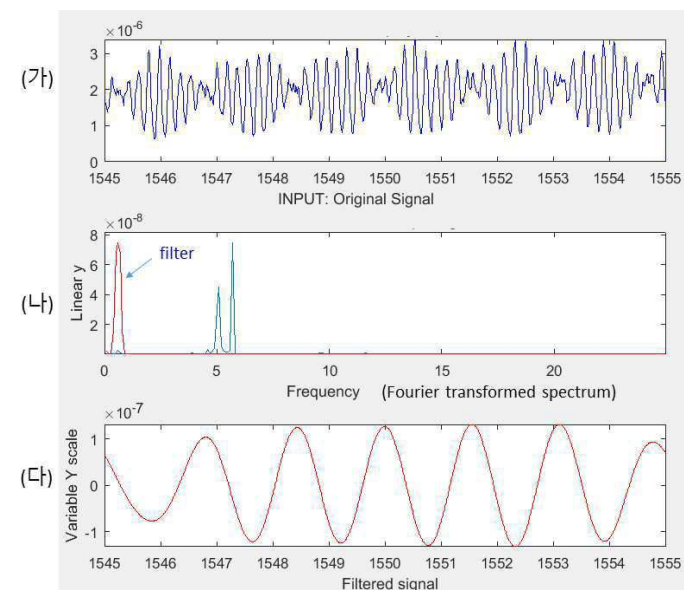
도면4



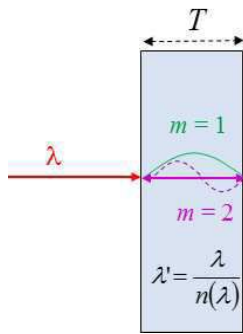
도면5



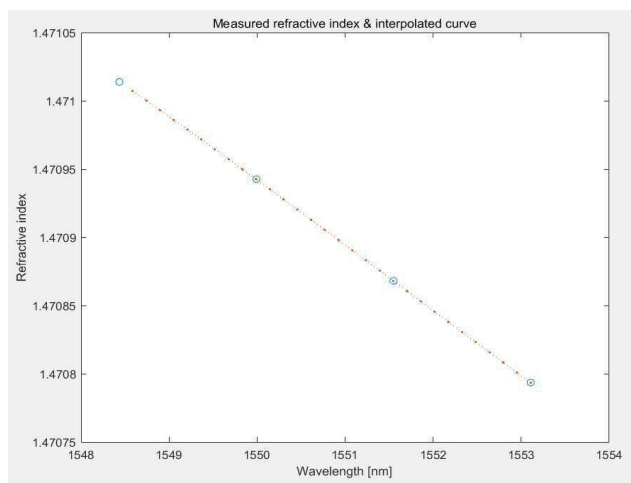
도면6



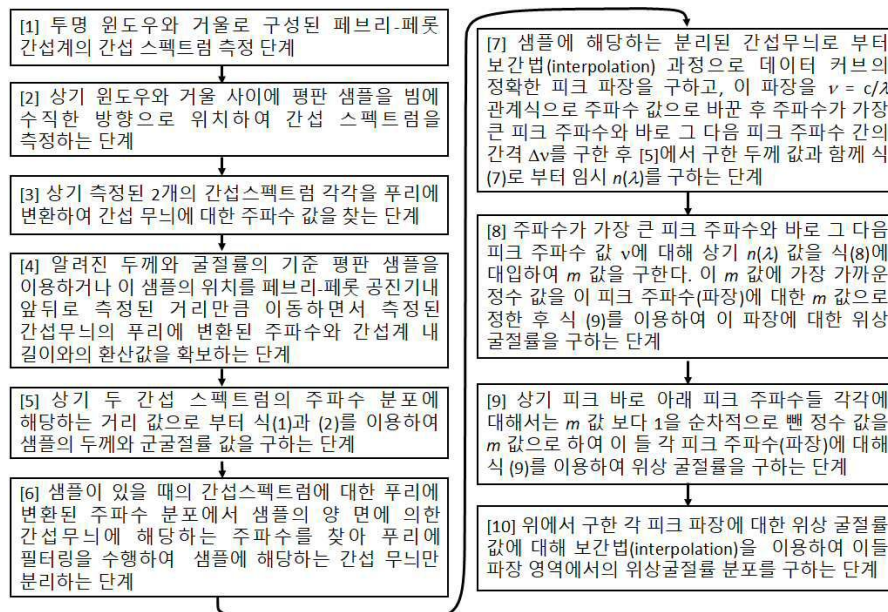
도면7



도면8



도면9



도면10

