



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년03월23일
(11) 등록번호 10-1841776
(24) 등록일자 2018년03월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01B 11/06 (2006.01) G01N 21/17 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0087386
(22) 출원일자 2012년08월09일
심사청구일자 2016년07월25일
(65) 공개번호 10-2013-0018164
(43) 공개일자 2013년02월20일
(30) 우선권주장
JP-P-2011-176817 2011년08월12일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP2004138519 A
JP2000065536 A
US5835226 A
JP2010112898 A

(73) 특허권자
오즈카 일렉트로닉스 가부시기가이샤
일본 오사카 히라카타시 쇼다이하지카 3-26-3
(72) 발명자
야마자끼 유스케
일본 오사카후 히라카타시 쇼다이 다지카 3조메
26-3 오즈카 일렉트로닉스 가부시기가이샤 내
오카모토 소마
일본 오사카후 히라카타시 쇼다이 다지카 3조메
26-3 오즈카 일렉트로닉스 가부시기가이샤 내
(74) 대리인
장수길, 이중희

전체 청구항 수 : 총 6 항

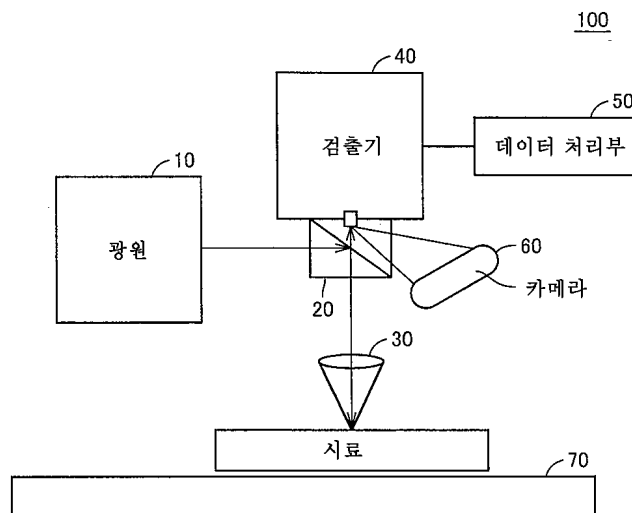
심사관 : 이병수

(54) 발명의 명칭 광학 특성 측정 장치 및 광학 특성 측정 방법

(57) 요약

광학 특성 측정 장치(100)는 광원(10)과 검출기(40)와 데이터 처리부(50)를 구비하고 있다. 데이터 처리부(50)는 모델화부와 해석부와 피팅부를 구비하고 있다. 복수의 막 모델식을 연립시키고, 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수가 동일한 것으로 하여 소정의 연산을 행하여 산출한 막의 막 두께 및 광학 정수를 막 모델식에 대입하여 얻어지는 파형과, 검출기(40)에서 취득한 파장 분포 특성의 파형과의 피팅을 행함으로써, 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수가 동일하고, 해석부에서 산출한 막의 막 두께 및 광학 정수가 검출기에서 취득한 파장 분포 특성으로부터 구한 값인 것을 판정한다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

기관 상에 적어도 1층의 막을 형성한 피측정물에 대하여 소정의 파장 범위를 갖는 측정광을 조사하는 광원과,
상기 피측정물에서 반사된 광 또는 상기 피측정물을 투과한 광에 기초하여, 반사 강도 또는 투과 강도의 파장 분포 특성을 취득하는 분광 측정부와,

동일 재료의 상기 막으로부터 복수의 상기 파장 분포 특성을 취득하고, 취득한 각각의 상기 파장 분포 특성으로부터 산출하는 파라미터와, 상기 막의 막 두께 및 광학 정수를 적어도 포함하는 복수의 막 모델을 생성하는 모델화부와,

상기 모델화부에서 생성한 복수의 상기 막 모델을 연립시키고, 복수의 상기 막 모델식에 포함되는 상기 광학 정수가 동일한 것으로 하여 소정의 연산을 행하여, 상기 막의 상기 막 두께 및 상기 광학 정수를 산출하는 해석부와,

상기 해석부에서 산출한 상기 막의 상기 막 두께 및 상기 광학 정수를 상기 막 모델식에 대입하여 얻어지는 파형과, 상기 분광 측정부에서 취득한 상기 파장 분포 특성의 파형과의 피팅을 행함으로써, 복수의 상기 막 모델식에 포함되는 상기 광학 정수가 동일하고, 상기 해석부에서 산출한 상기 막의 상기 막 두께 및 상기 광학 정수가 상기 분광 측정부에서 취득한 파장 분포 특성으로부터 구한 값인 것을 판정하는 피팅부를

를 구비하는 광학 특성 측정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 해석부는 상기 소정의 연산에 비선형 최소 제곱법을 이용하는 광학 특성 측정 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 파장 분포 특성으로부터 산출하는 상기 파라미터는 상기 막의 반사율 또는 투과율인 광학 특성 측정 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 분광 측정부는 상기 피측정물에서 반사된 광에 기초하여 편광 반사 강도의 상기 파장 분포 특성을 취득하고,

상기 파장 분포 특성으로부터 산출하는 상기 파라미터는 위상차(Δ) 및 진폭비(Ψ)인 광학 특성 측정 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 모델화부는 상기 막의 이면 반사 계수 기여율을 더 포함하는 상기 막 모델을 생성하는 광학 특성 측정 장치.

청구항 6

기관 상에 적어도 1층의 막을 형성한 피측정물에 대하여 소정의 파장 범위를 갖는 측정광을 조사하고,

상기 피측정물에서 반사된 광 또는 상기 피측정물을 투과한 광에 기초하여, 반사 강도 또는 투과 강도의 파장

분포 특성을 동일 재료의 상기 막으로부터 복수 취득하고,

취득한 각각의 상기 파장 분포 특성으로부터 산출하는 파라미터와, 상기 막의 막 두께 및 광학 정수를 포함하는 복수의 막 모델식을 생성하고,

생성한 복수의 상기 막 모델식을 연립시키고, 복수의 상기 막 모델식에 포함되는 상기 광학 정수가 동일한 것으로 하여 소정의 연산을 행하여, 상기 막의 상기 막 두께 및 상기 광학 정수를 산출하고,

산출한 상기 막의 상기 막 두께 및 상기 광학 정수를 상기 막 모델식에 대입하여 얻어지는 파형과, 취득한 상기 파장 분포 특성의 파형과의 피팅을 행함으로써, 복수의 상기 막 모델식에 포함되는 상기 광학 정수가 동일하고, 산출된 상기 막의 상기 막 두께 및 상기 광학 정수가 상기 취득한 상기 파장 분포 특성으로부터 구한 값인 것을 판정하는 광학 특성 측정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광학 특성 측정 장치 및 광학 특성 측정 방법에 관한 것으로, 기관 상에 형성한 막의 막 두께 및 광학 정수(굴절률(n), 감쇠 계수(k))를 구할 수 있는 광학 특성 측정 장치 및 광학 특성 측정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 반도체 장치나 플랫 패널 디스플레이를 제조할 때, 기관 상에 복수의 막을 형성할 필요가 있다. 형성한 막의 막 두께 및 광학 정수를 측정하기 위해서는, 예를 들어 일본 특허 출원 공개 제2000-65536호 공보(특허 문헌1)에 개시된 반사 분광 막 두께 측정기(reflection spectrometric film thickness meter)를 사용한다. 반사 분광 막 두께 측정기는 백색 광원으로부터 출사된 광을 하프 미러(half mirror)에 의해 반사하여 렌즈에 의해 기관에서 조사시킨다. 또한, 반사 분광 막 두께 측정기는 기관으로부터의 반사광을 렌즈를 통하여 하프 미러를 통과시켜서 분광기에 유도하고, 분광기에서 분광된 후, CCD 등의 촬상 소자를 사용한 검출기에서 스펙트럼을 검출한다. 반사 분광 막 두께 측정기는 검출한 스펙트럼을 처리함으로써 막의 막 두께 및 광학 정수를 측정할 수 있다.

[0003] 또한, 예를 들어 일본 특허 출원 공개 제2004-138519호 공보(특허 문헌2)에 개시된 분광 엘립소미터(spectroscopic ellipsometer)를 이용하여 형성한 막의 막 두께 및 광학 정수를 측정할 수도 있다. 분광 엘립소미터는 광원 유닛으로부터 편광광을 기관을 향하여 출사하고, 기관으로부터의 반사광을 수광 유닛으로 수광하여 반사광의 편광 상태의 스펙트럼을 취득하여, 형성한 막의 막 두께 및 광학 정수를 측정한다.

[0004] 그러나, 특허 문헌 1에 개시된 분광 막 두께 측정기나, 특허 문헌 2에 개시된 분광 엘립소미터에서 취득한 스펙트럼만으로부터 막의 복수의 측정점에 대한 유일한 광학 정수(굴절률(n), 감쇠 계수(k))를 구하기 위해서는 필요한 정보가 부족하고, 취득한 스펙트럼으로부터 광학 정수를 유일한 값으로서 구할 수 없었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본 특허 출원 공개 제2000-65536호 공보
(특허문헌 0002) 일본 특허 출원 공개 제2004-138519호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 취득한 스펙트럼으로부터 기관 상에 형성한 막의 복수의 측정점에 대한 광학 정수를 유일한 값으로서 구할 수 있는 광학 특성 측정 장치 및 광학 특성 측정 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명이 있는 국면에 따른 광학 특성 측정 장치는 광원과 분광 측정부와 모델화부와 해석부와 피팅부를 구비한다. 광원은 기관 상에 적어도 1층의 막을 형성한 피측정물에 대하여 소정의 파장 범위를 갖는 측정광을 조사한다. 분광 측정부는 피측정물에서 반사된 광 또는 피측정물을 투과한 광에 기초하여 반사 강도 또는 투과 강도의 파장 분포 특성을 취득한다. 모델화부는 동일 재료의 막으로부터 복수의 파장 분포 특성을 취득하고, 취득한 각각의 파장 분포 특성으로부터 산출하는 파라미터와, 막의 막 두께 및 광학 정수를 적어도 포함하는 복수의 막 모델식을 생성한다. 해석부는 모델화부에서 생성한 복수의 막 모델식을 연립시키고, 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수가 동일한 것으로 하여 소정의 연산을 행하여 막의 막 두께 및 광학 정수를 산출한다. 피팅부는 해석부에서 산출한 막의 막 두께 및 광학 정수를 막 모델식에 대입하여 얻어지는 파형과, 분광 측정부에서 취득한 파장 분포 특성의 파형과의 피팅을 행함으로써, 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수가 동일하고, 해석부에서 산출한 막의 막 두께 및 광학 정수가 분광 측정부에서 취득한 파장 분포 특성으로부터 구한 값인 것을 판정한다.

[0008] 본 발명의 다른 국면에 따른 광학 특성 측정 방법은 기관 상에 적어도 1층의 막을 형성한 피측정물에 대하여 소정의 파장 범위를 갖는 측정광을 조사하고, 피측정물에서 반사된 광 또는 피측정물을 투과한 광에 기초하여 반사 강도 또는 투과 강도의 파장 분포 특성을 동일 재료의 막으로부터 복수 취득한다. 또한, 광학 특성 측정 방법은 취득한 각각의 파장 분포 특성으로부터 산출하는 파라미터와, 막의 막 두께 및 광학 정수를 포함하는 복수의 막 모델식을 생성하고, 생성된 복수의 막 모델식을 연립시키고, 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수가 동일한 것으로 하여 소정의 연산을 행하여 막의 막 두께 및 광학 정수를 산출한다. 그리고, 광학 특성 측정 방법은 산출한 막의 막 두께 및 광학 정수를 막 모델식에 대입하여 얻어지는 파형과 취득한 파장 분포 특성의 파형과의 피팅을 행함으로써, 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수가 동일하고, 산출한 막의 막 두께 및 광학 정수가 취득한 파장 분포 특성으로부터 구한 값인 것을 판정한다.

발명의 효과

[0009] 본 발명에 따르면, 취득한 스펙트럼으로부터 기관 상에 형성한 막의 복수의 측정점에 대한 광학 정수를 유일한 값으로서 구할 수 있다.

[0010] 본 발명의 상기 및 다른 목적, 특징, 국면 및 이점은 첨부한 도면과 관련하여 이해되는 본 발명에 관한 다음의 상세한 설명으로부터 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0011] 도 1은 본 발명의 실시 형태 1에 따른 광학 특성 측정 장치의 개략 구성도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시 형태 1에 따른 데이터 처리부의 개략의 하드웨어 구성을 도시하는 모식도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시 형태 1에 따른 데이터 처리부의 연산 처리 구조를 도시하는 블록도이다.
- 도 4는 본 발명의 실시 형태 1에 따른 광학 특성 측정 장치가 측정 대상으로 하는 시료의 단면 모식도의 일례이다.
- 도 5a, 도 5b는 시료와 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n_i , k_i)의 관계를 모식적으로 도시한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 실시 형태 1에 따른 광학 특성 측정 방법에 관한 처리 절차를 나타내는 흐름도이다.
- 도 7a 내지 도 7c는 종래의 광학 특성 측정 장치에서 시료를 측정하여 얻어진 결과를 나타내는 그래프이다.
- 도 8a, 도 8b는 본 발명의 실시 형태 1에 따른 광학 특성 측정 장치에서 시료를 측정해서 얻어진 결과를 나타내는 그래프이다.
- 도 9a 내지 도 9d는 측정점마다 광학 정수(n , k)가 상이한 시료를 측정하여 얻어진 결과를 나타내는 그래프이다.
- 도 10a, 도 10b는 본 발명의 실시 형태 1에 따른 광학 특성 측정 장치에서 금속 박막을 형성한 시료를 측정하여 얻어진 결과를 도시하는 그래프다.
- 도 11은 광학 특성 측정 장치에서 측정하는 시료의 층 구성을 도시한 개략도이다.
- 도 12는 본 발명의 실시 형태 2에 따른 광학 특성 측정 장치의 개략 구성도이다.

도 13은 본 발명의 실시 형태 2에 따른 광학 특성 측정 방법에 관한 처리 절차를 나타내는 흐름도이다.

도 14는 본 발명에 따른 광학 특성 측정 장치에서 평가하는 잔차(ΔY)와 각 시료의 잔차의 관계를 나타낸 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 본 발명의 실시 형태에 대해서 도면을 참조하면서 상세하게 설명한다. 또한, 도면 중의 동일 또는 상당 부분에 대해서는 동일한 부호를 붙여서 그 설명을 반복하지 않는다.
- [0013] (실시 형태 1)
- [0014] <장치 구성>
- [0015] 도 1은 본 발명의 실시 형태 1에 따른 광학 특성 측정 장치(100)의 개략 구성도이다.
- [0016] 본 실시 형태 1에 따른 광학 특성 측정 장치(100)는 현미 분광 막 두께 측정기이며, 대표적으로 단층 또는 적층 구조의 피측정물(시료)에 있어서의 각 층의 막 두께를 측정하는 것이 가능하다. 또한, 본 실시 형태 1에 따른 광학 특성 측정 장치(100)는 현미 분광 막 두께 측정기(microspectrometric film thickness meter)에 한정되는 것이 아니고, 매크로 분광 막 두께 측정기(macrospectrometric film thickness meter)이어도 된다. 또한, 매크로 분광 막 두께는 반사율을 측정하는 구성에 한정되는 것이 아니고, 광원으로부터의 광을 각도를 매겨서 시료에 입사하여 반사율을 측정하는 구성이나 투과율을 측정하는 구성이어도 된다.
- [0017] 구체적으로는, 광학 특성 측정 장치(100)는 시료에 광을 조사하고, 상기 시료에서 반사된 반사광의 파장 분포 특성(이하 「스펙트럼」이라고도 한다)에 기초하여 시료를 구성하는 막의 막 두께 및 광학 정수(굴절률(n), 감쇠 계수(k))를 측정 가능하다. 또한, 반사광의 스펙트럼 대신에 시료를 투과한 광의 스펙트럼(투과광의 스펙트럼)을 사용해도 된다.
- [0018] 본 명세서에서는 시료로서 기판 상에 적어도 1층의 막을 형성한 것을 대상으로 하는 경우에 대해서 예시한다. 시료의 구체적인 일례로서는 Si 기판, 글래스 기판, 사파이어 기판 등의 기판에 수지 박막이 형성되어 있는 것 같은 적층 구조의 기판 등이다.
- [0019] 도 1을 참조하여 광학 특성 측정 장치(100)는 측정용 광원(10), 빔 스플리터(20), 대물 렌즈(30), 검출기(40), 데이터 처리부(50), 관찰용 카메라(60), 스테이지(70)를 구비한다. 시료는 스테이지(70) 상에 세트되어 있다.
- [0020] 측정용 광원(10)은 시료의 반사율 스펙트럼을 취득하기 위해서 소정의 파장 범위를 갖는 측정광을 발생하는 광원이며, 자외 대역은 중수소 램프(190nm 내지 450nm)나 가시근 적외 대역은 할로겐 램프(400nm 내지 2000nm)나 자외 가시 대역은 크세논 램프(300nm 내지 800nm) 등이 사용된다. 측정용 광원(10)으로서는 대표적으로 자외로부터 근적외까지의 파장을 발생 가능한 중수소 램프와 할로겐 램프를 조합한 혼합 광원이 사용된다.
- [0021] 빔 스플리터(20)는 측정용 광원(10)에서 생성되는 측정광을 반사함으로써 그 전파 방향을 도면 하향으로 변환한다. 또한, 빔 스플리터(20)는 도면 상향으로 전파하는 시료로부터의 반사광을 투과시킨다. 시료에 소정의 레티클상이 투사되도록 포커스 맞춤용 레티클의 마스크(도시하지 않음)를 측정용 광원(10)으로부터 빔 스플리터(20)까지의 광로에 설치하고 있다. 레티클상은 그 표면에 아무런 모양(패턴)도 형성되어 있지 않은 시료(대표적으로, 투명한 글래스 기판 등)에 대해서도 사용자에게 의한 포커싱을 용이화하기 위한 것이다. 또한, 레티클상의 형상은 어느 것이어도 되지만, 일례로서 동심원 형상이나 십자 형상의 패턴 등을 사용할 수 있다.
- [0022] 대물 렌즈(30)는 도면 하향으로 전파하는 측정광을 집광하기 위한 집광 광학계이다. 즉, 대물 렌즈(30)는 시료 또는 그 근접한 위치에서 결상하도록 측정광을 수렴시킨다. 또한, 대물 렌즈(30)는 소정의 배율(예를 들어, 10배, 20배, 30배, 40배 등)을 갖는 확대 렌즈이며, 시료의 광학 특성을 측정하는 영역을 대물 렌즈(30)에 입사하는 광의 빔 단면에 비교하여 보다 미소화할 수 있다.
- [0023] 또한, 대물 렌즈(30)로부터 시료에 입사된 측정광 및 관찰광은 시료에서 반사되어 도면 상향으로 전파된다. 이 반사광은 대물 렌즈(30)에 투과한 후, 빔 스플리터(20)를 투과하여 검출기(40)까지 도달한다.
- [0024] 검출기(40)는 분광 측정기이며, 빔 스플리터(20)를 투과한 반사광으로부터 반사율 스펙트럼을 측정하고, 그 측정 결과를 데이터 처리부(50)에 출력한다. 보다 상세하게는, 검출기(40)는 도시하지 않고 있지만, 슬릿과 회절 격자(그레이팅)와 검출 소자와 커트 필터와 셔터를 포함한다.

- [0025] 슬릿과 커트 필터와 셔터와 회절 격자는 반사광의 광축 상에 배치된다. 슬릿은 빔 스플리터(20)를 투과하여 검출기(40)에 입사하는 반사광의 면적을 제한하기 위해서 사용된다. 이에 의해 회절 격자에 입사하는 반사광의 면적이 제한되어 각 파장 성분들의 분해 정밀도를 올릴 수 있다. 커트 필터는 빔 스플리터(20)를 투과하여 검출기(40)에 입사하는 반사광에 포함되는 측정 범위 외의 파장 성분을 제한하기 위한 광학 필터이며, 특히 측정 범위 외의 파장 성분을 차단한다. 셔터는 검출 소자를 리셋할 때 등에 검출 소자에 입사하는 광을 차단하기 위해서 사용된다. 셔터는 대표적으로 전자력에 의해 구동되는 기계식의 셔터로 이루어진다.
- [0026] 회절 격자는 입사하는 반사광을 분광한 상태에서 각 분광파를 검출 소자에 유도한다. 구체적으로는, 회절 격자는 반사형의 회절 격자이며, 소정의 파장 간격마다 회절파가 대응하는 각 방향으로 반사하도록 구성된다. 이와 같은 구성을 갖는 회절 격자에 반사파가 입사되면, 포함되는 각 파장 성분은 대응하는 방향으로 반사되어 검출 소자의 소정의 검출 영역에 입사된다. 또한, 이 파장 간격이 검출기(40)에 있어서의 파장 분해능에 상당한다. 회절 격자는 대표적으로 플랫 포커스형 구면 그레이팅으로 이루어진다.
- [0027] 검출 소자는 시료의 반사율 스펙트럼을 측정하기 위해서 회절 격자에서 분광된 반사광에 포함되는 각 파장 성분의 광 강도에 따른 전기 신호를 출력한다. 검출 소자는 자외 가시 영역에 감도를 갖는 포토다이오드 어레이 등으로 이루어진다.
- [0028] 데이터 처리부(50)는 검출기(40)에 의해 취득된 반사율 스펙트럼에 대하여 본 발명에 관한 특징적인 처리를 행함으로써, 시료를 구성하는 막의 막 두께 및 광학 정수를 측정한다. 또한, 데이터 처리부(50)의 처리의 상세에 대해서는 후술한다. 그리고, 데이터 처리부(50)는 측정한 시료를 구성하는 막의 막 두께를 비롯한 광학 특성을 출력한다.
- [0029] 한편, 빔 스플리터(20)를 투과한 반사광의 일부가 관찰용 카메라(60)에 입사된다. 관찰용 카메라(60)는 반사광에 의해 얻어지는 반사상을 취득하는 촬상부이며, 대표적으로는 CCD(Charged Coupled Device)이나 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor) 센서 등으로 이루어진다. 또한, 관찰용 카메라(60)는 대표적으로 가시 대역에 감도를 갖는 것이며, 소정의 측정 범위에 감도를 갖는 검출기(40)와는 상이한 감도 특성을 갖는 경우가 많다. 그리고, 관찰용 카메라(60)는 반사광에 의해 얻어지는 반사상에 따른 영상 신호를 표시부(도시하지 않음)에 출력한다. 표시부는 관찰용 카메라(60)로부터의 영상 신호에 기초하여 반사상을 화면 상에 표시한다. 사용자는 이 표시부에 표시되는 반사상을 보고 시료에 대한 포커싱이나 측정 위치의 확인 등을 행한다. 표시부는 대표적으로 액정 디스플레이(LCD) 등으로 이루어진다. 또한, 관찰용 카메라(60) 및 표시부 대신에 사용자가 반사상을 직접적으로 볼 수 있는 파인더를 설치해도 된다.
- [0030] 스테이지(70)는 시료를 배치하기 위한 시료대이며, 그 배치면은 평탄하게 형성된다. 이 스테이지(70)는 일례로서 기계적으로 연결된 가동 기구(도시하지 않음)에 의해 3방향(X방향·Y방향·Z방향)으로 자유로이(freely) 구동된다. 가동 기구는 대표적으로 3축분의 서보 모터와, 각 서보 모터를 구동하기 위한 서보 드라이버를 포함하여 구성된다. 그리고, 가동 기구는 사용자 또는 도시하지 않은 제어 장치 등으로부터의 스테이지 위치 지령에 응답하여 스테이지(70)를 구동한다. 이 스테이지(70)의 구동에 의해 시료와 후술하는 대물 렌즈(30)의 사이의 위치 관계가 변경된다.
- [0031] <데이터 처리부의 구성>
- [0032] 도 2는 본 발명의 실시 형태 1에 따른 데이터 처리부(50)의 개략의 하드웨어 구성을 도시하는 모식도이다.
- [0033] 도 2를 참조하여 데이터 처리부(50)는 대표적으로 컴퓨터에 의해 실현되고, 오퍼레이팅 시스템(OS:Operating System)을 포함하는 각종 프로그램을 실행하는 CPU(Central Processing Unit)(200)와, CPU(200)에서의 프로그램의 실행에 필요한 데이터를 일시적으로 기억하는 메모리부(212)와, CPU(200)에서 실행되는 프로그램을 불휘발적으로 기억하는 하드 디스크부(HDD:Hard Disk Drive)(210)를 포함한다. 또한, 하드 디스크부(210)에는 후술하는 바와 같은 처리를 실현하기 위한 프로그램이 미리 기억되어 있으며, 이러한 프로그램은 플렉시블 디스크 드라이브(FDD)(216) 또는 CD-ROM 드라이브(214)에 의해 각각 플렉시블 디스크(216a) 또는 CD-ROM(Compact Disk-Read Only Memory)(214a)등으로부터 판독된다.
- [0034] CPU(200)는 키보드나 마우스 등으로 이루어지는 입력부(208)를 통해 사용자 등으로부터의 지시를 수취하는 동시에, 프로그램의 실행에 의해 측정되는 측정 결과 등을 디스플레이부(204)에 출력한다. 각 부는 버스(202)를 통해 서로 접속된다.
- [0035] <연산 처리 구조>

- [0036] 본 실시 형태 1에 따른 데이터 처리부(50)가 시료를 구성하는 막의 막 두께 및 광학 정수를 측정하기 위해서 검출기(40)에 의해 취득된 반사율 스펙트럼에 대하여 행하는 연산 처리에 대해서 설명한다.
- [0037] 도 3은 본 발명의 실시 형태 1에 따른 데이터 처리부(50)의 연산 처리 구조를 도시하는 블록도이다. 도 3에 도시하는 블록도는 CPU(200)가 하드 디스크부(210) 등의 미리 저장된 프로그램을 메모리부(212) 등에 판독하여 실행함으로써 실현된다.
- [0038] 도 3을 참조하여 데이터 처리부(50)(도 1)는 모델화부(501)와 해석부(502), 피팅부(503)를 그 기능으로서 포함한다.
- [0039] 모델화부(501)는 검출기(40)(도 1)로부터 출력되는 실측된 반사율 스펙트럼($R(\lambda)$)으로부터 시료에 관한 파라미터를 산출하고, 산출된 파라미터에 기초하여 시료에 있어서의 막 모델식(함수)을 결정한다.
- [0040] <연산 처리의 원리>
- [0041] 막 모델식을 설명하기 전에 우선 시료에 측정광을 조사한 경우에 관측되는 반사광에 대해서 수학적 및 물리적으로 검토를 행한다.
- [0042] 도 4는 본 발명의 실시 형태 1에 따른 광학 특성 측정 장치(100)가 측정 대상으로 하는 시료의 단면 모식도의 일례이다.
- [0043] 도 4를 참조하여 시료(OBJ)는 기관층 상에 박막층을 형성한 2층 구조이다. 그리고, 광학 특성 측정 장치(100)로부터의 조사광은 도면 상측으로부터 시료(OBJ)에 입사하는 것으로 한다. 즉, 측정광은 최초에 박막층에 입사하는 것으로 한다.
- [0044] 이해를 쉽게 하기 위해서 시료(OBJ)에 입사된 측정광이 기관층과 박막층의 계면에서 반사하여 발생하는 반사광에 대해서 생각한다. 이하의 설명에서는 첨자(i)를 사용하여 각 층을 표현한다. 즉, 공기나 진공 등의 분위기층을 첨자「0」, 시료(OBJ)의 박막층을 첨자「1」, 기관층을 첨자「2」로 한다. 또한, 각 층에 있어서의 복소 굴절률(N), 막 두께(d), 입사각(ϕ)에 각각 첨자(i)를 사용하여 복소 굴절률(N_i), 막 두께(d_i), 입사각(ϕ_i)으로 나타낸다.
- [0045] 도 4에 도시하는 박막층에 입사각(ϕ_0)으로 광이 입사된 경우, 입사된 광은 굴절률이 다른 분위기층과 박막층의 계면, 박막층과 기관층의 계면의 각각에서 반사되고, 박막층 내에서 광이 여러 번 왕복하여 간섭을 일으킨다. 그러므로, 도 4에 도시하는 박막층의 반사율, 투과율, 위상차(Δ) 및 진폭비(Ψ)는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

수학적 1

$$\text{반사율} = (|R_p|^2 + |R_s|^2) / 2$$

$$\text{투과율} := \left(\frac{\text{Re}(n_2 \cos \phi_2)}{\text{Re}(n_0 \cos \phi_0)} \times |T_p|^2 + \frac{\text{Re}(n_2 / \cos \phi_2)}{\text{Re}(n_0 / \cos \phi_0)} \times |T_s|^2 \right) / 2 \quad \dots \text{식 (1)}$$

$$\tan \Psi e^{j\Delta} = \frac{R_p}{R_s}$$

[0046]

- [0047] 또한, R_p 는 편광의 P성분의 복소 반사 계수, R_s 는 편광의 S성분의 복소 반사 계수, T_p 는 편광의 P성분의 복소 투과 계수, T_s 는 편광의 S성분의 복소 투과 계수이다.

- [0048] 이들의 복소 반사 계수(R_p , R_s) 및 복소 투과 계수(T_p , T_s)는 이하의 계산으로 구할 수 있다. 우선, 복소 굴절률(N_i)은 굴절률(n_i)과 감쇠 계수(k_i)를 사용하여 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$N_i = n_i - jk_i \quad \dots \text{식 (2)}$$

굴절률이 다른 계면에서는 광의 반사 및 투과가 일어나고, 굴절률이 다른 i 층과 $i+1$ 층의 사이의 각 계면에 있어서 편광의 P성분, S성분의 진폭 반사율(Fresnel 계수)은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$r_{i,j+1p} = \frac{N_{i+1} \cos \phi_i - N_i \cos \phi_{i+1}}{N_{i+1} \cos \phi_i + N_i \cos \phi_{i+1}}, \quad r_{i,j+1s} = \frac{N_i \cos \phi_i - N_{i+1} \cos \phi_{i+1}}{N_i \cos \phi_i + N_{i+1} \cos \phi_{i+1}} \quad \dots \text{식 (3)}$$

마찬가지로, 편광의 P성분, S성분의 진폭 투과율(Fresnel 계수)은 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$t_{i,j+1p} = \frac{2N_i \cos \phi_i}{N_{i+1} \cos \phi_i + N_i \cos \phi_{i+1}}, \quad t_{i,j+1s} = \frac{2N_i \cos \phi_i}{N_i \cos \phi_i + N_{i+1} \cos \phi_{i+1}} \quad \dots \text{식 (4)}$$

입사각(ϕ_i)은 이하와 같은 Snell의 법칙($N_0 \sin \phi_0 = N_i \sin \phi_i$)에 의해 최상층의 분위기층(0층)에 있어서의 입사각으로부터 계산할 수 있다.

광이 간섭 가능한 막 두께를 갖는 층 내에서는 식(3)에서 나타내는 반사율로 반사되는 광이 층 내를 여러 번 왕복한다. 그러므로, 인접하는 층과의 계면에서 직접 반사한 광과 층 내를 다중 반사한 후의 광의 사이에서는 그 광로 길이가 상이하므로, 위상이 서로 다른 것이 되어 광의 간섭이 발생한다. 이러한 각 층 내에 있어서의 광의 간섭 효과를 나타내기 위해서 i 층의 층 내에 있어서의 광의 위상각(β_i)을 도입하면 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$\beta_i = 2\pi \left(\frac{d_i}{\lambda} \right) N_i \cos \phi_i \quad \dots \text{식 (5)}$$

여기서 d_i 는 i 층의 막 두께를 나타내고, λ 은 입사광의 파장을 나타낸다.

식(2) 내지 식(5)를 이용하여 분위기층, 박막층, 기관층의 3층으로 이루어지는 시료(OBJ)에 있어서의 편광의 P성분, S성분의 복소 반사 계수(R_p , R_s)는 식(6)으로 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$R_p = \frac{r_{01p} + \gamma \times r_{12p} e^{-j2\beta_1}}{1 + \gamma \times r_{01p} r_{12p} e^{-j2\beta_1}}, \quad R_s = \frac{r_{01s} + \gamma \times r_{12s} e^{-j2\beta_1}}{1 + \gamma \times r_{01s} r_{12s} e^{-j2\beta_1}} \quad \dots \text{식 (6)}$$

여기서 γ 은 이면 반사 계수 기여율을 나타내고, 기관층과 같은 두꺼운 층의 이면층으로부터 광이 반사해 오는 비율을 나타낸다. 또한, 이면 반사 계수 기여율을 생략할 경우, $\gamma=1$ 로 하면 된다.

[0061] 또한, 마찬가지로 P성분, S성분의 복소 투과 계수(T_p , T_s)는 식(7)로 나타낼 수 있다.

수학식 7

$$T_p = \frac{t_{01p}t_{12p}e^{-j\beta_1}}{1+r_{01p}r_{12p}e^{-j2\beta_1}}, \quad T_s = \frac{t_{01s}t_{12s}e^{-j\beta_1}}{1+r_{01s}r_{12s}e^{-j2\beta_1}} \quad \dots \text{식 (7)}$$

[0062]

[0063] 식(1)에 식(6) 및 식(7)을 대입함으로써 반사율, 투과율, 위상차(Δ) 및 진폭비(Ψ)를 각각 막 모델식으로서 나타낼 수 있다.

[0064] 이상과 같이, 막 모델식은 상술한 입사각(ϕ_i), 입사광의 파장(λ), 복소 굴절률(N_i), 막 두께(d_i), 어떤 반사 계수 기여율(γ)을 사용하여 반사율, 투과율, 위상차(Δ) 및 진폭비(Ψ) 등을 나타내는 관계식이다.

[0065] 또한, 광학 특성 측정 장치(100)로 산출하는 막의 광학 정수(굴절률(n_i), 감쇠 계수(k_i))에 대해서는 Cauchy 모델, Forouhi-Bloomer 모델, EMA 모델, Lorentz 모델, Tauc-Lorentz 모델, Drude 모델 등 막 모델식이 알려져 있다.

[0066] 구체적으로, Cauchy 모델을 이용하여 광학 정수를 나타낸 막 모델식은 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 8

$$n_i = \frac{C_3}{\lambda^4} + \frac{C_2}{\lambda^2} + C_1 \quad \dots \text{식 (8)}$$

$$k_i = 0$$

[0067]

[0068] 여기서 C_1 , C_2 , C_3 은 막 모델식의 변수이다.

[0069] 또한, Forouhi-Bloomer 모델을 이용하여 광학 정수를 나타낸 막 모델식은 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 9

$$k_i = C_1(E - C_4)^2 / (E^2 - C_2E + C_3)$$

$$E = hc / \lambda \quad \dots \text{식 (9)}$$

$$n_i = C_5 + g(E)$$

[0070]

[0071] 여기서 h 는 프랑크 정수, c 는 진공중에서의 광의 속도, $g(E)$ 는 k_i 의 적분값, C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 는 막 모델식의 변수이다. 또한, n_i 를 구하는 식은 식(10)에 나타내는 Kramers-Kronig의 관계식에 의해 적분함으로써 k_i 를 구하는 식으로부터 유도된다.

수학식 10

$$n(\omega) = 1 + \frac{2}{\pi} P \int_0^\infty \frac{\omega' k(\omega')}{\omega'^2 - \omega^2} d\omega'$$

$$k(\omega) = -\frac{2}{\pi} P \int_0^\infty \frac{n(\omega')}{\omega'^2 - \omega^2} d\omega' \quad \dots \text{식 (10)}$$

[0072]

[0073] 여기서 P 는 Cauchy 적분의 주치(主値), ω 은 주파수이다.

[0074] 도 3으로 돌아가서 모델화부(501)는 측정점마다 취득한 스펙트럼으로부터 측정점마다 막 모델식을 생성한다.

예를 들어, 1장의 기관으로부터 5점 측정하는 경우나, 5장의 기관의 각각에 대하여 1점 측정하는 경우, 모델화부(501)는 측정점마다 취득한 5개의 스펙트럼으로부터 측정점마다 5개의 막 모델식을 생성한다.

[0075] 다음에, 해석부(502)는 모델화부(501)에서 생성한 복수의 막 모델식을 연립시키고, 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수(n , k)가 동일한 것으로 하여 비선형 최소 제곱법의 연산을 행하고, 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n , k)를 산출한다. 또한, 비선형 최소 제곱법은 예시이며, 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n , k)를 산출할 수 있는 연산이면 다른 연산 방법이어도 된다.

[0076] 비선형 최소 제곱법이란, 측정된 스펙트럼 데이터(Y_m)와 막 모델식으로부터 산출된 스펙트럼 데이터(Y_c)의 잔차(ΔY)의 자승 합이 최소가 되는 파라미터(막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n_i , k_i))를 산출하는 방법이다. 실제의 연산에서는 식(11)에 나타낸 바와 같이, 행렬식을 풀음으로써 파라미터의 변화량을 구할 수 있다.

수학식 11

$$\begin{aligned} Y &= XP \\ X^T Y &= X^T X P \quad \dots \text{식 (11)} \\ (X^T X)^{-1} X^T Y &= P \end{aligned}$$

[0077]

[0078] 여기서 Y: 잔차 행렬, X: 편미분 행렬, P: 파라미터 변화량 행렬

[0079] 종래, 비선형 최소 제곱법에 사용하는 행렬식은 생성한 막 모델식마다 식(12)와 같이 작성하여 연산을 행하고 있었다.

수학식 12

$$\begin{bmatrix} \Delta Y_1 \\ \vdots \\ \Delta Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial C_1} & \frac{\partial f_1}{\partial C_2} & \frac{\partial f_1}{\partial C_3} & \frac{\partial f_1}{\partial d} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial C_1} & \frac{\partial f_n}{\partial C_2} & \frac{\partial f_n}{\partial C_3} & \frac{\partial f_n}{\partial d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta C_1 \\ \Delta C_2 \\ \Delta C_3 \\ \Delta d \end{bmatrix} \quad \dots \text{식 (12)}$$

$$\begin{aligned} \Delta Y_y &= Ym_y - Yc_y \\ Yc_y &= f_y(\phi, \lambda_y, N_0, N_1, d_1, \dots, N_i, d_i, \gamma) \quad (y=1 \sim n) \end{aligned}$$

[0080]

[0081] 여기서 식(12)는 Cauchy 모델을 이용하고 있으므로 광학 정수(n_i , k_i)가 C_1 , C_2 , C_3 의 변수로서 나타나 있다.

[0082] 그러나, 해석부(502)는 모델화부(501)에서 생성한 복수의 막 모델식을 연립시키므로, 비선형 최소 제곱법에 사용하는 행렬식을 복수의 막 모델식을 합성한 식(13)과 같이 작성하여 연산을 행한다.

수학식 13

$$\begin{bmatrix} \Delta Y_{11} \\ \vdots \\ \Delta Y_{1n} \\ \vdots \\ \Delta Y_{m1} \\ \vdots \\ \Delta Y_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_{11}}{\partial C_1} & \frac{\partial f_{11}}{\partial C_2} & \frac{\partial f_{11}}{\partial C_3} & \frac{\partial f_{11}}{\partial d_1} & \frac{\partial f_{11}}{\partial d_2} & \dots & \frac{\partial f_{11}}{\partial d_m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_{1n}}{\partial C_1} & \frac{\partial f_{1n}}{\partial C_2} & \frac{\partial f_{1n}}{\partial C_3} & \frac{\partial f_{1n}}{\partial d_1} & \frac{\partial f_{1n}}{\partial d_2} & \dots & \frac{\partial f_{1n}}{\partial d_m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_{m1}}{\partial C_1} & \frac{\partial f_{m1}}{\partial C_2} & \frac{\partial f_{m1}}{\partial C_3} & \frac{\partial f_{m1}}{\partial d_1} & \frac{\partial f_{m1}}{\partial d_2} & \dots & \frac{\partial f_{m1}}{\partial d_m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_{mn}}{\partial C_1} & \frac{\partial f_{mn}}{\partial C_2} & \frac{\partial f_{mn}}{\partial C_3} & \frac{\partial f_{mn}}{\partial d_1} & \frac{\partial f_{mn}}{\partial d_2} & \dots & \frac{\partial f_{mn}}{\partial d_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta C_1 \\ \Delta C_2 \\ \Delta C_3 \\ \Delta d_1 \\ \Delta d_2 \\ \vdots \\ \Delta d_m \end{bmatrix} \quad \dots \text{식 (13)}$$

$$\begin{aligned} \Delta Y_{xy} &= Ym_{xy} - Yc_{xy} \\ Yc_{xy} &= f_{xy}(\phi, \lambda_y, N_{x0}, N_{x1}, d_{x1}, \dots, N_{xi}, d_{xi}, \gamma) \quad (x=1 \sim m, y=1 \sim n) \end{aligned}$$

[0083]

[0084] 여기서 식(13)도 Cauchy 모델을 이용하고 있으므로 광학 정수(n_i, k_i)가 C_1, C_2, C_3 의 변수로서 나타나 있다. 또한, 식(13)은 막 모델식(f)에 편미분 파라미터가 존재하지 않으므로, 편미분 파라미터의 항(예를 들어, f_{11} 을 d_2 로 편미분하는 항)이 “0” 이 된다.

[0085] 또한, 해석부(502)는 광학 정수(n, k)가 동일한 것으로 하여 식(13)을 연산한다. 즉, 변수 C_1, C_2, C_3 가 식(14)에 나타내는 관계를 갖고 있다고 한다.

수학식 14

$$\begin{aligned} C_1 &= C_{11} = C_{12} = \dots = C_{1m} \\ C_2 &= C_{21} = C_{22} = \dots = C_{2m} \\ C_3 &= C_{31} = C_{32} = \dots = C_{3m} \end{aligned} \quad \dots \text{식(14)}$$

[0086]

[0087] 이에 의해, 해석부(502)는 식(13)의 행렬식을 푸는 것이 가능해지고, 파라미터의 변화량을 구하여 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n_i, k_i)를 산출한다.

[0088] 도 5a, 도 5b는 시료와 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n_i, k_i)의 관계를 모식적으로 도시한 도면이다. 도 5a에 서는 같은 재료의 막을 형성한 시료1, 시료2, 시료3의 각각에 대하여 막 모델식을 생성하고, 비선형 최소 제곱법을 사용하여 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n_i, k_i)를 산출하고 있었다. 그로 인해, 시료1, 시료2, 시료3의 각각에 값이 다른 막의 광학 정수(n_i, k_i)가 산출되고, 유일한 값으로서 막의 광학 정수(n_i, k_i)를 구할 수 없었다.

[0089] 본 발명에 관한 방법에서는, 도 5b에 도시한 바와 같이, 같은 재료의 막을 형성한 시료1, 시료2, 시료3은 막의 광학 정수(n, k)가 동일한 것으로 하여, 합쳐서 비선형 최소 제곱법을 사용하여 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n, k)를 산출하고 있다. 그러므로, 같은 재료의 막의 광학 정수(n, k)를 유일한 값으로서 구할 수 있다.

[0090] 도 3으로 돌아가서 피팅부(503)는 해석부(502)에서 산출한 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n, k)를 막 모델식에 대입하여 얻어지는 파형과, 검출기(40)(도 1)에서 취득한 스펙트럼의 파형과의 피팅을 행한다. 피팅부(503)는 양쪽 파형의 피팅을 행함으로써 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수(n, k)가 동일하고, 산출한 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n, k)가 검출기에서 취득한 스펙트럼으로부터 구한 값인 것을 판정할 수 있다.

[0091] 반대로, 피팅부(503)는 해석부(502)에서 산출한 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n, k)를 막 모델식에 대입하여 얻어지는 파형이 취득한 스펙트럼의 파형과 피트하지 않으면 막의 광학 정수(n, k)가 동일하지 않거나, 또는 막 모델식 자체가 상이하다고 판정할 수 있다.

[0092] 즉, 피팅부(503)는 막의 광학 정수(n, k)가 동일한지 아닌지, 막 모델식이 바른지 아닌지를 검증하고, 해석부(502)에서 산출한 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n, k)의 정밀도를 높일 수 있다.

[0093] <측정 방법>

[0094] 다음에, 흐름도를 참조하여 본 발명의 실시 형태 1에 따른 광학 특성 측정 방법에 대해서 설명한다.

[0095] 도 6은 본 발명의 실시 형태 1에 따른 광학 특성 측정 방법에 관한 처리 절차를 나타내는 흐름도이다.

[0096] 도 6을 참조하여, 우선, 광학 특성 측정 장치(100)는 피측정물인 시료를 측정하기 전에 막의 광학 정수가 알려져 있는 기준 측정물의 반사 강도의 측정을 행한다(스텝 S601). 이어서, 사용자가 피측정물(시료)을 스테이지(70)(도 1) 상에 배치한다(스텝 S602).

[0097] 이어서, 사용자는 표시부(도시하지 않음)에 표시되는 관찰용 카메라(60)(도 1)로 촬영된 반사상을 참조하면서 대물 렌즈(30) 및 스테이지(70)를 이동시켜서 측정점에 포커스를 맞춘다(스텝 S603).

[0098] 측정점에 포커스를 맞춘 후, 사용자가 측정 개시 지령을 내리면 측정용 광원(10)(도 1)으로부터 측정광의 발생

이 개시된다. 검출기(40)는 시료로부터의 반사광을 수광하고, 상기 반사광에 기초하는 반사 강도 스펙트럼을 데이터 처리부(50)에 출력(반사 강도 측정)한다(스텝 S604). 이어서, 데이터 처리부(50)의 CPU(200)는 검출기(40)에서 검출된 반사 강도 스펙트럼을 메모리부(212) 등에 일시적으로 저장하고, 그 후, 반사 강도 스펙트럼으로부터 시료의 반사율을 산출한다(스텝 S605).

[0099] CPU(200)는 산출한 시료의 반사율과 막의 막 두께 및 광학 정수를 적어도 포함하는 막 모델식을 생성한다(스텝 S606). 이어서, CPU(200)는 모든 측정점을 측정했는지의 여부를 판단한다(스텝 S607). CPU(200)가 모든 측정점을 측정하고 있지 않다고 판단한 경우(스텝 S607:NO), 사용자는 표시부(도시하지 않음)에 표시되는 관찰용 카메라(60)(도 1)로 촬영된 반사상을 참조하면서 대물 렌즈(30) 및 스테이지(70)를 이동시켜서 다음의 측정점에 포커스를 맞춘다(스텝 S603).

[0100] CPU(200)가 모든 측정점을 측정했다고 판단한 경우(스텝 S607:YES), 처리를 스텝S608로 진행한다. CPU(200)는 복수의 막 모델식을 연립시키고, 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수가 동일한 것으로 하여 비선형 최소 제곱법으로 연산을 행하고, 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n, k)를 산출한다(스텝 S608).

[0101] 또한, CPU(200)는 산출한 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n, k)를 막 모델식에 대입하여 얻어지는 파형과, 검출기(40)에서 취득한 스펙트럼의 파형의 피팅을 행하여 피팅이 가능한지의 여부를 판단한다(스텝 S609). CPU(200)는 피팅이 가능하다고 판단한 경우(스텝 S609:YES), 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수(n, k)가 동일하고, 산출한 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n, k)가 검출기에서 취득한 스펙트럼으로부터 구한 값이라고 판정한다(스텝 S610). CPU(200)는, 피팅이 가능하지 않다고 판단한 경우 (스텝 S609:NO), 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수(n, k)가 동일하지 않거나, 생성한 막 모델식이 상이하다고 판정한다(스텝 S611).

[0102] 다음에, 광학 특성 측정 장치(100)로 시료를 측정(시뮬레이션)하여 얻어진 결과에 대해서 설명한다. 우선, 도 7a 내지 도 7c는 종래의 광학 특성 측정 장치에서 시료를 측정하여 얻어진 결과를 나타내는 그래프이다. 도 7a에 시료1의 반사율 스펙트럼, 시료1의 막의 광학 정수(n, k)의 그래프, 도 7b에 시료2의 반사율 스펙트럼, 시료2의 막의 광학 정수(n, k)의 그래프, 도 7c에 시료3의 반사율 스펙트럼, 시료3의 막의 광학 정수(n, k)의 그래프가 각각 나타나 있다. 또한, 반사율 스펙트럼의 그래프의 횡축은 파장, 종축은 반사율을 각각 나타내고, 막의 광학 정수(n, k)의 그래프의 횡축은 파장, 좌측 종축은 굴절률, 우측 종축은 감쇠 계수를 각각 나타내고 있다. 또한, 시료1 내지 시료3은 Si 기판 상에 각각 막 두께가 다른 수지막이 형성되어 있다.

[0103] 도 7a 내지 도 7c에 도시한 바와 같이, 감쇠 계수(k)는 시료1 내지 시료3에 의해 변화되지 않고 같은 값이지만, 굴절률(n)은 시료1과 시료2, 3에서 다르므로, 수지막의 광학 정수(n, k)를 유일한 값으로서 산출할 수 없다. 또한, 시료1의 수지막의 막 두께는 49.1nm, 시료2의 수지막의 막 두께는 45.6nm, 시료3의 수지막의 막 두께는 65.4nm로 각각 산출된다.

[0104] 도 7a 내지 도 7c에 도시한 바와 같이, 종래의 광학 특성 측정 장치에서는 같은 수지막이므로, 원래 같은 광학 정수(n, k)로서 산출될 것인데도 불구하고, 다른 광학 정수(n, k)로서 산출되어버리는 문제가 있었다.

[0105] 도 8a, 도 8b는 본 발명의 실시 형태 1에 따른 광학 특성 측정 장치(100)로 시료를 측정하여 얻어진 결과를 나타내는 그래프이다. 도 8a에 시료4 내지 시료6의 반사율 스펙트럼, 도 8b에 시료4 내지 시료6의 막의 광학 정수(n, k)의 그래프가 각각 나타나 있다. 또한, 반사율 스펙트럼의 그래프의 횡축은 파장, 종축은 반사율을 각각 나타내고, 막의 광학 정수(n, k)의 그래프의 횡축은 파장, 좌측 종축은 굴절률, 우측 종축은 감쇠 계수를 각각 나타내고 있다. 또한, 시료4 내지 시료6은 Si 기판 상에 각각 막 두께가 다른 수지막이 형성되어 있다.

[0106] 도 8a, 도 8b에 도시한 바와 같이, 광학 정수(n, k)는 시료4 내지 시료6에 의해 변화되지 않고, 수지막의 광학 정수를 나타내는 유일한 값으로서 산출할 수 있다. 또한, 시료4의 수지막의 막 두께는 60.8nm, 시료5의 수지막의 막 두께는 40.8nm, 시료6의 수지막의 막 두께는 19.8nm로 각각 산출된다.

[0107] 다음에, 측정점마다 광학 정수(n, k)가 다른 시료를 광학 특성 측정 장치(100)로 측정(시뮬레이션)한 경우의 결과를 설명한다. 도 9a 내지 도 9d는 측정점마다 광학 정수(n, k)가 다른 시료를 측정하여 얻어진 결과를 나타내는 그래프이다. 도 9a에 시료7 내의 5개의 측정점의 굴절률(n), 도 9b에 시료7 내의 5개의 측정점의 감쇠 계수(k)가 각각 나타나 있다. 또한, 굴절률(n)의 그래프의 횡축은 파장, 종축은 굴절률을 각각 나타내고, 감쇠 계수(k)의 그래프의 횡축은 파장, 종축은 감쇠 계수를 각각 나타내고 있다. 또한, 시료7은 글래스 기판 상에 ITO 박막이 형성되어 있다. 도 9a 및 도 9b에 도시한 바와 같이, 동일한 시료7의 동일한 ITO 박막이지만, 측정점마다 광학 정수(n, k)가 상이하다.

- [0108] 광학 특성 측정 장치(100)로 시료7을 측정된 결과가 도 9c 및 도 9d이다. 도 9c는 시료7 내의 5개의 측정점의 반사율 스펙트럼이고, 도 9d는 시료7 내의 5개의 측정점의 ITO 박막의 광학 정수(n , k)이다. 또한, 반사율 스펙트럼의 그래프의 횡축은 파장, 종축은 반사율을 각각 나타내고, ITO 박막의 광학 정수(n , k)의 그래프의 횡축은 파장, 좌측 종축은 굴절률, 우측 종축은 감쇠 계수를 각각 나타내고 있다.
- [0109] 광학 특성 측정 장치(100)로 시료7을 측정된 경우라도, 도 9d에 도시한 바와 같이, ITO 박막의 광학 정수(n , k)를 유일한 값으로서 산출할 수 있다. 그러나, 산출한 광학 정수(n , k)를 막 모델식에 대입하여 얻어지는 파형과, 검출기(40)(도 1)로 취득한 반사율 스펙트럼의 파형의 피팅을 행하면, 도 9c에 도시한 바와 같이, 양쪽 파형이 피트되지 않는다. 그러므로, 시료7의 ITO 박막의 광학 정수(n , k)는 측정점마다 상이하다는 것을 알 수 있다.
- [0110] 다음에, 종래의 광학 특성 측정 장치에서는 측정이 곤란했던 금속 박막을 형성한 시료를 광학 특성 측정 장치(100)로 측정(시뮬레이션)한 경우의 결과를 설명한다.
- [0111] 도 10a, 도 10b는 본 발명의 실시 형태 1에 따른 광학 특성 측정 장치(100)에서 금속 박막을 형성한 시료를 측정하여 얻어진 결과를 나타내는 그래프이다. 도 10a에 시료8 내지 시료12의 반사율 스펙트럼, 도 10b에 시료 8 내지 시료 12의 금속 박막의 광학 정수(n , k)의 그래프가 각각 나타나 있다. 또한, 반사율 스펙트럼의 그래프의 횡축은 파장, 종축은 반사율을 각각 나타내고, 금속 박막의 광학 정수(n , k)의 그래프의 횡축은 파장, 좌측 종축은 굴절률, 우측 종축은 감쇠 계수를 각각 나타내고 있다. 또한, 시료 8 내지 시료 12는 석영 기판 상에 각각 막 두께가 다른 Cr 박막을 형성하고 있다.
- [0112] 도 10b에 도시한 바와 같이, 광학 정수(n , k)는 시료8 내지 시료12에 의해 변화되지 않고 동일한 값이므로, Cr 박막의 광학 정수(n , k)를 유일한 값으로서 산출할 수 있다. 또한, 시료8의 Cr 박막의 막 두께는 32.0nm, 시료 9의 Cr 박막의 막 두께는 20.7nm, 시료10의 Cr 박막의 막 두께는 15.5nm, 시료11의 Cr 박막의 막 두께는 10.3nm, 시료12의 Cr 박막의 막 두께는 5.2nm로 각각 산출된다.
- [0113] 이상과 같이, 본 발명의 실시 형태 1에 관한 광학 특성 측정 장치(100)에서는, 해석부(502)에서, 생성한 복수의 막 모델식을 연립시키고, 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수(n , k)가 동일한 것으로 하여 비선형 최소 제곱법으로 연산을 행하여 막의 막 두께(d) 및 광학 정수(n , k)를 산출한다. 또한, 광학 특성 측정 장치(100)는, 피팅부(503)에서, 산출한 막의 막 두께(d) 및 광학 정수(n , k)를 막 모델식에 대입하여 얻어지는 파형과, 검출기(40)에서 취득한 스펙트럼의 파형의 피팅을 행함으로써, 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수(n , k)가 동일하고, 산출한 막의 막 두께(d) 및 광학 정수(n , k)가 정확한 값을 판정한다. 그러므로, 광학 특성 측정 장치(100)는 취득한 스펙트럼으로부터 기판 상에 형성한 막의 광학 정수(n , k)를 유일한 값으로서 구할 수 있다. 또한, 본 발명의 실시 형태 1에 관한 광학 특성 측정 장치(100)에서는, 해석부(502)에서 산출한 막의 막 두께(d) 및 광학 정수(n , k)를 피팅부(503)에서 검증하므로, 보다 높은 정밀도의 막의 막 두께(d) 및 광학 정수(n , k)를 측정할 수 있다.
- [0114] 또한, 상술한 식(13)은 기판에 박막을 1층 형성한 시료에서 이면 반사 계수 기여율을 생략한 경우($\gamma=1$)의 행렬식이었다. 그러나, 본 발명에 관한 광학 특성 측정 장치(100)는 식(13)의 행렬식에 한정되는 것이 아니고, 기판에 다층의 박막을 형성한 시료에서 이면 반사 계수 기여율을 고려한 경우의 행렬식이어도 된다. 구체적으로, 이하의 식(15)에 나타내는 행렬식을 이용한다. 또한, 이하의 식(15)은 나중 항(예를 들어, f_{11} 을 d_m 으로 편미분하는 항의 다음 항, Δd_m 의 하단)에 다층의 박막이나 이면 반사 계수 기여율을 고려한 파라미터를 적절하게 추가한다.

수학식 15

$$\begin{bmatrix} \Delta Y_{11} \\ \vdots \\ \Delta Y_{1n} \\ \vdots \\ \Delta Y_{m1} \\ \vdots \\ \Delta Y_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_{11}}{\partial C_1} & \frac{\partial f_{11}}{\partial C_2} & \frac{\partial f_{11}}{\partial C_3} & \frac{\partial f_{11}}{\partial d_1} & \frac{\partial f_{11}}{\partial d_2} & \dots & \frac{\partial f_{11}}{\partial d_m} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_{1n}}{\partial C_1} & \frac{\partial f_{1n}}{\partial C_2} & \frac{\partial f_{1n}}{\partial C_3} & \frac{\partial f_{1n}}{\partial d_1} & \frac{\partial f_{1n}}{\partial d_2} & \dots & \frac{\partial f_{1n}}{\partial d_m} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_{m1}}{\partial C_1} & \frac{\partial f_{m1}}{\partial C_2} & \frac{\partial f_{m1}}{\partial C_3} & \frac{\partial f_{m1}}{\partial d_1} & \frac{\partial f_{m1}}{\partial d_2} & \dots & \frac{\partial f_{m1}}{\partial d_m} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_{mn}}{\partial C_1} & \frac{\partial f_{mn}}{\partial C_2} & \frac{\partial f_{mn}}{\partial C_3} & \frac{\partial f_{mn}}{\partial d_1} & \frac{\partial f_{mn}}{\partial d_2} & \dots & \frac{\partial f_{mn}}{\partial d_m} & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta C_1 \\ \Delta C_2 \\ \Delta C_3 \\ \Delta d_1 \\ \Delta d_2 \\ \vdots \\ \Delta d_m \\ \vdots \end{bmatrix} \quad \dots \text{식 (15)}$$

$$Y_{c_{xy}} = f_{xy}(\phi, \lambda_y, N_{x0}, N_{x1}, d_{x1}, \dots, N_{xi}, d_{xi}, r)(x=1 \sim m, y=1 \sim n)$$

[0115]

[0116]

또한, 광학 특성 측정 장치(100)에서 측정하는 시료는 모두 동일한 층 구성의 시료일 필요는 없으며, 시료마다 상이한 층 구성이어도 된다. 도 11은 광학 특성 측정 장치(100)에서 측정하는 시료의 층 구성을 도시한 개략도이다. 도 11에 도시하는 시료1은 기관 상에 제1층, 제2층을 적층한 층 구성이며, 시료2는 기관 상에 제1층을 적층한 층 구성이다.

[0117]

시료1의 제1층은 복소 굴절률(N_{12}), 막 두께(d_{12})이며, 시료1의 제2층은 복소 굴절률(N_{11}), 막 두께(d_{11})이다. 시료2의 제1층은 복소 굴절률(N_{21}), 막 두께(d_{21})이다. 광학 특성 측정 장치(100)는 시료1의 제1층과 시료2의 제1층의 복소 굴절률(N)을 동일($N_{12}=N_{21}$)한 것으로 하여 측정을 행한다.

[0118]

(실시 형태 2)

[0119]

<장치 구성>

[0120]

도 12는 본 발명의 실시 형태 2에 따른 광학 특성 측정 장치(110)의 개략 구성도이다.

[0121]

본 실시 형태 2에 따른 광학 특성 측정 장치(110)는 엘립소 분광계이며, 적어도 소정의 자외 파장 범위를 포함하는 광(입사광)을 시료에 조사하고, 이 입사광이 시료에서 반사되어 발생하는 반사광에 관한 특정 파장에 있어서의 분광 엘립소 파라미터를 측정함으로써 각 층의 막 두께 등을 측정하는 것이 가능하다.

[0122]

구체적으로는, 광학 특성 측정 장치(110)는 시료에 광을 조사하고, 상기 시료에서 반사된 편광 반사광의 파장 분포 특성(이하 「스펙트럼」이라고도 한다)에 기초하여 시료를 구성하는 막의 막 두께 및 광학 정수(굴절률(n), 감쇠 계수(k))를 측정 가능하다.

[0123]

도 12를 참조하여 광학 특성 측정 장치(110)는 측정용 광원(10), 엘립소 투광부(80), 엘립소 수광부(90), 검출기(40), 데이터 처리부(50), 스테이지(70)를 구비한다. 시료는 스테이지(70) 상에 세트되어 있다.

[0124]

측정용 광원(10)은 소정의 자외 파장 범위(예를 들어, 185nm 내지 400nm)를 포함하는 파장 범위의 광을 발생한다. 대표적으로, 측정용 광원(10)은 크세논 램프(Xe 램프) 또는 중수소 램프(D2 램프) 등의 자외 영역에서 가시영역까지의 파장을 발생 가능한 백색 광원으로 구성된다. 측정용 광원(10)에서 발생한 광은 광파이버 등을 통하여 엘립소 투광부(80)에 유도된다.

[0125]

엘립소 투광부(80)는 편광 프리즘(81)을 포함한다. 편광 프리즘(81)은 편광자이며, 측정용 광원(10)에서 발생한 광을 편광광으로 변환시킨다. 변환시킨 편광광을 시료에 조사한다. 또한, 엘립소 투광부(80)는 $1/4 \lambda$ 파장판을 설치하여 시료에 조사하는 광을 원 편광으로 변환해도 된다.

[0126]

엘립소 수광부(90)는 편광 프리즘(91)을 포함한다. 편광 프리즘(91)은 검광자이며, 시료에서 반사되어 발생하는 반사광을 직선 편광으로 바꾼다. 이 직선 편광으로 바뀐 후의 반사광은 광파이버 등을 통해 검출기(40)에 유도된다. 편광 프리즘(91)은 회전 모터(도시하지 않음)와 연결되어 있고, 이 회전 모터의 회전 위치에 따른 편광 방향으로 직선 편광을 생성한다.

[0127]

검출기(40) 및 데이터 처리부(50)는 실시 형태 1에 관한 검출기(40) 및 데이터 처리부(50)와 거의 같은 구성이

므로, 상세한 설명을 반복하지 않는다. 또한, 데이터 처리부(50)는 실시 형태 1에서 설명한 연산 처리 구조와 동일한 구조를 갖고, 동일한 연산 처리를 행하므로, 상세한 설명을 반복하지 않는다.

- [0128] <측정 방법>
- [0129] 다음에, 흐름도를 참조하여 본 발명의 실시 형태 2에 따른 광학 특성 측정 방법에 대해서 설명한다.
- [0130] 도 13은 본 발명의 실시 형태 2에 따른 광학 특성 측정 방법에 관한 처리 절차를 나타내는 흐름도이다.
- [0131] 도 13을 참조하여 우선 사용자가 피측정물(시료)을 스테이지(70)(도 12) 상에 배치한다(스텝 S131).
- [0132] 이어서, 사용자는 엘립소 투광부(80)를 이동시켜서 엘립소 투광부(80)로부터의 광이 시료의 측정점에 조사되도록 포커스를 맞춘다(스텝 S132). 또한, 사용자는 엘립소 투광부(80)로부터 조사된 광이 시료의 측정점에서 반사되어 엘립소 수광부(90)에서 수광할 수 있도록 엘립소 투광부(80) 및 엘립소 수광부(90)의 입사 각도를 맞춘다(스텝 S133).
- [0133] 측정점에 포커스를 맞춰서 엘립소 투광부(80) 및 엘립소 수광부(90)의 입사 각도를 맞춘 후, 사용자가 측정 개시 지령을 내리면 측정용 광원(10)(도 12)으로부터 측정광의 발생이 개시된다. 검출기(40)는 시료로부터의 편광 반사광을 수광하고, 상기 편광 반사광에 기초하는 반사 강도 스펙트럼을 데이터 처리부(50)에 출력(편광 반사 강도 측정)한다(스텝 S134). 이어서, 데이터 처리부(50)의 CPU(200)는 검출기(40)에서 검출된 반사 강도 스펙트럼을 메모리부(212) 등에 일시적으로 저장하고, 그 후, 반사 강도 스펙트럼으로부터 시료의 위상차(Δ) 및 진폭비(Ψ)를 산출한다(스텝 S135).
- [0134] CPU(200)는 산출한 시료의 위상차(Δ) 및 진폭비(Ψ)와, 막의 막 두께 및 광학 정수를 적어도 포함하는 막 모델식을 생성한다(스텝 S136). 이어서, CPU(200)는 모든 측정점을 측정했는지의 여부를 판단한다(스텝 S137). CPU(200)가 모든 측정점을 측정하고 있지 않다고 판단한 경우(스텝 S137:NO), 사용자는 엘립소 투광부(80)를 이동시켜서 엘립소 투광부(80)로부터의 광이 시료의 다음 측정점에 조사되도록 포커스를 맞춘다(스텝 S132).
- [0135] CPU(200)가 모든 측정점을 측정했다고 판단한 경우(스텝 S137:YES), 처리를 스텝S138로 진행한다. CPU(200)는 복수의 막 모델식을 연립시키고, 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수가 동일한 것으로 하여 비선형 최소 제곱법으로 연산을 행하여 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n, k)를 산출한다(스텝 S138).
- [0136] 또한, CPU(200)는 산출한 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n, k)를 막 모델식에 대입하여 얻어지는 파형과, 검출기(40)에서 취득한 스펙트럼의 파형의 피팅을 행하여 피팅이 가능한지의 여부를 판단한다(스텝 S139). CPU(200)는 피팅이 가능하다고 판단한 경우(스텝 S139:YES), 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수(n, k)가 동일하고, 산출한 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n, k)가 검출기에서 취득한 스펙트럼으로부터 구한 값이라고 판정한다(스텝 S140). CPU(200)는 피팅이 가능하지 않다고 판단한 경우(스텝 S139:NO), 복수의 막 모델식에 포함되는 광학 정수(n, k)가 동일하지 않거나, 생성한 막 모델식이 상이하다고 판정한다(스텝 S141).
- [0137] 이상과 같이, 본 발명의 실시 형태 2에 관한 광학 특성 측정 장치(110)에서도, 산출한 시료의 위상차(Δ) 및 진폭비(Ψ)와, 막의 막 두께 및 광학 정수를 적어도 포함하는 막 모델식을 생성하고 실시 형태 1과 마찬가지로, 취득한 스펙트럼으로부터 기판 상에 형성한 막의 광학 정수(n, k)를 유일한 값으로서 구할 수 있다.
- [0138] 또한, 도 7a 내지 도 7c에 도시한 바와 같이, 종래의 광학 특성 측정 장치에서는 시료에 의해 광학 정수(n, k)가 변화된 경우, 각 시료의 광학 정수(n, k)가 정말로 상이한지, 측정 요인의 오차에 의한 것인지를 판단할 수 없었다.
- [0139] 그러나, 본 발명에 관한 광학 특성 측정 장치(100, 110)에서는 산출한 막의 막 두께(d_i) 및 광학 정수(n, k)를 막 모델식에 대입하여 얻어지는 파형과, 검출기(40)에서 취득한 스펙트럼의 파형의 피팅을 행함으로써, 각 시료의 광학 정수(n, k)가 정말로 상이한지 아닌지를 검증할 수 있다. 즉, 광학 특성 측정 장치(100, 110)에서는 피팅이 가능한 경우(잔차(ΔY)가 작은 경우), 각 시료의 광학 정수(n, k)가 동일한 것으로 유일한 광학 정수(n, k)가 얻어지고, 피팅이 불가능한 경우(잔차(ΔY)가 큰 경우), 각 시료의 광학 정수(n, k)가 정말로 상이하다고 판단할 수 있다.
- [0140] 여기서, 광학 특성 측정 장치(100, 110)에서 평가하는 잔차(ΔY)는 각 시료의 잔차의 합이다. 도 14는 본 발명에 따른 광학 특성 측정 장치(100, 110)에서 평가하는 잔차(ΔY)와 각 시료의 잔차의 관계를 나타낸

모식도이다. 도 14에서는 횡축을 변수, 종축을 자승 잔차 합으로 하여 시료A, 시료B 및 시료A+시료B의 각각의 잔차의 변화를 나타내고 있다. 광학 특성 측정 장치(100, 110)에서 평가하는 잔차(ΔY)는 시료A+시료B의 잔차이며, 화살표로 나타낸 시료A의 잔차A와 시료B의 잔차B의 합(잔차A+잔차B)이 된다. 각 시료의 잔차의 크기의 비율로부터 광학 정수(n, k)의 변화의 크기도 정량화할 수 있다.

[0141] 또한, 반도체 장치 등의 제조 라인에서는 인라인(in-line)이나 풀오토매틱(fully-automatic) 측정 등에 의해 막 두께의 값을 관리하기 위해서 광학 정수(n, k)를 어느 하나의 값으로서 정해둘 필요가 있다. 본 발명에 관한 광학 특성 측정 장치(100, 110)에서는 복수의 시료의 잔차의 합이 작은 경우의 광학 정수(n, k)를 산출하게 되므로, 가령 광학 정수(n, k)가 다른 시료나 측정점을 측정한 경우라도 상이한 광학 정수(n, k)의 중간값을 구할 수 있다. 그러므로, 광학 특성 측정 장치(100, 110)에서 측정한 광학 정수(n, k)를 인라인이나 풀오토매틱 측정 등에 의해 막 두께의 값을 관리하기 위한 잠정의 광학 정수로서 사용할 수 있다.

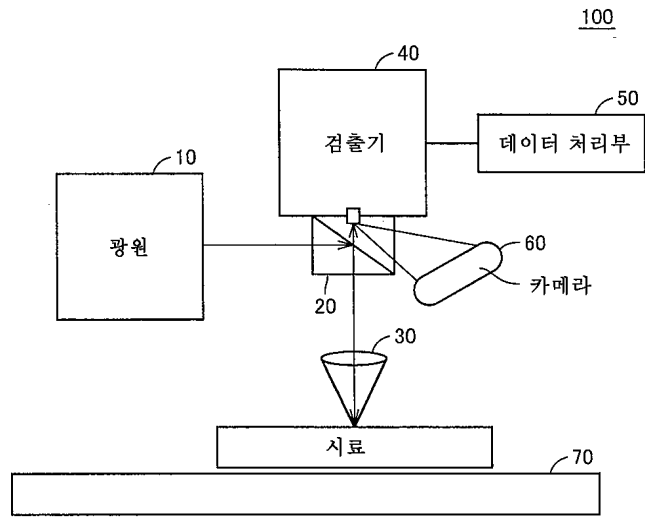
[0142] 본 발명을 상세하게 설명하여 나타냈지만, 이것은 예시를 위한 것일뿐이며, 한정으로 해석는 안되고, 발명의 범위는 첨부한 청구의 범위에 의해 해석되는 것이 명백하게 이해될 것이다.

부호의 설명

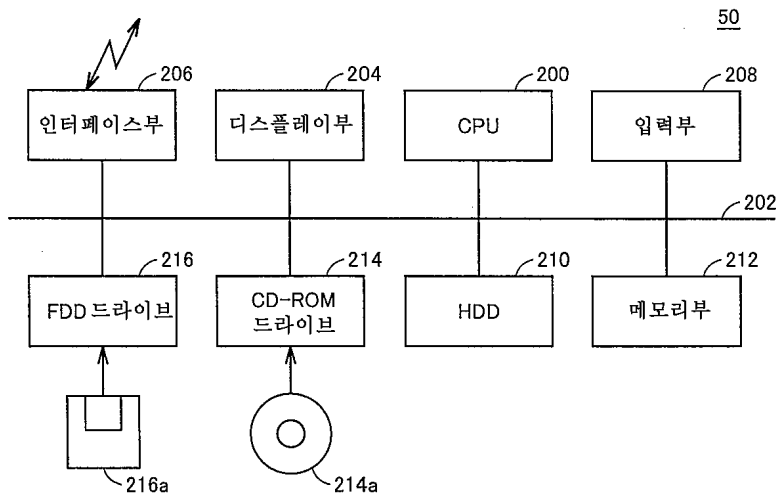
[0143] 10 : 측정용 광원
 20 : 빔 스플리터
 30 : 대물 렌즈
 40 : 검출기
 50 : 데이터 처리부
 60 : 관찰용 카메라
 70 : 스테이지
 80 : 엘립소 투광부
 81, 91 : 편광 프리즘
 90 : 엘립소 수광부
 100, 110 : 광학 특성 측정 장치
 202 : 버스
 204 : 디스플레이부
 208 : 입력부
 210 : 하드 디스크부
 212 : 메모리부
 214 : ROM 드라이브
 216a : 플렉시블 디스크
 501 : 모델화부
 502 : 해석부
 503 : 피팅부

도면

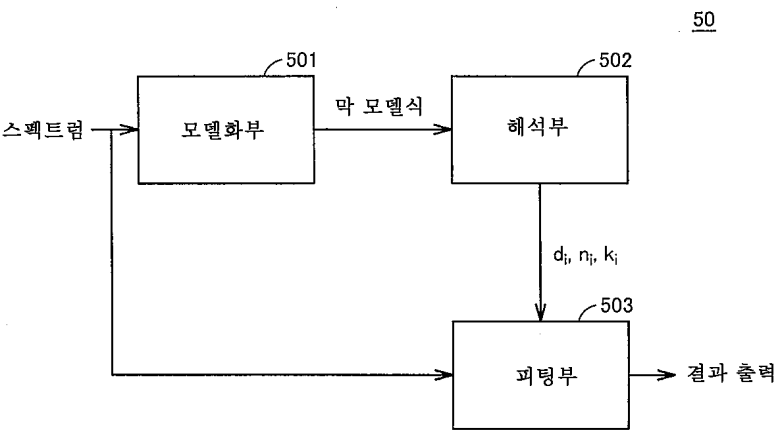
도면1



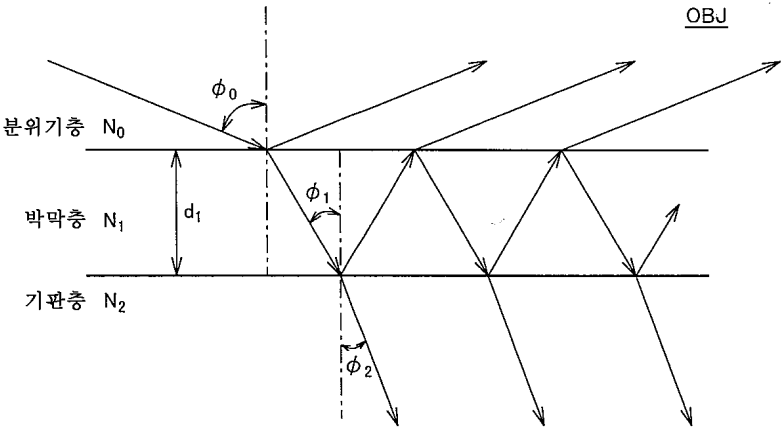
도면2



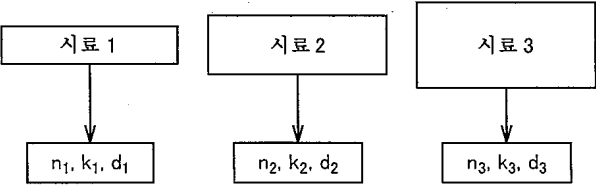
도면3



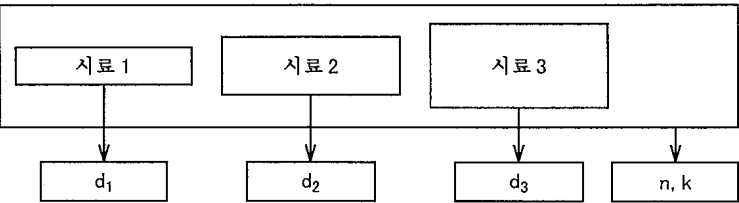
도면4



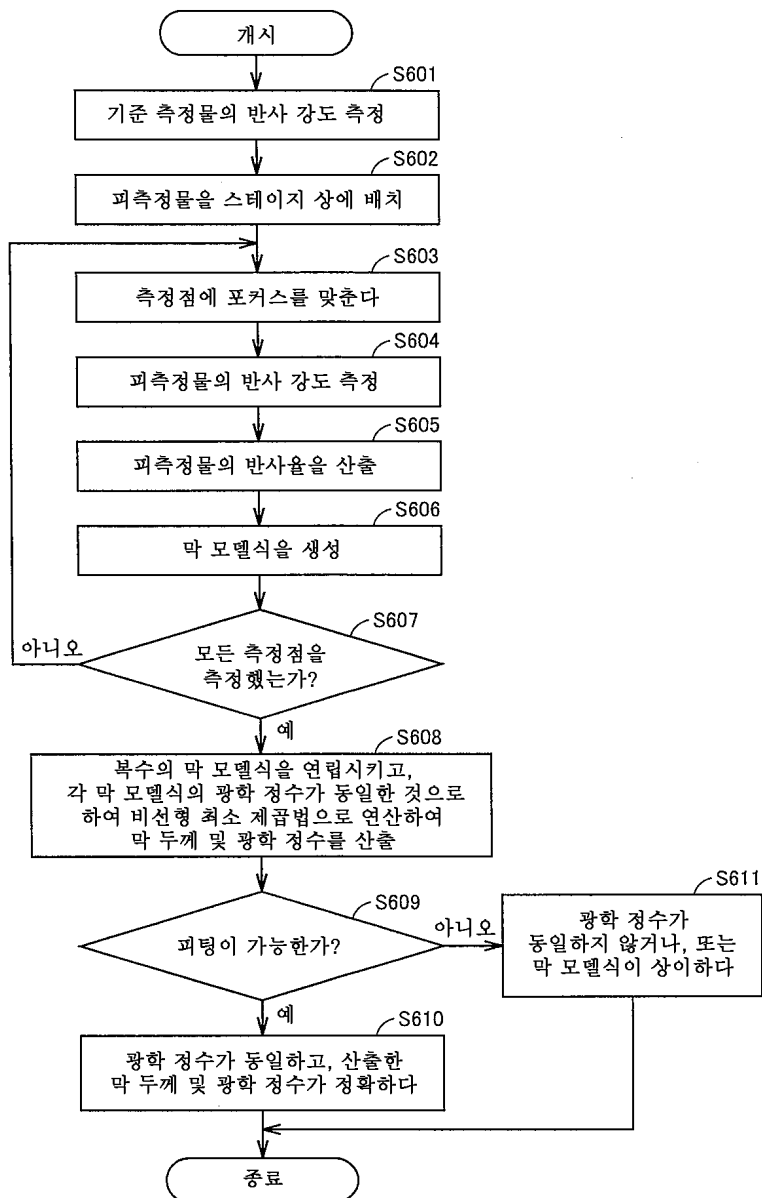
도면5a



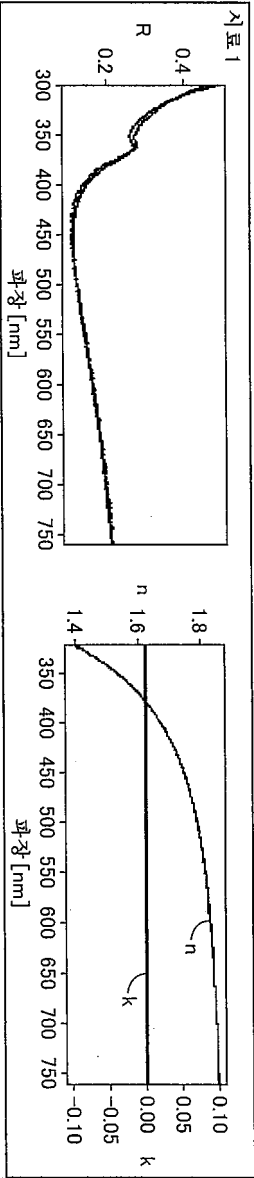
도면5b



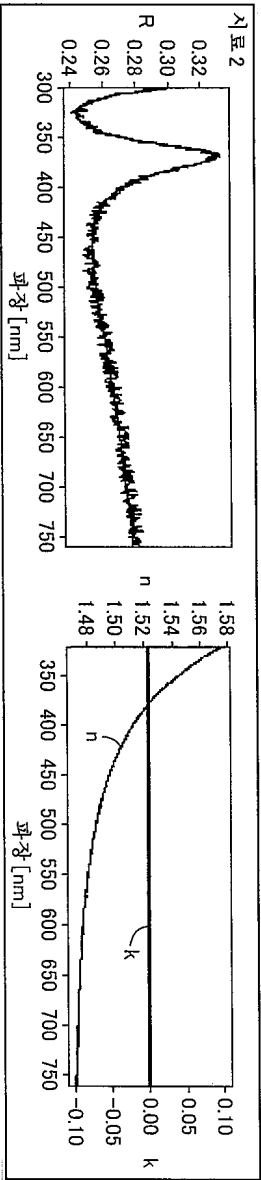
도면6



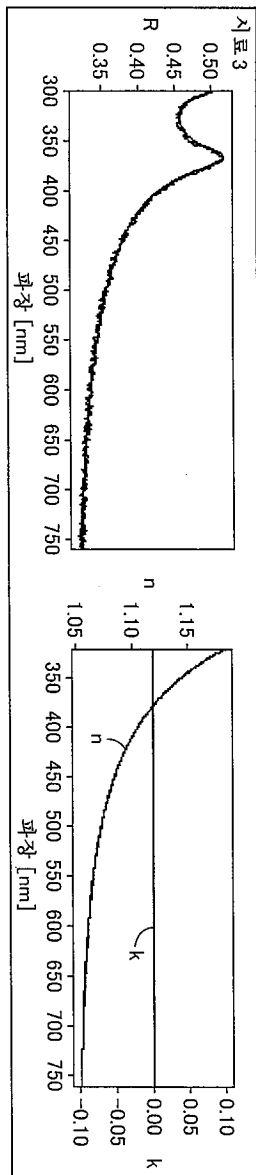
도면7a



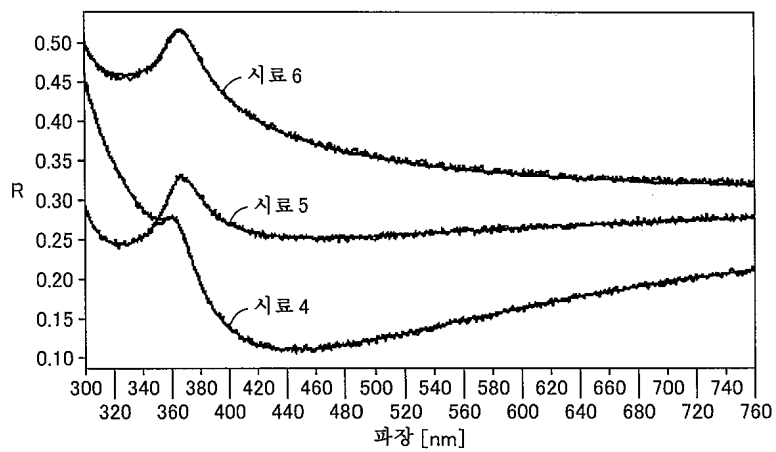
도면7b



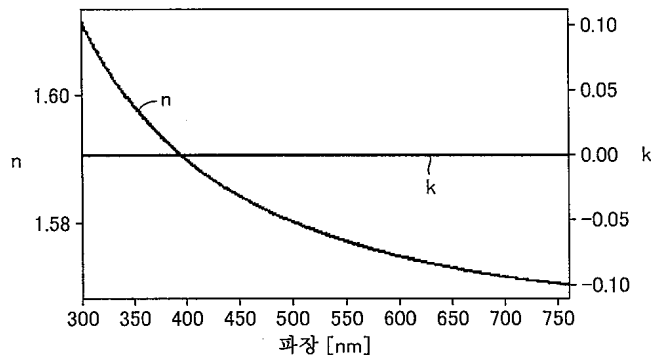
도면7c



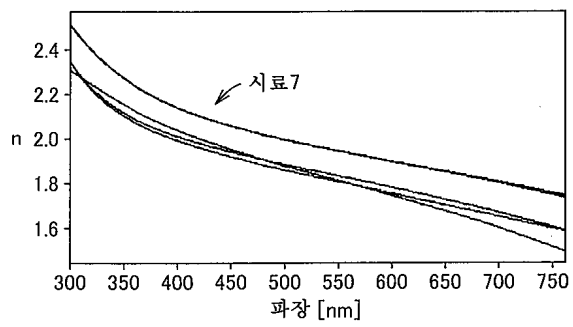
도면8a



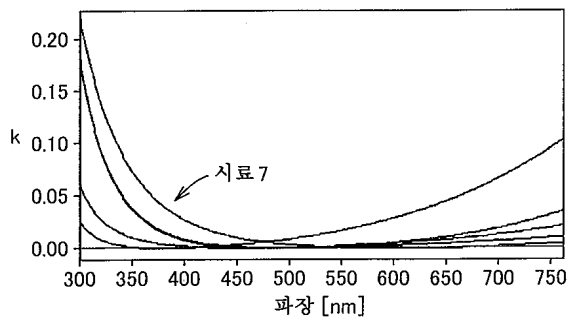
도면8b



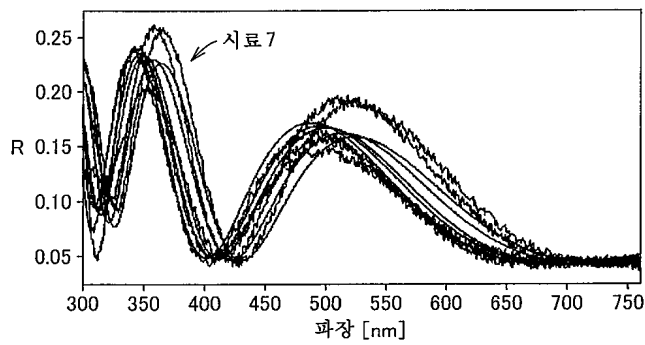
도면9a



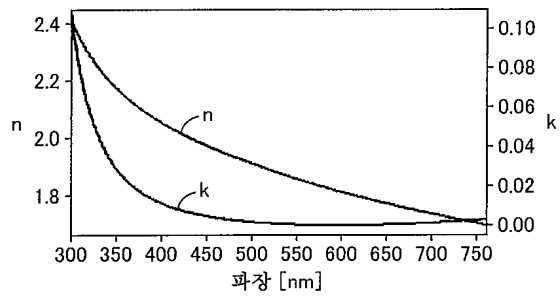
도면9b



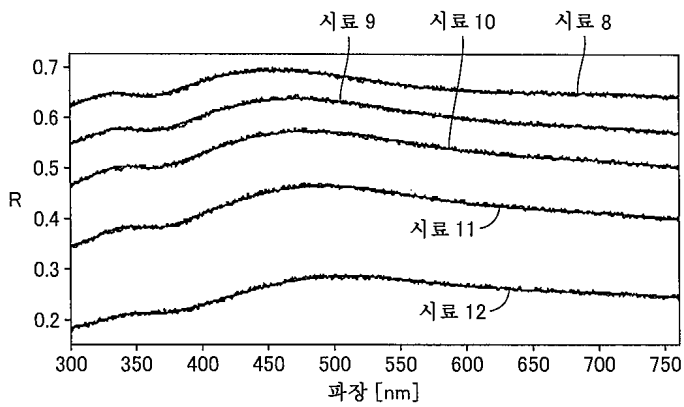
도면9c



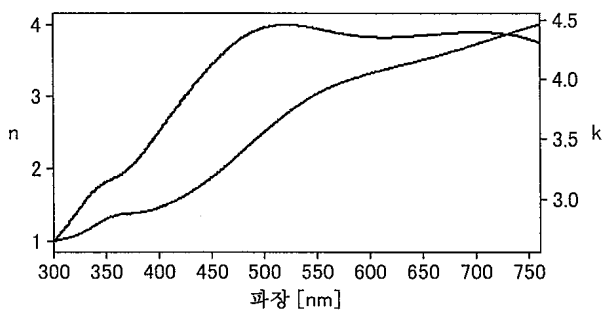
도면9d



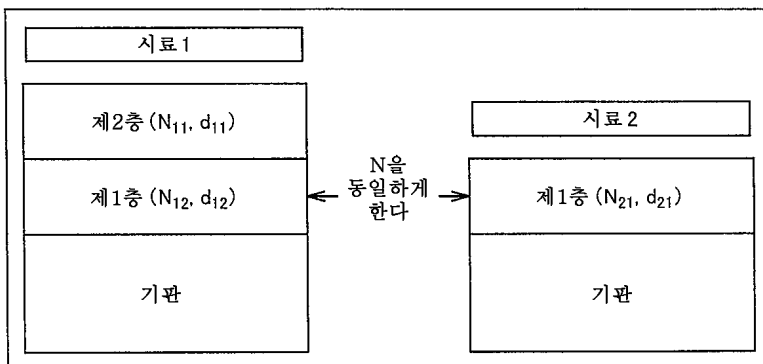
도면10a



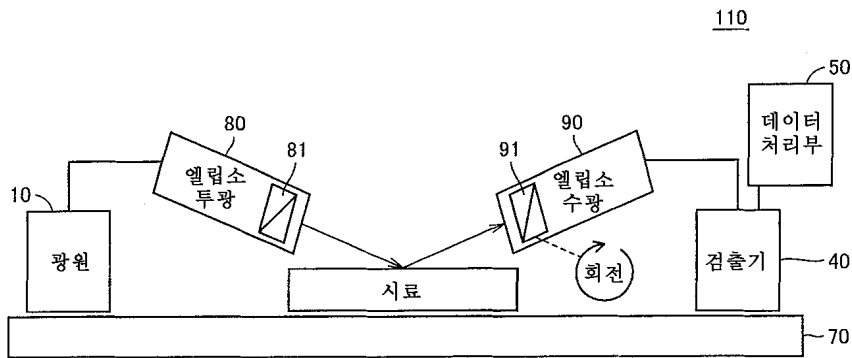
도면10b



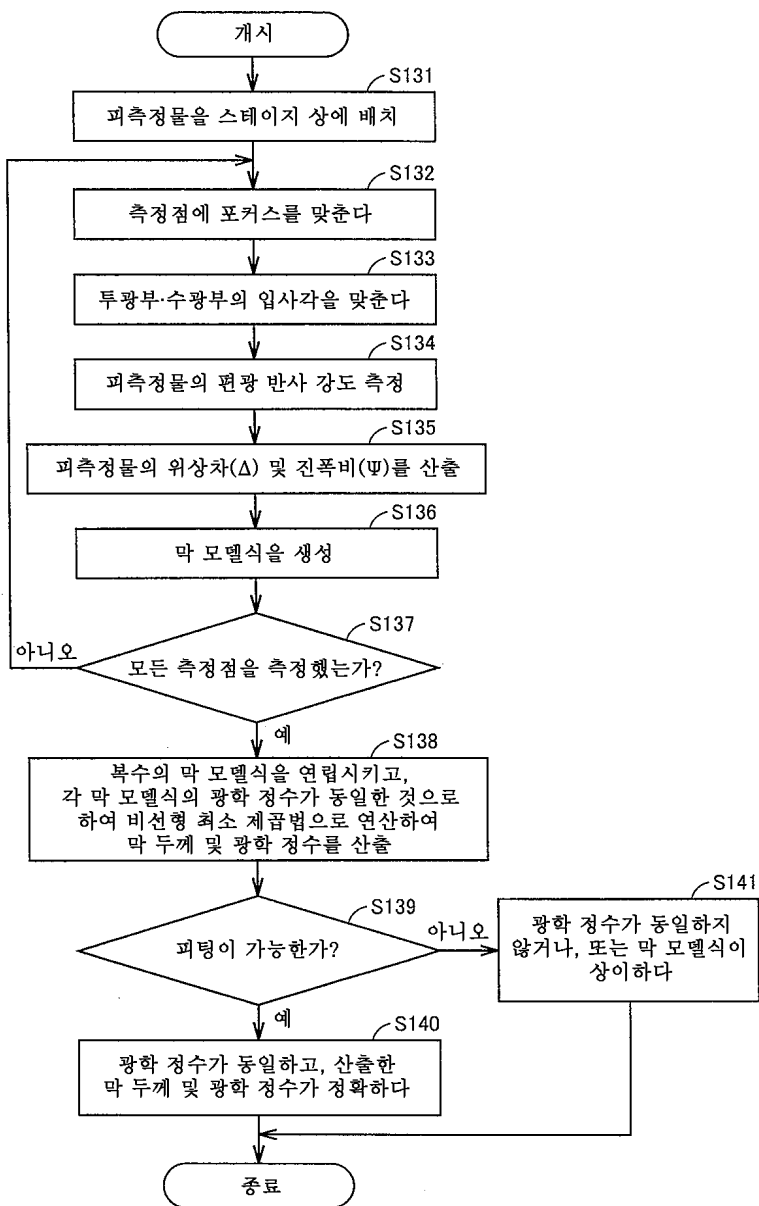
도면11



도면12



도면13



도면14

