



등록특허 10-2553788



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년07월12일

(11) 등록번호 10-2553788

(24) 등록일자 2023년07월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G02B 21/36 (2006.01) G01N 21/21 (2006.01)

G02B 21/06 (2006.01) G02B 27/28 (2020.01)

(52) CPC특허분류

G02B 21/365 (2013.01)

G01N 21/21 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0007753

(22) 출원일자 2021년01월20일

심사청구일자 2021년01월20일

(65) 공개번호 10-2022-0105264

(43) 공개일자 2022년07월27일

(56) 선행기술조사문헌

JP2009533160 A*

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

주철민

경기도 고양시 일산동구 노루목로 100, 215-701

송승리

서울특별시 중구 동호로10길 30 약수하이츠 112-301

허선웅

경기도 광주시 태성로 107 힐스테이트태전 1603-1803

(74) 대리인

특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 6 항

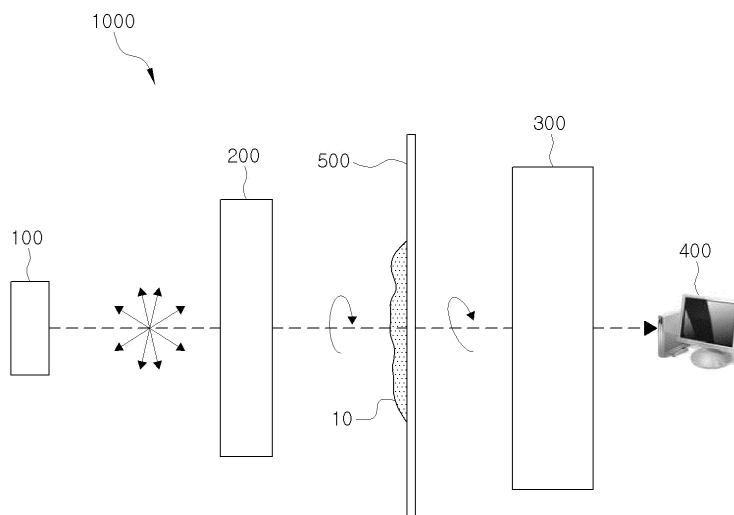
심사관 : 이시호

(54) 발명의 명칭 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템

(57) 요약

본 발명의 일 실시 예에 따른 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템은, 시료의 광학적 이방성에 대한 정량적 정보를 제공하는 현미경 시스템에 있어서, 광을 방출하는 광원부; 상기 광원부에서 방출된 광의 편광 형태를 변조하는 편광 변조부; 상기 편광 변조부에 의해 변조된 광이 시료에 조사되고 상기 시료에서 반사 또는 투과한 광을 편광 방향에 따라 구분하여 검출하는 편광 취득부; 및 상기 편광 취득부가 검출한 광을 통해 상기 시료의 광학적 이방성에 대한 정량적 정보를 가시화하는 영상을 생성하는 영상 생성부를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G02B 21/06 (2013.01)

G02B 21/361 (2013.01)

G02B 27/283 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020010090592 A*

KR1020080061196 A*

KR1020170055661 A

Opt. Lett. 2021. 1. 15. Vol. 46, No. 2, pp. 392-395.*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711107094

과제번호 2020R1A2C2012061

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(과기정통부)(R&D)

연구과제명 비간섭 산술현미경을 이용한 삼차원 복굴절 토모그래피 기술 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 연세대학교

연구기간 2020.03.01 ~ 2023.02.28

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

시료의 광학적 이방성에 대한 정량적 정보를 제공하는 현미경 시스템에 있어서,

광을 방출하는 광원부;

상기 광원부에서 방출된 광의 편광 형태를 변조하는 편광 변조부;

상기 편광 변조부에 의해 변조된 광이 시료에 조사되고 상기 시료에서 반사 또는 투과한 광을 편광 방향에 따라 구분하여 검출하는 편광 취득부; 및

상기 편광 취득부가 검출한 광을 통해 상기 시료의 광학적 이방성에 대한 정량적 정보를 가시화하는 영상을 생성하는 영상 생성부를 포함하며,

상기 시료의 광학적 이방성은, 상기 시료의 광축 방향 및 위상 지연값을 포함하고,

상기 시료의 광축 방향 및 위상 지연값은 하기의 식을 통해 산출되는, 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템.

$$\delta = \sin^{-1}(\sqrt{A^2 + B^2}), \quad \theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{A}{B}$$

(여기에서,

$$A = \frac{I_{90} - I_0}{I_{90} + I_0}, \quad B = \frac{I_{45} - I_{135}}{I_{45} + I_{135}},$$

I_x : X 편광 축의 방향으로 분리된 광세기 영상, θ : 광축방향, δ : 위상지연)

청구항 2

삭제

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 광원부는 LED 어레이 또는 레이저를 포함하는, 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 편광 취득부는,

복수의 집광 렌즈 및 상기 시료에서 반사 또는 투과한 광을 편광 방향에 따라 구분하고 구분된 광의 각각의 세기를 검출하는 편광 카메라를 포함하는, 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 편광 취득부는,

복수의 집광 렌즈,

상기 시료에서 반사 또는 투과한 광을 직교하는 편광 방향에 따라 일정한 각도로 이격시켜 분리하는 월라스톤 프리즘 및

상기 분리된 직교하는 편광 방향에 따른 광을 검출하는 이미지 센서를 포함하는 카메라를 포함하는, 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 편광 취득부는,

상기 복수의 집광 렌즈 사이에 위치하는 필드 스톱을 더 포함하는, 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 편광 취득부는,

복수의 집광 렌즈,

상기 시료에서 반사 또는 투과한 광을 직교하는 편광 방향에 따라 반사 또는 투과시키는 편광 빔 스플리터,

상기 편광 빔 스플리터에서 반사된 제1 광을 검출하는 제1 카메라, 및

상기 편광 빔 스플리터를 투과한 제2 광을 검출하는 제2 카메라를 포함하는, 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 일정한 편광 상태로 변조된 광을 시료에 조사하고 시료에서 반사 또는 투과한 광을 편광 축에 따라 분리 취득한 상을 연산함으로써 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 산술 현미경은 광학 수치 모델 기반 산술 연산 기법을 이용해 기존 현미경의 복잡한 광학계를 단순화하고, 시료의 광세기 정보뿐만 아니라 위상 정보 등 일반 현미경에서 제공할 수 없는 정보를 복원 및 제공하는 영상 기술이다. 대표적으로 미분 위상차(Differential phase-contrast) 영상 기술과 Fourier ptychography 기술이 있다. 미분 위상차 현미경은 2개 이상의 상보적인 광조사 패턴으로 취득한 여러 개의 광세기 영상을 이용하여 투명한 시료의 정량적인 위상 정보를 복원하는 영상 기술이고, Fourier ptychography 기술은 시료를 다양한 각도의 평면파로 조사하고, 취득된 영상을 Fourier 공간에서 중첩하여 대면적, 고해상도 영상을 복원하는 기술이다.

[0003] 복굴절은 광의 편광 상태에 따라 하나의 매질 안에서 굴절률이 상이해서 두 개의 굴절광으로 분리되는 현상으로 조사광이 광학적으로 이방성을 가지는 매질에 입사할 때 발생하게 된다. 반도체 소재, 복합소재, 생체 시료들이 광학적 이방성을 갖고 있다.

[0004] 복합소재 및 반도체 소재의 내부 결정 구조의 기계적 특성, 생분해성, 생체 적합성 등을 결정하기 위해 결정 구조를 관찰하는데 광학적 이방성 특성에 대한 영상이 이용된다. 특히, 반도체 공정에 필요한 실리콘 웨이퍼와 EUV 마스크는 광학적 이방성 측정을 통해 조기에 결함을 찾고, 불필요한 공정이 최소화될 수 있다.

[0005] 또한, 염색체, 근육 조직 및 미세 소관 등 생체 조직은 광학적 이방성을 가지고 있어서 광학적 이방성 특성 영상을 통해 그 내부 구조가 관찰 가능하다. 따라서, 생체 시료에 대한 광학적 이방성 특성 영상은 생물 및 의료 분야에서도 사용되고, 염색과 같은 전처리 과정이 필요 없다는 점에서 더욱 유용하다.

[0006] 광학적 이방성 측정 기술로는 편광 현미경과 간섭계 기반의 기술이 있다. 편광 현미경은 조사부와 측정부 사이에 편광판을 구비하여 편광판을 물리적으로 회전시키면서 영상을 취득하기 때문에 영상 수집의 안정성 및 반복성이 낮은 단점이 있다. 이를 해결하기 위해서는 고가의 Electric variable retarder 사용이 필요하지만, 전기적 장치이기 때문에 사용 조건에 따라 캘리브레이션이 요구된다. 간섭계 기반의 광학적 이방성 측정 기술은 간섭계를 사용하기 때문에 복잡한 광학계 구성이 필요하고, 외란에 취약하다는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 시료에 조사되는 광의 편광을 변조하고 시료에서 반사 또는 투과한 광을 편광 축에 따라 분리한 영상을 취득하고, 취득한 영상을 수치 모델 기반 알고리즘으로 연산함으로써 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 실시 예에 따른 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템은, 시료의 광학적 이방성에 대한 정량적 정보를 제공하는 현미경 시스템에 있어서, 광을 방출하는 광원부; 상기 광원부에서 방출된 광의 편광 형태를 변조하는 편광 변조부; 상기 편광 변조부에 의해 변조된 광이 시료에 조사되고 상기 시료에서 반사 또는 투과한 광을 편광 방향에 따라 구분하여 검출하는 편광 취득부; 및 상기 편광 취득부가 검출한 광을 통해 상기 시료의 광학적 이방성에 대한 정량적 정보를 가시화하는 영상을 생성하는 영상 생성부를 포함한다.

[0009] 또한, 상기 시료의 광학적 이방성은, 상기 시료의 광축 방향 및 위상 지연값을 포함한다. 이 때 상기 시료의 광축 방향 및 위상 지연값은 하기의 식을 통해 산출될 수 있다.

$$\delta = \sin^{-1}(\sqrt{A^2 + B^2}), \quad \theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{A}{B}$$

(여기에서,

$$A = \frac{I_{90} - I_0}{I_{90} + I_0}, \quad B = \frac{I_{45} - I_{135}}{I_{45} + I_{135}},$$

I_x : X 편광 축의 방향으로 분리된 광세기 영상, θ : 광축방향, δ : 위상지연)

[0010] 또한, 상기 광원부는 LED 어레이 또는 레이저를 포함한다.

[0011] 또한, 상기 편광 취득부는, 복수의 집광 렌즈 및 상기 시료에서 반사 또는 투과한 광을 편광 방향에 따라 구분하고 구분된 광의 각각의 세기를 검출하는 편광 카메라를 포함한다.

[0012] 또한, 상기 편광 취득부는, 복수의 집광 렌즈, 상기 시료에서 반사 또는 투과한 광을 직교하는 편광 방향에 따라 일정한 각도로 이격시켜 분리하는 윌라스톤 프리즘 및 상기 분리된 직교하는 편광 방향에 따른 광을 검출하는 이미지 센서를 포함하는 카메라를 포함한다.

[0013] 또한, 상기 편광 취득부는, 상기 복수의 집광 렌즈 사이에 위치하는 필드 스톱을 더 포함한다.

[0014] 또한, 상기 편광 취득부는, 복수의 집광 렌즈, 상기 시료에서 반사 또는 투과한 광을 직교하는 편광 방향에 따라 반사 또는 투과시키는 편광 빔 스플리터, 상기 편광 빔 스플리터에서 반사된 제1 광을 검출하는 제1 카메라, 및 상기 편광 빔 스플리터를 투과한 제2 광을 검출하는 제2 카메라를 포함한다.

발명의 효과

[0015] 본 발명에 따른 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템은, 간단한 구조를 갖는 광학계를 이용하여 시료를 반사 또는 투과한 광의 상을 얻고, 상기 상의 광 세기를 수치 모델 알고리즘으로 산술 처리함으로써 광

학적 이방성을 정량화한 영상을 얻을 수 있다.

[0016] 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템의 개략적인 구성도이다.

도 2a는 본 발명의 일 실시 예에 따른 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템의 편광 취득부의 일 예이다.

도 2b는 본 발명의 일 실시 예에 따른 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템의 편광 취득부의 다른 예이다.

도 2c는 본 발명의 일 실시 예에 따른 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템의 편광 취득부의 또 다른 예이다.

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따라 시료의 광학적 이방성의 정량적 정보를 가시화한 것을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 본 발명의 바람직한 실시 예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0019] 본 명세서 사용되는 용어들은 본 발명의 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 하여 내려져야 할 것이다.

[0020] 아울러, 아래에 개시된 실시 예는 본 발명의 권리범위를 한정하는 것이 아니라 본 발명의 청구범위에 제시된 구성요소의 예시적인 사항에 불과하며, 본 발명의 명세서 전반에 걸친 기술사상에 포함되고 청구범위의 구성요소에서 균등물로서 치환 가능한 구성요소를 포함하는 실시 예는 본 발명의 권리범위에 포함될 수 있다.

[0021] 그리고 아래에 개시된 실시 예에서의 “제1”, “제2”, “일면”, “타면” 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로서, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다. 이하, 본 발명을 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 흐릴 수 있는 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템의 개략적인 구성도이다.

[0023] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템(1000)은 광원부(100), 편광 변조부(200), 편광 취득부(300), 및 영상 생성부(400)를 포함한다.

[0024] 광원부(100)는 시료로 광을 방출하며, LED 또는 레이저 등의 광원을 이용될 수 있다. 예를 들어, 광원부(100)는 광원으로 LED 어레이를 이용하며, LED 어레이는 매트릭스 구조의 일정한 피치로 발광 다이오드가 배열되는 것이다.

[0025] 편광 변조부(200)는 광원부(100)에서 방출된 광을 일정한 편광 형태로 변조한다. 광원부(100)에서 방출된 광은 전기장의 진동이 일정한 방향성이 없는 무편광된 광 또는 일정한 편광 형태를 가질 수 있다. 본 발명은, 미리 의도하는 일정한 방향으로 편광된 조사광을 시료에 조사하고, 시료를 반사 또는 투과한 광을 직교하는 편광 방향에 따라 검출하여 시료의 특성이 반영된 검출광의 전달 함수를 조사광의 전달 함수와 수치적으로 대비함으로써 시료의 광학적 이방성 특성을 추출하게 된다. 따라서, 편광 변조부(200)는, 영상 생성부(400)가 광학적 이방성을 추출하는데 이용하는 산술 식의 간편화를 위해 미리 의도된 편광 형태로 광원부(100)에서 방출된 광을 변조하게 된다. 일 실시 예에 의하면, 편광 변조부(200)은 원 편광된, 특히 좌원 편광된 광이 시료에 조사되도록 방출 광을 변조한다. 편광 변조부(200)은 광원부에서 방출된 광의 편광 상태에 따라 의도하는 편광 형태로 변조하기 위해 광학 기구들의 다양한 조합이 가능하다.

[0026] 편광 변조부(200)는, 일 예로 광원부의 광원이 레이저인 경우, 일정한 편광 형태를 원편광으로 변조하기 위한 웨이브 플레이트(wave plate) 또는 지연자(retarder)를 포함하거나 공간 광 변조기(SLM: Spatial Light

Modulator)를 포함할 수 있다.

- [0027] 또한, 편광 변조부(200)은 다른 예로 광원부의 광원이 무편광된 광을 방출하는 경우, 무편광된 광을 원편광으로 변조하기 위해 선형 편광기와 웨이브 플레이트 또는 지연자를 포함하거나, 원형 편광기를 포함할 수 있다.
- [0028] 편광 취득부(300)는 시료에서 반사 또는 투과한 광을 편광 방향에 따라 구분하여 검출하고 편광 방향에 따라 분리된 광의 세기를 전기적 신호로 변환하여 영상 생성부에 전달한다. 의도하는 일정한 편광 형태를 가진 조사광이 시료에 조사되고 시료에서 반사 또는 투과된 광은 시료의 광학적 이방성에 의해 조사광이 가진 편광 형태가 유지되지 않고 변화하게 된다. 일 실시 예에서, 원편광된 광이 시료에 조사되고 시료를 반사 또는 투과하는 과정에서 시료의 광학적 이방성이 반영된 반사광 또는 투과광은 타원 편광된 광일 수 있다. 편광 취득부(300)는 시료에서 반사 또는 투과한 광을 편광 방향에 따라 분리하는 광학 기구 또는 직교하는 편광 방향에 따라 각각 분리된 광의 세기를 전기적 신호로 검출하는 이미지 센서를 포함한 카메라를 포함할 수 있다.
- [0029] 도 2a 내지 2c는 본 발명의 일 실시 예에 따른 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템의 편광 취득부의 일 예, 다른 예 및 또 다른 예를 도시한다.
- [0030] 도 2a를 참조하면, 일 예에서, 편광 취득부(300)는 복수의 집광 렌즈 및 시료에서 반사 또는 투과한 광을 편광 방향에 따라 구분하고 구분된 광의 세기를 검출하는 편광 카메라(321)를 포함한다. 편광 취득부(300)는 시료(10)을 통과한 광을 평행광으로 변조하는 제1 렌즈(311) 및 평행광이 편광 카메라(321)에 감광되도록 집광하는 제2 렌즈(312)를 포함하는 복수의 집광렌즈를 포함한다. 편광 카메라(321)은 감광된 광을 0도, 45도, 90도, 및 135도 축의 편광 방향의 성분에 따른 세기로 각각 분류하여 검출하고 광세기 영상을 복원한다. 도 2b를 참조하면, 다른 예에서, 편광 취득부(300)는, 복수의 집광 렌즈, 시료에서 반사 또는 투과한 광을 직교하는 편광 방향에 따라 일정한 각도로 이격시켜 분리하는 윌라스턴 프리즘(Wollaston prism)(322), 및 분리된 직교하는 편광 방향에 따른 광을 검출하는 이미지 센서를 포함하는 카메라(332)를 포함한다.
- [0031] 편광 취득부(300)는 시료(10)을 통과한 광을 평행광으로 변조하는 제1 렌즈(311) 및 윌라스턴 프리즘(322)에 의해 편광 방향에 따라 분리된 광이 각각 카메라(332)의 이미지 센서에 감광되도록 집광하는 제2 렌즈(312)를 포함하는 복수의 집광렌즈를 포함한다. 윌라스턴 프리즘(322)은 시료의 광학적 이방성 특성이 반영된 반사광 또는 투과광을 서로 직교하는 진동면을 갖는 두 선편광된 광으로 일정한 각도로 이격되게 분리한다. 윌라스턴 프리즘(322)에 의해 분리된 광이 카메라(332)의 이미지 센서 내에 영역을 달리하여 동시에 감광됨으로써 시료를 반사 또는 투과한 광은 직교하는 편광 방향의 성분에 따른 세기로 각각 분류되어 검출된다.
- [0032] 본 예에서, 편광 취득부(300)는 제1 렌즈(311) 및 제2 렌즈(312) 이외에 제1 렌즈(311)와 윌라스턴 프리즘(322) 사이에 배치되는 제3 렌즈(미도시)를 더 포함하고, 제1 렌즈(311) 및 제3 렌즈 사이에 위치하는 필드 스톱(field stop)(미도시)을 더 포함한다. 필드 스톱의 배치 위치 및 어퍼처 크기를 조절하여 이미지 센서 내로 윌라스턴 프리즘에 의해 분리된 광이 감광되도록 하고 상기 분리된 광이 이미지 센서 내에서 겹치는 것을 방지한다.
- [0033] 도 2c를 참조하면, 또 다른 예에서, 편광 취득부(300)는 복수의 집광 렌즈, 시료(10)에서 반사 또는 투과한 광을 직교하는 편광 방향에 따라 반사 또는 투과시키는 편광 빔 스플리터(PBS)(323), 편광 빔 스플리터(323)에서 반사된 제1 광을 검출하는 제1 카메라(333) 및 편광 빔 스플리터(323)를 투과한 제2 광을 검출하는 제2 카메라(334)를 포함한다.
- [0034] 편광 취득부(300)는 시료(10)을 통과한 광을 평행광으로 변조하는 제1 렌즈(311) 및 평행광이 편광 빔 스플리터를 거쳐 이미지 센서에 감광되도록 이를 집광하는 제2 렌즈(312)를 포함하는 복수의 집광렌즈를 포함한다. 편광 빔 스플리터(323) 시료의 광학적 이방성 특성이 반영된 반사광 또는 투과광을 서로 직교하는 진동면을 갖는 두 선편광된 제1 광 및 제2 광으로 분리한다. 편광 빔 스플리터(323)에 의해 분리된 광은 서로 직교하는 방향으로 나아가므로 본 예에서는 분리된 광을 검출하는 두 대의 카메라가 필요하다. 제1 카메라 및 제2 카메라에 포함되는 각각의 이미지 센서에 의해 시료를 반사 또는 투과한 광은 직교하는 편광 방향의 성분에 따른 세기로 각각 검출된다.
- [0035] 영상 생성부(400)는 편광 취득부(300)가 검출한 광을 통해 시료의 광학적 이방성에 대한 정량적 정보를 가시화하는 영상을 생성한다. 편광 취득부(300)는 편광 방향에 따라 분리된 광 각각의 세기를 전기적 신호로 변환하여 영상 생성부(400)로 전달하고, 이를 송신한 영상 생성부(400)는 기 저장된 수치 모델 기반 알고리즘에 의한 연산을 통해 시료의 정량적인 광학적 이방성 특성 정보를 추출한다. 여기서, 시료의 광학적 이방성은 시료의 광축 방향과 위상 지연값을 포함한다.

[0036] 영상 생성부(400)는 편광 취득부(300)에서 전달한 전기적 신호를 연산 처리할 수 있는 컴퓨팅 장치일 수 있다.

[0037] 영상 생성부(400)는 시료의 특성 또는 편광 취득부의 방식에 따라 각기 다른 수치 모델 기반 알고리즘을 이용할 수 있다. 예를 들어 다양한 각도로 광을 조사하고 취득한 광의 정보를 푸리에 공간에 중합해 대면적, 고해상도 광합수 및 광위상 영상을 복원하는 FPM(Fourier Ptychographic Microscopy)와 조사광 패턴에 따른 PTF(Phase Transfer Function)을 이용해 고감도 광위상 영상을 복원하는 DPC(Differential Phase Contrast) 기반 QPI(Quantitative Phase Imaging)이 적용이 가능한 알고리즘이 있다.

[0038] 일 실시 예에서, 영상 생성부(400)는, 원편광된 광을 시료에 조사하고 시료를 반사 또는 투과한 광을 직교하는 편광 방향에 따라 분리하여 분리된 광의 각각의 광세기를 검출하는 경우, 즉, 도 2b 및 도 2c에 도시된 실시 예의 경우, 하기의 수학적식들을 이용하여 시료의 광학적 이방성 정보, 즉, 시료의 광축 방향 및 위상 지연값을 정량적으로 추출할 수 있다.

[0039] 원편광된 광을 시료에 조사하고 시료를 반사 또는 투과한 광을 직교하는 편광 방향에 따라 분리하여 얻은 분리된 광 각각의 전기장은 수학적식 1과 같다.

[0040] 수학적식 1

$$\begin{bmatrix} A_{\parallel} e^{i\phi_{\parallel}} \\ A_{\perp} e^{i\phi_{\perp}} \end{bmatrix} = \mathbf{J}_s \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix}$$

[0041]

[0042] 여기서, A_{\parallel} , A_{\perp} , ϕ_{\parallel} , ϕ_{\perp} 및 \mathbf{J}_s 는 직교하는 편광 방향에 따라 분리된 광 각각의 전기장의 진폭 및 위상이고, \mathbf{J}_s 는 광학적 이방성 시료를 모델링한 Jones 매트릭스이다.

[0043] 시료의 광학적 이방성인 광축 방향 및 위상 지연을 추출하기 위해서는 상기 수학적식 1은 Stokes 파라미터, 즉 수학적식 2와 같이 변환된다.

[0044] 수학적식 2

$$\begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{\parallel}^2 + A_{\perp}^2 \\ A_{\parallel}^2 - A_{\perp}^2 \\ 2A_{\parallel}A_{\perp}\cos(\phi_{\parallel} - \phi_{\perp} + \pi/2) \\ 2A_{\parallel}A_{\perp}\sin(\phi_{\parallel} - \phi_{\perp} + \pi/2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -\sin\delta\sin 2\theta \\ \sin\delta\cos 2\theta \\ -\cos\delta \end{bmatrix}$$

[0045]

θ δ

[0046] 시료의 광축 방향() 및 위상 지연()의 공간적 분포는 수학적식 3과 같이 추출된다.

[0047] 수학적식 3

$$\theta(x, y) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{-S_1}{S_2} \right), \delta(x, y) = \cos^{-1} \left(\frac{-S_3}{S_0} \right).$$

[0048]

[0049] 상기에서는 Jones 매트릭스를 이용하여 시료의 정량적인 광학적 이방성 특성을 추출하는 것을 서술하였지만, 보다 많은 편광 방향에 따른 광세기 영상을 취득하고 물러 매트릭스(Mueller matrix)를 이용하여 연산하는 경우 이색성(dichroism)과 같이 추가적인 광학적 이방성 특성을 얻을 수 있다.

[0050] 일 실시 예에서, 영상 생성부(400)는, 원편광된 광을 시료에 조사하고 시료를 반사 또는 투과한 광을 0도, 45도, 90도 및 135도 편광 축의 편광 방향에 따라 분리하여 분리된 광의 각각의 광세기를 검출하는 경우, 즉, 도 2a에 도시된 실시 예의 경우, 하기의 수학적식들을 이용하여 시료의 광학적 이방성 정보, 즉, 시료의 광축 방향 및 위상 지연값을 정량적으로 추출할 수 있다.

[0051] 수학적식 4

$$A = \frac{I_{90} - I_0}{I_{90} + I_0} = \sin \delta \sin 2\theta, \quad B = \frac{I_{45} - I_{135}}{I_{45} + I_{135}} = \sin \delta \cos 2\theta$$

[0052]

[0053] 수학적식 4에서 I_x 는 X 편광 축의 방향으로 분리된 광세기 영상이고, θ 는 시료의 광축 방향이고, δ 는 위상 지연이다. 시료의 광축 방향(θ) 및 위상 지연(δ)은 수학적식 5과 같이 얻을 수 있다.

[0054] 수학적식 5

$$\delta = \sin^{-1}(\sqrt{A^2 + B^2}), \quad \theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{A}{B}$$

[0055]

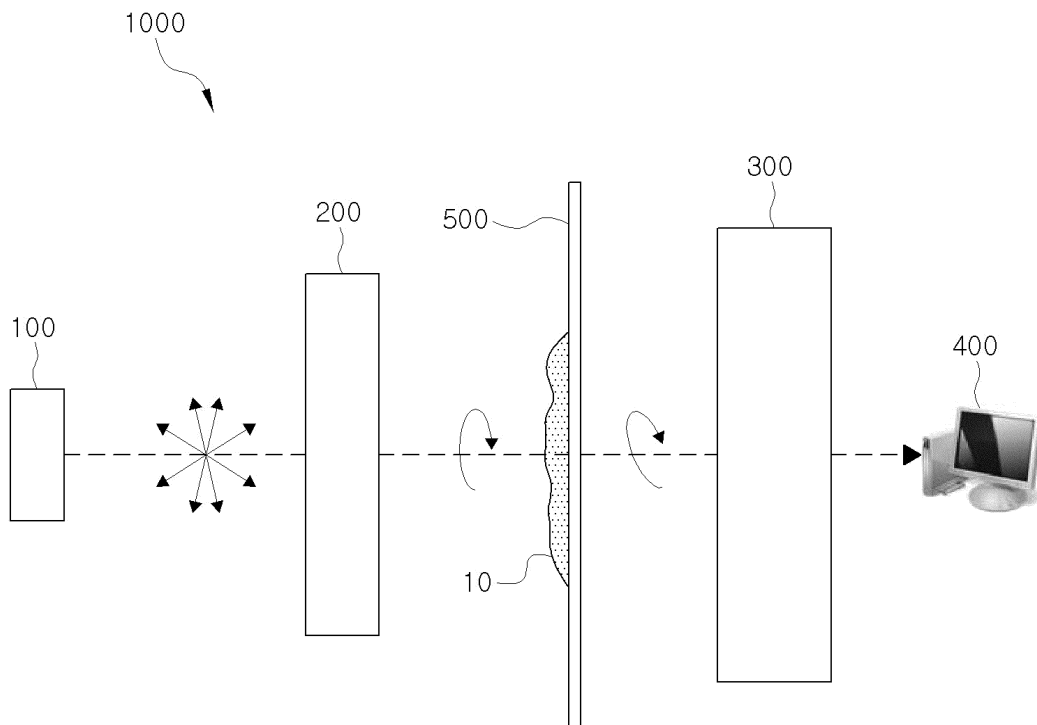
[0056] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따라 시료의 광학적 이방성의 정량적 정보를 가시화한 것을 도시한다.

[0057] 도 3을 참조하면, 도 3의 (a) 내지 (c)는 투명한 시료를 반사 또는 투과한 광을 직교하는 편광 방향에 따라 분리된 광 각각의 세기를 평균하여 이미지로 도시한 것이다. 도 3의 (d) 내지 (f)는 본 발명의 일 실시 예에 따른 현미경 시스템으로 추출한 시료의 광학적 이방성, 즉 광축 방향과 위상 지연값을 2차원 맵의 형태로 제공한다. 여기서, 광축 방향은 색으로, 위상 지연값은 진하기로 혼합하여 도시된다. 이로써, 본 발명에 따른 시료의 광학적 이방성을 정량화하는 현미경 시스템에 의해 광학적 이방성을 가진 시료의 특성을 정량화 하여 가시화할 수 있음을 확인할 수 있다.

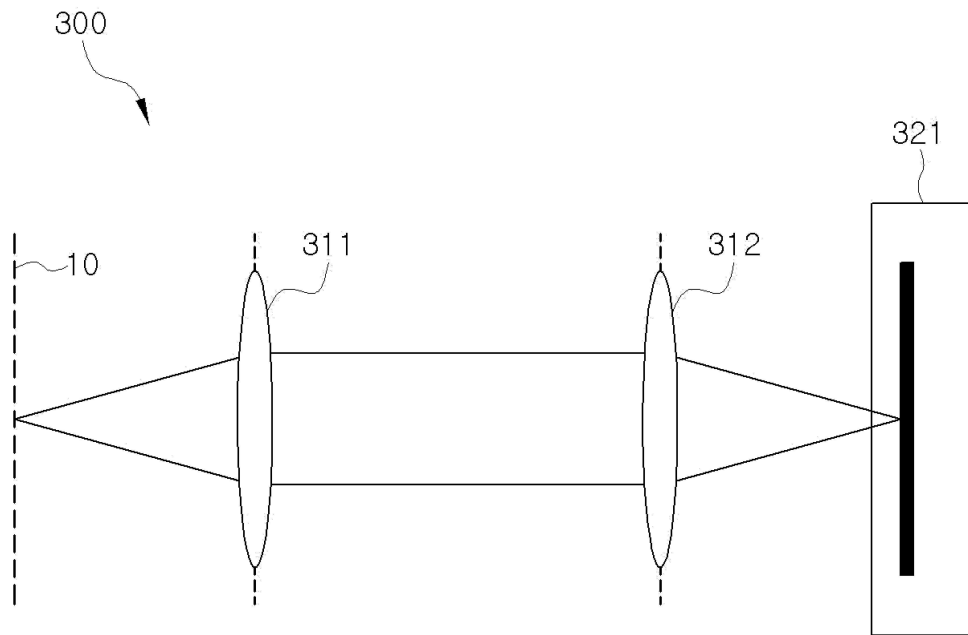
[0058] 도 3의 (a) 내지 (d)는 UAD(uric acid dihydrate)을 시료로 하고, 도 3의 (b) 내지 (e)는 UA(anhydrous uric acid)을 시료로 하고, 도 3의 (c) 내지 (f)는 UAD 및 UA의 혼합물을 시료로 한다.

도면

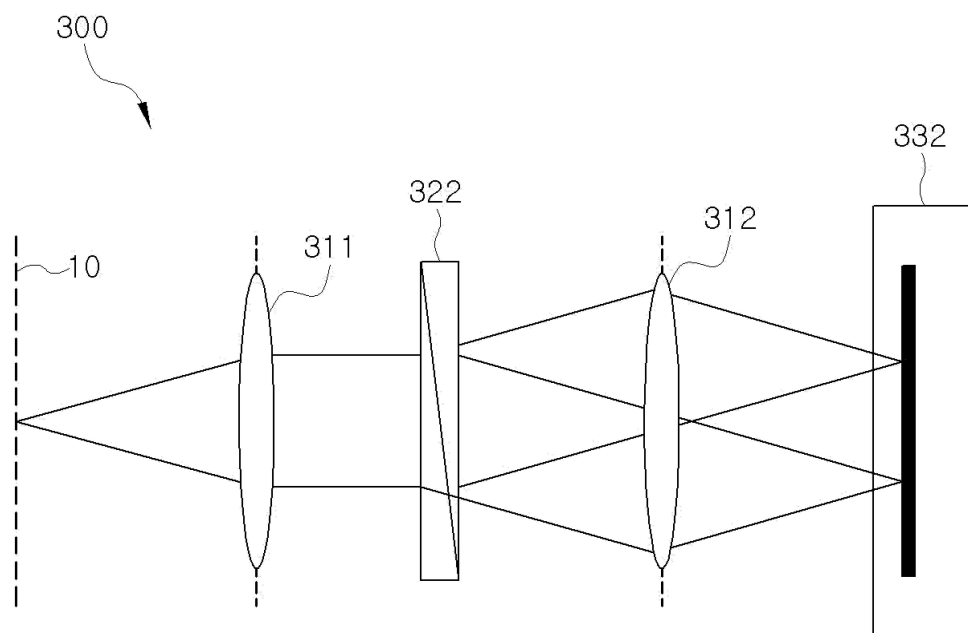
도면1



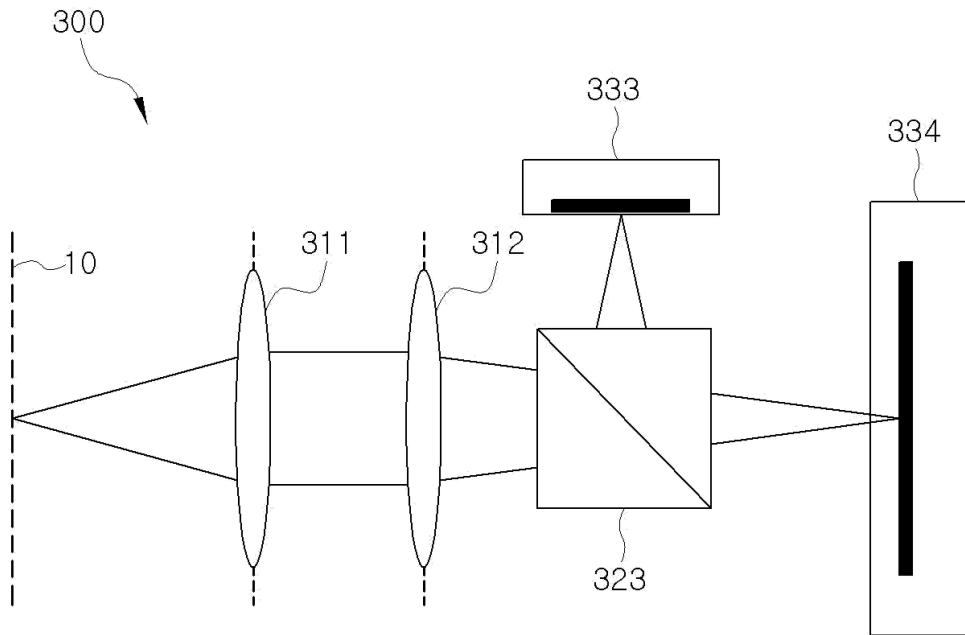
도면2a



도면2b



도면2c



도면3

