(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0084035
(43) 공개일자 2021년07월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 21/36 (2006.01) *G02B 21/00* (2006.01)
G02B 21/26 (2006.01) *G02B 5/30* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 21/361 (2013.01)
G02B 21/0092 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0176926
(22) 출원일자 2019년12월27일
심사청구일자 2019년12월27일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
최영운
서울특별시 서초구 서초중앙로 242, 501동 1305호
양태석
서울특별시 동작구 국사봉10길 10
박관준
서울특별시 성북구 고려대로10길 39, 303호
(74) 대리인
정은열, 김태훈

전체 청구항 수 : 총 15 항

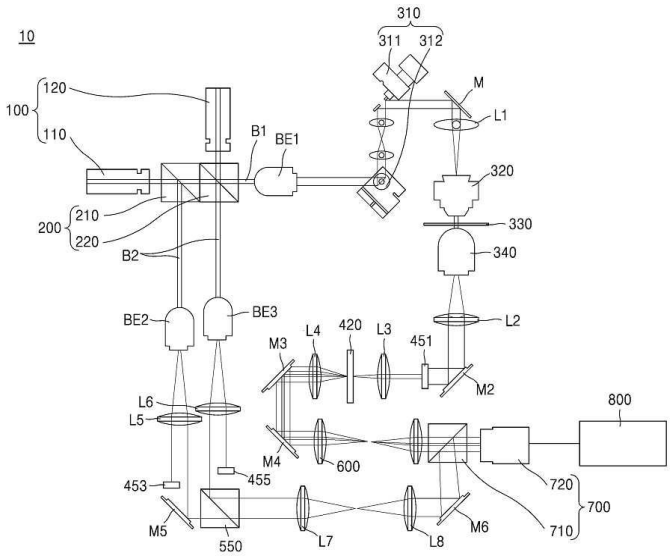
(54) 발명의 명칭 **편광 홀로그래픽 현미경 시스템 및 이를 이용한 샘플 영상 획득 방법**

(57) 요 약

본 발명은 편광 홀로그래픽 현미경 시스템 및 이를 이용한 샘플 영상 획득 방법에 관한 것이다. 본 발명의 편광 홀로그래픽 현미경 시스템은 서로 다른 편광 방향을 갖는 레이저 빔들을 조사하는 광원부; 상기 광원부에서 조사된 레이저 빔들을 샘플광 및 기준광으로 분배하는 광 분배부; 상기 광 분배부에서 분배된 상기 샘플광의 각도를

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



조절하여 샘플에 입사시켜 상기 샘플광에 상기 샘플에 대한 각도별 영상들을 형성하는 샘플 이미지 형성부; 상기 샘플 이미지 형성부를 통과한 상기 샘플광을 회절시켜 상기 각도별 영상들 각각에 다중 이미지들을 형성하는 다중 이미지 형성부; 상기 다중 이미지 형성부를 통과한 상기 샘플광을 편광시키는 선형 편광 필터부; 및 상기 선형 편광 필터부를 통과한 상기 샘플광과 상기 기준광을 합쳐서 각도별 간섭 영상들을 획득하는 간섭 이미지 획득부를 포함하고, 상기 각도별 간섭 영상들 각각은 서로 다른 편광 상태를 갖는 복수의 간섭 이미지들을 포함할 수 있다.

(52) CPC특허분류
G02B 21/26 (2013.01)
G02B 21/365 (2013.01)
G02B 5/30 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2019R1A2C4004804
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 신진중견연계
연구과제명 정량적 3차원 편광 위상 현미경을 이용한 암세포 분류 기술 개발
기 여 율 40/100
과제수행기관명 고려대학교
연구기간 2019.03.01 ~ 2020.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2017R1A6A3A11031083
부처명 교육부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 리서치펠로우
연구과제명 광학적 비등방성 측정을 통한 암 진단 기술 개발
기 여 율 20/100
과제수행기관명 고려대학교
연구기간 2019.03.01 ~ 2020.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2019H1A2A1076334
부처명 교육부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 글로벌박사펠로우십
연구과제명 단일 세포 수준에서 암 진단 및 구별을 위해 신호 대 잡음 비가 향상된 편광 민감 정량적 위상 현미경 개발
기 여 율 20/100
과제수행기관명 고려대학교
연구기간 2019.03.01 ~ 2020.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 HR14C0007050019
부처명 보건복지부
과제관리(전문)기관명 한국보건산업진흥원
연구사업명 연구중심병원육성 R&D
연구과제명 무주사 방식의 초미세 고해상도 3차원 내시현미경 개발
기 여 율 20/100
과제수행기관명 고려대학교 안암병원
연구기간 2019.01.01 ~ 2019.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

서로 다른 편광 방향을 갖는 레이저 빔들을 조사하는 광원부;

상기 광원부에서 조사된 레이저 빔들을 샘플광 및 기준광으로 분배하는 광 분배부;

상기 광 분배부에서 분배된 상기 샘플광의 각도를 조절하여 샘플에 입사시켜 상기 샘플광에 상기 샘플에 대한 각도별 영상들을 형성하는 샘플 이미지 형성부;

상기 샘플 이미지 형성부를 통과한 상기 샘플광을 회절시켜 상기 각도별 영상들 각각에 다중 이미지들을 형성하는 다중 이미지 형성부;

상기 다중 이미지 형성부를 통과한 상기 샘플광을 편광시키는 선형 편광 필터부; 및

상기 선형 편광 필터부를 통과한 상기 샘플광과 상기 기준광을 합쳐서 각도별 간섭 영상들을 획득하는 간섭 이미지 획득부를 포함하고,

상기 각도별 간섭 영상들 각각은 서로 다른 편광 상태를 갖는 복수의 간섭 이미지들을 포함하는 편광 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 간섭 이미지 획득부에서 획득한 각도별 간섭 영상들을 이용하여 상기 샘플에 대한 복굴절 이미지와 3차원 단층 이미지를 획득하는 이미지 분석부를 더 포함하고,

상기 이미지 분석부는 상기 각도별 간섭 영상들을 존스 행렬 연산하여 상기 샘플에 대한 각도별 행렬 영상들을 획득하고,

상기 각도별 행렬 영상들은 복수의 각도별 진폭 행렬 영상들 및 복수의 각도별 위상 영상들을 포함하고,

상기 각도별 진폭 행렬 영상들 각각은 복수의 진폭 이미지들을 포함하고,

상기 각도별 위상 행렬 영상들 각각은 복수의 위상 이미지들을 포함하는 편광 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 이미지 분석부는 상기 각도별 행렬 영상들을 구경합성하여 합성 진폭 행렬 영상과 합성 위상 행렬 영상을 획득하고, 상기 합성 진폭 행렬 영상과 상기 합성 위상 행렬 영상을 행렬 대각화 연산하여 샘플에 대한 복굴절 이미지를 획득하되,

상기 합성 진폭 행렬 영상은 복수의 합성 진폭 이미지들을 포함하고,

상기 합성 위상 행렬 영상은 복수의 합성 위상 이미지들을 포함하는 편광 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 이미지 분석부는, 상기 각도별 진폭 행렬 영상들 각각에서 대각 행렬요소인 각도별 진폭 이미지를 추출하여 각도별 진폭 이미지군을 획득하고, 상기 각도별 위상 행렬 영상들 각각에서 대각 행렬요소인 각도별 위상 이미지를 추출하여 각도별 위상 이미지군을 획득하되,

상기 이미지 분석부는 상기 각도별 진폭 이미지군과 상기 각도별 위상 이미지군을 이용하여 3차원 단층 이미지를 획득하는 편광 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 샘플 이미지 형성부는,

상기 샘플을 거치하는 샘플 거치대; 및

상기 광 분배부에서 분배되어 상기 샘플로 입사되는 상기 샘플광의 각도를 조절하는 갈바노 스캐너를 포함하는 편광 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 선형 편광 필터부는,

+45도의 편광 축을 갖는 제1 편광 필터; 및

상기 제1 편광 필터로부터 Y축 방향에 위치되고, -45도의 편광 축을 갖는 제2 편광 필터를 포함하고,

상기 다중 이미지 형성부를 통과한 상기 샘플광의 일부는 상기 제1 편광 필터에 의해 편광되고,

상기 다중 이미지 형성부를 통과한 상기 샘플광의 일부는 상기 제2 편광 필터에 의해 편광되는 편광 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 광원부는,

제1 레이저 빔을 조사하는 제1 레이저; 및

상기 제1 레이저 빔의 편광 방향과 직교하는 편광 방향을 갖는 제2 레이저 빔을 조사하는 제2 레이저를 포함하고,

상기 광 분배부는,

상기 제1 레이저 빔을 상기 샘플광 및 상기 기준광으로 분배하는 제1 광 분배기; 및

상기 제2 레이저 빔을 상기 샘플광 및 상기 기준광으로 분배하는 제2 광 분배기를 포함하고,

상기 제1 광 분배기에서 분배된 상기 샘플광은 상기 제2 광 분배기에서 분배된 상기 샘플광과 중첩되는 편광 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 다중 이미지 형성부는,

상기 샘플 이미지 형성부를 통과한 상기 샘플광을 회절시키는 이차원 회절격자를 포함하고,

상기 이차원 회절격자는 상기 각도별 영상들 각각에 포함된 단일 이미지를 복제하여 상기 각도별 영상들 각각에 상기 다중 이미지들을 형성하는 이차원 회절격자를 포함하는 편광 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 다중 이미지 형성부는 서로 이격된 한 쌍의 렌즈들을 더 포함하고,

상기 이차원 회절격자는 상기 한 쌍의 렌즈 사이에 위치되고, 상기 한 쌍의 렌즈 사이에 샘플광의 초점이 맺히는 푸리에 면 상에 위치되는 편광 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 10

제3항에 있어서,

상기 이미지 분석부는, 상기 각도별 행렬 영상들의 구경합성으로 인해 회절잡음을 감소시키면서 해상도를 향상시키는 편광 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 11

제2항에 있어서,

상기 이미지 분석부는 상기 복굴 이미지와 상기 3차원 단층 이미지를 위한 정보를 동시에 획득하는 편광 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항의 편광 홀로그래픽 현미경 시스템을 이용한 샘플 영상 획득 방법에 있어서,

상기 광원부에서 서로 다른 편광 방향을 갖는 레이저 빔들을 조사하는 단계;

상기 광 분배부에서 상기 레이저 빔들을 샘플광 및 기준광으로 분배하는 단계;

상기 샘플광의 각도를 조절하여 관측하고자 하는 샘플로 입사시켜 상기 샘플광에 상기 샘플에 대한 각도별 영상들을 형성시키는 단계;

상기 샘플광을 회절시켜 상기 각도별 영상들 각각에 다중 이미지들을 형성시키는 단계;

상기 각도별 영상들 각각에 상기 다중 이미지들이 형성된 상기 샘플광을 편광시키는 단계; 및

편광된 상기 샘플광과 상기 기준광을 합쳐서 각도별 간섭 영상들을 획득하는 단계를 포함하고,

상기 각도별 간섭 영상들 각각은 서로 다른 편광 상태를 갖는 복수의 간섭 이미지들을 포함하는 샘플 영상 획득 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 편광 홀로그래픽 현미경 시스템은 상기 간섭 이미지 획득부에서 획득한 상기 각도별 간섭 영상들을 분석하는 이미지 분석부를 더 포함하고,

상기 이미지 분석부를 통해 상기 각도별 간섭 영상들을 존스 행렬 연산하여 상기 샘플에 대한 각도별 행렬 영상들을 획득하는 단계를 더 포함하고,

상기 각도별 행렬 영상들은 복수의 각도별 진폭 행렬 영상들 및 복수의 각도별 위상 영상들을 포함하고,

상기 각도별 진폭 행렬 영상들 각각은 복수의 진폭 이미지들을 포함하고,

상기 각도별 위상 행렬 영상들 각각은 복수의 위상 이미지들을 포함하는 샘플 영상 획득 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 각도별 행렬 영상들을 구경합성하여 합성 진폭 행렬 영상과 합성 위상 행렬 영상을 획득하는 단계; 및

상기 합성 진폭 행렬 영상과 상기 합성 위상 행렬 영상을 행렬 대각화 연산하여 상기 샘플에 대한 복굴절 이미지를 획득하는 단계를 더 포함하고,

상기 합성 진폭 행렬 영상은 복수의 합성 진폭 이미지들을 포함하고,

상기 합성 위상 행렬 영상은 복수의 합성 위상 이미지들을 포함하는 샘플 영상 획득 방법.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 각도별 진폭 행렬 영상들 각각에서 대각행렬 요소인 각도별 진폭 이미지를 추출하여 각도별 진폭 이미지군을 획득하는 단계;

상기 각도별 위상 행렬 영상들 각각에서 대각행렬 요소인 각도별 위상 이미지를 추출하여 각도별 위상 이미지군을 획득하는 단계; 및

상기 각도별 진폭 이미지군과 상기 각도별 위상 이미지군을 이용하여 3차원 단층 이미지를 획득하는 샘플 영상 획득 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 편광 홀로그래픽 현미경 시스템 및 이를 이용한 샘플 영상 획득 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 다양한 각도를 갖는 샘플광들을 구경합성하여 고 민간도의 복굴절 이미지와 3차원 위상 이미지를 획득할 수 있는 편광 홀로그래픽 현미경 시스템 및 이를 이용한 샘플 영상 획득 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 편광 홀로그래픽 현미경은 디지털 홀로그래픽 기법을 기반으로 하는 광학 측정 장비이다. 이 기법은 빛의 간섭 현상을 이용하여 관측하고자 하는 물체로부터 나오는 빛의 세기 정보뿐만 아니라 위상 정보까지 동시에 측정할 수 있는 영상 기술이다.

[0003] 물체에 의해 지연된 위상 정보로부터 두께, 부피, 건조 질량, 굴절률 분포 등 형태학적 정보를 정량적인 숫자의 형태로 획득할 수 있다.

[0004] 디지털 홀로그래픽 기법을 이용하여 영상의 위상 정보를 획득하기 위해, 주로 마하-젠더(Mach-Zehnder) 간섭계를 사용한다. 광원에서 나온 빛은 광 분배기 (beam splitter)로 나누어지고, 분리된 빛 중 하나는 대상 물체에 입사시키고 (샘플 빔), 다른 하나는 물체가 없는 공간을 통과한다(기준 빔). 각각의 빛을 합쳐 간섭을 일으키고, 이 간섭 패턴을 이미지 센서로 검출한다.

[0005] 간섭 패턴을 일으키는 대표적인 방법인 탈축 (off-axis) 방식은 간섭시킬 샘플 빔과 기준 빔을 카메라 감지기에서 만날 때, 둘 중 하나의 빔을 광축에서 어긋난 각도에서 만나도록 하여 획득 영상에 반듯한 줄무늬 모양의 간섭 패턴을 생성시킨다. 획득 영상 내 물체가 놓여있을 경우 반듯한 줄무늬 패턴에 변형이 가해지며 이 변형을 분석함으로써 위상 정보를 추출한다.

[0006] 광학적으로 복굴절 현상을 일으키는 특정한 물질을 가진 물체의 경우, 위상지연뿐만 아니라 물체에 의해 빛의 편광 상태 또한 회전한다. 이러한 현상은 물체 내부에 존재하는 분자적으로 비등방성 물질들의 정렬된 구조로부터 기인한다.

[0007] 편광 현미경은 이 복굴절 물질들을 선택적으로 영상화하기 위한 광학 측정 장비이다. 장비 내 조명 부분과 물체의 정보를 가진 영상 부분에 서로 직교하는 편광 필터를 각각 설치함으로써, 복굴절 물질에 의해 편광 상태가 회전된 정보만이 영상 부분의 편광 필터를 통과하여 최종적으로 카메라 감지기에 감지된다.

[0008] 그러나 기존의 편광 현미경은 빛의 세기 측정을 기반으로 하므로, 빛의 세기 및 위상 정보를 포함하는 복소수 형태로 기술되는 편광 상태를 완전히 측정할 수 없다는 한계가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 한국특허등록번호 제10-1789441호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 일 측면은 다양한 각도를 갖는 샘플광들을 구경합성하여 고 민간도의 복굴절 이미지와 3차원 위상 이미지를 획득할 수 있는 편광 홀로그래픽 현미경 시스템 및 이를 이용한 샘플 영상 획득 방법을 제공하고자 하는 것이다.

[0011] 본 발명의 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명의 실시예에 따른 편광 홀로그래픽 현미경 시스템은 서로 다른 편광 방향을 갖는 레이저 빔들을 조사하는 광원부; 상기 광원부에서 조사된 레이저 빔들을 샘플광 및 기준광으로 분배하는 광 분배부; 상기 광 분배부에서 분배된 상기 샘플광의 각도를 조절하여 샘플에 입사시켜 상기 샘플광에 상기 샘플에 대한 각도별 영상들을 형성하는 샘플 이미지 형성부; 상기 샘플 이미지 형성부를 통과한 상기 샘플광을 회절시켜 상기 각도별 영상들 각각에 다중 이미지들을 형성하는 다중 이미지 형성부; 상기 다중 이미지 형성부를 통과한 상기 샘플광을 편광시키는 선형 편광 필터부; 및 상기 선형 편광 필터부를 통과한 상기 샘플광과 상기 기준광을 합쳐서 각도별 간섭 영상들을 획득하는 간섭 이미지 획득부를 포함하고, 상기 각도별 간섭 영상들 각각은 서로 다른 편광 상태를 갖는 복수의 간섭 이미지들을 포함할 수 있다.

[0013] 일 실시 예에서, 상기 간섭 이미지 획득부에서 획득한 각도별 간섭 영상들을 이용하여 상기 샘플에 대한 복굴절 이미지와 3차원 단층 이미지를 획득하는 이미지 분석부를 더 포함하고, 상기 이미지 분석부는 상기 각도별 간섭 영상들을 존스 행렬 연산하여 상기 샘플에 대한 각도별 행렬 영상들을 획득하고, 상기 각도별 행렬 영상들은 복수의 각도별 진폭 행렬 영상들 및 복수의 각도별 위상 영상들을 포함하고, 상기 각도별 진폭 행렬 영상들 각각은 복수의 진폭 이미지들을 포함하고, 상기 각도별 위상 행렬 영상들 각각은 복수의 위상 이미지들을 포함할 수 있다.

[0014] 일 실시 예에서, 상기 이미지 분석부는 상기 각도별 행렬 영상들을 구경합성하여 합성 진폭 행렬 영상과 합성 위상 행렬 영상을 획득하고, 상기 합성 진폭 행렬 영상과 상기 합성 위상 행렬 영상을 행렬 대각화 연산하여 샘플에 대한 복굴절 이미지를 획득하되, 상기 합성 진폭 행렬 영상은 복수의 합성 진폭 이미지들을 포함하고, 상기 합성 위상 행렬 영상은 복수의 합성 위상 이미지들을 포함할 수 있다.

[0015] 일 실시 예에서, 상기 이미지 분석부는, 상기 각도별 진폭 행렬 영상들 각각에서 대각 행렬요소인 각도별 진폭 이미지를 추출하여 각도별 진폭 이미지군을 획득하고, 상기 각도별 위상 행렬 영상들 각각에서 대각 행렬요소인 각도별 위상 이미지를 추출하여 각도별 위상 이미지군을 획득하되, 상기 이미지 분석부는 상기 각도별 진폭 이미지군과 상기 각도별 위상 이미지군을 이용하여 3차원 단층 이미지를 획득할 수 있다.

[0016] 일 실시 예에서, 상기 샘플 이미지 형성부는, 상기 샘플을 거치하는 샘플 거치대; 및 상기 광 분배부에서 분배되어 상기 샘플로 입사되는 상기 샘플광의 각도를 조절하는 갈바노 스캐너를 포함할 수 있다.

[0017] 일 실시 예에서, 상기 선형 편광 필터부는, +45도의 편광 축을 갖는 제1 편광 필터; 및 상기 제1 편광 필터로부터 Y축 방향에 위치되고, -45도의 편광 축을 갖는 제2 편광 필터를 포함하고, 상기 다중 이미지 형성부를 통과한 상기 샘플광의 일부는 상기 제1 편광 필터에 의해 편광되고, 상기 다중 이미지 형성부를 통과한 상기 샘플광의 일부는 상기 제2 편광 필터에 의해 편광될 수 있다.

[0018] 일 실시 예에서, 상기 광원부는, 제1 레이저 빔을 조사하는 제1 레이저; 및 상기 제1 레이저 빔의 편광 방향과 직교하는 편광 방향을 갖는 제2 레이저 빔을 조사하는 제2 레이저를 포함하고, 상기 광 분배부는, 상기 제1 레이저 빔을 상기 샘플광 및 상기 기준광으로 분배하는 제1 광 분배기; 및 상기 제2 레이저 빔을 상기 샘플광 및 상기 기준광으로 분배하는 제2 광 분배기를 포함하고, 상기 제1 광 분배기에서 분배된 상기 샘플광은 상기 제2 광 분배기에서 분배된 상기 샘플광과 중첩될 수 있다.

[0019] 일 실시 예에서, 상기 다중 이미지 형성부는, 상기 샘플 이미지 형성부를 통과한 상기 샘플광을 회절시키는 이차원 회절격자를 포함하고, 상기 이차원 회절격자는 상기 각도별 영상들 각각에 포함된 단일 이미지를 복제하여 상기 각도별 영상들 각각에 상기 다중 이미지들을 형성하는 이차원 회절격자를 포함할 수 있다.

[0020] 일 실시 예에서, 상기 다중 이미지 형성부는 서로 이격된 한 쌍의 렌즈들을 더 포함하고, 상기 이차원 회절격자는 상기 한 쌍의 렌즈 사이에 위치되고, 상기 한 쌍의 렌즈 사이에 샘플광의 초점이 맺히는 푸리에 면 상에 위

치될 수 있다.

[0021] 일 실시 예에서, 상기 이미지 분석부는, 상기 각도별 행렬 영상들의 구경합성으로 인해 회절잡음을 감소시키면서 해상도를 향상시킬 수 있다.

[0022] 일 실시 예에서, 상기 이미지 분석부는 상기 복굴 이미지와 상기 3차원 단층 이미지를 위한 정보를 동시에 획득할 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시 예에 따른 편광 홀로그래픽 현미경 시스템을 이용한 샘플 영상 획득 방법은 상기 광원부에서 서로 다른 편광 방향을 갖는 레이저 빔들을 조사하는 단계; 상기 광 분배부에서 상기 레이저 빔들을 샘플광 및 기준광으로 분배하는 단계; 상기 샘플광의 각도를 조절하여 관측하고자 하는 샘플로 입사시켜 상기 샘플광에 상기 샘플에 대한 각도별 영상들을 형성시키는 단계; 상기 샘플광을 회절시켜 상기 각도별 영상들 각각에 다중 이미지들을 형성시키는 단계; 상기 각도별 영상들 각각에 상기 다중 이미지들이 형성된 상기 샘플광을 편광시키는 단계; 및 편광된 상기 샘플광과 상기 기준광을 합쳐서 각도별 간섭 영상들을 획득하는 단계를 포함하고, 상기 각도별 간섭 영상들 각각은 서로 다른 편광 상태를 갖는 복수의 간섭 이미지들을 포함할 수 있다.

[0024] 일 실시 예에서, 상기 편광 홀로그래픽 현미경 시스템은 상기 간섭 이미지 획득부에서 획득한 상기 각도별 간섭 영상들을 분석하는 이미지 분석부를 더 포함하고, 상기 이미지 분석부를 통해 상기 각도별 간섭 영상들을 존스 행렬 연산하여 상기 샘플에 대한 각도별 행렬 영상들을 획득하는 단계를 더 포함하고, 상기 각도별 행렬 영상들은 복수의 각도별 진폭 행렬 영상들 및 복수의 각도별 위상 영상들을 포함하고, 상기 각도별 진폭 행렬 영상들 각각은 복수의 진폭 이미지들을 포함하고, 상기 각도별 위상 행렬 영상들 각각은 복수의 위상 이미지들을 포함할 수 있다.

[0025] 일 실시 예에서, 상기 각도별 행렬 영상들을 구경합성하여 합성 진폭 행렬 영상과 합성 위상 행렬 영상을 획득하는 단계; 및 상기 합성 진폭 행렬 영상과 상기 합성 위상 행렬 영상을 행렬 대각화 연산하여 상기 샘플에 대한 복굴절 이미지를 획득하는 단계를 더 포함하고, 상기 합성 진폭 행렬 영상은 복수의 합성 진폭 이미지들을 포함하고, 상기 합성 위상 행렬 영상은 복수의 합성 위상 이미지들을 포함할 수 있다.

[0026] 일 실시 예에서, 상기 각도별 진폭 행렬 영상들 각각에서 대각행렬 요소인 각도별 진폭 이미지를 추출하여 각도별 진폭 이미지군을 획득하는 단계; 상기 각도별 위상 행렬 영상들 각각에서 대각행렬 요소인 각도별 위상 이미지를 추출하여 각도별 위상 이미지군을 획득하는 단계; 및 상기 각도별 진폭 이미지군과 상기 각도별 위상 이미지군을 이용하여 3차원 단층 이미지를 획득할 수 있다.

[0027] 본 발명의 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다. 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

발명의 효과

[0028] 본 발명의 실시 예들에 따른 편광 홀로그래픽 현미경 시스템은 샘플에 입사되는 샘플광의 각도를 다르게 설정하여 다양한 각도에서 편광된 영상을 획득할 수 있다.

[0029] 편광 홀로그래픽 현미경 시스템은 다양한 각도에서 편광된 영상들을 합성하여 회절에 의한 잡신호를 감소시켜 영상의 신호 대잡음비를 높일 수 있다. 이에 따라, 고 민감도의 이미지를 획득할 수 있다.

[0030] 편광 홀로그래픽 현미경 시스템은 다양한 각도에서 획득한 2차원 위상 이미지들을 이용하여 3차원 단층 이미지를 획득할 수 있다. 또한, 3차원 단층 이미지를 이용하여 샘플의 부피 정보를 획득할 수 있다.

[0031] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 청구범위의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 편광 홀로그래픽 현미경 시스템을 나타낸 개략도이다.

도 2는 도 1의 편광 홀로그래픽 현미경 시스템을 나타낸 블록도이다.

도 3은 도 1의 샘플 이미지 형성부에서 샘플광에 각도별 영상을 형성하는 모습을 나타낸 개략도이다.

도 4는 도 1의 다중 이미지 형성부에서 다중 이미지들을 형성하는 모습을 나타낸 개략도이다.

도 5는 도 1의 샘플 편광 필터부에서 샘플광을 편광시키는 모습을 나타낸 도면이다.

도 6은 도 1의 간섭 이미지 획득부에서 각도별 간섭 영상들을 형성하는 모습을 나타낸 개략도이다.

도 7a는 도 1의 간섭 이미지 획득부가 형성한 각도별 간섭 영상들을 나타낸 도면이다.

도 7b는 도 7a의 각도별 간섭 영상들을 존스 행렬 연산하여 획득된 각도별 행렬 영상들을 나타낸 도면이다.

도 8은 도 7b의 각도별 행렬 영상들을 구경합성하여 획득된 합성 행렬 영상들을 나타낸 도면이다.

도 9은 도 8의 합성 행렬 영상들을 이용하여 획득된 복굴절 이미지를 나타낸 도면이다.

도 10은 도 7b의 각도별 행렬 영상들의 구경합성 개수에 따른 영상 대조도와 신호대잡음비를 나타낸 그래프이다.

도 11은 단일 행렬 영상과 각도별 행렬 영상들을 이용하여 획득된 복굴절 이미지들을 나타낸 도면이다.

도 12는 도 7b의 각도별 행렬 영상들로부터 획득된 각도별 진폭 이미지군과 각도별 위상 이미지군을 나타낸 도면이다.

도 13은 도 12의 각도별 진폭 이미지군과 각도별 위상 이미지군을 이용하여 획득된 2차원 위상 이미지들을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0034] 본 명세서에서 기술하는 실시 예들은 본 발명의 이상적인 예시도인 단면도 및/또는 평면도들을 참고하여 설명될 것이다. 도면들에 있어서, 막 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다. 따라서, 도면에서 예시된 영역들은 개략적인 속성을 가지며, 도면에서 예시된 영역들의 모양은 소자의 영역의 특정 형태를 예시하기 위한 것이며 발명의 범주를 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서의 다양한 실시 예들에서 제1, 제2, 제3 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 여기에 설명되고 예시되는 실시 예들은 그것의 상보적인 실시 예들도 포함한다.

[0035] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시 예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자에 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0036] 본 명세서에서, “연결”은 언급된 구성요소들을 직접적으로 연결한다는 것과 중간 매체를 통해 간접적으로 연결한다는 것을 모두 포함하는 의미일 수 있다.

[0037] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0038] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 편광 홀로그래픽 현미경 시스템을 나타낸 개략도이다. 도 2는 도 1의 편광 홀로그래픽 현미경 시스템을 나타낸 블록도이다. 도 3은 도 1의 샘플 이미지 형성부에서 샘플광에 각도별 영상을 형성하는 모습을 나타낸 개략도이다. 도 4는 도 1의 다중 이미지 형성부에서 다중 이미지들을 형성하는 모습을 나타낸 개략도이다. 도 5는 도 1의 샘플 편광 필터부에서 샘플광을 편광시키는 모습을 나타낸 도면이다. 도 6은 도 1의 간섭 이미지 획득부에서 각도별 간섭 영상들을 형성하는 모습을 나타낸 개략도이다. 도 7a는 도 1의

간섭 이미지 획득부가 형성한 각도별 간섭 영상들을 나타낸 도면이다. 도 7b는 도 7a의 각도별 간섭 영상들을 존스 행렬 연산하여 획득된 각도별 행렬 영상들을 나타낸 도면이다. 도 8은 도 7b의 각도별 행렬 영상들을 구경 합성하여 획득된 합성 행렬 영상들을 나타낸 도면이다. 도 9은 도 8의 합성 행렬 영상들을 이용하여 획득된 복굴절 이미지를 나타낸 도면이다. 도 10은 도 7b의 각도별 행렬 영상들의 구경합성 개수에 따른 영상 대조도와 신호대잡음비를 나타낸 그래프이다. 도 11은 단일 행렬 영상과 각도별 행렬 영상들을 이용하여 획득된 복굴절 이미지들을 나타낸 도면이다. 도 12는 도 7b의 각도별 행렬 영상들로부터 획득된 각도별 진폭 이미지군과 각도별 위상 이미지군을 나타낸 도면이다. 도 13은 도 12의 각도별 진폭 이미지군과 각도별 위상 이미지군을 이용하여 획득된 2차원 위상 이미지들을 나타낸 도면이다.

[0039] 도 1 내지 도 14를 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 편광 홀로그래픽 현미경 시스템(10)은 샘플에 대한 고 민감도 복굴절 이미지와 샘플의 부피 측정이 가능한 3차원 단층 이미지를 획득할 수 있다.

[0040] 실시 예에서, 편광 홀로그래픽 현미경 시스템(10)은 광원부(100), 광 분배부(200), 샘플 이미지 형성부(300), 다중 이미지 형성부(400), 선형 편광 필터부(600), 간섭 이미지 획득부(700) 및 이미지 분석부(800)를 포함할 수 있다. 또한, 편광 홀로그래픽 현미경 시스템(10)은 광 확대부(500), 제1 빔 확장기(BF1), 제1 경로 블록(451), 및 제2 경로 블록을 더 포함할 수 있다.

[0041] 광원부(100)는 서로 다른 편광 방향을 갖는 레이저 빔들을 조사할 수 있다. 실시 예에서, 광원부(100)는 제1 레이저(110)와 제2 레이저(120)를 포함할 수 있다. 제1 레이저(110)는 제1 레이저 빔을 조사할 수 있다. 제2 레이저(120)는 제1 레이저 빔의 편광 방향과 직교하는 편광을 갖는 제2 레이저 빔을 조사할 수 있다.

[0042] 실시 예에서, 제1 레이저(110)는 제1 레이저 빔을 X축 방향(0도)으로 편광시키고, 제2 레이저(120)는 제2 레이저 빔을 Y축 방향(90도)으로 편광시킬 수 있다. 이와 달리 다른 실시 예에서, 제1 레이저(110)는 제1 레이저 빔을 Y축 방향(90도)으로 편광시키고, 제2 레이저(120)는 제2 레이저 빔을 X축 방향(0도)으로 편광시킬 수 있다. 또한, 제1 레이저(110)는 X축 방향으로 제1 레이저 빔을 조사할 수 있다. 제2 레이저(120)는 Y축 방향으로 제1 레이저 빔을 조사할 수 있다.

[0043] 실시 예에서, 광원부(100)는 복수의 레이저들을 통해 서로 다른 편광 방향을 갖는 레이저 빔들을 조사하는 것으로 설명하였으나, 광원부(100)는 하나의 레이저에서 조사된 레이저 빔이 광 분배기 및 편광 필터 등에 의해 서로 다른 편광 방향을 갖는 레이저 빔들로 분배되는 것도 포함하는 개념일 수 있다.

[0044] 광 분배부(200)는 광원부(100)에서 조사된 레이저 빔들을 샘플광 및 기준광으로 분배할 수 있다. 실시 예에서, 광 분배부(200)는 제1 광 분배기(210) 및 제2 광 분배기(220)를 포함할 수 있다. 여기서, 샘플광은 측정하고자 하는 샘플이 위치된 샘플 경로를 향하여 조사된 광이고, 기준광은 샘플이 위치되지 않은 임의의 기준 경로를 향하여 조사된 광을 의미할 수 있다.

[0045] 제1 광 분배기(210)는 제1 레이저(110)와 인접하게 위치될 수 있다. 실시 예에서, 제1 광 분배기(210)는 제1 레이저(110)로부터 X축 방향에 위치될 수 있다. 제1 광 분배기(210)는 제1 레이저 빔을 샘플광 및 기준광으로 분배할 수 있다. 설명의 편의를 위해 제1 광 분배기(210)에서 분배된 샘플광을 제1 샘플광(B11)으로 지칭하고, 제1 광 분배기(210)에서 분배된 기준광을 제1 기준광(B21)으로 지칭한다.

[0046] 실시 예에서, 제1 기준광(B21)은 제1 레이저 빔이 제1 광 분배기(210)에 의해 Y축 방향으로 반사된 광일 수 있다. 제1 샘플광(B11)은 제1 레이저 빔이 제1 광 분배기(210)를 투과하여 X축 방향으로 진행하는 광일 수 있다.

[0047] 제2 광 분배기(220)는 제2 레이저(120)와 인접하게 위치될 수 있다. 실시 예에서, 제2 광 분배기(220)는 제2 레이저(120)로부터 Y축 방향에 위치될 수 있다. 또한, 제2 광 분배기(220)는 제1 광 분배기(210)로부터 X축 방향에 위치될 수 있다. 제2 광 분배기(220)는 제2 레이저 빔을 샘플광 및 기준광으로 분배할 수 있다. 설명의 편의를 위해 제2 광 분배기(220)에서 분배된 샘플광을 제2 샘플광(B12)으로 지칭하고, 제2 광 분배기(220)에서 분배된 기준광을 제2 기준광(B22)으로 지칭한다.

[0048] 실시 예에서, 제2 기준광(B22)은 제2 레이저 빔이 제2 광 분배기(220)를 투과하여 Y축 방향으로 진행하는 광일 수 있다. 제2 샘플광(B12)은 제2 레이저 빔이 제2 광 분배기(220)에 의해 X축 방향으로 반사된 광일 수 있다. 또한, 제1 샘플광(B11)은 제1 광 분배기(210)를 투과하여 제2 샘플광(B12)과 중첩될 수 있다. 설명의 편의를 위해 제1 샘플광(B11)과 제2 샘플광(B12)이 중첩된 것을 중첩 샘플광(B1)이라고 지칭한다.

[0049] 제1 샘플광(B11)과 제2 샘플광(B12)은 물리적으로 동일한 경로(이하, 샘플 경로)를 공유하더라도, 서로 다른 편광 방향을 가지고 있어 광학적으로 서로 간섭하지 않을 수 있다.

[0050] 제1 빔 확장기(BF1)는 광 분배부(200)와 샘플 이미지 형성부(300) 사이에 위치될 수 있다. 또한, 제1 빔 확장기(BF1)는 샘플 경로 상에 위치될 수 있다. 제1 빔 확장기(BF1)는 광 분배부(200)에서 분배된 중첩 샘플광(B1)을 확장시킬 수 있다. 이에 따라, 중첩 샘플광(B1)의 폭이 확대될 수 있다.

[0051] 샘플 이미지 형성부(300)는 광 분배부(200)에서 분배된 중첩 샘플광(B101)의 각도를 조절하여 샘플(SP)에 입사시킬 수 있다. 샘플 이미지 형성부(300)는 샘플(SP)에 입사되는 샘플광(B101)의 각도 조절을 통해 샘플광(B101)에 샘플(SP)에 대한 각도별 영상들(Θ)을 형성할 수 있다. 실시 예에서, 샘플 이미지 형성부(300)로 입사되는 중첩 샘플광(B101)은 제1 빔 확장기(BF1)를 통해 확장된 빔을 수 있다. 샘플 이미지 형성부(300)는 광 분배부(200)와 다중 이미지 형성부(400) 사이에 위치될 수 있다. 또한, 샘플 이미지 형성부(300)는 샘플 경로 상에 위치될 수 있다.

[0052] 샘플 이미지 형성부(300)는 갈바노 스캐너(310), 조명용 렌즈(320), 및 샘플 거치대(330)를 포함할 수 있다. 실시 예에서, 샘플 이미지 형성부(300)는 제1 반사판(M1) 및 제1 렌즈(L1), 제2 렌즈(L2)를 더 포함할 수 있다.

[0053] 샘플 거치대(330)는 측정하고자 하는 대상인 샘플(SP)을 거치할 수 있다. 샘플 거치대(330)는 조명용 렌즈(320)와 대물 렌즈(340) 사이에 위치될 수 있다.

[0054] 갈바노 스캐너(310)는 광 분배부(200)에서 분배되어 샘플(SP)로 입사되는 중첩 샘플광(B1)의 각도를 조절할 수 있다. 실시 예에서, 갈바노 스캐너(310)는 인가되는 전압에 따라 중첩 샘플광(B1)의 광축을 X축 방향과 Y축 방향으로 변화시킬 수 있다. 즉, 갈바노 스캐너(310)는 X축 스캐너(311)와 Y축 스캐너(312)를 포함하는 2축 갈바노 스캐너일 수 있다. 이에 따라, 샘플(SP)로 입사되는 중첩 샘플광(B1)의 각도가 변화될 수 있다.

[0055] 실시 예에서, 갈바노 스캐터에 의해 각도가 조절된 중첩 샘플광(B101)은 제1 반사판(M1)에 의해 제1 렌즈를 향해 반사될 수 있다. 제1 렌즈(L1)를 투과한 중첩 샘플광(B101)은 조명용 렌즈(320)에 위치된 초점으로 집중될 수 있다.

[0056] 조명용 렌즈(320)는 입사된 중첩 샘플광(B101)을 모아서 샘플로 조사할 수 있다. 실시 예에서 조명용 렌즈(320)는 집속 렌즈(condenser lens) 일 수 있다.

[0057] 샘플(SP)로 입사된 중첩 샘플광(B101)은 샘플(SP)을 통과하여 대물 렌즈(340)를 향해 이동할 수 있다. 샘플(SP)을 통과한 중첩 샘플광(B102)에는 샘플(SP)에 대한 각도별 영상들(Θ)이 형성될 수 있다. 실시 예에서, 각도별 영상들(Θ)은 제1 내지 제5 각도별 영상들을 포함할 있다. 도면의 제약으로 인해 도 3에는 제1 각도별 영상(Θ1), 제2 각도별 영상(Θ2) 및 제3 각도별 영상(Θ3)만 도시하였다. 이하 각도별 영상들(Θ)에 대한 설명은 하나의 각도별 영상을 기준으로 설명하기로 한다. 또한, 각도별 영상(Θ)은 단일 이미지(X)를 포함할 수 있다(도 4 참조).

[0058] 대물 렌즈(340)는 샘플(SP)을 통과한 중첩 샘플광(B102)에 대한 확대상을 만들 수 있다. 제2 렌즈(L2)는 샘플 경로 상에 위치될 수 있다. 제2 렌즈(L2)는 대물 렌즈(340)를 통과한 중첩 샘플광(B102)을 진행 방향과 평행하게 만들 수 있다. 실시 예에서, 제2 렌즈(L2)를 통과한 중첩 샘플광(B102)은 제2 반사판(M2)에 의해 다중 이미지 형성부(400)로 입사될 수 있다.

[0059] 제1 경로 블록(451)은 다중 이미지 형성부(400)와 샘플 이미지 형성부(300) 사이에 위치될 수 있다. 실시 에에서, 제1 경로 블록(451)은 제2 렌즈(L2)와 제3 렌즈(L3) 사이에 위치될 수 있다. 제1 경로 블록(451)은 중복 샘플광(B102)에 형성된 각도별 영상들 각각에 대한 이미지 영역을 결정할 수 있다. 실시 예에서, 각도별 영상들 각각에 대한 이미지 영역은 사각형으로 결정될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0060] 다중 이미지 형성부(400)는 샘플 이미지 형성부(300)를 통과한 중첩 샘플광(B102)을 회절시킬 수 있다. 이에 따라, 다중 이미지 형성부(400)는 각도별 영상들 각각에 다중 이미지들을 형성할 수 있다. 예를 들면, 각도별 영상들 각각(Θ)은 단일 이미지(X)를 포함하고 있었으나, 중복 샘플광(B103)이 다중 이미지 형성부(400)를 통과함으로써, 각도별 영상들 각각(Θ)에 포함된 단일 이미지(X)가 복제되어 각도별 영상들 각각(Θ`)에 다중 이미지들(X1~X4)이 형성될 수 있다. 여기서, 각도별 영상들(Θ`) 각각에 다중 이미지들(X1~X4)이 형성된다는 것은 각각의 각도별 영상에 다중 이미지들이 형성 또는 포함되는 것을 의미할 수 있다.

[0061] 다중 이미지 형성부(400)는 샘플 경로 상에 위치될 수 있다. 실시 예에서, 다중 이미지 형성부(400)는 이차원 회절격자(420), 제3 렌즈(L3) 및 제4 렌즈(L4)를 포함할 수 있다.

[0062] 제3 렌즈(L3)와 제4 렌즈(L4)는 4-f 시스템 형태로 구성될 수 있다. 4-f 시스템은 퓨리에 변환을 응용하여 저

잡음비를 가진 상을 획득하는 것이 가능하다. 제3 렌즈(L3)와 제4 렌즈(L4)는 서로 이격될 수 있다.

[0063] 이차원 회절격자(420)는 샘플 이미지 형성부(300)를 통과한 중첩 샘플광(B103)을 회절시킬 수 있다. 이에 따라, 이차원 회절격자(420)는 중첩 샘플광(B103)에 형성된 각도별 영상들 각각(Θ)에 포함된 단일 이미지(X)를 복수개로 복제할 수 있다.

[0064] 실시 예에서, 이차원 회절격자(420)는 XY평면에 평판형으로 마련된 회절격자(420)로 마련될 수 있다. 이차원 회절격자(420)는 제3 렌즈(L3)와 제4 렌즈(L4) 사이에 위치될 수 있다. 이차원 회절격자(420)는 제3 렌즈(L3)와 제4 렌즈(L4) 사이에 중첩 샘플광(B103)의 초점이 맺히는 면, 즉 푸리에 면(Fourier plane) 상에 위치될 수 있다. 이에 따라, 이차원 회절격자(420)를 통과한 중첩 샘플광(B104)은 회절 현상에 의해 X방향 및/또는 Y방향으로 복수개로 분할될 수 있다.

[0065] 실시 예에서, 중첩 샘플광(B103)에 형성된 각도별 영상들 각각(Θ)은 0차, 1차 및 -1차 회절될 수 있다. 이에 따라, 각도별 영상들 각각(Θ)에 포함된 단일 이미지(X)는 9개로 복제될 수 있다. 이에 따라, 각도별 영상들 각각(Θ`)은 9개의 다중 이미지들을 가질 수 있다.

[0066] 실시 예에서는 추후 설명할 존스 행렬 연산을 위해서는 4개의 다중 이미지들만 필요하므로, 영상 블록(미도시)은 이차원 회절격자(420)를 통해 회절된 중첩 샘플광(B104)의 일부를 차단할 수 있다. 이에 따라, 각도별 영상들 각각(Θ`)에 포함된 9개의 다중 이미지들 중 4개의 다중 이미지들만(X1~X4)이 중첩 샘플광(B104)에 형성될 수 있다.

[0067] 도 4를 참조하여 다시 설명하면, 중복 샘플광(B103)에 형성된 각도별 영상들 각각(Θ)에 포함된 단일 이미지(X)는 이차원 회절격자(420)에 의하여 X축 방향으로 -1차와 1차만큼 복제될 수 있다. 또한, 중복 샘플광(B103)에 형성된 각도별 영상들 각각(Θ)에 포함된 단일 이미지(X)는 이차원 회절격자(420)에 의하여 Y축 방향으로 -1차와 1차만큼 복제될 수 있다. 이에 따라, 각도별 영상들 각각(Θ`)에 포함된 9개의 다중 이미지들이 중복 샘플광(B104)에 형성될 수 있다. 다만, 영상 블록(미도시)에 의해 9개의 다중 이미지들 중 4개의 다중 이미지들(X1~X4)만 중복 샘플광(B104)에 형성될 수 있다.

[0068] 이때, 이차원 회절격자(420)에 의하여 복제된 각도별 다중 이미지들의 각각은 서로 동일한 세기 신호를 나타내고, 서로 동일한 위상을 갖는 이미지로 될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0069] 이와 달리, 다른 실시 예에서, 중첩 샘플광(B103)에 형성된 각도별 영상들 각각(Θ)은 0차 및 1차 회절될 수 있다. 이에 따라, 각도별 영상들 각각(Θ)에 포함된 단일 이미지(X)는 4개로 복제될 수 있다. 이에 따라, 각도별 영상들 각각은 4개의 다중 이미지들을 가질 수 있고, 영상 블록은 생략될 수 있다.

[0070] 다중 이미지 형성부(400)를 통과한 중복 샘플광(B104)은 선형 편광 필터부(600)로 입사될 수 있다. 실시 예에서, 다중 이미지 형성부(400)를 통과한 중복 샘플광(B104)은 제3 반사판(M3)과 제4 반사판(M4)에 의해 반사되어 선형 편광 필터부(600)로 입사될 수 있다.

[0071] 선형 편광 필터부(600)는 다중 이미지 형성부(400)를 통과한 중복 샘플광(B104)을 편광시킬 수 있다. 선형 편광 필터부(600)는 제1 편광 필터(610) 및 제2 편광 필터(620)를 포함할 수 있다. 제1 편광 필터(610)와 제2 편광 필터(620)는 서로 다른 편광 축을 가질 수 있다.

[0072] 실시 예에서, 제1 편광 필터(610)는 +45도의 편광 축을 가질 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 실시 예에서, 제2 편광 필터(620)는 제1 편광 필터(610)로부터 Y축 방향에 위치될 수 있다. 또한, 제2 편광 필터(620)는 -45도의 편광 축을 가질 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0073] 제1 편광 필터(610)에는 다중 이미지 형성부(400)를 통과한 중복 샘플광(B104)의 일부가 통과할 수 있다. 이에 따라, 다중 이미지 형성부(400)를 통과한 중복 샘플광(B104)의 일부는 제1 편광 필터(610)에 의해 편광될 수 있다.

[0074] 제2 편광 필터(620)에는 다중 이미지 형성부(400)를 통과한 중복 샘플광(B104)의 일부가 통과할 수 있다. 이에 따라, 다중 이미지 형성부(400)를 통과한 중복 샘플광(B104)의 일부는 제2 편광 필터(620)에 의해 편광될 수 있다.

[0075] 도 5를 참조하면, 4개의 다중 이미지들 중 +Y축 부분의 2개(X1, X2)가 제1 편광 필터(610)를 통과하고, 4개의 다중 이미지들 중 -Y축 부분의 2개(X3, X4)가 제2 편광 필터(620)를 통과할 수 있다. 이에 따라, 간섭 이미지 획득부(700)에서는 획득되는 각도별 간섭 영상들 각각(Θ``)은 서로 다른 편광 상태를 갖는 간섭 이미지들

(X1~X4)을 획득할 수 있으며, 편광 홀로그래픽 현미경 시스템(10)은 샘플의 편광 특성을 측정할 수 있다.

[0076] 선형 편광 필터부(600)를 통과한 중복 샘플광(B105)은 간섭 이미지 획득부(700)로 입사될 수 있다. 실시 예에서는 선형 편광 필터부(600)를 통과한 중복 샘플광(B105)은 제5 렌즈(L5)를 통과하여 간섭 이미지 획득부(700)로 입사될 수 있다.

[0077] 광 분배부(200)에서 분배된 제1 기준광(B21)과 제2 기준광(B22)은 광 확대부(500)로 입사될 수 있다. 광 확대부(500)는 제1 기준광(B21)과 제2 기준광(B22)을 확대시킬 수 있다. 광 확대부(500)는 제2 빔 확장기(BF2), 제3 빔 확장기(BF3), 제3 경로 블록(453), 제4 경로 블록(455) 및 제4 광 분배기(550)를 포함할 수 있다. 또한, 실시 예에서, 광 확대부(500)는 제6 렌즈(L6), 제7 렌즈(L7) 및 제5 반사판(M5)을 더 포함할 수 있다.

[0078] 제2 빔 확장기(BF2)는 제1 광 분배기(210)로부터 분배된 제1 기준광(B21)을 확장시킬 수 있다. 실시 예에서, 제2 빔 확장기(BF2)는 제1 광 분배기(210)로부터 Y축 방향에 위치될 수 있다.

[0079] 제3 빔 확장기(BF3)는 제2 광 분배기(220)로부터 분배된 제2 기준광(B22)을 확장시킬 수 있다. 실시 예에서, 제3 빔 확장기(BF3)는 제2 광 분배기(220)로부터 Y축 방향에 위치될 수 있다.

[0080] 제2 빔 확장기(BF2)를 통과한 제1 기준광(B21)과 제3 빔 확장기(BF3)를 통과한 제2 기준광(B22)은 제4 광 분배기(550)로 입사될 수 있다.

[0081] 실시 예에서, 제4 광 분배기(550)와 제2 빔 확장기(BF2) 사이에는 제6 렌즈(L6), 제3 경로 블록(453) 및 제5 반사판(M5)이 위치될 수 있다. 제6 렌즈는 제1 기준광(B21)을 평행광으로 변환시킬 수 있다. 제3 경로 블록(453)은 제1 기준광(B21)의 이미지 영역을 결정할 수 있다. 실시 예에서, 제1 기준광(B21)의 이미지 영역은 +X 부분의 반원 형상으로 결정될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 제3 경로 블록(453)을 통과한 제1 기준광(B21)은 제5 반사판(M5)에 의해 반사되어 제4 광 분배기(550)로 입사될 수 있다.

[0082] 실시 예에서, 제4 광 분배기(550)와 제3 빔 확장기(BF3) 사이에는 제7 렌즈(L7)와 제4 경로 블록(455)이 위치될 수 있다. 제7 렌즈는 제2 기준광(B22)을 평행광으로 변환시킬 수 있다. 제4 경로 블록(455)은 제2 기준광(B22)의 이미지 영역을 결정할 수 있다. 실시 예에서, 제2 기준광(B22)의 이미지 영역은 -X부분의 반원 형상으로 결정될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 제4 경로 블록(455)을 통과한 제2 기준광(B22)은 제4 광 분배기(550)로 입사될 수 있다.

[0083] 제4 광 분배기(550)는 제1 기준광(B21)을 투과시킬 수 있고, 제2 기준광(B22)을 반사시킬 수 있다. 이에 따라, 제1 기준광(B21)과 제2 기준광(B22)은 간섭 이미지 획득부(700)를 향해 조사될 수 있다. 제1 기준광(B21)과 제2 기준광(B22)은 제4 광 분배기(550)에 의해 물리적으로 동일한 경로(이하, 기준 경로)를 공유하더라도, 서로 다른 편광 방향과 이미지 영역을 가지고 있어 광학적으로 서로 간섭하지 않을 수 있다. 즉, 제1 기준광(B21)과 제2 기준광(B22)은 서로 중첩될 수 있다. 설명의 편의를 위해 제4 광 분배기(550)에서 중첩된 제1 기준광(B21)과 제2 기준광(B22)이 중첩된 것을 중첩 기준광(B20)이라고 지칭한다. 실시 예에서, 중첩 기준광(B20)에는 2개의 반원 형상의 이미지들(B201, B202)을 포함할 수 있다.

[0084] 실시 예에서, 중첩 기준광(B20)은 제7 렌즈(L7)와 제8 렌즈(L8)를 투과하고, 제6 반사판(M6)에 의해 반사되어 간섭 이미지 획득부(700)로 입사될 수 있다.

[0085] 간섭 이미지 획득부(700)는 선형 편광 필터부(600)를 통과한 중복 샘플광(B105)과 중복 기준광(B20)을 간섭시켜 복수의 각도별 간섭 영상들(A)을 획득할 수 있다. 간섭 이미지 획득부(700)는 제3 광 분배기(710)와 이미지 센서(720)를 포함할 수 있다.

[0086] 제3 광 분배기(710)는 일측에서 입사되는 중복 샘플광(B105) 및 타측에서 입사되는 중복 기준광(B20)을 합칠 수 있다. 이때, 제3 광 분배기(710)에 의해 중복 샘플광(B105)과 중복 기준광(B20)은 서로 평행하게 전달될 수 있다. 다시 말하면, 일 실시 예에 따른 편광 홀로그래픽 현미경 시스템(10)은 동일 선상 구성으로 이루어질 수 있다.

[0087] 제3 광 분배기(710)에서 합쳐진 중복 샘플광(B105) 및 중복 기준광(B20)은 간섭 현상을 일으키면서 이미지 센서(720)를 향해 전달될 수 있다. 이미지 센서(720)는 각도별 간섭 영상들(A)을 획득할 수 있다. 실시 예에서, 이미지 센서(720)는 CCD, CMOS 일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0088] 도 6을 참조하면, 중복 샘플광(B105)에 형성된 4개의 다중 이미지들(X1~X4) 및 중복 기준광(B20)에 형성된 2개의 반원 이미지들(B201, B202)은 간섭 현상이 발생될 수 있다. 다만, +X부분의 반원 이미지(B201)는 제1 레이저

빔에 의해 형성된 것이므로, 다중 이미지들 중 제2 레이저 빔에 의해 형성된 것(B12)은 +X부분의 반원 이미지와 간섭하지 않아 제거될 수 있다.

[0089] 또한, -X부분의 반원 이미지(B202)는 제2 레이저 빔에 의해 형성된 것이므로, 다중 이미지들 중 제1 레이저 빔에 의해 형성된 것(B11)은 -X부분의 반원 이미지와 간섭하지 않아 제거될 수 있다. 이에 따라, 간섭 이미지 획득부(700)는 서로 다른 편광 상태를 갖는 각도별 간섭 이미지들을(X1~X4) 획득할 수 있다.

[0090] 도 5와 도 6을 참조하여 상세히 설명하면, 각도별 영상들 각각(Θ``)은 제1 다중 이미지(X1), 제2 다중 이미지(X2), 제3 다중 이미지(X3) 및 제4 다중 이미지(X4)를 포함할 수 있다(도 5 참조).

[0091] 제1 다중 이미지(X1)와 제2 다중 이미지(X2) 각각은 +45도의 편광 축을 가지고, 제1 샘플광(B11)에 의한 영상 정보와 제2 샘플광(B12)에 의한 영상 정보를 포함할 수 있다.

[0092] 제3 다중 이미지(X3)와 제4 다중 이미지(X4) 각각은 -45도의 편광 축을 가지고, 제1 샘플광(B11)에 의한 영상 정보와 제2 샘플광(B12)에 의한 영상 정보를 포함할 수 있다.

[0093] +X부분의 반원 이미지(B201)는 제2 및 제4 다중 이미지들(X2, X4)에 포함된 제2 샘플광(B12)에 의한 영상 정보와 간섭하지 않고, 제1 샘플광(B11)에 의한 영상 정보와 간섭할 수 있다.

[0094] -X부분의 반원 이미지(B202)는 제1 및 제4 다중 이미지들(X1, X4)에 포함된 제1 샘플광(B11)에 의한 영상 정보와 간섭하지 않고, 제2 샘플광(B12)에 의한 영상 정보와 간섭할 수 있다.

[0095] 앞에서 전술한 간섭 현상에 의해 각도별 간섭 영상들 각각(A)은 복수의 간섭 이미지들을 포함할 수 있다. 실시예에서, 각도별 간섭 영상들 각각(A)은 제1 내지 제4 간섭 이미지들(X1~X4)을 포함할 수 있다.

[0096] 도 6에 도시된 바와 같이, 제1 간섭 이미지(X1)는 제1 다중 이미지와 대응되고, +45도의 편광 축을 가지며, 제2 샘플광(B12)에 의한 영상 정보에 대한 간섭 영성 정보를 포함할 수 있다. 제2 간섭 이미지(X2)는 제2 다중 이미지와 대응되고, +45도의 편광 축을 가지며, 제1 샘플광(B11)에 의한 영상 정보에 대한 간섭 영성 정보를 포함할 수 있다. 제3 간섭 이미지(X3)는 제3 다중 이미지와 대응되고, -45도의 편광 축을 가지며, 제2 샘플광(B12)에 의한 영상 정보에 대한 간섭 영성 정보를 포함할 수 있다. 제4 간섭 이미지(X4)는 제4 다중 이미지와 대응되고, -45도의 편광 축을 가지며, 제1 샘플광(B11)에 의한 영상 정보에 대한 간섭 영성 정보를 포함할 수 있다. 이에 따라, 제1 내지 제4 간섭 이미지들(X1~X4)은 서로 다른 편광 상태를 가질 수 있다. 즉, 각도별 간섭 영상들 각각(A)은 서로 다른 편광 상태를 갖는 복수의 간섭 이미지들을 가질 수 있다.

[0097] 간섭 이미지 획득부(700)는 획득된 각도별 간섭 영상들(A)을 이미지 분석부(800)로 전송할 수 있다.

[0098] 이미지 분석부(800)는 간섭 이미지 획득부(700)에서 획득한 각도별 간섭 영상들(A)을 이용하여 샘플에 대한 복굴절 이미지와 3차원 단층 이미지를 획득할 수 있다. 예를 들면, 이미지 분석부는 복굴절 이미지와 3차원 단층 이미지를 위한 정보를 동시에 획득할 수 있고, 획득된 정보들을 이용하여 복굴절 이미지와 3차원 단층 이미지를 획득할 수 있다. 실시 예에서, 이미지 분석부(800)는 연산 등을 진행할 수 있는 마이크로 컨트롤러일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0099] 이미지 분석부(800)는 각도별 간섭 영상들(A)을 존스 행렬 연산하여 샘플에 대한 각도별 행렬 영상들을 획득할 수 있다. 각도별 행렬 영상들(A)은 복수의 각도별 진폭 행렬 영상들 및 복수의 각도별 위상 영상들을 포함할 수 있다. 각도별 진폭 행렬 영상들 각각은 복수의 진폭 이미지들을 포함하고, 각도별 위상 행렬 영상들 각각은 복수의 위상 이미지들을 포함할 수 있다.

[0100] 도 7a와 도 7b를 참조하여 설명하면, 이미지 분석부(800)는 간섭 이미지 획득부(700)로부터 복수의 각도별 간섭 영상들(A)을 수신할 수 있다. 실시 예에서, 이미지 분석부(800)는 제1 내지 제5 각도별 간섭 영상들(A1~A5)을 수신할 수 있다.

[0101] 제1 내지 제5 각도별 간섭 영상들(A1~A5)의 각각은 서로 다른 편광 상태를 갖는 4개의 간섭 이미지들을 포함할 수 있다. 제1 각도별 간섭 영상(A1)은 제1-1 간섭 이미지(X11), 제1-2 간섭 이미지(X12), 제1-3 간섭 이미지(X13) 및 제1-4 간섭 이미지(X14)를 포함할 수 있다.

[0102] 제1 각도별 간섭 영상(A1)은 서로 다른 편광 상태를 갖는 4개의 간섭 이미지들(X11~X14)을 포함하고 있기 때문에, 이미지 분석부(800)는 아래의 식1의 존스 행렬 연산을 통해 샘플에 대한 제1 각도별 진폭 행렬 영상(A11)과 제1 각도별 위상 행렬 영상(A21)을 획득할 수 있다.

[0103] 식1) $\begin{pmatrix} A1 & A2 \\ A21 & A22 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X11+X21 & X22-X12 \\ X11-X21 & X12+X22 \end{pmatrix}$

[0104] 제1 진폭 행렬 영상(A11)은 2X2 행렬의 진폭 이미지들(X111~X114)을 포함할 수 있다. 제1 각도별 진폭 행렬 영상(A11)은 제1-1 진폭 이미지(X111), 제1-2 진폭 이미지(X112), 제1-3 진폭 이미지(X113) 및 제1-4 진폭이미지(X114)를 포함할 수 있다.

[0105] 제1 각도별 위상 행렬 영상(A21)은 2X2 행렬의 위상 이미지들을 포함할 수 있다. 제1 각도별 위상 행렬 영상(A21)은 제1-1 위상 이미지(X211), 제1-2 위상 이미지(X212), 제1-3 위상 이미지(X213) 및 제1-4 위상 이미지(X214)를 포함할 수 있다.

[0106] 또한, 이미지 분석부(800)는 제2 내지 제5 각도별 간섭 영상(A2~A5)도 앞에서 설명한 방법과 동일한 방법을 이용하여 제2 내지 제5 각도별 진폭 행렬 영상들(A12~A15)과 제2 내지 제5 각도별 위상 행렬 영상들(A22~A25)을 획득할 수 있다.

[0107] 이미지 분석부(800)는 각도별 행렬 영상들을 구경합성하여 합성 진폭 행렬 영상과 합성 위상 행렬 영상을 획득할 수 있다. 합성 진폭 행렬 영상은 복수의 합성 진폭 이미지들을 포함할 수 있다. 또한, 합성 위상 행렬 영상은 복수의 합성 위상 이미지들을 포함할 수 있다.

[0108] 도 7b 및 도 8을 참조하면, 이미지 분석부(800)는 각도별 진폭 행렬 영상들(A11~A15)을 구경합성하여 합성 진폭 행렬 영상(C1)을 획득할 수 있다. 합성 진폭 행렬 영상(C1)은 복수의 합성 진폭 이미지들을 포함할 수 있다. 실시 예에서, 합성 진폭 행렬 영상(C1)은 2X2 행렬의 합성 진폭 이미지들(C11~C14)을 포함할 수 있다. 즉, 합성 진폭 행렬 영상(C1)은 제1 내지 제4 합성 진폭 이미지들(C11~C14)을 포함할 수 있다.

[0109] 또한, 이미지 분석부(800)는 각도별 위상 행렬 영상들(A21~A25)을 구경합성하여 합성 위상 행렬 영상(C2)을 획득할 수 있다. 합성 위상 행렬 영상(C2)은 복수의 합성 위상 이미지들을 포함할 수 있다. 실시 예에서, 합성 위상 행렬 영상(C2)은 2X2 행렬의 합성 위상 이미지들을 포함할 수 있다. 즉, 합성 위상 행렬 영상(C2)은 제1 내지 제4 합성 위상 이미지들(C21~C24)을 포함할 수 있다.

[0110] 이미지 분석부(800)는 합성 진폭 행렬 영상(C1)과 합성 위상 행렬 영상(C2)을 행렬 대각화 연산하여 샘플에 대한 복굴절 이미지를 획득할 수 있다. 실시 예에서, 합성 진폭 이미지들(C11~C14)과 합성 위상 이미지들(C21~C24)은 2X2 행렬로 이루어져 있기 때문에, 이미지 분석부(800)는 행렬 대각화 연산을 통해 하나의 복굴절 이미지를 획득할 수 있다.

[0111] 도 10를 참조하면, 여러 각도에서 측정된 각도별 행렬 영상들의 합성 개수가 증가할수록 영상 대조도(Contrast)와 신호대잡음비(SNR)가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[0112] 도 11을 참조하면, (a)는 단일 행렬 영상을 이용한 복굴절 이미지이고, (b)는 합성 행렬 영상을 이용한 복굴절 이미지이다. 단일 행렬 영상에 포함된 다중 이미지들에는 일정 수준의 회절 잡음이 포함되어 있다. 하지만, 합성 행렬 영상에 포함된 합성 이미지들에는 구경합성 효과에 의해 회절 잡음이 감소되어 해상도가 향상되었음을 확인할 수 있다. 예를 들면, 이미지 분석부는 각도별 행렬 영상들의 구경합성으로 인해 회절잡음을 감소시키면서 해상도를 향상시킬 수 있다. 이에 따라, 편광 홀로그래픽 현미경 시스템(10)은 각도별 행렬 영상들을 구경합성하여 획득한 합성 행렬 영상을 이용하기 때문에, 고 해상도의 복굴절 이미지를 획득할 수 있다. 즉, 편광 홀로그래픽 현미경 시스템(10)은 광학계를 통해 세포 수준의 영상화가 가능한 고 민감도 복굴절 이미지를 획득할 수 있다.

[0113] 도 7b 및 도 12를 참조하면, 이미지 분석부(800)는 각도별 진폭 행렬 영상들(A11~A15) 각각에서 대각 행렬요소인 각도별 진폭 이미지(X111, X121, X131, X141)를 추출하여 각도별 진폭 이미지군(R1)을 획득할 수 있다. 대각 행렬 요소인 각도별 진폭 이미지들(X111, X121, X131, X141)은 0도의 선형 편광된 샘플광이 샘플을 투과후 0도 선형 편광 필터에 의해 출력된 이미지들이거나 90도의 선형 편광된 샘플광이 샘플을 투과후 90도 선형 편광 필터에 의해 출력된 이미지들일 수 있다. 이에 따라, 대각 행렬 요소인 각도별 진폭 이미지들(X111, X121, X131, X141)은 샘플에 의해 편광 상태가 변화하지 않은 이미지들일 수 있다. 이는 일반적인 편광 홀로그래픽 현미경 시스템(10)에서 얻을 수 있는 광의 세기 및 위상 정보와 동일할 수 있다.

[0114] 이미지 분석부(800)는 각도별 위상 행렬 영상들(A21~A25) 각각에서 대각행렬요소인 각도별 위상 이미지(X211, X221, X231, X241)를 추출하여 각도별 위상 이미지군(R2)를 획득할 수 있다. 도면의 제약에 의해 각도별 진곡 이미지군(R1)에서 제5 각도별 진폭 행렬 영상에서 추출한 것과 각도별 위상 이미지군(R2)에서 제5 각도별 위상

행렬 영상에서 추출한 것은 생략하였다.

[0116] 도 13에서 도시된 바와 같이, 이미지 분석부(800)는 각도별 진폭 이미지군(R1)과 각도별 위상 이미지군(R2)을 이용하여 여러 각도에서 측정한 2D 위상 이미지들을 획득할 수 있다. 또한, 이미지 분석부(800)는 2D 위상 이미지들을 이용하여 3차원 단층 이미지를 획득할 수 있고, 정량적 위상 단층 영상 복원법을 통해 샘플의 부피 정보를 획득할 수 있다.

[0117] 상세히 설명하면, 이미지 분석부(800)는 제1 진폭 행렬 영상에서 제1-1 진폭 이미지, 제2 진폭 행렬 영상에서 제2-1 진폭 이미지, 제3 진폭 행렬 영상에서 제3-1 진폭 이미지, 제4 진폭 행렬 영상에서 제4-1 진폭 이미지 및 제5 진폭 행렬 영상에서 제5-1 진폭 이미지를 추출할 수 있다. 이미지 분석부(800)는 추출된 진폭 이미지들을 모은 각도별 진폭 이미지군을 획득할 수 있다.

[0118] 또한, 이미지 분석부(800)는 각도별 위상 행렬 영상들 각각에서 대각 행렬요소인 각도별 위상 이미지를 추출하여 각도별 위상 이미지군을 획득할 수 있다. 실시 예에서, 이미지 분석부(800)는 제1 위상 행렬 영상에서 제1-1 위상 이미지, 제2 위상 행렬 영상에서 제2-1 위상 이미지, 제3 위상 행렬 영상에서 제3-1 위상 이미지, 제4 위상 행렬 영상에서 제4-1 위상 이미지 및 제5 위상 행렬 영상에서 제5-1 위상 이미지를 추출할 수 있다. 이미지 분석부(800)는 추출된 위상 이미지들을 모은 각도별 위상 이미지군을 획득할 수 있다.

[0119] 이미지 분석부(800)는 각도별 진폭 이미지군과 각도별 위상 이미지군을 이용하여 3차원 단층 이미지를 획득할 수 있다. 이미지 분석부(800)는 각도별 진폭 이미지군과 각도별 위상 이미지군을 이용하여 여러 각도에서 측정한 각도별 2차원 위상 이미지들(도 13 참조)을 획득할 수 있다. 이미지 분석부(800)는 각도별 2차원 위상 이미지들을 이용하여 3차원 단층 이미지를 획득할 수 있다.

[0120] 이하 도 1 내지 도 13을 참조하여 편광 홀로그래픽 현미경 시스템(10)을 이용하여 샘플 영상 획득 방법에 대해서 설명하기로 한다.

[0121] 편광 홀로그래픽 현미경 시스템(10)의 광원부(100)는 서로 다른 편광을 갖는 레이저 빔들을 광 분배부(200)로 조사할 수 있다.

[0122] 조사된 레이저 빔들은 광 분배부(200)에서 샘플광 및 기준광으로 분배될 수 있다. 이때 샘플광은 서로 다른 편광을 갖는 레이저 빔들을 포함할 수 있다.

[0123] 광 분배부(200)에서 분배된 샘플광은 샘플 이미지 형성부(300)로 입사될 수 있다. 샘플 이미지 형성부(300)는 갈바노 스캐너(310)를 통해 샘플광의 각도를 조절할 수 있다. 이에 따라, 샘플광은 다양한 각도 샘플에 입사될 수 있다. 샘플에 입사된 다양한 각도로 입사된 샘플광에는 샘플에 대한 각도별 영상들이 형성될 수 있다.

[0124] 실시 예에서, 샘플 이미지 형성부(300)를 통과한 샘플광은 제1 경로 블록(451)을 통해 샘플광에 포함된 이미지 영역을 결정할 수 있다. 예를 들면, 샘플광에 포함된 이미지 크기가 결정될 수 있다. 이와 달리, 다른 실시 예에서 샘플광에 포함된 이미지 영역을 결정하는 것이 생략될 수 있다.

[0125] 샘플 이미지 형성부(300)를 통과한 샘플광은 다중 이미지 형성부(400)로 입사될 수 있다. 다중 이미지 형성부(400)는 입사된 샘플광을 회절시켜 각도별 영상들 각각에 다중 이미지들을 형성시킬 수 있다. 예를 들면, 다중 이미지 형성부(400)로 입사된 샘플광에는 복수의 각도별 영상들을 포함할 수 있다. 복수의 각도별 영상들 각각은 단일 이미지를 포함할 수 있다. 하지만, 샘플광이 다중 이미지 형성부(400)의 이중 회절격자(420)에 의해 회절되면서 단일 이미지가 복제될 수 있다. 이에 따라, 각도별 영상들 각각에 복수의 다중 이미지들이 형성될 수 있다.

[0126] 실시 예에서, 다중 이미지 형성부(400)를 통과한 샘플광은 제2 경로 블록을 통과할 수 있다. 이에 따라, 각도별 영상들 각각의 이미지 영역이 변화될 수 있다. 예를 들면, 각도별 영상들 각각의 이미지 영역에 9개의 다중 이미지들이 포함된 경우, 제2 경로 블록에 의해 4개의 다중 이미지들로 축소될 수 있다. 이와 달리, 다른 실시 예에서, 제2 경로 블록은 생략될 수 있다.

[0127] 다중 이미지 형성부(400)를 통과한 샘플광은 선형 편광 필터부(600)로 입사될 수 있다. 선형 편광 필터부(600)는 각도별 영상들 각각에 다중 이미지들이 형성된 샘플광을 편광시킬 수 있다. 이에 따라, 다중 이미지들의 일부는 제1 각도의 편광 축을 갖는 제1 편광 필터(610)에 의해 편광될 수 있고, 다중 이미지들의 일부는 제2 각도의 편광 축을 갖는 제2 편광 필터(620)에 의해 편광될 수 있다.

[0128] 편광된 샘플광은 광 분배부(200)에서 분배된 기준광과 간섭 이미지 획득부(700)에서 합쳐질 수 있다. 간섭 이미지 획득부(700)는 편광된 샘플광과 기준광을 합쳐서 각도별 간섭 영상들을 획득할 수 있다. 각도별 간섭 영상들 각각은 서로 다른 편광 상태를 갖는 복수의 간섭 이미지들을 포함할 수 있다. 실시 예에서, 각도별 간섭 영상들 각각은 NxN 행렬의 간섭 이미지들을 포함할 수 있다.

[0129] 여기서, 기준광은 서로 다른 편광을 갖는 레이저 빔들이 합쳐질 수 있다. 다만, 서로 다른 편광을 갖는 레이저 빔들은 서로 중첩되지 않을 수 있다. 예를 들면, -X부분에는 제1 레이저 빔에 대한 제1 기준광(B21)이 위치하고, +X부분에는 제2 레이저 빔에 대한 제2 기준광(B22)이 위치할 수 있다. 이에 따라, 기준광은 제1 기준광(B21)과 제2 기준광(B22)이 합쳐진 것일 수 있다.

[0131] 이미지 분석부(800)는 각도별 간섭 영상들을 존스 행렬 연산하여 샘플에 대한 각도별 행렬 영상들을 획득할 수 있다. 실시 예에서, 각도별 행렬 영상들은 복수의 각도별 진폭 행렬 영상들 및 복수의 각도별 위상 영상들을 포함할 수 있다. 각도별 진폭 행렬 영상들 각각은 복수의 진폭 이미지들을 포함하고, 각도별 위상 행렬 영상들 각각은 복수의 위상 이미지들을 포함할 수 있다. 실시 예에서, 각도별 진폭 행렬 영상들 각각은 2x2행렬인 4개의 진폭 이미지들을 포함하고, 각도별 위상 행렬 영상들 각각도 2x2행렬인 4개의 위상 이미지들을 포함할 수 있다.

[0132] 이미지 분석부(800)는 각도별 행렬 영상들을 구경합성하여 합성 진폭 행렬 영상과 합성 위상 행렬 영상을 획득할 수 있다. 합성 진폭 행렬 영상은 복수의 합성 진폭 이미지들을 포함하고, 합성 위상 행렬 영상은 복수의 합성 위상 이미지들을 포함할 수 있다. 실시 예에서, 합성 진폭 행렬 영상은 2x2행렬인 4개의 합성 진폭 이미지들을 포함하고, 합성 위상 행렬 영상은 2x2행렬인 4개의 합성 위상 이미지들을 포함할 수 있다.

[0133] 이미지 분석부(800)는 합성 진폭 행렬 영상과 합성 위상 행렬 영상을 행렬 대각화 연산하여 샘플에 대한 복굴절 이미지를 획득할 수 있다. 합성 진폭 행렬 영상과 합성 위상 행렬 영상은 다양한 각도의 영상들을 합성한 것이므로, 샘플에 대한 고 민감도 복굴절 이미지를 획득할 수 있다.

[0134] 이미지 분석부(800)는 각도별 진폭 행렬 영상들 각각에서 대각행렬 요소인 각도별 진폭 이미지를 추출하여 각도별 진폭 이미지군을 획득할 수 있다. 또한, 이미지 분석부(800)는 각도별 위상 행렬 영상들 각각에서 대각행렬 요소인 각도별 위상 이미지를 추출하여 각도별 위상 이미지군을 획득할 수 있다.

[0135] 각도별 진폭 이미지군은 샘플에 의해 편광 상태가 변화하지 않은 정보를 포함하는 각도별 진폭 이미지들로 구성될 수 있다. 각도별 위상 이미지군도 샘플에 의해 편광 상태가 변화하지 않은 정보를 포함하는 각도별 위상 이미지들로 구성될 수 있다.

[0136] 이미지 분석부(800)는 각도별 진폭 이미지군과 각도별 위상 이미지군을 이용하여 3차원 단층 이미지를 획득할 수 있다.

[0137] 이상 본 발명을 구체적인 실시 예를 통하여 상세히 설명하였으나, 이는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 그 변형이나 개량이 가능함이 명백하다.

[0138] 본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 모두 본 발명의 영역에 속한 것으로 본 발명의 구체적인 보호 범위는 첨부된 특허청구범위에 의하여 명확해질 것이다.

부호의 설명

[0139] 10: 편광 홀로그래픽 현미경 시스템 100: 광원부

110: 제1 레이저 120: 제2 레이저

200: 광 분배부 210: 제1 광 분배기

220: 제2 광 분배기 300: 샘플 이미지 형성부

310: 갈바노 스캐너 330: 샘플 거치대

400: 다중 이미지 형성부 420: 이차원 회절격자

500: 광 확대부 550: 제4 광 분배기

600: 선형 편광 필터부　610: 제1 편광 필터

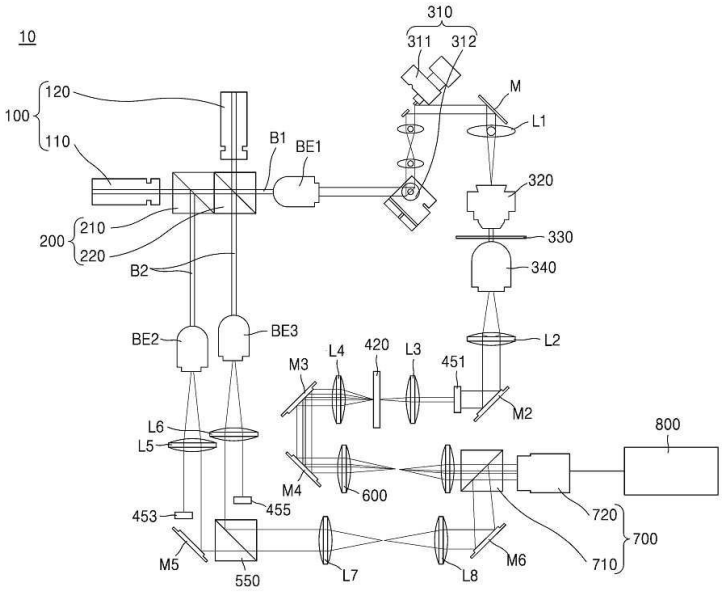
620: 제2 편광 필터　700: 간섭 이미지 획득부

710: 제3 광 분배기　720: 이미지 센서

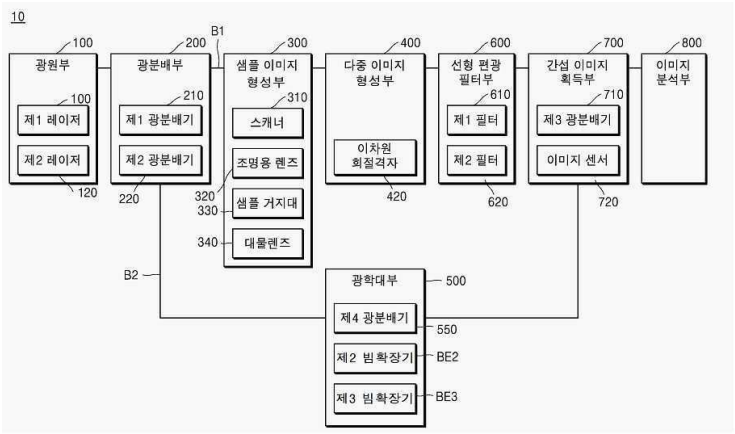
800: 이미지 분석부

도면

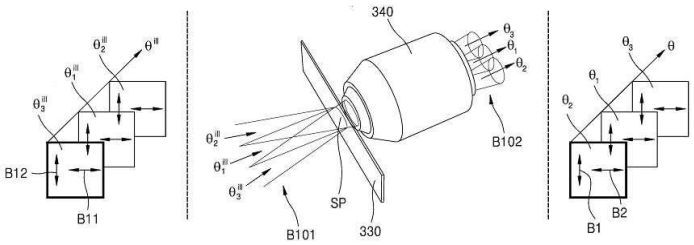
도면1



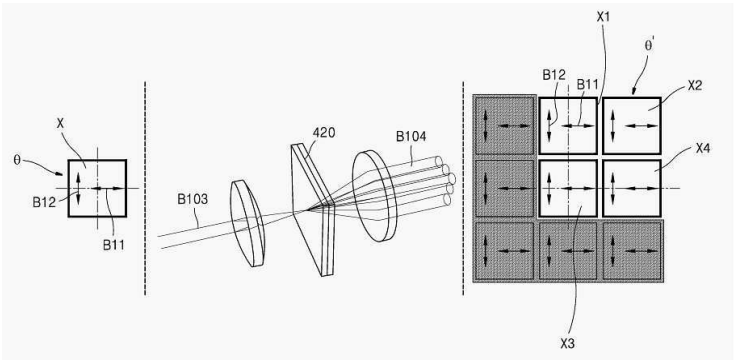
도면2


10
100
광원부
100
제1 레이저
제2 레이저
120
200
광분배부
210
제1 광분배기
제2 광분배기
220
B1
300
샘플 이미지 형성부
310
스캐너
조명용 렌즈
샘플 거치대
대물렌즈
320
330
340
400
다중 이미지 형성부
이차원 회절격자
420
600
선형 편광 필터부
610
제1 필터
제2 필터
620
700
간섭 이미지 획득부
710
제3 광분배기
이미지 센서
720
800
이미지 분석부
B2
광학대부
500
제4 광분배기
550
제2 빔확장기
BE2
제3 빔확장기
BE3

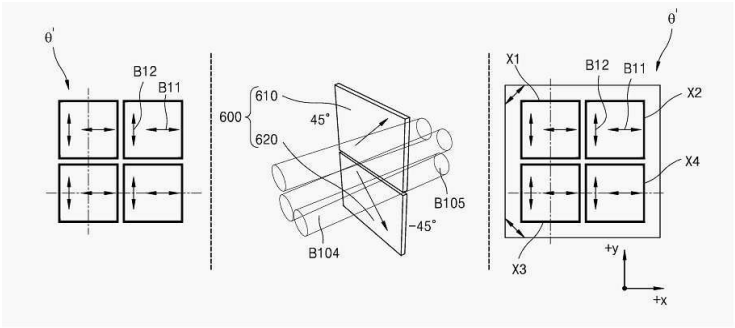
도면3


B12
B11
340
B102
SP
330
B101
B1
B2

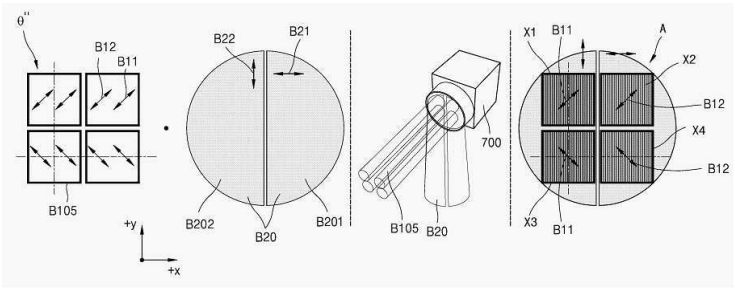
도면4


X
θ
B12
B11
420
B104
B103
X1
θ'
B12
B11
X2
X4
X3

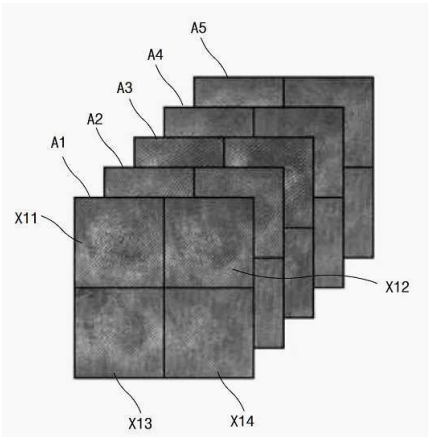
도면5


θ'
B12
B11
610
600
620
45°
B105
-45°
B104
X1
B12
B11
θ'
X2
X4
X3
+y
+x

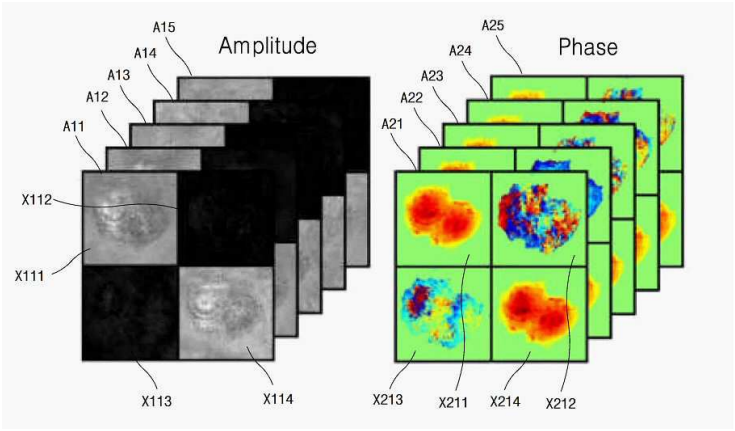
도면6


θ''
B12
B11
B105
+y
+x
B22
B21
B202
B20
B201
700
B105
B20
X1
B11
A
X2
B12
X4
B12
X3
B11

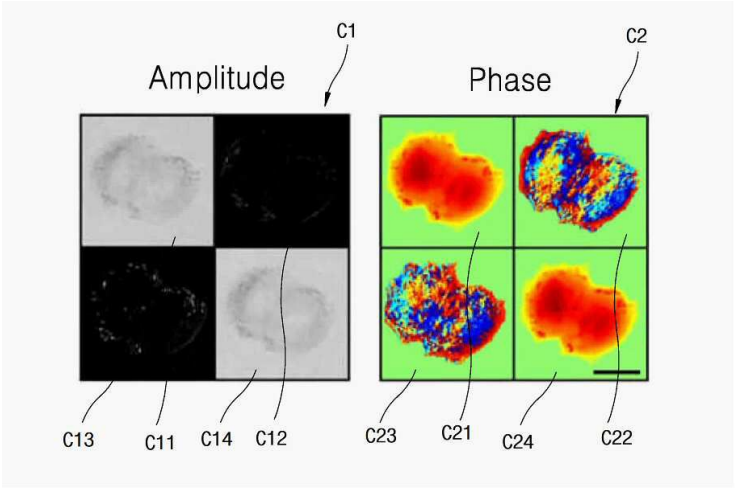
도면7a


A5
A4
A3
A2
A1
X11
X12
X13
X14

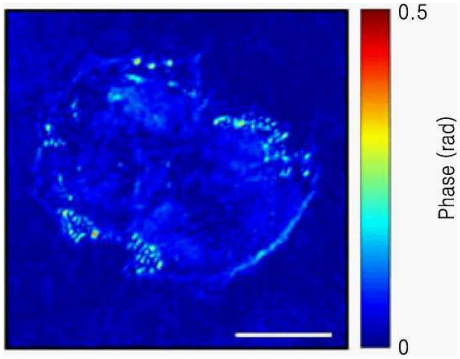
도면7b


Amplitude
Phase
A15
A14
A13
A12
A11
A25
A24
A23
A22
A21
X112
X111
X113
X114
X213
X211
X214
X212

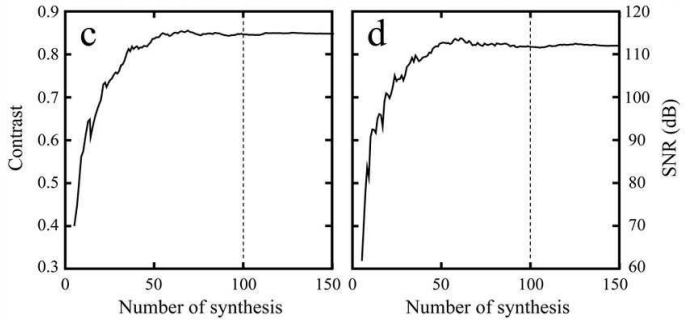
도면8


Amplitude
Phase
C1
C2
C13
C11
C14
C12
C23
C21
C24
C22

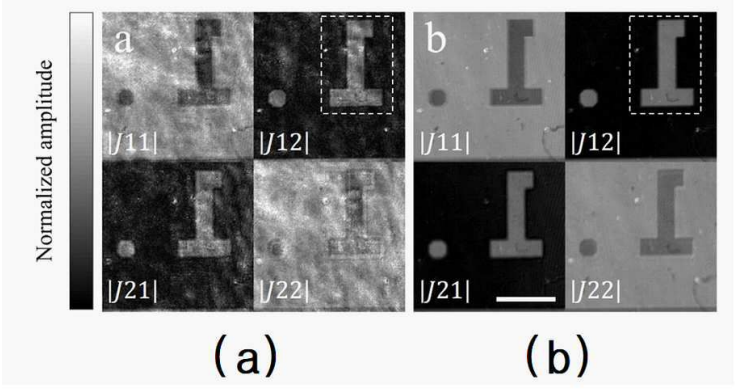
도면9



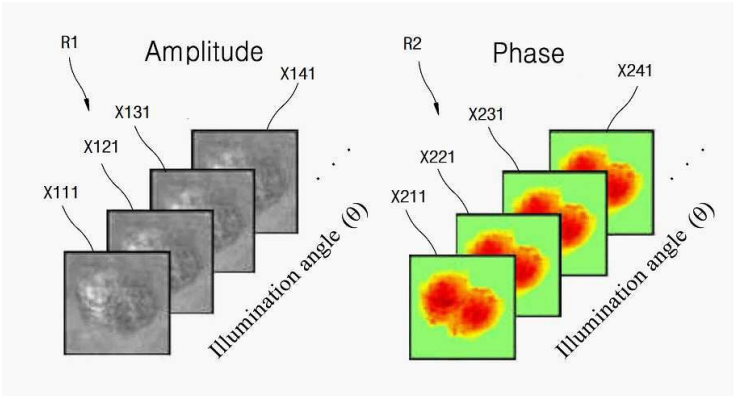
도면10



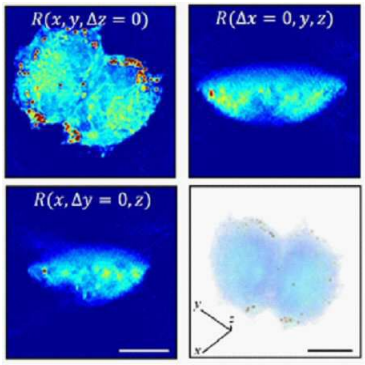
도면11



도면12


R1
Amplitude
X141
X131
X121
X111
Illumination angle (θ)
R2
Phase
X241
X231
X221
X211
Illumination angle (θ)

도면13


R(x, y, Δz = 0)
R(Δx = 0, y, z)
R(x, Δy = 0, z)