



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년10월23일
(11) 등록번호 10-1789441
(24) 등록일자 2017년10월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03H 1/00 (2006.01) G01B 9/023 (2006.01)
G02B 21/00 (2006.01) G02B 21/36 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G03H 1/0005 (2013.01)
G01B 9/023 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0141356
(22) 출원일자 2016년10월27일
심사청구일자 2016년10월27일
(56) 선행기술조사문헌
US04896029 A
KR1020120093270 A
저널 'APPLIED OPTICS', Vol. 51, No. 20, pp.
4891 - 4895 (2012. 07. 10.)
저널 'J. Opt. Soc. Am. A', Vol. 28, No. 3,
pp. 434 - 440 (2011. 03. 31.)

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
(72) 발명자
최영운
서울특별시 금천구 금하로 816, 522동 904호 (시
흥동, 벽산5단지아파트)
양태석
서울특별시 동작구 국사봉10길 10 (상도동)
(74) 대리인
특허법인 무한

전체 청구항 수 : 총 12 항

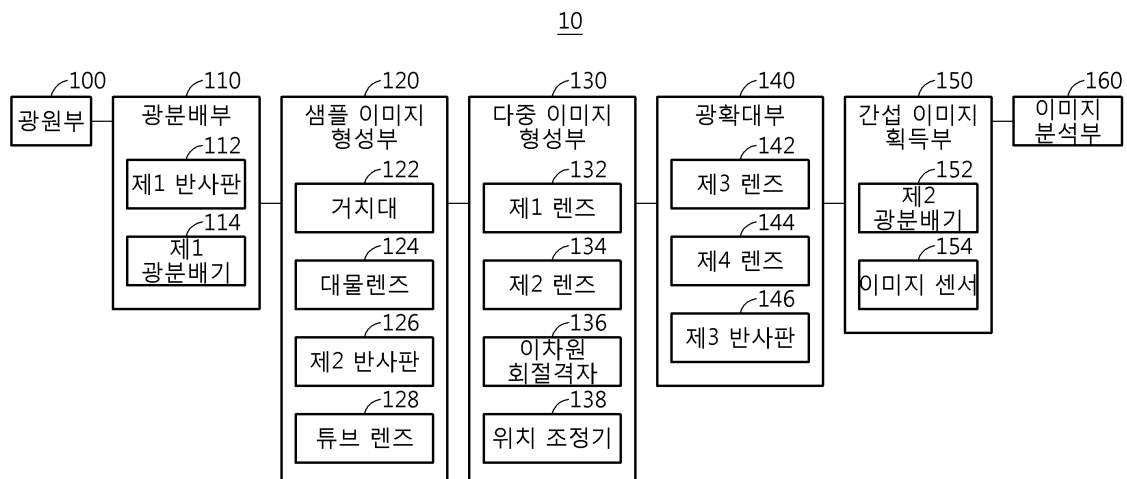
심사관 : 이민형

(54) 발명의 명칭 홀로그래픽 현미경 시스템

(57) 요약

일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템은, 레이저 광을 발생시키는 광원부; 상기 광원부에서 발생된 빛을 샘플광 및 기준광으로 나누는 광분배부; 관측하고자 하는 샘플을 거치하고, 상기 샘플에 입사된 샘플광에 의해 상기 샘플에 대한 이미지를 형성하는 샘플 이미지 형성부; 상기 샘플 이미지 형성부를 통과한 샘플광을 회절시켜, 상기 샘플에 대한 이미지를 복사 및 이동시키는 다중 이미지 형성부; 및 상기 다중 이미지 형성부를 통과한 샘플광과 상기 기준광이 합쳐져, 상기 샘플광과 상기 기준광의 간섭 현상에 의해 복수 개의 간섭 이미지를 획득하는 간섭 이미지 획득부;를 포함하고, 상기 다중 이미지 형성부는 상기 샘플 이미지 형성부를 통과한 샘플광을 회절시키는 이차원 회절격자를 포함하고, 상기 이차원 회절격자의 위치 조절에 의해 상기 간섭 이미지 획득부에서 획득된 복수 개의 간섭 이미지가 서로 다른 위상을 갖게 될 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G02B 21/006 (2013.01)

G02B 21/008 (2013.01)

G02B 21/365 (2013.01)

G03H 2001/005 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 HI14C3477

부처명 보건복지부

연구관리전문기관 한국보건산업진흥원

연구사업명 연구중심병원 육성 R&D

연구과제명 미래의료수요 대응 의료기기 개발 및 글로벌화를 위한 개방형 연구 비즈니스 플랫폼 구축

기 여 율 1/1

주관기관 고려대학교 안암병원

연구기간 2014.12.11 ~ 2022.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

레이저 광을 발생시키는 광원부;

상기 광원부에서 발생된 빛을 샘플광 및 기준광으로 나누는 광분배부;

관측하고자 하는 샘플을 거치하고, 상기 샘플에 입사된 샘플광에 의해 상기 샘플에 대한 이미지를 형성하는 샘플 이미지 형성부;

상기 샘플 이미지 형성부를 통과한 샘플광을 회절시켜, 상기 샘플에 대한 이미지를 복사 및 이동시키는 다중 이미지 형성부; 및

상기 다중 이미지 형성부를 통과한 샘플광과 상기 기준광이 합쳐져, 상기 샘플광과 상기 기준광의 간섭 현상에 의해 복수 개의 간섭 이미지를 획득하는 간섭 이미지 획득부;

를 포함하고,

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

상기 이차원 회절격자에 의해 상기 간섭 이미지 획득부에서 획득된 복수 개의 간섭 이미지가 서로 다른 위상을 갖게 되는 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복수 개의 간섭 이미지의 위상은 아래의 식에 의해 결정되고,

$$\Phi = 2\pi (mx+ny)/A$$

이때,

Φ 는 0차 회절광에 대한 위상이고,

m은 x방향으로의 회절차수이고,

n은 y방향으로의 회절차수이고,

A는 상기 이차원 회절격자에서 격자 사이의 간격이고,

x, y는 상기 이차원 회절격자의 위치를 나타내며,

상기 이차원 회절격자의 위치 조절에 의해 상기 복수 개의 간섭 이미지의 위상이 조절되는 좌표값인 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 다중 이미지 형성부는,

상기 샘플 이미지 형성부로부터 이격 배치된 복수 개의 렌즈;

를 더 포함하고,

상기 이차원 회절격자는 상기 복수 개의 렌즈 사이에 빛의 초점이 맺히는 푸리에 면 상에 배치되는 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 다중 이미지 형성부는,

상기 이차원 회절격자의 위치를 조정하는 위치 조정기;

를 더 포함하고,

상기 이차원 회절격자는 상기 푸리에 면 상에서 위치가 조절되는 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 다중 이미지 형성부를 통과한 샘플광은 상기 간접 이미지 획득부에서 기준광과 서로 평행하게 합쳐지고,

상기 복수 개의 간접 이미지는 상기 이차원 회절격자에서 X방향 또는 Y방향으로 0차 및 1차 회절에 의해 형성된 이미지인 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 6

레이저 광을 발생시키는 광원부;

상기 광원부에서 발생된 빛을 샘플광 및 기준광으로 나누는 광분배부;

관측하고자 하는 샘플을 거치하고, 상기 광분배부로부터 상기 샘플을 향해 입사된 샘플광에 의해 상기 샘플에 대한 이미지를 형성하는 샘플 이미지 형성부;

상기 샘플 이미지 형성부를 통과한 샘플광을 회절시켜, 상기 샘플에 대한 이미지를 복사 및 이동시키는 다중 이미지 형성부; 및

상기 다중 이미지 형성부를 통과한 샘플광과 상기 기준광이 합쳐져, 상기 샘플광과 상기 기준광의 간섭 현상에 의해 복수 개의 간접 이미지를 획득하는 간접 이미지 획득부;

를 포함하고,

상기 간접 이미지 획득부는 상기 샘플광 또는 상기 기준광을 편광시키는 복수 개의 편광 부재를 포함하고,

상기 복수 개의 편광 부재에 의해 상기 간접 이미지 획득부에서 획득된 복수 개의 간접 이미지는 편광 선택적 이미지가 되는 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 복수 개의 편광 부재는,

상기 다중 이미지 형성부로부터 이격 배치되어, 상기 샘플광을 편광시키는 제1 편광 부재; 및

상기 광분배부로부터 이격 배치되어, 상기 기준광을 편광시키는 제2 편광 부재;

를 포함하고,

상기 제1 편광 부재 또는 상기 제2 편광 부재의 조합에 의해 상기 샘플의 편광 특성 또는 복굴절 특성이 측정되

는 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1 편광 부재는,

+45도의 편광 축을 갖는 제1 편광 필터; 및

-45도의 편광 축을 갖는 제2 편광 필터;

를 포함하고,

상기 다중 이미지 형성부를 통과한 샘플광은 상기 제1 편광 필터 또는 상기 제2 편광 필터에 의해 편광되는 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 제2 편광 부재는,

+90도의 편광 축을 갖는 제3 편광 필터; 및

0도의 편광 축을 갖는 제4 편광 필터;

를 포함하고,

상기 제3 편광 필터 또는 상기 제4 편광 필터에 의해 편광된 기준광은 상기 제1 편광 필터 또는 상기 제2 편광 필터에 의해 편광된 샘플광과 합쳐지는 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 간섭 이미지 획득부에 연결되어 상기 복수 개의 간섭 이미지를 분석하는 이미지 분석부;

를 더 포함하고,

상기 이미지 분석부에서 상기 샘플에 대한 복굴절 분포 이미지 또는 상기 샘플에 대한 편파 반응 이미지가 획득되는 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 11

제6항에 있어서,

상기 광원부는,

Y축 방향으로 편광된 제1 레이저 광을 발생시키는 제1 광원; 및

X축 방향으로 편광된 제2 레이저 광을 발생시키는 제2 광원;

을 포함하고,

상기 제1 레이저 광 및 상기 제2 레이저 광이 합쳐져 상기 광분배부에 전달되는 홀로그래픽 현미경 시스템.

청구항 12

제6항에 있어서,

상기 다중 이미지 형성부는,

상기 샘플 이미지 형성부로부터 이격 배치된 복수 개의 렌즈; 및

상기 복수 개의 렌즈 사이에 배치되어 상기 샘플 이미지 형성부를 통과한 샘플광을 X방향 또는 Y방향으로 회절시키는 이차원 회절격자;

를 포함하고,

상기 이차원 회절격자는 상기 복수 개의 렌즈 사이에 빛의 초점이 맺히는 면에 배치되는 홀로그래픽 현미경 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 홀로그래픽 현미경 시스템에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 단일 촬영(single-shot)으로 다중 영상(multi-image)을 획득할 수 있는 홀로그래픽 현미경 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 디지털 홀로그래픽 기법은 빛의 간섭 현상을 이용하여 관측하고자 하는 물체로부터 나오는 빛의 세기 정보뿐만 아니라 위상 정보까지 동시에 획득하는 영상 기술이다.

[0003] 이때, 위상 정보를 획득하기 위해서는 광원으로부터 나온 빛을 나누어 하나는 대상 물체와 상호작용하도록 하고 (샘플 빔) 다른 하나는 물체가 없는 공간을 통과하도록 한다(기준빔). 이미지 센서에서 두 빛을 합쳐주면 간섭 패턴을 만들고 이 패턴을 분석하여 위상 정보를 획득하게 된다.

[0004] 또한, 이미지 센서에서 두 빔의 간섭을 일으키는 방법은 크게 두 가지로 나뉜다. 하나는 샘플빔과 기준빔을 평행하게 만나도록 하는 방법으로 흔히 동일 선상 구성(collinear configuration)으로 알려져 있다. 다른 하나는 샘플빔과 기준빔이 일정한 각도를 가지고 만나 간섭 패턴을 만들도록 하는 방법이며 탈축 구성(off-axis configuration)으로 알려져 있다.

[0005] 구체적으로, collinear configuration은 간섭패턴의 측정을 위하여 배율을 크게 할 필요가 없으므로 이미지 센서를 넓게 사용할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 - collinear configuration은 높은 데이터 밀도를 확보할 수 있으므로 넓은 이미지 영역이 필요할 때 사용될 수 있다.

[0006] 그러나 한 장의 촬영으로는 물체의 위상 정보를 획득할 수 없고 보통의 경우 기준빔의 전체 위상을 바꾸어 가면서 4장의 연속된 영상을 촬영하여 한 장의 위상 이미지를 획득하는 위상 이동 방법을 사용하므로, 여러 장의 영상을 촬영해야 하므로 이미징의 속도가 제한되는 단점이 있다.

[0007] 이에 따라서 이미징 가능 영역의 축소를 최소화하면서 이미징 속도를 최대화하기 위한 여러 가지 방법들이 연구되어 왔다. 종래에는 collinear configuration에서 위상 이동 방법을 사용하면서도 여러 복잡한 광학 소자들을 더하여 위상 이미징을 위하여 촬영해야 하는 영상의 수를 2장 혹은 1장으로 줄이기 위한 시도들이 있었다.

[0008] 예를 들어, 2008년에 Optics Express지에 게재된 논문(Optics Express 16, 7806)에서는 polarizer 5개와 wave plate 2개, 그리고 회절격자 1개를 사용하여 단일 촬영 위상 이동 기법을 구현한 바 있다.

[0009] 2012년에 Biomedical Optics Express지에 게재된 논문(Biomedical Optics Express 3, 2866)에서는 polarizer와 빛의 파장보다 작은 크기로 공정에 의하여 만들어진 편광 마스크에 의하여 단일 촬영 위상 이동 기법을 구현하였다.

[0010] 2014년에 Optics Letters지에 소개된 논문(Optics Letters 39, 5220)에서는 wave plate 5개와 편광판 1개, 그리고 3개의 이미지 센서를 사용하여 단일 촬영 위상 이동 기법을 구현하였다.

[0011] 위 시도들 모두 다수의 광학 소자들이 복잡하게 구성되어 단일 촬영 위상 이동 기법을 구현하고 있다는 점에서 개선이 필요하다.

[0012] 또한, off-axis configuration에서는 샘플빔과 기준빔 사이의 각도로 인하여 반듯한 줄무늬 모양의 간섭패턴이

발생한다. 물체가 놓여있을 경우 반듯한 줄무늬 패턴에 변형이 가해지며 이 변형을 분석하여 위상 정보를 얻을 수 있으므로 한 장의 영상 촬영으로 이미징이 가능하다. 따라서 off-axis configuration은 단일 촬영으로 영상 획득이 가능하므로 빠른 이미징이 필요할 때 사용될 수 있다.

[0013] 그러나 줄무늬 간섭 패턴 위에 실리는 영상 정보의 적절한 분석을 위하여 높은 배율이 필요하다. collinear configuration과 비교하여 4 - 5배 (이론적으로 최소 3.5 배) 이상의 잉여 배율이 필요하고 이것은 같은 크기의 이미지 센서를 사용하여 이미징할 수 있는 면적이 크게 감소함을 뜻한다.

[0014] 기존의 편광 특성 측정을 위한 홀로그래픽 현미경들은 편광 필터를 바꾸어 가면서 네 장의 각기 다른 영상을 측정하고(Optics Letters 33, 1270 (2008)), 복잡한 동기화를 통하여 두 장의 영상을 측정하고(Optics Express 20, 9948 (2012)), 광학계가 복잡하고 이미지 센서의 동적 범위(dynamic range)를 네 장의 영상이 나누어 사용하도록 되어 있어(Optics Letters 39, 6170 (2014)) SNR(signal to noise ratio)가 떨어지는 문제점이 있으므로 개선이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 일 실시예에 따른 목적은 단일 촬영을 통하여 복제된 여러 장의 이미지를 동시에 획득하고, 각각의 이미지에 서로 다른 광학적 처리를 함으로써 여러 가지 기능적 이미지 또는 영상을 획득될 수 있는 홀로그래픽 현미경 시스템을 제공하는 것이다.

[0016] 일 실시예에 따른 목적은 기준광을 평행하게 사용하는 동일 선상 구성(collinear configuration)을 갖는 광학계에서 이차원 회절격자의 위치 조절을 통하여 서로 다른 위상을 갖는 복수 개의 간섭 이미지를 동시에 획득할 수 있는 홀로그래픽 현미경 시스템을 제공하는 것이다.

[0017] 일 실시예에 따른 목적은 이미징 가능 영역의 축소를 최소화하면서 최소한의 광학 소자 및 이차원 회절격자만을 사용하여 광학 설계가 단순화되고 광학계를 구성하는 데 비용을 절감할 수 있는 홀로그래픽 현미경 시스템을 제공하는 것이다.

[0018] 일 실시예에 따른 목적은 기준광을 평행하게 사용하는 동일 선상 구성(collinear configuration)에 기반한 기존의 광학계에 즉시 적용 가능하여 단일 촬영 위상 이미지를 구현할 수 있으므로 활용 범위가 폭넓고, 높은 데이터 밀도를 확보할 수 있어 같은 크기의 이미지 센서 센서로 보다 넓은 영역에 대한 위상 이미지를 얻을 수 있는 홀로그래픽 현미경 시스템을 제공하는 것이다.

[0019] 일 실시예에 따른 목적은 기준광을 비스듬하게 사용하는 탈축 구성(off-axis configuration)을 갖는 광학계에서 이차원 회절격자 및 복수 개의 편광 부재를 사용함으로써 단일 촬영을 통하여 복수 개의 편광 선택적 또는 편광 반응 이미지를 동시에 획득할 수 있고, 더 나아가 복수 개의 편광 선택적 또는 편광 반응 이미지를 분석하여 샘플에 대한 광학 비등방성 분포에 대한 영상을 획득할 수 있는 홀로그래픽 현미경 시스템을 제공하는 것이다.

[0020] 일 실시예에 따른 목적은 기준광을 비스듬하게 사용하는 탈축 구성(off-axis configuration)이 갖는 장점을 확보하면서 서로 다른 편광 필터의 조합을 통하여 샘플의 편광 특성 또는 복굴절 특성을 단일 촬영으로 측정할 수 있어, 기존 편광 특성 측정 홀로그래픽 현미경에서 이미지 센서의 동적 범위를 복수 개의 이미지로 나누어 사용함으로써 야기되는 SNR(signal to noise ratio)이 감소되는 문제점을 해소할 수 있는 홀로그래픽 현미경 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0021] 상기 목적을 달성하기 위한 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템은, 레이저 광을 발생시키는 광원부; 상기 광원부에서 발생된 빛을 샘플광 및 기준광으로 나누는 광분배부; 관측하고자 하는 샘플을 거치하고, 상기 샘플에 입사된 샘플광에 의해 상기 샘플에 대한 이미지를 형성하는 샘플 이미지 형성부; 상기 샘플 이미지 형성부를 통과한 샘플광을 회절시켜, 상기 샘플에 대한 이미지를 복사 및 이동시키는 다중 이미지 형성부; 및 상기 다중 이미지 형성부를 통과한 샘플광과 상기 기준광이 합쳐져, 상기 샘플광과 상기 기준광의 간섭 현상에 의해 복수 개의 간섭 이미지를 획득하는 간섭 이미지 획득부;를 포함하고, 상기 다중 이미지 형성부는 상기 샘플 이미지 형성부를 통과한 샘플광을 회절시키는 이차원 회절격자를 포함하고, 상기 이차원 회절격자의 위치 조절에 의해 상기 간섭 이미지 획득부에서 획득된 복수 개의 간섭 이미지가 서로 다른 위상을 갖게 될 수 있다.

- [0022] 일 측에 의하면, 상기 복수 개의 간섭 이미지의 위상은 아래의 식에 의해 결정되고,
- [0023]
$$\Phi = 2\pi (mx+ny)/A$$
- [0024] 이때,
- [0025] Φ 는 0차 회절광에 대한 위상이고,
- [0026] m은 x방향으로의 회절차수이고,
- [0027] n은 y방향으로의 회절차수이고,
- [0028] A는 상기 이차원 회절격자에서 격자 사이의 간격이고,
- [0029] x, y는 상기 이차원 회절격자의 위치를 나타내는 좌표값을 나타내며,
- [0030] 상기 이차원 회절격자의 위치 조절에 의해 상기 복수 개의 간섭 이미지의 위상이 조절될 수 있다.
- [0031] 일 측에 의하면, 상기 다중 이미지 형성부는, 상기 샘플 이미지 형성부로부터 이격 배치된 복수 개의 렌즈;를 더 포함하고, 상기 이차원 회절격자는 상기 복수 개의 렌즈 사이에 빛의 초점이 맺히는 푸리에 면 상에 배치될 수 있다.
- [0032] 일 측에 의하면, 상기 다중 이미지 형성부는, 상기 이차원 회절격자의 위치를 조정하는 위치 조정기;를 더 포함하고, 상기 이차원 회절격자는 상기 푸리에 면 상에서 위치가 조절될 수 있다.
- [0033] 일 측에 의하면, 상기 다중 이미지 형성부를 통과한 샘플광은 상기 간섭 이미지 획득부에서 기준광과 서로 평행하게 합쳐지고, 상기 복수 개의 간섭 이미지는 상기 이차원 회절격자에서 X방향 또는 Y방향으로 0차 및 1차 회절에 의해 형성된 이미지가 될 수 있다.
- [0034] 상기 목적을 달성하기 위한 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템은, 레이저 광을 발생시키는 광원부; 상기 광원부에서 발생된 빛을 샘플광 및 기준광으로 나누는 광분배부; 관측하고자 하는 샘플을 거치하고, 상기 광분배부로부터 상기 샘플을 향해 입사된 샘플광에 의해 상기 샘플에 대한 이미지를 형성하는 샘플 이미지 형성부; 상기 샘플 이미지 형성부를 통과한 샘플광을 회절시켜, 상기 샘플에 대한 이미지를 복사 및 이동시키는 다중 이미지 형성부; 및 상기 다중 이미지 형성부를 통과한 샘플광과 상기 기준광이 합쳐져, 상기 샘플광과 상기 기준광의 간섭 현상에 의해 복수 개의 간섭 이미지를 획득하는 간섭 이미지 획득부;를 포함하고, 상기 간섭 이미지 획득부는 상기 샘플광 또는 상기 기준광을 편광시키는 복수 개의 편광 부재를 포함하고, 상기 복수 개의 편광 부재에 의해 상기 간섭 이미지 획득부에서 획득된 복수 개의 간섭 이미지는 편광 선택적 이미지가 될 수 있다.
- [0035] 일 측에 의하면, 상기 복수 개의 편광 부재는, 상기 다중 이미지 형성부로부터 이격 배치되어, 상기 샘플광을 편광시키는 제1 편광 부재; 및 상기 광분배부로부터 이격 배치되어, 상기 기준광을 편광시키는 제2 편광 부재;를 포함하고, 상기 제1 편광 부재 또는 상기 제2 편광 부재의 조합에 의해 상기 샘플의 편광 특성 또는 복굴절 특성이 측정될 수 있다.
- [0036] 일 측에 의하면, 상기 제1 편광 부재는, +45도의 편광 축을 갖는 제1 편광 필터; 및 -45도의 편광 축을 갖는 제2 편광 필터;를 포함하고, 상기 다중 이미지 형성부를 통과한 샘플광은 상기 제1 편광 필터 또는 상기 제2 편광 필터에 의해 편광될 수 있다.
- [0037] 일 측에 의하면, 상기 제2 편광 부재는, +90도의 편광 축을 갖는 제3 편광 필터; 및 0도의 편광 축을 갖는 제4 편광 필터;를 포함하고, 상기 제3 편광 필터 또는 상기 제4 편광 필터에 의해 편광된 기준광은 상기 제1 편광 필터 또는 상기 제2 편광 필터에 의해 편광된 샘플광과 합쳐질 수 있다.
- [0038] 일 측에 의하면, 상기 간섭 이미지 획득부에 연결되어 상기 복수 개의 간섭 이미지를 분석하는 이미지 분석부;를 더 포함하고, 상기 이미지 분석부에서 상기 샘플에 대한 복굴절 분포 이미지 또는 상기 샘플에 대한 편파 반응 이미지가 획득될 수 있다.
- [0039] 일 측에 의하면, 상기 광원부는, Y축 방향으로 편광된 제1 레이저 광을 발생시키는 제1 광원; 및 X축 방향으로 편광된 제2 레이저 광을 발생시키는 제2 광원;을 포함하고, 상기 제1 레이저 광 및 상기 제2 레이저 광이 합쳐져 상기 광분배부에 전달될 수 있다.
- [0040] 일 측에 의하면, 상기 다중 이미지 형성부는, 상기 샘플 이미지 형성부로부터 이격 배치된 복수 개의 렌즈; 및

상기 복수 개의 렌즈 사이에 배치되어 상기 샘플 이미지 형성부를 통과한 샘플광을 X방향 또는 Y방향으로 회절시키는 이차원 회절격자;를 포함하고, 상기 이차원 회절격자는 상기 복수 개의 렌즈 사이에 빛의 초점이 맺히는 면에 배치될 수 있다.

발명의 효과

- [0041] 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에 의하면, 단일 촬영을 통하여 복제된 여러 장의 이미지를 동시에 획득하고, 각각의 이미지에 서로 다른 광학적 처리를 함으로써 여러 가지 기능적 이미지 또는 영상을 획득될 수 있다.
- [0042] 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에 의하면, 기준광을 평행하게 사용하는 동일 선상 구성(collinear configuration)을 갖는 광학계에서 이차원 회절격자의 위치 조절을 통하여 서로 다른 위상을 갖는 복수 개의 간섭 이미지를 동시에 획득할 수 있다.
- [0043] 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에 의하면, 이미징 가능 영역의 축소를 최소화하면서, 최소한의 광학 소자 및 이차원 회절격자만을 사용하여 광학 설계가 단순화되고 광학계를 구성하는 데 비용을 절감할 수 있다.
- [0044] 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에 의하면, 기준광을 평행하게 사용하는 동일 선상 구성(collinear configuration)에 기반한 기존의 광학계에 즉시 적용 가능하여 단일 촬영 위상 이미지를 구현할 수 있으므로 활용 범위가 폭넓고, 높은 데이터 밀도를 확보할 수 있어 같은 크기의 이미지 센서 센서로 보다 넓은 영역에 대한 위상 이미지를 얻을 수 있다.
- [0045] 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에 의하면, 기준광을 비스듬하게 사용하는 탈축 구성(off-axis configuration)을 갖는 광학계에서 이차원 회절격자 및 복수 개의 편광 부재를 사용함으로써 단일 촬영을 통하여 복수 개의 편광 선택적 또는 편광 반응 이미지를 동시에 획득할 수 있고, 더 나아가 복수 개의 편광 선택적 또는 편광 반응 이미지를 분석하여 샘플에 대한 광학 비등방성 분포에 대한 영상을 획득할 수 있다.
- [0046] 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에 의하면, 기준광을 비스듬하게 사용하는 탈축 구성(off-axis configuration)이 갖는 장점을 확보하면서 서로 다른 편광 필터의 조합을 통하여 샘플의 편광 특성 또는 복굴절 특성을 단일 촬영으로 측정할 수 있어, 기존 편광 특성 측정 홀로그래픽 현미경에서 이미지 센서의 동적 범위를 복수 개의 이미지로 나누어 사용함으로써 야기되는 SNR(signal to noise ratio)이 감소되는 문제점을 해소할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0047] 도 1은 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템의 구성을 도시한다.
- 도 2는 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템의 개략도를 도시한다.
- 도 3은 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에서 광학 소자의 다른 배치를 도시한다.
- 도 4a 내지 4c는 다중 이미지 형성부에서 다중 이미지가 형성되는 모습을 도시한다.
- 도 5는 간섭 이미지 획득부에서 획득된 복수 개의 간섭 이미지를 도시한다.
- 도 6a 내지 6c는 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에 의해 획득된 다양한 샘플의 위상 이미지를 도시한다.
- 도 7은 다른 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템의 구성을 도시한다.
- 도 8은 다른 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템의 개략도를 도시한다.
- 도 9는 제1 편광 부재 및 제2 편광 부재에서 복수 개의 편광 필터의 조합을 도시한다.
- 도 10a 및 10b는 다른 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에 의해 획득된 액정 방울에 대한 편광 선택적 이미지를 도시한다.
- 도 11a 및 11b는 다른 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에 의해 획득된 액정 방울에 대한 광학적 비등방성 이미지를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0048] 이하, 실시예들을 예시적인 도면을 통해 상세하게 설명한다. 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다. 또한, 실시예를 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 실시예에 대한 이해를 방해한다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.
- [0049] 또한, 실시예의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 제 1, 제 2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다. 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질이나 차례 또는 순서 등이 한정되지 않는다. 어떤 구성 요소가 다른 구성요소에 "연결", "결합" 또는 "접속"된다고 기재된 경우, 그 구성 요소는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나 접속될 수 있지만, 각 구성 요소 사이에 또 다른 구성 요소가 "연결", "결합" 또는 "접속"될 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0050] 어느 하나의 실시예에 포함된 구성요소와, 공통적인 기능을 포함하는 구성요소는, 다른 실시예에서 동일한 명칭을 사용하여 설명하기로 한다. 반대되는 기재가 없는 이상, 어느 하나의 실시예에 기재한 설명은 다른 실시예에도 적용될 수 있으며, 중복되는 범위에서 구체적인 설명은 생략하기로 한다.
- [0051] 도 1은 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템의 구성을 도시하고, 도 2는 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템의 개략도를 도시하고, 도 3은 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에서 광학 소자의 다른 배치를 도시하고, 도 4a 내지 4c는 다중 이미지 형성부에서 다중 이미지가 형성되는 모습을 도시하고, 도 5는 간섭 이미지 획득부에서 획득된 복수 개의 간섭 이미지를 도시하고, 도 6a 내지 6c는 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에 의해 획득된 다양한 샘플의 위상 이미지를 도시한다.
- [0052] 도 1 및 2를 참조하여, 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템(10)은 광원부(100), 광분배부(110), 샘플 이미지 형성부(120), 다중 이미지 형성부(130), 광확대부(140), 간섭 이미지 획득부(150) 및 이미지 분석부(160)를 포함할 수 있다.
- [0053] 상기 광원부(100)는 레이저 광을 발생시킬 수 있다.
- [0054] 예를 들어, 광원부(100)은 파장이 632nm인 He-Ne Laser를 발생시킬 수 있다.
- [0055] 상기 광원부(100)에서 발생된 빛은 광분배부(110)에 안내될 수 있다.
- [0056] 상기 광분배부(110)는 광원부(100)에서 발생된 빛을 샘플광(A) 및 기준광(B)으로 나눌 수 있다.
- [0057] 이때, 샘플광은 측정하고자 하는 대상, 즉 샘플이 위치된 샘플단을 향하여 조사되는 빛이고, 기준광은 샘플이 위치되지 않은 임의의 기준단을 향하여 조사되는 빛을 의미한다.
- [0058] 예를 들어, 광분배부(110)는 제1 반사판(112) 및 제1 광 분배기(114)를 포함할 수 있다.
- [0059] 상기 제1 반사판(112)은 광원부(100)로부터 입사된 빛이 제1 광 분배기(114)를 향해 반사되도록 경사지게 배치될 수 있다.
- [0060] 상기 제1 광 분배기(114)는 제1 반사판(112)의 일 측에 이격 배치되어, 제1 반사판(112)에서 반사된 빛의 일부를 투과시키고, 제1 반사판(112)에서 반사된 빛의 나머지 일부를 반사시킬 수 있다.
- [0061] 이때, 제1 광 분배기(114)에서 투과된 빛은 샘플광(A)이 되고, 제1 광 분배기(114)에서 반사된 빛은 기준광(B)이 될 수 있다.
- [0062] 도 2에는 광원부(100)로부터 발생된 빛의 경로를 따라 제1 반사판(112) 및 제1 광 분배기(114) 순으로 배치된 경우로 도시되었으나, 광분배부(110)에서 제1 반사판(112) 및 제1 광 분배기(114)의 배치는 이에 국한되지 않으며, 광분배부(110)에서 샘플광(A) 및 기준광(B)으로 나뉘고, 샘플광(A)이 샘플 이미지 형성부(120)에 전달될 수 있다면 어느 것이든지 가능하다.
- [0063] 예를 들어, 도 3에 도시된 바와 같이 광원부(100)로부터 발생된 빛의 경로를 따라 제1 광 분배기(114) 및 제1 반사판(112) 순으로 배치될 수 있으며, 광원부(100)로부터 발생된 빛이 제1 광 분배기(114)에서 먼저 샘플광(A) 및 기준광(B)으로 나뉘고, 샘플광(A)이 샘플 이미지 형성부(120)에 전달되도록 제1 반사판(112)에 입사될 수 있다.
- [0064] 전술된 바와 같이 광분배부(110)에서 나뉜 샘플광(A)은 샘플 이미지 형성부(120)에 전달될 수 있다.

- [0065] 상기 샘플 이미지 형성부(120)는 관측하고자 하는 샘플(S)을 거치하고, 상기 샘플(S)에 입사된 샘플광(A)에 의해 상기 샘플(S)에 대한 이미지를 형성할 수 있다.
- [0066] 예를 들어, 샘플 이미지 형성부(120)는 거치대(122), 대물렌즈(124), 제2 반사판(126) 및 튜브 렌즈(128)를 포함할 수 있다.
- [0067] 상기 거치대(122)에는 측정하고자 하는 대상, 즉 샘플(S)이 거치될 수 있다.
- [0068] 상기 거치대(122)의 일 측에는 대물렌즈(124), 제2 반사판(126) 및 튜브 렌즈(128)가 배치될 수 있다.
- [0069] 상기 대물렌즈(124)는 가까운 거리에 있는 샘플의 확대상(擴大像)을 만드는 것으로, 샘플(S)에 입사되는 샘플광(A)을 조절할 수 있으며, 상기 제2 반사판(126)은 대물렌즈(124)를 통과한 샘플광(A)이 튜브렌즈(128)에 전달되게 할 수 있고, 상기 샘플광(A)이 튜브 렌즈(128)를 통과함으로써 최종적으로 샘플(S)에 대한 이미지를 형성할 수 있다.
- [0070] 이때, 샘플광(A)의 경로를 따라 튜브렌즈(128)로부터 이격되어 제1 이미지 평면(IP1)이 형성될 수 있으며, 제1 이미지 평면(IP1)에 샘플(S)에 대한 이미지에 대한 상이 맺힐 수 있다.
- [0071] 또한, 샘플 이미지 형성부(120)를 통과한 샘플광(A)은 다중 이미지 형성부(130)에 전달될 수 있다.
- [0072] 상기 다중 이미지 형성부(130)는 샘플 이미지 형성부(120)를 통과한 샘플광(A)을 회절시켜, 상기 샘플(S)에 대한 이미지를 복사 및 이동시킬 수 있다.
- [0073] 예를 들어, 다중 이미지 형성부(130)는 복수 개의 렌즈(132, 134), 이차원 회절격자(136) 및 위치 조정기(138)를 포함할 수 있다.
- [0074] 상기 복수 개의 렌즈(132, 134)는 샘플광(A)의 경로를 따라 샘플 이미지 형성부(120)로부터 이격 배치된 제1 렌즈(132) 및 제2 렌즈(134)를 포함할 수 있다.
- [0075] 상기 제1 렌즈(132) 및 제2 렌즈(134)는 4-f 형태로 구성될 수 있으며, 제1 렌즈(132) 및 제2 렌즈(134)를 통과한 샘플광(A)이 최종적으로 간섭 이미지 획득부(150)에 도달되게 할 수 있다.
- [0076] 상기 이차원 회절격자(136)는 XY 평면에 평판형으로 마련된 회절격자로 마련될 수 있다.
- [0077] 이때, 이차원 회절격자(136)는 제1 렌즈(132) 및 제2 렌즈(134) 사이에 빛의 초점이 맺히는 면, 즉 푸리에 면(Fourier plane, FP)에 배치될 수 있다.
- [0078] 이에 의해 이차원 회절격자(136)를 통과한 샘플광(A)은 회절 현상에 의해 X방향 또는 Y방향으로 여러 개의 빛으로 분할될 수 있고, 특히, 0차와 1차 회절에 의해서 제2 이미지 평면(IP2) 상에 총 네 개의 이미지가 형성될 수 있다.
- [0079] 특히 도 4a 내지 4c를 참조하여, 이차원 회절격자(136)에 의해서 다음과 같이 다중 이미지가 형성될 수 있다.
- [0080] 도 4a는 1차 이미지 평면(IP1)에 형성된 샘플에 대한 이미지와 동일하며, 이차원 회절격자(136)에 구비된 X방향 격자에 의해서 도 4b에 도시된 바와 같이 도 4a에 도시된 샘플에 대한 이미지가 X방향으로 복사 및 이동될 수 있다. 이어서 이차원 회절격자(136)에 구비된 Y방향 격자에 의해서 도 4c에 도시된 바와 같이 도 4b에 도시된 샘플에 대한 복수 개의 이미지가 각각 Y방향으로 복사 및 이동될 수 있다.
- [0081] 이때, 이차원 회절격자(136)에 의하여 복제된 네 개의 이미지는 서로 동일한 세기 신호를 나타내고, 서로 다른 위상을 갖는 이미지로 될 수 있다.
- [0082] 이때, 위상은 이차원 회절격자(136)의 위치에 의하여 결정될 수 있다.
- [0083] 이차원 회절격자(136)의 위치 조절을 위해 이차원 회절격자(136)에는 위치 조정기(138)가 연결될 수 있다.
- [0084] 상기 위치 조정기(138)는 푸리에 면(FP) 상에서 이차원 회절격자(136)의 위치를 이동시킬 수 있다.
- [0085] 구체적으로 도시되지는 않았으나, 위치 조정기(138)는 이차원 회절격자(136)의 위치를 정밀하게 조정할 수 있다.
- [0086] 이때, 위치 조정기(138)의 작동 제어에 의해 다중 이미지 형성부(130)에서 형성된 다중 이미지의 위상이 조절될 수 있다.

- [0087] 구체적으로, 다중 이미지 형성부(130)에서 형성된 다중 이미지의 위상은 아래의 식에 의해 결정될 수 있다.
- [0088]
$$\Phi = 2\pi (mx+ny)/A$$
- [0089] 이때,
- [0090] Φ 는 0차 회절광에 대한 위상이고,
- [0091] m은 x방향으로의 회절차수이고,
- [0092] n은 y방향으로의 회절차수이고,
- [0093] A는 상기 이차원 회절격자에서 격자 사이의 간격이고,
- [0094] x, y는 상기 이차원 회절격자의 위치를 나타내는 좌표값이다.
- [0095] 예를 들어, 이차원 회절격자(136)의 위치를 (x, y)=(A/4, A/2)가 되도록 두면, X방향으로 복제된 이미지는 도 4b에 도시된 바와 $\Phi = \pi/2$ 만큼의 위상을 얻을 수 있고, Y방향으로 복제된 이미지는 도 4c에 도시된 바와 $\Phi = \pi$ 만큼의 위상을 얻을 수 있다.
- [0096] 결론적으로, 다중 이미지 형성부(130)에서 형성된 다중 이미지는 각각 $\Phi = 0$, $\Phi = \pi/2$, $\Phi = 3\pi/2$, $\Phi = \pi$ 로 서로 다른 위상을 갖게 되고, 간섭 이미지 획득부(150)에서 획득된 복수 개의 간섭 이미지 또한 각각 $\Phi = 0$, $\Phi = \pi/2$, $\Phi = 3\pi/2$, $\Phi = \pi$ 로 서로 다른 위상을 갖게 될 수 있다.
- [0097] 이와 같이 전술된 수식에 의해 이차원 회절격자(136)의 위치에 따른 다중 이미지들의 위상을 미리 예측할 수 있으며, 특정 위상 이미지를 획득하기 위한 이차원 회절격자(136)의 위치를 미리 결정한 후에 위치 조정기(138)에 의해 이차원 회절격자(136)의 위치를 조절할 수 있다.
- [0098] 전술된 바와 같이 샘플광(A)은 다중 이미지 형성부(130)에서 회절된 후에 간섭 이미지 획득부(150)에 전달될 수 있다.
- [0099] 다시 말해서, 샘플광(A)의 회절에 의해 샘플 이미지 형성부(120)에서 형성된 이미지가 복사 및 이동되되, 각각의 이미지가 서로 다른 위상을 갖게 된 후에 간섭 이미지 획득부(150)에 전달될 수 있다.
- [0100] 한편, 광분배부(110)에서 나뉜 기준광(B)은 광확대부(140)에 전달될 수 있다.
- [0101] 상기 광확대부(140)는 광분배부(110)에서 나뉜 기준광(B)을 확대시킬 수 있으며, 예를 들어, 제3 렌즈(142), 제4 렌즈(144) 및 제3 반사판(146)을 포함할 수 있다.
- [0102] 이때, 제3 렌즈(142) 및 제4 렌즈(144)에 의해 광 확대경(beam expander)가 구성될 수 있고, 확대된 기준광(B)은 제3 반사판(146)에 의해 간섭 이미지 획득부(150)에 전달될 수 있다.
- [0103] 그러나, 광확대부(140)를 구성하는 광학 소자의 구성은 이에 국한되지 아니하며, 기준광(B)을 적절하게 확대시킬 수 있다면 어느 것이든지 가능하다.
- [0104] 예를 들어, 도 3에 도시된 바와 같이, 광확대부(140a)는 기준광(B)의 경로를 따라 이격 배치된 제1 반사판(142a), 제2 반사판(144a), 대물렌즈(146a) 및 튜브렌즈(148a)를 포함할 수 있으며, 대물렌즈(146a)에서 기준광(B)이 확대되어 간섭 이미지 획득부(150)에 전달될 수 있다.
- [0105] 이와 같이 다중 이미지 형성부(130)를 통과한 샘플광(A) 및 광확대부(140)를 통과한 기준광(B)은 간섭 이미지 획득부(150)에 전달될 수 있다.
- [0106] 상기 간섭 이미지 획득부(150)는 다중 이미지 형성부(130)를 통과한 샘플광(A)과 광확대부(140)를 통과한 기준광(B)을 합쳐서, 샘플광(A)과 기준광(B)의 간섭 현상에 의해 복수 개의 간섭 이미지를 획득할 수 있다.
- [0107] 이때, 간섭 이미지 획득부(150)에서는 다중 이미지 형성부(130)를 통과한 샘플광(A)과 광확대부(140)를 통과한 기준광(B)이 간섭되기 전에, 다중 이미지 형성부(130)에서 형성된 다중 이미지가 획득될 수 있음은 당연하다. 예를 들어, 간섭 이미지 획득부(150)는 제2 광분배기(152) 및 이미지 센서(154)를 포함할 수 있다.
- [0108] 상기 제2 광분배기(152)의 일 측을 통해 샘플광(A)이 입사되고 제2 광분배기(152)의 타 측을 통해 기준광(B)이 입사되어, 제2 광분배기(152) 내에서 샘플광(A) 및 기준광(B)이 결합될 수 있다.
- [0109] 상기 제2 광분배기(152)에서 합쳐진 샘플광(A) 및 기준광(B)은 간섭 현상을 일으키면서 이미지 센서(154)를 향

하여 전달될 수 있다.

- [0110] 이때, 제2 광분배기(152) 및 이미지 센서(154) 사이에서 샘플광(A) 및 기준광(B)은 서로 평행하게 전달될 수 있다. 다시 말해서, 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템(10)은 동일 선상 구성(collinear configuration)으로 이루어질 수 있다.
- [0111] 구체적으로, 다중 이미지 형성부(130)를 통과한 샘플광(A)은 복수 개, 예를 들어 네 개의 빛으로 나뉜 상태이므로, 각각의 빛이 동일한 기준광(B)과 간섭 현상을 일으킬 수 있다.
- [0112] 이때, 샘플광(A) 및 기준광(B)의 경로를 따라 제2 광분배기(152)로부터 이격되어 제2 이미지 평면(IP2)이 형성될 수 있으며, 제2 이미지 평면(IP2)에 샘플(S)에 대한 복수 개의 간섭 이미지에 대한 상이 맺힐 수 있다.
- [0113] 또한, 이미지 센서(154)는 제2 이미지 평면(IP2)에 놓여질 수 있으며, 이미지 센서(154)를 통해 제2 이미지 평면(IP2)에 형성된 샘플(S)에 대한 복수 개의 간섭 이미지를 획득할 수 있다.
- [0114] 여기에서는 이미지 센서(154)에 의해 간섭 이미지를 측정하는 경우를 예로 들어 설명하였으나, 이에 국한되지 아니하며 샘플(S)에 대한 간섭 이미지를 측정할 수 있는 광학 소자로 대체될 수 있음은 당연하다.
- [0115] 진술된 바와 같이 간섭 이미지 획득부(150)에서 획득된 복수 개의 간섭 이미지는 다중 이미지 형성부(130)에서 형성된 서로 다른 위상을 갖는 다중 이미지에 대한 간섭 영상으로 될 수 있다.
- [0116] 특히, 도 5를 참조하여, 간섭 이미지 획득부(150)에서 획득된 샘플(예를 들어, 플라스틱 공)에 대한 복수 개의 간섭 이미지는 다음과 같이 될 수 있다.
- [0117] 예를 들어, 복수 개의 간섭 이미지가 I1, I2, I3, I4로 되는 경우, 제2 이미지 평면(IP2)이 사등분되고 각각의 구획 내에 각각의 간섭 이미지(I1, I2, I3, I4)가 배치될 수 있다.
- [0118] 이때, 네 개의 간섭 이미지(I1, I2, I3, I4)는 위상이 시계방향으로 $\pi/2$ 씩 증가하여 서로 다른 위상을 갖게 되고, 네 개의 간섭 이미지(I1, I2, I3, I4)의 위상은 이차원 회절격자의 위치로부터 결정될 수 있다.
- [0119] 또한, 간섭 이미지 획득부(150)에는 이미지 분석부(160)가 연결될 수 있다.
- [0120] 상기 이미지 분석부(160)에서는 다중 이미지 형성부(130)에서 형성된 복수 개의 간섭 이미지를 분석할 수 있다.
- [0121] 예를 들어, 간섭 이미지 획득부(150)에서 획득된 복수 개의 간섭 이미지가 이미지 분석부(160)에서 위상 이동 분석법에 의해 분석 또는 처리될 수 있으며, 이에 의해 위상 이미지가 획득될 수 있다.
- [0122] 특히, 도 5에 도시된 복수 개의 간섭 이미지(I1, I2, I3, I4)는 위상 이동 분석법을 통하여 도 6a에 도시된 바와 같은 위상 이미지로 획득될 수 있으며, 이에 의해 샘플(S)의 위상을 측정할 수 있다.
- [0123] 추가적으로, 도 6b 및 6c에 도시된 바와 같이, 샘플이 살아있는 세포로 마련된 경우, 이미지 분석부(160)에서 위상 이동 분석법을 통하여 위상 이미지가 획득될 수 있다.
- [0124] 또한, 이미지 분석부(160)에서는 다중 이미지 형성부(130)에서 형성된 복수 개의 간섭 이미지에 광학적 처리를 수행할 수 있다. 이에 의해 다중 이미지 형성부(130)에서 형성된 복수 개의 간섭 이미지로부터 다양한 기능적 이미지를 획득할 수 있다.
- [0125] 이와 같이 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템은 동일 선상 구성(collinear configuration)을 갖는 광학계에서 이차원 회절격자의 위치 조절을 통하여 서로 다른 위상을 갖는 복수 개의 간섭 이미지를 동시에 획득할 수 있다.
- [0126] 그리고, 동일 선상 구성(collinear configuration)을 갖는 광학계에서 이차원 회절격자의 위치 조절을 통하여 서로 다른 위상을 갖는 복수 개의 간섭 이미지를 동시에 획득할 수 있다.
- [0127] 게다가, 동일 선상 구성(collinear configuration)에 기반한 기존의 광학계에 즉시 적용 가능하여 단일 촬영 위상 이미지를 구현할 수 있으므로 활용 범위가 폭넓고, 높은 데이터 밀도를 확보할 수 있어 같은 크기의 이미지 센서 센서로 보다 넓은 영역에 대한 위상 이미지를 얻을 수 있다.
- [0128] 이상 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에 대하여 설명되었으며, 이하에서는 다른 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에 대하여 설명된다.
- [0129] 도 7은 다른 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템의 구성을 도시하고, 도 8은 다른 실시예에 따른 홀로그래

픽 현미경 시스템의 개략도를 도시하고, 도 9는 제1 편광 부재 및 제2 편광 부재에서 복수 개의 편광 필터의 조합을 도시하고, 도 10a 및 10b는 다른 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에 의해 획득된 액정 방울에 대한 편광 선택적 이미지를 도시하고, 도 11a 및 11b는 다른 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템에 의해 획득된 액정 방울에 대한 광학적 비등방성 이미지를 도시한다.

- [0130] 도 7 및 8을 참조하여, 다른 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템(20)은 광원부(200), 광분배부(210), 샘플 이미지 형성부(220), 다중 이미지 형성부(230), 광확대부(240), 간섭 이미지 획득부(250) 및 이미지 분석부(260)를 포함할 수 있다.
- [0131] 상기 샘플 이미지 형성부(220), 다중 이미지 형성부(230) 및 광확대부(240)는 전술된 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템(10)에 포함된 샘플 이미지 형성부(120), 다중 이미지 형성부(130) 및 광확대부(140)에 대응되는 구성요소이므로 상세한 설명은 생략하고, 이하에서는 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템(10)과의 차이점을 위주로 설명하기로 한다.
- [0132] 상기 광원부(200)는 레이저 광을 발생시킬 수 있다.
- [0133] 예를 들어, 광원부(200)는 제1 레이저 광을 발생시키는 제1 광원(202) 및 제2 레이저 광을 발생시키는 제2 광원(204)을 포함할 수 있다.
- [0134] 이때, 제1 광원(202) 및 제2 광원(204)은 편광이 서로 직교하도록 겹쳐질 수 있다.
- [0135] 구체적으로, 제1 광원(202)은 제1 레이저 광을 Y축 방향으로 편광시키고, 제2 광원(204)은 제2 레이저 광을 X축 방향으로 편광시킬 수 있다.
- [0136] 그러나, 제1 광원(202)이 제1 레이저 광을 X축 방향으로 편광시키고, 제2 광원(204)이 제2 레이저 광을 Y축 방향으로 편광시킬 수 있음은 당연하다.
- [0137] 여기서는 서로 직교하는 복수 개의 광원이 포함된 경우가 예를 들어 설명되었으나, 광원부(200)의 구성은 이에 국한되지 아니하며, 하나의 광원으로 마련될 수 있음은 당연하고, 하나의 광원에서 발생된 레이저 광이 광분배기 및 편광부재에 의해 서로 직교하도록 편광된 복수 개의 레이저 광으로 분배될 수 있음은 당연하다.
- [0138] 이와 같이 광원부(200)에서 발생된 빛은 광분배부(210)에 안내될 수 있다.
- [0139] 상기 광분배부(210)는 광원부(200)에서 발생된 빛을 샘플광(A) 및 기준광(B)으로 나눌 수 있다.
- [0140] 이때, 샘플광(A) 및 기준광(B)은 모두 서로 직교하는 제1 레이저 광 및 제2 레이저 광이 결합된 빛으로 될 수 있다.
- [0141] 예를 들어, 광분배부(210)는 제1 광분배기(212)를 포함할 수 있다.
- [0142] 상기 제1 광 분배기(212)는 광원부(200)의 일 측에 이격 배치되어, 광원부(200)에서 발생된 빛의 일부를 투과시키고, 광원부(200)에서 발생된 빛의 나머지 일부를 반사시킬 수 있다.
- [0143] 이때, 제1 광 분배기(212)에서 투과된 빛은 기준광(B)이 되고, 제1 광 분배기(212)에서 반사된 빛은 샘플광(A)이 될 수 있다.
- [0144] 전술된 바와 같이 광분배부(210)에서 나뉜 샘플광(A)은 샘플 이미지 형성부(120)에 전달될 수 있다.
- [0145] 상기 샘플 이미지 형성부(220)는 관측하고자 하는 샘플(S)을 거치하고, 상기 샘플(S)에 입사된 샘플광(A)에 의해 상기 샘플(S)에 대한 이미지를 형성할 수 있다.
- [0146] 예를 들어, 샘플 이미지 형성부(220)는 거치대(222), 대물렌즈(224), 제1 반사판(226) 및 튜브 렌즈(228)를 포함할 수 있다.
- [0147] 또한, 샘플 이미지 형성부(220)를 통과한 샘플광(A)은 다중 이미지 형성부(230)에 전달될 수 있다.
- [0148] 상기 다중 이미지 형성부(230)는 샘플 이미지 형성부(220)를 통과한 샘플광(A)을 회절시켜, 샘플(S)에 대한 이미지를 복사 및 이동시킬 수 있다.
- [0149] 예를 들어, 다중 이미지 형성부(230)는 복수 개의 렌즈(232, 234) 및 이차원 회절격자(236)를 포함할 수 있다.
- [0150] 이때, 다중 이미지 형성부(230)에 의해 이차원 회절격자(236)를 통과한 샘플광(A)은 X방향 또는 Y방향으로 여러 개의 빛으로 분할될 수 있고, 특히, 0차와 1차 회절에 의해서 제2 이미지 평면(IP2) 상에 총 네 개의 이미지가

형성될 수 있다.

- [0151] 전술된 바와 같이 샘플광(A)은 다중 이미지 형성부(230)에서 회절된 후에 간섭 이미지 획득부(250)에 전달될 수 있다. 다시 말해서, 샘플광(A)의 회절에 의해 샘플 이미지 형성부(220)에서 형성된 이미지가 복사(또는 복제) 및 이동된 후에 간섭 이미지 획득부(250)에 전달될 수 있다.
- [0152] 이때, 다른 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템(20)은 일 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템(10)과 달리, 샘플광(A) 및 기준광(B)은 서로 비스듬하게 결합된 탈축 구성(off-axis configuration)으로 이루어져 별도의 위상 이동법 적용 없이 위상 이미지를 용이하게 획득할 수 있다.
- [0153] 한편, 광분배부(210)에서 나뉜 기준광(B)은 광확대부(240)에 전달될 수 있다
- [0154] 상기 광확대부(240)는 광분배부(210)에서 나뉜 기준광(B)을 확대시킬 수 있으며, 예를 들어, 제3 렌즈(242), 제4 렌즈(244) 및 제2 반사판(246)을 포함할 수 있다.
- [0155] 이와 같이 다중 이미지 형성부(230)를 통과한 샘플광(A) 및 광확대부(240)를 통과한 기준광(B)은 간섭 이미지 획득부(250)에 전달될 수 있다.
- [0156] 상기 간섭 이미지 획득부(250)는 다중 이미지 형성부(230)를 통과한 샘플광(A)과 광확대부(240)를 통과한 기준광(B)을 합쳐서, 샘플광(A)과 기준광(B)의 간섭 현상에 의해 복수 개의 간섭 이미지를 획득할 수 있다.
- [0157] 예를 들어, 간섭 이미지 획득부(250)는 제1 편광 부재(252), 제2 편광 부재(254), 제2 광분배기(256) 및 이미지 센서(258)를 포함할 수 있다.
- [0158] 상기 제1 편광 부재(252)는 다중 이미지 형성부(240)로부터 이격 배치되어, 샘플광(A)을 편광시킬 수 있다.
- [0159] 구체적으로, 제1 편광 부재(252)는 제2 광분배기(256) 및 다중 이미지 형성부(240) 사이에 배치될 수 있다.
- [0160] 또한, 제2 편광 부재(254)는 광분배부(210)로부터 이격 배치되어, 기준광(B)을 편광시킬 수 있다.
- [0161] 구체적으로, 제2 편광 부재(254)는 제2 광분배기(256) 및 광확대부(240) 사이에 배치될 수 있다.
- [0162] 상기 제1 편광 부재(252) 및 제2 편광 부재(254)는 복수 개의 편광 필터를 포함할 수 있다. 이때, 복수 개의 편광 필터의 조합에 의해 간섭 이미지 획득부(250)에서 서로 다른 편광 선택적(polarization selective) 이미지가 획득될 수 있으며, 샘플(S)의 편광 특성을 측정할 수 있다.
- [0163] 특히, 도 9를 참조하여, 제1 편광 부재(252)는 제1 편광 필터(2522) 및 제2 편광 필터(2524)를 포함하고, 제2 편광 부재(254)는 제3 편광 부재(2542) 및 제4 편광 부재(2544)를 포함할 수 있다.
- [0164] 상기 제1 편광 필터(2522)는 +45도의 편광 축을 갖는 편광 필터로 마련될 수 있고, 상기 제2 편광 필터(2524)는 -45도의 편광 축을 갖는 편광 필터로 마련될 수 있다.
- [0165] 이때, 다중 이미지 형성부(240)를 통과한 샘플광(A)은 제1 편광 필터(2522) 또는 제2 편광 필터(2524)를 통과한 후에 제2 광분배기(256)에 입사될 수 있다.
- [0166] 예를 들어, 도 5를 다시 참조하여, 다중 이미지 형성부(240)를 통과하면서 형성된 다중 이미지가 I1, I2, I3 및 I4라고 가정할 경우, I1 및 I3은 제1 편광 필터(2522)에 의해 편광되고, I2 및 I4는 제2 편광 필터(2524)에 의해 편광될 수 있다.
- [0167] 또한, 제3 편광 부재(2542)는 +90도의 편광 축을 갖는 편광 필터로 마련될 수 있고, 제4 편광 부재(2544)는 0도의 편광 축을 갖는 편광 필터로 마련될 수 있다.
- [0168] 이때, 기준광(B)은 제3 편광 부재(2542) 또는 제4 편광 부재(2544)를 통과한 후 제2 광분배기(256)에 입사될 수 있다.
- [0169] 예를 들어, 기준광(B)은 제3 편광 부재(2542)에 의해 편광된 후에 제2 광분배기(256)에 입사되어, 제1 편광 필터(2522)에 의해 편광된 I1과 제2 편광 필터(2524)에 의해 편광된 I2와 합쳐질 수 있다.
- [0170] 또한, 기준광(B)은 제4 편광 부재(2544)에 의해 편광된 후에 제2 광분배기(256)에 입사되어, 제1 편광 필터(2522)에 의해 편광된 I3과 제2 편광 필터(2524)에 의해 편광된 I4와 합쳐질 수 있다.
- [0171] 그러나 제1 편광 부재(252) 및 제2 편광 부재(254)의 구성의 예시는 도 9에 도시된 것에 국한되지 아니하며, 샘플광(A) 및 기준광(B)을 효과적으로 편광시킬 수 있다면 어떠한 조합으로 되든지 가능하다.

- [0172] 이와 같이 복수 개의 편광 부재의 조합을 다양하게 함으로써 간섭 이미지 획득부(250)에서 획득된 복수 개의 간섭 이미지가 다양하게 구성될 수 있다.
- [0173] 전술된 바와 같이 제1 편광 부재(252) 및 제2 편광 부재(254)에 의해 편광된 샘플광(A) 및 기준광(B)은 제2 광분배기(256) 내에서 결합될 수 있다.
- [0174] 상기 제2 광분배기(256)에서 합쳐진 샘플광(A) 및 기준광(B)은 간섭 현상을 일으키면서 이미지 센서(254)를 향하여 전달될 수 있다.
- [0175] 이때, 제2 광분배기(256) 및 이미지 센서(258) 사이에서 샘플광(A) 및 기준광(B)은 서로 비스듬하게 전달될 수 있다. 다시 말해서, 전술된 바와 같이 다른 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템(20)은 탈축 구성(off-axis configuration)으로 이루어질 수 있다.
- [0176] 구체적으로, 다중 이미지 형성부(230)를 통과한 샘플광(A)은 복수 개, 예를 들어 네 개의 빔으로 나뉘고 제1 편광 부재(252)에 의해 편광된 상태이므로, 각각의 빔이 제2 편광 부재(254)에 의해 편광된 기준광(B)과 간섭 현상을 일으킬 수 있다.
- [0177] 이때, 샘플광(A) 및 기준광(B)의 경로를 따라 제2 광분배기(256)로부터 이격되어 제2 이미지 평면(IP2)이 형성될 수 있으며, 제2 이미지 평면(IP2)에 샘플(S)에 대한 복수 개의 간섭 이미지에 대한 상이 맺힐 수 있다.
- [0178] 또한, 이미지 센서(258)는 제2 이미지 평면(IP2)에 놓여질 수 있으며, 이미지 센서(258)를 통해 제2 이미지 평면(IP2)에 형성된 샘플(S)에 대한 복수 개의 간섭 이미지를 획득할 수 있다.
- [0179] 다시 도 9를 참조하여, 간섭 이미지 획득부(250)에서 획득된 복수 개의 간섭 이미지는 X11, X12, X21, X22가 될 수 있다.
- [0180] 이때, X11은 -45도로 편광된 샘플광(A)과 +90도로 편광된 기준광(B)의 간섭 이미지이고, X12는 +45도로 편광된 샘플광(A)과 +90도로 편광된 기준광(B)의 간섭 이미지이고, X21은 -45도로 편광된 샘플광(A)과 0도로 편광된 기준광(B)의 간섭 이미지이고, X22는 +45도로 편광된 샘플광(A)과 0도로 편광된 기준광(B)의 간섭 이미지이다.
- [0181] 상기 간섭 이미지 획득부(250)에서 획득된 복수 개의 간섭 이미지(X11, X12, X21, X22)는 서로 다른 위상을 갖고 서로 다른 편광 선택적 디지털 홀로그래픽 이미지가 될 수 있다.
- [0182] 특히, 도 10a 및 도 10b를 참조하여, 간섭 이미지 획득부(250)는 액정 방울에 대한 편광 선택적 이미지를 획득할 수 있다. 도 10a는 액정 방울에 대한 복수 개의 간섭 이미지(X11, X12, X21, X22)의 세기 분포 이미지이며, 10b는 액정 방울에 대한 복수 개의 간섭 이미지(X11, X12, X21, X22)의 위상 이미지이다.
- [0183] 또한, 간섭 이미지 획득부(250)에는 이미지 분석부(260)가 연결될 수 있다.
- [0184] 상기 이미지 분석부(260)에서는 상기 복수 개의 간섭 이미지를 분석하여, 샘플(S)에 대한 복굴절 분포 이미지 또는 샘플(S)에 대한 편파 반응 이미지가 획득될 수 있다.
- [0185] 이때, 이미지 분석부(260)에서는 복수 개의 간섭 이미지(X11, X12, X21, X22)로부터 샘플(S)의 광학적 비등방성(optical anisotropy)을 정량적으로 나타내는 존스 행렬(Jones matrix)이 획득될 수 있다.
- [0186] 예를 들어 존스 행렬(Jones matrix)은 다음과 같은 식들로부터 획득될 수 있다.
- [0187]
$$J_{xx} = (X_{11} + X_{21})$$
- [0188]
$$J_{xy} = (X_{12} - X_{22})$$
- [0189]
$$J_{yx} = (X_{11} - X_{21})$$
- [0190]
$$J_{yy} = (X_{12} + X_{22})$$
- [0191] 특히, 도 11a 및 11b를 참조하여, 이미지 분석부(260)는 존스 행렬을 이용하여 액정 방울에 대한 광학적 비등방성 이미지를 획득할 수 있다.
- [0192] 도 11a는 액정 방울에 대한 존스 행렬의 세기 분포 이미지이며, 도 11b는 액정 방울에 대한 존스 행렬의 위상 이미지이다.
- [0193] 이와 같이 다른 실시예에 따른 홀로그래픽 현미경 시스템은 기준광을 비스듬하게 사용하는 탈축 구성(off-axis configuration)에서 이차원 회절격자 및 복수 개의 편광 부재를 사용함으로써 단일 촬영을 통하여 복수 개의 편

광 선택적 또는 편광 반응 이미지를 동시에 획득할 수 있고, 더 나아가 복수 개의 편광 선택적 또는 편광 반응 이미지를 분석하여 샘플에 대한 광학 비등방성 분포에 대한 영상을 획득할 수 있다.

[0194] 또한, 기준광을 비스듬하게 사용하는 탈축 구성(off-axis configuration)이 갖는 장점을 확보하면서 서로 다른 편광 필터의 조합을 통하여 샘플의 편광 특성 또는 복굴절 특성을 단일 촬영으로 측정할 수 있어, 기존 편광 특성 측정 홀로그래픽 현미경에서 이미지 센서의 동적 범위를 복수 개의 이미지로 나누어 사용함으로써 야기되는 SNR(signal to noise ratio)이 감소되는 문제점을 해소할 수 있다.

[0195] 이상과 같이 본 발명의 실시예에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

[0196] 10, 20: 홀로그래픽 현미경 시스템

100, 200: 광원부

110, 210: 광분배부

120, 220: 샘플 이미지 형성부

130, 230: 다중 이미지 형성부

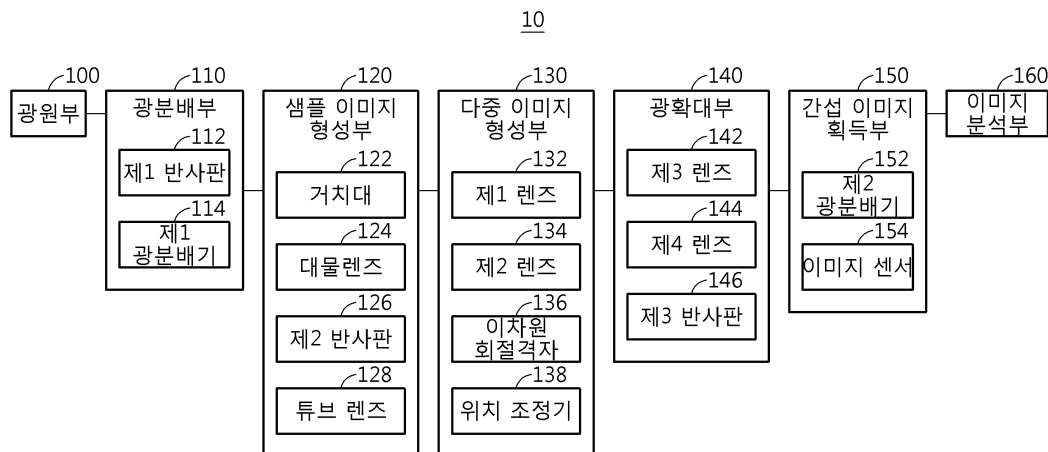
140, 240: 광확대부

150, 250: 간섭 이미지 획득부

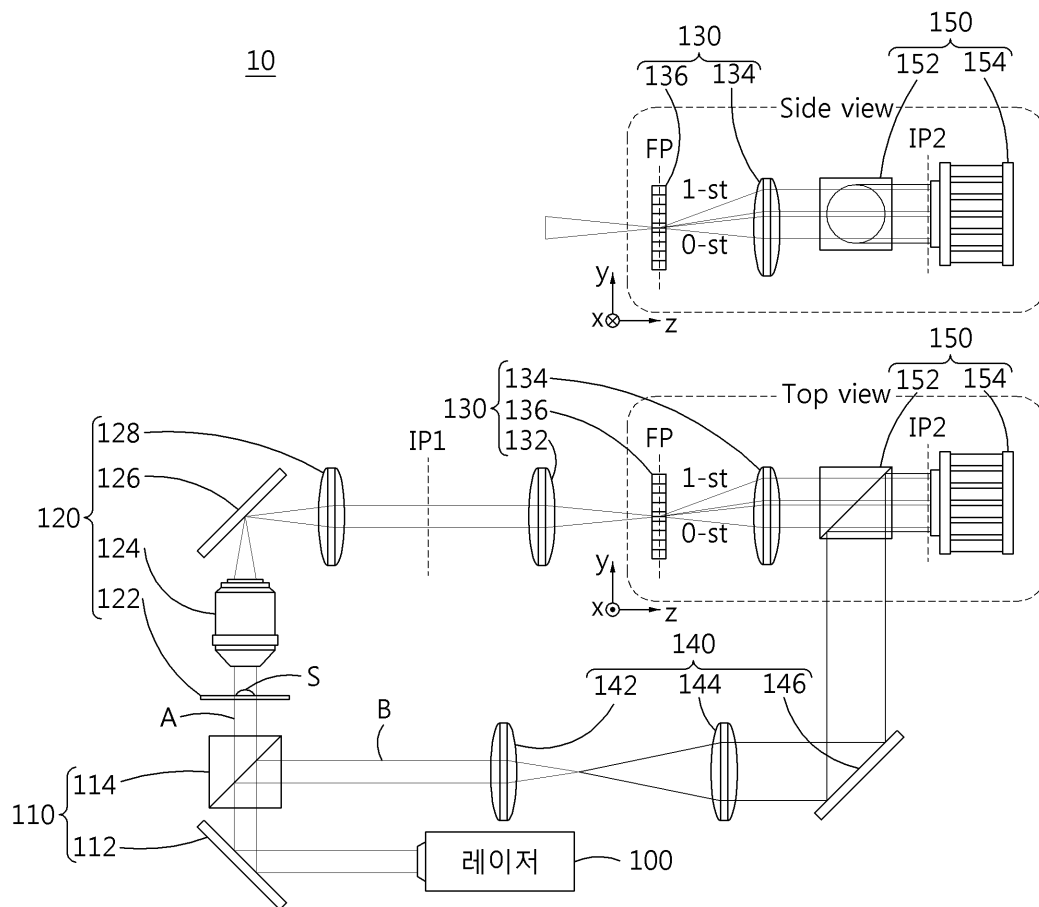
160, 260: 이미지 분석부

도면

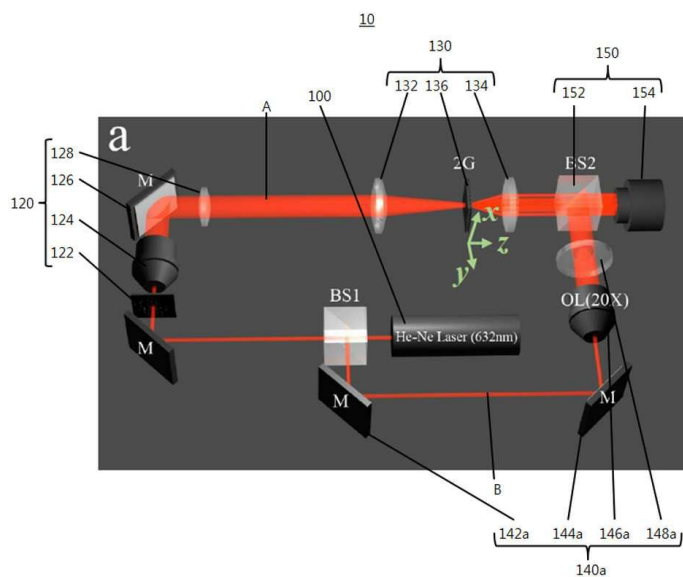
도면1



도면2

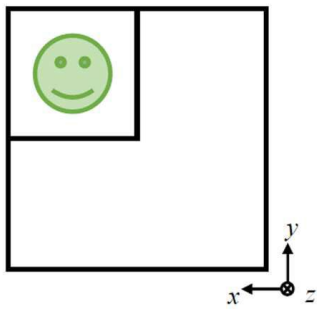


도면3



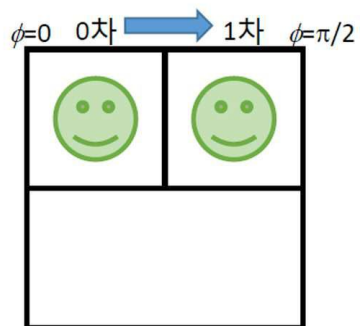
도면4a

원래 이미지



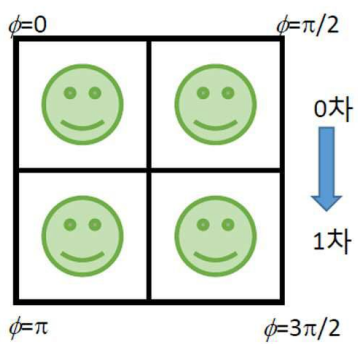
도면4b

x-방향 격자에 의한 이미지 복제

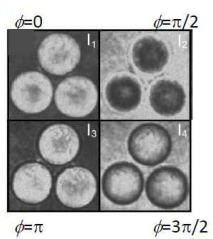


도면4c

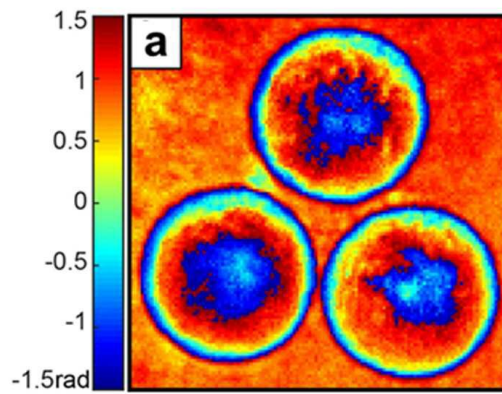
y-방향 격자에 의한 이미지 복제



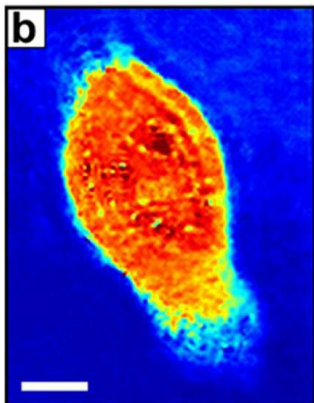
도면5



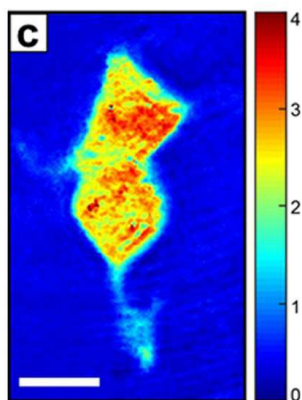
도면6a



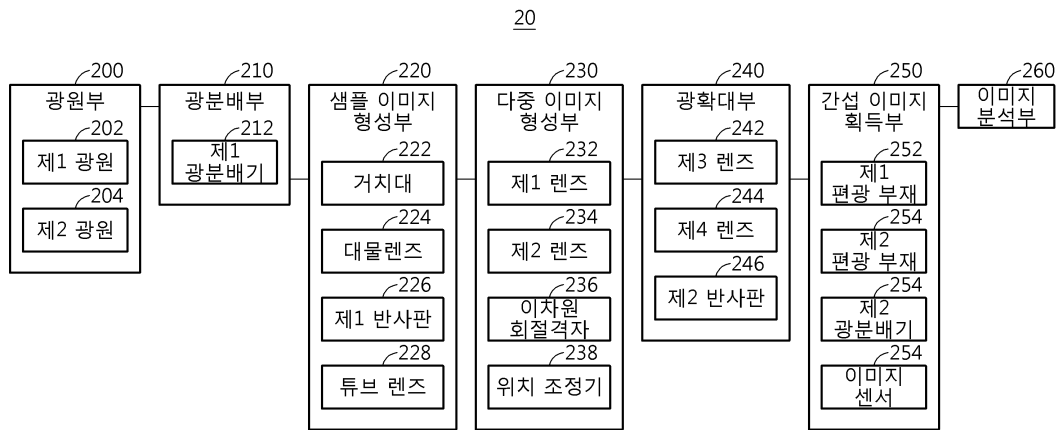
도면6b



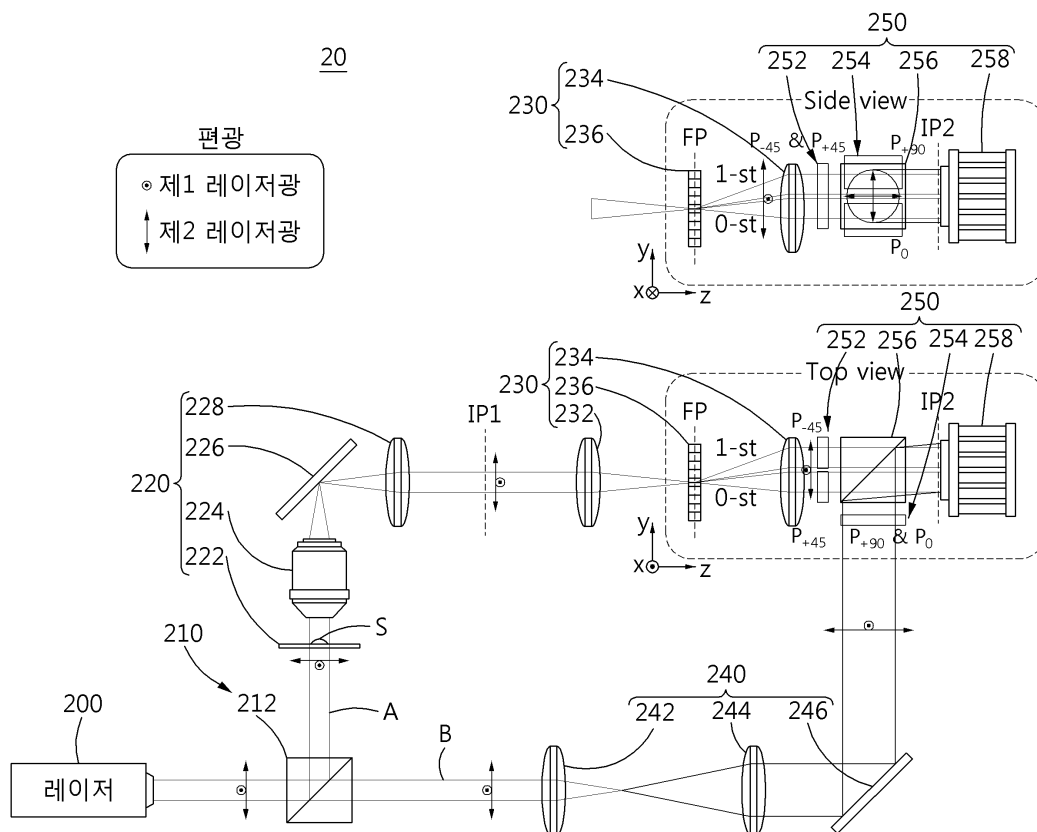
도면6c



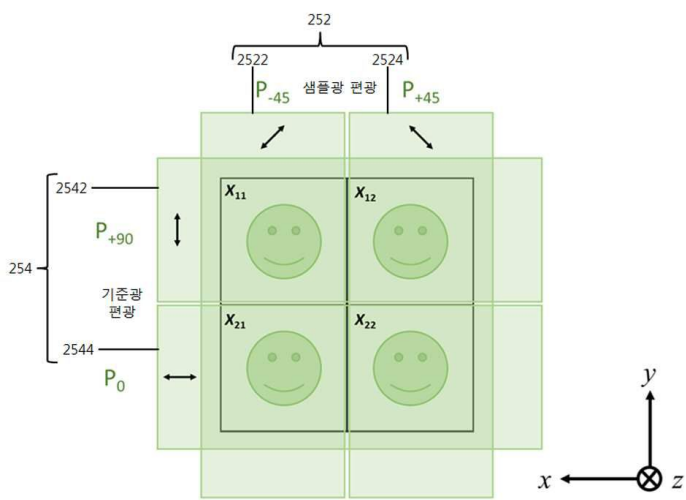
도면7



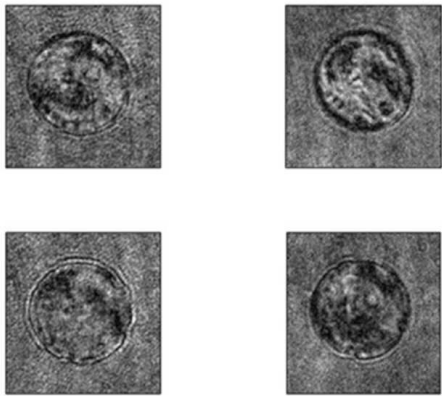
도면8



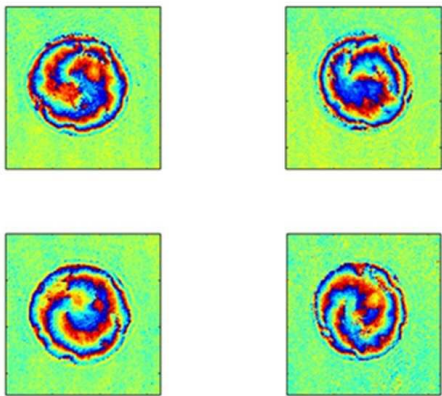
도면9



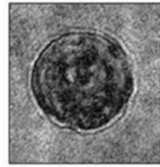
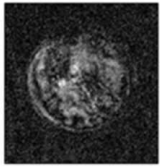
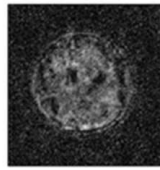
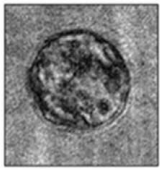
도면10a



도면10b



도면11a



도면11b

