



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년02월28일

(11) 등록번호 10-2082747

(24) 등록일자 2020년02월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G02B 21/36 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G02B 21/361 (2013.01)

G02B 21/365 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0008766

(22) 출원일자 2019년01월23일

심사청구일자 2019년01월23일

(56) 선행기술조사문헌

JP2007527526 A

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

건양대학교 산학협력단

충청남도 논산시 대학로 121 (내동)

(72) 발명자

박노철

서울특별시 마포구 마포대로 195, 202동 1403호

최국중

서울특별시 성동구 뚝섬로13길 11, 101동 908호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 13 항

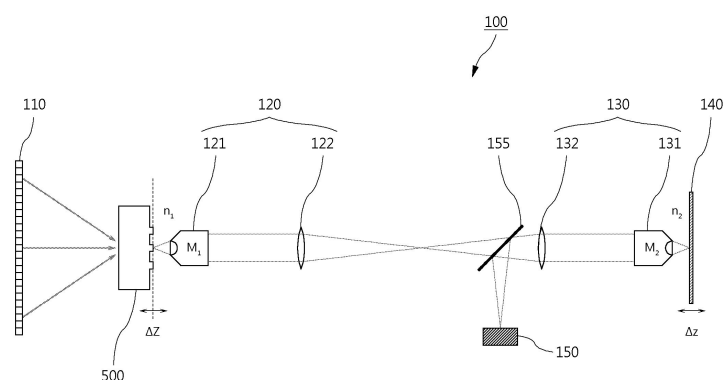
심사관 : 경천수

(54) 발명의 명칭 초점거리 조절이 가능한 LED 어레이 기반 3차원 이미징 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 초점거리 조절이 가능한 LED 어레이 기반 3차원 이미징 시스템에 관한 것이다. 본 발명의 목적은 FPM 기술을 기반으로 하되 대상물체의 깊이방향으로의 초점면을 이동시켜 가면서 이미지를 획득함으로써 기존의 FPM 등에 비해 훨씬 넓은 깊이방향 측정범위로 대상물체의 고해상도 3차원 복합이미지정보(complex amplitude)를 산출할 수 있도록 하는, 초점거리 조절이 가능한 LED 어레이 기반 3차원 이미징 시스템을 제공함에 있다. 보다 상세하게는, 공액광학계를 이용하여 미러를 이동시킴으로써 초점거리를 조절할 수 있도록 하는, 초점거리 조절이 가능한 LED 어레이 기반 3차원 이미징 시스템을 제공함에 있다.

대표도



(72) 발명자	(56) 선행기술조사문헌
이한욱	JP2014505265 A
서울특별시 마포구 월드컵북로26길 24	JP2015060202 A
임건	KR101547459 B1
서울특별시 금천구 한대로 62 한신아파트 2-908	KR1020110113055 A
임진상	KR1020150059147 A
경기도 의왕시 내손중앙로 11, 1109-101 (내손동, 의왕내손이편한세상)	JP2018509622 A
전성빈	US20180284418 A1
서울특별시 성동구 매봉길 50, 103-1101 (옥수동, 이편한세상옥수파크힐스)	US20170146788 A1
조장현	US9316536 B2
경기도 안양시 동안구 평촌대로 374, 4층	CN106767534 B
한완희	
경기도 고양시 일산동구 탄중로417번길 11, 401호	
최현	
세종특별자치시 다정북로 110, 203-401 (다정동, 가온마을2단지)	
이 발명을 지원한 국가연구개발사업	
과제고유번호	2018013452
부처명	과학기술정보통신부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	선도연구센터지원사업
연구과제명	[선도연구센터/ERC]초정밀 광 기계기술 연구센터(4/4,1단계)
기 여 율	1/1
주관기관	연세대학교
연구기간	2018.03.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

복수 개의 LED가 열 및 행을 이루어 배치되어 선택적으로 LED를 발광시킴으로써 광조사방향이 변경가능하게 형성되는 LED어레이광원(110);

상기 LED어레이광원(110)으로부터 대상물체(500)로 조사되어 투과 또는 반사된 광을 입사받아 평행광으로 변환하여 출력하는 대물렌즈(121) 및 상기 대물렌즈(121)에서 출력된 광을 수렴하는 수광렌즈(122)를 포함하는 대물광학계(120);

상기 수광렌즈(122)에서 출력된 광을 평행광으로 변환하여 출력하는 투영렌즈(132) 및 상기 투영렌즈(132)에서 출력된 광을 집광하는 집광렌즈(131)를 포함하여, 상기 대물광학계(120)와 공액(conjugated)관계를 형성하는 조절광학계(130);

상기 집광렌즈(131)에서 집광된 광을 입사받아 반사시키며, 상기 대물광학계(120) 및 상기 조절광학계(130)의 광축방향을 따라 이동가능하게 형성되는 조절미러(140);

상기 조절광학계(130) 내 광경로 상에 배치되어 광 일부의 광경로를 변경시키는 측정용광경로변경부(155)에 의해 광경로가 변경된 광을 입사받아 상기 대상물체(500)의 이미지를 측정하는 측정부(150);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 3차원 이미징 장치.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 3차원 이미징 장치(100)는,

상기 대물렌즈(121) 및 상기 집광렌즈(131)가 서로 대응되고, 상기 수광렌즈(122) 및 상기 투영렌즈(132)가 서로 대응되어 공액관계를 형성하는 것을 특징으로 하는 3차원 이미징 장치.

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 3차원 이미징 장치(100)는,

상기 조절미러(140)가 광축방향을 따라 이동하는 변위인 미러이동거리를 Δz 라 하고, 상기 대상물체(500)에 형성되는 초점면이 광축방향을 따라 이동하는 변위인 초점면이동거리를 ΔZ 라 할 때,

상기 대물렌즈(121) 및 상기 집광렌즈(131)의 배율이 동일한 경우, 상기 미러이동거리(Δz) 및 상기 초점면이동거리(ΔZ) 사이에 하기의 수학적식과 같은 관계가 형성되는 것을 특징으로 하는 3차원 이미징 장치.

$$\Delta Z \approx 2 \frac{n_2}{n_1} \Delta z$$

(여기에서, n_1 : 대상물체-대물렌즈 사이 매질의 굴절률, n_2 : 집광렌즈-조절미러 사이 매질의 굴절률)

청구항 4

제 1항에 있어서, 상기 3차원 이미징 장치(100)는,

상기 조절미러(140)가 광축방향을 따라 이동하는 변위인 미러이동거리를 Δz 라 하고, 상기 대상물체(500)에 형성되는 초점면이 광축방향을 따라 이동하는 변위인 초점면이동거리를 ΔZ 라 할 때,

상기 대물렌즈(121) 및 상기 집광렌즈(131)의 배율이 상이한 경우, 상기 미러이동거리(Δz) 및 상기 초점면이동

거리(ΔZ) 사이에 하기의 수식과 같은 관계가 형성되는 것을 특징으로 하는 3차원 이미징 장치.

$$\Delta Z \approx 2 \frac{n_2}{n_1} \Delta z \times \frac{M_2}{M_1}$$

(여기에서, n_1 : 대상물체-대물렌즈 사이 매질의 굴절률, n_2 : 집광렌즈-조절미러 사이 매질의 굴절률, M_1 : 대물렌즈의 배율, M_2 : 집광렌즈의 배율)

청구항 5

제 1항에 있어서, 상기 3차원 이미징 장치(100)는,

측정과정 중 상기 대상물체(500), 상기 대물광학계(120) 및 상기 조절광학계(130)는 고정된 위치가 변동없이 유지되며, 상기 조절미러(140)만이 광축방향으로 이동함으로써 초점면이 변동됨으로써 상기 대상물체(500)의 광축방향으로의 복수 개의 초점면에 대한 이미징정보를 획득하고,

상기 복수 개의 이미징정보를 취합처리함으로써 상기 대상물체(500)의 3차원복합이미지(complex amplitude)정보를 복원하는 것을 특징으로 하는 3차원 이미징 장치.

청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 3차원 이미징 장치(100)는,

상기 LED어레이광원(110)에서 조사된 광이 상기 대상물체(500)를 투과하여 상기 대물광학계(120)로 입사되도록 이루어지는 투과식으로서,

상기 LED어레이광원(110)은 상기 대상물체(500)를 사이에 두고 상기 대물렌즈(121)와 마주보는 위치에 배치되어 상기 대상물체(500)로 광을 조사하는 것을 특징으로 하는 3차원 이미징 장치.

청구항 7

제 1항에 있어서, 상기 3차원 이미징 장치(100)는,

상기 LED어레이광원(110)에서 조사된 광이 상기 대상물체(500)에서 반사되어 상기 대물광학계(120)로 입사되도록 이루어지는 반사식으로서,

상기 대물렌즈(121) 및 상기 수광렌즈(122) 사이에 배치되어 광 일부의 광경로를 변경시키는 광원용광경로변경부(115)에 의해 상기 LED어레이광원(110)이 상기 대상물체(500)로 광을 조사하는 것을 특징으로 하는 3차원 이미징 장치.

청구항 8

제 1항에 있어서, 상기 측정용광경로변경부(155)는,

상기 수광렌즈(122) 및 상기 투영렌즈(132) 사이에 배치되거나,

상기 투영렌즈(132) 및 상기 집광렌즈(131) 사이에 배치되는 것을 특징으로 하는 3차원 이미징 장치.

청구항 9

제 1항에 따른 3차원 이미징 장치(100)를 이용하는 3차원 이미징 방법에 있어서,

상기 조절미러(140)가 미리 결정된 위치에 배치되어 상기 대상물체(500)에 형성되는 초점면 위치가 결정되는 초

점면결정단계;

상기 LED어레이광원(110)에 의하여 미리 결정된 광조사방향으로 상기 대상물체(500)에 광이 조사되는 광조사단계;

상기 측정부(150)에 의하여 상기 대상물체(500)로 투과 또는 반사된 광이 입사되어 상기 대상물체(500)의 2차원 이미지가 측정되는 단일이미지측정단계;

상기 LED어레이광원(110)의 광조사방향이 변경되는 광방향변경단계;

상기 광조사단계, 상기 단일이미지측정단계, 상기 광방향변경단계가 순차적으로 반복 수행되어 복수 개의 광조사방향에 따른 복수 개의 상기 대상물체(500)의 2차원이미지정보가 획득되는 복수이미지획득단계;

복수 개의 상기 대상물체(500)의 2차원이미지정보가 푸리에변환되어 공간주파수 평면 상에 표시되는 푸리에변환단계;

상기 LED어레이광원(110)으로부터 조사된 광조사방향 및 공간주파수 평면 상에 표시된 복수 개의 상기 대상물체(500)의 이미지변환정보의 쉬프트(shift)값을 사용하여 상기 초점면에서의 복합이미지(complex amplitude)정보가 복원되는 초점면복합이미지복원단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 3차원 이미징 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서, 상기 3차원 이미징 방법은,

상기 초점면복합이미지복원단계에서 복원된 복합이미지정보를 사용하여 상기 대상물체(500)의 2차원이미지 상의 위상정보가 산출되는 위상정보산출단계;

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 3차원 이미징 방법.

청구항 11

제 10항에 있어서, 상기 3차원 이미징 방법은,

상기 조절미러(140)의 위치가 변경되어 상기 대상물체(500)에 형성되는 초점면 위치가 변경되는 초점면변경단계;

변경된 초점면에 대하여, 상기 복수이미지획득단계, 상기 푸리에변환단계, 상기 초점면복합이미지복원단계, 상기 위상정보산출단계가 순차적으로 수행되어 상기 변경된 초점면에 대한 2차원이미지정보 및 위상정보를 포함하는 3차원이미지기본정보가 획득되는 기본정보획득단계;

상기 초점면변경단계, 상기 기본정보획득단계가 순차적으로 반복 수행되어 복수 개의 초점면에 대하여 획득된 복수 개의 3차원이미지기본정보를 사용하여 상기 대상물체(500)의 3차원복합이미지정보가 복원되는 3차원복합이미지복원단계;

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 3차원 이미징 방법.

청구항 12

제 11항에 있어서, 상기 3차원 이미징 방법은,

상기 초점면복합이미지복원단계에서의 광축방향 측정범위는 $1\mu\text{m}$ 내지 $1000\mu\text{m}$ 범위 내의 값이며,

상기 3차원복합이미지복원단계에서의 광축방향 측정범위는 $10\mu\text{m}$ 내지 100mm 범위 내의 값인 것을 특징으로 하는 3차원 이미징 방법.

청구항 13

제 11항에 있어서, 상기 3차원 이미징 방법은,

상기 광방향변경단계 및 상기 초점면변경단계 간 시간지연을 저감하도록,

상기 LED어레이광원(110)의 광조사방향 변경을 위한 LED의 선택적 발광동작 및 초점면 위치 변경을 위한 상기 조절미러(140)의 이동동작이 동기화되는 것을 특징으로 하는 3차원 이미징 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 초점거리 조절이 가능한 LED 어레이 기반 3차원 이미징 장치 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 FPM(Fourier Ptychographic Microscopy) 기술을 기반으로 하여 3차원 복합이미지정보를 획득하는 3차원 이미징 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 3차원의 복합이미지정보(complex amplitude)를 측정하기 위한 다양한 기술이 존재하며, 그 중 대표적인 것으로서 디지털 홀로그래피 이미징 시스템이 있다. 디지털 홀로그래피 (digital holography)란 대상물체를 투과하면서 변형된 물체광(object beam) 및 기준광과의 간섭을 기반으로 3차원 정보를 복원해 내는 기술이다. 보다 상세하게 설명하자면, 광이 대상물체를 투과하면서 얻을 수 있는 정보는 2차원 정보 및 투과 과정에서 발생하는 위상 변형 정보이다. 이 때 물체광만을 측정해서는 이러한 위상 정보를 얻을 수 없으나, 별도의 기준광과의 간섭을 통해 위상 정보를 획득할 수 있다. 따라서 물체광으로부터 획득되는 2차원 정보와 간섭을 통해 획득된 위상 정보를 합쳐 대상물체의 3차원 정보를 산출해 낼 수 있게 되는 것이다. 이처럼 디지털 홀로그래피의 주된 응용 분야는 위상 측정을 통한 3차원 이미징으로서, 특히 투명한 물체에 물체광을 통과시켜 홀로그램을 취득하는 투과형 디지털 홀로그래피의 경우 매우 정밀한 수준의 위상 획득이 가능하므로, 마이크로 광학 소자 및 바이오 샘플 등의 측정에 활용되고 있다. 한국특허등록 제1833623호("코히런트 조절이 가능한 디지털 홀로그래피 시스템", 2018.02.22.)에 이러한 디지털 홀로그래피 시스템 기술이 잘 설명되어 있다.

[0003] 그런데 디지털 홀로그래피 기술에는 다음과 같은 한계가 있다. 상술한 바와 같이 디지털 홀로그래피 기술은 물체광 및 기준광의 간섭을 이용하기 때문에, 레이저와 같은 코히어런트(coherent) 광원을 사용해야 한다. 일반적으로는 하나의 레이저 광원에서 나오는 빔을 빔 스플리터(beam splitter)를 이용하여 나누어서 하나는 물체광으로, 다른 하나는 기준광으로 이용하는 방식을 사용하는데, 이렇게 나누어진 광들을 미러 등을 이용하여 광경로를 전환시킨 후 다시 하나로 합쳐서 간섭을 일으키는 광학계를 구성하게 된다. 이와 같은 광학계 구조의 복잡성 증가로 인하여, 부품 개수 증가, 광학계 구성에 드는 비용 증가, 부피 증가 등의 여러 문제가 발생하게 된다. 즉, 디지털 홀로그래피 기술의 경우 레이저 광원과 같이 상당히 고가의 광원을 사용해야 한다는 한계, 광학계 구성이 불가피하게 복잡할 수밖에 없다는 한계 등이 존재하는 것이다.

[0004] 한편 LED 어레이 기반의 3차원 측정 방법인 FPM(Fourier Ptychographic Microscopy)은, 기존 이미징 시스템의 경우 측정영역(FOV)이 높아지면 분해능이 낮아질 수밖에 없고, 그 반대로 마찬가지로 한계가 있었던 문제를 개선시킴과 동시에, 일반적인 방법으로 측정할 수 없는 위상정보를 복원해 낼 수 있는 이미징 기술이다.

[0005] 도 1은 종래의 고전적인 이미징장치 및 FPM 기반 이미징 장치를 설명하기 위한 도면이다. 도 1(A)는 대상물체의 2차원 이미지를 얻는 고전적인 장치를 개략적으로 도시한 것으로, 도시된 바와 같이 고전적인 2차원 이미지 획득 장치에서는, 대상물체의 일측에서 광을 조사하고(일반적으로 할로겐 램프 등이 널리 사용된다), 대상물체를 투과하면서 변형된 광을 대물렌즈 및 수광렌즈 등으로 이루어지는 광학계를 통해 카메라로 입사시켜 2차원 이미지를 획득하게 된다. 도 1(B)는 종래의 FPM 장치를 개략적으로 도시한 것으로, 종래의 FPM 장치는 고전적인 2차원 이미지 획득 장치에서 할로겐 광원이 위치하는 자리에 2차원 평면 형태로 된 LED 어레이를 배치한 형태로 형성된다.

[0006] 도 2는 종래의 FPM 기반 이미징 원리를 설명하기 위한 도면이다. 도 1(B)에 도시된 바와 같은 시스템을 이용하여, 먼저 도 2(A)에서와 같이 경사진 각도로 대상물체에 광을 조사하면, 카메라에서는 광이 조사된 방향에 따라 그림자가 진 형태의 이미지를 얻게 된다. 다음으로 도 2(B)에서와 같이 수직으로 대상물체에 광을 조사하면, 카메라에서는 그림자가 거의 없는 형태의 이미지를 얻게 된다. 또한 도 2(C)에서와 같이 다른 경사진 각도로 대상

물체에 광을 조사하면, 카메라에서는 도 2(A)에서 얻은 이미지와는 다른 위치에 그림자가 진 형태의 이미지를 얻게 된다. 이와 같이 여러 각도로 광을 조사하여 얻은 이미지들을 푸리에 변환하여 공간주파수 평면에 표시하면, 예를 들어 도 2(B)(그림자가 거의 없는 경우)를 기준으로 할 때, 도 2(A) 또는 도 2(C)에서의 그림자 부분은 도시된 바와 같이 기준일 때의 영역에 비해 일부 이격(shift)된 영역으로 나타나게 된다. 이처럼 공간주파수 평면으로 변환된 여러 이미지 정보들을 합성하는 과정에서, 일차적으로 해상도가 올라가게 되는 장점이 있다. 또한, 겹침 영역에서의 파인 정보로부터 이미지 복원 과정에서 위상 정보가 산출될 수 있으며, 이를 이용하여 3차원 정보를 얻을 수 있다.

[0007] FPM 기술은 앞서 설명한 디지털 홀로그래피 기술과 비교하였을 때 훨씬 저렴한 가격의 광원을 이용할 수 있다는 점, 광학계 구조가 보다 단순하다는 점 등으로 인하여, 장비 가격을 저감시킬 수 있고 광학계 부피를 줄일 수 있는 등 여러 장점이 있다. 이러한 FPM 기술은 미국특허공개 제2014-0118529호("Fourier Ptychographic Imaging Systems, Devices, and Methods", 2014.05.01.)에 상세하게 잘 설명되어 있다.

[0008] 그런데 이러한 FPM 기술에도 한계는 존재한다. 상술한 바와 같이 FPM의 복원 방법을 이용하여 깊이방향의 디포커스(defocus)를 보정할 수도 있으며, 이는 같은 해상도를 얻기 위한 일반적인 다른 광학계를 사용하는 것에 비해 훨씬 긴 필드깊이(depth-of-field, DOF)를 가질 수 있도록 해 주기는 한다. 그럼에도 불구하고 이는 사용된 광학계가 제공하는 필드깊이 범위(일반적으로 수백 μm 이내)를 벗어나지 못한다는 한계가 있다. 따라서 측정할 수 있는 이미지의 3차원 분포를 고려할 때, 가로방향 또는 세로방향의 측정범위에 비해 깊이방향으로는 1/10 ~ 1/100 정도의 측정범위밖에 갖지 못한다. 따라서 깊이방향으로의 더 넓은 측정범위를 확보하기 위해서는, 직접 대상물체를 깊이방향으로 움직여 가면서 촬영해야 한다.

[0009] 그러나 대상물체를 움직이는 방법에도 한계가 있는데, 먼저 현미경과 같은 이미징 시스템에서는 렌즈와 대상물체 간 거리가 원래부터 매우 짧게 형성되어 있기 때문에, 대상물체의 이동가능거리 자체가 제한된다. 또한 3차원의 액체 속에 존재하는 생체 세포 등을 측정하거나, 렌즈, 3D 유리 등과 같은 3차원의 투명구조물 등을 측정함에 있어서 제약이 있거나 불가능할 수도 있다. 특히 액체 속에 들어있는 수 μm 의 대상물체를 측정하고자 하는 경우, 이동 과정에서 유발된 내부 유동으로 인하여 대상물체의 위치가 인위적으로 변경되는 문제가 발생할 수 있다. 이는 상당히 심각한 문제가 될 수 있는데, 예를 들어 타임랩스를 이용하여 며칠에 걸쳐 세포(대상물체)의 성장을 관찰하는 등과 같은 작업 과정에서, 이와 같이 대상물체의 위치가 변경됨으로써 측정 영역을 벗어나는 문제가 발생할 수도 있는 것이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 1. 한국특허등록 제1833623호("코히런스 조절이 가능한 디지털 홀로그래피 시스템", 2018.02.22.)
(특허문헌 0002) 2. 미국특허공개 제2014-0118529호("Fourier Ptychographic Imaging Systems, Devices, and Methods", 2014.05.01.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 따라서, 본 발명은 상기한 바와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 FPM 기술을 기반으로 하되 대상물체의 깊이방향으로의 초점면을 이동시켜 가면서 이미지를 획득함으로써 기존의 FPM 등에 비해 훨씬 넓은 깊이방향 측정범위로 대상물체의 고해상도 3차원 복합이미지정보(complex amplitude)를 산출할 수 있도록 하는, 초점거리 조절이 가능한 LED 어레이 기반 3차원 이미징 장치 및 방법을 제공함에 있다. 보다 상세하게는, 공역광학계를 이용하여 미러를 이동시킴으로써 초점거리를 조절할 수 있도록 하는, 초점거리 조절이 가능한 LED 어레이 기반 3차원 이미징 장치 및 방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 초점거리 조절이 가능한 LED 어레이 기반 3차원 이미징 장치(100)는, 복수 개의 LED가 열 및 행을 이루어 배치되어 선택적으로 LED를 발광시킴으로써 광조사방향이 변경가

능하게 형성되는 LED어레이광원(110); 상기 LED어레이광원(110)으로부터 대상물체(500)로 조사되어 투과 또는 반사된 광을 입사받아 평행광으로 변환하여 출력하는 대물렌즈(121) 및 상기 대물렌즈(121)에서 출력된 광을 수렴하는 수광렌즈(122)를 포함하는 대물광학계(120); 상기 수광렌즈(122)에서 출력된 광을 평행광으로 변환하여 출력하는 투영렌즈(132) 및 상기 투영렌즈(132)에서 출력된 광을 집광하는 집광렌즈(131)를 포함하여, 상기 대물광학계(120)와 공액(conjugated)관계를 형성하는 조절광학계(130); 상기 집광렌즈(131)에서 집광된 광을 입사받아 반사시키며, 상기 대물광학계(120) 및 상기 조절광학계(130)의 광축방향을 따라 이동가능하게 형성되는 조절미러(140); 상기 조절광학계(130) 내 광경로 상에 배치되어 광 일부의 광경로를 변경시키는 측정용광경로변경부(155)에 의해 광경로가 변경된 광을 입사받아 상기 대상물체(500)의 이미지를 측정하는 측정부(150); 를 포함할 수 있다. 보다 구체적으로는, 상기 3차원 이미징 장치(100)는, 상기 대물렌즈(121) 및 상기 집광렌즈(131)가 서로 대응되고, 상기 수광렌즈(122) 및 상기 투영렌즈(132)가 서로 대응되어 공액관계를 형성할 수 있다.

[0013] 또한 상기 3차원 이미징 장치(100)는, 상기 조절미러(140)가 광축방향을 따라 이동하는 변위인 미러이동거리를 Δz 라 하고, 상기 대상물체(500)에 형성되는 초점면이 광축방향을 따라 이동하는 변위인 초점면이동거리를 ΔZ 라 할 때, 상기 대물렌즈(121) 및 상기 집광렌즈(131)의 배율이 동일한 경우, 상기 미러이동거리(Δz) 및 상기 초점면이동거리(ΔZ) 사이에 하기의 수학적식과 같은 관계가 형성될 수 있다.

$$\Delta Z \approx 2 \frac{n_2}{n_1} \Delta z$$

[0014]

[0015] (여기에서, n_1 : 대상물체-대물렌즈 사이 매질의 굴절률, n_2 : 집광렌즈-조절미러 사이 매질의 굴절률)

[0016] 또는 상기 3차원 이미징 장치(100)는, 상기 조절미러(140)가 광축방향을 따라 이동하는 변위인 미러이동거리를 Δz 라 하고, 상기 대상물체(500)에 형성되는 초점면이 광축방향을 따라 이동하는 변위인 초점면이동거리를 ΔZ 라 할 때, 상기 대물렌즈(121) 및 상기 집광렌즈(131)의 배율이 상이한 경우, 상기 미러이동거리(Δz) 및 상기 초점면이동거리(ΔZ) 사이에 하기의 수학적식과 같은 관계가 형성될 수 있다.

$$\Delta Z \approx 2 \frac{n_2}{n_1} \Delta z \times \frac{M_2}{M_1}$$

[0017]

[0018] (여기에서, n_1 : 대상물체-대물렌즈 사이 매질의 굴절률, n_2 : 집광렌즈-조절미러 사이 매질의 굴절률, M_1 : 대물렌즈의 배율, M_2 : 집광렌즈의 배율)

[0019] 또한 상기 3차원 이미징 장치(100)는, 측정과정 중 상기 대상물체(500), 상기 대물광학계(120) 및 상기 조절광학계(130)는 고정된 위치가 변동없이 유지되며, 상기 조절미러(140)만이 광축방향으로 이동함으로써 초점면이 변동됨으로써 상기 대상물체(500)의 광축방향으로의 복수 개의 초점면에 대한 이미징정보를 획득하고, 상기 복수 개의 이미징정보를 취합처리함으로써 상기 대상물체(500)의 3차원복합이미지(complex amplitude)정보를 복원할 수 있다.

[0020] 또한 상기 3차원 이미징 장치(100)는, 상기 LED어레이광원(110)에서 조사된 광이 상기 대상물체(500)를 투과하여 상기 대물광학계(120)로 입사되도록 이루어지는 투과식으로서, 상기 LED어레이광원(110)은 상기 대상물체(500)를 사이에 두고 상기 대물렌즈(121)와 마주보는 위치에 배치되어 상기 대상물체(500)로 광을 조사할 수 있다.

[0021] 또한 상기 3차원 이미징 장치(100)는, 상기 LED어레이광원(110)에서 조사된 광이 상기 대상물체(500)에서 반사되어 상기 대물광학계(120)로 입사되도록 이루어지는 반사식으로서, 상기 대물렌즈(121) 및 상기 수광렌즈(122) 사이에 배치되어 광 일부의 광경로를 변경시키는 광원용광경로변경부(115)에 의해 상기 LED어레이광원(110)이 상기 대상물체(500)로 광을 조사할 수 있다.

[0022] 또한 상기 측정용광경로변경부(155)는, 상기 수광렌즈(122) 및 상기 투영렌즈(132) 사이에 배치되거나, 상기 투영렌즈(132) 및 상기 집광렌즈(131) 사이에 배치될 수 있다.

[0023] 또한 본 발명의 3차원 이미징 방법은, 상술한 바와 같은 3차원 이미징 장치(100)를 이용하는 3차원 이미징 방법에 있어서, 상기 조절미러(140)가 미리 결정된 위치에 배치되어 상기 대상물체(500)에 형성되는 초점면 위치가 결정되는 초점면결정단계; 상기 LED어레이광원(110)에 의하여 미리 결정된 광조사방향으로 상기 대상물체(500)에 광이 조사되는 광조사단계; 상기 측정부(150)에 의하여 상기 대상물체(500)로 투과 또는 반사된 광이 입사되

어 상기 대상물체(500)의 2차원이미지가 측정되는 단일이미지측정단계; 상기 LED어레이광원(110)의 광조사방향이 변경되는 광방향변경단계; 상기 광조사단계, 상기 단일이미지측정단계, 상기 광방향변경단계가 순차적으로 반복 수행되어 복수 개의 광조사방향에 따른 복수 개의 상기 대상물체(500)의 2차원이미지정보가 획득되는 복수 이미지획득단계; 복수 개의 상기 대상물체(500)의 2차원이미지정보가 푸리에변환되어 공간주파수 평면 상에 표시되는 푸리에변환단계; 상기 LED어레이광원(110)으로부터 조사된 광조사방향 및 공간주파수 평면 상에 표시된 복수 개의 상기 대상물체(500)의 이미지변환정보의 쉬프트(shift)값을 사용하여 상기 초점면에서의 복합이미지(complex amplitude)정보가 복원되는 초점면복합이미지복원단계; 를 포함할 수 있다. 또한 상기 3차원 이미징 방법은, 상기 초점면복합이미지복원단계에서 복원된 복합이미지정보를 사용하여 상기 대상물체(500)의 2차원 이미지 상의 위상정보가 산출되는 위상정보산출단계; 를 더 포함할 수 있다.

[0024] 또한 상기 3차원 이미징 방법은, 상기 조절미러(140)의 위치가 변경되어 상기 대상물체(500)에 형성되는 초점면 위치가 변경되는 초점면변경단계; 변경된 초점면에 대하여, 상기 복수이미지획득단계, 상기 푸리에변환단계, 상기 초점면복합이미지복원단계, 상기 위상정보산출단계가 순차적으로 수행되어 상기 변경된 초점면에 대한 2차원 이미지정보 및 위상정보를 포함하는 3차원이미지기본정보가 획득되는 기반정보획득단계; 상기 초점면변경단계, 상기 기반정보획득단계가 순차적으로 반복 수행되어 복수 개의 초점면에 대하여 획득된 복수 개의 3차원이미지 기본정보를 사용하여 상기 대상물체(500)의 3차원복합이미지정보가 복원되는 3차원복합이미지복원단계; 를 더 포함할 수 있다.

[0025] 또한 상기 3차원 이미징 방법은, 상기 초점면복합이미지복원단계에서의 광축방향 측정범위는 $1\mu\text{m}$ 내지 $1000\mu\text{m}$ 범위 내의 값이며, 상기 3차원복합이미지복원단계에서의 광축방향 측정범위는 $10\mu\text{m}$ 내지 100mm 범위 내의 값일 수 있다.

[0026] 또한 상기 3차원 이미징 방법은, 상기 광방향변경단계 및 상기 초점면변경단계 간 시간지연을 저감하도록, 상기 LED어레이광원(110)의 광조사방향 변경을 위한 LED의 선택적 발광동작 및 초점면 위치 변경을 위한 상기 조절미러(140)의 이동동작이 동기화될 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명에 의하면, 기존의 FPM 기술을 기반으로 하되 공액광학계를 이용하여 미러를 이동시켜 초점거리를 조절함으로써 대상물체의 깊이방향으로의 초점면을 이동시켜 가면서 이미지를 획득하며, 따라서 결과적으로 기존의 FPM 등에 비해 훨씬 넓은 깊이방향 측정범위로 대상물체의 고해상도 3차원 복합이미지정보(complex amplitude)를 산출할 수 있게 되는 큰 효과가 있다.

[0028] 특히 본 발명에서는, 깊이방향으로 초점면을 이동시키기 위해 이동시키는 부품이 단지 미러 하나뿐이기 때문에, 부품 이동을 위한 메커니즘의 설계나 구동이 매우 용이한 장점이 있다. 특히 종래의 경우 초점면 이동을 위해서는 대물렌즈를 이동시켜야 하는데, 대물렌즈의 배율이 높은 경우 대물렌즈의 작동거리(working distance) 범위로 이동가능한 거리의 범위가 제한되는 문제가 있었으나, 본 발명의 경우 대물렌즈나 대상물체는 전혀 이동시키지 않고 단지 미러만 이동시키기 때문에 이러한 제한이 전혀 발생하지 않는다는 장점이 있다. 또한 초점면 이동을 위해 광학계 전체를 이동시키는 경우 이동 과정에서 부품들 간의 정렬이 어긋나는 문제, 중량으로 인한 이동 부하가 과도하게 발생하는 문제, 역시 중량으로 인하여 동역학적 불안정성이 높고 제어가 어려운 문제 등이 있을 수 있는데, 본 발명에 의하면 초점면 이동을 위해 미러만을 이동시키기 때문에 이러한 문제들이 원천적으로 배제될 수 있다는 큰 효과 또한 있다.

[0029] 또한 본 발명에 의하면, 상술한 바와 같이 대물렌즈나 대상물체를 전혀 이동시키지 않기 때문에, 예를 들어 액체 내에 분포된 세포를 측정하고자 하는 경우에 있어서, 대상물체 이동 시 액체의 내부 유동으로 인한 세포의 위치 이동이 발생하는 문제 등을 원천적으로 배제할 수 있다. 특히 생체, 바이오 분야에서 장시간 동일한 위치에서 세포의 성장 등을 관찰하는 등과 같은 작업에 본 발명을 적용할 경우 실험 안정성을 비약적으로 향상시킬 수 있다. 더불어 상술한 바와 같이 대상물체에 상당히 깊은 요철이 있는 경우에도 고해상도의 3차원 이미지 정보를 획득할 수 있기 때문에, 예를 들어 지문 인식 등과 같은 분야에 본 발명을 적용할 경우 비접촉식으로도 인식이 가능하게 될 수도 있다.

[0030] 뿐만 아니라 본 발명은 FPM 기술에 기반을 두고 있는 것이기 때문에, 종래의 3차원 복합이미지정보 획득 기술인 디지털 홀로그래피 기술과 비교하였을 때, 코히어런트 특성에 따른 노이즈를 훨씬 줄일 수 있는 효과 또한 있다. 보다 상세히 설명하자면, 디지털 홀로그래피 기술의 경우 레이저와 같은 가간섭성이 높은 광을 사용하는 데, 대상물체를 투과하거나 반사하면서 산란된 광들끼리 간섭을 일으켜 노이즈가 발생하는 경우가 있다. 그러나

본 발명에서는 LED와 같은 가간섭성이 낮은 광을 사용하기 때문에, 코히어런트 특성에 의해 발생하는 노이즈 발생 요인 자체가 낮기 때문에, 결과적으로 노이즈 발생이 훨씬 억제되는 효과가 있는 것이다.

도면의 간단한 설명

[0031]

도 1은 종래의 고전적인 이미징 장치 및 FPM 기반 이미징 장치.

도 2는 종래의 FPM 기반 이미징 원리.

도 3은 본 발명의 3차원 이미징 장치의 제1실시예.

도 4는 본 발명의 3차원 이미징 장치의 제2실시예.

도 5는 본 발명의 3차원 이미징 장치의 제3실시예.

도 6은 종래의 FPM 기반 이미징 장치 및 본 발명의 3차원 이미징 장치로 측정된 이미징 예시.

도 7은 이미징 실험을 위한 대상물체 설명.

도 8 및 도 9는 종래의 FPM 기반 이미징 장치 및 본 발명의 3차원 이미징 장치로 측정된 도 7의 대상물체 측정 예시.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032]

이하, 상기한 바와 같은 구성을 가지는 본 발명에 의한 초점거리 조절이 가능한 LED 어레이 기반 3차원 이미징 장치 및 방법을 첨부된 도면을 참고하여 상세하게 설명한다.

[0033]

본 발명의 3차원 이미징 장치

[0034]

도 3은 본 발명의 3차원 이미징 장치의 제1실시예로서 광원에서 조사되어 대상물체를 투과하여 나온 광을 측정하도록 이루어지는 투과식 구조이며, 도 4는 본 발명의 3차원 이미징 장치의 제2실시예로서 광원에서 조사되어 대상물체에서 반사되어 나온 광을 측정하도록 이루어지는 반사식 구조이다. 또한 도 5는 본 발명의 3차원 이미징 장치의 제3실시예로서, 측정부가 제1, 2실시예와 다른 위치에 배치되는 구조이다. 도 3 내지 도 5의 제1, 2, 3실시예는 광원-대상물체의 연결관계가 상이할 뿐 주요한 부분은 동일한 구성을 가지고 있으므로, 이하에서는 세 실시예를 함께 참조하여 통합적으로 설명하기로 한다.

[0035]

본 발명의 3차원 이미징 장치(100)는, 도 1(B)에 도시된 종래의 FPM 기반 이미징 장치와 비교하였을 때, 종래의 FPM 기반 이미징 장치에서 측정부(즉 카메라)가 존재하는 위치에 별도의 광학계 등이 더 구비된다. 이 별도의 광학계 등은 초점거리를 조절함으로써 대상물체(500)에 형성되는 초점면의 위치를 광축방향으로 변경시킬 수 있도록 하며, 이를 통해 가로방향 및 세로방향과 유사한 정도의 스케일로 광축방향으로의 이미징정보를 획득할 수 있다.

[0036]

도 3 내지 도 5에 도시된 바와 같이, 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)는, LED어레이광원(110), 대물광학계(120), 조절광학계(130), 조절미러(140), 측정부(150)를 포함할 수 있다. 이하에서 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)의 각부에 대하여 먼저 설명하고, 이후 본 발명의 3차원 이미징 방법을 통해 어떻게 3차원의 복합이미징 정보(complex amplitude)를 복원하는지의 원리에 대하여 보다 상세히 설명한다.

[0037]

상기 LED어레이광원(110)은, 복수 개의 LED가 열 및 행을 이루어 배치되어 선택적으로 LED를 발광시킴으로써 광 조사방향이 변경가능하게 형성된다. 도 1(B), 도 3 내지 도 5에서는 여러 방향에서 광조사가 가능함을 개략적으로 도시하고자 여러 방향의 광을 한꺼번에 도시한 것으로, 실제로는 도 2(A), (B), (C)에 나타난 것처럼 광조사는 미리 결정된 어떤 한 방향에서 이루어지게 된다. 즉 도 3 내지 도 5의 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)에서도, 도 2의 여러 예시에 나타난 것과 같이, 상기 LED어레이광원(110)에서 조사되는 광의 방향에 따라 상기 대상물체(500)에 그림자가 지는 영역이 달라지게 된다.

[0038]

부연하여, 도 3 및 도 4에 각각 도시된 투과식 및 반사식 광원 구성에 대하여 좀더 설명하면 다음과 같다.

[0039]

먼저 도 3에 도시된 제1실시예에 따른 상기 3차원 이미징 장치(100)는, 상기 LED어레이광원(110)에서 조사된 광이 상기 대상물체(500)를 투과하여 상기 대물광학계(120)로 입사되도록 이루어지는 투과식이다. 이 경우 상기 LED어레이광원(110)은, 도 3에 도시된 바와 같이, 상기 대상물체(500)를 사이에 두고 상기 대물렌즈(121)와 마주보는 위치에 배치되어 상기 대상물체(500)로 광을 조사하도록 이루어진다.

- [0040] 한편 도 4에 도시된 제2실시예에 따른 상기 3차원 이미징 장치(100)는, 상기 LED어레이광원(110)에서 조사된 광이 상기 대상물체(500)에서 반사되어 상기 대물광학계(120)로 입사되도록 이루어지는 반사식이다. 이 경우 상기 LED어레이광원(110)은, 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 대물렌즈(121) 및 상기 수광렌즈(122) 사이에 배치되어 광 일부의 광경로를 변경시키는 광원용광경로변경부(115)에 의해 상기 LED어레이광원(110)이 상기 대상물체(500)로 광을 조사하도록 이루어진다. 상기 광원용광경로변경부(115)는, 상기 측정용광경로변경부(155)와 유사하게, 빔 스플리터(beam splitter) 등과 같은 광학부품으로 용이하게 구현될 수 있다.
- [0041] 상기 대물광학계(120)는 도시된 바와 같이 대물렌즈(121) 및 수광렌즈(122)를 포함하여 이루어진다. 상기 대물렌즈(121)는 상기 대상물체(500)에 가장 밀접하게 배치되는 렌즈로서, 상기 LED어레이광원(110)으로부터 상기 대상물체(500)로 조사되어 투과 또는 반사된 광을 입사받아 평행광으로 변환하여 출력하는 역할을 한다. 상기 수광렌즈(122)는 상기 대물렌즈(121) 후단에 배치되어 상기 대물렌즈(121)에서 출력된 광을 수렴하는 역할을 하는 것으로, 종래의 FPM 기반 이미징 장치에서는 상기 수광렌즈(122) 후단에 카메라가 배치되어, 상기 카메라가 상기 수광렌즈(122)에 의하여 수렴된 광을 입사받아 상을 맺음으로써 이미지정보를 획득하였다. 그러나 본 발명에서는, 상기 수광렌즈(122) 후단에 카메라가 배치되는 대신, 이하 설명될 조절광학계(130)가 배치된다.
- [0042] 상기 조절광학계(130)는 도시된 바와 같이 투영렌즈(132) 및 집광렌즈(131)를 포함하여 이루어진다. 상기 투영렌즈(132)는 상기 수광렌즈(122) 후단에 배치되어 상기 수광렌즈(122)에서 출력된 광을 평행광으로 변환하여 출력하며, 상기 집광렌즈(131)는 상기 투영렌즈(132) 후단에 배치되어 상기 투영렌즈(132)에서 출력된 광을 집광한다. 특히 상기 조절광학계(130)는 상기 대물광학계(120)와 공액(conjugated)관계를 형성하는 형태로 이루어지게 되는데, 보다 구체적으로는, 상기 대물렌즈(121) 및 상기 집광렌즈(131)가 서로 대응되고, 상기 수광렌즈(122) 및 상기 투영렌즈(132)가 서로 대응되어 공액관계를 형성하게 된다.
- [0043] 상기 조절미러(140)는 상기 집광렌즈(131)의 후단에 배치되어 상기 집광렌즈(131)에서 집광된 광을 입사받아 반사시키는 역할을 한다. 이 때, 상기 조절미러(140)는 상기 대물광학계(120) 및 상기 조절광학계(130)의 광축방향을 따라 이동가능하게 형성된다. 즉 상기 조절미러(140)가 광축방향을 따라 이동함에 따라 초점거리가 조절되는 것이다.
- [0044] 상기 측정부(150)는, 상기 조절광학계(130) 내 광경로 상에 배치되어 광 일부의 광경로를 변경시키는 측정용광경로변경부(155)에 의해 광경로가 변경된 광을 입사받아 상기 대상물체(500)의 이미지를 측정한다. 상기 측정용광경로변경부(155)는 일반적으로 빔 스플리터(beam splitter) 등과 같은 광학부품으로 용이하게 구현될 수 있다.
- [0045] 부연하여, 도 3, 4의 제1, 2실시예 및 도 5의 제3실시예 간의 상기 측정부(150)의 배치 위치 차이에 대하여 좀 더 설명하자면 다음과 같다. 세 실시예에서 모두 상기 측정부(150)는, 상기 조절광학계(130) 내 광경로 상에 배치되어 광 일부의 광경로를 변경시키는 상기 측정용광경로변경부(155)에 의해 광경로가 변경된 광을 입사받게 되어 있다. 이 때, 도 3, 4의 제1, 2실시예에서는 상기 측정용광경로변경부(155)가 상기 수광렌즈(122) 및 상기 투영렌즈(132) 사이에 배치되고, 도 5의 제3실시예에서는 상기 측정용광경로변경부(155)가 상기 투영렌즈(132) 및 상기 집광렌즈(131) 사이에 배치된다.
- [0046] 먼저 도 3, 4의 제1, 2실시예에서와 같이 배치되는 경우, 상기 투영렌즈(132)로 들어오고 있는 광이 확산하고 있는 형태이므로, 상기 측정용광경로변경부(155)에 의해 광경로가 변경된 광은 자연스럽게 수렴하고 있는 형태가 된다. 즉 본 실시예에서는 상기 측정부(150)의 위치만 적절하게 배치하면 별도의 렌즈가 구비되지 않아도 자연스럽게 상기 측정부(150)에 초점이 맞춰져 올바른 상이 맺히게 된다. 이 경우는 렌즈가 필요하지 않다는 점에서 부품 개수를 더욱 줄일 수 있다는 장점이 있으나, 상기 측정부(150)의 위치가 고정되게 된다는 점에서 시스템 구성면에서 약간의 제한이 있을 수 있다.
- [0047] 한편 도 5의 제3실시예에서와 같이 배치되는 경우, 상기 투영렌즈(132)에서 상기 집광렌즈(131)로 진행하고 있는 광이 평행한 형태이므로, 상기 측정용광경로변경부(155)에 의해 광경로가 변경된 광 역시 평행한 형태가 된다. 따라서 본 실시예에서는, 상기 측정부(150)에 초점이 맞춰져 올바른 상이 맺히게 하기 위해서는 도시된 바와 같이 상기 측정부(150) 전방에 평행광을 수렴시켜 주는 별도의 렌즈가 더 구비되어야 할 필요가 있다. 즉 이 경우에는 별도의 렌즈가 더 필요하게 되어 부품 개수가 늘어나기는 하지만, 이러한 별도 렌즈의 위치나 배율 등을 적절히 설계함으로써 상기 측정부(150)에 상이 맺히는 거리를 조절할 수 있어, 결과적으로 상기 측정부(150)를 보다 자유롭게 배치할 수 있다는 장점이 있다.
- [0048] 이하에서, 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)의 작동 원리에 대하여 보다 상세하고 구체적으로 설명한다.

[0049] 상술한 바와 같이 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)에서는, 상기 대물광학계(120) 및 상기 조절광학계(130) 각각을 이루는 광학부품들이 서로 대칭을 이루도록 배치되어, 서로 공액(conjugated)관계를 형성한다. 이에 따라, 측정과정 중 상기 대상물체(500), 상기 대물광학계(120) 및 상기 조절광학계(130)는 고정된 위치가 변동없이 유지되더라도, 상기 조절미러(140)만이 광축방향으로 이동함으로써 초점면이 변동될 수 있게 된다.

[0050] 보다 구체적으로 설명하자면, 상기 조절미러(140)가 광축방향을 따라 이동하는 변위인 미러이동거리를 Δz 라 하고, 상기 대상물체(500)에 형성되는 초점면이 광축방향을 따라 이동하는 변위인 초점면이동거리를 ΔZ 라 할 때, 상기 대물렌즈(121) 및 상기 집광렌즈(131)의 배율이 동일한 경우, 상기 미러이동거리(Δz) 및 상기 초점면이동거리(ΔZ) 사이에 하기의 식 1과 같은 관계가 형성된다.

$$\Delta Z \approx 2 \frac{n_2}{n_1} \Delta z \quad (\text{식 1})$$

[0052] (여기에서, n_1 : 대상물체-대물렌즈 사이 매질의 굴절률, n_2 : 집광렌즈-조절미러 사이 매질의 굴절률)

[0053] 또는 상기 대물렌즈(121) 및 상기 집광렌즈(131)의 배율이 상이한 경우, 상기 미러이동거리(Δz) 및 상기 초점면이동거리(ΔZ) 사이에 하기의 식 2와 같은 관계가 형성된다.

$$\Delta Z \approx 2 \frac{n_2}{n_1} \Delta z \times \frac{M_2}{M_1} \quad (\text{식 2})$$

[0055] (여기에서, n_1 : 대상물체-대물렌즈 사이 매질의 굴절률, n_2 : 집광렌즈-조절미러 사이 매질의 굴절률, M_1 : 대물렌즈의 배율, M_2 : 집광렌즈의 배율)

[0056] 앞서, 종래의 FPM 기반 이미징 장치의 경우 어느 한 초점면에 대하여 복수 개의 2차원이미지정보를 획득하고, 또한 이로부터 위상정보를 산출함으로써 해당 초점면에서의 복합이미지(complex amplitude)정보를 얻을 수 있다고 설명하였다. 이렇게 얻어진 복합이미지정보는 물론 3차원적인 정보라 할 수 있겠으나, 가로방향 및 세로방향의 측정범위에 비하여, 광축방향(깊이방향)의 측정범위가 1/10 ~ 1/100 정도밖에 되지 않아, 실질적으로 3차원 이미지정보라고 하기보다는 (초점면 부근에서의) 약간의 표면 형상을 관찰하는 정도의 한계가 있었다. 또한 이러한 한계를 극복하고자 대물렌즈를 대상물체에 좀더 가깝게 배치하여 대상물체의 내부에 초점면을 형성하려고 하는 경우에는 다음과 같은 문제가 있었다. 대물렌즈의 배율이 높아질수록 대물렌즈-대상물체 간 거리가 매우 가까워지기 때문에, 대물렌즈를 움직일 수 있는 거리, 즉 대물렌즈의 작동거리(working distance)가 극히 제한된다. 대물렌즈를 대상물체에 가깝게 가져갈 수 있는 거리는 당연히 대물렌즈의 작동거리 범위 내로 형성되어야 함이 자명하며, 따라서 초점면이 대상물체의 내부에 형성되게 하고자 하여도 대물렌즈와 대상물체가 접촉해 버리게 되면 그 이상의 깊이는 관찰이 불가능해진다. 이처럼, 종래의 FPM 기반 이미징 장치의 경우 대상물체가 상당한 깊이를 갖는 물체일 때 사실상 3차원적인 복합이미지정보를 획득하는 것이 불가능하였다.

[0057] 그러나 본 발명의 경우, 상술한 바와 같이 측정과정 중에 상기 조절미러(140)만이 광축방향으로 이동함으로써 초점면이 변동되며, 이 과정에서 다른 부품들은 전혀 움직이지 않는다. 즉 초점면 형성이 가능한 깊이범위가 상기 대물렌즈(121)의 작동거리와 전혀 무관하게 되는 것이다. 이처럼 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)에서는, 상기 조절미러(140)만이 광축방향으로 이동함으로써 초점면이 변동됨으로써 상기 대상물체(500)의 광축방향으로의 복수 개의 초점면에 대한 이미지정보를 획득할 수 있다. 또한, 상기 복수 개의 이미지정보를 취합처리함으로써, 상기 대상물체(500)의 깊이가 상당하다 할지라도 용이하게 상기 대상물체(500)의 3차원복합이미지(complex amplitude)정보를 복원해 낼 수 있게 된다.

[0058] 본 발명의 3차원 이미징 방법

[0059] 이하에서는, 상술한 바와 같은 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)를 이용하여 3차원 이미징을 하는 방법을 구체적인 단계들로 보다 상세히 설명한다.

[0060] 앞서 간략히 설명한 바와 같이, 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)는, 어느 하나의 초점면에서의 복합이미지를 복원하는 원리 자체는 기존의 FPM 기반 이미징 장치와 유사한 원리를 사용한다. 그러나 기존의 FPM 기반 이미징 장치가 깊이방향(광축방향) 측정범위가 수백 μm 범위로서 가로방향 및 세로방향 측정범위의 1/10 ~ 1/100 수준밖에 되지 않아 표면 형상을 측정하는 수준일 뿐이었던 것과는 달리, 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)는 깊이방향(광축방향) 측정범위가 가로방향 및 세로방향 측정범위에 동등하거나 또는 그 이상의 수준 범위까지도 될

수 있어, 실질적인 3차원 정보를 획득할 수 있다.

- [0061] 먼저 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)를 이용하여 어느 하나의 초점면에서의 복합이미지를 복원하는 방법을 설명한다. 어느 하나의 초점면에서의 복합이미지를 복원하는 방법은, 초점면결정단계, 광조사단계, 단일이미지 측정단계, 광방향변경단계, 복수이미지획득단계, 푸리에변환단계, 초점면복합이미지복원단계를 포함할 수 있으며, 여기에 위상정보산출단계를 더 포함할 수 있다.
- [0062] 상기 초점면결정단계에서는, 상기 조절미러(140)가 미리 결정된 위치에 배치되어 상기 대상물체(500)에 형성되는 초점면 위치가 결정된다. 앞서 설명한 바와 같이 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)에서는 초점면 위치를 결정하고자 할 때 상기 조절미러(140)만 이동시키면 되며, 이에 따라 광학계 자체나 대상물체 이동 시 발생할 수 있는 여러 문제들이 원천적으로 배제되면서 매우 용이하고 원활하게 초점면 위치를 결정할 수 있다.
- [0063] 상기 광조사단계에서는, 상기 LED어레이광원(110)에 의하여 미리 결정된 광조사방향으로 상기 대상물체(500)에 광이 조사된다. 상기 3차원 이미징 장치(100)가 도 3과 같은 투과식일 경우 상기 LED어레이광원(110)으로부터 조사된 광은 상기 대상물체(500)를 투과하면서 산란 등의 변형이 일어나게 된다. 또는 도 4와 같은 반사식일 경우 광은 상기 대상물체(500)에서 반사되면서 역시 산란 등의 변형이 일어나게 된다.
- [0064] 상기 단일이미지측정단계에서는, 상기 측정부(150)에 의하여 상기 대상물체(500)로 투과 또는 반사된 광이 입사되어 상기 대상물체(500)의 2차원이미지가 측정된다. 예를 들어 도 2(A)나 도 2(C) 좌측 도면에서와 같이 비스듬한 방향으로 광이 조사되면, 상기 대상물체(500)의 초점면 부근 형상에 의하여 광조사방향 반대쪽으로 그림자가 형성된다.
- [0065] 상기 광방향변경단계에서는, 상기 LED어레이광원(110)의 광조사방향이 변경된다. 예를 들어 처음에는 도 2(A) 좌측 도면에서와 같은 방향으로 광이 조사되었다면, 이 단계에서는 도 2(B) 좌측 도면에서와 같은 방향으로 광 조사방향이 바뀌는 것이다.
- [0066] 상기 복수이미지획득단계에서는, 상기 광조사단계, 상기 단일이미지측정단계, 상기 광방향변경단계가 순차적으로 반복 수행된다. 이에 따라 복수 개의 광조사방향에 따른 복수 개의 상기 대상물체(500)의 2차원이미지정보가 획득된다. 쉽게 풀어서 설명하자면, 여러 방향으로 광을 조사하면서 동일한 초점면 위치(즉 동일한 광축방향 위치)를 찍어서, 도 2(A), (B), (C)의 중간 도면에 도시된 바와 같이, 여러 방향으로 그림자가 진 초점면 이미지들을 얻게 된다는 것이다.
- [0067] 상기 푸리에변환단계에서는, 복수 개의 상기 대상물체(500)의 2차원이미지정보가 푸리에변환되어 공간주파수 평면 상에 표시된다. 이 때 도 2(A), (B), (C)의 우측 도면에 도시된 바와 같이, 공간주파수 평면 상에서는 그림자가 진 위치에 따라 쉬프트된 영역들이 나타난다.
- [0068] 상기 초점면복합이미지복원단계에서는, 상기 LED어레이광원(110)으로부터 조사된 광조사방향 및 공간주파수 평면 상에 표시된 복수 개의 상기 대상물체(500)의 이미징변환정보의 쉬프트(shift)값을 사용하여 상기 초점면에서의 복합이미지(complex amplitude)정보가 복원된다. 쉽게 풀어서 설명하자면 다음과 같다. 표면 상에 작은 요철이 있는 물체에 대하여, 광을 여러 방향으로 조사해 가면서 동일한 위치에서 사진들을 여러 장 찍었다고 가정한다. 이 때 실제로 얻은 사진들은 2차원이미지정보만을 가지고 있지만, 광이 조사되는 방향을 알고 있다면 그림자의 형태나 길이 등과 광조사방향과의 관계를 이용하여 그 그림자의 형태나 길이가 나오게 한 표면 상의 요철 형상을 복원해 낼 수 있다. 이 때 한 방향에서만 광을 조사했다면 복원된 요철 형상의 정확도가 별로 높지 않겠으나, 여러 방향에서 광을 조사해 가면서 이러한 과정을 반복한다면 훨씬 높은 정확도로 표면의 요철 형상을 복원해 낼 수 있게 된다. 물론 이러한 과정에서 겹치는 부분에서 획득된 파장 정보를 처리함으로써, 실제로 얻은 이미지가 저해상도 이미지였다 하더라도 해상도를 훨씬 높일 수 있으며, 결과적으로 고해상도 이미지를 얻을 수도 있다.
- [0069] 이것이 바로 상기 초점면복합이미지복원단계까지 거쳐서 복원된 상기 초점면에서의 복합이미지정보이다. 즉 상술한 바와 같은 방법을 통해, 어느 하나의 초점면에서의 고해상도 복합이미지를 얻어낼 수 있는 것이다. 여기에 더하여, 상기 초점면복합이미지복원단계에서 복원된 복합이미지정보를 사용하여 상기 대상물체(500)의 2차원이미지 상의 위상정보가 산출되는 위상정보산출단계가 더 수행됨으로써, 상기 초점면에 대한 2차원이미지정보 및 위상정보를 획득할 수 있다. 2차원이미지정보 및 위상정보는, 추후 설명될 3차원복합이미지정보를 복원하기 위한 3차원이미지기반정보로 사용된다.
- [0070] 이제 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)를 이용하여 대상물체의 3차원 복합이미지를 복원하는 방법을 설명한다. 대상물체의 3차원 복합이미지를 복원하는 방법은, 초점면변경단계, 기반정보획득단계, 3차원복합이미지복원단계

를 포함할 수 있다.

- [0071] 상기 초점면변경단계에서는, 상기 조절미러(140)의 위치가 변경되어 상기 대상물체(500)에 형성되는 초점면 위치가 변경된다. 앞서 설명한 바와 같이, 본 발명에서는 상기 조절미러(140)만을 이동시키기 때문에, 상기 대물렌즈(121)의 작동거리가 얼마이건 전혀 무관하게 초점면 위치를 변경시킬 수 있다. 즉 본 발명에서는, 상기 대상물체(500)의 깊이방향(광축방향) 길이가 상당히 크다 할지라도, 상기 대물렌즈(121)와 상기 대상물체(500)가 부딪힐 위험성이 전혀 없이, 초점면 위치를 얼마든지 원하는 대로 용이하게 변경할 수 있다.
- [0072] 상기 기반정보획득단계에서는, 변경된 초점면에 대하여, 상기 복수이미지획득단계, 상기 푸리에변환단계, 상기 초점면복합이미지복원단계, 상기 위상정보산출단계가 순차적으로 수행되어 상기 변경된 초점면에 대한 2차원 이미지정보 및 위상정보를 포함하는 3차원이미지기반정보가 획득된다. 즉 앞서 설명한, [어느 하나의 초점면에서의 복합이미지를 복원하는 방법]이 수행되어 해당 초점면에 대한 3차원이미지기반정보를 획득하는 것이다.
- [0073] 상기 3차원복합이미지복원단계에서는, 상기 초점면변경단계, 상기 기반정보획득단계가 순차적으로 반복 수행되어 복수 개의 초점면에 대하여 획득된 복수 개의 3차원이미지기반정보를 사용하여 상기 대상물체(500)의 3차원 복합이미지정보가 복원된다. 즉 초점면을 계속 바꾸어 가면서 각 초점면에 대하여 [어느 하나의 초점면에서의 복합이미지(=초점면복합이미지)]를 구하고 이들을 종합함으로써, 상기 대상물체(500)의 3차원 복합이미지를 높은 정확도와 해상도로 복원할 수 있게 되는 것이다.
- [0074] 여기에서 부연하자면, 상기 초점면변경단계 및 상기 기반정보획득단계가 반복적으로 교차 수행되는 과정에서, 상기 LED어레이광원(110)의 광조사방향 변경을 위한 LED의 선택적 발광동작 및 초점면 위치 변경을 위한 상기 조절미러(140)의 이동동작이 동기화되도록 하는 것이 바람직하다. 쉽게 풀어서 설명하자면 다음과 같다. 어느 하나의 초점면 위치가 결정된 후, 광조사방향이 도 2(A), (B), (C) 순서대로 변경되면서 이미지들을 얻게 된다. 이후 초점면 위치를 변경한 후, 또다시 앞서와 똑같이 광조사방향이 도 2(A), (B), (C) 순서대로 변경되면서 이미지들을 얻게 된다. 이러한 과정이 계속 반복적으로 수행되는데, 상술한 바와 같이 LED의 선택적 발광동작 및 상기 조절미러(140)의 이동동작이 동기화됨으로써, 상기 광방향변경단계 및 상기 초점면변경단계 간 시간지연을 저감할 수 있으며, 이에 따라 전체적인 측정시간을 크게 저감할 수 있다.
- [0075] 앞서 설명한 바와 같이, [어느 하나의 초점면에서의 복합이미지를 복원하는 방법]이 수행됨으로써 얻어진(즉 상기 초점면복합이미지복원단계에서의) 초점면복합이미지정보의 광축방향 측정범위는 $1\mu\text{m}$ 내지 $1000\mu\text{m}$ 범위 내의 값으로서, 가로방향 및 세로방향 측정범위에 비해 훨씬 작은 값이다. 즉 이 방법만으로는 대상물체의 표면 요철 형상이나 표면 부근의 내부 형상 정도밖에는 얻어낼 수 없다. 반면 [대상물체의 3차원 복합이미지를 복원하는 방법]이 수행됨으로써 얻어진(즉 상기 3차원복합이미지복원단계에서의) 3차원복합이미지정보의 광축방향 측정범위는 $10\mu\text{m}$ 내지 100mm 범위 내의 값을 가질 수 있다. 즉 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)를 이용하여, 가로방향 및 세로방향 측정범위에 동등하거나 또는 그 이상의 수준까지의 깊이방향(광축방향) 측정범위를 측정하는 것이 가능하며, 따라서 종래에 비해 훨씬 다양한 형상의 대상물체의 3차원 정보를 높은 정확도 및 해상도로 얻어낼 수 있게 된다.
- [0076] **본 발명의 3차원 이미징 장치 및 방법의 측정 결과**
- [0077] 도 6은 종래의 FPM 기반 이미징 장치 및 본 발명의 3차원 이미징 장치로 측정된 이미징 예시로서, 보다 구체적으로는, $100\mu\text{m}$ 의 디포커스(defocus) 위치에 있는 대상물체를 측정한 이미지이다.
- [0078] 도 6(A)는 종래의 FPM 기반 이미징 장치를 이용하여 측정한 결과로서, 초점이 맞지 않은 상태이기 때문에 얼룩처럼 보이는 흐릿한 이미지밖에는 얻을 수 없다. 이 때 종래의 FPM 기반 이미징 장치는 초점거리의 조절이 자유롭지 않으며, 어떠한 경우에는 초점을 맞추기 위해 대물렌즈-대상물체 간 거리를 좁히려고 하다가 대물렌즈 작동거리 이상으로 움직이게 되어 대물렌즈와 대상물체가 부딪혀버릴 수도 있다. 즉 종래의 FPM 기반 이미징 장치의 경우 초점거리 조절이 제한됨에 따라 도 6(A)와 같이 흐릿한 이미지밖에는 얻을 수 없는 경우가 발생하는 것이다.
- [0079] 도 6(B)는 본 발명의 3차원 이미징 장치를 이용하여 측정한 결과이다. 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)는, 앞서 설명한 바와 같이 상기 조절미러(140)를 이동시킴으로써 상기 대물렌즈(121)의 작동거리와 전혀 무관하게 초점거리를 자유로이 조절할 수 있다. 상술한 바와 같이 본 예시에서는 상기 대상물체(500)가 $100\mu\text{m}$ 의 디포커스(defocus) 위치에 있으며, 본 예시에서 사용된 상기 3차원 이미징 장치(100)는 상기 대물렌즈(121) 및 상기 집광렌즈(131)를 동일 배율인 렌즈로 구성하였던 바, 앞서의 식 1을 이용하여 상기 조절미러(140)를 $50\mu\text{m}$ 이동시켰다. 이렇게 초점거리를 조절한 후 얻어진 이미지가 바로 도 6(B)의 이미지로서, 도 6(A)와 비교하였을 때 비

할 수 없을 정도로 뚜렷하고 선명한 이미지를 얻을 수 있음을 직관적으로 확인할 수 있다.

[0080] 도 7은 이미징 실험을 위한 대상물체 설명을 위한 도면으로서, 또다른 비교를 위한 실험 세팅을 위한 것이다. 도 7에서 "Chart 1" 및 "Chart 2"로 표시된 것은, 미리 알려진 패턴을 내장하고 있는 차트 플레이트이다. 이러한 차트 플레이트는 현미경 등과 같은 장비의 성능시험을 위해 사용되는 것으로서, 미리 알려진 크기와 형상의 패턴을 내장한다. 즉 성능시험 대상장비로 상기 차트 플레이트를 관측하고, 관측된 이미지가 미리 알고 있는 패턴과 잘 맞으면 대상장비가 우수한 성능을 가지는 것으로, 관측된 이미지가 흐릿하여 미리 알고 있는 패턴을 알아보기 어려우면 대상장비가 불량한 성능을 가지는 것으로 평가할 수 있다. 본 실험에서는, 미리 알려진 패턴을 내장한 차트 플레이트 2개를 도 7에 도시된 바와 같이 각도를 달리하여 겹친 것을 상기 대상물체(500)로 삼는다.

[0081] 도 8 및 도 9는 종래의 FPM 기반 이미징 장치 및 본 발명의 3차원 이미징 장치로 측정된 도 7의 대상물체의 측정 예시이다. 도 7에서 설명한 바와 같이 본 실험에서의 대상물체는 2개의 차트 플레이트를 겹쳐 놓은 것으로, 각각의 차트 플레이트 내 패턴들은 깊이방향(광축방향)으로 간격이 형성되어 있게 된다. 본 실험에서는 약 1.5mm 두께의 BK7 유리로 된 차트 플레이트를 사용하며, 따라서 2개의 차트 플레이트를 겹쳤을 때 각각의 패턴들 간 간격이 약 1.5mm가 된다. 이 간격은 종래의 FPM 기반 이미징 장치에서 측정할 수 있는 깊이방향 측정범위보다 10배 이상 큰 간격이다.

[0082] 도 8은 상기 대상물체(500)에 형성된 패턴들 중 "Chart 1" 플레이트에 초점을 맞추고 측정한 결과로서, 도 8(A)는 종래의 FPM 이미징 장치를 이용하여, 도 8(B)는 본 발명의 3차원 이미징 장치를 이용하여 측정한 이미지이다. 또한 도 9는 상기 대상물체(500)에 형성된 패턴들 중 "Chart 2" 플레이트에 초점을 맞추고 측정한 결과로서, 도 9(A)는 종래의 FPM 이미징 장치를 이용하여, 도 9(B)는 본 발명의 3차원 이미징 장치를 이용하여 측정한 이미지이다. 각각의 도면에서, 우측 도면의 점선 네모 부분을 확대한 것이 좌측 도면으로 도시되어 있다.

[0083] 먼저 도 8(A) 및 도 9(A)는 상술한 바와 같이 종래의 FPM 기반 이미징 장치를 이용하여 측정한 이미지이다. 앞서 설명한 바와 같이 종래의 FPM 기반 이미징 장치는 초점거리 조절에 제한이 있기 때문에, 깊이방향으로 1.5mm나 간격이 있는 패턴들에 대하여 각각에 정확히 초점면을 형성하는 것 자체가 어렵다. 이에 따라 도 8(A) 및 도 9(A)에 잘 나타나 있는 바와 같이, 두 개의 경사지게 겹쳐진 패턴이 이미지 상에 둘 다 번져 나타난 흐릿한 이미지밖에는 얻을 수 없다. 도 8(A)에서는 수평하게 배치된 패턴("Chart 1" 패턴)이, 도 9(A)에서는 경사지게 배치된 패턴("Chart 2" 패턴)이 조금 더 또렷하게 나타나고 있는 있으나, 실제 형상을 알아보기가 어려울 정도로 흐릿하고 번져 있음을 잘 알 수 있다. 특히 각각의 확대 도면을 살펴보면, 도 8(A) 및 도 9(A) 모두에서 글자나 패턴 형상을 전혀 알아볼 수 없을 만큼 흐릿한 이미지가 나타나고 있음이 확인된다.

[0084] 한편 도 8(B) 및 도 9(B)는 상술한 바와 같이 본 발명의 3차원 이미징 장치를 이용하여 측정한 이미지이다. 역시 앞서 설명한 바와 같이 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)는 초점거리를 자유롭게 조절할 수 있으며, 깊이방향으로 원하는 위치에 정확하게 초점면을 형성하는 것이 매우 용이하다. 이에 따라 도 8(B) 및 도 9(B)에 잘 나타나 있는 바와 같이, 각각의 패턴 위치에서 정확하게 초점이 맞춰진(focus) 또렷한 이미지들을 얻어낼 수 있다. 도 8(B)에서는 수평하게 배치된 패턴("Chart 1" 패턴)이 정확하게 나타나고, 도 9(B)에서는 경사지게 배치된 패턴("Chart 2" 패턴)이 정확하게 나타난다. 또한 각각의 확대 도면을 살펴보면, 도 8(B) 및 도 9(B) 모두에서 글자나 패턴 형상이 인식가능한 정도로 상당히 또렷하게 나타나고 있음이 확인된다.

[0085] 특히 도 8(B) 및 도 9(B)를 살펴보면, 본 발명의 3차원 장치(100)를 이용하여 얻어진 이미지들은, 종래의 FPM 기반 이미징 장치를 이용하여 얻어진 이미지들이 패턴들이 겹쳐진 형태로 나타나는 것과는 달리, 각각의 패턴만이 정확하고 또렷하게 나타나는 것을 명확히 알 수 있다. 따라서 본 발명의 3차원 이미징 장치(100)를 이용하여 깊이방향(광축방향)으로 스캔하면서 측정을 수행할 경우 3차원 렌더링 이미지까지 얻을 수 있게 된다.

[0086] 본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이다.

부호의 설명

[0087] 100: 3차원 이미징 장치

110: LED어레이광원

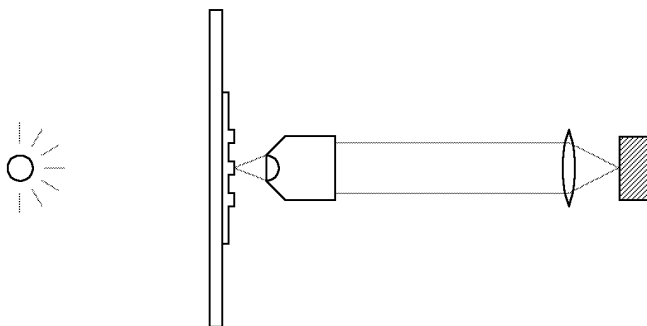
115: 광원용광경로변경부

120: 대물광학계

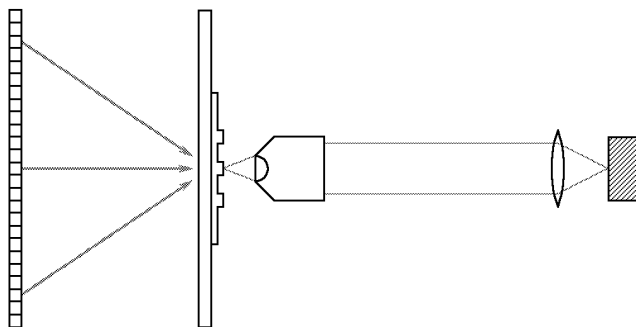
- | | |
|------------|----------------|
| 121: 대물렌즈 | 122: 수광렌즈 |
| 130: 조절광학계 | |
| 131: 투영렌즈 | 132: 집광렌즈 |
| 140: 조절미러 | |
| 150: 측정부 | 155: 측정용광경로변경부 |
| 500: 대상물체 | |

도면

도면1

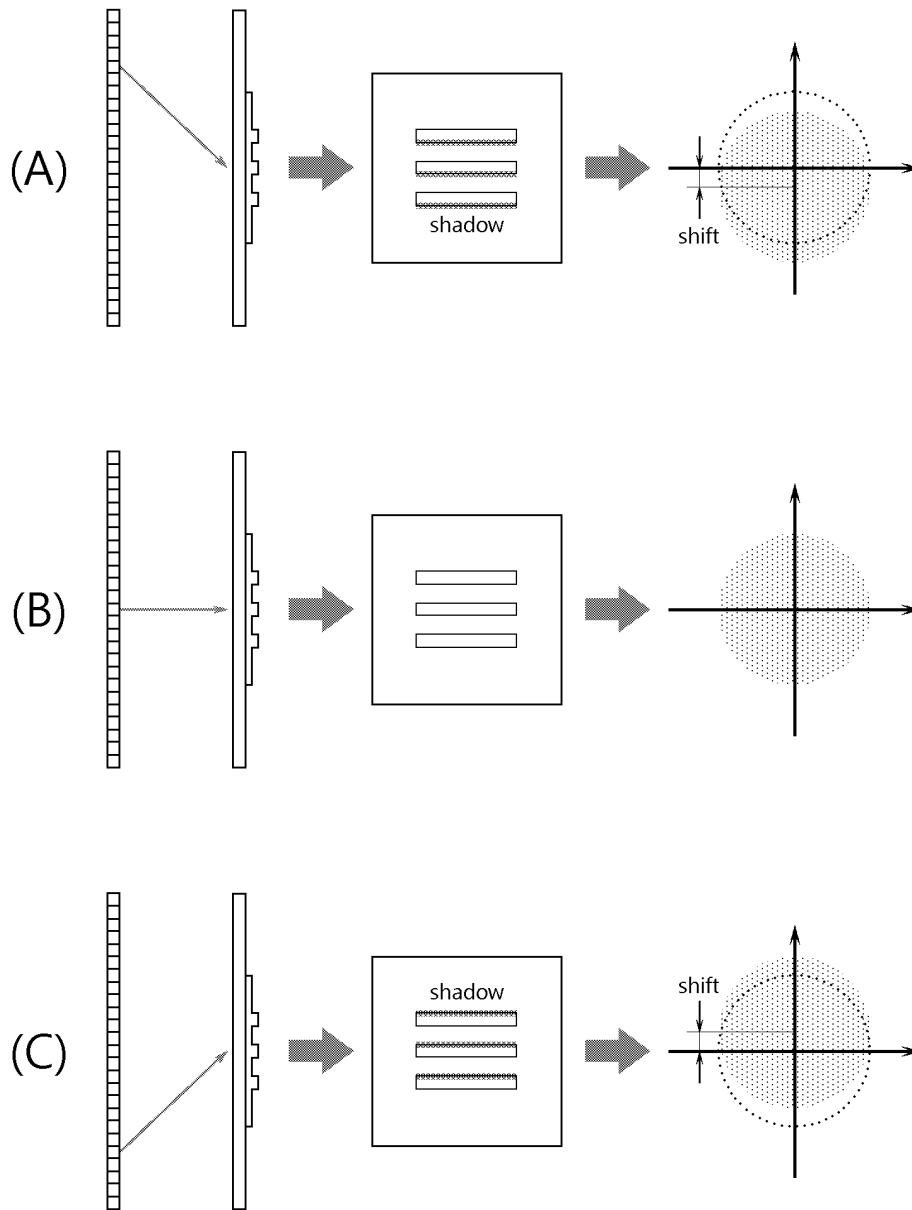


(A)

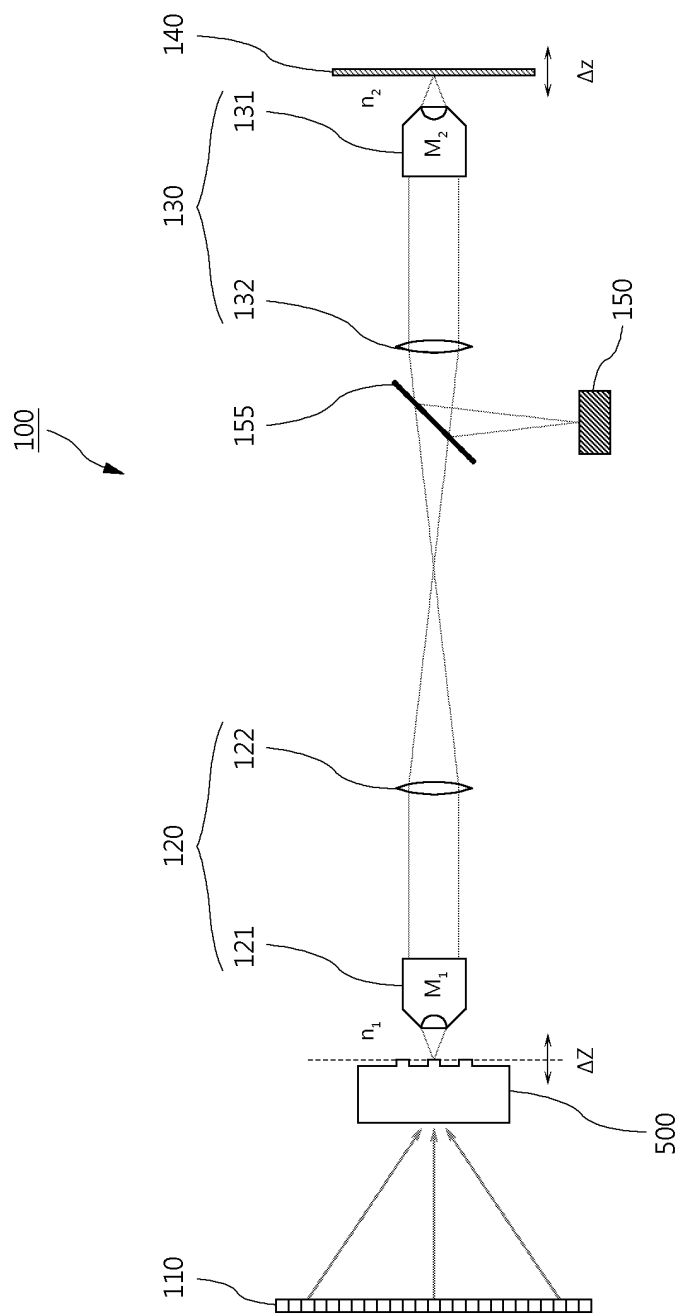


(B)

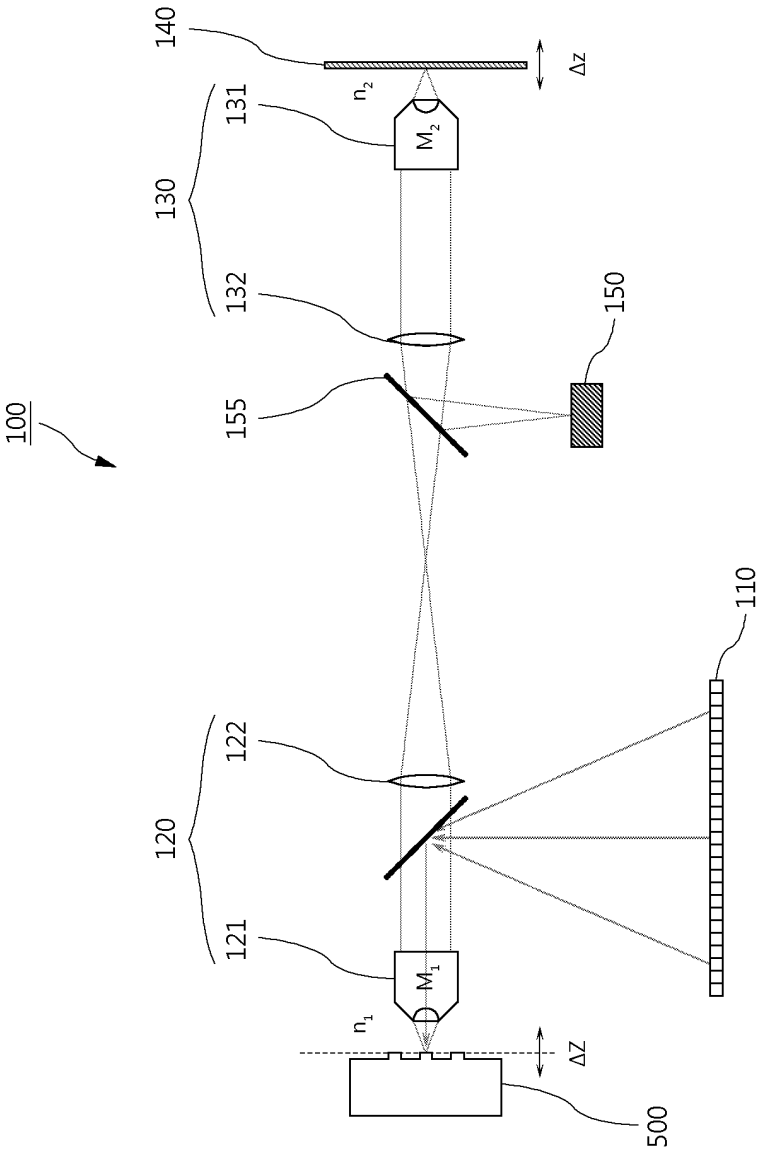
도면2



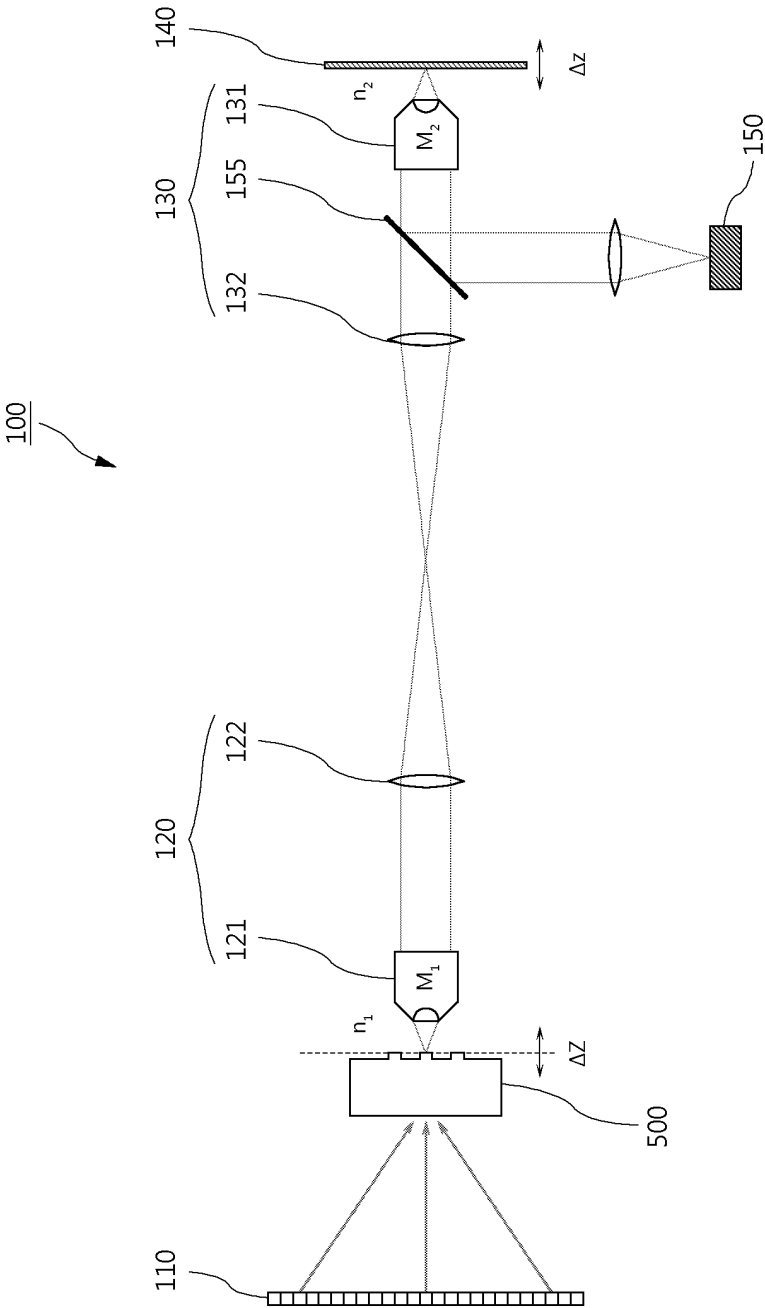
도면3



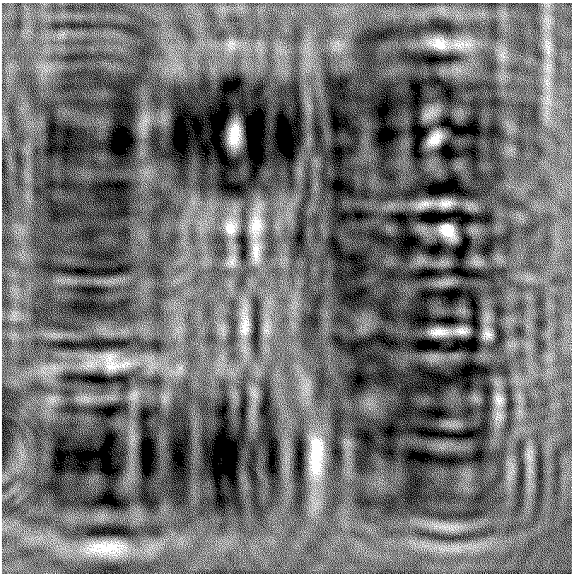
도면4



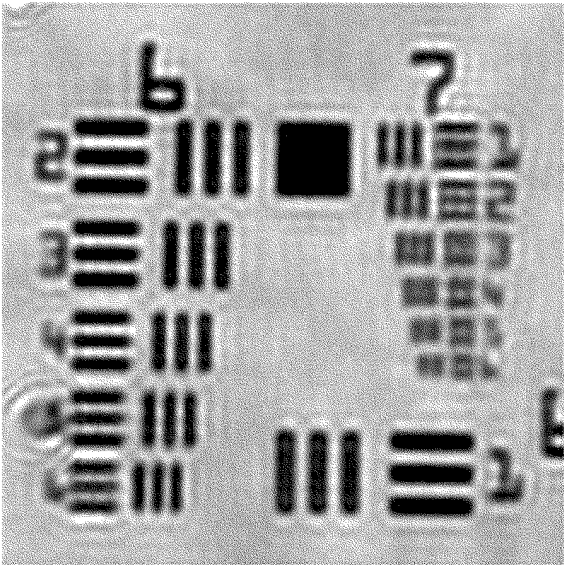
도면5



도면6

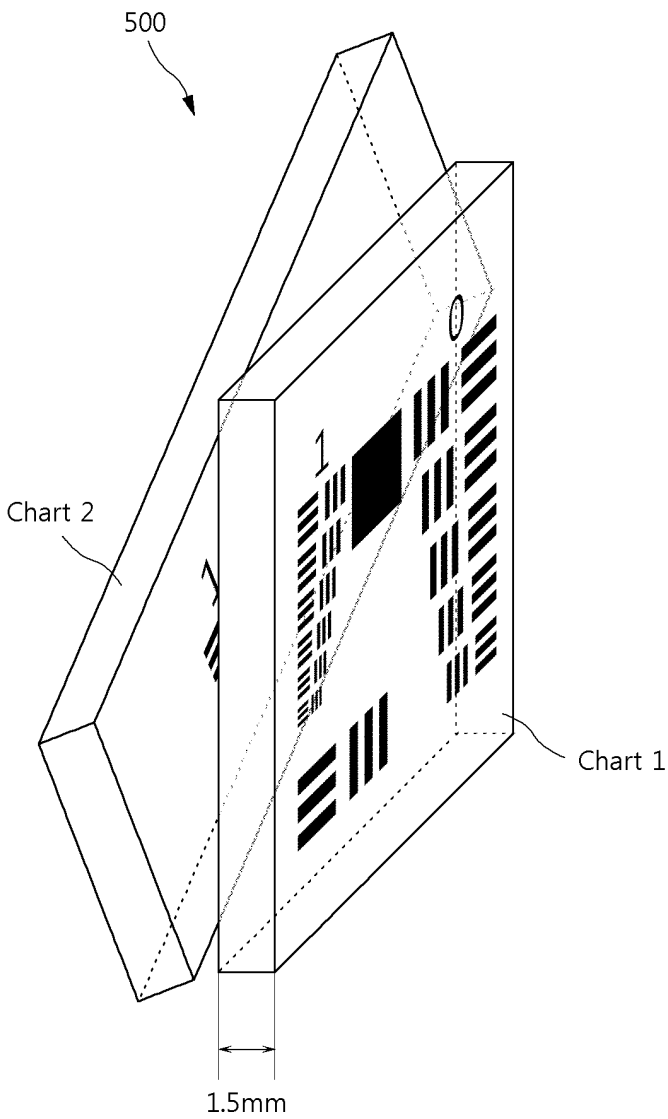


(A)

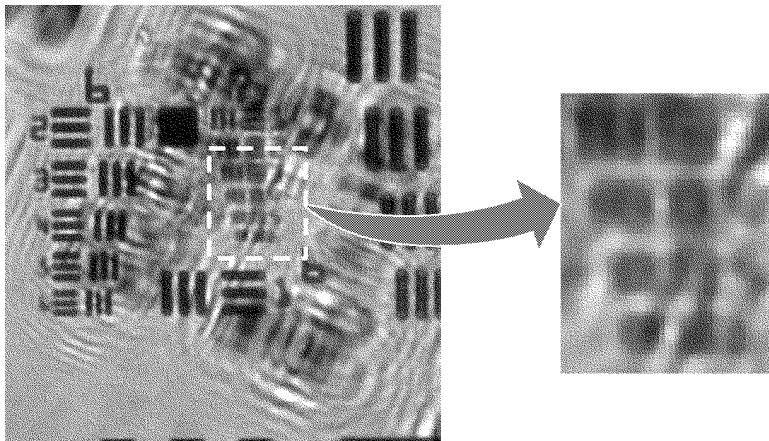


(B)

도면7

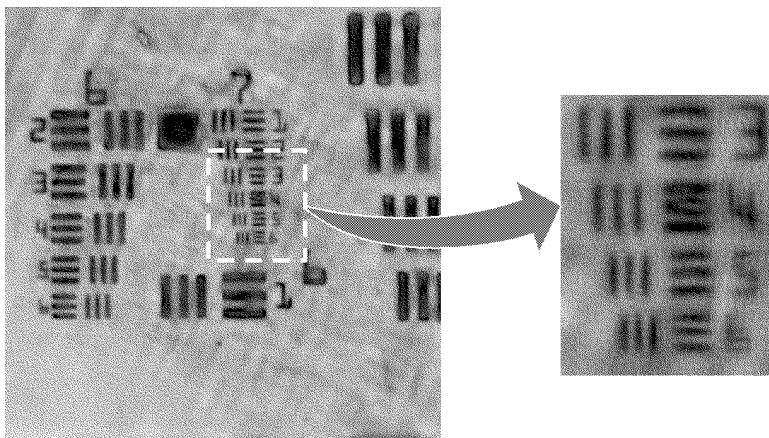


도면8



Captured Image
focusing Chart 1
by Conventional FPM

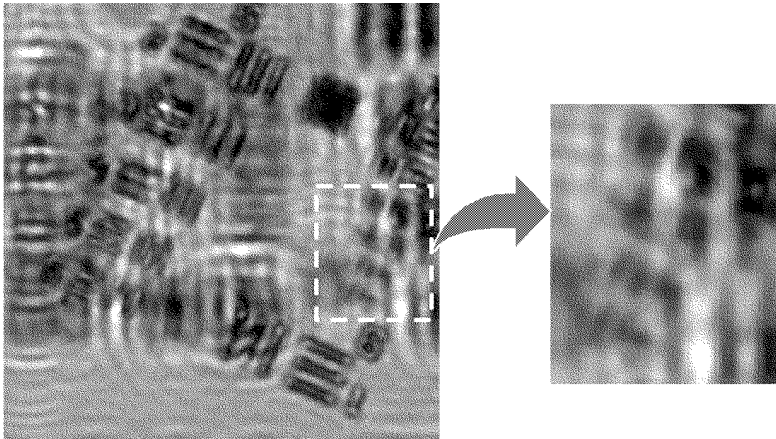
(A)



Captured Image
focusing Chart 1
by Present Invention

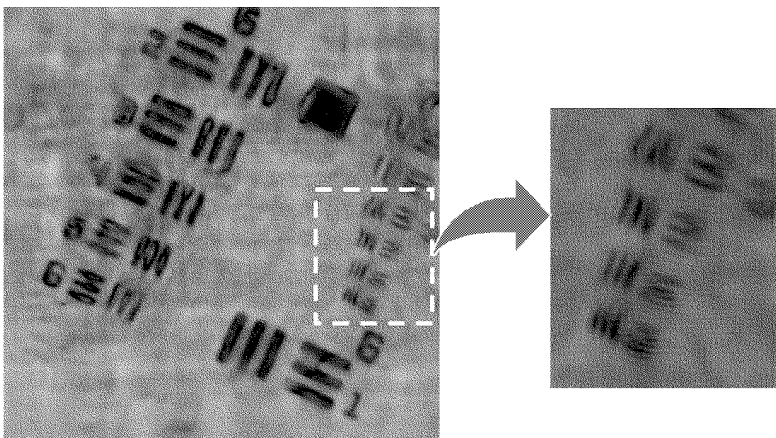
(B)

도면9



Captured Image
focusing Chart 2
by Conventional FPM

(A)



Captured Image
focusing Chart 2
by Present Invention

(B)