



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0070930
(43) 공개일자 2024년05월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03H 1/26 (2006.01) G03H 1/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G03H 1/268 (2013.01)
G03H 2001/005 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0152420
(22) 출원일자 2022년11월15일
심사청구일자 2022년11월15일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대 학교)
(72) 발명자
박재형
경기도 군포시 금산로 91, 108동 1802호(산본동, 래미안 하이어스)
아스카리
인천광역시 미추홀구 재념이길61번길 27, 301호(학익동, 시원주택2차)
(74) 대리인
양성보

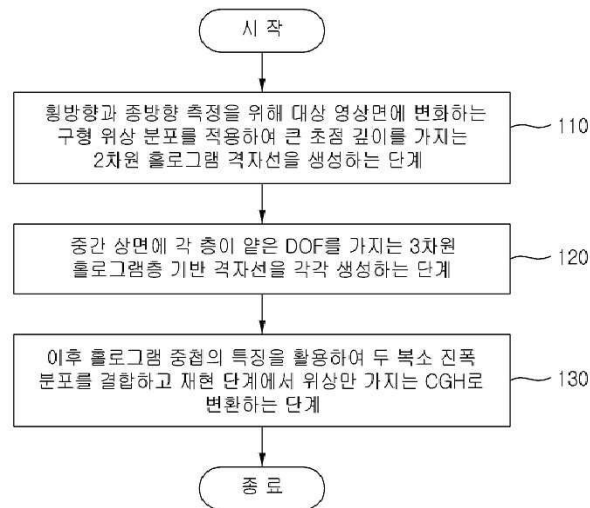
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 기존 현미경을 이용한 3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법

(57) 요약

기존 현미경을 이용한 3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법이 제시된다. 본 발명에서 제안하는 기존 현미경을 이용한 3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법은 샘플의 횡방향과 종방향 측정을 위해 대상 영상면에 변화하는 구형 위상 분포를 적용하여 초점 깊이를 가지는 2차원 홀로그램 격자선을 생성하는 단계, 중간 상면에 각 층이 초점 깊이의 서로 다른 초점면을 가지는 2차원 영상을 배치하는 층기반 방법을 사용하여 3차원 홀로그램 격자선을 상기 각 층에 생성하는 단계 및 홀로그램 중첩의 특징을 활용하여 상기 2차원 홀로그램 격자선 및 3차원 홀로그램 격자선의 두 복소 진폭 분포를 결합하고 위상만 가지는 CGH(Computer Generated Hologram)로 변환하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G03H 2225/33 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415177565
과제번호	66557-1
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	국제공동기술개발
연구과제명	마이크로디스플레이 계측 시스템 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(주)스몰머신즈
연구기간	2021.12.01 ~ 2022.11.30

명세서

청구범위

청구항 1

샘플의 횡방향과 종방향 측정을 위해 대상 영상면에 변화하는 구형 위상 분포를 적용하여 초점 깊이를 가지는 2차원 홀로그램 격자선을 생성하는 단계;

중간 상면에 각 층이 초점 깊이의 서로 다른 초점면을 가지는 2차원 영상을 배치하는 층기반 방법을 사용하여 3차원 홀로그램 격자선을 상기 각 층에 생성하는 단계; 및

홀로그램 중첩의 특징을 활용하여 상기 2차원 홀로그램 격자선 및 3차원 홀로그램 격자선의 두 복소 진폭 분포를 결합하고 위상만 가지는 CGH(Computer Generated Hologram)로 변환하는 단계

를 포함하는 3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 샘플의 횡방향과 종방향 측정을 위해 대상 영상면에 변화하는 구형 위상 분포를 적용하여 초점 깊이를 가지는 2차원 홀로그램 격자선을 생성하는 단계는,

제물대에서 샘플의 평평한 면을 이용하여 확대된 샘플 상의 초점거리를 이동하며 측정하기 위해 미리 정해진 기준 이상의 넓은 초점 깊이를 가지는 횡방향의 크기를 측정하고,

종방향 측의 방향으로 확대된 샘플 상의 두께와 깊이 추정을 하기 때문에 미리 정해진 기준 이하의 얇은 초점 깊이를 가지는 종방향의 크기를 측정하는

3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 샘플의 횡방향과 종방향 측정을 위해 대상 영상면에 변화하는 구형 위상 분포를 적용하여 초점 깊이를 가지는 2차원 홀로그램 격자선을 생성하는 단계는,

상기 대상 영상면과 변화하는 구형 수렴 위상을 곱함으로써 최소 각도 스펙트럼 범위를 이용하여 상기 미리 정해진 기준 이상의 넓은 초점 깊이를 나타내고, 상기 대상 영상면의 저주파 정보를 홀로그램으로 확산시키고,

상기 확산된 홀로그램의 제한적인 원형 유효 개구가 대상 영상면의 각 지점을 형성함에 따라 초점 깊이가 확장되어 모든 초점면에서 초점이 맞춰지는

3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

렌즈를 사용하지 않는 3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법에서 에일리어싱(aliasing) 오차를 없애기 위해 상기 기준 이상의 넓은 초점 깊이에 적용되는 구형 위상의 수렴 각은 SLM(Spatial Light Modulator)의 회절각을 넘지 않는

3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 샘플의 횡방향과 종방향 측정을 위해 대상 영상면에 변화하는 구형 위상 분포를 적용하여 초점 깊이를 가

지는 2차원 홀로그램 격자선을 생성하는 단계는,

대상 영상면과 임의의 위상 분포를 곱함으로써 SLM(Spatial Light Modulator)의 픽셀 간격에 의해 제한되는 최대 각도 스펙트럼 범위를 이용하여 미리 정해진 기준 이하의 얇은 초점 깊이를 나타내는

3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 중간 상면에 각 층이 초점 깊이의 서로 다른 초점면을 가지는 2차원 영상을 배치하는 층기반 방법을 사용하여 3차원 홀로그램 격자선을 상기 각 층에 생성하는 단계는,

상기 각 층 사이의 거리는 서로 다른 초점 평면으로 이동하며 샘플의 두께를 측정할 수 있도록 고정된 값을 사용하고, 상기 각 층은 스케일 및 이격된(scaled and shifted) 프레넬 회절 알고리즘에서 홀로그램 평면으로부터의 거리에 의해 정의되는 샘플링 간격을 가지는

3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 홀로그램 중첩의 특징을 활용하여 상기 2차원 홀로그램 격자선 및 3차원 홀로그램 격자선의 두 복소 진폭 분포를 결합하고 위상만 가지는 CGH로 변환하는 단계는,

상기 2차원 홀로그램 격자선 및 3차원 홀로그램 격자선을 이용하여 2차원 홀로그램 및 3차원 홀로그램을 합성하고, 위상 홀로그램으로 변조하는 과정에서 위상만 가지는 홀로그램을 최적화하기 위해 GS(Gerchberg-Saxton) 알고리즘 또는 에러 확산 방식(error diffusion method)을 이용하여 복소장을 합성하는

3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 기존 현미경을 이용한 3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 광학현미경은 오랜 기간동안 존재해왔으며 전자 산업을 비롯해 생물학 및 의학 응용 분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 광학 현미경은 렌즈의 후초점면(back focal plane)에 위치한 샘플의 확대된 도립 실상을 생성하기 위해 무한 초점 대물렌즈(infinite-corrected objective lens)와 튜브렌즈(tube lens)로 구성된 간단한 광학 구조를 가지고 있다. 이 상은 확대된 정립 허상을 생성하는 대안렌즈(ocular lens) 또는 접안렌즈(eyepiece)에 의해 더 확대된다. 명시야 용 현미경(bright-field microscopy)은 샘플이 빛을 받는 가장 간단한 광학현미경으로, 반사된 빛으로부터 대비가 생성된다(McArthur, 1945; McArthur, 1958). 현미경 재물대 위의 샘플을 측정하기 위해 광학현미경 십자선(reticle) 또는 격자선(graticule)을 주로 사용한다. 격자선은 접안렌즈에 표시된 2차원의 원반으로 초점 면의 재물대 위에 있는 샘플의 횡방향 길이를 측정하기 위해 사용된다. 격자선이 2차원 구조를 가지기 때문에 수직축 방향으로 확대된 샘플의 깊이 추정이 어렵고, 대물렌즈를 교체할 때마다 눈금 교정이 필요하다는 문제가 있다. 보통은 재물대에서 현미경의 축척과 2차원 격자선을 나란히 놓고 눈금을 교정해 변환 계수(conversion factor)를 계산하고 이를 이용해 확대된 샘플의 횡방향 길이를 측정한다.

[0003] 3차원 디스플레이와 홀로그램 프로젝터에서 홀로그램 콘텐츠를 생성하기 위해서는 컴퓨터 생성 홀로그램(Computer Generated Hologram; CGH) 기술이 적용되어야 한다. CGH에서 물체의 3차원 정보는 점구름(point cloud) (Lucente, 1933), 광선(light rays) (Wakunami and Yamaguchi, 2011), 깊이층(depth layers) (Zhao et al., 2015)과 삼각형 메시(Triangular Meshes) (Kim et al., 2008; Ji et al., 2016) 등의 다양한 형태로 표현될 수 있다. 합성된 복소장은 재현 과정에서 공간 광 변조기(Spatial Light Modulator; SLM)에 업로드 되기 전에 진폭 혹은 위상만 존재하는 CGH로 변환된다. 2차원 영상과 달리 CGH는 깊이 정보가 보존된다는 특별한 장점을 가지고 있다. 다양한 CGH 기술 중, 렌즈를 사용하지 않는 홀로그램 투사 기술(lensless holographic

projection)은 렌즈 수차를 없애고 고대비 영상을 생성하며 소형 크기의 구조를 가진다(Makowski et al., 2016; Buckley et al., 2011)는 장점이 있다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0004] (비특허문헌 0001) Muffoletto, R.P., Tyler, J.M. and Tohline, J.E., 2007. Shifted Fresnel diffraction for computational holography. Optics Express, 15(9), pp.5631-5640.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0005] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 확대된 샘플의 가로 및 세로 길이 측정을 위해 명시야 현미경 구조를 갖춘 3차원 홀로그램 투사 디스플레이(3D holographic projection display)의 증강 방법을 제공하는데 있다. 제안하는 3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법을 통해 복소장(complex filed) 정보의 합성을 통해 물리적인 원반 모양의 격자선을 교체하지 않고도 샘플의 크기를 측정하고, 수직 방향의 측정을 통해 샘플의 깊이 정보를 추정하거나 두께를 측정하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0006] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 기존 현미경을 이용한 3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법은 샘플의 횡방향과 종방향 측정을 위해 대상 영상면에 변화하는 구형 위상 분포를 적용하여 초점 깊이를 가지는 2차원 홀로그램 격자선을 생성하는 단계, 중간 상면에 각 층이 초점 깊이의 서로 다른 초점면을 가지는 2차원 영상을 배치하는 층기반 방법을 사용하여 3차원 홀로그램 격자선을 상기 각 층에 생성하는 단계 및 홀로그램 중첩의 특징을 활용하여 상기 2차원 홀로그램 격자선 및 3차원 홀로그램 격자선의 두 복소 진폭 분포를 결합하고 위상만 가지는 CGH(Computer Generated Hologram)로 변환하는 단계를 포함한다.
- [0007] 상기 샘플의 횡방향과 종방향 측정을 위해 대상 영상면에 변화하는 구형 위상 분포를 적용하여 초점 깊이를 가지는 2차원 홀로그램 격자선을 생성하는 단계는 재물대에서 샘플의 평평한 면을 이용하여 확대된 샘플 상의 초점거리를 이동하며 측정하기 위해 미리 정해진 기준 이상의 넓은 초점 깊이를 가지는 횡방향의 크기를 측정하고, 종방향 축의 방향으로 확대된 샘플 상의 두께와 깊이 추정을 하기 때문에 미리 정해진 기준 이하의 얇은 초점 깊이를 가지는 종방향의 크기를 측정한다.
- [0008] 상기 샘플의 횡방향과 종방향 측정을 위해 대상 영상면에 변화하는 구형 위상 분포를 적용하여 초점 깊이를 가지는 2차원 홀로그램 격자선을 생성하는 단계는 상기 대상 영상면과 변화하는 구형 수렴 위상을 곱함으로써 최소 각도 스펙트럼 범위를 이용하여 상기 미리 정해진 기준 이상의 넓은 초점 깊이를 나타내고, 상기 대상 영상면의 저주파 정보를 홀로그램으로 확산시키고, 상기 확산된 홀로그램의 제한적인 원형 유효 개구가 대상 영상면의 각 지점을 형성함에 따라 초점 깊이가 확장되어 모든 초점면에서 초점이 맞춰진다.
- [0009] 렌즈를 사용하지 않는 3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법에서 에일리어싱(aliasing) 오차를 없애기 위해 상기 기준 이상의 넓은 초점 깊이에 적용되는 구형 위상의 수렴 각은 SLM(Spatial Light Modulator)의 회절각을 넘지 않는다.
- [0010] 상기 샘플의 횡방향과 종방향 측정을 위해 대상 영상면에 변화하는 구형 위상 분포를 적용하여 초점 깊이를 가지는 2차원 홀로그램 격자선을 생성하는 단계는 대상 영상면과 임의의 위상 분포를 곱함으로써 SLM(Spatial Light Modulator)의 픽셀 간격에 의해 제한되는 최대 각도 스펙트럼 범위를 이용하여 미리 정해진 기준 이하의 얇은 초점 깊이를 나타낸다.
- [0011] 상기 중간 상면에 각 층이 초점 깊이의 서로 다른 초점면을 가지는 2차원 영상을 배치하는 층기반 방법을 사용하여 3차원 홀로그램 격자선을 상기 각 층에 생성하는 단계는 상기 각 층 사이의 거리는 서로 다른 초점 평면으로 이동하며 샘플의 두께를 측정할 수 있도록 고정된 값을 사용하고, 상기 각 층은 스케일 및 이격된(scaled and shifted) 프레넬 회절 알고리즘에서 홀로그램 평면으로부터의 거리에 의해 정의되는 샘플링 간격을 갖는다.
- [0012] 상기 홀로그램 중첩의 특징을 활용하여 상기 2차원 홀로그램 격자선 및 3차원 홀로그램 격자선의 두 복소 진폭

분포를 결합하고 위상만 가지는 CGH로 변환하는 단계는 상기 2차원 홀로그램 격자선 및 3차원 홀로그램 격자선을 이용하여 2차원 홀로그램 및 3차원 홀로그램을 합성하고, 위상 홀로그램으로 변조하는 과정에서 위상만 가지는 홀로그램을 최적화하기 위해 GS(Gerchberg-Saxton) 알고리즘 또는 에러 확산 방식(error diffusion method)을 이용하여 복소장을 합성한다.

발명의 효과

[0013] 본 발명의 실시예들에 따르면 확대된 샘플의 가로 및 세로 길이 측정을 위해 명시야 현미경 구조를 갖춘 3차원 홀로그램 투사 디스플레이(3D holographic projection display)의 증강 방법을 통해 복소장(complex field) 정보의 합성을 통해 물리적인 원반 모양의 격자선을 교체하지 않고도 샘플의 크기를 측정할 수 있고, 수직 방향의 측정이 가능하므로 샘플의 깊이 정보를 추정하거나 두께를 측정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 현미경을 이용한 3차원 홀로그램 영상 격자 증강 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 반사형 명시야 현미경의 구성도와 광선의 경로를 나타내는 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 렌즈를 사용하지 않는 홀로그램 투사 구조를 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 중간 상면 주위에서의 넓고 얇은 DOF를 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 구현된 홀로그램 투사 구조에서의 에일리어싱 발생 조건을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 수치적 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 실험 구성을 나타내는 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 실험 결과를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 본 발명에서는 반사형 명시야 현미경에서 확대된 샘플 상을 측정하기 위한 홀로그램 격자 영상을 표현하는 컴퓨터 생성 홀로그램 투사 기술의 구현을 제안한다. 구현된 시스템은 홀로그램 측정 격자선을 이용해 현미경에서 관찰하는 샘플의 횡방향과 종방향 크기를 측정할 수 있는 도구로 사용된다. 수치적인 방법과 실험적인 방법으로 기존의 명시야 현미경 시스템을 활용한 측정 도구로 활용될 수 있는 홀로그램 투사 시스템이 성공적으로 구현되었음을 검증했다. 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0017] 본 발명에서는, 확대된 샘플의 가로 및 세로 길이 측정을 위해 명시야 현미경 구조를 갖춘 3차원 홀로그램 투사 디스플레이(3D holographic projection display)의 증강 구현을 제안한다. 기존의 2차원 격자선은 2차원 평면에서의 위도 측정만 가능하고, 대물 렌즈를 교체할 때마다 재물대 위에서 마이크로미터 단위의 축적으로 다시 교정되어야 하기 때문에 2차원 격자선은 측정 목적에 적합한 것으로 매번 교체되어야 한다는 번거로움이 있다. 반면에, 제안하는 방법에서는 복소장(complex field) 정보의 합성을 통해 물리적인 원반 모양의 격자선을 교체하지 않고도 샘플의 크기를 측정할 수 있으며, 수직 방향의 측정이 가능하므로 샘플의 깊이 정보를 추정하거나 두께를 측정할 수 있다. 제안된 증강 3차원 홀로그램 투사 격자는 반사/투과 명시야 현미경이나, 암시야 현미경 등의 다른 종류의 현미경에도 적용될 수 있다.

[0018] 본 발명에서는, 중간 상면인 튜브렌즈의 후초점면에서 확대된 샘플의 상을 측정하기 위한 3차원 홀로그램 격자선을 만들고, SLM 면에서의 복소장을 계산하기 위해서 scaled and shifted 프레넬 회절 (Muffoletto et al., 2007; Zhang et al., 2019; Shimobaba et al., 2013; Shimobaba et al., 2012) 알고리즘을 이용하여 크기를 조절가능한 상을 생성할 수 있는 렌즈를 사용하지 않는 홀로그램 투사 구조를 고안했다. 프레넬 회절은 SLM과 대상 영상면에서의 서로 다른 샘플링 간격을 고려한 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform, FFT) 기반 회절 계산이다. 횡방향과 종방향 측정을 위해 대상 영상면에 천천히 변화하는 구형 위상 분포를 적용 (Makowski et al., 2016)하여 큰 초점 깊이(Depth of Focus; DOF)를 가지는 2차원 홀로그램 격자선과 중간 상면에 각 층이 얇은 DOF를 가지는 3차원 홀로그램층 기반 격자선을 각각 생성했다. 이후 홀로그램 중첩의 특징을 활용하여 두 복

소 진폭 분포를 결합하고 재현 단계에서 위상만 가지는 CGH로 변환했다.

- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 기존 현미경을 이용한 3차원 홀로그래프 영상 격자 증강 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0021] 제안하는 기존 현미경을 이용한 3차원 홀로그래프 영상 격자 증강 방법은 샘플의 횡방향과 종방향 측정을 위해 대상 영상면에 변화하는 구형 위상 분포를 적용하여 초점 깊이를 가지는 2차원 홀로그래프 격자선을 생성하는 단계(110), 중간 상면에 각 층이 초점 깊이의 서로 다른 초점면을 가지는 2차원 영상을 배치하는 층기반 방법을 사용하여 3차원 홀로그래프 격자선을 상기 각 층에 생성하는 단계(120) 및 홀로그래프 중첩의 특징을 활용하여 상기 2차원 홀로그래프 격자선 및 3차원 홀로그래프 격자선의 두 복소 진폭 분포를 결합하고 위상만 가지는 CGH(Computer Generated Hologram)로 변환하는 단계(130)를 포함한다.
- [0022] 단계(110)에서, 샘플의 횡방향과 종방향 측정을 위해 대상 영상면에 변화하는 구형 위상 분포를 적용하여 초점 깊이를 가지는 2차원 홀로그래프 격자선을 생성한다.
- [0023] 본 발명의 실시예에 따른 재물대에서 샘플의 평평한 면을 이용하여 확대된 샘플 상의 초점거리를 이동하며 측정하기 위해 미리 정해진 기준 이상의 넓은 초점 깊이를 가지는 횡방향의 크기를 측정하고, 종방향 축의 방향으로 확대된 샘플 상의 두께와 깊이 추정을 하기 때문에 미리 정해진 기준 이하의 얇은 초점 깊이를 가지는 종방향의 크기를 측정한다.
- [0024] 상기 샘플의 횡방향과 종방향 측정을 위해 대상 영상면에 변화하는 구형 위상 분포를 적용하여 초점 깊이를 가지는 2차원 홀로그래프 격자선을 생성하는 단계는 상기 대상 영상면과 변화하는 구형 수렴 위상을 곱함으로써 최소 각도 스펙트럼 범위를 이용하여 상기 미리 정해진 기준 이상의 넓은 초점 깊이를 나타내고, 상기 대상 영상면의 저주파 정보를 홀로그래프로 확산시키고, 상기 확산된 홀로그래프의 제한적인 원형 유효 개구가 대상 영상면의 각 지점을 형성함에 따라 초점 깊이가 확장되어 모든 초점면에서 초점이 맞춰진다.
- [0025] 본 발명의 실시예에 따른 렌즈를 사용하지 않는 3차원 홀로그래프 영상 격자 증강 방법에서 에일리어싱(aliasing) 오차를 없애기 위해 상기 기준 이상의 넓은 초점 깊이에 적용되는 구형 위상의 수렴 각은 SLM(Spatial Light Modulator)의 회절각을 넘지 않는다.
- [0026] 상기 샘플의 횡방향과 종방향 측정을 위해 대상 영상면에 변화하는 구형 위상 분포를 적용하여 초점 깊이를 가지는 2차원 홀로그래프 격자선을 생성하는 단계는 대상 영상면과 임의의 위상 분포를 곱함으로써 SLM(Spatial Light Modulator)의 픽셀 간격에 의해 제한되는 최대 각도 스펙트럼 범위를 이용하여 미리 정해진 기준 이하의 얇은 초점 깊이를 나타낸다.
- [0027] 단계(120)에서, 중간 상면에 각 층이 초점 깊이의 서로 다른 초점면을 가지는 2차원 영상을 배치하는 층기반 방법을 사용하여 3차원 홀로그래프 격자선을 상기 각 층에 생성한다.
- [0028] 상기 각 층 사이의 거리는 서로 다른 초점 평면으로 이동하며 샘플의 두께를 측정할 수 있도록 고정된 값을 사용하고, 상기 각 층은 스케일 및 이격된(scaled and shifted) 프레넬 회절 알고리즘에서 홀로그래프 평면으로부터의 거리에 의해 정의되는 샘플링 간격을 갖는다.
- [0029] 단계(130)에서, 상기 홀로그래프 중첩의 특징을 활용하여 상기 2차원 홀로그래프 격자선 및 3차원 홀로그래프 격자선의 두 복소 진폭 분포를 결합하고 위상만 가지는 CGH로 변환한다.
- [0030] 상기 2차원 홀로그래프 격자선 및 3차원 홀로그래프 격자선을 이용하여 2차원 홀로그래프 및 3차원 홀로그래프를 합성하고, 위상 홀로그래프로 변조하는 과정에서 위상만 가지는 홀로그래프를 최적화하기 위해 GS(Gerchberg-Saxton) 알고리즘 또는 에러 확산 방식(error diffusion method)을 이용하여 복소장을 합성한다.
- [0032] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 반사형 명시야 현미경의 구성도와 광선의 경로를 나타내는 도면이다.
- [0033] 본 발명의 실시예에 따른 반사형 명시야 현미경은 금속 샘플이나 집적회로, 세라믹 표면을 사용하는 반도체 분야 같은 산업적인 응용분야에서 많이 사용된다. 명시야 혹은 암시야 조명 기술은 각각 배경과 상반되는 어둡고, 밝은 영상을 표현한다(McArthur, 1945; McArthur, 1958). 각 조명 기술은 관측되는 샘플에 따라 장단점이 있고, 본 발명의 실험에서는 비간섭성의 성질을 갖는(incoherent) 발광다이오드(Light-Emitting-Diode; LED)의 원본

상(source image)을 제거하기 위해 Kohler 조명이 적용된 명시야 반사형 현미경을 사용했다.

도 2를 참조하면, 광선(510)은 광원 영상의 초점면을 나타내고, 광선(220)은 확대된 샘플의 초점면을 나타낸다. 확대된 샘플상(230)은 중간 상면(Intermediate image plane) 혹은 사용자의 망막(Eye piece)에 초점을 맺고, 원본상은 더 좋은 시각적 정확도를 위해 매우 흐리게 표현된다. 중간 상면에서 확대된 샘플의 상이 튜브렌즈(Tube Lens)를 통해 완전히 선명해질 수 있도록, 다시 말해 초점을 맺을 수 있도록 샘플을 무한 초점 대물렌즈(Objective Lens)의 전초점면에 위치시켰다. 대물렌즈는 샘플에 빛을 모아주는 집광렌즈(condenser lens)의 역할과 반사된 빛을 모아 상을 형성하는 역할을 한다. 대물렌즈와 튜브렌즈 사이에서 광선(220)이 평행하게 진행하기 때문에 이 사이 거리를 조절해 광학 필터나 분광기 같은 추가적인 부품을 더할 수 있다. 조리개(Aperture)의 개구를 변경하면 대물렌즈에 입사하는 원뿔 조명의 모양을 변경할 수 있고 이를 통해 샘플 상의 대비를 조절할 수 있다. 도 2와 같은 반사형 현미경의 경우 필드(Field) 조리개를 이용해 집광렌즈나 대물렌즈에 도달하는 광선 다발의 너비를 조절할 수 있다. 시스템의 전체 배율은 대물렌즈의 배율과 대안렌즈 혹은 접안렌즈의 배율을 곱해 계산할 수 있으며, 만약 CCD 센서가 중간 상면의 도립 실상을 촬영한다면 대물렌즈의 배율만 고려해도 된다. 다른 광학 시스템과 마찬가지로 대물렌즈는 종/횡방향으로 다른 배율을 가지고 있다. 횡방향 배율은 상의 높이와 물체의 높이의 비율로 정의되고, 렌즈 제조 업체에서 제공하는 정보인 '5x', '10x'를 통해 알 수 있다. 이는 실제 물체의 크기보다 5배 또는 10배 확대한다는 것을 의미한다. 종방향 배율은 광축을 따라 횡방향 배율의 제공으로 정의되기 때문에, 10x 대물렌즈의 경우 물체의 종방향 배율은 100x가 된다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 렌즈를 사용하지 않는 홀로그램 투사 구조를 설명하기 위한 도면이다.

도 3과 같이 하나의 SLM을 사용하고 투사 스크린이 전과거리 z 에 위치한 소형의 구조를 가지는 렌즈를 사용하지 않는 홀로그램 투사 기술을 활용해 SLM(Spatial Light Modulator) 평면에서의 복소 진폭 분포를 생성할 수 있다.

도 2에서의 중간 상면(Intermediate image plane)과 도 3에서의 상면(image plane)은 각각 확대된 샘플 상과 홀로그램 상에 대한 중첩 영상 평면이다. 광학적 구조에 대해 설명할 때의 혼동을 막기 위해 각각의 상면을 서로 다른 이름으로 정의했다. 상이 재현되는 평면 $I(u, v)$ 에서의 광학 필드는 2차원 프레넬 회절 (Goodman, 2005) 공식에 의해 다음과 같이 표현된다:

$$I(u, v) = \frac{\exp(jkz)}{j\lambda z} \iint_{-\infty}^{\infty} H(x, y) \exp \left[j \frac{k}{\lambda z} \{ (u-x)^2 + (v-y)^2 \} \right] dx dy, \quad (1)$$

이를 단순화하여 2차원 푸리에 변환의 관점에서 다음과 같이 나타낼 수 있다:

$$I(u, v) = \frac{\exp(jkz)}{j\lambda z} \exp \left[j \frac{k}{\lambda z} (u^2 + v^2) \right] \iint_{-\infty}^{\infty} H(x, y) \exp \left[j \frac{k}{\lambda z} (x^2 + y^2) \right] \exp \left[-j \frac{k}{\lambda z} (ux + vy) \right] dx dy, \quad (2)$$

$$I(u, v) = \frac{\exp(jkz)}{j\lambda z} \exp \left[j \frac{k}{\lambda z} (u^2 + v^2) \right] F \left\{ H(x, y) \exp \left[j \frac{k}{\lambda z} (x^2 + y^2) \right] \right\}, \quad (3)$$

이때 $H(x, y)$ 는 SLM 평면에서의 홀로그램을 의미한다. λ 는 파장, k 는 파수이고 $k = 2\pi/\lambda$ 로 표현할 수 있다. F 는 공간 주파수가 $f_x = u/\lambda z$ 이고, $f_y = v/\lambda z$ 일 때의 푸리에 변환을 나타낸다. 푸리에 변환의 샘플링 규칙에 의해 원본(source)와 재현 평면에서의 샘플링 간격은,

$$\Delta_u = \frac{\lambda z}{N_x \Delta_x}, \quad \Delta_v = \frac{\lambda z}{N_y \Delta_y}, \quad (4)$$

와 같은 관계를 가지고, 상면에서의 샘플링 간격인 Δ_u 와 Δ_v 는 SLM 평면에서의 샘플링 간격인 Δ_x 와 Δ_y 에 반비례하며 이 때 N_x 와 N_y 는 원본 평면에서의 샘플링 수를 의미한다. $\Delta_x = \Delta_y = \Delta_{SLM}$, $\Delta_u = \Delta_v = \Delta_I$ 이고 N_h 과 N_I 가 각각 홀로그램면과 재현 상면에서의 총 픽셀의 수일 때, 홀로그램의 크기 L_h 와 재현된 영상의 크기 L_I 는 각각 $L_h = N_h \times \Delta_{SLM}$ 와 $L_I = N_I \times \Delta_I$ 로 표현될 수 있다.

[0046] 앞선 내용에서는, 샘플 정렬, 샘플의 크기나 모양 비교 혹은 면적을 계산하는 등의 다양한 측정 요구사항을 충족시키기 위해 상면에서 다른 모양이나 크기를 가지는 격자선을 생성하는 복소장 정보에 초점을 맞췄지만 실제 샘플링 간격은 나이키스트 이론에 의해 제한된다. 이러한 한계를 극복하기 위해, 일반적으로 사용되는 두 가지 접근 방식을 추가적으로 활용했다. 우선, 식(4)에서 샘플링 간격은 그대로 두고 픽셀의 수를 늘리는 방법을 사용하면 계산에 사용되는 시간과 메모리가 상당히 증가하게 되고, 샘플링 한계 극복을 위해 식(1)을 사용하는 경우에는 FFT를 사용하지 않기 때문에 계산 효율이 떨어지게 된다. 두 번째로는 SLM 평면과 재현 상면에서 픽셀의 수 N 을 동일하게 유지하면서 샘플링 간격을 다양하게 적용하는 경우를 생각해볼 수 있다. 이를 위해 컨볼루션 정리를 이용한 이산(discrete) 2차원 프레넬 회절 알고리즘과 대상 영상을 광축에서 떨어트려 DC항과 분리시키는 비축(off-axis)상 재현 방법을 적용해 스케일된(scaled) 푸리에 변환을 계산하는 scaled and shifted 프레넬 회절 알고리즘을 사용할 수 있다. 복소장은 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$[0047] \quad I(u', v') = C_z * F^{-1}\{F[a(x', y')]F[b(x', y')]\}, \quad (5)$$

[0048] 이때의 C_z 와 a 그리고 b 에 대한 자세한 정보는 (Zhang et al., 2019)을 참조한다. 여기서, $x' = x_0 + x\Delta_{SLM}$, $y' = y_0 + y\Delta_{SLM}$, $u' = u_0 + u\Delta_I$, 및 $v' = v_0 + v\Delta_I$ 은 광학 축에서 홀로그램 이미지를 오프셋할 때 오프셋 매개변수 x_0 , y_0 , u_0 및 v_0 을 나타내어 DC 및 켈레 항을 대상 이미지에서 분리한다. 이 알고리즘은 3개의 FFT를 포함하기 때문에 픽셀의 수를 동일하게 유지하면서도 계산 속도가 빠르지만, 짧은 거리로 전파하기 때문에 에일리어싱(aliasing) 문제가 발생할 수 있다. 이는 다음과 같이 표현되는, SLM의 픽셀 간격에 의해 제한되는 회절각 θ_{SLM} 에 의해 발생하게 된다:

$$[0049] \quad \theta_{SLM} = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{\Delta_{SLM}}\right) \approx \frac{\lambda}{\Delta_{SLM}} \quad (6)$$

[0050] 투사된 영상의 크기는

$$[0051] \quad L_{I_max} = N_I \Delta_I \leq \frac{\lambda z}{\Delta_{SLM}}, \quad (7)$$

[0052] 에 의해 제한되는데, 이러한 관계는 영상의 크기가 전파 거리에 비례하고 SLM의 픽셀 간격에는 반비례함을 나타낸다. 투사된 영상의 크기는 바꾸지 않으면서 에일리어싱(aliasing) 문제를 없애기 위해서는 전파 거리가 짧아질수록 샘플링 간격도 좁아져야 한다. 샘플링 간격은 보통 실험에서 사용되는 물리적 SLM의 픽셀 간격에 의해 제한된다.

[0054] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 중간 상면 주위에서의 넓고 얇은 DOF를 나타내는 도면이다.

[0055] 본 발명의 실시예에 따르면, 현미경 재물대 위의 샘플의 크기를 횡방향과 종방향으로 측정하기 위해 홀로그래픽 격자선을 재현한다. 재물대에서 샘플의 평평한 면을 이용하여 횡방향의 크기를 측정할 수 있다. 확대된 샘플 상의 초점거리를 이동하며 측정해야 하기 때문에 넓은 DOF를 가져야 한다. 반면, 종방향의 크기 측정을 위해서는 축의 방향으로 확대된 샘플 상의 두께와 깊이 추정을 하기 때문에 얇은(shallow) DOF를 가져야 한다.

[0056] 랜덤 위상 자유 방식(Random-phase-free method) (Makowski et al., 2016)과 유사하게 대상 영상과 천천히 변화하는 구형 수렴 위상을 곱함으로써 최소 각도 스펙트럼 범위를 이용해 넓은 DOF를 표현할 수 있다. 이러한 방법으로, 큰 영상의 저주파 정보를 작은 크기의 홀로그램으로 확산시킬 수 있다. 이때 계산된 홀로그램의 제한적인 원형 유효 개수가 영상의 각 지점을 형성함에 따라 DOF가 확장되므로, 홀로그램 영상은 도 4에 도시된 바와 같이 모든 초점면에서 초점이 맞게 된다.

[0057] 대상 영상과 임의의 위상 분포를 곱하면, SLM의 픽셀 간격에 의해 제한되는 최대 각도 스펙트럼 범위를 이용해 얇은 DOF를 가지는 홀로그램을 생성할 수 있다. 중간 상면 주위에 각 층에 얇은 DOF를 가지는 서로 다른 초점면을 가지는 2차원 영상을 배치하는 층-기반 방법을 사용하여 3차원 홀로그램을 계산한다. 각 층 사이의 거리는 서로 다른 초점 평면으로 이동하며 샘플의 두께를 측정할 수 있도록 고정된 값을 사용했고, 각 층은 scaled and shifted 프레넬 회절 알고리즘에서의 홀로그램 평면으로부터의 거리에 의해 정의되는 샘플링 간격을 가진다. 또한, 앞서 설명했던 알고리즘을 적용하여 넓고 얇은 DOF를 가지는 홀로그램을 생성한다. SLM에 업로드 되는 최종

홀로그램은 획득한 두 개의 홀로그램을 합성하고 위상 홀로그램으로 변조하는 과정을 통해 얻을 수 있으며, 위상만 존재하는 홀로그램을 최적화하기 위해 GS(Gerchberg-Saxton) 알고리즘 (Chang et al., 2015)이나 에러 확산 방식(error diffusion method) (Jiao et al., 2020)같은 방법들을 적용해 복소장을 합성할 수도 있다.

[0059] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 구현된 홀로그램 투사 구조에서의 에일리어싱 발생 조건을 설명하기 위한 도면이다.

[0060] 본 발명의 실시예에 따르면, 렌즈를 사용하지 않는 광학 구성에서 에일리어싱(aliasing) 오차를 없애기 위해 넓은 DOF에 적용되는 구형 위상의 수렴 각은 SLM의 회절각을 넘어서는 안 된다. 구형 위상의 초점거리 f 는 홀로그램과 영상의 크기와 전파거리 z 로 다음과 같이 나타낼 수 있으며,

$$f = \frac{z}{1 - \frac{L_h}{L_t}}, \quad (8)$$

[0062] 이때 f 는 전파거리 z 에 비례하며 SLM 평면에서의 홀로그램의 사이즈에 반비례한다.

[0063] 도 5를 참조하면, θ_{SLM} 는 제한되는 최대 회절각을 나타내고, 도 5(c)의 점선은 수렴 구형 위상의 각을 나타낸다.

[0064] 도 5(a)는 $\phi = \theta_{SLM}$ 의 조건에 완벽하게 일치하는 수렴 구형 위상을 나타내고, 도 5(b)는 $\phi < \theta_{SLM}$ 조건에서의 위상을 나타낸다. 이 경우 SLM 영역의 일부분만을 이용하지만, 에일리어싱이 없는 영상을 재현할 수 있다. 도 5(c)는 에일리어싱이 발생하는 $\phi > \theta_{SLM}$ 의 조건에서의 모습으로, SLM에 도달하는 영상의 정보가 SLM의 전체 영역을 초과하게 됨에도 불구하고 프레넬 회절 알고리즘의 특성으로 인해 재현된 영상에서 에일리어싱 오차가 발생한다. 도 5의 아래에 도시된 영상은 에일리어싱 효과를 확인하기 위해 수치적으로 재현한 영상이다.

[0066] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 수치적 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

[0067] 수치적인 시뮬레이션에서 확장된 DOF와 얇은 DOF를 가지는 두 개의 홀로그램 콘텐츠를 각각 중간 상면을 중심으로 전파 거리 z 에서 생성하였다. 확장된 DOF를 가지는 홀로그램은 천천히 변하는 구형 위상 분포를 가지고 있으며, 넓은 깊이 범위에서 항상 초점을 맞춘다. 반면 얇은 DOF를 가지는 홀로그램은 각각 임의의 위상 분포를 가지고 특정 거리만큼 떨어져 있는 층기반의 방식으로 생성되었다. 도 6은 수치적인 시뮬레이션을 위해 이 두 홀로그램을 하나의 홀로그램으로 합성한 것을 나타낸다.

[0068] 시뮬레이션에서 사용한 계산 영역의 픽셀 해상도는 홀로그램 면과 영상면에서 동일한 $N \times N = 2160 \times 2160$ 픽셀의 값을 가진다. 홀로그램 면의 샘플링 간격이 3.6um일 때의 홀로그램의 크기 L_h 는 약 $7.7mm \times 7.7mm$ 이고, 전파 거리 z 는 400mm로 설정했다. 중간 상면에서 재현된 상의 샘플링 간격은 약 32um이며 633nm 파장을 가지는 빛을 사용했다.

[0069] 도 6A는 서로 다른 초점면에서의 넓은 DOF를 가지고 합성한 15도 간격의 눈금을 가지는 샘플 정렬 격자선 홀로그램 영상의 재현 결과를 나타낸다. 이를 통해 확장된 DOF를 가지고 있음을 알 수 있다. 도 6B는 얇은 DOF를 가지도록 층 기반으로 합성된 홀로그램의 결과를 나타낸다. 중간 상면을 중심으로 20mm 간격으로 각각 0, 20, 40, 60, 80의 숫자를 나타내는 5개의 층을 이용해 총 80mm의 세로 깊이를 가지는 홀로그램을 합성했다. SLM에 의해 정의된 최대 각도 범위에 따라 각 층의 간격은 증가하거나 감소할 수 있어 최종 재현된 상에서 다른 층에 위치한 부분이 흐려지게 된다. 재현된 상은 현미경 재물대의 위치에서의 확대된 샘플 상의 깊이 추정에 이용된다. 왼쪽에서 오른쪽으로 재현 깊이를 증가시켰을 때 각 층들에 위치한 서로 다른 번호가 특정 거리에서 초점이 맺음을 확인할 수 있다. 도 6C는 다른 재현 평면에서 합성된 홀로그램에 대한 재현 결과를 보여준다.

[0070] PSNR(peak-signal-to-noise ratio) 및 SSIM(structural similarity index)을 이용해 다양한 위치의 평면에서 재현된 홀로그램 영상이 넓은 DOF를 가지고 있음을 정량적으로 평가했다. 표 1의 T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 은 각각 도 6A의 재현 영상을 나타낸다. 표 1의 값을 통해 영상 품질은 중간 상면($z = 400mm$)에 위치했을 때 가장 높고,

중간 상면을 벗어날수록 천천히 저하되는 것을 알 수 있다.

<표 1>

Quality Metric	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
PSNR (dB)	28.29	31.59	35.38	31.01	28.05
SSIM	0.966	0.988	0.990	0.980	0.962

도 7은 광학 실험 구성을 나타내는 도면이다.

도 7은 렌즈를 사용하지 않는 홀로그래프와 반사형 명시야 현미경의 광학 실험의 구성이다. 도 7A에서, 홀로그래프는 위상 변조 이후에 SLM에 업로드 된다. 재현 평면에서 DC와 conjugate를 분리하기 위해 대상 영상을 중앙에서 벗어난 영역에 위치시켰고, 재현된 결과는 중간 상면 또는 SLM 평면에서 400mm 떨어진 위치에서 CCD로 촬영했다. 실험에서 633nm파장의 레이저와 MAY DISPLAY사의 3.6 μ m 크기의 픽셀 간격의 3840x2160의 해상도를 가지는 반사형 위상 변조 SLM(model name: IRIS-U62)을 사용했다. 확장된 DOF를 가지는 홀로그래프는 느리게 변화하는 수렴 구면 위상으로 합성했고, 얇은 DOF를 가지는 층 기반(layer-based)의 홀로그래프는 각 층에서 임의의 위상 분포를 가지도록 합성했다. 홀로그래프는 수치적인 시뮬레이션에서 사용한 것과 동일하게 2160x2160의 해상도를 가지며, 생성된 두 홀로그래프를 하나의 홀로그래프로 합성했다. 변환 과정에서는 최종 홀로그래프의 위상 부분을 추출하여 위상 변조 SLM에 업로드 했다.

도 7B의 실험에서, 10배의 배율을 가지는 무한초점 무색 대물렌즈의 작동 거리(working distance)(W_d)인 1.2mm의 거리에 현미경 재물대를 배치하고 무한대에 상을 맺는 대물렌즈를 위해 180mm의 유효초점 거리를 가지는 튜브렌즈(TL)를 사용했다. 튜브 렌즈는 중간 상면에서 확대된 샘플에 초점을 맺고, 무한 초점 대물렌즈와 튜브렌즈 사이의 거리는 가변거리 V_d 로, 이를 조절하여 시스템에 광학 부품을 추가로 위치시킬 수 있다. 또한, Thorlabs사의 530nm의 파장을 갖는 M530L3 LED를 비간섭성 광원으로 사용했고, Kohler 조명 기술을 사용해 원본 상을 CCD 면에서 제거했다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 광학 실험 결과를 나타내는 도면이다.

왼쪽 상단의 사진은 재현에 사용된 합성 홀로그래프 $H(x,y)$ 의 위상을 나타낸다. 도 8A - 도 8E는 SLM 평면으로부터 20mm 간격으로 360mm에서 440mm까지 떨어진 위치에서 재현된 영상을 나타낸다.

도 8A 에서 360mm에 위치한 홀로그래프 번호 '0'번에서는 확대된 샘플 상의 모든 부분이 초점이 맞지 않음을 볼 수 있다. 도 8B에서는 380mm 거리를 나타내는 홀로그래프 번호 '20'번에서 확대된 상의 아래 부분에 초점이 맞는 것을 확인할 수 있다. CCD면을 수직축 방향으로 SLM 면과 더 멀리 위치하도록 이동하면, 확대된 상의 다른 부분이 홀로그래프 번호와 함께 초점을 맺는 것을 확인할 수 있다. 도 8E에서는 440mm 거리를 나타내는 홀로그래프 번호 '80'번에서 확대된 상의 윗부분에 초점이 맞는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 통해 확대된 상의 초점이 380mm에서 440mm까지 약 60mm의 두께를 가지고 있음을 알 수 있다. 확대된 상의 수직방향 배율은 수평 방향 배율의 제곱이므로 이 실험의 경우 수평 방향은 10x, 수직 방향은 100x의 확대율을 가진다. 이를 이용해 계산한 샘플의 전체 두께는 약 60mm/100 (0.60mm)이다. 이는 실험에서 사용된 0.60 ± 0.10 mm의 두께를 가지는 Samsung Electro-Mechanics(SEMCO)사의 다층 세라믹 콘덴서(제품 번호 CL05)의 사양과 일치한다. 홀로그래프 격자선의 수직 방향 측정값의 오차는 홀로그래프 합성에 사용된 2차원 층의 수에서 비롯된다. 각 층이 20mm정도의 차이를 가지고 떨어져 있기 때문에 수직 방향 측정값의 최대 오차는 ± 20 mm 정도의 값을 가진다. 층기반의 홀로그래프 합성 과정에서 사용되는 층의 수를 증가시키면, 이러한 오차를 줄일 수 있으나 계산 량이 더 많이 증가하게 된다. 홀로그래프 영상에서 가장 외곽에 위치한 15도의 각도차를 가지는 360도의 원 모양 격자 눈금이 모든 결과 영상에서 항상 초점이 맺힘을 통해 넓은 DOF를 가지는 것을 확인할 수 있다.

본 발명에서는 현미경 샘플의 종방향 및 횡방향 크기를 측정하는데 적용할 수 있는 측정 격자선을 3D 홀로그래프

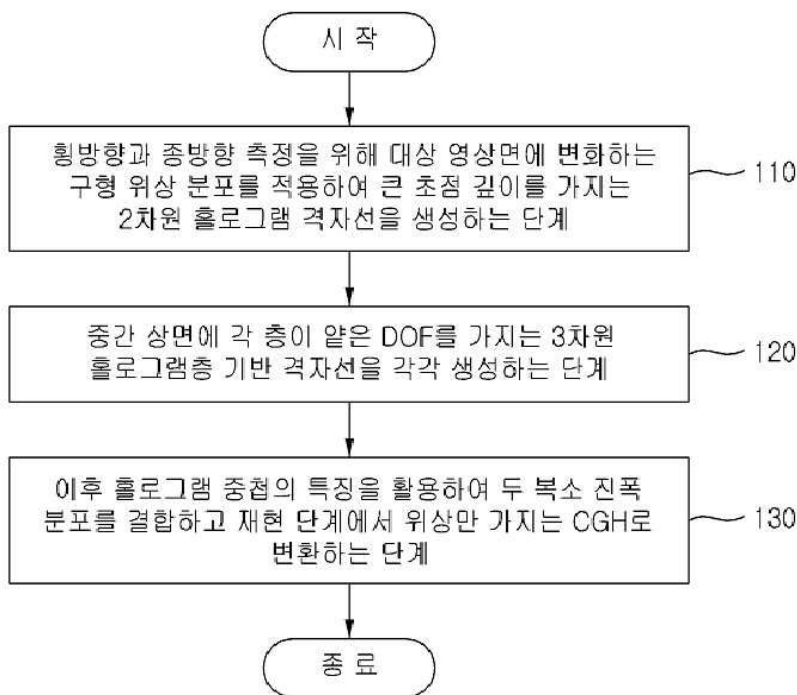
콘텐츠로 증강 구현하는 방법을 제안하였다. 렌즈를 사용하지 않는 홀로그램 투사 방법과 각각 넓고 얇은 DOF를 가지는 두 홀로그램을 합성하는 방법을 이용해 고대비 영상을 소형의 광학계로 이를 구현했다. 렌즈의 수차를 없애기 위해 SLM과 투사 스크린 사이에 추가적인 렌즈를 사용할 필요가 없어 기존의 광학 현미경으로 이러한 시스템을 보강하는 것도 다소 용이하다. 또한 고차 회절과의 불일치를 없애기 위해 에일리어싱 조건을 고려했으며, 결과적으로 두 개의 홀로그램을 합성하고 이를 수치적인 방법과 실험적인 방법으로 모두 검증했다.

[0083] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

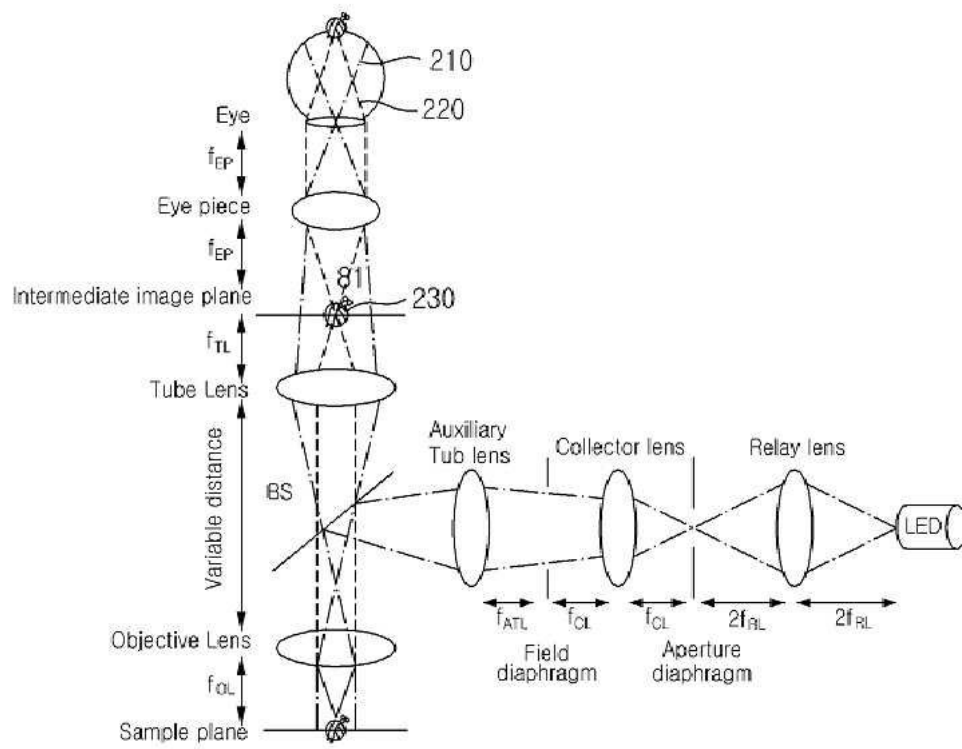
[0084] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

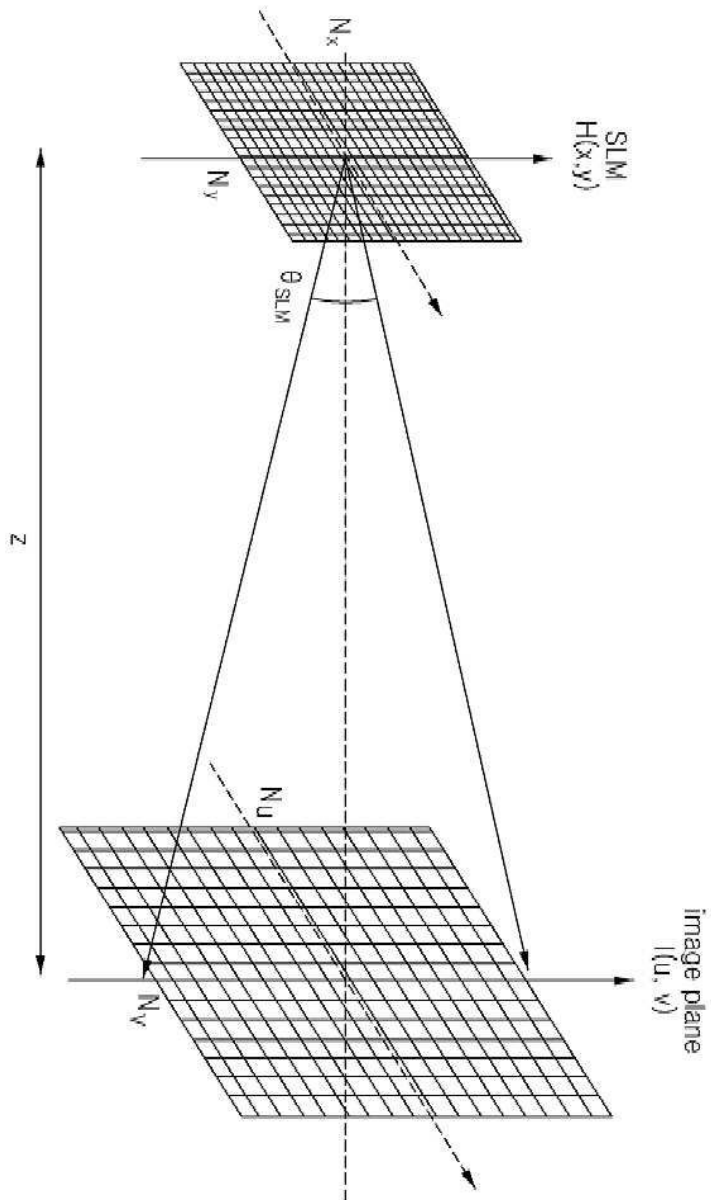
도면1



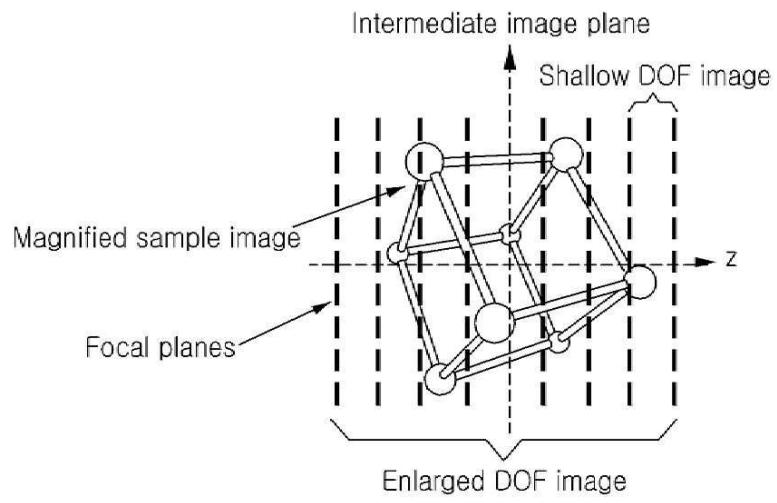
도면2



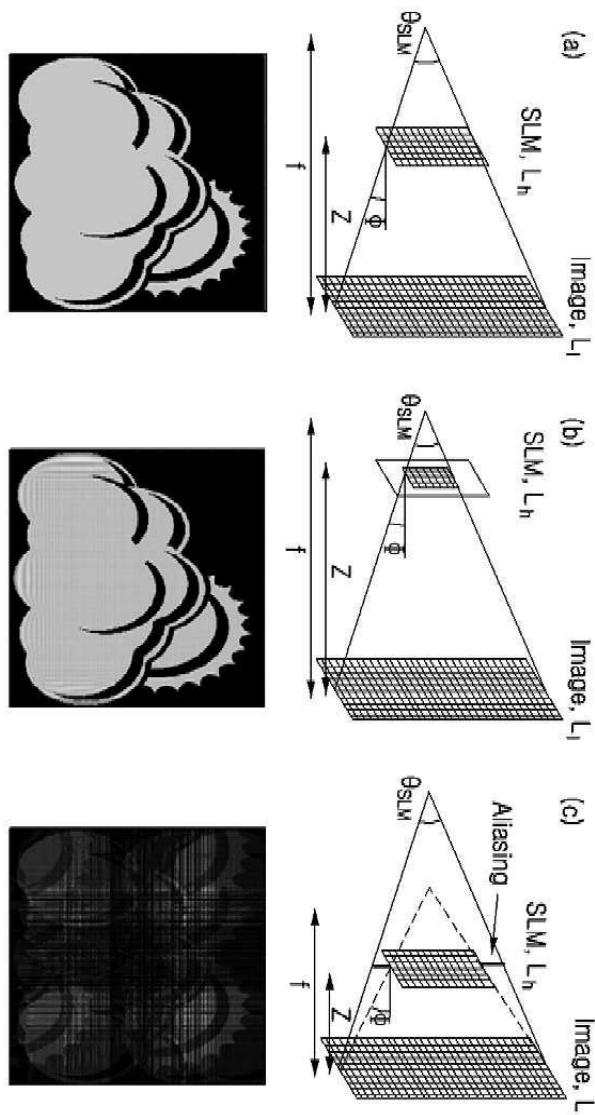
도면3



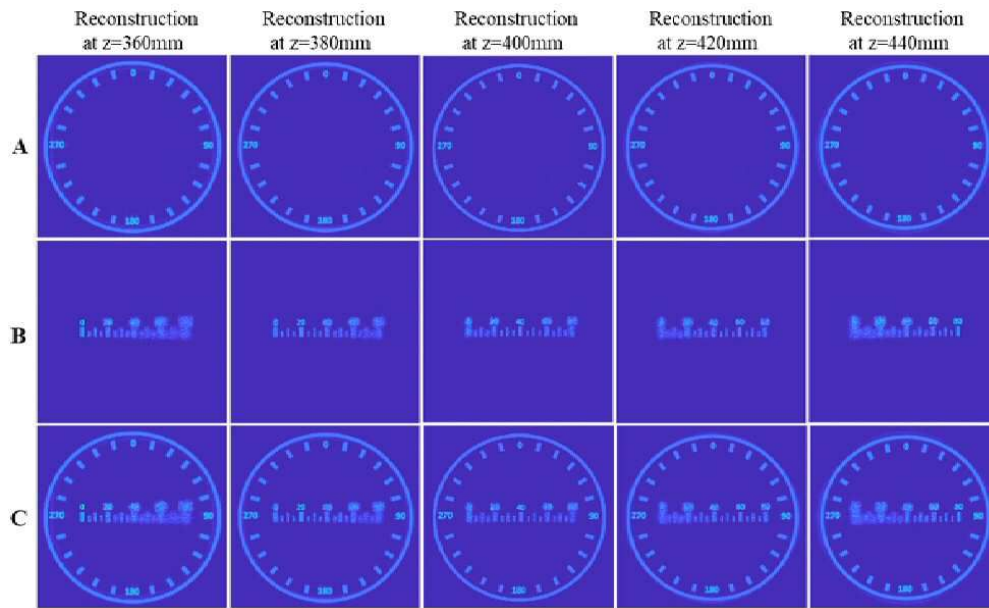
도면4



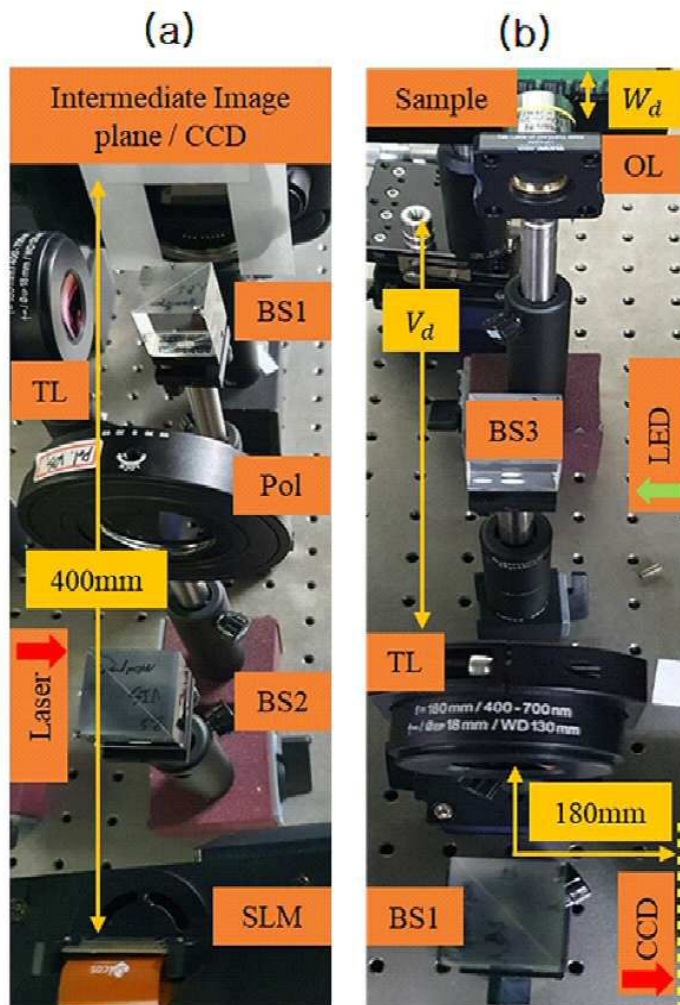
도면5



도면6



도면7



도면8

