



등록특허 10-2778548



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년03월11일
(11) 등록번호 10-2778548
(24) 등록일자 2025년03월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 21/36 (2006.01) G02B 27/00 (2020.01)
G06T 5/00 (2024.01)
(52) CPC특허분류
G02B 21/365 (2013.01)
G02B 27/0025 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0124023
(22) 출원일자 2023년09월18일
심사청구일자 2023년09월18일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020180113690 A
KR1020190106009 A
JP2022524923 A
KR1020160139779 A

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
기초과학연구원
대전광역시 유성구 엑스포로 55(도룡동)
(72) 발명자
최원식
서울특별시 노원구 노원로1가길 10, 802동 1001호(공릉동, 청솔8단지)
강성삼
서울특별시 동대문구 약령시로 9, 401호(제기동)
윤석찬
서울특별시 성북구 종암로25길 30, 102동 902호(종암동, 삼성래미안아파트)
(74) 대리인
김연권

전체 청구항 수 : 총 14 항

심사관 : 정현복

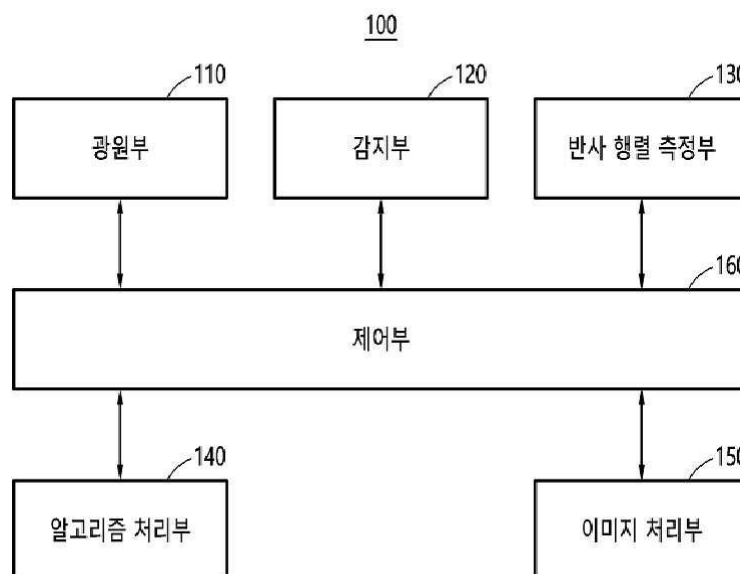
(54) 발명의 명칭 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 장치 및 방법에 관한 것으로, 본 발명의 일실시예에 따르면 이미징 장치는 산란 매질과 상기 산란 매질 내 다중 산란 성분을 투과하여 대상 물체(object)에 광을 입사하는 광원부, 상기 입사된 광이 상기 대상 물체로

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



부터 상기 다중 산란 성분을 투과 및 반사되어 돌아오는 광을 감지하는 감지부, 상기 돌아오는 광에 기반하여 상기 다중 산란 성분에 기반한 다중 산란 궤적이 반영된 시분해 반사 행렬을 측정하는 반사 행렬 측정부, 다중 산란 추적 알고리즘에 따라 상기 산란 매질로부터 근사된 복수의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 입사 투과 행렬 및 반사 투과 행렬을 획득하고, 상기 획득된 입사 투과 행렬 및 상기 획득된 반사 투과 행렬의 역행렬을 상기 측정된 시분해 반사 행렬에 반영하여 물체 반사 행렬을 획득하는 알고리즘 처리부 및 상기 획득된 물체 반사 행렬에 기반하여 상기 다중 산란 궤적에 따른 다중 산란 왜곡이 보정된 이미지를 획득하는 이미지 처리부를 포함할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G06T 5/80 (2024.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711195938
과제번호	IBS-R2023-A1-2023-a00
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	외부연구단
연구과제명	초고심도 광학 이미징
기 여 율	1/1
과제수행기관명	기초과학연구원
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

산란 매질과 상기 산란 매질 내 다중 산란 성분을 투과하여 대상 물체(object)에 광을 입사하는 광원부;

상기 입사된 광이 상기 대상 물체로부터 상기 다중 산란 성분을 투과 및 반사되어 돌아오는 광을 감지하는 감지부;

상기 돌아오는 광에 기반하여 상기 다중 산란 성분에서 기반한 다중 산란 궤적이 반영된 시분해 반사 행렬을 측정하는 반사 행렬 측정부;

다중 산란 추적 알고리즘에 따라 상기 산란 매질로부터 근사된 복수의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 입사 투과 행렬 및 반사 투과 행렬을 획득하고, 상기 획득된 입사 투과 행렬 및 상기 획득된 반사 투과 행렬의 역행렬을 상기 측정된 시분해 반사 행렬에 반영하여 물체 반사 행렬을 획득하는 알고리즘 처리부; 및

상기 획득된 물체 반사 행렬에 기반하여 상기 다중 산란 궤적에 따른 다중 산란 왜곡이 보정된 이미지를 획득하는 이미지 처리부를 포함하는 것을 특징으로 하는

이미징 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 알고리즘 처리부는 상기 다중 산란 추적 알고리즘에 기반하여 상기 시분해 반사 행렬의 입력 또는 출력단에 k 번째 위상 평면까지 거리에 해당하는 공간 전파 행렬(P_k)을 곱해 줌으로써 각각의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 상기 k 번째에 해당하는 복수의 입사 투과 행렬 및 복수의 반사 투과 행렬을 획득하는 것을 특징으로 하는

이미징 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 알고리즘 처리부는 상기 다중 산란 추적 알고리즘에 기반하여 상기 복수의 위상 평면 중 특정 위상 평면에 대하여 서로 다른 두점에 광을 집속시킨 경우를 고려하여 두 지점의 위상 지연 값의 차이를 획득하고, 상기 획득한 차이를 상기 특정 위상 평면에 대하여 획득되는 입사 투과 행렬과 반사 투과 행렬에 대하여 적용하는 것을 특징으로 하는

이미징 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 복수의 위상 평면 각각은 상기 산란 매질 내부의 다중 산란 성분과 관련하여 투과 행렬을 산출하고, 상기 산출된 투과 행렬에 기반한 제1 위상 평면이 설계되고, 상기 설계된 제1 위상 평면 상에 상기 산출된 투과 행렬의 역 투과 행렬에 기반하여 제2 위상 평면이 설계되어 상기 산란 매질 내부에 가상으로 위치하거나 상기 산란 매질 상에 위치하는 것을 특징으로 하는

이미징 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 복수의 위상 평면의 위치는 상기 대상 물체로부터의 거리를 변경하면서 상기 다중 산란 추적 알고리즘을 적용함에 따른 전기장의 세기를 측정하여 상기 측정된 전기장의 세기가 기준 값보다 큰 위치로 결정되는 것을 특징으로 하는

이미징 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 복수의 위상 평면의 수는 위상 평면의 수를 변경하면서 상기 다중 산란 추적 알고리즘을 적용함에 따른 전기장의 세기를 측정하되, 상기 변경되는 수에 따른 계산 시간을 함께 고려하여 결정되는 것을 특징으로 하는

이미징 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 반사 행렬 측정부는 행렬 성분들을 상기 대상 물체의 면 상의 각 위치에 집중된 광으로 하고, 입력 기준에 결과 반사된 광을 물체 면의 컬러 이미지 평면에 놓인 카메라의 각 위치에서 출력 기준에서 측정한 전기장의 세기 및 위상값으로 결정된 상기 시분해 반사 행렬을 측정하는 것을 특징으로 하는

이미징 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 광원부는 상기 대상 물체에 점 조명으로 상기 광을 입사하고, 상기 점 조명의 위치를 변경하여 상기 대상 물체 상에 대한 입사 위치를 변경하고,

상기 감지부는 상기 변경된 입사 위치에 따라 변경된 감지 픽셀을 감지하는 것을 특징으로 하는

이미징 장치.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 알고리즘 처리부는 상기 다중 산란 추적 알고리즘에 따라 상기 산란 매질의 상기 다중 산란 성분에 대하여 상기 복수의 위상 평면과 상기 복수의 위상 평면 각각을 구성하는 복수의 지점에 대한 위상 값과 관련된 입사 투과 행렬과 반사 투과 행렬 각각에 대한 역 행렬들을 산출하고, 상기 산출된 역 행렬들을 상기 시분해 반사 행렬에 반영하여 상기 대상 물체에 대한 물체 반사 행렬을 획득하는 것을 특징으로 하는

이미징 장치.

청구항 10

광원부에서, 산란 매질과 상기 산란 매질 내 다중 산란 성분을 투과하여 대상 물체(object)에 광을 입사하는 단계;

감지부에서, 상기 입사된 광이 상기 대상 물체로부터 상기 다중 산란 성분을 투과 및 반사되어 돌아오는 광을 감지하는 단계;

반사 행렬 측정부에서, 상기 돌아오는 광에 기반하여 상기 다중 산란 성분에 기반한 다중 산란 레적이 반영된 시분해 반사 행렬을 측정하는 단계;

알고리즘 처리부에서, 다중 산란 추적 알고리즘에 따라 상기 산란 매질로부터 근사된 복수의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 입사 투과 행렬 및 반사 투과 행렬을 획득하고, 상기 획득된 입사 투과 행렬 및 상기 획득된 반사 투과 행렬의 역행렬을 상기 측정된 시분해 반사 행렬에 반영하여 물체 반사 행렬을

획득하는 단계; 및

이미지 처리부에서, 상기 획득된 물체 반사 행렬에 기반하여 상기 다중 산란 궤적에 따른 다중 산란 왜곡이 보정된 이미지를 획득하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

이미징 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 다중 산란 추적 알고리즘에 따라 상기 복수의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 입사 투과 행렬 및 반사 투과 행렬을 획득하고, 상기 획득된 입사 투과 행렬 및 상기 획득된 반사 투과 행렬의 역 행렬을 상기 측정된 시분해 반사 행렬에 반영하여 물체 반사 행렬을 획득하는 단계는,

상기 다중 산란 추적 알고리즘에 기반하여 상기 시분해 반사 행렬의 입력 또는 출력단에 k번째 위상 평면까지 거리에 해당하는 공간 전파 행렬(P_k)을 곱해 줌으로써 각각의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 상기 k번째에 해당하는 복수의 입사 투과 행렬 및 복수의 반사 투과 행렬을 획득하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

이미징 방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 다중 산란 추적 알고리즘에 따라 상기 복수의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 입사 투과 행렬 및 반사 투과 행렬을 획득하고, 상기 획득된 입사 투과 행렬 및 상기 획득된 반사 투과 행렬의 역 행렬을 상기 측정된 시분해 반사 행렬에 반영하여 물체 반사 행렬을 획득하는 단계는,

상기 다중 산란 추적 알고리즘에 기반하여 상기 복수의 위상 평면 중 특정 위상 평면에 대하여 서로 다른 두 점에 광을 집속시킨 경우를 고려하여 두 지점의 위상 지연 값의 차이를 획득하고, 상기 획득한 차이를 상기 특정 위상 평면에 대하여 획득되는 입사 투과 행렬과 반사 투과 행렬에 대하여 적용하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

이미징 방법.

청구항 13

제10항에 있어서,

상기 복수의 위상 평면 각각은 상기 산란 매질 내부의 다중 산란 성분과 관련하여 투과 행렬을 산출하고, 상기 산출된 투과 행렬에 기반한 제1 위상 평면이 설계되고, 상기 설계된 제1 위상 평면 상에 상기 산출된 투과 행렬의 역 투과 행렬에 기반하여 제2 위상 평면이 설계되어 상기 산란 매질 내부에 가상으로 위치하거나 상기 산란 매질 상에 위치하는 것을 특징으로 하는

이미징 방법.

청구항 14

제10항에 있어서,

상기 복수의 위상 평면의 위치는 상기 대상 물체로부터의 거리를 변경하면서 상기 다중 산란 추적 알고리즘을 적용함에 따른 전기장의 세기를 측정하여 상기 측정된 전기장의 세기가 기준 값보다 큰 위치로 결정되고,

상기 복수의 위상 평면의 수는 위상 평면의 수를 변경하면서 상기 다중 산란 추적 알고리즘을 적용함에 따른 전기장의 세기를 측정하되, 상기 변경되는 수에 따른 계산 시간을 함께 고려하여 결정되는 것을 특징으로 하는

이미징 방법.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 장치 및 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 시분해 광원을 사용하는 이미징 장치로부터 얻은 시분해 반사행렬을 이용해서 다중 산란 궤적을 추적한 후 이를 보정하여 생체 조직과 같은 산란 매질 깊은 곳에 위치하는 내부의 대상 물체에 대한 이미지를 보정 및 복원하는 기술에 관한 것이다.

배경기술

- [0002] 생체 조직의 고심도로 갈수록 조직의 구조가 주는 다중 산란으로 인해 이미징 가능 깊이가 제한된다.
- [0003] 이를 극복하기 위해 시분해 반사 행렬을 측정하여 다중 산란을 억제하는 반사 행렬 현미경(Reflection matrix microscopy)이 개발되었다.
- [0004] 이 방식은 산란 매질 내부를 전파하는 빛의 산란 성분 중 다중 산란을 겪지 않고 전파되는 탄도 음파(Ballistic wave)만을 선택적으로 이용하는 방법이 고려될 수 있다.
- [0005] 한편, 이러한 탄도 음파에 왜곡을 가하는 산란 매질의 수차를 측정 및 보정하는 CLASS(Closed loop accumulation of single scattering) 방법이 개발되었다.
- [0006] 반사 행렬 현미경은 산란 매질의 반사 행렬을 측정하고, 산란 매질에 입사되는 빛의 입사각도를 바꿔가며 각각의 입사빔(광)에 대응되는 반사된 광의 전기장의 세기 및 위상을 광의 간섭 현상을 이용하여 측정한다.
- [0007] 측정된 복소 위상 이미지를 입력 기준(basis)에 대한 출력 기준의 행렬 형태로 산란 매질의 반사 행렬을 재구성한다.
- [0008] 이 반사 행렬로부터 산란 매질 내부의 물체 이미지를 획득하게 되고, 입력 기준이 입사빔 초점의 위치인 경우 공초점 현미경의 방식으로 물체 이미지를 획득하며, 입사빔의 입사 각도를 기준으로 이용한 경우 CASS(Collective accumulation of single scattering) 현미경 방식으로 물체 이미지를 재구성한다.
- [0009] 이 과정에서 다중 산란을 억제하고, 탄도 음파만을 선택적으로 이용하게 된다.
- [0010] CLASS 현미경은 반사 행렬로부터 수차 정보를 찾아내고 이를 후보정 함으로써, 탄도 음파에 인가된 수차를 제거하는 방법을 이용한다.
- [0011] 시분해 반사 행렬을 입사각 및 반사각을 기준으로 변환한 후, 입사각 및 반사각도 별로 추가적인 위상 지연 값을 추가하여 최종 이미지의 세기를 극대화함으로써 단일 산란에 반영되어 있는 수차를 보정해준다.
- [0012] 만일 입사빔의 기준이 초점의 위치인 경우 푸리에(Fourier) 변환을 통해 입사각 및 반사각 기준으로 변환하여 같은 작업을 수행할 수 있다.
- [0013] 이 기술은 입사된 빛이 목표로 하는 물체에 도달하는 과정에 겪게 되는 수차와 물체에 의해 반사된 빛이 되돌아오는 과정에서 겪게 되는 수차를 확인하여 보정에 활용되는 방안이 활용될 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0014] (특허문헌 0001) 국제특허공보 제W02022/012927호, "SPECTROMETRIC METROLOGY SYSTEMS BASED ON MULTIMODE INTERFERENCE AND LITHOGRAPHIC APPARATUS"
- (특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-2020-0131908호, "오버레이 계측 시스템 및 방법"
- (특허문헌 0003) 한국공개특허 제10-2023-0062343호, "고심도 초고해상도 이미징을 위한 파면 측정 방식의 적용 광학에 기반하는 현미경 시스템 및 그 동작방법 "
- (특허문헌 0004) 한국공개특허 제10-2019-0023324호, "다중모드 영상의 획득이 가능한 영상 획득 시스템"

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0015] 본 발명은 시분해 광원을 사용하는 이미징 장치로부터 얻은 시분해 반사행렬을 이용해서 다중 산란 궤적을 추적한 후 이를 보정하여 생체 조직과 같은 산란 매질 깊은 곳에 위치하는 내부의 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 장치 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0016] 본 발명은 산란 매질의 시분해 반사 행렬을 획득한 후 다중 산란 추적(Multiple Scattering Tracing, MST) 알고리즘에 따른 수치 반복기법을 이용하여 다중 산란과의 궤적을 재구성하고, 재구성된 다중 산란과의 궤적의 역 과정을 이용하여 산란 매질 내부 물체 이미지에 해당하는 대상 이미지를 재구성 및 보정하는 것을 목적으로 한다.
- [0017] 본 발명은 비표지 방식으로 이미지를 획득하기에 활용 가능한 범위가 매우 넓으며, 기존 반사 행렬 현미경에서 추가로 요구하는 장비가 없고, 후처리 기술로서 데이터 측정 시간 자체에는 영향을 주지 않기에 빠른 측정이 필요한 in-vivo 영상 획득에 활용되고, 다양한 질병 모델의 연구 또는 동물 실험 등에서 활용할 수 있을 것으로 기대하고 있으며, 진단 및 임상 도구로서의 활용까지 응용 범위를 확대할 수 있는 이미징 장치 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0018] 본 발명은 반사행렬 데이터와 같은 데이터를 획득 후, 보정하는 후보정 방식으로 사전 준비 절차 없이 데이터를 바로 획득하여 데이터 측정 시간이 감소함에 따라 체내에서 진행되는(in-vivo) 상태의 이미징에서 피험체의 상태를 유지하면서 3차원 고심도 영상을 획득하는 것을 목적으로 한다.
- [0019] 본 발명은 데이터 측정 시간의 감소와 동반하여 측정 깊이를 변경하면서 3차원 고심도 영상을 획득할 수 있기 때문에 의생명과학적으로 다양한 응용이 가능한 이미징 장치 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0020] 본 발명은 라벨링(Labeling) 없이 반사를 통해 얻은 반사 행렬에 적용하는 알고리즘으로, 고심도 고해상도 이미지를 획득할 수 때문에 임상에 바로 응용할 수 있으며, 생체 조직뿐만 아니라 반도체 등의 샘플을 내부를 분해하지 않고 내부의 이미지를 얻을 수 있기 때문에 계측 장비로 적용도 가능한 이미징 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0021] 본 발명의 일실시예에 따르면 이미징 장치는 산란 매질과 상기 산란 매질 내 다중 산란 성분을 투과하여 대상 물체(object)에 광을 입사하는 광원부, 상기 입사된 광이 상기 대상 물체로부터 상기 다중 산란 성분을 투과 및 반사되어 돌아오는 광을 감지하는 감지부, 상기 돌아오는 광에 기반하여 상기 다중 산란 성분에 기반한 다중 산란 궤적이 반영된 시분해 반사 행렬을 측정하는 반사 행렬 측정부, 다중 산란 추적 알고리즘에 따라 상기 산란 매질로부터 근사된 복수의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 입사 투과 행렬 및 반사 투과 행렬을 획득하고, 상기 획득된 입사 투과 행렬 및 상기 획득된 반사 투과 행렬의 역행렬을 상기 측정된 시분해 반사 행렬에 반영하여 물체 반사 행렬을 획득하는 알고리즘 처리부 및 상기 획득된 물체 반사 행렬에 기반하여 상기 다중 산란 궤적에 따른 다중 산란 왜곡이 보정된 이미지를 획득하는 이미지 처리부를 포함할 수 있다.
- [0022] 상기 알고리즘 처리부는 상기 다중 산란 추적 알고리즘에 기반하여 상기 시분해 반사 행렬의 입력 또는 출력단에 k 번째 위상 평면까지 거리에 해당하는 공간 전과 행렬(P_k)을 곱해 줌으로써 각각의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 상기 k 번째에 해당하는 복수의 입사 투과 행렬 및 복수의 반사 투과 행렬을 획득할 수 있다.
- [0023] 상기 알고리즘 처리부는 상기 다중 산란 추적 알고리즘에 기반하여 상기 복수의 위상 평면 중 특정 위상 평면에 대하여 서로 다른 두점에 광을 집속시킨 경우를 고려하여 두 지점의 위상 지연 값의 차이를 획득하고, 상기 획득한 차이를 상기 특정 위상 평면에 대하여 획득되는 입사 투과 행렬과 반사 투과 행렬에 대하여 적용할 수 있다.
- [0024] 상기 복수의 위상 평면 각각은 상기 산란 매질 내부의 다중 산란 성분과 관련하여 투과 행렬을 산출하고, 상기 산출된 투과 행렬에 기반한 제1 위상 평면이 설계되고, 상기 설계된 제1 위상 평면 상에 상기 산출된 투과 행렬의 역 투과 행렬에 기반하여 제2 위상 평면이 설계되어 상기 산란 매질 내부에 가상으로 위치하거나 상기 산란 매질 상에 위치할 수 있다.
- [0025] 상기 복수의 위상 평면의 위치는 상기 대상 물체로부터의 거리를 변경하면서 상기 다중 산란 추적 알고리즘을

적용함에 따른 전기장의 세기를 측정하여 상기 측정된 전기장의 세기가 기준 값보다 큰 위치로 결정될 수 있다.

[0026] 상기 복수의 위상 평면의 수는 위상 평면의 수를 변경하면서 상기 다중 산란 추적 알고리즘을 적용함에 따른 전기장의 세기를 측정하되, 상기 변경되는 수에 따른 계산 시간을 함께 고려하여 결정될 수 있다.

[0027] 상기 반사 행렬 측정부는 행렬 성분들을 상기 대상 물체의 면 상의 각 위치에 집중된 광으로 하고, 입력 기준에 결과 반사된 광을 물체 면의 결레 이미지 평면에 놓인 카메라의 각 위치에서 출력 기준에서 측정된 전기장의 세기 및 위상값으로 결정된 상기 시분해 반사 행렬을 측정할 수 있다.

[0028] 상기 광원부는 상기 대상 물체에 점 조명으로 상기 광을 입사하고, 상기 점 조명의 위치를 변경하여 상기 대상 물체 상에 대한 입사 위치를 변경할 수 있다.

[0029] 상기 감지부는 상기 변경된 입사 위치에 따라 변경된 감지 픽셀을 감지할 수 있다.

[0030] 상기 알고리즘 처리부는 상기 다중 산란 추적 알고리즘에 따라 상기 산란 매질의 상기 다중 산란 성분에 대하여 상기 복수의 위상 평면과 상기 복수의 위상 평면 각각을 구성하는 복수의 지점에 대한 위상 값과 관련된 입사 투과 행렬과 반사 투과 행렬 각각에 대한 역 행렬들을 산출하고, 상기 산출된 역 행렬들을 상기 시분해 반사 행렬에 반영하여 상기 대상 물체에 대한 물체 반사 행렬을 획득할 수 있다.

[0031] 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 광원부에서, 산란 매질과 상기 산란 매질 내 다중 산란 성분을 투과하여 대상 물체(object)에 광을 입사하는 단계, 감지부에서, 상기 입사된 광이 상기 대상 물체로부터 상기 다중 산란 성분을 투과 및 반사되어 돌아오는 광을 감지하는 단계, 반사 행렬 측정부에서, 상기 돌아오는 광에 기반하여 상기 다중 산란 성분에 기반한 다중 산란 궤적이 반영된 시분해 반사 행렬을 측정하는 단계, 알고리즘 처리부에서, 다중 산란 추적 알고리즘에 따라 상기 산란 매질로부터 근사된 복수의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 입사 투과 행렬 및 반사 투과 행렬을 획득하고, 상기 획득된 입사 투과 행렬 및 상기 획득된 반사 투과 행렬의 역행렬을 상기 측정된 시분해 반사 행렬에 반영하여 물체 반사 행렬을 획득하는 단계 및 이미지 처리부에서, 상기 획득된 물체 반사 행렬에 기반하여 상기 다중 산란 궤적에 따른 다중 산란 왜곡이 보정된 이미지를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0032] 상기 다중 산란 추적 알고리즘에 따라 상기 복수의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 입사 투과 행렬 및 반사 투과 행렬을 획득하고, 상기 획득된 입사 투과 행렬 및 상기 획득된 반사 투과 행렬의 역행렬을 상기 측정된 시분해 반사 행렬에 반영하여 물체 반사 행렬을 획득하는 단계는, 상기 다중 산란 추적 알고리즘에 기반하여 상기 시분해 반사 행렬의 입력 또는 출력단에 k번째 위상 평면까지 거리에 해당하는 공간 전파 행렬(P_k)을 곱해 줌으로써 각각의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 상기 k번째에 해당하는 복수의 입사 투과 행렬 및 복수의 반사 투과 행렬을 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0033] 상기 다중 산란 추적 알고리즘에 따라 상기 복수의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 입사 투과 행렬 및 반사 투과 행렬을 획득하고, 상기 획득된 입사 투과 행렬 및 상기 획득된 반사 투과 행렬의 역행렬을 상기 측정된 시분해 반사 행렬에 반영하여 물체 반사 행렬을 획득하는 단계는, 상기 다중 산란 추적 알고리즘에 기반하여 상기 복수의 위상 평면 중 특정 위상 평면에 대하여 서로 다른 두점에 광을 집중시킨 경우를 고려하여 두 지점의 위상 지연 값의 차이를 획득하고, 상기 획득한 차이를 상기 특정 위상 평면에 대하여 획득되는 입사 투과 행렬과 반사 투과 행렬에 대하여 적용하는 단계를 포함할 수 있다.

[0034] 상기 복수의 위상 평면 각각은 상기 산란 매질 내부의 다중 산란 성분과 관련하여 투과 행렬을 산출하고, 상기 산출된 투과 행렬에 기반한 제1 위상 평면이 설계되고, 상기 설계된 제1 위상 평면 상에 상기 산출된 투과 행렬의 역 투과 행렬에 기반하여 제2 위상 평면이 설계되어 상기 산란 매질 내부에 가상으로 위치하거나 상기 산란 매질 상에 위치할 수 있다.

[0035] 상기 복수의 위상 평면의 위치는 상기 대상 물체로부터의 거리를 변경하면서 상기 다중 산란 추적 알고리즘을 적용함에 따른 전기장의 세기를 측정하여 상기 측정된 전기장의 세기가 기준 값보다 큰 위치로 결정되고, 상기 복수의 위상 평면의 수는 위상 평면의 수를 변경하면서 상기 다중 산란 추적 알고리즘을 적용함에 따른 전기장의 세기를 측정하되, 상기 변경되는 수에 따른 계산 시간을 함께 고려하여 결정될 수 있다.

발명의 효과

[0036] 본 발명은 시분해 광원을 사용하는 이미징 장치로부터 얻은 시분해 반사행렬을 이용해서 다중 산란 궤적을 추적한 후 이를 보정하여 생체 조직과 같은 산란 매질 깊은 곳에 위치하는 내부의 대상 이미지를 보정 및 복원하는

이미징 장치 및 방법을 제공할 수 있다.

- [0037] 본 발명은 산란 매질의 시분해 반사 행렬을 획득한 후 다중 산란 추적(Multiple Scattering Tracing, MST) 알고리즘에 따른 수치 반복기법을 이용하여 다중 산란과의 궤적을 재구성하고, 재구성된 다중 산란과의 궤적의 역 과정을 이용하여 산란 매질 내부 물체 이미지에 해당하는 대상 이미지를 재구성 및 보정할 수 있다.
- [0038] 본 발명은 비표지 방식으로 이미지를 획득하기에 활용 가능한 범위가 매우 넓으며, 기존 반사 행렬 현미경에서 추가로 요구하는 장비가 없고, 후처리 기술로서 데이터 측정 시간 자체에는 영향을 주지 않기에 빠른 측정이 필요한 in-vivo 영상 획득에 활용되고, 다양한 질병 모델의 연구 또는 동물 실험 등에서 활용할 수 있을 것으로 기대하고 있으며, 진단 및 임상 도구로서의 활용까지 응용 범위를 확대할 수 있는 이미징 장치 및 방법을 제공할 수 있다.
- [0039] 본 발명은 반사행렬 데이터와 같은 데이터를 획득 후, 보정하는 후보정 방식으로 사전 준비 절차 없이 데이터를 바로 획득하여 데이터 측정 시간이 감소함에 따라 체내에서 진행되는(in-vivo) 상태의 이미징에서 피험체의 상태를 유지하면서 3차원 고심도 영상을 획득할 수 있다.
- [0040] 본 발명은 데이터 측정 시간의 감소와 동반하여 측정 깊이를 변경하면서 3차원 고심도 영상을 획득할 수 있기 때문에 의생명과학적으로 다양한 응용이 가능한 이미징 장치 및 방법을 제공할 수 있다.
- [0041] 본 발명은 라벨링(Labeling) 없이 반사를 통해 얻은 반사 행렬에 적용하는 알고리즘으로, 고심도 고해상도 이미지를 획득 할 수 때문에 임상에 바로 응용할 수 있으며, 생체 조직뿐만 아니라 반도체 등의 샘플을 내부를 분해하지 않고 내부의 이미지를 얻을 수 있기 때문에 계측 장비로 적용도 가능한 이미징 장치를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0042] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 장치를 설명하는 도면이다.
- 도 2a 및 도 2b는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 산란 매질의 다층 위상 평면 근사 구조를 설명하는 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 다층 위상 평면 근사 모델에 의한 반사 행렬 구조를 설명하는 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 각 위상 평면의 투과 행렬 모식 구조를 설명하는 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법에서 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 복수의 위상 평면 설계 과정을 설명하는 도면이다.
- 도 6 및 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 수치 반복 모델 구조 및 수치 반복 과정을 설명하는 도면이다.
- 도 8 및 도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 방법을 설명하는 도면이다.
- 도 10a 내지 도 10c는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 수치 시뮬레이션을 설명하는 도면이다.
- 도 11a 내지 도 11c는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 양파를 이용한 실험적 증명 실험을 설명하는 도면이다.
- 도 12a 내지 도 12d는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 생체 조직을 이용한 실험적 증명 실험을 설명하는 도면이다.
- 도 13a 내지 도 13d는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용한 생체 내(in-vivo) 이미징 결과를 설명하는 도면이다.
- 도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 장치의 보정 및 복원 성능을 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0043] 본 명세서에 개시되어 있는 본 발명의 개념에 따른 실시예들에 대해서 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되지 않는다.
- [0044] 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 변경들을 가할 수 있고 여러 가지 형태들을 가질 수 있으므로 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예들을 특정한 개시형태들에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.
- [0045] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만, 예를 들어 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.
- [0046] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 표현들, 예를 들어 "~사이에"와 "바로~사이에" 또는 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0047] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예들을 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 스테이지, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 스테이지, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0048] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0050] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 장치를 설명하는 도면이다.
- [0051] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 장치의 구성 요소를 예시한다.
- [0052] 도 1을 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 장치(100)는 광원부(110), 감지부(120), 반사 행렬 측정부(130), 알고리즘 처리부(140) 및 이미지 처리부(150)를 포함하고, 이미징 장치(100)의 구성은 제어부(160)에 기반하여 제어된다.
- [0053] 일례로, 이미징 장치(100)는 산란 매질 내부에서 일어나는 다중 산란의 궤적을 추적하여 내부 물체 이미징에 활용한다.
- [0054] 예를 들어, 이미징 장치(100)는 라벨링(labeling) 없이 목표 물체 및 산란 매질의 반사 신호를 통해 얻은 반사 행렬 데이터에 후처리로 적용하는 알고리즘으로 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용한다.
- [0055] 이미징 장치(100)는 고심도 고해상도 이미지를 획득할 수 있으며, 임상에 응용할 수 있고, 생체 조직뿐만 아니라 반도체 등의 샘플의 내부를 분해하지 않고 내부의 이미지를 얻을 수 있기에 계측 장비로 활용될 수 있다.
- [0056] 예를 들어, 이미징 장치(100)는 다양한 형태의 시분해 탈축 홀로그래프 현미경 또는 반사 행렬 현미경에 모두 적용 가능한 알고리즘으로 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용할 수 있다.

- [0057] 본 발명의 일실시예에 따르면 광원부(110)는 펄스 레이저를 제공하는 소스 제공부일 수 있다.
- [0058] 예를 들어, 대상 물체는 생체조직은 산란 매질로서 내부에서 다중 산란 성분에 따른 굴절률 변화가 큰 구조를 영상화하는데 적용하기 가장 용이하고, 그러한 예로 중추 신경계, 뇌신경 조직, 혈관 등이 있다.
- [0059] 생체 조직의 고심도로 갈수록 조직의 구조가 주는 산란 궤적에 따라 해상도가 낮아지는데, 이미징 장치(100)는 다중 산란이 발생하는 부분인 산란 매질 내부에서의 다중 산란 궤적에 따른 오차를 보정함에 따라서 고차 역 산란 문제에 대한 보정을 진행할 수 있다.
- [0060] 예를 들어, 산란 매질은 생체 조직, 두개골과 같이 내부에 광을 산란할 수 있는 다중 산란 성분을 포함하는 모든 매질을 포함할 수 있다.
- [0061] 본 발명의 일실시예에 따른 감지부(120)는 입사된 광이 대상 물체로부터 다중 산란 성분을 투과 및 반사되어 돌아오는 광을 감지할 수 있다.
- [0062] 예를 들어, 광원부(110)는 대상 물체에 점 조명으로 광을 입사하고, 점 조명의 위치를 변경하여 대상 물체 상에 대한 입사 위치를 변경할 수 있다.
- [0063] 한편, 감지부(120)는 변경된 입사 위치에 따라 변경된 감지 픽셀을 감지할 수 있다.
- [0064] 본 발명의 일실시예에 따르면 반사 행렬 측정부(130)는 대상 물체로부터 산란 매질을 투과하여 돌아오는 광에 기반하여 다중 산란 성분에 기반한 다중 산란 궤적이 반영된 시분해 반사 행렬을 측정할 수 있다.
- [0065] 일례로, 반사 행렬 측정부(130)는 행렬 성분들을 대상 물체의 면 상의 각 위치에 집중된 광으로 하고, 입력 기준에 결과 반사된 광을 물체 면의 컬러 이미지 평면에 놓인 카메라의 각 위치에서 출력 기준에서 측정한 전기장의 세기 및 위상값으로 결정된 시분해 반사 행렬을 측정할 수 있다.
- [0066] 본 발명의 일실시예에 따르면 알고리즘 처리부(140)는 다중 산란 추적 알고리즘에 따라 산란 매질로부터 근사된 복수의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 입사 투과 행렬 및 반사 투과 행렬을 획득하고, 획득된 입사 투과 행렬 및 획득된 반사 투과 행렬의 역행렬을 측정된 시분해 반사 행렬에 반영하여 물체 반사 행렬을 획득할 수 있다.
- [0067] 예를 들어, 복수의 위상 평면은 산란 매질을 가상의 복수의 위상 평면으로 근사하여 복수의 위상 평면 위상맵을 찾는데 활용된다.
- [0068] 예를 들어, 다중 산란 추적 알고리즘은 측정된 반사 행렬을 가상의 복수 위상 평면으로 근사하여 측정된 반사 행렬을 설명할 수 있는 복수의 위상 평면 위상맵을 찾아내는 알고리즘일 수 있다.
- [0069] 다시 말해, 본 발명의 다중 산란 추적 알고리즘은 각기 다른 조명을 입사 시켰을 때 산란 매질을 통과한 빛의 세기와 위상맵을 측정하여 반사 행렬을 구성하고, 이후, 산란 매질을 가상의 다중 위상 평면으로 근사하고, 측정된 반사 행렬로부터 가상의 위상 평면의 위상맵을 찾아내는 알고리즘일 수 있다.
- [0070] 일례로, 알고리즘 처리부(140)는 다중 산란 추적 알고리즘에 기반하여 시분해 반사 행렬의 입력 또는 출력단에 k 번째 위상 평면까지 거리에 해당하는 공간 전파 행렬(P_k)을 곱해 줌으로써 각각의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 k 번째에 해당하는 복수의 입사 투과 행렬 및 복수의 반사 투과 행렬을 획득할 수 있다.
- [0071] 예를 들어, k 번째는 특정 수를 나타낼 수 있으며, 자연수에 해당할 수 있다.
- [0072] 예를 들어, 복수의 위상 평면이 5개이고, k 는 5 중에 하나에 해당할 수 있으며, 해당 숫자에 한정되지 않고 변경될 수 있다.
- [0073] 본 발명의 일실시예에 따른 알고리즘 처리부(140)는 다중 산란 추적 알고리즘에 기반하여 복수의 위상 평면 중 특정 위상 평면에 대하여 서로 다른 두점에 광을 집중시킨 경우를 고려하여 두 지점의 위상 지연 값의 차이를 획득하고, 획득한 차이를 특정 위상 평면에 대하여 획득되는 입사 투과 행렬과 반사 투과 행렬에 대하여 적용할 수 있다.
- [0074] 일례로, 알고리즘 처리부(140)는 다중 산란 추적 알고리즘에 따라 산란 매질의 다중 산란 성분에 대하여 복수의 위상 평면과 복수의 위상 평면 각각을 구성하는 복수의 지점에 대한 위상 값과 관련된 입사 투과 행렬과 반사 투과 행렬 각각에 대한 역 행렬들을 산출하고, 산출된 역 행렬들을 시분해 반사 행렬에 반영하여 대상 물체에

대한 물체 반사 행렬을 획득할 수 있다.

- [0075] 예를 들어, 복수의 위상 평면 각각은 산란 매질 내부의 다중 산란 성분과 관련하여 투과 행렬을 산출하고, 산출된 투과 행렬에 기반한 제1 위상 평면이 설계되고, 설계된 제1 위상 평면 상에 상기 산출된 투과 행렬의 역 투과 행렬에 기반하여 제2 위상 평면이 설계되어 산란 매질 내부에 가상으로 위치하거나 산란 매질 상에 위치할 수 있다.
- [0076] 복수의 위상 평면의 설계는 도 5를 이용하여 보충 설명한다.
- [0077] 복수의 위상 평면의 위치는 대상 물체로부터의 거리를 변경하면서 다중 산란 추적 알고리즘을 적용함에 따른 전기장의 세기를 측정하여 측정된 전기장의 세기가 기준 값보다 큰 위치로 결정될 수 있다.
- [0078] 복수의 위상 평면의 위치 결정과 관련하여 도 12b를 이용하여 보충 설명한다.
- [0079] 복수의 위상 평면의 수는 위상 평면의 수를 변경하면서 다중 산란 추적 알고리즘을 적용함에 따른 전기장의 세기를 측정하되, 변경되는 수에 따른 계산 시간을 함께 고려하여 결정될 수 있다.
- [0080] 복수의 위상 평면의 수 결정과 관련하여 도 12c를 이용하여 보충 설명한다.
- [0081] 따라서, 본 발명은 시분해 광원을 사용하는 이미징 장치로부터 얻은 시분해 반사행렬을 이용해서 다중 산란 궤적을 추적한 후 이를 보정하여 생체 조직과 같은 산란 매질 깊은 곳에 위치하는 내부의 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 장치 및 방법을 제공할 수 있다.
- [0082] 또한, 본 발명은 산란 매질의 시분해 반사 행렬을 획득한 후 다중 산란 추적(Multiple Scattering Tracing, MST) 알고리즘에 따른 수치 반복기법을 이용하여 다중 산란과의 궤적을 재구성하고, 재구성된 다중 산란과의 궤적의 역과정을 이용하여 산란 매질 내부 물체 이미지에 해당하는 대상 이미지를 재구성 및 보정할 수 있다.
- [0084] 도 2a 및 도 2b는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 산란 매질의 다중 위상 평면 근사 구조를 설명하는 도면이다.
- [0085] 도 2a는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 산란 매질의 다중 위상 평면 근사 구조와 관련하여 산란 매질의 다중 산란 형태에 따른 산란 왜곡 문제를 해결하기 위한 다중 위상 평면 근사 구조를 예시한다.
- [0086] 도 2a를 참고하면, 종래의 산란 매질의 다중 산란 형태에 따른 산란 왜곡 문제를 가지고 있는 구조의 모식도(200)에서는 산란 매질(202)을 투과하여 대상 물체(201)에 광이 입사하는 과정(θ_{in}) 및 반사되어 돌아오는 과정(θ_o)에서 다중 산란 성분(203)에 의해 다중 산란 왜곡 문제가 발생하고, 그 왜곡은 산란 입력(θ_{in}^M)과 산란 출력(θ_o^M)이나 고려되지 못한다.
- [0087] 이러한 문제는 산란 매질(202)을 다층으로 구성된 위상 평면의 집합으로 근사하여 고차 역 산란 문제를 해결해야 한다.
- [0088] 본 발명의 일실시예에 따른 다중 위상 평면 근사 구조의 모식도(210)에서는 산란 매질(212)을 투과하여 대상 물체(211)에 광이 입사하여 입사하는 과정(θ_{in}) 및 반사되어 돌아오는 과정(θ_o)에서 다중 산란 성분(203)에 의해 다중 산란 왜곡 문제가 발생하고, 그 왜곡은 산란 입력(θ_{in}^M)과 산란 출력(θ_o^M)에 대하여 복수의 위상 평면(Z_1 내지 Z_N)으로 근사하여 고차 역 산란 문제를 각각의 위상 평면의 위상값을 찾아내서 단순화한다.
- [0089] 다시 말해, 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 장치는 산란 매질(212) 내 복수의 위상 평면으로 다중 산란 성분(213)에 의한 산란을 최소화하여 산란 입력(θ_{in}^M)과 산란 출력(θ_o^M)에 대한 왜곡을 보정하여 입사하는 과정(θ_{in}) 및 반사되어 돌아오는 과정(θ_o)으로 이미징함에 산란 매질(212)의 다중 산란 성분(213)에 의한 왜곡을 보정한다.
- [0090] 도 2b는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 산란 매질의 다중 위상 평면 근사 구조와 관련하여 산란 매질의 다중 산란 형태에 따른 산란 왜곡 문제를 해결하기 위한 다중 위상 평면 근사 구조를 입체화 하여 예시한다.

- [0091] 도 2b를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 다층 위상 평면 근사 구조의 입체도(220)는 대상 물체(221)가 산란 매질(222) 내부 또는 그 아래에 위치하고 다층 위상 평면(223)을 적용한 구조일 수 있다.
- [0092] 본 발명의 일실시예에 따른 다층 위상 평면 근사 구조의 입체도(220)는 이미징 장치가 대상 물체(221)에 대한 광학적 이미징함에 있어서 산란 매질(222)에 의한 다중 산란에 의한 왜곡을 다층 위상 평면(223)을 통해 산란 왜곡을 보정하는 형태를 예시한다.
- [0093] 예를 들어, 다층 위상 평면은 가상으로 설계되는 산란 왜곡을 보정하기 위한 위상 값을 획득하기 위한 구성일 수 있고, 실제 위상 필터일 수 있다.
- [0095] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 다층 위상 평면 근사 모델에 의한 반사 행렬 구조를 설명하는 도면이다.
- [0096] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 다층 위상 평면 근사 모델에 의한 반사 행렬 구조를 예시한다.
- [0097] 도 3을 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 구조(300)에서 입사 투과 행렬, 반사 투과 행렬 및 물체 반사 행렬의 근사를 보여준다.
- [0098] 일례로, 반사 행렬 구조(300)에서 이해를 위해서 물체(0)를 중앙에 위치하고, 입사와 반사가 반영된 위상 평면들이 양측에 위치하나 산란 매질 내부 또는 그 아래에 물체(0)가 위치하며, 산란 매질 내부에 복수의 위상 평면들이 위치함에 입사 및 반사가 동일한 공간에서 일어난다.
- [0099] 반사 행렬 구조(300)와 관련하여 시분해 반사 행렬(R)은 각각의 위상 평면의 투과 행렬들과 이미징 하고자 하는 물체의 반사 행렬에 해당하는 물체 반사 행렬의 행렬 곱으로 근사할 수 있다..
- [0100] 물체 반사 행렬의 근사는 하기 수학적 식 1이 활용될 수 있다.
- [0102] [수학적 식 1]
- $$R \approx T_{out,N}^T \cdots T_{out,1}^T O T_{in,1} \cdots T_{in,N} = T_{out}^T O T_{in}$$
- [0103]
- [0105] 수학적 식 1에서, R은 시분해 반사 행렬을 나타낼 수 있고, T_{in} 은 입사 투과 행렬을 나타낼 수 있으며, T_{out}^T 은 반사 투과 행렬을 나타낼 수 있고, O는 물체 반사 행렬을 나타낼 수 있다.
- [0106] 입사 투과 행렬은 산란 매질의 표면에서 이미징 하고자 하는 물체가 있는 깊이까지의 입사 과정에서의 투과 행렬을 나타낼 수 있다.
- [0107] 반사 투과 행렬은 광이 반사되어 돌아 나오는 과정의 투과 행렬에 해당할 수 있다.
- [0109] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 각 위상 평면의 투과 행렬 모식 구조를 설명하는 도면이다.
- [0110] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 각 위상 평면의 투과 행렬 모식 구조를 예시한다.
- [0111] 도 4를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 각 위상 평면의 투과 행렬 모식 구조(400)는 위상 평면(Z_k), 위상 평면(Z_{k+1}) 및 위상 평면(Z_{k-1})을 투과하는 각 위상 평면의 투과 행렬(T_k)는 각 평면 내부 공간의 위상 지연 값과 공간 전파 행렬(propagation matrix)의 곱으로 결정된다.
- [0112] 예를 들어, 공간 전파 행렬과 관련하여 k번째 위상 평면부터 k-1번째 위상 평면까지의 공간 전파 행렬($P_{k-1,k}$)로 표현할 수 있다.
- [0113] 예를 들어, 위상 지연 값과 관련하여 각 위상 평면의 전달 함수(transfer function)가 활용될 수 있다.
- [0115] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법에서 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 복수의 위상 평면 설계 과정을 설명하는 도면이다.
- [0116] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법에서 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 복수의 위상

평면 설계 과정을 예시한다.

- [0117] 도 5를 참고하면, 단계(S501)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 산란 매질(510) 내부 또는 그 아래에 위치하는 대상 물체(500)를 결정한다.
- [0118] 산란 매질(510)은 내부에 다중 산란 성분(511)을 포함하고 있다.
- [0119] 단계(S502)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 산란 매질(510) 내부에 복수의 위상 평면 설계와 관련하여 투과 행렬(T)에 기반하여 제1 위상 평면(520)을 구성한다.
- [0120] 단계(S503)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 산란 매질(510) 내부에 복수의 위상 평면 설계와 관련하여 역 투과 행렬(T^{-1})에 기반하여 제2 위상 평면(521)을 구성한다.
- [0121] 단계(S504)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 대상 물체(500)에 대한 이미지를 획득할 시 산란 매질(510) 내부에 다중 산란 성분(511)이 제거된 상태에 대한 이미지를 획득한다.
- [0122] 본 발명의 일실시예에 따른 제1 위상 평면(520)과 제2 위상 평면(521)은 결합되어서 하나의 위상 평면을 이룬다.
- [0124] 도 6 및 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 수치 반복 모델 구조 및 수치 반복 과정을 설명하는 도면이다.
- [0125] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법에서 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 수치 반복 모델 구조 및 수치 반복 과정을 예시한다.
- [0126] 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 산란 매질 내부 물체의 이미지 정보를 획득하기 위해서는 수학적 1의 역 산란 문제를 풀어서 물체의 반사 행렬을 획득해야 한다.
- [0127] 이에 따라 이미징 방법은 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘과 관련하여 위상 평면의 숫자가 N 일 경우 입사 및 반사 과정에서 $2N$ 개의 평면을 지나고 반사면을 포함하면 수학적 1은 $(2N+1)$ 차 고차 역 산란 문제에 해당할 수 있다.
- [0128] 상술한 문제를 해결하기 위해 이미징 방법에서 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 수치 반복 모델 구조 및 수치 반복 과정을 수행한다.
- [0129] 도 6을 참고하면, 단계(S601)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 초기 반사 행렬의 입출력 구조에서 초기 시반사 행렬을 측정한다.
- [0130] 단계(S601)에서 살펴보면, 이미징 방법은 측정된 시분해 반사 행렬(R)의 각각의 행렬 성분들이 물체 면의 각 위치에 집중된 조명을 하고, 입력 기준에 결과 반사된 광을 물체 면의 컬러 이미지 평면에 놓인 카메라의 각 위치에서 출력 기준에서 측정한 전기장의 세기 및 위상값으로 결정될 수 있다.
- [0131] 단계(S601)에서 이미징 방법은 시분해 반사 행렬(R_{z_0, z_0})을 획득한다.
- [0132] 예를 들어, 시분해 반사 행렬은 대상 물체에 해당하는 평면(z_0)에 대해 입력(입사)과 출력(반사)을 결정한다.
- [0133] 단계(S602)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 특정 위상 평면에 액세스한 경우의 입출력 구조에서 위상 평면에 액세스 한다.
- [0134] 또한, 이미징 방법은 다중 산란 추적 알고리즘에 기반하여 반사 행렬의 입력 또는 출력단에 k 번째 위상 평면까지 거리에 해당하는 공간 전파 행렬(P_k)을 곱해 줌으로써 각각의 위상 평면에 액세스할 수 있다.
- [0135] 공간 전파 행렬에서 대상 물체에 해당하는 평면(z_0)에 대해 입력(입사)을 결정하고, 액세스 대상인 위상 평면(z_3)을 출력(반사)으로 결정한다.
- [0136] 그 결과는 얻어진 행렬은 특정 위상 평면의 각각의 위치에 집속된 조명(광)에 의한 물체의 반사 이미지를 재구성하는데 활용할 수 있다.
- [0137] 조명의 집속 면이 물체 면과 떨어져 있으므로 이때 물체에 조명된 빛의 파면은 구면파의 형태에 해당할 수 있다.

[0138] 단계(S603)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 상관관계에 의한 해당 위상 평면의 위상 맵 획득 방법에 따른 입출력 구조에서 위상 이동(phase shift)을 획득 및 보정한다.

[0139] 단계(S603)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 해당 위상 평면의 서로 다른 두 점에 집속시킨 경우를 고려하면 제1 구면파와 제2 구면파에 의해 조명된 물체의 이미지를 재구성할 경우 이 두 이미지는 그림에 나타난 바와 같이 중복된 영역의 공통된 물체 이미지 정보에 의한 상관관계를 지닐 수 있다.

[0140] 이때 상관관계 값의 위상 값은 위상 평면상의 두 지점의 위상 지연 값의 차이에 해당하게 된다.

[0141] 이 과정을 해당 위상 평면의 모든 위치에서 반복할 경우 해당 위상 평면의 위상 지연맵을 찾아낼 수 있다.

[0142] 위상 지연 값의 차이를 반영한 공간 전파 행렬은 하기 수학식 2로 획득할 수 있다.

[0144] [수학식 2]

$$P_{z_i, z_j}(\mathbf{p}_i; \mathbf{p}_2) = \frac{1}{i\lambda} \frac{(z_i - z_j) \exp\left(in_0 k_0 \sqrt{|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j|^2 + (z_i - z_j)^2}\right)}{|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j|^2 + (z_i - z_j)^2}$$

[0145]

[0147] 수학식 2에서, P는 공간 전파 행렬을 나타낼 수 있고, p는 위상 평면의 특정 위치에서의 위상 값을 나타낼 수 있고, z는 위상 평면을 나타낼 수 있으며, i 및 j는 자연수를 나타낼 수 있다.

[0148] 이러한 과정을 입사 및 반사 과정의 2N개 평면에 대해 수치 반복적으로 수행할 경우 수학식 1의 산란 매질 입사 과정에서의 투과 행렬(T_{in})과 반사 과정에서의 투과 행렬(T_{out})을 얻을 수 있다.

[0149] 최종적으로 구해진 투과 행렬의 역행렬을 반사 행렬 양쪽에 곱해 줌으로써 하기 수학식 3과 같이 물체 반사 행렬을 구할 수 있다.

[0151] [수학식 3]

$$O = (T_{out}^T)^{-1} R (T_{in})^{-1}$$

[0152]

[0154] 수학식 2에서, R은 시분해 반사 행렬을 나타낼 수 있고, T_{in} 은 입사 투과 행렬을 나타낼 수 있으며, T_{out}^T 은 반사 투과 행렬을 나타낼 수 있고, O는 물체 반사 행렬을 나타낼 수 있다.

[0155] 본 발명의 일실시예에 따르면 이미징 방법은 획득된 물체의 반사 행렬을 통해 최종적인 물체의 이미지를 획득할 수 있다.

[0156] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법에서 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘 관련 수치 반복 모델 구조 및 수치 반복 과정과 관련하여 도 6의 단계(S603)를 보충 설명한다.

[0157] 도 7을 참고하면, 전기장 이미지 함수(700)와 전기장 이미지 함수(710)를 나타내고, 전기장 이미지 함수(700)와 전기장 이미지 함수(710)에 대하여 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘에 기반하여 물체 반사 행렬(720) 및 물체 반사 행렬(730)을 획득하여, 물체 반사 행렬(720)과 물체 반사 행렬(730) 간의 상관관계 값의 위상 값은 위상 평면상의 두 지점의 위상 지연 값의 차이(740)를 도출한다.

[0158] 전기장 이미지 함수(700)는 위상 평면에 제1 지점과 관련되고, 전기장 이미지 함수(710)는 위상 평면에 제2 지점과 관련될 수 있다.

[0159] 전기장 이미지 함수(700)에 기반한 이미지(701)는 대상 물체 이미지와 다중 산란을 포함하고 있다.

[0160] 전기장 이미지 함수(710)에 기반한 이미지(711)는 대상 물체 이미지와 다중 산란을 포함하고 있다.

[0161] 이미지(701)와 이미지(711)는 제1 지점과 제2 지점에 차이에 따른 해상도 차이를 보여주고 있다.

[0162] 해상도 차이는 위상 평면상의 두 지점의 위상 지연 값에 따른 차이로 볼 수 있다.

[0163] 이미지(701)에서 이미지(702)를 제외하여 대상 물체 이미지(703)를 획득하고, 이미지(711)에서 이미지(712)를 제외하여 대상 물체 이미지(713)를 획득한다.

- [0164] 차이(740)는 제k 위상 평면에 대한 전달 함수에 각 위치의 위상 값을 반영한 차이에 해당될 수 있다.
- [0166] 도 8 및 도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 방법을 설명하는 도면이다.
- [0167] 도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 방법이 시분해 반사 행렬로부터 다중 산란 궤적을 추적한 후 이를 보정하여 생체 조직과 같은 산란 매질 깊은 곳 내부의 대상 이미지를 획득하는 절차를 예시한다.
- [0168] 이하에서는 설명의 편의를 위해서 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 방법을 이미징 방법으로 기재한다.
- [0169] 도 8을 참고하면, 단계(S801)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 대상 물체에 광을 입사한다.
- [0170] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 산란 매질과 산란 매질 내 다중 산란 성분을 투과하여 대상 물체(object)에 광을 입사한다.
- [0171] 단계(S802)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 대상 물체로부터 돌아오는 광을 감지한다.
- [0172] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 입사된 광이 대상 물체로부터 다중 산란 성분을 투과 및 반사되어 돌아오는 광을 감지한다.
- [0173] 단계(S803)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 시분해 반사 행렬을 측정한다.
- [0174] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 돌아오는 광에 기반하여 다중 산란 성분에 기반한 다중 산란 궤적이 반영된 시분해 반사 행렬을 측정한다.
- [0175] 단계(S804)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 시분해 반사 행렬로부터 물체 반사 행렬을 획득한다.
- [0176] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 복수의 위상 평면에 대하여 수치 반복적으로 액세스를 수행하여 입사 투과 행렬 및 반사 투과 행렬을 획득하고, 획득된 입사 투과 행렬 및 획득된 반사 투과 행렬의 역행렬을 측정된 시분해 반사 행렬에 반영하여 물체 반사 행렬을 획득할 수 있다.
- [0177] 단계(S805)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 물체 반사 행렬에 기반하여 다중 산란 왜곡이 보정된 이미지를 획득한다.
- [0178] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 물체 반사 행렬에 기반하여 다중 산란 궤적에 따른 다중 산란 왜곡이 보정된 이미지로 대상 물체에 대한 이미지를 획득한다.
- [0179] 도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 방법이 다중 산란 추적 알고리즘을 수행하는 절차를 예시한다.
- [0180] 이하에서는 설명의 편의를 위해서 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 방법을 이미징 방법으로 기재한다.
- [0181] 도 9를 참고하면, 단계(S901)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 시분해 반사 행렬을 측정한다.
- [0182] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 돌아오는 광에 기반하여 다중 산란 성분에 기반한 다중 산란 궤적이 반영된 시분해 반사 행렬을 측정한다.
- [0183] 단계(S902)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 제i 위상 평면에 접근하여 위상 함수를 획득하여 위상을 정정한다.
- [0184] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은
- [0185] 단계(S903)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 마지막 위상 평면까지 수렴하는지 여부를 판단한다.
- [0186] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 마지막 위상 평면까지 접근 및 위상 정정을 완료하면 단계(S904)로 진행하고, 마지막 위상 평면이 아닌 경우에는 단계(S902)로 돌아간다.
- [0187] 단계(S904)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 입사 투과 행렬, 반사 투과 행렬 및 물체 반사 행렬을 획득한다.
- [0188] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 산란 매질로부터 근사된 복수의 위상 평면에 대하여 수치 반복적

으로 액세스를 수행하여 입사 투과 행렬 및 반사 투과 행렬을 획득하고, 획득된 입사 투과 행렬 및 획득된 반사 투과 행렬의 역행렬을 측정된 시분해 반사 행렬에 반영하여 물체 반사 행렬을 획득할 수 있다.

- [0189] 단계(S905)에서 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 물체 반사 행렬에 기반하여 물체 이미지 재구성한다.
- [0190] 즉, 본 발명의 일실시예에 따른 이미징 방법은 물체 반사 행렬에 기반하여 다중 산란 궤적에 따른 다중 산란 왜곡이 보정된 이미지로 대상 물체에 대한 이미지를 재구성하여 획득한다.
- [0192] 도 10a 내지 도 10c는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 수치 시뮬레이션을 설명하는 도면이다.
- [0193] 도 10a 내지 도 10c는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 수치 시뮬레이션과 관련하여 모식도 및 결과를 예시한다.
- [0194] 도 10a은 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 수치 시뮬레이션과 관련하여 시뮬레이션 모델의 모식도를 예시한다.
- [0195] 도 10a를 참고하면, 모식도(1000)는 산란 매체(1002) 아래에 해상도 대상 물체(1001)을 놓고, 산란 매체(1002)를 투과하여 대상 물체(1001)로 입사하고 반사되는 광에 기반한 반사 행렬을 측정한다.
- [0196] 산란 매체(1002) 내에는 네 개의 위상 평면으로 이루어진 초기 산란 매질과 대상 물체에 의한 반사 행렬을 수치 시뮬레이션을 통해 구성하여 있다. 여기서, 수치 시뮬레이션은 도 5에서 설명된 위상 평면 설계와 관련된다.
- [0197] 도 10b는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 수치 시뮬레이션과 관련하여 시뮬레이션 모델에 적용되는 위상 평면의 위상맵과 복원 결과를 예시한다.
- [0198] 도 10b를 참고하면, 수치 시뮬레이션에 적용되는 시뮬레이션 위상맵(1010)과 시뮬레이션 위상맵(1010)을 다중 산란 추적 알고리즘으로 복원한 복원 위상맵(1011)을 개시한다.
- [0199] 시뮬레이션 위상맵(1010)과 복원 위상맵(1011)을 대비하면 반사 행렬에 다중 산란 추적 알고리즘을 적용하여 각 위상 평면의 위상맵을 재구성함에 초기 위상맵의 형태를 대부분 복원할 수 있는 것을 확인할 수 있다.
- [0200] 도 10c는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 수치 시뮬레이션과 관련하여 다중 산란 추적 알고리즘의 적용 결과를 예시한다.
- [0201] 도 10c를 참고하면, 이미지(1020)는 수치 시뮬레이션으로 얻어낸 초기 반사 행렬(R)에 기반하여 이미지를 예시하고, 이미지(1021)는 복원된 대상 물체 반사 행렬의 이미지를 예시하며, 이미지(1022)는 초기 산란 매질에 의해 왜곡된 초기 물체의 공초점 이미지를 예시하고, 이미지(1023)는 다중 산란 추적 알고리즘에 의해 복원된 물체의 이미지를 예시한다.
- [0202] 초기 반사 행렬은 산란 매질 때문에 비대각 성분에 강한 신호 세기가 분포되어 있다.
- [0203] 하지만, 다중 산란 추적 알고리즘을 통해 복원된 의 경우 대부분의 다중 산란이 제거되고 대각 성분에만 신호가 분포해 있다.
- [0204] 또한, 이미지(1022) 및 이미지(1023)에 나타난 바와 같이 다중 산란에 의해 왜곡된 이미지가 다중 산란 추적 알고리즘 적용 후 제대로 복원됨을 알 수 있다.
- [0206] 도 11a 내지 도 11c는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 양파를 이용한 실험적 증명 실험을 설명하는 도면이다.
- [0207] 도 11a 내지 도 11c는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 양파를 이용한 실험적 증명 실험과 관련하여 모식도 및 결과를 예시한다.
- [0208] 도 11a는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 양파를 이용한 실험적 증명 실험과 관련하여 산란 매질로 이용된 다층 구조의 양파 세포(onion tissue)와 그 아래에 놓인 해상도 대상 물체의 모식도를 예시한다.
- [0209] 도 11a를 참고하면, 모식도(1100)는 다층 구조를 지닌 두꺼운 양파 조직(1102) 아래에 해상도 대상 물체(1101)을 놓고 대물 렌즈(1103)를 통해 입사하고 반사되는 광에 기반한 반사 행렬을 측정한다.
- [0210] 모식도(1100)는 두꺼운 양파 조직(1102) 이 가지는 지멘스 스타(Siemens star) 패턴의 해상도 대상 물체(1101)

을 이미징 하는 실험을 수행 환경을 나타낸다.

- [0211] 이때 산란 매질로 사용된 양파 조직(1102)은 5겹의 세포층으로 이루어져 있었으며, 총 1mm 정도의 두께를 지녔다.
- [0212] 도 11b는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 양파를 이용한 실험적 증명 실험과 관련하여 다중 산란 추적 알고리즘을 적용하여 복원한 이미지와 적용하지 않은 공초점 이미지를 예시한다.
- [0213] 도 11b를 참고하면, 공초점 이미지(1120)는 샘플의 반사 행렬로부터 재구성된 물체의 공초점 이미지로서 다중 산란 추적 알고리즘이 적용되지 않은 이미지를 나타낼 수 있다.
- [0214] 한편, 복원 이미지(1121)는 본 발명의 일실시예에 따른 다중 산란 추적 알고리즘에 의하여 복원된 대상 물체의 이미지를 나타낼 수 있다.
- [0215] 공초점 이미지(1120)는 물체 대상의 이미지가 양파 조직의 다중 산란 및 수차로 인해 심하게 왜곡된 것을 알 수 있다.
- [0216] 반면에, 복원 이미지(1121)는 다중 산란 추적 알고리즘에 기반하여 대상 물체의 이미지가 제대로 복원되었음을 확인시켜준다.
- [0217] 도 11c는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 양파를 이용한 실험적 증명 실험과 관련하여 다중 산란 추적 알고리즘을 적용하여 복원한 이미지를 예시한다.
- [0218] 도 11c를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 적용하기 위해 해상도 대상 물체로부터 250 μ m, 400 μ m, 600 μ m, 800 μ m, 1000 μ m 떨어진 위치에 위상 평면을 가정하였고, 복원된 각 평면의 위상맵을 복원한다.
- [0219] 제1 위상 평면(1120)은 거리가 250 μ m이고, 제2 위상 평면(1121)은 거리가 400 μ m이며, 제3 위상 평면(1122)은 거리가 600 μ m이고, 제4 위상 평면(1123)은 거리가 800 μ m이며, 제5 위상 평면(1124)은 거리가 1000 μ m이다.
- [0220] 해상도 대상 물체에 가까이 있는 세 위상 평면의 위상맵이 각 층의 양파 세포 이미지를 잘 보여주고 있다.
- [0221] 이는 다중 산란 추적 알고리즘이 복원한 위상 평면이 실제 양파 조직 구조를 제대로 반영하고 있음을 증명하고 있다.
- [0222] 제4 위상 평면(1123)과 제5 제4 위상 평면(1124)의 경우 양파 세포층의 형태를 제대로 확인할 수 없는데, 이는 해당 층의 위상 복원 해상도가 양파 세포를 이미지 하기에 부족했기에 나온 결과일 수 있다.
- [0224] 도 12a 내지 도 12d는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 생체 조직을 이용한 실험적 증명 실험을 설명하는 도면이다.
- [0225] 도 12a 내지 도 12d는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 생체 조직을 이용한 실험적 증명 실험과 관련하여 모식도 및 결과를 예시하고, 다층 구조가 아닌 일반적인 생체 조직에서의 다중 산란 추적 알고리즘의 구현 가능성을 실증한다.
- [0226] 도 12a는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 생체 조직을 이용한 실험적 증명 실험과 관련하여 산란 매질로 이용된 생쥐의 두개골과 그 아래에 놓인 해상도 대상 물체의 모식도를 예시한다.
- [0227] 도 12a를 참고하면, 모식도(1200)는 200 μ m 두께의 생쥐의 두개골 조직(1202) 아래에 해상도 대상 물체(1201)을 놓고 대물 렌즈(1203)를 통해 입사하고 반사되는 광에 기반한 반사 행렬을 측정한다.
- [0228] 모식도(1200)의 경우 도 11a에서 설명된 모식도(1100)의 경우와 달리 이 샘플의 경우 다층 구조가 아니기에 위상 평면의 위치 및 필요한 평면의 개수를 먼저 알아낼 필요성이 존재한다.
- [0229] 도 12b는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 생체 조직을 이용한 실험적 증명 실험과 관련하여 샘플이 다층 구조가 아닌 경우에 위상 평면의 위치를 확인하기 위한 실험 결과를 예시한다.
- [0230] 도 12b를 참고하면, 그래프(1210)는 위상 평면 층(layer)의 위치에 따른 결과로서, 단일 위상 평면을 가정하고, 해당 위상 평면의 대상 물체로부터의 거리(위치)를 바꿔가며 다중 산란 추적 알고리즘을 적용하면서 전기장의 세기를 측정한 결과를 나타낸다.

- [0231] 그래프(1210)는 위상 평면 층의 위치에 따른 이미지의 세기 총합을 거리의 함수로 플롯한 결과를 보여준다.
- [0232] 그래프(1210)에서 음영으로 표시한 영역에서 신호의 세기 분포가 위치함을 알 수 있으며, 이는 해당 위치에 두 개골 조직이 분포해 있음을 나타낼 수 있다.
- [0233] 도 12c는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 생체 조직을 이용한 실험적 증명 실험과 관련하여 샘플이 다층 구조가 아닌 경우에 위상 평면의 수를 확인하기 위한 실험 결과를 예시한다.
- [0234] 도 12c를 참고하면, 그래프(1220)는 위상 평면 층(layer)의 수 변화에 기반하여 다중 산란 추적 알고리즘을 적용하면서 전기장의 세기를 측정한 결과를 나타낸다.
- [0235] 즉, 그래프(1220)는 그래프(1210)에 기반한 영역(100~300 μ m 영역) 내부에 위치한 0개에서 최대 8개까지의 위상 평면을 가정하여 다중 산란 추적 알고리즘을 적용한 후 신호 세기 분포를 플롯 한 결과를 나타내었다.
- [0236] 그래프(1220)는 위상 평면의 개수가 늘어날수록 신호 세기가 증가하지만, 5개 정도에서 신호 세기 증가가 둔화 되는 것을 확인시켜 준다.
- [0237] 이는 해당 두개골 조직이 5개 정도의 위상 평면으로 잘 근사가 됨을 의미하고 있다.
- [0238] 또한, 신호 세기가 최대 600배까지 증가하는데 이는 탄도 음파가 아닌 다중 산란을 이미징에 활용했기에 가능한 결과일 수 있다.
- [0239] 도 12d는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘의 생체 조직을 이용한 실험적 증명 실험과 관련하여 공초점 이미지와 복원 이미지를 예시한다.
- [0240] 도 12d를 참고하면, 공초점 이미지(1230)는 샘플의 반사 행렬로부터 재구성된 물체의 공초점 이미지로서 다중 산란 추적 알고리즘이 적용되지 않은 이미지를 나타낼 수 있다.
- [0241] 한편, 복원 이미지(1231)는 본 발명의 일실시예에 따른 다중 산란 추적 알고리즘에 의하여 복원된 대상 물체의 이미지를 나타낼 수 있다.
- [0242] 공초점 이미지(1230)와 복원 이미지(1231)를 대비하면, 비-다층구조의 두꺼운 두개골 조직의 다중 산란에도 불구하고 대상 물체의 이미지를 제대로 복원하고 있음을 증명하고 있으며, 이는 다중 산란 추적 알고리즘이 다층 구조가 아닌 일반적인 생체 조직에 적용할 수 있음을 나타내고 있다.
- [0244] 도 13a 내지 도 13d는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용한 생체 내(in-vivo) 이미징 결과를 설명하는 도면이다.
- [0245] 도 13a는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용한 생체 내(in-vivo) 이미징 결과와 관련하여 살아있는 쥐의 두개골 및 그 너머의 두뇌 피질 이미지를 위한 모식도를 예시한다.
- [0246] 도 13a를 참고하면, 본 발명의 일실시예에 따른 모식도(1300)는 대상 물체(1301)에 해당하는 쥐의 두뇌 피질을 산란 매체(1302)에 해당한 두개골 너머를 이미징 하기 위해서 대물 렌즈(1303)를 이용해 대상 물체(1301)의 특정 지점에 광을 입사한다.
- [0247] 도 13b는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용한 생체 내(in-vivo) 이미징 결과로서 다중 산란 추적 알고리즘의 적용한 반사 행렬 현미경을 이용한 쥐의 두개골 및 두뇌 피질의 깊이 방향 단면 모식도를 예시한다.
- [0248] 도 13b를 참고하면, 모식도(1310)는 대상 물체(1311)인 뇌(brain)와 산란 매질(1312)에 해당하는 두개골(skull)를 도식화 한다.
- [0249] 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘에 따라 복수의 위상 평면이 산란 매질(1312) 내에 위치하여 산란 매질(1312)의 다중 산란 성분에 의한 산란 궤적에 따른 다중 산란 왜곡을 보상한다.
- [0250] 예를 들어, 복수의 위상 평면은 대상 물체(1311)를 기준으로 제1 위상 평면(z_1)부터 제5 위상 평면(z_5)으로 구성된다.
- [0251] 복수의 위상 평면은 수는 산란 매질(1312)의 다중 산란 성분에 의한 복잡도에 비례한다.
- [0252] 즉, 복수의 위상 평면의 수는 복잡도가 높을수록 증가하는데, 그 수가 증가할수록 개선도가 증가하지만 계산 시간도 함께 증가할 수 있음에 최대 효율에 대응하도록 결정될 수 있다.

- [0253] 도 13c는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용한 생체 내(in-vivo) 이미징 결과로서 다중 산란 추적 알고리즘의 적용 전후의 반사 행렬 현미경을 이용한 쥐의 두개골 및 두뇌 피질의 깊이 방향 단면(cross-section) 이미지를 예시한다.
- [0254] 도 13c를 참고하면, 이미지(1320)에 따르면 다중 산란 추적 알고리즘을 적용하기 전의 공초점 이미지는 두개골 내부 60 μ m 이후 신호 세기가 급격히 줄어들고 있다.
- [0255] 반면, 다중 산란 추적 알고리즘을 적용한 이후에는 300 μ m 깊이 까지 구체적인 내부 형태가 드러나고 있다.
- [0256] 또한, 다중 산란 추적 알고리즘을 적용 이후의 다면 이미지로부터 두개골과 두뇌 피질 표면의 경계가 200 μ m 깊이 부근에 형성되어 있음을 알 수 있다.
- [0257] 도 13d는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용한 생체 내(in-vivo) 이미징 결과와 관련하여 깊이 별 반사 행렬로부터 재구성된 공초점 이미지와 다중 산란 추적 알고리즘을 이용한 복원 이미지를 비교 예시한다.
- [0258] 도 13d를 참고하면, 산란 매질 내 깊이를 4개로 구분하고, x-y 평면의 공초점 이미지(1330)와 본 발명의 일실시예에 따른 복원 이미지(1331)를 대비한다.
- [0259] 공초점 이미지(1330)와 복원 이미지(1331)의 앞쪽 세 열의 이미지는 두개골 내부 이미지에 해당하고 마지막 열은 두뇌 피질 내부 이미지를 보여주고 있다.
- [0260] 공초점 이미지(1330)의 경우 80 μ m 깊이에서 이미 세포의 구체적인 구조들이 다중 산란으로 인해 왜곡되어 제대로 보이지 않고 있다.
- [0261] 반면, 복원 이미지(1331)의 경우 두개골 하단부인 175 μ m 영역까지 두개골 내부의 골세포 (Osteocytes) 및 각 세포에서 뻗어 나가는 소관(canaliculi)의 형태를 잘 보여주고 있다.
- [0262] 또한, 복원 이미지(1331)의 경우 270 μ m 깊이의 두뇌 피질층의 신경 다발을 잘 보여주고 있다.
- [0263] 즉, 본 발명이 살아있는 생물체의 in-vivo 이미징에 활용될 수 있으며, 기존 공초점 현미경보다 다중 산란 추적 알고리즘 방법이 월등한 성능을 보여줄 수 있음을 잘 보여주고 있다.
- [0264] 따라서, 본 발명은 비표지 방식으로 이미지를 획득하기에 활용 가능한 범위가 매우 넓으며, 기존 반사 행렬 현미경에서 추가로 요구하는 장비가 없고, 후처리 기술로서 데이터 측정 시간 자체에는 영향을 주지 않기에 빠른 측정이 필요한 in-vivo 영상 획득에 활용되고, 다양한 질병 모델의 연구 또는 동물 실험 등에서 활용할 수 있을 것으로 기대하고 있으며, 진단 및 임상 도구로서의 활용까지 응용 범위를 확대할 수 있는 이미징 장치 및 방법을 제공할 수 있다.
- [0265] 또한, 본 발명은 반사행렬 데이터와 같은 데이터를 획득 후, 보정하는 후보정 방식으로 사전 준비 절차 없이 데이터를 바로 획득하여 데이터 측정 시간이 감소함에 따라 체내에서 진행되는(in-vivo) 상태의 이미징에서 피험체의 상태를 유지하면서 3차원 고심도 영상을 획득할 수 있다.
- [0267] 도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 장치의 보정 및 복원 성능을 설명하는 도면이다.
- [0268] 도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 산란 매질 내 대상 이미지를 보정 및 복원하는 이미징 장치의 보정 및 복원 성능을 종래 기술과 비교하여 예시한다.
- [0269] 도 14를 참고하면, 이미지(1400) 내지 이미지(1430)는 반사 행렬 현미경의 각 이미징 방식별 성능 비교 결과로서 예시된다.
- [0270] 이미지(1400)는 공초점 현미경 이미지를 나타내고, 이미지(1410)는 CLASS 현미경 이미지를 나타내며, 이미지(1420)는 conjugate-CLASS 이미지를 나타내고, 이미지(1430)는 반사 행렬 기반 다중 산란 추적 알고리즘을 이용하여 보정 및 복원된 이미지를 나타낼 수 있다.
- [0271] 이미지(1430)는 도 13에서 설명된 보정 및 복원된 이미지일 수 있다.
- [0272] 이미지(1400) 내지 이미지(1430)를 비교할 때 본 발명이 상대적으로 우월한 성능을 보임을 한눈에 확인할 수 있다.
- [0273] 이는, 다른 이미징 방법들이 깊이에 의해 기하급수적으로 줄어드는 탄도 음파를 사용하는 반면, 본 발명은 다중

산란을 이미징 신호로 활용할 수 있기에 가능한 결과로서 우월한 복원 및 보정 성능을 보여준다.

[0274] 따라서, 본 발명은 데이터 측정 시간의 감소와 동반하여 측정 깊이를 변경하면서 3차원 고심도 영상을 획득할 수 있기 때문에 의생명과학적으로 다양한 응용이 가능한 이미징 장치 및 방법을 제공할 수 있다.

[0275] 또한, 본 발명은 라벨링(Labeling) 없이 반사를 통해 얻은 반사 행렬에 적용하는 알고리즘으로, 고심도 고해상도 이미지를 획득 할 수 때문에 임상에 바로 응용할 수 있으며, 생체 조직뿐만 아니라 반도체 등의 샘플을 내부를 분해하지 않고 내부의 이미지를 얻을 수 있기 때문에 계측 장비로 적용도 가능한 이미징 장치를 제공할 수 있다.

[0277] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0278] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embodiment)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0279] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 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.

[0280] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

[0281] 100: 이미징 장치

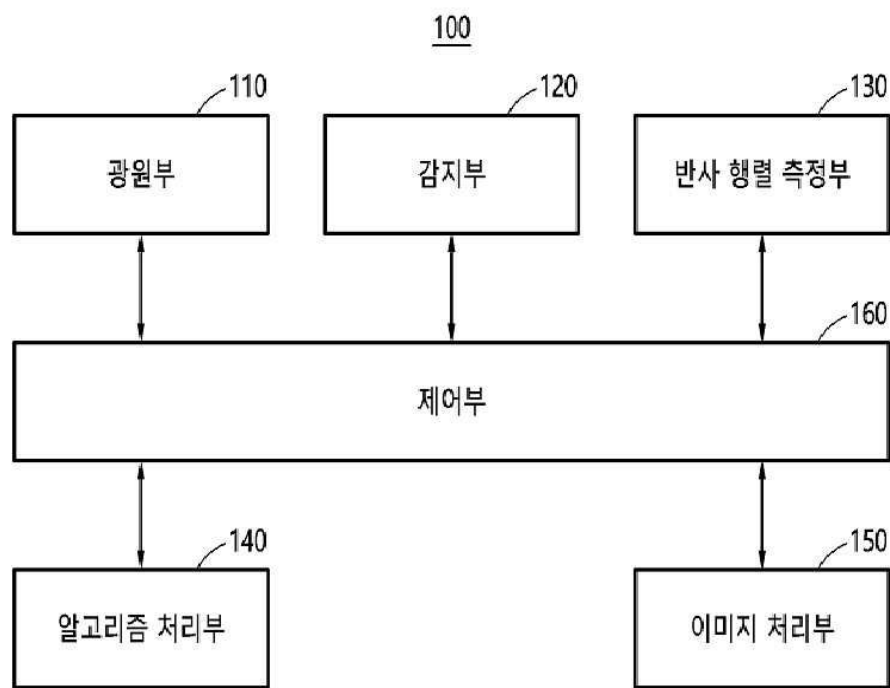
110: 광원부 120: 감지부

130: 반사 행렬 측정부 140: 알고리즘 처리부

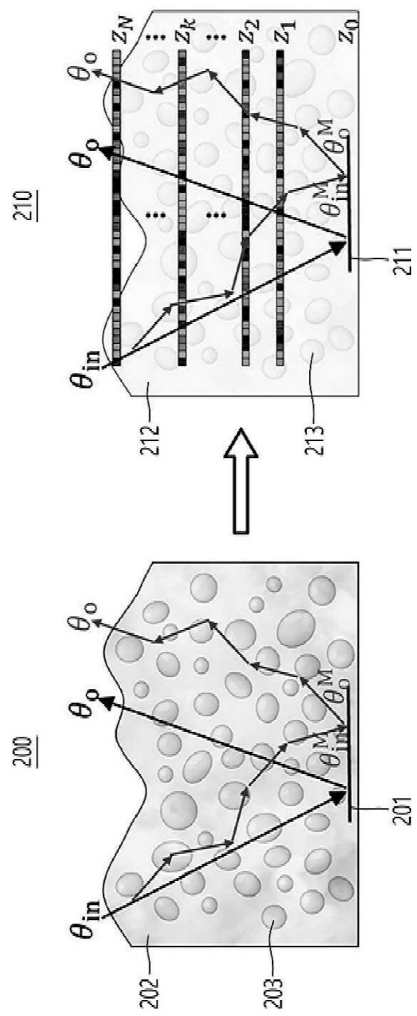
150: 이미지 처리부 160: 제어부

도면

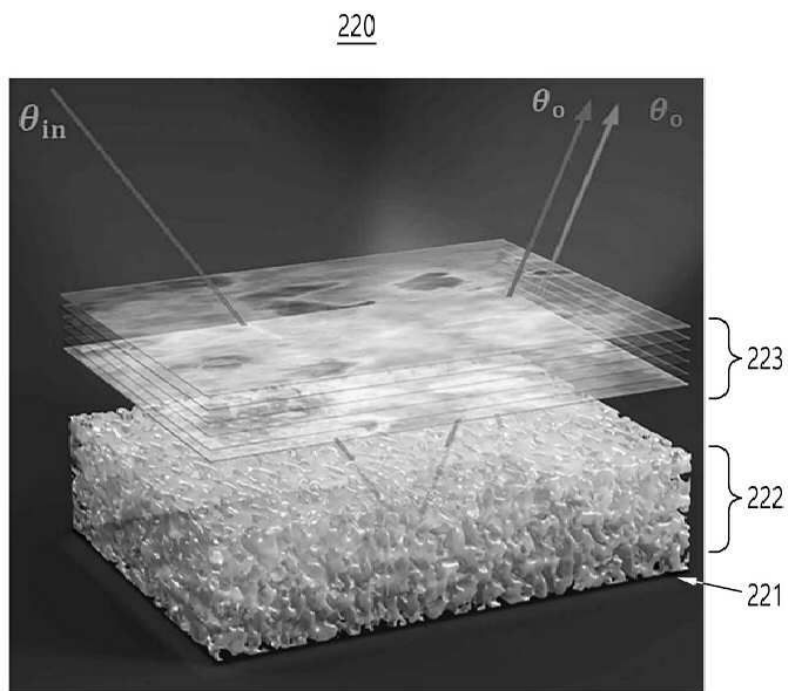
도면1



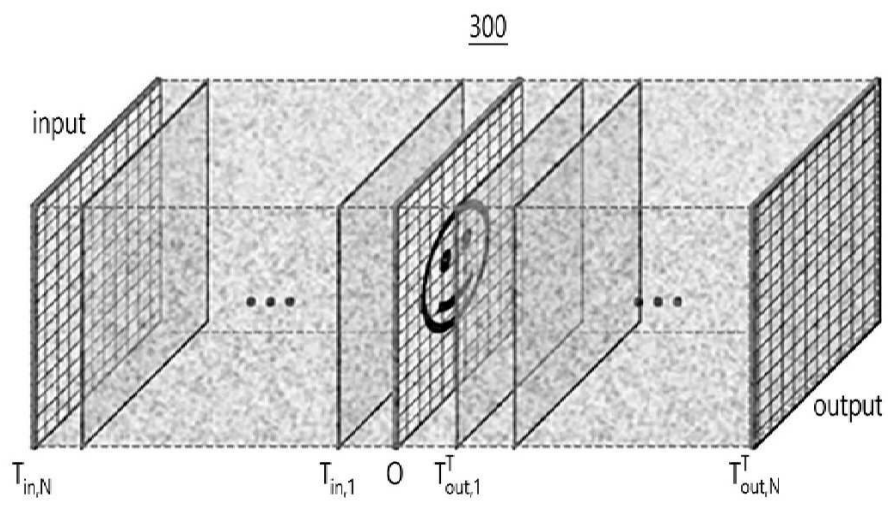
도면2a



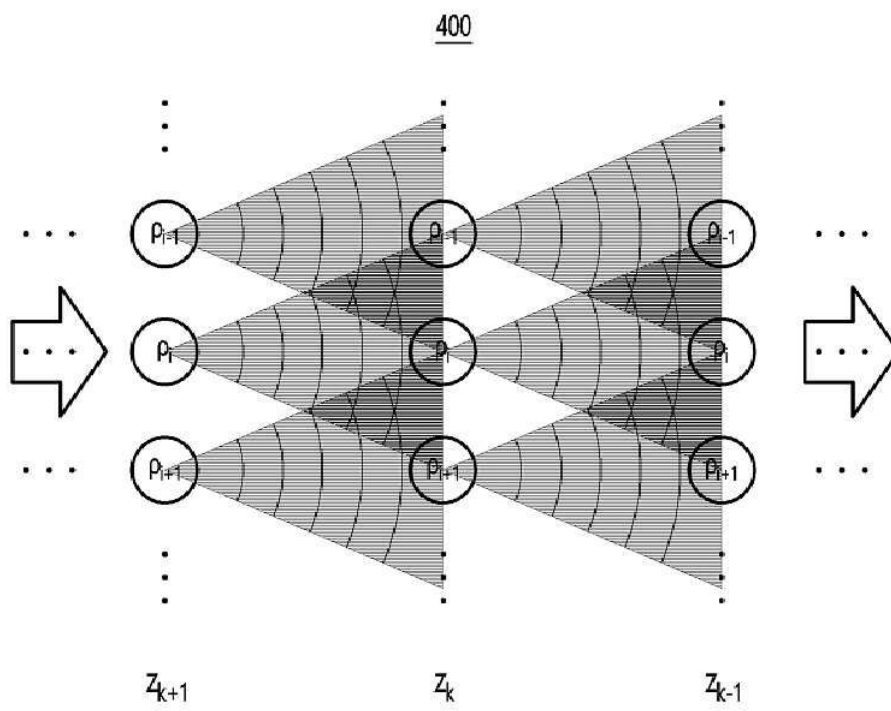
도면2b



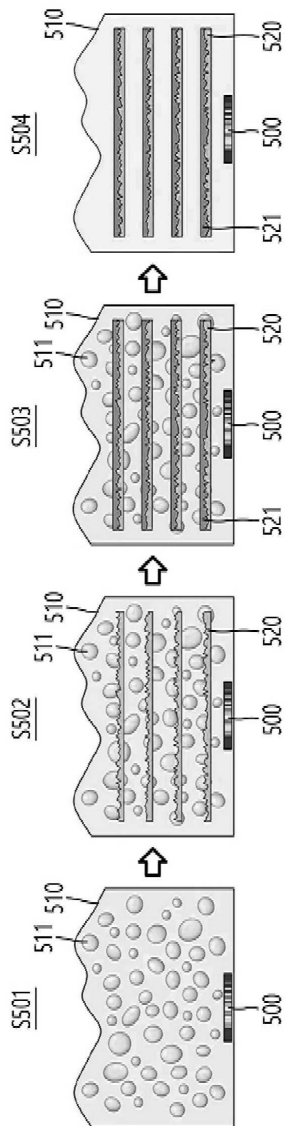
도면3



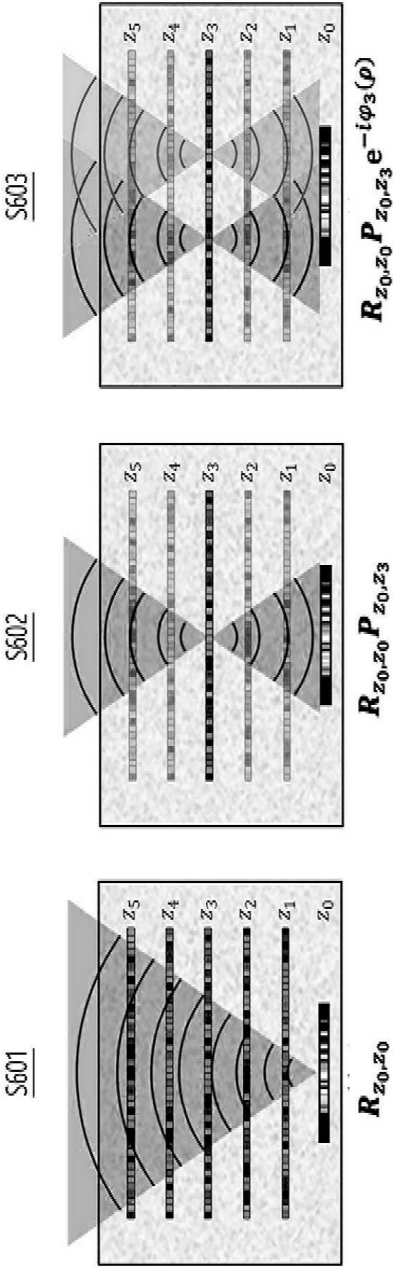
도면4



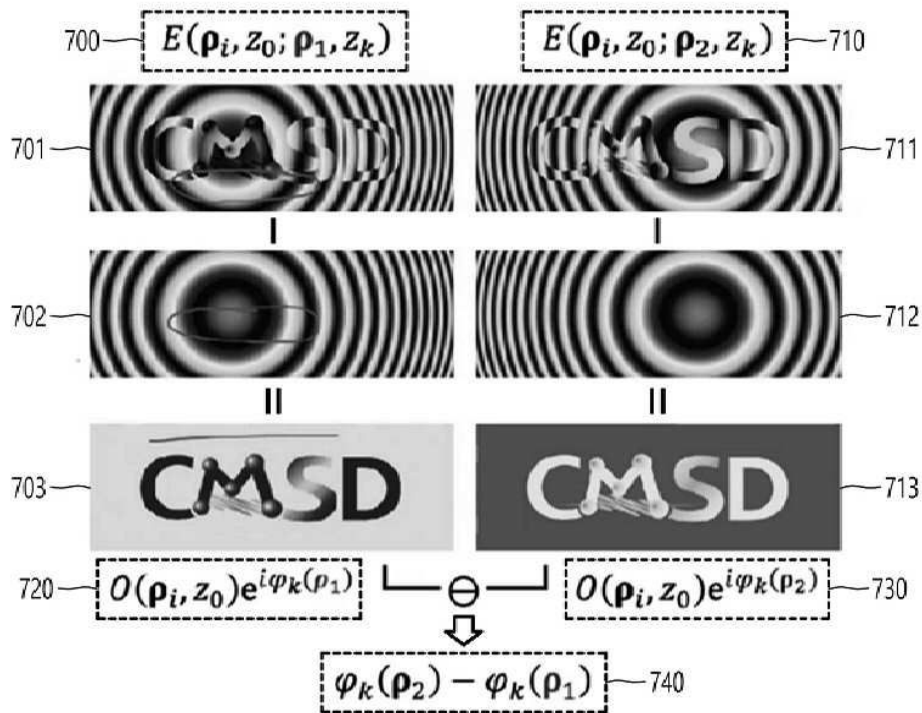
도면5



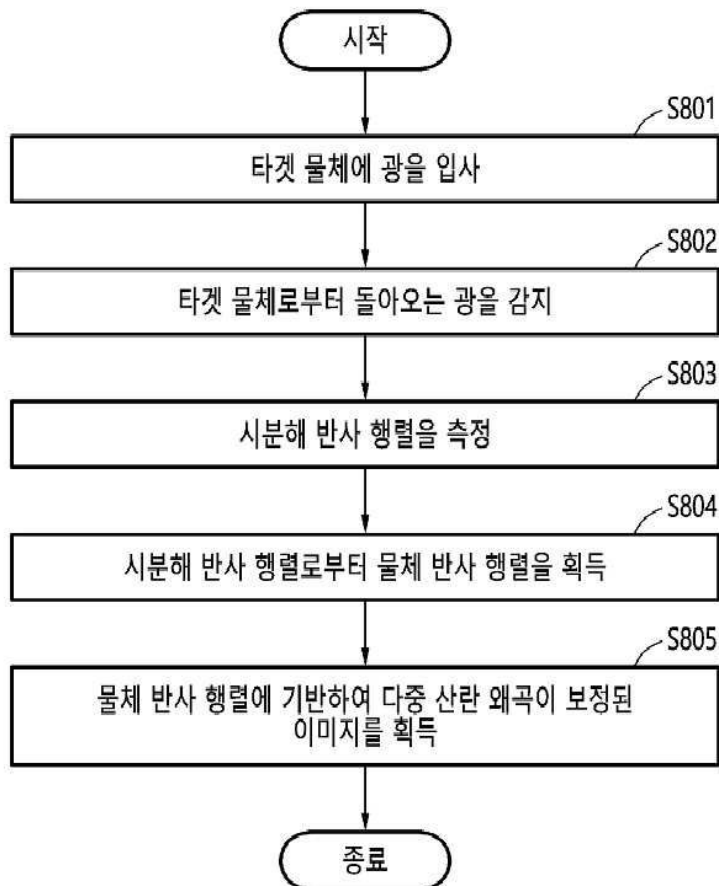
도면6



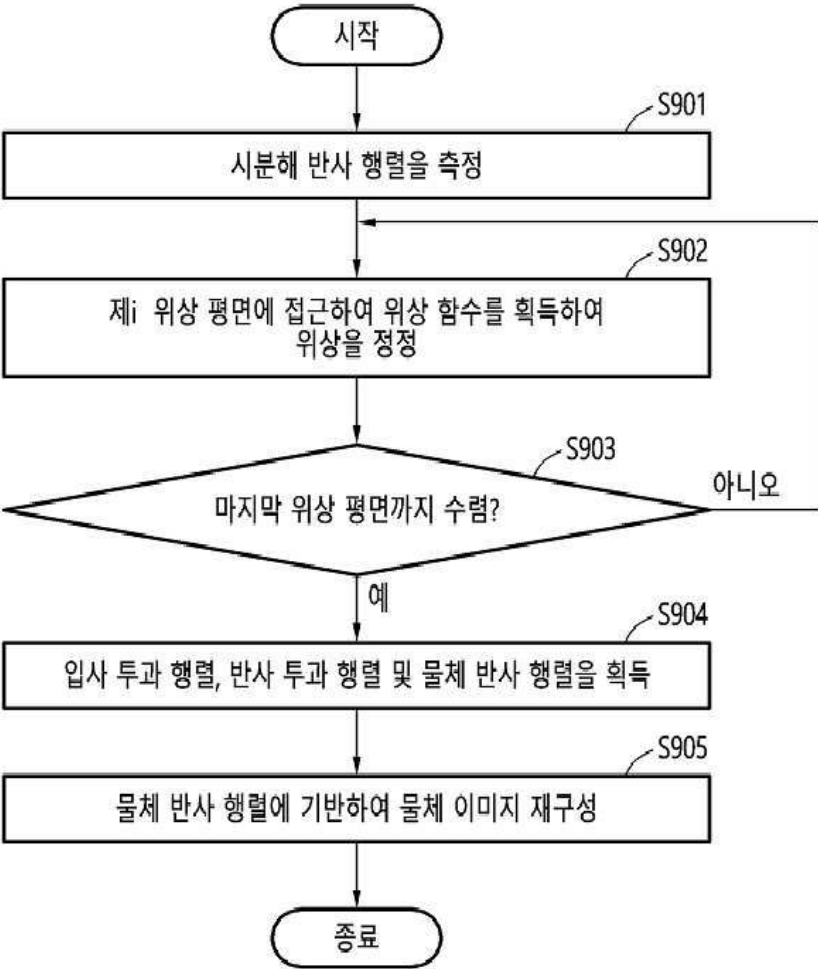
도면7



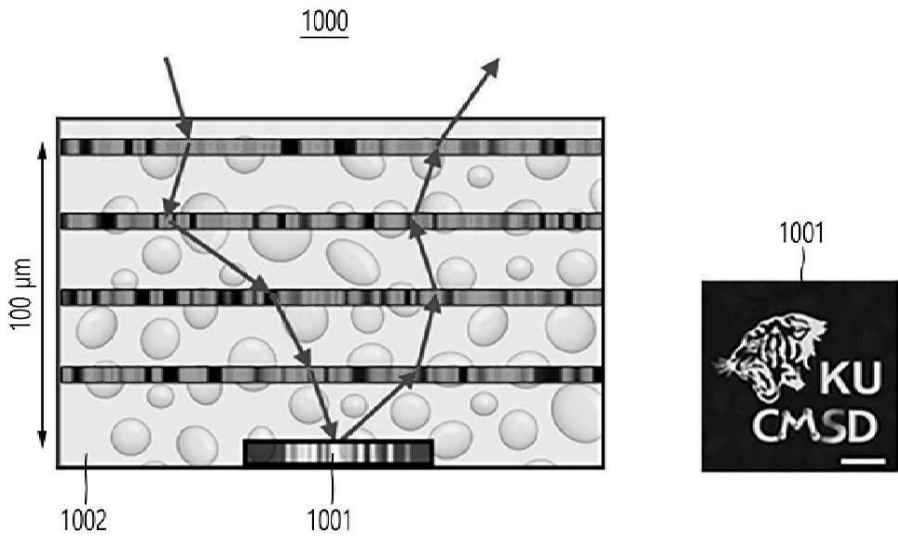
도면8



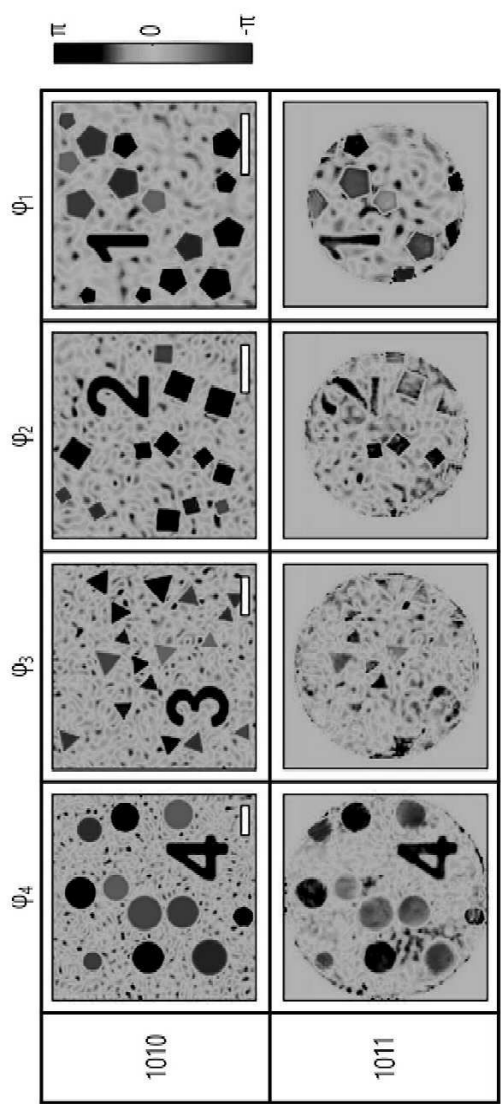
도면9



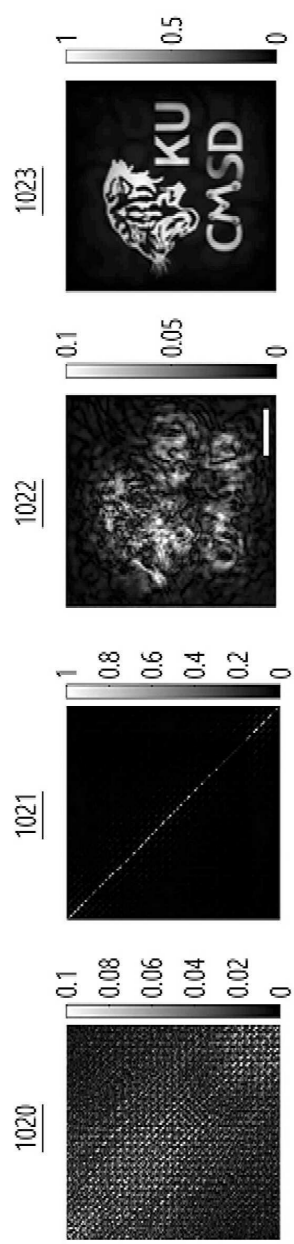
도면10a



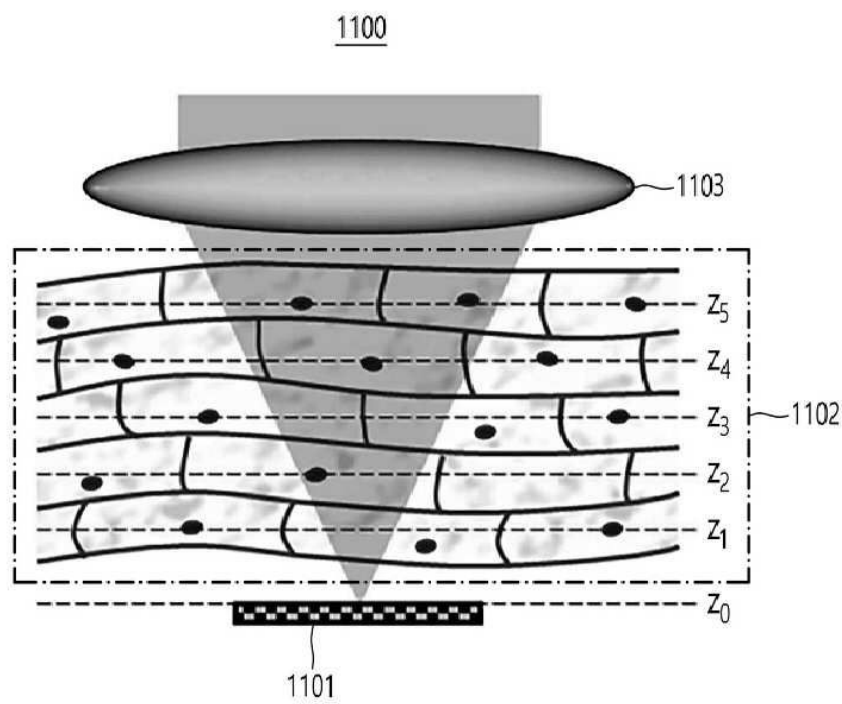
도면10b



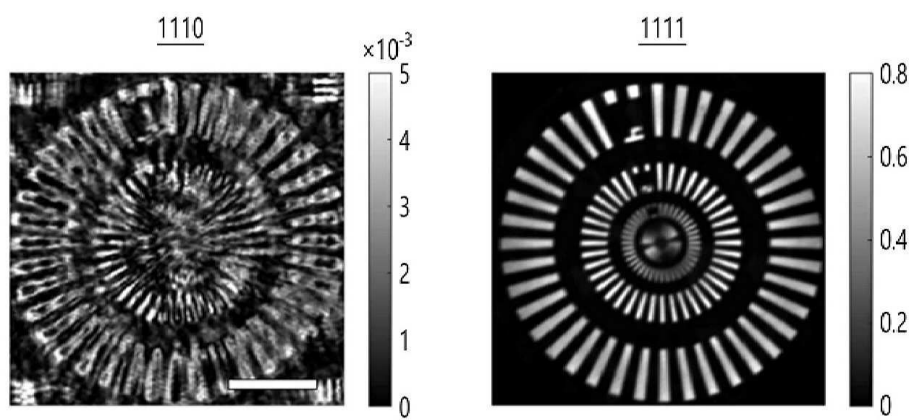
도면10c



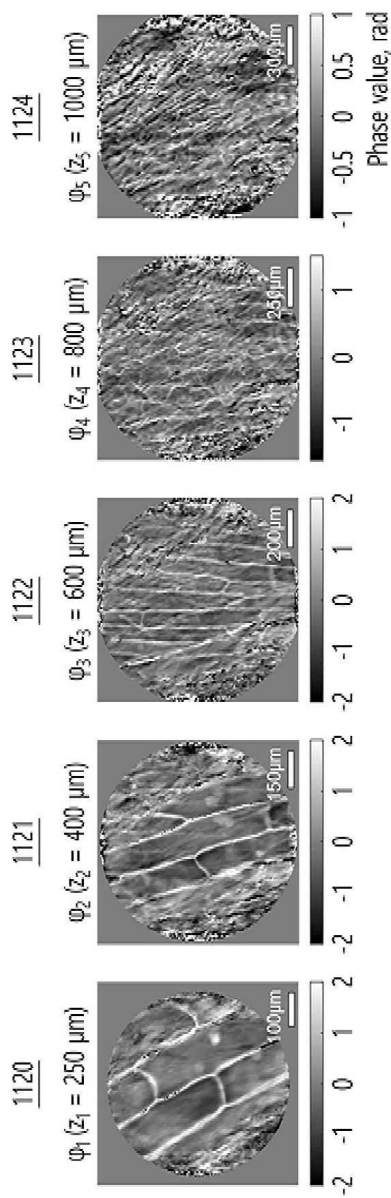
도면11a



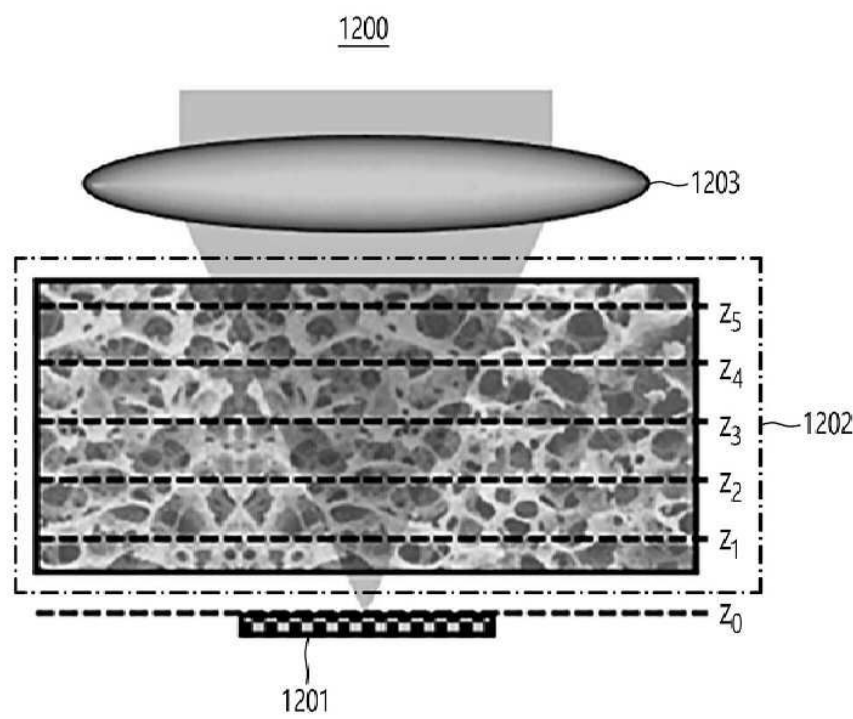
도면11b



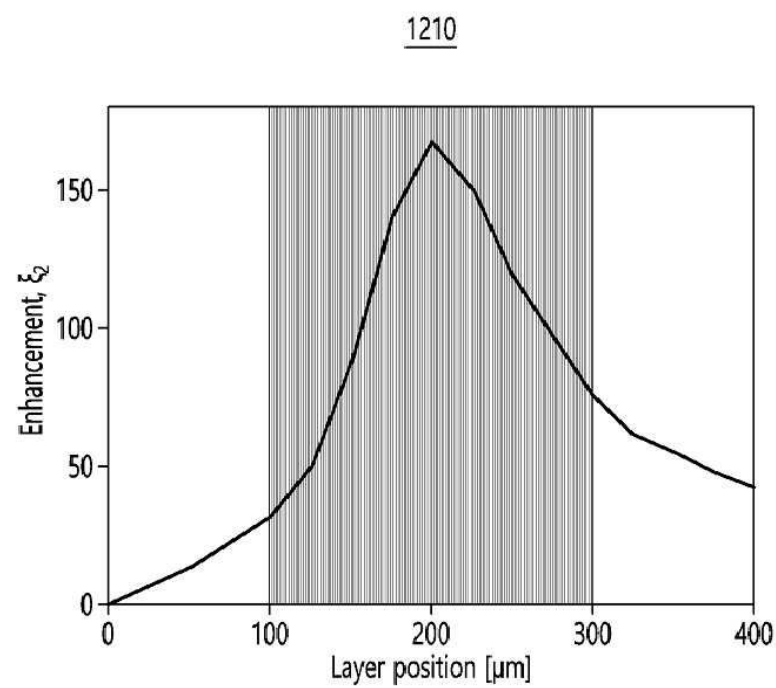
도면11c



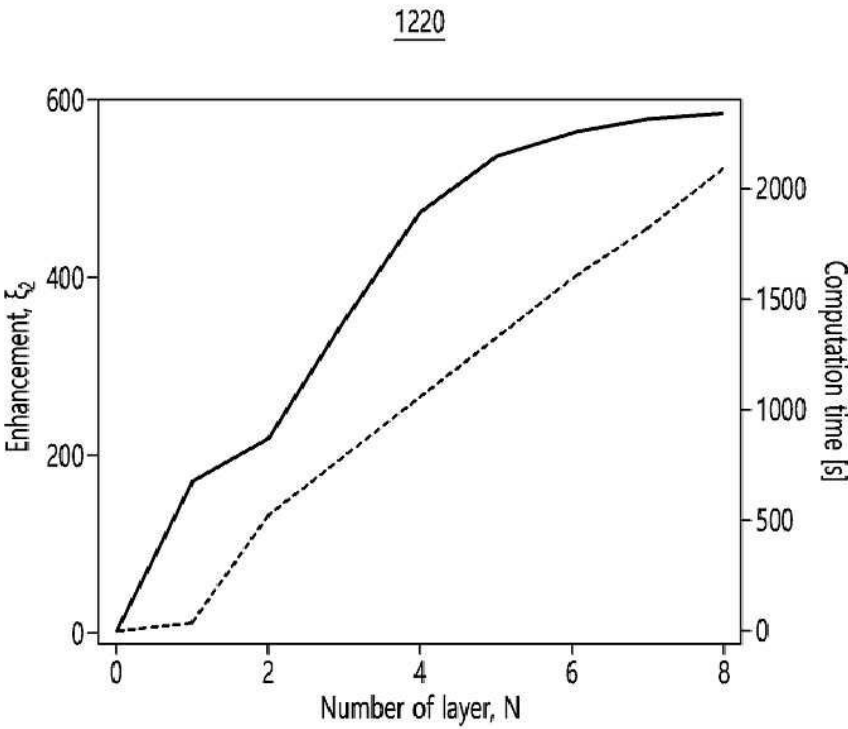
도면12a



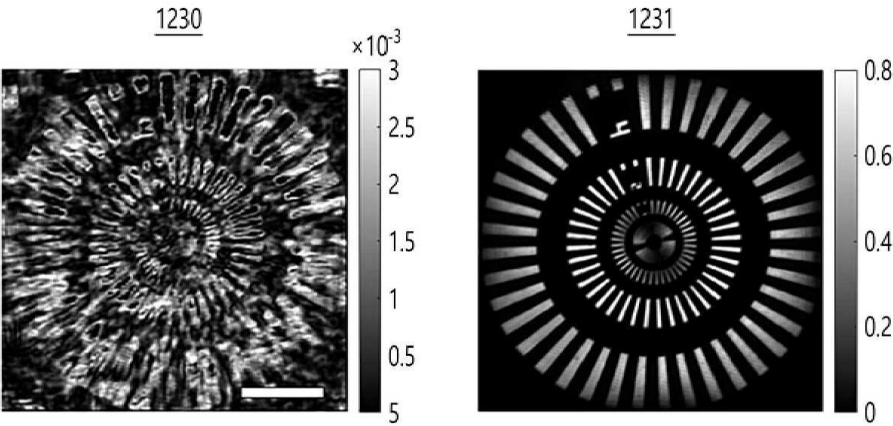
도면12b



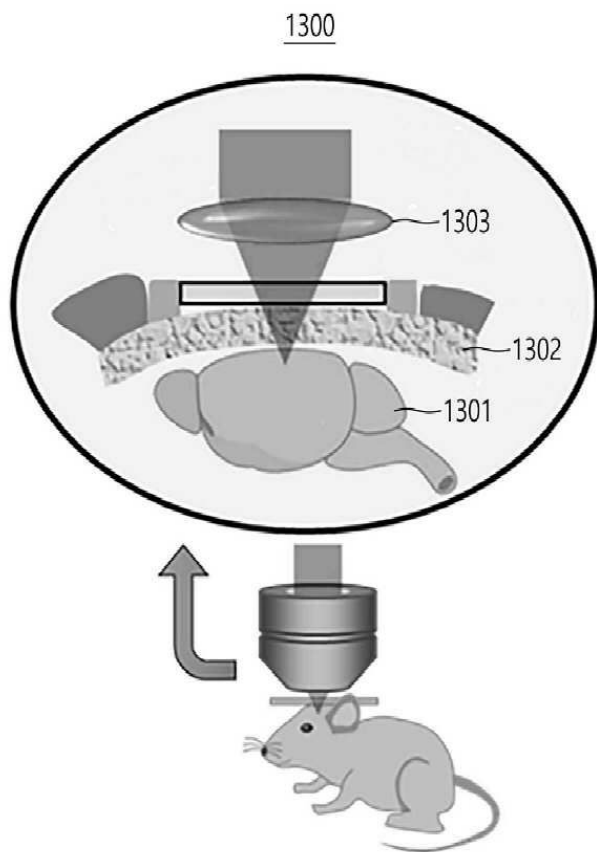
도면12c



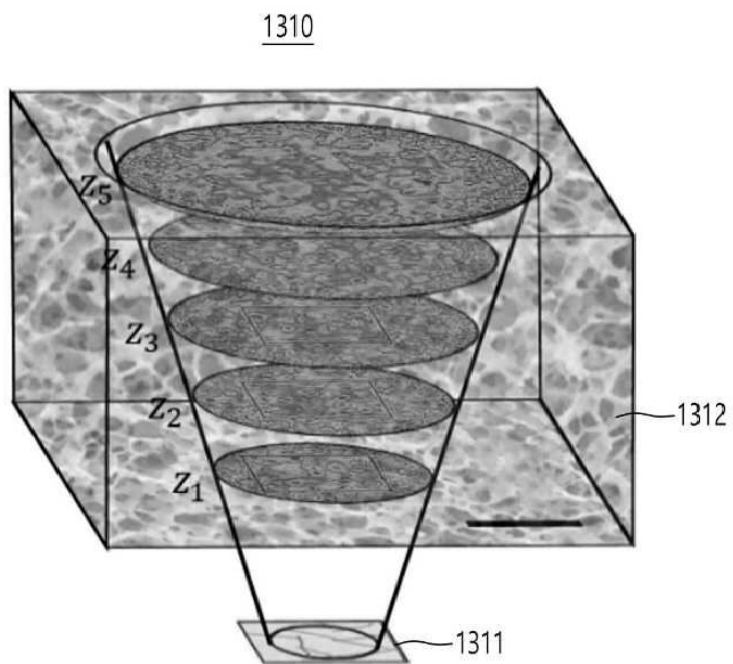
도면12d



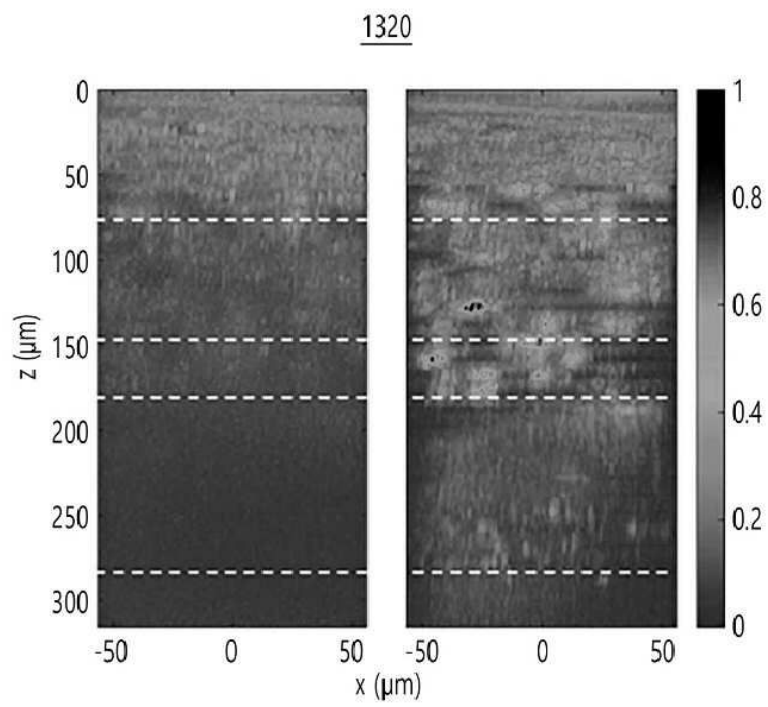
도면13a



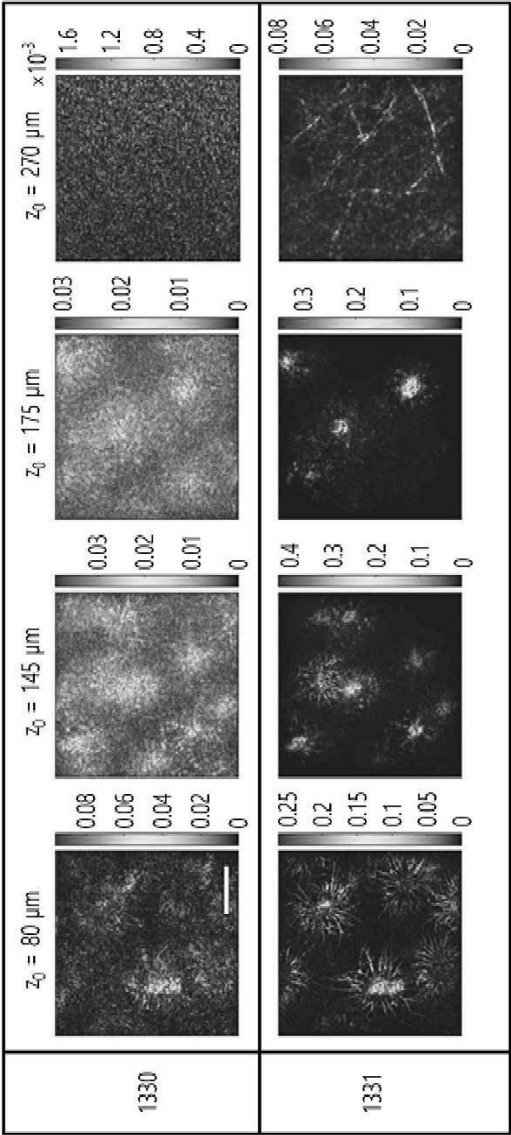
도면13b



도면13c



도면13d



도면14

