



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년09월14일
(11) 등록번호 10-2579187
(24) 등록일자 2023년09월12일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 21/00 (2022.01) G01N 21/64 (2006.01)
G02B 27/09 (2006.01) G02B 27/10 (2006.01)
G02B 27/58 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G02B 21/0032 (2013.01)
G01N 21/6458 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7032957
- (22) 출원일자(국제) 2018년04월05일
심사청구일자 2021년04월05일
- (85) 번역문제출일자 2019년11월06일
- (65) 공개번호 10-2019-0133255
- (43) 공개일자 2019년12월02일
- (86) 국제출원번호 PCT/GB2018/050917
- (87) 국제공개번호 WO 2018/185489
국제공개일자 2018년10월11일
- (30) 우선권주장
1705660.7 2017년04월07일 영국(GB)
20170592 2017년04월07일 노르웨이(NO)

- (73) 특허권자
유니벨시테테트 이 트롬소 - 노르게스 알크티스키
유니벨시테트
노르웨이 9019 트롬소, 한시네 한센스 베지 18
- (72) 발명자
알루발리아 발프리트 싱
노르웨이 9007 트롬소 난센베겐 103
후세르 토마스 알
독일 33824 베르테르 (베스트팔렌) 소넨베그 15
헬레소 올라브 가우트
노르웨이 9104 크발로야 샌드스크젤베겐 28
- (74) 대리인
제일특허법인(유)

전체 청구항 수 : 총 15 항

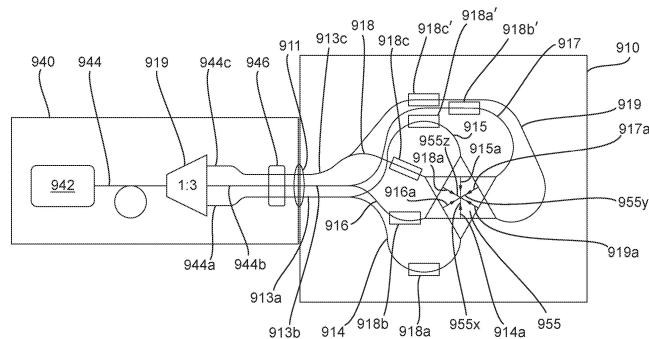
심사관 : 김희진

(54) 발명의 명칭 주기적 광 패턴을 생성하는 광학 컴포넌트

(57) 요약

주기적 광 패턴으로 샘플 영역(955)를 조명하기 위한 광학 컴포넌트(910)는, 제1 도파관(914), 추가 도파관(916, 917, 918, 919) 및 광학 분배기(913a)를 포함한다. 광학 분배기(913a)는 광을 수신하기 위한 입력부(911), 제1 출력부 및 제2 출력부를 갖는다. 제1 도파관(914)은 제1 입력 광을 제1 방향(914a)으로 샘플 영역(955)으로 보내도록 제1 출력부에 광학적으로 결합된다. 제2 출력부는 제2 입력 광을 제2 방향(915a)으로 샘플 영역(955)으로 보내도록 샘플 영역(955)에 광학적으로 결합된다. 추가 도파관(916, 917, 918, 919)은 제3 방향(916a, 917a, 918a, 919a)으로 샘플 영역으로 보내진 제3 입력 광을 수신하도록 배열된다. 제1 방향(914a), 제2 방향(915a) 및 제3 방향(916a, 917a, 918a, 919a)은 서로 상이하다. 제1 및 제2 입력 광은 샘플 영역(955)에서 주기적 광 패턴을 형성하도록 간섭된다. 광학 컴포넌트(910)는 구조화 조명 현미경 검사에 사용될 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

G02B 27/0905 (2013.01)

G02B 27/10 (2013.01)

G02B 27/58 (2013.01)

G01N 2201/06113 (2013.01)

G01N 2201/0635 (2013.01)

G01N 2201/08 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

주기적 광 패턴으로 샘플 영역을 조명하기 위한 광학 컴포넌트로서,

상기 광학 컴포넌트는 제1 도파관, 추가 도파관 및 광학 분배기를 포함하고, 상기 광학 분배기는 (i) 입력 광을 수신하는 입력부, (ii) 제1 출력부, 및 (iii) 제2 출력부를 가지며,

상기 광학 분배기의 상기 제1 출력부는 제1 입력 광을 상기 제1 도파관으로 보내도록 상기 제1 도파관에 광학적으로 결합되고;

상기 제1 도파관은 상기 제1 입력 광을 제1 방향으로 제1 경로를 따라 상기 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열되고;

상기 광학 분배기의 상기 제2 출력부는 제2 입력 광을 제2 방향으로 제2 경로를 따라 상기 샘플 영역으로 보내도록 상기 샘플 영역에 광학적으로 결합되고;

상기 추가 도파관은 제3 입력 광을 수신하고 상기 제3 입력 광을 제3 방향으로 제3 경로를 따라 상기 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열되고;

상기 제2 방향은 상기 제1 방향과 상이하여, 사용 시, 상기 샘플 영역에서 주기적 광 패턴을 형성하기 위해 상기 제1 입력 광이 상기 제2 입력 광과 간섭하도록 하고;

상기 제3 방향은 상기 제1 방향 및 상기 제2 방향과 상이하고,

상기 제1, 제2 및 제3 방향은 동일 평면 상에 있는,

광학 컴포넌트.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 광학 컴포넌트의 단일 면 상에 형성되고 상기 제1, 제2 및 제3 입력 광을 수신하도록 배열된 입력부를 포함하는,

광학 컴포넌트.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 입력부는 하나 이상의 섬유 광학 케이블과 결합하기 위한 단일 소켓을 포함하는,

광학 컴포넌트.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1, 제2 및 제3 경로는 공통 평면에 놓이는,

광학 컴포넌트.

청구항 5

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

제4 도파관을 더 포함하되,

상기 제4 도파관은 제4 입력 광을 수신하고 내부 전반사를 이용하여 상기 제4 입력 광을 제4 방향으로 제4 경로

를 따라 상기 샘플 영역으로 보내도록 배열되고, 상기 제4 방향은 상기 제1, 제2 및 제3 방향과 상이하며 상기 제1, 제2 및 제3 방향과 동일 평면 상에 있는,

광학 컴포넌트.

청구항 6

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

광학 격자 및 제4 도파관을 더 포함하되,

상기 제4 도파관은 제4 입력 광을 수신하고 내부 전반사를 사용하여 상기 제4 입력 광을 상기 광학 격자에 보내도록 배열되고, 상기 광학 격자는 상기 수신된 제4 입력 광을 제4 방향으로 제4 경로를 따라 상기 샘플 영역으로 보내도록 배치되고, 상기 제4 방향은 상기 제1, 제2 및 제3 방향과 상이하며 상기 제1, 제2 및 제3 방향과 동일 평면 상에 있지 않은,

광학 컴포넌트.

청구항 7

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광학 컴포넌트는 포토닉(photonic) 통합 컴포넌트인,

광학 컴포넌트.

청구항 8

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 도파관들 중 적어도 하나는 각 광학 경로를 따라 상기 샘플 영역을 향해 상기 수신된 광을 가이드하도록 배열되고, 상기 광학 경로는 상기 샘플 영역을 향하는 방향으로 증가되는 폭을 갖는,

광학 컴포넌트.

청구항 9

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 도파관들 중 적어도 하나는 상기 샘플 영역으로 광을 보내도록 배열된 단부 단면(end facet)을 포함하는,

광학 컴포넌트.

청구항 10

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 도파관들 중 적어도 하나는 상기 도파관에 의해 수신된 광의 소산장 컴포넌트만을 상기 샘플 영역으로 보내도록 배열되는,

광학 컴포넌트.

청구항 11

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광학 컴포넌트는 샘플을 고정하기 위한 샘플 우물을 정의하는,

광학 컴포넌트.

청구항 12

제11항에 있어서,

코어층 및 광학 클래딩 층을 포함하되, 상기 샘플 우물은 상기 광학 클래딩 층과 상기 코어층에 의해 적어도 부

분적으로 정의되는,
광학 컴포넌트.

청구항 13

광학 컴포넌트의 샘플 영역을 조명하기 위한 방법으로서,
제1 도파관, 추가 도파관 및 광학 분배기를 포함하는 광학 컴포넌트를 제공하는 단계;
상기 광학 분배기에서 입력 광을 수신하는 단계;
상기 광학 분배기의 제1 출력부로부터 상기 제1 도파관에 제1 입력 광을 수신하는 단계;
상기 제1 입력 광을 제1 방향으로 제1 경로를 따라 상기 샘플 영역으로 보내도록 상기 제1 도파관 내에서 내부 전반사를 사용하는 단계;
상기 광학 분배기의 제2 출력부로부터, 제2 입력 광을 제2 방향으로 제2 경로를 따라 상기 샘플 영역으로 보내는 단계 - 상기 제2 방향은 상기 제1 방향과 상이함 - ;
상기 추가 도파관에 제3 입력 광을 수신하는 단계;
상기 제3 입력 광을 제3 방향으로 제3 경로를 따라 상기 샘플 영역으로 보내도록 상기 추가 도파관 내에서 내부 전반사를 사용하는 단계 - 상기 제3 방향은 상기 제1 방향 및 상기 제2 방향과 상이하고, 상기 제1, 제2 및 제3 방향은 동일 평면 상에 있음 - ; 및
상기 샘플 영역에서 주기적 광 패턴을 형성하기 위해, 상기 제1 입력 광과 상기 제2 입력 광을 간섭시키거나, 상기 제1, 제2 및 제3 입력 광을 함께 간섭시키는 단계를 포함하는,
방법.

청구항 14

구조화 조명 현미경 검사를 사용하여 샘플을 이미징하는 방법으로서,
제13항에 기재된 주기적 광 패턴으로 광학 컴포넌트의 샘플 영역을 조명하는 단계;
상기 샘플 영역으로부터 방사되는 광을 집광하는 단계; 및
상기 집광된 광으로 구조화 조명 현미경 검사를 수행하는 단계를 포함하는,
방법.

청구항 15

구조화 조명 현미경 검사를 사용하여 샘플 영역 내의 샘플을 이미징하기 위한 시스템으로서,
광 주입 장치;
제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 기재된 광학 컴포넌트;
상기 샘플 영역으로부터 방사되는 광을 집광하도록 배열된 대물 렌즈; 및
상기 집광된 광으로 구조화 조명 현미경 검사를 수행하도록 배열된 이미징 유닛을 포함하는,
시스템.

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 주기적 광 패턴으로 샘플을 조명하는 광학 컴포넌트, 시스템 및 방법에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 배타적인 것은 아니나, 구조화 조명 현미경 검사(Structured Illumination Microscopy; SIM)를 사용하여 샘플을 이미징하는 광학 컴포넌트, 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 광학 현미경 검사는 세포와 같은 생물학적 샘플을 보기 위해 조직학(histology), 세포 생물학(cell biology) 및 관련 분야 내에서 사용된다. 그러나, 광학 현미경의 분해능은 광의 회절 한계로 인해 제한된다. 이러한 한계는 가시광 현미경의 해상도를 약 200 내지 300 nm로 제한한다. 이러한 한계를 극복하기 위해, 당업계에서 "나노스 코피(nanoscopy)", "초고해상도 이미징(super-resolution imaging)" 또는 "초고해상도 현미경 검사(super-resolution microscopy)"로 불리는 몇몇 기술들이 개발되어 왔다.

[0003] 이러한 초고해상도 이미징 기술은 200 nm보다 더 미세한 해상도로, 가능하게는 20 내지 50 nm까지 낮은 해상도로 생물학적 샘플을 이미징할 수 있다. 이들은 일반적으로 생물학적 샘플에 부착되거나, 또는 생물학적 샘플 내에 임베디드된 광 전환 형광단(photo-switchable fluorophores) 또는 양자점(quantum dots)과 같은 마커들(markers)로부터 방출된 광을 처리한다. 이러한 초고해상도 기술에 대한 주지의 예들로는 구조화 조명 현미경 검사(SIM) 및 자극 방출 억제 현미경 검사(Stimulated Emission Depletion Microscopy; STED)와 같은 양상불 기술과, 광 활성화 국지 현미경 검사(Photo-Activated Localization Microscopy; PALM) 및 확률 재구성 광학 현미경 검사(Stochastic Optical Reconstruction Microscopy; STORM)와 같은 단일 분자 위치결정 기술을 포함한다.

[0004] 단일 분자 위치결정 기술은 일반적으로 더 나은 해상도(예컨대, 20-50 nm)를 제공하지만, 일반적으로 양상불 기술보다 느리기 때문에 일반적으로 살아있는 세포 샘플을 이미징하는데 적합하지 않다.

[0005] 일반적으로, STED는 약 30 nm의 실제 광학 해상도를 갖고 있다. 그러나, 이는 스캐닝 기반 기술(예컨대, 래스터(raster) 캐닝 기반 기술)이기 때문에, 이 또한 살아 있는 세포 이미징에 잘 맞지 않는 느린 이미징 속도(광시야의 경우 약 0.1 Hz)를 겪는다. 이 문제는 광시야가 필요할 때(즉, 큰 샘플 영역을 스캔해야 할 때) 악화된다. 게다가, STED 기술은 일반적으로 발광 마커들(예컨대, 형광단)을 여기시키기 위해 고분해능 조명을 필요로 하며, 이는 광표백 효과(photo-bleaching effects) 및 광독성(photo-toxicity)으로 이어질 수 있기 때문에 문제가 된다.

[0006] SIM 기반 기술에서, 샘플은 각기 다른 주기적 광 패턴으로 조명된다. 일반적으로, 주기적 광 패턴은 회절 격자를 사용하여 생성되는 주기적 스트라이프 광 패턴(periodic striped light pattern)이다. 이미징 처리 동안, 주기적 광 패턴의 프린지(fringes)는 복수의 각기 다른 주기적 광 패턴들로 샘플을 생성 및 조명하기 위해, 일반적으로 일련의 프레임들에 걸쳐 샘플에 대해 시프트되고, 샘플에 대해 회전도 된다. 그런 다음, 샘플의 초고해상도 이미지는 각기 다른 조명 패턴으로부터 발생하는 발광 마커들로부터 각기 다른 방출 패턴의 푸리에 분석에 기반하여 구성될 수 있다. 이러한 방출 패턴은 주기적 조명 패턴으로 인한 모아레 효과 때문에, 이미징 시스템의 해상도 한계를 넘는 샘플의 구조에 대한 정보를 보여준다.

[0007] 종래 SIM 셋업은 일반적으로 약 100-130 nm의 광학 해상도를 가지며, STED 및 단일 분자 위치결정 셋업보다 더

빠른 이미지를 획득한다(예컨대, 광시야의 경우 약 0.1-1 Hz의 SIM 이미징 속도가 일반적이다). 더욱이, 스캐닝 기반 설정과 달리, 종래 SIM 기반 설정은 샘플의 광시야 이미지(예컨대, 50-100 μm^2 이상)를 단일 샷(single shot)으로 캡처할 수 있다. 그러나, 종래 SIM 기반 설정에 의해 제공된 이미징 속도의 개선은 일반적으로 많은 실제 살아 있는 세포 실험에 여전히 충분히 빠른 것으로 간주되지 않는다.

[0008] SIM 설정의 이미징 속도를 증가시키기 위해, 이미지가 촬영되는 시야를 줄이는 것이 가능하다. 이러한 접근 방법을 사용하여, 8 μm x μm 시야에서 11 Hz의 속도로 이미지를 촬영하는 SIM 기반 설정이 보고되었다. 그러나, 시야를 줄이는 것은, 광시야가 필요한 경우, 샘플 및 이미징 장치 전체 샘플의 합성 이미지를 얻기 위해 서로에 대해 재위치되고 재정렬될 필요가 있기 때문에, 대체로 바람직하지 않다. 이는 살아있는 세포 샘플을 이미징할 때 특히 문제가 된다. 일부 구조화 광 이미징 셋업은 주기적 광 패턴을 시프트 및/또는 회전시키기 위해 이동 가능한 렌즈, 스테이지, 이동 가능한 격자 또는 미러와 같은 광기계식 배열을 이용한다. 이러한 셋업의 문제는 이미징 속도가 이러한 컴포넌트들이 이동하는 속도에 의해 제한된다는 것이다.

[0009] 미국 특허 제6,255,642 B1호(Massachusetts Institute of Technology)는, 예를 들어, 샘플에 대해 프린지를 시프트하는데 사용되는 이동식 미러를 포함하는 시스템을 기술한다.

[0010] 일반적으로, SIM 유형 셋업의 광학 해상도는 주기적 광 패턴의 프린지 간격(예컨대, 스트라이프 조명 패턴에서 프린지들 간 간격)에 의해 제한된다. 그러나 다른 인자들(factors)이 해상도를 더 제한할 수 있다. 예를 들어, 종래 SIM 셋업에서, 조명 패턴이 이미징 대물 렌즈로 형성되는 경우, 광학 해상도는 대물 렌즈의 회절 한계에 의해 더 제한될 수 있다. 대물 렌즈의 회절 한계는 $\lambda_0 / (2 * \text{N.A.})$ 로 주어지며, 여기서 λ_0 는 파장이고, N.A.는 대물 렌즈의 개구수이다. SIM의 해상도 증강 인자는 주어진 대물 렌즈의 2배, 즉 $\lambda_0 / (4 * \text{N.A.})$ 이며, 일반적으로 가시 파장(500-650 nm)의 경우 100-300 nm이다. 많은 어플리케이션(예: 살아 있는 세포 이미징 어플리케이션)에서, SIM 셋업의 광학 해상도를 증가시키는 것이 바람직하다.

[0011] 본 발명은 초고해상도 현미경 검사에 적합한 주기적 광 패턴을 생성하기 위한 주지의 접근 방법들에서 이러한 결점들의 적어도 일부를 해결하는 것을 목적으로 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 제1 양태로부터, 본 발명은 주기적 광 패턴으로 샘플 영역을 조명하는 광학 컴포넌트를 제공하며, 상기 광학 컴포넌트는 제1 도파관, 추가 도파관 및 광학 분배기(optical splitter)를 포함하되, 상기 광학 분배기는 (i) 입력광을 수신하는 입력부, (ii) 제1 출력부, 및 (iii) 제2 출력부를 가지며,

[0013] 광학 분배기의 제1 출력부는 제1 입력 광을 제1 도파관으로 보내도록 제1 도파관에 광학적으로 결합되고;

[0014] 제1 도파관은 제1 입력 광을 제1 방향으로 제1 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열되고;

[0015] 광학 분배기의 제2 출력부는 제2 입력 광을 제2 방향으로 제2 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 샘플 영역에 광학적으로 결합되고;

[0016] 추가 도파관은 제3 입력 광을 수신하고, 제3 방향으로 제3 경로를 따라 샘플 영역으로 제3 입력 광을 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열되고;

[0017] 제2 방향은 제1 방향과 상이하여, 사용 시, 샘플 영역에 주기적 광 패턴을 형성하기 위해 제1 입력 광이 제2 입력 광과 간섭하도록 하고; 그리고

[0018] 제3 방향은 제1 방향 및 제2 방향과 상이하다.

[0019] 제2 양태로부터, 본 발명은 제1 도파관, 추가 도파관 및 광학 분배기를 포함하는 광학 컴포넌트의 샘플 영역을 조명하는 방법을 제공하는 것으로, 상기 방법은,

[0020] 광학 분배기에서 입력 광을 수신하는 단계;

[0021] 광학 분배기의 제1 출력부로부터 제1 도파관에 제1 입력 광을 수신하는 단계;

[0022] 제1 입력 광을 제1 방향으로 제1 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 제1 도파관 내에서 내부 전반사를 사용하

는 단계;

- [0023] 광학 분배기의 제2 출력부로부터, 제2 입력 광을 제2 방향으로 제2 경로를 따라 샘플 영역으로 보내는 단계로서, 제2 방향은 제1 방향과 상이한, 단계;
- [0024] 추가 도파관에 제3 입력 광을 수신하는 단계;
- [0025] 제3 방향으로 제3 경로를 따라 제3 입력 광을 샘플 영역으로 보내도록 추가 도파관 내에서 내부 전반사를 사용하는 단계로서, 상기 제3 방향은 상기 제1 및 상기 제2 방향들과 상이한, 단계; 및
- [0026] 샘플 영역에 주기적 광 패턴을 형성하기 위해, 제1 입력 광과 제2 입력 광을 간섭시키거나, 또는 제1, 제2 및 제3 입력 광을 함께 간섭시키는 단계를 포함한다.
- [0027] 본 발명에 따르면, 당업자는 단일 광학 컴포넌트(예컨대, 광학 칩)가 상기 샘플 영역에서 다양한 2개 및 3개의 빔 간섭 패턴들을 형성하기 위해 3 개의 개별 광선들을 동시에 또는 각기 다른 시간에 샘플 영역으로 보낼 수 있다는 것을 알 수 있을 것이다.
- [0028] 샘플 영역 내에서 적어도 두 개의 광선들을 직접 또는 비스듬하게 서로를 향해 보내는 것은 빔들이 게 할 것이라는 것이 이해될 것이다. 이 간섭은 샘플 영역 내의 샘플을 조명하기에 적합한 주기적 광 패턴(즉, 주기적 간섭 패턴)을 생성할 것이다. 주기적 광 패턴으로 샘플을 조명하는 것은 예를 들어 조명 패턴이 샘플에서 형광을 여기시키는 초고해상도 현미경 검사(예컨대, SIM 이미징)와 같은 어플리케이션들에 유용하다. 일부 실시예들에서, 샘플로부터의 발광 패턴(즉, 형광 발광 패턴)은 주지의 SIM 프로세싱 방법들을 사용하여 이미징되고 분석될 수 있다.
- [0029] 샘플 영역 내에서 간섭하도록 하기 위해 샘플 영역 내에서 각기 다른 방향들을 따라 광선들을 생성 및 보내기 위한 복수의 개별 광-기계적 컴포넌트들에 대한 필요성을 방지함으로써, 이 단일 광학 컴포넌트는 기존 SIM 이미징 설정에 포함된 많은 배열 복잡성을 방지한다. 또한, 이러한 컴포넌트의 사용을 줄이거나 제거함으로써, 광학 컴포넌트는 SIM 이미징을 위한 훨씬 더 작고, 저렴하며 덜 복잡한 셋업을 용이하게 할 수 있다.
- [0030] (제1) 광학 분배기는 하나의 입력 광선(예를 들어, 상기 입력 광)으로부터 주기적 광 패턴을 생성하기 위해 적어도 두 개의 광선들(예를 들어, 상기 제1 입력 광과 제2 입력 광)이 형성되게 할 수 있다. 광학 분배기의 두 출력부들과 샘플 영역 간 경로 길이의 임의의 차이는 정확히 유지될 수 있는데, 이는 외부 컴포넌트의 정확한 정렬에 의존하지 않기 때문이다.
- [0031] 일부 실시예들에서, 이 하나의 입력 광선은 광학 컴포넌트의 단일 면에서 수신될 수 있으며, 따라서 완전한 이미징 시스템에 광학 컴포넌트를 통합하는 것이 비교적 용이하게 될 수 있다. 제3 입력 광도 광학 컴포넌트의 동일면에서 수신될 수 있다.
- [0032] 따라서, 도파관 분배기는 적어도 두 개의 간섭 빔들을 생성하기 위해 입력 광을 유리하게 분리하기 때문에 단일 광학 컴포넌트는 3개의 빔 간섭 패턴을 생성하기 위해 3개 미만의 입력 광선들을 수신할 수 있다. 예를 들어, 도파관 분배기는 그 입력부에서 입력 광을 수신하고, 제1, 제2 및 제3 입력 광을 생성하도록 배열될 수 있다. 이 경우, 제3 입력 광은 광학 분배기의 제3 출력부로부터 추가 도파관으로 보내질 수 있다. 이는 3 개의 빔 간섭 패턴이 광학 분배기의 입력부에서 수신된 단일 입력 광선으로부터 샘플 영역 내에서 생성되게 할 수 있으며, 복수의 개별 광학 요소들의 세심한 정렬에 대한 필요성을 더욱 감소시킨다.
- [0033] 선택적으로, 광학 컴포넌트는 추가 도파관을 포함할 수 있다. 편의상, 이 추가 도파관은 이후 "제2 도파관(second waveguide)"으로 불리게 될 것이다. 분배기의 제2 출력부는 제2 입력 광을 제2 도파관을 통해 샘플 영역으로 보내도록 배열될 수 있다. 제2 도파관은 제2 입력 광을 제2 방향으로 제2 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열될 수 있다. 또한, 편의상, 앞서 언급된 "추가 도파관(further waveguide)"은 본 명세서에서 "제3 도파관(third waveguide)"으로 불리게 될 것이나, 일부 실시예들에서 - 예를 들어, 광학 분배기의 제2 출력부가 샘플 영역으로 직접 결합되는 경우 - "제2 도파관"은 존재하지 않는다는 것이 이해될 것이다.
- [0034] 광이 제1, 제2 및 제3 방향으로 동시에 보내지는 경우, 샘플 영역 내에서 결과적인 주기적 간섭 패턴은 제1, 제2 및 제3 광선 간섭의 결과일 것이다. 이러한 방식으로 적어도 3개의 빔으로 주기적 간섭 패턴을 생성하는 것은 두 개의 빔 간섭 패턴보다 더 많은 프린지를 갖는 패턴을 생산할 수 있다. 프린지의 수를 증가시키는 것은 스펙클(speckle) SIM 기법들을 사용할 때와 같은 특정 이미징 조건들 하에서 SIM 이미징 품질을 향상시키는데 유용할 수 있다. 프린지 위치들은 이웃하는 빔들의 쌍들 사이의 각도 오프셋에 의해 부분적으로 결정될 수 있다. 프

린지 위치들을 변경시키는 것은 ISM 이미지 품질을 조정하는데 유용할 수 있다. 특히, 도파관에 의해 형성된 프린지 패턴은 높은 굴절률 물질 - 예를 들어, 2 이상의 유효 굴절률을 주는 물질로 도파관들을 제조함으로써 종래 SIM 및 종래 스펙클 SIM에서 일반적으로 사용된 대물 렌즈에 의해 생성된 프린지보다 작게 만들어질 수 있다. 선택적으로, 제1, 제2 및 제3 방향들은 (위치 없는 벡터로 간주될 경우) 동일 평면(coplanar)상에 있다. (방향뿐만 아니라 위치를 갖는) 관련 제1, 제2 및 제3 경로는 바람직하게는 공통 평면에 놓인다. 대안으로, 제3 방향은 제1 및 제2 방향들과 동일 평면 상에 있지 않을 수 있다. - 예를 들어, 제3 방향은 제1 및 제2 방향들을 포함하는 평면에 직교할 수 있다.

[0035] 제3 도파관은 광학 분배기의 제3 출력부로부터 제3 입력 광을 수신하도록 선택적으로 배열될 수 있다. 이 방식으로, 광학 컴포넌트는 하나의 입력 광선만으로 3개의 빔 간섭 패턴을 생성할 수 있다. 본 발명의 실시예들은 종래 원거리 광학계(far-field optics)를 사용하여 달성될 수 있는 것보다 더 복잡한 조명 광 패턴들이 생성될 수 있게 한다.

[0036] 일부 실시예들에서, 광학 컴포넌트는 제4 입력 광을 수신하고 제4 입력 광을 제1, 제2 및 제3 방향들과 상이한 제4 방향으로 제4 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열된 제4 도파관을 포함한다.

[0037] 이 경우, 당업자들은, 동시에 모두 할 필요는 없지만, 단일 광학 컴포넌트(예컨대, 광학 칩)가 4 개의 개별 광선을 형성하고 이들을 각기 다른 방향들을 따라 샘플 영역으로 보낸다는 것을 알 수 있을 것이다. 특히, 두 개의 상이한 광선 쌍들이 형성되고 각기 다른 방향들을 따라 샘플 영역으로 보내질 수 있다. 예를 들어, 광학 분배기의 제1 도파관으로부터의 제1 입력 광, 및 제2 도파관으로부터의 제2 입력 광은 제1 간섭 광선들의 쌍을 형성하기 위해 샘플 영역으로 보내질 수 있다. 추가 도파관으로부터의 제3 입력 광과 제4 도파관으로부터의 제4 입력 광은 제2 간섭 빔들의 쌍을 형성하기 위해 샘플 영역으로 보내질 수 있다. 이러한 방식으로, 각기 다른 간섭 빔들의 쌍은 광학 분배기에서 입력 광을 선택적으로 수신하거나 추가 및 제4 도파관들에서 제3 및 제4 입력 광을 수신함으로써 각기 다른 시간에서 활성화될 수 있다. 이는 SIM 이미징 프로세스에 적합한, 샘플 영역에 대해 상이한 방향들에서 적어도 두 개의 구별되는 간섭 패턴들의 생성을 용이하게 한다. 물론, 제4 빔 간섭 패턴은 또한 광학 분배기에서 입력 광을 수신하고 추가 및 제4 도파관에서 제3 및 제4 입력 광을 수신함으로써 샘플 영역에서 생성될 수 있다.

[0038] 따라서, 본 발명을 구현하는 방법들은 다음의 단계들은,

[0039] 광학 컴포넌트의 제4 도파관으로부터 제4 입력 광을 수신하는 단계;

[0040] 제4 입력 광을 제4 방향으로 제4 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 제4 도파관 내에서 내부 전반사를 사용하는 단계로서, 제4 방향은 제1, 제2 및 제3 방향들과 상이한, 단계;

[0041] 샘플 영역에서 제1 주기적 광 패턴을 형성하도록 제1 입력 광과 제2 입력 광을 간섭시키는 단계; 및

[0042] 샘플 영역에서 제2 주기적 광 패턴을 형성하도록 제3 입력 광과 제4 입력 광을 간섭시키는 단계를 포함한다.

[0043] 선택적으로, 제3 도파관은 광학 분배기의 제3 출력부로부터 제3 입력 광을 수신할 수 있다. 제4 도파관은 광학 분배기의 제4 출력부로부터 제4 입력 광을 수신할 수 있다. 대안으로, 광학 컴포넌트는 제2 광학 분배기를 포함할 수 있으며, 제3 도파관은 제2 광학 분배기의 출력부로부터 제3 입력 광을 수신하도록 배열될 수 있다. 제4 도파관은 제2 광학 분배기의 다른 출력부로부터 제4 입력 광을 수신할 수 있다.

[0044] 제1 간섭 광선들의 쌍은 샘플 영역 내에서 제1 주기적 광 패턴을 형성할 수 있음이 이해될 것이다. 제2 간섭 광선들의 쌍은 샘플 영역 내에서 제2 주기적 광 패턴을 형성할 수 있다. 제2 주기적 광 패턴은 바람직하게는 제1 주기적 광 패턴과 샘플 영역에 대해 다르게 배향된다. 제1 및 제2 주기적 광 패턴들은 선형 프린지를 형성할 수 있다. 제1 주기적 광 패턴의 선형 프린지는 샘플 영역의 축에 수직으로 연장될 수 있으며, 제2 주기적 광의 선형 프린지는 샘플 영역의 다른 축에 수직으로 연장될 수 있다.

[0045] 사용 시, 광은 샘플 영역에서 제1 주기적 광을 형성하기 위해, 광을 제1 방향 및 제2 방향으로 동시에 샘플 영역으로 보내기 위해 광학 분배기로 보내질 수 있다. 추가로 또는 대안으로, 광은 샘플 영역에서 제2 주기적 광 패턴을 형성하기 위해, 광이 제4 방향으로 샘플 영역으로 보내지는 것과 동시에 제3 방향으로 샘플 영역으로 보내질 수 있다. 대안으로 또는 추가로, 광은 샘플 영역에서 제3 주기적 광 패턴을 형성하기 위해, 광이 제1 및 제2 방향으로 샘플 영역으로 보내지는 것과 동시에 제3 방향으로 샘플 영역으로 보내질 수 있다. 대안으로 또는 추가로, 광은 샘플 영역에서 제4 주기적 광 패턴을 형성하기 위해, 광이 제1 및 제2 방향으로 샘플 영역으로 보

내지는 것과 동시에 제4 방향으로 샘플 영역으로 보내질 수 있다. 대안으로 또는 추가로, 광은 샘플 영역에서 제5 주기적 광 패턴을 형성하기 위해, 광이 제1 및 제2 방향으로 샘플 영역으로 보내지는 것과 동시에 제3 및 제4 방향으로 샘플 영역으로 보내질 수 있다. 이 마지막 경우, 4개의 빔 간섭 패턴이 생성된다.

[0046] 광학 컴포넌트는 바람직하게는 광학 가이드 층(즉, 코어층)을 포함한다. 광학 컴포넌트는 바람직하게는 광학 가이드 층의 광의 일부 또는 전부를 보냄으로써 대기로부터 입력 광의 일부 또는 전부를 차단하도록 배열된다. 이 광학 가이드 층은 바람직하게는 공기는 아니다(물론, 이는 공기에 인접되거나 공기에 의해 둘러싸여질 수 있다); 이는 바람직하게는 고체(solid)이다. 이런 방식으로, 광학 컴포넌트는 대기에서의 랜덤 변동으로 인한 - 예를 들어, 공기 흐름 및 공기 조성의 변동으로 인한 - 간섭 패턴의 변동을 최소화하거나 피할 수 있으며, 그렇지 않으면 간섭 빔들 사이에서 랜덤 위상 시프트로 이어질 수 있으며, 따라서 간섭 패턴에서의 바람직하지 않은 불안정성으로 이어질 수 있다.

[0047] 또한, 도파관 분배기에 의해 형성된 간섭 빔들은 동일한 입력 광으로부터 도출되기 때문에, 도파관 분배기에 들어가기 전에 - 원인에 상관없이 - 입력 광에 의해 경험된 임의의 시간 변동은 동일한 방식으로 각각의 간섭 빔에 영향을 미칠 것으로 예상될 수 있다. 이와 같이, 변동은 간섭 빔들 간 상대 위상 시프트를 야기하지 않아야 한다. 따라서, 본 발명의 실시예들에 의해 생성된 간섭 패턴은 예를 들어 자유 공간에서 전파 광 필드를 사용하는 대안적인 SIM 기법으로 형성된 패턴들보다 더 안정적일 수 있다.

[0048] 바람직한 실시예 세트에서, 광학 컴포넌트는 샘플 영역의 샘플로부터 방출된 광을 집광하는 대물 렌즈를 사용하는 이미징 유닛을 포함하는 시스템에 사용된다. 대물 렌즈는 이미징 유닛의 일부이거나, 개별 컴포넌트일 수 있다. 종래 SIM 기법들은 간섭 패턴을 생성하기 위해, 그리고 또한 샘플을 이미징하기 위해, 샘플 영역에 광을 보내도록 동일한 대물 렌즈를 사용한다. 그러나, 본 발명의 실시예들은 이미징 렌즈와 무관하게 샘플 상에 광을 보내기 위해 광학 컴포넌트를 사용한다. 따라서, 이미징 유닛의 대물 렌즈는 샘플로부터 광을 집광하기 위해서만 최적화될 수 있다. 특히, 렌즈는 조명 광을 매우 미세하게 포커싱할 필요가 없기 때문에 종래 기법들에 비해 낮은 개구 수의 렌즈가 사용될 수 있으며, 광학 해상도의 손실 없이 샘플을 보다 광범위하게 이미징하기 위해 더 넓은 시야를 유리하게 제공할 수 있다. 샘플 영역이 광학 분배기의 일 면에 인접할 경우, 이미징 유닛은 샘플 영역으로부터 직접 광을 집광할 수 있거나 - 예를 들어, 대물 렌즈는 샘플 영역과 동일한 광학 컴포넌트의 면에 위치될 수 있다 - 또는 이미징 유닛은 샘플 영역으로부터 광학 컴포넌트를 통해 전달되는 광을 집광할 수 있다 - 예를 들어, 대물 렌즈를 광학 컴포넌트의 반대면에 샘플 영역으로 위치된다.

[0049] 바람직하게는, 광학 컴포넌트는 포토닉 통합 컴포넌트이다. 즉, 예를 들어, 광학 컴포넌트는 포토닉 통합 회로(photonic integrated circuit; PIC) 또는 집적 광학 회로일 수 있다. 일반적으로, PIC는 그들 사이에 적어도 하나의 도파관(예를 들어, 1 차원 도파관 또는 2차원 도파관)을 갖는 적어도 두 개의 섹션을 포함할 것이다.

[0050] 광학 컴포넌트는 바람직하게는 단일체의(monolithic) 컴포넌트이다. 바람직하게는 독립적으로 이용 가능한 부분을 포함하지 않는다. 광학 컴포넌트의 요소들(예를 들어, 광학 분배기(들), 도파관(들) 및 샘플 영역(들))은 바람직하게는 직접적으로 또는 간접적으로 서로 접합된다. 그들은 공통 기판상에서 성장하거나 증착될 수 있다. 광학 컴포넌트의 요소들은 반도체 물질 및 유전체 물질(예컨대, 산화 실리콘) 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 반도체 물질 및/또는 유전체 물질은 기판(예를 들어, 유리, 실리콘 또는 그룹 III-IV 물질 기판) 상에서 성장할 수 있다. 예를 들어, 반도체 물질 및/또는 유전체 물질은 에피택셜(epitaxial) 프로세스(예컨대, 분자 빔 에피택시) 또는 증착 프로세스(예컨대, 스퍼터링 프로세스 또는 화학적 증기 증착)에 의해 성장될 수 있다. 광학 컴포넌트의 요소들은 광학 컴포넌트의 기판 상에 단일체로 통합될 수 있으며, 기판은 평면 기판일 수 있다. 요소들을 통합하는 것은 광학 컴포넌트에 의해 수신된 입력 광이 변동 환경(예컨대, 변동 온도)의 영향으로부터 차폐되는 것을 더 보장한다. 따라서, 본 명세서에 개시된 광학 컴포넌트들은 간섭 광선들의 위상 변동을 줄이기 위해 동시에 광을 보내고 광을 차단하는 기능을 한다는 것이 이해될 것이다. 이러한 방식으로, 개별 광-기계식 컴포넌트들은 (i) 광을 가이드하고, (ii) 온도, 습도 및/또는 기류의 변화들로부터 광을 차단하는 것이 필요하지 않다. 따라서, 유리하게는, 본 명세서에 개시된 광학 컴포넌트들은 종래 배열 보다 더 작고 더 저렴하게 만들어질 수 있다.

[0051] 광학 컴포넌트의 기판은 실리콘 또는 유리일 수 있거나, 실리콘 또는 유리를 포함할 수 있다. 기판은 바람직하게는 160-170 마이크로미터와 같은 200 마이크로미터 미만의 최대 또는 평균(예: 평균(mean)) 두께를 갖는다. 일부 실시예들에서, 기판은 광이 기판을 통해 샘플 영역으로 집광되게 하기 위해 투명할 수 있다.

[0052] 일부 실시예들에서, 제1 방향은 제2 방향과 평행하고 대향될 수 있다. 따라서, 샘플 영역 내의 제1 및 제2 입력 광은 상대 전파 빔들(counter propagating beams)일 수 있다. 두 개의 상대 전파 빔들을 간섭시킴으로써 생성된

주기적 간섭 패턴은 일반적으로 실질적으로 스트라이프일 수 있다.

- [0053] 일부 다른 실시예들에서, 제2 방향은 180도 미만의 각도에서 제1 방향에 대해 각도로 오프셋 될 수 있다. 선택적으로, 각도 오프셋은 20도, 40도, 60도, 80도, 100도, 120도, 140도 또는 160도 미만일 수 있다.
- [0054] 일반적으로, 본 발명의 실시예들에 의해 생성된 주기적 광 패턴은 임의의 형태를 가질 수 있다. 이는 임의의 특정 공간 주기로 또는 임의의 특정 수의 주기 반복으로 제한되지 않는다(공통 요소의 3개의 인스턴스들은 일반적으로 주기적 구조를 갖는 패턴을 수립하기 위해 최소일 것이지만, 수백만 번 이상의 반복이 있을 수 있다). 패턴은 단순 - 예를 들어, 직선 스트라이프 - 하거나, 보다 복잡 - 예컨대, 규칙적이 구조를 나타내는 스폿(spot) 패턴일 수 있다. 패턴은 1차원에서만 또는 2차원이나 3차원에서 주기적일 수 있다. 각 차원에서의 주기는 다를 수 있다. 임의의 한 차원에서의 주기는 패턴이 주기적으로 보여지는 것을 방해하지 않으면서 패턴에 전반에 걸쳐 - 예를 들어, 중심 영역으로부터 멀리 떨어진 거리에 따라 천천히 증가함 - 변할 수 있다는 것이 이해될 것이다.
- [0055] 일반적으로, 프린지 주기는 $\lambda_0 / 2 \cdot n_{\text{eff}} \cdot \sin\phi$ 와 같을 것이며, 여기서 λ_0 는 제1 및 제2 방향들에서 보내진 광의 파장이고, n_{eff} 는 가이드된 모드의 유효 굴절률이며, $\sin\phi$ 는 제1 및 제2 방향들 간 오프셋 각도이다. 이 공식은 파장 및 오프셋 각도의 적절한 선택에 의해 원하는 프린지 주기가 생성되게 한다. 방향 쌍들 사이의 오프셋 각도가 모두 동일하지 않은 경우, 이는 심지어 입력 광의 동일한 파장의 경우에도(각기 다른 방향에서도) 프린지 패턴이 다른 주기들로 생성되게 할 수 있다. 프린지 주기를 쉽게 변경할 수 있다는 것은 예를 들어, 낮은 배율 및 낮은 개구수의 대물 렌즈를 사용하여 이미징할 때(광시야를 가능하게 하기 위해), 푸리에 공간을 채우기 위해 조명 패턴의 프린지 주기를 변경하는 것이 필요할 수 있는 특정 이미징 어플리케이션에 유용할 수 있다.
- [0056] 이전에 언급한 바와 같이, 일부 실시예들에서, 광학 컴포넌트는 제4 입력광을 수신하고 제4 입력 광을 제4 광선으로서 제1, 제2, 및 제3 방향들과 상이한 제4 방향으로 제4 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열된 제4 도파관을 포함할 수 있다.
- [0057] 일부 실시예들에서, 제1, 제2, 제3 및 제4 방향들은 (위치 없는 벡터로 간주될 때) 동일 평면상에 있다. 제1 및 제2 경로들은 샘플 영역을 통해 제1 축을 따라 그러나 반대 방향으로 놓일 수 있다. 제3 및 제4 방향들은 샘플 영역을 통해 제2 축을 따라 그러나 반대 방향으로 놓일 수 있다. 제2 축은 제1 축으로부터 각도로 오프셋 될 수 있다. 제1 축과 제2 축 사이의 각도 오프셋은 90도와 같을 수 있지만, 축들은 바람직하게는 90도 미만의 예각으로 오프셋되며, 10도, 20도, 30도, 40도, 45도, 50도, 60도, 70도, or 80도일 수 있다.
- [0058] 다른 실시예들에서, 제3 방향은 180도 미만의 각도에서 제1 방향에 대해 각도로 오프셋될 수 있다. 각도 오프셋은 20도, 40도, 60도, 80도, 100도, 120도, 140도 또는 160도 미만일 수 있다. 제4 방향은 180도 미만의 각도에서 제3 방향에 대해 각도로 오프셋될 수 있다. 각도 오프셋은 20도, 40도, 60도, 80도, 100도, 120도, 140도 또는 160도 미만일 수 있다.
- [0059] 제4 도파관은 광학 분배기의 제4 출력부로부터 제4 입력 광을 수신하도록 배열될 수 있다. 이러한 방식으로, 광학 컴포넌트는 하나의 입력 광선만으로 4개의 빔 간섭 패턴을 생성할 수 있다.
- [0060] 대안으로, 제4 도파관은 제2 광학 분배기의 제2 출력부로부터 제4 입력 광을 수신하도록 배열될 수 있다. 이러한 방식으로, 광학 컴포넌트는 입력 광이 제1 광학 분배기에서 수신되는지 또는 제2 광학 분배기에서 수신되는지에 따라 제1 및 제2 광선 간섭에 의해(예를 들어, 샘플 영역을 통해 제1 축을 따라) 간섭 패턴을 생성하는 것과, 제3 및 제4 광선 간섭에 의해(예를 들어, 샘플 영역을 통해 제2 축을 따라) 간섭 패턴을 생성하는 것 사이에서 전환될 수 있다.
- [0061] 일부 실시예들에서, 광학 컴포넌트는 입력 광을 제5, 제6, 제7, 제8 또는 그 이상의 다른 방향들로 각 경로들을 따라 샘플 영역으로 보내도록 배열된다. 한 실시예 세트에서, 광학 컴포넌트는 광을 각각의 3개의 다른 축들을 따라 반대 방향으로 샘플 영역으로 보내도록 배열된다. 광학 컴포넌트는 3개의 광학 분배기들을 포함할 수 있으며, 각각은 3 개의 축들 중 각 하나를 따라 각 반대 방향으로 광을 보내도록 배열되는 두 개의 각 도파관들에 결합되는 두 개의 출력부를 갖는다. 3개의 축들은 동일 평면상에 있을 수 있으며 규칙적으로 차례로 이격 - 즉, 서로에 대한 120도로 - 될 수 있다. 이는 샘플 영역 내의 샘플이 서로 120도로 회전된 3 개의 다른 방향들에서 프린지 패턴들로 조명되게 할 수 있으며, 이는 주지의 SIM 프로세싱 기법들이 쉽게 사용될 수 있게 한다.
- [0062] 일부 실시예들에서, 광학 컴포넌트는 샘플 영역에 광학적으로 결합된 격자(grating)를 포함할 수 있다. 광학 격자는 수신된 광을 제3 방향으로 제3 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 배열될 수 있다. 제3 도파관은 격자를

통해 제3 방향으로 샘플 영역으로 제3 입력 광을 보내도록 격자에 광학적으로 결합될 수 있다. 제3 도파관은 외부 소스로부터 - 예를 들어 본 명세서의 시스템에서 - 제3 입력 광을 수신할 수 있고, 광 주입 장치는 제3 입력 광을 제3 도파관으로 주입할 수 있다. 바람직하게는, 제1 방향 및 제2 방향으로 샘플 영역으로 보내진 광은 제1 평면에 놓이며, 제3 방향은 제1 평면에 놓이지 않는다. 제3 방향은 제1 평면에 수직일 수 있다.

- [0063] 대안으로, 제3 도파관은 제1 도파관으로부터 광의 적어도 일부를 수신하기 위해 선택적으로 제1 도파관에 결합될 수 있다. 제1 도파관과 제3 도파관의 광학적으로 결합된 배열은 방향성 커플러(예컨대, 소산 도파관 커플러)를 형성할 수 있다. 따라서, 제1 도파관으로 진입하는 광은 분리될 수 있어서, 수신된 광의 일부가 제1 도파관에서 전파되고, 수신된 광의 또 다른 일부가 제3 도파관으로 전파될 것이다.
- [0064] 광을 1 및 제2 방향과 동일한 평면에 놓이지 않는 제3 방향으로 샘플 영역으로 보내기 위한 광학 격자를 사용하도록 정렬되는, 일부 실시예들에서, 광학 컴포넌트는 제1 및 제2 입력 광을 각 제1 도파관 및 제2 도파관을 통해 샘플 영역으로 보내도록 배열될 수 있다. 출원인은 제1 도파관과 제2도파관이 광학 분배기로부터 광을 수신하는 것이 필수적인 것은 아니라는 것을 깨달았다.
- [0065] 따라서, 다른 양태로부터 주기적 광 패턴으로 샘플 영역을 조명하기 위한 광학 컴포넌트가 제공되며, 광학 컴포넌트는 광학 격자, 제1 도파관, 제2 도파관 및 제3 도파관을 포함하며,
- [0066] 제1 도파관은 제1 입력 광을 제1 방향으로 제1 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열되고;
- [0067] 제2 도파관은 제2 입력 광을 제2 방향으로 제2 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열되며;
- [0068] 제3 도파관은 제3 입력 광을 수신하고 제3 입력 광을 광학 격자에 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열되고;
- [0069] 광학 격자는 수신된 제3 입력 광을 제3 방향으로 제3 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 배열되며;
- [0070] 제1 방향과 제2 방향은 제1 평면에 포함된 상이한 방향들이고; 그리고
- [0071] 제3 방향은 제1 방향 및 제2 방향과 상이하고 제1 평면에 놓이지 않는다.
- [0072] 추가 양태로부터, 본 발명은 광학 컴포넌트의 샘플 영역을 조명하기 위한 방법을 제공하며, 상기 광학 컴포넌트는 광학 격자, 제1 도파관, 제2 도파관 및 제3 도파관을 포함하는, 상기 방법은,
- [0073] 제1 도파관에 제1 입력 광을 수신하는 단계;
- [0074] 제1 입력 광을 제1 방향으로 제1 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 제1 도파관 내에서 내부 전반사를 사용하는 단계;
- [0075] 제2 도파관에 제2 입력 광을 수신하는 단계;
- [0076] 제2 입력 광을 제2 방향으로 제2 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 제2 도파관 내에서 내부 전반사를 사용하는 단계;
- [0077] 제3 도파관에 제3 입력 광을 수신하는 단계;
- [0078] 제3 입력 광을 광학 격자에 보내도록 제3 도파관 내에서 내부 전반사를 사용하는 단계; 및
- [0079] 제3 입력 광을 제3 방향으로 제3 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 광학 격자를 사용하는 단계를 포함하며,
- [0080] 제1 방향과 제2 방향은 제1 평면에 포함된 상이한 방향들이고, 제3 방향은 제1 방향 및 제2 방향과 상이하고 제1 평면에 놓이지 않는다.
- [0081] 사용 시, 제1 입력 광, 제2 입력 광 및 (제1 및 제2 입력 광과 상이한 평면에서 이동하는) 제3 입력 광은 3 개의 빔 간섭 패턴을 형성하기 위해 샘플 영역 내에서 간섭된다는 것이 이해될 것이다. 결과적의 3개의 빔 간섭 패턴은 3D SIM 이미징에 특히 유용하는 것을 밝혀졌다.
- [0082] 본 발명의 다른 양태들과 관련하여 언급된 특징들 중 어느 하나도 이 양태의 특징들일 수 있다.
- [0083] 제1 입력 광과 제2 입력 광이 광학 분배기로부터의 제1 도파관과 제2 도파관으로 각각 보내지는 임의의 양태의 실시예들에서, 3 개의 빔 간섭 패턴이 단지 하나의 입력 빔으로부터 광학 분배기 및 제3 입력 광으로 편리하고

정확하게 생성될 수 있다. 제1 도파관으로부터 광의 적어도 일부를 제3 입력 광으로 수신하기 위해 제3 도파관이 제1 도파관에 광학적으로 결합되는 실시예에서, 3개의 빔 간섭 패턴이 광학 컴포넌트의 광학 분배기로 단 하나의 입력 빔으로부터 편리하고 정확하게 생성될 수 있음을 알 수 있을 것이다.

[0084] 바람직한 실시예들에서, 광학 컴포넌트는 기관을 포함하고, 광학 격자는 샘플영역과 광학 컴포넌트의 기관 사이에 배열된다. 바람직하게는, 격자는 샘플 영역 아래에 직접 배열된다. 이러한 방식으로, 격자는 제3 입력 광을 샘플 영역 아래로부터 제3 방향으로 샘플 영역으로 보낼 수 있다. 바람직하게는, 제3 도파관은 샘플 영역과 기관 사이에 배열된다. 제3 도파관은 격자에 근접하게 위치될 수 있으며, 바람직하게는 격자와 같은 평면에 위치될 수 있다.

[0085] 광학 컴포넌트는 실질적으로 평면일 수 있거나, 평면 기관을 포함할 수 있다. 컴포넌트 또는 기관은 따라서 평면을 정의할 수 있다. 제1 및 제2 방향들은 (위치 없는 벡터로 간주될 때) 광학 컴포넌트의 평면에 놓일 수 있다. 제3 방향은 또한 평면에 놓일 수 있거나, 평면에 대해 경사질 수 있다.

[0086] 광학 컴포넌트는 바람직하게는 입력 인터페이스를 포함한다. 입력 인터페이스는 도파관들 중 임의의 하나 이상에 - 바람직하게는 모두에- 광학적으로 결합될 수 있다; 이는 광학 컴포넌트 상에 하나 이상의 결합 도파관들의 수단일 수 있다. 입력 인터페이스는 결합 도파관에 의해 광학 분배기에 결합될 수 있다. 입력 인터페이스는 광학 컴포넌트의 복수의 면들에 걸쳐 분산될 수 있지만, 바람직하게는 광학 컴포넌트의 일면에 형성된다. 입력 인터페이스는 단일 소켓(socket) 또는 복수의 입력 포트들을 포함할 수 있는 다른 연결 수단에 의해 제공될 수 있다. 입력 포트는 하나 이상의 도파관들의 각 세트에 대응될 수 있다; 이러한 세트는 중첩될 수 있다. 입력 인터페이스는 광학 컴포넌트에 입력 광을 제공할 수 있는 하나 이상의 섬유 광학 케이블(예를 들어, 섬유 어레이 또는 섬유 어댑터)에 결합되도록 배열될 수 있다. 이러한 입력 인터페이스의 사용은 연결 및 셋업 프로세스를 단 순화시킬 수 있다.

[0087] 광학 컴포넌트는 제1 입력 포트 및 제2 입력 포트를 포함할 수 있다. 제1 및 제2 입력 포트들은 모두 제1 도파관에 광학적으로 결합될 수 있다 - 예를 들어, 광학 컴포넌트는 제1 입력 포트에 광학적으로 결합된 제1 입력부, 제2 입력 포트에 광학적으로 결합된 제2 입력부, 및 제1 도파관에 광학적으로 결합된 출력부를 갖는 광학 컴바이너를 포함할 수 있다. 광학 컴바이너는 y자형 브랜치 도파관 접합(y-branch waveguide junction)을 포함할 수 있을 것이다. 광학 컴바이너는 광학 분배기로부터 다운스트림에 위치될 수 있다. 제1 및 제2 입력 포트들은 또한 모두 제2 또는 제3 도파관에 광학적으로 결합될 수 있다. 입력 광의 적어도 일부 파장들의 경우, 광학 컴포넌트는 제1 입력 포트에 입력 광을 제공하는 것이 샘플 영역에 제1 간섭 패턴을 생성하는 한편, 대안적으로 제2 입력 포트에 입력 광을 제공하는 것이 샘플 영역에 제2 간섭 패턴을 생성하되, 제1 및 제2 간섭 패턴들은 공통 방향을 가지지만, 제2 간섭 패턴들은 제1 간섭 패턴들로부터 오프셋(즉, 위상 시프트됨)되도록 배열될 수 있다.

[0088] 본 명세서에 개시된 방법들의 일부 실시예들에서, 제1, 제2(존재 시) 또는 제3 도파관들 중 임의의 하나 이상은 추가적으로 각 제1, 제2 또는 제3 보조 입력 광을 수신하며, 바람직하게는 제1, 제2 및 제3 입력 광과 동일파장의 각 제1, 제2 또는 제3 보조 입력 광을 수신한다. 제1 도파관은 제1 보조 입력 광을 제1 방향으로 제1 경로를 따라 샘플 영역으로 보낼 수 있다. 마찬가지로, 존재 시, 제2 도파관은 제2 보조 입력 광을 제2 방향으로 제2 경로를 따라 샘플 영역으로 보낼 수 있다. 제3 도파관은 제3 보조 입력 광을 제3 방향으로 제3 경로를 따라 샘플 영역으로 보낼 수 있다. 따라서, 이는 두 개의 빔 간섭 패턴 또는 세 개의 빔 간섭 패턴이 보고 입력 광으로 샘플 영역 내에서 생성될 수 있음이 이해될 것이다. 샘플 영역 내의 제1 보조 입력 광은 샘플 영역 내에서 제1 입력 광에 대해 0이 아닌(non-zero) 위상 오프셋을 가질 수 있다. 이는 입력부에서 광학 컴포넌트 그리고 제1 입력 광과 제1 보조 입력 광 사이의 샘플 영역까지의 광학 경로 길이의 차이를 갖는 광학 칩에 의해 달성될 수 있다. 샘플 영역 내의 제2 보조 입력 광은 샘플 영역 내에서 제2 입력 광에 대해 0이 아닌 위상 오프셋을 가질 수 있다. 샘플 영역 내의 제3 보조 입력 광은 샘플 영역 내에서 제3 입력 광에 대해 0이 아닌 위상 오프셋을 가질 수 있다. 이러한 방식으로, 보조 광을 선택적으로 입력함으로써, 입력 광 대신, 제1, 제2 및 제3 도파관들 중 하나 이상에 대해, 간섭 패턴의 횡방향 시프트가 획득될 수 있다.

[0089] 광학 칩은 제1 및/또는 제2 및/또는 제3 보조 도파관들을 포함할 수 있다. 제1, 제2 및 제3 도파관들 중 임의의 하나 이상은 각 제1, 제2 및 제3 보조 도파관들에 광학적으로 결합 - 예를 들어, 광학 컴바이너를 통해 - 할 수 있다. 제1, 제2 및 제3 보조 도파관들은 각각 제1, 제2 및 제3 보조 입력 광을 제1, 제2 및 제3 도파관들에 보내도록 배열될 수 있다. 바람직하게는, 제1, 제2 및 제3 보조 도파관들 중 임의의 하나 이상은 하나 이상의 보조 도파관 분배기들로부터 각각 제1, 제2 및 제3 보조 입력 광을 수신하도록 배열된다. 하나 이상의 보조 도파

관 분배기들은 바람직하게는 광학 컴포넌트의 일부이다.

- [0090] 물론, 보조 도파관들로 보조 입력 광의 위상을 오프셋시키는 것이 필수는 아니며, 일부 실시예들에서 광학 컴포넌트의 하나 이상의 요소들에 의해 수신된 보조 입력 광이 본래 입력 광에 대해 0이 아닌 위상 오프셋을 갖는 것이 이해될 것이다.
- [0091] 샘플 영역 내에서 하나 이상의 간섭 보조 입력 광선들의 위상을 오프셋시키는 것은 샘플 영역 내에서 둘 이상의 입력 광선을 간섭시켜 생성된 간섭 패턴들 중 어느 하나로부터의 차이인 간섭 패턴을 생성할 수 있다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 제1 보조 입력 광을 제1 방향으로 샘플 영역에 보내고, 제2 보조 입력 광을 제2 영역으로 샘플 영역에 보냄으로써 생성된 보조 간섭 패턴은 제1 입력 광을 제1 방향으로 샘플 영역으로 보내고 제2 입력 광을 제2 영역으로 샘플 영역에 보냄으로써 생성된 간섭 패턴과 다를 것이다. 특히, 이 보조 간섭 패턴의 간섭 프린지의 위치가 다를 것이라는 것이 이해될 것이다.
- [0092] 제4 도파관을 포함하는 실시예들에서, 제4 도파관은 제4 보조 입력 광을 수신하고 제4 보조 입력 광을 제4 방향으로 제4 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 배열될 수 있다. 이 경우, 제4 도파관은 제4 보조 도파관에 광학적으로 결합될 수 있다. 제4 보조 도파관은 제4 도파관에 제4 보조 입력 광을 보낼 수 있다. 제4 보조 도파관은 보조 도파관 분배기로부터 제4 보조 입력 광을 수신할 수 있다.
- [0093] 따라서, 유리하게는, 샘플 영역 내에서 생성된 주기적 광 패턴의 프린지는 보조 입력 광 또는 입력 광을 간섭시키도록 선택함으로써 축 방향으로 시프트될 수 있다.
- [0094] 일부 실시예들에서, 제1, 제2(존재 시), 제3 또는 제4(존재 시) 도파관들 중 어느 하나는 각 보조 도파관 분배기의 출력부로부터 보조 입력 광을 수신할 수 있다. 이 경우, 보조 도파관 분배기의 출력부로부터 샘플 영역까지의 광학 경로는 제1 광학 분배기 또는 다른 보조 도파관 분배기들로부터 샘플 영역까지의 광학 길이 보다 더 길 수 있다. 이는 입력 광에 대해 보조 입력 광의 위상을 오프셋시킬 것이라는 것이 이해될 것이다.
- [0095] 바람직하게는, 제1 광학 분배기는 y자형 브랜치 분배기, 소산 도파관 커플러(본 명세서에서 방향성 커플러로도 불림) 또는 멀티모드 간섭(MMI) 컴포넌트일 수 있다. MMI를 사용하는 이점은 낮은 손실의 스플리팅을 제공하고 둘 이상의 출력부를 제공할 수 있다는 것이다.
- [0096] 일부 실시예들에서, 도파관들 중 적어도 하나(예컨대, 적어도 제1 도파관)는 각 광학 경로를 따라 샘플 영역을 향해 수신된 광을 가이드하도록 배열되며, 상기 광학 경로는 샘플 영역을 향하는 방향으로 증가되는 폭을 갖는다. 이는 수신된 광으로 더 큰 영역의 샘플 영역을 조명하고, 이에 따라 더 큰 간섭 패턴을 생성하는데 유용할 수 있다. 도파관의 단일 모드 조건이 유지될 수 있도록 폭은 바람직하게 단열적으로 증가된다; 이는 특정 SIM 이미징 기법들에 유용할 수 있다.
- [0097] 샘플 영역은 바람직하게는 광학 컴포넌트 내에 또는 인접하여 적어도 부분적으로 위치된다. 샘플 영역은 광학 컴포넌트의 하나 이상의 표면들에 의해 적어도 부분적으로 정의될 수 있다. 이러한 하나 이상의 표면들은 생체 적합성 층(bio-compatible layer), 예를 들어, BSA(bovine serum albumin), PEG(polyethylene glycol) 또는 PLL(poly-L-lysine) 분자들로 코팅될 수 있다. 광학 컴포넌트는 하나 이상의 벽들(walls) - 예를 들어, 4개 이상의 평판 측벽들을 갖는 샘플 우물을 정의할 수 있다. 샘플 영역은 샘플 우물에 존재할 수 있다. 샘플 영역 또는 샘플 우물은 바람직하게는 베이스를 포함하며, 이는 바람직하게는 명면이다. 샘플 우물은 광학 컴포넌트의 클래딩 층 또는 영역에 의해 적어도 부분적으로 정의될 수 있다. 샘플 우물은 광학 컴포넌트에 접해 있거나 또는 광학 컴포넌트로부터 압출되는 하나 이상의 부재(예를 들어, 폴리디메틸실록산(polydimethylsiloxane))에 의해 적어도 부분적으로 정의될 수 있다; 이러한 부재는 개방 또는 폐쇄 챔버를 정의할 수 있다.
- [0098] 일부 실시예에서, 샘플 영역의 면(예컨대, 베이스)은 광학 컴포넌트의 광학 가이드 층(즉, 코어층)의 표면에 의해 정의될 수 있다. 광학 가이드 층의 표면은 (적어도 샘플이 없을 때) 적어도 샘플 영역에 근처에 노출(예를 들어, 공기 또는 물에)될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 공기 또는 물과 같은 유체가 도파관(들)의 상부 클래딩 층으로 사용되며, 이 경우 샘플 영역의 베이스는 도파관(들)의 광학 가이드 층의 상부 표면에 의해 정의될 수 있다. 이러한 방식으로, 샘플은 도파관 내의 가이드된 광의 소산장과 상호작용하도록 도파관 상에 직접 배치될 수 있다. 이러한 배열에서, 샘플 우물은 항상 필요하지는 않을 수 있으며, 샘플은 도파관 상에 직접 샘플을 배치하고 도파관 내에서 두 개의 상대 전파 빔들을 가이드함으로써 간섭 패턴으로 조명될 수 있다; 그러나, 일부 경우, 샘플 우물은 예를 들어 샘플을 포함하도록 도파관 표면 상에 배치된 샘플 챔버에 의해 제공될 수도 있다.
- [0099] 실시예들의 한 세트에서, 적어도 제1 도파관은 그것이 수신하는 광(예컨대, 제1 입력 광)이 샘플 영역으로 보내

지는 단부 단면을 포함한다. 바람직하게는, 제2 도파관(존재 시)은 그것이 수신하는 입력 광(즉, 제2 입력 광)이 샘플 우물로 보내지는 단부 단면을 포함한다. 바람직하게는, 제3 도파관은 그것이 수신하는 입력 광(즉, 제3 입력 광)이 샘플 우물로 보내지는 단부 단면을 포함한다. 이러한 배열에서, 적어도 제1 및 제3 도파관들의 단부 단면들은 샘플 우물의 각 측벽을 정의할 것이다. 따라서, 적어도 제1 및 제2 도파관들의 단부 단면들은 샘플이 샘플 우물에 위치될 수 있는 표면 영역에 횡방향으로 위치될 수 있다. 또한, 이러한 측벽들 중 적어도 하나는 적어도 하나의 도파관 층을 포함할 수 있다. 샘플 영역은 단부 단면에 접해 있을 수 있다. 대안적으로, 단부 단면과 샘플 또는 샘플 영역 사이에 공기 갭 및/또는 세포 완충 용액(예를 들어, 인산염 완충 용액(phosphate-buffered saline)(PBS)과 같은 매체가 존재할 수 있다. 옛지 단면은 생체 적합성 층, 예를 들어, BSA(bovine serum albumin), PEG(polyethylene glycol) 또는 PLL(poly-L-lysine) 분자들로 코팅될 수 있다.

[0100] 이러한 배열은 유리하게는 형광단(또는 샘플 내에 임베디드된 기타 이러한 발광 마커들)이 샘플의 표면을 넘어 여기되게 할 수 있다 - 예를 들어, 도파관의 소산장보다 샘플 내로 더 깊게 관통하며, 이는 일반적으로 수 백 나노미터이다.

[0101] 이러한 배열은 또한 형광단 (또는 기타 이러한 발광 마커들)이 주어진 광원(예: 레이저)의 경우 샘플의 표면 영역을 넘어 공지된 소산장 기반 조명 기법들에 비해 비교적 높은 전원에서 효율적으로 여기되게 할 수 있으며, 공지된 소산장 기반 조명 기법들은 여기 전력이 상대적으로 낮으며 - 일반적으로 총 입력 광 전력의 약 10% 미만이다.

[0102] 적어도 제1 도파관의 단부 단면으로부터의 광은 바람직하게는 광 시트(light sheet)로 형상이 이루어진다. 광 시트는 바람직하게는 광학 컴포넌트의 주요 평면과 실질적으로 평행한 평면(예를 들어, 광학 컴포넌트의 평면 기관의 평면)에서 샘플 영역에 진입한다. 광 시트를 생성함으로써 바람직하게는 샘플 영역 전체 단면이 조명될 수 있다. 따라서 주기적 간섭 패턴이 샘플 영역의 전체 단면만을 조명할 수 있다.

[0103] 적어도 제1 도파관의 단부 단면으로부터 방사되는 광선 또는 광 시트의 두께는 바람직하게는 500, 1000 또는 2000 나노미터이다. 이를 용이하게 하기 위해, 적어도 제1 도파관의 도파관 층은 투명 물질의 광 투과 박막으로 증착될 수 있다. 이 박막은 1 마이크로미터 미만의 두께를 가질 수 있다.

[0104] 실시예들의 다른 세트에서, 적어도 제1 도파관은 그것이 수신하는 광의 소산장 컴포넌트만 샘플 영역으로 보내도록 배열된다. 이러한 실시예들에서, 샘플 영역은 바람직하게는 적어도 제1 도파관과 접촉된다.

[0105] 도파관들 중 임의의 하나 이상은 각 제1 코어 영역 및 제1 코어 영역과 접촉하는 제1 클래딩 영역을 포함할 수 있으며, 제1 코어 영역은 제1 클래딩 영역보다 더 높은 굴절률을 가지며 내부 전반사를 사용하여 도파관을 따라 수신된 광을 가이드하도록 배열된다. 바람직하게는 도파관들 중 둘 이상(예컨대, 제1 및 제2 도파관들)은 동일한 코어와 클래딩 영역들을 포함한다. 광학 분배기들 중 하나 이상(예컨대, 제1 광학 분배기)은 동일한 코어 및 클래딩 영역들을 포함할 수 있다. 도파관(들)의 제1 클래딩 영역(예컨대, 하부 광학 클래딩 영역) 및/또는 분배기(들)은 상기 컴포넌트의 제1 코어 영역 및 기관 사이에 배열될 수 있다. 일부 실시예들에서, 제1 코어 영역은 제1 클래딩 영역과 제2 클래딩 영역(예컨대, 상부 광학 클래딩 영역) 사이에 배열될 수 있다. 제2 클래딩 영역은 바람직하게는 제1 코어 영역보다 낮은 굴절률을 갖는다. 일부 실시예들에서, 공기 도는 물은 제2 클래딩 영역으로 사용될 수 있다; 이 경우, 공기 또는 물이 제2 클래딩 영역을 구성하고 광학 컴포넌트의 일부를 형성하는 것으로 간주될 수 있거나, 또는 광학 컴포넌트 자체가 상부 클래딩 층을 포함하지 않도록 공기 또는 물이 광학 컴포넌트로부터 분리되는 것으로 간주될 수 있다.

[0106] 본 명세서에 사용된 바와 같은, "상부(upper)", "하부(lower)", "우물(well)" 및 "베이스(base)"와 같은 용어들은 광학 컴포넌트가 임의의 특정 경사각에서 사용되는 것을 반드시 제한하는 것으로 이해되어서는 안된다. 그러나, 일부 실시예들에서, 샘플 영역에서 샘플을 유지하기 위해 중력이 사용될 수 있고, 광학 컴포넌트는 본래의 사용 각도, 또는 사용 가능한 각도 범위를 가질 수 있다.

[0107] 이미징 대물 렌즈로 조명 패턴을 형성하는 종래 SIM 셋업에서, SIM의 광학 해상되는 대략 $\lambda_0/4$. N.A.이며, 여기서 N.A.는 대물 렌즈의 개구수이다. 일반적으로, 이러한 종래 기법에 사용된 가장 큰 N.A.는 1.49이고, 일부 경우에 샘플은 물의 굴절률(즉, 약 1.33)에 가까운 굴절률을 갖는 용액에 침지된다.

[0108] 본 명세서에 개시된 배열의 적어도 일부는 $A_0/2(N.A.+n_{eff})$ 의 광학 해상도를 가지며, 여기서 n_{eff} 는 도파관 내부에 가이드된 모드의 유효 굴절률이고, N.A.는 이미징 대물 렌즈의 개구수이다. 이는 N.A. 보다 높은 n_{eff} 를 사용하여 해상도를 향상시킬 수 있다. 이는 샘플 영역 내에서 간섭을 위해 광을 보내도록 광학 컴포넌트에서 적당히

높은 굴절률 요소를 사용하여 가능할 수 있다. 예를 들어, 약 1.9 내지 2의 n_{eff} 는 오산화 탄탈륨 또는 질화 실리콘 도파관들을 사용하여 달성될 수 있다.

[0109] 광 패턴의 프린지들 사이의 간격은 일반적으로 $\lambda_0/2n_{\beta ii}$ 에 비해하고, 여기서 λ_0 는 진공에서의 간섭 빔들의 파장이고, n_{eff} 는 도파관 내부에서 가이드된 모드의 유효 굴절률이다. 일부 종래 배열에서, 간섭 영역에서 간섭 빔들의 대부분 또는 전부가 공기 또는 수성 기반 매체에 놓여있기 때문에 n_{eff} 는 일반적으로 약 1 내지 1.33이다.

[0110] 본 발명의 실시예들(예를 들어, 소산 광이 주기적 광 패턴을 형성하는 실시예들)에서, 광 패턴이 샘플 영역으로 광을 보내는 하나 이상의 광 유도 요소(예를 들어, 도파관 영역) 내에서 대부분의 광 에너지를 갖는 광선들을 간섭시킴으로써 형성되는 경우, 간섭 광에 의해 겪은 유효 굴절률은 주로 공기 또는 물이 아닌, 광 유도 요소들의 굴절률 성분에 의존할 것이며, 그 결과 n_{eff} 는 광 유도 요소들이 1.33보다 높은 굴절률을 갖는 물질들로 제조될 수 있기 때문에 1.33보다 더 높게 만들어질 수 있다. 예를 들어, 오산화 탄탈륨 또는 질화 실리콘 코어층 및 실리콘 클래딩 층들을 포함하는 도파관들에서 약 1.7 내지 2의 n_{eff} 값이 얻어질 수 있다.

[0111] n_{eff} 값이 높을수록 간섭 패턴의 프린지들 간 간격이 감소하는데, 이는 SIM 이미지의 해상도를 증가시키기 때문에 바람직하다. 따라서, 바람직하게는, 일부 실시예들에서, 도파관들 중 적어도 하나는 오산화 탄탈륨 또는 질화 실리콘을 포함하며, 바람직하게는 코어층에 포함할 수 있다. 바람직하게는, 도파관들 중 적어도 하나는 실리콘을 포함하는 클래딩 층을 갖는다. 바람직하게는, 광학 컴포넌트는 n_{eff} 가 샘플 영역에서 1.33 보다 크고, 바람직하게 적어도 2 - 예를 들어, 2.5, 3, 3.5 또는 그 이상이 되도록 한다.

[0112] 샘플 영역이 샘플을 고정하는 샘플 우물을 포함하는 실시예들에서, 샘플 우물은 제1 클래딩 영역 및 제1 코어 영역 중 하나 또는 둘 모두에 의해 적어도 부분적으로 정의될 수 있다.

[0113] 제1 도파관의 제1 클래딩 영역, 및 바람직하게는 제2 도파관(존재 시)은 샘플을 고정하기 위해 샘플 영역(예컨대, 샘플 우물)을 적어도 부분적으로 정의하도록 형상이 만들어질 수 있다. 특히, 제1 클래딩 영역 및 제1 코어 영역 중 하나 또는 둘 모두는 샘플 우물 또는 샘플 영역을 정의하도록 (예를 들어, 샘플 영역 또는 우물에 대한 베이스 평면을 제공하여) 형상이 만들어질 수 있다.

[0114] 한 실시예들의 세트에서, 적어도 제1 도파관은 1 차원 도파관이거나, 또는 2 차원 도파관이다. 일부 실시예들에서, 도파관들 중 하나 이상은 단일 모드 도파관이다. 일부 실시예들에서, 도파관들 중 하나 이상은 2 차원 리브 도파관이거나, 2 차원 스트립 도파관이거나, 1 차원 슬래브 도파관이다.

[0115] 리브 도파관에서, 가로 방향 광학 가이드(즉, 코어 및 클래딩 층들/영역들의 평면에 수직이 방향으로)은 코어층과 클래딩 층들 간 굴절률 대비에 의해 제공된다. 리브 도파관에서의 횡방향 광학 가이드 구조는 코어층 외부로 전파되는 소산광(즉, 소산장)의 세기를 증가시킨다. 리브 도파관 구조에서의 횡방향 광학 가이드는 코어층 외부로 전파되는 소산광(즉, 소산장)의 세기를 증가시킨다. 따라서, 종래 슬래브 도파관 구조(리지를 구비하지 않음)를 사용하는 것과 비교하여, 샘플 영역과 중첩되는 소산광의 세기가 증가될 수 있다. 따라서, 리브 도파관을 사용하여, 리브 도파관으로부터 샘플 영역으로 보내진 소산광의 세기는 보다 강한 주기적 광 패턴이 생성될 수 있도록 증가될 수 있다.

[0116] (가로방향 광학 가이드만을 제공하는) 슬래브 도파관과 비교하여 리브 도파관 사용의 또 다른 이점은 그들이 더 적은 광 누출로 더 예리한 굴곡(bends) 및 턴(turns)을 허용한다는 것이다. 이 방식에서는, 도파관에서의 더 예리한 굴곡 및 턴은 감소된 풋프린트를 사용하여 더 컴팩트한 광학 컴포넌트를 제공하는데 사용될 수 있다. 특히, 도파관에서의 더 예리한 굴곡 및 턴은 다른 주기적 광 패턴을 생성하기 위해 광학 컴포넌트의 일면으로부터의(즉, 입력면으로부터의) 입력 광을 샘플 영역의 다른 측으로 그리고 샘플 영역 내에서 다른 방향을 따라 보내는데 사용될 수 있다.

[0117] 도파관에서의 굽힘 손실을 더 줄이기 위해, 이에 따라 광학 컴포넌트를 훨씬 더 컴팩트하게 만들기 위해 더 예리한 굽힘 및 회전을 가능하게 하기 위해, 본 명세서의 실시예들의 도파관들 중 하나 이상은 스트립 도파관을 포함할 수 있다. 스트립 도파관들은 또한 횡방향 광학 가이드를 제공하는 리지를 갖는다. 그러나, 리브 도파관에서는 달리, 리지는 상부 클래딩 층을 통해 그리고 도파관의 코어층을 통해(또는 적어도 부분적인 통로를 통해) 연장된다.

[0118] 스트립 도파관들을 사용하는 추가 이점은 코어층 외부에서 전파되는 강한 소산장을 제공한다는 것이다. 따라서,

소산장(즉, 소산광)만이 샘플 영역으로 유도되는 실시예들에서, 샘플을 조명하는 주기적 광 패턴의 세기는 샘플 영역으로 광을 보내기 위해 스트립 도파관을 사용함으로써 증가될 수 있다.

- [0119] 일부 실시예들에서, 특히 고효율 및 예리한 굴곡/턴이 요구되지 않는 도파관들 중 하나 이상은 슬래브 도파관들일 수 있다. 또한, 슬래브 도파관들은 일부 경우 그들은 리브 및 슬래브 도파관들보다 제조하기에 더 쉬울 수 있기 때문에 바람직할 수 있다는 것이 이해될 것이다.
- [0120] 슬래브 도파관 구조의 폭은 $100\ \mu\text{m}$ 내지 $500\ \mu\text{m}$, 또는 $100\ \mu\text{m}$ 내지 $150\ \mu\text{m}$, 또는 $100\ \mu\text{m}$ 내지 $200\ \mu\text{m}$, 또는 $100\ \mu\text{m}$ 내지 $300\ \mu\text{m}$, 또는 $100\ \mu\text{m}$ 내지 $400\ \mu\text{m}$ 일 수 있지만, 잠재적으로 이러한 범위 밖에 있을 수도 있을 것이다. 리브 도파관 또는 스트립 도파관에서의 리브의 폭(r_w)은 $1\ \mu\text{m} \leq r_w < 100\ \mu\text{m}$; 또는 $1\ \mu\text{m} \leq r_w < 10\ \mu\text{m}$; 또는 $10\ \mu\text{m} \leq r_w \leq 30\ \mu\text{m}$; 또는 $10\ \mu\text{m} \leq r_w \leq 50\ \mu\text{m}$; 또는 $10\ \mu\text{m} \leq r_w < 100\ \mu\text{m}$ 일 수 있지만, 잠재적으로 이러한 범위 밖에 있을 수도 있을 것이다.
- [0121] 선택적으로, 도파관들 중 적어도 하나(예: 제1 또는 제2 도파관)는 샘플 영역으로 광이 보내지기 전에 수신된 광(예컨대, 제1 입력 광)의 적어도 일부의 위상을 조정하도록 배열되는 각 위상 조정기에 결합된다. 광학 컴포넌트는 상기 위상 조정기들 중 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0122] 바람직하게는, 위상 조정기(또는 조정기들)은 열 조정기 또는 전기-광학 위상 조정기와 같은 능동 조정기이다. 그러나, 위상 조정기(또는 조정기들)은 수동 위상 조정기일 수도 있다. 수동 위상 조정기는, 예를 들어, 예를 들어 위상 조정기가 결합되는 각 도파관의 상부 클래딩 층에서 충전 가능한 갭(fillable gap)일 수 있으며, 이는 도파관의 유효 굴절률을 변화시키기 위해 하나 이상의 다른 굴절률 물질(예컨대, 산화 실리콘, PMMA 또는 SU8)로 선택적으로 갭을 충전하기에 적합할 수 있다.
- [0123] 현재 능동 위상 조정기의 속도는 일반적으로 kHz 범위의 변조 속도를 갖는 현재 광-기계식 컴포넌트들 보다 훨씬 빠른 1GHz 이상이다. 따라서, 위상 조정기들은 대개 종래 광-기계식 셋업보다 훨씬 빠른 속도로 주기적 광 패턴이 샘플 영역에 시프트되게 할 수 있다.
- [0124] 도파관들 중 임의의 하나 이상은 샘플 영역을 향해 구부러지거나 각지는 굴곡 또는 각진 부분을 가지며 굴곡 또는 각진 부분을 따라 샘플 영역으로 각 입력 광을 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열되는 2 차원 도파관일 수 있다.
- [0125] 광학 컴포넌트가 광학 분배기를 반드시 포함할 필요가 없는 경우에도 이러한 2차원 도파관의 사용은 신규하고 진보적인 것으로 여겨진다.
- [0126] 따라서, 추가 양태에 따르면, 본 발명은 주기적 광학 패턴으로 샘플 영역을 조명하기 위한 광학 컴포넌트를 제공하며, 상기 광학 컴포넌트는,
- [0127] 입력 광을 수신하기 위해 배열된 입력 인터페이스;
- [0128] 상기 입력 인터페이스로부터 제1 입력 광을 수신하고 상기 제1 입력 광을 제1 방향으로 제1 경로를 따라 상기 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열된 제1 도파관;
- [0129] 상기 입력 인터페이스로부터 제2 입력 광을 수신하도록 배열된 제2 도파관으로서, 상기 제2 도파관은 상기 샘플 영역을 향해 굴곡지거나 각지는 굴곡 또는 각진 부분을 갖는 2 차원 도파관이고, 상기 제2 도파관은 상기 제2 입력 광을 상기 굴곡 또는 각진 부분을 따라 그리고 제2 방향으로 제2 경로를 따라 상기 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열되는, 상기 제2 도파관; 및
- [0130] 상기 입력 인터페이스로부터 제3 입력 광을 수신하고 상기 제3 입력 광을 제3 방향으로 제3 경로를 따라 상기 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열된 추가 도파관을 포함하며,
- [0131] 상기 제2 방향은 상기 제1 방향과 상이하여, 사용 시, 상기 샘플 영역에서 주기적 광 패턴을 형성하기 위해 상기 제2 입력 광이 상기 제1 입력 광 및 상기 제3 입력 광 중 적어도 하나와 간섭하도록 하고, 상기 제3 방향은 상기 제1 방향 및 상기 제2 방향과 상이하다.
- [0132] 다른 양태에 따르면, 본 발명은, 입력 인터페이스, 제1 도파관, 제2 도파관 및 제3 도파관을 포함하는 광학 컴포넌트의 샘플 영역 조명하기 위한 방법을 제공하며, 제2 도파관은 상기 샘플 영역을 향해 구부러지거나 각지는 굴곡 또는 각진 부분을 갖는 2 차원 도파관이며, 상기 방법은,
- [0133] 입력 인터페이스로부터 제1 도파관에 제1 입력 광을 수신하는 단계;

- [0134] 상기 입력 인터페이스로부터 상기 제2 도파관에 제2 입력 광을 수신하는 단계;
- [0135] 제1 입력 광을 제1 방향으로 제1 경로를 따라 상기 샘플 영역으로 보내도록 제1 도파관 내에서 내부 전반사를 사용하는 단계;
- [0136] 제2 입력 광을 제2 도파관의 굴곡 또는 각진 부분을 따라 그리고 제2 방향으로 제2 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 제2 도파관에서 내부 전반사를 사용하는 단계로서, 상기 제2 방향은 상기 제1 방향과 상이한 단계;
- [0137] 입력 인터페이스로부터 상기 제3 도파관의 제3 입력 광을 수신하는 단계;
- [0138] 제3 입력 광을 제3 방향으로 제3 경로를 따라 상기 샘플 영역으로 보내도록 제3 도파관 내에서 내부 전반사를 사용하는 단계로서, 제3 방향은 제1 방향 및 제2 방향과 상이한, 단계; 및
- [0139] 샘플 영역 내에서 주기적 간섭 패턴을 형성하기 위해 제2 입력 광을 제1 입력 광 및 제3 입력 광 중 적어도 하나와 간섭시키는 단계를 포함한다.
- [0140] 전술한 양태들에 따른 광학 컴포넌트 및 방법, 및 바람직하고 선택적인 특징 및 장점을 포함하는 도파관과 관련하여 전술한 특징 및 장점은, 적절한 경우, 이 광학 컴포넌트 및 방법의 실시예에 동일하게 적용될 수 있다.
- [0141] 당업자는 단일 광학 컴포넌트(예를 들어, 광학 칩)가 3 개의 개별 광선을 형성하고 이들을 3 개의 도파관을 사용하여 각기 다른 방향들을 따라 샘플 영역으로 이들을 (모두 동시에는 아니지만) 보낸다는 것을 알 수 있을 것이다. 구체적으로, 제1 도파관은 제1 입력 인터페이스로부터의 제1 입력 광을 제1 광선으로서 제1 방향으로 샘플 영역으로 보낸다는 것을 알 수 있을 것이다. 제2 도파관은 2 차원 도파관이고, 입력 인터페이스로부터 수신된 제2 입력 광을 제2 광선으로서 제1 광선을 향하는 제2 방향으로 샘플 영역으로 보내도록 샘플 영역을 향해 구부러지거나 각지는 굴곡 또는 각진 부분을 갖는다. 제3 도파관(본 명세서에서 추가 도파관으로도 불림)은 수신된 제3 입력 광을 제3 광선으로서 제3 방향으로 샘플 영역으로 보낸다.
- [0142] 예를 들어, 제3 입력 광은 3 개의 간섭 패턴을 형성하기 위해 제1 및 제2 입력 광과 간섭될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 3개의 간섭 패턴은 "스펙클(speckled)" Ehsms "세미-스펙클(semi- speckled)" 조명 패턴을 생성하는데 유용하다. 스펙클형(speckle like) 조명 패턴은 SIM 이미징의 일부 유형들에 유용하다. 대안적으로, 제2 입력 광은 두 개의 각기 다른 간섭 패턴들을 형성하기 위해 제1 입력 광 또는 제3 입력 광과 간섭될 수 있다. 유리하게는, 두 개의 각기 다른 간섭 패턴들은 광학 컴포넌트를 재정렬시키지 않고 형성될 수 있다. 제3 간섭 패턴은 제1 입력 광과 제3 입력 광을 간섭시킴으로써 생성될 수 있다.
- [0143] 따라서, 제1 양태에서와 같이, 이 양태를 구현하는 광학 컴포넌트는 복수의 광-기계식 컴포넌트들을 필요로 하지 않을 수 있으며, SIM 이미징을 위한 더 작고 더 저렴하며 덜 복잡한 셋업을 제공할 수 있으며, 이는 현재 알려진 시스템들보다 정렬하기가 더 쉽다.
- [0144] 또한, 2 차원 도파관을 사용함으로써, 광학 컴포넌트의 풋프린트는 제 2 입력 광을 제 2 방향을 따라 샘플 영역으로 보내기 위해 굽힘(즉, 굴곡 또는 각진 부분)이 사용될 수 있게 함으로써 훨씬 더 작게 만들어질 수 있다. 굽힘으로 인해, 제2 도파관의 풋프린트는 종래 기술 대안의 풋프린트보다 훨씬 더 작게 만들어질 수 있다는 것이 이해될 것이다.
- [0145] 추가로, 당업자는 이 양태에 따른 광학 컴포넌트가 또한 간섭 패턴에서의 변동을 최소화하기 위해 대기에서의 변동으로부터 입사 광을 차단할 수 있음을 알 수 있을 것이다.
- [0146] 일부 실시예에서, 입력 인터페이스는 (i) 입력 인터페이스로부터 입력 광을 수신하기 위한 입력부, (ii) 제1 출력부, 및 (iii) 제2 출력부를 갖는 광학 분배기를 포함하며, 제1 출력부는 제1 입력 광을 제1 도파관으로 보내도록 제1 도파관과 광학적으로 결합되고, 제2 출력부는 제2 입력 광을 제2 도파관으로 보내도록 제2 도파관에 광학적으로 결합된다. 이러한 방식으로, 광학 컴포넌트는 단지 하나의 입력 광선으로부터 주기적 광 패턴을 생성할 수 있으며, 일부 실시예들에서 이 입력 빔은 광학 컴포넌트의 일면에서만 수신될 필요가 있다. 제1 양태에서와 같이, 이는 더욱 단순한 SIM 이미징 셋업으로 이어진다.
- [0147] 바람직하게는, 광학 분배기는 y자형 브랜치 분배기, 소산 도파관 커플러 또는 멀티모드 간섭(MMI) 컴포넌트일 수 있다. MMI를 사용하는 이점은 낮은 손실의 스플리팅을 제공하고 둘 이상의 출력부를 제공할 수 있다는 것이다.
- [0148] 선택적으로, 광학 분배기는 제3 출력을 포함할 수 있다. 제3 출력부는 제3 입력 광을 제3 도파관에 보내도록 제 3 도파관에 광학적으로 결합될 수 있다. 이러한 방식으로, 광학 컴포넌트는 하나의 입력 광선만으로 3개의 빔

간접 패턴을 생성할 수 있다.

- [0149] 일부 실시예들에서, 입력 인터페이스는 제1 입력부, 제2 입력부 및 제3 입력부 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 제1 입력부는 제1 입력 광을 제1 도파관에 보내도록 제1 도파관에 광학적으로 결합될 수 있다. 제2 입력부는 제2 입력 광을 제2 도파관에 보내도록 제2 도파관에 광학적으로 결합될 수 있다. 제3 출력부는 제3 입력 광을 제3 도파관에 보내도록 제3 도파관에 광학적으로 결합될 수 있다.
- [0150] 바람직하게는, 적어도 제1 입력부 및 제2 입력부는 광학 컴포넌트의 공통 주변 엣지 또는 면에 위치된다. 이는 광원으로부터의 입력 광이 광학 컴포넌트의 일면으로만 보내질 필요가 있음을 보장한다.
- [0151] 선택적으로, 제1 및/또는 제3 도파관 각각은 2 차원 도파관일 수 있다. 제1 도파관 및/또는 제3 도파관은 샘플 영역을 향해 구부러지거나 각지는 굴곡 또는 각진 부분을 포함할 수 있다. 제1 도파관은 제1 입력 광을 굴곡 또는 각진 부분을 따라 그리고 제1 방향으로 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열될 수 있다. 따라서, 제1 도파관은 적은 광 손실이 적은 광을 보내기 위해 더 예리한 굴곡부를 사용할 수 있으며, 이러한 방식으로 광학 컴포넌트는 훨씬 더 작게 만들어질 수 있다. 추가로 또는 대안으로, 제3 도파관은 제3 입력 광을 굴곡 또는 각진 부분을 따라 그리고 제1 방향으로 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열될 수 있다.
- [0152] 제1, 제2 및/또는 제3 방향들은 이전에 설명된 바와 같을 수 있다.
- [0153] 선택적으로, 제1, 제2 및 제3 방향은 동일한 평면에 놓일 수 있다. 대안으로, 이전에 설명된 바와 같이, 제3 방향은 제1 및/또는 제2 방향들과 다른 평면-예를 들어 수직 평면에 있을 수 있다. 후자의 경우, 3 개의 간접 패턴은 이전에 언급된 바와 같이 3D SIM 이미징을 위해 생성될 수 있다.
- [0154] 선택적으로, 제3 도파관은 입력 인터페이스의 제3 입력부로부터 제3 입력 광을 수신하도록 배열될 수 있다. 이러한 방식으로, 광학 컴포넌트는 입력 광이 입력 인터페이스의 둘 이상의 입력부들에서 수신되는지 또는 수신되지 않는지에 따라 두 개의 빔 간접 패턴과 3 개의 빔 간접 패턴 사이에서 선택적으로 전환된다.
- [0155] 일부 실시예들에서, 광학 컴포넌트는 제4 입력광을 수신하고 제4 입력 광을 제1, 제2, 및 제3 방향들과 상이한 제4 방향으로 제4 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열된 제4 도파관을 포함할 수 있다.
- [0156] 이러한 4개의 방향들은 이전에 설명된 바와 같은 동일한 특징 및 이점을 가질 수 있다.
- [0157] 앞서 언급된 실시예들에서, 입력 인터페이스는 광학 분배기를 포함하며, 4개의 도파관은 광학 분배기의 제4 출력부로부터 제4 입력 광을 수신하도록 선택적으로 배열될 수 있다. 대안으로, 제4 도파관은 입력 인터페이스의 다른 광학 분배기의 출력부로부터 제4 입력 광을 수신하도록 선택적으로 배열될 수 있다.
- [0158] 대안으로, 제4 도파관은 광학 분배기의 제4 출력부로부터 제4 입력 광을 수신하도록 배열될 수 있다. 이러한 방식으로, 광학 컴포넌트는 입력 광이 입력 인터페이스에 주입되는지에 따라 각기 다른 간접 패턴들 사이에서 선택적으로 전환할 수 있다. 예를 들어, 제1, 제2, 제3 및 제4 입력 광선들이 입력 인터페이스의 각 입력 포트들로부터 수신되는 실시예들에서, 간접 패턴은 제1 및 제2 광선들을 간섭시키도록 (예를 들어, 샘플 영역의 제1 축을 따라) 입력 인터페이스의 제1 및 제2 입력들로 광을 선택적으로 주입함으로써 생성될 수 있다. 또한, 예를 들어, 간접 패턴은 제3 및 제4 광선들을 간섭시키기 위해 (예를 들어, 샘플 영역의 제2 축을 따라) 입력 인터페이스의 제3 및 제4 입력부들로 광을 선택적으로 주입함으로써 생성될 수 있다.
- [0159] 일부 예들에서, 광학 컴포넌트는 샘플 영역에 광학적으로 결합된 격자(grating)를 포함할 수 있다. 광학 격자는 수신된 광을 제3 방향으로 제3 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 배열될 수 있다. 제3 도파관은 격자를 통해 제3 방향으로 샘플 영역으로 제3 입력 광을 보내도록 격자에 광학적으로 결합될 수 있다. 바람직하게는, 제1 방향 및 제2 방향으로 샘플 영역으로 보내진 광은 제1 평면에 놓이며, 제3 방향은 제1 평면에 놓이지 않는다.
- [0160] 이전의 양태들에서와 같이, 도파관들 중 적어도 하나는 입력 광을 축 방향으로 추가로 수신하도록 배열될 수 있다. 예를 들어, 제1 도파관은 제1 보조 입력 광을 수신하도록 배열될 수 있다. 제1 양태의 실시예에서와 같이, 제1 보조 입력 광은 바람직하게는 제1 입력 광에 대해 0이 아닌 위상 오프셋을 갖는다. 적어도 제1 도파관은 각 보조 도파관으로부터 각 보조 입력 광을 수신하도록 광학적으로 결합될 수 있다.
- [0161] 바람직하게는, 보조 도파관(들)은 입력 인터페이스(예를 들어, 하나 이상의 도파관 분배기들 또는 입력 인터페이스의 입력부들로부터)로부터 보조 광을 수신할 수 있다. 예를 들어, 제1 및 제2 도파관에 각각 결합되는 제1

및 제2 보조 도파관은 입력 인터페이스의 보조 광학 분배기의 출력부로부터 보조 광을 수신할 수 있다. 바람직하게는, 보조 도파관들의 광학 경로 길이는 제1, 제2, 제3 또는 제4 입력 광 중 어느 하나의 주기의 정수 배가 아니다.

- [0162] 앞서와 같이, 보조 도파관(들)은 샘플 영역 내에서 입력 광 또는 보조 입력 광을 간섭시키도록 선택함으로써 샘플 영역 내에서 생성된 주기적 광 패턴의 프린지들이 축 방향으로 시프트되게 할 수 있다. 예를 들어, 샘플 영역 내에서 제1 입력 빔과 제2 입력 빔을 간섭시킴으로써 생성된 간섭 패턴의 프린지는 샘플 영역 내에서 제1 보조 입력 빔과 제2 보조 입력 빔을 개별적으로 간섭시킴으로써 축 방향으로 시프트될 수 있다.
- [0163] 앞서 언급한 바와 같이, 적어도 제1 보조 도파관은 입력 인터페이스의 보조 도파관 분배기의 출력으로부터 보조 입력 광을 수신할 수 있다. 바람직하게는, 이 도파관 분배기의 출력부는 제1 도파관으로 제1 입력 광을 보내는 입력 인터페이스(존재 시)의 제1 광학 분배기의 출력부보다 더 긴 광학 경로 길이를 갖는다. 이는 제1 입력 광에 대한 제1 보조 입력 광의 위상을 오프셋시킬 것이라는 것이 이해될 것이다. 이러한 방식으로, 그리고 앞서와 같이, 제1 입력 광 또는 제1 보조 입력 광을 제1 도파관으로 제공하는 배열은 간섭 빔들 간 상대 위상차를 조정하기 위한 위상 조정기를 제공한다.
- [0164] 본 명세서에 설명된 임의의 양태들에 따른, 본 발명을 구현하는 특정 방법들은 구조화 조명 현미경 검사(SIM)를 수행하기 위해 주기적 광 패턴 또는 광 패턴들을 사용하는 것을 더 포함한다. 주지의 SIM 기법들을 사용하여 분석이 수행될 수 있다. 바람직하게는, 광 패턴은 이미징 동안 본 명세서에 설명된 하나 이상의 메커니즘을 사용하여, 선형으로(예컨대, 축 방향으로) 및/또는 각도로 조정된다. 이 조정은 이미징 유닛에 의해 또는 개별 제어 유닛에 의해 수행될 수 있다.
- [0165] 따라서, 추가 양태로부터, 본 발명은 구조화 조명 현미경 검사(SIM)를 사용한 샘플을 이미징하기 위한 시스템을 제공하며, 상기 시스템은,
- [0166] 광 주입 장치;
- [0167] 본 명세서에 개시된 임의의 양태에 따른 광학 컴포넌트로서, 광 주입 장치로부터 입력 광을 수신하고 주기적 광 패턴으로 샘플 영역을 조명하기 위해 배열된, 상기 광학 컴포넌트;
- [0168] 샘플 영역으로부터 방사된 광을 집광하도록 배열된 대물 렌즈; 및
- [0169] 집광된 광으로 구조화 조명 현미경 검사(SIM)를 수행하도록 배열된 이미징 장치를 포함한다.
- [0170] 다른 양태로부터, 본 발명은 구조화 조명 현미경 검사(SIM)를 사용하여 샘플을 이미징하는 방법을 제공하며, 상기 방법은,
- [0171] 본 명세서에 개시된 임의의 방법에 의해, 주기적 광 패턴으로 광학 컴포넌트의 샘플 영역을 조명하는 단계;
- [0172] 샘플 영역으로부터 방사되는 광을 집광하는 단계; 및
- [0173] 집광된 광으로 구조화 조명 현미경 검사를 수행하는 단계를 포함한다.
- [0174] 샘플 영역은 바람직하게는 샘플 - 예를 들어, 생물학적 샘플을 포함한다. 샘플은 바람직하게는 형광성 마커들을 포함하지만, 이는 필수는 아니다.
- [0175] 출원인은 이러한 이미징 시스템 및 SIM에 대한 그 사용이 또한 광학 컴포넌트가 전술한 것보다 적은 특징을 갖는 경우에도 신규하고 진보적인 것으로 여겨진다.
- [0176] 따라서, 추가 양태로부터, 본 발명은 구조화 조명 현미경 검사(SIM)를 사용한 샘플을 이미징하기 위한 시스템을 제공하며, 상기 시스템은,
- [0177] 광 주입 장치;
- [0178] 도파관 및 광학 분배기를 포함하고, 광학 분배기는 (i) 입력 광을 수신하기 위한 입력부, (ii) 제1 출력부, 및 (iii) 제2 출력부를 간는 광학 컴포넌트로서,
- [0179] - 광학 분배기의 제1 출력부는 제1 입력 광을 제1 도파관으로 보내도록 제1 도파관에 광학적으로 결합되고;
- [0180] - 도파관은 제1 입력 광을 제1 방향으로 제1 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열되고;

- [0181] - 광학 분배기의 제2 출력부는 제2 방향으로 제2 경로를 따라 샘플 영역으로 제2 입력 광을 보내도록 샘플 영역에 광학적으로 결합되고;
- [0182] - 제2 방향은 제1 방향과 상이하여, 사용 시, 상기 샘플 영역에서 주기적 광 패턴을 형성하기 위해 상기 제1 광이 상기 제2 광과 간섭하도록 하는, 상기 광학 컴포넌트;
- [0183] 샘플 영역으로부터 방사되는 광을 집광하도록 배열된 대물 렌즈; 및
- [0184] 집광된 광으로 구조화 조명 현미경 검사(SIM)를 수행하도록 배열된 이미징 유닛을 포함한다.
- [0185] 또 다른 추가 양태로부터, 본 발명은 구조화 조명 현미경 검사(SIM)를 사용한 샘플을 이미징하기 위한 시스템을 제공하며, 상기 시스템은,
- [0186] 광 주입 장치;
- [0187] 광학 컴포넌트로서,
- [0188] - 입력 광을 수신하기 위해 배열된 입력 인터페이스;
- [0189] - 상기 입력 인터페이스로부터 제1 입력 광을 수신하고 상기 제1 입력 광을 제1 방향으로 제1 경로를 따라 상기 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열된 제1 도파관; 및
- [0190] - 입력 인터페이스로부터 제2 입력 광을 수신하도록 배열된 제2 도파관으로서, 제2 도파관은 샘플 영역을 향해 구부러지거나 각지는 굴곡 또는 각진 부분을 가지며, 제2 입력 광을 굴곡 또는 각진 부분을 따라 그리고 제2 방향으로 제2 경로를 따라 샘플 영역으로 보내도록 내부 전반사를 사용하기 위해 배열되도록 구성된 2차원 도파관이며, 제2 방향은 제1 방향과 상이하여, 사용 시, 상기 샘플 영역에서 주기적 광 패턴을 형성하기 위해 상기 제1 입력 광이 상기 제2 입력 광과 간섭하도록 상기 제1 방향과 상이한, 상기 제2 도파관을 포함하는, 상기 광학 컴포넌트;
- [0191] 샘플 영역으로부터 방사된 광을 집광하도록 배열된 대물 렌즈; 및
- [0192] 집광된 광으로 구조화 조명 현미경 검사(SIM)를 수행하도록 배열된 이미징 장치를 포함한다.
- [0193] 추가 양태들은 전술한 두 개의 단락들을 따르는 시스템을 사용하는 것을 포함하는 구조화 조명 현미경 검사를 사용하여 샘플을 이미징하는 방법들을 제공한다.
- [0194] 이러한 임의의 양태들에서, 광 주입 장치는 광학 컴포넌트로 광원으로부터의 입력 광을 포커싱하기 위한 렌즈를 포함할 수 있다. 광원은 광 주입 장치의 일부를 형성할 수 있다. 광원은 바람직하게는 주기적 광 패턴을 생성하기 위한 레이저 또는 임의의 다른 간섭 광(coherent light)이다. 예를 들어, 각 광원은 솔리드 스테이트 레이저, 광섬유 레이저 또는 다이오드 레이저와 같은 레이저 광원일 수 있다. 입력 광의 파장은 가시 스펙트럼(예컨대, 약 400 내지 약 800 나노미터) 또는 근적외선(예컨대, 약 800 내지 약 1500 나노미터) 내에 있을 수 있다. 제1, 제2, 제3 및 제4 입력 광(존재할 경우)은 바람직하게는 공통 파장을 갖는다.
- [0195] 다른 실시예들에서, 광 주입 장치는 광원으로부터의 광을 광학 컴포넌트- 예를 들어, 광학 컴포넌트의 입력 인터페이스 - 로 보내는 광학 섬유를 포함할 수 있다. 대안으로, 섬유는 광원으로부터의 광을 렌즈로 보낼 수 있다.
- [0196] 시스템은 복수의 경로들 중 하나 이상을 따라 광원으로부터의 광을 선택적으로 보내도록 배열될 수 있는 광학 스위치와 같은 광학 멀티플렉서를 포함할 수 있다. 각 경로는 렌즈 또는 하나 이상의 광학 섬유에 의해 광학 컴포넌트(예를 들어, 입력 인터페이스의 하나 이상의 각기 다른 입력 포트들로)로 광을 주입할 수 있다. 출력할 광선을 제어함으로써, 광학 멀티플렉서는 입력부 또는 입력부들의 조합이 입력 광을 수신하는 것에 대한 선택적 제어를 허용한다. 이러한 방식으로, 샘플 영역의 간섭 패턴이 변화될 수 있다.
- [0197] 광학 멀티플렉서는 바람직하게는 텔레통신 네트워크에 사용되는 유형이다. 이는주기적인 광 패턴의 생성이 종래 기술의 셋업에서와 같이 광-기계식 컴포넌트들(예를 들어, 이동식 미러)의 움직임보다는 광학 멀티플렉서의 속도에 의해서만 제한되기 때문에 유리하다. 실제로, 텔레통신에서와 같은 현재 광학 멀티플렉서는 1GHz 이상의 변조 속도를 가지며, 이는 일반적으로 KHz 범위의 변조 속도를 갖는 현재 광기계식 컴포넌트보다 훨씬 빠르기 때문에 유리하다.
- [0198] 또한, 광 주입 장치는 광학 컴포넌트로 주입된 각 광선의 진폭을 조정하기 위한 하나 이상의 진폭 변조기들을

포함할 수 있다. 진폭 변조기는 주기적 광 패턴의 간섭 프린지의 세기가 제어되게 할 수 있다.

- [0199] 선택적으로, 광 주입 장치는 하나 이상의 다른 파장들을 갖는 입력 광을 주입하도록 배열될 수 있다. 다른 파장들의 입력 광은 조정 가능한 레이저 또는 각 파장을 위한 광원을 포함하는 광원 세트에 의해 생성될 수 있다. 입력 광의 파장 또는 파장들은 발광 마커들이 광을 방출하게 하도록 선택될 수 있다. 다른 파장들의 입력 광은 프린지의 수를 변경하고 샘플에 대한 프린지의 위치를 시프트시키는데 사용될 수 있다.
- [0200] 일부 실시예들에서, 이미징 유닛은 또한 제1 입력 광과 제2 입력 광 사이에서 위상 오프셋을 제어하도록 배열된다.
- [0201] 이미징 유닛은 이미지 센서들, 프로세서들, 메모리, ASIC들, FPGA들, DSP들, 입력들 및 출력들 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 이는 SIM 이미징의 하나 이상의 단계들을 수행하기 위해 이미징 유닛을 지시하기 위한 소프트웨어 명령들을 저장하는 메모리를 포함할 수 있다.
- [0202] 이미징 유닛은 샘플 영역에서 복수의 주기적 광 패턴들로부터 집광된 광으로 SIM 이미징을 수행하도록 배열될 수 있다. 이는 집광된 광으로 푸리에 분석과 같은 주파수 분석을 수행하도록 배열될 수 있다.
- [0203] 일부 실시예들에서, 제1 방향 및 제2 방향이 제1 평면에 놓이고, 대물 렌즈가 또한 광 주입 장치로부터 입력 광을 수신하고 입력 광을 제4 방향을 따라 샘플 영역에 보내도록 구성되며, 제4 방향은 제1 및 제2 방향들과 동일한 평면에 놓이지 않는다.
- [0204] 모든 양태들에서, 간섭 광은 동일한 편광을 가질 수 있다. 광학 컴포넌트의 요소들(예컨대, 적어도 제1 도파관 및/또는 적어도 제1 광학 분배기)은 코어층의 평면에서 또는 광학 컴포넌트의 평면에서 편광을 갖는 광을 보내도록 배열될 수 있다. 동일한 편광을 갖는 간섭 광은 프린지의 가시성을 증가시키고, 따라서 더 우수한 SIM 이미지를 제공할 수 있다. 가시성은 코어층의 평면에서 또는 광학 컴포넌트의 평면(예를 들어, 광학 컴포넌트의 기관의 평면)에서 편광을 갖는 간섭 광이 최대치이다.
- [0205] 본 명세서에서 설명된 임의의 양태 또는 실시예의 특징들은 적절한 경우 본 명세서에 설명된 임의의 다른 양태 또는 실시예에 적용될 수 있다. 상이한 실시예들 또는 실시예들의 세트가 참조되는 경우, 이들은 반드시 구별될 필요는 없지만 중첩될 수 있음을 이해해야 한다.

도면의 간단한 설명

- [0206] 이제 본 발명의 특정 바람직한 실시예들이, 단지 예시로서, 첨부 도면들을 참조하여 설명될 것이다:
 - 도 1은 본 발명에 따른 광학 컴포넌트를 포함하는 SIM 이미징 셋업의 개략도이다;
 - 도 2는 도 1의 광학 컴포넌트의 평면도이다;
 - 도 3은 샘플 영역을 절단한 도 1의 광학 컴포넌트의 측면도이다.
 - 도 4a 내지 4h는 모든 본 발명에 따른, 3개의 대체 도파관 유형들의 단면 프로파일들이다.
 - 도 5는 도 1의 광학 컴포넌트의 샘플 영역에 생성된 주기적 간섭 패턴의 평면도이다;
 - 도 6은 본 발명에 따른 광학 컴포넌트의 측면도이다.
 - 도 7은 본 발명에 따른 광 주입 배열 및 광학 컴포넌트의 평면도이다.
 - 도 8a, 8b 및 8c는 도 7의 광학 컴포넌트의 샘플 영역 내의 주기적 광 패턴의 각도를 변경함으로써 생성될 수 있는 3개의 다른 조명 패턴들의 평면도들을 도시한다;
 - 도 9는 본 발명에 따른 광 주입 배열 및 광학 컴포넌트의 평면도이다;
 - 도 10은 본 발명에 따른 광 주입 배열 및 광학 컴포넌트의 평면도이다;
 - 도 10b는 변형 광 주입 배열 및 광학 컴포넌트의 개략도이다;
 - 도 11은 3D SIM 이미지들을 생성하기 위한 본 발명에 따른 광학 컴포넌트의 측면도이다;
 - 도 12는 도 1의 광학 컴포넌트의 샘플 영역에 생성된 주기적 간섭 패턴의 측면도이다; 그리고
 - 도 13은 본 발명에 따른 광학 컴포넌트를 포함하는 3D SIM 이미징을 위한 SIM 이미징 셋업의 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0207] 도 1은, 광학 컴포넌트(10)의 샘플 영역(55)을 향하는 전방 시야(32)를 갖는, Plan N 20x/0.4 Olympus™ 대물 렌즈와 같은, 대물 렌즈(30)를 포함하는 형광 현미경 검사를 수행하기 위한 장치(100)를 도시한다. 또한, 이는 광학 컴포넌트(10)의 입력 인터페이스(11)에 광학적으로 결합된 광 주입 장치(40)를 포함한다. 샘플(50)은 샘플 영역(55)에 위치된다. 장치(100)는 또한 전방 시야(32) 내에서 대물 렌즈(30)에 의해 집광된 광을 수신 및 처리하도록 구성된 이미징 유닛(60)을 포함한다.
- [0208] 이 예에서 샘플(50)은 형광단 또는 양자점과 같은 발광 마커들(light emitting markers)에 임베디드된 생물학적 세포(biological cell)이지만, 다른 유형의 샘플들도 물론 사용될 수 있다. 예를 들어, 샘플은 탄성 및 비-탄성 산란(scattering)을 갖는 생물학적 세포일 수 있다.
- [0209] 광 주입 장치(40)는 렌즈(46) 및 광원(42)를 포함할 수 있으며, 이 예에서, 광원은 가시 파장 레이저 소스(visible wavelength laser source)이다. 렌즈(46)는 광원(42)으로부터 광(44)을 수신하여 이를 광학 컴포넌트(10)의 입력 인터페이스(11)로 포커싱되도록 배열된다. 이 주입된 광은 광학 컴포넌트(10)에 대한 입력 광을 형성한다.
- [0210] 도 2에 가장 잘 도시된 것처럼, 광학 컴포넌트(10)의 입력 인터페이스(11)는 광 주입 장치(40)로부터 입력 광을 수신하는 입력 도파관(12)을 포함한다. 입력 도파관(12)은 광학 분배기(13)에 입력 광을 보내도록 배열되며, 이 예에서는 y-브랜치 도파관 분배기(y-branch waveguide splitter)이지만, 멀티모드 간섭 커플러(multimode interference coupler; MMI) 또는 감쇠 도파관 커플러(evanescent waveguide coupler)와 같은 임의의 다른 유형의 광학 분배기일 수 있음이 이해될 것이다.
- [0211] y-브랜치 분배기(12)의 두 출력부는 각 제1 및 제2 도파관(14, 15)에 각각 광학적으로 결합된다. 제1 및 제2 도파관들(14, 15)은 입력 광의 두 상대 전파 빔들(two counter propagating beams)을 평행 방향과 반대 방향(14x, 15x)을 따라 샘플 영역(55)으로 보내도록 샘플 영역(55)의 각 대향 측면들(55a, 55b)을 향해 굴곡지고(curve) 각 대향 측면들에 광학적으로 결합된다. 방향들(14x 및 15x)은 둘 다 샘플 영역(55)의 축(55x)을 따른다.
- [0212] 샘플 영역(55) 내에서 (다른 방향들, 예를 들어, 14x, 15x를 따라) 둘 이상의 광 빔들을 서로 향하게 하면 상기 빔들이 간섭하게 되어 주기적 간섭 패턴을 생성하게 된다는 것이 이해될 것이다. 주기적 간섭 패턴은 샘플(50)을 조명하고 샘플(50) 내의 발광 입자가 광을 방출하게 할 것이다. 발광 패턴은 이미징 유닛(60)에 의해 샘플(50)의 구조화 조명 현미경 검사(SIM)를 수행하는데 사용될 수 있다.
- [0213] 도 5는 도 2의 도파관(14 및 15)으로부터 입력 광의 두 상대 전파 빔들을 샘플 영역으로 보냄으로써 생성된 주기적 광 패턴의 예를 도시한다. 아래에 더 설명되는 것처럼, 주기적 간섭 패턴의 프린지는 간섭 광 빔들 간 상대적 위상차를 조정함으로써 축(55x)을 따라 시프트될 수 있다.
- [0214] 광학 컴포넌트의 도파관들(12, 14, 15)은 (도 4b에 예시된 바와 같은) 2차원 리브(rib) 도파관이지만, 아래에 더 설명된 것처럼, 도파관은 (예컨대, 도 4c에 예시된 바와 같은) 2차원 채널 도파관 또는 스트립 도파관, 또는 (예컨대, 도 4a에 예시된 바와 같은) 1차원 슬래브 도파관일 수 있다. 이러한 1차원 및 2차원 도파관들을 제조하는 방법이 당업계에 공지되어 있다. 도파관들의 층 구조는 도 1, 3 및 4b에서 볼 수 있다. 도시된 바와 같이, 각각의 도파관들(12, 14, 15)은 기판(201)에 형성되며, 상부 클래딩(cladding) 층(204) 및 하부 클래딩 층(202) 사이에 끼워지는 광학 가이드 층(203)(때때로 본 명세서에서 코어층(core layer)(203)으로 불리는 바와 같은)을 포함한다. 하부 클래딩 층(202)은 기판(201)과 코어층(203)의 제1 면(208) 사이에 배열된다. 상부 클래딩 층(204)은 코어층(203)의 제1 면(208)에 대향되는 코어층(203)의 제2 면(209) 상에 배열된다. 코어층(203)은 클래딩 층들(202, 204)보다 더 높은 굴절률을 가지며, 내부 전반사를 사용하여 도파관(12, 14, 15)을 따라 입력 광을 안내한다.
- [0215] 일부 실시예들에서, 1차원 또는 2차원 도파관은 공기 또는 물과 같은 유체를 상부 클래딩 층으로 사용하여 형성될 수 있다. 도 4d 내지 4f는 이러한 대안 형태의 도파관을 도시한다. 구체적으로, 도 4d는 1차원 슬래브 도파관(slab waveguide)을 도시하고, 도 4e는 2차원 차원 리브 도파관(rib waveguide)을 도시하며, 도 4f는 2차원 스트립 도파관(strip waveguide)을 도시한다. 각각의 이들 도파관들은 기판(201') 상에 배열된 하부 클래딩 층(202') 및 하부 클래딩 층(202') 상에 배열된 코어층(203')을 각각 포함한다. 각 도파관의 코어층(203')의 상부 표면(205')은 공기 또는 물과 같은 유체에 노출된다. 슬래브 도파관(도 4d)의 코어층의 폭은 100 μm 내지 500 μm , 또는 100 μm 내지 150 μm , 또는 100 μm 내지 200 μm , 또는 100 μm 내지 300 μm , 또는, 100 μm 내지 400 μm

또는 더 넓을 수 있다.

- [0216] 도 4e의 리브 도파관의 코어층(203')의 상부 표면(205')은 (예를 들어, 반응성 이온 에칭 또는 습식 에칭과 같은 적합한 에칭 프로세스를 사용하여) 코어층(203')으로부터 돌출되는 리지(ridge)(206)를 정의하는 형태로 만들어진다. 리지(206)의 측벽(207)은 코어층(203')으로부터 올라온다.
- [0217] 도 4f의 스트립 도파관의 코어층(203')은 더 넓은 하부 클래딩 층(202')의 상단에 안착되는, 전부 리지(208)로 (예를 들어, 반응성 이온 에칭 또는 습식 에칭과 같은 적합한 에칭 프로세스를 사용하여) 형성된다. 리지(208)의 측벽(209)은 코어층(203')의 전체 높이로 확장된다.
- [0218] 리브 도파관 및 스트립 도파관의 리지(206, 208)는 주변 유체 매체과의 횡방향 굴절률 대비(lateral refractive index contrast)를 제공한다는 것이 이해될 것이다. 이 횡방향 굴절률 대비는 횡방향 평면에서(즉, 기관(201')의 평면에 평행한 평면에서) 광을 안내하는데 사용된다.
- [0219] 리브 도파관의 리지(206)의 폭(rw) 및 스트립 도파관의 리지(207)의 폭은 $1 \mu\text{m} \leq rw < 100 \mu\text{m}$; 또는 $1 \mu\text{m} \leq rw \leq 10 \mu\text{m}$; 또는 $10 \mu\text{m} \leq rw \leq 30 \mu\text{m}$; 또는 $10 \mu\text{m} \leq rw \leq 50 \mu\text{m}$; 또는 $10 \mu\text{m} \leq rw < 100 \mu\text{m}$ 이지만, 이들 폭은 이보다 더 넓을 수 있다. 예를 들어, 리지들(206, 207)은 25 내지 500 μm 너비 및 150 내지 220 nm 두께일 수 있다.
- [0220] 대안적인 배열에서, 도 4e의 리브 도파관 또는 도 4f의 스트립 도파관은 도 4g 및 도 4h에 각각 예시된 바와 같은 솔리드(solid) 상부 클래딩 층(204')을 포함할 수 있다. 도 4g에서, 솔리드 상부 클래딩 층(204')은 리브 도파관의 리지(206)를 덮는다. 도 4h에서, 솔리드 상부 클래딩 층(204')은 스트립 도파관의 리지(208)를 덮는다.
- [0221] 본 명세서에 설명된 각각의 1 차원 도파관들은 도 4a 및 4b에 예시된 도파관들 중 어느 하나에 따른 1 차원 슬래브 도파관일 수 있다. 본 명세서에 설명된 각각의 2 차원 도파관들은 도 4b, 4c, 4e, 4f 또는 4g에 예시된 도파관들 중 어느 하나에 따른 2 차원 리브 또는 스트립 도파관일 수 있다.
- [0222] 리브 도파관 및 기타 이러한 2 차원 도파관은 가로 방향(transverse direction)(즉, 코어층에 수직 방향) 및 횡 방향(lateral direction)(즉, 코어층의 평면을 가로지르는 방향)으로 가이드된 입력 광의 광학 필드(optical field)를 제한한다. 반대로, 1 차원 도파관은 가로 방향(즉, 코어층에 수직 방향)으로만 가이드된 입력 광의 광학 필드를 제한한다.
- [0223] 또한, 도파관들 중 어느 하나에서(즉, 1차원 또는 2차원)에서, 그 내부로 가이드되는 입력 광의 일부가 도파관 코어 영역(203) 외부로 이동한다는 것이 이해될 것이다. 광의 이 일부는 당업계에서 소산장(evanescent field)으로 알려져 있다. 일반적으로, 소산장은 상부 및 하부 클래딩 층들에서 전파될 것이다.
- [0224] 이 예에서, 그리고 도 3에서 샘플 영역(55)의 측면도를 가장 잘 볼 수 있는 바와 같이, 샘플 영역(55)은 샘플 우물(sample well)의 형태이다. 샘플 우물(55)은 도파관(14)이 도파관(15)과 만나고, 도파관들(14, 15)의 상부 클래딩 층(204)을 통해 우물로 정의되는 곳에 존재한다. 이 영역에 샘플 우물(55)을 배치한 결과는 도파관들(14, 15)의 상부 클래딩 층(204) (그리고 코어층(203)에서 전파되는 광이 아님)이 각 도파관(14, 15)으로부터 샘플 우물(55)로 유도된다. 따라서, 이 예에서, 샘플 우물(55)(즉, 샘플 영역(55)) 내에서 생성되는 주기적 광 패턴(예컨대, 도 5의 510)은 도파관들(14 및 15)로부터 샘플 우물로 유도되는 소멸광의 간섭에 의해 발생한다는 것이 이해될 것이다. 샘플 영역(55)으로 유도된 광은 본 명세서에서 여기광(excitation light)으로 불리며, 생성된 주기적 광 패턴은 조명 패턴(illumination patterns) 또는 여기 패턴(excitation patterns)으로 불린다. 샘플(50)로 유도되는 도파관의 면(face)은 본 명세서에서 출력면(output face)으로 불린다.
- [0225] 이미징 장치(60)는, CCD 또는 sCMOS 센서와 같은, 샘플(50)로부터 광을 검출하기 위한 형광 검출 장치(62), 및 형광 검출 장치(62)와 광 주입 장치(40)를 제어하고, 주지의 SIM 이미징 기술을 사용하여 샘플(50)의 SIM 이미지를 생성하기 위해 검출된 광을 처리하는 전자 제어 유닛(64)을 포함한다.
- [0226] 도파관(14)은 또한 열 위상 조정기(thermal phase adjustor), 광-유체(opto-fluidic) 또는 전기-광학(electro-optic) 위상 조정기와 같은 능동 위상 조정기(active phase adjuster)(18)(도 2 참조)를 포함한다. 위상 조정기(18)는 도파관(16)으로부터의 샘플 영역(55)의 광선(light beam)의 위상에 대해 도파관(14)으로부터의 샘플 영역(55)의 광선의 위상을 시프트시키기 위해 도파관(14)의 굴절률을 조정한다. 이러한 간섭 광선들 사이의 상대 위상차를 변경하면 결과적인 간섭 패턴의 프린지의 위치를 샘플 영역(55)에 대해 축 방향으로(axially) 시프트시킨다. 선택적으로, 도파관(16)도 위상 조정기를 포함할 수 있다.
- [0227] 이미징 유닛(60)은, 예를 들어, 위상 조정기(18)에 제공된 전류 및/또는 전압을 조정하여, 프린지 시프트를 제

어한다.

- [0228] 일례로, 샘플 영역 내의 샘플의 SIM 이미지를 촬영하기 위해, 광 주입 장치(40)는 입력 인터페이스(11)의 입력 도파관(12)에 입력 광을 주입한다. 그런 다음, 입력 도파관(12)은 입력광을 제1 및 제2 입력 광으로 분배하는 광 분배기(13)에 입력 광을 보낸다. 제1 입력 광은 광학 분배기(13)의 제1 출력부로부터 제1 도파관(14)에 의해 수신되고, 제2 입력 광은 광학 분배기(13)의 제2 출력부로부터 제2 도파관(15)에 의해 수신된다. 제1 및 제2 도파관들(14, 15)은 각각 제1 입력 광을 제1 방향(14x)을 따라 샘플 영역(55)으로 유도하고 제2 입력 광을 제2 방향(15x)을 따라 샘플 영역(55)으로 유도하기 위해 샘플 영역 쪽으로 굴곡진다. 제1 방향(14x) 및 제2 방향(15x)은 샘플(50)을 여기시키기 위한 제1 주기적 광 패턴을 생성하기 위해 서로를 향하는 경향이 있다. 바람직하게는, 제1 및 제2 방향들(14x, 15x)은 평행하고 반대이다. 제1 주기적 광 패턴(510)(즉, 제1 여기 패턴)의 결과로서 샘플(50)로부터 방출된 형광성 광 패턴(fluorescent light pattern)은, 아래에 설명된 바와 같이, 이미징 유닛(60)에 의해 기록 및 처리된다.
- [0229] 제1 주기적 광 패턴(즉, 제1 여기 패턴)으로 샘플(50)을 여기시킨 후, 이미징 유닛(60)은 축(55x)을 따라 다른 위상 시프트(예컨대, $2\tau\tau/3$)에 의해 제1 주기적 광 패턴의 프린지를 시프트시키기 위해 위상 조정기(18)의 위상을 조정한다. 시프트된 주기적 광 패턴은 제2 주기적 광 패턴(즉, 제2 여기 패턴)을 형성한다. 물론, 다른 실시예들에서, 제2 주기적 광 패턴은 0 내지 2π 사이의 임의의 양으로 프린지를 시프트시킴으로써 형성될 수 있다.
- [0230] 다음으로, 프린지는 제3 주기적 광 패턴(즉, 제3 여기 패턴)으로 샘플을 형성 및 조명하기 위해 축(55x)을 따라 $2\tau\tau/5$ (또는 대안적으로 임의의 양)으로 더 시프트된다.
- [0231] 프린지는 물론 더 많은 수의 여기 패턴들로 샘플을 조명하기 위해 더 많은 횟수로 시프트될 수 있다.
- [0232] 각 여기 패턴은 샘플(50) 내의 형광단이 형광을 발하고 광을 방출하게 할 것이다. 대물 렌즈(30)는 각 여기 패턴에 대해 형광단으로부터 방출된 광을 집광한다. 대물 렌즈(30)에 의해 집광된 광은 형광 검출 장치(62)로 유도된다. 형광 검출 장치(62)는 수신된 광을 전기 신호로 검출하고 각 여기 패턴에 대해 전자 제어 유닛(64)으로 전기 신호를 전송한다. 전자 제어 유닛(64)은 샘플의 이미지를 생성하는 주지의 SIM 처리 방법들을 사용하여 모든 여기 패턴들과 관련된 전기 신호들을 처리한다.
- [0233] 전자 제어 유닛(64)은 하나 이상의 마이크로프로세서들, 마이크로컨트롤러들, ASIC들, FPGA들, DSP들, 메모리 및 소프트웨어 명령들을 포함하는 메모리와 같은 임의의 적절한 프로세싱 수단을 포함할 수 있다; 이는 데스크탑 PC와 같은 단일 장치를 포함할 수 있으며, 또는 원격 서버 또는 서버들의 클라우드와 같이 분산될 수 있다.
- [0234] 선택적으로, 이미징 유닛(60)은 또한 대물 렌즈(4)에 의해 집광된 광을 필터링하기 위해 밴드 필터와 같은 하나 이상의 필터들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 필터는 여기광에 대응되는 광을 차단하고 형광단에 의해 방출된 광에 대응되는 광을 전송하도록 구성될 수 있다.
- [0235] 상기 예와 본 명세서에 설명된 기타 실시예들에서, 주기적 광 패턴(즉, 여기 패턴)은 광학 컴포넌트(10)의 일면에 있는 광 주입 장치(40)로부터 광을 수신하여 생성된다는 것이 이해될 것이다. 이는, 예를 들어, 광학 컴포넌트(10)의 다른 두 면들로부터 샘플 영역(55) 내에서 두 개의 상대 전파 광선들을 유도하기 위해 추가 광-기계식 컴포넌트들이 필요하지 않기 때문에, 종래 셋업보다 주기적 광 패턴으로 샘플(50)을 조명하기 위해 더 간단하고 더 컴팩트한 배열로 이어진다. 또한, 이동식 미러와 같은 광-기계식 컴포넌트들은 샘플에 대해 간섭 패턴의 프린지를 시프트시킬 필요가 없다.
- [0236] 리브 도파관에서, 가로방향 광학 가이딩(즉, 층들의 평면에 수직 방향으로)은 코어층(203)과 클래딩 층들(202, 204) 사이의 굴절률 대비에 의해 제공된다는 것이 이해될 것이다. 횡방향 광학 가이딩은 도파관의 코어층(203)을 통해서가 아닌, 상부 클래딩 층(204)을 통해 부분적인 통로를 연장하는 리지를 구비함으로써 제공된다. 리브 도파관(400b) 구조에서의 횡방향 광학 가이딩은 코어층(203) 외부로 전파되는 소산광(evanescent light)(즉, 소산장)의 세기를 증가시킨다. 따라서, 종래 슬래브 도파관 구조(400a)(리지를 구비하지 않음)를 사용하는 것과 비교하여, 샘플 영역(55)과 중첩되는 소산광의 세기가 증가된다. 따라서, 리브 도파관 구조를 사용함으로써, 샘플(50)과 상호작용하는 여기광의 세기가 증가되고, 이에 따라 더 강한 형광성이 생성된다. (가로방향 광학 가이딩만을 제공하는) 슬래브 도파관과 비교하여 리브 도파관 사용의 또 다른 이점은 그들이 더 적은 광 누출로 더 예리한 굴곡(bends) 및 턴(turns)을 허용한다는 것이다. 이 방식에서는, 도파관에서의 더 예리한 굴곡 및 턴은 감소된 풋프린트를 사용하여 더 컴팩트한 광학 컴포넌트(10)를 제공하는데 사용될 수 있다. 특히, 도파관에서의 더 예리한 굴곡 및 턴은 다른 주기적 광 패턴을 생성하기 위해 광학 컴포넌트의 일측으로부터의(즉, 입력 인터

페이스로부터의) 입력 광을 샘플 영역(55)의 다른 측으로 그리고 샘플 영역(55) 내에서 다른 방향을 따라 보내는데 사용될 수 있다.

- [0237] 도파관에서 굽힘 손실(bend loss)을 더 줄이고, 이에 따라 심지어 더 예리한 굴곡과 턱이 심지어 더욱 컴팩트한 광학 컴포넌트를 만들게 하기 위해, 실시예들에서의 도파관들은 스트립 도파관 형태일 수 있다. 도 4c에 예시된 바와 같이, 스트립 도파관(400C)은 또한 횡방향 광학 가이드를 제공하는 리지를 갖는다. 그러나, 리브 도파관에 서와는 달리, 리지는 상부 클래딩 층(204)을 통해 그리고 도파관의 코어층(203)을 통해(또는 적어도 부분적인 통로를 통해) 연장된다. 스트립 도파관(400C)를 사용하는 추가 이점은 그들이 코어층 외부로 전파되는 소산장의 세기를 증가시킨다는 것이다. 따라서, 소산장만이 샘플 영역으로 유도되는 실시예들에서, 샘플을 조명하는 주기적 광 패턴의 세기는 샘플 영역으로 광을 보내도록 스트립 도파관(400c)을 사용함으로써 증가될 수 있다. 따라서, 예를 들어, 도 2의 도파관(14 및 15)은 스트립 도파관일 수 있다.
- [0238] 대안 실시예들에서, 본 실시예의 도파관들은 특히 고전력 및 샤프한 굴곡/턱이 필요하지 않은 경우 슬래브 도파관일 수 있다. 또한, 리브 도파관과 슬래브 도파관을 비교했을 때, 슬래브 도파관이 제조하기에 더 쉽고 더 저렴하며, 더 적은 단계를 포함하거나, 또는 포토-리소그래피 단계가 없기 일부 경우에 바람직할 수 있다.
- [0239] 일반적으로 본 명세서에 설명된 파장 범위와 도파관의 경우, 횡방향 광학 가이드는 20 마이크론을 넘는 리지 폭에 대해서는 무시할 수 있다.
- [0240] 본 명세서의 실시예에서, 리브, 스트립 및 슬래브 도파관들은 바람직하게는 실리콘 또는 투명 기관(201) 상에 형성되고, 오산화 tantalum(Ta2O5) 또는 질화 실리콘(Si3N4)의 얇은 코어층(203)(바람직하게는 500 nm 미만이고 이상적으로는 100-200 nm), 산화 실리콘(SiO2)의 하부 클래딩 층(202), 및 산화 실리콘(SiO2)의 상부 클래딩 층(204)을 포함한다. 상부(204) 및 하부(202) 클래딩은 대안으로 샘플(50)의 굴절률(예컨대, $n=1.38$)에 거의 일치하는 굴절률을 갖는 물질로 만들어질 수 있다. 그러나, 다른 실시예들에서, 광학 컴포넌트의 기관은 유리로 만들어질 수 있다. 추가로 또는 대안으로, 도파관의 상부 클래딩 층은 공기일 수 있다. 실시예들에서, 도파관의 상부 클래딩 층이 공기인 경우, 각 광선을 간섭하기 위해 이들이 만나는 영역에서 도파관의 상단에 직접 샘플을 배치하여 소산 광선들을 간섭시킴으로써 형성된 여기 패턴으로 샘플이 조명될 수 있다. 이 경우, 샘플 영역은 샘플이 광선들을 간섭시킴으로써 조명되는 영역이고, 샘플 영역을 샘플 우물을 포함하지 않을 수 있다.
- [0241] 리브 도파관(200b) 및 스트립 도파관(200C)은 적절한 에칭 프로세스에 의해 정의될 수 있다. 예를 들어, 이온 빔 밀링(ion-beam milling) 또는 반응성 이온 에칭은 리지를 정의하기 위해 상부 클래딩 층(204)을 에칭하는데 사용될 수 있다. 상부 클래딩 층(204)은 바람직하게는 코어층(203)보다 위에 200 nm의 깊이로 에칭된다. 이온 빔 밀링은 도파관의 측벽 거칠기를 유리하게 감소시키는 것으로 밝혀졌다. 이 방식으로, 도파관 구조 내의 광학 전파 손실이 감소될 수 있다.
- [0242] 본 명세서의 실시예들에서, 샘플 영역 내의 하나 이상의 간섭 빔들의 방향은 샘플 영역 내의 다른 간섭 빔의 방향에 대해 각도로 오프셋될 수 있다. 각도 오프셋은 0 내지 180 도 사이에 있을 수 있다. 예를 들어, 도 2를 참조하면, 도파관(16)은 제1 방향(14x)에 대해 0 내지 180도 사이의 각도에서 입력 광을 샘플 영역(55)(즉, 샘플 우물)로 보내도록 샘플 영역의 비-대향면(예컨대, 도 2의 면(55c))을 향해 굴곡되고, 광학적으로 결합할 수 있다. 추가 예로서, 샘플 영역(55)은 제1 방향(14x)에 대해 각도로 오프셋되는 방향을 따라 측면(55c)으로부터 제2 입력 광을 샘플 영역(55)에 보내도록 광학 분배기(13)의 제2 출력부에 직접 결합될 수 있다.
- [0243] 본 명세서의 실시예들에서, 위상 조절기는 바람직하게는 열 위상 조절기 또는 전기-광학 위상 조절기와 같은 능동 위상 조절기이다. 그러나, 대안적인 실시예들에서, 위상 조절기는 수동 위상 조절기일 수 있다. 수동 위상 조절기는 예를 들어 위상 조절기가 결합되는 각 도파관의 상부 클래딩 층에서 충전 가능한 갭(fillable gap)일 수 있으며, 여기서 큰 굴절률 물질(예컨대, 산화 실리콘, PMMA 또는 SU8)로 선택적으로 갭을 충전하는 것은 도파관의 유효 굴절률을 변화시킨다.
- [0244] 선택적으로, 본 명세서의 실시예들의 광 주입 장치는 광원으로부터의 광을 광학 컴포넌트의 입력 인터페이스로 보내는 광학 섬유를 포함할 수 있다. 또한 선택적으로, 렌즈가 광학 섬유로부터의 광을 입력 인터페이스에 결합시킬 수 있다.
- [0245] 또한, 선택적으로, 광학 스위치와 같은 광학 멀티플렉서는 하나 이상의 다른 경로들을 따라 광원으로부터 광을 선택적으로 보내도록 배열될 수 있으며, 각 경로는 렌즈 및/또는 광학 섬유에 의해 입력 인터페이스의 하나 이상의 다른 입력부들에 주입된다. 다른 실시예들에서, 광 주입 장치는 광학 컴포넌트의 입력 인터페이스로 하나 이상의 다른 파장들을 갖는 입력 광을 주입할 수 있다. 입력 광은 조정 가능한 레이저, 또는 각 파장에 대한 광

원을 포함하는 광원 세트에 의해 생성될 수 있다. 입력 광의 파장 또는 파장들은 발광 마커들이, 예를 들어, 입력 광의 파장(들)이 가시 스펙트럼(400 내지 800 나노미터) 또는 근적외선(800 내지 1500 나노미터)에 있을 수 있는, 광을 방출하게 하기 위해 선택된다. 또한, 각 광원은 솔리드 스테이트 레이저, 광섬유 레이저 또는 다이오드 레이저와 같은 레이저 광원일 수 있다. 추가로 또는 대안으로, 각 광원은 LED 광원 또는 SIM에 적합한 임의의 기타 광원일 수 있다. 이러한 대안적인 광 주입 장치 배열의 예들이 도 7, 9, 10 및 13에 예시된다.

[0246] 선택적으로, 본 명세서에서 실시예들의 도파관(들), 광학 분배기(들), 위상 조정기들 및 샘플 영역(55)은 광학 컴포넌트(10)의 기관(201)에 하나로(monolithically) 통합될 수 있다.

[0247] 선택적으로, 도파관들은 도 2에 예시된 바와 같은 플레어 단부 영역(flared end region)(15, 17)을 포함할 수 있다. 플레어 단부 영역(15, 17)은 샘플 우물(55)의 폭을 증가시키기 위해 그 길이를 따라 넓어진다. 도파관의 폭을 증가시키는 것은 도파관을 따라 전파되는 광학 광 필드(optical light field)의 폭을 넓히고, 샘플(50)을 고정하기 위한 더 큰 샘플 우물(55)을 감안한다. 더 넓은 여기광 필드와 결합된 더 큰 샘플 우물(55)은 SIM 이미징을 위해 더 큰 샘플 영역이 유리하게 이미징되게 한다.

[0248] 샘플 우물(55)은 각 도파관들의 상부 클래딩 층(204)에서의 겹을 정의하기 위해 포토리소그래피 및 에칭 기법(예컨대, 습식 에칭 또는 이온 빔 밀링)을 사용하여 형성될 수 있다. 예를 들어, 습식 에칭은 리브 도파관(400b) 또는 스트립 도파관(400c)의 리지에 샘플 우물(55)을 정의하는데 사용될 수 있다.

[0249] 본 명세서에서의 실시예들에서, 샘플 우물(55)은 하나의 도파관(예를 들어, 도파관(14))의 상부 클래딩 층(204)에 정의될 수 있다. 샘플을 샘플 영역에 배치하기 전에, 광학 컴포넌트는 70 °C에서 10분 동안 (Sigma Aldrich™로부터의) 5 % (v/v) Hellmanex™에 광학 컴포넌트(10)를 침지함으로써 세정될 수 있다. 이후, Hellmanex™은 이를 첫 번째로 탈 이온수(deionized water)에 침지시키고, 두 번째로 (Sigma Aldrich™로부터의) 이소프로판올(isopropanol)에 침지시키고, 세 번째로 탈 이온수에 침지시킴으로써 제거될 수 있다.

[0250] 본 명세서에 설명된 실시예들에서의 샘플 우물은 도 3에 예시된 바와 같이 도파관 코어층(203) 상에 배열된 바이오층(205)을 포함할 수 있다. 바이오층은 도파관 코어층(203)과 샘플의 형광단의 비특정 결합을 방지하고, BSA 또는 PEG를 포함할 수 있다. 추가로, 바이오층(205)은 샘플 우물 내에서 직접 샘플을 배양하는 것을 용이하게 한다. 바이오층(205)은 바람직하나, 필수는 아니다. 또한, 바이오층(205)의 두께는 소산장을 간섭시킴으로써 생성된 주기적 광 패턴이 샘플 우물 내의 샘플과 여전히 중첩되고, 일반적으로 20 nm 미만임을 보장하도록 선택된다.

[0251] 선택적으로, 샘플은 예를 들어 유리 커버슬립(glass coverslips)에 세포 부착을 위해 사용된 주지의 프로토콜과 같은 표준 프로토콜에 따라 샘플 우물에 직접 조성될 수 있다.

[0252] 도 6은 대안적인 배열을 도시하며, 여기서 제1 및 제2 도파관들(614, 616)의 단부면들(614', 616')은 샘플 우물(655)(즉, 샘플 영역(655))을 정의한다. 샘플 우물(655)은 아래로 기관층(201)까지 또는 기관층을 통해 각 도파관을 종결시킴으로써 정의될 수 있다. 일반적으로, 도파관은 도파관을 에칭 또는 쪼갬으로써 종결될 수 있다. 본 명세서에서 단부 단면(end facet)이라는 용어는 당업계에서 통상적인 의미를 가지며, 따라서 코어층에서 실질적으로 전체 가이딩된 광학 모드가 출력되는 도파관의 출력면이라는 것이 이해될 것이다. 도 3에 예시된 예에서, 도파관들(14 및 15)은 샘플 우물(55) 아래에 연속 코어층(203)을 형성하기 위해 도파관이 결합함에 따라 단부 단면을 갖지 않는다는 것이 이해될 것이다.

[0253] 도 6에 예시된 예에서, 도파관(614)를 따라 가이드된 제1 입사 광은 도파관의 단부 단면(614')으로부터 샘플 우물(655)로 보내진다. 마찬가지로, 도파관(616)을 따라 가이드된 제2 입사 광은 제2 방향을 따라 도파관의 단부 단면(616')으로부터 샘플 우물(655)로 보내진다. 제2 방향은 제1 방향을 향하는 경향이 있으므로, 도파관(614)으로부터 제1 광선은 샘플을 조명하기 위한 주기적 간섭 패턴을 형성하기 위해 도파관(616)으로부터 제2 광선과 간섭된다.

[0254] 도 7 내지 10은 광학 컴포넌트가 다른 방향들을 따라 샘플 영역으로 입력 광을 보내기 위해 추가 도파관을 포함하고, 일부 경우, 추가 광학 분배기들을 포함하는 실시예들을 예시한다. 아래에 설명된 바와 같이, 복수의 입력 방향들은 광학 컴포넌트가 샘플 영역의 축에 대해 주어진 주기적 광 패턴이 회전되게(즉, 샘플에 대한 여기 패턴의 방향이 변화되게) 한다. 추가로, 복수의 입력 방향들은 둘 이상의 입력 광선들로 주기적 간섭 패턴들을 생성되게 한다. 또한, 광선들이 다른 광선들의 방향과 평행하지 않는 방향들을 따라 샘플 영역으로 보내지게 할 수 있다. 이러한 방식으로, 본 발명의 광학 컴포넌트는 샘플 영역 내의 상대 전파 광선만을 간섭하는 것으로 제한되지 않는다.

- [0255] 도 7은 6개의 도파관들(714 내지 719)을 포함하는 광학 컴포넌트(710)를 예시하며, 이 도파관들은 바람직하게는 2 차원 리브 도파관(400b)이다. 도파관들(714 내지 719)은 서로 연결되지 않으며, 광학 컴포넌트(710)의 공통면에서 종결된다. 종결된 단부들은 광 주입 장치(740)에 광학적으로 연결되며, 따라서 광학 컴포넌트(710)의 입력 인터페이스(711)를 정의한다. 각각의 도파관들은 광 주입 장치(740)로부터의 입력 광을 6개의 다른 방향들(714a 내지 719a)을 따라 샘플 영역(755)로 보내도록 샘플 영역의 다른 면들을 향해 굴곡지고, 샘플 영역의 다른 면들에 광학적으로 결합된다.
- [0256] 구체적으로, 도파관들(714 및 715)은 입력 광을 방향들(714a 및 715a)로 각각 보내도록 배열된다. 방향들(714a 및 715a)은 샘플 영역(755)의 제1 축(755x)을 따라 대향되는 방향들이다. 도파관들(716 및 717)은 각각 방향들(716a 및 717a)를 따라 입력 광을 샘플 영역(755)으로 보내도록 배열된다. 방향들(716a 및 717a)은 샘플 영역(755)의 제2 축(755y)을 따라 대향되는 방향들이다. 제2 축(755y)은 제1 축(755x)로부터 각도로 60도 오프셋되며, 따라서 방향들(716a 및 717a)는 방향들(714a 및 715a)로부터 60도 오프셋된다. 도파관들(718 및 719)은 각각 방향들(718a 및 719a)을 따라 입력 광을 샘플 영역(755)으로 보내도록 배열된다. 방향들(718a 및 719a)은 대향되는 방향들이며 샘플 영역(755)의 제3 축(755z)을 따른다. 제2 축(755y)은 제1 축(755x) 및 제2 축(755y)로부터 각도 60도 오프셋된다. 따라서, 방향들(718a 및 719a)은 방향들(714a 및 715a)로부터 60도 오프셋되고, 방향들(716a 및 717a)로부터 60도 오프셋된다.
- [0257] 더 큰 영역의 샘플 영역(755)을 예시하기 위해, 각 도파관(714 내지 719)은 바람직하게는 각 입력 광을 샘플 영역(755)으로 보내기 전 각 입력 광의 광학 필드를 확장시키는 플레어 단부 영역(714b 내지 719b)을 포함할 수 있다.
- [0258] 광 주입 장치(740)는 광원(742)(예컨대, 가시광원 또는 근적외선 레이저 광원), 빔 분배기(745), 두 개의 진폭 변기들(718a, 718b), 두 개의 광학 멀티플렉서들(719a, 719b) 및 렌즈(746)를 포함한다. 광 주입 장치(740)는, 렌즈(746)에 의해 각 도파관(714 내지 719)에 각각 광학적으로 결합되는, 6개의 가능한 광선들(744a 내지 744f)을 생성한다. 6개의 가능한 광선은 아래의 방식으로 생성된다. 우선, 레이저(742)로부터의 광은 빔 분배기(745)를 사용하여 두 개의 빔으로 분리된다. 그런 다음, 두 개의 빔은 각 광학 멀티플렉서(719a, 719b)로 전송되기 전에 각 진폭 조정기(718a, 718b)로 보내진다. 진폭 조정기(719a, 719b)는 도파관들(714 내지 719)에 주입되는 광의 진폭을 조절함으로써 주기적 광 패턴의 간섭 프린지의 가시성(visibility)을 제어한다. 광학 멀티플렉서들(719a, 719b)는 바람직하게는 통신 네트워크(예컨대, 40G 광학 스위치)에 사용된 유형이며, 광선들(744a, 744b, 744c, 744d, 744e, 및 744f) 중 어느 하나 또는 이 광선들의 조합을 선택적으로 출력하도록 설정된다. 출력할 광선을 제어함으로써, 광학 멀티플렉서들(719a, 719b)은 도파관들(714 내지 719) 중 어느 하나에 또는 도파관들(714 내지 719)의 어느 조합에 입력 광이 주입되는지를 선택적으로 제어한다.
- [0259] 이 예에서, 광은 주기적 광 패턴을 생성하기 위해 도파관들(714 내지 719) 중 임의의 둘 이상에 주입될 수 있다. 또한, 도파관들의 다른 조합에 광을 주입함으로써(예를 들어, 각각 방향들(714a, 715a, 및d 718a)을 따라 샘플 영역(755)에 광을 보내기 위한 도파관들(714, 715 및 718)을 사용하여) 샘플을 조명하기 위한 다른 주기적 패턴이 생성될 수 있다. 또한, 주어진 주기적 광 패턴의 프린지의 방향은 적절한 도파관들의 조합들로부터 샘플 영역(755)에 광을 선택적으로 보냄으로써 샘플 영역에 대해 회전될 수 있음이 이해될 것이다. 예를 들어, 도 8에 도시된 바와 같이, (대향되는 도파관들(예컨대, 714 및 715)로부터 샘플 영역(755)으로 두 개의 상대 전파 광선을 보냄으로써 생성되는) "격자형(grating like)" 주기적 광 패턴(800a 내지 800c)은 서로 다른 쌍의 대향되는 도파관들(예컨대, 714와 715, 716과 717, 718과 719)로부터 도파관 영역(755)에 광을 보냄으로써 샘플 영역(755)에 대해 다른 방향들로 생성될 수 있다.
- [0260] 도 8에 도시된 "격자형" 주기적 광 패턴(800a 내지 800c)을 사용하여 샘플 영역(755) 내에 존재하는 샘플의 SIM 이미지를 얻기 위해, 다음의 단계들이 수행될 수 있다.
- [0261] 먼저, 입력 광이 샘플 영역의 축(755x)을 따라 상대 전파 광선을 보내도록 도파관들(714 및 715)로 주입된다. 두 개의 상대 전파 빔들의 간섭은 샘플을 여기시키기 위해 제1 주기적 광 패턴(800b)을 생성한다. 제1 주기적 광 패턴(800b)의 결과 샘플로부터 방출된 형광성 광 패턴(즉, 제1 여기 패턴)은 앞서 언급된 실시예들에 따라 대물 렌즈(30)에 의해 집광되고, 이미징 유닛(60)에 의해 기록 및 처리된다.
- [0262] 다음으로, 샘플 영역(755)에 대해 제1 주기적 광 패턴의 방향을 변경하기 위해, 광학 멀티플렉서는 샘플 영역(755)의 축(755y)을 따라 상대 전파 광선을 보내도록 도파관들(716 및 717)에 입력 광을 주입하기 위해 설정된다. 결과적인 간섭 패턴은 제2 주기적 광 패턴(즉, 제2 여기 패턴)을 형성한다. 제2 주기적 광 패턴(800b)의 결과 샘플로부터 방출된 형광성 광 패턴은 대물 렌즈(30)에 의해 집광되고, 이미징 유닛(60)에 의해 기록 및 처리

된다.

- [0263] 이후, 샘플 영역(755)에 대해 제1 주기적 광 패턴의 방향을 변경하기 위해, 광학 멀티플렉서는 샘플 영역(755)의 축(755z)을 따라 상대 전파 광선을 보내도록 도파관들(718 및 719)에 입력 광을 주입하기 위해 설정된다. 결과적인 간섭 패턴은 제3 주기적 광 패턴(즉, 제3 여기 패턴)을 형성한다. 제3 주기적 광 패턴(800c)의 결과 샘플로부터 방출된 형광성 광 패턴은 대물 렌즈(30)에 의해 집광되고, 이미징 유닛(60)에 의해 기록 및 처리된다.
- [0264] 제1 주기적 광 패턴의 방향은 물론 더 많은 수의 여기 패턴들로 샘플을 조명하기 위해 더 많은 횡수로 변경될 수 있다. 일부 예들에서, 입력 광의 파장은 각기 다른 방향들 사이에서 변화할 수 있을 것이므로 패턴들이 반드시 모두 동일한 주기를 가질 필요는 없다는 것이 이해될 것이다.
- [0265] 마지막으로, 이전 실시예들에서와 같이, 이미징 유닛(60)의 전자 제어 유닛(64)은 샘플의 SIM 이미지를 생성하기 위해 주지의 SIM 프로세싱 방법들을 사용하여 모든 여기 패턴들과 관련된 전기 신호들을 처리한다.
- [0266] 바람직하게는, 대향되는 도파관 쌍(예컨대, 714 및 715)은 도파관들 중 하나(예컨대, 714)에 결합된 위상 조정기를 각각 포함할 수 있다. 위상 조정기는 추가 여기 패턴들을 생성하도록 각 방향에 대해 주기적 광 패턴들의 프린지 간격을 시프트시키는데 사용될 수 있다. 이미징 유닛(60)은 SIM 이미지를 생성하기 위해 이러한 추가 여기 패턴들에 기인하는 방출 패턴을 사용할 수 있다.
- [0267] 선택적으로, 진폭 조정기(예컨대, 가변 광 흡수기)는 다양한 주기 광 패턴들(즉, 여기 패턴들) 사이의 대비를 증가시키도록 조정될 수 있다.
- [0268] 도 9는 하나 이상의 각기 다른 방향들(914a 내지 919a)을 따라 샘플 영역(955)에 입력 광을 보내도록 광 주입 장치(940)로부터의 입력 광을 하나 이상의 도파관들(914 내지 919)에 결합시키는, 광학 분배기들(913a 내지 913c)를 사용하여 입력 인터페이스(911)에서의 입력 수가 감소되는 배열의 예를 도시한다.
- [0269] 도시된 바와 같이, 광학 컴포넌트(910)의 입력 인터페이스(911)는 3 개의 y자형 브랜치 광학 분배기들(913a 내지 913c)을 포함한다. 각 광학 분배기(913a 내지 913c)의 입력부는 광학 컴포넌트(910)의 좌측면에서 종결되고, 광 주입 장치(940)으로부터 광학 컴포넌트(940)으로 주입된 입력 광을 수신하도록 배열된다. 각 광학 분배기(913a 내지 913c)의 두 출력부들은 각 도파관(914 내지 919)에 각각 광학적으로 결합된다. 도파관들(914 내지 919)은 바람직하게는 리드 도파관들이며, 각 도파관들은 6개의 각기 다른 방향들(914a 내지 919a)을 따라 광 주입 장치(940)로부터의 입력 광을 샘플 영역(955)에 보내도록 샘플 영역(955)의 각기 다른 면들을 향해 굴곡지고 광학적으로 결합된다.
- [0270] 구체적으로, 도파관들(914 및 915)은 각각 방향들(914a 및 915a)을 따라 샘플 영역(955)으로 입력 광을 보내도록 배열된다. 방향들(914a 및 915a)은 샘플 영역(955)의 제1 축(955x)을 따라 대향되는 방향들이다. 도파관들(916 및 917)은 각각 방향들(916a 및 917a)을 따라 샘플 영역(955)에 입력 광을 보내도록 배열된다. 방향들(916a 및 917a)은 샘플 영역(955)의 제2 축(955y)을 따라 대향되는 방향들이다. 제2 축(955y)은 제1 축(955x)으로부터 각도로 60도 오프셋된다. 따라서, 방향들(916a 및 917a)은 방향들(914a 및 915a)로부터 60도 오프셋된다. 도파관들(919 및 917)은 각각 방향들(918a 및 919a)을 따라 샘플 영역(955)에 입력 광을 보내도록 배열된다. 방향들(918a 및 919a)은 샘플 영역(955)의 제3 축(955z)을 따라 대향되는 방향들이다. 제2 축(955y)은 제1 축(955x) 및 제2 축(955y)로부터 각도로 60도 오프셋된다. 따라서, 방향들(918a 및 919a)은 방향들(914a 및 915a)로부터 60도 오프셋되고, 방향들(916a 및 917a)로부터 60도 오프셋된다.
- [0271] 더 큰 영역의 샘플 영역(955)을 예시하기 위해, 각 도파관(914 내지 919)은 바람직하게는 각 입력 광을 샘플 영역(955)으로 보내기 전 각 입력 광의 광학 필드를 확장시키는 플레어 단부 영역을 포함한다.
- [0272] 광 주입 장치(940)는 광원(942)(예컨대, 가시광원 또는 근적외선 레이저 광원), 광학 섬유(944), 광학 멀티플렉서(919) 및 렌즈(946)를 포함한다. 광원(942)으로부터의 광은 광학 섬유(944)에 의해 광학 멀티플렉서(919)로 보내진다. 본 명세서의 다른 실시예들에서와 같이, 광학 멀티플렉서(919)는 바람직하게는 통신 네트워크에 사용된 유형이며, 어느 도파관 또는 도파관들에 입력 광이 주입되는지를 제어하도록 배열된다. 바람직하게는, 광학 멀티플렉서는 본 명세서에 개시된 파장들 - 예를 들어, 400-700 nm 영역의 가시 파장에 최적화된다.
- [0273] 이 예에서, 입력 광을 광학 분배기(913a)에 주입하는 것은 결국 도파관 쌍(914 및 915)으로부터 축(955x)을 따라 샘플 영역(955)에 상대 전파 광선이 주입되는 것이라는 것이 이해될 것이다. 이들 도파관들(914, 915)로부터의 입력 광은 각각 방향들(914a 및 915a)을 따라 샘플 영역(955)으로 이동될 것이고, 제1 주기적 광 패턴(800b)을 생성하도록 간섭될 것이다. 광학 분배기(913b)로 주입된 입력 광은 도파관 쌍(916 및 917)에 의한 방향들

(916a 및 917a)을 따라 샘플 영역(955)으로 주입되는 입력 광이 될 것이다. 방향들(916a 및 917b)을 따라 샘플 영역(955) 내에서 이동되는 입력 광은 제2 주기적 광 패턴(800c)을 생성하도록 간섭될 것이다. 제3 주기적 광 패턴은 도파관들(918 및 919)을 사용하여 방향들(918a 및 919a)을 따라 샘플 영역(955)으로 입력 광을 보내도록 광학 분배기(913)에 입력 광을 주입함으로써 생성될 수 있다.

[0274] 따라서, 입력 광은 각기 다른 주기적 광 패턴들을 생성하기 위해 광학 분배기들 중 임의의 둘 이상에 주입될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 또한, 주기적 광 패턴의 방향은 입력 광을 주입할 광학 분배기를 변경함으로써 샘플 영역에 대해 회전될 수 있다.

[0275] 따라서, 예를 들어, 이 배열로 샘플의 SIM 이미지를 얻기 위해, 광 주입 장치(940)는 입력 광을 광학 분배기들(913a, 913b 및 913c)에 순차적으로 주입함으로써 샘플 영역(955) 내의 샘플을 제1, 제2 및 제3 주기적 광 패턴들로 순차적으로 조명할 수 있다. 각기 다른 주기적 광 패턴들의 결과 샘플로부터 방출된 광 패턴은 본 명세서의 다른 실시예들에 따라 주지의 SIM 프로세싱 기법들을 사용하여 샘플의 SIM 이미지를 생성하기 위해 렌즈에 의해 집광되고 이미징 유닛(60)에 의해 처리될 수 있다.

[0276] 바람직하게는, 도파관들(914 내지 919)은 위상 조정기(918a 내지 918c, 918a' 및 918c')를 각각 포함할 수 있다. 이전 실시예들에서와 같이, 위상 조정기는 추가 여기 패턴들을 생성하도록 각 방향에 대해 주기적 광 패턴들의 프린지 간격을 시프트시키는데 사용될 수 있다. 이미징 유닛(60)은 SIM 이미지를 생성하기 위해 이러한 추가 여기 패턴들에 기인하는 방출 패턴을 사용할 수 있다.

[0277] 상기 배열에서, 주기적 광 패턴의 프린지의 방향 및 위치는 광 주입 장치 및/또는 광학 컴포넌트를 이동시키지 않고 샘플 영역에 대해 변경될 수 있음이 이해될 것이다. 또한, 광 주입 장치(940)는 입력 광을 광학 컴포넌트(955)의 하나의 면에만 주입하여, 종래 설정과 비교하여 보다 컴팩트한 SIM 이미징 설정으로 이어진다. 또한, 광학 멀티플렉서를 포함하는 실시예에서, 제1, 제2 및 제3 주기적 광 패턴들의 생성은 종래 설정에서와 같은 광 기계식 컴포넌트(예컨대, 이동 가능한 미러)의 움직임이 아닌 광학 멀티플렉서의 속도에 의해서만 제한된다. 이는 텔레통신에서와 같은 현재 광학 멀티플렉서가 1GHz 이상의 변조 속도를 가지며, 이는 일반적으로 KHz 범위의 변조 속도를 갖는 현재 광기계식 컴포넌트보다 훨씬 빠르기 때문에 유리하다.

[0278] 대안적인 배열에서, 주어진 주기적 간섭 패턴의 프린지는 간섭 빔들 중 적어도 하나의 광학 경로 길이를 줄이거나 늘림으로써 축 방향으로 시프트될 수 있다. 상기 예에서, 이는 바람직하게는 열 위상 조정기와 같은 위상 조정기(즉, 918a-c)에 의해 달성될 수 있다. 그러나, 변형예에서, 이는 두 개의 다른 광학 경로 길이를 갖는 두 개의 다른 광학 분배기들로부터 도파관에 광을 선택적으로 보냄으로써 달성된다. 각기 다른 광학 경로 길이는 예를 들어 각기 다른 굴절률 물질로 광학 분배기를 만들거나, 또는 바람직하게는 더 긴 출력 길이(예컨대, 더 긴 y자형 브랜치 출력부)를 가짐으로써 달성될 수 있다.

[0279] 도 10은 각 도파관(1014 내지 1019)이 두 개의 각기 다른 y자형 브랜치 광학 분배기들(1013a 내지 1013f)로부터 입력 광을 수신하도록 결합되는 배열을 예시한다. 따라서, 예를 들어, 도파관(1014)은 광학 분배기(1013a)의 출력부들 중 하나와 광학 분배기(1013b)로부터의 출력부들 중 하나에 결합된다. 광학 분배기(1013a)로부터의 출력부가 광학 분배기(1013b)로부터의 출력부보다 비교적 짧은 광학 경로 길이를 가지므로, 도파관(1014)로부터 샘플 영역(1055)로 보내진 (또 다른 간섭 광선에 대한) 광선의 위상은 광학 분배기(1013a) 또는 광학 분배기(1013b)가 제1 도파관(1014)로 광을 주입하는데 사용되는지 여부에 따라 변경될 수 있다. 물론 어느 광학 분배기(1013a 내지 1013f)를 사용할지를 선택하는 것은 입력 광이 광 주입 장치(1040)로부터 어느 광학 분배기(1013a 내지 1013f)에 주입되는지에 따라 달라진다. 예를 들어, 광 주입 장치(1040)는 광학 멀티플렉서(1046)를 사용하여 광원(1042)으로부터 광을 주입할 광학 분배기(1013a 내지 1013f)를 제어할 수 있다.

[0280] 이 예에서, 광학 컴포넌트(1055)의 각각의 도파관들(1014 내지 1019)은 두 개의 다른 광학 분배기들의 출력부들로부터 입력 광을 수신하도록 배열되며, 출력부들은 각기 다른 광학 경로 길이를 갖는다. 따라서, 주어진 도파관(1014 내지 1019)로부터 샘플 영역(1055)으로 보내지는 입력 광의 상대 위상은 도파관이 입력 광을 수신하는 광학 분배기를 선택함으로써 조정된다.

[0281] 따라서, 예를 들어, 샘플 영역(1055) 내에 존재하는 샘플의 SIM 이미지를 얻기 위해, 입력 광은 우선 제1 주기적 간섭 패턴으로 샘플을 조명하기 위해 광학 분배기(1013a)에 주입될 수 있다. 다음으로, 제1 주기적 간섭 패턴의 프린지의 위치를 축 방향으로 시프트시키기 위해(예를 들어, 샘플 영역(1055)의 축(1055x)을 따라 TT/3로 프린지를 선형으로 시프트시키기 위해), 입력 광은 광학 분배기(1013b)로 주입될 수 있다.

[0282] 샘플 영역(1055)에 대해 제1 주기적 간섭 패턴의 프린지의 방향을 변경(예를 들어, 회전)(즉, 이에 따라 제2 주

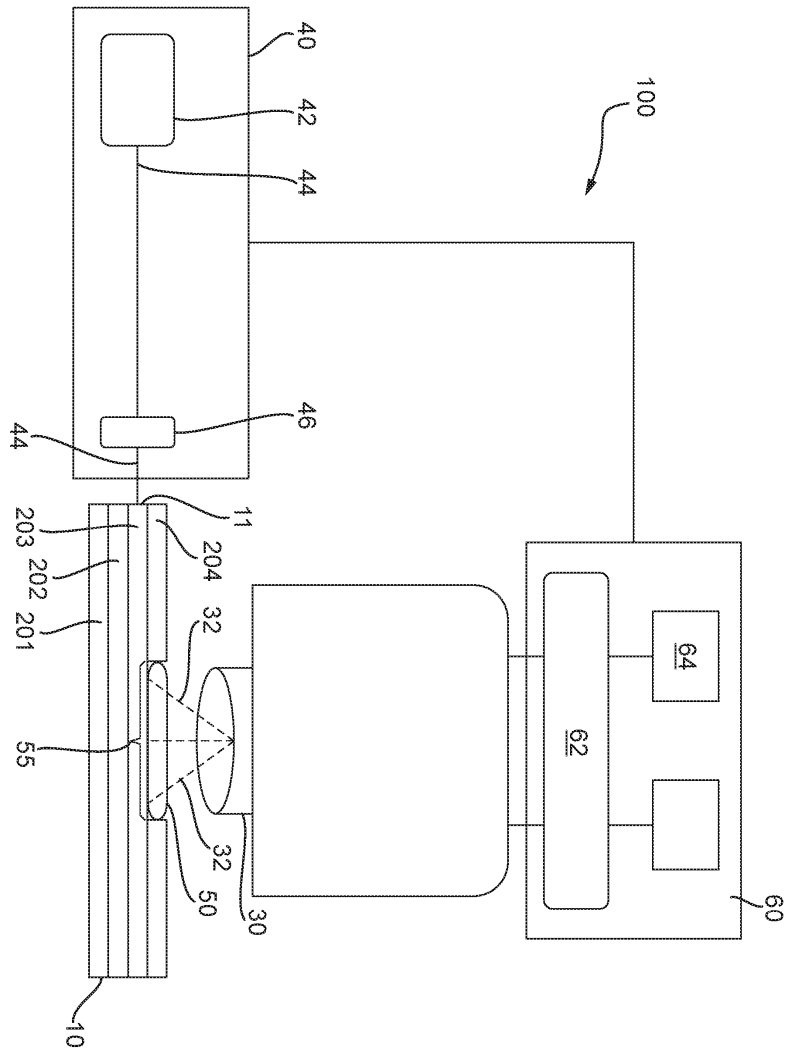
기적 간섭 패턴으로 샘플 영역(1055)을 조명)하기 위해, 입력 광은 광학 분배기(1013c)로 주입될 수 있다. 제2 주기적 광 패턴의 프린지는 입력 광을 광학 분배기(1013d)로 주입함으로써 축 방향으로 시프트될 수 있다.

- [0283] 샘플 영역(1055)에 대해 제1 주기적 간섭 패턴의 프린지들의 방향을 추가 변경(및 이에 따라 제3 주기 간섭 광으로 샘플 영역(1055)을 조명)하기 위해, 입력 광이 광학 분배기(1013e)로 주입될 수 있다. 제3 주기 광 패턴의 프린지들은 광학 분배기(1013f)로 입력 광을 주입함으로써 축 방향으로 변위될 수 있다.
- [0284] 다른 실시예들에서와 같이, 각기 다른 조명 주기적 광 패턴들(즉, 각기 다른 방향 및 프린지 변위와 관련된 다른 조명 패턴들)에 응답하여 샘플로부터의 광은 샘플의 SIM 이미지를 생성하기 위해 주지의 SIM 프로세싱 방법들을 사용하여 집광되고 처리될 수 있다.
- [0285] 대안적인 실시예들에서, 도 10에 예시된 것과 유사한 광학 컴포넌트는 추가적인 3 개의 y자형 브랜치 광학 분배기를 포함할 수 있는데, 이 3 개의 y자형 브랜치 광학 분배기는 도 10b에 도시된 바와 같이, 입력 인터페이스(1011)에서 9개의 각 입력부들로부터 공급되는, 총 9개의 y자형 브랜치 광학 분배기들을 만든다. 각각의 6개의 도파관들(1014 내지 1019)은 3개의 y자형 브랜치 분배기들로부터 입력 광을 수신하도록 결합된다.
- [0286] 다른 배열들에서, 3개 이상의 추가적인 y자형 브랜치 광학 분배기들이 도 10의 광학 컴포넌트에 추가될 수 있다. 물론, 샘플 영역으로 광을 출력하는 6개 이상의 도파관들도 존재할 수 있다.
- [0287] 3D SIM 이미지들을 생성하기 위해, 입력 광은 또한 광학 컴포넌트의 코어 영역의 평면에 대해 경사지는 방향을 따라 샘플 영역으로 보낼 필요가 있다. 이는 본 명세서의 실시예들에서 도 11에 예시된 바와 같은 격자 및 도파관 커플러 배열을 사용하여 또는 도 13에 예시된 바와 같이 대물 렌즈를 사용하여 샘플 영역으로 광을 보냄으로써 달성될 수 있다.
- [0288] 도 11에서, 소산 도파관 커플러(1120)는 도파관(1114) 내의 입력 광의 일부를 수신하기 위해 광학 컴포넌트(1155) (예를 들어, 이는 도파관 커플러(1120)를 통해 샘플 영역(1155)으로 광을 보내기 위한 앞서 언급된 광학 컴포넌트의 도파관들 또는 개별 전용 도파관 중 하나일 수 있음)의 도파관(1114) 아래에 배치되고, 광학적으로 결합된다. 바람직하게, 소산 도파관 커플러(1120)는 도파관(1114) 내의 입력 광의 소산장과 중첩하도록 광학 컴포넌트(1155)의 기관과 도파관(1114)의 코어층 사이에 배열된다. 중첩의 결과는 도파관(1114) 내의 입력 광의 일부가 소산 도파관 커플러(1120)로 결합될 것이라는 것이다. 도파관 커플러(1120)는 샘플 영역(1155) 아래에 위치한 격자(1121)로 수신된 광을 보내도록 배열된다. 일반적으로, 소산 도파관 커플러(1120)는 앞서 언급된 도파관과 동일한 방식으로 그 길이를 따라 수신된 광을 가이드하기 위한 코어층을 포함할 수 있다. 코어층은 상부 클래딩 층과 하부 클래딩 층 사이에 끼워질 수 있으며, 격자(1121)는 소산 도파관 커플러(1120)의 가이드된 광의 소산장과 중첩되도록 상부 클래딩 층에 예칭될 수 있다. 격자(1121)는 위에 놓여 있는 샘플 영역(1155)을 향해 중첩되는 광의 일부를 보내도록 주지의 기법들을 사용하여 배열될 수 있다. 이 위로 보낸 광(1122)은 물론 샘플 영역(1155)의 평면에 대해 경사질 것이다. 추가로, 이 위로 보내진 광(1122)은 또한 입력 광이 도파관들(1114, 1115)로부터 샘플 영역(1155)으로 주입되는 방향들(1114a, 1115a)에 대해 경사질 수 있을 것이다. 여기서 “위로(upward)”의 사용은 이러한 실시예들이 다른 방향들에서 사용되는 것을 제한하지 않는다는 것이 이해될 것이다.
- [0289] 도 12는 (i) 샘플 영역(1155)의 격자(1121)으로부터의 입력 광을 샘플 영역(1155)의 평면에 대해 직교 방향으로 보내고, (ii) 도파관들(1114, 1115)의 평면에서 대향되고 평행한 방향(1114a, 1115a)을 따라 샘플 영역(1155) (예를 들어, 앞서 언급된 대향되는 도파관 중 어느 하나로)으로 입력 광을 보낸 결과로서 생성되는 3D 주기적 광 패턴의 시뮬레이션을 예시한다.
- [0290] 일례로, 샘플의 3D SIM 이미지를 얻기 위해 다음의 단계들이 수행될 수 있다. 먼저, 입력 광(1122)은 도 8의 제1 주기적 광 패턴(800b)과 간섭시키기 위해, 격자(1121)로부터 샘플 영역(1155)으로 위로 보내질 수 있다. 다음으로, 격자(1121)로부터의 입력 광(1122)은 도 8의 제2 주기적 광 패턴과 간섭될 수 있다. 이후, 격자(1121)로부터의 입력 광(1122)은 도 8의 제3 주기적 광 패턴(800a)과 간섭될 수 있다.
- [0291] 선택적으로, 제1, 제2 및 제3 주기적 광 패턴들의 프린지들은 이전 실시예들에 따라 위상 조정기를 사용하여 시프트될 수 있다.
- [0292] 다른 조명 주기적 광 패턴(즉, 다른 방향 및 프린지 변위와 관련된 다른 조명 패턴)에 응답하여 샘플로부터 방출된 광은 샘플의 3D SIM 이미지를 생성하기 위해 주지의 SIM 프로세싱 방법들을 사용하여 집광되고 처리될 수 있다.

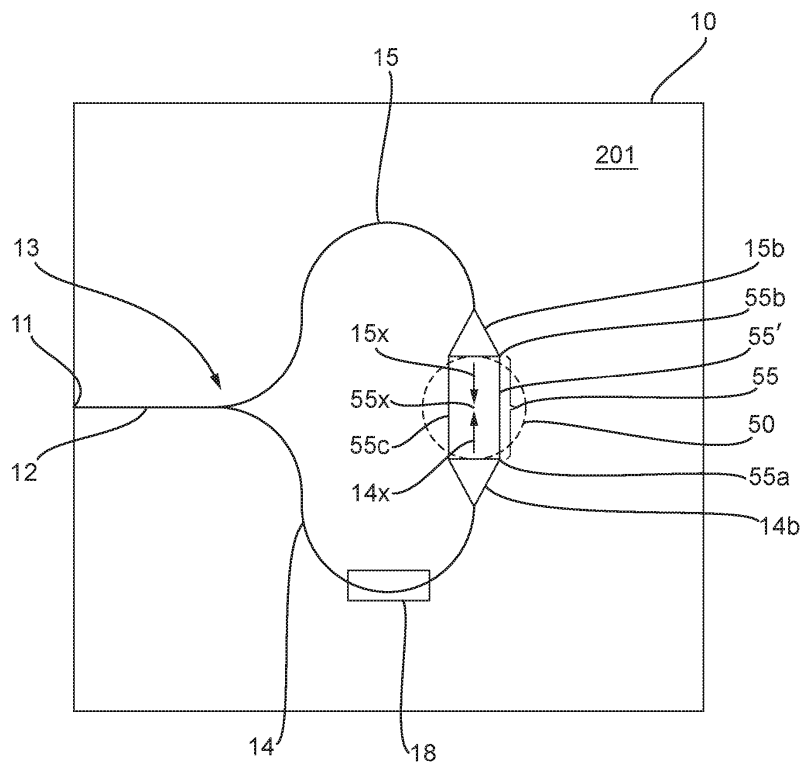
- [0293] 도 13은 광학 컴포넌트(1310)의 샘플 영역(1355)을 향하는 전방 시야(1332)를 갖는, 플랜N 20x/0.4 Olympus™ 대물 렌즈와 같은 대물 렌즈(1330)를 포함하는 형광 현미경 검사를 수행하는 장치(1300)을 도시한다. 이는 또한 광학 컴포넌트(1310)의 입력 인터페이스(1311)에 광학적으로 결합된 광 주입 장치(1340)를 포함한다. 샘플 (1350)은 동일한 영역(1355) 내에 위치된다. 장치(1300)는 또한 전방 시야(1332) 내의 대물 렌즈(1330)에 의해 집광된 광을 수신 및 처리하도록 구성된 이미징 유닛(1360)을 포함한다. 이미징 유닛(1360)은 도 1의 이미징 유닛(60)과 동일한 컴포넌트를 포함할 수 있다.
- [0294] 광 주입 장치(40)는 렌즈(1346), 및 이 예에서는 가시 파장 레이저 소스인, 광원(1342)를 포함한다. 광원으로부터의 광은 외부 분배기(1333)(예컨대, 광학 섬유 멀티플렉서 분배기)에 의해 2개의 빔으로 분할된다. 분배기 (1333)의 출력 빔들 중 하나는 제1 광학 섬유(1344a)에 의해 제1 렌즈(1346a)로 보내진다. 분배기(1333)의 다른 출력 빔은 제2 광학 섬유(1344b)에 의해 제2 렌즈(1346b)로 보내진다. 제1 렌즈(1346a)는 제1 광학 섬유 (1344a)로부터의 광을 광학 컴포넌트(1310)의 입력 인터페이스(1311)로 포커싱하도록 배열된다. 광학 컴포넌트 (1310)는 본 명세서에 개시된 방법들 및 배열들 중 어느 하나에 따라 수신된 광으로 제1 입력 빔과 제2 입력 빔 을 형성할 수 있으며, 이러한 빔들을 (예를 들어, 2D 도파관들을 통해) 샘플 영역으로 이러한 빔들을 보낼 수 있다.
- [0295] 제2 렌즈(1346b)는 미러(1347) 상에 제2 광학 섬유(1344b)로부터의 광을 포커싱하도록 배열된다. 미러(1347)는 수신된 광을 대물 렌즈(1330)로 보낸다. 대물 렌즈(1330)는 샘플 영역(1355)의 평면에 대해 90도 각도에서 제3 입력 광(1348)으로서 미러(1347)로부터의 광을 샘플 영역(1355)으로 포커싱한다. 그러나, 일부 실시예들에서, 대물 렌즈(1330)는 샘플 영역(1355)의 평면에 대해 임의의 각도로 제3 입력 광을 샘플 영역(1355)으로 보내도록 배열될 수 있다. 바람직하게는, 대물 렌즈(1330)의 시야는 샘플 영역(1355)을 향하고, 대물 렌즈(1330)는 샘플 영역(1355) 내의 샘플(1350)로부터의 광을 집광하도록 배열된다.
- [0296] 3D 이미지들을 생성하기 위해, 도 13의 장치는 광학 컴포넌트(1310)에 의해 생성된 제1 주기적 광 패턴과 간섭 되도록 대물 렌즈(1330)를 사용하여 입력 광을 샘플 영역으로 보내는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 제1 주기적 광 패턴은 도 8b의 주기적 광 패턴(800b)일 수 있다. 대물 렌즈(1330)로부터의 제3 입력 광은 추후에 광학 컴포 넌트(1310)에 의해 생성된 다른 주기적 광 패턴과 간섭될 수 있다(예를 들어, 제3 입력 광은 도 8c의 주기적 광 패턴(800c)과 간섭될 수 있으며 나중에 도 8a의 주기적 광 패턴(800a)과 간섭될 수 있다.
- [0297] 선택적으로, 제1, 제2 및 제3 주기적 광 패턴들의 프린지들은 이전 실시예들에 따라 위상 조정기를 사용하여 변 위될 수 있다.
- [0298] 다른 조명 주기적 광 패턴들(즉, 다른 방향과 프린지 변위와 관련된 다른 조명 패턴들)에 응답하여 샘플로부터 방출된 광은 샘플의 3D SIM 이미지를 생성하기 위해 주지의 SIM 프로세싱 방법들을 사용하여 집광 및 처리될 수 있다.
- [0299] 샘플에 보내진 여기 광이 도파관의 엣지 단면으로부터 방사되는 배열에서, 도파관의 상부 클래딩 층은 공기일 수 있다. 즉, 도파관의 층들은 광학 컴포넌트의 기판에 배열된 하부 클래딩 영역 및 하부 클래딩 영역 상에 배 열된 코어 영역(203)을 포함할 수 있다.
- [0300] 도파관(들)의 상부 클래딩 층으로 공기가 사용되는 대안적인 실시예들에서, 샘플은 도파관 내의 가이드된 광의 소산장과 간섭시키기 위해 도파관 상에 직접 배치될 수 있음이 이해될 것이다. 따라서, 이 배열에서, 샘플 우물 은 필요하지 않으며, 샘플은 이를 도파관 상에 직접 배치하고 도파관 내에서 두 개의 상대 전파 빔들을 가이드 함으로써 간섭 패턴으로 조명될 수 있다.
- [0301] 상기 실시예들에서, 광학 분배기들은 y자형 브랜치 도파관 분배기이지만, 대안적으로 멀티모드 간섭 커플러 (multimode interference coupler; MMI) 또는 소산 도파관 커플러와 같은 임의의 다른 유형의 광학 분배기일 수 있다.
- [0302] 본 발명은 몇몇 특정 실시예들을 설명함으로써 예시되었지만, 이러한 실시예들로 제한되지 않는다 것이 당업자 들은 이해될 것이다; 첨부된 청구항들의 범위 내에서 많은 변경 및 변형이 가능하다.

도면

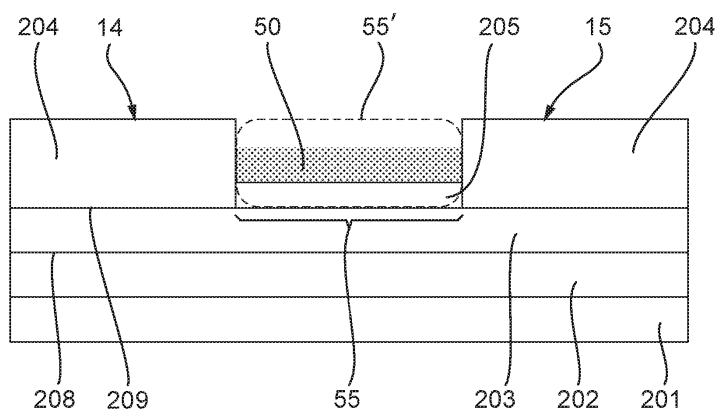
도면1



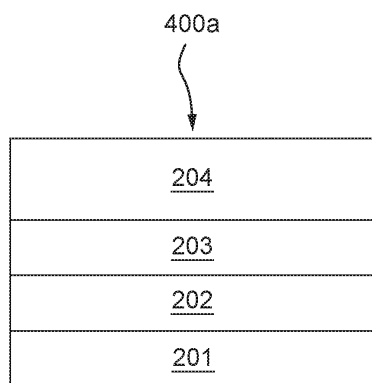
도면2



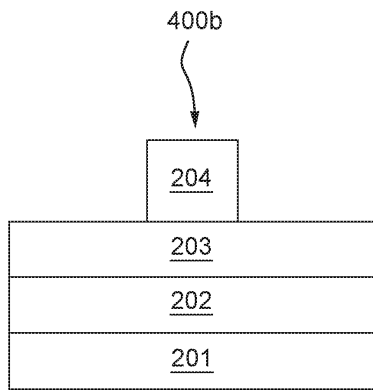
도면3



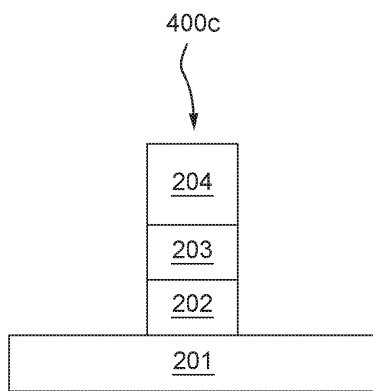
도면4a



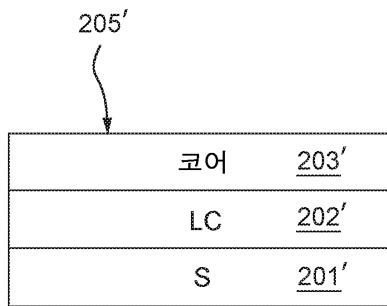
도면4b



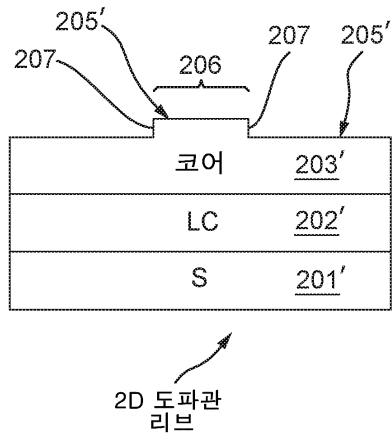
도면4c



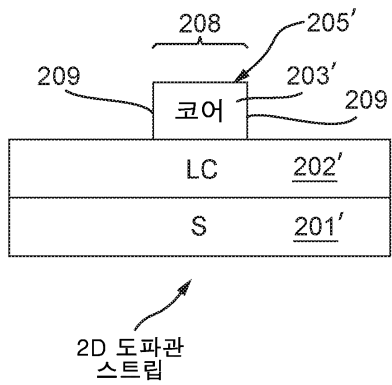
도면4d



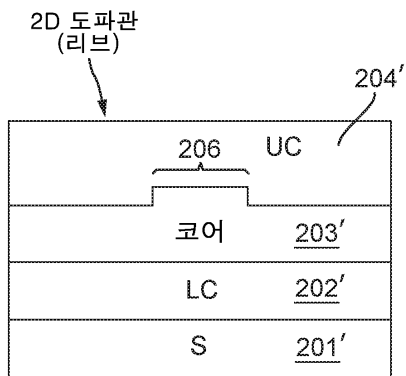
도면4e



도면4f

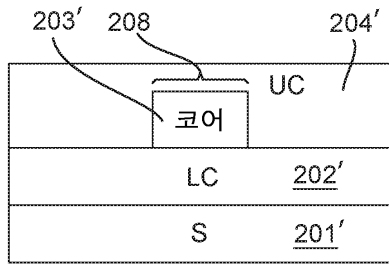


도면4g



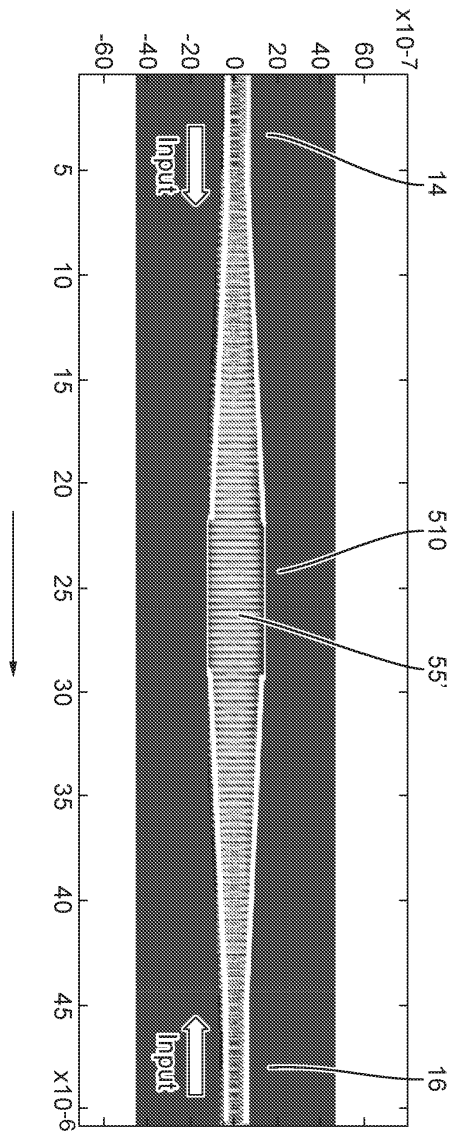
Lc = 하부 클래딩 코어

도면4h

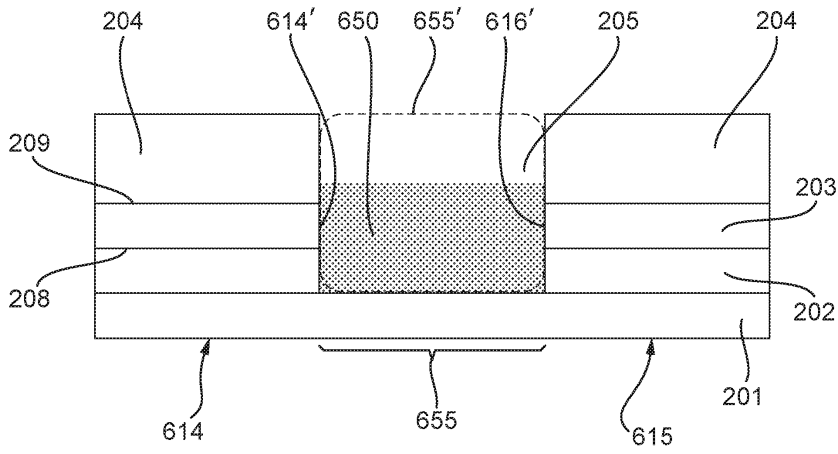


UC = 상부 클래딩

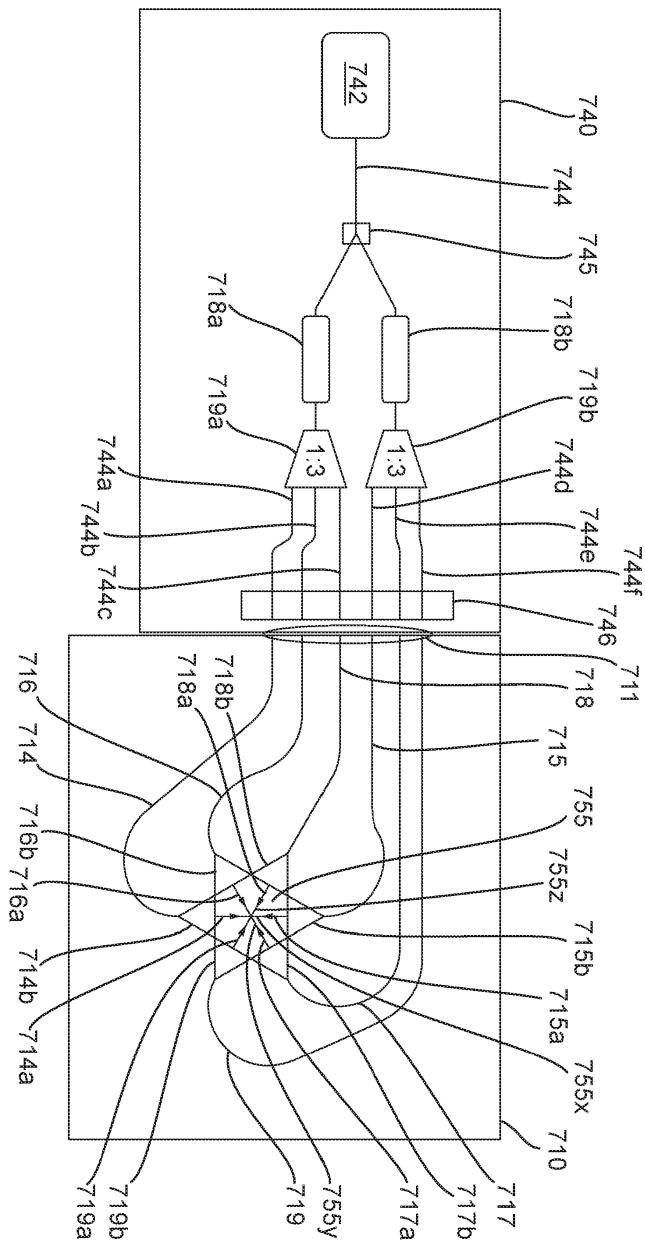
도면5



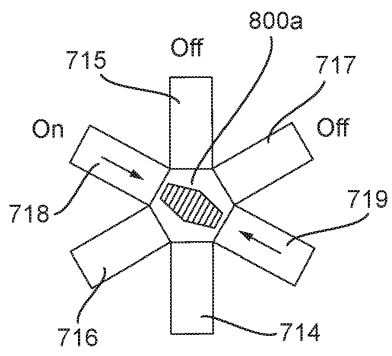
도면6



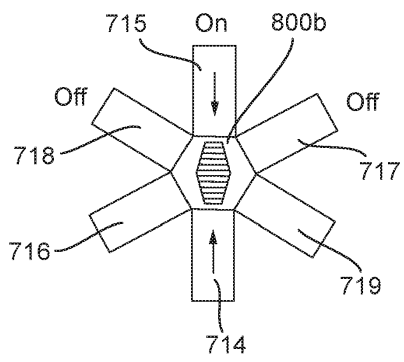
도면7



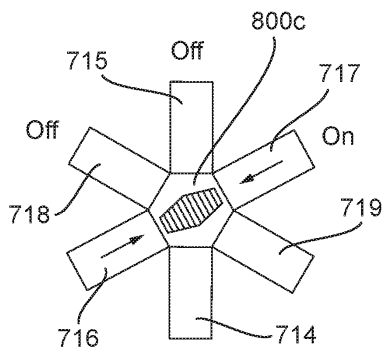
도면8a



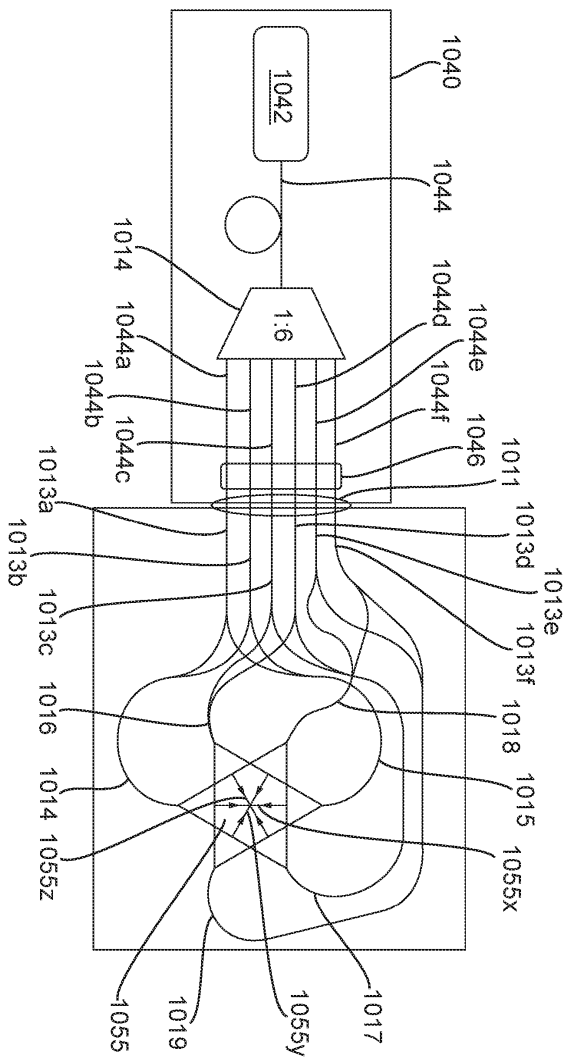
도면8b



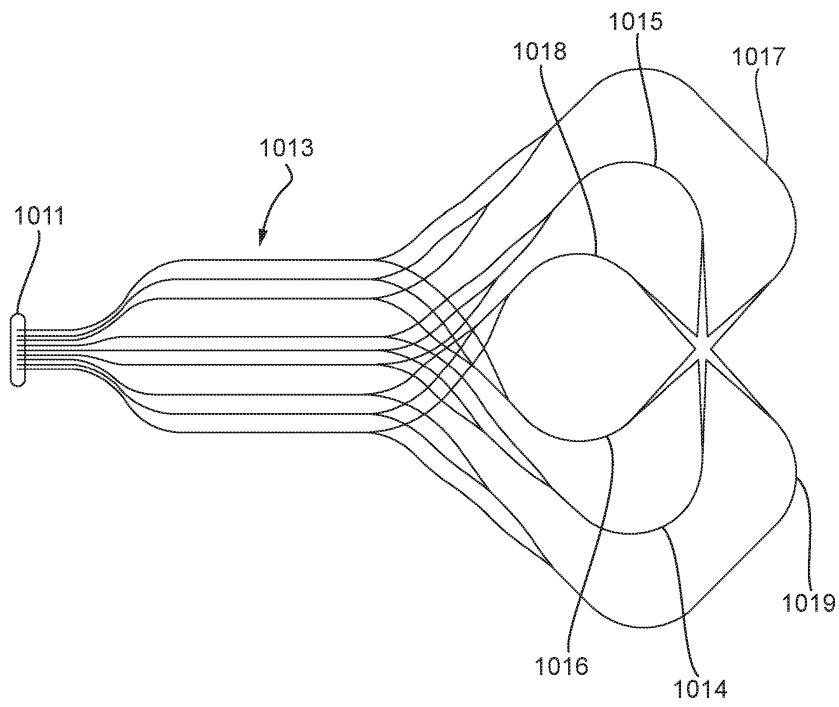
도면8c



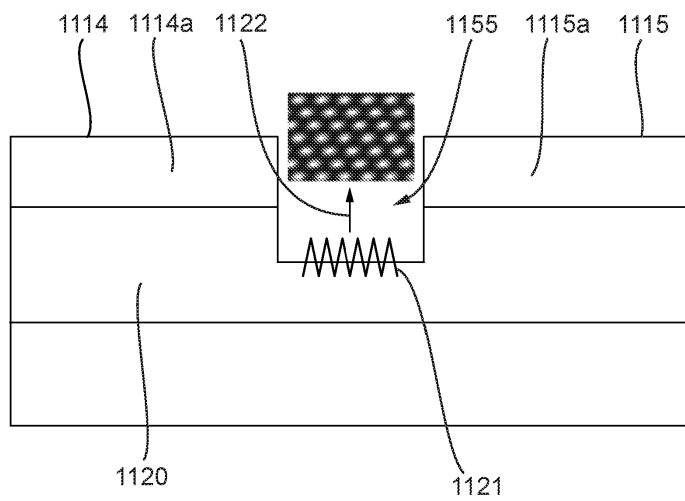
도면10



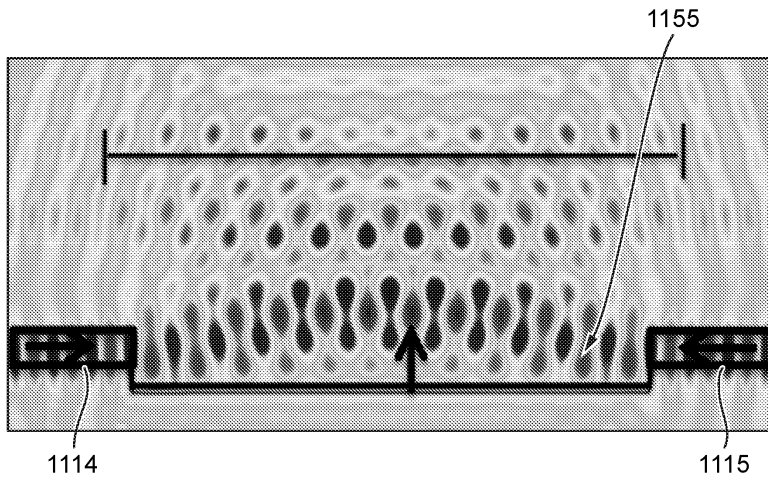
도면10b



도면11



도면12



도면13

