



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년12월06일
(11) 등록번호 10-2334168
(24) 등록일자 2021년11월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/88 (2006.01) G01N 21/65 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 21/8851 (2013.01)
G01N 21/65 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-7036236
(22) 출원일자(국제) 2016년05월19일
심사청구일자 2021년04월29일
(85) 번역문제출일자 2017년12월15일
(65) 공개번호 10-2018-0000730
(43) 공개일자 2018년01월03일
(86) 국제출원번호 PCT/US2016/033353
(87) 국제공개번호 WO 2016/187468
국제공개일자 2016년11월24일
(30) 우선권주장
62/163,783 2015년05월19일 미국(US)
62/222,724 2015년09월23일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20040233440 A1
(뒷면에 계속)
전체 청구항 수 : 총 7 항

(73) 특허권자
케이엘에이 코포레이션
미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크
놀로지 드라이브
(72) 발명자
레빈스키 블라디미르
이스라엘 23100 미그달 하에벡 헤르몬 9
파스코버 유리
이스라엘 38900 시저이아 쇼함 스트리트 10
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김태홍, 김진희

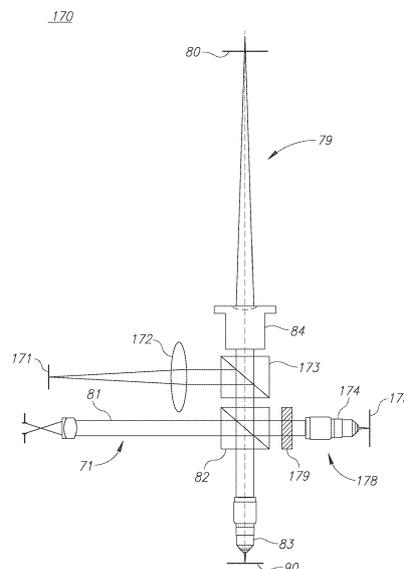
심사관 : 이창호

(54) 발명의 명칭 오버레이 측정을 위한 지형 위상 제어

(57) 요약

주기적인 타겟에 대한 광 산란으로 인한 상이한 회절 차수에 대응하는 지형 위상의 효과를 추정하고 측정 정확도를 향상시키기 위해 측정 조건을 조정하는 계측 툴 및 방법이 제공된다. 이미징에서, 콘트라스트 함수 거동의 분석, 조명 조건의 변경(스펙트럼 폭 및 조명 NA 감소), 편광 타겟 및/또는 광학 시스템 사용, 다수의 디포커싱 위치 사용 등에 기초하여 적절한 측정 조건을 선택함으로써 오버레이 에러 확대가 감소될 수 있다. 측정 결과의 온-더-플라이 캘리브레이션이 추가 측정 또는 추가 타겟 셀을 사용하여 이미징 또는 스캐터로메트리에서 수행될 수 있다.

대표도 - 도6



(52) CPC특허분류	(56) 선행기술조사문헌
<i>G01N 2021/653</i> (2013.01)	US20060164649 A1
(72) 발명자	US20140060148 A1
마나센 암논	US20140111791 A1
이스라엘 34892 하이파 골다 메이르 10	US20150043803 A1
살리보 요니	
이스라엘 30550 빈야미나 하-야스민 스트리트 5에	
이	

명세서

청구범위

청구항 1

이미징 계측 틀에 있어서,

디포커싱 레벨에 대한 오버레이 에러 확대(overlay error magnification)의 의존성을 유도하도록 구성된, 하나 이상의 프로세서에 의하여 동작되는 캘리브레이션(calibration) 모듈 - 상기 의존성은, 타겟 피치, 타겟 비대칭성, 제1 회절 차수의 진폭, 지형 위상(topographic phase), 및 디포커스에 기초하고, 상기 제1 회절 차수의 진폭은, 복수의 대칭 직사각 영역들로부터의 진폭들, 상기 타겟 피치, 및 위상차에 기초하고, 상기 캘리브레이션

모듈을 사용하여, $\tan(\Psi^{(1)} - \Psi^{(0)} - 2\pi(1 - \cos \theta_1)\Delta z/\lambda)$ 에 의하여 정의된 팩터를 감소시키기 위하여 포커스 위치를 조정함으로써 상기 오버레이 에러 확대를 제어하고, 여기서 Δz 은 디포커싱 레벨이고, λ 는 조명 파장이고, θ_1 는 제1 회절 차수의 조명각이고, $\Psi^{(1)}$ 및 $\Psi^{(0)}$ 는 각각 1차 회절 차수 및 0차 회절 차수의 지형 위상들임 -; 및

좁은 스펙트럼 범위 $\Delta \lambda \leq 10\text{nm}$ 에서, 좁은 조명 개구수 $NA \leq 0.1$ 에서, 그리고 상기 유도된 의존성에 따른 제로 오버레이 에러 확대에 대응하는 포커스 위치에서 작동하도록 구성된 광학 시스템을

을 포함하는 이미징 계측 틀.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 광학 시스템은, 대략 검출 평면에서 3개의 각각의 포커스 위치들을 제공하도록 구성된 빔 분리기들 및 미러를 포함하는 광학 어셈블리를 포함하고, 상기 빔 분리기들 다음으로 상기 미러가 뒤따르는 것인 이미징 계측 틀.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 광학 시스템은, 필드 정지부(field stop)에서의 레티클, 광학 기기들, 및 3개의 각각의 포커스 위치들을 제공하도록 구성되는 빔 분리기들을 포함하는 것인 이미징 계측 틀.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 이미징 계측 틀은, 적어도 2개의 빔 분리기들을 포함하는 것인 이미징 계측 틀.

청구항 5

제2항에 있어서, 상기 광학 시스템은, 동일한 전력을 갖고 상기 3개의 각각의 포커스 위치들에 대응하는 3개의 이미지들을 제공하는 것인 이미징 계측 틀.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 3개의 이미지들은 검출기에 의하여 검출되는 것인 이미징 계측 틀.

청구항 7

제3항에 있어서, 3개의 검출기들을 더 포함하고, 상기 3개의 검출기들 각각은 상기 3개의 각각의 포커스 위치들 중 하나를 검출하는 것인 이미징 계측 틀.

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원들에 대한 교차 참조

[0002] 본 출원은, 2015년 5월 19일자로 출원된 미국 가출원 번호 제62/163,783호의 이익 및 2015년 9월 23일자로 출원된 미국 가출원 번호 제62/222,724호의 이익을 주장하며, 이는 그 전체가 본 명세서에 참조로 포함된다.

[0003] 본 발명은 계측 분야에 관한 것으로, 특히 오버레이 계측에 관한 것이다.

배경 기술

[0004] 광학 오버레이 측정을 위한 현재의 방법은 두 가지 주요 기술, 이미징(Imaging)과 스캐터로메트리(Scatterometry)에 의존한다. 이미징에서, 주기적 타겟의 위치는 광학 시스템의 시야에서 측정되고, 오버레이(overlay, OVL)는 상이한 층들에 프린트된 타겟의 위치로부터 추론된다. 스캐터로메트리는 상이한 층들에 프린트된 주기적인 오버레이 마크(주기적 구조를 가진 타겟)에 의해 산란된 전자기(electromagnetic, EM) 파들 사이의 간섭을 사용하여, 층들의 상대적 변위를 추론한다. 두 경우 모두, 산란된 EM 파의 회절 차수(diffraction order)의 진폭 및 위상에 대한 제어는 오버레이 측정의 정확도 및 정밀도에 결정적인 영향을 줄 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0005] 다음은 본 발명의 초기 이해를 제공하는 간략한 요약이다. 요약은 반드시 핵심 구성 요소를 식별하는 것도 아니고 본 발명의 범위를 제한하는 것도 아니며, 단지 다음의 설명을 소개하는 역할을 할 뿐이다.

[0006] 본 발명의 일 양상은, 주기적인 타겟에 대한 광 산란으로 인한 상이한 회절 차수에 대응하는 지형 위상(topographic phase)의 효과를 추정(estimate)하고, 측정 정확도를 향상시키기 위해 측정 조건을 조정하는 계측 툴 및 방법을 제공한다. 이미징에서, 콘트라스트 함수 동작의 분석, 조명 조건의 변경(스펙트럼 폭 및 조명 NA 감소), 편광 타겟 및/또는 광학 시스템 사용, 다수의 디포커싱 위치 사용 등에 기초하여 적절한 측정 조건을 선택함으로써 오버레이 에러 확대가 감소될 수 있다. 측정 결과의 온-더-플라이(on-the-fly) 캘리브레이션은 추가 측정 또는 추가 타겟 셀을 사용하는 이미징 또는 스캐터로메트리에서 수행될 수 있다.

[0007] 본 발명의 이러한, 부가적인, 및/또는 다른 양상들 및/또는 장점들은 다음의 상세한 설명에 제시되고; 가능하면 상세한 설명으로부터 추론할 수 있고; 및/또는 본 발명의 실시예에 의해 학습 가능하다.

도면의 간단한 설명

- [0008] 본 발명의 실시예를 더 잘 이해하고 그 실시예가 어떻게 수행될 수 있는지를 나타내기 위해, 순전히 예로서, 이제 첨부 도면을 참조할 것이며, 첨부 도면에서 유사한 도면 부호는 전체에 걸쳐 대응하는 요소 또는 섹션을 나타낸다.
 첨부 도면에서,
 도 1은 본 발명의 일부 실시예에 따른, 전형적인 이미징 기반 오버레이(imaging based overlay, IBO) 계측에서의 회절 차수의 상위 레벨 개략도이다.
 도 2a는 본 발명의 일부 실시예에 따라, 상이한 중심을 갖는 대칭 직사각형 영역의 합인 구조에 의해 우측에 작은 측벽 각을 갖는 비대칭 격자의 근사의 상위 레벨 개략도이다.
 도 2b 및 2c는 본 발명의 일부 실시예에 따라 오버레이 에러를 디포커싱과 관련시키는, 도 2a의 모델에 대한 예시적인 시뮬레이션 결과를 개략적으로 도시한다.
 도 2d는 본 발명의 일부 실시예에 따라 오버레이 에러를 콘트라스트 함수와 관련시키는 작은 조명 개구수를 사용하는 예시적인 시뮬레이션 결과를 개략적으로 도시한다.
 도 3a-3b는 본 발명의 일부 실시예에 따른 대응하는 광학 시스템의 상위 레벨 개략도이다.
 도 4a 내지 도 4c는 본 발명의 일부 실시예에 따라 다수의 포커스 위치를 동시에 측정하기 위한 광학 시스템의 상위 레벨 개략도이다.
 도 5a는 본 발명의 일부 실시예에 따른 편광 제어 타겟의 상위 레벨 개략도이다.
 도 5b는 본 발명의 일부 실시예에 따른 광학 시스템의 상위 레벨 개략도이다.
 도 6은 본 발명의 일부 실시예에 따른 광학 시스템의 상위 레벨 개략도이다.
 도 7은 본 발명의 일부 실시예에 따른 지형 위상 제어를 위한 표준으로서의 콘트라스트 함수의 상위 레벨 개략도이다.
 도 8은 본 발명의 일부 실시예에 따른, 전형적인 회절 기반 오버레이(diffraction based overlay, DBO) 계측에서의 회절 차수의 상위 레벨 개략도이다.
 도 9는 본 발명의 일부 실시예에 따라, 계측 톨에 의해 측정된, 보조 셀을 갖는 SCOL 타겟의 상위 레벨 개략도이다.
 도 10은 본 발명의 일부 실시예에 따른 광학 시스템의 방법을 설명하는 상위 레벨 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0009] 이하의 설명에서, 본 발명의 다양한 양상이 설명된다. 설명을 위해, 특정 구성 및 세부 사항이 본 발명의 완전한 이해를 제공하기 위해 제시된다. 그러나, 당업자에게는 본 발명이 본 명세서에 제공된 특정 세부 사항 없이 실시될 수 있음이 또한 명백할 것이다. 또한, 잘 알려진 특징들은 본 발명을 모호하게 하지 않기 위해 생략되거나 단순화되었을 수 있다. 도면을 구체적으로 언급하면, 도시된 세부 사항은 단지 예시적이고 본 발명의 설명적인 논의를 위한 목적일 뿐이며, 발명의 원리들 및 개념적 측면들의 가장 유용하고 쉽게 이해될 수 있는 설명인 것으로 믿어지는 것을 제공하기 위해 제시된다는 점이 강조된다. 이와 관련하여, 본 발명의 근본적인 이해를 위해 필요한 것보다 본 발명의 구조적 상세 사항을 보다 상세하게 나타내려는 시도는 없으며, 도면으로 설명하는 것은 본 발명의 여러 형태가 실제로 어떻게 구현될 수 있는지를 당업자에게 명백하게 할 것이다.
- [0010] 본 발명의 적어도 하나의 실시예가 상세히 설명되기 전에, 본 발명은 그 적용에 있어서 이하의 설명에서 제시되거나 도면에서 도시된 컴포넌트의 구성 및 배열의 상세에 한정되지 않는다는 것을 이해하여야 한다. 본 발명은 개시된 실시예들의 조합뿐만 아니라 다양한 방식으로 실시되거나 수행될 수 있는 다른 실시예들에 적용 가능하다. 또한, 여기에서 사용된 어법(phraseology) 및 용어는 설명의 목적을 위한 것이며 제한적으로 간주되어서는 안 된다는 것을 이해해야 한다.
- [0011] 다르게 특정하게 언급되지 않는 한, 다음의 설명으로부터 명백한 바와 같이, "처리(processing)", "컴퓨팅(computing)", "계산(calculating)", "결정(determining)", "향상(enhancing)" 등과 같은 용어를 이용하는 논

의는 명세서 전반에 걸쳐 컴퓨팅 시스템의 레지스터 및/또는 메모리 내의 전자적 양과 같이 물리적인 양으로 표현된 데이터를, 컴퓨팅 시스템의 메모리, 레지스터 또는 다른 그러한 정보 저장, 송신 또는 디스플레이 디바이스 내의 물리적 양으로서 유사하게 표현된 다른 데이터로 조작하고/하거나 변환하는 컴퓨터 또는 컴퓨팅 시스템, 또는 유사한 전자 컴퓨팅 디바이스의 동작 및/또는 프로세스를 지칭한다는 것이 인식된다.

[0012] 주기적인 타겟에 대한 광 산란으로 인한 상이한 회절 차수에 대응하는 지형 위상의 효과를 추정하고 측정 정확도를 향상시키기 위해 측정 조건을 조정하는 계측 툴 및 방법이 제공된다. 이미징에서, 콘트라스트 함수 거동의 분석, 조명 조건의 변경(스펙트럼 폭 및 조명 NA 감소), 편광 타겟 및/또는 광학 시스템 사용, 다수의 디포커싱 위치 사용 등에 기초하여 적절한 측정 조건을 선택함으로써 오버레이 에러 확대가 감소될 수 있다. 측정 결과의 온-더-플라이 캘리브레이션이 추가 측정 또는 추가 타겟 셀을 사용하는 이미징 또는 스캐터로메트리에서 수행될 수 있다.

[0013] 본 발명의 실시예는 더 양호한 정확도로 이미징 및/또는 스캐터로메트리 계측 측정을 수행하기 위한 효율적이고 경제적인 방법 및 메커니즘을 제공한다. OVL(Metrology Overlay) 측정은 수백 나노 미터보다 큰 일반적인 스케일(피치)을 가진 특수 설계된 "프록시" 계측 타겟 상에서 수행된다. 디바이스 설계 룰 피치는 이미징 및 스캐터로미터 오버레이 광학 툴에 의해 해결되지 않으며, 디바이스 피치(< 90nm)와 계측 타겟 피치 사이의 간격은 시간이 지남에 따라 증가한다. 리소그래피 처리 단계가 디바이스 스케일에 최적화되어 있기 때문에, 계측 타겟은 완벽하게 프로세스 호환되지 않으므로 OVL 타겟에 나타나는 모든 유형의 타겟 비대칭이 발생한다. 대부분의 경우, 타겟 에지의 측벽 각(side wall angles, SWA)의 비대칭과 같은 기하학적 비대칭성은 크지 않으며(약 1nm), 허용 공차 내에서 OVL의 정의에 약간의 모호성을 유발한다. 그러나, 성공적이지 않은 측정 조건에서 이미징 및 스캐터로메트리 OVL 접근 방식 모두 OVL 측정에 심각한 에러를 유발할 수 있는 크기 정도(order of magnitude) 만큼 타겟 비대칭의 효과를 확대(magnify)할 수 있다. OVL 측정의 정확도 향상을 위해 고려된 접근법은 (i) 임의의 충분한 측정 툴 수정 없이 최적의 측정 조건을 위한 레시피 최적화를 찾는 것; (ii) 타겟 비대칭 효과의 임의의 확대를 제외한 조건 하에서 OVL 측정을 가능하게 하는 툴 수정을 제공하는 것; (iii) 타겟 비대칭 확대의 문제를 해결하지만, 수집 동공 평면에서 블로커(blocker)를 사용해야 하는 2-빔 이미징 방식을 사용하는 것; 및 (iv) 아래에 설명된 특수 조명 조건 하에서 측정을 수행하는 것을 포함한다.

[0014] DBO(Diffraction Based Overlay)와 IBO(Imaging Based Overlay) 모두에 대한 광학 오버레이 계측의 민감도와 정확도를 모두 제어하는 주요 파라미터는 측정된 신호를 생성하는 것을 간섭하는 EM 필드 간의 위상차이다. 도 8 및 도 1은 각각 본 발명의 일부 실시예에 따른 전형적인 DBO 및 IBO 계측에서의 회절 차수의 상위 레벨 개략도이다. DBO의 지형 위상(아래에 논의된 도 8)은 동일한 회절 차수로(-1, +1) SCOL 타겟(90A)의 상부 및 하부 격자(각각 91B, U 및 91A, L)에 의해 회절된 전자기(EM) 필드 간의 평균 위상 차로 정의된다. IBO의 경우(도 1), 측정 품질을 제어하는 지형 위상은 0차(0th order)와 이미징 타겟(90)에서 회절된 대칭(예를 들어, ±1차) 회절 차수(diffraction order, DO) 사이의 평균 위상이다.

[0015] 두 기술 모두 타겟의 비대칭에 대한 감도와 유사한 부정확 메커니즘의 어려움을 겪는다. 큰 피치 오버레이 타겟과, 더 작은 피치 디바이스의 생산에 최적화된 프로세스와의 비 호환성에서 대부분 비롯되는 그러한 비대칭은, 회절 차수의 위상 및 진폭의 불균형으로서 나타난다. 전자는 격자 변위(오버레이)와 구별될 수 없지만, 그 효과는 단순한 기하학적 모호성에 의해 제한된다. 진폭 불균형의 영향은 크게 확대될 수 있지만, 신호를 구성하는 필드의 간섭에 의해서만 제어된다. 타겟 비대칭 증폭의 메커니즘은 그 전체가 참조로서 본 명세서에 통합되는 WIPO 특허 공개 번호 PCT/US15/62523 및 아래에 상세히 기술된다. 두 기술 모두에서 지형 위상 거동이 이미징 OVL에 대한 상당한 신호 콘트라스트 감소 또는 스캐터로미터 OVL에 대한 차동 신호 감소를 유발할 때, 타겟 비대칭 효과가 증가한다. 따라서 지형 위상 거동의 제어는 OVL 측정의 정확도 향상에 결정적인 역할을 할 수 있다. 다음에서는 OVL 측정 정확도 개선에 필요한 최상의 측정 조건을 수립하기 위한 다양한 접근 방법뿐만 아니라, 측정 하드웨어 및 특수 타겟 설계의 수정을 포함한 지형 위상 제어를 위한 몇 가지 가능성이 개시된다.

[0016] 예를 들어, IBO 경우(도 1), OVL 측정의 정확도에 대한 0차 회절 차수와 1차 회절 차수 사이의 위상 차의 효과의 추정이 작은 NA(개구수 $NA < 0.2$) 조명 조건(I로 나타낸 조명 광선)을 갖는 이미징 툴에 대해 제공된다. 동공 내의 회절 차수의 위치는 도 1에 도시되어 있으며, θ_0 은 조명 각을 나타내고, θ_1 은 주기 P를 갖는 주기적 구조(이미징 타겟(90))상에서 산란에 의해 제공되는 제1 회절 차수의 각도를 나타내며, 모두 타겟 평면의 법선에 대한 것이다. θ_1 및 θ_0 은 수학식 1과 관련되며, λ 는 조명 파장을 나타낸다.

수학식 1

$$\sin \theta_1 = -\sin \theta_0 + \frac{\lambda}{P} \Rightarrow \sin \theta_1 \cong -\theta_0 + \frac{\lambda}{P}; \cos \theta_1 = \sqrt{1 - (-\theta_0 + \frac{\lambda}{P})^2} \cong \sqrt{1 - (\frac{\lambda}{P})^2} + \frac{\theta_0 \frac{\lambda}{P}}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{P})^2}}$$

[0017]

[0018] 수학식 2는 1차 회절 차수와 0차 회절 차수 사이의 지형 위상의 차이를 Ψ 로 표기하며, 지형 위상 Ψ 을 보상하기 위해 필요한 대응 디포커스 ΔF , 및 $\lambda/P = 1/2$ 및 $\Psi \sim \pi/2$ (최악 경우)의 경우에 대해 추정된 동공 내의 대응하는 지형 위상 확산(topographic phase spread)을 정의한다.

수학식 2

$$\frac{2\pi}{\lambda} \Delta F \cdot \left(1 - \sqrt{1 - (\frac{\lambda}{P})^2}\right) = \Psi \Rightarrow \Delta F = \frac{\lambda \Psi}{2\pi \left(1 - \sqrt{1 - (\frac{\lambda}{P})^2}\right)}$$

[0019]

$$\frac{2\pi}{\lambda} \Delta F \frac{\theta_0 \frac{\lambda}{P}}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{P})^2}} = \frac{\theta_0 \frac{\lambda}{P} \Psi}{\left(1 - \sqrt{1 - (\frac{\lambda}{P})^2}\right) \cdot \sqrt{1 - (\frac{\lambda}{P})^2}} \cong \frac{2\theta_0 \Psi}{(1 - \frac{\sqrt{3}}{2})\sqrt{3}} \sim 4\pi \cdot NA$$

[0020]

[0021] 작은 조명 $NA \sim 0.2$ 에 대해서조차도, $\sim \pi$ 의 큰 지형 위상 확산은, 조명 지점들의 중심부가 최상의 콘트라스트 위치에 있을 때, 주변 조명 지점들이 제로 콘트라스트 위치 주위에 있으며 이는 OVL 측정의 정확도에 대한 타겟 비대칭의 효과의 큰 확대 및 산란된 광의 지형 위상을 제어할 가능성의 부족을 초래하며, 부정확한 OVL 측정을 초래할 수 있다는 것을 의미한다. 이 효과는 조명 NA를 크게 하면 크게 증가한다.

[0022] 유리하게는, 개시된 시스템 및 방법은 표준 이미징 툴 및 스퀘어미터 툴의 주된 단점, 즉 부적절한 측정 조건이 사용될 때 존재하는 타겟 비대칭 효과의 제어 불가능한 확대를 극복한다.

[0023] 이하, 정확도 비용(accuracy budget)에 대한 타겟 비대칭 기여도가 상세히 분석된다. 이미지 평면에서 전기장의 진폭에 대한 표현은 수학식 4와 같이 기재될 수 있으며, f, g 는 동공 좌표이며, 이는 실제의 치수 동공 좌표

$$\xi, \eta \text{ 와 } f = \frac{\xi NA}{R \lambda}, g = \frac{\eta NA}{R \lambda}$$

로서 관련되며, R 은 렌즈 반경이고, $E(f, g)$ 는 동공 평면에서 전기장의 진

폭이며, $e^{2\pi i(1-\cos\theta)\Delta z/\lambda}$ 는 동공 평면에서 전기장의 진폭에 대한 디포커싱 Δz 의 효과를 설명한다.

수학식 4

$$E(x, y) = \iint_{\sqrt{f^2+g^2} \leq \frac{NA}{\lambda}} E(f, g) \cdot e^{2\pi i(1-\cos\theta)\Delta z/\lambda} \cdot e^{-2\pi i(fx+gy)} dfdg$$

[0024]

[0025] 렌즈에 의해 포착된 ± 1 및 0 회절 차수를 갖는 가장 간단하고 비-제한적인 광학 구성에서, 수학식 4는 수학식 5로 단순화될 수 있으며, 여기서 P 는 X 방향의 타겟 피치를 나타내며, a_0, a_1 및 a_{-1} 은 (프로세스 변화 및 타겟 비대칭에 따른) 회절 차수의 복소 진폭(complex amplitude)이며, GP 는 격자 위치를 나타내고, ΔF 는 디포커스를 나타낸다.

수학식 5

$$E(x) = a_0 e^{i \frac{2\pi\Delta F}{\lambda} [1 - \cos(\theta_0)]} + a_1 e^{i \frac{2\pi}{P}(x-GP) + i \frac{2\pi\Delta F}{\lambda} [1 - \cos(\theta_1)]} + a_{-1} e^{-i \frac{2\pi}{P}(x-GP) + i \frac{2\pi\Delta F}{\lambda} [1 - \cos(\theta_{-1})]}$$

[0026]

[0027] 도 2a는 본 발명의 일부 실시예들에 따라, 상이한 중심을 갖는 대칭 직사각형 영역(94A)의 합인 구조(94)에 의해 우측에 작은 측면 각을 갖는 비대칭 격자(92)의 근사의 상위 레벨 개략도이다. 비대칭 격자(92)로부터의 산란은 구조(94)의 영역(94A)으로부터의 산란의 합으로서 근사화된다.

[0028] 각 회절 차수의 진폭은 상이한 직사각형 영역(94A)으로부터의 산란에 대응하는 평면파(plane wave)의 합이다. 예를 들어, 수학식 6은 ±1차 회절 차수에 대한 진폭 $A^{(1)}$, $A^{(-1)}$ 을 나타내고, $A_0^{(1)}$ 은 타겟 비대칭이 없는 1차 회

절 차수의 진폭을 나타내며, $A_n^{(1)}$ 은 영역(94A)으로부터의 진폭을 나타내고, $\delta_{\text{Re}}^{(1)} + i\delta_{\text{Im}}^{(1)}$ 은 1차 회절 차수의 진폭에 대한 타겟 비대칭의 영향을 나타낸다. Δ_n 은 비대칭이 없는 격자에 대응하는 공칭 영역 길이에 대한 n번째 영역의 연장을 나타내고, Ψ_n 은 n번째 영역의 지형 위상을 나타낸다.

수학식 6

$$A^{(1)} = \sum_n A_n^{(1)} e^{i\psi_n + 2\pi \frac{x + \Delta_n/2}{P}} \cong \sum_n A_n^{(1)} e^{i\psi_n + 2\pi \frac{x}{P}} \left(1 + \pi i \frac{\Delta_n}{P}\right) = A_0^{(1)} e^{i\psi^{(1)} + 2\pi \frac{x}{P}} (1 + \delta_{\text{Re}}^{(1)} + i\delta_{\text{Im}}^{(1)})$$

[0029]

$$A^{(-1)} = A_0^{(-1)} e^{i\psi^{(-1)} - 2\pi \frac{x}{P}} (1 - \delta_{\text{Re}}^{(-1)} - i\delta_{\text{Im}}^{(-1)})$$

[0030]

[0031] 수학식 7은 정상적인 조명 조건 하에서 수학식 5 및 수학식 6를 단순화한 것을 나타내고, $\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{P}$ 및 $\Delta\psi = \psi^{(1)} - \psi^{(0)} - 2\pi(1 - \cos \theta_1)\Delta z / \lambda$ 이고, $A^{(1)} = A^{(-1)}$, $\psi^{(1)} = \psi^{(-1)}$, $\delta_{\text{Re}}^{(1)} = \delta_{\text{Re}}^{(-1)}$, $\delta_{\text{Im}}^{(1)} = \delta_{\text{Im}}^{(-1)}$ 라고 가정하면, (단순화를 위해 1차 회절 차수 진폭의 제곱을 무시하고) 대응 필드 세기는 선행 차수(leading order)로 근사화된다:

수학식 7

$$\begin{aligned} E(x) &\sim A^{(0)} e^{i\psi^{(0)}} + A_0^{(1)} e^{i\psi^{(1)} - 2\pi(1 - \cos \theta_1)\Delta z / \lambda} [(1 + \delta_{\text{Re}} + i\delta_{\text{Im}}) e^{2\pi \frac{x}{P}} + (1 - \delta_{\text{Re}} - i\delta_{\text{Im}}) e^{-2\pi \frac{x}{P}}] = \\ &= A^{(0)} e^{i\psi^{(0)}} + 2A_0^{(1)} e^{i\psi^{(1)} - 2\pi(1 - \cos \theta_1)\Delta z / \lambda} [\cos\left(2\pi \frac{x}{P}\right) + i \cdot (\delta_{\text{Re}} + i\delta_{\text{Im}}) \sin\left(2\pi \frac{x}{P}\right)] \sim \\ &\sim A^{(0)} + 2A_0^{(1)} e^{i\Delta\psi} [\cos\left(2\pi \frac{x}{P} - \delta_{\text{Im}}\right) + i \cdot \delta_{\text{Re}} \sin\left(2\pi \frac{x}{P}\right)] \\ I(x) &\cong \text{Constant} + 2A_0^{(1)} A_0^{(1)} \cos(\psi^{(1)} - \psi^{(0)} - 2\pi(1 - \cos \theta_1)\Delta z / \lambda) \cdot \\ &\cos\left[\frac{2\pi}{P}x - \delta_{\text{Im}} - \delta_{\text{Re}} \cdot \tan(\psi^{(1)} - \psi^{(0)} - 2\pi(1 - \cos \theta_1)\Delta z / \lambda)\right] \end{aligned}$$

[0032]

[0033] 수학식 7의 측면에서, 타겟 비대칭 때문에, 타겟 중심의 위치에서 $\Theta\left(\frac{P}{2\pi} \{\delta_{\text{Re}}, \delta_{\text{Im}}\}\right)$ 의 크기 정도로 자연적

모호성이 존재한다. 그러나, 잘못된 톨 측정 조건은 이 타겟 기하학적 모호성을 $\tan(\psi^{(1)} - \psi^{(0)} - 2\pi(1 - \cos\theta_1)\Delta z / \lambda)$ 의 계수만큼 확대할 수 있다. 이러한 계수는 최상의 콘트라스트 위치에서는 거의 제로이지만, 제로 콘트라스트 위치에서는 무한대로 간다. 이 계수의 값은 측정 포커스 위치의 올바른 선택에 의해 제어될 수 있지만 다음과 같은 문제가 발생한다: (i) 각 조명 동공 위치 및 각 파장은 자체 지형 위상을 제공하며 그에 따라 자체 최상의 콘트라스트 포커스 위치를 제공한다. 필드 이미지는 상이한 조명 지점 및 파장에 대응하는 이미지들의 합이므로, 타겟 비대칭 효과가 강하게 확대되는 이미지들을 수집할 수 있다. 이 첫 번째 문제는 상대적으로 큰 조명 NA에 대해 상이한 조명 각도에 대응하는 최상의 콘트라스트 위치의 확산이 마이크로만큼 클 수 있기 때문에 측정 포커스 위치를 변경함으로써 거의 해결될 수 없다. 조명 각도의 일부의 최상의 콘트라스트 위치와 측정된 포커스 위치 사이의 거리가 0.5 마이크로 정도 클 수 있기 때문에, 임의의 선택된 측정 포커스 위치에 타겟 정확도 확대가 있다. (ii) 최상의 콘트라스트 위치는 프로세스 변화에 따라 달라진다. 포커스 획득 절차가 최상의 콘트라스트 위치와 강하게 상관되지 않는 측정 포커스 위치를 제공하는 경우, 이는 OVL 측정 정확도를 저하시키는 추가적인 요인이 된다.

[0034] 이러한 문제는 SWA = 88° (층 높이 < 100nm 경우, <±1nm OVL 모호성에 해당)를 가정하여 도 2b에 도시된 관계를 초래하는 시뮬레이션에서 예시되며, 특정 측정 조건(예를 들어, λ) 및 측정 포커스 위치 경우, 이미징 톨은 ±5nm 범위 내에 OVL 에러를 제공했고, 즉, 이미징 톨은 특정 시뮬레이션 조건에서 SWA에서 발생한 OVL 에러를 5의 계수만큼 향상시켰다. 도 2c는 또 다른 시뮬레이션 예를 도시하며, 심지어 더 큰 확대 계수(magnification factor)를 도시한다.

[0035] 제안된 해결책은 다음 접근법: (i) 최상의 콘트라스트 포커스 위치가 격자 위치와 일치하는 측정 조건의 적절한 선택, (ii) 스펙트럼 범위 및 조명 NA의 감소, (iii) 각 사이트에서 상이한 포커스 위치들에서의 여러 이미지들을 그래프(graph)하고, 최상의 포커스 위치를 찾는 것, (iv) 큰 조명 파장을 사용하는 것, 및 (v) 상이한 포커스 위치들에서 여러 이미지를 동시에 그래프하는 것 중 임의의 것을 포함한다. 이러한 접근법들은 아래에서 자세히 설명한다.

[0036] 스펙트럼 범위(예를 들어, 10nm 미만) 및 조명 NA(예를 들어, NA~0.1 미만)를 근본적으로 감소시키는 것(접근법 (ii))은 최상의 콘트라스트 위치의 확산을 200-300nm로 감소시킨다. 도 2d는 지점(105)이 낮은 OVL 에러 확대를 가진 최상의 콘트라스트 위치로서 식별되고 지점(95)이 제로 콘트라스트 위치로서 식별되는, 0.1의 작은 조명 NA를 사용하는 시뮬레이션 결과를 도시한다. 도 2d에서 도시된 바와 같이, OVL 에러는 작고, 최상의 콘트라스트 위치(105)를 중심으로 포커스가 변화함에 따라 천천히 변화하지만, OVL 에러는 제로 콘트라스트 위치(95) 주위의 포커스 변화로 훨씬 더 강하게 변화한다. 위치(105)와 위치(95)는 상이한 유형의 제로 OVL 에러 측정 지점을 나타내는데, 제로 콘트라스트 위치(95)에서 제로 OVL 에러는 제1 고조파의 진폭이 정확히 제로이고 OVL은 제1 고조파의 진폭보다 일반적으로 훨씬 작은 제2 고조파로 측정된다는 사실로부터 기인한다. 제로 콘트라스트 위치(95)에서의 측정은 아래에 논의되며, 계측 톨(예를 들어, 도 3a에 도시된 바와 같이 수집 경로에서의 0차 차수 블로커)의 하드웨어(hardware, HW)수정을 요구한다.

[0037] 도 3a는 본 발명의 일부 실시예에 따른 이론적 모델 및 광학 시스템(110)의 상위 레벨 개략도이다. (조명 경로 (71)에서) 조명(81)은 시스템(110)으로 들어가고, 광학 기기(82)(예를 들어, 빔 분리기)와 대물 렌즈(83)를 통해 타겟(90)으로 지향되고, 이로부터 (수집 경로(79)에서, 또한 검출 경로라고도 함) 회절 신호가 수집되어 빔 분리기(82) 및 광학 기기(84)(예를 들어, 튜브 렌즈)를 통하여 검출기(80)(예를 들어, CCD-charge coupled device)로 지향된다. 이상적으로는 푸리에면(동공 평면(120))에서 0차 차수 회절 신호를 차단하기 위해 공간 필터(115)가 도입될 수 있다. 비-제한적인 방식으로, 단지 1차 회절 차수만이 제시된다.

[0038] 시스템(110)은 정확도 에러 확대를 감소시키거나 취소하기 위해 다음의 가이드라인에 따라 구성될 수 있다: 레이저와 같은 저-NA 소스가 광 균일성에 대한 완화된 요건을 제공하는데 사용될 수 있다; 깨끗한 2-빔 간섭 및 큰 포커스 심도(depth-of-focus)를 제공하기 위해 1차 차수 회절만 통과할 수 있다; 수차를 상쇄하기 위해 프로세스 및 레지스트 신호(즉, 상이한 타겟 층으로부터의 회절 신호)가 동공 평면(120)의 동일한 부분을 통과할 수 있다; 양호한 이미지 콘트라스트가 적응 잡음 감소 알고리즘(adaptive noise reduction algorithms, ANRA)을 구현하지 않고 측정을 허용하여 짧은 MAM(move-acquire-measure) 시간, 예를 들어 200msec 미만을 달성할 수 있음을 유의하면서 포커싱이 온-더-플라이로 수행될 수 있다.

[0039] 특히, 다음의 개시된 알고리즘 방식은 불투명한 0차 블로커(115)의 도입과 관련된 어려움을 극복하고, 수집 동공에서의 회절 차수의 양호한 분리에 대한 요구와 관련되어, 0차 차수의 이미지로의 누설 또는 더 높은 DO로의 뚜렷한 절단(sharp truncation)을 피한다. 본 발명자들은 이 요구가 작은 회절 꼬리를 제공하기 위해 최소 타겟

크기를 10-15 μ m보다 높게 제한한다는 것을 주목한다. 반면, 0차 블로커(115)의 매우 제한된 크기는 매우 작은 조명 NA를 요구하여 가벼운 비용 문제를 야기한다. 특히, 특정 임계 값을 초과하는 조명 NA의 감소(판 시터 제르니케의 정리(van Cittert-Zernike theorem))는 이미지를 왜곡시키는 공간적으로 확장된 일관성 효과(링잉(ringing))를 야기한다. 그러나, 본 발명자들은 도 3a에 도시된 광학 체계에 내재된 이점을 유지하면서, 다음의 알고리즘이 0차 블로커(115)를 사용하지 않음으로써 상기 열거된 제한을 극복할 수 있고, 가능하게는 작은 하드웨어 수정을 요구함으로써, 이미징 OVL 측정의 훌륭한 정확도를 달성하고, 톨 성능을 향상시키고, 프로세스 변화의 효과를 감소시킨다는 것을 알아냈다. 특히, 본 발명자들은 OVL 측정을 위해 단지 짝수 고조파를 선택하는 것 및/또는 짝수 신호 고조파에 대한 짝수 회절 차수의 기여도를 감소시키기 위하여 쓰루-포커스 평균화(through-focus averaging)를 사용하는 것은 아래에 설명된 바와 같이 이러한 이점을 제공한다는 것을 알아냈다.

[0040] 도 3b 및 도 3c는 각각 본 발명의 일부 실시예에 따른 계측 톨(85) 및 광학 시스템(110)의 상위 레벨 개략도이다. 계측 톨(85)은 대응하는 조명 및 수집 개구수(각각 NA_{IL} 및 NA_C)를 갖는 조명 경로(71) 및 수집 경로(79)를 갖는 광학 시스템(110), 검출기(80) 및 프로세서(들)(88)와 관련된 계측 모듈(들)(87)을 포함하는 것으로 개략적으로 도시되어 있다. 광학 시스템(110)은 도 3a와 같이 개략적으로 도시되지만, 0차 블로커(115)가 없고, 수집 및 조명 개구수는 $2\lambda/P$ 보다 작은 값을 갖도록 선택되는 높은 지형 스택 측정을 수행하도록 구성되고/구성되거나, 광학 시스템(110)은 이하 설명되는 바와 같이 비대칭 기여도를 평균화하기 위해 다중 포커스 위치에 걸쳐 포착된 다중 이미지를 통합하도록 구성된다. 이러한 구성 하에서, 계측 톨(85) 및 광학 시스템(110)은 본 명세서에서 앞에서 및 아래에서 개시된 2-빔 구성을 모방하지만, 이하에 설명되는 바와 같이 특정 λ/P 비를 갖는 제2 고조파만을 포함함으로써 0차 블로킹을 회피한다.

[0041] 개시된 광학 체계에 대한 주된 요건은 (i) 임의의 선택된 타겟 피치의 경우 대물 렌즈(83)가 0차 및 ± 1 (1차) 회절 차수만을 수집하는 것을 보장하기 위해 조정 가능한 조명 스펙트럼 범위 및 수집 NA(NA_C); 및 (ii) (큰 DOF(depth of focus)를 제공하기 위한) 비교적 작은 조명 NA이다. 특히, NA_C 및 NA_{IL} 은 조건 $2\lambda/P > NA_C + NA_{IL}$ 을 만족하도록 선택될 수 있고, 여기서 λ 는 조명 파장을 나타내고, P는 (타겟(90)의) 격자 피치를 나타낸다. 이러한 조건 하에서, 측정된 신호의 제2 고조파는 오직 ± 1 회절 차수들 사이의 간섭의 결과로서 형성되며, 이러한 의미에서 (다른 하드웨어 수단으로 해결해야 하는 정밀도 문제와 별도로) 0차 블로커(115)로 측정된 신호와 완전히 동등하다.

[0042] DOF와 관련하여, 타겟(90) 상에 산란한 후, 경사 평면파(oblique plane wave)는 $\sin(\mathcal{G}_{l-1}) = -\sin(\mathcal{G}_0) \pm \lambda/P$ 에 의해 정의되는 각도로 전파하는 ± 1 회절 차수이고, 여기서 \mathcal{G}_0 은 조명 각도를 나타낸다. 제로 조명 NA($NA_{IL} = 0$) 및 정상 조명 조건($\mathcal{G}_0 \equiv 0$)의 정확한 수행의 경우, 그것은

$\cos(\mathcal{G}_1) \equiv \cos(\mathcal{G}_{-1})$ 을 따르고, 두 평면파 사이의 상대적 위상은 무한 DOF에 대응하는 포커스에 따라 변하지 않는다. 조명 링의 한정된 크기 때문에, 통상의 조명 조건은 단지 대략적으로 만족될 수 있다. 그러나, 이 경우와 같이, DOF는 일반적인 경우에서와 같이 수집 NA(NA_C)에 의해서보다는 조명 NA(NA_{IL})에 의해 결정되므로, 작은 조

$$DOF \cong \frac{P\sqrt{1-(\lambda/P)^2}}{2.5 \cdot NA_{IL}}$$

명 NA에 대한 DOF의 값은 $\frac{P\sqrt{1-(\lambda/P)^2}}{2.5 \cdot NA_{IL}}$ 로서 근사화될 수 있다고 보여질 수 있다. 예를 들어, P = 1800 nm, $\lambda/P \sim 0.5$ 및 $NA_{IL} = 0.2$ 는 $DOF > 3\mu$ m을 산출하며, 이는 단일 그랩(grab)으로 높은 지형 스택의 측정을 허용한다.

[0043] 대안적으로 또는 상보적으로, 다수의 이미지가 다수의 포커스 위치에 걸쳐 통합(integration)되어 비대칭 기여도를 평균화할 수 있다. 깊은 스택 단일 그랩 측정은 ± 1 차 차수(또는 임의의 다른 대칭 차수 쌍) 사이의 간섭 패턴의 큰 DOF로 구현될 수 있다. 평균화는 대상(타겟(90))이 포커스를 통과하여 이동함에 따라 임의의 비-대칭 DO 쌍 사이의 간섭의 콘트라스트 반전을 이용하는 반면, 대칭 차수 사이의 간섭은 콘트라스트 부호를 변화시키지 않는다. 통합은 소프트웨어 및/또는 하드웨어에 의해 구현될 수 있으며, 노출 동안 포커스 측정을 허용한다. 이러한 방식으로, 단일 그랩 깊은 스택 측정은 파장 대 피치 비 및 수집 NA를 무시하고 수행될 수 있다.

[0044] 정확도와 관련하여, 상기 및 하기에 도시된 바와 같이, 타겟 비대칭 증폭(OVL 측정 부정확의 주요 원인) 메커니즘은 이미지를 형성하는 회절 차수 사이의 지형 위상 차의 값에 연결된다. 가장 정확한 측정은 정상 조명 조건

에 대응하는 회절 차수 사이의 위상차가 거의 제로일 때 이루어진다. 이 조건은 ± 1 회절 차수 사이의 간섭에 의해 형성된 이미지에 대해 자동으로 충족되어 높은 정확도를 제공한다.

- [0045] 상기 제시된 5가지 접근법으로 돌아가서, 각각의 사이트에서 상이한 포커스 위치에서 몇 개의 이미지(예를 들어, 비-제한적인 예로서 3개의 이미지)를 그래프하는 것(접근법(iii))은 예를 들어, 각 그래프된 이미지에 대해 계산된 콘트라스트 값의 포물선 근사를 사용하여 온-더-플라이로 최상의 콘트라스트 위치(접근법(ii)의 마지막 지점 참조)를 찾기 위해 사용될 수 있다. 부정확 확대 계수(inaccuracy magnification factor)는 최상의 콘트라스트 위치(도 2d의 점 105, 95) 주위에서 그 부호를 변경하기 때문에, 적절한 가중치를 사용하여 최상의 콘트라스트 위치에 대해 상이한 축에서 포커스 위치를 갖는 이미지들에 대해 계산된 OVL 값들을 결합하여 정확한 OVL 측정이 얻어질 수 있다. 이 방법은 사이트 간 프로세스 변화에 대한 솔루션을 제공한다.
- [0046] 큰 조명 파장을 사용하면(접근법(iv)), 파장 및 조명 각과 함께 지형 위상 변화율이 급격히 감소하기 때문에, 스펙트럼 범위 및 조명 NA를 확장할 수 있다. 이 접근법은 큰 피치, 예를 들어, 약 2000nm를 요구한다.
- [0047] OVL이 상이한 최상의 콘트라스트 위치를 갖는 2개의 층들 사이에서 측정되기 때문에 만일 각 층에 대한 대칭 위치의 중심이 자신의 최상의 콘트라스트 위치에서 측정된다면 가장 정확한 측정이 달성될 수 있다는 사실로부터 발생하는 어려움을 극복하기 위하여, 상이한 포커스 위치에서 여러 이미지를 동시에 그래프하는 것(접근법(v))이 사용될 수 있다. 이 경우, 합성 커널(또는 이 층에 대한 최상의 포커스 위치에 대응하는 포커스 위치로 보간한 결과로서의 합성 OVL 값)은 그래프된 이미지 각각에 대응하는 신호들의 상이한 조합이다. 따라서, 결과 OVL은 OVL 측정의 정밀도에 영향을 줄 수 있는 이미지 그래프 도중에 스테이지 모션의 효과를 포함한다. OVL 측정 접근법으로부터의 이러한 효과를 제거하기 위해, 상이한 포커스 위치에서 여러 이미지들을 동시에 그래프할 수 있도록 이미지 톨 광학 구성이 변경될 수 있다. 접근법(v)의 한가지 가능한 구현의 세부 사항은 아래에 설명되어 있다.
- [0048] 자체 최상의 콘트라스트 포커스에서 관심 층 각각에 프린트된 타겟을 그래프하는 것(접근법 (v))은 다층 타겟의 프로세스 로버스트한 측정을 유리하게 제공하여, 충분히 작은 조명 NA 및 충분히 좁은 조명 대역폭의 조건 하에서, 프로세스 변화에 대한 측정의 감도를 담당하는 지형 위상의 취소를 보장한다.
- [0049] 도 4a 내지 도 4c는 본 발명의 일부 실시예에 따라 다중 포커스 위치의 동시 측정을 위한 광학 시스템(110)의 상위 레벨 개략도이다. 도 4a는 광학 시스템(110) 및 이와 관련된 캘리브레이션 모듈(112)을 가지며, 아마도 하나 이상의 프로세서(들)(도 9 참조)에 의해 작동될 수 있는 이미징 계측 툴(85)의 상위 레벨 개략도이다.
- [0050] 캘리브레이션 모듈(112)은 디포커싱 레벨에 대한 오버레이 에러 확대의 의존성을 유도(derive)하도록 구성될 수 있고, 광학 시스템(110)은 좁은 스펙트럼 범위 $\Delta \lambda \leq 10\text{nm}$ 에서, 좁은 조명 개구수 $NA \leq 0.1$ 에서, 유도된 의존성에 따라(위의 접근법(ii) 참조) 제로 오버레이 에러 확대에 해당하는 포커스 위치에서 작동하도록 구성될 수 있다.
- [0051] 광학 시스템(110)은 대응하는 복수의 포커스 위치에서 복수의 계측 타겟 이미지를 그래프하도록 대안적으로 또는 상보적으로 구성될 수 있고, 캘리브레이션 모듈(112)은 그래프된 이미지의 부정확 확대 계수를 추정하고, 이미징 계측 툴(85)이 결정된 최상의 콘트라스트 위치(위의 접근법(iii) 참조)에서 동작하도록 재구성됨에 따라 포커스 위치에 대한 부정확 확대 계수의 부호 변화를 식별함으로써 최상의 콘트라스트 위치를 결정하도록 구성될 수 있다. 캘리브레이션 모듈(112)은 규칙적인 계측 툴 동작 중에 온-더-플라이에서 동작하도록 구성될 수 있다.
- [0052] 광학 시스템(110)은 계측 툴(85)의 캘리브레이션 모듈(112)(도 4a)이 손상된 정밀도의 리스크 없이 특정 층별 그래프 센터링을 제공하도록 구성될 수 있는 반면에(위 접근법(iv) 참조), 다중 디-포커스(포커스 위치)에서 타겟(90)의 동시 측정을 가능하게 하도록 구성될 수 있다.
- [0053] 광학 시스템(110)은 계측 툴(85)에서 (대물 렌즈(83) 및 광학 기기(84)에 의해 개략적으로 도시된) 수집 경로(79)의 제1 검출 포커스 위치(131C)를 가질 수 있고, 제1 검출 포커스 위치(131C)와 상이한 수집 경로 길이를 갖는 적어도 2개의 대응하는 추가 포커스 위치(131A, 131B)를 제공하도록 위치되는 수집 경로(79)를 따라 적어도 2개의 빔 분리 소자(132, 134)를 포함한다.
- [0054] 예를 들어, 광학 시스템(110)은 빔 분리기(132, 134)(예를 들어, BS 30/70 및 BS 50/50) 및 뒤이어 대략 검출 평면(89)에서 3개의 각각의 포커스 위치(포커스들)를 제공하도록 구성된 미러(136)을 포함하는 광학 어셈블리(130)를 포함할 수 있다(도 4b). 광학 어셈블리(130)의 예시적인 구성은 동일한 출력을 가지며 기계적 드리프트 없이 동일한 검출기(80)에 의해 검출될 수 있는 3개의 상이한 포커스 위치에 대응하는 3개의 이미지를 제공한다. 따라서, 광학 시스템(110)은 정적 멀티-그래프 구조를 갖도록 설계될 수 있다. ΔZ_0 를 물체의 길이 방

향 변위로서 정의하고, ΔZ_i 를 이미지의 길이 방향 변위로서 정의하고, M 을 이미징 시스템의 확대(magnification)로 정의하고, n_o 및 n_i 을 물체(object) 및 이미지 매체에서 굴절 계수로서 정의하는 광학 시스템(110)에서의 파라미터의 정량화는 수학적 식 8에 의해 제공되고, 도 4b에 도시된 광학 시스템(110)에서 측정될 수 있는 최소 ΔZ_o 를 제공하기 위해, 계측 타겟(90)의 통상적인 치수, 즉 이미지 간의 중첩 없이 $L = 30\mu\text{m}$ 의 측면 치수 및 125의 확대를 사용하기 위해 예시된다.

수학적 식 8

$$\frac{\Delta Z_i}{\Delta Z_o} = \frac{n_i}{n_o} M^2; \quad \frac{L}{M} = \Delta Z_o = 240\text{nm}$$

[0055]

[0056]

다른 실시예에서, 광학 시스템(110)은 필드 정지부(field stop)(예를 들어, 검출기 평면(89)과 동등한 평면(89A))에서의 레티클(140), 광학 기기(133) 및 3개의 대응 검출기(80A-C)에 의해 검출된 3개의 각각의 포커스 위치(포커스들)(131A-C)를 제공하도록 구성되는 빔 분리기(132, 134)를 포함하는 광학 어셈블리(130)를 포함할 수 있다(도 4c). 검출기(80A-C)는 분리되어 상이한 축 방향 변위에서 이미지를 포착하거나 또는 적어도 부분적으로 통일될 수 있고 상이한 웨이퍼 층으로부터의 타겟의 동시 이미징(2배 또는 더 많은 그랩)을 가능하게 할 수 있다.

[0057]

레티클(140)은 주로 웨이퍼(타겟(90))로부터의 조명광(81)의 정반사에 의해 조명되고 있기 때문에, 레티클(140)의 조명 $NA(NA_{\text{reticle}})$ 는 필드 깊이의 알려진 추정 $\Delta Z = \lambda/NA_{\text{reticle}}^2$ 을 사용하여, 수학적 식 9에 표현된 바와 같이 조명 $NA(NA_m)$, 도 4c에 도시된 광학 시스템(110)으로 커버할 수 있는 포커스의 범위(ΔZ_o)의 향으로 추정될 수 있다.

수학적 식 9

$$NA_{\text{reticle}} = \frac{NA_{\text{ill}}}{M}; \quad \Delta Z_o = \frac{\Delta Z_i}{M^2} = \frac{\lambda}{NA_{\text{ill}}^2}$$

[0058]

[0059]

예를 들어, 예시적인 데이터 $\lambda = 700\text{nm}$ 및 $NA_m = 0.2$ 를 사용하는 것은 $\Delta Z_o = 17.5\mu\text{m}$ 의 디-포커스 범위를 산출하는데, 이것은 여러 층의 타겟 간의 포커스 차이를 커버하는데 만족스럽다. 도 4c에 도시된 것과 같은 광학 시스템(110)은 별도의 이미지를 사용하여 개별 타겟 층 각각의 변위를 검출하면서 허용 가능한 정밀도(1nm)를 유지하기 위해 예를 들어 100nm일 수 있는 검출기의 축 방향 위치의 기계적 안정성에 대한 요건을 극복한다. 필드 정지부 내의 레티클(140)은 이미지 내의 각 층의 변위를 결정하기 위한 상호 참조 센터로서 작용한다.

[0060]

바람직하게는, 멀티-그랩 스루-포커스(multi-grab through-focus) 측정 아키텍처의 제안된 구성이 (i) 간접계 포커스로부터의 일정한 오프셋에서 웨이퍼에 걸친 모든 사이트의 측정 및 (ii) 포커스를 통한 다수의 이미지의 순차적 멀티-그랩 획득과 같은 종래 기술 오토포커스 기술의 단점을 극복하고, 이에 이어서, 현재 층 및 프로세스 층의 타겟 위치를 별도로 결정하여, 나중에 그 둘 사이의 오버레이를 계산할 수 있다. 두 방법 모두 심각한 단점을 겪는다. 방법 (i)은 웨이퍼 상의 모든 프로세스 파라미터의 균일성에 의존하며, 수백 nm의 최상의 콘트라스트 포커스 위치를 놓치고 있으며, 이는 결국 오버레이 결정에서 여러(multiple) 나노 미터의 부정확함을 초래하는 것으로 나타났다. 방법 (ii)는 수 나노 미터에 이르는 이미지 획득 사이의 원치 않는 단계 드리프트로 인해 상당한 정밀도의 문제를 겪는다.

[0061]

새로운 광학적 구성은 이미징 OVL 측정에서 우수한 정확도를 달성하고, 톨 성능을 향상시키며, 프로세스 변화의 영향을 감소시키는 것을 허용한다. 특히, 이미징 구성은 작은 조명 NA 및 좁은 스펙트럼 범위를 가지며, 상이한 포커스 위치에서 그랩된 몇 개의 동시 이미지에 기초하여 새로운 온-더-플라이(on-the-fly) OVL 측정 알고리즘을 사용하고/하거나 상이한 포커스 위치에 대응하는 이미지의 온-더-플라이 정렬을 가능하게 하는 광학 구성의 변화를 도입한다. 본 발명은 OVL 제어에 사용하기 위한 임의의 기존의 계측 플랫폼에서 구현될 수 있다.

[0062] 도 1을 다시 참조하면, (i) 편광 타겟, (ii) 과장 제어 및 (iii) 간섭 제어(imferential control)의 이미징 OVL에서 지형 위상 제어를 얻는 추가적인 방법이 개시되어 있다.

[0063] 도 5a는 본 발명의 일부 실시예에 따른 편광 제어 타겟(150)의 상위 레벨 개략도이다. 소정의 실시예는 측정 방향(X)을 따라 피치 $p(p_x)$ 에서 요소들(151)을 갖는 적어도 하나의 주기적 구조를 포함하는 이미징 계측 타겟(150)을 포함하며, 요소들(151)은 측정 방향(X)에 수직하는 방향(Y)을 따라 미해결 피치(p_y)에서 세그먼트화된 다. 미해결 피치(p_y)는 후술하는 바와 같이, π 의 정수 배인 타겟(150)의 지형 위상을 제공하도록 선택된다.

[0064] 편광 제어 타겟들(150(i))은, 예를 들어 측정 틀에 의해 하위-해결(sub-resolve)되는 작은 세그먼트이션 피치(P_y)를 사용하여 (타겟 주기 방향에 대해 X 및 Y로 표시되는) 전자기장의 수평 및 수직 편광에 상이한 응답을 제공하도록 설계될 수 있다.

[0065] 예를 들어, 입사면의 축이 타겟(150)의 주축(main axes)과 일치하는 경우, 미해결 피치(P_y)로 세그먼트화된 라인(또는 트랜치)(151)의 유효 유전율(permittivity)은 유효 매질 근사(effective medium approximation)를 사용하여 수학식 10에 표현된 방향성 유전율 벡터를 갖는 이방성 필름과 사실상 균등한 것으로 설명될 수 있는데, ϵ_1 은 하나의 재료의 유전율이고, ϵ_2 는 다른 재료의 유전율이며, η 는 y 방향의 세그먼트이션의 듀티 사이클이고, $\epsilon_x \neq \epsilon_y$ 이다.

수학식 10

$$\epsilon_x = \epsilon_z = \frac{\epsilon_1 + \eta\epsilon_2}{1 + \eta}; \epsilon_y = \frac{\epsilon_1 \cdot \epsilon_2(1 + \eta)}{\epsilon_2 + \eta\epsilon_1}$$

[0066]

[0067] 전기장의 수직 및 수평 편광에 대해 상이한 응답을 제공하는 복수의 가능한 타겟 설계 중 임의의 것이 선택될 수 있다. 실제 세그먼트이션 피치는 시뮬레이션 및/또는 상이한 파라미터를 갖는 테스트 웨이퍼 타겟 상의 지형 위상의 측정에 기초하여 선택될 수 있다. 도 5b는 본 발명의 일부 실시예에 따른 광학 시스템(160)의 상위 레벨 개략도이다. 계측 틀의 광학 시스템(160)에서, 선형 편광의 방향은 타겟(150)으로부터 산란된 광의 회절 차수들 사이의 위상을 변화시키는데 사용될 수 있다. 광학 시스템(160)은 또한 조명 경로(71) 내의 (예를 들어, 상이한 각도 및 지연 파라미터를 갖는 과장판을 사용하는 원형 광 편광을 제공하는) 편광기(161) 및 수집 경로(79) 내의 분석기(169)를 사용하여, 조명 광(81)의 상이한 편광 상태에 상이하게 응답하는 타겟의 경우에 분석기(169)의 각도를 변화시킴으로써 산란된 광의 지형 위상을 보다 효과적으로 제어한다.

[0068] 대안적으로 또는 상보적으로, (ii) 조명 과장은 지형 위상을 제어하도록 변경될 수 있다. 본 발명자들은 대부분의 스택의 경우 ca. 50nm의 과장을 변화시키는 것은 지형 위상에서 π 의 변화와 동등한 콘트라스트 반전을 제공한다라는 것을 알아냈다. 따라서, ca. ± 10 nm의 조명 스펙트럼의 작은 시프트조차도, 스펙트럼 제어를 OVL 측정 조건을 향상시키는 데 사용할 수 있는 추가 요소로 만들며, 지형 위상의 상당한 변화를 제공하는데 사용될 수 있다. 더욱이, 레지스트 및 프로세스 층은 상이한 과장(상술된 예로서 이중 그랩)으로 측정될 수 있기 때문에, 지형 위상 보정은 레지스트 및 프로세스 층에 대해 독립적으로 수행될 수 있다.

[0069] 도 6은 본 발명의 일부 실시예에 따른 광학 시스템(170)의 상위 레벨 개략도이다. 광학 시스템(170)은 OVL 측정을 위한 이미징 계측 틀에 사용될 수 있다. 광학 시스템(170)은 광학 시스템(170)의 수집 경로(79)에 통합된 기준 신호를 갖는 조정 가능한 기준 경로(178)를 포함한다. 기준 경로(178)는 기준 신호의 조정 가능한 위상을 제공하도록 구성된다. 광학 시스템(170)은 이미징 계측 타겟의 지형 위상을 π 의 정수 배가 되도록 변경하기 위한 기준 신호의 위상을 조정하도록 구성된다. 조정 가능한 기준 경로(178)는 아래에서 상세히 설명되는 바와 같이, 이미징 계측 광학 시스템(170) 및 조정 가능한 미러(175)의 주 대물 렌즈(83)와 동일한 기준 대물 렌즈(174)와 함께 리닉 간섭계(Linnik interferometer)로서 통합될 수 있다.

[0070] 광학 시스템(170)은 조명 경로(71), 주 대물 렌즈(83) 및 수집 경로(79)를 포함하고, 타겟(90)의 적어도 2개의 타겟 층으로부터의 0차 및 1차 회절 신호 사이의 지형 위상의 차이를 최소화하도록 구성된 제어 가능한 진폭 및 위상을 갖는 기준 신호를 갖는 기준 경로(178)를 더 포함한다. 조명 경로(71) 및 수집 경로(79)는 빔 분리기(82)를 통해 대물 렌즈(83)와 관련될 수 있고, 기준 경로(178)는 빔 분리기(82)를 통해 광학 시스템(170)에 통합될 수 있다. 기준 경로(178)는 리닉 간섭계 구성에서의 예시적인 실시예들에서, 관련된 조명원(171) 및 광학

기기(172, 173)(예를 들어, 포커싱 렌즈(172) 및 빔 분리기(173))뿐 아니라, 미러(175)를 가진 주 대물 렌즈(83)과 동일한 대물 렌즈(174)를 포함할 수 있다. 기준 신호의 진폭은 예컨대 ND(neutral density) 필터에 의해 감쇠기(179)에 의해 제어되고, 대물 렌즈(174) 및/또는 미러(175)는 기준 신호의 위상을 제어하도록 이동될 수 있다. 그 결과의 0차 회절 차수 필드는 $A \cdot e^{i\alpha}$ 및 $B \cdot e^{i\beta}$ 로 표기된 웨이퍼의 제1 층 및 제2 층(타겟(90)의 격자)으로부터 반사된 0차 회절 차수의 간섭성 합(coherent sum)으로서 나타난다; 기준 미러(175)로부터 반사된 0차 회절 차수는, $C \cdot e^{i\gamma}$ 로 표시된다. 따라서, 0차 필드는 수학식 11에서 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 11

$$A \cdot e^{i\alpha} + C \cdot e^{i\gamma} = \sqrt{A^2 + C^2 + 2AC\cos(\alpha - \gamma)} \cdot e^{i\arctg\left[\frac{A \cdot \sin\alpha + C \cdot \sin\gamma}{A \cdot \cos\alpha + C \cdot \cos\gamma}\right]}$$

$$B \cdot e^{i\beta} + C \cdot e^{i\gamma} = \sqrt{B^2 + C^2 + 2BC\cos(\beta - \gamma)} \cdot e^{i\arctg\left[\frac{B \cdot \sin\beta + C \cdot \sin\gamma}{B \cdot \cos\beta + C \cdot \cos\gamma}\right]}$$

[0071]

[0072]

제1 및 제2 격자의 제1 회절 차수의 지형 위상을 각각 φ_1 및 φ_2 로서 나타낼 때, 기준 신호의 진폭 및 위상은 타겟(90)의 적어도 2개의 타겟 층으로부터의 0차 및 1차 회절 신호 간의 지형 위상의 차이를 최소화하도록 구성될 수 있다. 수학식 11로부터의 결과로서, 최상의 동작 조건은 수학식 12의 표현을 최소화함으로써 발견될 수 있다.

수학식 12

$$\min\left\{\left[\frac{A \cdot \sin\alpha + C \cdot \sin\gamma}{A \cdot \cos\alpha + C \cdot \cos\gamma} - \text{tg}(\varphi_1)\right]^2 + \left[\frac{B \cdot \sin\beta + C \cdot \sin\gamma}{B \cdot \cos\beta + C \cdot \cos\gamma} - \text{tg}(\varphi_2)\right]^2\right\}$$

[0073]

[0074]

두 격자들에 대한 1차 및 0차 사이의 지형 위상들의 차이를 동시에 감소시킴으로써, 두 층들의 최상의 콘트라스트 위치들이 서로 가깝게 되도록 제공되어, 동일한 포커스 위치에서 두 층들을 측정할 수 있게 한다.

[0075]

보완적인 접근법은 암시야(dark field) 이미징 계측을 출발점으로 설정한다. 명시야(bright field) 이미징은 수집 경로에서 0차 및 1차 회절 차수를 사용하지만, 암시야 이미징은 0차 차수를 차단하고, 보다 높은 회절 차수, 일반적으로 이미지 형성의 1차 회절 차수만을 사용하여, 오버레이 측정의 우수한 정밀도와 정확도를 얻는다. 암시야 및 명시야 이미징의 공통적인 한계는 낮은 회절 효율, 즉 타겟(90)에 의해 1차 회절 차수로 회절된 EM 파의 진폭이 매우 낮은 경우이다. 명시야(bright field, BF) 및 암시야(dark field, DF) 이미징 세기는 수학식 13으로 표현되며, $I_{BF}(x)$ 는 검출기(80)에서 관찰된 세기를 나타내고, a_0 , a_1 , 및 a_{-1} 은 각각 0차 + 1차 및 -1차 회절 차수의 진폭이다; φ 는 0차 및 ± 1 차 회절 차수 사이의 동공 평면에서의 평균 위상이고, δa_1 은 양의 차수 및 음의 차수의 진폭의 차이이고, $\delta \phi$ 은 위상 차이이다.

수학식 13

$$\begin{aligned} I_{BF}(x) &= |a_0|^2 + |a_1|^2 + |a_{-1}|^2 \\ &\quad + 4a_0\bar{a}_1 \cos[\Psi] \cos\left[\frac{2\pi(x - x_0)}{P} + \delta\phi + \delta a_1 \tan \Psi\right] \\ &\quad + a_1 a_{-1} \cos\left[\frac{4\pi(x - x_0)}{P} + 2\delta\phi\right] \\ I_{DF}(x) &= |a_1|^2 + |a_{-1}|^2 + 2a_1 a_{-1} \cos\left[2\frac{2\pi(x - x_0)}{P} + 2\delta\phi\right] \end{aligned}$$

[0076]

[0077]

명시야 이미징에서, 위상 외란(phase disturbance)은 타겟 자체의 기하학적 모호성에 의해 제한되는 에러를 유

발하는 반면, 항 $\delta a_1 \tan \Psi$ 는 부적절한 조건($\Psi \rightarrow \pm \frac{\pi}{2}$, 위 유도 참조)에서 측정될 경우 수 나노 미터를 초과하는 에러를 야기할 수 있음이 나타났다. 암시야 이미징은 부정확 문제를 해결하지만, 일반적으로 신호는 높은 회절 차수에만 구성되므로 광학 시스템의 미광 및 유형의 효과뿐만 아니라 상당한 빛 기아(light starvation)를 겪는다.

[0078] 낮은 회절 효율의 경우에, 어느 한 유형의 이미징에서의 격자 위치 측정의 정밀도는 수학적 식 14와 같이 표현될 수 있으며, 여기서 α 및 β 는 각각 광원 및 검출기의 잡음 특성이고, A_0 와 A_{Signal} 는 각각 0차 변조 주파수와 피치 고조파의 진폭이다. 0차 차수에서의 세기가 검출기 잡음보다 우세하다고 가정할 때 일반 식은 명시야 이미징에 대해 근사화되고 암시야에 대해서도 그렇다.

수학적 식 14

$$\Delta x \propto \frac{\text{PixelSize} \sqrt{\alpha A_0 + \beta}}{P A_{\text{Signal}}}$$

$$\Delta x_{BF} \propto \frac{\text{PixelSize} \sqrt{\alpha a_0^2 + \beta}}{P a_0 \bar{a}_1} \approx \frac{\text{PixelSize} \sqrt{\alpha}}{P \bar{a}_1}$$

[0079]

$$\Delta x_{DF} \propto \frac{\text{PixelSize} \sqrt{\alpha \bar{a}_1^2 + \beta}}{P \bar{a}_1^2} \approx \frac{\text{PixelSize} \sqrt{\beta}}{P \bar{a}_1^2}$$

[0080]

[0081] 따라서, 일단 타겟의 회절 효율이 신호가 검출기 잡음에 의해 지배되는 레벨로 떨어지면, 명시야 측정이 암시야 이미징보다 유리하게 된다. 그럼에도 불구하고, 총 신호는 카메라의 비-채도(non-saturation)가 수학적 식 15에 표현된 조건의 충족을 요구하도록, 검출기의 동적 범위에 의해 제한되고, Γ 는 카메라(검출기)의 채도 레벨을 나타낸다.

수학적 식 15

$$|a_0|^2 + 4a_0 \bar{a}_1 < \Gamma$$

[0082]

[0083] 수학적 식 16은 수집 동공의 경로인 0차 차수 EM 필드의 진폭에 대한 결과적인 제한을 진폭과 세기의 항으로 나타낸 것이다

수학적 식 16

$$a_0^2 < a_1^2 \left[\sqrt{\frac{\Gamma}{a_1^2} + 4} - 2 \right]^2; \frac{I_0}{I_1} < \left(\sqrt{\frac{\Gamma}{I_1} + 4} - 2 \right)^2$$

[0084]

[0085] 이러한 유도는 여러 구현을 제시한다; (i) 도 3a를 참조하면, 공간 필터(115)는 예를 들어 좁은 조명 NA를 사용하면서 공간 필터(115)로서 조정 가능한 ND 필터를 사용하여 0차 차수의 진폭을 제어하여 0차 및 더 높은 회절 차수 사이의 분리를 보장하기 위하여 누설 블로커(leaky blocker)로서 구현될 수 있다. 측정 정확도가 0차 및 1차 회절 차수 사이의 특정 위상 관계를 요구하기 때문에, 위상 제어는 수집 동공 영역(120)에서 구역 위상 판(zonal phase plate)에 의해 구현될 수 있다. (ii) 도 3a를 참조하면, 공간 필터(115)는 동시 위상 및 진폭 제어, 예를 들어, 표면 조정(예를 들어, 미러 각도 및 디바이스 지형)에 의한 위상 및 진폭 제어를 제공하는 DLP(개별적으로 작동하는 마이크로-미러 어레이 또는 변형 가능한 미러 멤브레인)와 같은 디지털 광 처리(digital light processing) 디바이스를 제공하도록 구성된 적응 광학 요소로서 구현될 수 있다. (iii) 도 6을 참조하면, 감쇠기(179)는 가변적일 수 있으며, 다음 유도에 따라 구현될 수 있다.

[0086] 수학식 17은 0차 차수 신호를 타겟(90) 및 미러(175)로부터 반사된 신호의 합으로서 표현하고, a_w 는 웨이퍼(타겟(90))로부터 반사된 0차 차수의 진폭을 나타내며, a_r 은 기준 미러(175)로부터 반사된 EM 필드의 진폭을 표시한다; Ψ 는 1차 회절 차수에 대한 0차 차수의 지형 위상을 표시하고, ϕ_r 는 동공 평면에서 기준 EM 필드의 위상을 나타낸다. 유효 0차 차수 신호는 a_0' 및 Ψ_0' 을 사용하여 표현된다.

수학식 17

$$E_0 = a_w e^{i\Psi} + a_r e^{i\phi_r} = a_0' e^{i\Psi'};$$

$$a_0' = \sqrt{a_w^2 + a_r^2 + 2a_w a_r \cos(\Psi - \phi_r)}; \quad \Psi' = \tan^{-1} \frac{a_w \sin \Psi + a_r \sin \phi_r}{a_w \cos \Psi + a_r \cos \phi_r}$$

[0087]

[0088] 결과적으로, 감쇠기(179)를 사용하여 기준 암(reference arm)(178)의 진폭 a_r 및 위상 ϕ_r 을 제어함으로써, 검출기(80)에서 수집될 임의의 0차 차수 필드를 제공하고, 상기 개시된 원리에 따라 이미징 기반 오버레이(imaging-based overlay, IBO) 측정에서 향상된 콘트라스트 및 신호 세기뿐 아니라, 우수한 정확도 및 정밀도를 제공한다.

[0089] 도 7은 본 발명의 일부 실시예에 따른 지형 위상 제어를 위한 기준으로서의 콘트라스트 함수의 상위 레벨 개략도이다. 렌즈 포커스 위치의 함수로서 격자 콘트라스트로서 정의되는 콘트라스트 함수는 이미징에서 지형 위상 제어를 위한 실질적인 성공 표준으로서 제시된다. 상기한 바와 같이(예를 들어, 수학식 2 참조), 격자 위치로부터의 포커스 렌즈 위치의 임의의 편차는 상이한 조명 각도들 사이의 위상 확산의 증가를 가져오고, 결과적으로 콘트라스트 감소를 초래한다(편차가 클수록, 콘트라스트 감소가 크다). 이미징에서 최상의 측정 조건은 π 의 정수 배인 0차 회절 차수와 1차 회절 차수 사이의 위상 차에 해당한다. 이 경우, 격자 포커스 위치는 측정된 신호의 최상의 콘트라스트 위치와 일치하고, 상이한 동공 조명 지점들 사이에서 (디포커스에 의해 유도된) 지형 위상의 확산은 없다. 이러한 조건에서 콘트라스트 함수(도 7에서 " π "로 표시)는 하나의 잘 구별된 피크가 있는 대칭 함수이다. 반대의 최악의 측정 조건에서, 0차 및 1차 회절 차수 사이의 위상 차는 $\pi/2$ 이고, 등가 콘트라스트는 $\pi/2$ 의 위상 차에 대응하는 콘트라스트 반전 위치에서 달성된다. 콘트라스트 함수의 해당 거동은 두 개의 동일한 피크가 있다(도 7에서 " $\pi/2$ "로 표시). 모든 중간 조건은 비대칭 콘트라스트 함수를 제공한다(도 7에서 "중간(intermediate)"으로 표시). 콘트라스트 함수는 이미징 측정 조건을 최적화하는 데 사용될 수 있다.

[0090] 광학 시스템(110) 및 캘리브레이션 모듈(112)을 포함하는 계측 툴(85)(도 4a 참조)은 광학 시스템(110)을 통해 이미징 타겟의 콘트라스트 함수를 유도하고 광학 시스템(110)의 측정 조건을 조정하여 유도된 콘트라스트 함수가 (도 7에서와 같이) 단일 피크를 갖도록 변경하도록 구성된다. 계측 툴(85)은 조정된 측정 조건에서 이미징 계측 측정을 수행하도록 구성될 수 있다.

[0091] 스캐터로메트리 오버레이(scatterometry overlay, SCOL) 계측에서, 이미징 계측에 대해 전술한 바와 유사한 고려 사항이 적용 가능하다. 특히, 파장 및 편광의 선택과 관련하여 유사한 타겟 설계 고려 사항이 마찬가지로 적용 가능하다. 또한, SCOL 신호가 동공 좌표에서 측정됨에 따라(동공 평면(120)에서의 입사각 멀티플렉싱), 적절한 AOI(pupil pixels)의 사후-측정 선택이 가능하며, 가장 정확한 측정 조건에 도달한다.

[0092] 오버레이 및 정확도에 대한 최상의 감도(비대칭 및 패드 대 패드 변화에 대한 견고함)를 위해, 필드들 간의 바

람직한 위상은 다음 유도에 도출된 바와 같이, $\pm \frac{\pi}{2}$ 이다. 도 8은 본 발명의 일부 실시예에 따른 스캐터로미터 격자-위-격자 타겟(grating-over-grating target)(90)의 상위 레벨 개략도이다. SCOL 타겟(90)은 하부 격자(91A)에 대한 상부 격자(91B)(격자 피치는 Δ 으로 표시)의 대향 오프셋 $+f_0$ 및 $-f_0$ 을 각각 갖는 적어도 두 개의 셀(90A("+cell"), 90B("-cell"))을 포함한다. 셀 모델(90C)은 동일한 회절 차수(-1, +1)로 SCOL 타겟 셀의 상부 및 하부 격자(각각 91B, U 및 91A, L)에 의해 회절되는 회절된 EM 필드에 대하여 제시된다. DBO(diffraction-based overlay metrology)의 지형 위상은 상부 및 하부 격자에 의해 회절된 EM 필드 간의 평균 위상 차로 정의된다. 회절 차수는 수학식 18에서 근사화된다. $U_{\pm 1}^+$ 및 $U_{\pm 1}^-$ 는 각각 제1(양의 오프셋) 및 제2(음의 오프셋) 셀(90A, 90B)의 상부 격자(91B)에 의해 산란된 총 필드를 표시한다. 윗 첨자의 부호는 셀의 오

프셋을 나타내고, 아래 첨자는 산란 차수를 나타낸다. $L_{\pm 1}^+$ 및 $L_{\pm 1}^-$ 는 하부(프로세스) 격자(91A)에 의해 회절된 필드를 나타낸다. $u_{\pm 1}^+$ 및 $l_{\pm 1}^+$ 는 필드의 진폭을 나타내고, $\psi_{\pm 1}^+$ 는 상부 격자(91B)(상응하는 윗 첨자 및 아래 첨자에 의해 지시된 셀 및 차수)에 의해 회절된 필드의 지형 위상을 나타내고, $\phi_{\pm 1}^+$ 는 하부 격자(91A)에 의해 회절된 필드의 총 위상(상부 격자(91B)에 대한 지형 + OPD(Optical Path Difference))을 나타낸다. $l_{\pm 1}^+$ 및 $l_{\pm 1}^-$ 는 해당 신호 세기를 나타낸다. 별표(*)는 연산으로서의 복소 공액을 나타내고, c.c.는 추가 복소 공액 항을 나타낸다.

수학식 18

$$U_{\pm 1}^+ \approx u_{\pm 1}^+ e^{i(\pm \frac{2\pi(\Delta+f_0)}{P} + \psi_{\pm 1}^+)}, L_{\pm 1}^+ = l_{\pm 1}^+ e^{i\phi_{\pm 1}^+};$$

$$U_{\pm 1}^- \approx u_{\pm 1}^- e^{i(\pm \frac{2\pi(\Delta-f_0)}{P} + \psi_{\pm 1}^-)}, L_{\pm 1}^- = l_{\pm 1}^- e^{i\phi_{\pm 1}^-}$$

$$I_{\pm 1}^+ = |u_{\pm 1}^+|^2 + |l_{\pm 1}^+|^2 + U_{\pm 1}^+ \times L_{\pm 1}^{+*} + c.c.$$

$$= u_{\pm 1}^+ l_{\pm 1}^+ \cos\left(\pm \frac{2\pi(\Delta+f_0)}{P} + \psi_{\pm 1}^+ - \phi_{\pm 1}^+\right)$$

$$I_{\pm 1}^- = |u_{\pm 1}^-|^2 + |l_{\pm 1}^-|^2 + U_{\pm 1}^- \times L_{\pm 1}^{-*} + c.c. = u_{\pm 1}^- l_{\pm 1}^- \cos\left(\pm \frac{2\pi(\Delta-f_0)}{P} + \psi_{\pm 1}^- - \phi_{\pm 1}^-\right)$$

[0093]

[0094] 수학식 19는 4개의 물리적 변수를 소개하고 정의한다. 다음 유도에서 셀들간의 충분한 유사성과 격자의 대칭을 가정하여, 단순함을 위해 상수항 $|u_{\pm 1}^+|^2 + |l_{\pm 1}^+|^2$ 이 생략된다.

[0095] A^\pm - 대응 셀의 평균 간섭 항 진폭

$$A^\pm = \frac{u_{+1}^+ l_{+1}^+ + u_{-1}^+ l_{-1}^+}{2}$$

[0096]

[0097] B^\pm - 차수 각각에 산란된 진폭 광(amplitudes light scattered to each one of the orders) 사이의 비대칭

$$B^\pm = \frac{u_{+1}^+ l_{+1}^+ - u_{-1}^+ l_{-1}^+}{2}$$

[0098]

[0099] α^\pm - 상부 및 하부 격자에서 산란 후 검출기에 도달하는 EM 파 사이의 평균 위상 차

$$\alpha^\pm = \frac{(\psi_{+1}^\pm - \phi_{+1}^\pm) + (\psi_{-1}^\pm - \phi_{-1}^\pm)}{2}$$

[0100]

[0101] β^\pm - 격자에 의해 +1차 또는 -1차로 산란된 EM 파의 위상차의 비대칭

수학식 19

$$\beta^{\pm} = \frac{(\psi_{+1}^{\pm} - \phi_{+1}^{\pm}) - (\psi_{-1}^{\pm} - \phi_{-1}^{\pm})}{2}$$

[0102]

$\mathcal{A}^{\pm}, \mathcal{B}^{\pm}, \alpha^{\pm}, \beta^{\pm}$ 를 사용하여 셀들(90A, 90B)에 대한 차동 신호는 수학식 20에 표현된다. 차동 신호들은 다중 재-산란으로부터 비롯된 용어를 무시하고 격자들 사이의 상대적인 변위에 따라 상이하게 의존하는 일반적인 형태로 표현되는데, 이들 항의 상대적인 세기가 실제 몇 퍼센트 초과하지 않는 격자의 DE(diffraction efficiency)의 높은 전력에 의존하기 때문이다.

[0103]

수학식 20

$$D^{\pm} = I_{+1}^{\pm} - I_{-1}^{\pm} = \mathcal{A}^{\pm} \sin \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} + \beta^{\pm} \right] \sin \alpha^{\pm} + \mathcal{B}^{\pm} \cos \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} + \beta^{\pm} \right] \cos \alpha^{\pm}$$

$$D^{\pm} = \mathcal{A}^{\pm} \sin \alpha^{\pm} \left\{ \sin \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} + \beta^{\pm} \right] + \frac{\mathcal{B}^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm} \tan \alpha^{\pm}} \cos \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} + \beta^{\pm} \right] \right\}$$

[0104]

대안적인 형태 1:

$$D^{\pm} = \sqrt{(\mathcal{A}^{\pm} \sin \alpha^{\pm})^2 + (\mathcal{B}^{\pm} \cos \alpha^{\pm})^2}$$

$$\times \sin \left\{ \pm \frac{2\pi f_0}{P} + \frac{2\pi}{P} \left[\Delta + \frac{P}{2\pi} \left(\beta^{\pm} + \tan^{-1} \left[\frac{\mathcal{B}^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm} \tan \alpha^{\pm}} \right] \right) \right] \right\}$$

[0106]

대안적인 형태 2:

$$D^{\pm} = \mathcal{A}^{\pm} \sin \alpha^{\pm} \sqrt{1 + \left(\frac{\mathcal{B}^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm} \tan \alpha^{\pm}} \right)^2}$$

$$\times \sin \left\{ \pm \frac{2\pi f_0}{P} + \frac{2\pi}{P} \left[\Delta + \frac{P}{2\pi} \left(\beta^{\pm} + \tan^{-1} \left[\frac{\mathcal{B}^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm} \tan \alpha^{\pm}} \right] \right) \right] \right\}$$

[0108]

각 셀에서의 차동 신호(D^{\pm})는 1차 차수 SCOL에서 관측 가능한 주된 역할을 할 수 있으므로, 수학식 20은 감도

및 에러 분석의 기초를 제공한다. 이러한 항 $\frac{P}{2\pi} \left(\beta^{\pm} + \tan^{-1} \left[\frac{\mathcal{B}^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm} \tan \alpha^{\pm}} \right] \right)$ 는 타겟 비대칭으로 인한 오버레이에 대한 추가로서 측정될 수 있다. 이미징 상황(수학식 7 참조)과 비슷한 방식으로 위상 비대칭(β^{\pm})은 적절한 오버레이

에 대한 선형 추가로서 나타나는 반면, 진폭 비대칭($\frac{\mathcal{B}^{\pm}}{\mathcal{A}^{\pm}}$)의 효과는 지형 위상(110)과, 상부 및 하부 격자

($\tan \alpha^{\pm}$)에 의해 산란된 차수의 OPD의 조합에 의해 증폭된다. $\rightarrow n\pi (\tan \alpha \rightarrow 0)$ 의 최악의 가능한 경우에, 진폭

비대칭에 의해 도입되는 에러는 $\pm \frac{P}{2}$ 에 도달한다. 반면, $\alpha \rightarrow \pm \frac{\pi}{2}$ 의 최적의 상황에, $\tan \alpha \rightarrow 0$ 임에 따라, 증폭된 에러는 없어진다. SCOL에서 위상 신호(간섭 항의 차이)가 측정되는 반면, 이미징에서 간섭 항의 합이 측정되므로, 최상 및 최악 결과를 산출하는 지형 위상은 이미징에 대한 스캐터로메트리에 있어서 반대라는 것을 주목해야 한다.

[0110]

수학식 21은 차동 신호의 크기 d 및 d의 1차 및 2차 도함수를 추정한다.

수학식 21

$$d = (\mathcal{A} \sin \alpha)^2 + (\mathcal{B} \cos \alpha)^2 = \frac{1}{2}(\mathcal{A}^2 + \mathcal{B}^2) - \frac{1}{2}(\mathcal{A}^2 - \mathcal{B}^2) \cos 2\alpha ;$$

$$d' = \frac{d}{d\alpha} [(\mathcal{A} \sin \alpha)^2 + (\mathcal{B} \cos \alpha)^2] = (\mathcal{A}^2 - \mathcal{B}^2) \sin 2\alpha = 0 \Rightarrow \alpha = \frac{n\pi}{2} ;$$

$$d'' = \frac{d^2}{d\alpha^2} [(\mathcal{A} \sin \alpha)^2 + (\mathcal{B} \cos \alpha)^2]$$

$$= 2(\mathcal{A}^2 - \mathcal{B}^2) \cos 2\alpha; \text{ assuming } \mathcal{B} < \mathcal{A}$$

$$\text{for: } \alpha = 0, \pi \dots; d'' > 0 \Rightarrow D \text{ is at minimum ;}$$

$$\Rightarrow \text{for: } \alpha = \pm \frac{\pi}{2} \dots; d'' < 0 \Rightarrow D \text{ is at maximum.}$$

[0111]

[0112]

이미징에서의 상황과 유사하게, 가장 강한 신호는 측정에 최적인 위상 관계에서 얻어져야 한다. 그러나, 격자의 산란 효율을 상부 및 하부 격자(91B, 91A)에 의해 회절된 EM 필드에 사이의 상대적 위상으로부터 분리하는 것이 어렵다. A도 B도 선형적으로 알려지지 않기 때문에, 그리고 α 에 대하여 알려진 것이 하나도 없기 때문에, 측정 가능한 양의 명확한 거동(예를 들어, α 를 가진 D^\pm 의 크기)을 공식화할 수 없다.

[0113]

현재 SCOL 알고리즘은 수학식 $S = \frac{D^+ + D^-}{D^+ - D^-}$ 을 사용하여 각 픽셀에서 신호를 계산한다. 두 개의 가정은 통상적으로 이루어지며, 격자는 대칭이고, 조명은 거의 정상(normal)이고, 타겟 셀(90A, 90B)은 오프셋을 제외하고는 동일하다. 이러한 가정의 모델 의미는 수학식 22에서 표현된다.

수학식 22

$$u_{+1}^\pm = u_{-1}^\pm \wedge l_{+1}^\pm = l_{-1}^\pm \Rightarrow \mathcal{B}^\pm = 0$$

$$\psi_{+1}^\pm = \psi_{-1}^\pm \wedge \phi_{+1}^\pm = \phi_{-1}^\pm \Rightarrow \beta^\pm = 0$$

$$D^\pm = l_{+1}^\pm - l_{-1}^\pm = \mathcal{A}^\pm \sin \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} \right] \sin \alpha^\pm$$

$$\mathcal{A}^+ = \mathcal{A}^- \equiv \mathcal{A}; \alpha^+ = \alpha^- \equiv \alpha$$

$$D^\pm = l_{+1}^\pm - l_{-1}^\pm = \mathcal{A} \sin \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} \right] \sin \alpha$$

$$S = \frac{D^+ + D^-}{D^+ - D^-} = \tan \left(\frac{2\pi\Delta}{P} \right) \cot \left(\frac{2\pi f_0}{P} \right)$$

[0114]

[0115]

그러나, 격자가 동일한 모양을 가지지만 그들의 광학 두께가 상이한 경우에, 수학식 23이 모델 의미를 표현한다.

수학식 23

$$u_{\pm 1}^{\pm} = u_{\pm 1}^{\pm} \wedge l_{\pm 1}^{\pm} = l_{\pm 1}^{\pm} \Rightarrow B^{\pm} = 0; \Rightarrow \mathcal{A}^+ = \mathcal{A}^- \equiv \mathcal{A};$$

$$\psi_{\pm 1}^+ = \psi_{\pm 1}^+ \neq \psi_{\pm 1}^- = \psi_{\pm 1}^-; \phi_{\pm 1}^+ = \phi_{\pm 1}^+ \neq \phi_{\pm 1}^- = \phi_{\pm 1}^-; \Rightarrow \beta^{\pm} = 0; \alpha^+ \neq \alpha^-;$$

$$D^{\pm} = l_{\pm 1}^{\pm} - l_{\pm 1}^{\pm} = \mathcal{A}^{\pm} \sin \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} \right] \sin \alpha^{\pm}$$

$$S = \frac{D^+ + D^-}{D^+ - D^-} = \frac{\sin \left[\frac{2\pi(\Delta + f_0)}{P} \right] \sin \alpha^+ + \sin \left[\frac{2\pi(\Delta - f_0)}{P} \right] \sin \alpha^-}{\sin \left[\frac{2\pi(\Delta + f_0)}{P} \right] \sin \alpha^+ - \sin \left[\frac{2\pi(\Delta - f_0)}{P} \right] \sin \alpha^-}$$

$$\sin \left[\frac{2\pi(\Delta \pm f_0)}{P} \right] = \sin \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \cos \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \pm \cos \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \sin \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \Rightarrow$$

$$S = \frac{D^+ + D^-}{D^+ - D^-}$$

$$= \frac{\sin \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \cos \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \{ \sin \alpha^+ + \sin \alpha^- \} + \cos \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \sin \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \{ \sin \alpha^+ - \sin \alpha^- \}}{\sin \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \cos \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \{ \sin \alpha^+ - \sin \alpha^- \} + \cos \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \sin \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \{ \sin \alpha^+ + \sin \alpha^- \}}$$

[0116]

$$\text{표기 } \alpha = \frac{\alpha^+ + \alpha^-}{2}; \gamma = \frac{\alpha^+ - \alpha^-}{2} \Rightarrow \alpha^{\pm} = \alpha \pm \gamma;$$

[0117]

를 사용하고, 파라미터들의 물리적 의미를 기억하면, Δ 는 두 격자 간의 오버레이이고, f_0 는 두 셀 간의 의도적인 오프셋이고 α 는 상부 및 하부 격자에 의해 동일한 회절 차수로 산란된 차수들 사이의 위상(OPD를 포함함), γ 는 주로 (추가적인 가정으로 인한) 셀들 사이의 OPD 차이이고, 신호는 수학식 24에 표현된 바와 같이 더 유도될 수 있고, 그 결과 다음과 같이 간단한 수학식이 나온다.

수학식 24

$$S = \frac{D^+ + D^-}{D^+ - D^-} = \frac{\sin \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \cos \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \sin \alpha \cos \gamma + \cos \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \sin \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \cos \alpha \sin \gamma}{\sin \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \cos \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \cos \alpha \sin \gamma + \cos \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \sin \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \sin \alpha \cos \gamma}$$

[0118]

$$= \frac{\tan \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \tan \alpha + \tan \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \tan \gamma}{\tan \left[\frac{2\pi}{P} \Delta \right] \tan \gamma + \tan \left[\frac{2\pi}{P} f_0 \right] \tan \alpha}$$

[0119]

격자들 사이에서 상이한 광학 두께를 가정하는 의미는, $\tan \gamma \neq 0$ 를 초래하고, 그게 아니면, 수학식 22로 돌아

간다. $|\tan \alpha| \gg |\tan \gamma|$ 인 경우에, 유사한 추정이 유지되는 반면(예를 들어, $\alpha \rightarrow \pm \frac{\pi}{2}$ 에 따라 $\tan \alpha \rightarrow \pm \infty$), 거의 임의의 $\gamma \neq \pm \frac{\pi}{2}$ 에 대한 그러한 근사는 표준 모델로부터 잘못된 항을 무시하는 결과를 명백히 가져온다. 더욱이, $\tan \alpha \rightarrow 0$ 이라면(아래에서 공명 조건이라 함), $\tan \gamma \neq 0$ 일 때 임의의 γ 에 대한 추정된 신호는 예상된 신호 S의 S^{-1} 로서 정확히 거동한다.

[0120]

결과는 광학 두께(패드 대 패드) 감도 및 격자 비대칭 증폭 효과를 감소시키는 것(수학식 20에 대한 상기 설명

참조)이 $\alpha \cong \pm \frac{\pi}{2}$ 에 대한 조건을 발견함으로써 달성될 수 있다는 것이다. 그러나, $\alpha = \pm \frac{\pi}{2}$ 의 주목받는 조

건은, 상부 및 하부 격자로부터의 차수 사이의 보강 간섭 또는 상쇄 간섭을 야기하는 $\alpha = \pm n\pi$ 의 불필요한 조건과는 대조적으로, 동공 이미지 또는 차동 신호에서 특별한 특징을 나타내지 않으며, 종종 동공 이미지에서 명확한 프린지(밝거나 어두움)에 의해 표시되고 오버레이(차동 신호의 어두운 프린지)에 대한 감도가 현저하게 감소된다.

[0121] 도 9는 본 발명의 일부 실시예에 따라 계측 톨(85)에 의해 측정된 보조 셀(185)을 갖는 SCOL 타겟(180)의 상위 레벨 개략도이다. 계측 톨(85)은 개시된 임의의 실시예에 적용 가능한 하나 이상의 프로세서(들)(88)와 관련된 계측 모듈(들)(87)뿐만 아니라 광학 시스템(110)을 포함하고, 아마도 광학 시스템(들)(110) 및 계측 모듈(들)(87)의 개시된 구성을 갖는다. 계측 타겟(90)은 적어도 2개의 셀을 포함할 수 있으며, 각 셀은 피치 p를 갖는 주기적 구조를 갖는 적어도 2개의 타겟 층을 가지며, 적어도 2개의 셀의 반대 오프셋 만큼 서로에 대해 시프트된다. 적어도 2개의 보조적이고 특별히 설계된 측정 셀(185)이 SCOL 타겟 셀(90)뿐 아니라 타겟(180)에 도입되어, 픽셀 단위로 지형 위상을 결정할 수 있다. 예를 들어, 1/4 피치 $\pm p/4$ 의 의도적인 오프셋을 각각 갖는 2개의 보조 셀(185A, 185B)이 도입될 수 있어서, 보조 셀은 각각의 보조 셀에서 서로에 대해 $\pm p/4$ 만큼 시프트되는 타겟(90)의 주기적 구조를 갖는다. 보조 셀(185)의 동공 이미지는 수학적 식 25에서 표현된 W의 계산을 수행하는데 사용될 수 있으며, α 는 지형 위상을 나타내고, $I_{+1}^{\frac{1}{4}}$ 및 $I_{-1}^{\frac{1}{4}}$ 는 포지티브 오버레이 방향으로 p/4의 오프셋을 갖는 보조 셀(185A)의 1차 및 -1차(아래 첨자로 표시됨)에 대해 측정된 동공 이미지의 세기를 나타낸다. $I_{+1}^{-\frac{1}{4}}$ 및 $I_{-1}^{-\frac{1}{4}}$ 는 네거티브 오버레이 방향으로 p/4의 오프셋을 갖는 보조 셀(185B)에 대한 각 세기를 나타낸다. I_{+1}^0 및 I_{-1}^0 는 특별한 변위가 없는(즉, 표준 $\pm f_0$ 을 갖는 표준 설계 오프셋을 갖는) 표준 SCOL 셀(들)(90)에 대한 각각의 세기를 나타낸다.

수학적 식 25

$$W = \frac{\left(I_{+1}^{\frac{1}{4}} + I_{-1}^{\frac{1}{4}} \right) - \left(I_{+1}^{-\frac{1}{4}} + I_{-1}^{-\frac{1}{4}} \right)}{\left(I_{+1}^0 - I_{-1}^0 \right)} = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \cong \cot \alpha$$

[0122]

[0123] $W=0$ 인 픽셀에서 $\alpha = \pm \frac{\pi}{2}$ 라는 것을 유의해야 한다. 따라서, 검출기(80)의 (조명 각 θ 에 대응하는) 픽셀들 또는 영역들 및/또는 W의 작은 값(예를 들어, $W \cong 0$)에 대응하는 파장들 λ 를 선택하는 것은, 격자 비대칭 효과뿐만 아니라 인접한 셀 사이의 층의 두께 변화에 대한 타겟의 감도를 억제함으로써, 정확도를 상당히 향상시킨다.

[0124] 도 10은 본 발명의 일부 실시예에 따른 방법(200)을 나타내는 상위 레벨 흐름도이다. 방법 단계들(stages)은 방법(200)을 구현하도록 선택적으로 구성될 수 있는 전술한 시스템 및 톨에 대해 수행될 수 있다. 방법(200)은 예를 들어, 계측 모듈에서 적어도 하나의 컴퓨터 프로세서에 의해 적어도 부분적으로 구현될 수 있다. 특정 실시예들은 방법(200)의 관련 단계들을 수행하도록 구성되고, 컴퓨터 판독 가능 프로그램이 담긴 컴퓨터 판독 가능 저장 매체를 포함하는 컴퓨터 프로그램 제품을 포함한다. 특정 실시예들은 방법(200)의 실시예들에 의해 설계된 각각의 타겟의 타겟 설계 파일을 포함한다.

[0125] 이러한 방법 단계들은 위에서 설명되고 방법(200)을 구현하도록 선택적으로 구성되는 시스템 및 톨과 관련하여 보다 상세하게 설명된다. 본 발명의 상이한 양태의 방법 단계들은 특정 요건에 따라 결합될 수 있다.

[0126] 방법(200)은 이미징 계측 톨의 광학 시스템에서 디포커싱 레벨에 대한 오버레이 에러 확대의 의존성을 유도하는 단계(단계 210) 및 좁은 스펙트럼 범위 $\Delta \lambda \leq 10\text{nm}$ 에서, 좁은 조명 개구수 $NA \leq 0.1$ 에서, 및 유도된 의존성에 따른 제로 오버레이 에러 확대에 대응하는 포커스 위치에서 광학 시스템을 작동시키는 단계(단계 220)를 포함할 수 있다.

[0127] 방법(200)은 대응하는 복수의 포커스 위치에서 복수의 계측 타겟 이미지를 그래핑하는 단계(단계 230), 그래핑된 이

미지의 부정확 확대 계수(inaccuracy magnification factor)를 추정하는 단계(단계 250), 포커스 위치에 대한 부정확 확대 계수의 부호 변화를 식별함으로써 최상의 콘트라스트 위치를 결정하는 단계(단계 260), 및 결정된 최상의 콘트라스트 위치에서 계측 톨을 작동시키는 단계(단계 270)를 포함할 수 있다. 그랩 단계(230)는 동시에 수행될 수 있고(단계 240), 동시 그랩(240)은 계측 톨의 수집 경로를 따라 적어도 2개의 빔 분리 요소를 위치시킴으로써 수행되어(단계 242) 상이한 수집 경로 길이를 갖는 복수의 포커스 위치를 제공할 수 있다(단계 244). 특정 실시예에서, 방법(200)은 또한 포커스 위치에서 타겟 이미지에 대한 기준으로서 구성된 계측 톨의 필드 평면에서 레티클을 사용하는 단계(단계 246)를 더 포함한다.

- [0128] 방법(200)은 측정 과정에서 이미징 계측 타겟의 지형 위상의 의존성을 유도하는 단계(단계 280), 지형 위상을 예를 들어, $\pm 10\text{nm}$ 의 범위 내에서 π 의 정수 배가 되도록 측정 과정을 조정하는 단계(단계 290), 조정된 측정 과정에서 이미징 계측 타겟의 이미징 계측 측정을 수행하는 단계(단계 300)를 포함할 수 있다.
- [0129] 방법(200)은 이미징 계측 광학 시스템의 수집 경로에서, 기준 신호를 포함하는 조정 가능한 기준 경로를 통합하는 단계(단계 320), 이미징 계측 타겟의 지형 위상을 π 의 정수 배가 되도록 변경하기 위하여 기준 신호의 위상을 조정하는 단계(단계 330)를 포함할 수 있다. 조정 가능한 기준 경로는 이미징 계측 광학 시스템의 대물 렌즈와 동일한 기준 대물 렌즈 및 조정 가능한 미러를 갖는 리니크 간섭계로서 광학 시스템 내에 구성될 수 있다(단계 322). 방법(200)은, 예를 들어 수학적 12에 따라, 적어도 2개의 타겟 층들로부터의 0차 및 1차 회절 신호들 사이의 지형 위상들의 차이를 최소화하는 단계(단계 332)를 포함할 수 있다.
- [0130] 방법(200)은 서로에 대해 $\pm p/4$ 만큼 시프트된, 스캐터로메트리 타겟에서 주기적 구조와 동일한 피치 p 를 갖는 주기적 구조를 갖는 적어도 2개의 보조 셀을 스캐터로메트리 타겟에 추가하는 단계(단계 340), 및 수학적 25에 따라 상기 적어도 2개의 보조 셀로부터의 회절 신호를 측정함으로써 상기 스캐터로메트리 타겟의 지형 위상을 측정하는 단계(단계 350)를 포함할 수 있다.
- [0131] 방법(200)은 이미징 타겟의 콘트라스트 함수를 유도하는 단계(단계 360), 유도된 콘트라스트 함수를 단일 피크를 갖도록 변경하기 위한 측정 조건을 조정하는 단계(단계 370), 및 조정된 측정 조건에서 이미징 계측 측정을 수행하는 단계(단계 375)를 포함할 수 있다.
- [0132] 방법(200)은 수집 및 조명 개구수(NA)를 $2\lambda/P$ 보다 작은 값을 갖도록 선택함으로써(단계 382) 높은 지형 스택 측정을 수행하는 단계(단계 380), 가능하게는 DOF(depth of field)를 증가시키기 위하여 조명 NA를 최소화하는 단계(단계 384), 및/또는 비대칭 기여도를 평균화하기 위하여 다수의 초점 위치에 걸쳐 다수의 이미지들을 통합(integrate)하는 단계(단계 386)를 포함할 수 있다.
- [0133] 방법(200)의 데이터 프로세싱 단계 중 임의의 단계는 프로세서(들)(88)와 같은 적어도 하나의 컴퓨터 프로세서에 의해 수행될 수 있다(단계 390).
- [0134] 본 발명의 양태는 본 발명의 실시예에 따른 방법, 장치(시스템) 및 컴퓨터 프로그램 제품의 흐름도 및/또는 부분도를 참조하여 위에서 설명되었다. 흐름도 및/또는 부분도의 각 부분, 및 흐름도 및/또는 부분도의 부분들의 조합은 컴퓨터 프로그램 명령어들에 의해 구현될 수 있음을 이해할 것이다. 이들 컴퓨터 프로그램 명령어들은 범용 컴퓨터, 특수 목적 컴퓨터 또는 다른 프로그램 가능 데이터 처리 장치의 프로세서에 제공되어, 컴퓨터 또는 다른 프로그램 가능 데이터 처리 장치의 프로세서를 통해 실행되는 명령어들이 흐름도 및/또는 부분도 또는 그 일부에서 특정된 기능/동작을 구현하기 위한 수단을 생성하도록 머신을 생성할 수 있다.
- [0135] 또한, 이들 컴퓨터 프로그램 명령어들은 컴퓨터 판독 가능 매체에 저장되어, 컴퓨터 판독 가능 매체에 저장된 명령어들이 흐름도 및/또는 부분도 또는 그 일부에서 특정된 기능/동작을 구현하는 명령어들을 포함하는 제조 물품을 생성하도록 컴퓨터, 다른 프로그램 가능 데이터 처리 장치 또는 다른 디바이스에게 특정 방식으로 기능하도록 지시할 수 있다.
- [0136] 컴퓨터 프로그램 명령어들은 또한 컴퓨터, 다른 프로그램 가능 데이터 처리 장치, 또는 다른 디바이스에 로딩되어, 컴퓨터, 다른 프로그램 가능 장치 또는 다른 디바이스 상에서 일련의 동작 단계들이 수행되게 하여, 컴퓨터 또는 다른 프로그램 가능 장치에서 실행되는 명령어들이 흐름도 및/또는 부분도 또는 그 일부에서 특정된 기능/동작을 구현하기 위한 프로세스를 제공하도록 컴퓨터 구현된 프로세스를 생성한다.
- [0137] 진술한 흐름도 및 다이어그램은 본 발명의 다양한 실시예에 따른 시스템, 방법 및 컴퓨터 프로그램 제품의 가능한 구현의 아키텍처, 기능 및 동작을 도시한다. 이와 관련하여, 흐름도 또는 부분도의 각 부분은 지정된 논리 기능(들)을 구현하기 위한 하나 이상의 실행 가능 명령어들을 포함하는 모듈, 세그먼트 또는 코드 부분을 나타낼 수 있다. 또한, 일부 대체 구현 예에서, 상기 부분에서 언급된 기능들은 도면들에서 언급된 순서를 벗어나

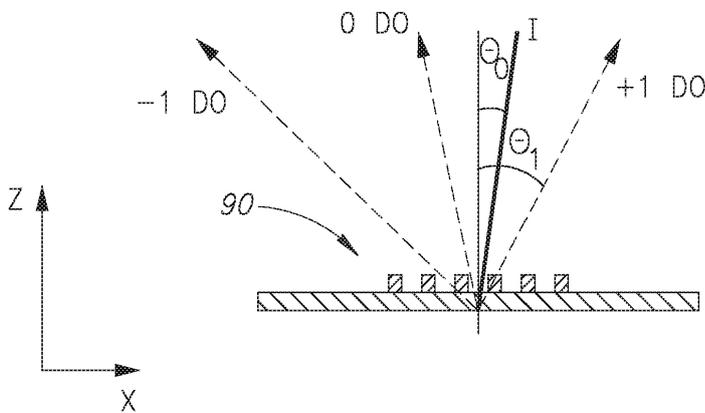
발생할 수 있음에 유의해야 한다. 예를 들어, 연속적으로 도시된 2개의 부분은 사실상 실질적으로 동시에 실행될 수 있거나, 또는 관련된 기능에 따라 때로는 역순으로 실행될 수 있다. 부분도 및/또는 흐름도의 각 부분, 부분도 및/또는 흐름도의 일부의 조합은 지정된 기능 또는 동작을 수행하는 특수 목적 하드웨어 기반 시스템, 또는 특수 목적 하드웨어 및 컴퓨터 명령어들의 조합에 의해 구현될 수 있음을 또한 유의해야 할 것이다.

[0138] 상기 설명에서, 실시예는 본 발명의 일례 또는 구현 예이다. "일 실시예(one embodiment)", "실시예(an embodiment)", "특정 실시예(certain embodiments)" 또는 "일부 실시예(some embodiments)"의 다양한 모습은 반드시 모두 동일한 실시예들을 지칭하는 것은 아니다. 본 발명의 다양한 특징이 단일 실시예의 콘텍스트에서 기술될 수 있지만, 특징들은 또한 개별적으로 또는 임의의 적절한 조합으로 제공될 수 있다. 반대로, 본 발명은 명확성을 위해 개별적인 실시예의 콘텍스트에서 본 명세서에 설명될 수 있지만, 본 발명은 또한 단일 실시예로 구현될 수 있다. 본 발명의 특정 실시예들은 위에서 개시된 상이한 실시예들로부터의 특징들을 포함할 수 있고, 특정 실시예들은 위에서 개시된 다른 실시예들로부터의 요소를 포함할 수 있다. 특정 실시예의 콘텍스트에서 본 발명의 요소들의 개시는 그 특정 실시예 단독에서 그 사용을 제한하는 것으로 간주되어서는 안된다. 또한, 본 발명은 다양한 방식으로 수행되거나 실시될 수 있으며, 상기 설명에 간략히 서술된 것들 이외의 특정 실시예들에서 본 발명이 구현될 수 있음이 이해되어야 한다.

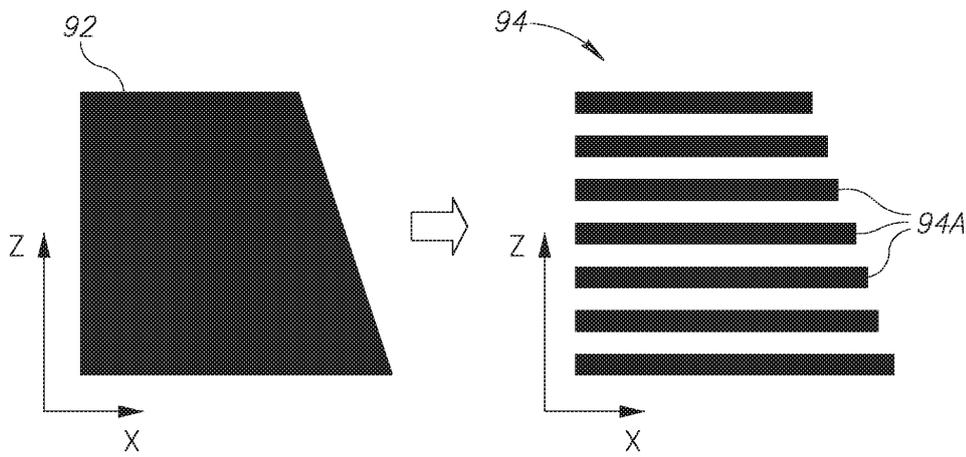
[0139] 본 발명은 이들 도면 또는 대응하는 설명에 한정되지 않는다. 예를 들어, 플로우는 각각의 예시된 박스 또는 상태를 통해 또는 도시되고 설명된 것과 정확히 동일한 순서로 이동할 필요는 없다. 본 명세서에 사용된 기술적 및 과학적 용어의 의미는 달리 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 기술 분야의 당업자에 의해 일반적으로 이해될 것이다. 본 발명은 제한된 수의 실시예와 관련하여 설명되었지만, 이들은 본 발명의 범위를 제한하는 것으로 해석되어서는 안 되며, 오히려 바람직한 실시예 중 일부의 예시로서 해석되어야 한다. 다른 가능한 변형들, 수정들 및 응용들 또한 본 발명의 범위 내에 있다. 따라서, 본 발명의 범위는 지금까지 설명된 것에 의해 한정되어서는 안 되며, 첨부된 청구 범위 및 그 균등물에 의해 제한되어야 한다.

도면

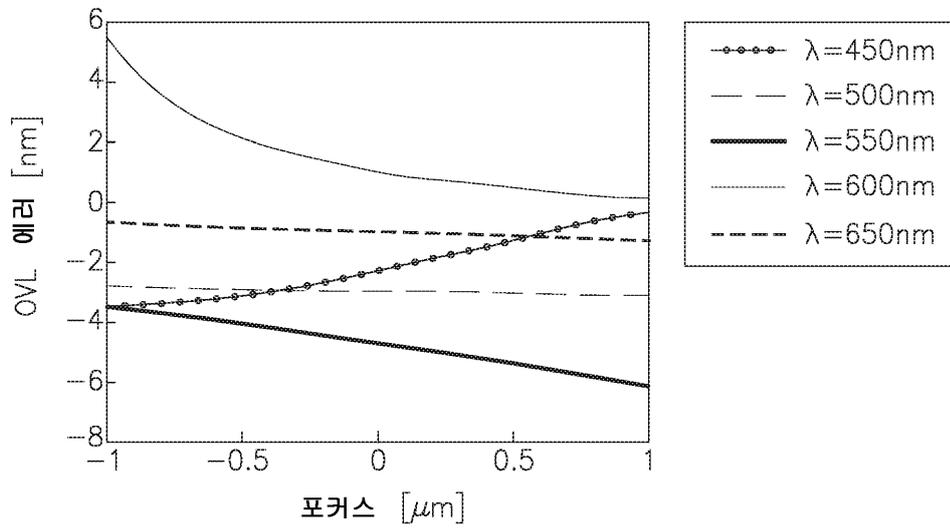
도면1



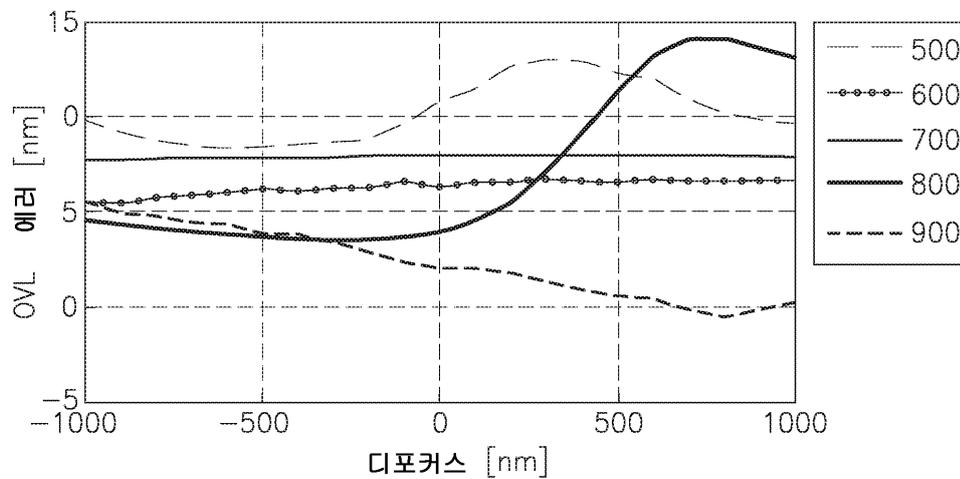
도면2a



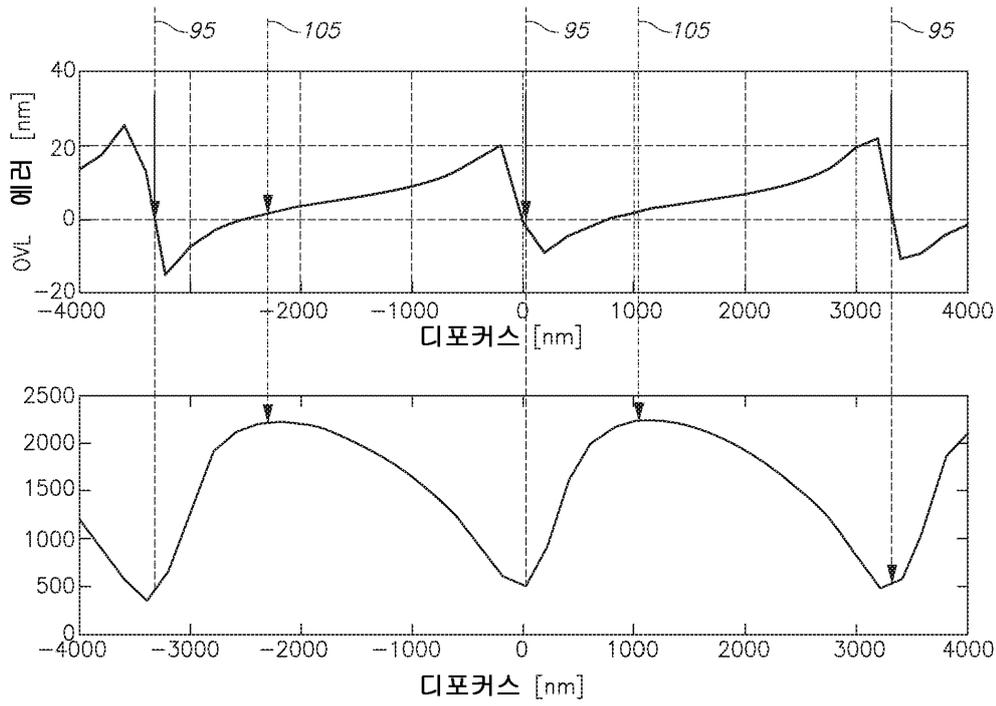
도면2b



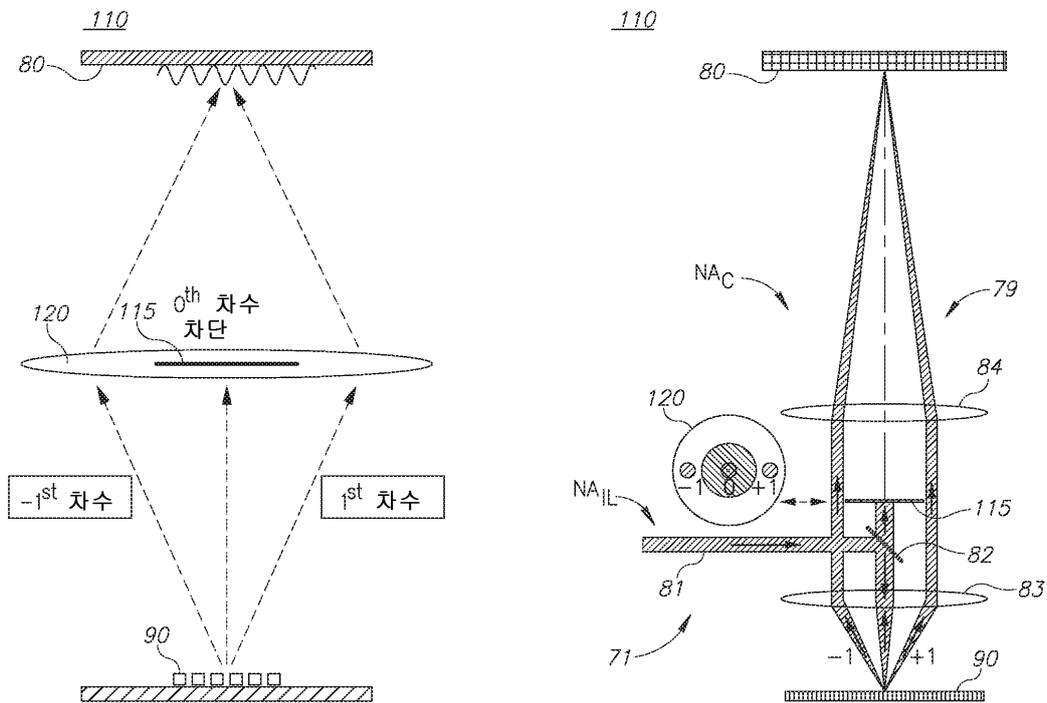
도면2c



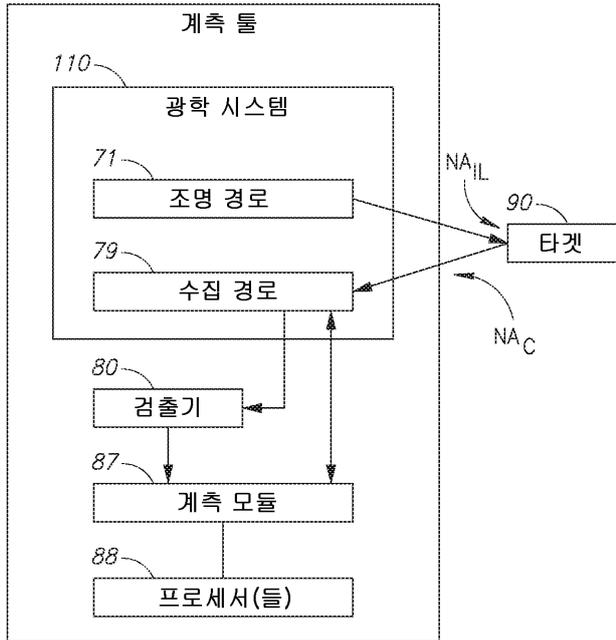
도면2d



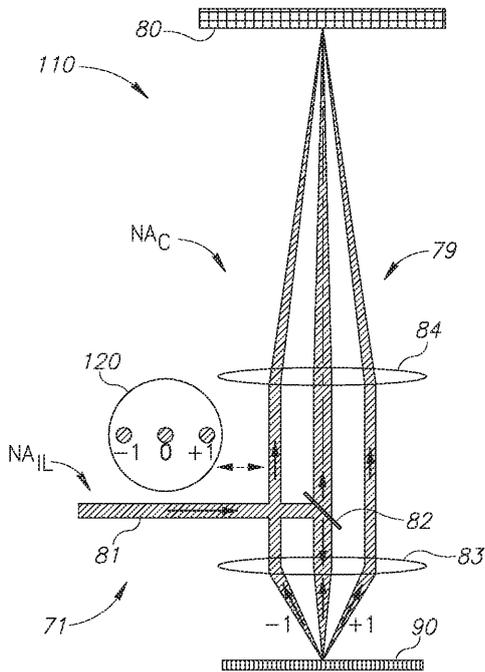
도면3a



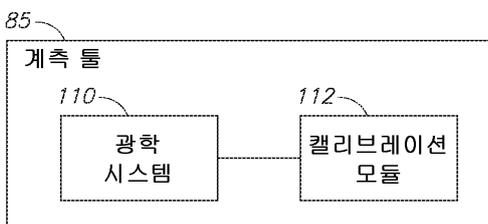
도면3b



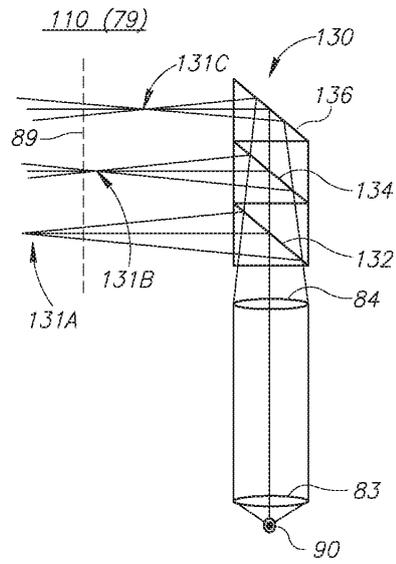
도면3c



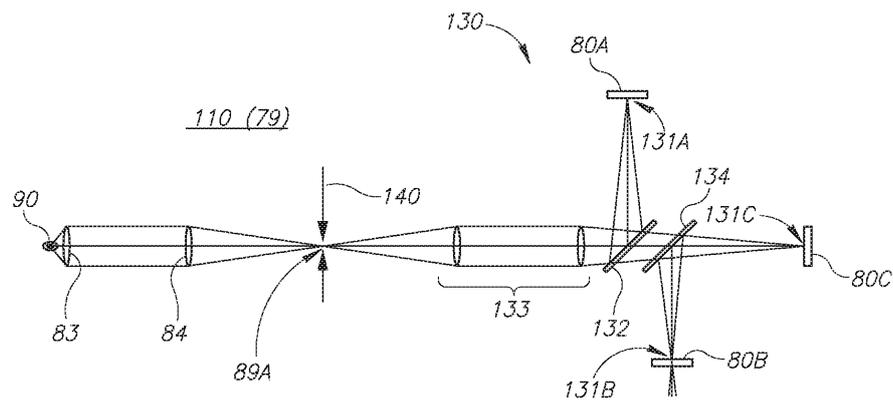
도면4a



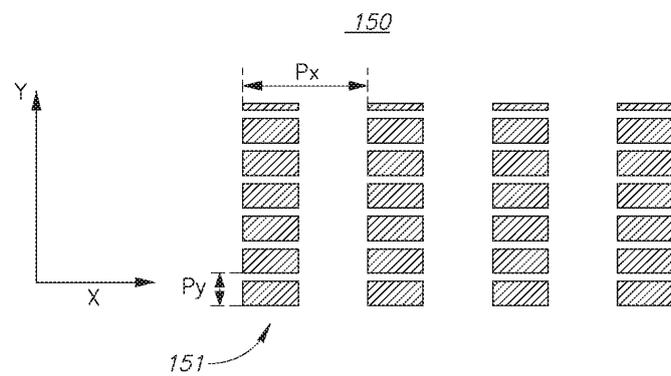
도면4b



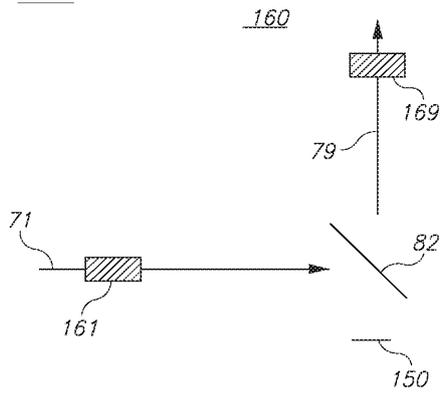
도면4c



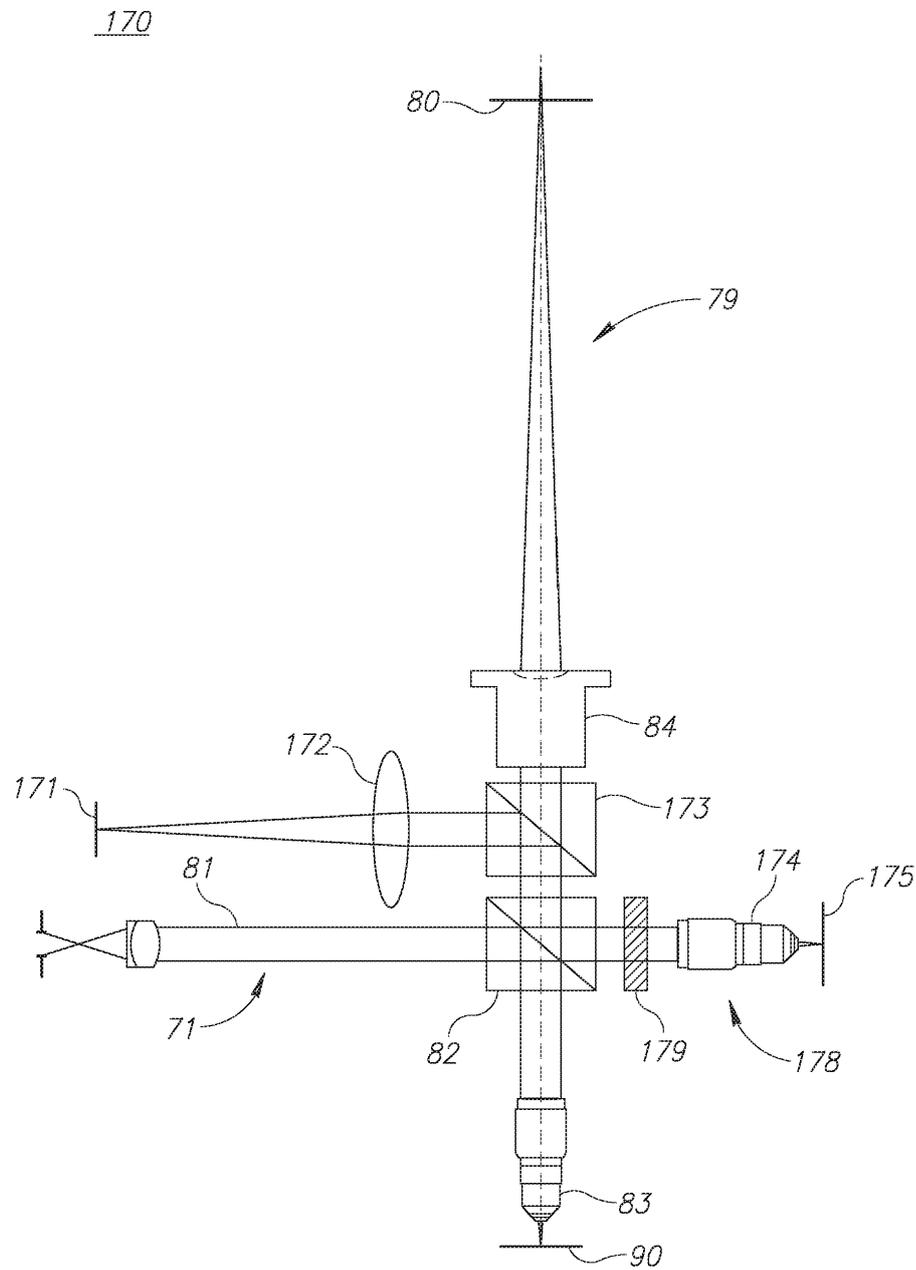
도면5a



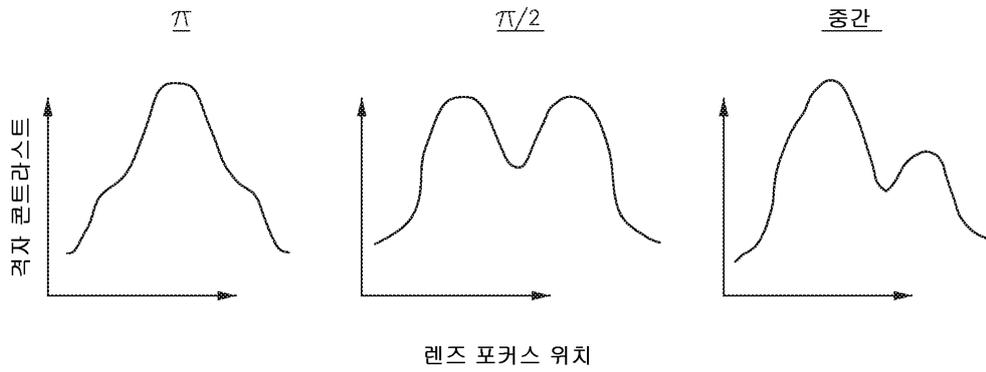
도면5b



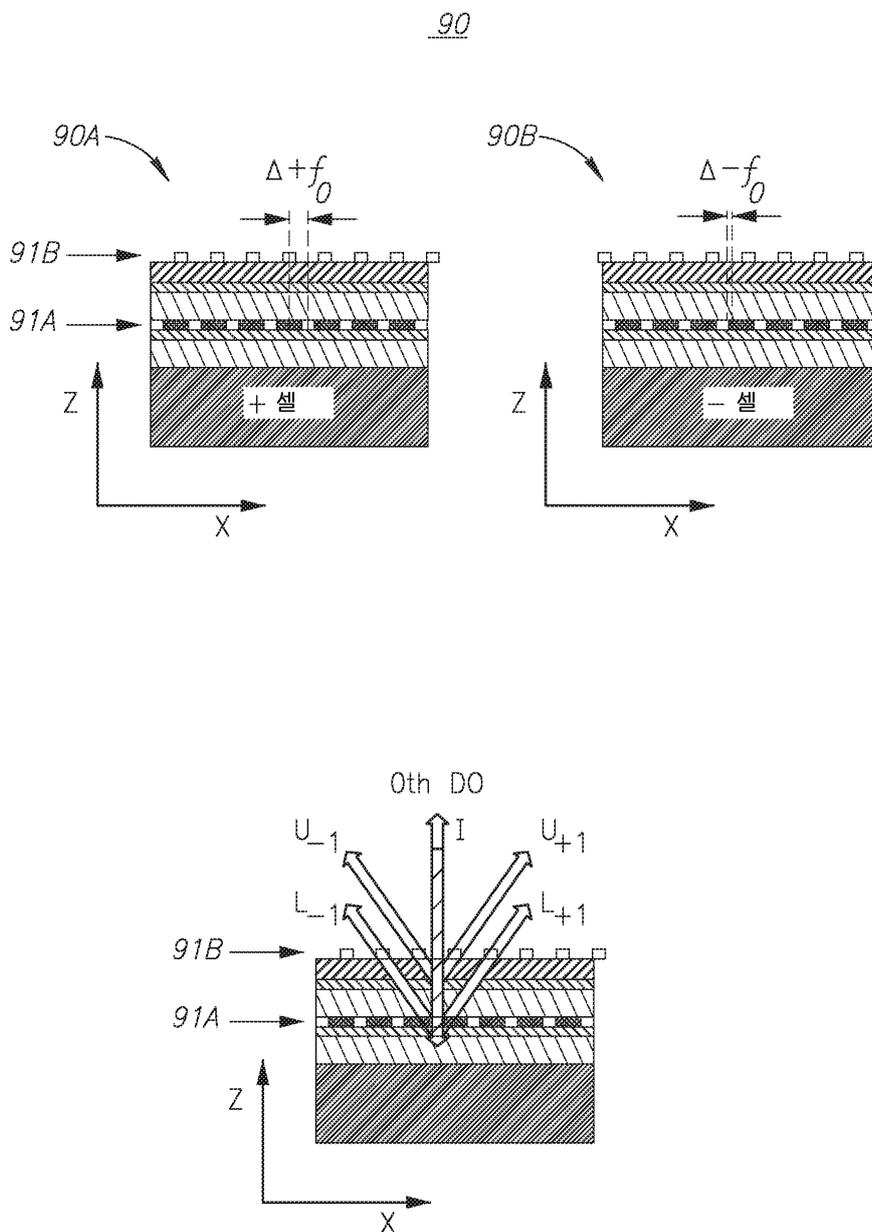
도면6



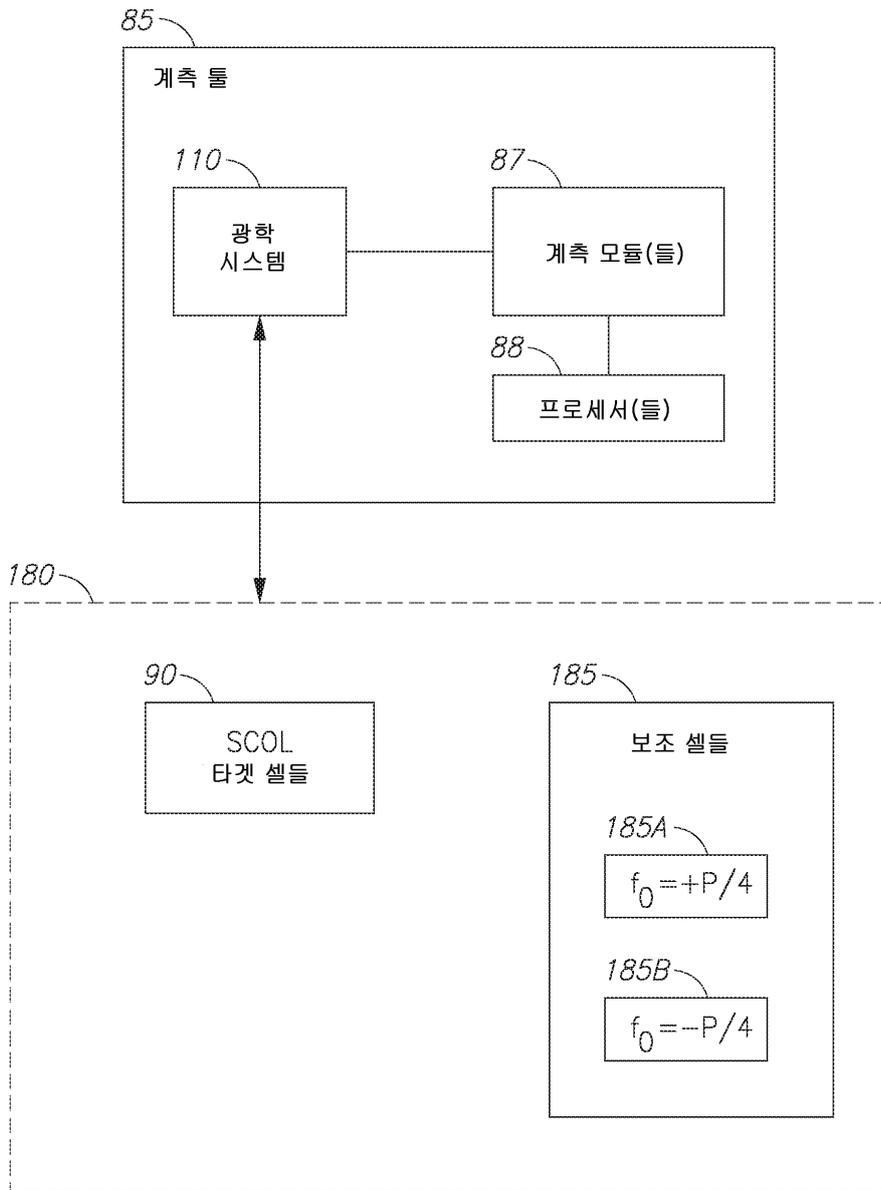
도면7



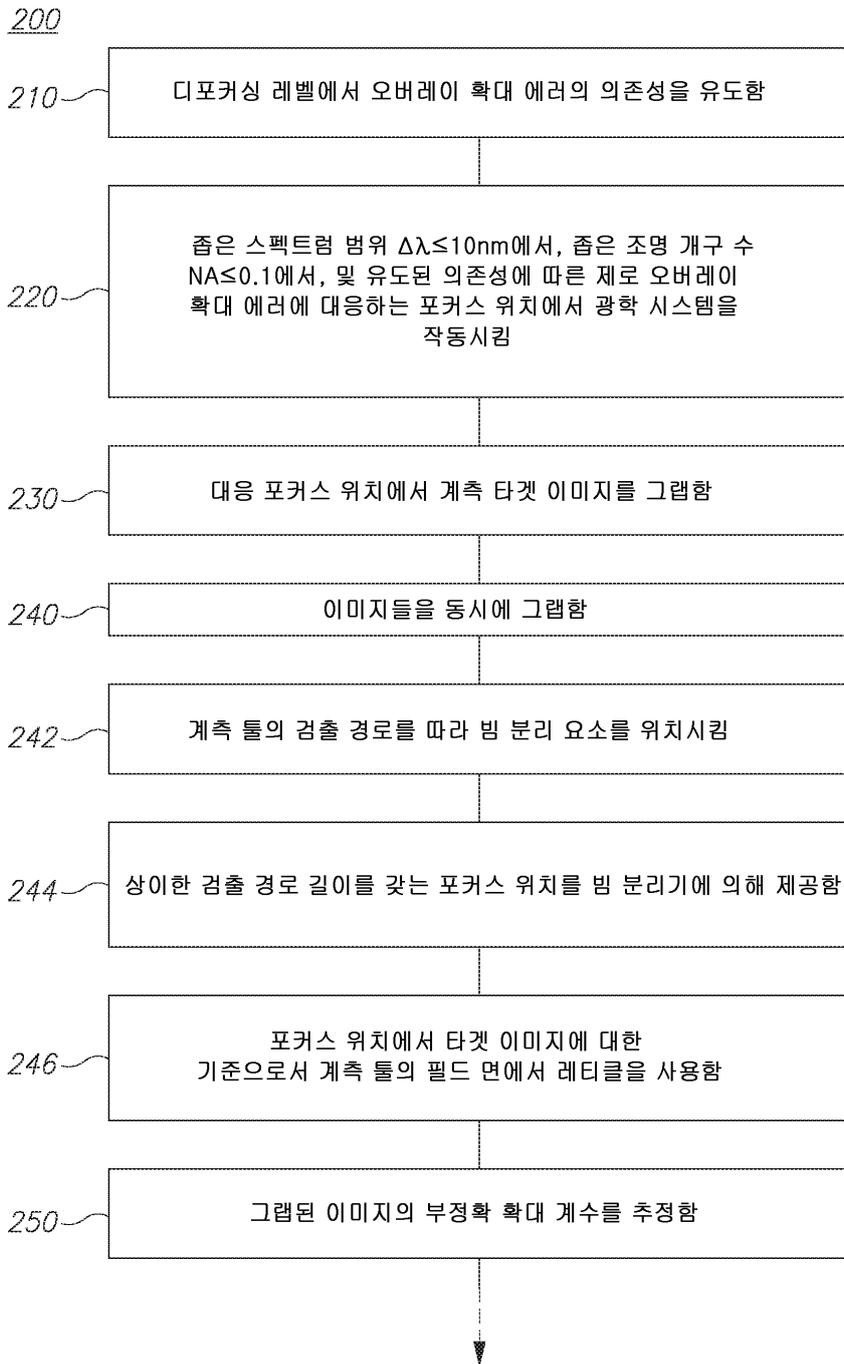
도면8



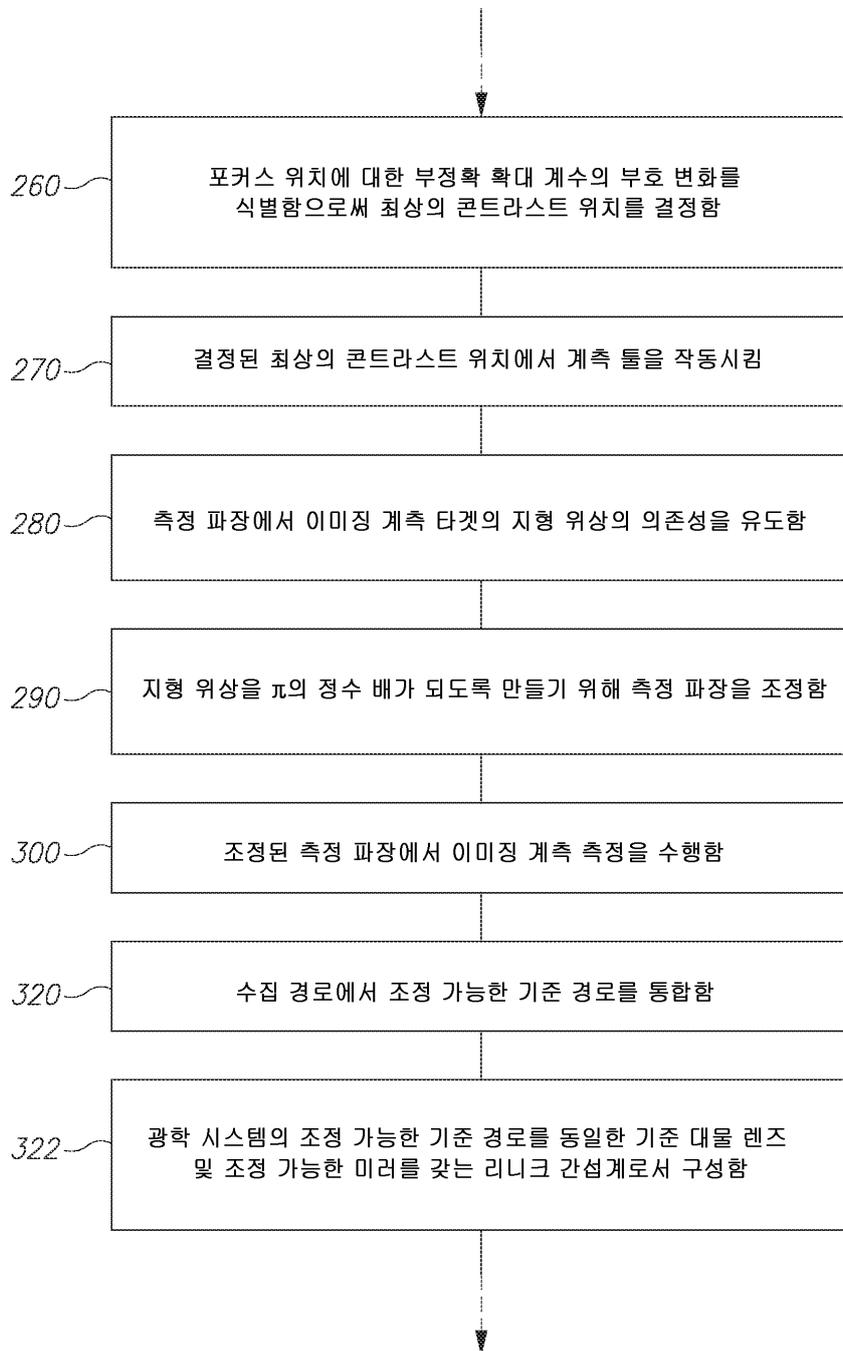
도면9



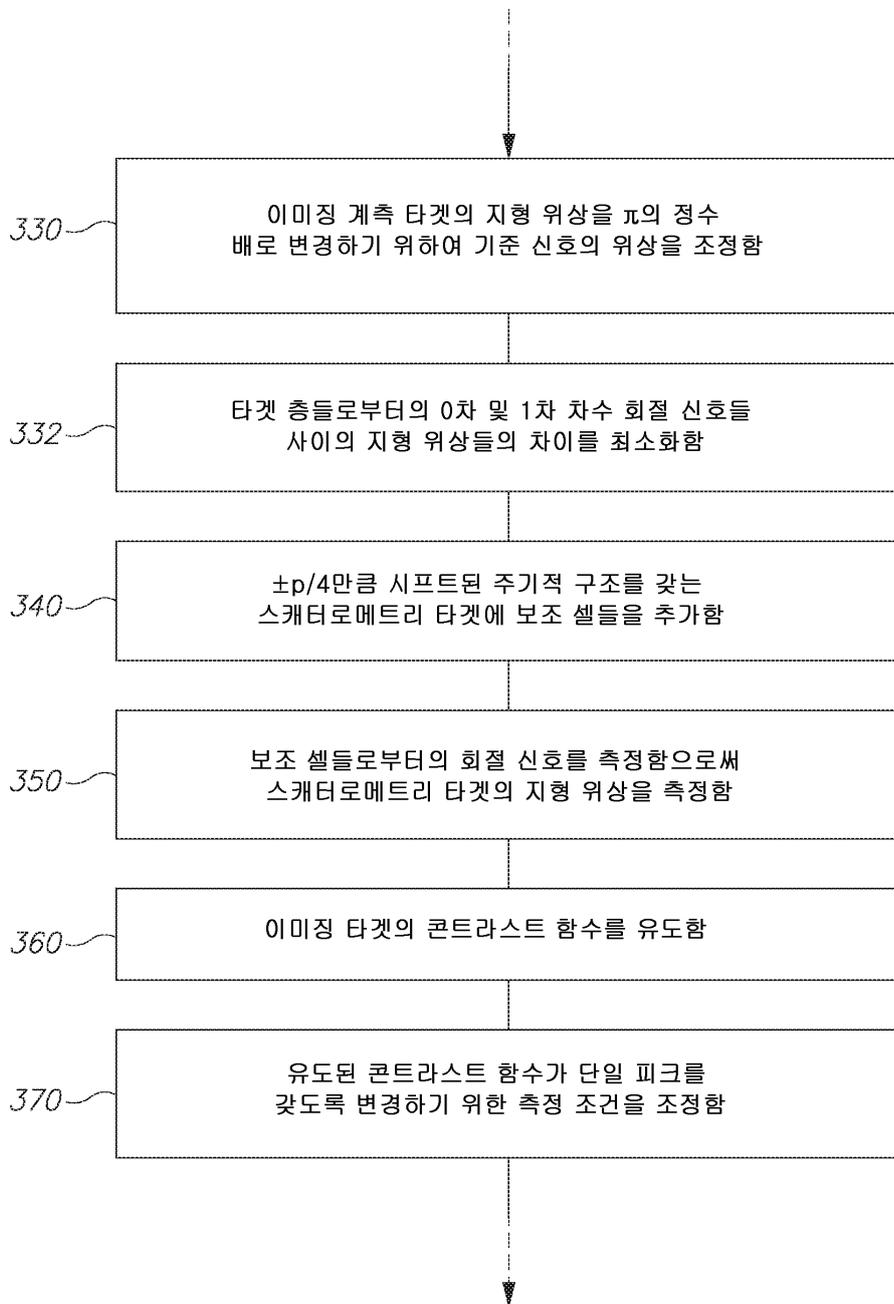
도면10a



도면10b



도면10c



도면10d

