



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년08월05일  
(11) 등록번호 10-2430129  
(24) 등록일자 2022년08월03일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01J 3/28 (2006.01) G01J 3/40 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
G01J 3/2823 (2013.01)  
G01J 3/40 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-7027579
- (22) 출원일자(국제) 2016년11월01일  
심사청구일자 2021년11월01일
- (85) 번역문제출일자 2018년09월21일
- (65) 공개번호 10-2018-0112064
- (43) 공개일자 2018년10월11일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2016/059954
- (87) 국제공개번호 WO 2017/146786  
국제공개일자 2017년08월31일
- (30) 우선권주장  
62/299,693 2016년02월25일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌  
Gutjahr Karsten., Root cause analysis of overlay metrology excursions with scatterometry overlay technology, Proceedings of SPIE, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2016.02.24.  
Bringoltz Barak., Accuracy in optical overlay metrology, Proceedings of SPIE, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2016.02.24.

- (73) 특허권자  
케이엘에이 코퍼레이션  
미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크놀로지 드라이브
- (72) 발명자  
마르시아노 탈  
이스라엘 2069200 요크니암 야르 오렘 32/10  
아델 마이클 이  
이스라엘 30900 야코브 지크론 이갈 알론 스트리트 14  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 23 항

심사관 : 이병수

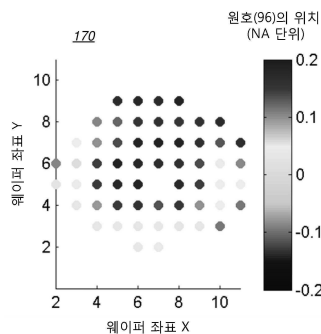
(54) 발명의 명칭 스캐테로메트리 계측에서의 공정 변동의 근본 원인 분석

(57) 요약

대칭 및 비대칭 인자들에 대한 공정 변동을 평가 및 특성화하고, 공정 단계에 대한 공정 변동의 근본 원인 분석을 제공하기 위해 측정 랜드스케이프에서 공진 영역(들)의 거동을 사용하는 방법, 계측 모듈, 및 RCA 툴이 제공된다. 상이한 층 두께 및 공정 변동 인자들을 갖는 모델링된 스택들의 시뮬레이션이 분석을 강화시키고 개선된

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3a



타겟 설계, 개선된 알고리즘, 및 계측 측정에 대한 정정가능자(correctable)를 제공하는데 사용될 수 있다. 민감한 공진 영역을 나타내는 특정 타겟은 공정 변동의 평가를 강화시키는데 이용될 수 있다.

(52) CPC특허분류

G01J 2003/283 (2013.01)

(72) 발명자

**기노프키 마크**

이스라엘 20692 요쿠니암 일리트 아파트먼트 2 하차야림 스트리트 69

**브린골츠 바락**

이스라엘 75712 리손 레 지온 아파트먼트 4 13번 핫잔하님 스트리트

**클레인 다나**

이스라엘 34816 하이파 카멜리야 알렉산더 야나이 23

**이츠코비치 탈**

이스라엘 99735 크파 유리야 크파 유리야 #10

**라마나단 비드야**

미국 뉴욕주 12065 클리프톤 파크 롤링 브룩 드라이브 87

**캠프 자네이**

미국 뉴욕주 12020 볼스턴 스퀘어 콜라머 드라이브 34

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

방법에 있어서,

컴퓨터 판독가능 저장 매체 상의 명령어들을 실행하는 프로세서를 갖는 계측 툴을 사용하여 반도체 웨이퍼의 시뮬레이션 및 복수의 스캐테로메트리(scatterometry) 측정들, 중 적어도 하나로부터 랜드스케이프(landscape)를 유도하는 단계 - 상기 랜드스케이프는 적어도 하나의 파라미터에 대한 적어도 하나의 계측 메트릭(metrology metric)의 적어도 부분 연속적 의존성을 포함함 -,

상기 프로세서를 사용하여, 상기 유도된 랜드스케이프에서, 측정된 위치에서의 광학 조명의 공진(resonance)에 대응하는 적어도 하나의 공진 영역을 식별하는 단계,

상기 프로세서를 사용하여, 상기 적어도 하나의 파라미터에서의 규정된 변화에 대한 상기 식별된 적어도 하나의 공진 영역의 의존성을 분석하는 단계, 및

상기 프로세서를 사용하여, 상기 분석으로부터 공정 변동의 추정치를 유도하는 단계

를 포함하는 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 파라미터는, 조명 파장, 동공 위치(pupil location), 측정 파라미터, 및 공정 파라미터 중 임의의 것을 포함한 것인 방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 계측 메트릭은, 오버레이, 오버레이 변동 메트릭, 및 상기 오버레이에 대하여 정의된 부정확도 메트릭(inaccuracy metric) 중 적어도 하나를 포함한 것인 방법.

#### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 오버레이는  $OVLP(\vec{p}) = ((D_1(\vec{p}) + D_2(\vec{p})) / (D_1(\vec{p}) - D_2(\vec{p}))) \cdot f_0$  로서 계산되고, 여기서  $\vec{p}$  는 동공 픽셀을 나타내고,  $f_0$  는 설계된 오프셋을 표시하며,  $D_1$  과  $D_2$  는 반대 설계된 오프셋들에 대응하여, 서로에 대해 180° 회전된 동공 픽셀들에서 측정된 반대 차수들의 신호 세기들 간의 차이를 표시한 것인 방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 공진 영역을 식별하는 단계 이후에,

시뮬레이션된 동공 이미지 및 측정된 동공 이미지, 중 적어도 하나에 걸친 상기 적어도 하나의 공진 영역의 이동을 상기 적어도 하나의 파라미터로서 검출하는 단계, 및 상기 적어도 하나의 공진 영역의 이동으로부터 대칭적 공정 변동을 추정하는 단계

를 더 포함하는 방법.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 공진 영역을 식별하는 단계 이후에,  
 상기 적어도 하나의 공진 영역에서의 부호 변화를 검출하는 단계, 및 상기 부호 변화로부터 비대칭적 공정 변동  
 을 추정하는 단계  
 를 더 포함하는 방법.

**청구항 7**

제6항에 있어서,  
 상기 부호 변화는 상기 적어도 하나의 파라미터를 변화시킬 때의 부정확도 구배의 반전을 포함한 것인 방법.

**청구항 8**

제5항에 있어서,  
 상기 적어도 하나의 공진 영역을 식별하는 단계 이후에, 상기 식별된 적어도 하나의 공진 영역을 웨이퍼 상의  
 복수의 측정 위치 위에 맵핑하는 단계,  
 상기 식별된 적어도 하나의 공진 영역을 맵핑하는 단계 이후에, 상기 맵핑에서 적어도 하나의 공간적 관계를 특  
 성화(characterize)하는 단계, 및  
 상기 적어도 하나의 공간적 관계를 특성화하는 단계 이후에, 상기 특성화에 따라 상기 대칭적 공정 변동에 대한  
 근본 원인(root cause)을 식별하는 단계  
 를 더 포함하는 방법.

**청구항 9**

제8항에 있어서,  
 상기 근본 원인은 계측 이탈(metrology excursion)을 예측하기 위해 계측 측정과 병행하여 식별되는 방법.

**청구항 10**

제9항에 있어서,  
 상기 예측된 계측 이탈에 따라 계측 측정 레시피가 조정되는 방법.

**청구항 11**

제1항에 있어서,  
 상기 랜드스케이프를 유도하는 단계 이후에,  
 웨이퍼 상의 상이한 부위(site)들에 대하여 상기 유도된 랜드스케이프를 분석하는 단계  
 를 더 포함하는 방법.

**청구항 12**

제11항에 있어서,  
 상기 유도된 랜드스케이프를 분석하는 단계는  
 기준 웨이퍼를 이용하여 이에 대한 상기 상이한 부위들에서의 공정 변동의 추정치를 유도하는 단계  
 를 포함하는 방법.

**청구항 13**

제11항에 있어서,  
 상기 유도된 랜드스케이프를 분석하는 단계는  
 상기 랜드스케이프의 동일한 영역에 대응하는, 상기 웨이퍼에 걸친 부위들에 대한 계측 측정을 수행하기 위해

계측 측정 레시피에 대한 샘플링을 조정하는 단계  
를 포함하는 방법.

**청구항 14**

제1항의 방법을 수행하도록 구성된 컴퓨터 판독가능 프로그램이 수록되어 있는 비밀시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체를 포함하는 컴퓨터 프로그램 제품.

**청구항 15**

제1항의 방법을 수행하도록 구성된 계측 툴.

**청구항 16**

적어도 하나의 컴퓨터 프로세서를 포함하는 계측 툴과 연관되어 있는 근본 원인 분석(root cause analysis; RCA) 툴로서, 상기 RCA 툴은, 반도체 웨이퍼의 공정 관련 파라미터 및 측정 데이터를 수신하고, 이로부터 랜드스케이프 및 상기 랜드스케이프 내에서의 적어도 하나의 공진 영역을 유도하도록 구성되고,

상기 랜드스케이프는 적어도 하나의 파라미터에 대한 적어도 하나의 계측 메트릭의 의존성을 포함하고,

상기 적어도 하나의 공진 영역은 측정된 위치에서의 광학 조명의 공진에 대응하고,

상기 RCA 툴은 또한, 상기 수신된 공정 관련 파라미터 및 측정 데이터에 대한 상기 랜드스케이프 내에서의 상기 적어도 하나의 공진 영역에서의 변화의 분석으로부터 공정 변동을 평가하도록 구성된 것인 RCA 툴.

**청구항 17**

제16항에 있어서,

상기 적어도 하나의 공진 영역에서의 변화를 적어도 하나의 웨이퍼 위에 맵핑하도록 또한 구성된 것인 RCA 툴.

**청구항 18**

제17항에 있어서,

상기 맵핑은 웨이퍼, 공정 분할 웨이퍼, 및 로트의 복수의 웨이퍼 중 적어도 하나에 대해 수행되는 것인 RCA 툴.

**청구항 19**

제16항에 있어서,

상기 평가된 공정 변동에 기초하여 정정가능자(correctable)를 제공하도록 또한 구성된 것인 RCA 툴.

**청구항 20**

제16항에 있어서,

평가된 공정 변동의 근본 원인 분석을 유도하도록 또한 구성된 것인 RCA 툴.

**청구항 21**

제20항에 있어서,

다양한 균질적인 두께 변동을 갖는 모델링된 스택을 시뮬레이션하여 공정 변동의 패턴을 유도하고, 상기 유도된 패턴을 특정 공정 관련 근본 원인과 관련시키도록 또한 구성된 것인 RCA 툴.

**청구항 22**

제21항에 있어서,

격자 비대칭, 토포그래피(topography), 셀간 변동, 타겟 노이즈, 또는 상기 모델링된 스택 내부의 비대칭성을 파괴하는 임의의 공정 변동 중 적어도 하나를 포함한 비대칭적 공정 변동 인자들을 상기 시뮬레이션 내에 병합

시키도록 또한 구성된 것인 RCA 틀.

**청구항 23**

제22항에 있어서,

상이한 유형의 공정 변동들에 대한 예상된 부정확도를 정량화하고, 타겟 설계, 계측 알고리즘, 및 측정 레시피 중 적어도 하나에 대한 수정을 제안하도록 또한 구성된 것인 RCA 틀.

**발명의 설명**

**기술 분야**

- [0001] 본 출원은 2016년 2월 25일에 출원된 미국 가특허 출원 제62/299,693호의 이익을 청구하며, 이 가특허 출원 내용 전체는 참조로서 본 명세서 내에서 인용된다.
- [0002] 본 발명은 계측 분야에 관한 것이며, 보다 구체적으로, 스캐테로메트리(scatterometry) 기반 계측에 관한 것이다.

**배경 기술**

- [0003] 그 전체가 본원에 참조로서 인용되는 WIPO 공개 번호 제2016086056호는, 레시피(recipe) 파라미터(들)에 대한 계측 메트릭(들)의 부분 연속적 의존성을 유도하고, 유도된 의존성을 분석하고, 분석에 따라 계측 레시피를 결정하며, 결정된 레시피에 따라 계측 측정(들)을 수행하는 방법을 개시한다. 의존성은 감도 랜드스케이프(sensitivity landscape)와 같은 랜드스케이프의 형태로 분석될 수 있는데, 감도 랜드스케이프에서는, 낮은 감도의 영역 및/또는 낮거나 또는 제로의 부정확도(inaccuracy)의 포인트 또는 윤곽이 분석적으로, 수치적으로 또는 실험적으로 검출되고, 측정, 하드웨어, 및 타겟의 파라미터들을 구성하여 높은 측정 정확도를 달성하는데 사용된다. 공정 변동은 감도 랜드스케이프에 미치는 영향의 관점에서 분석되며, 이러한 영향은, 공정 변동을 더욱 특성화하고, 측정을 최적화하고, 계측이 부정확한 소스에 대해 더 견고해지게 하면서 웨이퍼 상의 상이한 타겟 및 이용가능한 측정 조건들에 관해 더 유연해지게 하는데 사용된다.

**발명의 내용**

**과제의 해결 수단**

- [0004] 아래는 본 발명의 초기 이해를 제공하는 간략한 요약이다. 본 요약은 핵심 구성요소를 확인하는 것도 아니고 본 발명의 범위를 제한시키는 것도 아니며, 단지 아래의 설명을 소개하는 역할을 하는 것일 뿐이다.
- [0005] 본 발명의 일 양태는 방법을 제공하며, 상기 방법은, (i) 시뮬레이션으로부터 및/또는 복수의 스캐테로메트리 측정들로부터 랜드스케이프를 유도하는 단계 - 상기 랜드스케이프는 적어도 하나의 파라미터에 대한 적어도 하나의 계측 메트릭의 적어도 부분 연속적 의존성을 포함함 -, (ii) 유도된 랜드스케이프에서, 측정된 위치에서의 광학 조명의 공진(resonance)에 대응하는 적어도 하나의 공진 영역을 식별하는 단계, (iii) 적어도 하나의 파라미터에서의 규정된 변화에 대한 상기 식별된 적어도 하나의 공진 영역의 의존성을 분석하는 단계, 및 (iv) 상기 분석으로부터 공정 변동의 추정치를 유도하는 단계를 포함한다.
- [0006] 본 발명의 이러한, 추가적인, 및/또는 다른 양태들 및/또는 장점들은 다음의 상세한 설명에서 진술되고, 가능하게는 상세한 설명으로부터 추론될 수 있으며, 및/또는 본 발명의 실시예에 의해 학습가능하다.

**도면의 간단한 설명**

- [0007] 본 발명의 실시예를 더 잘 이해하고 이 실시예가 어떻게 실시될 수 있는지를 보여주기 위해, 이제부터는 첨부도면을 단지 예시로서만 참조할 것이며, 여기서 동일한 참조 부호는 전체에 걸쳐 대응하는 구성요소 또는 섹션을 가리킨다.

첨부 도면들에서,

도 1은 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 랜드스케이프 다이어그램에서의 그리고 동공(pupil) 이미지에서의 파장 및 동공 좌표에 대한 공진 영역에 대한 개략적인 예시이다.

도 2는 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 대칭적 공정 변동으로 인한, 랜드스케이프 다이어그램과 동공 이미지 각각에서의 파장 및 동공 좌표에 대한 공진 영역의 이동에 대한 개략적인 예시이다.

도 3a는 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 웨이퍼 위로의, 동공 내 원호(arc) 위치를 맵핑하기 위한 개략적인 예시이다.

도 3b는 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 상이한 층 두께들에 대해, 데이터와 시뮬레이션으로부터, 상이한 부위(site)들이 동일 레시퍼를 사용하여 측정될 때, 웨이퍼의 상이한 부위들에서의 동공 내 원호 위치에 대한 개략적인 예시이다.

도 4는 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 비대칭적 공정 변동의 영향을 예시하는 개략도이다.

도 5a와 도 5b는 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 웨이퍼 위로의, 특히 웨이퍼의 상이한 부위들에서의, 동공 내 원호의 위치에 따른 비대칭적 공정 변동의 맵핑에 대한 개략적인 예시이다.

도 6a와 도 6b는 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 아래의 개시내용의 다양한 양태들에 관한 방법을 예시하는 하이 레벨 흐름도이다.

도 7은 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 근본 원인 분석(root cause analysis; RCA) 툴의 하이 레벨 개략 블록도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0008] 이하의 설명에서는, 본 발명의 다양한 양태들을 설명한다. 설명을 목적으로, 특정 구성들과 상세사항들이 본 발명의 완전한 이해를 제공하기 위해 진술된다. 하지만, 본 발명은 본 명세서에서 제시된 특정 상세사항들 없이 실시될 수 있다는 것은 본 발명분야의 당업자에게 또한 자명할 것이다. 또한, 잘 알려진 특징들은 본 발명을 불명확하게 하지 않기 위해 생략되거나 단순화될 수 있다. 도면들에 대한 구체적인 언급이 주어지지만, 도시된 특정사항들은 예시에 불과하며 본 발명의 예시적인 논의만을 목적으로 제공된 것 뿐이며, 본 발명의 원리 및 개념적 양태들의 가장 유용하고 손쉽게 이해되는 설명인 것으로 여겨지는 것을 제공하기 위해 제시된 것임을 강조해 둔다. 이와 관련하여, 본 발명의 근본적인 이해를 위해 필요한 것보다는 본 발명의 구조적인 상세사항을 보다 상세하게 나타내려는 시도는 없으며, 도면들을 참조하여 행해지는 본 설명은 당업자에게 본 발명의 몇몇 형태가 어떻게 실제로 구현될 수 있는지를 명백하게 해줄 것이다.

[0009] 본 발명의 적어도 하나의 실시예가 상세히 설명되기 전에, 본 발명은 그 적용에 있어서 이하의 설명에서 진술되거나 도면에서 도시된 컴포넌트들의 구성 및 배열의 상세사항으로 한정되지 않는다는 것을 이해하여야 한다. 본 발명은 개시된 실시예들의 조합뿐만 아니라 다양한 방식으로 실시되거나 수행될 수 있는 다른 실시예들에 적용가능하다. 또한, 여기서 이용되는 어구와 용어는 설명을 위한 것일 뿐이며 제한적인 의미로서 간주되어서는 안된다는 것을 이해해야 한다.

[0010] 달리 명시적으로 언급되지 않는 한, 아래의 설명으로부터 명백한 바와 같이, "처리", "컴퓨팅", "계산", "결정", "강화" 등과 같은 용어를 이용하는 논의는 명세서 전반에 걸쳐, 컴퓨팅 시스템의 레지스터 및/또는 메모리 내의 전자적과 같이 물리적 양으로서 표현된 데이터를 조작하고/조작하거나, 컴퓨팅 시스템의 메모리, 레지스터 또는 다른 그러한 정보 저장, 전송 또는 디스플레이 디바이스 내의 물리적 양으로서 표현된 다른 유사 데이터로 변환시키는, 컴퓨터 또는 컴퓨팅 시스템, 또는 유사 전자 컴퓨팅 디바이스의 액션 및/또는 프로세스들을 가리킨다는 것을 이해해야 한다.

[0011] 본 발명의 실시예는 오버레이 계측 툴의 도움으로 웨이퍼 상에서의 공정 변동의 상이한 소스들 및 그 재구분(repartition)을 식별하고 평가하기 위한 효율적이고 경제적인 방법 및 메커니즘을 제공한다. 개시된 발명은 임의의 계측 툴로 확장되고 구현될 수 있다. 예를 들어, 동공을 통해 회절 신호를 측정하는 것은 오버레이로 인한 대칭성 파괴를 넘어 많은 정보를 추출할 수 있게 한다. 공정 변동은 식별된 공진 영역(아래 참조)에 대해 측정되고, 가능하게는, 시뮬레이션의 추가적인 도움으로, 정성적이고 정량적으로 추정될 수 있다. 랜드스케이프 이론과 시뮬레이션 단계 및 툴을 결합시키는, 아래에서 개시된 동공 분석은, 측정 레시퍼의 파괴를 예측하고 타겟 설계 공정을 안내하는데 사용될 수 있는 다양한 유형의 공정 변동을 검출, 추적, 및 정량화할 수 있게 한다.

[0012] 대칭 및 비대칭 인자들에 대한 공정 변동을 평가 및 특성화하고, 공정 단계에 대한 공정 변동의 근본 원인 분석을 제공하기 위해 측정 랜드스케이프에서 공진 영역(들)의 거동을 사용하는 방법, 계측 모듈, 및 RCA 툴이 제공된다. 상이한 층 두께 및 공정 변동 인자들을 갖는 모델링된 스택들의 시뮬레이션이 분석을 강화시키고 개선된

타겟 설계, 개선된 알고리즘, 및 계측 측정에 대한 정정가능자(correctable)를 제공하는데 사용될 수 있다. 민감한 공진 영역을 나타내는 특정 타겟은 공정 변동의 평가를 강화시키는데 이용될 수 있다.

- [0013] **랜드스케이프 및 공진 영역**
- [0014] WIPO 공개번호 제2016086056호는 하나 이상의 파라미터에 대한 하나 이상의 계측 메트릭(들), 예를 들어 스캐테로메트리 오버레이(scatterometry overlay; SCOL) 메트릭의 의존성인, 계측 측정에서의 랜드스케이프의 개념을 개시한다. 비제한적인 예시로서, 랜드스케이프는 하나 이상의 공정 파라미터, 측정 파라미터, 및 타겟 파라미터에 대한 오버레이, 오버레이의 변동(예를 들어, Pupi13S 메트릭), 및/또는 부정확도(추정된 오버레이 빼기(minus) 실제 오버레이) 중 임의의 것의 의존성을 표현할 수 있다. 특히, WIPO 공개번호 제2016086056호에 기술된 바와 같이, 본 발명자들은, 랜드스케이프 내의 특정 영역은 광학 시스템에서의 공진(예를 들어, 웨이퍼 층 내 및/또는 타겟 구조물들 사이의 조명의 공진)과 관련된 급격한 변화를 나타내며, 이러한 변화는 측정된 영역에 대해 더 많은 정보를 제공하는데 사용될 수 있다는 것을 알아내었다.
- [0015] 특히, SCOL 기술은 파장 스펙트럼에 걸쳐 파장 의존성이 강하다는 것이 밝혀졌으며, 상이한 오버레이 계측 메트릭(신호, 감도, Pupi13S, 오버레이 등)은 자신들의 랜드스케이프에서 공진 영역을 체계적으로 포함하며, 이 공진 영역은 웨이퍼 상의 대칭적 공정 변동뿐만 아니라 비대칭적 공정 변동에 이르기까지 다양한 종류의 공정 변동에 매우 민감하다. 이러한 공진 영역의 진행중인 연구는 이 영역에서의 증가된 부정확도가, 아래에서 설명된 것처럼, 상이한 계측 광학기기를 수반된 공정 변동과 관련시키는 매우 특수한 체계를 따른다는 것을 보여왔다.
- [0016] 도 1은 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 랜드스케이프 다이어그램(90)에서의 그리고 동공 이미지(91)에서의 파장 및 동공 좌표에 대한 공진 영역(95, 96)에 대한 개략적인 예시이다. 예시된 부정확도는 추정된 오버레이와 실제 오버레이 간의 차이(타겟에서의 광학 공진에 의해 야기된 차이)이며,  $P3\sigma$  (또한  $P3S$ 로서 표시됨)는 파장에 의존하는, 동공에 대한 오버레이의 변동의 3 시그마 수치이다. 도 1은 본 발명의 원리에 대한 명확한 설명을 제공하기 위해 매우 단순한 랜드스케이프(LS)에 대한 비 한정적인 예시를 설명한다. 이 예시에서, 공진은 500nm에서 발생하고, 동공 오버레이는 500nm의 조명을 갖는 것으로 예시된다. 동공 이미지에서, 공진 영역(96)은 동공의 중앙 근처에서 불연속의 원호로서 존재한다(원호(96)를 가로지를 때의 부정확도의 부호의 변화 - 이는 500nm를 가로지를 때 공진 영역(95)에서의 부정확도의 부호의 변화에 대응함 - 참조). 공진 영역에서 부정확도(실제 오버레이 빼기 측정된 오버레이)는 거의 Pupi13S의 미분으로서 거동한다는 것을 살펴볼 수 있다.
- [0017] 따라서, 오버레이를 측정하는 것 이외에도, SCOL 기술은 웨이퍼 상에 발생할 수 있는 상이한 공정 변동(대칭적 및 비대칭적)의 상이한 소스들을 식별하고, 측정하고, 판별하며, 상이한 유형의 공정 변동의 웨이퍼 맵을 생성하고, 상이한 타겟/레시피의 공정 견고성을 평가하는데 사용될 수 있다. RCA 톨과 결합하여, 공정 변동의 세기가 또한 정량적으로 모니터링될 수 있다. SCOL 타겟의 동공 신호를 측정하는 이점은 단일 레시피의 동공 이미지 상의 신호로부터 이러한 특성을 직접 획득할 수 있다는 것이다.
- [0018] 실제로, 동공은 공정에 관한 많은 양의 정보를 실어나른다. SCOL 오버레이 기술에서, 신호의 반사율이 동공을 통해 측정되고, 각 픽셀은 상이한 입사각 또는 파동 벡터에 대응한다. 그 후, 픽셀 별 차동 신호는 두 개의 상이하게 유도된  $f_0$  오프셋(예를 들어, 동일하되 상반되는  $+f_0$ 과  $-f_0$ )을 갖는 두 개의 상이한 셀들의 +1 및 -1 회절 차수로부터 계산된다. 이것은 신호의 대칭성의 파괴를 측정할 수 있게 하여 오버레이를 측정할 수 있게 한다. 그러나, 측정된 반사율은 격자 위 격자(grating over grating) 구조물로 구성된 SCOL 타겟을 광학적으로 조명함으로써 초래되는 상이한 물리적 법칙을 따른다. 이러한 구조물은 파브리-페로(Fabry-Perot)형 공진기로서 간주될 수 있으며, 격자와 공진기 둘 다는 특정 파장/입사각에서의 소실 반사율과 같은 상이한 물리적 효과를 야기시킨다.
- [0019] 동공은 일정한 양의 픽셀을 포함하고, 각 픽셀은 상이한 조명각에 대응하기 때문에, 불연속의 원호(96)를 통해, 또는 동공 오버레이 상에서의 특정 구배 또는 노이즈 패턴을 통해, 또는 동공 감도 소실을 통해 바로 그 동공에 대해 공진 효과가 직접 관찰될 수 있다. 증가된 비대칭적 공정 변동은, 예를 들어, Pupi13S를 통해 정량적으로 측정될 수 있는 공진 효과를 대응적으로 증가시킬 것이다.
- [0020] 도 6a와 도 6b는 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 아래의 개시내용의 다양한 양태들에 관한 방법(100)을 예시하는 하이 레벨 흐름도이다. 특정 실시예는, 시뮬레이션으로부터 및/또는 복수의 스캐테로메트리 측정들로부터 랜드스케이프를 유도하는 단계(단계 110) - 상기 랜드스케이프는 적어도 하나의 파라미터에 대한 적어도 하나의 계측 메트릭의 적어도 부분 연속적 의존성을 포함함 -; 유도된 랜드스케이프에서, 측정된 위치에서의 광학 조명의 공진에 대응하는 적어도 하나의 공진 영역을 식별하는 단계(단계 120); 적어도 하나의 파라미터에서의 규정



된 변화에 대한 상기 식별된 적어도 하나의 공진 영역의 의존성을 분석하는 단계(단계 130); 및 상기 분석으로부터 공정 변동의 추정치를 유도하는 단계(단계 140)를 포함한다. 방법(100)의 단계들 중 임의의 단계는 적어도 하나의 컴퓨터 프로세서, 예컨대, 컴퓨터 프로세서(들)(201)(도 7)에 의해 수행될 수 있다(단계 199).

[0021] 예를 들어, 적어도 하나의 계측 메트릭은 오버레이, 오버레이 변동 메트릭, 및 오버레이에 관하여 정의된 부정확도 메트릭 중 임의의 것을 포함할 수 있고, 오버레이는 수학식 1에서와 같이 계산될 수 있으며, 여기서  $\vec{p}$ 는 동공 픽셀을 나타내고,  $f_0$ 는 설계된 오프셋을 나타내며,  $D_1$ 과  $D_2$ 는 반대 설계된 오프셋에 대응하여, 서로에 대해 180° 회전된 동공 픽셀들에서 측정된 반대 차수의 신호 세기들 간의 차이를 나타낸다.

**수학식 1**

[0022] 
$$OVL(\vec{p}) = ((D_1(\vec{p}) + D_2(\vec{p})) / (D_1(\vec{p}) - D_2(\vec{p}))) \cdot f_0$$

[0023] 아래에 설명되는 바와 같이, 대칭적 변동은 용어  $D_1+D_2$ 에 주로 영향을 미치는 반면에, 비대칭적 변동은 용어  $D_1-D_2$ 에 주로 영향을 미쳐서, 대칭적 및 비대칭적 공정 변동의 상이한 효과들을 초래한다는 것에 유의해야 한다.

[0024] 적어도 하나의 파라미터는 조명 파장, 동공 위치, 임의의 다른 측정 파라미터, 임의의 공정 파라미터 중 임의의 것을 포함할 수 있다.

[0025] 이하에서는, 대칭적 공정 변동, 비대칭적 공정 변동과 관련하여, 그리고 보다 일반적으로는 공정 변동의 근본 원인 분석 및 타겟과 공정 설계에 대한 관계와 관련하여 상세한 방법 단계 및 분석 프로시저를 제시한다.

**[0026] 대칭적 공정 변동**

[0027] 특정 실시예에서, 방법(100)은, 시뮬레이션되고 및/또는 측정된 동공 이미지에 걸친 적어도 하나의 공진 영역의 이동을 적어도 하나의 파라미터로서 검출하는 단계(단계 150), 및 검출된 이동으로부터 대칭적 공정 변동을 추정하는 단계(단계 155)를 더 포함할 수 있다.

[0028] 도 2는 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 대칭적 공정 변동으로 인한, 랜스케이프 다이어그램(90)과 동공 이미지(91) 각각에서의 파장 및 동공 좌표에 대한 공진 영역(95, 96)의 이동에 대한 개략적인 예시이다. 공진 영역은, 이동 전에는, 랜스케이프 다이어그램(90A) 및 동공 이미지(91A)에서 각각 95A, 96A로서 표시되고; 이동 후에, 공진 영역은, 랜스케이프 다이어그램(90B) 및 동공 이미지(91B)에서 각각 95B, 96B로서 표시된다.

[0029] 도 2는 대칭적 공정 변동이 LS 및 동공에 영향을 미치는 방식을 개략적으로 도시한다. 웨이퍼 상의 하나의 부위에서부터 다른 부위까지, 층들 중 한 층의 두께 변동, CD(임계 치수)의 변동 등과 같은 일부 대칭적 공정 변동의 발생은, 랜스케이프(90A→90B)에서 공진 영역(95A→95B)을 시프트시키고, 동공 이미지에서 원호(96A→96B)를 시프트시키는데, 이는 동일 레시피(91A→91B)로 측정된다(측정 레시피는 측정 파라미터, 조건, 및 알고리즘의 조합을 포함함). Pupil3S와 레시피의 감도뿐만 아니라 정확도가 또한 랜스케이프의 다른 부분 상으로 이동하여 놓여져 있기 때문에 변한다. 이러한 이동은 대칭적 공정 변동에 대한 레시피의 공정 견고성이 낮다는 것을 나타내고 종래기술에서 원하지 않는 것이지만, 본 발명자들은 이러한 레시피들이, (i) 대칭적 공정 변동에 대한 공정 견고성을 추정하는 것, (ii) 대칭적 공정 변동에 직접적으로 관련되는 웨이퍼 상의 원호(96)의 위치의 웨이퍼 맵을 생성하는 것, 및 (iii) 상이한 대칭적 공정 변동이 적용되는 RCA 툴을 이용하는 것을 위해 사용될 수 있다는 것을 발견하였다. 각각의 공정 변동에 대한 원호(96)의 위치는 웨이퍼 상의 원호(96)의 위치와 비교될 수 있고, 이어서 대칭적 공정 변동이 웨이퍼에 걸쳐 정량적으로 추정될 수 있다.

[0030] 따라서, 방법(100)은, 식별된 적어도 하나의 공진 영역을 웨이퍼 상의 복수의 측정 위치 위에 맵핑하는 단계(단계 170), 맵핑에서 적어도 하나의 공간적 관계를 특성화하는 단계(단계 172), 및 특성화에 따라 공정 변동에 대한 근본 원인을 식별하는 단계(단계 174)를 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 특성화된 공간 관계(들)은 대칭적 공정 변동에 관한 것일 수 있으며, 식별된 근본 원인은 특성화된 대칭적 공정 변동을 초래하는 것으로 알려진 특정 공정 단계(들)에 관한 것일 수 있다.

[0031] 도 3a는 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 웨이퍼 위로의, 동공 내 원호(96)의 위치의 맵핑(170)에 대한 개략적인 예시이다. 도시된 예시에서, 이산적인 랜스케이프를 생성하기 위해 모든 이용가능한 파장을 이용하여 웨이퍼에 대해 수십 개의 SCOL 타겟들이 측정되고, 원호(96)의 위치(도시된 경우에는 0 NA와 0.2 NA 사이)는 각각

의 위치의 색상으로 제시된다. 웨이퍼의 중심에서, 원호(96)는 사라진다. 웨이퍼 맵 시그너처는 웨이퍼 상에서 원호 위치의 대칭적 변동을 명확하게 나타내는데, 이는 대칭적 공정 변동의 존재를 나타낸다.

[0032] 도 3b는 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 상이한 층 두께들에 대해, 데이터와 시물레이션으로부터, 상이한 부위들이 동일 레시피를 사용하여 측정될 때, 웨이퍼의 상이한 부위들에서의 동공 내 원호(96)의 위치에 대한 개략적인 예시이다. 웨이퍼의 중심 내와 주변부에서의 부위들이 네 개의 모든 이미지들 상에서 표시된 원호(96)와 비교된다. 동공 이미지들(91C, 91D)은 상이한 부위들(각각, 중심과 가장자리)에서의 동공에 대해 측정된 오버레이를 도시하고, 동공 이미지들(92C, 92D)은 각각의 부위들에서의 스택의 시물레이션된 동공 이미지들이며, 대칭적 공정 변동이 층들 중 하나의 층의 두께를 변화시킴으로써 시물레이션 내에 삽입되었다. 동공 이미지들(91C, 92C)이 제공된 부위는 공칭 두께로부터 층 두께의 마이너스 11nm의 변동을 갖는 반면에, 동공 이미지들(91D, 92D)이 제공된 부위는 공칭 두께로부터 층 두께의 플러스 1nm 변동을 갖는다. 따라서, 공진 레시피는 공정 견고성 및 결과적으로 측정의 정확도에 영향을 미칠 수 있는 웨이퍼 상의 층 두께 변동을 모니터링하는데 사용될 수 있음이 증명된다.

[0033] 또한, 특정 실시예는 RCA 툴(200)(아래의 도 7 참조)을 포함하며, 이 RCA 툴(200)은 관여된 두께의 가능한 변동을 시물레이션하기 위해 다양한 균질적인 두께 변동을 갖도록 모델링된 스택을 시물레이션하고, 공정 변동의 패턴을 특정 근본 원인과 관련시키도록 구성된다. 대응하여, 방법(100)은 패턴을 근본 원인과 관련시키기 위해 상이한 두께 변동을 갖도록 모델링된 스택을 시물레이션하는 단계(단계 180)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 상이한 CVD(화학적 기상 증착) 머신은 전형적인 상이한 두께 변동을 갖는 상이한 층들을 웨이퍼 상에 증착시키는데, 예를 들어, 산화물층의 CVD는 전형적인 썬브레로(sombrero) 프로파일을 나타낼 수 있는 반면에, 하드 마스크의 CVD는 웨이퍼에 대해 돔형 두께 프로파일을 나타낼 수 있다.

[0034] 도 3a에서 도시된 예시에서, 웨이퍼 상에서의 원호 위치의 방사상 대칭은 맵핑에서 특성화된 공간적 관계(단계 172 참조)로서 돔 프로파일에 대응할 수 있는 공정 변동을 나타낼 수 있는데, 이는 대응하는 CVD 단계를 공정 변동의 요인으로서 식별하게 할 수 있다.

[0035] 도 3b에서 도시된 예시에서, 대응하는 층은 이러한 CVD에서 관찰된 전형적인 변동들에 대응하는 상이한 범위의 두께로 시물레이션되었다. 원호 위치는 웨이퍼에서 대응하는 측정된 파장에 대한 그리고 설계된 층의 상이한 두께 변동에 대한 시물레이션에서 추적되었다. 시물레이션은, 웨이퍼 가장자리에서의 데이터(91C, 91D)와 시물레이션(92C, 92D) 사이의 대응하는 원호 위치가 공칭 스택(91C, 92C)으로부터 -11nm의 층 두께에 대응하는 반면, 웨이퍼의 중심에서는, 이 변동이 약 +1nm(91D, 92D)인 것을 보여준다. 따라서, 공정 변동의 근본 원인 분석은 특정 층이 돔 프로파일의 중심에서 가장자리까지 약 12nm의 두께 변동을 나타낸다는 것을 보여준다. 두께 변동의 근본 원인 분석은 제안된 방법으로 명확하게 식별되고 정량화될 수 있다.

[0036] 이 예시들은, 개시된 발명이 정확한 모델을 사용하여 측정의 정확도에 영향을 미칠 수 있는 공정 변동의 허용가능한 범위를 정량화할 수 있도록 하고, 그러한 두께 변동이 오버레이를 측정하기 위한 정확한 레시피에 어떻게 영향을 미칠 수 있는지를 평가하고 모델 기반 정확도 추정을 수행하기 위해 이러한 시물레이션이 사용될 수 있다는 것을 보여준다. 또한, 이 예시들은 계측 이탈(metrology excursion)을 야기시키는 공정 변동을 식별하는 방법을 제공한다. 예를 들어, 정확도 메트릭이 이탈되어 있는 경우, 식별된 이탈의 공정 변동의 근본 원인을 식별하기 위해 RCA(근본 원인 분석) 레시피(자세한 내용은 아래에서 참조바람)가 사용될 수 있으며, 시물레이션 수행이 반드시 필요한 것은 아니다.

[0037] 도 7은 본 발명의 일부 실시예들에 따른, RCA 툴(200)의 하이 레벨 개략 블록도이다. RCA 툴(200)은 측정 및/또는 시물레이션들에 기초할 수 있다. RCA 툴(200)은 계측 툴(70)과 연관될 수 있으며, 적어도 하나의 컴퓨터 프로세서(201)를 포함할 수 있는데, 이 컴퓨터 프로세서(201)는, 예를 들어, 적어도 부분적으로 방법(100)을 수행하도록 구성되고, 가능하게는 컴퓨터 관독가능 프로그램이 내장된 컴퓨터 관독가능 저장 매체를 포함한 컴퓨터 프로그램 제품(들)과 연관되고, 방법(100)의 관련 단계들을 수행하도록 구성된다. RCA 툴(200)은 공정 단계 및 대응하는 특성, 공정 파라미터 및 스택 데이터와 같은 공정 관련 파라미터(80)뿐만 아니라 레시피(들), 측정 파라미터 및 계측 메트릭(들)과 같은 측정 데이터(85)를 수신하고, 여기서 개시된 랜스스케이프(들)(90), 동공 이미지(들)(91) 및/또는 공진 영역(들)(95) 및 가능한 웨이퍼 맵핑(170)을 제공할 수 있으며, 이들은 공정 변동, 공정 변동의 유형, 변동의 근본 원인 등에 관한 데이터와 같은 공정 및/또는 측정 정정(210)에 대한 다양한 특성 및 가능성에 관한 정보를 제공하는데 사용될 수 있다.

[0038] **비대칭적 공정 변동**

- [0039] RCA 툴(200)은 또한 계측 툴(70)을 사용하여 웨이퍼에서 측정된 것에 대응하는 두께 변동과 함께 상이한 유형의 비대칭적 공정 변동을 시뮬레이션하는데 이용될 수 있다. 비대칭적 공정 변동에 대한 비제한적인 예시는 격자 비대칭, 토포그래피(topography), 셀간 변동, 타겟 노이즈, 또는 동일 타겟 내부의 비대칭성을 파괴하는 임의의 공정 변동을 포함한다. 웨이퍼에 대한 선택된 레시피의 정확도가 변경되면, RCA 툴(200)은 상이한 유형의 공정 변동들에 대한 예상된 부정확도를 정량화하기 위해 사용될 수 있다. 또한, RCA 툴(200)은 추정된 공정 변동을 갖는 부위에서 사용하기 위한 상이한 타겟 설계, 상이한 SCOL 알고리즘, 및/또는 상이한 레시피를 제안하도록 구성될 수 있는데, 이는 (측정 데이터 및/또는 측정 데이터에 따른 시뮬레이션에 따라) 허용될 수 없는 부정확도를 야기시킬 수 있다. 랜드스케이프 및 동공 분석의 관점에서의 비대칭적 공정 변동의 일반적인 거동은 추적될 수 있고, (기본적으로 대칭적 공정 변동에 관해 위에서 설명한대로, 아래의 조정과 함께) 오버레이 계측 이탤로 이끄는 공정들로부터 특정 공정 변동 및 근본 원인을 식별하는데 사용될 수 있다.
- [0040] 특정 실시예에서, 방법(100)(도 6a 참조)은 적어도 하나의 공진 영역에서 부호 변화를 검출하고(단계 160), 검출된 부호 변화로부터 비대칭적 공정 변동을 추정하는 단계(단계 165)를 포함한다. 특정 실시예에서, 부호 변화는 적어도 하나의 파라미터를 변화시킬 때의 부정확도 구배의 반전을 포함한다.
- [0041] 도 4는 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 비대칭적 공정 변동의 영향을 예시하는 개략도이다. 도 4는 500nm에서 공진을 갖는 랜드스케이프를 개략적으로 도시한다. 랜드스케이프 다이어그램(90E) 내의 공진 영역(95E)은  $P3\sigma$ 의 진폭 및 부정확도의 증가(비대칭1 → 비대칭2, 파선)를 초래하는 비대칭적 공정 변동 세기의 배가(doubling)를 도시한다. 랜드스케이프 다이어그램(90F) 내의 공진 영역(95F)은 측정된 타겟에서의 비대칭성(예를 들어, 우측 SWA 비대칭성 대 좌측 SWA 비대칭성, SWA는 측벽 비대칭성을 나타냄)으로 인한 부정확도의 부호 전환을 도시한다. 동공 다이어그램들(91F-1, 91F-2)은 공진 영역들(96F-1, 96F-2)에서의 반대 구배에 의한 이러한 부호 전환을 개략적으로 도시한다(부정확도 값들의 반대 등급에 주목). 공정 변동 세기는 비대칭1과 비대칭2에서 동일하므로, 동일한  $P3\sigma$ 를 초래시킨다.
- [0042] 이들 두 가지 예시들은, 예를 들어, 세기 변화(90E) 및 공정 변동의 동일 세기(90F)에 대해 유사한 비대칭적 공정 변동을 갖는 두 개의 부위들 간에 랜드스케이프가 변할 수 있는 방식을 도시한다. 두 경우 모두 공진 위치는 변하지 않고, 원호(96)는 동일 위치의 동공에서 나타난다. 그러나, pupil3S의 세기 및 부정확도는 공정 변동의 세기에 따라 변한다. 비대칭성이 부호를 전환시키는 경우(예를 들어, 한 부위 내의 우측 SWA 비대칭성 대 다른 부위 내의 좌측 SWA 비대칭성), 정확도의 부호 전환은, 예컨대, 동공으로부터 또는 상이한 파장에서 측정된 오버레이의 랜드스케이프에서 식별될 수 있다. 원호 불연속성(96)의 부호 전환이 공정 변동들로 인한 비대칭 노이즈의 부호 전환을 나타내기 위해 사용될 수 있다.
- [0043] 따라서, Y 비대칭성으로부터 세정된 Pupil3S의 세기뿐만 아니라 공진 영역이 비대칭적 공정 변동 및 웨이퍼 상에서의 이들의 재구분을 모니터링하는데 사용될 수 있다. 웨이퍼 상의 부위들 간의 비대칭성의 상대적 세기는 상이한 방법들(예를 들어, PCA 주성분 분석, 스케일링을 모니터링하기 위한 다른 방법들 등)에 의해 계산될 수 있다. RCA 툴(200)은 또한 공정 변동을 정량화하기 위해 사용될 수 있다. 웨이퍼 상에서의 비대칭적 공정 변동의 시그너처는 또한 부정확도의 근본 원인(예를 들어, 근본 원인으로서는 에칭 문제)의 지표로서 사용될 수 있다.
- [0044] 도 5a와 도 5b는 본 발명의 일부 실시예들에 따른, 웨이퍼 위로의, 특히 웨이퍼의 상이한 부위들에서의, 동공 내 원호(96)의 위치에 따른 비대칭적 공정 변동의 맵핑(170)에 대한 개략적인 예시이다. 도시된 예시에서, 이산적인 랜드스케이프를 생성하기 위해 모든 이용가능한 파장을 이용하여 웨이퍼에 대해 수십 개의 SCOL 타겟들이 측정되었고, 특정 부위에 대해, 오버레이(OVL) 및 변동( $P3\sigma$ )의 측정치가 상이한 파장들마다 제공된다. 이미지들(90G, 90H, 90I, 90J)의 시퀀스는 웨이퍼 주변부, 또는 가장자리로부터 웨이퍼 중심까지 연장되는 웨이퍼 상의 위치들에서 대응하는 랜드스케이프(Pupil3 $\sigma$  및 오버레이)를 제공한다.  $P3\sigma$  및 OVL 둘 다는 서로에 대해(도 4에서도 볼 수 있는 바와 같이) 스케일링되고 웨이퍼의 가장자리에서 최대이고 웨이퍼의 중심에서 최소(및 평평함)인 것을 유의한다. 동공 이미지들(91G, 91J)이 각각 주변부 및 중심 부위에 대해 제공되고, 웨이퍼의 중심을 가로지를 때 발생하는 부호 전환을 도시한다(90J, 91J에 대한 중심 부위는 우측으로 중심이 벗어난 반면에 90G, 91G에 대한 주변부 부위는 웨이퍼 중심 좌측에 있음을 유의한다). 본 발명자들은 그러한 패턴이 에칭 단계에서 초래되는 비대칭적 공정 변동에 대해 일반적인 것임을 발견했다.
- [0045] 특정 실시예에서, RCA 툴(200)은 RCWA(rigorous coupled-wave analysis)로 시뮬레이션될 예상된 토포그래피 및 비대칭적 공정 변동을 평가하기 위해 맥스웰 시뮬레이션과 공정 RCA 툴을 결합하도록 구성될 수 있다. 특히, RCA 툴(200)은 원호(96)의 위치를 사용하여 대칭적 공정 변동과 비대칭적 공정 변동 둘 다의 시뮬레이션을 개선

시키고 공정 변동과 부정확도의 세기를 추정하도록 구성될 수 있다. RCA 툴(200)은 PCA를 이용하여 대응하는 계측 매트릭에 대해, 동일하거나 매우 근접한 원호 위치, 원호 부호 및/또는 일반적으로 랜스케이프 상이한 부위를 격리하도록 구성될 수 있다. 회귀 분석, 피팅 방법 등과 같은 다양한 분석 방법을 사용하여 공정의 피크, 오버레이 거동 등을 추적하고 공정 변동 및 n개의 부정확도들을 특성화할 수 있다. 또한, RCA 툴(200)은 주어진 측정 레시피가 상이한 유형의 공정 변동에 의해 영향을 받는 정도 및 평가된/측정된 공정 변동이 선택된 레시피에 영향을 줄지 여부를 분석하도록 구성될 수 있다. 효과가 큰 경우(예를 들어, 특정 임계값 위), RCA 툴(200)은 달성된 결과를 개선하기 위해, 예컨대, 보다 정확한 오버레이 측정치를 추출하기 위해, 대안적인 타겟 설계(들), 측정 레시피(들) 및/또는 측정 알고리즘(들)을 제안하도록 구성될 수 있다.

[0046] **타겟 및 공정 설계에서의 근본 원인 분석**

[0047] 특정 실시예에서, 방법(100)은, 상이한 처리 단계에서, 예를 들어, 이전 층의 에칭 후, ARC(anti-reflective coating) 단계 후, 및 리소그래피 단계 후 측정을 수행함으로써 타겟 가공성을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 특정 타겟이 잘 처리되는지의 여부를 정의하고, 쓰루 공정 계측을 제공하고, 단일 격자 타겟과 같은 특정 타겟을 프린트할 가능성을 검증하기 위해, 대응하는 공정 제어 모듈이 공정 계측을 통해 사용되도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 단일 격자 타겟의 비제한적 경우에서, 동공 내의 차동 신호는 가공성을 유도하기 위해 모든 픽셀을 개별적으로 액세스함으로써 분석될 수 있다.

[0048] 특정 실시예는 공정 변동에 대해 민감한 측정 레시피(예를 들어, 원호(96) 및 층분이 양호한 TMU(total measurement uncertainty)를 나타냄), 및 가능하게는 공정 변동에 대한 충분한 감도를 갖는 RCA 타겟을 포함한다. 특정 실시예는 OPD(optical path difference)의 관점에서의 공정 변동의 정량적 분석의 RCA 교정 및 제공과 근본 원인의 식별을 위해 공정 분할 웨이퍼를 사용한다. 예를 들어, 시뮬레이션을 사용하는 대신에 또는 시뮬레이션의 사용에 더하여, 공지된 파라미터를 갖는 웨이퍼가 OPD 변동 추정치의 교정 및 제공을 위한 기준으로서 사용될 수 있다. 예시로서, 공정 분할 웨이퍼는 에칭 공정 분할, 증착 폴리싱 분할, 포커싱 도즈(focus dose) 변동, 폴리싱 공정 변동 중 어느 하나를 포함할 수 있고/있거나 상이한 공정 툴들을 통해 웨이퍼의 경로에 대해 분할될 수 있다. 이러한 분할은 로트(lot) 내 웨이퍼들 간에 또는 단일 웨이퍼 내에서 있을 수 있다. 특정 실시예는 이러한 모델이 측정 매칭에 대한 시뮬레이션에 의해 의해 검증되기 전 또는 후의 타겟 설계 모델의 피드포워딩을 포함하고, RCA 결과를 교정하는데 사용될 수 있는데, 즉, 대칭적 또는 비대칭적 공정 변동들의 추정치들을 정량화하고 보다 정확하게 한다. RCA의 결과는 특히 비대칭적 공정 변동 분석은 물론 대칭적 공정 변동 분석과 함께 에칭/CMP(chemical mechanical processing)에 대한 공정 모니터링 또는 제어 피드백으로서 사용될 수 있다.

[0049] 특정 실시예에서, RCA 측정은 상이한 레시피로 ARO(automatic recipe optimization) 타겟을 측정함으로써 및/또는 ARO에 의해 정의된 것과 동일하거나 또는 상이한 레시피로 추가적인 타겟을 측정함으로써 수행될 수 있다. RCA 타겟은 가능하게는 오버레이 계측 샘플링과는 상이한 최적화된 샘플링으로 측정될 수 있으며, RCA 최적화된 레시피로 측정될 수 있다.

[0050] 특정 실시예는 RCA 알고리즘에 대해 동일한/상이한 샘플링을 갖고 추가적인 타겟/레시피의 측정 및/또는 가능하게는, 다양한 정확도 플래그를 갖는 디펜스 시스템에 의해 정의된 바와 같이 오버레이 이탈이 발생할 때 RCA 레시피를 재정의하는 것을 포함한다. (계측 이탈이 발생하기 전) 가능한 계측 이탈에 관한 예측(예컨대, 여기에 설명된 RCA 플래그를 사용함)을 제공하기 위해, 그리고 선택적으로 새로운 ARO 레시피를 재정의하여 계측 이탈을 피하기 위해, 계측 이탈을 야기시키는 공정 변동을 추적하도록 ARO(automatic recipe optimization) 레시피에 더하여 RCA 레시피가 사용될 수 있다.

[0051] 특정 실시예는, 예를 들어, OVL(ARO 및 견고성) 빼기 OVL(RCA)와 같은 오버레이들 간의 차이에 기초한 비대칭적 계측 매트릭을 포함하는데, 이는 두 개의 레시피들 간의 OVL 측정들 간의 차이가 웨이퍼 상에서의 비대칭적 공정 변동 맵에 비례하고 이와 관련이 있기 때문이다. 동일한 방법이 다양한 매트릭에 적용될 수 있다. 이러한 매트릭은 비대칭성, 비대칭 변동성, 3S 등의 웨이퍼 맵을 생성하고, 가능하게는 샘플링을 재정의하고, 및/또는 ADI(After Develop Inspection) 모델을 수정하기 위한 공정 제어 모델링 모듈들에 피드백을 정정가능자로서 제공하기 위해 맵핑될 수 있다. 이러한 매트릭은 회생층으로부터의 기여도를 정량화하기 위해 ADI와 AEI(after-etch inspection) 바이어스를 상관시키는데 사용될 수도 있다. 특정 실시예는 RCA 레시피/웨이퍼를 사용하는 방법을 정의하고, 잔류물 및 정정가능자를 추출하기 위한 더 양호한 샘플링을 정의하기 위해 RCA 방법론을 사용하는 것을 포함한다. 모든 부위들이 공정 견고한 RCA 레시피에 대응하는 ARO 레시피의 새로운 샘플링(들)을 정의하기 위해, 예컨대, 모든 부위들 상에서 동일한 랜스케이프 영역에서 측정이 수행되도록, ARO 레시피가 견고

해 보이는 경우에도 RCA 레시피(들)이 공정 변동을 추적하기 위해 사용될 수 있다.

[0052] 특정 실시예에서, 방법(100)은, 상이한 공정 변동 유형을 맵핑하는 것, 상이한 종류의 공정 변동(대칭 및 비대칭)들을 구별하는 것, 및/또는 (예를 들어, 상이한 공진 영역 사이의 혼란을 피하기 위해) 상이한 웨이퍼/슬롯 사이의 특정 공진 동공, RCA 레시피를 식별하는 것을 위해, 예를 들어,  $D_1$ - $D_2$ (수학식 1 참조)와 같은 동공 이미지들을 분석하는 것과 같이, RCA를 위해 동공에 대해 '스마트' PCA(principal component analysis)를 사용하는 것을 포함한다.

[0053] 특정 실시예에서, 방법(100)은 상이한 유형의 공정 변동을 식별하기 위해 그리고 단일 산란 영역을 식별하기 위한 플래그로서 새로운 알고리즘(들)을 적용하는 것을 포함한다. 예를 들어, 새로운 미분 신호  $D_{\alpha}$ 와  $D_{\beta}$ 는 수학식 2에서와 같이 정의될 수 있으며,  $S_{\pm 1}$ 과  $S_{\pm 2}$ 는 각각 회절 차수  $\pm 1$  및  $\pm 2$ 의 회절 신호를 나타내고, 수량  $G$ 와 수량  $\Delta$ 은 수학식 2에서 더 정의된 바와 같이 이들에 대해 정의될 수 있으며,  $f_0$ 는 사전정의된 오프셋을 나타내고,  $\alpha$ ,  $\beta$ 는  $\widetilde{D}_1$ 와  $\widetilde{D}_2$ 에 대해 정의된다:

**수학식 2**

$$\widetilde{D}_1 = S_{+1} - S_{-2}; \widetilde{D}_2 = S_{+2} - S_{-1}$$

$$\alpha + \beta = G = (D_1 - D_2)/2f_0;$$

[0054] 
$$\Delta = (D_{\alpha} - D_{\beta})/2f_0 = (\alpha - \beta)$$

[0055] 수량  $\Delta$ 은  $\alpha$ 가 얼마나 많이  $\beta$ 로부터 상이한지를 나타내고, 그 변동성이 비대칭적 공정 변동과 관련이 있는지를 나타내며, 대칭적 공정 변동의 웨이퍼 맵을 재생성하도록 X 및 Y 타겟들에 대해 개별적으로 계산된다. 수량  $\Delta$ 은 (계측 타겟의) 격자 구조물에 대한 격자 내의 다중 산란이 무시될 수 없기 시작하거나 반전이 시작되는지 여부 및 단일 산란 모델이 사용될 수 있는지 여부를 식별하는 플래그로서 사용될 수도 있다.

[0056] 특정 실시예에서,  $O_{1,2} = f_0 \frac{D_{\alpha,\beta}}{D_1 - D_2}$ 로서 정의된 수량  $O_1$ 과 수량  $O_2$ 이 또한 정의되고 사용될 수 있다. 이상적으로 그리고 단일 산란 모델에서,  $O_1$ 과  $O_2$ 는 이들의 차이에 대한 차동 신호의 합에 의해 주어진 최종 오버레이 값에 동일한 기여를 갖는다. 각각의 셀의 신호는 수학식 3으로 표현되어 모델링될 수 있으며,  $C$ 는 상수를 나타내고  $\epsilon$ 는 정확한 오버레이를 나타낸다.

**수학식 3**

$$S_+^1 = C + \alpha(\epsilon + f_0)$$

$$S_-^1 = C - \beta(\epsilon + f_0)$$

$$S_+^2 = C + \alpha(\epsilon - f_0)$$

[0057] 
$$S_-^2 = C - \beta(\epsilon - f_0)$$

[0058] 수량  $C$ 는 대수적으로 추출되어 비대칭적 공정 변동에 대한 플래그로 사용될 수 있다. 수량  $\alpha$ ,  $\beta$ 는 별개로 계산될 수 있다.

[0059] 특정 실시예는 단일 산란에 기초한 OPD를 계산하기 위한 모델을 사용하는 것을 포함한다. 표현  $\widetilde{D}_1$ ,  $\widetilde{D}_2$ 은 아래에 설명된 바와 같이 SCOL 셀의 격자 위 격자(grating-over-grating) 구조물의 단일 산란 모델에 사용되는, 수학식 4에서 정의된 표현  $\widetilde{G} = \widetilde{D}_1 - \widetilde{D}_2$ 을 유도하는데 사용된다.  $\Psi$ 는 OPD 위상을 나타내고,  $\delta\Psi$ 는 위상 비대칭을 나타내며,  $\epsilon$ 는 실제 OVL을 나타내고,  $r_1$ 는 하부 격자로부터의 반사율을 나타내며,  $r_u$ 는 상부 격자에 대한 반사율을 나타낸다. 격자 위 격자 구조물에 대한 회절의 단일 산란 모델을 사용하여, 다음을 발견했다:

수학식 4

$$G = D_1 - D_2 = -8r_l r_u \sin\left(\frac{2\pi f_0}{P}\right) \sin(\Psi) \cos(\delta\Psi + \epsilon)$$

$$K = D_1 + D_2 = -8r_l r_u \cos\left(\frac{2\pi f_0}{P}\right) \sin(\Psi) \sin(\delta\Psi + \epsilon)$$

$$\tilde{G} = \tilde{D}_1 - \tilde{D}_2 = -8r_l r_u \sin\left(\frac{2\pi f_0}{P}\right) \cos(\Psi) \sin(\delta\Psi + \epsilon)$$

[0060]

[0061]

수학식 4를 사용하면, OPD 위상은  $\Psi = \text{atan}\left(\frac{K}{G} \tan\frac{2\pi f_0}{P}\right)$  로서 계산될 수 있다. 단일 산란 모델의 가정은 모델을 사용하여 OPD 위상을 계산할 가능성을 검증하기 위해 위에 정의된  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 사용하여 입증될 수 있다. 또한, 본 발명자들은 논의된 가정을 사용하는  $\Psi$ 의 계산이 공진 영역에서의 비대칭적 공정 변동에 주로 민감한 반면, 평탄 영역에서는 순수 OPD의 더 양호한 추정을 제공하므로 공정 변동 추정 및 근본 원인 분석에 사용될 수 있다는 것을 시뮬레이션에서 발견하였다. 또한, 알고리즘은 단일 레시피로 RCA를 수행하는데 사용될 수 있다. 계산된 OPD의 웨이퍼 시그너처는 어떤 레시피가 사용되는지에 따라 대칭적 또는 비대칭적 공정 변동의 시그너처를 제공한다.

[0062]

특정 실시예에서, 비대칭적 공정 변동은 전체 웨이퍼에 걸쳐 수량 G가 유사한 동공의 특정 영역을 선택함으로써 추정될 수 있다. 대칭적 공정 변동의 경우에도, 비대칭적 공정 변동을 추정하기 위해 이 특정 영역에 대해, 수직 비대칭(MEB)으로부터 소거된 Pupil3S를 계산할 수 있다.

[0063]

대응하여, 방법(100)은 계측 이탈을 예측하기 위해 계측 측정과 병행하여 근본 원인 식별(174)을 수행하는 단계(단계 190), 및 가능하게는 예측된 계측 이탈에 따라 계측 측정 레시피를 조정하는 단계(단계 192)를 포함할 수 있다. 방법(100)은 선택적으로 기준 웨이퍼를 사용하여 이에 대한 부위들에서의 공정 변동의 추정치를 유도하고(단계 194), 랜드스케이프의 동일 영역에 대응하는, 웨이퍼에 걸친 부위들에 대해 계측 측정을 수행하기 위해 계측 측정 레시피에 대한 샘플링을 조정하여(단계 196), 웨이퍼(170) 상의 상이한 부위들에 대해 유도된 랜드스케이프를 분석하는 단계를 더 포함할 수 있다. 특정 실시예는 방법(200)의 단계들을 수행하도록 구성된 RCA 툴(200)(상기 도 7 참조)을 포함한다.

[0064]

본 발명의 양태들을 발명의 실시예들에 따른 방법, 장치(시스템) 및 컴퓨터 프로그램 제품의 흐름도 및/또는 부분도를 참조하여 이하에서 설명한다. 흐름도 및/또는 부분도의 각각의 부분, 그리고 흐름도 및/또는 부분도 내의 부분들의 조합은 컴퓨터 프로그램 명령어에 의해 구현될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 이들 컴퓨터 프로그램 명령어는 범용 컴퓨터, 특수 용도 컴퓨터, 또는 머신을 생산하기 위한 기타의 프로그램 가능한 데이터 처리 장치의 프로세서에 제공될 수 있으며, 이로써 컴퓨터 또는 기타의 프로그램 가능한 데이터 처리 장치의 프로세서를 통하여 실행되는 이러한 명령어는 흐름도 및/또는 부분도 또는 그 일부 내에서 명시된 기능/동작을 구현하기 위한 수단을 생성한다.

[0065]

이러한 컴퓨터 프로그램 명령어들은 컴퓨터, 기타의 프로그램 가능한 데이터 처리 장치, 또는 기타의 디바이스들이 특정한 방식으로 기능하도록 지시내릴 수 있는 컴퓨터 판독가능 매체내에 저장될 수 있으며, 이로써 컴퓨터 판독가능 매체내에 저장된 명령어는 흐름도 및/또는 부분도 또는 그 일부 내에서 명시된 기능/동작을 구현하는 명령어를 포함하는 제조 물품을 생산할 수 있도록 한다.

[0066]

컴퓨터 프로그램 명령어는 또한 일련의 연산 단계들이 컴퓨터, 기타의 프로그램 가능한 장치, 또는 기타의 디바이스들 상에서 수행되도록 하여 컴퓨터 구현된 공정을 생성하도록 컴퓨터, 기타의 프로그램 가능한 데이터 처리 장치, 또는 기타의 디바이스들에 로딩될 수 있으며, 이로써 컴퓨터 또는 기타의 프로그램 가능한 장치 상에서 실행된 명령어는 흐름도 및/또는 부분도 또는 그 일부 내에서 명시된 기능/동작을 구현하기 위한 공정들을 제공할 수 있도록 한다.

[0067]

상술한 흐름도와 다이어그램들은 본 발명의 다양한 실시예들에 따른 시스템, 방법 및 컴퓨터 프로그램 제품의 잠재적인 구현예들의 구조, 기능, 및 동작을 나타낸다. 이와 관련하여, 흐름도 또는 부분도 내의 각각의 부분은, 명시된 논리적 기능(들)을 이행하기 위한 하나 이상의 실행가능 명령들을 포함하는, 모듈, 세그먼트, 또는 코드의 일부분을 나타낼 수 있다. 또한, 일부 대안적인 구현예들에서, 부분에서 언급된 기능들은 도면들에

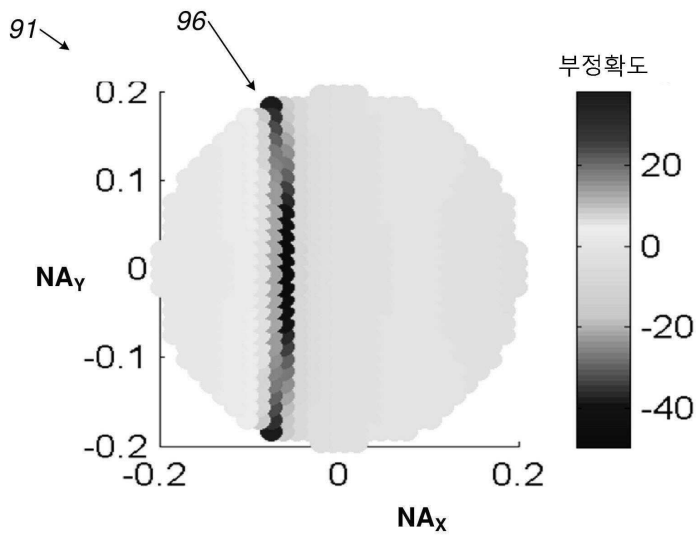
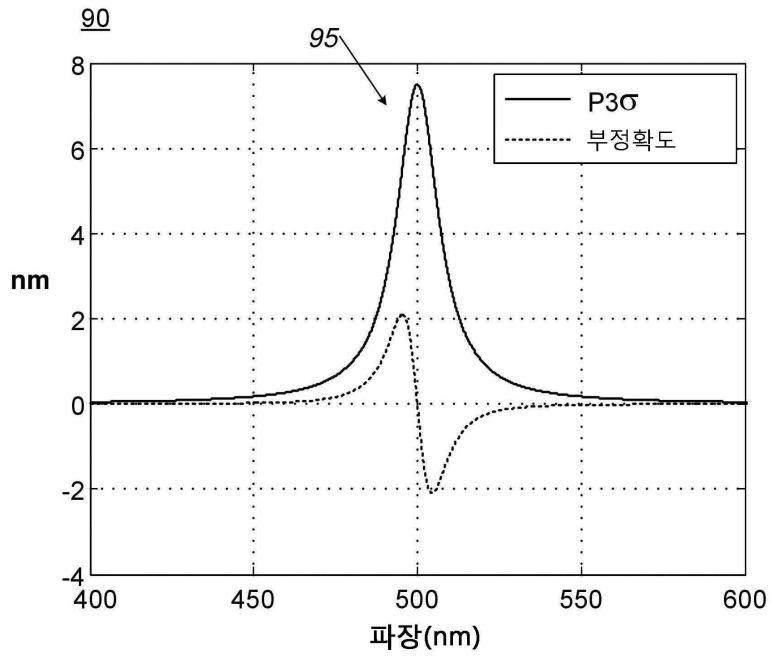
언급된 순서를 벗어나서 발생할 수도 있다는 것을 유의하여야 한다. 예를 들어, 관련된 기능에 따라, 연속하여 도시된 두 개의 부분들은, 실제에서, 실질적으로 동시에 실행될 수 있거나, 또는 부분들은 때때로 반대 순서로 실행될 수 있다. 또한, 부분도 및/또는 흐름도의 각각의 부분, 및 부분도 및/또는 흐름도에서의 부분들의 조합은 명시된 기능 또는 동작을 수행하는 특수목적용 하드웨어 기반의 시스템, 또는 특수목적용 하드웨어 및 컴퓨터 명령들의 조합에 의해 구현될 수 있다는 것도 유의하여야 한다.

[0068] 상기 설명에서, 실시예는 본 발명의 예시이거나 또는 구현예이다. "일 실시예", "실시예", "특정 실시예", 또는 "일부 실시예"의 다양한 외관은 반드시 모두 동일한 실시예를 지칭하는 것은 아니다. 본 발명의 다양한 특징들이 단일 실시예와 관련하여 기술될 수 있지만, 특징들은 또한 개별적으로 또는 임의의 적절한 조합으로 제공될 수 있다. 반대로, 명확화를 위해 개별적인 실시예와 관련하여 본 발명을 설명할 수 있지만, 본 발명은 또한 단일 실시예로 구현될 수 있다. 본 발명의 특정 실시예는 위에 개시된 상이한 실시예들로부터의 특징들을 포함할 수 있고, 특정 실시예들은 상기 개시된 다른 실시예들로부터의 구성요소들을 병합할 수 있다. 특정 실시예와 관련된 본 발명의 구성요소의 개시는 그 사용을 특정 실시예에서뿐만 한정시키려고 취해진 것은 아니다. 또한, 본 발명은 다양한 방식으로 수행되거나 실시될 수 있으며, 본 발명은 상기 설명에서 약술된 것 이외의 다른 특정 실시예에서 구현될 수 있음을 이해해야 한다.

[0069] 본 발명은 이들 도면들 또는 대응하는 설명으로 한정되지 않는다. 예를 들어, 흐름은 각각의 예시된 박스 또는 상태를 통해 진행할 필요는 없거나 또는 예시되고 설명된 것과 정확히 동일한 순서로 진행할 필요는 없다. 본 명세서에서 사용된 기술적 및 과학적 용어의 의미는 달리 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 기술 분야의 당업자에 의해 일반적으로 이해될 것이다. 본 발명을 제한된 수의 실시예들과 관련하여 설명하였지만, 이 실시예들은 본 발명의 범위에 대한 제한으로서 해석되어서는 안되며, 오히려 바람직한 실시예들 중 일부의 예로서 해석되어야 한다. 다른 가능한 변형들, 수정들, 및 응용들이 또한 본 발명의 범위 내에 있다. 따라서, 본 발명의 범위는 지금까지 설명된 것에 의해 한정되어서는 안되며, 첨부된 청구범위 및 그 등가물에 의해 한정되어야 한다.

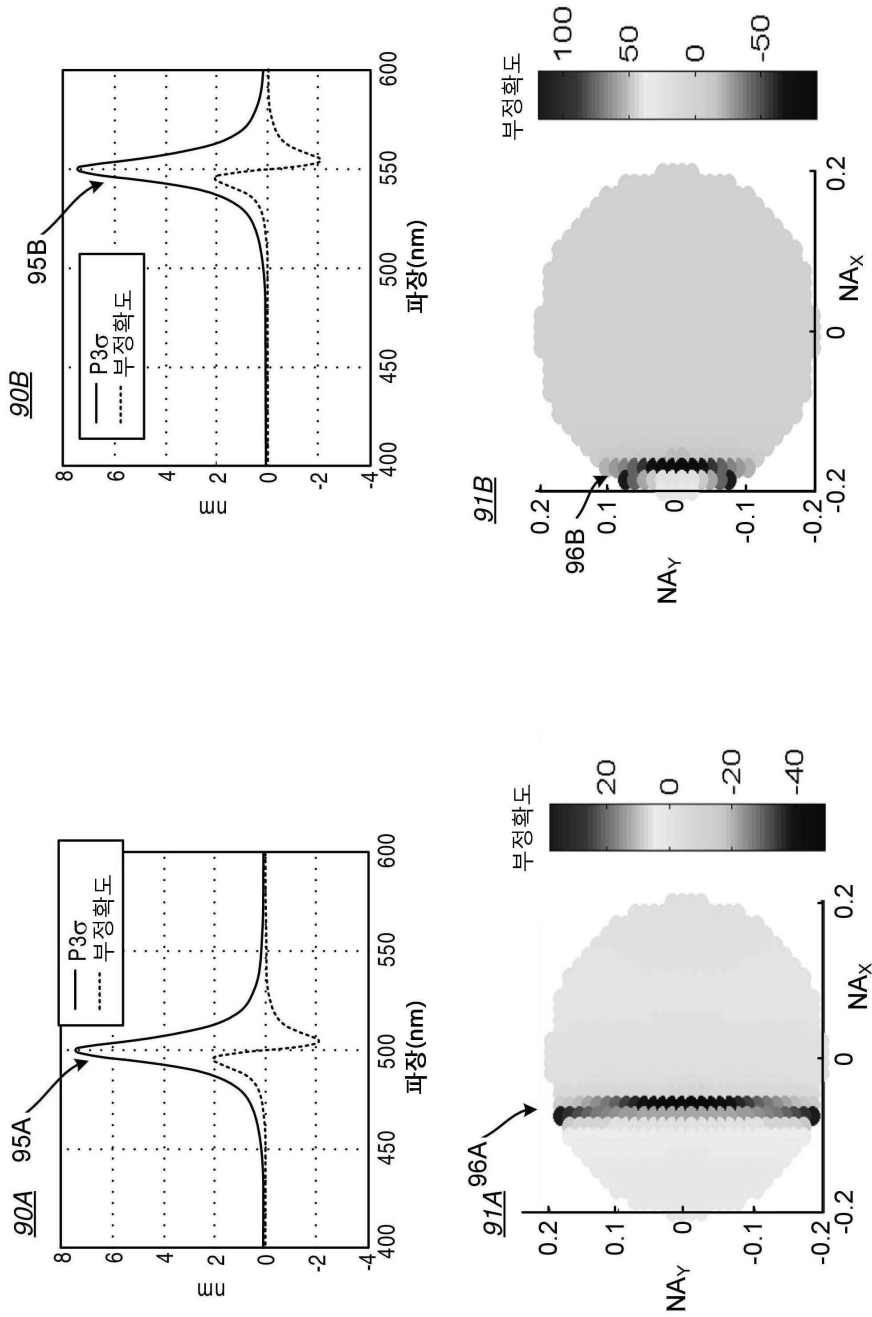
도면

도면1

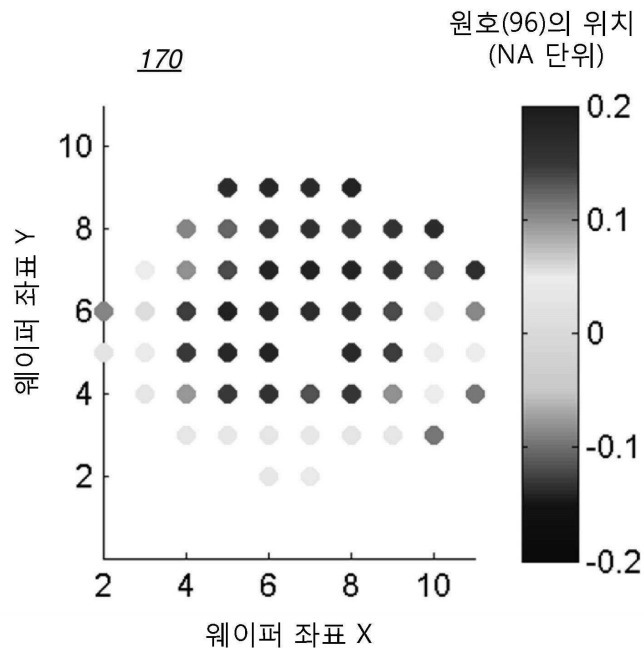




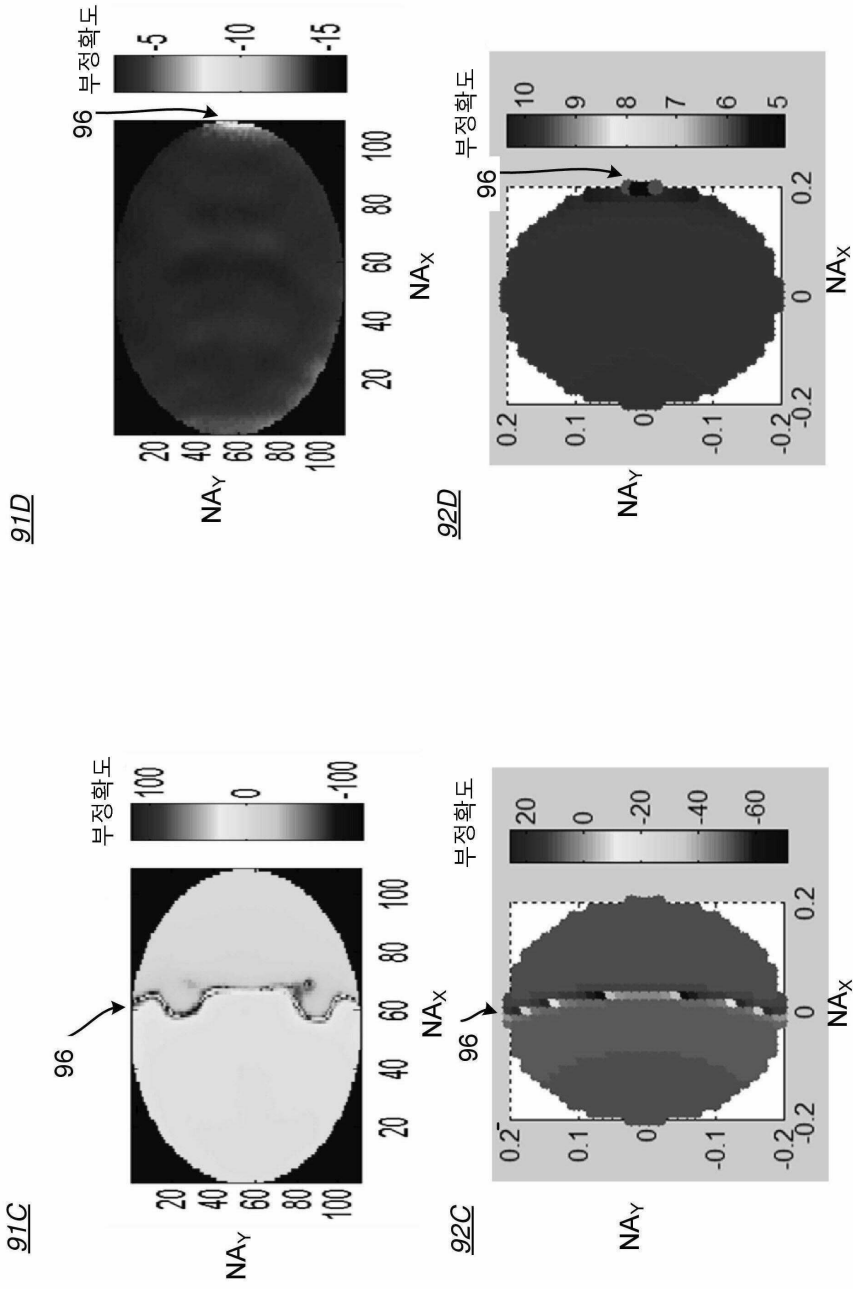
도면2



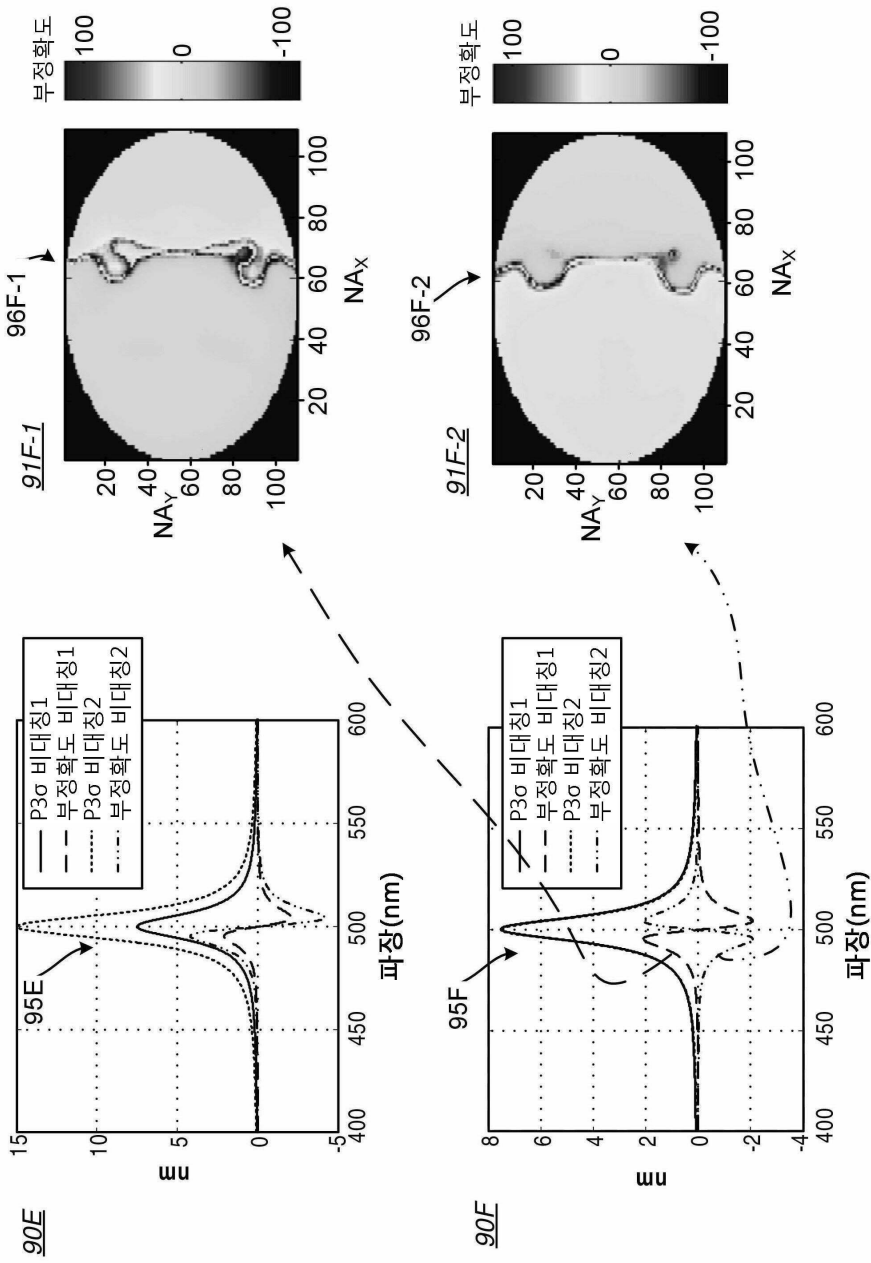
도면3a



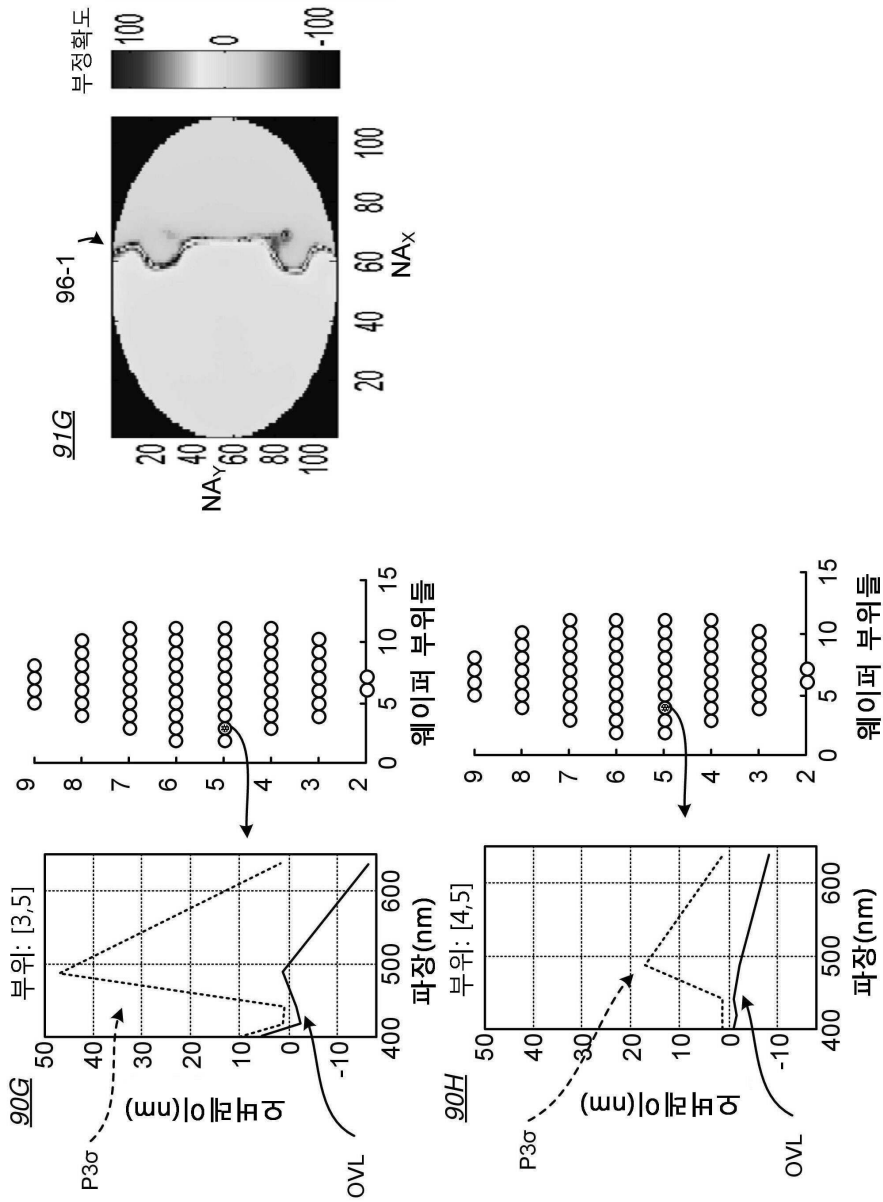
도면3b



도면4

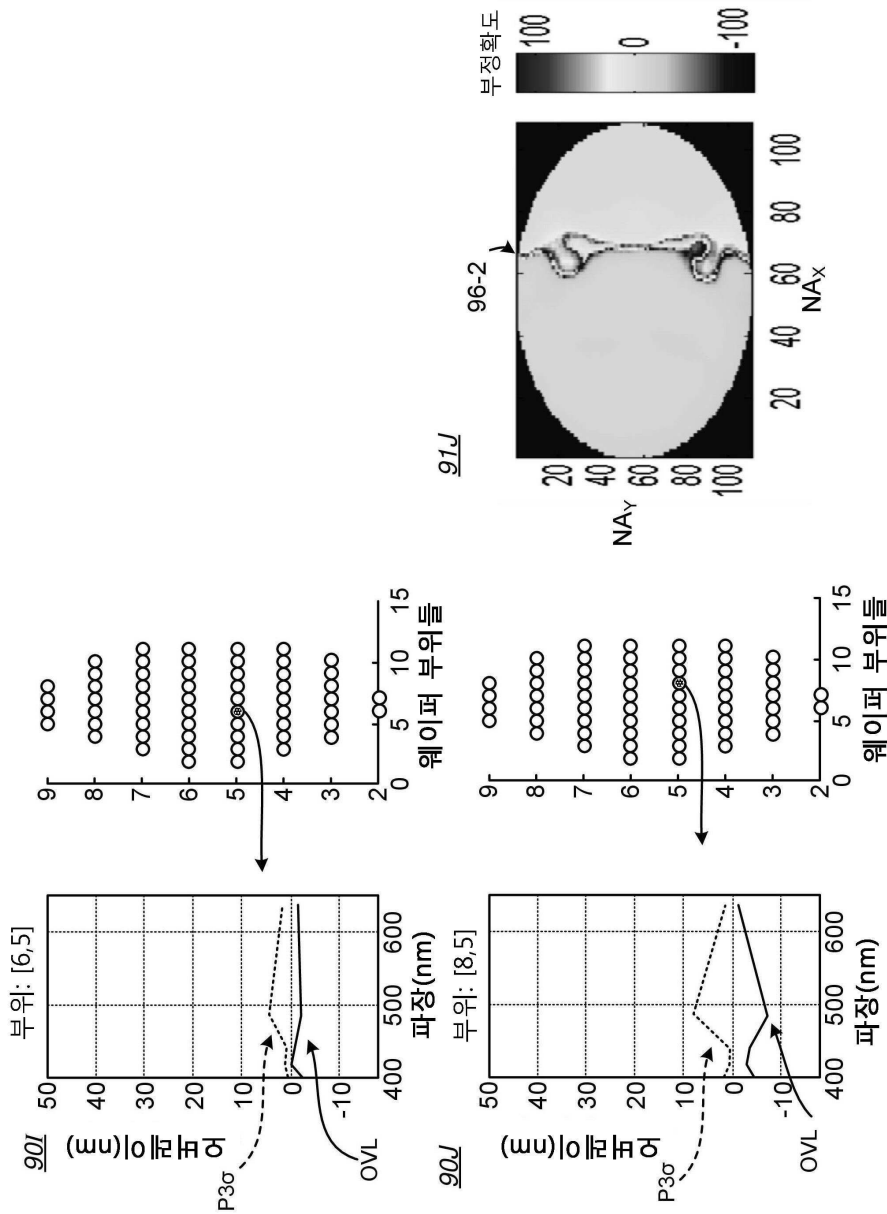


도면5a



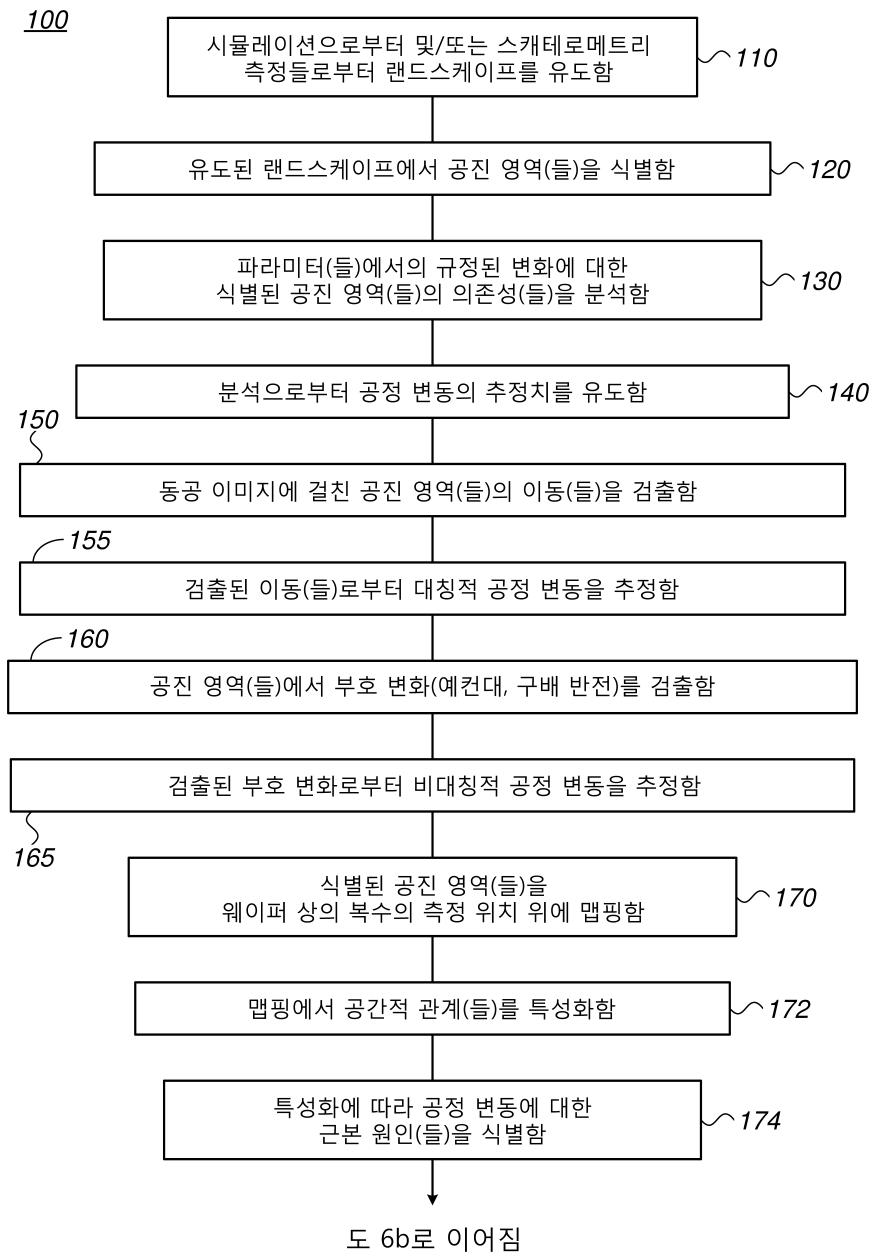
도 5b를 이어짐

도면5b

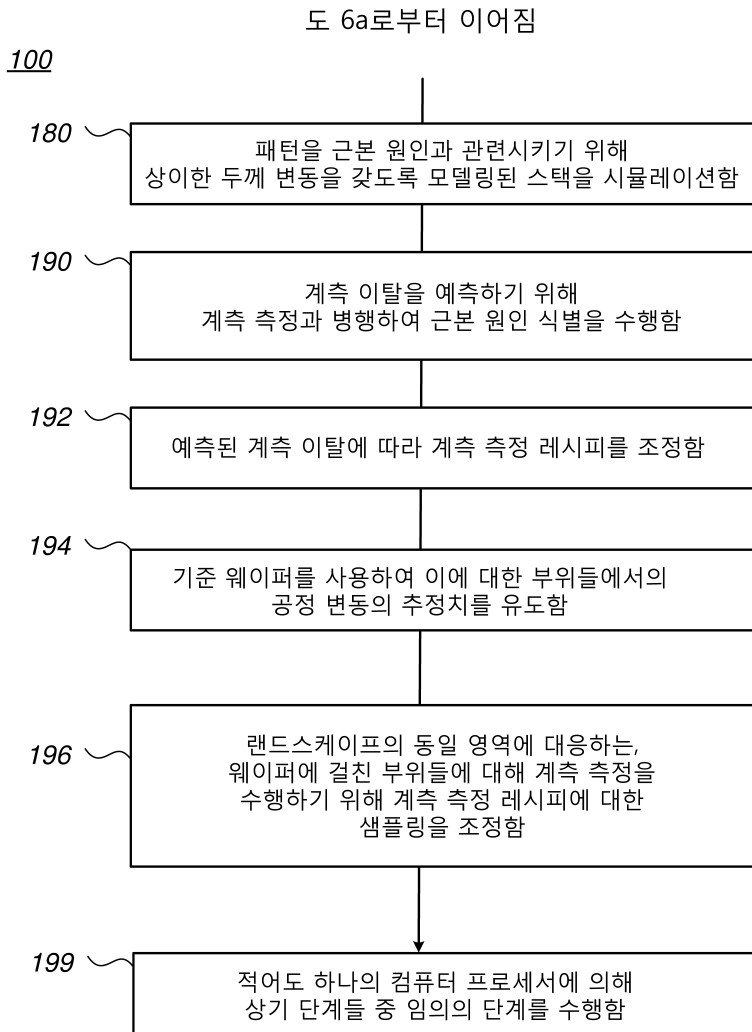


도 5a로부터 이어짐

도면6a



도면6b





도면7

