



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년10월11일

(11) 등록번호 10-2717090

(24) 등록일자 2024년10월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G03F 9/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G03F 9/7019 (2013.01)

G03F 9/7096 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-7029491

(22) 출원일자(국제) 2020년01월16일

심사청구일자 2021년09월14일

(85) 번역문제출일자 2021년09월13일

(65) 공개번호 10-2021-0116707

(43) 공개일자 2021년09월27일

(86) 국제출원번호 PCT/US2020/013861

(87) 국제공개번호 WO 2020/167408

국제공개일자 2020년08월20일

(30) 우선권주장

16/277,805 2019년02월15일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP2003107725 A

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 20 항

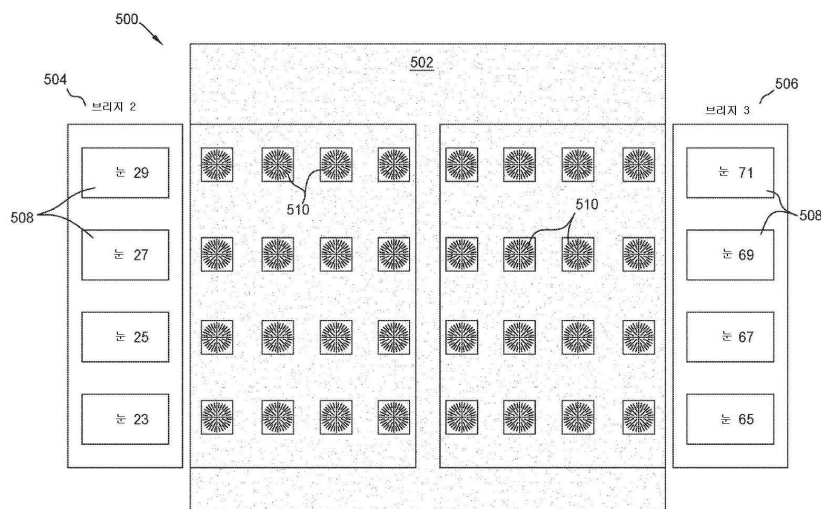
심사관 : 민경구

(54) 발명의 명칭 디지털 리소그래피 툴들을 위한 모델 기반 동적 포지션 보정

## (57) 요약

본 개시내용은 일반적으로, 포토리소그래피 시스템들, 및 포토리소그래피 시스템들에서 포지션 에러들을 보정하기 위한 방법들에 관한 것이다. 포토리소그래피 시스템이 처음 시동될 때, 시스템은 안정화 기간에 진입한다. 안정화 기간 동안, 시스템이 기판을 프린팅하거나 노출시킬 때, 포지션 판독치들 및 데이터, 이를테면, 온도, 압력 및 습도 데이터가 수집된다. 수집된 데이터 및 포지션 판독치들에 기반하여 모델이 생성된다. 그런 다음, 모델은 후속 안정화 기간들에서 에러들을 추정하는 데 사용되며, 추정된 에러들은 후속 안정화 기간들 동안 동적으로 보정된다.

## 대표도



(72) 발명자	(56) 선행기술조사문헌
중, 킨	JP2004327807 A
미국 95051 캘리포니아 산타 클라라 지아니니 드라	JP2005026439 A
이브 546	JP2014074837 A
몽콜왕로즈, 파차	W02005083756 A1
미국 94555 캘리포니아 프리몬트 펠릭스 테라스	
34542	

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

방법으로서,

포토리소그래피 시스템을 시동시키고(starting) 그리고 안정화 기간에 진입시키는 단계;

상기 안정화 기간 동안 상기 포토리소그래피 시스템이 하나 이상의 기판들 또는 하나 이상의 교정 플레이트들을 프린팅할 때 데이터 및 포지션 판독치들을 수집하는 단계 — 상기 수집된 데이터는 상기 포토리소그래피 시스템 전체에 걸쳐 배치된 복수의 온도 센서들을 사용하여 수집된 온도 데이터임 —;

상기 데이터 및 상기 포지션 판독치들에 기반하여 모델을 생성하는 단계 — 상기 모델은, 상기 포토리소그래피 시스템의 초기 온도 및 미리 결정된 양의 시간이 경과된 후에 상기 초기 온도로부터의 측정된 온도 변화와, 그리고 상기 포지션 판독치들이 상기 안정화 기간 동안에 열적 영향들 없이 로케이팅되어야 하는 위치 및 상기 포지션 판독치들이 실제로 열적 영향들로 인한 것인 위치로 이루어진 그룹1의 각 파라미터 또는 상기 포지션 판독치들의 섭동(perturbation)들의 근사치들로 이루어진 그룹2의 각 파라미터를 사용하여 형성됨 —; 및

상기 안정화 기간의 완료 시 발생하는 후속 안정화 기간들 동안 하나 이상의 기판들을 프린팅하기 위해, 상기 모델을 사용하여 상기 후속 안정화 기간들 동안 추정된 에러들을 동적으로 보정하는 단계를 포함하는,

방법.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 온도 데이터는 상기 안정화 기간의 가열 및 냉각 기간들 동안 수집되는,

방법.

#### 청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 수집된 데이터는 압력 데이터를 더 포함하는,

방법.

#### 청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 모델은 캐스케이드형 과도적 모델(cascaded transient model)의 세트인,

방법.

#### 청구항 7

방법으로서,

포토리소그래피 시스템을 시동시키고 그리고 안정화 기간에 진입시키는 단계;

상기 안정화 기간 동안 상기 포토리소그래피 시스템이 하나 이상의 기판들 또는 하나 이상의 교정 플레이트들을 프린팅할 때 온도 데이터 및 포지션 판독치들을 수집하는 단계 - 상기 온도 데이터는 상기 포토리소그래피 시스템 전체에 걸쳐 배치된 복수의 온도 센서들을 사용하여 가열 및 냉각 기간들 동안 수집됨 -;

상기 온도 데이터 및 상기 포지션 판독치들에 기반하여 모델을 생성하는 단계 - 상기 모델은, 상기 포토리소그래피 시스템의 초기 온도 및 미리 결정된 양의 시간이 경과된 후에 상기 초기 온도로부터의 측정된 온도 변화와, 그리고 상기 포지션 판독치들이 상기 안정화 기간 동안에 열적 영향들 없이 로케이팅되어야 하는 위치 및 상기 포지션 판독치들이 실제로 열적 영향들로 인한 것인 위치로 이루어진 그룹1의 각 파라미터 또는 상기 포지션 판독치들의 섭동들의 근사치들로 이루어진 그룹2의 각 파라미터를 사용하여 형성됨 -;

상기 모델을 교정하는 단계;

상기 교정된 모델을 사용하여 상기 안정화 기간의 완료 시 발생하는 후속 안정화 기간들에서 에러들을 추정하는 단계; 및

상기 후속 안정화 기간들 동안 하나 이상의 기판들을 프린팅하기 위해, 상기 후속 안정화 기간들 동안 상기 추정된 에러들을 동적으로 보정하는 단계를 포함하는,

방법.

## 청구항 8

제7 항에 있어서,

압력 데이터가 추가로 수집되고 그리고 상기 모델은 상기 온도 데이터 및 상기 압력 데이터에 기반하여 생성되는,

방법.

## 청구항 9

제7 항에 있어서,

상기 모델은 캐스케이드형 과도적 모델의 세트인,

방법.

## 청구항 10

삭제

## 청구항 11

삭제

## 청구항 12

방법으로서,

포토리소그래피 시스템을 시동시키고 그리고 안정화 기간에 진입시키는 단계;

상기 안정화 기간 동안 상기 포토리소그래피 시스템이 하나 이상의 기판들 또는 하나 이상의 교정 플레이트들을 프린팅할 때 온도 데이터 및 포지션 판독치들을 수집하는 단계 - 상기 온도 데이터는 상기 포토리소그래피 시스템 전체에 걸쳐 배치된 복수의 온도 센서들을 사용하여 수집됨 -;

상기 온도 데이터 및 상기 포지션 판독치들에 기반하여 모델을 생성하는 단계 - 상기 모델은, 상기 포토리소그래피 시스템의 초기 온도 및 미리 결정된 양의 시간이 경과된 후에 상기 초기 온도로부터의 측정된 온도 변화와, 그리고 상기 포지션 판독치들이 상기 안정화 기간 동안에 열적 영향들 없이 로케이팅되어야 하는 위치 및 상기 포지션 판독치들이 실제로 열적 영향들로 인한 것인 위치로 이루어진 그룹1의 각 파라미터 또는 상기 포지션 판독치들의 섭동들의 근사치들로 이루어진 그룹2의 각 파라미터를 사용하여 형성됨 -;

상기 포토리소그래피 시스템의 열적 커패시턴스 및 투과 계수들을 결정하기 위해 최적화 문제(optimization

problem)를 형성하는 단계;

상기 모델 및 최적화 문제를 사용하여 상기 안정화 기간의 완료 시 발생하는 후속 안정화 기간들에서 에러들을 추정하는 단계; 및

상기 후속 안정화 기간들 동안 하나 이상의 기관들을 프린팅하기 위해, 상기 후속 안정화 기간들 동안 상기 추정된 에러들을 동적으로 보정하는 단계를 포함하는,

방법.

### 청구항 13

제12 항에 있어서,

압력 데이터가 추가로 수집되고 그리고 상기 모델은 상기 온도 데이터 및 상기 압력 데이터에 기반하여 생성되는,

방법.

### 청구항 14

제12 항에 있어서,

상기 온도 데이터는 상기 안정화 기간의 가열 및 냉각 기간들 동안 수집되는,

방법.

### 청구항 15

삭제

### 청구항 16

제1 항에 있어서,

상기 수집된 데이터는 습도 데이터를 더 포함하는,

방법.

### 청구항 17

제1 항에 있어서,

상기 복수의 온도 센서들은 상기 안정화 기간 동안 온도가 변화(fluctuate)하는 것으로 알려진 상기 포토리소그래피 시스템의 부분들 근처에 배치되는,

방법.

### 청구항 18

제1 항에 있어서,

상기 데이터는 압력 데이터를 수집하도록 구성된 하나 이상의 센서들 또는 습도 데이터를 수집하도록 구성된 하나 이상의 센서들을 사용하여 수집되는,

방법.

### 청구항 19

제7 항에 있어서,

습도 데이터가 추가로 수집되고, 그리고 상기 모델은 상기 온도 데이터 및 상기 습도 데이터에 기반하여 생성되는,

방법.

## 청구항 20

제7 항에 있어서,

상기 포토리소그래피 시스템은 압력 데이터를 수집하도록 구성된 하나 이상의 센서들 또는 습도 데이터를 수집하도록 구성된 하나 이상의 센서들을 포함하는,

방법.

## 청구항 21

제7 항에 있어서,

상기 복수의 온도 센서들은 상기 안정화 기간 동안 온도가 변화하는 것으로 알려진 상기 포토리소그래피 시스템의 부분들 근처에 배치되는,

방법.

## 청구항 22

제12 항에 있어서,

습도 데이터가 추가로 수집되고, 그리고 상기 모델은 상기 온도 데이터 및 상기 습도 데이터에 기반하여 생성되는,

방법.

## 청구항 23

제12 항에 있어서,

상기 포토리소그래피 시스템은 압력 데이터를 수집하도록 구성된 하나 이상의 센서들 또는 습도 데이터를 수집하도록 구성된 하나 이상의 센서들을 포함하는,

방법.

## 청구항 24

제12 항에 있어서,

상기 모델은 캐스케이드형 과도적 모델들의 세트인,

방법.

## 청구항 25

제12 항에 있어서,

상기 복수의 온도 센서들은 상기 안정화 기간 동안 온도가 변화하는 것으로 알려진 상기 포토리소그래피 시스템의 부분들 근처에 배치되는,

방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 개시내용의 실시예들은 일반적으로, 포토리소그래피(photolithography) 시스템들, 및 포토리소그래피 시스템들에서 포지션 에러(positional error)들을 보정하기 위한 방법들에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 포토리소그래피는 반도체 디바이스들 및 디스플레이 디바이스들, 이를테면, LCD(liquid crystal display)들의 제조에서 널리 사용된다. LCD들의 제조에서 대면적 기판들이 대개 활용된다. LCD들 또는 플랫

패널(flat panel)들은 보통, 액티브 매트릭스(active matrix) 디스플레이들, 이를테면, 컴퓨터들, 터치 패널 디바이스들, PDA(personal digital assistant)들, 셀 폰(cell phone)들, 텔레비전 모니터들 등을 위해 사용된다. 일반적으로, 플랫 패널들은, 2개의 플레이트들 사이에 샌드위칭(sandwich)되는 픽셀들을 형성하는 액정 재료의 층을 포함할 수 있다. 전력 공급부로부터의 전력이 액정 재료에 걸쳐 인가될 때, 액정 재료를 통과하는 광의 양이 픽셀 로케이션들에서 제어되어, 이미지들이 생성되는 것을 가능하게 할 수 있다.

[0003] [0003] 마이크로리소그래피(microlithography) 기법들은 일반적으로, 픽셀들을 형성하는 액정 재료 층의 일부로서 포함되는 전기 피쳐(feature)들을 생성하는 데 이용된다. 이러한 기법에 따르면, 기판의 적어도 하나의 표면에 감광성 포토레지스트(light-sensitive photoresist)가 통상적으로 적용된다. 그런 다음, 패턴 생성기는, 패턴의 일부로서의 감광성 포토레지스트의 선택된 영역들을 광에 노출시켜, 선택적인 영역들에서의 포토레지스트에 화학적인 변화들을 야기하여, 이러한 선택적인 영역들을, 전기 피쳐들을 생성하기 위한 후속적인 재료 제거 및/또는 재료 추가 프로세스들을 위해 준비시킨다.

[0004] [0004] 그러나, 그러한 마이크로리소그래피 기법들을 위해 사용되는 틀은 프린팅 및 패턴닝 거동을 완전히 안정화시키는 데 8시간 이상이 걸릴 수 있으며, 이 시간 동안 포토레지스트의 패턴닝은 열적 변동(thermal variation)들과 같은 다양한 영향들로 인해 불균일할 수 있다. 틀은, 각각이 불균일한 패턴닝을 야기하는 변동들에 잠재적으로 기여하여 총 피치(pitch) 및 오버레이 보정 반복성에 부정적인 영향을 미치는 상이한 전도도 계수들 및 열적 커패시턴스들을 갖는 다수의 열 소스들 및 컴포넌트들을 포함한다.

[0005] [0005] 소비자들에 의해 요구되는 가격들로 소비자들에게 디스플레이 디바이스들 및 다른 디바이스들을 계속 제공하기 위해, 대면적 기판들과 같은 기판들 상에 정밀하게 그리고 비용-효율적으로 패턴들을 생성하기 위한 새로운 장치들, 접근법들, 및 시스템들이 필요하다.

## 발명의 내용

[0006] [0006] 본 개시내용은 일반적으로, 포토리소그래피 시스템들, 및 포토리소그래피 시스템들에서 포지션 에러들을 보정하기 위한 방법들에 관한 것이다. 포토리소그래피 시스템이 처음 시동될(started) 때, 시스템은 안정화 기간에 진입한다. 안정화 기간 동안, 시스템이 기판을 프린팅하거나 노출시킬 때, 포지션 판독치들 및 데이터, 이를테면, 온도, 압력, 및 습도 데이터가 수집된다. 수집된 데이터 및 포지션 판독치들에 기반하여 모델이 생성된다. 그런 다음, 모델은 후속 안정화 기간들에서 에러들을 추정하는 데 사용되며, 추정된 에러들은 후속 안정화 기간들 동안 동적으로 보정된다.

[0007] [0007] 일 실시예에서, 방법은, 포토리소그래피 시스템을 시동시키고 그리고 안정화 기간에 진입시키는 단계, 안정화 기간 동안 포토리소그래피 시스템이 프린팅할 때 데이터 및 포지션 판독치들을 수집하는 단계, 데이터 및 포지션 판독치들에 기반하여 모델을 생성하는 단계, 및 모델을 사용하여 후속 안정화 기간들 동안 추정 에러들을 동적으로 보정하는 단계를 포함한다.

[0008] [0008] 다른 실시예에서, 방법은, 포토리소그래피 시스템을 시동시키고 그리고 안정화 기간에 진입시키는 단계, 및 안정화 기간 동안 포토리소그래피 시스템이 프린팅할 때 온도 데이터 및 포지션 판독치들을 수집하는 단계를 포함한다. 온도 데이터는 가열 및 냉각 기간들 동안 수집된다. 방법은, 온도 데이터 및 포지션 판독치들에 기반하여 모델을 생성하는 단계, 모델을 교정하는 단계, 교정된 모델을 사용하여 후속 안정화 기간들에서 에러들을 추정하는 단계, 및 후속 안정화 기간들 동안 추정된 에러들을 동적으로 보정하는 단계를 더 포함한다.

[0009] [0009] 또 다른 실시예에서, 방법은, 포토리소그래피 시스템을 시동시키고 그리고 안정화 기간에 진입시키는 단계, 안정화 기간 동안 포토리소그래피 시스템이 프린팅할 때 온도 데이터 및 포지션 판독치들을 수집하는 단계, 온도 데이터 및 포지션 판독치들에 기반하여 모델을 생성하는 단계, 포토리소그래피 시스템의 열적 커패시턴스 및 투과 계수들을 결정하기 위해 최적화 문제(optimization problem)를 형성하는 단계, 후속 안정화 기간들에서 에러들을 추정하기 위해 모델 및 최적화 문제를 사용하는 단계, 및 후속 안정화 기간들 동안 추정된 에러들을 동적으로 보정하는 단계를 포함한다.

## 도면의 간단한 설명

[0010] [0010] 본 개시내용의 상기 열거된 특징들이 상세히 이해될 수 있는 방식으로, 앞서 간략히 요약된 본 개시내용의 보다 구체적인 설명이 실시예들을 참조로 하여 이루어질 수 있는데, 이러한 실시예들의 일부는 첨부된 도면들에 예시되어 있다. 그러나, 첨부된 도면들은 단지 예시적인 실시예들을 예시하는 것이므로 본 개시내용의 범위를 제한하는 것으로 간주되지 않아야 하며, 다른 균등하게 유효한 실시예들을 허용할 수 있다는 것이 주목

되어야 한다.

[0011] 도 1a는 일 실시예에 따른 포토리소그래피 시스템의 사시도이다.

[0012] 도 1b는 다른 실시예에 따른 포토리소그래피 시스템의 사시도이다.

[0013] 도 2는 본원에 개시된 실시예들에 따른 이미지 투영 장치의 개략적인 사시도이다.

[0014] 도 3은 본원에 개시된 실시예들에 따른, 안정화 기간 동안 발생하는 포지션 섭동(positional perturbation)들을 추정하기 위해 시스템 거동들을 모델링 및 교정하는 방법을 예시한다.

[0015] 도 4a - 도 4f는 본원에 개시된 실시예들에 따른, 데이터 측정치들의 예시적인 그래프들을 예시한다.

[0016] 도 5는 본원에 개시된 실시예들에 따른, 복수의 눈(eye)들이 각각 상부에 배치된 제1 브리지 컴포넌트 및 제2 브리지 컴포넌트의 정렬 구성을 예시한다.

[0017] 도 6a - 도 6c는 본원에 개시된 실시예들에 따른, 200 mm/s의 스테이지 속도에서의 데이터 측정치들 및 포지션 판독치들의 예시적인 그래프들을 예시한다.

[0018] 도 7a - 도 7c는 본원에 개시된 실시예들에 따른, 100 mm/s의 스테이지 속도에서의 데이터 측정치들 및 포지션 판독치들의 예시적인 그래프들을 예시한다.

[0019] 이해를 용이하게 하기 위해, 도면들에 대해 공통인 동일한 엘리먼트들을 지정하기 위해 가능한 경우 동일한 참조 번호들이 사용되었다. 일 실시예의 엘리먼트들 및 특징들이 추가의 언급없이 다른 실시예들에 유익하게 통합될 수 있음이 고려된다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] [0020] 본 개시내용은 일반적으로, 포토리소그래피 시스템들, 및 포토리소그래피 시스템들에서 포지션 에러들을 보정하기 위한 방법들에 관한 것이다. 포토리소그래피 시스템이 처음 시동될 때, 시스템은 안정화 기간에 진입한다. 안정화 기간 동안, 시스템이 기판을 프린팅하거나 노출시킬 때, 포지션 판독치들 및 데이터, 이를테면, 온도, 압력, 및 습도 데이터가 수집된다. 수집된 데이터 및 포지션 판독치들에 기반하여 모델이 생성된다. 그런 다음, 모델은 후속 안정화 기간들에서 에러들을 추정하는 데 사용되며, 추정된 에러들은 후속 안정화 기간들 동안 동적으로 보정된다.

[0012] [0021] 도 1a는 본원에 개시된 실시예들에 따른 포토리소그래피 시스템(100)의 사시도이다. 시스템(100)은, 베이스 프레임(110), 슬래브(slab)(120), 스테이지(130), 및 프로세싱 장치(160)를 포함한다. 베이스 프레임(110)은 제작 설비의 바닥(floor)에 놓이고 슬래브(120)를 지지한다. 베이스 프레임(110)과 슬래브(120) 사이에 패시브 에어 아이솔레이터(passive air isolator)들(112)이 포지셔닝된다. 일 실시예에서, 슬래브(120)는 화강암(granite)의 모놀리식 피스(monolithic piece)이고, 스테이지(130)는 슬래브(120) 상에 배치된다. 기관(140)은 스테이지(130)에 의해 지지된다. 복수의 홀(hole)들(도시되지 않음)이 스테이지(130)에 형성되며, 그 복수의 홀들은 복수의 리프트 핀(lift pin)들(도시되지 않음)이 그 복수의 홀들을 통해 연장되는 것을 가능하게 하기 위한 것이다. 일부 실시예들에서, 리프트 핀들은, 이를테면, 하나 이상의 전달 로봇들(도시되지 않음)로부터 기관(140)을 수용하기 위해 연장된 포지션으로 상승한다. 하나 이상의 전달 로봇들은 스테이지(130)로부터 기관(140)을 로딩 및 언로딩하는 데 사용된다.

[0013] [0022] 기관(140)은 임의의 적절한 재료, 예컨대 플랫 패널 디스플레이의 일부로서 사용되는 알칼리 토류 보로-알루미늄노실리케이트(Alkaline Earth Boro-Aluminosilicate)를 포함한다. 다른 실시예들에서, 기관(140)은 다른 재료들로 제조된다. 일부 실시예들에서, 기관(140)은 그 기관(140) 상에 형성된 포토레지스트 층을 갖는다. 포토레지스트는 방사(radiation)에 민감하다. 포지티브 포토레지스트는, 방사에 노출될 때, 포토레지스트 내에 패턴이 기록된 후에 포토레지스트에 도포된 포토레지스트 현상제(photoresist developer)에 대해 각각 가용성(soluble)이 될 포토레지스트의 부분들을 포함한다. 네거티브 포토레지스트는, 방사에 노출될 때, 포토레지스트 내에 패턴이 기록된 후에 포토레지스트에 도포된 포토레지스트 현상제에 대해 각각 불용성(insoluble)이 될 포토레지스트의 부분들을 포함한다. 포토레지스트의 화학적 조성은, 포토레지스트가 포지티브 포토레지스트일지 또는 네거티브 포토레지스트일지를 결정한다. 포토레지스트들의 예들은, 디아조나프토퀸, 페놀 포름알데히드 수지, 폴리(메틸 메타크릴레이트), 폴리(메틸 글루타르이미드), 및 SU-8 중 적어도 하나를 포함한다(그러나 이에 제한되지 않음). 이러한 방식으로, 전자 회로를 형성하기 위해, 기관(140)의 표면 상에 패턴이 생성된다.



- [0014] [0023] 시스템(100)은 한 쌍의 지지부들(122) 및 한 쌍의 트랙들(124)을 포함한다. 한 쌍의 지지부들(122)은 슬래브(120) 상에 배치되고, 일 실시예에서, 슬래브(120) 및 한 쌍의 지지부들(122)은 재료의 단일 피스이다. 한 쌍의 트랙들(124)은 한 쌍의 지지부들(122)에 의해 지지되고, 스테이지(130)는 x-방향으로 트랙들(124)을 따라 이동한다. 일 실시예에서, 한 쌍의 트랙들(124)은 한 쌍의 평행한 자기 채널들이다. 도시된 바와 같이, 한 쌍의 트랙들(124)의 각각의 트랙(124)은 선형이다. 다른 실시예에서, 에어 베어링들은 매우 정확한 비-접촉 모션을 위해 활용되고, 선형 모터들은 x-방향 및 y-방향으로 스테이지(130)를 앞뒤로 이동시키는 힘을 제공하도록 구성된다. 다른 실시예들에서, 하나 이상의 트랙(124)은 비-선형이다. 로케이션 정보를 제어기(도시되지 않음)에 제공하기 위해, 인코더(encoder)(126)가 스테이지(130)에 커플링된다.
- [0015] [0024] 프로세싱 장치(160)는 지지부(162) 및 프로세싱 유닛(164)을 포함한다. 지지부(162)는 슬래브(120) 상에 배치되고, 스테이지(130)가 프로세싱 유닛(164) 아래로 통과하기 위한 개구(166)를 포함한다. 프로세싱 유닛(164)은 지지부(162)에 의해 지지된다. 일 실시예에서, 프로세싱 유닛(164)은, 포토리소그래피 프로세스에서 포토레지스트를 노출시키도록 구성된 패턴 생성기이다. 일부 실시예들에서, 패턴 생성기는 마스크리스 리소그래피 프로세스를 수행하도록 구성된다. 프로세싱 유닛(164)은 복수의 이미지 투영 장치(도 2에 도시됨)를 포함한다. 일 실시예에서, 프로세싱 유닛(164)은 84개만큼 많은 이미지 투영 장치를 포함한다. 각각의 이미지 투영 장치는 케이스(case)(165) 내에 배치된다. 프로세싱 장치(160)는 마스크리스 다이렉트 패턴링을 수행하는 데 유용하다.
- [0016] [0025] 동작 동안, 스테이지(130)는 도 1a에 도시된 바와 같은 로딩 위치선으로부터 프로세싱 위치선으로 x-방향으로 이동한다. 프로세싱 위치선은, 스테이지(130)가 프로세싱 유닛(164) 아래로 통과함에 따른 스테이지(130)의 하나 이상의 위치선들이다. 동작 동안, 스테이지(130)는 복수의 에어 베어링들(도시되지 않음)에 의해 리프팅되고, 한 쌍의 트랙들(124)을 따라 로딩 위치선으로부터 프로세싱 위치선으로 이동한다. 스테이지(130)의 이동을 안정화시키기 위해, 복수의 수직 가이드 에어 베어링들(도시되지 않음)이 스테이지(130)에 커플링되고 그리고 각각의 지지부(122)의 내측 벽(128) 근처에 포지셔닝된다. 스테이지(130)는 또한, 기관(140)을 프로세싱 및/또는 인텍싱하기 위해 트랙(150)을 따라 이동함으로써 y-방향으로 이동한다. 스테이지(130)는 독립적으로 동작할 수 있고, 하나의 방향으로서는 기관(140)을 스캐닝하고 다른 방향으로서는 스텝핑(step)할 수 있다.
- [0017] [0026] 측정 시스템(metrology system)은, 복수의 이미지 투영 장치 각각이 포토레지스트로 덮인 기관(photoresist covered substrate)에 기록되는 패턴들을 정확하게 로케이팅할 수 있도록, 스테이지(130) 각각의 X 및 Y 측방향 위치선 좌표들을 실시간으로 측정한다. 측정 시스템은 또한, 수직 축 또는 z-축을 중심으로 하는, 스테이지(130) 각각의 각도 위치선의 실시간 측정을 제공한다. 각도 위치선 측정은 서보 메커니즘에 의해, 스캐닝 동안 각도 위치선을 일정하게 유지하는 데 사용될 수 있거나, 또는 각도 위치선 측정은, 도 2에 도시된 이미지 투영 장치(270)에 의해 기관(140) 상에 기록되는 패턴들의 위치선들에 보정들을 적용하는 데 사용될 수 있다. 이러한 기법들은 조합되어 사용될 수 있다.
- [0018] [0027] 도 1b는 본원에 개시된 실시예들에 따른 포토리소그래피 시스템(190)의 사시도이다. 시스템(190)은 시스템(100)과 유사하지만, 시스템(190)은 2개의 스테이지들(130)을 포함한다. 2개의 스테이지들(130) 각각은 독립적으로 동작할 수 있고, 하나의 방향으로서는 기관(140)을 스캐닝하고, 다른 방향으로서는 스텝핑할 수 있다. 일부 실시예들에서, 2개의 스테이지들(130) 중 하나가 기관(140)을 스캐닝하고 있을 때, 2개의 스테이지들(130) 중 다른 하나는 노출된 기관을 언로딩하고, 노출될 다음 기관을 로딩한다.
- [0019] [0028] 도 1a - 도 1b가 포토리소그래피 시스템의 2개의 실시예들을 도시하지만, 다른 시스템들 및 구성들이 또한 본원에서 고려된다. 예컨대, 임의의 적절한 수의 스테이지들을 포함하는 포토리소그래피 시스템들이 또한 고려된다.
- [0020] [0029] 도 2는 시스템(100) 또는 시스템(190)과 같은 포토리소그래피 시스템에 유용한, 일 실시예에 따른 이미지 투영 장치(270)의 개략적인 사시도이다. 이미지 투영 장치(270)는, 하나 이상의 공간 광 변조기들(280), 초점 센서(283) 및 카메라(285)를 포함하는 정렬 및 검사 시스템(284), 및 투영 옵틱(projection optic)들(286)을 포함한다. 이미지 투영 장치의 컴포넌트들은 사용되는 공간 광 변조기에 따라 변한다. 공간 광 변조기들은, 마이크로 LED들, DMD(digital micromirror device)들, LCD(liquid crystal display)들, 및 VCSEL(vertical-cavity surface-emitting laser)들을 포함한다(그러나 이에 제한되지 않음).
- [0021] [0030] 동작 시, 공간 광 변조기(280)는, 이미지 투영 장치(270)를 통해 그리고 기관, 이를테면 기관(140)으로 투영되는 광의 하나 이상의 특성들, 이를테면, 진폭, 위상, 또는 편광을 변조하는 데 사용된다. 정렬 및 검사 시스템(284)은 이미지 투영 장치(270)의 컴포넌트들의 정렬 및 검사를 위해 사용된다. 일 실시예에서, 초점 센

서(283)는 복수의 레이저들을 포함하며, 그 복수의 레이저들은 카메라(285)의 렌즈를 통해 지향되고 다시 역으로(back) 카메라(285)의 렌즈를 통해 지향되어 센서들 상으로 이미징되어 이미지 투영 장치(270)가 초점이 맞는 지 여부를 검출한다. 카메라(285)는, 이미지 투영 장치(270)와 포토리소그래피 시스템(100 또는 190)의 정렬이 정확하거나 미리 결정된 허용오차 내에 있음을 보장하기 위해, 기관(140)과 같은 기관을 이미징하는 데 사용된다. 투영 옵틱들(286), 이를테면, 하나 이상의 렌즈들은 기관(140)과 같은 기관 상에 광을 투영하는 데 사용된다.

[0022] [0031] 포토리소그래피 시스템들(100, 190)이 처음 시동될 때, 시스템들(100, 190)은 안정화 기간에 진입한다. 안정화 기간은 시스템의 프린팅 및 패터닝 거동이 안정화되는 데 걸리는 시간의 양(즉, 시스템이 완전히 워밍업하는 데 시간이 얼마나 걸리는가)이다. 포토리소그래피 시스템들(100, 190)의 안정화 기간 동안, 다양한 영향들 및 변동들, 이를테면, 열적 변동들이 발생하며, 이는 총 피치 및 오버레이 보정 반복성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 일부 경우들에서, 포토리소그래피 시스템들(100, 190)은 다양한 영향들 및 변동들로 인해 프린팅 및 패터닝 거동을 안정화시키는 데 8시간 이상이 걸릴 수 있다. 추가적으로, 각각의 시스템(100, 190)은, 각각이 잠재적으로 변동들에 기여하여 시스템들(100, 190)을 엄격하게 모니터링하는 것을 어렵게 하는 상이한 전도도 계수들 및 열적 커패시턴스들을 갖는 다수의 열 소스들 및 컴포넌트들을 포함한다.

[0023] [0032] 기관들을 정밀하고 정확하게 노출시키기 위해 안정화 기간 동안 시스템들(100, 190)을 사용하기 위하여, 안정화 기간 동안 발생하는 임의의 에러들을 보정하기 위해 모델 기반 소프트웨어 보정이 활용될 수 있다. 시스템(100, 190)의 거동들은, 총 피치 및 오버레이 보정 반복성을 향상시키기 위해, 아래의 도 3에서 설명되는 바와 같이, 안정화 기간 동안 발생하는 잠재적인 변동들을 추정하도록 모델링 및 교정될 수 있다. 그런 다음, 모델들은 시스템들(100, 190)의 후속 안정화 기간들 동안 오버레이 및 총 피치 에러들을 보정하는 데 사용될 수 있다. 동적 포지션 보정들을 위해 모델들을 활용하는 것은 값 비싼 하드웨어 솔루션들을 제거하거나 감소시킬 수 있다. 게다가, 모델들은, 포지션 보정들이 디지털 마스크들에 적용되기 때문에, 동적 포지션 보정들을 위해 사용될 수 있다.

[0024] [0033] 도 3은 본원에 개시된 실시예들에 따른, 안정화 기간 동안 발생하는 포지션 섭동들을 추정하기 위해 시스템 거동들을 모델링 및 교정하는 방법(300)을 예시한다. 방법(300)은 도 1a 및 도 1b의 포토리소그래피 시스템들(100, 190)에 각각 활용될 수 있다.

[0025] [0034] 방법(300)은, 포토리소그래피 시스템이 시동되고 안정화 기간에 진입하는 동작(302)으로 시작된다. 안정화 기간에 있는 동안, 시스템의 프린팅 및 패터닝 거동은 다양한 영향들 및 변동들, 이를테면, 열적, 압력 및/또는 습도 변동들로 인해 불안정할 수 있다. 안정화 기간은 시스템의 프린팅 및 패터닝 거동이 안정화되는 데 걸리는 시간의 양(즉, 시스템이 완전히 워밍업하는 데 시간이 얼마나 걸리는가)이다.

[0026] [0035] 동작(304)에서, 포토리소그래피 시스템이 안정화 기간 동안 기관을 프린팅하거나 노출시킬 때, 데이터 및 포지션 판독치들이 수집된다. 시스템이 생산 라인을 모방(mimic)하기 위해 기관을 정렬하고 노출시킬 때 데이터가 지속적으로 수집된다. 일 실시예에서, 수집된 데이터는 온도 데이터이다. 온도 데이터는, 가열 및 냉각 동안 온도가 변화(fluctuate)하는 것으로 알려진 툴의 부분들, 이를테면, 인코더 근처에 배치된 하나 이상의 온도 센서들을 사용하여 수집될 수 있다. 예컨대, 약 20개의 온도 센서들이, 척, 인코더, 및 브리지(bridge)/라이저(riser) 등의 온도를 수집 및 모니터링하기 위해 포토리소그래피 툴 상에 배치될 수 있다.

[0027] [0036] 포지션 판독치들을 수집하기 위해, 교정 플레이트 또는 기관 상의 정렬 마크들(도 5에 도시됨)이 안정화 기간 전체에 걸쳐 주기적으로 캡처될 수 있다. 교정 플레이트는 안정화 기간 동안 레퍼런스(reference)로서 사용될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 간접계 판독에 대한 인코더 카운트 변화가 주기적으로 추가로 기록될 수 있으며, 여기서 간접계는 레퍼런스로서 사용된다. 그런 다음, 사용된 레퍼런스에 대한 상대적인 포지션 변화들이 기록된다.

[0028] [0037] 기관 또는 교정 플레이트 상의 패턴 프린팅 포지션은 안정화 기간 동안 발생하는 열적 영향들 및 변화(fluctuation)들로 인해 의도치 않게 교란될(perturbed) 수 있다. 이에 따라, 기관 또는 교정 플레이트 상의 포지션 판독치들의 섭동들은 온도의 변화(fluctuation)들과 직접적으로 관련될 수 있다. 압력, 습도 등과 같은 다른 영향들이 또한 포지션 판독치들의 섭동들을 야기할 수 있다. 그러한 경우들에서, 압력 데이터, 습도 데이터 등을 수집하도록 구성된 센서들이 온도 센서들 대신에 또는 온도 센서들에 추가하여 활용될 수 있다. 그러나, 열적 영향들은 전체에 걸쳐 예로서 사용될 것이다.

[0029] [0038] 도 4a - 도 4f는 데이터 측정치들 및 포지션 판독치들의 예시적인 그래프들을 예시한다. 도 4a - 도

4f는 단지 데이터 측정치들의 예들이며, 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 도 4a는 200 mm/s의 스테이지 속도에서의 시스템 내의 브리지 컴포넌트 및 라이저 컴포넌트에 대한 일정 시간 기간에 걸친 섭씨 온도의 변화를 예시한다. 도 4b는 200 mm/s의 스테이지 속도에서 브리지 컴포넌트 및 라이저 컴포넌트에 대해 가열 동안 발견되는 마이크로미터 단위의 y-축을 따르는 대응하는 포지션 마크를 예시하며, 이는 열적 영향들로 인한 포지션 섭동들을 나타낸다. 도 4c는 100 mm/s의 스테이지 속도에서의 시스템 내의 제1 브리지 컴포넌트, 제2 브리지 컴포넌트, 및 라이저 컴포넌트에 대한 일정 시간 기간에 걸친 섭씨 온도의 변화를 예시한다. 도 4d는 100 mm/s의 스테이지 속도에서 브리지 컴포넌트 및 라이저 컴포넌트에 대해 가열 동안 발견되는 마이크로미터 단위의 y-축을 따르는 대응하는 포지션 마크를 예시하며, 이는 열적 영향들로 인한 y-축 포지션 섭동들을 추가로 나타낸다. 도 4e는 포토리소그래피 시스템에서 스테이지를 이동시키는 마스터 및 슬레이브 모터들에 대한 일정 시간 기간에 걸친 섭씨 온도 판독치를 예시한다. 도 4f는 일정 시간 기간에 걸쳐 x-축 및 y-축을 따라 냉각 기간 동안 발견되는 포지션 마크를 예시한다. 도 4a - 도 4f는 안정화 동안의 시스템의 거동이 수학적으로 표현될 수 있음을 예시한다.

[0030] [0039] 도 5는 일 실시예에 따른, 복수의 눈들(508)이 각각 상부에 배치된 제1 브리지 컴포넌트(504) 및 제2 브리지 컴포넌트(506)의 정렬 구성(500)을 예시한다. 정렬 구성(500)은, 위의 도 4a - 도 4f에 도시된 그래프들의 데이터를 수집하고, 아래에 도시된 도 6a - 도 6c 및 도 7a - 도 7c에 도시된 그래프들의 데이터를 수집하는 데 사용될 수 있다. 제1 브리지 컴포넌트(504) 및 제2 브리지 컴포넌트(506)는 기판 또는 플레이트(502) 위에 배치된다. 플레이트(502)는 복수의 정렬 마크들(510)을 포함한다. 32개의 정렬 마크들(510)이 도시되지만, 임의의 수의 정렬 마크들이 활용될 수 있다. 추가적으로, 2개의 브리지 컴포넌트들(504, 506)이 도시되지만, 추가적인 브리지 컴포넌트들이 포토리소그래피 시스템에서 활용될 수 있고, 각각의 브리지 컴포넌트(504, 506)는 그 각각의 브리지 컴포넌트(504, 506) 상에 배치된 4개 초과 눈들을 가질 수 있다. 정렬 구성(500)은 포지션 판독치들을 수집하는 데 활용되는 카메라(도시되지 않음)를 갖는 노출 유닛을 포함할 수 있다.

[0031] [0040] 도 6a - 도 6c는 200 mm/s의 스테이지 속도에서의 데이터 측정치들 및 포지션 판독치들의 예시적인 그래프들을 예시한다. 도 7a - 도 7c는 100 mm/s의 스테이지 속도에서의 데이터 측정치들 및 포지션 판독치들의 예시적인 그래프들을 예시한다. 도 6a - 도 6c 및 도 7a - 도 7c는 단지 데이터 측정치들의 예들이며, 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 도 6a - 도 6c 및 도 7a - 도 7c의 그래프들에 디스플레이된 온도 및 포지션 데이터는 플레이트 상에 배치된 임의의 수의 포지션 마크들 및 임의의 수의 온도 센서들을 사용하여 수집 또는 측정될 수 있다.

[0032] [0041] 도 6a 및 도 7a는, 안정화 기간 동안 시간(hour) 단위의 일정 시간 기간에 걸쳐 마이크로미터 단위의 x-축을 따라 발견되는 포지션 마크를 예시하며, 이는 열적 영향들로 인한 x-축 포지션 섭동들을 나타낸다. 도 6b 및 도 7b는 안정화 기간 동안 시간(hour) 단위의 일정 시간 기간에 걸쳐 시스템의 척 상의 2개의 상이한 로케이션들에서 측정된 온도를 섭씨 온도 단위로 예시한다. 도 6c 및 도 7c는 안정화 기간 동안 시간(hour) 단위의 일정 시간 기간에 걸친 시스템의 제1 인코더, 제2 인코더, 및 제3 인코더의 온도를 섭씨 온도 단위로 예시한다.

[0033] [0042] 동작(306)에서, 수집된 데이터 및 포지션 판독치들에 기반하여 모델이 생성된다. 모델은, 이를테면, 온도 영향들, 압력 영향들, 및/또는 습도 영향들 등을 고려하도록 생성된 모델로서, 데이터의 1개 초과 서브세트를 포함할 수 있다. 모델을 생성할 때, 시스템들이 선형적이거나 약하게(weakly) 비선형적이라는 가정이 이루어진다. 모델은 유효 열적 커패시턴스 및 투과를 모델 파라미터들로서 사용할 수 있다. 모델은 시스템들이 반복적인 방식으로 동작한다는 것을 추가로 고려할 수 있다. 도 4a - 도 4f, 도 6a - 도 6c, 및 도 7a - 도 7c 중 하나 이상에 그래프화된 데이터는 모델을 생성하는 것을 돕기 위해 독립적으로 또는 조합하여 사용될 수 있다.

[0034] [0043] 추가적으로, 동적 눈-대-눈(eye-to-eye) 및/또는 브리지-대-브리지(bridge-to-bridge) 모델이 생성된 모델에 통합될 수 있다. 모델은 브리지들, 이를테면, 도 5의 제1 및 제2 브리지 컴포넌트들(504, 506)과 눈들(508) 사이의 분리의 드리프트 또는 서로에 대한 눈 중심들의 변동을 캡처할 수 있다. 동적 눈-대-눈 및/또는 브리지-대-브리지 모델들은 경험적 모델(empirical model)들일 수 있고, 모델 파라미터들은 실험 결과들에 기반하여 교정될 수 있다.

[0035] [0044] 동작들(302 및 304)은 모델을 생성하는 데 사용할 더 많은 양의 데이터를 수집하기 위해 한 번 이상 반복될 수 있다. 모델은, 포지션 에러들을 다수의 센서 판독치들에 관련시킬 수 있는 캐스케이드형 과도적 모델(cascaded transient model)일 수 있다. 각각의 컴포넌트의 과도적 응답은 컴포넌트의 열적 커패시턴스 또는

질량뿐만 아니라 열적 투과(thermal transmission) 특성들에 의해 결정된다. 그런 다음, 캐스케이드형 경험적 모델들은 시스템에서의 열적 영향들을 표현하는 데 사용될 수 있다.

[0045] 모델은 다음의 변수들 또는 파라미터들을 사용하여 형성된다: 포지션 판독치들이 안정화 기간 동안 열적 영향들 없이 ( $x$ ,  $y$ )로 있어야 하는 위치, 포지션 판독치들이 실제로 열적 영향들로 인해 ( $x'$ ,  $y'$ )인 위치, 포지션 판독치들의 섭동들이 ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ )(즉, 열적 영향들이 없는 포지션 판독치들과 열적 영향들을 갖는 포지션 판독치들 사이의 차이)인 위치의 근사치들, 초기 온도( $T_0$ ), 및 초기 온도 판독치로부터의 온도의 변화( $\Delta T$ ). 일 실시예에서, 모델을 형성하기 위해, 적어도, 초기 온도( $T_0$ ) 및 초기 온도 판독치로부터의 온도의 변화( $\Delta T$ )가 알려져야 한다. 포지션 판독치들이 실제로 열적 영향들로 인한 것인 위치를 근사화(approximate)하기 위해, 수학식 1 - 수학식 4가 사용될 수 있다.

$$\text{수학식 1: } x' = x + \Delta x(x, y, \overline{\Delta T}, \overline{T_0})$$

$$\text{수학식 2: } y' = y + \Delta y(x, y, \overline{\Delta T}, \overline{T_0})$$

$$\text{수학식 3: } \Delta x(x, y, \overline{\Delta T}, \overline{T_0}) \approx \sum_{i=1}^N \alpha_{xi} (\Delta T_i, T_{i0}) \phi_{xi}(x, y)$$

$$\text{수학식 4: } \Delta y(x, y, \overline{\Delta T}, \overline{T_0}) \approx \sum_{i=1}^N \alpha_{yi} (\Delta T_i, T_{i0}) \phi_{yi}(x, y)$$

[0046] 수학식 3 및 수학식 4에서,  $\phi$ 는 공간 모드이고,  $\alpha$ 는 온도와 전체 포지션 변화들 사이의 모델 변환이다. 포지션 섭동들( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ )은, 이전 판독치들 및 현재 판독치들 둘 모두를 포함하는 모든 온도 센서 판독치들의 함수로서 공식화된다.

[0047] 동작(308)에서, 모델이 교정된다. 모델을 교정하는 것은, 안정화 기간을 모델링하기 위해 포토리소그래피 시스템을 연속적으로 동작시키는 것, 및 냉각 기간을 모델링하기 위해 안정화 기간 다음에 포토리소그래피 시스템을 유휴 상태로 유지하는 것을 포함할 수 있다. 모델은 최적화 문제를 형성함으로써 추가로 교정된다. 최적화 문제는 전체 비용 함수( $C$ )(아래의 수학식 7에 도시됨)를 최소화하기 위한 모델 파라미터들을 획득하기 위해 형성된다. 비용은 다수의 포지션들( $x$ ,  $y$ )에서의 측정과 모델 예측 사이의 차이와, 트랜지션을 표현하기 위한 다수의 온도 조건들의 합산으로서 정의된다. 최적화 문제는 비용 함수를 최소화하기 위해 형성될 수 있다.

[0048] 최적화 문제는, 안정화 기간 동안 시스템의 다수의 열적 커패시턴스 및 투과 계수들을 결정하기 위해 형성된다. 최적화기(optimizer)의 입력은 다수의 포지션들에서 수집된 온도 판독치들 및 대응하는 포지션 에러들이다. 최적화기의 출력은 열적 커패시턴스 및 투과 계수들의 세트이다. 최적화기는 기판 상의 측정된 포지션과 모델 추정 포지션 사이의 차이를 최소화할 수 있다. 모델은 수학식 5 - 수학식 7을 사용하여 교정될 수 있다. 수학식 5 및 수학식 6은 모델 예측 에러들에 대해 사용되며, 여기서  $x'_{meas}$  및  $y'_{meas}$ 는 열적 영향들로 인한 측정된 포지션 변화들이다. 수학식 7은 비용 함수이며, 여기서  $K$ 는 수집된 데이터의 수이고,  $L$ 은 교정된 파라미터들의 수이다.

$$\text{수학식 5: } \varepsilon_x(x, y) = x'_{meas} - x'$$

$$\text{수학식 6: } \varepsilon_y(x, y) = y'_{meas} - y'$$

$$\text{수학식 7: } C = \sqrt{\frac{1}{LK} (\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \varepsilon_x^{k,l})^2} + \sqrt{\frac{1}{LK} (\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \varepsilon_y^{k,l})^2}$$

[0049] 동작(310)에서, 교정된 모델은 후속 안정화 기간들에서 에러들을 추정하는 데 사용되고, 후속 안정화 기간들에서 추정된 에러들은 동적으로 보정된다. 모델이 교정된 후에, 모델은 열적 영향들로 인한 예측된 포지션 에러들 및 섭동들을 보정하기 위해 후속 안정화 기간들 동안 사용될 수 있다. 위에서 언급된 바와 같이, 열적 영향들은 고려될 수 있는 단지 하나의 타입의 영향 또는 변동이며, 제한적인 예가 되도록 의도되지 않는다. 안정화 기간 동안 추정된 포지션 에러들은 포토리소그래피 시스템의 디지털 마스크를 온-더-플라이(on-the-fly)



방식으로 동적으로 수정함으로써 보정될 수 있으며, 물리적 포토리소그래피 시스템 자체에 대해 이루어지는 보정들 또는 변경들이 아니다. 추정된 포지션 에러들의 보정들은 디지털 마스크에 대한 노출 동안 플레이트마다 또는 기판마다 적용되는 동적 디지털 보정들일 수 있다.

[0048] [0050] 교정된 모델은 추가로, 포토리소그래피 시스템의 안정성을 모니터링하는 데 사용될 수 있다. 디지털 마스크의 정렬을 모델링하는 정렬 모델은 교정된 모델에 기반하여 형성될 수 있다. 그런 다음, 정렬 모델은 후속 안정화 기간들 동안 디지털 마스크의 정렬과 비교될 수 있다. 후속 안정화 기간들 동안의 정렬에 대한 정렬 모델의 비교는 유사성 메트릭(similarity metric)을 결정하는 데 사용될 수 있다. 유사성 메트릭은, 후속 안정화 기간이 모델을 생성하는 데 사용된 초기 안정화 기간과 동일한지 여부(즉, 후속 안정화 기간이 초기 안정화 기간과 동일한 포지션 섭동들을 경험하는지 여부)를 결정하는 데 사용될 수 있다. 유사성 메트릭은, 동일한 포지션 섭동들이 반복적으로 발생하는지 여부를 결정함으로써 시스템의 안정성을 결정할 수 있다. 시스템이 안정적인 경우, 동일한 에러들이 안정화 기간들 동안 동일한 시점에 반복적으로 발생할 것이기 때문에, 잠재적인 포지션 에러들이 더 용이하게 추정될 것이다.

[0049] [0051] 적어도 하나의 구현에서, 모델은 뉴럴-네트워크들과 같은 모델 가이드를 갖는 문제 또는 기계 학습 모델일 수 있다. 예컨대, 많은 양의 데이터가 이용가능하면, 포토리소그래피 시스템들은, 후속 안정화 기간들에서 에러들이 발생하기 전에, 높은 발생 빈도를 갖는 포지션 섭동들 또는 에러들을 사전에(proactively) 보정하기 위해 복수의 센서들 및 많은 양의 데이터를 사용할 수 있다. 시스템들은 데이터, 센서들, 및/또는 모델을 사용하여, 높은 발생 빈도를 갖는 에러들을 추정 또는 결정하고, 잠재적인 에러들을 에러들이 발생하기 전에 보상할 수 있다. 높은 발생 빈도를 갖는 섭동들 또는 에러들을 보상한 후에, 시스템들은 현재 프린팅 포지션들을 모델과 추가로 비교하여, 보상이 실제로 잠재적인 에러를 보정하였는지 여부를 결정할 수 있고, 필요에 따라 추가적인 조정들을 행할 수 있다. 따라서, 에러들이 발생할 때 에러들을 온-더-플라이 방식으로 보정하는 대신에, 시스템들은 잠재적인 에러들을 발생 전에 사전에 보상하기 위해 기계 학습 알고리즘들을 사용할 수 있다.

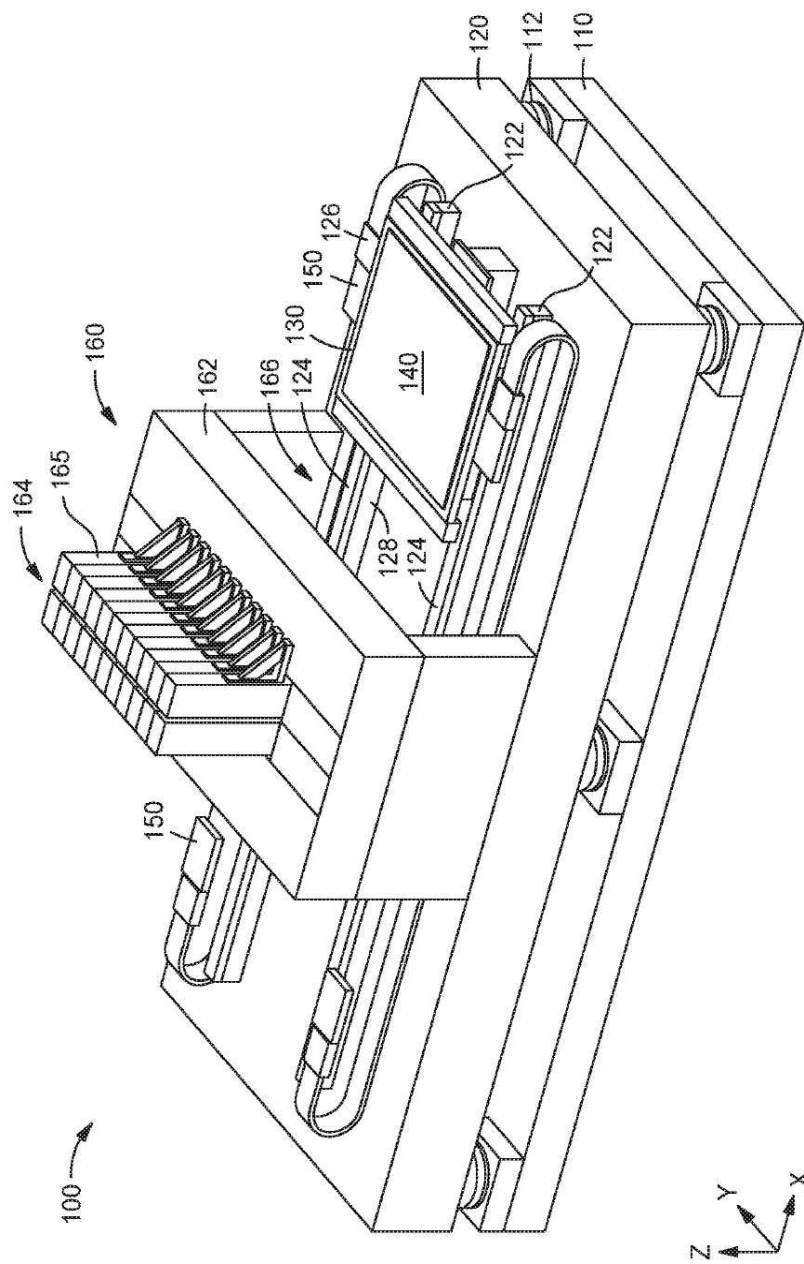
[0050] [0052] 위에서 설명된 방법들을 사용하여, 안정화 기간 동안 발생하는 포지션 섭동들을 추정하기 위해 포토리소그래피 시스템 거동들이 정확하게 모델링 및 교정될 수 있으며, 이는 총 피치 및 오버레이 보정 반복성을 향상시킨다. 그런 다음, 모델들은, 디지털 마스크를 조정함으로써 시스템들의 후속 안정화 기간들 동안 온-더-플라이 방식으로 오버레이 및 총 피치 에러들을 보정하는 데 사용될 수 있다. 추가적으로, 시스템들에 많은 양의 데이터가 이용가능하면, 시스템들은 모델 가이드를 갖는 기계 학습 모델을 사용하여, 에러들의 발생 전에 잠재적인 포지션 섭동들 또는 에러들을 사전에 보상할 수 있다.

[0051] [0053] 동적 포지션 보정들을 위해 모델들을 활용하는 것은 값 비싼 하드웨어 솔루션들을 제거하거나 감소시킬 수 있다. 모델들은, 포지션 보정들이 디지털 마스크들에 적용되기 때문에, 동적 포지션 보정들을 위해 용이하게 사용될 수 있다. 더욱이, 모델들이 소프트웨어-기반 솔루션이기 때문에, 이전에 포함되지 않았거나 커버되지 않았던 새로운 영향들을 포함하도록 또는 초기에 이용가능하지 않았던 추가적인 센서들을 포함하도록 새로운 모델 형태들이 개발될 수 있다. 이에 따라, 포토리소그래피 시스템들은 포토리소그래피 시스템들의 안정화 기간들 동안의 플레이트들 또는 기판들의 노출들에 대해 정확하게 활용될 수 있다.

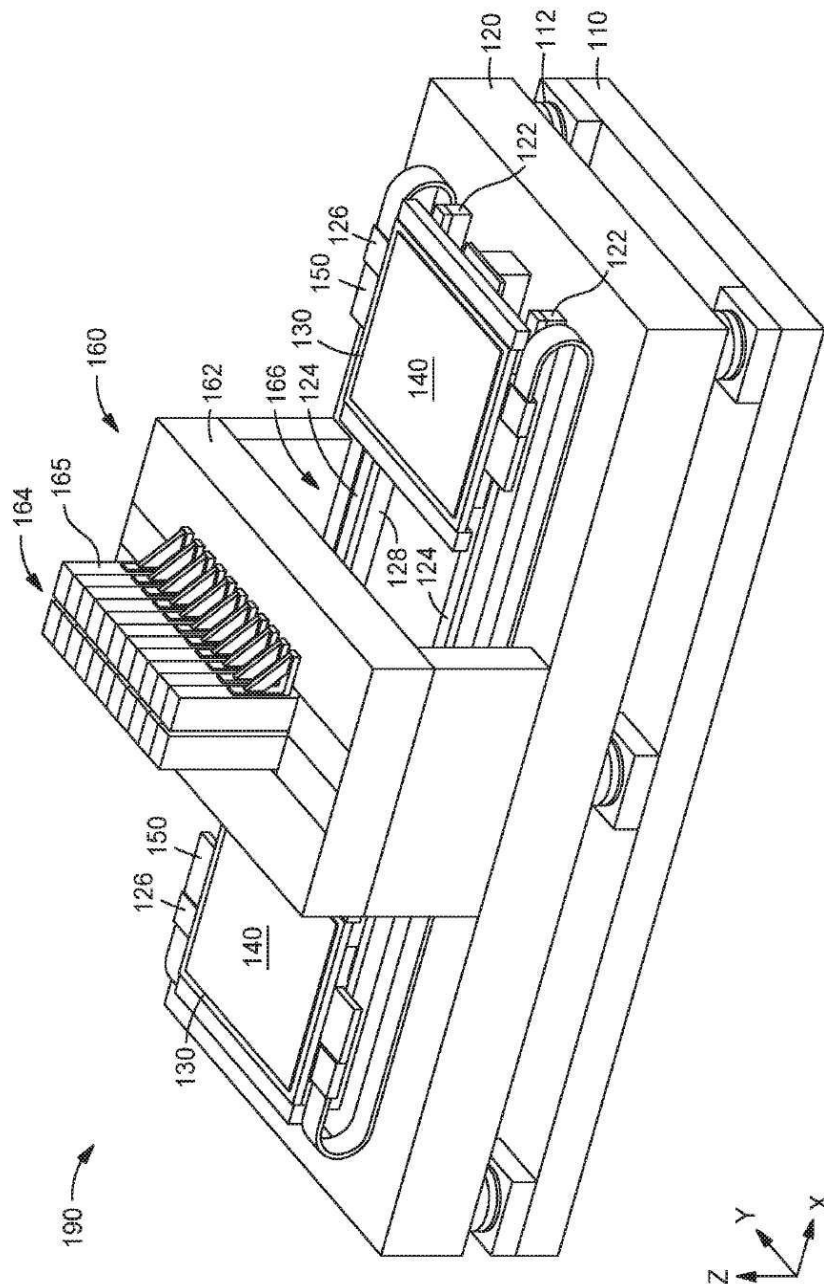
[0052] [0054] 전술한 바가 본 개시내용의 실시예들에 관한 것이지만, 본 개시내용의 다른 그리고 추가적인 실시예들이, 본 개시내용의 기본적인 범위를 벗어나지 않으면서 안출될 수 있으며, 본 개시내용의 범위는 다음의 청구항들에 의해 결정된다.

도면

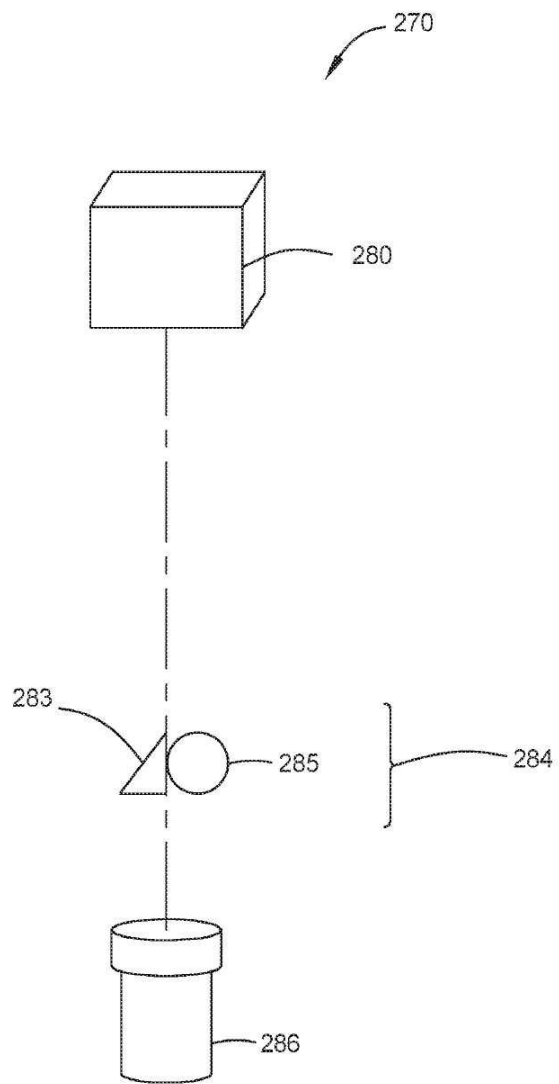
도면1a



도면1b

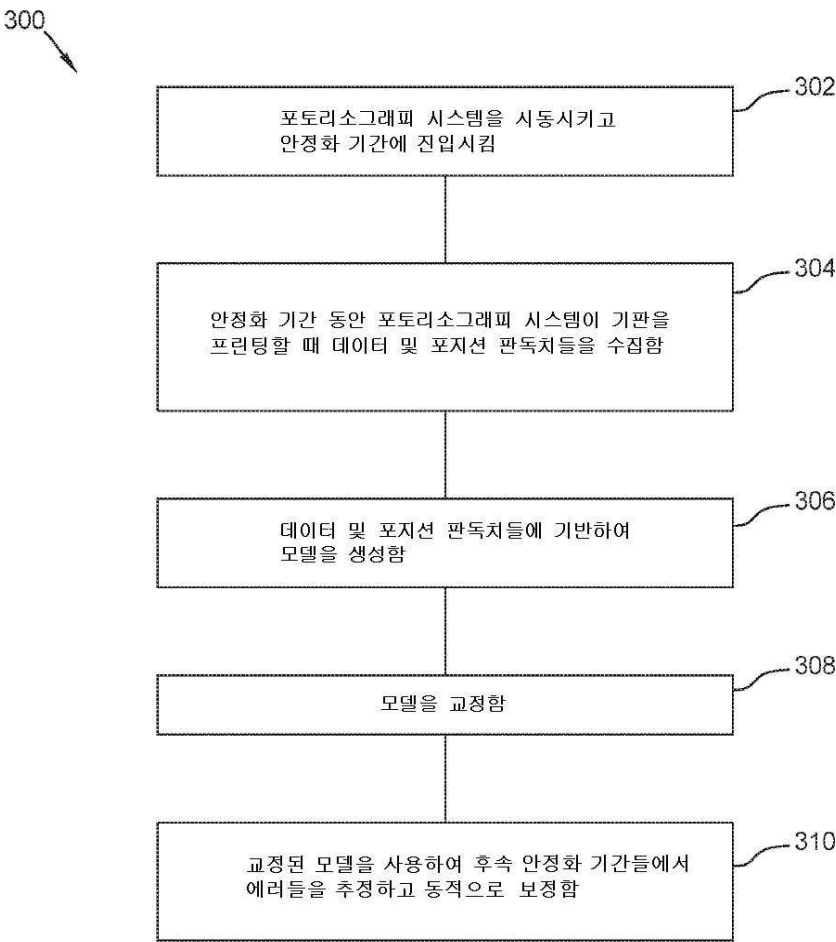


도면2

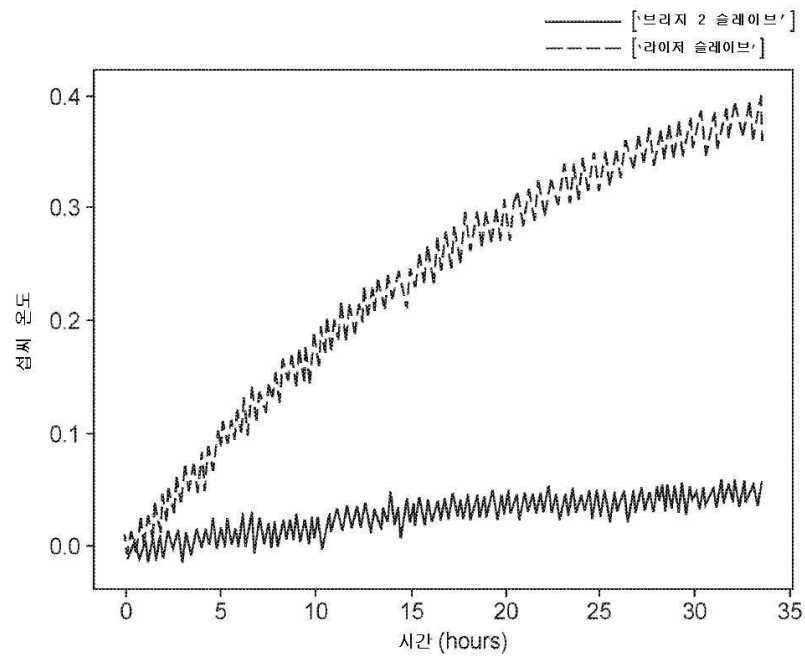




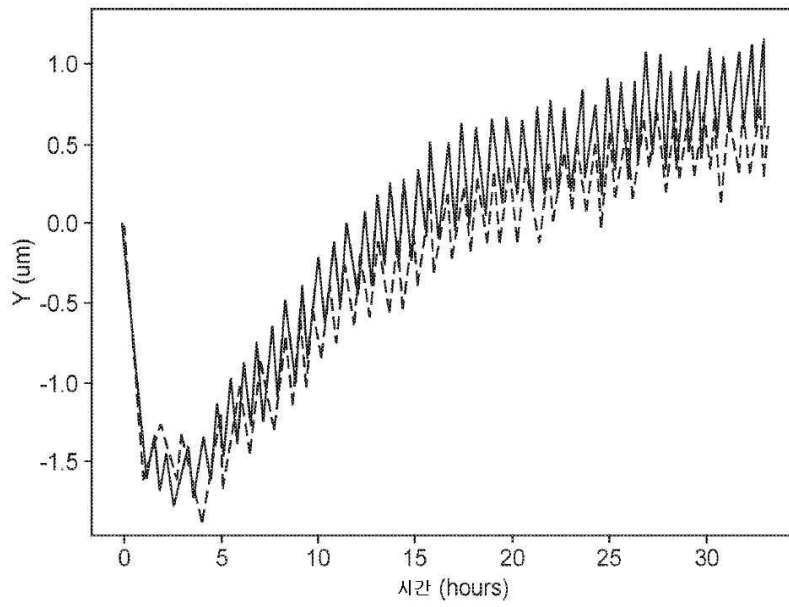
도면3



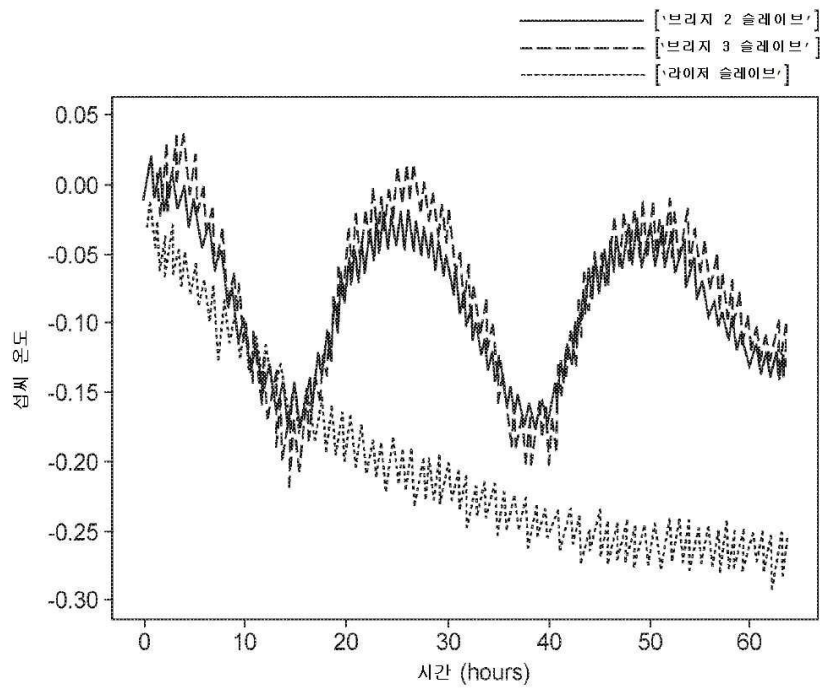
도면4a



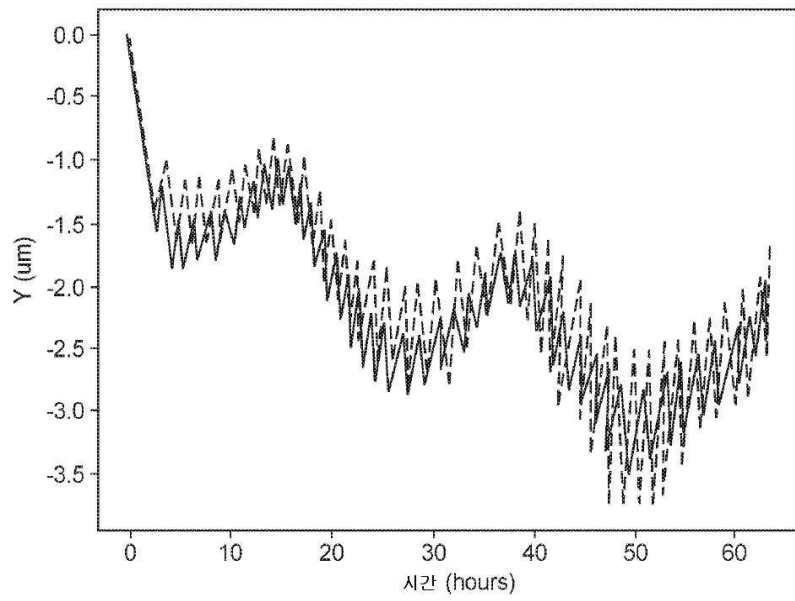
도면4b



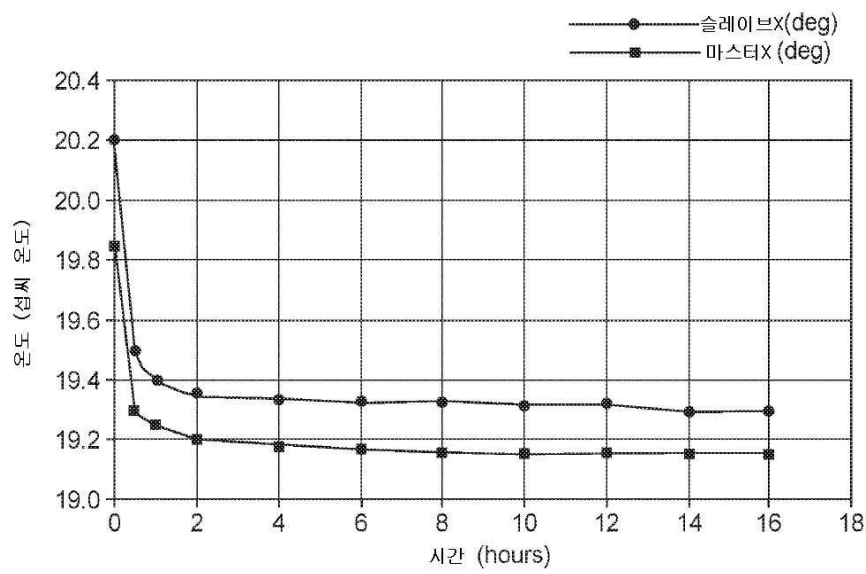
도면4c



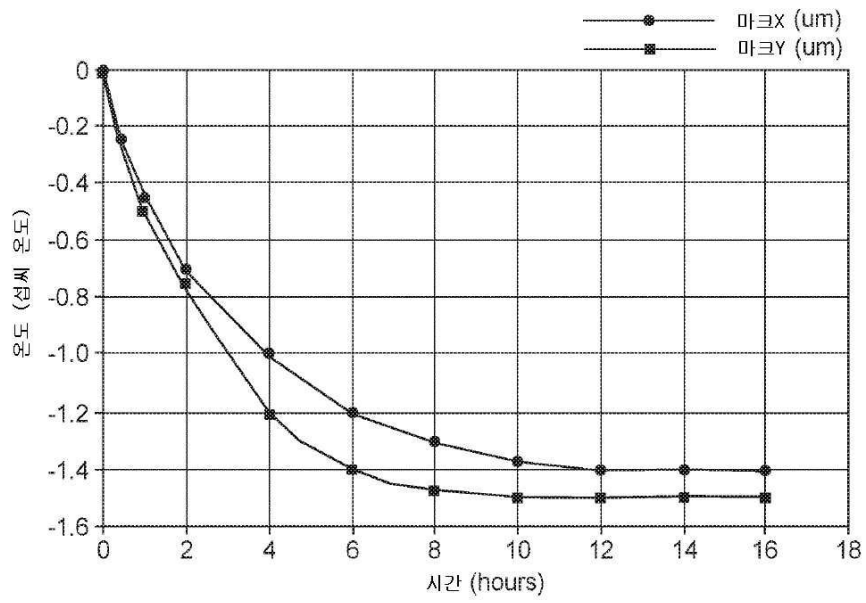
도면4d



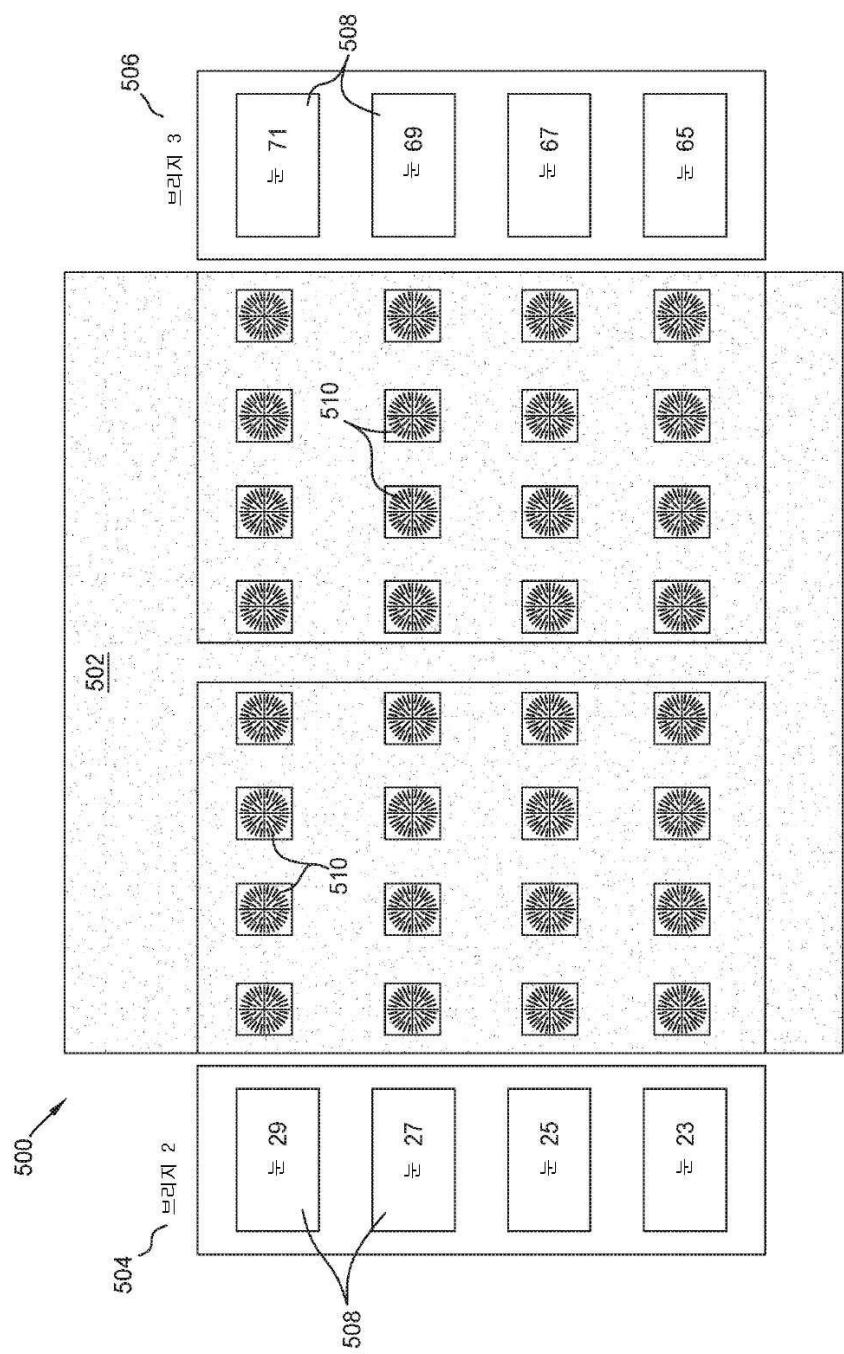
도면4e



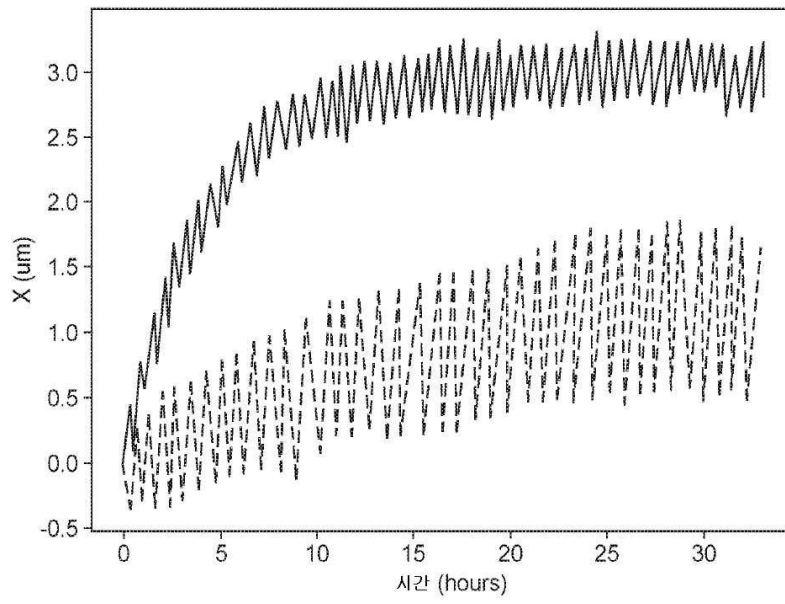
도면4f



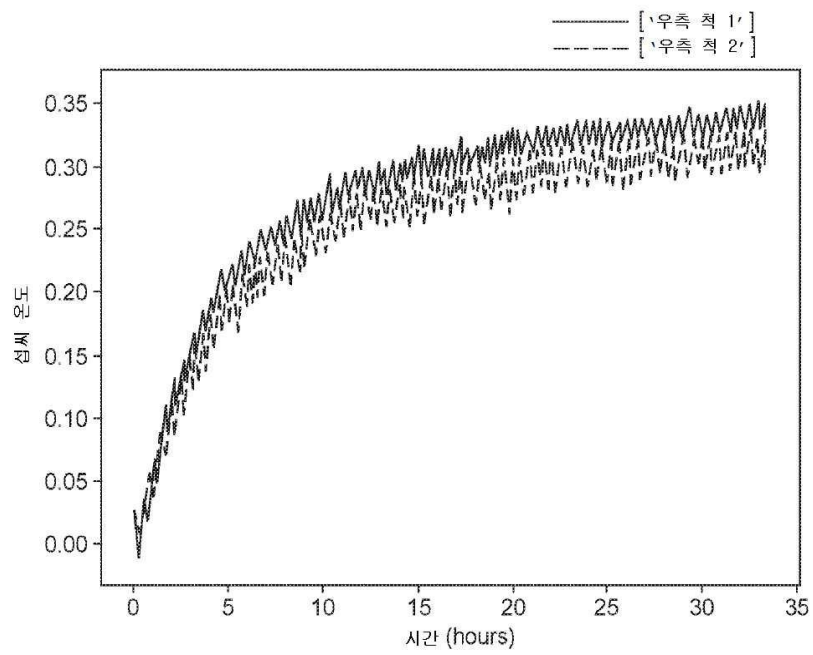
도면5



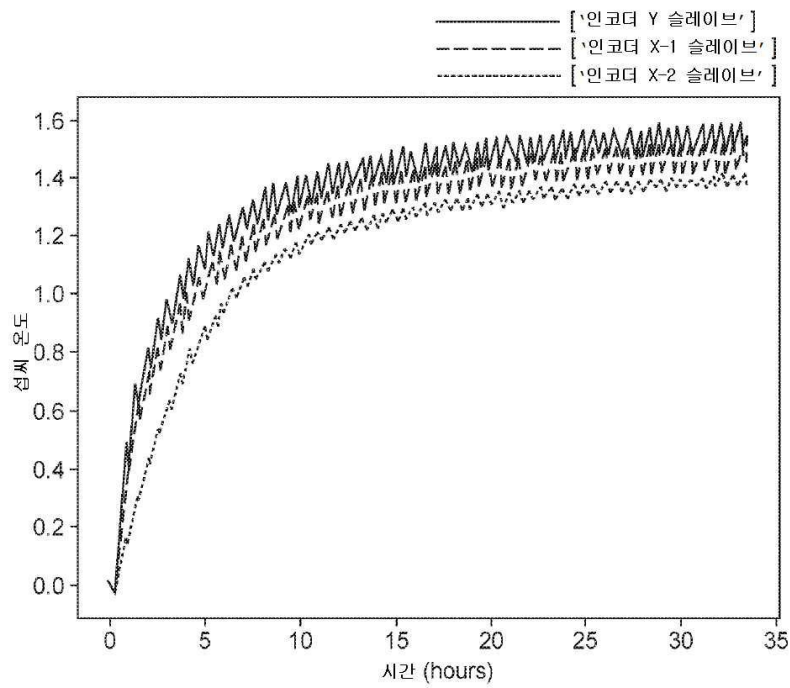
도면6a



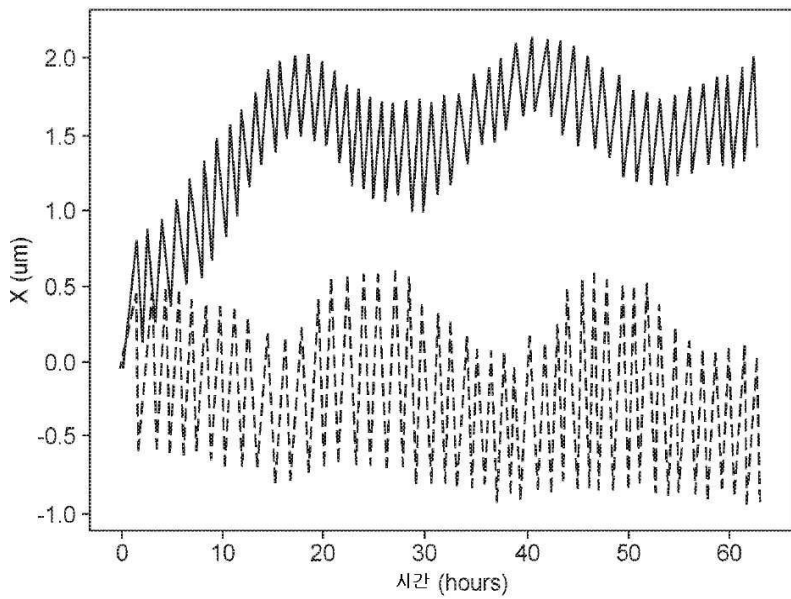
도면6b



도면6c

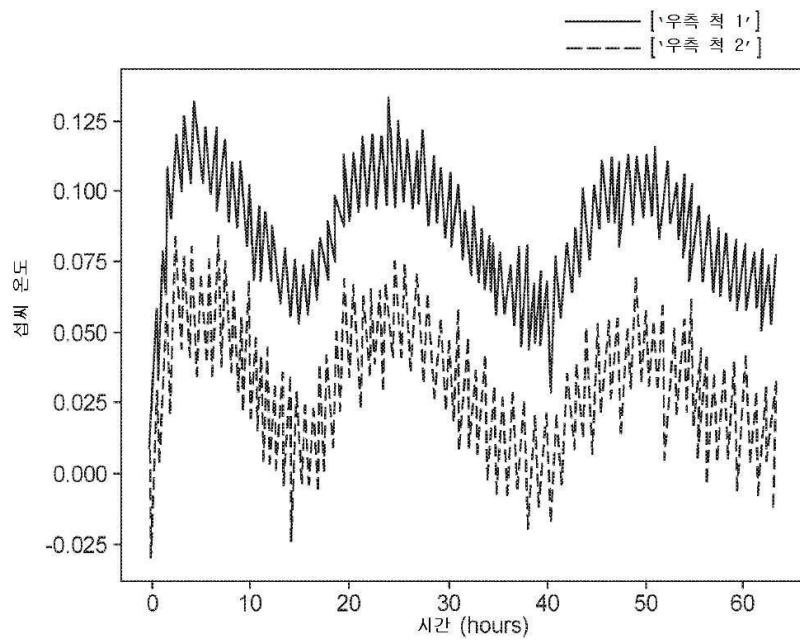


도면7a





도면7b



도면7c

