



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0138475
(43) 공개일자 2023년10월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 7/00 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G03F 7/70504 (2023.05)
G03F 7/70525 (2023.05)
(21) 출원번호 10-2023-7026775
(22) 출원일자(국제) 2021년11월08일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2023년08월07일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2021/080878
(87) 국제공개번호 WO 2022/171321
국제공개일자 2022년08월18일
(30) 우선권주장
10 2021 201 258.2 2021년02월10일 독일(DE)

(71) 출원인
칼 짜이스 에스엠테 게엠베하
독일 73447 오버코헨 루돌프-에버-슈트라세 2
(72) 발명자
헬베크 디르크
독일 89129 랑게나우 암젤베크 2
(74) 대리인
양영준, 노대웅

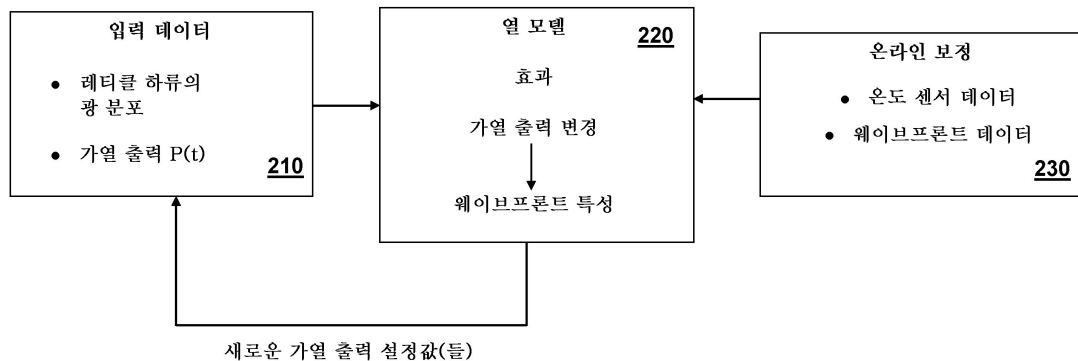
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 마이크로리소그래피 투영 노광 장치에서 광학 요소를가열하는 방법 및 광학 시스템

(57) 요약

본 발명은 마이크로리소그래피 투영 노광 장치에서 광학 요소를 가열하는 방법 및 광학 시스템에 관한 것이다. 마이크로리소그래피 투영 노광 장치에서 광학 요소를 가열하는 방법에서, 가열 배열(25)을 사용하여 광학 요소에 가열 출력이 도입되고, 상기 가열 출력은 설정값에 기초하여 조절되고, 상기 설정값은 투영 노광 장치(1)의 동작 중에 시간에 따라 변화되고, 가열 출력에 대한 설정값의 변화는 광학 요소의 열적 거동에 대한 모델에 기초하여 그 실제 값에 관하여 가열 출력 변경의 효과의 시뮬레이션을 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G03F 7/70891 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

마이크로리소그래피 투영 노광 장치에서 광학 요소를 가열하는 방법이며, 가열 배열(25)을 사용하여 가열 출력이 광학 요소에 도입되고, 이 가열 출력은 설정값에 기초하여 제어되고, 이 설정값은 투영 노광 장치의 동작 중에 시간에 따라 변화되고, 가열 출력에 대한 설정값의 변화는 광학 요소의 열적 거동에 대한 모델에 기초하여 그 실제 값에 비해 가열 출력 변경의 각각의 효과의 시뮬레이션을 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 설정값은 투영 노광 장치(1)에 현재 설정된 조명 설정을 고려하여 변화되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 설정값은 투영 노광 장치에서 현재 사용되는 레티클(7)을 고려하여 변화되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 설정값은 투영 노광 장치(1)의 미리 결정된 평면에 현재 존재하는 강도 분포의 측정에 기초하여 변화되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 이 모델은 광학 요소의 재료에서 제로 크로싱 온도의 기지의 공간 분포를 고려하여 생성되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 인공 지능 방법을 사용하여 모델이 생성되고, 모델은 학습 단계에서 다수의 훈련 데이터를 사용하여 훈련되고, 훈련 데이터는 가열 출력의 값 및 이러한 값에 할당된 투영 노광 장치(1)의 웨이브프론트 특성을 각각 포함하는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 이들 훈련 데이터는 투영 노광 장치(1)의 상이한 동작 조건에 대해 예상되는 웨이브프론트 특성의 모델 기반 시뮬레이션에 기초하여 적어도 부분적으로 제공되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 8

제6항 또는 제7항에 있어서, 이들 훈련 데이터는 상이한 동작 조건에 대해 투영 노광 장치(1)에서 측정된 웨이브프론트 특성에 기초하여 적어도 부분적으로 제공되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 광학 요소는 광학 요소에서 온도 분포의 공간적 및/또는 시간적 변화가 감소되는 방식으로 가열되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 광학 요소는 투영 노광 장치(1)의 다른 곳에서 발생한 광학 수차가 적어도 부분적으로 보상되는 방식으로 가열되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 광학 요소는 거울(M1-M6)인 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서, 광학 요소는 30 nm 미만, 특히 15 nm 미만의 동작 파장에 대해 설계되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 13

마이크로리소그래피 투영 노광 장치의 광학 시스템이며,

적어도 하나의 광학 요소;

이 광학 요소를 가열하는 가열 배열(25); 및

설정값에 기초하여 가열 배열에 의해 광학 요소에 도입된 가열 출력의 페루프 제어를 위한 제어 유닛으로서, 이 설정값은 광학 시스템의 동작 중에 시간에 따라 변화되고 가열 출력에 대한 설정값의 변화는 광학 요소의 열적 거동에 대한 모델에 기초하여 그 실제 값에 비해 가열 출력 변경의 각각의 효과의 시뮬레이션을 포함하는, 제어 유닛을 포함하는, 광학 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서, 제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 수행하도록 구성되는 것을 특징으로 하는, 광학 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 2021년 2월 10일자로 출원된 독일 특허 출원 DE 10 2021 201 258.2의 우선권을 주장한다. 이 DE 출원의 내용은 본 출원 명세서에 참조로 포함된다.

[0002] 본 발명은 마이크로리소그래피 투영 노광 장치에서 광학 요소를 가열하는 방법 및 광학 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 마이크로리소그래피는, 예를 들어 집적 회로 또는 LCD와 같은 미세구조 컴포넌트를 생산하는 데 사용된다. 마이크로리소그래피 프로세스는 조명 디바이스 및 투영 렌즈를 갖는 투영 노광 장치로서 공지된 것에서 수행된다. 조명 디바이스에 의해 조명된 마스크(=레티클)의 이미지는 이 경우 마스크 구조를 기관의 감광성 코팅으로 전사하기 위해 투영 렌즈의 이미지 평면에 배열되며 감광층(포토레지스트)으로 코팅되는 기관(예를 들어, 실리콘 웨이퍼) 상으로 투영 렌즈에 의해 투영된다.

[0004] EUV 범위에 대하여 설계된, 즉, 예를 들어 대략 13 nm 또는 대략 7 nm의 파장에서 설계된 투영 렌즈에서는, 적절한 광 투과성 굴절 재료의 가용성 부족으로 인해 결상 프로세스의 광학 컴포넌트로서 거울을 사용한다.

[0005] 실제로 발생하는 한 가지 문제는, 다른 이유 중에서도 EUV 광원에 의해 방출된 방사선 흡수의 결과로서, EUV 거울이 가열되고 연관 열 팽창 또는 변형을 겪게 되어, 결국 광학 시스템의 결상 특성에 악영향을 미칠 수 있다는 점이다.

[0006] EUV 거울로의 열 입력 및 그와 연관된 광학 수차에 의해 야기된 표면 변형을 피하기 위한 다양한 접근법이 공지되어 있다.

[0007] 특히, 초저 열 팽창 재료("Ultra Low Expansion Material"), 예를 들어 ULETM라는 이름으로 Corning Inc.에 의해 시판되는 티타늄 실리케이트 유리를 거울 기관 재료로 사용하고, 광학적 유효 표면 근방의 영역에서 제로 크로싱(zero-crossing) 온도로 알려진 온도를 설정하는 것이 공지되어 있다. 예를 들어, ULETM의 경우 약 J= 30 °C인 이 제로 크로싱 온도에서, 열 팽창 계수는 그 온도 의존성에 있어서 제로 크로싱을 갖고 그 근방에서는 거울 기관 재료의 열 팽창이 없거나 또는 무시해도 될 정도의 열 팽창만 발생한다.

[0008] EUV 거울로의 열 입력에 의해 야기되는 표면 변형을 피하기 위한 가능한 추가 접근법은 예를 들어 적외선 방사에 기초한 가열 배열(heating arrangement)의 사용을 포함한다. 이러한 가열 배열로, 능동 거울 가열은 EUV 사

용 방사선의 비교적 낮은 흡수 단계에서 발생할 수 있으며, 상기 능동 거울 가열은 EUV 사용 방사선의 흡수가 증가함에 따라 상응하게 감소된다. 이 경우 하나 이상의 온도 센서가 EUV 거울에 부착될 수 있으며, 가열 배열에 의해 각각의 EUV 거울에 도입된 가열 출력(heating power)은 관련 온도 센서의 위치에서 달성된 온도에 대한 설정값에 기초하여 제어된다.

[0009] 그러나, 실제로는, 거울의 광학 유효 표면에 대해 변화하는 강도를 갖는 조명 설정의 사용으로 인해, 그리고 각각의 센서 위치에서 측정된 온도가 실제 표면 온도를 "추행(trail)"하는 환경으로 인해, 전술한 가열 출력 제어 가 궁극적으로 원치 않는 열 입력과 이에 수반되는 표면 변형 또는 광학 수차를 충분히 피하지 못하는 결과로 된다는 점에서, EUV 거울의 광학 유효 표면에 대한 궁극적으로 관련된 온도와는 상이한 각각의 온도 센서의 위치에서 측정된 온도의 효과에 추가적인 문제가 발생한다.

[0010] 종래 기술과 관련하여, 단지 예로서, DE 10 2017 207 862 A1, DE 10 2013 204 427 A1 및 DE 10 2017 205 405 A1을 참조한다.

발명의 내용

[0011] 본 발명의 목적은 마이크로리소그래피 투영 노광 장치에서 광학 요소를 가열하는 방법 및 광학 시스템을 제공하는 것으로, 광학 요소로의 열 입력에 의해 야기되는 표면 변형 및 이에 수반되는 광학 수차의 효과적인 회피를 가능하게 한다.

[0012] 이 목적은 제각기 대안적인 독립 특허 청구항의 특징에 따른 방법 및 광학 시스템에 의해 달성된다.

[0013] 마이크로리소그래피 투영 노광 장치에서 광학 요소를 가열하는 방법에서, 가열 배열을 사용하여 가열 출력이 광학 요소에 도입되며, 이 가열 출력은 설정값에 기초하여 제어되고, 이 설정값은 투영 노광 장치의 동작 중에 시간에 따라 변화되며, 가열 출력에 대한 설정값의 변화는 광학 요소의 열적 거동에 대한 모델에 기초하여 그 실제 값에 비해 가열 출력 변경의 각각의 효과의 시뮬레이션을 포함한다.

[0014] 본 발명은 특히 관련 투영 노광 장치의 동작 중에 시간에 따라 가변적으로 설정된 설정값에 기초하여 가열 배열에 의해 마이크로리소그래피 투영 노광 장치의 광학 요소에 도입된 가열 출력의 동적 페루프 제어를 실현하여, 광학 시스템 또는 투영 노광 장치의 상이한 동작 상태를 설명하거나 또는 광학 시스템의 동작 중에 이와 관련하여 이용 가능한 정보를 고려하는 개념에 기초한다.

[0015] 본 발명은 특히 모델 지원(model-aided) 방식으로 각각의 (실제) 값에 비해 가열 배열에 의해 광학 요소에 도입된 가열 출력 변경의 효과를 결정한 다음, 이렇게 결정된 효과에 따라, 임의적으로 광학 시스템의 동작 중에 상기 페루프 제어를 위한 새로운 가열 출력 설정값을 지정하는 원리를 포함한다. 이 경우에, 앞서 설명한 가열 출력 변경의 효과는 특히 광학 시스템의 각각의 웨이브프론트 특성(예를 들어, 마이크로리소그래피 투영 노광 장치의 투영 렌즈의 이미지 또는 웨이퍼 평면에 제공된 웨이브프론트)과 관련될 수 있다. 더욱이, 각각의 가열 출력의 변경 효과에 대한 모델 지원 결정은 관련 광학 시스템에 대한 광학 순방향 전파의 구현을 포함할 수 있다.

[0016] 또한, 특정 평면(예를 들어, 투영 렌즈의 웨이퍼 평면)에서 광학 시스템에 의해 제공되는 웨이브프론트가 또한 측정될 수 있다. 특히, 상응하는 측정 결과는 앞서 설명한 순방향 전파 또는 상기 모델의 보정에 사용될 수 있다.

[0017] 그 결과, 광학 시스템의 동작 중에 시간에 따라 변화하는 설정값에 기초하는 가열 출력의 본 발명에 따른 페루프 제어는 광학 시스템의 실제로 존재 및 변동하는 동작 상태에 대한 각각의 가열 프로세스의 동적 적응에 사용될 수 있으며, 특히 각각의 경우에 열 상태의 온라인 시뮬레이션 및 앞으로의 전파가 수행될 수 있다.

[0018] 실시예에 따르면, 현재 투영 노광 장치에 설정된 조명 설정을 고려하여 설정값이 변화된다.

[0019] 실시예에 따르면, 투영 노광 장치에서 현재 사용되는 레티클을 고려하여 설정값이 변화된다.

[0020] 실시예에 따르면, 투영 노광 장치의 미리 결정된 평면에 현재 존재하는 강도 분포의 측정에 기초하여 설정값이 변화된다.

[0021] 실시예에 따르면, 광학 요소의 재료에서 제로 크로싱 온도의 기지의 공간 분포를 고려하여 모델이 생성된다.

[0022] 실시예에 따르면, 인공 지능 방법을 사용하여 모델이 생성되고, 모델은 학습 단계에서 다수의 훈련 데이터를 사용하여 훈련되고, 훈련 데이터는 가열 출력의 값 및 이러한 값에 할당된 투영 노광 장치의 웨이브프론트 특성을

각각 포함한다.

- [0023] 실시예에 따르면, 이들 혼련 데이터는 투영 노광 장치의 상이한 동작 조건에 대해 예상되는 웨이브프론트 특성의 모델 기반 시뮬레이션에 기초하여 적어도 부분적으로 제공된다.
- [0024] 추가의 실시예에 따르면, 이들 혼련 데이터는 상이한 동작 조건에 대해 투영 노광 장치에서 이전에 측정된 웨이브프론트 특성에 기초하여 적어도 부분적으로 제공된다.
- [0025] 실시예에 따르면, 광학 요소는 광학 요소에서 온도 분포의 공간적 및/또는 시간적 변화가 감소되는 방식으로 가열된다.
- [0026] 실시예에 따르면, 광학 요소는 투영 노광 장치의 다른 곳에서 발생한 광학 수차가 적어도 부분적으로 보상되는 방식으로 가열된다.
- [0027] 실시예에 따르면, 광학 요소는 거울이다.
- [0028] 실시예에 따르면, 광학 요소는 30 nm 미만, 특히 15 nm 미만의 동작 파장에 대해 설계된다.
- [0029] 본 발명은 또한 적어도 하나의 광학 요소, 이 광학 요소를 가열하기 위한 가열 배열, 및 설정값에 기초하여 가열 배열에 의해 광학 요소에 도입된 가열 출력의 펄스폭 제어를 위한 제어 유닛을 갖는 마이크로리소그래피 투영 노광 장치의 광학 시스템에 관한 것이기도 하며, 이 설정값은 광학 시스템의 동작 중에 시간에 따라 변화되고 가열 출력에 대한 설정값의 변화는 광학 요소의 열적 거동에 대한 모델에 기초한 그 실제 값에 비해 가열 출력 변경의 각각의 효과의 시뮬레이션을 포함한다.
- [0030] 실시예에서, 광학 시스템은 앞서 설명한 특징을 갖는 방법을 수행하도록 구성된다. 광학 시스템의 이점 및 추가의 바람직한 구성에 관하여, 본 발명에 따른 방법과 관련하여 상기의 설명을 참조한다.
- [0031] 본 발명의 추가의 구성은 상세한 설명 및 종속항으로부터 명백하다.
- [0032] 본 발명은 첨부 도면에 예시된 예시적인 실시예에 기초하여 아래에서 더 구체적으로 설명된다.

도면의 간단한 설명

- [0033] 도 1은 EUV에서 동작하도록 설계된 마이크로리소그래피 투영 노광 장치의 가능한 구조의 개략도를 도시하고; 도 2는 광학 요소를 가열하기 위한 본 발명에 따른 방법의 기본적인 가능한 절차를 설명하기 위한 매우 단순화된 도면을 도시하고; 도 3은 도 2에 따른 방법으로 수행되는, 새로운 가열 출력 설정값을 결정하기 위한 모델 기반 온라인 시뮬레이션의 가능한 절차를 설명하기 위한 도면을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 도 1은 EUV에서 동작하도록 설계되고 본 발명이 예로서 실현될 수 있는 투영 노광 장치(1)의 개략도를 도시한다.
- [0035] 도 1에 따르면, 투영 노광 장치(1)는 조명 디바이스(2) 및 투영 렌즈(10)를 포함한다. 조명 디바이스(2)는 조명 광학 유닛(4)을 통해 방사선 소스(3)로부터의 방사선으로 물체 평면(6)의 물체 필드(5)를 조명하는 역할을 한다. 여기서, 물체 필드(5)에 배열된 레티클(7)이 노출된다. 레티클(7)은 레티클 홀더(8)에 의해 유지된다. 레티클 홀더(8)는 레티클 변위 드라이브(9)에 의해 특히 스캐닝 방향으로 변위 가능하다. 설명을 위해, 데카르트 xyz 좌표계가 도 1에 도시되어 있다. x 방향은 도면의 평면에 수직으로 후방으로 뻗는다. y 방향은 수평방향으로 뻗고, z 방향은 수직방향으로 뻗는다. 스캐닝 방향은 도 1에서 y 방향을 따라 뻗는다. z 방향은 물체 평면(6)에 수직으로 뻗는다.
- [0036] 투영 렌즈(10)는 물체 필드(5)를 이미지 평면(12)의 이미지 필드(11)로 결상하는 역할을 한다. 레티클(7) 상의 구조는 이미지 평면(12)의 이미지 필드(11) 구역에 배열된 웨이퍼(13)의 감광층 상에 결상된다. 웨이퍼(13)는 웨이퍼 홀더(14)에 의해 유지된다. 웨이퍼 홀더(14)는 웨이퍼 변위 드라이브(15)에 의해, 특히 y 방향에 대해 종방향으로 변위 가능하다. 첫 번째로 레티클 변위 드라이브(9)에 의한 레티클(7)의 변위 및 두 번째로 웨이퍼 변위 드라이브(15)에 의한 웨이퍼(13)의 변위는 상호 동기화되도록 구현될 수 있다.
- [0037] 방사선 소스(3)는 EUV 방사선 소스이다. 방사선 소스(3)는 특히 EUV 방사선을 방출하며, 이는 아래에서 사용

방사선 또는 조명 방사선으로도 지칭된다. 특히, 사용 방사선은 5 nm 내지 30 nm 범위의 파장을 갖는다. 방사선 소스(3)는 예를 들어 플라즈마 소스, 싱크로트론 기반 방사선 소스 또는 자유 전자 레이저(FEL)일 수 있다. 방사선 소스(3)로부터 방출되는 조명 방사선(16)은 콜렉터(17)에 의해 집중되고 중간 초점면(18)의 중간 초점을 통해 조명 광학 유닛(4)으로 전파된다. 조명 광학 유닛(4)은 편향 거울(19), 및 빔 경로에서 그 하류에 배열된 제1 패킷 거울(20)(개략적으로 표시된 패킷(21)을 가짐) 및 제2 패킷 거울(22)(개략적으로 표시된 패킷(23)을 가짐)을 포함한다.

[0038] 투영 렌즈(10)는 투영 노광 장치(1)의 빔 경로에서 그들의 배열에 따라 연속적으로 번호가 매겨지는 복수의 거울($M_i(i=1, 2, \dots)$)을 포함한다. 도 1에 예시된 예에서, 투영 렌즈(10)는 6개의 거울(M_1 내지 M_6)을 포함한다. 4개, 8개, 10개, 12개 또는 임의의 다른 수의 거울(M_i)을 갖는 대안도 마찬가지로 가능하다. 끝에서 두 번째 거울(M_5)과 마지막 거울(M_6)은 각각 조명 방사선(16)을 위한 관통 개구를 갖는다. 투영 렌즈(10)는 이중으로 가려진 광학 유닛이다. 투영 렌즈(10)는 단지 예로서 0.3보다 더 클 수 있고, 또한 특히 0.5보다 더 클 수 있고, 더욱 특히 0.6보다 더 클 수 있는 이미지측 개구수를 갖는다.

[0039] 마이크로리소그래피 투영 노광 장치(1)의 동작 중에, 거울의 광학적 유효 표면에 입사하는 전자기 방사선은 부분적으로 흡수되고, 서론에서 설명한 바와 같이, 가열 및 연관 열 팽창 또는 변형을 초래하여, 결국 광학 시스템의 결상 특성의 손상을 초래할 수 있다. 예열기를 사용하는 각각의 능동 거울 가열은 서두에 설명된 바와 같이, 이제 사용된 EUV 방사선의 비교적 낮은 흡수 단계에서 일어날 수 있으며, 상기 능동 거울 가열은 사용된 EUV 방사선의 흡수가 증가함에 따라 상응하게 감소된다.

[0040] 본 발명에 따르면, 상응하는 가열 배열에 의해 적어도 하나의 거울에 도입되는 가열 출력은 이제 광학 시스템 또는 투영 노광 장치의 동작 중에 시간에 따라 변화하는 설정값에 기초하여 제어된다. 광학 시스템의 상이한 동작 상태는 이러한 방식으로 설명되고, 광학 시스템의 동작 중에 이용 가능한 정보(예를 들어, 투영 노광 장치에 현재 설정된 조명 설정 또는 투영 노광 장치에서 현재 사용되는 레티클)가 고려된다.

[0041] 가열 배열은 도 1에 개략적으로만 도시되고 "25"로 표시되며, 이 가열 배열(25)은 예에서 거울(M_3)에 가열 출력을 도입하는 데 사용된다. 이 경우에, 본 발명은 가열 출력이 도입되는 방식 또는 이를 위해 사용되는 가열 배열의 구성과 관련하여 추가로 제한되지 않는다. 순전히 예로서, 가열 출력은 적외선 방사기에 의해 또는 전압이 인가될 수 있고 가열될 광학 요소 또는 거울 상에 배열되는 전극에 의해 그 자체가 공지된 방식으로 도입될 수 있다.

[0042] 더욱이, 본 발명은 가열될 광학 요소 또는 거울의 수와 관련하여 추가로 제한되지 않으며, 그 결과 본 발명에 따른 페루프 제어는 단일 광학 요소의 가열에만 적용될 수 있거나 또는 복수의 광학 요소의 가열에 적용될 수 있다.

[0043] 도 2는 처음에 본 발명에 따른 방법의 예시적인 실시예를 설명하기 위한 매우 단순화된 도면을 도시한다.

[0044] 도 2에 따르면, 광학 시스템에 의해 제공되는 웨이브프론트 특성에 관한 각각의 실제 값에 비해 가열 출력 변경의 효과는 시뮬레이션 "온라인"에 의해, 또는 광학 시스템의 동작 중에 모델 기반 방식으로(즉, 광학 요소 또는 거울의 열 상태를 시뮬레이션하는 "열 모델"에 기초하여) 기능 블록(220)에서 결정된다. 가열 출력의 변경의 각각의 효과의 시뮬레이션에 의한 이러한 결정은 기능 블록(210)에 제공된 입력 데이터에 기초하여 도 2에 따라 수행되며, 상기 입력 데이터는 광학 빔 경로와 관련하여 레티클의 하류에 존재하는 광 분포 및 가열 배열에 의해 방사된 현재 가열 출력 $P(t)$ 모두를 포함한다. 특히, 광학 요소의 재료에서 제로 크로싱 온도(= "zero crossing temperature")의 공지된 공간 분포를 고려하여 열 모델이 생성될 수 있다.

[0045] 기능 블록(220)에서 수행되는 각각의 가열 출력의 변경 효과의 결정은 특히 광학 시스템에서 모델 기반 광학 순방향 전파를 포함할 수 있고, 이를 위해 결국 기능 블록(230)에 따라 (예를 들어, 각각의 광학 요소 또는 거울 상에 위치한 적어도 하나의 온도 센서로부터의) 온도 센서 데이터 및 (예를 들어, 웨이퍼 평면의 구역에 위치한 웨이브프론트 센서로부터의) 웨이브프론트 데이터에 기초하여 온라인 보정이 수행될 수 있다.

[0046] 도 3은 광학 시스템의 동작 중에 각각의 새로운 가열 출력 설정값의, 본 발명에 따른 방법 내에서 구현되는, 모델 기반 결정의 보다 상세한 설명을 위한 도면을 도시한다.

[0047] 도 3에 따르면, 각각의 온도 분포, 결과적인 변형, 결과적인 웨이브프론트 영향, 및 결과적인 결상 특성은 기능 블록(220)에 따라 기준으로 사용되는 열 모델을 사용하여 기능 블록(210)에 따른 앞서 설명한 입력 데이터에 기초하여 결정된다. 도 3에 따르면, 이는 기준 경로(240)(도 3의 상부 경로) 및 비교 경로(250)(도 3의 하부 경

로) 모두에서 구현된다. 기존 파라미터(M_i, x, y, z, t_0)에 대한 광학 순방향 전파는 기준 경로(240)에서 수행되지만, 상응하게 변경된 파라미터(M_i, x, y, z, t_k)에 대한 각각의 순방향 전파는 변경된 가열 출력 설정값의 모의 시험에 따라 비교 경로(250)에서 수행된다. 수행된 최적화의 결과로서, 새로운 가열 출력 설정값이 출력되고 가열 배열을 제어하기 위한 기준으로 사용된다.

[0048] 대안적으로, 최적화는 또한 비교 경로에서 메리트 함수와 관련하여 최상의 파라미터를 선택하는 것에 의해서만, 즉 기준 경로의 명시적인 시뮬레이션 없이, 수행될 수 있다. 메리트 함수는 예를 들어 웨이브프론트 수차(W) 또는 코마 또는 비점수차와 같은 각각의 응용에 특히 관련되는 웨이브프론트의 특정한 특성을 최소화할 수 있다. 웨이브프론트 자체가 최적화되면, 웨이브프론트에 기초하여 결상 특성을 계산하는 도 3에 도시된 마지막 단계가 필요하지 않다. 그러나, 웨이브프론트 자체는 종종 가장 관련성이 높은 응용 변수가 아니라 웨이브프론트에서 발생하는 결상 특성이다. 예를 들어, 이는 웨이퍼에 결상된 관련 구조의 구조 크기에 대한 효과(종종 "CD" = "임계 치수(critical dimension)"로 표시됨) 또는 구조의 위치에 대한 효과(즉, "오버레이(overlay)"에 대한 영향)일 수 있다. 이 영향은 시뮬레이션 모델을 사용하거나, 또는 특히 미리 결정된 웨이브프론트 수차에 대한 감도를 사용하여 웨이브프론트로부터 계산될 수 있다. 이러한 수차는 전형적으로 메리트 함수를 사용하여 최소화된다.

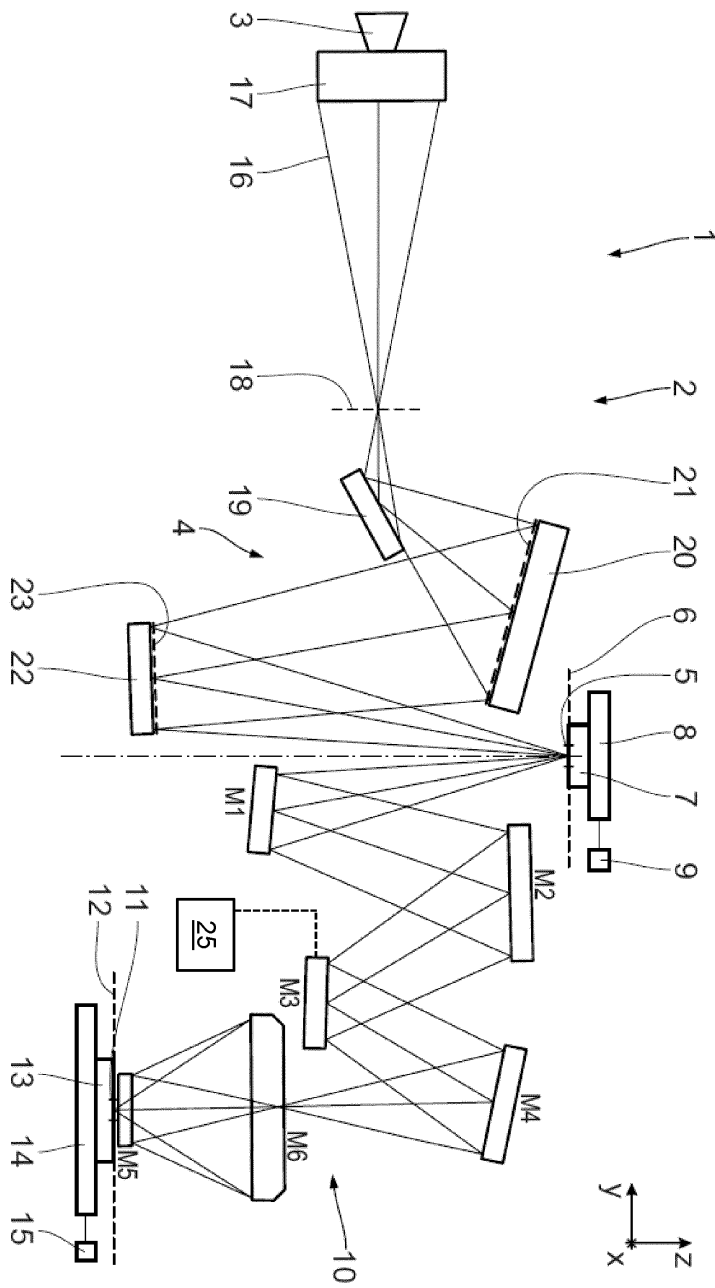
[0049] 실시예에서, 각각의 가열 출력 변경의 효과를 결정하기 위한 기준으로 사용되는 열 모델은 인공지능 방법을 사용하여 생성될 수 있으며, 모델은 학습 단계 동안 다수의 훈련 데이터를 사용하여 훈련된다. 이 훈련 데이터는 제각기 이들 값과 연관된 투영 노광 장치의 가열 출력 및 웨이브프론트 특성에 대한 값을 포함할 수 있고 투영 노광 장치의 상이한 동작 상태에 대해 예상되는 웨이브프론트 특성의 모델 기반 시뮬레이션에 기초하여 및/또는 과거의 상이한 동작 상태에 대해 투영 노광 장치에서 측정된 웨이브프론트 특성에 기초하여 제공될 수 있다. 투영 노광 장치에 대한 측정을 통해 적절한 훈련 데이터를 생성하기 위해, 예를 들어 장치의 시동 중에 목표로 하는 "보정 측정(calibration measurements)"이 수행될 수 있으며, 그 동안 나중의 적용에 대하여 대표적인 것으로 고려되는 측정 파라미터 조합이 변화된다. 특히, 충분히 정확한 시뮬레이션을 사용할 수 없는 경우 측정의 도움으로 훈련이 사용될 수 있다. 예를 들어, 이는 사용 가능한 시뮬레이션 모델 자체 때문이거나 또는 포함된 조건(예를 들어, 거울의 실제 재료 특성 또는 열 주변 조건에 대한 지식)의 제한된 정확도 때문일 수 있다. 반대로, 시뮬레이션 데이터에 의한 훈련은 장치에서 측정 시간이 필요하지 않고 훈련 시에 장치에서 생성될 수 없는 조건을 모델링할 수 있다는 특별한 이점이 있다. 특히, 학습 단계에서 시뮬레이션에서 생성된 데이터에 의한 초기 훈련과 장치 자체의 측정 데이터에 의한 후속 훈련의 조합은 두 훈련 방법의 이점을 조합할 수 있다. 인공지능의 사용은, 특히 본 발명의 가열 출력의 최적화가 바람직하게는 높은 처리량("온라인")으로 장치의 동작 중에 발생하기 때문에 매력적이다. 그 결과 최적화에 필요한 시간과 관련하여 요건이 까다로워지며, 이는 (예를 들어, 복잡한 물리적 시뮬레이션에 비해) 인공지능의 적용 단계에서 전형적인 가속 가능성에 의해 충족될 수 있다.

[0050] 적어도 하나의 광학 요소 또는 거울은 광학 요소의 온도 분포의 공간적 및/또는 시간적 변화를 감소시키기 위해, 또는 이에 수반되는 열적 유도 변형을 감소시키기 위해 본 발명의 하나의 응용에서 가열되지만, 본 발명은 이에 제한되지 않는다. 따라서, 추가의 실시예에서, 적어도 하나의 광학 요소 또는 거울은 또한 투영 노광 장치의 다른 곳에서 발생하는 광학 수차를 적어도 부분적으로 보상하기 위해 가열될 수 있다.

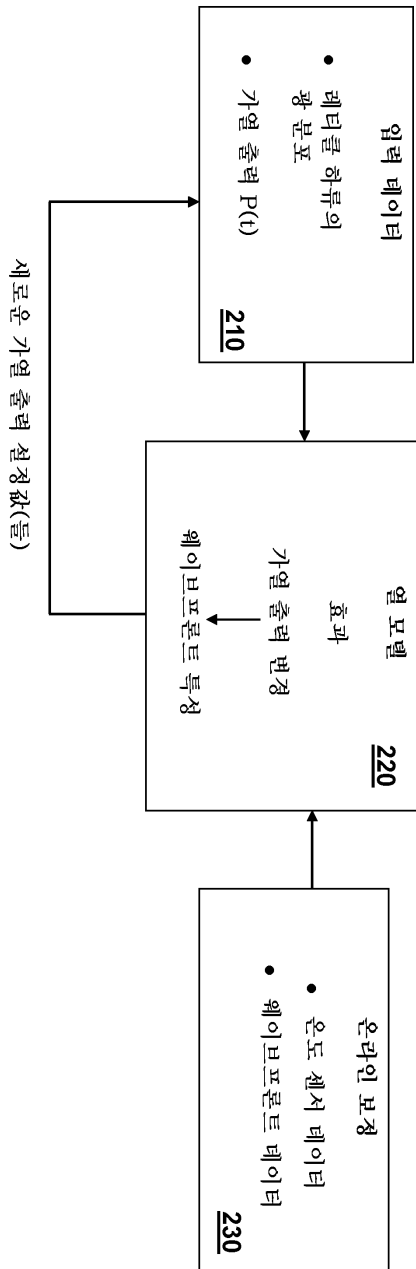
[0051] 본 발명이 또한 특정 실시예에 기초하여 설명되었지만, 예를 들어 개별 실시예의 특징의 조합 및/또는 교환에 의해 다양한 변형 및 대안 실시예가 본 기술 분야의 통상의 기술자에게 명백할 것이다. 따라서, 이러한 변형 및 대안 실시예가 본 발명에 의해 부수적으로 포함되고, 본 발명의 범위가 첨부된 특허 청구범위 및 그 균등물의 의미 내에서만 제한된다는 것은 본 기술 분야의 통상의 기술자에게 말할 필요도 없다.

도면

도면1



도면2



도면3

