(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。Int. Cl.[8]
*H01L 21/027* (2006.01)

(45) 공고일자 2006년02월24일
(11) 등록번호 10-0554256
(24) 등록일자 2006년02월15일

(21) 출원번호 10-2001-0032972
(22) 출원일자 2001년06월12일

(65) 공개번호 10-2001-0112637
(43) 공개일자 2001년12월20일

(30) 우선권주장 00305029.1 2000년06월14일 유럽특허청(EPO)(EP)

(73) 특허권자 에이에스엠엘 네델란즈 비.브이.
네덜란드, 엔엘-5504 디알 벨드호펜, 데 룬 6501

(72) 발명자 데몰크리스티아누스게라르두스마리아
네덜란드엔엘-5691에스엔존엔브로이겔스톡루스스트라트4

카스텐밀러토마스요세푸스마리아
네덜란드엔엘-5616베아르아인트호펜조피아판부르템베르크란48

판디크마르첼
네덜란드엔엘-5653아르데아인트호펜리더잘65

콤미사리스프란시스쿠스안토니우스크리소고누스마리에
네덜란드엔엘-5502테체펠트호펜아인트스트라트18

데그루트지몬
네덜란드엔엘-5612데하아인트호펜옵베텐세몰렌96

판덴엔덴카타리나요한나루치아마리아
네덜란드엔엘-5627엠엘아인트호펜체르보르크란2

(74) 대리인 송재련
김양오

심사관 : 김준학

# (54) 광학 결상 시스템 작동방법, 리소그래피 투영장치,디바이스 제조방법, 및 그것에 의해 제조된 디바이스

요약

본 발명은 리소그래피 투영장치를 작동하는 방법에 있어서, 1 이상의 소정 파라미터 세트에 기초하여, 시간의 함수로서, 가열 효과로 인한, 투영 시스템에 있어서의 수차 효과의 변화를 연산하는 단계; 및 수차 효과에 있어서의 연산된 변화를 보상하기 위하여 리소그래피 투영장치를 조정하는 단계를 포함하는 방법을 제공한다. 상기 파라미터는 1 이상의 미세 교정

에 앞서는 개략적인 교정을 포함할 수 있는 교정 단계에 의해 얻어진다. 개략적인 교정은 적어도 파라미터의 서브세트의 첫번째 예측값을 산출한다. 상기 예측값은 후속하는 미세 교정에서 입력으로 사용될 수 있다. 상기 교정은 또한 단일 미세 교정 단계를 포함할 수도 있다.

## 대표도

도 1

## 명세서

## 도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 실시예에 따른 리소그래피 투영장치를 나타낸 도면.

도 2는 리소그래피 투영장치의 초점 위치에 대한 가열 및 냉각 궤적을 도시하여 포커스 드리프트를 나타낸 그래프.

도 3은 리소그래피 투영장치의 2 개의 상이한 배율 드리프트의 예측을 표현하고 있는 2 개의 가열 궤적을 나타낸 도면. 또한, 측정된 배율 드리프트도 도시됨.

## 발명의 상세한 설명

### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은

- 방사선 투영 빔을 공급하는 방사 시스템;

- 투영 빔을 소정 패턴에 따라 패터닝하는 역할을 하는 패터닝 수단을 지지하는 지지 구조체;

- 기판을 고정시키는 기판 테이블;

- 패터닝된 빔을 기판의 목표영역에 투영하는 투영 시스템을 포함하여 이루어지는 리소그래피 투영장치의 작동방법에 관한 것이다.

여기서 "패터닝 수단(patterning means)"이라는 용어는 입사하는 방사선 빔에 기판의 목표영역에 생성될 패턴에 대응하는 패터닝된 단면을 부여하는 데 사용될 수 있는 수단을 의미하는 것으로서 광범위하게 해석되어야 하며, 본 명세서에서는 "광 밸브(light valve)"라는 용어로도 사용된다. 일반적으로, 상기 패턴은 집적회로 또는 기타 디바이스와 같이 상기 목표영역에 형성될 디바이스내의 특정 기능층에 해당할 것이다(이하 참조). 그러한 패터닝 수단의 예로는 다음과 같은 것들이 포함된다.

- 마스크. 마스크의 개념은 리소그래피 분야에서 이미 잘 알려져 있고, 바이너리(binary)형, 교번 위상-쉬프트(alternating phase-shift)형 및 감쇠 위상-쉬프트형 마스크와 다양한 하이브리드 마스크 유형도 포함된다. 투영 빔 영역내에 이러한 마스크가 놓이면, 마스크의 패턴에 따라 마스크에 입사되는 방사선의 선택적인 투과(투과형 마스크의 경우) 또는 반사(반사형 마스크의 경우)가 이루어진다. 마스크의 경우에 있어서, 지지 구조체는 입사하는 투영 빔 영역내의 소정 위치에 마스크를 고정시키면서 필요한 경우에는 마스크를 상기 빔에 대하여 상대적으로 이동시킬 수 있게 해 주는 마스크 테이블이 될 것이다.

- 프로그래밍 가능한 미러 배열. 이러한 장치의 예로는, 점탄성 제어층(viscoelastic control layer)과 반사면을 구비한 매트릭스-어드레서블 표면이 있다. 이러한 장치의 기본 원리는, (예를 들어) 반사면의 어드레스된 영역에서는 입사광이 회절광으로 반사되는 한편, 어드레스되지 않은 영역에서는 입사광이 비회절광으로 반사되는 것이다. 적절한 필터를 사용하면, 반사된 빔 중에서 상기 비회절광을 필터링하여 회절광만 남게 할 수 있다. 이러한 방식으로, 상기 빔은 상기 매트릭스-어드레서블 표면의 어드레싱 패턴에 따라 패터닝된다. 이때 요구되는 매트릭스 어스레싱은 적절한 전자적 수단을 사용하여

수행될 수 있다. 이러한 미러 배열에 관한 더 많은 정보는, 예를 들어 본 명세서에서 참고자료로 활용되고 있는 미국 특허 US 5,296,891호 및 US 5,523,193호로부터 얻을 수 있다. 프로그래밍 가능한 미러 배열의 경우에 있어서, 상기 지지 구조체는 예컨대 필요에 따라 고정되거나 이동될 수 있는 프레임 또는 테이블로서 구현될 수 있다.

- 프로그래밍 가능한 LCD 배열. 이러한 구조의 일례는 본 명세서에서 참고자료로 활용되고 있는 미국 특허 US 5,229,872호에 있다. 이 경우에도 상술한 바와 마찬가지로 지지 구조체는 예컨대 필요에 따라 고정되거나 이동될 수 있는 프레임 또는 테이블로서 구현될 수 있다.

설명을 간단히 하려는 목적에서, 본 명세서의 나머지 부분 중 어느 곳에서는 그 자체가 마스크 및 마스크 테이블을 포함하는 예시적인 용어로서 지칭될 수도 있다. 하지만, 그러한 예시에서 논의된 일반적인 원리는 상술한 바와 같은 패터닝 수단의 광의의 개념으로 이해되어야 한다.

예컨대, 리소그래피 투영장치는 집적회로(IC)의 제조에 사용될 수 있다. 이 경우에, 패터닝 수단은 집적회로의 개별층에 대응되는 회로패턴을 만들어낼 수 있고, 이 패턴은 방사선 감지물질(레지스트)층으로 도포된 기판(실리콘 웨이퍼)상의 (1이상의 다이로 이루어진) 목표영역에 결상될 수 있을 것이다. 일반적으로 한 장의 웨이퍼에는 목표영역들이 인접해 있는 전체적인 네트워크가 형성되며, 이들 목표영역은 마스크를 통해 한번에 하나씩 연속적으로 조사된다. 마스크 테이블상의 마스크에 의한 패터닝을 채용하는 근래의 장치는 두 가지 형태의 장치로 구분할 수 있다. 일 형태의 리소그래피 투영장치에서는 한 번에 목표영역상에 전체 마스크 패턴을 노광함으로써 각 목표영역이 조사되는데, 이러한 장치를 통상 웨이퍼 스테퍼(wafer stepper)라고 한다. 통상 스텝-앤드-스캔 장치(step-and-scan apparatus)로 불리워지는 대체장치에서는 투영빔 하에서 소정의 기준방향("스캐닝" 방향)으로 레티클 패턴을 점진적으로 스캐닝하는 한편, 상기 스캐닝 방향과 같은 방향 또는 반대 방향으로 웨이퍼 테이블을 동기화시켜 스캐닝함으로써 각 목표영역이 조사된다. 일반적으로 투영 시스템은 배율인자(magnification factor:M)(일반적으로 <1)를 가지므로 웨이퍼 테이블이 스캐닝되는 속도(V)는 레티클 테이블이 스캐닝되는 속도의 인자 M배가 된다. 여기에 서술된 리소그래피 장치와 관련된 보다 상세한 정보는 본 명세서에서 참조하고 있는 US 6,046,792호에서 찾을 수 있다.

리소그래피 투영장치를 사용하는 제조 공정에서, 패턴(예를 들어, 마스크 패턴)은 방사선 감지재료(레지스트)층이 최소한의 부분에라도 도포된 기판상에 결상된다. 이 결상단계(imaging step)에 앞서, 기판은 전처리(priming), 레지스트 도포 및 소프트 베이크와 같은 다양한 절차를 거칠 수 있다. 노광후에는, 노광후 베이크(PEB), 현상, 하드 베이크 및 결상된 피처의 측정/검사와 같은 또 다른 절차를 거칠 것이다. 이러한 일련의 절차는, 예를 들어 IC와 같은 디바이스의 개별 층을 패터닝하는 기초로서 사용된다. 그런 다음, 이렇게 패터닝된 층은 에칭, 이온주입(도핑), 금속화, 산화, 화학-기계적 연마 등과 같은 개별층을 마무리하기 위한 다양한 모든 공정을 거친다.

여러 층이 요구된다면, 새로운 층마다 전체 공정 또는 그 변형 공정이 반복되어져야만 할 것이다. 리소그래피 투영장치의 성능에 있어 중요한 국면은 소위 정렬 정확성이다. 종종 수개(수십개)의 패터닝된 층으로 형성되는 IC 제조에 있어서, 여러 개의 쌓여진 각종 층의 오버레이(병치)가 가능한 한 정확하게 되는 것을 보장하는 것이 매우 중요하다. 이러한 목적을 위하여, 작은 기준 마크가 웨이퍼상의 1 이상의 위치에 제공되어 좌표 시스템의 원점을 웨이퍼상에 형성하고, 광학 및 전자 수단(이하 "정렬 시스템"이라함)을 이용하면, 이 마크는 새로운 층이 현존하는 층상에 병치되어야 할 때마다 재위치될 수 있고, 정렬 기준으로서 사용될 수 있다.

종국에는, 디바이스의 배열이 기판(웨이퍼)상에 존재하게 될 것이다. 이들 디바이스는 다이싱 또는 소잉 등의 기술에 의해 서로 분리된 후에, 각각의 디바이스가 운반 장치에 탑재되고 핀에 접속될 수 있다. 이와 같은 공정에 관한 추가 정보는 예를 들어, "Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing (3판, Peter van Zant 저, McGraw Hill 출판사, 1997, ISBN 0-07-067250-4)" 으로부터 얻을 수 있으며, 본 명세서에서도 참조된다.

설명을 간단히 하기 위해, 상기 투영 시스템은 이후에 "렌즈"라고 언급될 것이다. 하지만 이 용어는 예를 들어, 굴절 광학, 반사 광학 및 카타디옵트릭 시스템을 포함한 다양한 형태의 투영 시스템을 내포하는 것으로서 폭넓게 해석되어야 한다. 또한 상기 방사 시스템은 방사선 투영 빔의 지향, 성형 또는 제어하는 원리들 중의 어느 하나에 따라 동작하는 구성요소를 포함할 수 있고, 이후의 설명에서는 이들 구성요소에 대하여도 집합적으로 또는 개별적으로 "렌즈"라고 언급할 것이다. 또한, 상기 리소그래피 장치는 두 개이상의 기판 테이블(및/또는 두 개이상의 마스크 테이블)을 구비하는 형태가 될 수도 있다. 이러한 "다중 스테이지" 장치에서는, 하나이상의 다른 테이블이 노광을 위하여 사용되고 있는 동안에 하나이상의 테이블을 사용하여 병행 또는 그 예비단계를 수행할 것이다. 예를 들어, US 5,969,441호 및 WO 98/40791호에는 트윈 스테이지 리소그래피 장치가 개시되어 있으며 본 명세서에서 참조된다.

렌즈 가열의 현상은 리소그래피 투영장치의 투영 시스템에서 발생될 수 있다. 투영 렌즈는 노광시 투영 빔의 방사선에 의해 약간 가열된다. 이러한 가열의 결과로서, 굴절율 변화가 발생하고, 렌즈 요소의 소정의 팽창이 발생하며, 그 광학 특성의 부수적인 변화와 함께, 이들 렌즈 요소의 기하학적인 형태의 미묘한 변화를 야기한다. 이것은 렌즈 수차의 신규 발생, 또는 현존하는 수차의 변화를 초래할 수 있다. 이들 수차의 발생 또는 악화는 특정 렌즈 기하학, 렌즈 재질, 투영 파장, 광원력, 목표영역 크기 등의 문제에 의존하기 때문에 상기 현상은 본래 예측 불가능하다.

렌즈 가열은 리소그래피 투영장치에서 항상 어느 정도로 항상 발생해 왔다. 그러나, 하나의 IC에 계속 증가하는 수의 전기 소자가 집적되고 있는 경향과 더불어 제조 스루풋을 증가시키기 위해서는, 3 ~ 6 kW 수은-아크 램프 및 10 내지 20W의 전력을 갖는 엑시머 레이저 등의 고전력 방사원뿐만 아니라, 딥 자외선(deep ultraviolet, DUV) 등의 더 짧은 파장을 갖는 방사선(193㎚ 및 157㎚ 방사선)이 사용되었으며, 이는 피처 크기의 감소와 더불어 렌즈 가열을 더욱 심각한 문제로 만들었다. 이 문제는 일반적으로 스테퍼에서보다 스캐너에서 더 심각한데, 그 이유는 스테퍼에서는 실질적으로 각 렌즈 요소의 전체 (원형) 단면이 조사되는 반면, 스캐너에서는 일반적으로 렌즈 요소의 슬릿형상 부분만이 조사되기 때문이다. 결과적으로 스캐너에서의 효과는 스테퍼에서보다 훨씬 더 차별적(differential)이며, 그로 인해 새로운 렌즈 수차의 발생을 초래한다.

상기 문제들은 렌즈 냉각 재킷(lens cooling jackets)을 사용하는 등의 조치에 의해 만족할 만하게 억제될 수 없다는 것 또한 문제이다.

## 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명의 목적은 상기 문제들을 제거하는 개선된 결상 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

## 발명의 구성 및 작용

따라서, 본 발명은 서두에 기술한 리소그래피 투영 장치를 작동하는 방법으로서,

- 1 이상의 소정 파라미터 세트에 기초하여, 시간의 함수로서, 가열 효과로 인한, 투영 시스템에 있어서의 수차 효과의 변화를 연산하는 단계; 및

- 수차 효과에 있어서의 연산된 변화를 보상하기 위하여 리소그래피 투영장치를 조정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법을 제공한다.

상기 파라미터는 교정 단계(calibration step)에 의해 얻어지는 것이 바람직하다. 교정 단계는 1 이상의 미세 교정(fine calibration)에 앞서는 개략 교정(coarse calibration)을 포함할 수 있고, 상기 개략 교정은 적어도 파라미터의 서브세트의 첫번째 예측값을 산출한다. 상기 첫번째 예측값은 후속하는 미세 교정에서의 입력으로 사용될 수 있다. 그러나, 파라미터의 첫번째 예측값은, 예를 들면 디자인 데이터 또는 실험적인 증명값으로부터 입수될 수도 있다. 후자의 경우에 상기 교정은 단일 (미세) 교정 단계를 포함할 수 있다.

(미세) 교정은 복수의 상이한 조명 설정에서 및/또는 패터닝 수단에 의해 제공된 복수의 상이한 패턴을 가지고 및/또는 상기 기판 테이블상에 제공되는 복수의 상이한 기판을 가지고 연속적으로 수행되는 것이 바람직하며, 여기서 파라미터의 세트는 각각의 교정에 대해 얻어지고, 상기 교정으로부터 얻어진 파라미터의 세트는 데이터베이스에 저장된다.

상기 복수의 상이한 조명 설정은 상이한 개구수 설정(numerical aperture settings) 및/또는 시그마 설정(아래에 정의됨), 조명 모드 또는 텔레센트리시티 모드(telecentricity modes)를 포함할 수 있고, 또한 투영 시스템에서 상이한 회절 효과를 만들기 위하여 1 이상의 테스트 마스크상에 다양한 형태 및 크기의 테스트 구조체를 사용할 수 있다. 이러한 모든 변형은, 본 명세서에 사용된 바와 같이 방사 시스템의 "상이한 조명 설정"이라는 구절의 의미 내에 속하는 것으로 해석되어야 한다. "시그마(σ) 설정"이란 용어는 동공(pupil)의 최대 반경에 대해 정규화된, 방사 시스템의 동공 평면에서의 투영 빔의 강도 분포의 외측 및/또는 내측 반경 범위(통상 "σ-외측" 및 "σ-내측"으로 각각 언급됨)를 나타낸다. 따라서, 시그마 값 1은 동공의 최대 반경과 동일한 동공에서의 반경을 갖는 조명을 표현한다. "조명 모드"란 용어는 동공에서의 방사선에 대한 공간 분포를 가리키며, 이것은 예를 들어 디스크형, 환형(내측 및 외측 시그마 설정에 의해 특징지어질 수 있음), 4 극형, 2 극형, 또는 소프트-다중극형(극 사이 및/또는 극 둘레에 소정 방사선 플럭스를 포함함)일 수 있다. 조명 모드에 관한 상세한 정보는, 예를 들면 본 명세서에서 참고자료로 활용되는 유럽특허출원 No.00311007.9에서 찾아볼 수 있다. "텔레센트리시티

모드"란 용어는, 방사시스템 및/또는 투영 시스템을, 예를 들면 조명 프로파일을 기울어지게 하는 레티클의 상부에 있는 프리즘을 이용하여, 텔레센트릭하게(telecentrically) 및/또는 비-텔레센트리시티(non-telecentricity)의 정도를 변화시키면서 구성하는 것을 내포한다. 이들 상이한 조명 설정은 리소그래피 투영장치에서 편리하게 선택될 수 있다.

상기 파라미터의 일부는 세트들간에 공통인 것이 바람직하며, 이는 교정 단계의 훨씬 적은 수행과 데이터베이스 크기를 줄이도록 한다.

파라미터의 세트가 예정되지 않은 조건하에서 상기 리소그래피 투영장치를 작동시키기 위해서는, 상기 연산 단계가 상이한 조건하에서 투영장치에 대해 얻어진 파라미터를 기초로 하여 상기 파라미터 중 적어도 하나를 내삽(interpolating) 또는 외삽(extrapolating)하는 것을 포함하는 것이 좋다.

상기 수차 효과는 포커스 드리프트, 필드 곡률, 배율 드리프트, 3차 왜곡, 구면 수차, 코매틱 수차, 축선상의 비점수차, 비대칭 배율 및 이것들의 조합들 중 적어도 하나를 포함하는 것이 바람직하다.

상기 조정 단계는, 투영 시스템의 광학 축선을 따르는 지지 구조체의 위치, 상기 지지 구조체의 회전 배향, 상기 광학 축선을 따르는 기판 테이블의 위치, 상기 기판 테이블의 회전 배향, 상기 투영 시스템에 포함된 1 이상의 가동 렌즈 요소의 상기 광학 축선을 따르는 위치, 상기 투영 시스템에 포함된 1 이상의 가동 렌즈 요소의 상기 광학 축선에 대한 디센터링의 정도(degree of decentering), 투영 빔의 중심 파장, 및 에지 엑추에이터를 이용하는 상기 투영 시스템에 포함된 1 이상의 렌즈 요소의 새들형(saddle-like) 변형 중 적어도 하나를 조정하는 것을 포함하는 것이 바람직하다.

본 발명은 패터닝 수단에 의해 제공된 패턴을 방사선-감지층이 제공된 기판상에 결상시키는 리소그래피 투영장치로서,

- 방사선 투영 빔을 제공하는 방사 시스템;

- 투영 빔을 소정 패턴에 따라 패터닝하는 역할을 하는 패터닝 수단을 지지하는 지지 구조체;

- 기판을 고정시키는 기판 테이블;

- 패터닝된 빔을 기판의 목표영역에 투영하는 투영 시스템; 및

- 상기 방사 시스템의 복수의 상이한 조명 설정을 제공하는 조명 설정 수단을 포함하여 이루어지는 리소그래피 투영장치에 있어서,

1 이상의 소정의 파라미터 세트를 저장하는 메모리 수단;

상기 메모리 수단에 저장된 상기 파라미터 세트에 기초하여, 시간의 함수로서, 가열 효과로 인한, 상기 투영 시스템에 있어서의 수차 효과의 변화를 연산하는 프로세서 수단; 및

수차 효과에 있어서의 연산된 변화를 보상하기 위하여 1 이상의 상기 장치의 구성 요소를 조정하는 제어 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치가 제공된다.

본 발명의 또 다른 형태에 따르면,

- 적어도 부분적으로는 방사선 감지 물질층으로 도포된 기판을 제공하는 단계;

- 방사 시스템을 이용하여 방사선 투영 빔을 제공하는 단계;

- 패터닝 수단을 이용하여, 그 단면 패턴을 투영 빔에 부여하는 단계;

- 상기 패터닝된 방사선 빔을 방사선 감지 물질층의 목표영역상에 투영하는 단계를 포함하여 이루어지는 디바이스 제조방법에 있어서,

대응하는 일련의 목표영역에 대한 일련의 반복되는 노광시, 1 이상의 소정의 파라미터 세트에 기초하여, 시간의 함수로서 상기 투영 시스템에 있어서의 수차 효과의 변화를 연산하는 단계; 및

수차 효과에 있어서의 연산된 변화를 보상하기 위하여 리소그래피 투영장치를 조정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 디바이스 제조방법이 제공된다.

본 발명에 따른 장치를 사용함에 있어 본 명세서에서는 IC의 제조에 대해서만 언급하였으나, 이러한 장치가 다른 여러 응용예를 가지고 있음은 명백히 이해될 것이다. 예를 들어, 상기 장치는 집적 광학 시스템, 자기영역 메모리용 유도 및 검출 패턴, 액정표시패널, 박막 자기헤드 등의 제조에도 채용될 수 있다. 당업자라면, 대안적인 기타 응용분야들을 고려할 때, 본 명세서에서 사용된 "레티클", "웨이퍼" 또는 "다이"와 같은 용어는 "마스크", "기판" 및 "목표영역" 등과 같이 좀 더 일반적인 용어로 각각 대체되어 있음을 고려해야 할 것이다.

본 명세서에서, "방사선" 및 "빔"이란 용어는, 자외선(예를 들어, 365 nm, 248 nm, 193 nm, 157 nm 또는 126 nm의 파장을 가짐) 및 EUV(극자외선, 예를 들어 5 ~ 20 nm 범위의 파장을 가짐)를 포함하는 전자기 방사선의 모든 형태를 포괄하는 것으로 사용된다. 본 명세서에서 사용된 "가열"이란 용어는 원칙적으로 냉각을 포함하는 것으로 해석되어야 할 것이다.

제1실시예

도 1은 본 발명의 특정 실시예에 따른 리소그래피 투영장치를 개략적으로 나타내고 있다. 상기 장치는,

· 방사선(예를 들어, UV, DUV 또는 EUV 방사선)의 투영 빔(PB)을 공급하는 방사 시스템(Ex, IL). 특별한 경우에는 상기 방사 시스템에 방사원(LA)도 포함된다.

· 마스크(MA)(예를 들어, 레티클)를 고정시키는 마스크 홀더가 제공되며, 아이템 PL에 대하여 마스크를 정확히 위치시키는 제1위치결정수단에 연결된 제1대물테이블(마스크 테이블)(MT);

· 기판(W)(예를 들어, 레지스트 코팅된 실리콘 웨이퍼)을 고정시키는 기판 홀더가 제공되며, 아이템 PL에 대하여 기판을 정확히 위치시키는 제2위치결정수단에 연결된 제2대물테이블(기판 테이블)(WT);

· 기판(W)의 목표영역(C)(예를 들어, 하나이상의 다이로 이루어진)에 마스크(MA)의 조사된 부분(irradiated portion)을 결상(imaging)하는 투영 시스템("렌즈")(PL)(예를 들어, 굴절형 렌즈 시스템 또는 석영 및/또는 $CaF_2$ 렌즈 시스템 또는 이러한 재료로 만들어진 렌즈 요소를 포함하는 카타디옵트릭(catadioptric) 시스템이나 미러 시스템)을 포함하여 이루어진다.

도시된 바와 같이, 상기 장치는 투과형(transmissive type)(즉, 투과형 마스크를 구비함)이다. 하지만, 일반적으로는 예를 들어, (반사형 마스크를 구비한) 반사형일 수도 있다. 대안적으로는, 상기 장치가 위에서 언급한 형태의 프로그래밍 가능한 미러 배열과 같은 또 다른 종류의 패터닝 수단을 사용할 수도 있다.

방사원(LA)(예컨대, 수은 아크 램프, DUV 엑시머 레이저, 레이저-생성 플라즈마 소스, 방전 소스 또는 스토리지 링이나 싱크로트론내의 전자 빔의 경로 주위에 제공된 언듈레이터 또는 위글러)은 방사선의 빔을 만든다. 상기 빔은 곧바로 조명 시스템(일루미네이터)(IL)에 들어 가거나, 예를 들어 빔 익스팬더(beam expander)(Ex)와 같은 컨디셔닝 수단을 거친 다음에 조명 시스템으로 들어온다. 상기 일루미네이터(IL)는 각각 σ-외측 및 σ-내측을 설정하는 조정 수단(AM)들을 포함하여 이루어진다. 또한 그것은 일반적으로 인티그레이터(integrator)(IN) 및 콘덴서(condenser)(CO)와 같은 그 밖의 다른 다양한 기기들을 포함하고 있다. 이러한 방식으로, 마스크(MA)에 입사되는 빔(PB)은 그 단면이 소정의 균일성과 세기 분포를 갖게 된다.

도 1과 관련하여, 상기 방사원(LA)은 리소그패픽 투영장치의 하우징내에 놓이지만(예컨대, 흔히 방사원(LA)이 수은 램프인 경우에서 처럼), 그것이 리소그래피 투영장치와 멀리 떨어져서 그것이 만들어 낸 방사선 빔이 (가령, 적당한 지향 미러에 의해) 장치 내부로 들어오게 할 수도 있다. 방사원(LA)이 엑시머 레이저인 경우에는 후자 쪽이기 쉽다. 본 발명과 청구범위는 이러한 두 경우를 모두 포함하고 있다.

계속하여, 상기 빔(PB)은 마스크테이블(MT)상에 고정된 마스크(MA)를 통과한다. 마스크(MA)를 가로 지른 빔(PB)은 렌즈(PL)를 통과하여 기판(W)의 목표영역(C)위에 빔(PB)의 초점을 맞춘다. 제2위치결정수단(및 간섭계 측정수단(IF))에 의해, 기판테이블(WT)은, 예를 들어 빔(PB)의 경로내에 상이한 목표영역(C)을 위치시키도록 정확하게 이동될 수 있다. 이와 유사하게, 제1위치결정수단은 예를 들어, 마스크 라이브러리로부터 마스크(MA)를 기계적으로 회수한 후에, 또는 스캐닝

하는 동안에 빔(PB)의 경로에 대하여 마스크(MA)를 정확히 위치시킬 수 있도록 사용될 수 있다. 일반적으로 대물테이블(MT, WT)의 이동은, 도 1에 명확히 도시되지는 않았지만, 긴 행정 모듈(long stroke module)(개략 위치결정) 및 짧은 행정 모듈(short stroke module)(미세 위치결정)의 도움을 받아 행해질 것이다.하지만, (스텝-앤드-스캔 장치와는 대조적으로) 웨이퍼 스테퍼의 경우에는 마스크 테이블(MT)은 짧은 행정 액추에이터에만 연결되어 있거나 고정되어 있을 수도 있다.

상술한 장치는 다음의 두가지 상이한 모드로 사용될 수 있다.

1. 스텝 모드에서는, 마스크테이블(MT)은 기본적으로 정지상태로 유지되며, 전체 마스크 이미지는 한 번에(즉, 단일 "섬광"으로) 목표영역(C)으로 투영된다. 이후 기판테이블(WT)이 $x$ 및/또는 $y$ 방향으로 쉬프트되어 상이한 목표영역(C)이 빔(IB)에 의해 조사될 수 있다.

2. 스캔 모드에서는, 소정 목표영역(C)이 단일 "섬광"으로 노광되지 않은 것을 제외하고는 동일한 시나리오가 적용된다. 그 대신에, 마스크테이블(MT)이 $v$의 속도로 소정 방향(소위 "스캐닝 방향", 예를 들어 $y$ 방향)으로 이동 가능해서, 투영 빔(PB)이 마스크 이미지의 모든 부분을 스캐닝하도록 되고, 동시에 기판테이블(WT)은 속도 $V=Mv$로, 동일한 방향 또는 그 반대 방향으로 동시에 이동하며,이 때 $M$은 렌즈(PL)의 배율(통상 $M$=1/4 또는 $M$=1/5)이다. 이러한 방식으로, 해상도를 떨어 뜨리지 않고도 비교적 넓은 목표영역(C)이 노광될 수 있다.

앞서 설명한 바와 같이, 투영 방사선 빔(PB)은, 투영 렌즈 시스템(PL)을 통과하고 그것의 일부는 렌즈 요소 및 코팅 재료에 흡수된다. 이러한 부분 흡수는 렌즈 요소에서의 전역 및 국부적 온도 및 굴절률 변화를 초래한다. 이것은 렌즈 수차(lens aberration)로서 특징지어질 수 있는 렌즈의 광학 성능의 변화를 초래한다. 전체 수차는 구면 수차, 비점수차(非點數差)(astigmatism) 등과 같이 상이한 몇가지 형태의 수차로 분해될 수 있다. 전체 수차는, 계수에 의해 주어지는 각각 특정한 크기를 갖는, 이들 상이한 수차의 합이다. 수차는 파면의 변형을 일으키고, 상이한 형태의 수차는 파면이 변형됨으로써 상이한 함수를 나타낸다. 이들 함수는 반경방향 위치($r$)의 다항곱의 형태 및 $m\theta$의 사인 또는 코사인의 각함수를 가질 수 있는데, 여기서 $r$ 및 $\theta$는 극좌표이고, $m$은 정수이다. 이러한 함수 전개식은 제르니케 전개식(Zernike expansion)의 하나로서, 각각의 제르니케 다항식은 상이한 형태의 수차이고, 각 수차의 기여는 제르니케 계수로 주어진다.

포커스 드리프트(focus drift), 필드 곡률(field curvature) 및 $m\theta$에 종속된 각함수(angular function)에서 짝수값의 $m$(또는 $m$=0)을 갖는 수차 등과 같은 특정한 형태의 수차는, 수직(z)방향으로의 투영된 이미지의 변위를 초래한다. 배율 드리프트(magnitude drift), 3차 왜곡(third-order distortion), 비대칭 배율(asymmetric magnification), 코마(coma), 및 홀수값의 m을 갖는 수차 등과 같은 다른 수차는, 수평면($x$, $y$ 평면)의 이미지 위치에서 가로방향 쉬프트(lateral shift)를 일으킨다.

베스트-포커스(best-focus)(BF) 위치, 즉 이미지의 z-위치는 실제 리소그래피 투영장치를 이용하여 측정될 수 있다. 베스트-포커스 위치는, 예를 들어 상기 위치가 디포커스로부터 포커스를 거쳐 디포커스로 이동될 때의 콘트라스트-대-위치 곡선에 대한 6차 다항식 피트(six-order polynomial fit)의 최대값으로 정의되는 최대 콘트라스트를 갖는 z-위치이다. 베스트-포커스는 "FOCAL"(아래 기술함)로서 알려진 기술과 같은 종래 기술을 이용하여 실험적으로 결정될 수 있다. 대안적으로, 예를 들면 트랜스미션 이미지 센서(transmission image sensor)(TIS)(아래 기술함) 또는 오버레이 현미경 또는 시판되는 포커스 모니터를 이용하여 에어리얼 이미지를 직접 측정할 수 있다.

FOCAL은 FOcus Calibration by using ALignment의 약자이다. 이것은 리소그래피 장치의 정렬 시스템을 이용하여 초점면에 대한 정보를 완전히 결정하기 위한 베스트-포커스 측정 기술이다. 특별한 비대칭적으로 구획화된 정렬 마크는 초점을 통해 레지스트 도포된 웨이퍼상에 결상된다. 결상된 마크의 (잠재적인 또는 현상된) 위치는 상기 정렬 시스템에 의해 측정될 수 있다. 비대칭 구획화로 인하여, 정렬 시스템에 의해 측정되는 위치는 노광중에 사용되는 디포커스에 의존할 것이므로, 베스트-포커스 위치를 결정할 수 있게 한다. 전체 이미지 필드 위에 이들 마크를 분포시키고, 구획화(segmentation)를 위한 상이한 배향을 이용함으로써, 수개의 구조 배향(structure orientation)을 위한 완전한 초점면이 측정될 수 있다. 이러한 기술은 본 명세서에서 참고자료로 활용되고 있는 미국 특허 US 5,674,650호에 상세하게 기술되어 있다.

1 이상의 트랜스미션 이미지 센서(TIS)는 가로 위치 및 투영 렌즈 밑의 마스크로부터 투영된 이미지의 베스트 포커스 위치(즉, 수평 및 수직 위치)를 결정하는데 사용될 수 있다. 트랜스미션 이미지 센서(TIS)는 기판 테이블(WT)에 관련된 물리적인 기준면내에 끼워진다. 특정 실시예에서, 2개의 센서는 웨이퍼(W)로 커버된 영역 외부에 대각선으로 대향하는 위치에, 기판 테이블(WT)의 기판-지지면에 장착된 기준판상에 장착된다. 각 기준판(fiducial plate)은, 예를 들면 인바르(Invar)와 같이 매우 낮은 열팽창계수를 갖는 고도로 안정된 재료로 만들어지고, 정렬 과정에서 또 다른 기준으로 사용되는 마커를 지닐 수 있는 평탄한 반사형 상부면을 가진다. TIS는 투영 렌즈의 에어리얼 이미지의 수직(그리고 수평) 위치를 직접 결정

하는데 사용된다. 이것은, 노광 처리를 위하여 사용되는 방사선에 민감한 광검출기가 그 뒤에 가깝게 배치되는 각각의 표면에 있는 어퍼쳐들을 포함한다. 초점면의 위치를 결정하기 위하여, 투영 렌즈는 콘트라스팅 명암 영역(contrasting light and dark regions)을 갖는 마스크(MA)(또는 마스크 테이블상의 기준판)상에 제공된 패턴의 이미지를 공간내에 투영한다. 기판 스테이지는 수평적으로(바람직하게는 1 또는 2 방향, 예를 들면 x, y 방향으로) 및 수직적으로 스캐닝되어, 상기 TIS의 어퍼쳐(aperture)가 에어리얼 이미지(aerial image)가 존재할 것으로 예상되는 공간을 통과한다. TIS 어퍼쳐가 TIS 패턴의 이미지의 명암 부분을 통과함에 따라, 광검출기의 출력은 동요할 것이다(므와레 효과(Moire effect)). 광검출기 출력의 진폭의 변화율이 최대인 수직 레벨은 TIS 패턴의 이미지가 가장 큰 콘트라스트를 가지는 레벨을 가리키므로, 최적 초점면을 나타낸다. 상기 수평 스캔중 광검출기 출력의 진폭의 변화율이 최대인 TIS 어퍼쳐의 x, y 위치는 에어리얼 이미지의 가로 위치를 가리킨다. 이러한 형태의 TIS의 예시는 본 명세서에서 참고자료로 활용되고 있는 미국 특허 US 4,540,277호에 상세하게 기술되어 있다. TIS는 레지스트의 노광을 개입시키지 않는 직접 측정 기술이기 때문에 강건성(robustness) 및 속도면에 있어서 장점을 가진다.

아래에 기술되는, 고안되어진 TIS의 몇가지 변형예는 본 발명과 함께, 또는 본 발명과는 독립적으로 사용될 수 있으며, 이것들은 별개로 또는 임의의 조합으로 사용될 수도 있다.

(1) TIS는 실제로 결상되고 있는 레티클의 실제 임계밀도(critical density)(CD) 분포를 측정하기 위한 특별 교정 단계에 사용될 수 있다. 상기 CD 분포는 개별적으로라기 보다는 기계상에서 측정될 수 있고, 결상(imaging)은 레지스트 처리에 대해 직접 및 독립적으로 측정된다.

(2) 종래의 TIS 마크는 회절 격자형 피처를 포함하고, 이들의 개략적인 정렬(또는 캡쳐 정렬)에는 시간이 많이 필요할 수 있다. 블랭크 어퍼쳐(blank aperture)가 TIS 마크에 통합(incorporate)되는 것이 유리하다. 이 어퍼쳐는 상기 마크내에서 단조로운(featureless) 작은 "구멍(hole)"의 형태를 취한다. 이러한 블랭크 어퍼쳐의 존재는 *x, y, z* 방향으로의 유효한 개략적인 정렬을 허용한다. 바람직하게는, 상기 블랭크 어퍼쳐는 회절 격자형 구조로 수직으로 배치되어 형성되는 "크로스"의 중간에 작은 직사각형 영역의 형태를 가진다.

(3) 종래의 TIS 마크는 회절 격자형 구조를 포함하고, 각 회절 격자는 상호 동일한 라인의 배열을 포함한다. 격리된 라인(isolated line)들 및 조밀한 라인(dense line)들 모두가 결상되는 상황에서, 이러한 TIS 마크는 상기 두 형태의 라인 모두에 대하여 최적의 결과를 줄 수 없다. 바람직하게는 TIS 회절 격자내에서 상이한 라인들이 사용될 수 있는데, 예를 들어 어떤 라인들은 단일 라인들일 수 있는 반면, 다른 라인들은 서브 라인(sub-line)들의 빽빽하게-포개진(closely-nested) 그룹이다. 전자는 격리된 모조 라인(mimic isolated line)들이고, 후자는 조밀한 모조 라인(mimic dense line)들이다. 전체적인 TIS 성능은 개선된다.

(4) TIS는 비점수차(非點數差) 및 수차의 다른 형태를 측정하고 특징짓는데 사용될 수 있으며, 이는 4개의 상이한 평면 방향으로의 측정을 수반할 수 있다. 종래, 이것은 하나의 회절 격자 배향만이 각 광다이오드 센서 위에 존재하기 때문에, mm의 정도의 큰 스테이지 이동을 가진다. 이것은 비점수차 결정을 위해 필요한 초점 측정에 있어 비교적 큰 부정확성을 초래한다. 비점수차 측정을 위한 전용 TIS 마크가 제공될 수 있는데, 상이한 측정들이 가능한 한 콤팩트한 지역에서 수행되는 것이 바람직하기 때문에, 이 마크는 소형일 수 있는 것이 유리하다. 바람직한 일 형태에 있어서, 상기 마크는 4개의 사분면으로 나뉘어진 정방형의 형태를 가지며; 대각선으로 대향하는 2개의 사분면은 수평 및 수직 회절 격자 라인을 가지며, 나머지 2개의 사분면은 각각 ±45°로 배향된 대각선을 가진다. 이 마크는 종래의 TIS 마크의 중앙 "스퀘어" 정도 만큼만 필요하여, 전체 마크는 단일 광다이오드 위에 끼워맞춰질 것이다. 결과적으로, 하나의 광다이오드만을 사용하여 다수의 배향을 검출함으로써, 값싸면서도 기계내에서의 열소산(heat dissipation)을 적게 하는 것을 가능하게 한다. 2개 이상의 배향을 검출함으로써, 예를 들면 코마 및 3파(3 wave)(3차) 수차간의 구별을 가능하게 한다.

(5) 종래, TIS 기술에 있어서, 에어리얼 이미지는 슬릿형 어퍼쳐를 이용하여 스캐닝된다. 슬릿 폭은 투영 빔의 파장 및 마크의 라인 크기에 맞춰질 것이다. 상기 슬릿은 나이프 에지(knife-edge)로 대체될 수 있는 것이 유리하다. 에어리얼 이미지를 통해 나이프 에지를 스캐닝하고, 얻어진 측정 신호를 미분함으로써, 슬릿을 갖는 그러나 더 큰 해상도를 갖는 것과 동일한 정보를 얻는다. 따라서, 슬릿 폭에 따른 의존성이 제거되고, 해상도가 개선된다. 원한다면, 1 보다 많은 나이프 에지, 예를 들면 2개의 수직 방향으로 편리하게 스캐닝하기 위하여 L자 구성으로 배치되는 2개의 나이프 에지를 채용하는 것이 가능하다.

(6) 이전에는, TIS 마크가 패턴내에 배치되는 복수의 회절 격자를 포함하였다. 단일 슬릿은 회절 격자 배열 대신에 사용될 수 있는 것이 유리하다. 단일 슬릿의 사용은 더 높은 해상도를 허용한다. 또한, 더 큰 융통성(flexibility)이 존재한다; 기준

판 마크는 레티클 마크에 독립적이다. 레티클의 스크라이브-레인(scribe-lanes)내에 존재하는 박스-인-박스 구조가 스캐닝될 수 있다. 원한다면, L자 구성으로 배치되는, 2개의 슬릿이 채용될 수 있고, 이것은 2개의 수직 방향으로의 스캐닝을 수월하게 한다.

이미지의 파라미터(본 경우에서는 베스트-포커스 위치)가 복수의 상이한 조명 설정에서의 FOCAL 기술을 이용하여 얻어지는 경우, 이것은 다중 조명 설정에서의 FOCAL을 의미하는 두문자인 FAMIS(FOCAL At Multiple Illumination Settings)로서 언급되기도 할 것이다.

이미지 위치에서의 가로방향 쉬프트는, 이하 "DISTO"(아래에 기술함)로 언급되는 왜곡-측정 기술을 이용하여 실제 리소그래피 투영장치에서 측정될 수 있다. 대안적으로, 예를 들어 트랜스미션 이미지 센서(TIS)(위에서 기술함) 또는 제1실시예에 연계하여 언급된 다른 기술을 이용하여, 에어리얼 이미지를 직접 측정할 수 있다.

DISTO는 결상면(*x, y* 평면)의 가로측 위치결정 오차를 찾아내는 기술이다. 수평 및 수직 동일 라인/공간(예를 들면, 결상된 마크를 위한 라인 폭 8㎛)으로 구성되는 표준 정렬 마크는 레지스트 코팅된 웨이퍼상에 결상된다. 이 결상된 마크의 (잠재적인 또는 현상된) 위치는 리소그래피 장치의 정렬 시스템에 의해 측정될 수 있다. 예상된 위치에 대한 편차가 왜곡(distortion)이다. 이들 마크를 전체 이미지 필드에 걸쳐 분포시킴으로써, 완전한 이미지 필드 왜곡이 측정될 수 있다.

DISTO 기술이 다중 조명 설정에 사용되는 경우, 이것은 Disto At Multiple Illumination Settings의 두문자인 "DAMIS"로 언급된다. DAMIS 및 FAMIS의 추가 정보에 대해서는, 본 명세서에서 참조인용되고 있는 미합중국 출원번호 09/788478호(2001년 2월 21 출원)를 참조하라.

다른 기술이 또한, 예를 들어 반사 이미지 센서(RIS) 또는 수차 링 테스트(aberration ring test)(ART) 및 ARTEMIS로 알려진 다중 조명 설정에서의 ART와 같은 그 변형예를 사용하여, 이미지를 분석하는데 사용될 수도 있다. 본 명세서에서 참고자료로 활용되는 EP 1 049 960 A1을 참조하라.

이미지 위치의 이들 측정으로부터, 상이한 형태의 수차의 계수를 얻는 것이 가능하다. 이것은 예를 들면 본 명세서에서 참고자료로 활용되는 유럽특허출원 제01301571.4호에 더욱 상세하게 설명되어 있다.

또한 렌즈 수차는 일반적으로, 예를 들면 개구수(numerical aperture), 시그마 설정, 및 디스크형, 환형 또는 다중극형 등의 조명 모드와 같은 방사 시스템의 조명 설정의 함수로 될 것이다. 렌즈-가열-유도 수차 효과(lens-heating-induced aberration effect)는 또한 일반적으로 조명 설정, 레티클 투과, 레티클 구조, 필드 크기와 모양, 광 강도(light intensity), 웨이퍼 반사도 및 웨이퍼 레이아웃 등과 같은 파라미터에 종속되므로, 제 1 가설(first principle)로부터 연산하기가 어렵고 일반적으로 병리적(pathological)이다. 렌즈-가열-유도 수차 효과는 또한 시간에 따라 동적으로 변화하므로, 이 렌즈-가열-유도 수차 효과를 보정하기 위하여는, 본 실시예가 이전의 측정을 기초로 한 렌즈 가열 효과의 모델을 채택하고, 광학적으로 교정하며, 간헐적인 측정(intermittent measurement)을 이용하여 상기 모델을 미세조정하고, 모든 수차 및 결상 파라미터(imaging parameter)를 그들 각각의 공차내에 유지하도록 리소그래피 투영장치를 조정한다.

렌즈 가열에 의한 포커스 드리프트로서 알려진 수차 효과를 고려하면, 본 제1실시예에서 채택되는 상기 모델은 다음과 같다.

수학식 1

$$F(t) = A_1\left(1 - e^{-t/\tau_1}\right) + A_2\left(1 - e^{-t/\tau_2}\right)$$

따라서, 시간(t)의 함수로서의 드리프트(F), 즉 t=0 에서의 그 위치에 대한 z-방향으로의 베스트-포커스 위치의 변화는 2개의 지수 함수로 기술되고, 이것은 특히 스캐너 시스템에 대하여 우수한 모델로 여겨져왔다. 각각의 지수 함수는 각각의 시정수($\tau_1$, $\tau_2$)를 가지고, 각각의 진폭($A_1$, $A_2$)을 가진다. 진폭 및 시정수의 값은 조명 설정, 레티클 투과, 레티클 구조, 필드 크기와 모양, 방사선 강도, 웨이퍼 반사도 및 웨이퍼 레이아웃 등 최소한의 파라미터들의 서브셋에 따라 달라진다. 본 실시예의 모델은 또한 이들 파라미터의 일부, 특히 광 강도, 필드 크기, 레티클 투과 인자 및 웨이퍼 반사도 등과 같은 렌즈상에 입사하는 전력에 비례하는 파라미터들에 대한 진폭의 선형 의존도를 가지므로 상기 진폭은 다음과 같이 쓸 수 있다.

수학식 2

$$A_1 = \mu_1 . T_r . S . I . W_{refl}$$
$$A_2 = \mu_2 . T_r . S . I . W_{refl}$$

여기서, I 는 노광 광도(W/m$^2$)이고, S 는 필드 크기 또는 웨이퍼 레벨에서의 레티클 마스킹 면적(m$^2$)이며, $T_r$ 은 레티클 투과 인자(순수한 분수(pure fraction) 또는 백분율)이고, $W_{refl}$ 은 웨이퍼 반사도(순수한 분수 또는 백분율)이며, $\mu_{1,2}$ 는 소위 계수 인자(scaling factors)이고, 이들은 현상학적이고, 상세하게 포함되지는 않았지만 렌즈 가열에 영향을 주는 기타 모든 파라미터에 의존한다.

계수 인자는 노광을 위해 사용된 특정 조명 설정, 레티클 구조 및 필드 모양에서의 렌즈 가열 감도를 나타낸다. 이 모델에 따르면, 렌즈 초점 위치는 수학식(1)에서 주어진 궤적에 따라 드리프트되며, 렌즈 냉각은 동일한 파라미터로 모델링될 수 있다. "콜드(cold)"로부터의 시작하여, 상기 포커스 드리프트는, 에너지가 렌즈에 의해 수용되는 속도가 상기 렌즈가 열을 소산시키는 속도와 동일한 속도가 되는 평형상태에 도달하게 되는 포화값을 향하는 경향을 나타낸다. 이와 유사하게, "웜(warm)"으로부터 시작하여, 초점 위치는 렌즈 가열이 없는 조건하에서의 그것의 디폴트 값쪽으로 드리프트된다. 렌즈 가열 및 냉각 포커스 드리프트 궤적을 나타내는 전형적인 플롯이 도 2에 도시되어 있다. 시간(T) 및 드리프트(F)는 각각 수평 및 수직 축선을 따라 임의의 유닛으로 표시된다.

특정 조명 설정에서의 특정 기계에 대하여, 4개의 파라미터, 즉 2개의 시정수 및 2개의 계수 인자를 얻기 위해서는 본 제1 실시예 다음과 같은 방법이 바람직하다. 가열 페이즈(heating phase)는 우선, 렌즈가 2시간동안 계속해서 레티클이 존재하지 않는 완전히 개방된 레티클 마스킹 블레이드(후술함)와 함께 가열되는 동안 수행된다. 레티클 마스킹 블레이드는 조명 필드, 즉 레티클상에 입사하는 빔의 크기와 모양을 형성하기 위하여 방사선 경로의 일부 장소에 개재된 셔터링 시스템(shuttering system)이다. 가열은 웨이퍼 반사도의 효과를 고려하기 위하여 웨이퍼 테이블상의 포토레지스트로 코팅된 웨이퍼와 함께 행해진다. 다음에 렌즈가 냉각되고 포커스 드리프트가 그것의 디폴트 위치로 되돌아가는 동안, 예를 들어 제한된 수의 TIS 마커를 이용하여 개략적인 교정이 행해짐으로써 베스트 포커스 위치가 측정된다. 초점 위치는 소위 화학선 정렬(actinic alignment)을 이용하여 측정될 수 있으며, 이 경우에 방사선 노광이 직접 사용되나, 그 이상의 가열 효과를 피하기 위해 짧은 동안에만 사용된다. 대안적으로, 또는 추가로, 감쇠기가 측정시 노광 방사선의 강도를 줄이는데 사용되어, 측정시 더 이상의 렌즈 가열을 방지한다. 대안적으로, 소위 레드 정렬 기술(red alignment technique)이 사용될 수 있는데, 이 기술에서는, 렌즈 가열없이 베스트 포커스 위치를 결정하기 위하여 스루-더-렌즈(through-the-lens; TTL) 기술로 헬륨 네온 레이저로부터의 적색광(red light) 등의 상이한 방사선이 사용된다. 필요하다면, 정렬 방사선이 노광 방사선과 상이한 파장을 가질 수도 있다는 사실을 고려하여 적절한 보정을 행할 수 있다.

특정 실시예에 있어서, 냉각 측정은 *x*-축선상의 5개의 TIS 마커와 4개의 탈-축선 마커(+y 좌표에 2개 및 -y 좌표에 2개) 중 소정의 것에 대해 매 30초마다 행해진다.

상기 측정으로부터의 계수 인자 및 시정수는 수학식 1의 모델을 이용하여 예상할 수 있다. 상기 모델은 이들 파라미터에서 선형이 아니기 때문에, 예를 들면 켤레경사도법(conjugate gradient method), 다차원 함수(multidimensional function)의 최소값들을 찾아내는 알고리즘을 이용하여 반복적으로 연산된다. 계수 인자($\mu_1$, $\mu_2$) 및 시정수($\tau_1$, $\tau_2$)에 대한 값들은 이들 파라미터에 대해 최소제곱판정법(least-squares criterion)을 이용하여 다음의 목적 함수(object function)(J)를 최소화함으로써 연산된다.

수학식 3

$$J = \sum_{i=1}^{n} \left( F_{obs}(t_i) - F(t_i) \right)^2$$

여기서, $F_{obs}(t)$는 (이미지 센서에 의해) 측정된 초점 위치이고, F(t)는 수학식(1)에서 주어진 모델에 대응하는 값이며, n은 냉각 주기동안의 측정 회수이고, $t_i$(i=1,...n)은 이들 측정 좌표에 대응하는 시간이다. 목적 함수가 최소값을 가질 때, 잉여값(residue)(R)(적합도가 찾은 파라미터와 얼마나 잘 맞는지를 나타냄)은 다음과 같다.

수학식 4

$$R = \sqrt{\frac{J}{n}}$$

상기 잉여값이 30nm보다 적으면, 적합도가 만족스럽다고 생각하여, (이미지 센서) 측정이 99.7% 신뢰구간내에 있다고 신뢰할 수 있는 것을 나타낸다.

특정 기계상의 2개의 시정수는 각각 보통 180초와 530초 사이 및 750초와 1220초 사이의 값을 가지는 것으로 알려져 있다. 이들 시정수는 이 개략적인 교정에 의해 매우 쉽게 찾아지지만, 계수 인자를 위한 더 나은 값들을 얻기 위해서는 미세한 교정이 수행되는 것이 바람직하다. 계수 인자가 개략적인 교정에 의해 매우 정확하게 찾아지지 않는 이유는, 가열 페이즈시, 웨이퍼가 2시간동안 계속해서 노광되어지면, 포토레지스트의 반사도가 증가되어 계수 인자가 과대평가되는 결과를 초래하기 때문이다. 개략적인 교정으로부터 나온 시정수에 대한 예측값은, 그 후에 상이한 조명 설정에서도 미세한 교정에 대한 기초로서 사용될 수 있다. 이후에 미세 교정의 단계는 "미세 튜닝"으로도 언급될 수 있다. 따라서, 한번의 개략적인 교정 측정은 한번의 조명설정에서 얻어질 수 있으며, 뒤이어 상이한 조명 설정을 위한 계수 인자의 상이한 값들을 얻기 위하여, 상이한 조명 설정에서의 몇 차례의 미세 튜닝이 이루어진다. 본 실시예에서, 개략적인 교정으로부터 얻어진 시정수는 기타의 모든 설정에서 사용되고, 30초마다 초점을 측정한다고 가정하면, 동적 거동(dynamic behaviour)이 충분히 잘 모델링되어, 시정수의 오차는 포커스 드리프트상에 작은 영향만을 끼친다. 동적 거동은 실질적으로 고유한 렌즈 특성이며, 렌즈에 의해 받아들인 에너지량과는 독립적이라는 사실이 상기 가정을 뒷받침한다.

본 실시예에 따른, 미세 튜닝 측정은 웨이퍼상의 노광을 이용하는 상술한 FOCAL 기술을 이용하여 행해진다. 대안적으로, TIS가 렌즈-가열-유도 효과를 측정하는데 사용될 수 있다. 두 방법은 대안적인 더미(dummy) 가열 노광 및 측정(FOCAL의 경우에는 측정 노광 그리고 TIS의 경우에는 에어리얼 이미지의 직접 측정)을 사용한다. 더미 노광은 렌즈를 조금씩 더 (연속적으로) 가열하기 위해 행해지고, TIS 스캔/FOCAL 노광은 렌즈 가열 궤적내 특정 스테이지에서의 수차 효과(예를 들면, 포커스 드리프트 등)를 결정하기 위해 행해진다. 이러한 대안적인 노광 및 측정은 특정한 시간 주기동안, 보통은 30 내지 120분의 범위내에서 행해진다.

이러한 방법에서는, 렌즈 가열 데이터베이스를 축적하여, 렌즈 가열을 위해 보정할 필요가 있는 파라미터 값(본 실시예에서는 2개의 시정수($\tau_1$, $\tau_2$) 및 2개의 계수 인자($\mu_1$, $\mu_2$)로 구성됨)을 저장한다. 이들 파라미터의 세트는 각 대상 레티클 및 조명 설정을 위하여 저장될 수 있다.

상기 기술은 순전히 수차에 대한 일형태의 예시로서 포커스 드리프트라는 관점에서만 상술되었다. 또한, 렌즈 가열의 (시간) 함수로서, 비점수차(非點數差) 및 코마 등의 상이한 수차의 변화를 특징짓는 파라미터의 세트는 데이터베이스내에 확립되고(built up) 저장될 수 있다. 더 높은 차수의 수차는 노광되어지는 특정 레티클 구조에 더욱 민감하게 의존할 수 있고, 따라서 특정 레티클을 이용하는 웨이퍼의 특정 배치(batch)를 노광하기 전에 상이한 수차에 대한 이들 파라미터의 값을 얻기 위하여 상기 특정 레티클을 이용하여 미세 튜닝 측정이 행해질 수 있다. 그리하여 임의의 어떤 레티클-특정 레티클 가열 효과(reticle-specific reticle heating effect)도 상기 모델내에 포함될 것이다.

렌즈 가열 효과를 한정하는 파라미터의 데이터베이스가 얻어져 설치되면, 수학식(1) 등의 모델에 따라 연산된 수차를 극복하도록 행해질 필요가 있는 소요 보정을 예측하기 위하여 피드-포워드(feed-forward) 기술의 소프트웨어가 사용된다. 이것은 동적으로 행해지고, 보정될 필요가 있는 연산된 수차를 보상하기 위한 물리적 조정은 각각의 노광 전에 즉시 행해지는 것이 바람직하다.

또한 상이한 레티클 및 상이한 조명 설정 사이의 가열 효과의 변동을 보상하기 위하여, 미세 튜닝된 파라미터들이 반드시 얻어져야 되는 것은 아니며, 수시 측정이 상기 모델을 동적으로 조정하기 위하여 배치(batch)동안에 간헐적으로 행해질 수도 있다. 신규 최적 시정수 및/또는 계수 인자 파라미터는 잉여값(R)의 최소화에 기초한 적합도에 의하여 각각의 신규 측정 후에 연산될 수 있다. 또한, 파라미터 값이 이용가능하지 않은 설정에서 노광을 수행할 때, 공지된 파라미터로부터의 내삽법(interpolation) 또는 외삽법(extrapolation)은 신규 설정에서 사용될 파라미터 값에 대한 최적 예측을 제공하는데 사용될 수 있다.

특정 시간에, 각각의 형태의 수차 효과에 대한 연산은 임의의 고유 수차 효과, 즉 렌즈용 디폴트 값 이상의, 렌즈-가열에 의해 생긴 수차 효과의 예견되는 부가적인 양을 제공할 것이다. 렌즈 가열 효과를 더 보상하기 위한 리소그래피 투영장치에 대한 보정은, 예를 들어 표 1에 따르는 각각의 특정 형태의 수차 효과에 의존한다.

[표 1]

| 수차 효과 | 조 정 |
|---|---|
| 포커스 드리프트 | 조정 - 기판 테이블 높이<br>- 기판 테이블 기울기 |
| 필드 곡률 | 쉬프팅 - 광학 축선을 따른 1 이상의 가동 렌즈 요소 |
| 배율 드리프트 | 쉬프팅 - 광학 축선을 따른 1 이상의 가동 렌즈 요소<br>조정 - 광학 축선을 따른 마스크의 축선 위치 |
| 3차 왜곡 | 조정 - 광학 축선을 따른 마스크의 축선 위치<br>쉬프팅 - 광학 축선을 따른 1 이상의 가동 렌즈 요소 |
| 구면 수차 | 쉬프팅 - 광학 축선을 따른 1 이상의 가동 렌즈 요소 |
| 코매틱 수차 | 쉬프팅 - 노광 방사선의 중심 파장<br>조정 - 1 이상의 가동 렌즈 요소의 광학 축선에 대한<br>디센터링(decentering) 정도 |
| 축선상의 비점수차 | 수행 - 에지 엑추에이터를 이용하는 1 이상의 렌즈 요소의<br>새들형(saddle-like) 변형 |
| 비대칭 배율 | 수행 - 에지 엑추에이터를 이용하는 1 이상의 렌즈 요소의<br>새들형 변형 |

상기 보정은, 필요한 기계적인 조정의 크기에 관련되는 수차 효과의 크기가 도표화된 또는 연산된 값에 기초하여 기계에 의해 자동적으로 수행될 수 있다. 특정 수차에 대하여 보정을 하기 위한 1 이상의 렌즈 요소의 새들형 변형은, 예를 들어 본 명세서에서 참고자료로 활용되는 PCT공보 WO 99/67683호에 개시되어 있다.

물론, 이것은 상술한(또는 기타의) 하나 또는 몇개의 수차 효과에 대하여 보정을 하는데에만 필요할 수도 있다. 각 수차 효과의 기여도는 노광되어지는 패턴, 조명 설정 등에 의존할 것이다. 따라서, 모든 노광 또는 노광의 배치(batch)를 위하여 이들 모두의 수차 효과에 대한 조정을 항상 할 필요는 없을 것이다.

제2실시예

제2실시예에 있어서, 상기 모든 모델 파라미터의 정확한 예측은 단일(미세) 교정 단계에서 얻어진다. 본 실시예의 이점은, 개략 교정 및 미세 교정을 포함하는 교정 시퀀스에 요구되는 사이클 시간에 대한 교정 시퀀스에 있어서의 사이클 시간의 감소이다. 본 실시예의 특징은 상기 모델 데이터를 측정된 미세 튠 데이터(tune data)에 피팅(fitting)하는 방법이다. 이 피트-방법(fit-method)은 시정수뿐만 아니라 계수 인자에 대해서도 정확한 예측을 산출한다. 주어진 시정수($\tau_1$, $\tau_2$)의 세트에 있어서, 계수 인자($\mu_1$, $\mu_2$)에 대한 예측값 및 대응하는 잉여값(R)은 제1실시예의 미세 교정 단계에서와 동일한 방식으로 찾아낼 수 있다. 여기서, 잉여값(R)은 시정수의 세트에 사용된 특정 값에 따라 달라진다.

시정수에 대한 개선된 첫번째 예측값을 찾아내기 위하여, 잉여값($R_{ij}$)은 일련의 시정수($\tau_{1i}$, i=1,...,n, 및 $\tau_{2j}$, j=1,...,n)에 대해 연산된다. 상기 시정수의 급수는 n ×n 행렬의 세트($\tau_{1i}$, $\tau_{2j}$)(단, i=1,...,n 및 j=1,...,n)로 정의될 수 있다. 차이($\tau_{1n} - \tau_{11}$ 및 $\tau_{2n} - \tau_{21}$)(각각 TR11 및 TR12로 표시됨)로 정의된 제1세트의 시간 범위는 실제값 $\tau_1$ 및 $\tau_2$ 가 이들 범위내에 있도록 선택된다(상기 선택은, 예를 들어 이전의 실험적인 증거값(empirical evidence) 또는 이전의 개략 교정을 기초로 할 수 있다). 통상적인 실시예에서는, n = 21 이고, 제1세트의 시간 범위는 TR11 = TR12 = 4000s 로 주어진다. 그리하여, $\tau_1$ 및 $\tau_2$ 값에 대한 21개의 샘플값에 의한 시간 분해능(time resolution)는 4000/20 = 200 초이다.

각 행렬 세트($\tau_{1i}$ ,$\tau_{2j}$)(단, i=1,...,n 및 j=1,...,n)에 있어서, 계수 인자는 제1실시예에 개시된 방법을 이용하여 찾을 수 있다. 매 시정수($\tau_{1i}$, $\tau_{2j}$) 세트에는 계수 인자($\mu_{1i}$, $\mu_{2j}$) 한 세트와 대응하는 잉여값($R_{ij}$)이 있다. 잉여값($R_{ij}$)은 대응하는 매트릭스 어드레서블 메모리에 저장된다. 이 행렬의 최소 잉여값은 이제 베스트 피트(best fit)를 나타내며, 여기서 $\tau_1$ 및 $\tau_2$ 에 대한 대응하는 예측값은 $\tau_{1est1}$ 및 $\tau_{2est1}$ 로 표시된다.

예측값($\tau_1$ , $\tau_2$ , $\mu_1$ , $\mu_2$)에 대한 정확성을 더 증가시키기 위해서는, 신규 행렬 세트($\tau_{1i}$ ,$\tau_{2j}$)(단, i=1,...,n 및 j=1,...,n)가 형성될 수 있으며, 여기서 차이 $\tau_{1n} - \tau_{11}$ 및 $\tau_{2n} - \tau_{21}$ 로 각각 정의되는 제2세트의 시간 범위(TR21 및 TR22)를 정의하는 $\tau_{1n}$, $\tau_{11}$, $\tau_{2n}$, $\tau_{21}$ 은, $\tau_{1est1}$ 및 $\tau_{2est1}$ 의 값이 실질적으로 이들 시간 범위의 중앙에 있도록 예를 들면,

TR21=TR22=4TR12/(n-1) 이도록 선택된다. 그래서, 이 특정 예시에서는 시간 범위(TR21, TR22)가 800초이다. 상술된 단계는 $\tau_{1est2}$ 및 $\tau_{2est2}$ 로 표시된 시정수에 대해 개선된 제2예측값을 산출하기 위하여 반복될 수 있다. 이 제2예측값은 그 예측값의 정확성이 첫번째 예측값보다 상당히 개선되도록 800/20 = 40초의 분해능을 갖는 시간 범위의 샘플링을 기초로 한다. 통상적으로, 정확성을 증가시키는 2번 이상의 연속적인 단계가 수행되어, 1.6초의 시간 분해능을 기초로 하여 $\tau_1$, $\tau_2$ 각각에 대한 제4예측값($\tau_{1est4}$, $\tau_{2est4}$)을 생성시킨다.

여기서 기술된 미세 교정에 의해, 초단위 정도(order of seconds)에 대한 시정수의 존재가 검출될 수 있다. 또한, 이러한 시정수의 예측은 계수 인자의 더욱 정확한 예측을 유도한다.

수차 효과 "배율 드리프트"의 통상적인 예시가 도 3에 도시되어 있다. 별 모양은 렌즈 가열에 의한 시간 함수로서 측정된 배율 드리프트를 나타낸다. 그래프(31)는 제1실시예에 기술된 개략 및 미세 교정방법에 따라 예상된 배율 드리프트의 플롯이다. 그래프(32)는 본 실시예에 따른 방법으로 얻어진 파라미터에 의해 예상된 배율 드리프트의 플롯이다. 예상값(32)에 대한 잉여값은 상기 예상값(31)에 대한 잉여값보다 3배 정도 더 작다.

제3실시예

앞서 설명한 바와 같이, 렌즈 가열 효과는 일반적으로 개구수, 시그마 설정 등의 각 조명 설정에 대해 다를 것이고, 조명 모드 강도 분포가 예를 들어 디스크형, 환형 또는 다중극형인지에 따라 다를 것이다. 이것은 렌즈를 통과하는 광량 및 광 빔의 모양이 각 설정에 따라 다르기 때문이다. 이는 렌즈 요소가 상이하게 가열되도록 하기 때문에, 각 형태의 수차에 대한 렌즈 가열의 기여도가 영향을 받는다. 개구수(NA)와 코히어런스 인자(시그마)의 조합을 표현하는 양은 NAill로 나타내고 다음과 같이 정의된다.

수학식 5

$$NAill = NA\frac{(\sigma_{inner} + \sigma_{outer})}{2}$$

여기서, 환형 조명에서의 $\sigma_{inner}$ 및 $\sigma_{outer}$는 그 환형의 내측 및 외측 반경을 나타내고, 종래의 것, 즉 디스크형 조명 모드에서 $\sigma_{outer}$는 유일한 코히어런스 인자(coherence factor)(시그마)이며, $\sigma_{inner}$ = 0 이다. NAill에 대한 등가인 값은 4 극형 등의 다중극형 모드에 대하여 얻어질 수 있다. 수학식 (1) 및 (2)의 모델의 두 계수 인자($\mu_1$, $\mu_2$)는, 최저 NAill에서의 최대값에서부터 최고 NAill에서의 3 내지 5배 정도 더 작은 값의 범위까지, NAill의 값에 선형으로 종속한다는 것은 실험적으로 알려져 왔다. 절대값은 렌즈 형태에 의존하고, 또한 같은 형태의 렌즈간에서도 작은 차이를 나타낸다. 계수 인자는, 예를 들면 3개의 상이한 NAill 설정, 바람직하게는 2개의 극단 설정(extreme settings)과 하나의 중간 설정(intermediate setting)에서의 특정 렌즈 또는 기계에 대해 측정될 수 있다. NAill 값상의 계수 인자에 대한 종속성의 기울기는 선형 피트(linear fit)에 의해 얻어질 수 있으며, 따라서 교정되지 않는 NAill 설정에서 기계를 동작시킬 때, 상기 계수 인자는 측정된 NAill 설정에서의 공지된 계수 인자로부터의 기울기에 따라 선형으로 내삽(interpolate)될 수 있다. 이러한 선형 NAill-종속성은 실험적인 근사값이다. 요구되는 정확성에 따라, 중간 설정에서 또는 심지어는 비선형 NAill-종속성에서의 더 많은 교정값들이 사용될 수 있다.

제4실시예

노광시, 웨이퍼는 광의 일부를 렌즈로 다시 반사시킨다. 이것은 렌즈 가열에 있어 소정의 효과를 가질 것이며, 따라서, 배치의 노광시 수차 효과는 반사된 광의 강도에 따를 것이다.

웨이퍼로부터 반사된 방사선의 강도는 다음의 여러 인자에 의존한다.

1. 포토레지스트의 광학 파라미터.

포토레지스트 형태의 반사도는 그 굴절율에 따른다. 포토레지스트의 성질로 인하여 그 특성은, 그 굴절율을 포함하여 노광시 변한다. 포토레지스트의 투과율은 노광(블리칭(bleaching))시 변하고, 그리하여 반사도도 변한다. 렌즈 가열로 인하여 문제가 되는 에너지 도즈(energy dose)에 대하여, 굴절율의 변화가 노광의 개시시에 급속하게(지수적으로) 일어나는 것을 실험적으로 알 수 있다. 이것은 노광이 유지되는 시간동안 반사도가 실제적으로 일정하게 유지되도록 한다. 따라서, 실제적으로는 "블리칭된" 포토레지스트-코팅 웨이퍼의 반사도만이 중요하다.

2. 포토레지스트 두께.

웨이퍼로부터 반사된 광의 양은 포토레지스트 두께의 함수로서 사인곡선으로 변화한다. 이 효과는 포토레지스트층의 상부로부터 반사된 광과 기판에 의해 반사된 광의 간섭으로 인한 것이다. 보통, 포토레지스트 두께 변동으로 인한 반사도 변동은 0.05 내지 0.45 사이일 것이다.

3. 기판(스택 포함)의 형태 및 구성.

전반적인 반사도에 영향을 주는 소정의 반사도를 갖는 "베어 웨이퍼(bare wafer)"와는 달리, 다양한 층을 갖는 기판은 웨이퍼 반사도에 있어 유사한 효과를 가질 수도 있다. 이것은 스택의 구조 및 구성에 의해 영향을 받는다. 스택내의 각 층은 광(光)을 소정량만큼 반사시켜 상기 층들 사이 및 상기 층들을 통과하여 상기 광을 앞뒤로 "튀어오르게(bounce)" 할 것이다. 이는 렌즈로 반사된 광(光)의 보강 또는 상쇄 간섭을 일으킨다. 이들 효과는 안티-반사 코팅의 존재 여부에 의해 또한 영향을 받는다.

4. 조명 설정, NA/시그마 설정.

NA 설정은 웨이퍼상에 입사하는 방사선의 최대 입사각을 결정한다. 최대각이 증가함에 따라, 더 많은 입사각이 존재하기 때문에, 반사된 광의 광학 경로 길이들을 더 많이 변화시킬 것이다. 이것은 또한 더 적은 간섭(보강 및 상쇄)도 야기한다. 이것의 결과는, 더 높은 NA 설정이 사용되는 경우 포토레지스트 두께의 함수로서의 반사도에 있어서 사인곡선 변동의 진폭은 더 작아진다는 것이다. 환형 조명 설정은, 더 강한 환형 조명 설정이 사용될 때에 반사도 변동의 진폭이 증가하는 유사한 효과를 가질 것이다("더 강한(stronger)"은 더 얇은 링을 의미하며, 따라서 입사각의 더 작은 범위를 나타냄).

상술한 바와 같이, 웨이퍼 반사도를 예측한다는 것이 매우 어렵다는 것은 명백하다. 따라서, 웨이퍼의 각각의 배치에 대하여 반사도를 측정하는 것이 바람직하다. 그러나, 계수 인자(예를 들면, 포커스 드리프트 등의 수차 효과 등)는 실질적으로 웨이퍼 반사도에 선형적으로 종속한다는 것이 실험적으로 알려져 있다. 또한 NAill 설정은 웨이퍼 반사도에 대한 포커스 드리프트의 감도에 거의 영향을 주지 않는다는 것도 알려져 있다.

본 실시예에 따르면, 교정 공정시 존재하는 것과 상이한 웨이퍼 반사도의 효과를 조정하는 것이 가능하다. 미세 튜닝 테스트는, 패턴 또는 구조체가 없는 표준 미세 튜닝 교정 측정에 사용되는 포토레지스트 형태 및 두께를 갖는 신규 웨이퍼 물질의 기판을 사용하여 반복된다. 보정 인자(*Cf*)는 신규 기판으로 포화 상태인 총 포커스 드리프트(또는 소정의 수차 효과에서의 총 드리프트)를 교정 측정 포커스 드리프트(또는 기타 소정의 수차 드리프트)로 나눔으로써 연산될 수 있다. 교정 포커스 드리프트는 포토레지스트를 갖는 베어 실리콘 웨이퍼를 이용하여 측정되었다. 수학식 (1) 및 (2)로부터 치환하고, t = 무한대(즉, 포화상태)로 치환하여 정리하면, 다음과 같은 보정 인자에 대한 수학식을 얻을 수 있다.

수학식 6

$$Cf = \frac{(\mu_1 + \mu_2)\big|_{new\ substrate}}{(\mu_1 + \mu_2)\big|_{calibration}}$$

따라서, 보정 인자는 기본적으로 신규 기판에서의 계수 인자의 합을 교정 계수 인자의 합으로 나누어서 얻는다. 본 실시예에 따르면, 이 보정 인자가 웨이퍼의 새로운 배치를 노광하는 작업에 적용될 때, 소프트웨어는 각각의 교정 계수 인자($\mu_1$, $\mu_2$)를 상기 보정 인자(*Cf*)로 곱한다.

제5실시예

복수의 웨이퍼의 배치(batch) 처리는 리소그래피 제조공정에서 실제로 일반적이다. 웨이퍼의 배치 처리의 개시시의 투영 시스템은 가열-유도 수차 효과가 실질적으로 없는 상태일 수 있다. 이러한 상황에서, 수차 효과의 변화는 통상적으로 상기 배치의 첫번째 웨이퍼의 목표영역에 대한 연속적인 노광 동안에 최대이다. 이전 실시예에 따라 결정되고 적용된 이러한 조정은 첫번째 웨이퍼의 목표영역에 대한 조사시에도 통상적으로 최대이다. 미리 모든 주의를 함에도 불구하고, 비교적 큰 조정은 더 작은 조정만큼 정확하지 않을 것이다. 그 결과, 잉여 수차 효과는 대부분 상기 첫번째 웨이퍼상의 패터닝된 층에 미치려 할 것이다. 이것이 소위 말하는 "첫번째-웨이퍼-효과(first-wafer-effect)"이다. 본 실시예에 있어서, 첫번째-웨

이퍼-효과는 투영 빔을 첫번째 웨이퍼의 목표영역의 노광 개시 직전에 시간($T_{preheat}$) 주기동안 투영 시스템에 공급함으로써 제거된다. 예를 들어, 시간주기($T_{preheat}$)를 2 개의 시정수($\tau_1$, $\tau_2$)중 최대인 것의 크기 정도로 선택함으로써, 첫번째 웨이퍼의 조사시의 상기 조정은 실질적으로 첫번째-웨이퍼-효과의 부수적인 감소에 따라 감소된다.

이상 논의된 투영 렌즈의 예비-가열은 특히 다중-스테이지 리소그래피 투영장치상의 제조공정 운전과 관계가 있다. 여기서, 렌즈의 예비-가열은 첫번째 웨이퍼가 준비 단계에 있는 동안 수행될 수 있다. 이들 단계시에는 노광 위치에 웨이퍼가 없고, 따라서 예비-가열은 배치의 처리 시간에 영향을 주지 않는다(즉, 스루풋상에 영향을 주지 않는다).

지금까지는 본 발명의 특정 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 상술된 바와 다르게 활용될 수 있다는 것은 명백하다. 본 명세서는 본 발명에 국한되는 것이 아니다. 특히, 본 발명은 리소그래피 장치의 투영 시스템 및 렌즈 가열의 결과로서 렌즈 수차가 보상되는 기타 형태의 결상 시스템에서 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 비록 상술한 본 실시예는 렌즈 가열 효과의 결과로서 발생하거나 더 나빠진 렌즈 수차의 보정에 관한 것이지만, 본 발명은 또한 기타의 보정, 예를 들면 렌즈 요소의 복사 컴팩션(radiative compaction), 렌즈에서의 양자 및/또는 원자 효과, 크리프(creep), 렌즈의 일반적인 에이징(ageing) 등에 기인하는 것들의 보정에도 적용 가능하며, 청구범위의 청구항들은 이들 효과들도 내포한다. 본 발명은 또한 렌즈-종속 효과(lens-dependent effect)에만 국한되는 것이 아니라, 예를 들면 레티클 효과가 가열에 의해 발생된 것인지의 여부 등과 같은 기타 구성요소에서의 변화에도 적용 가능하다.

## 발명의 효과

본 발명에 따르면 상술한 문제들을 제거하는 개선된 결상 방법 및 장치를 제공할 수 있다.

## (57) 청구의 범위

### 청구항 1.

삭제

### 청구항 2.

리소그래피 투영장치 작동방법에 있어서,

- 방사선 투영 빔을 제공하는 방사선 시스템;

- 원하는 패턴에 따라 상기 투영 빔을 패터닝하는 역할을 하는 패터닝 수단을 지지하는 지지 구조체;

- 기판을 고정시키는 기판 테이블;

- 상기 패터닝된 빔을 상기 기판의 목표영역에 투영하는 투영 시스템을 포함하여 이루어지고,

상응하는 사전설정된 파라미터들의 1이상의 세트를 얻기 위하여, 2개의 시정수를 포함하는 파라미터들의 1이상의 세트를 갖는 수차 효과를 캘리브레이션하는 단계를 포함하여 이루어지고,

상기 캘리브레이션하는 단계는 상기 2개의 시정수의 추가 미세 캘리브레이션을 더 포함하며;

사전설정된 파라미터들의 1이상의 세트를 기초로 하여, 시간의 함수로서 상기 투영 시스템내의 수차 효과의 변화를 연산하는 단계; 및

상기 연산된 수차 효과의 상기 변화를 보상하도록 상기 리소그래피 투영장치를 조정하는 단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 3.

제 2항에 있어서,

상기 교정은,

- 상기 방사 시스템의 복수의 상이한 조명 설정에서 연속으로 수행되는 교정,

- 상기 패터닝 수단에 의해 제공되는 복수의 상이한 패턴으로 연속해서 수행되는 교정, 및

- 상기 기판 테이블상에 제공된 복수의 상이한 기판으로 연속으로 수행되는 교정을 포함하는 그룹 중에서 선택된 하나 이상의 교정을 포함하고,

여기서, 상기 파라미터의 세트는 각각의 교정에 대해 얻어지며, 상기 교정에서 얻어진 파라미터의 세트는 데이터베이스에 저장되는 것을 특징으로 하는 방법.

## 청구항 4.

제 2항 또는 제 3항에 있어서,

상기 수차 효과는 각각 그 자신의 사전설정된 파라미터 세트를 가지는 상이한 형태의 수차 효과의 조합을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

## 청구항 5.

제 4항에 있어서,

상기 파라미터의 일부는 세트들간에 공통적인 것을 특징으로 하는 방법.

## 청구항 6.

제 2항 또는 제 3항에 있어서,

상기 파라미터는 2 이상의 시정수 및 1 이상의 계수 인자를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

## 청구항 7.

제 6항에 있어서,

상기 2 이상의 시정수는 상기 파라미터 세트들간에 공통적인 것을 특징으로 하는 방법.

## 청구항 8.

제 2항 또는 제 3항에 있어서,

상기 연산 단계는 시간에 따라 지수적으로 변하는 1 이상의 함수를 이용하여 상기 수차 효과를 연산하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

## 청구항 9.

제 8항에 있어서,

한 쌍의 지수 함수를 이용하는 것을 특징으로 하는 방법.

## 청구항 10.

제 2항 또는 제 3항에 있어서,

상기 파라미터의 세트가 미리 결정되지 않은 조건하에서 상기 투영장치를 작동시키기 위하여, 상기 연산 단계는 상이한 조건들하에서 상기 투영장치에 대해 얻어진 파라미터들을 기초로 하여 상기 파라미터들 중 하나 이상을 내삽(interpolating) 또는 외삽(extrapolating)하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

## 청구항 11.

제 10항에 있어서,

상기 조건은 조명 설정 및 기판 반사도를 포함하는 그룹으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

## 청구항 12.

제 2항 또는 제 3항에 있어서,

상기 수차 효과는 포커스 드리프트, 필드 곡률, 배율 드리프트, 3차 왜곡, 구형 수차, 코매틱 수차, 축선상의 비점수차, 비대칭 배율 및 이것들의 조합 중 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

## 청구항 13.

제 2항 또는 제 3항에 있어서,

상기 조정 단계는,

상기 투영 시스템의 광학 축선을 따르는 상기 지지 구조체의 위치, 상기 지지 구조체의 회전 배향, 상기 광학 축선을 따르는 상기 기판 테이블의 위치, 상기 기판 테이블의 회전 배향, 상기 투영 시스템에 포함된 1 이상의 가동 렌즈 요소의 상기 광학 축선을 따르는 위치, 상기 투영 시스템에 포함된 1 이상의 가동 렌즈 요소의 상기 광학 축선에 대해 디센터링하는 정도(degree of decentering), 상기 투영 빔의 중심 파장, 및 에지 엑추에이터를 이용하는 상기 투영 시스템에 포함된 1 이상의 렌즈 요소의 새들형(saddle-like) 변형 중 하나 이상을 조정하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

## 청구항 14.

제 2항 또는 제 3항에 있어서,

동적 수차 보정을 제공하기 위하여, 대응하는 일련의 목표영역에 대한 반복되는 일련의 노광 동안, 상기 연산 및 조정 단계를 반복해서 수행하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

## 청구항 15.

제 14항에 있어서,

상기 연산 및 조정 단계 중 하나 이상은 상기 기판의 목표영역에 대한 각각의 노광 사이에서 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

## 청구항 16.

제 14항에 있어서,

상기 반복되는 일련의 노광 동안, 간헐적으로 교정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

## 청구항 17.

- 방사선 투영 빔을 제공하는 방사 시스템;

- 상기 투영 빔을 원하는 패턴에 따라 패터닝하는 역할을 하는 패터닝 수단을 지지하는 지지 구조체;

- 기판을 고정시키는 기판 테이블;

- 상기 패터닝된 빔을 상기 기판의 목표영역에 투영하는 투영 시스템; 및

- 상기 방사 시스템의 복수의 상이한 조명 설정을 제공하는 조명 설정 수단을 포함하여 이루어지는 리소그래피 투영장치에 있어서,

미세 캘리브레이션된 2개의 시정수를 포함하는 사전설정된 파라미터들의 1이상의 세트를 저장하는 메모리 수단;

상기 메모리 수단에 저장된 상기 파라미터 세트에 기초하여, 시간의 함수로서, 가열 효과로 인한 상기 투영 시스템에 있어서의 수차 효과의 변화를 연산하는 프로세서 수단; 및

수차 효과에 있어서의 연산된 상기 변화를 보상하기 위하여 상기 장치의 1 이상의 구성 요소를 조정하는 제어 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 리소그래피 투영 장치.

## 청구항 18.

제 17항에 있어서,

상기 지지 구조체는 마스크를 고정시키는 마스크 테이블을 포함하는 것을 특징으로 하는 리소그래피 투영장치.

## 청구항 19.

제 17항에 있어서,

상기 방사 시스템은 방사원을 포함하는 것을 특징으로 하는 리소그래피 투영장치.

## 청구항 20.

- 적어도 부분적으로는 방사선 감지 물질층으로 도포된 기판을 제공하는 단계;

- 방사 시스템을 이용하여 방사선 투영 빔을 제공하는 단계;

- 패터닝 수단을 이용하여, 상기 투영 빔에 그 단면 패턴을 부여하는 단계;

- 상기 패터닝된 방사선 빔을 상기 방사선 감지 물질층의 목표영역상에 투영하는 단계를 포함하여 이루어지는 디바이스 제조방법에 있어서,

반복적으로,

대응하는 일련의 목표영역에 대한 반복되는 일련의 노광 동안, 2개의 시정수를 포함하는 사전설정된 파라미터들의 1이상의 세트에 기초하여, 시간의 함수로서 상기 투영 시스템에 있어서의 수차 효과의 변화를 연산하는 단계; 및

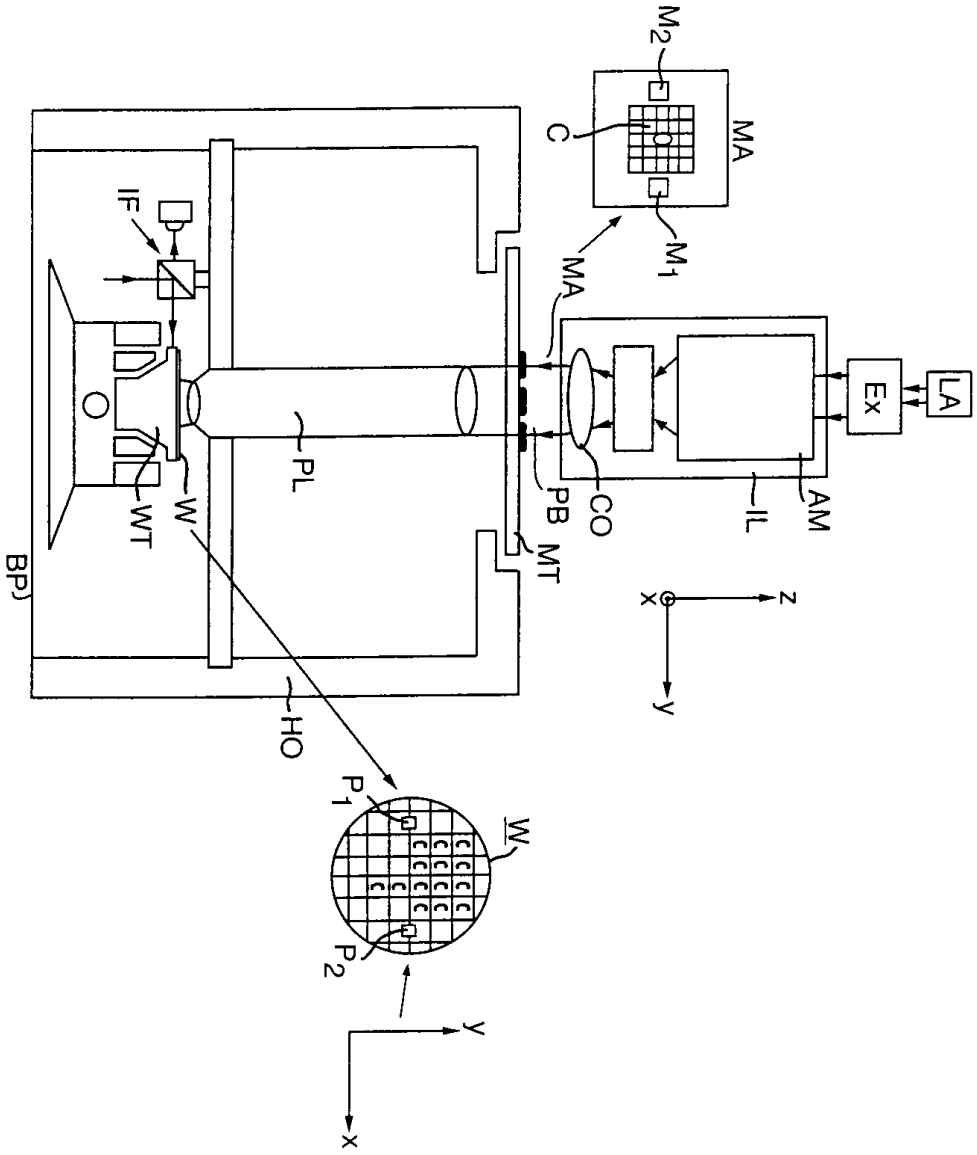
수차 효과에 있어서의 연산된 상기 변화를 보상하기 위하여 리소그래피 투영장치를 조정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 디바이스 제조방법.

## 청구항 21.

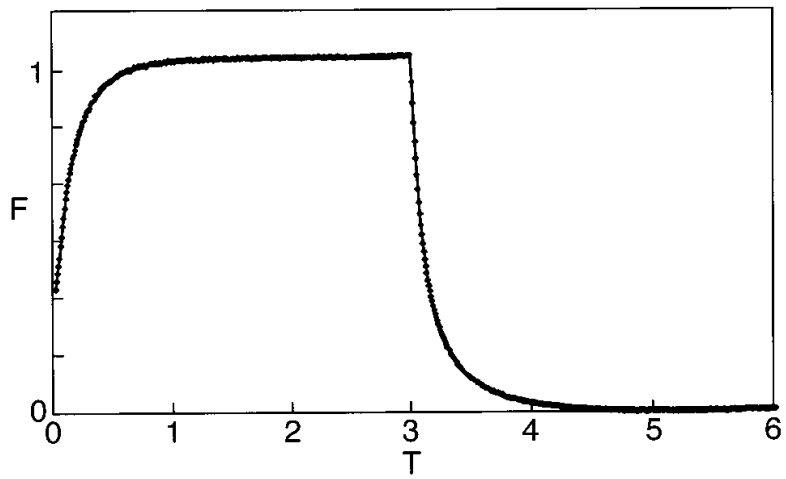
제 20항의 방법에 따라 제조된 디바이스.

도면

도면1


M2
C
MA
M1
MA
IF
O
PL
W
WT
PB
CO
IL
AM
Ex
LA
MT
BP
HO
z
x
y
P1
W
P2
y
x

도면2


1
F
0
0
1
2
3
4
5
6
T

도면3

