

**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

|   |                          |
|---|--------------------------|
| (51) Int. Cl.<br><i>H01L 21/027</i> (2006.01) | (45) 공고일자<br>2006년06월26일 |
|   | (11) 등록번호<br>10-0592575  |
|   | (24) 등록일자<br>2006년06월15일 |

|                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| (21) 출원번호<br>10-2003-0079923 | (65) 공개번호<br>10-2004-0044340 |
| (22) 출원일자<br>2003년11월12일     | (43) 공개일자<br>2004년05월28일     |

|                          |             |        |
|--------------------------|-------------|--------|
| (30) 우선권주장<br>60/425,309 | 2002년11월12일 | 미국(US) |
|--------------------------|-------------|--------|

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| (73) 특허권자<br>에이에스엠엘 마스크틀즈 비.브이. |  |
| 네덜란드 5503 엘에이 벨트호벤 드 런 1110     |  |

|                              |  |
|------------------------------|--|
| (72) 발명자<br>리브헨아르민           |  |
| 미국캘리포니아94542헤이워드라운드힐드라이브3297 |  |

|                 |  |
|-----------------|--|
| (74) 대리인<br>송재련 |  |
| 김양오             |  |

**심사관 : 설관식**

**(54) 조명 소스 최적화에 의해 렌즈 수차 보상을 제공하는 방법 및 장치**

**요약**

렌즈 수차를 보상하는 방법으로서, 상기 방법은 (a) 묘화 시스템(imaging system)의 묘화성능(imaging performance)을 정량화하는 비용 메트릭(cost metric)을 정의하는 단계를 포함하되, 상기 비용 메트릭은 상기 묘화 성능에 대한 렌즈 수차의 효과를 반영하고; (b) 소스 조명 프로파일을 정의하는 단계; (c) 상기 소스 조명 프로파일을 기초로 하여 상기 비용 메트릭을 평가하는 단계; (d) 상기 소스 조명 프로파일을 변경하고, 상기 변경된 소스 조명 프로파일을 기초로 하여 상기 비용 메트릭을 재평가하는 단계; 및 (e) 상기 비용 메트릭이 최소가 될 때까지 단계(d)를 반복하는 단계를 포함한다. 상기 최소화된 비용 메트릭에 대응하는 소스 조명 프로파일은 묘화 디바이스에 대한 최적 조명을 나타낸다.

**대표도**

도 5

**명세서**

**도면의 간단한 설명**

도 1은 묘화 시스템의 기본적인 구성요소를 도시한 블록선도이고,

도 2는 기판상에 묘화될 피처를 갖는 대표적인 단위셀을 도시하고,

도 3은 주기적 패턴을 묘화함으로써 나타나는 대표적인 회절패턴을 도시하고,

도 4는 대표적인 소스 조명 프로파일을 도시하고,

도 5는 본 발명의 소스 조명 프로파일 최적화 공정을 도시하는 대표적인 순서도(flow chart)이고,

도 6은 다른 대표적인 소스 조명 프로파일을 도시하고,

도 7은 본 발명의 도움으로 디자인된 마스크와 함께 사용되기에 적합한 리소그래피 투영장치를 개략적으로 도시한다.

## 발명의 상세한 설명

### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 포토리소그래피에 관한 것으로, 특히 조명 소스 최적화 공정을 수행하여 렌즈 수차를 보상함으로써 리소그래피 공정들의 개선된 성능을 제공하는 방법에 관한 것이다. 또한, 본 발명은, 최적화 공정과 통합되며, 방사선의 투영빔을 제공하는 방사선시스템; 투영빔을 패터닝하는 역할을 하는, 마스크를 잡아주는 마스크테이블; 기판을 잡아주는 기판테이블; 및 기판의 타겟부상에 패터닝된 투영빔을 투영하는 투영시스템을 포함하는 리소그래피 장치를 이용하는 디바이스제조방법에 관한 것이다.

예를 들어, 리소그래피 투영장치(툴)는 집적회로(IC)의 제조에 사용될 수 있다. 이러한 경우, 상기 패터닝수단은 IC의 개별 층에 해당하는 회로패턴을 생성할 수 있으며, 상기 패턴은 한 층의 방사선감응재(레지스트)로 코팅된 기판(실리콘웨이퍼) 상의 타겟부(예를 들면, 1이상의 다이로 구성되는)에 묘화될 수 있다. 일반적으로, 한 장의 웨이퍼에는 인접하여 있는 여러 개의 타겟부로 구성된 전체적인 네트워크를 포함하며, 이들 타겟부는 투영시스템을 통하여 한번에 하나씩 연속적으로 조사된다. 한 가지 형태의 리소그래피 투영장치에서는 타겟부상에 전체 마스크패턴을 한번에 노광함으로써 각 타겟부가 조사되는데, 이러한 장치를 통상 웨이퍼 스텝퍼(wafer stepper)라고 한다. 통상, 스텝-앤드-스캔 장치(step-and-scan apparatus)라고 불리우지는 대체장치에서는 투영빔하에서 소정의 기준방향("스캐닝" 방향)으로 마스크 패턴을 점진적으로 스캐닝하는 한편, 이 방향과 평행으로 또는 역평행으로 기판을 동기화시켜 스캐닝함으로써 각 타겟부가 조사된다. 일반적으로 투영시스템은 배율팩터 M(일반적으로 <1>)을 가지므로 기판테이블이 스캐닝되는 속도 V는 마스크테이블이 스캐닝되는 속도의 팩터 M배가 된다. 여기에 서술된 리소그래피 장치와 관련된 보다 많은 정보는 예를 들어, US 6,046,792호로부터 얻을 수 있으며 본 명세서에서도 참조자료로 채용된다.

리소그래피 투영장치를 사용하는 제조공정에서, 마스크 패턴은 적어도 부분적으로 방사선감응재(레지스트)의 층에 의하여 도포되는 기판상에 묘화된다. 이 묘화단계(imaging step)에 앞서, 기판은 전처리(priming), 레지스트 코팅 및 소프트 베이크와 같은 여러가지 과정을 거칠 수 있다. 노광 후에는, 노광후 베이크(PEB), 현상, 하드 베이크 및 묘화된 피처(imaged feature)의 측정/검사와 같은 또 다른 과정을 거치게 된다. 이러한 일련의 과정은, 예를 들어 IC 디바이스의 개별층을 패터닝하는 기초로서 사용된다. 그런 다음 이렇게 패터닝된 층은 에칭, 이온주입(도핑), 금속화, 산화, 화학-기계적 폴리싱 등과 같은, 모두가 개별층을 마무르도록 하는 여러 공정을 거친다. 여러 개의 층이 요구된다면, 새로운 층마다 전체공정 또는 그것의 변형된 공정이 반복되어져야만 할 것이다. 그 결과로, 기판(웨이퍼)상에는 디바이스의 배열이 존재하게 될 것이다. 이들 디바이스는 다이싱 또는 소잉 등의 기술에 의하여 서로 분리되고, 이들 각각의 디바이스는 캐리어에 장착되고 펀 등에 접속될 수 있다. 이와 같은 공정에 관한 추가 정보는, 예를 들어, 본 명세서에서 참조자료로 채용되고 있는 "Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing" (3판, Peter van Zant 저, McGraw Hill출판사, 1997년, ISBN 0-07-067250-4)으로부터 얻을 수 있다.

상기 리소그래피 툴은 2이상의 기판테이블(및/또는 2 이상의 마스크테이블)을 구비하는 형태가 될 수도 있다. 이러한 "다수 스테이지" 장치에서는 추가 테이블이 병행으로 사용될 수 있으며, 1이상의 테이블이 노광에서 사용되고 있는 동안 1이상의 다른 테이블에서는 준비작업 단계가 수행될 수 있다. 예를 들어 US 5,969,441호 및 WO 98/40791호에는 트윈스테이지 리소그래피장치가 개시되어 있으며, 본 명세서에서도 인용참조되고 있다.

상술한 포토리소그래피마스크는 실리콘웨이퍼에 집적될 회로 구성요소에 대응하는 기하학적 패턴을 포함한다. 이러한 마스크를 생성하는 데 사용되는 패턴은 CAD(컴퓨터지원설계) 프로그램을 이용하여 형성되며, 이러한 공정을 흔히 EDA (electronic design automation)라고도 한다. 대부분의 CAD 프로그램은 기능적인 마스크를 생성하기 위해서 1세트의 소정

디자인 규칙에 따른다. 이를 규칙은 프로세싱 및 디자인 제한에 의하여 설정된다. 예를 들어, 디자인 규칙은 (게이트, 캐페시터 등과 같은) 회로 디바이스들 또는 배선 라인들간의 공간 공차(space tolerance)가 정의되어, 회로 디바이스들 또는 라인들이 바람직하지 않은 방식으로 서로 작용하지 않도록 보장한다.

물론, 집적화된 회로제작의 목표중의 하나는 웨이퍼상에 원래의 회로디자인을 (마스크를 통하여) 충실히 복사하는 것이다. 또 다른 목표는 가능한 한 다수의 반도체웨이퍼의 실면적을 활용하는 것이다. 하지만, 집적된 회로의 크기가 작아지고, 그 밀도가 증가함에 따라, 대응하는 마스크 패턴의 CD(critical dimension)는 광학노광툴의 분해능 한계에 다가간다. 노광툴의 분해능은 노광툴이 웨이퍼상에 반복적으로 노광할 수 있는 최소피처로 정의된다. 현재의 노광장비의 분해능 값은 최신의 여러 IC회로 설계를 위한 CD에 제약을 가하고 있다.

리소그래피 공정의 전반적인 성능을 저하시키는 한 가지 요인은 투영렌즈의 수차이다. 실제로, 현재 제조공정들이 고품질 표준을 갖는 렌즈의 생산을 허용하더라도, 묘화 성능(imaging performance)을 저하시키는 렌즈 수차가 여전히 존재한다. 나아가, 시간에 걸쳐 렌즈가 노후되고, 또한 수차 및/또는 플레이어(flare)의 증가를 나타낼 수 있어, 렌즈의 성능을 더욱 저하시킨다. 따라서, 시간에 걸친 렌즈 성능의 저하 및 렌즈 수차를 보상하기 위한 간단하면서도 비용을 절감할 수 있는 방법이 요구된다.

아래에 상세히 설명하는 바와 같이, 본 발명의 바람직한 실시예는 시간에 걸친 렌즈 성능의 등급저하 및 렌즈 수차를 보상하기 위한 방법 및 장치를 제공한다(예를 들어, 렌즈들은 통상적으로 수차 시그니처(signature)의 저차수 성분들의 드리프트를 나타냄). 하지만, 본 발명의 설명에 앞서, 리소그래피 공정 및 현재 공지된 몇가지 최적화 기술들에 대한 간략한 개요를 설명하여, 본 발명의 이해를 돋도록 하겠다. 본 명세서에서 "렌즈 수차"라는 용어는 렌즈의 왜곡(distortion), 디포커스(defocus), 레이저 파장의 변동, 웨이퍼 평탄도(flatness) 및 대기압 (barometric pressure)으로 인한 영향들을 포함한다는 점에 유의한다.

### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

도 1은 묘화시스템(10)의 기본적인 구성요소들을 보여주는 블록선도이다. 도 1을 참조하면, 묘화시스템(10)은 (레티클이라고도 알려진) 마스크(14)를 조명하기 위한 조명소스(12)를 포함한다. 일단 마스크를 통과하면, 광은 퓨필(16)을 통과하며 투영렌즈(18)에 의해 포획(capture)되고 기판(20)상으로 투영되어, 기판 상에 소정의 패턴이 묘화된다. 도 1으로부터 알 수 있듯이, 만약 상기 묘화시스템의 투영렌즈내에 수차가 존재한다면, 성능에 있어서의 등급저하(degradation)가 발생한다.

전체적인 프린팅 성능을 개선시키기 위하여 소스 조명(source illumination)과 마스크 패턴을 최적화하기 위한 방법들이 종래 기술로 개시되어왔다는 것에 주의해야 한다. 그러한 방법 중의 하나가 미국 특허 공개번호 2002/01490920 A1(US Publication No. 2002/01490920 A1)에서 로젠블루스 등(Rosenbluth et al.)으로 개시되었다. 특히 로젠블루스는 주어진 마스크 패턴의 프린팅을 개선시키기 위한 소스 조명 및 마스크 패턴의 최적화를 수행한다고 하는 리소그래피 최적화 시스템을 개시한다. 소스/마스크 패턴의 최적조합을 결정하기 위하여 로젠블루스에 의해 활용된 메리트 함수(function of merit)는, 패턴 지오메트리의 경계(border)를 따른 미리 선택된 많은 점들에서의 에어리얼 이미지 로그-슬로프(aerial image log-slope)이다. 최적화 알고리듬은, 리소그래피 패턴의 프린팅이, 퓨필평면내의 그들의 위치와는 독립적으로 이미징 퓨필(imaging pupil)내에 모여진(collected) 회절차수(diffraction order)들의 세트에 의해서만 결정된다는 가정에 기초한 것으로 보인다.

그러나, 패턴 내에서의 선택된 샘플링 위치들에서 에어리얼 이미지 로그-슬로프를 최대화하는 것은, 일반적으로 노광관용도(exposure latitude)(EL)라고 언급되는 노광 변동에 대한 예산/공차(budget/tolerance)를 향상시키는 반면에, 일반적으로 초점심도(DOF)라고 언급되는 초점 변동에 대한 예산/공차를 증가시키는데는 별 도움이 되지 않는다. 사실은 인-포커스 조건들(즉, 제로 DOF)하에서의 노광관용도(EL)를 위해 최적화된 패턴들은, 디포커스 변동들 때문에 도모되는 전형적인 공정조건들을 위하여 최적화되던 패턴들과 비교하여 상보적인 결과들을 보여준다. 따라서, 로젠블루스의 최적화 루틴은 이러한 문제를 겪게 될 것이다.

로젠블루스의 최적화 공정의 또 다른 한계는, 투영된 이미지에 대한 회절패턴의 효과가 퓨필 평면내의 상기 회절차수들의 위치와는 독립적이라고 가정된다는 것이다. 따라서, 로젠블루스 공정은, 퓨필 평면내의 회절 패턴의 정확한 위치의 함수로서 투영된 이미지에 영향을 미치는 파면 변조(wave front modulation)에 종속적인 퓨필평면위치로서 작용하는 렌즈 수차 효과의 모델링을 배제한다.

더구나, 오프액시스 조명을 활용하여 마스크 패턴들을 조명하면 프리트된 이미지에 대한 초점심도가 향상될 수 있다는 것이 알려져 있다. 이러한 응용례의 예를 들면, 쿼사(Quasar), 쌍극(dipole) 또는 사중극(quadrupole) 소스 조명 요소들과 같은 선택가능한 회절광학요소들(DOE) 모듈들이 있다. 이러한 요소들의 사용은 주어진 리소그래피 공정을 위한 노광관용도(EL)뿐만 아니라 초점심도(DOF)를 개선시킬 수 있다. 그러나 이러한 조명기(illuminator)들은 최적의 가능한 조명 프로파일을 생성하거나 생성할 수 없는 미리 결정된 형상을 가진다. 현재에는, 초점심도(DOF)와 리소그래피 공정을 위한 노광관용도(EL) 모두를 개선시키는 한편, 투영렌즈 내의 렌즈 수차의 원인이 되는 이러한 소스 형상 패턴을 최적화한 방법이 존재하지는 않는다.

따라서, 상술한 바와 같이, 시간에 걸친 렌즈 성능의 등급저하와 렌즈 수차를 보상하는 간단하고 비용 효율적인 방법으로서, 주어진 리소그래피 공정에 대한 초점심도(DOF) 성능도 동시에 최적화하는 방법에 대한 요구가 남아 있다.

본 발명은, 종래 기술에서의 상기한 부족한 점들을 해결하기 위한 노력으로서, 시간에 걸친 렌즈 성능의 등급저하와 렌즈 수차를 보상하기 위한 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다. 본 발명의 또 다른 목적은 상기한 렌즈 보상을 수행함과 동시에 초점심도(DOF) 성능을 최적화시키도록 하는 것이다. 본 명세서에 정의된 "렌즈 수차"라는 용어는 렌즈의 왜곡, 디포커스, 레이저 파장의 변동, 웨이퍼 평탄도, 및 대기압에 기인한 효과들을 포함하는 것이라는 것에 주의해야 한다.

더욱 상세하게는, 본 발명은 렌즈 수차를 보상하기 위한 방법에 관한 것으로서, 상기 방법은 (a) 묘화 시스템(imaging system)의 묘화성능(imaging performance)을 정량화하는 비용 메트릭(cost metric)을 정의하는 단계를 포함하되, 상기 비용 메트릭은 상기 묘화 성능에 대한 렌즈 수차의 효과를 반영하고; (b) 소스 조명 프로파일을 정의하는 단계; (c) 상기 소스 조명 프로파일을 기초로 하여 상기 비용 메트릭을 평가하는 단계; (d) 상기 소스 조명 프로파일을 변경하고, 상기 변경된 소스 조명 프로파일을 기초로 하여 상기 비용 메트릭을 재평가하는 단계; 및 (e) 상기 비용 메트릭이 최소가 될 때까지 단계(d)를 반복하는 단계를 포함한다. 최소가 된 비용 메트릭에 대응하는 소스 조명 프로파일이 묘화 디바이스(imaging device)에 대한 최적 조명을 나타낸다.

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 검출패턴, 액정표시패널, 박막 자기헤드 등의 제조에도 사용될 수 있다. 당업자라면, 전술한 기타 응용분야들에서, 본 명세서에서 사용된 "레터클", "웨이퍼" 또는 "다이"와 같은 용어는 각각 "마스크", "기판" 및 "타겟부" 등과 같이 좀 더 일반적인 용어로 각각 대체되는 것으로 간주되어야 함을 이해할 것이다.

본 명세서에서, "방사선" 및 "빔"이란 용어는, 자외선 방사선(예를 들면, 365 nm, 248 nm, 193 nm, 157 nm 또는 126 nm의 파장을 가짐), EUV(극자외선, 예를 들면, 5 ~ 20 nm 범위의 파장을 가짐)를 포함하는 모든 형태의 전자기 방사선을 내포하도록 사용된다.

본 명세서에서 채용된 마스크라는 용어는, 기판의 타겟부에 생성되어야 할 패턴에 대응하는, 패터닝된 단면을 입사하는 방사선 빔에 부여하도록 사용될 수 있는 일반적 패터닝 수단을 나타내는 것으로 해석되어야 한다; 본 명세서에서는 "광밸브(light valve)"라는 용어로도 사용될 수 있다. 통상적인 마스크(투과 또는 반사성; 바이너리, 위상시프팅, 하이브리드 등) 이외에도, 이러한 패터닝 수단의 예로는 다음과 같은 것들이 포함된다:

a) 프로그래밍 가능한 거울 배열. 이러한 장치의 예로는, 점탄성 제어층(viscoelastic control layer)과 반사면을 구비한 매트릭스-어드레서를 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 납득할 수 있다; 이러한 방식으로, 상기 빔은 상기 매트릭스-어드레서를 표면의 어드레싱 패턴에 따라 패터닝된다. 이때 요구되는 매트릭스 어스레싱은 적당한 전기적 수단을 사용하여 수행될 수 있다. 이러한 거울 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.

b) 프로그래밍 가능한 LCD 배열. 이러한 구조의 일례는 본 명세서에서 참고자료로 활용되고 있는 미국 특허 US 5,229,872호에 있다.

본 발명에 따른 방법은 종래 기술에 비하여 중요한 이점을 제공한다. 가장 중요하게는, 본 발명은, 렌즈 수차를 보상하고 사용자로 하여금 보다 높은 패턴 충실도로 묘화할 수 있게 하는 조명 형상(illumination shape)을 자동적으로 결정하는 리소그래피 소스 패턴 최적화 툴을 제공한다. 결과적으로, 본 발명은 개선된 묘화 성능을 제공하고 투영 렌즈의 유용한 수명

을 연장시킨다. 일반적으로 투영렌즈가 묘화 시스템에서 가장 비싼 부분 중 하나이므로, 투영렌즈의 수명을 연장시키는 것은 중요한 이점을 갖는다(즉, 렌즈의 성능을 개선시키고 시간에 걸친 렌즈 성능의 등급저하를 보상함으로써, 본 발명은 렌즈가 교체될 필요가 있는 빈도(frequency)를 최소화시킨다). 게다가, 본 발명에 따른 방법은 또한 노광관용도("EL")와 같은, 그러나 이에 한정되지는 않는 부가적인 메트릭(metric)의 동시 최적화를 허용한다.

본 발명의 또 다른 이점은 당업자라면 본 발명의 전형적인 실시예들에 대한 아래의 자세한 기재로부터 명백해질 것이다.

다음의 자세한 기재 및 첨부된 도면을 참조하면 본 발명이 그 자체로, 다른 목적 및 이점들과 함께, 이해될 수 있을 것이다.

### 발명의 구성 및 작용

아래에서 더욱 자세히 설명하는 바와 같이, 본 발명의 리소그래피 최적화 공정의 목적은, 먼저 변하는 묘화 조건들의 세트 하에서 비용 메트릭 "C"를 정의하고 최소화하는 것인데, 이 경우의 비용 메트릭(C)은 묘화 시스템의 성능을 정량화하는 수치 값으로 되돌리는(return) 일 세트의 공정 파라미터들의 함수이다. 중요하게는, 상기 비용 메트릭(C)은 묘화 성능에 대한 렌즈 수차의 효과를 반영한다. 본 발명에 따르면, 상기 비용 메트릭(C)은 기판상에 프린트된 결과적인 이미지에 대한 조명 소스의 형상의 효과를 정량화한다. 비용 메트릭이 작으면 작을수록, 묘화 공정의 수행은 더욱 더 나아진다(즉, 결과적인 이미지가 더욱 더 정확히 타겟 패턴과 정합된다).

실제적인 문제로서, 리소그래피 공정 최적화는 다수의 제약조건(constraint)들을 만족시키는 것을 필요로 한다. 이러한 제약조건의 예시로는 이미지 로그 슬로프를 최대화하는 것, 초점심도를 최대화하는 것, 라인 단부 쇼트닝(line end shortening)을 최소화하는 것 등이 포함되나, 이에 한정되지는 않는다. 따라서, 이러한 다수의 성능 기준(performance criterion)들이 주어지면, 전체 비용 함수(global cost function)이 수학식 1로 기재된 바와 같이 각각의 기준의 가중합으로 공식화될 수 있다.

$$\text{수학식 1}$$

$$C_{\text{total}} = \sum_i w_i C_i$$

따라서, 공정 최적화의 대상(objective)들은 전체 비용 함수에 대한 개별적인 기여분인  $C_i$ 로 표현될 수 있다. 또한, 각 기여분의 중요성은 영향 계수(influence factor)인  $w_i$ 로 가중될 수 있다.

주지한 바와 같이, 본 발명의 목적은 조명 소스 최적화를 통하여 (디포커스를 포함한) 렌즈 수차의 부정적인 영향을 최소화하는 것이다. 요약하자면, 이는 먼저, 묘화 시스템의 퓨필 평면(즉, 투영렌즈)내에 특정 수차 필드(aberration field)가 주어진 프린트된 웨이퍼 이미지에 대한, 이미지 등급저하에 종속하는 소스 형상의 효과를 정량화하는 비용 메트릭( $C_i$ )을 정의함으로써 달성된다. 본 발명의 일실시예에서, 상기 비용 메트릭( $C_i$ )은 저절로 최적화되어, 결과적으로 렌즈 수차의 존재시 공정 성능을 완전히 최대화하는 조명소스 프로파일이 생겨난다. 다른 일실시예에서는, 상기 비용 메트릭( $C_i$ )이 다른 메트릭들과 조합하여 최적화되어, 결과적으로 디포커스와 렌즈 수차에 기인한 이미지 등급저하의 최적화를 포함하는 조합된 트레이드오프(tradeoff)들을 갖는 조명 소스 프로파일이 생겨난다.

본 발명의 바람직한 실시예에 주의를 돌려보면, 소스 조명 프로파일의 함수로서 디포커스 및 렌즈 수차의 존재에 기인하는 노광된 웨이퍼 이미지의 이미지 등급저하를 측정하는 한 방법이 개시된다. 이 등급저하는 비용 메트릭/함수인  $C(w_s)$ 의 항으로 표현된다. 이 비용 함수( $C(w_s)$ )는, 결과적으로  $C(w_s)$ 의 최소값이 되는 소스 필드 분포(즉, 소스 조명 프로파일)을 결정하기 위하여 다양한 소스 필드 분포( $w_s$ )들에 대해서 연속적으로 평가된다. 이에 한정되는 것은 아니지만, 예를 들면, 결례 구배법(conjugate gradient method), 시뮬레이트된 어닐링 또는 일반적 알고리듬(simulated annealing or generic algorithm)과 같은 표준 최적화 기술이  $C(w_s)$ 의 최소화를 수행하는 데 활용될 수 있다.

최적화 공정의 제 1단계는 비용 함수( $C(w_s)$ )를 정의하는 것이다. 묘화될 패턴이 단위셀(unit cell)을 갖는 주기적 패턴이라고 가정하면, 이러한 주기적 패턴에 대한 퓨필 평면내의 회절차수들은, 회절차수(diffractioon order)로 알려진 이산적인 소정의 위치들의 규칙적인 그리드(regular grid)로 맵핑(mapping)된다. 이러한 회절차수들의 정확한 위치는 조명 소스의 오프액시스 범위에 의하여 조정될 수 있다. 도 2는 회절차수(199)를 갖는 대표적인 단위셀(201)을 도시한다. SRAM 및 DRAM 디바이스와 관련된 디자인과 같은 몇몇 디자인에서는, 이러한 단위셀들이 그 디자인 전체를 통해 연속적으로 반복된다.

대물평면 내에 점  $r$ 에서 측정된 에어리얼 이미지 강도( $I(r)$ )는, 투과 함수( $w_s$ )에 의해 각각 가중된 다수의 소스 점( $w_s$ )들(즉, 다양한 소스 조명 분포들)로부터의 비간섭성 중첩(incoherent superposition)의 결과이다.

조명 소스 최적화의 대상은 특정 성능 메트릭을 최대화하는(또는 특정 비용 메트릭을 등가적으로 최소화하는) 소스 분포( $P_s$ )를 찾아내는 것이다. 더욱 상세하게는, 상기 대상은 광학 투영시스템의 전달함수에서 렌즈 수차의 존재에 의해 유도된 묘화에러를 최소화하는 것이다. 디포커스에 대한 고려도 이러한 수차들에 포함된다. 렌즈 수차들은 묘화 퓨필(imaging pupil)을 통한 회절차수들의 투과에 적용된 위상 왜곡(phase distortion)으로 표현될 수 있다.

$I_s(r)$ 이 단일 소스 점인  $s$ 로부터의 이미지 강도에 대한 기여분을 나타내고  $w_s$ 가 각 지점에서의 조명 소스의 투과값을 나타낸다고 가정하면,  $I(r)$ 에서의 전체 이미지는 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$\text{수학식 2} \\ I(r) = \sum_s w_s I_s(r)$$

$E_s(r)$ 이 대물 평면내의 점  $r$ 에서 측정된 점 소스( $s$ )와 관련된 전기장을 나타낸다고 가정하면,  $E_s(r)$ 은 퓨필 어퍼처에 의해 모아진 이산적인 회절차수들의 합수이고, 표준 묘화 이론에 따르면 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$\text{수학식 3} \\ E_s(r) = \sum_n a_{sn} e^{ik_n r}$$

여기서 첨자  $n$ 은 묘화 퓨필에 의해 모아진 모든 차수의 유한 세트(set)를 나타내고  $a_{sn}$ 은 복소 변조 계수(회절 진폭)들의 세트를 나타낸다. 다음에는, 첨자  $s$ 가 생략되고 소스 점( $s$ )로부터 방출되는 간섭성 조명으로부터의 부분적 기여분(partial contribution)을 암시적으로 가정한다.

렌즈 수차의 효과는 다음 식에 따라 회절 진폭(difraction amplitude)을 왜곡시킨다는 것이다.

$$\text{수학식 4} \\ a'_n = a_n e^{i\phi(k_n)}$$

여기서,  $a'_n$ 은 수차 필드( $\phi(k)$ )에 의해 왜곡된 회절 진폭을 나타낸다. 상기 수차 필드( $\phi(k)$ )에 의존하는 대물 평면 내의 전기장 진폭은 다음 식과 같다:

$$\text{수학식 5} \\ E'_s(r) = \sum_n a'_n e^{ik_n r} e^{i\phi(k_n)}$$

계속하여 수차에 의한(aberrated) 이미지 강도  $I'_s(r)$ 은 다음 식과 같다:

$$\text{수학식 6} \\ I'_s(r) = \sum_{n,n'} a_n a'_{n'} e^{i(k_n - k_{n'})r} e^{i(\phi(k_n) - \phi(k_{n'}))}$$

수학식 6에서 모든 대각 항(diagonal term)( $n = n'$ )들에 대해서는 수차의 효과가 상쇄된다. 비대각 항(off-diagonal term)( $n \neq n'$ )에 대해서는 ( $nn' + n'n$ ),  $a_n = |a_n| e^{i\theta_n}$ 의 쌍들과 관련된 부분합의 식을 세울 수가 있다:

$$\text{수학식 7} \\ I'_{s,nn'} = |a_n| |a'_{n'}| \left( e^{i(k_n - k_{n'})r + i(\theta_n - \theta_{n'})} e^{i(\phi(k_n) - \phi(k_{n'}))} e^{-i(k_n - k_{n'})r - i(\theta_n - \theta_{n'})} e^{-i(\phi(k_n) - \phi(k_{n'}))} \right)$$

$\alpha := (k_n - k_{n'})r + (\theta_n - \theta_{n'})$ ,  $\Delta\phi := \phi(k_n) - \phi(k_{n'})$ 로 정의하자. 몇몇의 간단한 대수적 변환 후에 수학식 7은 다음과 같이 표현될 것이다:

## 수학식 8

$$I'_{s,nn'} = 2|a_n||a_{n'}|\cos(\alpha + \Delta\phi)$$

$$= 2|a_n||a_{n'}|(\cos\alpha\cos\Delta\phi - \sin\alpha\sin\Delta\phi)$$

다음에 렌즈 수차가 작다( $\Delta\phi \ll 1$ )고 가정한다. 사인 및 코사인 항들의 1차 항까지의 전개(expansion)는 다음과 같다:

## 수학식 9

$$I'_{s,nn'} \approx 2|a_n||a_{n'}|(\cos\alpha - \Delta\phi\sin\alpha)$$

따라서, 부분 이미지 기여분( $I'_{s,nn'}$ )에 대한 수차 필드( $\phi(k)$ )의 효과는 다음식과 같다:

## 수학식 10

$$I'_{s,nn'}(r) \approx I_s(r) - 2|a_n||a_{n'}|\Delta\phi\sin\alpha(r)$$

다음으로, 대물평면 내의 임의의 점( $r$ )들에서의  $I'_{s,nn'}(r)$ 에 대한 수차의 효과를 최소화하는 것이 바람직하다. 이 경우 인수  $\sin\alpha(r)$ 은  $[-1, +1]$ 의 전 범위라고 가정하자. 상기의 가정들하에서, 수차 필드에 의해 도입된 전체 이미지 강도에 대한 간접성 기여분인  $I_s$  상의 왜곡은 다음과 같이 경계지어진다:

## 수학식 11

$$|I'_s - I_s| \leq C_s,$$

여기서  $C_s$ 는  $C_s := 2 \sum_{n < n'} |a_n||a_{n'}| |\phi(k_n) - \phi(k_{n'})|$ 이다.

상기 표현을 수학식 2와 함께 참고하면, 수차 필드( $\phi(k)$ )에 기인한 렌즈 수차의 효과를 감소시키기 위한 최적 조명 형상은 비용 함수( $C(w_s)$ )를 최소화하는 소스 필드 분포( $w_s$ )에 의해 특징지워진다:

## 수학식 12

$$C(w_s) := \sum_i w_i C_i$$

따라서, 수학식 12은 렌즈 수차들의 효과를 최소화하기 위해서는 비용 함수가 최소화되어야 한다는 것을 나타낸다.

도 3을 참조하면, 주기적 패턴을 묘화하는 것은 결과적으로 이산적인 회절차수들(301)의 세트가 생겨난다. 특히, 도 3은 주기적 패턴을 묘화하는 것으로부터 생겨나는 대칭적인 회절 패턴을 도시한다. 도 3에 도시된 회절 패턴은 도 2에 도시된 주기적 패턴에 대응하지는 않다는 것에 주의해야 한다. 또한 비주기적 패턴은, 한정된 방어 밴드(guard band)로 그 패턴을 둘러싸는 단위셀의 주기적 패턴으로 근사화될 수 있다는 것도 주의해야 한다.

알려져 있듯이, 묘화 시스템의 투영렌즈(305)에 의해 포획된 회절차수들(301)은 기판 상의 원하는 패턴의 복사(republication)의 정확성/성능을 결정한다. 회절 차수들의 진폭("a<sub>n</sub>")은 묘화되는 피처의 기하학적 형상에 의하여 결정된다. 도 3을 참조하면, 투영렌즈(304)는 그 렌즈(304)의 개구수의 캡처 범위내의 회절 차수들의 특정 세트를 모은다. 렌즈(304)에 대한 회절차수(301)들의 위치는 조명기내의 소스 요소("s")의 부분 간접성 조명의 조명 프로파일에 의하여 결정된다. 도 4는 대표적인 조명기 프로파일(305)를 도시하는데, 여기에서 단일 조명 점("s")이 조명된다. 따라서, 조명기 내에서의 소스 요소("s")의 변위는 콜렉션 퓨필(304)(즉, 투영렌즈)의 중심과 회절 패턴(302)의 중심 사이의 변위 벡터 "s"의 원인이 된다. 따라서, 조명기(305)내의 소스 요소("s")를 조작함으로써 퓨필(304)에 의하여 포획된 회절 차수들을 변경시

키는 것뿐만 아니라, 퓨필(304)내에서의 포획된 회절차수들의 위치를 변경시키는 것도 가능하다. 소스 조명기(305)의 이러한 조작으로 인하여 렌즈 수차에 기인한 묘화의 등급저하의 최소화가 가능해진다. 특히, 만약 렌즈 수차들이 퓨필(304) 내에 몇몇 위치에 존재한다면, 소스 조명기(305)가 조정되어 회절차수들이 퓨필(304)상의 "수차위치들"내에 있지 않도록 할 수 있다.

어떠한 렌즈 수차도 없을 시에는, 회절차수들의 정확한 위치는, 동일한 회절차수들이 모여지지 않는 한 콜렉션 퓨필(304)(즉, 투영렌즈)과는 무관하다는 것에 주의해야 한다. 그러나, 상기에서 주의한 바와 같이, 디포커스나 렌즈 수차의 존재시에는 렌즈 퓨필내의 회절 차수들의 정확한 위치에 의존하여 성능이 변한다.

도 5는 본 발명에 의한 소스 조명 최적화 공정을 도시하는 대표적인 순서도이다. 제 1단계인 단계 401에서, 초기 소스 조명 프로파일인 " $w_s$ "가 계산된다. 이 프로파일은 조명 어퍼처를 커버링하는 규칙적인 그리드상의 투과값인 " $w_s$ "의 세트로 나타내어진다. 도 6을 참조하면, 상기 프로파일은, 조명 그리드를 형성하는 이산적인 복수의 점("w<sub>s</sub>")들의 프로파일이 조명됨을 나타낸다. 예를 들어, 상술한 바와 같은 "독립형의(standalone)" 최적화 모드내에서 작동되면, 상기 조명기의 초기 프로파일(즉, 형상)은 종래의 조명 어퍼처를 0외측의 최대 허용된 세팅으로 사용함으로써 획득할 수 있다. 대안적으로, 만약 상기 최적화 공정이 다른 비용 메트릭들과 결합하여 적용된다면, 조명기의 초기 프로파일(즉, 형상)은, 렌즈 수차의 고려없이 상기 다른 비용 메트릭들을 고려하여 상기 형상을 최적화함으로써 획득될 수 있다.

다음 단계인 단계 402에서는, 비용 메트릭인  $C_{total}$ 이 평가된다. 초기에, 본 발명의 반복적인 공정(reiterative process)을 통한 첫번째 패스(pass)에서,  $C_{total}$ 은 (독립형의 최적화 실시예에서의)  $C(w_s)$ 와 동일하거나, (조합된 최적화 실시예에서의) 수학식 1에 따른  $C(w_s)$ 의 효과를 포함한다고 가정된다.

다음에, 단계 403에서, 단계 402의 결과는 고려하고 있는 다른 모든 메트릭들과 가중되어 조합된다. 그 후에 이 결과는 이전의 반복(reiteration)들과 비교되고, 만약 이 결과가 최소가 아니라고 판단되면, 최소라고 판단되었던 비용 함수( $C(w_s)$ )에 대응하는 조명 프로파일("w<sub>s</sub>")이 최적 소스 조명 프로파일이 되도록 선택된다(단계 405).

본 발명에 의한 공정은 비용 메트릭( $C(w_s)$ )이 최소인지 아닌지에 따라 판단하는 수치적 반복을 수행하는 것에 유의해야 한다. 도 5를 참조하면, 단계 403에서 첫번째로 비용 메트릭( $C(w_s)$ )을 연산할 때,  $C(w_s)$ 의 값이 메모리에 저장되고 단계 404로 상기 공정이 계속되어, 새로운 조명 프로파일("w<sub>s</sub>")이 선택된다. 그리고나서 상기 공정은 단계 402로 되돌아 가서 상기 새로운 조명 프로파일로  $C(w_s)$ 를 계산한다. 그 후에 이 2번째 반복에서의 결과적인 비용 메트릭( $C(w_s)$ )이 첫번째 반복에서의 비용 메트릭( $C(w_s)$ )과 비교되어, 최소 비용 함수에 대응하는 소스 조명 프로파일이 최적 조명 프로파일로서 확인된다. 이러한 반복 공정은 최소 비용 메트릭( $C(w_s)$ )이 획득되었다고 확신될 때까지 계속된다. 일실시예에서는 일반적 알고리듬이, 이전의 반복의 결과에 기초하여 비용 메트릭을 가장 잘 감소시킬 것 같은 프로파일을 예측하는데 적용된다.

상술된 것의 변형예에 있어서, 사전설정된 횟수의 앞선 반복(예를 들어, 4번의 반복)시에,  $C(W_s)$ 의 최대 변화에 대하여 비교되는 특정값 엡실론(epsilon)을 미리결정하는 것도 가능하며, 만일  $C(W_s)$ 의 변화가 엡실론보다 작다면, 프로세스는 단계 405로 진행되며, 현재 조명 프로파일은 최적 조명 프로파일로 선택된다.

일단 최적 조명 프로파일 ws가 확인되면, 연산자는 최적 소스 조명 프로파일을 구현하는 회절광학요소와 같은 조명 형상기(shaper)를 제조하는 단계의 옵션을 가진다.

상술된 본 발명의 방법은 통상적으로, 상기 방법을 수행하며 최적 조명 프로파일을 나타내는 파일을 형성하는데 어느 정도의 기능을 담당하는, 상술된 바와 같은 CAD(컴퓨터지원설계) 프로그램으로 구현된다. CAD 프로그램의 출력일 수 있는 이러한 파일은, 최적 소스 조명을 구현하는데 필요한 회절광학요소를 제조하는데 이용될 수 있다.

본 발명은 또한 종래 기술에 비해 현저한 장점들을 제공한다. 가장 중요한 것으로는, 본 발명은 렌즈 수차를 보상하는 조명 형상을 자동으로 결정하고, 사용자에게 보다 높은 패턴 충실도(fidelity)를 갖는 묘화를 허용하는 리소그래피 소스 패턴 최적화 룰을 제공한다는 점을 들 수 있다. 그 결과, 본 발명은 개선된 묘화 성능을 제공하고, 투영렌즈의 유용한 수명을 연장시킨다. 투영렌즈는 통상적으로 묘화시스템 가운데 가장 고가의 부분들 중의 하나이므로, 투영렌즈의 수명을 연장하는 것은 상당한 이점이 있다(즉, 렌즈의 성능을 개선하고, 시간에 따른 렌즈 성능의 저하를 보상함으로써, 본 발명은 렌즈의 교체 빈도를 최소화한다).

도 7은 본 발명의 도움을 받아 설계된 마스크를 이용하기에 적합한 리소그래피 투영장치를 개략적으로 도시한 도면이다. 상기 장치는,

- 방사선의 투영빔(PB)을 공급하는 방사선시스템(Ex, IL)(상기 방사선시스템은 방사원(LA)도 포함한다);
- 마스크(MA)(예를 들어, 레티클)를 잡아주는 마스크 홀더가 마련된, 아이템 PL에 대하여 마스크를 정확히 위치시키는 제1위치설정수단에 연결된 제1대물테이블(마스크테이블)(MT);
- 기판(W)(예를 들어, 레지스트 코팅된 실리콘 웨이퍼)을 잡아주는 기판 홀더가 마련된, 아이템 PL에 대하여 기판을 정확히 위치시키는 제2위치설정수단에 연결된 제2대물테이블(기판테이블)(WT);
- 기판(W)의 타겟부(C)(예를 들면, 1이상의 다이를 포함)에 마스크(MA)의 조사된 부분을 묘화하는 투영시스템("렌즈") (PL)(예를 들어, 굴절형, 카톱트릭 또는 카타디옵트릭 광학 시스템)을 포함하여 이루어진다.

도시된 바와 같이, 상기 장치는 (투과마스크를 구비한) 투과형이다. 하지만, 일반적으로는, 예를 들어 (반사마스크를 구비한) 반사형일 수도 있다. 대안적으로, 상기 장치는 마스크 사용의 대안으로서 또 다른 종류의 패터닝수단을 채택할 수도 있다. 예로는, 프로그램가능한 거울배열 또는 LCD 매트릭스를 포함한다.

방사원(LA)(예를 들어, 수은 램프, 엑시머 레이저 또는 플라즈마 방전원)은 방사선의 빔을 생성한다. 상기 빔은 곧바로 조명시스템(일루미네이터)(IL)에 들어 가거나, 예를 들어 빔 익스팬더(Ex)와 같은 컨디셔닝 수단을 거친 다음에 조명시스템으로 들어간다. 상기 일루미네이터(IL)는 빔내의 세기 분포의 외반경 및/또는 내반경 크기(통상 각각 외측- $\sigma$  및 내측- $\sigma$ 라 함)를 설정하는 조정수단(AM)을 포함하여 이루어진다. 또한, 그것은 일반적으로 인티그레이터(IN) 및 콘덴서(CO)와 같은 그 밖의 다른 다양한 구성요소들을 포함하고 있다. 이러한 방식으로, 마스크(MA)에 도달하는 빔(PB)은 그 단면에 소정의 균일성과 세기 분포를 갖게 된다.

도 7과 관련하여, 상기 방사원(LA)은 리소그래피 투영장치의 하우징내에 놓이지만(흔히 예를 들어, 방사원(LA)이 수은 램프인 경우에서처럼), 그것이 리소그래피 투영장치로부터 멀리 떨어져 있어서 그것이 만들어 낸 방사선빔이 (가령, 적절한 지향 거울에 의해) 장치 내부로 들어오게 할 수도 있다. 후자의 시나리오는 방사원(LA)이 흔히 (예를 들어, KrF, ArF 또는 F<sub>2</sub> 레이저에 기초한) 엑시머 레이저인 때의 경우이다. 본 발명과 청구 범위는 이들 시나리오를 모두 포함하고 있다.

이후, 상기 빔(PB)은 마스크테이블(MT)상에 잡혀있는 마스크(MA)를 거친다. 마스크(MA)를 지난 빔(PB)은 렌즈(PL)를 통과하여 기판(W)의 타겟부(C)위에 상기 빔(PB)을 포커싱한다. 제2위치설정수단(및 간접계측정수단(IF))에 의하여, 기판테이블(WT)은, 예를 들어 빔(PB)의 경로내에 상이한 타겟부(C)를 위치시키도록 정확하게 이동될 수 있다. 이와 유사하게, 제1위치설정수단은 예를 들어, 마스크 라이브러리로부터 마스크(MA)의 기계적인 회수 후에, 즉 스캔하는 동안, 빔(PB)의 경로에 대하여 마스크(MA)를 정확히 위치시키도록 사용될 수 있다. 일반적으로 대물테이블(MT, WT)의 이동은, 도 14에 명확히 도시되지는 않았지만, 장행정모듈(long-stroke module)(개략 위치설정) 및 단행정모듈(미세 위치설정)의 도움을 받아 실현될 것이다. 하지만, (스텝-앤드-스캔툴과는 대조적으로) 웨이퍼스테페의 경우에는, 마스크테이블(MT)은 단지 단행정 엑추에이터에 연결되거나 또는 고정될 수도 있다.

상술한 툴은 2가지 상이한 모드로 사용될 수 있다.

- 스텝 모드에서, 마스크테이블(MT)은 기본적으로 정지상태로 유지되며, 전체 마스크 이미지는 한번에(즉, 단일 "섬광"으로) 타겟부(C)에 투영된다. 이후 기판테이블(WT)이 x 및/또는 y 방향으로 시프트되어 다른 타겟부(C)가 빔(PB)에 의하여 조사될 수 있다.
- 스캔 모드에서는, 소정 타겟부(C)가 단일 "섬광"으로 노광되지 않는 것을 제외하고는 기본적으로 동일한 시나리오가 적용된다. 그 대신에, 마스크테이블(MT)이 v의 속도로 소정 방향(소위 "스캔방향", 예를 들어 y 방향)으로 이동 가능해서, 투영빔(PB)이 마스크 이미지의 모든 부분을 스캐닝하도록 되고, 이와 함께 기판테이블(WT)은 속도  $V=Mv$ 로, 동일한 방향 또는 그 반대 방향으로 동시에 이동하는 데, 이 때  $M$ 은 렌즈(PL)의 배율(통상  $M=1/4$  또는  $1/5$ )이다. 이러한 방식으로, 분해능을 떨어뜨리지 않고도 비교적 넓은 타겟부(C)가 노광될 수 있다.

지금까지 본 발명의 특정 실시예들을 기재하였지만, 본 발명은 그 기술적 사상이나 본질적인 특성들에서 벗어나지 않으면서 다른 형태로 구현될 수 있음을 유의해야 한다. 따라서, 본 실시예들은 제한적인 것이 아니라 예시적인 것으로 간주되어야 하며, 본 발명의 범위는 청구항들 뿐만 아니라 청구항의 균등론 범위내의 모든 변형들에 의해서도 포괄적으로 정해질 수 있다.

### 발명의 효과

본 발명에 따르면 시간에 걸친 렌즈 성능의 등급저하와 렌즈 수차를 보상하기 위한 방법을 제공된다. 또한 본 발명에 따르면 상기한 렌즈 보상을 수행함과 동시에 초점심도(DOF) 성능을 최적화시킬 수 있다.

### (57) 청구의 범위

#### 청구항 1.

렌즈 수차를 보상하는 방법에 있어서,

- (a) 묘화 시스템의 묘화성능을 정량화하는 비용 메트릭을 정의하는 단계를 포함하되, 상기 비용 메트릭은 상기 묘화 성능에 대한 렌즈 수차의 효과를 반영하고;
- (b) 소스 조명 프로파일을 정의하는 단계;
- (c) 상기 소스 조명 프로파일을 기초로 하여 상기 비용 메트릭을 평가하는 단계;
- (d) 상기 소스 조명 프로파일을 변경하고, 상기 변경된 소스 조명 프로파일을 기초로 하여 상기 비용 메트릭을 재평가하는 단계; 및
- (e) 상기 비용 메트릭이 최소가 될 때까지 단계(d)를 반복하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 렌즈 수차 보상 방법.

#### 청구항 2.

제 1항에 있어서,

상기 비용 메트릭을 평가하는 단계의 결과는 상기 묘화 시스템의 상기 묘화 성능을 나타내는 단일 수치 값인 것을 특징으로 하는 렌즈 수차 보상 방법.

#### 청구항 3.

제 1항에 있어서,

회절광학 요소를 형성하는 단계를 더욱 포함하되, 상기 회절 광학 요소는 상기 최소화된 비용 메트릭에 대응하는 상기 소스 조명 프로파일을 구현하는 것임을 특징으로 하는 렌즈 수차 보상 방법.

#### 청구항 4.

제 1항에 있어서,

상기 비용 메트릭은 묘화 공정의 노광판용도 성능을 더욱 반영하는 것을 특징으로 하는 렌즈 수차 보상 방법.

## 청구항 5.

레티클을 조명하는 조명 소스 및 기판상으로 상기 레티클에 의해 회절된 광을 투영하는 투영 렌즈를 갖는 묘화 시스템내의 렌즈 수차를 보상하는 방법에 있어서,

- (a) 상기 묘화 시스템의 묘화성능을 정량화하는 비용 메트릭을 정의하는 단계를 포함하되, 상기 비용 메트릭은 상기 묘화 성능에 대한 상기 투영렌즈의 렌즈 수차의 효과를 반영하고;
- (b) 상기 레티클 상에 조명된 상기 광을 정의하는 소스 조명 프로파일을 정의하는 단계;
- (c) 상기 소스 조명 프로파일을 기초로 하여 상기 비용 메트릭을 평가하는 단계;
- (d) 상기 소스 조명 프로파일을 변경하고, 상기 변경된 소스 조명 프로파일을 기초로 하여 상기 비용 메트릭을 재평가하는 단계;
- (e) 상기 비용 메트릭이 최소가 될 때까지 단계(d)를 반복하는 단계; 및
- (f) 상기 최소화된 비용 메트릭에 대응하는 상기 소스 조명 프로파일을 상기 레티클을 조명하기 위한 프로파일로 선택하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 묘화 시스템 내의 렌즈 수차 보상 방법.

## 청구항 6.

제 5항에 있어서,

상기 비용 메트릭을 평가하는 단계의 결과는 상기 묘화 시스템의 상기 묘화 성능을 나타내는 단일 수치 값인 것을 특징으로 하는 묘화 시스템 내의 렌즈 수차 보상 방법.

## 청구항 7.

제 5항에 있어서,

상기 비용 메트릭은 묘화 공정의 노광관용도 성능을 더욱 반영하는 것을 특징으로 하는 묘화 시스템 내의 렌즈 수차 보상 방법.

## 청구항 8.

묘화 시스템 내에서의 사용을 위한 회절광학요소를 디자인하는 방법에 있어서,

- (a) 상기 묘화 시스템의 묘화성능을 정량화하는 비용 메트릭을 정의하는 단계를 포함하되, 상기 비용 메트릭은 상기 묘화 성능에 대한 렌즈 수차의 효과를 반영하고;
- (b) 소스 조명 프로파일을 정의하는 단계;
- (c) 상기 소스 조명 프로파일을 기초로 하여 상기 비용 메트릭을 평가하는 단계;
- (d) 상기 소스 조명 프로파일을 변경하고, 상기 변경된 소스 조명 프로파일을 기초로 하여 상기 비용 메트릭을 재평가하는 단계;

(e) 상기 비용 메트릭이 최소가 될 때까지 단계(d)를 반복하는 단계; 및

(f) 상기 최소화된 비용 메트릭에 대응하는 상기 소스 조명 프로파일을 구현하는 상기 회절 광학 요소를 선택하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 회절광학 요소 디자인 방법.

### 청구항 9.

제 8항에 있어서,

상기 비용 메트릭을 평가하는 단계의 결과는 상기 묘화 시스템의 상기 묘화 성능을 나타내는 단일 수치 값인 것을 특징으로 하는 회절광학 요소 디자인 방법.

### 청구항 10.

묘화 시스템 내에서의 사용을 위한 회절광학요소에 대응하는 파일들을 생성하도록 컴퓨터에 지시하는 기록매체상에 기록된 수단으로서, 상기 컴퓨터에 의해 판독가능한 상기 기록 매체를 포함하는 상기 컴퓨터를 제어하기 위한 컴퓨터 프로그램을 기록한 기록매체에 있어서,

(a) 상기 묘화 시스템의 묘화성능을 정량화하는 비용 메트릭을 정의하는 단계를 포함하되, 상기 비용 메트릭은 상기 묘화 성능에 대한 렌즈 수차의 효과를 반영하고;

(b) 소스 조명 프로파일을 정의하는 단계;

(c) 상기 소스 조명 프로파일을 기초로 하여 상기 비용 메트릭을 평가하는 단계;

(d) 상기 소스 조명 프로파일을 변경하고, 상기 변경된 소스 조명 프로파일을 기초로 하여 상기 비용 메트릭을 재평가하는 단계;

(e) 상기 비용 메트릭이 최소가 될 때까지 단계(d)를 반복하는 단계; 및

(f) 상기 최소화된 비용 메트릭에 대응하는 상기 소스 조명 프로파일을 구현하는 상기 회절 광학 요소를 정의하는 단계;를 포함하여 상기 파일들을 생성하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 프로그램을 기록한 기록매체.

### 청구항 11.

제 1항에 있어서,

상기 비용 메트릭은 묘화 공정의 초점심도 성능을 포함하는 것을 특징으로 하는 렌즈 수차 보상 방법.

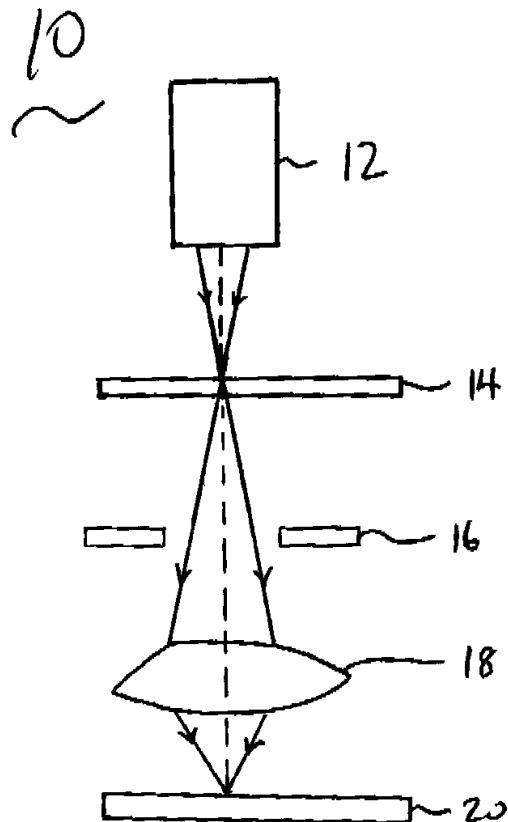
### 청구항 12.

제 5항에 있어서,

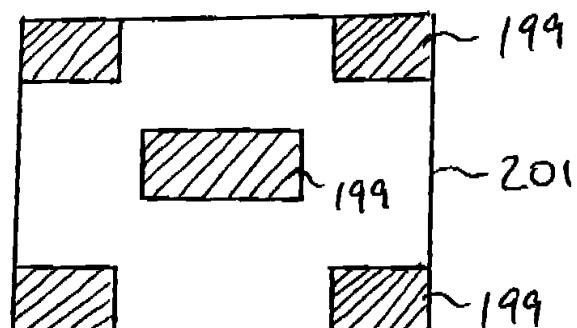
상기 비용 메트릭은 묘화 공정의 초점심도 성능을 포함하는 것을 특징으로 하는 묘화 시스템 내의 렌즈 수차 보상 방법.

도면

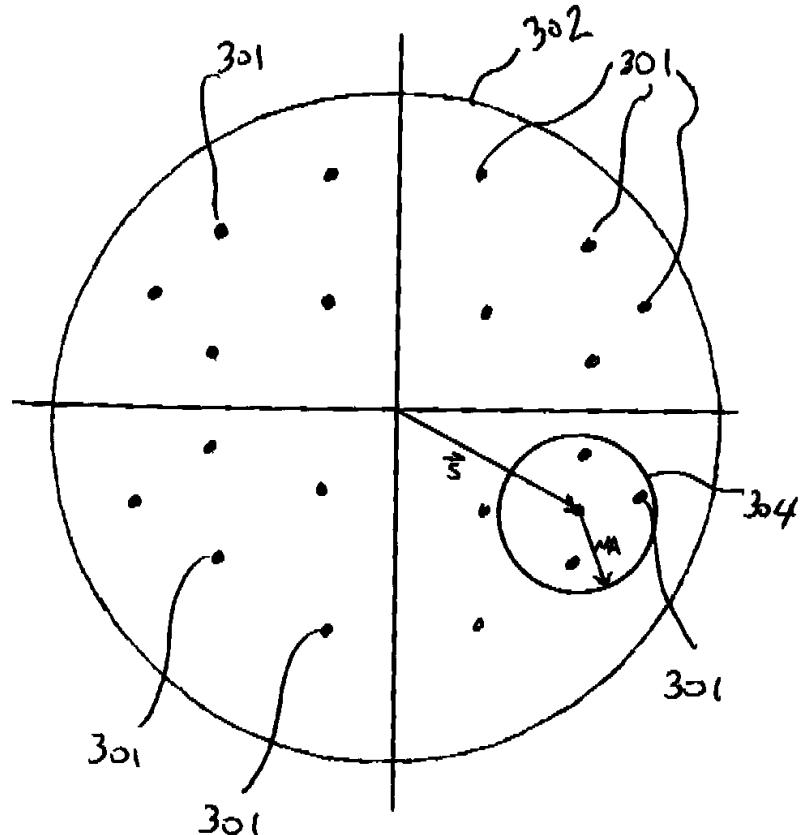
도면1



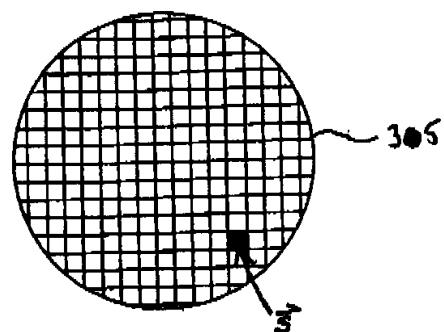
도면2



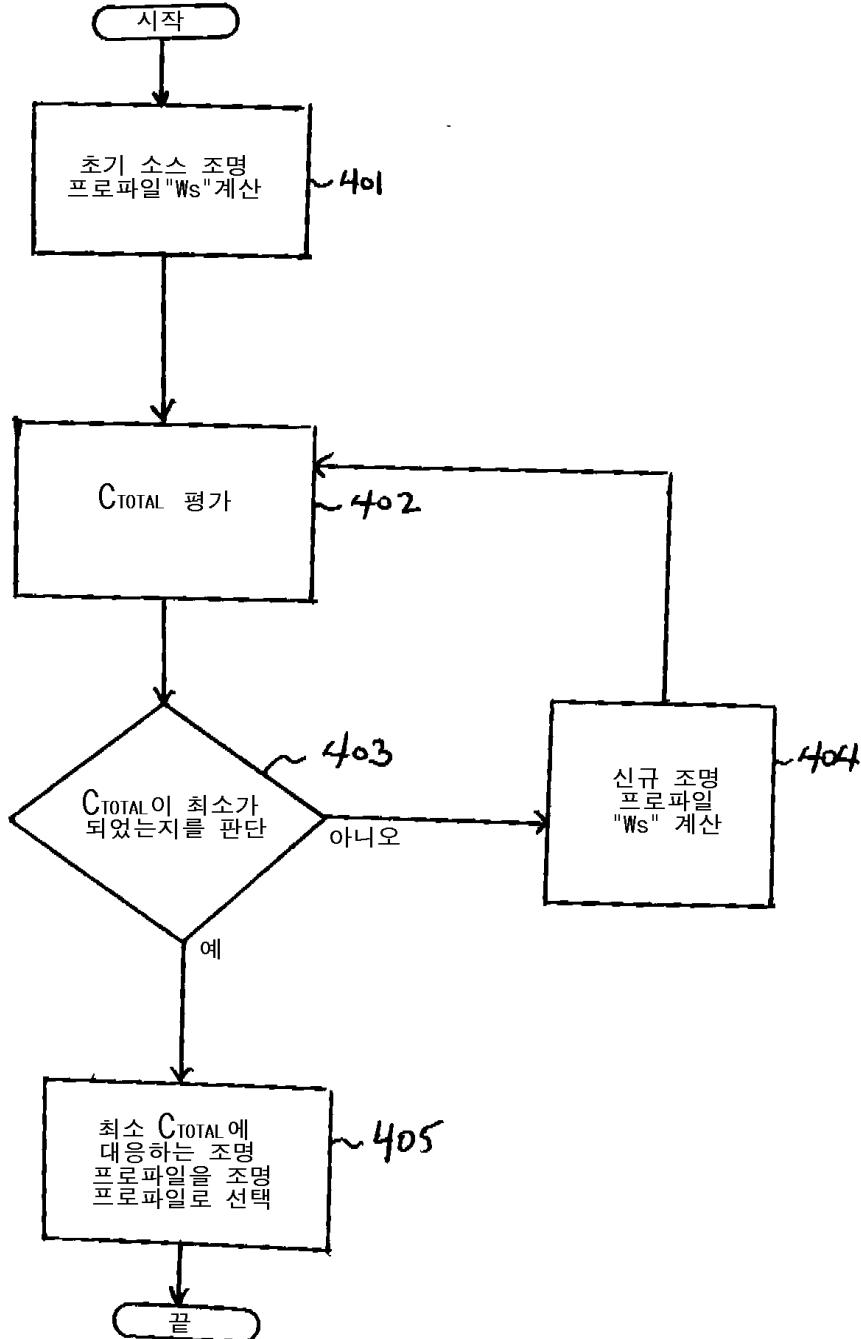
도면3



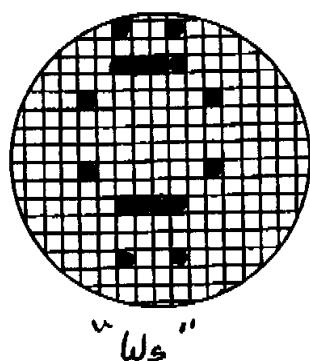
도면4



도면5



도면6



도면7

