



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년08월07일
 (11) 등록번호 10-1428136
 (24) 등록일자 2014년08월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G03F 7/20 (2006.01) H01L 21/027 (2006.01)
 G03F 1/72 (2012.01)
 (21) 출원번호 10-2010-7004082
 (22) 출원일자(국제) 2008년07월18일
 심사청구일자 2013년04월08일
 (85) 번역문제출일자 2010년02월24일
 (65) 공개번호 10-2010-0065148
 (43) 공개일자 2010년06월15일
 (86) 국제출원번호 PCT/EP2008/005898
 (87) 국제공개번호 WO 2009/018911
 국제공개일자 2009년02월12일
 (30) 우선권주장
 60/953,886 2007년08월03일 미국(US)
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1020100065148 A
 전체 청구항 수 : 총 27 항

(73) 특허권자
 칼 짜이스 에스엠티 게엠베하
 독일 오버코헨 73447 루돌프-에버-슈트라쎈 2
 (72) 발명자
 뢰링크, 올리히
 독일, 오버코헨 73447, 프라이헤르-본-리비크-스
 트라쎈 4
 라이징거, 게르트
 독일, 오버코헨 73447, 헤켄로젠백 44
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 한양특허법인

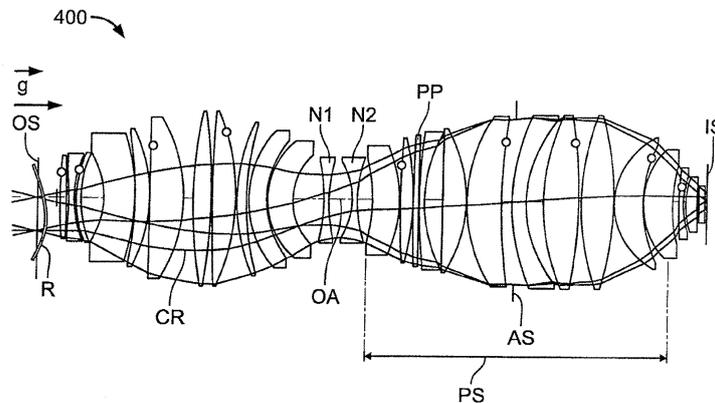
심사관 : 김준규

(54) 발명의 명칭 **마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈, 투사 노광 장치, 투사 노광 방법 및 광학 보정 플레이
 트**

(57) 요약

투사 대물렌즈의 오브젝트 면에서의 오브젝트 필드로부터의 패턴을, 동작 파장(λ) 주위의 파장 대역으로부터의 전자기 동작 방사선으로, 투사 대물렌즈의 이미지 면에서의 이미지 필드에 이미징하도록 배열된 다수의 광학 요소를 포함하는 투사 대물렌즈는 광학 보정 플레이트를 포함한다. 광학 보정 플레이트는, 동작 방사선을 투과하는 소재로 제조된 본체를 가지며, 상기 본체는 제 1 광학 면, 제 2 광학 면, 상기 제 1 및 제 2 광학 면에 실질적으로 수직인 플레이트 법선, 및 두께 프로파일을 갖는다. 제 1 면 프로파일과 제 2 면 프로파일은, 제 1 광학 면이 제 1 피크-밸리 차이 값($PV1 > \lambda$)의 비-회전방향 대칭 비구면인 제 1 면 프로파일을 갖고; 제 2 광학 면이 제 2 피크-밸리 차이 값($PV2 > \lambda$)의 비-회전방향 대칭 비구면인 제 2 면 프로파일을 가지며; 플레이트 두께가 광학 보정 플레이트에 걸쳐서 $0.1 * (PV1 + PV2) / 2$ 미만 만큼 변한다는 점에서 유사하다. 광학 보정 플레이트가 투사 대물렌즈의 오브젝트 평면으로부터 떨어진 자리에 설치된다면, 제 1 및 제 2 광학 면은 함께 지배적인 필드 수차를 야기 또는 보정할 수 있다.

대표도 - 도4a



(72) 발명자

스티켈, 프란츠-요제프

독일, 알렌 73431, 레징크스트라쎄 9

쉬나이더, 손야

독일, 오버코헨 73447, 예나에르 스트라쎄 14

트렌클러, 요한

독일, 쉬보비쉬 그뤼트 73527, 프란츠-콘라트-스트
라쎄 59/1

크라우스, 스테판

독일, 알렌 73431, 하르트만백 9

뒤링크, 고르돈

독일, 함부르크 22259, 볼크스도르퍼 담 61베

괴흐너마이어, 악셀

독일, 에싱겐-라우터부르크 73457, 휠벤백 14

특허청구의 범위

청구항 1

투사 대물렌즈로서,

상기 투사 대물렌즈의 오브젝트 면의 오브젝트 필드로부터의 패턴을, 동작 파장(λ) 주위의 파장 대역으로부터의 전자기 동작 방사선으로, 상기 투사 대물렌즈의 이미지 면의 이미지 필드에 이미징하도록 배열된 다수의 광학 요소를 포함하고,

상기 광학 요소들은,

상기 동작 방사선을 투과시키는 소재로 제조된 본체로서, 제 1 광학 면, 제 2 광학 면, 상기 제 1 및 제 2 광학 면에 수직한 플레이트 법선, 및 상기 플레이트 법선에 평행하게 측정되고, 상기 제 1 광학 면과 상기 제 2 광학 면 사이의 거리로서 한정되는 플레이트 두께의 두께 프로파일을 갖는 본체를 포함하는 광학 보정 플레이트를 포함하며, 여기서

상기 제 1 광학 면이 제 1 피크-밸리 차이 값($PV1 > \lambda$)의 비-회전방향 대칭 비구면 제 1 면 프로파일을 갖고,

상기 제 2 광학 면이 제 2 피크-밸리 차이 값($PV2 > \lambda$)의 비-회전방향 대칭 비구면 제 2 면 프로파일을 가지며,

상기 플레이트 두께가 상기 광학 보정 플레이트에 걸쳐서 $0.1 * (PV1 + PV2) / 2$ 미만만큼 변하는, 투사 대물렌즈.

청구항 2

청구항 1에 있어서, $PV1 > 5 * \lambda$ 및 $PV2 > 5 * \lambda$ 인, 투사 대물렌즈.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 제 1 및 제 2 면 프로파일 각각은, 상기 플레이트 법선에 평행한 대칭 축에 대해 n-폴드(fold) 방사상 대칭이며, 여기서 $n(n \geq 2)$ 은 정수인, 투사 대물렌즈.

청구항 4

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 제 1 및 제 2 광학 면 각각은, 상기 플레이트 법선에 수직한 제 1 방향에서 양의 제 1 곡률을 갖고, 상기 플레이트 법선과 상기 제 1 방향에 수직한 제 2 방향에서 음의 곡률을 갖는 안장형(saddle-shape)인, 투사 대물렌즈.

청구항 5

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 플레이트 두께는 상기 광학 보정 플레이트에 걸쳐서 $0.05 * (PV1 + PV2) / 2$ 미만만큼 변하는, 투사 대물렌즈.

청구항 6

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 보정 플레이트는 불균일한 두께 프로파일을 갖는, 투사 대물렌즈.

청구항 7

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 플레이트 두께는 상기 광학 보정 플레이트에 걸쳐서 10nm를 초과한 만큼 변하는, 투사 대물렌즈.

청구항 8

청구항 6에 있어서, 상기 불균일한 두께 프로파일은 상기 플레이트 법선에 평행한 대칭 축에 대해 n-폴드 방사상 대칭이며, $n(n \geq 2)$ 은 정수인, 투사 대물렌즈.

청구항 9

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 보정 플레이트의 제 1 면 프로파일과 제 2 면 프로파일은, 상기 보정 플레이트의 어느 한 자리에서 상기 이미지 필드와 상기 오브젝트 필드 사이를 통과하는 투사 빔의 광선 프로파일에 맞춰져서, 상기 제 1 및 제 2 광학 면은 함께 지배적인 필드 수차(dominant field aberration)를 야기하는, 투사 대물렌즈.

청구항 10

청구항 9에 있어서, 상기 지배적인 필드 수차는 필드-가변 왜곡인, 투사 대물렌즈.

청구항 11

청구항 9에 있어서, 상기 지배적인 필드 수차는 애너모픽 왜곡(anamorphic distortion)인, 투사 대물렌즈.

청구항 12

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 광학 보정 플레이트는 상기 투사 대물렌즈의 필드 면으로부터 광학적으로 원거리인 자리에 배열되는, 투사 대물렌즈.

청구항 13

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 광학 요소 중 적어도 하나는 상기 광학 보정 플레이트와 최근접 필드 면 사이에 배열되는, 투사 대물렌즈.

청구항 14

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, pupils 공간(pupil space)이, 근축 부분 구경 비(SAR: Sub-Aperture Ratio)의 절대값이 범위($0.8 \leq |SAR| \leq 1$)에 있는 영역에서 상기 투사 대물렌즈의 pupils 면 주위에 형성되고, 상기 광학 보정 플레이트는 상기 pupils 공간에 배열되는, 투사 대물렌즈.

청구항 15

청구항 14에 있어서, 상기 광학 보정 플레이트는 상기 투사 대물렌즈의 pupils 면에 배열되어, 상기 제 1 및 제 2 광학 면은 근축 부분 구경 비(SAR)의 정반대 부호를 특징으로 하는 자리들에 배열되게 되는, 투사 대물렌즈.

청구항 16

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 보정 플레이트는 동작 방사선의 발산 또는 수렴 빔의 영역에 배열되는, 투사 대물렌즈.

청구항 17

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 보정 플레이트의 제 1 면 프로파일과 제 2 면 프로파일은 상기 보정 플레이트의 어느 한 자리에서 상기 이미지 필드와 상기 오브젝트 필드 사이를 통과하는 동작 방사선 빔의 광선 프로파일에 맞춰져, 상기 제 1 및 제 2 광학 면은 함께 지배적인 필드 수차와, 추가로 pupils 수차를 야기하는, 투사 대물렌즈.

청구항 18

투사 대물렌즈의 이미지 면의 영역에 배열된 방사선-감지 기관을, 상기 투사 대물렌즈의 오브젝트 면의 영역에 배열된 마스크 패턴의 적어도 하나의 이미지로 노광하도록 구성된 투사 노광 장치로서,

동작 파장(λ) 주위의 파장 대역으로부터 방사선을 방출하는 방사선 소스;

상기 방사선 소스로부터 방사선을 수신하여, 상기 마스크 패턴 상으로 보내지는 조명 방사선을 성형하는 조명 시스템; 그리고

청구항 1 또는 청구항 2에 기재된 투사 대물렌즈를 포함하는, 투사 노광 장치.

청구항 19

청구항 18에 있어서,

상기 투사 대물렌즈 내의 미리 형성된 공간에서 제 1 플레이트를 제 2 플레이트와 교환하도록 구성되는 교환 디바이스를 더 포함하며, 상기 제 1 및 제 2 플레이트 중 적어도 하나는 광학 보정 플레이트인, 투사 노광 장치.

청구항 20

광학 보정 플레이트로서,

파장($\lambda > 100\text{nm}$)을 가진 동작 방사선을 투과시키는 소재로 제조된 본체로서, 제 1 광학 면, 제 2 광학 면, 상기 제 1 및 제 2 광학 면에 수직한 플레이트 법선, 및 상기 플레이트 법선에 평행하게 측정되고, 상기 제 1 광학 면과 상기 제 2 광학 면 사이의 거리로서 한정되는 플레이트 두께의 두께 프로파일을 갖는 본체를 포함하며;

상기 제 1 광학 면은, 제 1 피크-밸리 차이 값($PV1 > \lambda$)의 비-회전방향 대칭 비구면 제 1 면 프로파일을 갖고;

상기 제 2 광학 면은, 제 2 피크-밸리 차이 값($PV2 > \lambda$)의 비-회전방향 대칭 비구면 제 2 면 프로파일을 가지며; 그리고

상기 보정 플레이트는 불균일한 두께 프로파일을 갖는, 광학 보정 플레이트.

청구항 21

청구항 20에 있어서, 상기 플레이트 두께는 상기 광학 보정 플레이트에 걸쳐서 $0.1 * (PV1 + PV2) / 2$ 미만만큼 변하는, 광학 보정 플레이트.

청구항 22

청구항 20 또는 청구항 21에 있어서, $PV1 > 5 * \lambda$ 및 $PV2 > 5 * \lambda$ 인, 광학 보정 플레이트.

청구항 23

청구항 20 또는 청구항 21에 있어서, 상기 제 1 및 제 2 면 프로파일 각각은, 상기 플레이트 법선에 평행한 대칭 축에 대해 n-폴드 방사상 대칭이며, 여기서 $n(n \geq 2)$ 은 정수인, 광학 보정 플레이트.

청구항 24

청구항 20 또는 청구항 21에 있어서, 상기 제 1 및 제 2 광학 면 각각은, 상기 플레이트 법선에 수직한 제 1 방향에서 양의 곡률을 갖고, 상기 플레이트 법선과 상기 제 1 방향에 수직한 제 2 방향에서 음의 곡률을 갖는 안장형인, 광학 보정 플레이트.

청구항 25

청구항 20 또는 청구항 21에 있어서, 상기 불균일한 두께 프로파일은, 상기 플레이트 법선에 평행한 대칭 축에 대해 n-폴드 방사상 대칭이며, 여기서 $n(n \geq 2)$ 은 정수인, 광학 보정 플레이트.

청구항 26

규정된 패턴을 제공하는 마스크를 투사 대물렌즈의 오브젝트 면에 놓는 단계;

규정된 파장을 갖는 자외선 방사선으로 상기 마스크를 조명하는 단계;

청구항 1 또는 청구항 2에 기재된 투사 대물렌즈를 사용하여, 상기 패턴의 이미지를 광감지 기관 상에 투사하는 단계; 그리고

보정 플레이트를 투사 빔 경로 내에 삽입하거나, 상기 투사 대물렌즈의 진입 면과 진출 면 사이의 상기 투사 빔 경로로부터 보정 플레이트를 제거함으로써, 상기 투사 대물렌즈의 이미징 특징을 조정하는 단계를 포함하는, 투사 대물렌즈를 사용하여 마이크로디바이스를 제조하는 방법.

청구항 27

청구항 26에 있어서,

제 1 마스크를, 상기 제 1 마스크와 상이한 제 2 마스크로 교환하는 단계;

제 1 플레이트를 제 2 플레이트로 교환하는 단계를 포함하고, 여기서 상기 제 1 및 제 2 플레이트 중 적어도 하나는 광학 보정 플레이트인, 투사 대물렌즈를 사용하여 마이크로디바이스를 제조하는 방법.

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈에 관한 것이다. 본 발명은 또한 마이크로리소그래피용 투사 노광 장치에 관한 것이다. 본 발명은 또한 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈를 사용하여 반도체 디바이스 및 다른 타입의 마이크로디바이스를 제조하는 방법에 관한 것이다. 본 발명은 또한, 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈를 위한 교환 가능한 요소로서 사용할 수 있는 광학 보정 플레이트에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 마이크로리소그래피 투사 노광 방법 및 시스템(기계)은 반도체 구성요소 및 기타 미세하게 패터닝된 구성요소를 제조하는데 현재 사용하고 있다. 마이크로리소그래피 노광 공정은, 이미징될(imaged) 구조 패턴을 지니거나 형성하는 마스크(레티클(reticle))을 사용하는 단계를 수반한다. 이 패턴은 투사 노광 시스템에서, 투사 대물렌즈의 오브젝트 면 영역에서 이 투사 대물렌즈와 조명 시스템 사이에 위치한다. 1차 방사선이 1차 방사선 소스에 의해 제공되어 조명 시스템의 광학 구성요소에 의해 변환되어, 조명된 필드에서 마스크의 패턴으로 보내진 조명 방사선을 생성한다. 마스크 및 패턴에 의해 변경된 방사선은 투사 대물렌즈를 통과하며, 투사 대물렌즈는 투사 대물렌즈의 이미지 면에 패턴 이미지를 형성하고, 이 이미지 면에는 노광될 기판을 배열한다. 기판은 통상 방사선-감지 층(포토레지스트)을 지닌다.

[0003] 집적회로 제조시, 마이크로리소그래피 투사 노광 시스템을 사용한 경우, 마스크(레티클)는 집적회로의 개별 층에 대응하는 회로 패턴을 포함할 수 있다. 이 패턴은, 기판으로 기능하는 반도체 웨이퍼 상의 노광 영역 상으로 이미징될 수 있다.

[0004] 마이크로리소그래피 투사 노광 시스템의 한 종류에서, 각 노광 영역은, 레티클의 패턴 전체를 한번에 노광 영역 상에 노광함으로써, 방사된다. 그러한 장치를 흔히 웨이퍼 스테퍼(wafer stepper)라고 한다.

[0005] 흔히 스텝-앤-스캔(step-and-scan) 장치 또는 웨이퍼 스캐너라고 하는 대안적인 노광 시스템에서, 각 노광 영역은, 투사 대물렌즈의 유효 오브젝트 필드(effective object field)에서 마스크를 조명 빔에 상대적으로 움직이고, 동시에, 각 스캐닝 방향에서 투사 대물렌즈의 공액 유효 이미지 필드에서 기판을 투사 빔에 상대적으로 움직임으로써, 스캐닝 동작 시 순차적으로 방사된다. 마스크는 전형적으로 마스크 홀더에 의해 그 자리에서 유지되며, 이 마스크 홀더는 스캐닝 장치에서 투사 대물렌즈의 오브젝트 면에 평행하게 움직일 수 있다. 기판은 전형적으로 기판 홀더에 의해 유지되며, 기판 홀더는 스캐닝 장치에서 이미지 면에 평행하게 움직일 수 있다. 스캐닝 방향은 예컨대 서로 평행하거나, 서로 반-평행할 수 있다.

[0006] 투사 대물렌즈는, 일반적으로 광학 축을, 투사 대물렌즈에 구비된 어느 광학 요소가 배열되는지를 기준으로 한정한다. 일반적으로, 이들 광학 소자는 이 광학 축에 대해 회전방향으로 대칭이며, 광학 축은 오브젝트 필드와 이미지 필드에 직각이다. 이 경우, 투사 대물렌즈의 설계를 회전방향으로 대칭이라고 한다. 그러한 회전방향 대

칭 설계는 일반적으로, 투사 대물렌즈의 물리적 구현 시 모든 광학 요소가 회전방향으로 대칭이 도록 설계되어야 함을 의미하지는 않는다. 온-축 오브젝트 필드나 오프-축 오브젝트 필드를 가진 접힌 투사 대물렌즈의 경우, 및/또는 반사굴절 투사 대물렌즈의 경우, 빔경로의 접힘 및 관통은 광학 요소의 컷아웃(cutout), 및/또는 예컨대 접힌 거울과 같이 빔 편향을 위해서만 기능하고 어떠한 굴절력도 갖지 않는 광학 요소를 필요로 할 수 있다.

[0007] 웨이퍼를 노광하는 동안, 투사 노광기는 규정된 이미지-측 개구수(NA)(이후 줄여서 "개구수"로도 칭함)와, 조명 시스템에 의해 규정된 설정 조명, 예컨대 인코히어런트이고, 환상형인 다이폴 또는 쿼드러폴(dipole or quadrupole) 조명 설정으로 동작한다. 개구수(NA)는 투사 대물렌즈에서 조리개(구경 조리개)의 직경과 자리에 의해 정의된다. 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈에서의 공통인 개구수는 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 또는 0.9 그리고 예컨대, 이들 사이의 값이다. 이머전(immersion) 동작용으로 설계된 투사 노광기의 경우, 개구수는 예컨대 대략 50%만큼 증가할 수 있다. 조명 설정은 보통 회절 광학 요소와 같은 조명 시스템의 광학 요소로 규정한다.

[0008] 노광의 각 순간에, 조리개로 차단된 최대 방사선속은 유효 오브젝트 필드에 속한 각 필드 점으로부터 각 유효 이미지 필드까지를 통과한다. 설계에 의해서만 결정되는 수차(이미징 에러라고도 함)를 갖는 이상적인 투사 대물렌즈에서, 이 최대 방사선속에 의해 정의된 파면은, 오브젝트 필드 점에 속한 이미지 점 인근에서, 중간 점으로서 이미지 점을 갖는 구면파에 대략 대응한다. 그러한 투사 대물렌즈는 그러므로 회절 제한된다고도 한다.

[0009] 일반적으로, 노광하는 동안, 투사 대물렌즈는 중력 방향으로 그 광학 축과 정렬된다. 일반적으로 평면인 레티클은 이 경우 수평방향으로, 즉 투사 대물렌즈의 오브젝트 필드와 평행하게 정렬된다. 그 결과, 레티클은 중력으로 인해 축 처지고(sag), 이러한 축 처짐은 레티클 타입과 레티클을 고정하는 탑재 기술의 함수이며, 종래에 알려져 있지 않거나 결정하기 어렵다. 레티클은 축 처져 이같이 변형되고, 결국 레티클 상에서 이미징될 각각의 위치의 자리(position)가 종래에는 완벽히 예측할 수 없는 방식으로 변위되며, 이러한 변위의 방향과 길이는 다시 레티클 상의 위치의 함수가 된다. 여기서 수반되는 것이 순수한 공간 변위이며, 이러한 변위는 퓨필 에러(pupil error)를 수반하지 않거나, 사라질 정도로 작은 퓨필 에러만을 수반한다.

[0010] 유사한 세트의 문제가 웨이퍼의 측 상에서와 같이 이미지 측 상에서 일어날 수 있다. 웨이퍼는 전형적으로는 아래에서 지지받을 수 있으므로, 그 문제는 여기서 덜 중요할 수도 있다. 그러한 지지는 당연히 레티클에서는 얻기 어렵다.

[0011] 레티클을 축 처지게 할 다른 원인은 레티클의 탑재 기술이 레티클에 직접 미치는 영향이다. 여기서, 일반적으로, 레티클에 작용하는 베어링 및/또는 클램프에 의해 초래된 힘과 모멘트가 생긴다. 이들은 또한 충분히 알려져 있지 않은 종래기술이며, 레티클마다 다를 수 있지만, 레티클의 종류마다 동일할 수도 있다.

[0012] 레티클의 축 처짐의 시스템-특정 양상, 다시 말해, 각 레티클마다 동일한 축 처짐과, 시스템-특정이지 않은 레티클의 축 처짐의 양상, 다시 말해, 상이한 레티클마다 상이한 예의 축 처짐을 초래하는 축 처짐을 구별하는 것이 바람직하다.

[0013] 그러므로 임의의 퓨필 에러를 수반하지 않는, 레티클의 축 처짐의 시스템 공간-특정 양상에 의해 초래된 이들 변위를 조정하고, 이 조정 가능성을 가변적이게 하는 것이 바람직하며, 이는, 이들 공간 변위가 이제 레티클이 변할 때 변하기 때문이며, 이러한 변화는 탑재력과 탑재 모멘트를 변화시킬 수 있다.

[0014] 게다가, 레티클 상에 자리잡고 이미징될 구조가 변화하고 및/또는 이 새로운 레티클에 투사하기 위해 다른 조명 설정을 사용하는 이유가 일반적으로 그러한 레티클이 변한 결과 때문이다. 투사 노광기를 동작하는 동안, 이것은 투사 대물렌즈의 온도 오브젝트에 추가로 영향을 미칠 수 있고, 그에 따라 투사 대물렌즈의 대략 순수한 퓨필 에러에도 영향을 미칠 수 있다.

[0015] 레티클이 변할 때, 그에 따라 뒤이어, 투사 노광기의 동작은 추가로, 대략 순수한 퓨필 에러를 야기하며, 이러한 에러는 레티클이 축 처지는 것과 무관하게 보정/조정될 필요가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 본 발명의 목적은, 앞서 언급한 이들 공간 변위를, 투사 대물렌즈의 퓨필 에러를 반드시 그에 의존적인 방식으로 변화시키지 않고도, 조정하거나 이들을 계속 보정할 수 있게 하며, 그리고 동시에, 그에 무관하게 퓨필을 보정하거나 조정할 수 있는, 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈를 제공하는 것이다.

[0017] 본 발명의 다른 목적은, 단일 보정 가능성을 갖고, 투사 대물렌즈의 퓨필 에러를 변화시키지 않고도, 앞서 언급

한 이들 공간 변위를 조정하거나, 이들을 계속 보정할 수 있게 하는, 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈를 제공하는 것이다.

[0018] 본 발명의 다른 목적은, 앞서 언급한 이들 공간 변위를, 투사 노광기에 구비된 투사 대물렌즈의 퓨필 에러를 반드시 그에 의존적인 방식으로 변화시키지 않고도, 조정할 수 있거나 보정할 수 있으며, 그리고 동시에, 투사 노광기에 구비된 투사 대물렌즈의 퓨필 에러를 그에 무관하게 보정하거나 조정할 수 있는, 마이크로리소그래피용 투사 노광기를 제공하는 것이다.

[0019] 본 발명의 다른 목적은, 레티클이 변할 때, 변환 공간 변위를, 퓨필 에러를 반드시 그에 의존적인 방식으로 변화시키지 않고도, 보정할 수 있고 조정할 수 있게 하고, 동시에 공간 변위와 무관하게 퓨필 에러를 보정/조정할 수 있게 하는 보정 가능성을 제공하는, 마이크로리소그래피용 투사 노광기를 동작하는 방법을 제공한다.

[0020] 본 발명의 다른 목적은, 레티클이 변할 때 일어나는 변경된 공간 변위를, 반드시 이에 의존하는 방식으로 퓨필 에러를 변경하지 않고도, 보상 또는 조정할 수 있게 하고, 동시에 이들 공간 변위에 무관하게 퓨필 에러를 보정/조정할 수 있게 하는, 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈를 위한 교환 가능한 요소를 제공하는 것이다.

[0021] 본 발명의 다른 목적은, 코마 프로파일(coma profile)과 같은 더 큰 수차 텀(aberration term)을 실질적으로 도입하지 않고도, 왜곡 특징을 보정할 수 있게 하는, 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈에 대한 교환 가능한 요소를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0022] 이들 및 다른 목적을 해결하기 위해, 본 발명은, 본 발명의 일 형식에 따라, 투사 대물렌즈로서:

[0023] 동작 파장(λ) 주위의 파장 대역으로부터의 전자기 동작 방사선으로 투사 대물렌즈의 오브젝트 면의 오브젝트 필드로부터의 패턴을 투사 대물렌즈의 이미지 면의 이미지 필드에 이미징하도록 배열된 다수의 광학 요소를 포함하며, 상기 광학 요소는:

[0024] 동작 방사선을 투과하는 소재로 제조된 본체로서, 제 1 광학 면, 제 2 광학 면, 이 제 1 및 제 2 광학 면에 실질적으로 수직한 플레이트 법선, 및 제 1 광학 면과 제 2 광학 면 사이에서 상기 플레이트 법선에 평행하게 측정된 거리로 한정되는 플레이트 두께의 두께 프로파일을 갖는 본체를 포함하며; 여기서 제 1 광학 면과 제 2 광학 면은 다음과 같은 점에서 유사하다:

[0025] 제 1 광학 면이 제 1 피크-밸리 차이 값($PV1 > \lambda$)의 비-회전방향 대칭 비구면 제 1 면 프로파일을 갖고;

[0026] 제 2 광학 면이 제 2 피크-밸리 차이 값($PV2 > \lambda$)의 비-회전 대칭 비구면 제 2 면 프로파일을 가지며; 그리고

[0027] 플레이트 두께가 광학 보정 플레이트에 걸쳐서 $0.1 * (PV1 + PV2) / 2$ 미만으로 변한다는 점.

[0028] 피크-밸리 차이 값이 결정된 영역은, 동작 시 사용되어 각 면들을 통과한 광선에 영향을 미칠 수 있는 영역, 즉 광학 품질(optical quality)을 갖춘 영역이다. 이 영역은 광학적으로 자유로운 영역, 또는 예컨대 보정 플레이트의 유용한, 즉 이용 가능한 횡단면이라 칭할 수 도 있다. 영역은, 보정 플레이트를 탑재하는데 사용되는 보정 플레이트의 주변 영역을 포함하지 않는다.

[0029] 레티클의 이미징에서 일어나는 이미지 에러(즉, 수차)를 보상하고자 하는 보상 메커니즘을 가진 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈를 장착하는 것은 알려져 있다.

[0030] 그래서, 미국특허(US 6,275,344B1 및 US 6,191,898B1)는, 투사 대물렌즈의 렌즈를 그 광학 축에 대해 변위시킬 수 있는 매니플레이터(manipulator)를 기재한다. 유럽특허(EP 678 768B1)는, 렌즈의 형상을 구부리거나, 렌즈를 기울이거나, 가열 또는 냉각하는 매니플레이터를 기재한다. 유럽특허(EP 660 169B1)는 두 개의 비구면 렌즈를 서로에 대해 회전시키는 매니플레이터를 기재한다. 유럽특허(EP 851 304B1)에서 두 개의 비구면 렌즈는 서로에 대해 변위한다. 미국특허(US 6,268,903B1)에서, 비구면 평면 플레이트가 이미지 필드의 인근에서 투사 대물렌즈 내에 삽입되고, 위치에 따라 공간 변위를 조정할 수 있다. 그러나 당연히 이 플레이트는 이미지 평면 내로 충분히 변위할 수 없으므로, 그러한 비구면 평면 플레이트는 퓨필 에러를 야기하지 않고 투사 대물렌즈 내로 삽입할 수 없다.

[0031] 미국출원(US 2002/0126266A1)(예컨대 미국특허(US 6,373,552B1)에 대응함)에서, 왜곡 특징을 보상하기 위해, 양면이 비구면인 평면 플레이트를 투사 대물렌즈와 웨이퍼 사이에 놓는다. 이 평면 플레이트의 상부면 및 밑면 상의 비구면은 동일하고, 평면 플레이트는 균일한 두께여서, 투사 대물렌즈의 필드 곡률은 불변 상태로 유지된

다. 왜곡 특징을 그렇게 조작하면, 레티클이 축 쳐져서 초래된 이미지 에러(수차)에 대처하는 수단을 제공하지만, 이것 또한 여기서 퓨필 에러로부터 자유롭지 못하고, 왜곡 특징의 보정은 코마 프로파일과 같은 더 높은 텀을 수반한다.

- [0032] 조작 및 조정을 위한 이들 모든 옵션이 특정한 문제를 해결하는데 바람직하지 않을 수도 있는 것인 투사 대물렌즈의 퓨필 에러에 영향을 미친다는 점은 공통적이다.
- [0033] 국제출원공보(WO2005/033800A1)는 양면이 비구면인 투사 대물렌즈의 렌즈를 기재한다. 이들 비구면은 광학 축을 기준으로 회전방향으로 대칭이며, 따라서 레티클의 순수하게 회전방향에서 대칭인 축 처짐을 기껏해야 부분적으로 보상할 수 있다.
- [0034] 국제출원공보(WO2003/092256A2)는, 필드 인근에 위치하고, 각도에 민감한 필터링 효과를 갖는 광학 요소를 기재한다. 거기에 존재하는 오브젝트에 대응하는 방식으로, 이러한 효과는 퓨필 에러에 관한 시각적으로 배타적인 영향이다.
- [0035] 상기 형식에 따른 발명에서, 투사 대물렌즈는 특정한 물리적인 구조 및 형상인 광학 보정 플레이트를 포함하며, 이러한 플레이트는, 투사 대물렌즈의 진입면으로부터 투사 대물렌즈의 진출면까지 광 경로를 따라서 미리 한정된 자리에서 투사 대물렌즈 내에, 즉 투사 대물렌즈 외부가 아닌 곳에 배열된다. 최소한의 축방향 공간이 통상(투사 대물렌즈의 오브젝트면에서) 레티클의 자리와 투사 대물렌즈의 진입면 사이에 필요하다는 점을 고려할 때, 그러한 광학 보정 플레이트는 레티클의 최근 거리에 놓일 수 없다. 발명자들은 광학 보정 플레이트가 반드시 원치 않는 퓨필 수차를 초래하지 않고도 예컨대 지배적인 필드 수차를 초래할 수 있게 하는 수단을 찾아냈다. 제 1 및 제 2 광학 면 각각이 비-회전방향 대칭 비구면 면 프로파일을 갖고, 보정 플레이트의 두께 프로파일이 투사 대물렌즈 내에서 보정 플레이트의 광학적 자리에 적절히 맞춰진다면, 이러한 효과는 가능하게 된다.
- [0036] 상술한 본 발명의 형식에서, 용어 "광학 면"은 일반적으로, 광학 면을 통과한 방사 빔에 원하는 굴절 효과를 주도록 상세하게 구성된 면 속성을 갖는 광학적 유효 면에 관한 것이다. 제 1 및 제 2 광학 면 각각은, "회전방향으로 비대칭인" 면 프로파일 또는 회전방향 비대칭 형상이라고도 하는 비-회전방향 대칭 비구면 면 프로파일을 갖는다. 용어 "비-회전방향 대칭" 또는 "회전방향으로 비대칭"은 서로 교환 가능하게 사용된다. 또한, 용어 "면 프로파일" 및 "면 형상"은 서로 교환 가능하게 사용된다. 적어도 하나의 각 및 기준 축을 중심으로 한 회전이 상이한 형상을 갖게 하는 그러한 각이 존재한다면, 형상은, 소정의 회전 기준 축에 대해서 회전방향으로 비대칭(또는 비-회전방향 대칭)이라고 할 수 있다. 여기서, 형상은 상기한 회전 동안에 회전하지 않고 고정된 좌표계에 관련하여 이해해야 한다. 구체적으로, 기준 축을 중심으로 한 회전이 동일한 형상을 갖는 유한한 개수의 n개의 각도가 있다면, 형상은 n-폴드(회전) 대칭이라고 한다. n-폴드 회전 대칭인 형상은 그럼에도, 회전방향으로 비대칭이며, 이는 회전 대칭에서는, 회전 대칭 축을 중심으로 한 임의의 각도 회전에 대해서 형상은 불변해야 하기 때문이다. n-폴드 회전방향 대칭인 형상을 또한 n-폴드 방사상 대칭인 형상이라고 한다.
- [0037] 여기서 사용된 용어 "플레이트"는 일반적으로, 플레이트의 직경보다 상당히 더 얇은 두께이고 상대적으로 평평한 전체 형상을 갖는 광학 요소를 지칭하며, 여기서 진입면과 진출면을 각각 형성하는 플레이트의 두 개의 광학 면은 거시적인 규모에서 실질적으로 서로 평행하게 연장한다. 평면인 평행한 플레이트에서, 플레이트 법선은 플레이트에 걸쳐서 자리와 무관한 배향을 갖는다.
- [0038] 앞서 기재한 형식에 따라, 제 1 및 제 2 광학 면 각각은, 플레이트 법선 방향에서 볼 때, 각각의 광학 면의 최고점과 최저점이 동작 파장(λ)을 초과해 차이가 나는 뚜렷한 면 형상(well-defined surface shape)을 갖는다. 리소그래피 응용에서, 예컨대, 동작 파장은 예컨대 대략 360nm 내지 370nm 또는 그 미만과 같이, $\lambda < 400\text{nm}$ 에서 자외선 스펙트럼 영역에 있을 수도 있다. 동작 파장은 예컨대, 대략 248nm 또는 대략 193nm 또는 대략 157nm 또는 대략 126nm 또는 그 미만과 같이, 예컨대 $\lambda < 260\text{nm}$ 에서 심(deep)자외선 스펙트럼 영역에 있을 수도 있다. 통상, 동작 파장은 100nm를 초과하게 된다. 동시에, 플레이트 두께는, 광학 보정 플레이트의 유용한 횡단면에 걸쳐서 제 1 및 제 2 광학 면의 평균 피크-밸리 차이 값, 즉 $(PV1+PV2)/2$ 의 10%미만만큼 변한다. 이들 조건에 따라 구성된 광학 보정 플레이트에서, 제 1 광학 면과 제 2 광학 면의 퓨필 수차에 관한 광학적 효과는 서로 실질적으로 보상할 수 있어, 예컨대 지배적인 필드 수차만이 광학 보정 플레이트에 의해 초래된(또는 보정된) 잔류 수차로서 남게 된다.
- [0039] 필드 수차에 대한 원하는 효과의 세기는 제 1 및 제 2 면 프로파일의 피크-밸리 차이 값을 증가시킴으로써 증가할 수 있다. 일부 실시예에서, $PV1 > 5 * \lambda$ 및 $PV2 > 5 * \lambda$, 또는 심지어는 $PV1 > 10 * \lambda$ 및 $PV2 > 10 * \lambda$ 이다.

- [0040] 절대값으로, 예컨대, 파장(λ)이 자외선 또는 심자외선 스펙트럼 범위에 있는 응용에서, PV1 및/또는 PV2는 100nm를 초과하거나 500nm를 초과하거나 1 μ m를 초과하거나 2 μ m를 초과하거나 3 μ m를 초과할 수 있다.
- [0041] 광학 보정 플레이트의 유용한 횡단면에 걸친 플레이트 두께의 변동은 평균 피크-밸리 차이 값의 10%보다 작을 수 있고, 예컨대 0.05*((PV1+PV2)/2)미만일 수 있다.
- [0042] 많은 실시예에서, 보정 플레이트는 불균일한 두께 프로파일을 가지며, 이것은, 두께-프로파일의 임의의 불균일성 또는 변동이 제조 공차로 인해 피할 수 없는 두께 변동보다 상당히 더 크다는 점을 의미하며, 제조 공차는 예컨대 대략 5nm 내지 10nm일 수 있다. 일부 실시예에서, 플레이트 두께는, 광학 보정 플레이트의 유용한 횡단면(광학적으로 자유로운 영역)에 걸쳐서 5nm를 초과하거나 10nm를 초과하거나 15nm를 초과하거나 20nm를 초과하거나 30nm를 초과하거나 50nm를 초과할 만큼 변한다. 플레이트 두께의 공간 변동은 예컨대 500nm 미만이나 300nm 미만이나 200nm미만과 같이 1 μ m보다 상당히 더 작을 수 있다. 보정 플레이트는 다른 실시예에서 균일한 두께 프로파일을 가질 수 있다.
- [0043] 일부 실시예에서, 불균일한 두께 프로파일은 플레이트 법선에 평행한 대칭 축에 대해 실질적으로 n-폴드 방사 대칭이며, 여기서 n은 2 이상의 정수이다.
- [0044] 제 1 및 제 2 광학 면의 면 형상에 관해, 제 1 및 제 2 면 프로파일 각각이 플레이트 법선에 평행한 대칭 축에 대해 실질적으로 n-폴드 방사 대칭인 경우가 많은 응용에서 유용하다는 점을 알게 되었으며, 여기서 n($n \geq 2$)은 정수이다. 예컨대, 면 프로파일은 3-폴드 또는 4-폴드 방사상 대칭일 수 있다. 숫자 n은 예컨대 n=5 또는 n=6 또는 n=7 또는 n=8 또는 그 이상과 같이 4보다 더 클 수 있다. 상이한 n-폴드 방사상 대칭 형상을 중첩하는 것도 가능하다.
- [0045] 일부 실시예에서, 제 1 및 제 2 광학 면 각각은, 플레이트 법선에 수직한 제 1 방향에서 연속적인 제 1 곡률을 갖고, 플레이트 법선과 제 1 방향에 수직한 제 2 방향에서 정반대 부호의 제 2 곡률을 갖는 안장-형상이다. 이러한 타입의 보정 플레이트는 초래된 크기 에러를 서로 수직한 방향으로 정반대로 변화시킴으로써 애너모픽 왜곡(anamorphic distortion)을 보정(또는 초래)하는데 사용할 수 있다.
- [0046] 일부 실시예에서, 광학 보정 플레이트에 의해 초래(또는 보정)될 수 있는 지배적인 필드 수차는 필드-가변 왜곡이다. 이 실시예에서, 왜곡의 양 및/또는 배향은 고려 중인 각각의 필드에 걸쳐서 실질적으로 변하며, 이러한 필드는, 예컨대 레티클 패턴 또는 이 패턴의 일부를 배열할 수 있는 유효 오브젝트 필드이다.
- [0047] 일부 실시예에서, 지배적인 필드 수차는 애너모픽 왜곡이며, 이것은 필드-가변 왜곡의 특수한 변형으로 생각할 수 있다. 이들 실시예에서, 광학 축에 수직한 모든 평면에서 동일한 배율을 갖는 광학 시스템은, 광학 축을 포함한 상이한 평면에서 상이한 출력이나 상이한 배율을 갖는 애너모픽 광학 시스템으로 변환할 수 있다. 예컨대, 애너모픽 왜곡을 초래하는 광학 보정 플레이트는 광학 축을 포함하는 일 평면에서 방사상 안쪽 방향으로 유효 왜곡을 일으킬 수 있고, 광학 축에 수직한 평면에서 방사상 바깥쪽 방향으로 왜곡을 일으킬 수 있다.
- [0048] 지배적인 필드 수차로서 애너모픽 왜곡을 일으키는 광학 보정 플레이트는 예컨대 레티클의 안장형 변형을 보정하는 실시예에서 사용할 수 있다.
- [0049] 보정 플레이트는 투사 대물렌즈의 필드 면에서 광학적으로 원거리에 배열될 수 있고, 이것이 나타내는 점은, 본 발명에 따른 보정 플레이트가 오브젝트 면에 바로 인접하고 최근 거리에 놓이거나 이미지 면에 바로 인접하고 최근 거리에 놓이거나, 또는 적어도 하나의 중간 이미지를 가진 투사 대물렌즈의 경우에, 중간 이미지에 놓이거나 중간 이미지에 광학적으로 최근 거리에 놓일 필요가 없다는 점이다.
- [0050] "필드 면으로부터 광학적으로 원거리인" 자리의 특징을 구하는 여러 방식이 있다. 일반적으로, 렌즈나 거울의 면과 같은 광학 면의 축 방향 자리를 여기서 다음과 같이 한정된 근축 부분 구경 비(paraxial sub-aperture ratio)(SAR)로 정의하는 것이 유용하다:

$$SAR = (\text{sign CRH}) \cdot (MRH / (|MRH| + |CRH|)).$$
- [0051]
- [0052] 이 정의에서, 파라미터(MRH)는 근축 주변 광선 높이를 의미하고, 파라미터(CRH)는 이미징 공정의 극축 주광선 높이를 의미하며, 시그넘(signum) 함수(sign(x))는 x의 부호를 의미하고, 이 경우 sign(0)=1에 동의할 수 있다. 이러한 응용을 위해, 용어, "주광선"(주요한 광선으로도 알려짐)은 유효하게 사용된 오브젝트 필드의 최외곽 필드점(광학 축에서 가장 먼)에서 진입 필드의 중앙으로 진행되는 광선을 의미한다. 회전 대칭 시스템에서, 주광선은 자오선 평면(meridional plane)에서 등가 필드점으로부터 선택할 수 있다. 오브젝트 측상에 대해 본질적으로

로 원심적인 투사 대물렌즈에서, 주광선은 광학 축과 평행하거나 이와 매우 작은 각도를 이루며 오브젝트 면으로부터 방출된다. 이미징 공정은 또한 주변 광선의 궤적을 특징으로 한다. 여기서 사용한 "주변 광선"은 축방향 오브젝트 필드점(광학 축 상의 필드점)에서 구경 조리개의 가장자리까지 진행되는 광선이다. 이 주변 광선은 오프-축 유효 대물렌즈 필드가 사용될 때 비네팅(vignetting)으로 인한 이미지 형태에 기여하지 않을 수 있다. 주광선 및 주변 광선 모두는 여기서 근축 근사화에 사용한다. 그렇게 선택한 광선과 소정의 축방향 자리에서의 광학 축 사이의 방사상 거리를 각각 "주광선 높이"(CRH)와 "주변 광선 높이"(MRH)라고 한다.

- [0053] 광선 높이 비($RHR=CRH/MRH$)는 필드면이나 퓨필면으로의 근접성 또는 이로부터의 거리의 특징을 구하는 대안적인 방식으로 사용할 수 있다. 퓨필면에 광학적으로 가까운(그리고 필드면으로부터 원거리인) 자리는 이때 예컨대 $|RHR| \leq 0.3$ 또는 $|RHR| \leq 0.2$ 와 같이 작은 절대값의 RHR을 특징으로 할 수 있다.
- [0054] 근축 주변 광선과 근축 주광선의 정의는 예컨대 "Fundamental Optical Design"(Michael J. Kidger 저, SPIE PRESS 출판사, Bellingham, Washington, USA)(2장)에서 볼 수 있고, 이것은 참조로서 본 명세서에 병합된다.
- [0055] 여기서 사용한 근축 부분 구경 비는 광학 경로를 따라서 필드 평면이나 퓨필 평면 각각에 대한 자리의 상대적 근접성을 기술하는 수단을 제공하는, 부호를 가진 양이다. 상기 제공한 정의에서, 근축 부분 구경 비는 -1과 1 사이의 값으로 공칭화되며, 여기서, 조건($SAR=0$)은 필드 평면에서 적용되고, $SAR=-1$ 에서 $SAR=+1$ 로의 점프와 $SAR=+1$ 에서 $SAR=-1$ 로의 점프가 있는 불연속점이 퓨필 평면에 대응한다. 그러므로 (오브젝트 면이나 이미지 면과 같이) 필드 평면에 광학적으로 가까이 자리한 광학 면은 0에 가까운 근축 부분 구경 비 값을 특징으로 하는 반면, 퓨필 면에 광학적으로 가까운 축방향 자리는 1에 가까운 근축 부분 구경 비의 절대값을 특징으로 한다. 근축 부분 구경 비의 부호는 평면의 자리가 광학적으로 기준 평면의 상류 또는 하류에 있는지를 나타낸다. 예컨대, 퓨필 면 상류에서 작은 거리에 있고 퓨필 면의 하류에서 작은 거리에 있는 근축 부분 구경 비는 동일한 절대값을 가질 수 있지만, 퓨필 면을 지날 때, 주광선 높이가 그 부호를 바꾼다는 점으로 인해 정반대 부호를 가질 수 있다. 이 정의는 예컨대 관련 면 상에서 코마 광선의 교차점의 부호로 나타낼 수 있다.
- [0056] 근-필드 평면(즉, 필드 평면에 광학적으로 가까운 평면)은 그러므로 거의 0인 근축 부분 구경 비를 갖는 반면, 근-퓨필 평면(즉, 퓨필 평면에 광학적으로 가까운 평면)은 거의 0인 절대값을 갖는 근축 부분 구경 비를 갖는다. 필드 면에서 광학적으로 원거리에 있는 면은 예컨대 $|SAR| \geq 0.5$ 또는 $|SAR| \geq 0.8$ 와 같이 실질적으로 0보다 큰 근축 부분 구경 비의 절대값을 특징으로 할 수 있다.
- [0057] 본 발명의 일부 실시예에서, 렌즈 또는 만곡된 거울과 같이, 광학 출력을 가진 적어도 하나의 굴절 또는 반사 광학 요소가 광학 보정 플레이트에 최근 거리의 필드 면과 광학 보정 플레이트 사이에 배열된다. 광학 보정 플레이트와 그 다음 필드 면 사이의 공간에는 예컨대 2, 3, 4, 5 또는 그 이상의 광학 요소와 같이 하나 보다 많은 광학 요소가 있을 수 있다. 광학 보정 플레이트는 투사 대물렌즈의 광학 요소 사이에 배열될 수 있다.
- [0058] 일부 실시예에서, 보정 플레이트는 투사 대물렌즈의 퓨필 면에 또는 이에 가까이에 자리할 수 있다. 예컨대, 퓨필 공간은, 근축 부분 구경 비(SAR)의 절대값이 범위($0.8 \leq |SAR| \leq 1$)에 있는 영역에서 투사 대물렌즈의 퓨필 주변에서 형성될 수 있고, 광학 보정 플레이트는 퓨필 공간에 배열된다.
- [0059] 광학 보정 플레이트는 투사 대물렌즈의 퓨필 면에 배열될 수 있어서, 제 1 및 제 2 광학 면은 근축 구경 비의 반대 부호를 특징으로 한 자리에 배열되게 된다.
- [0060] 광학 보정 플레이트는 퓨필 면 밖에서와 퓨필 면과 거리를 두고 놓일 수 있다. 일부 실시예에서, 보정 플레이트는 발산 빔이나 수렴 빔의 영역에 배열될 수 있어서, 근축 부분 구경 비(SAR)의 절대값은 보정 플레이트의 제 1 광학 면과 제 2 광학 면 사이에서 상당히 다르게 된다.
- [0061] 일부 경우, 지배적인 필드 수차뿐만 아니라 하나의 동일한 광학 보정 플레이트를 사용하여 특정한 퓨필 수차를 야기하는 것이 바람직할 수 있다. 보정 플레이트의 구조로 인해 퓨필 수차를 반드시 도입하지 않고도 지배적인 필드 수차를 야기하게 된다는 점으로 인해, 지배적인 필드 수차만을 야기하도록 구성된 보정 플레이트의 구조를 약간 변경함으로써, 퓨필 수차에 목표 지정 방식으로(in targeted manner) 영향을 미칠 수도 있다. 일반적으로, 원하는 퓨필 수차는, 제 1 및 제 2 광학 면의 비구면 형상을 약간 변경함으로써 생성할 수 있다. 필드 수차와 독립적으로, 퓨필 수차를 야기하는데 사용되는 추가 비구면은, 지배적인 필드 수차를 야기하도록 구성된 제 1 비구면 형상에 중첩된 제 2 비구면 형상으로서 취급할 수 있다.
- [0062] 종래기술의 문제를 해결하는데 기여할 수 있는 본 발명의 양상과 발명자의 고려사항을 이제 상세하게 논의할 것이다.

[0063] 투사 대물렌즈에 구비된 광학 요소-렌즈, 거울 또는 회절 요소-에 대한 중력의 영향과 대조적으로, 레티클은 축 처져서, 극히 적은 푸필 에러만을 야기하고, 푸필의 왜곡 텀을 압도적으로 변동시킨다. 이들 기술적 문제점을 다루기 위해, 본 출원의 문맥에서 다음의 내용을 이해해야 한다:

[0064] 다음의 내용은 예컨대 회전방향으로 대칭인 투사 대물렌즈를 사용하여 예시/정의한다. 그러나 이것은 어떤 식으로든 본 출원이 회전방향으로 대칭인 투사 대물렌즈로 제한됨을 의미하지 않는다.

[0065] 어느 원하는, 그러나 영구적으로 선택된 개구수와, 임의적이지만 영구적으로 선택된 오브젝트 필드(Q)의, 어느 원하는, 그러나 영구적으로 선택된 오브젝트 필드 점(q)에 대해, 이 오브젝트 필드점에 속하는 최대 광선속과, 푸필에서의 그에 따라 정의된 파면(w)이 결정될 수 있다, 즉 바람직하게는 간섭식으로(interferometrically) 계산 또는 측정될 수 있다. 만약 이 푸필이 단위 원으로 변환된다면, 구면파로부터 실제 파면의 일탈은 공칭 제니케 다항식(normalized Zernike polynomials)(Z(p))에서 전개될 수 있다. 이러한 전개식의 변수(p)는 푸필(P)에서의 방사선 위치에 대응하고, 이 전개식은 Q로부터의 q를 파라미터로서 갖는다. 예컨대, 그 전체가 참조로서 본 명세서에 병합되어 있는 미국출원(US 2003/0071986A1)과 비교한다. 이 전개식은 Q로부터 고정된 오브젝트 필드 점(q)에 대해 이 필드 점에 대한 실제 투사 대물렌즈의 푸필 에러를 충분히 기재한다.

[0066] 만약 투사 대물렌즈가 그 광학 축에 대해 회전방향으로 대칭이라면, 다음과 같이 진행할 수 도 있다:

[0067] 회전방향으로 대칭인 투사 대물렌즈의 푸필(P)의 어느 원하는, 그러나 영구적으로 선택된 점(p)에 대해, Q로부터 필드 점(q)은 변하게 될 수 있다. 만약 Q가 이제 단위 원으로 공칭화된다면, Q로부터 q의 이러한 변동은 마찬가지로 공칭화된 제니케 다항식에서 전개될 수 있다. 이 경우, P로부터 q가 원하지만 영구적인 파라미터이다.

[0068] 결국, 투사 대물렌즈의 수차(즉, 이미징 에러)의 표현식은, 말하자면, 규정된 개구와 필드 크기의 이상적인 광학기기로부터 일탈한 표현식에 이르게 된다. 텐서 곱 공간($P \otimes Q$)에서 투사 대물렌즈의 수차의 표현식은:

[0069]
$$w(p, q) \approx \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} Z_i(p) Z_j(q), p \in P, q \in Q$$

[0070] 얼마나 많은 계수(α_{ij})가 두 개의 전개식에 대해 결정되는지에 따라, 투사 대물렌즈의 에러는 어느 정도 충분히 기재된다:

[0071] 예컨대, $n=36, 49$ 또는 100 이고 $m=36, 49$ 또는 100 인 계수를 가진 제니케 전개식을 결정할 수 있다.

[0072] 본 출원의 문맥에서, 푸필 에러(w_p)는 상기 전기식의 필드-독립적, 다시 말해 필드-일정 성분으로 이해되어야 한다:

[0073]
$$w_p(p, q) \approx \sum_{i=1}^n \alpha_{i0} Z_i(p) Z_0(q) = \sum_{i=1}^n \alpha_{i0} Z_i(p), p \in P, q \in Q$$

[0074] 필드 에러(w_q)는 그러므로 $w_q = w - w_p$ 로 이해될 것이다.

[0075] 그러한 기재는, 일반적으로 회전방향으로 대칭 설계된 투사 대물렌즈로부터 일탈한 투사 대물렌즈의 변화 및/또는 요소를 기재하게 될 때마다, 특히 유용하다. 만약, 예컨대 투사 대물렌즈의 광학 요소가 변화를 겪는다면, 투사 대물렌즈의 전개식은, 이 변화를 사용하여 결정할 수 있고, 이로부터, 이러한 변화가 없는 전개식을 감산할 수 있다. 설계에 따라 그렇게 발생하는 차이가 투사 대물렌즈의 이미징 속성에 대한 이러한 변화의 광학 효과를 기재하는 기능을 하고, 및/또는 투사 대물렌즈는 그 광학 효과에 의해 요소의 특징을 구한다.

[0076] 본 출원의 문맥에서, 이러한 차이를, 투사 광학기기의 이러한 변화에 의해 또는 투사 광학기기의 선택된 광학 요소에 의해 야기된 효과라고 한다.

[0077] 그러한 변화는 예컨대 광학 요소의 자리 변화, 변형 및 비구면화(aspherizations)일 수 있다. 특히, 비구면화는 투사 대물렌즈에 구비된 광학 요소 중 하나의 광학 유효 면의 변화로 간주할 수 있다. 만약 그러한 요소가 교환용으로 구비된다면, 이것이 야기한 효과는, 그러나 분실 요소와의 차이가 아니라, 투사 대물렌즈의 설계에 대응하는 표준 방식으로(canonically) 규정된 요소와의 차이로 이해된다. 예컨대, 교환 가능하고 비구면인 평면 플레이트는, 비-비구면 평면 플레이트가 구비된 투사 대물렌즈에 대해 광학 효과를 야기하고, 그러한 평면 플레이트를 갖지 않는 투사 대물렌즈에 대해서는 전적으로 광학 효과를 야기하지 않는다.

[0078] 예컨대, 만약 투사 대물렌즈의 푸필 평면에 위치한 거울이 그 탑재를 통해 두 개의 파에서 방위각에 따라 변형

된다면, 이 변형에 의해 야기된 효과와, 그에 따른 차이는 계수(α_{50} 과 α_{60})에 의해 실질적으로 지배된다:

[0079]

$$w(p, q) \approx \alpha_{50} Z_5(p) + \alpha_{60} Z_6(p), \quad p \in P, q \in Q.$$

[0080]

그러므로 투사 대물렌즈의 퓨필 평면에 놓인 거울의 두 개의 파의 방위각에 따라서의 변형은 대략 순전히 퓨필 에러를 야기한다.

[0081]

본 출원의 문맥에서, 한 가능한 정의에 따라, 계수 세트의 지배(dominance):

[0082]

$$\{\alpha_{ij}; i \in N, j \in M\}, \quad N \subseteq \{1, \dots, n\}, \quad M \subseteq \{1, \dots, m\}$$

[0083]

또는 투사 대물렌즈의 에러의 전개식:

[0084]

$$w(p, q) \approx \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} Z_i(p) Z_j(q), \quad p \in P, q \in Q$$

[0085]

의 부분합:

[0086]

$$\sum_{i \in N, j \in M} \alpha_{ij} Z_i(p) Z_j(q)$$

[0087]

은, 이 세트에 속한 각 계수가 이 세트에 속하지 않은 계수보다 적어도 200%만큼 배울 면에서 더 크다는 점을 의미하는 것으로 이해될 것이다. 만약 이 요건이 400% 또는 심지어 900%에도 적용된다면, 본 출원의 문맥에서, 강하다 또는 강한, 즉 각각 전적으로 지배한다고 한다.

[0088]

여기서 사용한 전개식은 직교 시스템에서 전개식을 기재하는 다수의 방식 중

[0089]

단 하나이다. 지배는 다른 직교 시스템에서도 유사하게 정의할 수 있다.

[0090]

투사 대물렌즈의 퓨필 평면에 놓인 거울에서의 두 개의 파의 방위각 왜곡인 경우에, 그에 따라 지배적이거나 심지어는 강하게 또는 완전히 지배적인 계수 세트 [α_{50} , α_{60}]가 있거나, 다른 방식으로 공식화된 경우, 지배적이거나 심지어는 강하게 또는 완전히 지배적인 필드-독립적 비점수차가 존재한다. 만약 두 개의 파에서 방위각에 따라 변형된 이 거울이 투사 대물렌즈의 필드 또는 이미지 필드에 더 가까이 위치한다면, 계수는 추가적인 계수 (α_{ij})에 관련되며, [α_{50} , α_{60}]는 더 이상 지배적이지 않다:

[0091]

$$\begin{aligned} w(p, q) &\approx \sum_{i=1}^n \alpha_{i0} Z_i(p) && I \\ &+ \sum_{j=1}^m (\alpha_{2j} Z_2(p) + \alpha_{3j} Z_3(p)) Z_j(q) && II \\ &+ \sum_{i=4}^n \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} Z_i(p) Z_j(q), && III, \quad p \in P, q \in Q \end{aligned}$$

[0092]

이것은 그러므로 세 개의 피가수(summand)(I, II 및 III)를 산출한다. 피가수(I)는 순수한 퓨필 에러를 기재한다. 피가수(II)는 퓨필에서의 필드-가변적 왜곡의 계수이며, 그러므로 파면의 공간 변위이다. 피가수(II)에 있는 텀은 정밀하게는, 레티클이 축 처짐으로써 야기된 효과를 기재하는 텀이다. 피가수(III)는 잔류 수차를 기재한다.

[0093]

레티클의 축 처짐을 보상하기 위해서는, 피가수(II)로부터의 계수가 지배적인 것이 되거나, 바람직하게는 강하거나, 심지어는 더욱 바람직하게는, 완전히 지배적이게 되도록, 이제 피가수(I 및 II)의 계수를 감소시키는 것이 필요할 것이다.

[0094]

그러나 변형 가능한 거울을 예컨대 투사 대물렌즈에 어떻게 위치시키는 지에 상관없이, 그리고 어떻게 이것이 변형되는지에 상관없이, 피가수(II)로부터의 계수는 결코 지배적이지 않게 될 것이며, 이는 거울의 변형이 피가수(III)로부터의 더 고차 텀(term)을 야기하고, 퓨필 에러(피가수(I))로부터 결코 자유롭지 않게 될 것이기 때문이다.

[0095]

따라서 광학 요소를 포함하고/거나 피가수(II)로부터 지배적인 효과를 야기하는 조작 가능성을 제공하는, 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈를 제공함에 따라 문제가 발생한다.

[0096]

다른 공식화된 문제에서, 이 광학 요소는 지배적인 필드 에러를 야기하도록 설계 및 배열된다. 그 목적은 따라서, 피가수(II 및 III)로부터의 계수가 지배적인 경우에 효과를 야기하는 것이다.

- [0097] 다른 공식화된 문제에서, 이 광학 요소가 그것에 독립하여 순수한 퓨필 에러를 보정 및/또는 조정할 수 있고자 한다, 다시 말해 피가수(II)나 피가수(II 및 III) 합의 지배적인 효과와, 이에 독립한 피가수(II)의 지배적인 효과를 야기할 수 있고자 한다.
- [0098] 퓨필 에러의 상기 "독립"은 광학 요소가 두 종류의 자유를 만끽한다고 이해하게 된다: 필드 에러를 야기하는 첫 번째 자유와 퓨필 에러를 야기하는 두 번째 자유. 동일한 방식으로, 각 종류의 자유의 지배는 분리해서 이해되어야 한다. 사실, 제 1 및 제 2 지배적인 효과를 독립적으로 야기할 수 있는, 즉, 계수 세트(M1, N1과 N2, M2)를 각각 갖는 광학 요소는 계수 세트(M1UM2, N2UM2)를 갖는 지배적인 효과를 야기할 수 있는 광학 요소보다 더 플렉서블하다.
- [0099] 본 발명의 다른 형식에 따라, 광학적으로 능동 상태인 제 1 면과 광학적으로 능동 상태인 제 2 면을 가진 광학 요소를 포함한, 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈를 제공하며, 이들 두 면은 회전방향으로 대칭되지 않고 광학 축을 기준으로 비구면 상태여서, 비구면은 함께 지배적인 필드 에러를 야기한다.
- [0100] 지배적인 필드 에러는 바람직하게는 필드-가변 왜곡이며,
- [0101] 바람직하게는 지배는 강하거나 심지어 전적이다.
- [0102] 추가적인 실시예에서, 제 1 또는 제 2 광학 면은, 스스로 그리고 필드 에러와는 독립적으로 지배적인 퓨필 에러를 야기하는 추가적인 비구면화를 포함한다. 이 지배는 마찬가지로 강하거나 전적이다.
- [0103] 본 발명의 일 실시예에서, 이 광학 요소는 두 측면이 비구면화되고 유사한 비구면을 가진 평면 플레이트이고, 광학적으로 활성 상태인 면(즉, 광학 면)은 평면 플레이트의 전방 측이나 후방 측이다.
- [0104] 일반적으로 말해, 비구면은 기본적인 기준 구에서의 일탈로서 정량화하고, 반경 1로 공칭화한다면, 단위 원 상의 함수(f)로서 명시한다. 일반적으로, 제니케 다항식에서 전개식은 또한 상기 파면에 필적하는 방식으로 명시된다. 본 출원의 일 양상의 범위에서, 두 구면(f, g)은, 만약 $f(x) = ag(\beta x)$, $|x| \leq 1$ 이 적용되도록 두 개의 파라미터($a \neq 0$, $\beta > 0$)가 존재한다면, 유사하다고 여겨질 것이다.
- [0105] a 가 거의 1이고, β 또한 거의 1 또는 거의 0.95, 또는 거의 0.9 또는 거의 0.8인 것이 바람직하다.
- [0106] 일부 실시예에서, 이들 비구면은 방위각면에서 2-과 또는 3-과 또는 4-과 또는 멀티-과 형상을 방위각에 따라서 갖는다.
- [0107] 제 1 및 제 2 광학 면은 적어도 $0.3\mu\text{m}$, 또는 적어도 $1.0\mu\text{m}$, 또는 심지어 $3.0\mu\text{m}$ 이상의 피크-밸리 차이(PV) 값을 갖는 것이 바람직하다.
- [0108] 추가적인 실시예에서, 이 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈는, 제 1 방사선속의 위치가 제 1 또는 제 2 면 상의 제 2 방사선속의 위치와 다르다는 점과, 이들 두 방사선속이 이 표면 상에서 발산한다는 점에서 차별화된다.
- [0109] 추가적인 실시예에서, 이 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈는, 방사선속을 인가할 수 있고 광학적으로 활성 상태인 면 상의 제 1 방사선속의 직경이 [0.8;0.95] 또는 [0.9;0.95]의 간격으로 근축 부분 구경 비의 절대값에 대응한다는 점에서 차별화된다. 이들 자리는 퓨필 면에 가깝지만, 퓨필 면에서 거리를 둔 자리에 대응한다.
- [0110] 본 발명의 추가적인 실시예에서, 이 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈는, 제 1 방사선속의 각도가 제 1 또는 제 2 면 상의 제 2 방사선속의 각도와 다르다는 점에서 차별화된다.
- [0111] 본 발명의 바람직한 실시예에서, 제 1 면 또는 제 2 면 상의 제 1 방사선속의 직경은 [0.8;1.0] 또는 [0.9;1.0] 또는 [0.95;1.0]의 간격으로 근축 부분 구경 비의 절대값에 대응한다. 이들 자리는 퓨필 면에 최근 거리이거나 퓨필 면에 있는 자리, 즉 퓨필 공간에 있는 자리에 대응한다.
- [0112] 추가적인 실시예에서, 제 1 광학 면 상의 근축 부분 구경 비는 제 2 광학 면 상의 근축 부분 구경 비와 다르다.
- [0113] 본 발명의 이들 실시예는 또한 결합할 수 있다.
- [0114] 투사 대물렌즈의 광학 요소나 추가적인 광학 요소는 바람직하게는, 변위, 회전, 변형, 교환, 냉각 또는 가열될 수 있고, 관련 매니플레이터 시스템을 장착할 수 있도록 설계할 수 있다.
- [0115] 본 발명의 다른 양상에 따라, 앞서 명시한 투사 대물렌즈 중 하나를 포함하는 마이크로리소그래피용 투사 노광 장치나 기계를 구비한다.

[0116] 본 발명의 다른 양상에 따라, 마이크로리소그래피용 투사 노광기를 동작하는 방법이 그러한 투사 대물렌즈 및/또는 광학 보정 플레이트를 사용하여 명시된다. 그러한 방법은 반도체 디바이스 및 다른 타입의 마이크로디바이스를 제조하는데 사용할 수 있다.

[0117] 본 발명의 다른 양상에 따라, 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈를 위한 광학 보정 플레이트로서 설계한 교환 가능한 요소를 명시하며, 이 요소는 투사 대물렌즈의 평면 평행 플레이트에 대해서나 다른 광학 보정 플레이트에 대해 교환될 수 있다.

[0118] 이상의 속성 및 다른 속성은 청구범위에서뿐만 아니라 상세한 설명 및 도면에서 볼 수 있고, 개별 특징은 단독으로 또는 본 발명의 실시예로서 하위-결합 및 다른 분야에서 사용될 수 있고, 개별적으로 유리하고 특히 가능한 실시예를 나타낼 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0119] 도 1a 및 도 1b는 1차원으로 레티클의 변형을 개략적으로 예시한 도면이다.

도 2는 2차원으로 레티클의 안장형 변형을 개략적으로 예시한 도면이다.

도 3은 레티클 변형으로 야기될 수 있는 이미지 에러 프로파일(수차 프로파일)을 예시한 도면이다.

도 4a는 굴절 투사 대물렌즈로 표시된 투사 대물렌즈의 제 1 실시예의 수직단면도(meridional section)이고, 도 4b는 투사 대물렌즈의 필드 면 외부 및 상류에 있는 발산 빔 영역에 배열한 보정 플레이트를 개략적으로 예시한 도면이다.

도 5는 유사한 비구면을 가진 광학 보정 플레이트의 개략적 사시도 및 부분 단면도이다.

도 6a는 보정 플레이트의 안장형 제 1 면(S1)의 사시도이고, 도 6b는 x-방향(XCUT)과 y-방향(YCUT)에서 안장형 비구면의 대응하는 윤곽도(contour plot) 및 개략적인 절단도이고, 도 6c와 도 6d는 안장형 제 2 면(S2)의 대응하는 면 형상 및 윤곽도이고, 도 6e와 도 6f는 제 1 면(S1)과 제 2 면(S2)의 비구면 형상 사이의 차이로부터 구한 플레이트 두께의 공간 변동을 나타내는 대응 도면이다.

도 7a는 평면 플레이트를 가진 개략적인 렌즈 시스템의 단면도이고, 도 7b는 평면 플레이트 대신 광학 보정 플레이트를 가진 동일한 시스템의 단면도이고, 도 7c는 도 7a와 도 7b에 필적하는 도면으로서 도 7a의 평면 플레이트를 도 7b의 보정 플레이트로 교체하여 얻은 왜곡 수차를 나타낸 도면이다.

도 8a 및 도 8b는 보정 플레이트가 지배적인 필드 수차로서 애너모픽 왜곡을 야기함을 나타내는 도면이다.

도 9a는 제 1 실시예의 보정 플레이트의 비구면 위에 중첩되어 지배적인 필드 수차에 더해 필드 수차를 야기하는 추가적인 비구면의 사시도이고 도 9b는 그 윤곽도이다.

도 10a는 두 개의 오목 거울을 가진 반사굴절(catadioptric) 인-라인 투사 대물렌즈로 나타낸 투사 대물렌즈의 제 2 실시예의 수직 단면도이고, 도 10b는 도 10a의 투사 대물렌즈의 제 1 필드 면에 놓인 보정 플레이트의 개략도이다.

도 11a는 보정 플레이트의 안장형 제 1 면(S1)의 사시도이고, 도 11b는 안장형 비구면의 대응 윤곽도이고, 도 11c와 11d는 안장형 제 2 면(S2)의 대응 면 형상 및 윤곽도이고, 도 11e와 도 11f는 제 1 면(S1)과 제 2 면(S2)의 비구면 형상 사이의 차이로부터 얻은 플레이트 두께의 공간 변동을 나타내는 대응 도면이다.

도 12a 및 도 12b는 보정 플레이트가 지배적인 필드 수차로서 애너모픽 왜곡을 야기함을 나타내는 도면이다.

도 13은, 보정 플레이트에 대한 교환 디바이스와 투사 대물렌즈의 실시예를 포함한, 마이크로리소그래피용 투사 노광 장치 실시예의 개략도이다.

도 14는, 마스크 패턴을 생산하는 동안 제조 에러로 인해 생긴 왜곡형 수차를 보정하도록 형성된 비구면을 가진 펠리클(pellicle) 및 마스크를 포함하는 마스크 배열을 개략적으로 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0120] 도 1a는, 중력의 영향없다면 거동하였을 형태로 가장자리 길이(L)와 두께(d)를 가진 레티클(reticle)(100)을 예시한다. 동일한 레티클(100)이, 중력(\vec{g})의 영향 아래에서 축 처지는 형태로 도 1b에 예시되어 있다. 중력 방

향에서 본, 레티클(100)의 상부측(101)은 값(ΔL)만큼 압축되는 반면, 중력 방향에서 본, 레티클의 하부측(102)은 값(ΔL)만큼 신장된다. 접선은 레티클의 중성 섬유(103)이다. 이것의 길이는 중력의 영향 아래에서 변하지 않는다.

[0121] 도 2는 레티클의 질적인 변형을 사시도로 도시한다. 만약 레티클이 프레임 상에서 지지부에 의해 유지된다면, 변형은 포물선 형상을 갖는다(여기서 예시하지 않음)($a_1x^2 + b_1y^2$, $a_1, b_1 > 0$). 만약, 이와 대조적으로, 레티클이 클램핑 기술로 탑재된다면, 안장형 변형($a_2x^2 + b_2y^2$, $a_2 > 0, b_2 < 0$)이 중력-유도 변형 상에 중첩된다. 그러한 안장형 변형을, 네 개의 코너 지점(201, 202, 203 및 204)에서 클램핑된 직사각형 레티클(200)에 대해서 도 2에 도시한다. 따라서, 레티클의 타입 및 탑재 기술에 따라, 일반적으로, 개별적인 힘 및/또는 모멘트의 중첩에 의해 레티클이 변형될 수 있고, 이것은 함수($f(x,y)$)로 기재한다.

[0122] 만약 전체 변형의 피크-밸리 차이 값이 투사 대물렌즈의 초점 심도(DOF)보다 크지 않은 범위에서 변한다는 점을 근사화에 의해 가정한다면, 이미징될 레티클의 변형에 의해 야기된 레티클 구조 상의 효과는, 제 1 근사화로, 변형의 그래디언트($\nabla f(x,y)$)에 비례하는, 레티클 지점의 공간적으로 의존하는 공간 변위에 의해 기재한다.

[0123] 만약, 예컨대, 레티클의 변형이, 전술한 바와 같이, 프레임 상에서 중첩됨에 의해, 그리고, 이로 인해 야기된 포물선 형태의 축 처짐에 의해 지배된다면, 공간적으로 의존하는 공간 변위는 회전방향으로 대칭인 벡터 필드에 대응한다. 그러한 축 처짐의 광학 효과는 순수한 스케일 에러이다.

[0124] 일반적으로, 레티클이 변형되어 야기된 광학 효과(w_r)는 전개식으로 나타낼 수 있다:

[0125]
$$w_r(p,q) \approx \sum_{j=1}^m (\alpha_{2j} Z_2(p) + \alpha_{3j} Z_3(p)) Z_j(q), \quad p \in P, q \in Q$$

[0126] 예컨대, 레티클의 변형은, 도 2에서 질적으로 나타낸 바와 같이, 안장형 변형에 의해 지배를 받을 수 있다. 상기 전개식은:

[0127]
$$w_r(p,q) \approx \sum_{j=1}^m \alpha_{2j} Z_2(p) Z_j(q) + \alpha_{3j} Z_3(p) Z_j(q), \quad p \in P, q \in Q$$

[0128] 이라고 가정할 수 있다.

[0129] 본 발명이 해결할 수 있는 한 가지 문제점은 이제 도 3과 연계하여 기재할 것이며, 도 3은 세 개의 왜곡도를 도시하며, 여기서 직사각형 필드 면에서 왜곡 방향과 왜곡 양의 공간 분포는 다수의 필드 점에 대해 화살표로 나타낸다. 도면들에서, 왜곡이 없는 경우의 필드 점의 예상 자리는 2-차원 직사각형 매트릭스로 배열되고, 화살표는 왜곡으로 인한 필드 점의 측면 변위의 양과 방향을 나타낸다. 도 3의 (a)는 도 2에 일반적으로 도시한 바와 같이 레티클의 안장형 변형으로 야기된 애너모픽 왜곡을 예시한다. 그러한 변형에 의해 만들어진 대물렌즈의 장에는 (안쪽을 가리키는 화살표로 나타낸) y-방향에서의 배율 감소와 (바깥쪽을 가리키는 화살표로 나타낸) 이에 수직인 x-방향에서의 배율 증가로 기재할 수 있으며, 변위의 양은 일반적으로 광학 축으로부터의 방사상 거리에 따라 증가한다.

[0130] y-및 x-방향에서의 왜곡은 또한 y-방향의 왜곡에 대해서는 제니케 계수(Z3)로 기재할 수 있고, x-방향의 왜곡에 대해서는 제니케 계수(Z2)로 기재할 수 있다.

[0131] y-방향과 평행하게 정렬된 스캐닝 방향을 가진 스캐닝 동작에서, 그러한 왜곡 패턴은 스캔 적분된 왜곡(scan integrated distortion)을 이끌며, 여기서 스캐닝 방향(y-방향)에서의 변위는 일반적으로 특정 정도까지 서로 보상하지만, y-방향에서 스미어 아웃(smear out)될 수 있다. 이와 대조적으로, 스캐닝 공정은 x-방향에서 왜곡을 보상할 수 없다.

[0132] 도 3의 (b)는 순수한 스케일 에러(배율 에러)에 대응하는 도면을 동일한 표현 방식으로 도시한다. 이 경우, 변위는 방사상 바깥 방향이다. 종래기술에 알려진 바와 같이, 도 3의 (b)에서 도시한 바와 같은 왜곡을 이끄는 배율 에러는, 광학 축(소위 Z-매니플레이션)에 평행하게 투사 대물렌즈의 하나 이상의 광학 요소를 변위시킴으로써 보상할 수 있다.

[0133] 도 3의 (c)는, 도 3의 (a)에 도시한 바와 같은 애너모픽 왜곡이 도 3의 (b)에 따른 순수한 Z-매니플레이션(배율 변화)에 의해 보정되는 경우에 대한 결과적인 왜곡 분포를 도시한다. 결과는 스캐닝 방향(y-방향)에서 두 배가 된 스케일 에러(배율 에러)로 기재할 수 있다. 종래의 스케일 매니플레이터(도 3의 (b)에 따름)에 의한 애너모

픽 왜곡(도 3의 (a))의 보정으로 얻은 이 왜곡 프로파일을 갖는 투사 대물렌즈를 사용한 이미징 공정에서, 기관 상에서 이미지의 결과적인 구조가 y-방향에서 스미어 아웃될 것이다.

[0134] 도 3과 연계하여 일반적으로 설명하는 효과는 "페이딩(Fading)"이라고 종래기술에서 알려져 있다. 페이딩은, 구조의 필드-외존 왜곡에 대한 조치로 알려져 있다. 페이딩이 일어날 경우, 구조적 특성부는 평균적으로 그 정확한 예상 자리에 이미징될 것이지만, 구조는 콘트라스트가 감소하여 이미징될 것이다. 기관 상에 이미징될 구조가 교차 스캐닝 방향(x-방향)에서 뿐만 아니라 스캐닝 방향(y-방향)에서의 필드-외존 왜곡으로 인해 진동(즉, 앞뒤로 움직임)하게 보일 때, 스캐닝 동작 동안에 페이딩이 일어난다. 콘트라스트 손실은 그러한 진동의 영향이다. 페이딩의 양, 즉 정도는 왜곡의 평균 표준 편차(MSD-값)에 의해 전형적으로 기재하며, 그 값은 종래기술에서 상이한 방식으로 계산한다.

[0135] 예시용으로, 합계, 즉 필드 프로파일은 방위각, 즉 둘레 방향에서, 2-파 텀에 의해 지배된다고 가정할 수 있다. 필드 프로파일은 또한, 전술한 바와 같이 2-폴드 방사상 대칭인 것으로 기재할 수 있다.

[0136] 본 발명의 여러 실시예의 상세한 설명과 연계하여 이제 더 기재할 것이다.

[0137] 본 발명의 제 1 실시예를 이제, 도 4a 및 도 4b, 도 5 및 도 6a 내지 도 6f와 연계하여 설명한다. 도 4a는 마이크로리소그래피용 순굴절(다이옵트릭(dioptric)) 투사 대물렌즈(600)의 수직 단면을 도시한다. 특정한 실시예는 국제출원공보(WO 2003/075096 A2)의 도 8로부터 취한 것이고, 미국특허(US 7,190,527B2)의 도 8과 연계하여 또한 개시한다. 이들 두 문헌의 개시물은 투사 대물렌즈의 설계 및 명세에 관련된 한 여기서 참조로서 병합된다.

[0138] 간략하게, 투사 대물렌즈(600)는 $\lambda=193\text{nm}$ 동작 파장에 대해 구성되고, 최대 이미지-측 개구수($NA=0.9$)를 가지며, 이러한 개구수는 최대로 개방한 구경 조리개로 얻을 수 있다. 투사 대물렌즈는 오브젝트 필드를 오브젝트 면(OS)으로부터 직접, 즉 중간 이미지를 형성할 없이, 감소한 스케일로, 이미지 면(IS)의 이미지 필드 내에 이미징한다. 유효 오브젝트 필드와 이미지 필드는 그 중심을 광학 축(OA)(온-축 필드)에 둔다. 단일 웨이스트(waist), 즉 투사 빔의 단일 수축(constriction)이 투사 대물렌즈의 오브젝트-측 벨리(belly)와 이미지-측 벨리 사이에서 형성된다. 두 개의 양면 오목 음 렌즈(N1, N2)가 웨이스트 영역에 배열된다. 투사 빔은 일반적으로 이미지-측 벨리에 놓인 구경 조리개(AS)와 웨이스트 사이에서 발산한다. 평면-평행 플레이트(PP)가, 발산 방사선 영역에서 구경 조리개와 웨이스트 사이의 대략 중간의 투사 빔 경로에 삽입된다.

[0139] 동작시, 투사 대물렌즈는 통상 수직 광학 축으로 정렬된다. 화살표(\vec{S})로 나타낸 중력이 도 6a에서 크게 확대해 예시한 바와 같이 레티클(R)을 변형시킨다. 서로 평행한 두 개의 평행한 면을 가진 평면 평행 플레이트(PP)의 광학 효과는 투사 대물렌즈의 설계 공정에서 고려한다.

[0140] 도 4b는, 발산하는 투사 빔에 놓인 평면 평행 플레이트(PP)의 개략적으로 확대한 상세도를 도시한다. 참조번호(FP1)는 오브젝트 필드의 제 1 외곽 가장자리에서의 제 1 필드 점으로부터 유래한 광선을 나타내고, FP2는 유효 오브젝트 필드의 반대편 외곽 가장자리에서의 제 2 필드 점으로부터 유래한 광선을 나타내며, FP3은 축방향 필드 점, 즉 광학 축(OA) 상의 필드 중앙으로부터 유래한 광선속의 외곽 광선을 나타낸다. 실선이 상술한 원래의 설계에 따른 평면 플레이트(PP)를 나타내는 반면, 점선은 제 1 면(S1) 및 제 2 면(S2)을 가진 광학 보정 플레이트(CP)를 나타내며, 여기서 면(S1 및 S2) 각각은 회전방향으로 비대칭인 면 프로파일을 갖는다. 제 1 면(S1)은, 상부면 및 수직배향된 경우 투사 대물렌즈인 진입면을 나타내고, 면(S2)은 보정 요소의 진출면(또는 밀면)이다.

[0141] 도 5는 일반적으로 원형인 광학 보정 플레이트(CP)의 개략도를 도시하며, 이것은 플레이트 법선(PN)에 수직한 x-방향을 따라 절단한 것이다. 보정 플레이트를 투사 대물렌즈에 탑재할 때, 플레이트 법선(PN)은 투사 대물렌즈의 광학 축(OA)에 실질적으로 평행하게 배향된다. 비구면 면 프로파일이 방사상 대칭의 중앙을 가질 때, 방사상 대칭의 이 중앙은 광학 축 상에 놓여야 한다.

[0142] 플레이트는, 응용되는 경우에 동작 파장을 실질적으로 투과시키는 광학 소재로 된 플레이트형 본체(B)를 갖는다. $\lambda=193\text{nm}$ 와 같은 심자외선(DUV) 스펙트럼 영역의 동작 파장의 경우, 본체는 예컨대 용융 실리카(fused silica)나 칼슘 플루오라이드로 제조할 수 있다. 플레이트의 직경은, 적어도 10cm 또는 적어도 20cm 또는 적어도 25cm 이상이나 적어도 30cm 이상과 같이 대략 수 cm일 수 있다. 본체는 한 측면 상의 제 1 면(S1)과 다른 측면 상의 제 2 면(S2)을 가지며, 면들 각각은 본래 거시적인 규모에서 플레이트 법선에 수직하게 연장된다. 두 면(S1 및 S2)은 광학 품질을 갖도록 제조되고, 반사-방지(AR) 코팅으로 코팅될 수 있어서, 투과 손실을 감소시킬 수 있다. 제조 공차(원하는 형상과의 차이)는 예컨대 대략 10nm 미만일 수 있다.

[0143] 두 면(S1, S2)은 비-회전방향 대칭 비구면 면 프로파일, 즉 회전방향 대칭이 없는 비-평면, 비-구면 면 프로파

일을 갖는다. 비구면화(aspherization)의 크기나 정도는, 면 각각에 대해, 전체 유용한 횡단면에 걸친 플레이트 법선 방향에서 각 면 상의 최고점을 포함하는 평면과 최저점을 포함하는 평면 사이의 거리를 나타내는 각각의 피크-밸리 차이 값(PV)을 특징으로 할 수 있으며, 평면들은 플레이트 법선(PN)에 수직하게 배향된다. 제 1 면 프로파일에 대한 피크-밸리 차이 값(PV1)과 제 2 면 프로파일에 대한 피크-밸리 차이 값(PV2)은 x-y 평면에서 전체 사용 영역에 걸친 각 면 형상을 특징화한다. 플레이트는, 플레이트 법선(PN)에 평행하게 측정된 제 1 광학 면(S1)과 제 2 광학 면(S2) 각각 사이의 거리로 정의할 수 있는 플레이트 두께(t(x,y))를 갖는다. 전형적으로, 플레이트 두께는 광학적으로 사용된 영역에 걸쳐서 두 면(S1, S2)의 평균 피크-밸리 차이 값(즉, (PV1+PV2)/2)의 10%미만만큼 변한다. 다시 말해, 플레이트 두께 변동은, 각각의 피크-밸리 차이 값 면에서 비구면 광학 면(S1 및 S2)의 평균 공간 크기보다 적어도 한 자리수(인자 10) 더 작으며, 이러한 크기는 상부면과 하부면 사이의 일종의 글로벌 유사성(global similarity)에 적합하다.

[0144] 많은 실시예에서, 제 1 피크-밸리 차이 값(PV1)과 제 2 피크-밸리 차이 값(PV2)은 동작 파장의 5배보다 더 크거나, 심지어 동작 파장의 10배보다 더 크다. 피크-밸리 차이 값(PV1, PV2)은 대략 1 또는 2 또는 3 이상의 미크론일 수 있다. 나아가, 많은 경우, 플레이트 두께는 평균 피크-밸리 차이 값((PV1+PV2)/2)의 5%미만만큼 및/또는 최대 피크-밸리 차이 값(max(PV1, PV2))의 5%미만만큼 변한다. 그럼에도, 플레이트 두께가 실질적으로 균일 하더라도, 대부분의 경우, 이 두께는 불균일하다, 즉, 두께(t(x,y))는 유용한 횡단면에 걸쳐서 한정된 방식으로 변한다. 유용한 횡단면에 걸친 플레이트 두께의 변동은 일반적으로 비구면화 크기에 비해 극히 작기 때문에, 제 1 면 프로파일과 제 2 면 프로파일(또는 제 1 및 제 2 광학 면)은 이들 경우에 "유사"한 것으로 칭할 수 있다.

[0145] 일반적으로, 보정 플레이트의 두께(t(x,y))는, 제 1 광학 면(S1)과 제 2 광학 면(S2)이 SAR의 크기 및/또는 부호에 관한 근축 부분 구경 비(SAR)의 미리 한정된 차이를 가진 자리에 배열되게 하기에 충분해야 한다. 전형적인 경우, 플레이트 두께(t)는 적어도 1mm이다. 플레이트 두께는 예컨대 2mm 이상, 또는 4mm 이상, 또는 6mm 이상, 또는 10mm 이상일 수 있다. 플레이트 두께는 대부분의 경우 50mm미만 또는 40mm미만 또는 30mm미만 또는 20mm미만일 수 있다. 플레이트 두께는, 플레이트가 탑재된 상태에서 거의 자체-지지 상태이어서, 보정 플레이트의 전체 형상이 탑재된 상태에서 플레이트에 작용할 수 있는 중력 및 다른 힘의 영향으로부터 본래 안정적일도록, 선택될 수 있다.

[0146] 이제, 도 4a, 도 4b와 연계하여 논의된 실시예를 더 참조할 것이다.

[0147] 보정 플레이트(CP)의 상부측과 하부측이 이제, 비구면($\lambda_1 Z_5 + \lambda_2 Z_6$ 및 $\lambda_3 Z_5 + \lambda_4 Z_6$)을 갖고, 광학적으로 각각 사용되는 직경으로 공칭화된다면(이 경우 λ_1 는 도 4b의 점선에 의해 질적으로 나타낸 바와 같이 결정되어야 하고, 도 6에 더 예시되어 있음), 도 4b의 플레이트의 상부측 및 하부측의 비구면을 적용시키는 것과, 0.3 μ m을 초과하는 피크-밸리 차이 값(PV>0.3 μ m)을 가진 큰 비구면화에 의해, 비구면에 의해 함께 야기된 푸필 에러를 대략 사라지게 할 수 있다. 이를 위해, 비구면은 유사한 형상을 가져서, 파라미터(α 및 β)에 대해서, α 는 대략 1에 대응하고, β 는 대략 상부 및 하부측의 부분 구경 비의 몫에 대응하도록 설계된다. 여기서, 투사 대물렌즈의 개구수와 필드 크기는 영구적으로 선택한다. 도 4a의 투사 대물렌즈에서, β 는 대략 0.9로 설정되었다.

[0148] 이제 이러한 비구면화는, 두 개의 비구면이 함께 어떠한 푸필 에러도 야기하지 않게 한다. 보정 플레이트의 상부 및 하부 측의 상이한 부분 구경 비를 기초로, 또는 상이한 형식에서, 보정 플레이트의 영역의 발산하는 빔 경로를 기초로, 그러나 레티클의 변형으로 야기된 에러를 보상하는 데 매우 적절한 푸필 왜곡의 필드 프로파일을 설정한다.

[0149] 여기서, 도 4a에 따라 설계되어 구비된 평면 플레이트(PP)의 두께는 일반적으로 도 6b의 값(d)보다 더 크다. 다시 말해, 보정 플레이트(CP)가 예컨대 이온 빔 피규어링(figuring)과 같은 소재 제거 공정에서 제조되는 경우, 원래의 설계에 구비되고, 보정 플레이트를 형성하는 평면 평행 베이스 플레이트의 두께는 최종 비구면 형상 보정 플레이트의 두께보다 대다수의 부분에서 더 클 것이다.

[0150] 그 상황을 또한 다음과 같이 기재할 수 있다. 보정 플레이트를 형성하도록 비구면을 갖는 평면 플레이트(PP)의 자리는 광학적으로 투사 대물렌즈의 푸필 면(P) 인근에 있으며, 이 푸필 면(P)은, 이미징 공정의 주광선(CR)이 광학 축(OA)과 교차하는 축 방향 자리에 놓인다. 구경 조리개(AS)는 푸필 면에 위치한다. 푸필 공간이 푸필 면 주위에 형성될 수 있고, 여기서 푸필 공간은, 근축 부분 구경 비의 절대값이 0.8이상인 모든 축 방향 자리를 포함한다. 푸필 공간(PS)은 도 4a에 나타낸다. 플레이트는, 발산하는 빔 영역에서 푸필 공간 상류에 있는 푸필 면의 약간 바깥쪽에서 푸필 공간 내에 자리한다. 이 자리에서, 도 4b에서 제 1 필드 점의 부분 구경(SA1)과 축방향 필드 점에 대한 부분 구경(SA3)에 대해 개략적으로 나타낸 바와 같이, 상이한 필드 점에 속한 부분 구경은

서로 측면에서 오프셋되어 있다. 더 나아가, 제 1 면(S1)과 제 2 면(S2)의 부분 구경 비 사이에는 약간이지만, 뚜렷한 차이가 있다. 구체적으로, 오브젝트 측 상의 제 1 면(S1)에서 SAR=-0.877이고, 이미지 측 상의 제 2 면(S2)에서 SAR=-0.884이다. 상이하게 설명해서, 광선 높이 비(RHR)를 사용하면, 오브젝트 측 상의 제 1 면(S1)에서 RHR=-0.140이고, 이미지 측 상의 제 2 면(S2)에서 RHR=-0.131이다.

[0151] 근축 부분 구경비의 값(SAR<1)인 덕분에, 측면에서 오프셋된 필드 점으로부터 유래한 광선속은 측면에서 오프셋된 영역에서 제 1 및 제 2 광학 면(S1 및 S2)을 통과한다. 이제, 진입면(제 1 광학 면(S1))이 일반적으로 제니케 계수(Z5)에 따라 비구면 형상이라고 생각하자. 이 비구면은 대물렌즈의 출구 pupils에서, 전체 필드에 걸쳐 실질적으로 일정한 수차, 즉 pupils 수차를:

[0152] $Z_5(x,y) = Z_5^0 \equiv$ 일정 에 따라 야기한다.

[0153] 부분 구경 비가 1보다 작기 때문에, 특정한 대칭으로 x 및 y 방향에서의 기울어짐에 대해 제니케 계수(Z2 및 Z3)로 기재된 필드-의존적 왜곡을 야기할 것이다. 일반적으로 Z5에 따라 비구면 형상인 경우에, 필드-가변 왜곡은 기본적으로, 다음과 같이 기재할 수 있는 애너모픽 왜곡이다:

[0154]
$$\begin{pmatrix} Z_2 \\ Z_3 \end{pmatrix}_{anamorph} (x,y) = A \cdot \begin{pmatrix} x \\ -y \end{pmatrix}$$

[0155] 진출면(제 2 면(S2))의 비구면 형상은 진입측 면(S1)의 형상과 유사하여, 이 예에서, 제 2 면(S2)의 제 2 면 프로파일은 또한 일반적으로 동일한 방향에서 제니케 계수(Z5)에 따라 그러나 약간 상이한 크기(상이한 피크-밸리 차이 비(PV2≠PV1)로 나타냄)에 따라 기재할 수 있다. 제 2 면의 면 프로파일의 크기는 이제 반대 측(S1) 상의 비구면의 크기에 맞춰져, 진입면(S1)에 의해 생긴 대응하는 Z5 수차를 실질적으로 보상하는 필드 일정 Z5 수차를 야기한다. 플레이트가 발산하는 빔에 배열된다는 점과, 제 1 면과 제 2 면 상의 부분 구경 비가 약간 상이하다는 점으로 인해, 제 1 면(S1)과 제 2 면(S2)의 필드-의존 수차에 대한 기여는 완벽히 상쇄되지 않으며, pupils 수차에 대한 경우처럼, 그러나 잔류 수차량은 필드에 따라 선형 기여도가 변하는 결과를 낳는다. 이 필드-가변 왜곡의 양은 보정 플레이트의 두 측 상의 비구면의 크기를 비례하여 스케일링(scaling)함으로써 조정될 수 있어서, 레티클의 비대칭 안장형 변형으로 야기된 것과 같은 시스템-특정 필드 의존적 왜곡은 동시에 pupils 수차(Z5)를 도입하지 않고도 보상될 수 있다.

[0156] 보정 플레이트의 제 1 실시예의 두께 변경과 각각의 회전방향으로 비대칭인 면 형상을 예시하기 위해, 도 6a 내지 도 6f를 제공한다. 도 6a는 보정 플레이트의 안장형 제 1 면(S1)의 사시도를 도시한다. 도 6b는 대응하는 윤곽도이며, 여기서, 윤곽선은 광학 축에 수직한 기준 면에 대한 동일 높이의 선을 나타낸다. 도 6b는 또한, 좌표 (y=0 및 x=0)에서 각각 x-방향(XCUT)과 y-방향(YCUT)으로의 면의 개략적인 절단도를 도시하며, 여기서, 이 면은 x-방향에서는 일반적으로 오목한(양의) 곡률을 갖는 반면, y-방향에서의 연속 곡률은 정반대 부호를 가져서 볼록한 형상(음의 곡률)을 형성한다. 비구면의 대응하는 크기는 PV1 ≈ 3.47μm를 특징으로 한다. 도 6c와 도 6d는 제 2 면(S2)(진출면)의 각 표현을 도시한다. 각각의 크기는 약간 더 작으며, PV2=3.39μm를 특징으로 할 수 있다.

[0157] 도 6e와 도 6f는, 진입면(S1)과 진출면(S2)의 비구면 형상 사이의 차이 형태로 2차원에서 플레이트 두께 (t(x,y))의 대응하는 변경을 나타낸다. 플레이트 두께 변경은 피크-밸리 차이 값(PVt ≈ 0.12μm)의 실질적으로 안장형 프로파일을 가지며, 이것은, 두께 변경이 제 1 및 제 2 면 프로파일의 절대 높이 변경보다 1자릿수를 초과해 더 작음을 나타낸다. 두께 변경을 나타내는 이 피크-밸리 차이 값(PVt)은 플레이트 두께가 균일하기보다는 광학 면의 제조 공차보다 실질적으로 더 큰 양으로 미리 한정된 방식으로 변한다는 점을 나타냄을 주의하기 바라며, 이러한 제조 공차는 전형적으로는, 예컨대 마이크로리소그래피 분야의 많은 응용에서, 10nm미만과 같은 대략 nm 정도이다. 두께 변경의 절대량은 μm이하 정도인 반면, 절대 두께는 전형적으로 대략 1 mm 이상일 수 있다.

[0158] 도 7a 내지 도 7c는, pupils 면(P)에서 또는 그 가까이에 있는 광학 경로의 동일한 자리에 배열된 평면 평행 플레이트(PP)와 비교해, 회전방향으로 비대칭인 비구면 형상의 양면을 가진 보정 플레이트(CP)의 광학 효과를 개략적으로 예시하고자 한다. 도 7a는, 이미징 시스템의 pupils 면 인근에 배열된 평면 플레이트(PP)를 가진 기준 시스템을 도시한다. 이 도면은 두 개의 광선속(B1, B2)이 pupils(P) 영역으로부터 이미지 면(IS)으로 전파하는 것을 도시한다. 광선속(B1)은 광학 축 상의 필드 점으로부터 유래하고, 광선속(B2)은 유효한 오브젝트 필드의 가장자

리에서 외곽 필드 점으로부터 유래한다.

[0159] 평면 평행 플레이트(PP)가 광학 경로에 있기에(도 7a), 광선 각도(광학 축에 대한 광선의 각도)는 평행 플레이트에 의해 변하지 않는다. 대신, 평행 플레이트는 평면 플레이트 하류에서 굴절된 광선이 평면 플레이트 상류에서 입사된 광선에 대해 평행하게 오프셋되게만 한다.

[0160] 도 7b는, 유사한 비구면 진입 및 진출면(S1, S2) 각각을 갖는 보정 플레이트(CP)가 평면 플레이트(PP) 대신 빔 경로에 삽입되는 경우에, 상황이 상이함을 도시한다. 명백히, 축방향 필드 점으로부터 유래한 제 1 광선속(B1)의 광선의 광선 방향은 변하지 않는다. 그러나 광학 축 밖의 필드 점(광선속(B2))에 대해, 진입면(S1)과 진출면(S2)에 대한 상이한 굴절 조건으로 인해 보정 플레이트를 통과할 때, 광선의 전과는 변한다. 특히, 광선 각도는, 보정 플레이트로부터의 굴절된 광선의 출구와 광선 입사의 자리에서의 광학 면(S1, S2)에 대한 접선 평면이 서로 더이상 평행하지 않는다는 점으로 인해서 변한다.

[0161] 그러므로 보정 플레이트(CP)는 왜곡 수차를 도입하며, 이것은, 도 7a 및 도 7b에 도시한 두 가지 상황에 필적한 도면을 도시하고 있는 도 7c에서 화살표(DIS)로 나타낸다. 이미지 형성 점의 변위 양과 방향은 필드에 걸쳐서 변하며, 그러므로 필드 의존적 왜곡이 실현된다. 동시에, 필드-일정 푸필 수차(모든 필드 점에 대해 동일한 수차)를 도입할 수 있다. 그러나 야기된 필드 푸필 수차는, 진입면(S1)과 진출면(S2)의 비구면 형상을 적절히 조정함으로써 0으로 감소할 수 있다.

[0162] 도 8a와 도 8b는 이제, 본 실시예에 따른 보정 플레이트가 하나의 지배적인 필드 수차를 생성할 수 있는 반면, 다른 필드 수차의 양은 미미하게 낮은 값으로 유지될 수 있음을 정량적으로 예시하는데 사용한다. 이를 위해, 이미지 필드에서 보정 플레이트로 생성한 수차의 필드 프로파일은 방사상 차수(r^m)와 방위각 차수(ϕ^n)를 갖는 제니케 다항식으로 분해된다. 텐서 곱 공간($P \otimes Q$)에서 상기 스칼라 전개식에 대한 대안으로서, 벡터 제니케를 가진 파면 수차의 벡터식 표현을 사용한다. 이 표현은 왜곡의 필드 의존도를 예시하는데 더 적절하다:

$$V_{n,1} = \begin{pmatrix} \cos(n\phi) \\ \sin(n\phi) \end{pmatrix}$$

$$V_{n,2} = \begin{pmatrix} -\sin(n\phi) \\ \cos(n\phi) \end{pmatrix}$$

$$V_{-n,1} = \begin{pmatrix} \cos(n\phi) \\ -\sin(n\phi) \end{pmatrix}$$

$$V_{-n,2} = \begin{pmatrix} \sin(n\phi) \\ \cos(n\phi) \end{pmatrix}$$

[0163]

[0164] 이 표현에서, 벡터 제니케($V_{n,1}$)는 $n=1$ 및 r^1 인 스케일 에러에 대응하고, 벡터 제니케($V_{n,2}$)는 $n=1$ 및 r^1 에 대한 로테이션에 대응하고, 벡터 제니케($V_{-n,1}$)는 애너모픽 왜곡에 대응한다. 도 8a는 (Z2/3에 대해 V1으로 나타낸) 애너모픽 왜곡에의 기여가 지배적임을 도시한다. 구체적으로, 애너모픽 왜곡에의 기여에 대해 대략 7nm의 값을 얻는 반면, 동시에 다른 기여는 0.5nm보다 상당히 낮다, 즉 이 표현에서 애너모픽 왜곡량의 10% 미만이다. Z5/6으로의 기여는 애너모픽 왜곡에 비해 또한 미미하다.

[0165] 상기 네 개의 벡터 제니케는, $n>0$ 인 경우 각도-의존적 필드 의존성 모두를 나타내고, $n=0$ 인 경우 각도-독립적 필드 의존성 모두를 나타내는 벡터 제니케 세트에 속한다. 방사상 의존성은 각각 n 이나 n 보다 큰 차수의 방사상 다항식과 상기 네 개의 벡터 제니케의 곱에 의해 기재한다. 그러므로 각도 의존적 파면 에러의 필드 의존성을 기재하는 소위 벡터 제니케의 전체 세트의 제 2 타입이 존재한다. 마찬가지로 각도 의존적 파면 에러의 필드 의존성을 기재하는 스칼라 제니케의 제 2의 전체 세트가 존재한다. 이들 두 세트는 함께, 임의의 파면 에러의 필드 의존성을 충분히 기재하여, 결과적으로 상기 텐서 곱($P \otimes Q$)과는 상이한 파면 에러의 필드 의존성을 정량화한다. 필드 의존성 기재 다항식은 각각 2 및 1차원인 점에 비취볼 때, 이들은 함께 직교 시스템을 만들지 않

는다. 그러나 벡터 및 스칼라 제니케는 그러한 직교 시스템을 개별적으로 만들었으므로, 용어 "지배"는 이들 벡터 및 스칼라 표현에 각각 관련된 절대 계수에 대한 것으로 이해되어야 한다.

- [0166] (필드 의존적 왜곡과 같이) 생성된 필드 수차와, 추가로 원하는 푸필 수차를 서로 독립적으로 단일 보정 플레이트로 실현할 수 있도록, 비구면 제 1 및 제 2 광학 면의 크기를 설계할 수 있다. 사실, 제 1 및 제 2 광학 면의 비구면화를 적절히 스케일링함으로써, 생성된 푸필 수차와 필드 의존적 왜곡 사이의 임의의 원하는 관계를 얻을 수 있다. 그러므로 단 하나의 보정 플레이트로, 필드-일정 수차(푸필 수차)와 필드-의존 수차의 보정을 이들을 서로 독립적으로 동시에 실행할 수 있다. 이것은, 원하는 필드-의존 보정을 위해 구비된 제 1 및 제 2 면의 비구면 형상을 추가로 비구면화하여 변경함으로써 달성할 수 있다.
- [0167] 미리 한정된 푸필 수차를 생성하는 추가적인 비구면화의 특징은, 예컨대, 도 9a 및 도 9b에 도시한 바와 같을 수 있다. 이 경우, 비구면(S1 또는 S2 또는 둘 모두) 위에 중첩된 추가 비구면은 대략 19.3nm의 피크-밸리 차이 값을 가진 본질적으로 두-폴드 방사상 대칭을 특징으로 할 수 있으며, 이 피크-밸리 차이 값은 동작 파장의 대략 10%이고, 필드-의존 수차를 생성하도록 구비된 베이스 비구면 각각의 크기(PV1, PV2)보다 수 자릿수 더 작다. 이 옵션은 또한 다음과 같이 기재할 수 있다:
- [0168] 이 중첩된 비구면화의 피크-밸리 차이 값은 일반적으로 제 1 비구면화의 값보다 더 작다. 이것은 일반적으로 대부분 0.15 μ m 이하이다.
- [0169] 도 10a에 도시한 바와 같이 마이크로리소그래피용 반사굴절 투사 대물렌즈(1000)와 연계하여 제 2 실시예를 이 제 설명한다. 이 실시예는 국제출원공보(WO 2005/069055A2)의 도 32(미국출원(US 2005/0190435 A1)의 도 32에 대응함)에 도시한 실시예에 대응한다. 이들 문서에 개시된 내용은, 특히 실시예의 전체적인 설계 및 명세와 관련하여, 참조로서 본 출원 내에 병합된다.
- [0170] 일반적으로, 투사 대물렌즈는 다음과 같이 기재할 수 있다:
- [0171] 반사굴절 투사 대물렌즈(100)는 $\lambda=193\text{nm}$ 동작 파장으로 동작하도록 구성되며, 이미지-측 개구수(NA=0.87)를 갖는다. 투사 대물렌즈는, 평면 오브젝트 면(OS)(오브젝트 평면)에 배열된 레티클(R) 상의 패턴 이미지를 예컨대 4:1과 같은 감소한 스케일로 평면 이미지 면(IS)(이미지 평면)에 투사하도록 설계된 반면, 정확히 두 개의 실 중간 이미지(real intermediate image)(IMI1, IMI2)를 만든다. 효과적인 오브젝트 필드와 이미지 필드는 오프-축이다, 즉 전적으로 광학 축(OA) 밖에 있다. 제 1 굴절 대물렌즈 부(OP1)는 오브젝트 면의 패턴을 확대한 스케일로 제 1 중간 이미지(IMI1)에 이미징하도록 설계되어 있다. 제 2 반사굴절(순 반사식) 대물렌즈 부(OP2)는 제 1 중간 이미지(IMI1)를 1:(-1)에 가까운 배율로 제 2 중간 이미지(IMI2)로 이미징한다. 제 3 굴절 대물렌즈 부(OP3)는 제 2 중간 이미지(IMI2)를 큰 감소 비로 이미지 면(IS) 상으로 이미징한다.
- [0172] 세 개의 서로 공액인 푸필 면(P1, P2 및 P3)은, 주광선(CR)이 광학 축과 교차하는 자리에서 형성된다. 제 1 푸필 면(P1)은 오브젝트 면과 제 1 중간 이미지 사이의 제 1 대물렌즈 부에 형성하고, 제 2 푸필 면(P2)은 제 1 중간 이미지와 제 2 중간 이미지 사이의 제 2 대물렌즈 부에 형성하며, 제 3 푸필 면(P3)은 제 2 중간 이미지와 이미지 면(IS) 사이의 제 3 대물렌즈 부에 형성한다.
- [0173] 제 2 대물렌즈 부(OP2)는, 오브젝트 측에 면하는 오목 거울 면을 가진 제 1 오목 거울(CM1)과, 이미지 측에 면하는 오목 거울 면을 가진 제 2 오목 거울(CM2)을 포함한다. 거울 면의 사용된 부분은 둘 다 연속적이다(또는 파괴되어 있지 않다), 즉, 거울은 조명 영역에서 구멍이나 보어가 있지 않다. 서로 면하는 거울 면은 반사굴절 공동을 형성하며, 이 공동은 또한 오목 거울에 의해 형성된 만곡면으로 둘러싸인 거울간 공간이라고 한다. 중간 이미지(IMI1, IMI2)는 둘 다 거울 면으로부터 충분히 떨어진 반사굴절 공동 내부에 위치한다.
- [0174] 대물렌즈(1000)는 회전방향으로 대칭이며, 굴절 및 반사 광학 구성요소 모두에 공통인 하나의 직선 광학 축(OA)("인-라인 시스템")을 갖는다. 접힌 거울은 없다. 짝수의 반사가 일어나, 이미지 플립(flip)은 없다. 오브젝트 면과 이미지 면은 평행하다. 오목 거울은 작은 직경을 가져 이들은 서로 가깝게 되어 그 사이에 놓인 중간 이미지에 더 가까이 가져가 지게 된다. 오목 거울은 둘 다 축방향 대칭 면의 오프-축 섹션으로서 구성되어 조명된다. 광 빔은 비네팅(vignetting)없이도 광학 축에 면하는 오목 거울의 가장자리를 통과한다. 오목 거울은 둘 다 그 다음 중간 이미지에 더 가까이 있는 푸필 면에서 광학적으로 원거리에 자리한다. 대물렌즈는 광학 축에 중심을 두고 어둡지 않은 원형 푸필을 가져 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈로서 사용하게 된다.
- [0175] 평면 플레이트(PP)는, 제 1 대물렌즈 부(OP1) 내의 제 1 푸필 면(P1) 자리에서 고유한 설계 부로서 삽입된다. 이 푸필 주위에는, 이 영역에서의 큰 주광선 각도로 인해 $0.8 \leq |SAR| \leq 1$ 의 상대적으로 좁은 푸필 공간(PS)이

있다. 중력은 화살표(\vec{g})로 표시하며, 레티클(R)의 변형은 도 10a에서 과장하여 예시한다.

- [0176] 개략적인 도 10b에 도시한 바와 같이, 플레이트(PP)는 제 1 퓨필 면(P1)에 정확히 배열되어, 플레이트의 두 측 상에서 광선속에 의해 한정된 부분 구경 비는 반대 부호를 갖게 된다. 도 10b는 세 개의 광선속으로부터의 제한된 광선을 도시하며, 여기서 FP1으로 표시한 광선은 유효 오브젝트 필드의 한 가장자리 상의 필드 점으로부터 유래하고, 광선(FP2)은 유효 오브젝트 필드의 반대 가장자리 상의 필드 점으로부터 유래한다. FP3으로 표시한 광선은 오브젝트 필드의 중앙의 가상 필드 점으로부터 유래한다. 이 가상 필드 점은 이미징에 실제 사용된 오프-축 유효 오브젝트 필드에 속해 있기 보다는 예시용으로만 여기서 도입했다는 점을 주의해야 한다.
- [0177] 보정 플레이트는 퓨필 면에 위치하기 때문에, 진입 측(S1)과 출구 측(S2) 둘 상에서의 부분 구경 비는 거의 1에 가깝다. 구체적으로, 오브젝트 측 상의 제 1 면(S1)에서 SAR=+0.940이고, 이미지 측 상의 제 2 면(S2)에서 SAR=-0.963이다. 상이하게 기재하여, 광선 높이 비(RHR)를 사용하면, 오브젝트 측 상의 제 1 면(S1)에서 RHR=+0.064이고, 이미지 측 상의 제 2 면(S2)에서 RHR=-0.038이다.
- [0178] 나아가, 퓨필 면에 자리함으로 인해, 각 광선속의 광선은 보정 플레이트의 자리에서 거의 발산하지 않는다(광선속의 모든 광선이 거의 동일한 광선 각도를 가짐). 광선이 오브젝트 필드의 상이한 필드 점으로부터 유래한다는 사실은 광선속이 상이한 입사각도로 투명한 플레이트를 통과한다는 사실로 바꾸며, 여기서 입사각도는 일반적으로, 광선의 입사점에 직각인 면과, 이 면에 입사한 각각의 광선의 전파 방향 사이의 각도로서 정의한다. 이전의 경우에서처럼, 제 1 면(S1)(진입면)과 제 2 면(S2)(진출면)은 유사하지만, 상이한 회전방향 비대칭 비구면 면 프로파일로 구비될 수 있어서, 필드 일정 퓨필 수차에 대한 각각의 면의 기여는 실질적인 정도로 서로 보상하여 필드-의존 왜곡으로 기재한 잔류 수차만이 남게 된다.
- [0179] 특정한 실시예에서, 제 1 및 제 2 광학 면(S1, S2)의 비구면 면 프로파일과, 비구면들이 유사하지만 동일하지는 않은 점으로부터 얻어진 플레이트 두께의 변형을, 도 6a 내지 도 6f와 연계하여 설명한 것과 유사한 방식으로 도 11a 내지 도 11f에 도시한다. 구체적으로, 비구면 진입면(S1)의 크기는 피크-밸리 차이 값(PV1=0.37 μ m)로 기재할 수 있고, 이것은 동작 파장의 대략 두 배이다. 진출면(S2) 상의 대응하는 크기는 PV2=0.45 μ m를 특징으로 할 수 있다. 플레이트 두께의 변경 결과를 도 11e, 도 11f에 도시하며, 이것은 PV, \approx 22.5nm를 특징으로 할 수 있다. 도 11f로부터 명백한 바와 같이, 불균일한 플레이트 두께 변경은 방사상 대칭이기보다는 광학 축 및 y-방향(스캐닝 방향)을 포함한 평면에 대한 거울면 대칭(mirror symmetry)이다.
- [0180] 야기된 필드-의존 왜곡이 보정 플레이트로부터 생긴 다른 수차를 지배한다는 점은, 제 1 실시예에 대해 도 8a, 도 8b에 도시한 것과 유사하게, 도 12a 및 도 12b에 예시한다. 다시, 애너모픽 왜곡(대략 7.8nm)이 아닌 필드 수차의 기여도는 다시, 우월한 필드 수차의 기여도보다 몇 자릿수 더 작다.
- [0181] 이 상황은 다음과 같이 다른 방식으로 기재할 수 도 있다:
- [0182] 도 10a에서 레티클(R)의 변형은 도 2에서 질적으로 나타낸 것과 같이 안장형 변형에 의해 지배된다. 이제, 대략 1로 선택되는 것은 α 뿐만 아니라 β 이며, 그 밖에 비구면의 피크-밸리 차이 값과 형상은 제 1 예시적인 실시예에서와 동일하게 유지된다. 그러면 원하는 효과가 마찬가지로 여기서 일어나, 두 개의 비구면에 의해 야기된 퓨필 에러는 서로 보상하고, 광선속 각도의 필드-의존 변경으로 인해, 레티클 왜곡에 의해 야기된 에러를 보상하는데 매우 적절한 퓨필 왜곡의 필드 프로파일이 있다.
- [0183] 추가적인 비구면 또는 두 개의 추가적인 비구면에 대한 제 1 예시적인 실시예에서 언급했던 점은 이 예시적인 실시예에서도 유효하다.
- [0184] 두 예시적인 실시예의 경우, 상보적인 비구면화 타입에 따라, 퓨필 에러로부터 모두 자유로운 다양한 필드 에러를 생성할 수 있다.
- [0185] 비구면화의 피크-밸리 차이(PV)를 증가시키면, 필드 수차의 지배력은, 이것이 강하거나 심지어는 전적이 될 때까지 증가한다. 여기서, 비구면화에 따라, 2000, 5000 또는 심지어 10,000%의 값을 가진 다른 추가적인 그레듀에이션(graduation)을 실행할 수 도 있다.
- [0186] 이것은, 독립적으로 달성할 수 있는 퓨필 에러(퓨필 수차)에 대해서도 동일하게 적용된다.
- [0187] 필드 프로파일 타입에 따라, 비구면은 방위각에 따라 2-폴드 또는 3-폴드 또는 4-폴드 또는 매니폴드(manifold)형상일 수 있거나 이러한 형상의 중첩일 수 있다.

- [0188] 투사 대물렌즈의 광학 요소에 작용하는 모든 매니플레이터는 보정에 대한 추가로 상보적인 자유도로 적절하게 된다. 예컨대, 변위, 회전, 변형, 교환, 냉각 또는 가열될 수 있는 거울 및/또는 렌즈와 같은 광학 요소가 있다.
- [0189] 마찬가지로, 투사 노광기의 동작 파장(λ)에 가해진 영향이나, 조명 설정의 변경이 보정에 대한 추가 자유도로서 기능할 수 있다.
- [0190] 보정 방법은, 새로운 레티클로 조정할 때, 예컨대 노광 기간이나 스캐닝 속도와 같은 공정 파라미터를 변경할 때, 또는 주변 공기 온도가 변할 경우에 이미지 에러를 보정하는데 특히 적절하다.
- [0191] 그러므로 평면 플레이트(PP)나 보정 플레이트(CP)가 교환 가능한 것과, 각 경우에 상기한 문제로 구체적으로 조정된 비구면을 갖는 플레이트의 수가 저장 유지되는 것이 바람직하다. 비구면을 가진 그러한 보정 플레이트는, 이때, 필요하다면, 투사 대물렌즈 내로 삽입될 수 있고, 결과적인 잔류 에러(잔류 수차)는 추가로, 상기 명시한 조작의 가능성에 의해 보정할 수 있다.
- [0192] 도 13은 마이크로리소그래피 투사 노광 장치를 웨이퍼 스캐너(WS)의 형태로 개략적으로 도시하며, 이러한 스캐너는 큰 스케일로 집적된 반도체 구성요소를 스텝-앤-스캔 모드로 제조하기 위해 구비된다. 투사 노광 장치는 광원으로서, 대략 193nm의 동작 파장을 가진 ArF 엑시머 레이저(L)를 포함한다. 다른 실시예에서 다른 동작 파장도 가능하다. 광원의 하류에 배열된 조명 시스템(ILL)은, 그 진출면(ES)에서, 크고, 예리한 경계를 이루고, 균일하게 조명된 조명 필드를 생성하며, 이러한 필드는, 조명 시스템의 광학적 하류에 배열된 투사 대물렌즈(PO)의 원심 요건(telecentric requirement)에 맞춰진다. 조명 시스템(ILL)은 조명 모드를 선택하는 디바이스를 가져, 이 예에서, 가변적인 코히어런스 도를 갖는 종래의 온-축 조명과 오프-축 조명, 특히 환상형 조명(조명 시스템의 퓨필 면에서 링 형상의 조명 영역을 가짐) 및 다이폴 또는 쿼드러폴 조명 사이에서 전환될 수 있다.
- [0193] 조명 시스템의 하류에는 마스크나 레티클(R)을 유지하고 조작하는 디바이스(RS)(레티클 스테이지)가 있어서, 마스크 상에 형성된 패턴이 투사 대물렌즈(PO)의 오브젝트 면(OS)과 일치하는, 조명 시스템의 출구면(ES)에 놓이게 되며, 조명 시스템과 투사 대물렌즈에 공통인 광학 축(AX)(즉, Z-방향)에 수직인 스캐닝 방향(Y-방향)에서 스캐닝 동작을 위해 이 평면에서 변위할 수 있게 된다.
- [0194] 감소한 투사 대물렌즈(PO)는 마스크에 의해 제공된 패턴 이미지를 포토레지스트 층으로 코팅된 웨이퍼(W) 상에 4:1의 감소한 스케일로 이미징하도록 설계된다. 감광성 기관으로 기능하는 웨이퍼(W)는, 포토레지스트 층을 가진 평평한 기관면(SS)이 투사 대물렌즈의 평평한 이미지 면(IS)과 본질적으로 일치하도록 배열된다. 웨이퍼는 디바이스(WS)(웨이퍼 스테이지)로 유지되며, 이 디바이스는 웨이퍼를 마스크(M)와 동기적으로 이것과 평행하게 움직이기 위해 스캐너 드라이브를 포함한다. 디바이스(WS)는, 광학 축에 평행한 Z 방향과 상기 축에 수직인 X 및 Y 방향 둘 모두에서 웨이퍼를 움직이기 위해 매니플레이터를 또한 포함한다. 광학 축에 수직하게 연장하는 적어도 하나의 경사 축을 가진 틸팅 디바이스를 통합한다.
- [0195] 투사 대물렌즈(PO)는 평평한, 평볼록 최종 렌즈(LL)를 이미지 면(IS)에 최근접한 최종 광학 요소로서 가지며, 이 최종 렌즈의 평평한 진출면이 투사 대물렌즈(PO)의 최종 광학 면(진출면)이다.
- [0196] 이 노광 장치는 건식 리소그래피를 위해 구성된다. 가스로 채워진 작은 갭이 투사 대물렌즈의 진출면과 기관 면 사이에 형성된다. 다른 실시예는 이머전 리소그래피(immersion lithography)를 위해 구성되고, 투명하고, 고굴절률의 이머전 액체를 투사 대물렌즈의 진출면과 기관 사이의 작은 갭 내로 안내하는 이머전 매체 안내 시스템을 포함하여, 이머전 액체는 적어도 노광된 영역에서 웨이퍼의 기관 면을 덮고, 유한한 이미지 측 작업 거리를 정확히 설정하는 동안, 투사 대물렌즈의 진출측 단부 영역이 이머전 액체 내로 잠기게 된다.
- [0197] 전체 시스템은 중앙 컴퓨터(COMP)로 제어된다.
- [0198] 고유하게 설계된 투사 대물렌즈(PO)는, 퓨필 면(P) 주위의 퓨필 공간에 배열된 평면 평행 플레이트(PP)를 포함한다. 중앙 컴퓨터(COMP)에 동작적으로 결합된 교환 디바이스(EX)는 본 발명의 실시예에 따라 하나 이상의 보정 플레이트(CP)를 유지하도록 구성된다. 구체적으로, 각 보정 플레이트는 유사한 비구면화의 회전방향 비대칭 비구면 진입 및 진출면을 가질 수 있으며, 각각의 면은 특정한 필드-외존 왜곡을 야기(또는 보상)할 수 있다. 교환 디바이스(EX)는, 중앙 컴퓨터에 의해 수신된 신호에 응답하여, 평면 플레이트를 보정 플레이트 중 하나로 대체하거나 제 1 보정 플레이트를 상이한 광학 기능을 가진 제 2 보정 플레이트로 교환하도록 구성된다.
- [0199] 한 동작 모드에서, 제어 시스템은, 제 1 마스크(레티클)가 이 제 1 마스크와는 상이한 제 2 마스크로 교환될 때 조정된 방식으로 보정 플레이트를 교환하도록 구성된다. 레티클 스테이지가 레티클 변경을 실행하는 동안, 교환

디바이스는 제 1 플레이트를 제 2 플레이트로 교환하도록 제어될 수 있고, 여기서 제 1 및 제 2 플레이트 중 적어도 하나는 본 발명의 실시예에 따른 광학 보정 플레이트이다. 퓨필 면에 또는 그 인근에 삽입된 보정 플레이트의 광학 효과는 특정한 레티클에 맞춰져, 예컨대 레티클의 증력으로 인한 축 처짐때문에 일어난 왜곡 에러는 보상받게 된다.

- [0200] 보정 플레이트를 투사 빔 경로에 삽입하거나 투사 대물렌즈의 진입면과 진출면 사이의 투사 빔 경로에서 보정 플레이트를 제거함으로써 투사 대물렌즈의 이미징 특징을 조정하는 방법은 예컨대 마스크를 변경하기 전이나 마스크를 변경하는 동안이나 새 마스크에 노광을 실행하기 전에 이 새 마스크가 제자리에 놓인 후와 같은 임의의 적절한 시기에 실행될 수 있다.
- [0201] 증력 및/또는 탑재 력으로 인해 레티클이 구부러지는 것이, 레티클의 비이상적 조건으로 생성된 왜곡 에러의 유일한 가능 소스는 아니다.
- [0202] 왜곡형 에러는 또한, 마스크를 제조하는 동안 제조 부정확도에 의해 생성될 수 있다. 일반적으로, 마스크 상에 형성된 패턴은, 예컨대 패턴의 라인의 수와 배향과 폭 및/또는 다른 구조를 한정하는, 명시된 기하학적 구조를 갖는다. 전형적으로, 기하학적 특성부의 정확한 자리는 마스크의 본체 상에 있는 정렬 마크를 참조해 결정한다. 패턴의 구조적 특성부의 실제 자리가 원하는 자리에서 이탈하는 경우, 이러한 부정확성은 예컨대, 구조적 특성부의 원하는 자리와 실제 자리 사이의 상대적인 변위와 같이 왜곡형 에러로서 처리될 수 있다. 마스크를 제조하는 동안에 생성되거나 다른 조건에 의해 생성된 왜곡형 에러는 일반적으로 바람직하지 않다. 예컨대, 왜곡형 에러를 최소화하는 취지의 요건은, 이중 패턴링 공정이 마이크로리소그래픽 공정의 해상도를 증가시키기 위해 사용되는 응용에서 증가하고 있다.
- [0203] 제조 부정확성에 의해 생성된 마스크의 왜곡형 에러가 있는 경우, 그러한 에러는, 상술한 바와 같은 광학 보정 플레이트를 사용하여 보상할 수 있다. 다음에서는, 감소한 왜곡형 에러에 대한 다른 옵션을 이제 기재할 것이다.
- [0204] 일부 반도체 디바이스 제조 공정에서, 레티클(마스크)은 펠리클을 포함한 보호 커버로 보호된다. 예컨대, 펠리클은 패턴으로부터 짧은 거리를 두고 마스크의 패턴 축 상에 구비될 수 있어서, 분진 및 다른 외부 물질이 마스크 상에 퇴적되는 것을 방지할 수 있다. 펠리클은 펠리클 필름, 즉 동작 방사선을 투과하는 소재로 제조되어 프레임이나 예컨대 용융된 실리콘으로 제조된 얇고 단단한 플레이트형 광학 소재에서 유지되는 필름으로 구성될 수 있다. 펠리클이 패턴으로부터 거리를 두고 구비되는 경우, 펠리클 바깥에 퇴적된 각각의 분진이나 다른 입자는, 마스크 상에 배열된 패턴이 오브젝트 면에 배열될 때, 투사 대물렌즈의 오브젝트 면의 바깥에 거리를 두고 배열될 것이다. 그러므로 투사 대물렌즈에 의해 웨이퍼 기관 상으로 투사된 패턴의 이미지는 분진 입자 등에 의해 부정적으로 영향을 받지 않으며, 이는 이들 입자가 기관상에 집중되기에 알맞은 자리에 있지 않기 때문이다. 그러므로 펠리클을 사용하여 마스크 패턴을 보호하는 것은 일반적으로 반도체 디바이스 생산 공정에서 출력을 향상시킨다.
- [0205] 이들 공정에서, 마스크 배열이 사용되며, 이 마스크 배열은, 마스크 본체와, 이 마스크 본체 면 상에 구비된 패턴을 가진 마스크; 패턴으로부터 거리를 두고 배열된 투명한 펠리클 본체를 가진 펠리클; 및 이 펠리클을 마스크에 대해 미리 결정된 자리에 고정하도록 구성된 홀딩 구조물을 포함한다.
- [0206] 펠리클은, 마스크 본체 상의 패턴을 제조하는 동안에 부정확성으로 인해 생긴 왜곡형 에러를 보상하는데 사용할 수 있다는 점을 인식하였다. 이를 위해, 마스크 배열을 제조하는 방법은:
- [0207] 패턴 구조를 측정하여 마스크 본체 상에 형성된 패턴의 실제 구조를 나타내는 패턴 데이터를 생성하는 단계;
- [0208] 패턴의 구조적 특성부의, 기준 패턴의 대응하는 구조적 특성부로부터의 상대적 변위를 나타내는 왜곡 데이터를 패턴 데이터로부터 생성하는 단계를 포함하며, 기준 패턴은 에러를 만들지 않는 이상적인(원하는) 패턴 구조를 나타낸다.
- [0209] 방법은 또한, 왜곡 데이터를 기초로 해서 펠리클 본체의 적어도 한 면을 처리하여, 패턴의 구조적 특성부의 기준 패턴의 대응하는 구조적 특성부에 대한 상대적 변위로 인해 생긴 왜곡 성분을 적어도 부분적으로 보상하는데 효과적인 비구면 면 프로파일을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0210] 바람직하게, 비구면 면 프로파일은 회전방향으로 비대칭이다, 즉 회전방향으로 대칭이 아니다.
- [0211] 처리된 펠리클이 마스크의 패턴 축 상에서 마스크에 대해 미리 정의된 자리에 홀딩 구조물에 의해 고정될 때, 마스크와 비구면 펠리클의 결합은 제조 공정으로 인한 왜곡 에러를 실질적으로 갖지 않는 마스크와 광학적으로

등가일 수 있다. 다시 말해: 펠리클은 제조 에러를 보상하기 위한 스펙터클 또는 보정 렌즈 방식으로 작동하여, 투사 대물렌즈는 완벽한 마스크, 즉 (이상적인) 기준 패턴과 동일한 (실제) 패턴을 갖게 보이는 마스크를 "본다".

- [0212] 펠리클의 비구면 면 프로파일은, 마스크 생산의 비정확성으로 인해 생긴 전체 왜곡 에러를 실질적으로 보상하도록 구성될 수 있다. 또한, 왜곡 데이터를 분석하여, 전체 왜곡에 대한 기여를, 투사 대물렌즈의 조작에 의해 보상할 수 있는 제 1 기여와, 투사 대물렌즈의 이미징 특징을 변경하여 보상할 수 없는 제 2 기여로 세분할 수 있다. 이 경우, 제 1 기여는 투사 대물렌즈의 이미징 특징을 조정함으로써 보상할 수 있는 반면, 제 2 기여는 이들 제 2 기여를 보상하도록 펠리클의 비구면의 면 프로파일을 성형하는데 사용되는 데이터를 생성하는데 사용할 수 있다. 제 1 기여는, 투사 대물렌즈에 작동하여 그 이미징 특징을 변화시키는 하나 이상의 매니플레이터에 대해 제어 신호를 생성하는데 사용할 수 있다.
- [0213] 대안적인 실시예에서, 마스크의 제조된 패턴을 측정하여 얻은 왜곡 데이터는, 측정된 왜곡 데이터를 보상하기 위해 투사 대물렌즈의 이미징 특징을 조정하는데 사용되는 제어 신호를 생성하는데만 오로지 사용한다. 이 경우, 비구면 펠리클은 필요치 않을 수 있다.
- [0214] 패턴 데이터를 생성하는데 사용된 측정 단계는 임의의 적절한 측정 기술에 의해 실행될 수 있다. 예컨대, 미국 출원(US 2006/0274934A1)은 이러한 목적에 적절한 측정 시스템을 기재한다.
- [0215] 기재된 시스템은 또한, 펠리클의 하나 이상의 면을 처리하여, 기재한 바와 같은 왜곡형 에러를 보상하는데 효과적인 비구면 면 프로파일을 생성하도록 구성된 명시된 처리 장치를 포함할 수 있다. 이 기계는 측정으로부터 얻은 왜곡 데이터나, 이들 왜곡 데이터로부터 얻은 신호를 수신하여, 이들 데이터를 기초로 해서 광학 면을 처리하도록 구성된 제어 유닛을 포함할 수 있다. 실시예에서, 처리 장치는, 비구면 면 형상이 하나 이상의 이온 빔 (이온 빔 피규어링(figuring))으로 소재를 제어하고 로컬라이즈화하여 제거함으로써 생성될 수 있도록 이온 빔 소스를 포함한다. 종래의 이온 빔 피규어링 기계는 이러한 목적을 위해 레티클 패턴의 측정으로부터 얻은 데이터를 제어함에 응답하여 동작할 수 있도록 변경될 수 있다.
- [0216] 도 14는 기재한 방법에 의해 제조한 마스크 배열을 개략적으로 도시한다. 마스크 배열은, 마스크 본체(B)와 이 마스크 본체의 본래 평평한 면 상에 구비된 패턴(PAT)을 가진 마스크나 레티클(R), 패턴으로부터 거리를 두고 배열된 투명한 펠리클 본체(PB)를 가진 펠리클(PEL); 그리고 마스크 본체의 패턴 측 상에서 펠리클을 마스크에 대해 미리 결정된 자리에 고정하도록 구성되는 홀딩 구조(HS)를 포함한다. 마스크에 면하는 펠리클 면(PS1)은, 원하는 패턴의 이상적인 자리 및 기하학적 모형을 나타내는 기준 패턴의 대응하는 구조적 특성부에 대해 패턴의 구조적 특성부가 상대적으로 변위함으로써 얻은 왜곡 성분을 적어도 부분적으로 보상하는데 효과적인 회전방향으로 비대칭인 면 프로파일을 갖는다. 펠리클 면(PS1)은 실제 패턴(PAT)의 구조를 측정하여 얻은 제어 데이터와, 측정으로부터 얻은 각 패턴 데이터를 기준 패턴을 나타내는 기준 데이터와 비교하는 것을 기초로 해서 이온 빔 처리 장치에서 로컬화하여 소재를 제거함으로써 피규어링되었다(성형되었다). 대안적으로, 또는 게다가, (패턴과는 떨어져 면하는) 반대편 펠리클 면은 비구면일 수 있다. 일반적으로, 비교를 통해, 기준 패턴의 대응하는 구조적 특성부로부터의 패턴의 구조적 특성부의 상대적 변위를 나타내는 왜곡 데이터를 산출한다.
- [0217] 바람직한 실시예의 상기 설명은 예를 들어 제공하였다. 제공된 개시 내용으로부터, 당업자는 본 발명 및 그 수반하는 장점을 이해하게 될 뿐만 아니라, 개시한 구조 및 방법의 여러 분명한 변화 및 변경을 알게 될 것이다. 그러므로 첨부한 청구범위 및 그 등가물에 의해 정의한 바와 같이, 본 발명의 사상과 범주 내에 있는 모든 변화 및 변경을 커버하고자 한다.
- [0218] 청구범위 전체의 내용은 참조로서 본 상세한 설명의 일부를 이루고 있다.
- [0219] 본 발명의 실시예는 또한 다음의 단락으로 정의할 수 있다.
- [0220] 1. 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈로서, 광학 축을 포함하고, 제 1 광학 활성 상태 면과 제 2 광학 활성 상태 면을 가진 광학 요소를 포함하며, 상기 두 면은 회전방향 대칭없이도 광학 축을 기준으로 비구면이 되며, 상기 비구면은 함께 지배적인 필드 에러를 야기하는, 마이크로리소그래피용 투사 대물렌즈.
- [0221] 2. 제 1절에서 한정된 투사 대물렌즈로서, 지배적인 필드 에러는 필드-가변 왜곡인 것을 특징으로 하는, 투사 대물렌즈.
- [0222] 3. 제 1절 또는 제 2절에서 한정된 투사 대물렌즈로서, 필드 에러의 지배가 강한 것을 특징으로 하는, 투사 대물렌즈.

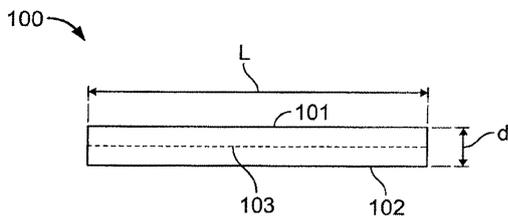
- [0223] 4. 제 1절 또는 제 2절에서 한정된 투사 대물렌즈로서, 필드 에러의 지배가 전적인 것을 특징으로 하는, 투사 대물렌즈.
- [0224] 5. 제 1절 내지 제 4절에서 한정된 투사 대물렌즈로서, 두 개의 광학 활성 상태 면 중 적어도 하나는, 지배적인 필드 에러와는 독립적으로 지배적인 퓨필 에러를 야기하는 추가적인 비구면인 것을 특징으로 하는, 투사 대물렌즈.
- [0225] 6. 제 5절에서 한정된 투사 대물렌즈로서, 퓨필 에러의 지배가 강한, 투사 대물렌즈.
- [0226] 7. 제 5절에서 한정된 투사 대물렌즈로서, 퓨필 에러의 지배가 전적인, 투사 대물렌즈.
- [0227] 8. 상기 절들 중 하나에 한정된 투사 대물렌즈로서, 광학 요소는, 회전방향 대칭이 없고 유사한 비구면을 가지며, 양 측이 비구면인 평면 플레이트이고, 광학 활성 상태 면은 평면 플레이트의 전방 측과 후방 측인 것을 특징으로 하는, 투사 대물렌즈.
- [0228] 9. 제 8절에 한정된 투사 대물렌즈로서, 방위각에 따라, 비구면은 2-폴드 또는 3-폴드 또는 4-폴드 또는 매니폴드 형상인 것을 특징으로 하는, 투사 대물렌즈.
- [0229] 10. 제 8절 또는 제 9절에 한정된 투사 대물렌즈로서, 비구면은 적어도 0.3, 바람직하게는 적어도 1.0, 또는 매우 바람직하게는 적어도 3.0 μm 의 피크-밸리 차이 값을 갖는 것을 특징으로 하는, 투사 대물렌즈.
- [0230] 11. 앞선 절들 중 하나에 한정된 투사 대물렌즈로서, 제 1 광선속의 위치는 제 1 또는 제 2 면 상에서 제 2 광선속의 위치와 다르며, 이들 두 광선속은 이 표면 상에서 발산하는 것을 특징으로 하는, 투사 대물렌즈.
- [0231] 12. 앞선 절들 중 하나에 한정된 투사 대물렌즈로서, 제 1 면이나 제 2 면 상의 제 1 광선속의 직경은 [0.8;0.95] 또는 [0.9;0.95] 간격으로부터의 크기에 관한(magnitude-wise) 근축 부분 구경 비에 대응하는 것을 특징으로 하는, 투사 대물렌즈.
- [0232] 13. 앞선 절들 중 하나에 한정된 투사 대물렌즈로서, 제 1 광선속의 각도는 제 1 면이나 제 2 면 상의 제 2 광선속의 각도와는 다른 것을 특징으로 하는, 투사 대물렌즈.
- [0233] 14. 제 13절에 한정된 투사 대물렌즈로서, 제 1 면이나 제 2 면 상의 제 1 광선속의 직경은 [0.8;1.0] 또는 [0.9;1.0] 또는 [0.95;1.0] 간격으로부터의 크기에 관한 근축 부분 구경 비에 대응하는 것을 특징으로 하는, 투사 대물렌즈.
- [0234] 15. 제 11절 또는 제 12절과 제 13절 또는 제 14절에 한정된 투사 대물렌즈.
- [0235] 16. 앞선 절들 중 하나에 한정된 투사 대물렌즈로서, 투사 대물렌즈의 광학 요소나 추가적인 광학 요소는 변위, 회전, 변형, 교환, 냉각 또는 가열될 수 있는 것을 특징으로 하는, 투사 대물렌즈.
- [0236] 17. 마이크로리소그래피용 투사 노광기로서, 앞선 절들 중 하나에 한정된 투사 대물렌즈를 포함하는 것을 특징으로 하는, 투사 노광기.
- [0237] 18. 마이크로리소그래피용 투사 노광기를 동작하는 방법으로서, 투사 노광기는 투사 대물렌즈를 포함하고, 투사 대물렌즈는 광학 요소가 구비되며, 광학 요소는, 투사 대물렌즈의 광학 축을 기준으로 회전방향 대칭없이 비구면이 되는 제 1 광학적 활성 상태 면과 제 2 광학적 활성 상태 면을 포함하여, 이들 비구면은 함께 지배적인 필드 에러를 야기하게 되는 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0238] 19. 제 18절에 한정된 방법으로서, 지배적인 필드 에러는 필드-가변 왜곡인 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0239] 20. 제 18절 또는 제 19절에 한정된 방법으로서, 필드 에러의 지배는 강한 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0240] 21. 제 18절 또는 제 19절에 한정된 방법으로서, 필드 에러의 지배는 전적인 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0241] 22. 제 18 내지 제 21절 중 어느 하나에 한정된 방법으로서, 제 1 또는 제 2 면은, 지배적인 필드 에러와 독립적으로 지배적인 퓨필 에러를 야기하는 추가적인 비구면을 포함하는 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0242] 23. 제 22절에 한정된 방법으로서, 퓨필 에러의 지배는 강한 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0243] 24. 제 22절에 한정된 방법으로서, 퓨필 에러의 지배는 전적인 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0244] 25. 제 18절 내지 제 24절 중 어느 하나에 한정된 방법으로서, 광학 요소는, 회전방향 대칭이 없고 유사한 비구면을 가지며, 양 측이 비구면인 평면 플레이트이고, 광학 활성 상태 면은 평면 플레이트의 전방 측과 후방 측인

것을 특징으로 하는, 방법.

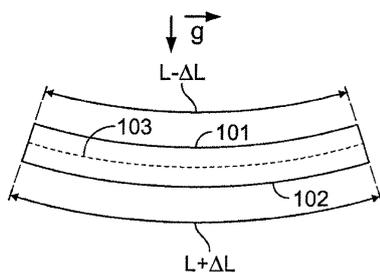
- [0245] 26. 제 25절에 한정된 방법으로서, 방위각에 따라 비구면은 2-폴드 또는 3-폴드 또는 4-폴드 또는 매니폴드 형상인 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0246] 27. 제 25절 또는 제 26절에 한정된 방법으로서, 비구면은 적어도 0.3, 바람직하게는 적어도 1.0, 또는 매우 바람직하게는 적어도 3.0 μm 의 피크-밸리 차이 값을 갖는 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0247] 28. 제 18절 내지 제 27절 중 어느 하나에 한정된 방법으로서, 제 1 광선속의 위치는 제 1 또는 제 2 면 상에서 제 2 광선속의 위치와 다르며, 이들 두 광선속은 이 표면의 위치에서 발산하는 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0248] 29. 제 18절 내지 제 28절 중 어느 하나에 한정된 방법으로서, 제 1 면이나 제 2 면 상의 제 1 광선속의 직경은 [0.8;0.95] 또는 [0.9;0.95] 간격으로부터의 크기에 관한 근축 부분 구경 비에 대응하는 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0249] 30. 제 18절 내지 제 29절 중 어느 하나에 한정된 방법으로서, 제 1 광선속의 각도는 제 1 면이나 제 2 면 상의 제 2 광선속의 각도와는 다른 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0250] 31. 제 30절에 한정된 방법으로서, 제 1 면이나 제 2 면 상의 제 1 광선속의 직경은 [0.8;1.0] 또는 [0.9;1.0] 또는 [0.95;1.0] 간격으로부터의 크기에 관한 근축 부분 구경 비에 대응하는 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0251] 32. 제 28절 또는 제 29절과 제 30절 또는 제 31절에 한정된 방법.
- [0252] 33. 앞선 절들 중 하나에 한정된 방법으로서, 투사 대물렌즈의 광학 요소나 추가적인 광학 요소는 변위, 회전, 변형, 교환, 냉각 또는 가열되는 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0253] 34. 제 18절 내지 제 33절 중 어느 하나에 한정된 방법으로서, 제 1 레티클로부터 제 2 레티클로의 변화나, 제 1 조명 설정으로부터 제 2 조명 설정으로의 변화 도중에 수행되는 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0254] 35. 제 34절에 한정된 방법으로서, 제 2 레티클의 설치 및/또는 제 2 조명 설정을 의뢰한 후, 투사 대물렌즈의 이미징 속성의 바람직한 간섭 측정을 수행하는 것을 특징으로 하는, 방법.
- [0255] 36. 제 1절 내지 제 35절 중 어느 하나에 한정된 광학 요소에 대한 교환 가능한 요소로서 구비되는 것을 특징으로 하는, 교환 가능한 광학 요소.

도면

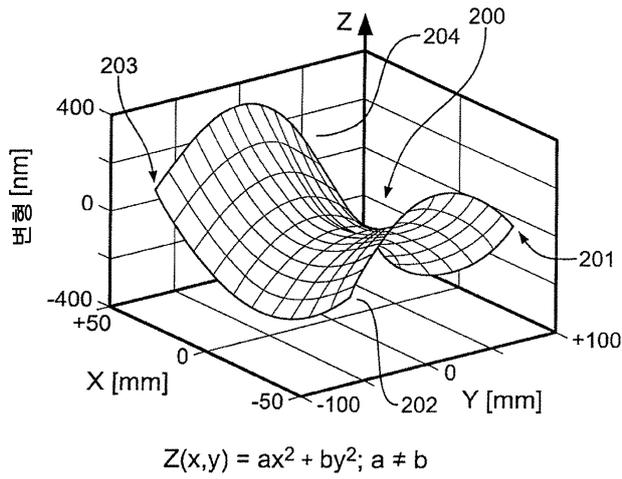
도면1a



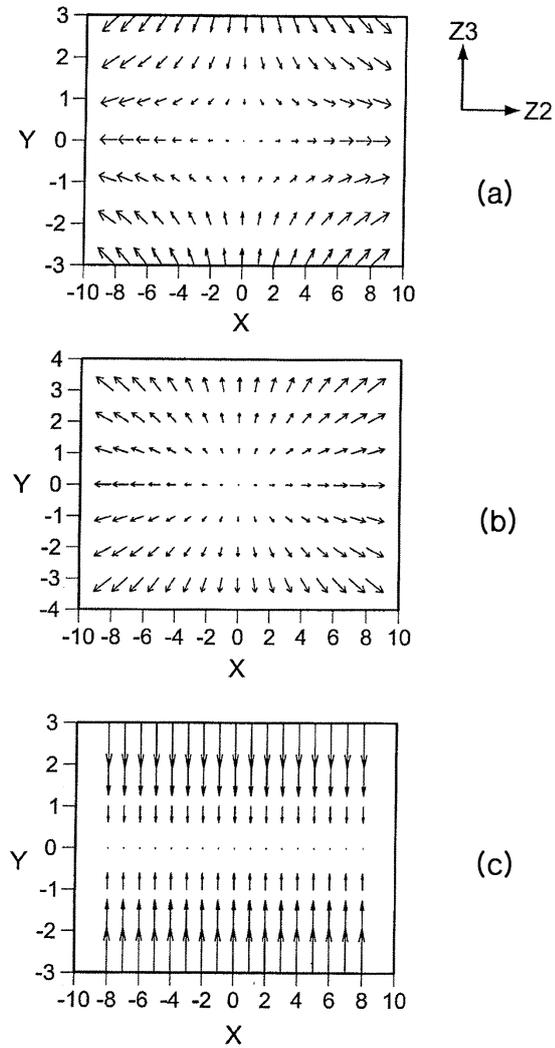
도면1b



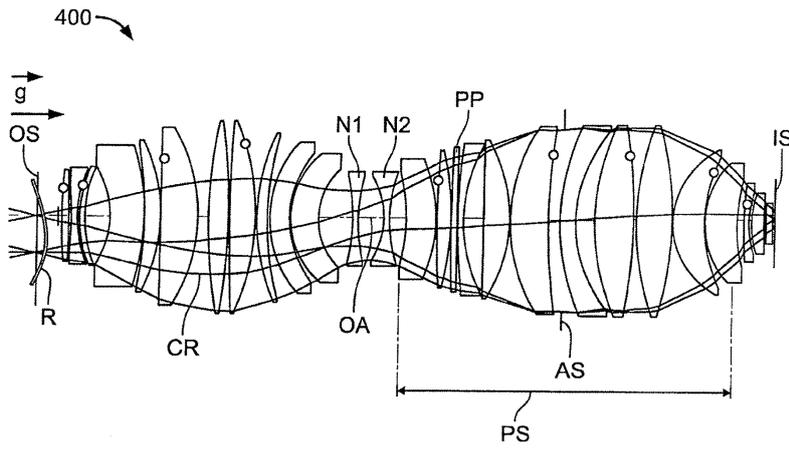
도면2



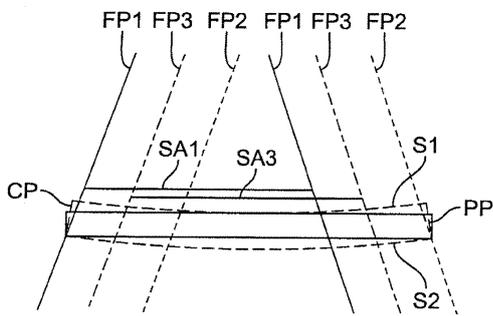
도면3



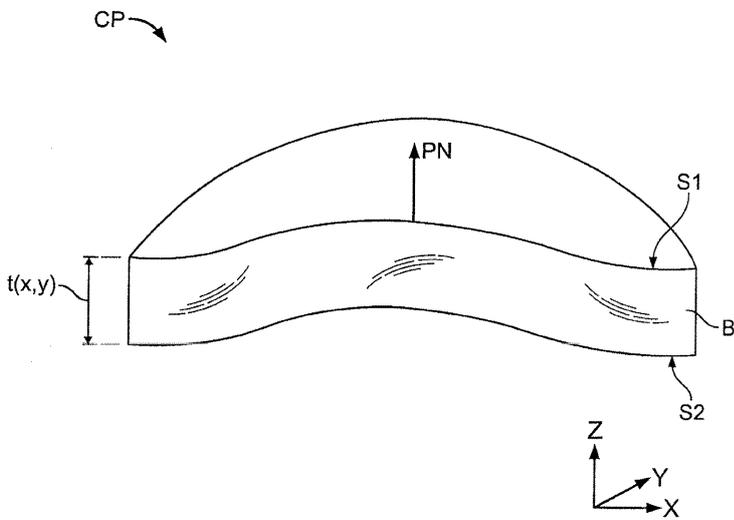
도면4a



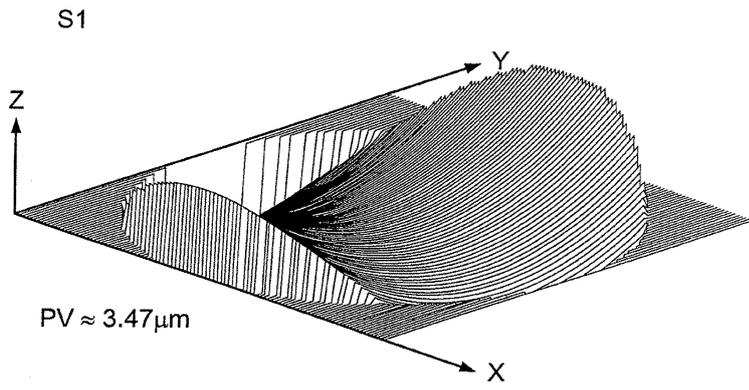
도면4b



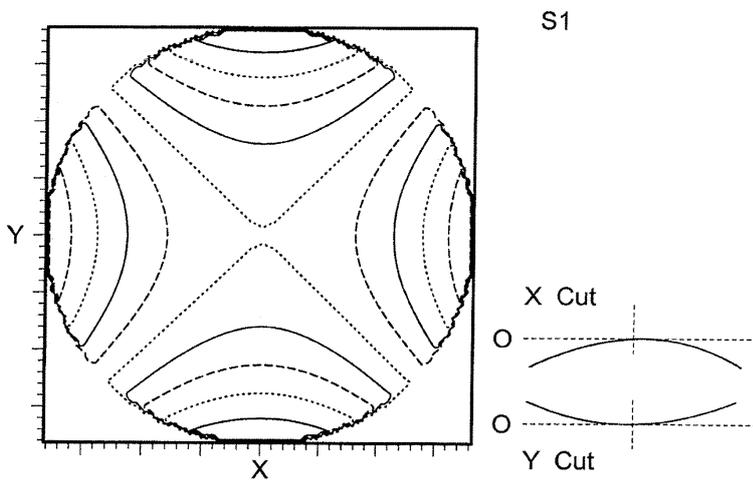
도면5



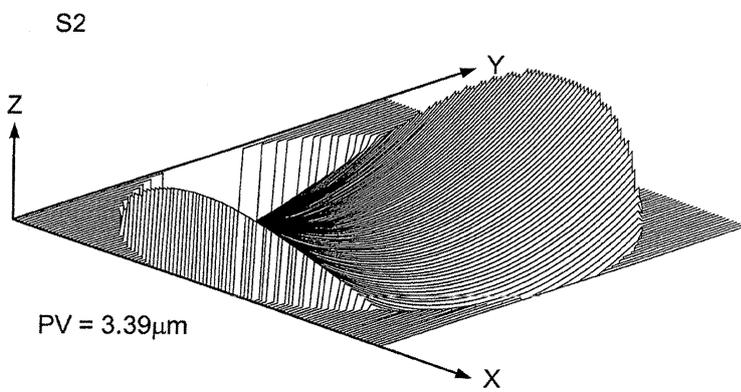
도면6a



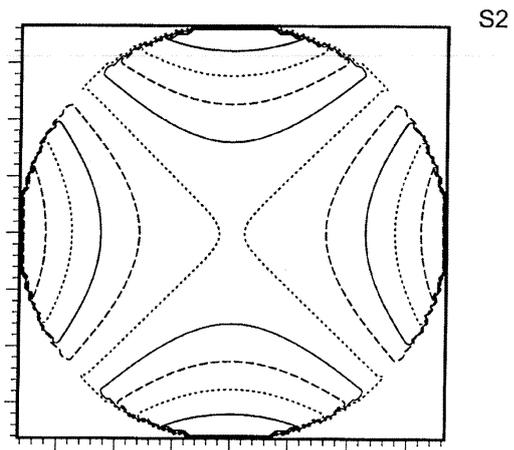
도면6b



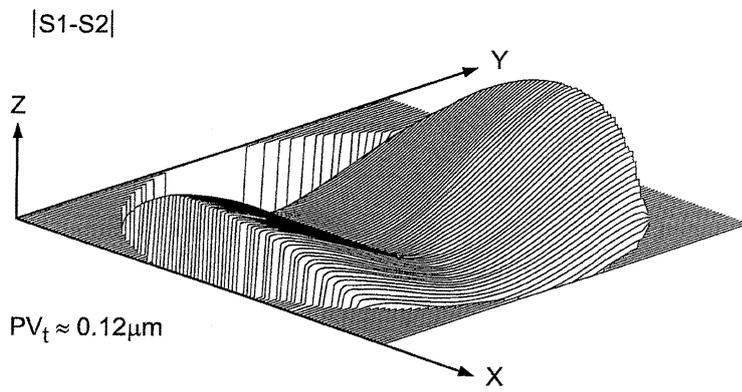
도면6c



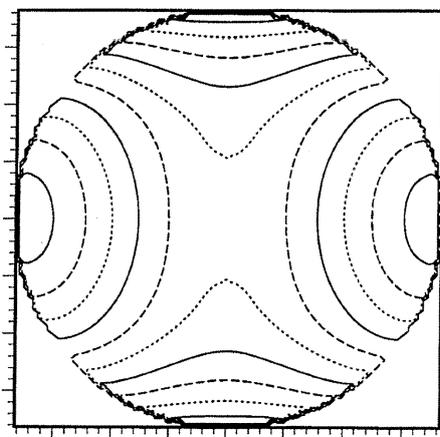
도면6d



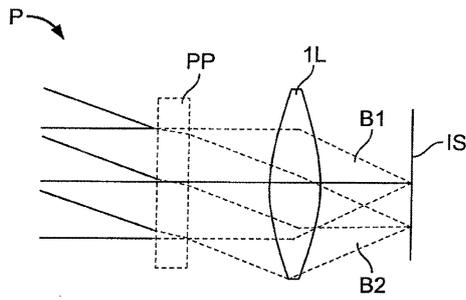
도면6e



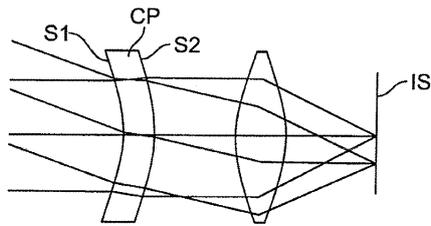
도면6f



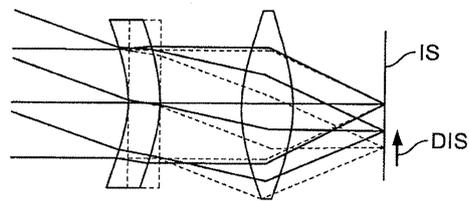
도면7a



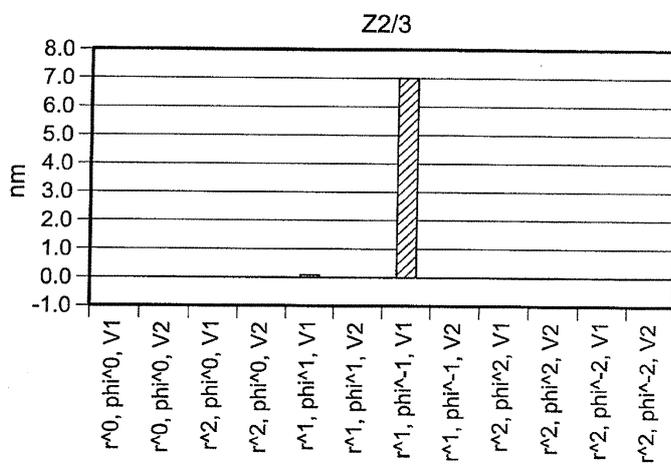
도면7b



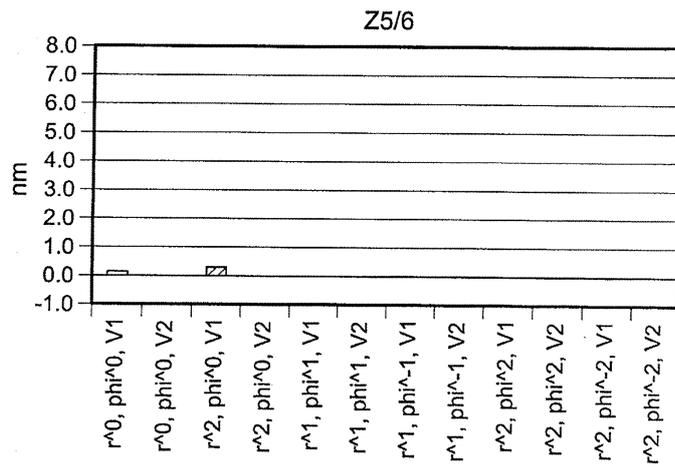
도면7c



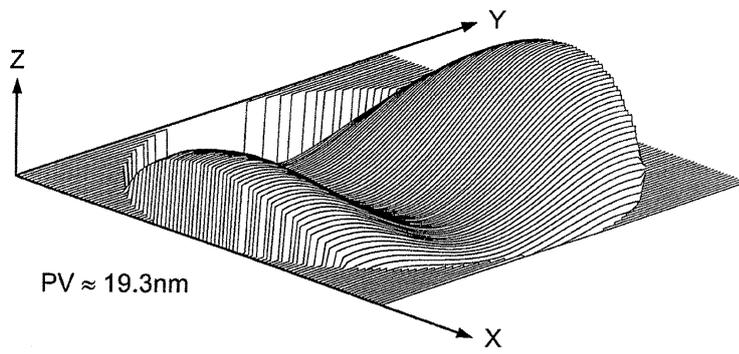
도면8a



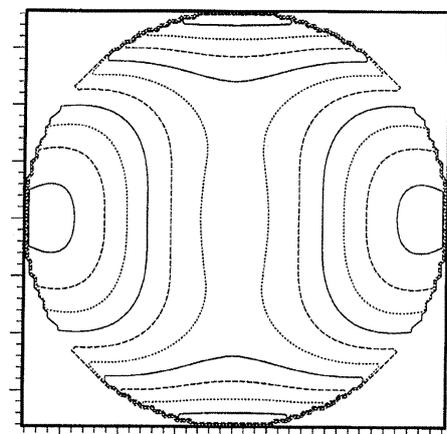
도면8b



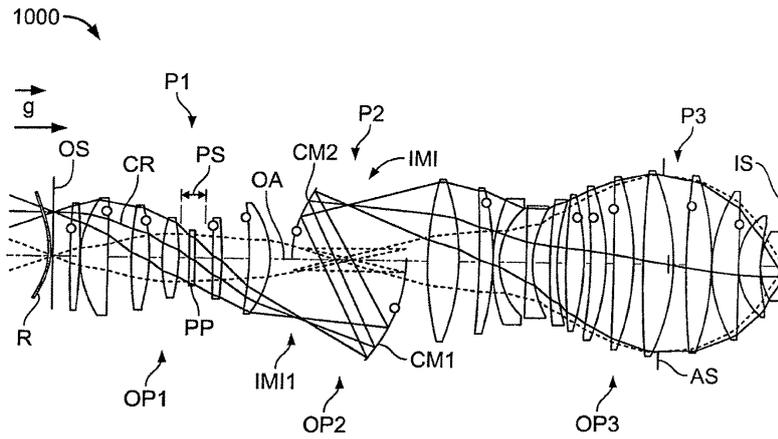
도면9a



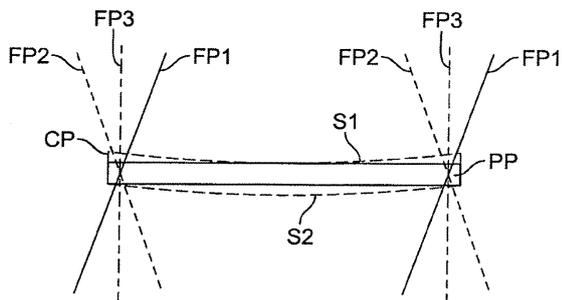
도면9b



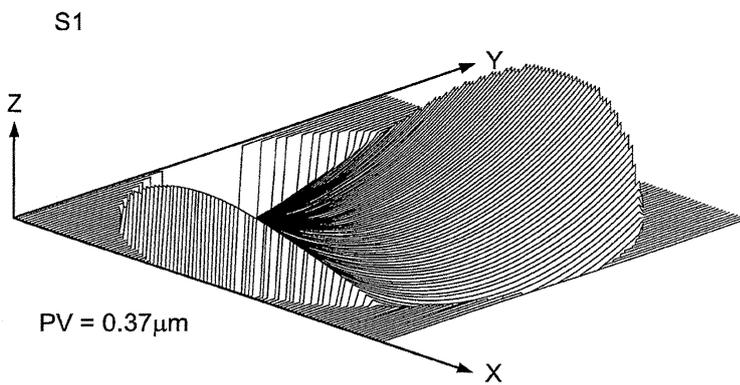
도면10a



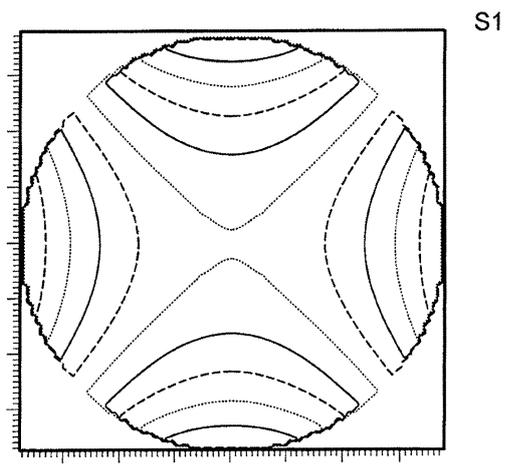
도면10b



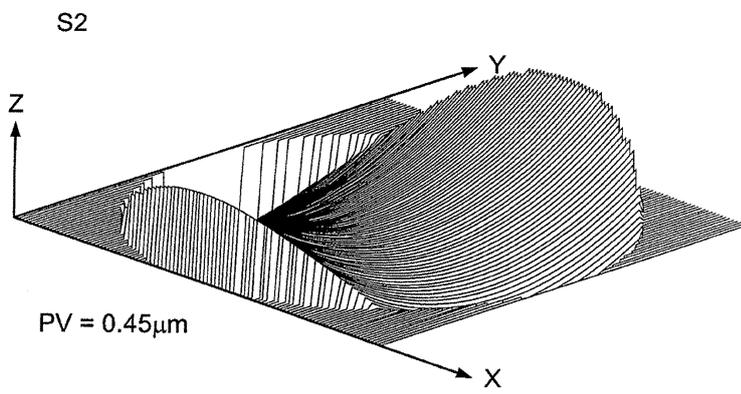
도면11a



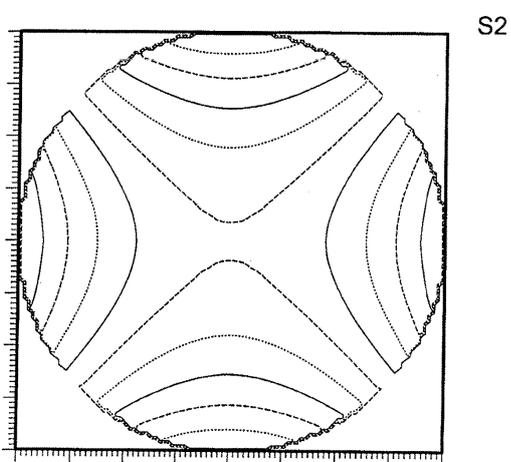
도면11b



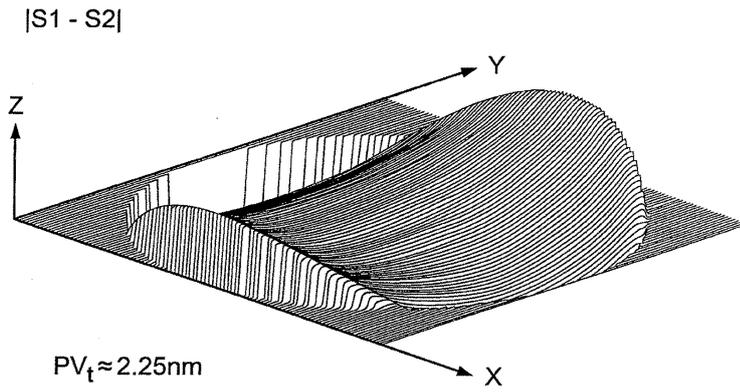
도면11c



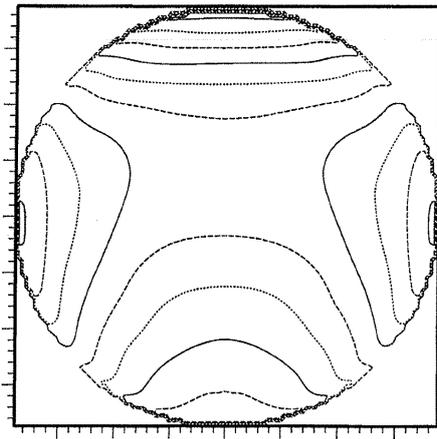
도면11d



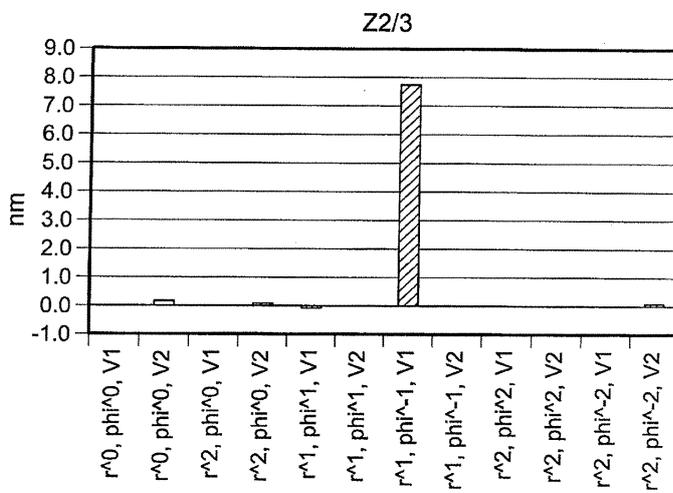
도면11e



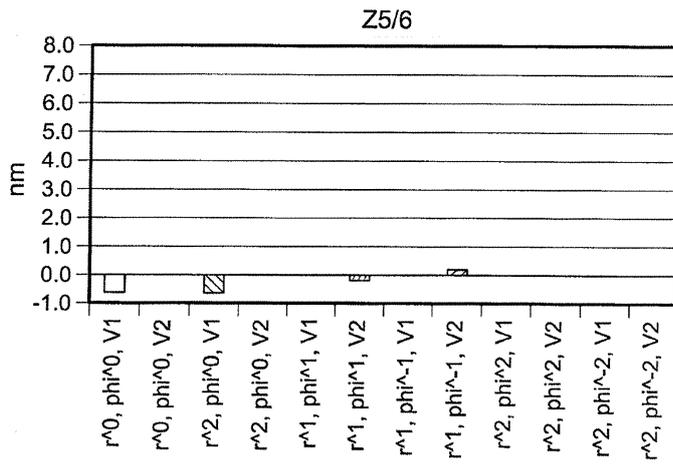
도면11f



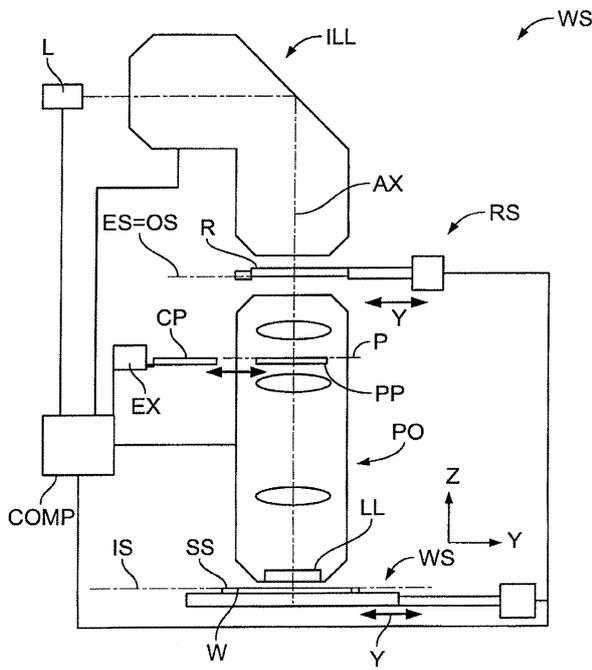
도면12a



도면12b



도면13



도면14

