



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년03월09일

(11) 등록번호 10-1500052

(24) 등록일자 2015년03월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G02B 13/24 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)

H01L 21/027 (2006.01) G02B 13/18 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-7024577(분할)

(22) 출원일자(국제) 2005년06월02일

심사청구일자 2012년09월26일

(85) 번역문제출일자 2012년09월17일

(65) 공개번호 10-2012-0130229

(43) 공개일자 2012년11월29일

(62) 원출원 특허 10-2006-7025324

원출원일자(국제) 2005년06월02일

심사청구일자 2010년06월01일

(86) 국제출원번호 PCT/EP2005/005930

(87) 국제공개번호 WO 2005/121899

국제공개일자 2005년12월22일

(30) 우선권주장

60/578,522 2004년06월10일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020010007379 A

전체 청구항 수 : 총 5 항

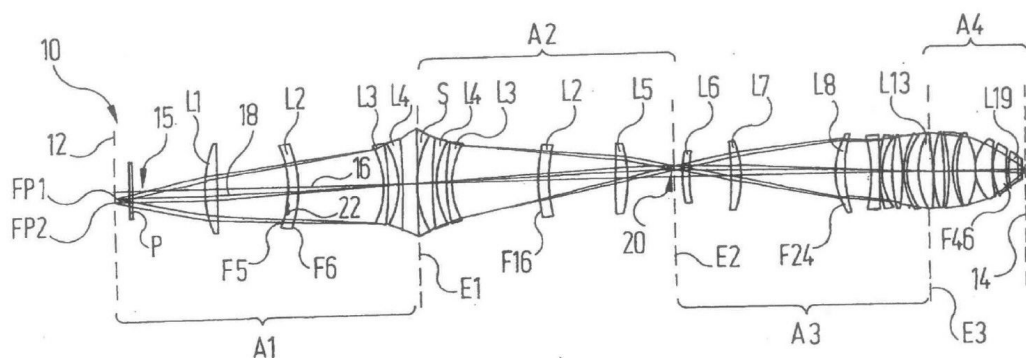
심사관 : 이은심

(54) 발명의 명칭 마이크로리소그래피 투영 노광 장치를 위한 투영 대물렌즈

(57) 요약

마이크로리소그래피 투영 노광 장치의 투영 대물렌즈는, 동공 평면(pupil plane)(E1, E3), 또는 중간 이미지 평면(intermediate image plane)(E2)에 의해 서로 분리되어 있는, $N \geq 2$ 인 투영 대물렌즈(10)의 연속 섹션 A_1 내지 A_N 내에 배치된 복수의 광학 요소(P, S, L1~P8, L13, L19)를 포함한다. 본 발명에 따르면, 파면 변형을 보정하기 위해, 둘 이상의 광학 요소는, 각각 비구면으로 곡부 재처리되는 광학 활성 표면(optically active surface)을 갖는다. 이 경우, 제 1 광학 요소는 하나의 섹션 A_j 에 배치되고($j=1, \dots, N$), 제 2 광학 요소는 또 다른 섹션 A_k 에 배치되며($k=1, \dots, N$), 절대값 차이($|k-j|$)는 홀수이다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

마이크로리소그래피 투영 노광 장치(microlithographic projection exposure apparatus)의 투영 대물렌즈에 있어서,

상기 투영 대물렌즈는, $N \geq 4$ 인 상기 투영 대물렌즈의 연속 섹션 $A_1 \sim A_N$ 에 배치된 복수의 광학 요소를 포함하며, 각각의 동공 평면 및 각각의 중간 이미지 평면은 2개의 인접한 섹션들을 분리하고,

상기 투영 대물렌즈는 대물 평면 및 이미지 평면을 갖고, 상기 투영 대물렌즈는 상기 대물 평면에 배치된 물체의 이미지가 상기 이미지 평면에 축소된 크기가 생성되도록 하며,

적어도 2개의 광학 요소들은 비구면으로(aspherically) 국부 재처리되고 광축에 대하여 회전 대칭이 아닌 굽어진 표면을 가지며,

제 1 광학 요소는 하나의 섹션 A_j 에 배치되고($j=1, \dots, N$), 제 2 광학 요소는 또 다른 섹션 A_k 에 배치되며($k=1, \dots, N$), 절대값 차이($|k-j|$)는 홀수이고,

상기 제 1 광학 요소 및 상기 제 2 광학 요소의 조합은 파면 변형(wavefront deformation)을 보정하며,

상기 파면 변형은, 짝수 및 홀수 대칭 성분을 모두 포함하고 다수의 섹션들에 걸쳐 분포되는 복수 개의 섭동에 의하여 초래되는 필드 종속성(field dependency)을 갖는, 투영 대물렌즈.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 동공 평면(E1, E3)에 또는 상기 동공 평면에 근접하게 배치되는 제 3 광학 요소가 비구면으로 국부 재처리된 광학 활성 표면을 또한 갖는 것을 특징으로 하는, 투영 대물렌즈.

청구항 3

청구항 1 또는 2에 있어서, 상기 재처리는 국부적 재료 침식에 의해 수행되는 것을 특징으로 하는, 투영 대물렌즈.

청구항 4

청구항 3에 있어서, 상기 국부적 재료 침식은 500nm 미만에 달하는 것을 특징으로 하는, 투영 대물렌즈.

청구항 5

청구항 1 또는 2에 있어서, 상기 파면 변형은 상기 광학 요소 중 하나에서의 굴절률 불균질성 또는 형태 오차(form error)에 의해 초래되는 것을 특징으로 하는, 투영 대물렌즈.

명세서

기술분야

[0001]

본 발명은 미세구조 컴포넌트의 제조를 위해 사용되는 것들과 같은, 마이크로리소그래피 투영 노광 장치를 위한 투영 대물렌즈에 관한 것이다.

배경기술

[0002]

고밀도 집적 전기 회로의 제조를 위해 사용되는 것과 같은, 마이크로리소그래피 투영 노광 장치(microlithographic projection exposure apparatus)는 투영광 빔을 생성하기 위해 사용되는 조명 장치(illumination device)를 갖는다. 상기 투영광 빔은, 투영 대물렌즈의 대물 평면에 배치되어 있고 투영 노광 시스템에 의해 이미징될 구조물을 내포하고 있는 레티클을 향하게 된다. 상기 투영 대물렌즈는, 투영 대물렌즈의 이미지 평면에 위치하는 예를 들어 웨이퍼 상에 설치될 수 있는 감광성 표면 상에, 레티클의 구조의 축소된 이미지를 형성한다.

- [0003] 이미징될 구조의 작은 크기 때문에, 상기 투영 대물렌즈의 이미징 속성에 엄격한 요구사항이 존재한다. 따라서 이미징 오차는 매우 작은 범위로만 허용될 수 있다.
- [0004] 일반적으로, 발생하는 이미징 오차는 다음의 범주로 나뉜다. 한편으로는, 투영 대물렌즈의 설계, 즉 상기 투영 대물렌즈에 포함되는 광학 요소의 치수, 재료, 간격의 사양으로부터 초래되는 이미징 오차가 존재한다. 이러한 설계 오차는 본원에서 다루이지 않는다. 다른 한편으로는, 제조 또는 재료의 오차로 초래되며, 일반적으로 상기 대물렌즈가 완성되고 나면 단 한번 보정하는 것이 합리적인 이미징 오차가 존재한다. 제조 오차의 예로는, 광학 표면의 경우에서 표면 정확도의 편차를 의미하는 이른바 형태 오차(form error)가 있다. 그러나 재료 오차는 광학 활성 표면, 즉, 투영광이 통과하는 표면의 상태에 영향을 미치지 않는 것이 일반적이나, 재료 오차에 의해, 광학 요소 내부에서 불균질한 굴절률 프로파일이 초래된다. 이러한 제조 또는 재료로 인한 이미징 오차의 가능한 원인이, 광학 요소의 국부적으로 매우 제한되지만 상당한 크기의 영역에 걸쳐 확장될 수 있는 섭동(perturbation)으로서 다음에서 언급될 것이다.
- [0005] 이러한 섭동에 의해 초래되는 파면 변형(wavefront deformation)을 보정하기 위해, 일반적으로 재료 침식을 포함하는 재처리(reprocessing)를 이용하여, 투영 대물렌즈의 적절한 광학 표면으로 보정 구조를 적용하는 것이 알려져 있다. 상기 재처리에 의해, 표면에 비구면 형태(aspherical shape)가 제공되며, 상기 비구면 형태는 일반적으로 회전대칭이 아니며, 상기 투영 대물렌즈의 설계의 기반이 되는 형태와 구분된다. 이러한 재처리 방법이 C. Hofmann 외 다수의 문헌, "Nanometer Asphären: Wie herstellen und wofür?"(Feinwerktechnik und Messtechnik 99(1991), 10, pp. 437 ~ 440)에서 상세히 서술된다.
- [0006] 보상을 위해 필요한 보정 구조물을, 일반적으로 측정 기법에 의해 기록될 수 있는 파면 변형으로부터 추론할 수 있는 방법이 US 6 268 903 B1에서 상세히 설명되어 있다. US 6 268 903 B1에서 설명된 방법에서는, 섭동 보상을 위해 국부적으로 재처리될 표면을 갖는 광학 요소가, 투영 노광 장치의 투영 대물렌즈와 레티클 사이에 배치되는 평면-평행 플레이트인 것이 바람직하다. 알려진 보정 요소가 추가적으로 상기 대물렌즈 내부, 그 내부에 포함된 다이어프램의 앞 또는 뒤에 배치될 수 있고, 이러한 경우에, 상기 투영광 빔이 특히 작은 횡단면을 갖는 위치가 바람직하다.
- [0007] 그러나 상기 투영 대물렌즈 내부의 모든 광학 활성 표면이 국부적 재처리에 의한 파면 변형 보정에 균등하게 적합한 것은 아니라는 것이 밝혀졌다. 일반적으로 투영 대물렌즈가 다수의 광학 활성 표면을 포함하기 때문에, 실제로 이러한 표면 모두에 대하여 계산적으로 보정 가능성(correction potential)을 결정하는 것은 불가능하다. 따라서 일반적으로 섭동을 보상하기 위해, 재처리되어야 할 광학 활성 표면을 선택할 때, 경험에 의한 값, 또는 경험 법칙(rule of thumb)에 의존하게 된다. 가령, 앞서 언급한 US 6 268 903 B1의 방법을 본질적 기준으로 하고, 작은 직경의 투영광 빔이 강조된다.
- [0008] 그러나 재처리될 표면의 선택을 위해 종래의 기준을 이용해서는, 이미징 속성이 충분히 개선될 수 없다는 것이 알려져 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 따라서 발생하는 파면 변형의 보다 효율적인 보상이 광학 활성 표면의 재처리에 의해 획득되는 투영 대물렌즈를 제공하는 것이 본 발명의 목적이다.

과제의 해결 수단

- [0010] 동공 평면(pupil plane) 또는 중간 이미지 평면(intermediate image plane)에 의해 서로 분리되어 있는, $N \geq 2$ 인 투영 대물렌즈의 연속 섹션 A_1 내지 A_N 에서 배치된 복수의 광학 요소를 갖는, 마이크로리소그래피 투영 노광 장치의 투영 대물렌즈에 의해 본 발명의 목적이 이루어진다. 파면 변형을 보정하기 위해, 둘 이상의 광학 요소는 각각 비구면으로 국부 재처리되는 광학 활성 표면(optically active surface)을 갖는다. 이때 제 1 광학 요소는 하나의 섹션 A_j 에 배치되고($j=1, \dots, N$), 제 2 광학 요소는 또 다른 섹션 A_k 에 배치되며($k=1, \dots, N$), 절대값 차이($|k-j|$)는 홀수이다.
- [0011] 본 발명은 적절한 재처리에 의해 파면 변형을 보정하기에 적합하도록 광학 활성 표면이 근본적인 차이를 갖는다는 발견을 기초로 한다. 이와 관련하여, 본질적인 기준은, 동공 평면 또는 중간 이미지 평면에 의해 서로 분리

되어 있는 투영 대물렌즈의 섹션을 포함하며, 여기서 그 표면에 대한 재처리가 고려된다. 실제로, 하나의 섹션에 존재하고, 방위각에 대한 필드 종속성(field dependency)이 기대칭(odd symmetry)을 갖는 파면 변형은, 동일한 섹션에 존재하는 재처리된 표면에 의해서만 보정될 수 있고, 그 이웃하는 섹션에 존재하는 재처리된 표면에 의해서는 보정될 수 없다. 하나 건너 다음에 위치하는 섹션에 존재하는 재처리된 표면을 이용하여, 또는 더욱 일반화하여, $n \pm 2k$ 번째 섹션에 존재하는 재처리된 표면만을 이용하여, 거의 완벽한 보정이 획득될 수 있다.

[0012] 이에 대한 이유는, 이미지 반전이 다이어프램과 중간 이미지 평면에서 발생하고, 이는 섭동에 의해 초래된 파면 변형의 필드 종속성의 오직 홀수 성분에만 영향을 미치고, 짝수 성분에는 영향을 미치지 않기 때문이다.

[0013] 투영 대물렌즈에서 위치가 알려진 단 하나의 섭동만 존재할 경우, 상기 섭동이 존재하는 곳과 동일한 섹션 내에 놓인 광학 활성 표면을 재처리함으로써, 섭동에 의한 파면 변형이 보정될 수 있다. 그러나 일반적으로 투영 대물렌즈의 복수 개의 섹션에 걸쳐 분포된, 그 위치가 알려지지 않은 복수 개의 섭동이 존재한다. 이러한 섭동 효과는 중첩되어, 파면을 함께 변형시킨다.

[0014] 이러한 이유로, 둘 이상의 직접 인접하는 섹션에 위치하는, 또는 그 사이에 짝수 개의 다른 섹션이 존재하는 섹션에 위치하는 표면을 재처리하는 것은 필수적이다. 이는 각각의 섭동에 대해, 보정이 동일한 섹션 n 에서, 하나 건너 다음에 위치하는 섹션 $n \pm 2$ 에서, 또는 더욱 일반적으로 $n \pm 2k$ ($k=0, 1, 2, \dots$) 섹션에서 수행되는 것을 의미하며, 이는 변형에 의해 초래되고, 우대칭과 기대칭 성분 모두를 포함하는 임의의 필드 종속적 파면 변형이 거의 완전하게 보정될 수 있음을 보장할 것이다.

[0015] 필드-독립적 파면 오차, 즉, 모든 필드 포인트에 공통인 오차를 보정하는 것이 또한 필수적일 경우, 동공 평면에, 또는 상기 동공 평면에 근접하게 배치되는 제 3 광학 요소 또한 국부적으로 재처리된 광학 활성 표면을 가져야한다. 이러한 방식으로 투영 대물렌즈 내부에서 선택된 위치의 3개의 재처리된 표면 모두를 이용하여, 모든 파면 변형이 충분하게 보정되는 것이 가능하다.

발명의 효과

[0016] 본 발명에 따를 때, 발생하는 파면 변형의 보다 효율적인 보상이 광학 활성 표면의 재처리에 의해 획득되는 투영 대물렌즈를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 투영 대물렌즈를 순차 도식 방식으로 도시한 도면이다.

도 2는 우함수 파면 변형을 3차원 도시한 도면이다.

도 3은 방위각에 독립적인 우함수 파면 변형을 3차원 도시한 도면이다.

도 4는 기함수 파면 변형을 3차원 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 도 1은 마이크로리소그래피 투영 노광 장치의 투영 대물렌즈(10)를 통한 자오선 단면(meridian section)을 순차 도식 방식으로 나타내고 있다. 다음에서 설명되는 바와 같이, 본원에서는 순차 도식 방식이 더 선호된다; 이 투영 대물렌즈의 실제 도식은, 빔 편향을 위해 사용되는 두 개의 평면 거울을 또한 나타내고, 출원인의 W0 2004/010164 A2에서 볼 수 있으며, 상기 공개문은 본원에서 완전히 삽입된다.

[0019] 투영 대물렌즈(10)는 상기 투영 노광 장치가 동작하는 동안 상기 투영 대물렌즈(10)의 대물 평면(12)에 도입되는 레티클(도 1에서는 나타나지 않음)의 구조를 감광성 표면(도 1에서는 나타나지 않음) 상에 이미징하도록 설계된다. 상기 표면은 예를 들어, 웨이퍼 위에 적용될 수 있고, 투영 대물렌즈(10)의 이미지 평면(14)에 배치된다.

[0020] 상기 투영 대물렌즈(10)는, 입구 측에 배치된 평면-평행 플레이트(plane-parallel plate) P와, 복수의 렌즈들(이때, 명료성을 위해, 대표적인 실시예를 설명하기 위해 더욱 중요한 몇 가지 렌즈 L1 ~ L8, L13, L19에게만 도 1에서 참조부호가 부여된다.)을 갖는다. 덧붙이자면 상기 투영 대물렌즈(10)는 구형(spherical) 이미징 거울 S를 포함하며, 상기 이미징 거울을 통해, 도 1의 순차 도식에서, 광이 통과되는 것이 보여질 수 있다.

[0021] 상기 투영 대물렌즈(10)를 통과하는 투영광의 경로는, 대물 평면(12)에 배치된 두 개의 필드 포인트(field point) FP1과 FP2에서 시작되는 광선 경로(15)를 참조하여 다음에서 설명될 것이다. 상기 투영광(15)은 평면-평

행 플레이트 P를 통과한 후, 평면 편향 거울(plane deviating mirror)(상기 순차 도식에서는 나타나지 않음)에 도달하고, 순차적으로 렌즈 L1부터 L4까지를 통과한다. 상기 투영광은 동공 평면 (pupil plane) E1에 배치되는 구형 이미징 거울 S에서 반사가 이뤄진 후, 렌즈 L1에서부터 L4를 역방향으로 되돌아 통과한다.

[0022] 대물 평면(12)에서 조명되는 필드가 투영 대물렌즈(10)의 광축(16)에 대해 이격되어(offset) 배치되기 때문에, 상기 이미징 거울 S에서의 반사가 이뤄진 후 상기 광 빔은, 입사광 빔에 대해 공간적으로 이격되도록 하는 경로를 따라 이동한다. 렌즈 L1 뒤에서, 상기 이미징 거울 S로 입사되는 광 빔과 상기 이미징 거울에 의해 반사되는 광 빔 사이의 이러한 이격은 매우 커서, 상기 반사된 광 빔은 제 1 편향 거울과 충돌하지 않으나, 렌즈 L6를 통과한 후에는 제 2 평면편향 거울(역시 순차 도식에서는 볼 수 없음)에 도달한다.

[0023] 상기 제 2 편향 거울에서 반사가 이뤄진 후, 투영광이 복수개의 추가적인 렌즈 L7 ~ L19를 통과하고, 평면-평행 폐쇄 플레이트를 통과하여, 최종적으로 투영 대물렌즈(10)의 이미지 평면(14)에 도달한다.

[0024] 렌즈 L5와 L6 사이에 중간 이미지 평면 E2가 존재하고, 렌즈 L13에 추가적인 동공 평면 E3이 존재한다. 이러한 두 개의 동공 평면 E1과 E3뿐 아니라 상기 중간 이미지 평면 E2에 의해, 전체 투영 대물렌즈(10)가, 총 4개의 섹션 A1, A2, A3, A4로 세분화되며, 투영광의 전달 방향에 따라, 상기 렌즈 L2, L3, L4는 섹션 A1과 섹션 A2에 모두 연계되어 있다.

[0025] 상기 동공 평면 E1과 E3뿐 아니라 중간 이미지 평면 E2는 각각, 이미지를 반전시키는, 즉, 시스템의 이미징을 반전시키는 속성을 갖는다. 이는 필드 포인트 FP1으로부터 시작하는 1차 광선(18)의 예를 참조하여, 동공 평면 E1과 관련하여 설명될 것이다. 섹션 A1에서, 즉, 이미징 거울 S에서 반사가 이뤄지기 전에, 상기 1차 광선(18)은, 광축(16)의 아래로 렌즈 L2를 통과하고, 반면 이미징 거울 S에서 반사가 이뤄진 후에는, 상기 광축(16) 위에서 동일한 렌즈 L2를 통과하고, 즉, 상기 첫번째 경우에 대해 포인트 반사된다(point-reflected).

[0026] 동공 평면 E1을 통한 이미징의 반전은 상기 중간 이미지 평면 E2에 생성되는 중간 이미지(20)의 지점에서도 또한 관찰될 수 있으며, 이는 대물 평면(12)에서의 대상(필드 포인트 FP1 및 FP2)에 관하여 반전된다.

[0027] 다른 동공 평면 E3와 중간 이미지 평면 E2에 대해서도 유사한 고려가 적용된다.

[0028] 렌즈 L2는, 표면 F5 (투영 대물렌즈(10)를 통해 순차적으로 번호가 정해진다.) 상에, 참조번호 22로 나타내어지는 섭동(perturbation)을 갖는 것으로 추정된다. 앞서 설명된 바와 같이, 상기 섭동은 광축(16)에 대하여 회전대칭(rotationally symmetric)일 필요가 없다. 이러한 섭동의 원인으로는, 예를 들어, 렌즈 재료의 굴절률 불균질성 또는 형태 오차(form error)가 있다.

[0029] 섭동(22)이 미치는 영향은, 상기 섭동(22)을 통과하는 모든 광파(light wave)가 바람직하지 못한 방식으로 변형된다는 것이다. 이 문맥에서는, 대물 평면(12)의 모든 필드 포인트에서 광파가 시작될 수 있음을 명심해야 한다. 이러한 광파 중 하나의 파면이 변형될 것인지의 여부와, 그 변형되는 방식은 관련 광파가 시작되는 필드 포인트에 따라 좌우되는 것이 일반적이다. 특히 동공 평면 외부의 섭동의 경우에 있어서, 짝수개의 필드 포인트가 존재하고, 이들의 광파가 상기 섭동을 통과하지 않기 때문에, 섭동에 의해 전혀 영향을 받지 않는 것이 일반적이다.

[0030] 출구 동공(exit pupil)에서 파면 변형을 설명하는 것이 가장 명료하다. 왜냐하면, 그 곳에서의 이상적인 파면이 구면파(spherical wave)이기 때문이다. 이른바 제르니케 다항식 Z_r 이 사용되어 파면 변형이 설명될 수 있고, 이는 단위 원 내에서 직교하는 극좌표로 일반적으로 나타내어지는 함수 시스템이다. 그 후, 파면 변형이 무한 차원 벡터 공간에서의 벡터로서 설명될 수 있고, 이의 기준은 제르니케 다항식에 의해 전개된다. 이러한 맥락에서, 파면 변형은, 제르니케 다항식 Z_r 으로 전개될 수 있다. 이러한 전개식의 계수는 앞서 언급된 벡터의 성분이다.

[0031] 최초로 본원에서 가정하는 바와 같이, 상기 섭동(22)의 위치가 알려져 있을 경우, 각각의 개별 필드 포인트로부터 시작하는 광파를 판단하는 것이 가능하며, 각각의 광파의 파면이 섭동(22)에 의해 변형되었는지의 여부와, 변형된 방식을 판단하는 것이 가능하다. 예를 들어, 하나의 필드 포인트에 연계되어 있는 파면 변형을 설명하기 위해, 제르니케 다항식 Z_r 이 사용될 수 있다. 역으로, 단일 제르니케 다항식 Z_r 에 의해 규정되는 특정 파면 변형이 개별 필드 포인트에 걸쳐 어떻게 분포되는지를 그로부터 판단할 수 있다. 예를 들어, 제르니케 다항식 Z_2 에 의해 설명되는 바와 같이, 파면의 경사(tilt of wavefront)는, 필드 포인트가 광축으로부터 멀리 떨어질수록, 이에 상응하여 커진다.

[0032] 섭동에 의한 파면 변형의 필드 종속성도 마찬가지로, 제르니케 다항식 Z_r 을 이용하여 설명될 수 있다. 이러한 이유로, 파면 변형 또한 필드 좌표 내에 전개되도록 나타내어진다.

[0033] 도 2 내지 4는 제르니케 다항식 Z_5 , Z_9 , Z_8 각각의 3차원 도면이며, 다음과 같다.

[0034]
$$Z_5(r, \theta) = \sqrt{6} r^2 \cdot \cos(2\theta),$$

[0035]
$$Z_9(r, \theta) = \sqrt{5} (6r^4 - 6r^2 + 1),$$

[0036]
$$Z_8(r, \theta) = \sqrt{8} \cdot (3r^2 - 2) \cdot r \cdot \sin(\theta)$$

[0037] 이 경우에서, 좌표 r 은 반경 좌표(radial coordinate), 즉, 광축으로부터의 거리를 나타내고, θ 는 방위각을 나타낸다.

[0038] 도 2에서 나타난 제르니케 다항식 $Z_5(r, \theta)$ 은 광축 상에서의 포인트 반사에 대해 우함수이다. 이러한 포인트 반사는 좌표 변환을 통해 설명된다.

[0039] $\theta \rightarrow \theta + 180^\circ$, 그리고

[0040] $r \rightarrow r$

[0041] 다음이 적용된다.

[0042] $Z_r(r, \theta) = Z_r(r, \theta + 180^\circ)$.

[0043] 방위각 θ 의 독립성 때문에, 도 3에서 나타나는 제르니케 다항식 $Z_9(r, \theta)$ 은 포인트 반사에 대해 마찬가지로 우함수이다.

[0044] 그러나 도 4에서 나타나는 제르니케 다항식 $Z_8(r, \theta)$ 은 이러한 포인트 반사에 대해 기함수이다. 왜냐하면

[0045] $Z_8(r, \theta) = -Z_8(r, \theta + 180^\circ)$

[0046] 이기 때문이다.

[0047] 명료성을 위해, 본원에서, 파면 변형의 필드 종속성이 단지 제르니케 다항식 Z_5 (포인트 반사에 대해 우함수)에 의해서만 설명된다고 가정할 경우, 이러한 필드 종속성은, 동공 평면 또는 중간 이미지 평면 E1, E3, 또는 E2를 통과하는 것에 관련된 이미지 반전에 의해서 변하지 않음을 알 수 있다. 도 3에서 나타난 회전대칭적인 파면 변형의 경우에도 유사한 고려가 적용되는데, 이 또한 우함수인 제르니케 다항식 Z_9 에 의해 설명되기 때문이다.

[0048] 그러나 기함수인 제르니케 다항식, 가령 도 4에서 나타난 제르니케 다항식 Z_8 에 의해서만 설명될 수 있는 필드 종속성을 갖는 파면 변형의 경우, 상황은 다르다. 이러한 경우, 동공 평면 또는 중간 이미지 평면 E1, E3, 또는 E2에서의 이미지 반전이 미치는 영향은, 상기 필드 종속성이 상기 평면들을 거치기 전과 후에 더 이상 동일하지 않다.

[0049] 나머지 광학 요소 중 하나 상의 광학 활성 표면을 재처리함으로써, 렌즈 L2상의 섭동(22)이 보상된다면, 광파가 동공 평면 또는 중간 이미지 평면 E1, E2, E3를 통과할 때의 필드 종속성의 상이한 대칭 속성은 넓은 범위의 결과를 갖는다. 이는 상기 파면 변형의 필드 종속성이 일반적으로 우함수 제르니케 다항식과 기함수 제르니케 다항식의 조합에 의해서만 설명될 수 있는 이유로, 이러한 다항식에 할당되는 필드 종속성 성분이 동공 평면 또는 중간 이미지 평면 E1, E2, E3를 통과할 때 다른 방식으로 변환되기 때문이다.

[0050] 이는, 섭동(22)을 포함하는 섹션 A1 다음에 있는 섹션 A2에서, 일반적으로 상기 필드 종속성의 기함수 성분이 적합한 재처리에 의해 제거될 수 있는 광학 활성 표면을 갖는 광학 요소 상에서 광학 활성 표면을 찾는 것이 가능하지 않다는 것을 의미한다. 이러한 섹션 A2에서, 단일 광학 활성 표면 상의 섭동 보상은 필드 종속성의 우함수 성분에 대해서만 오직 성공적이다.

[0051] 그러나 그 다음의 섹션 A3에서, 단일 광학 활성 표면을 재처리함으로써 섹션 A1의 섭동(22)을 상당히 보상하는 것이 다시 가능한데, 이는 동공 평면 E1과 중간 이미지 평면 E2에 의해 야기되는 이미지 반전이 균형을 이루기

때문이다.

[0052] 섹션 A1 ~ A4 중 어느 섹션이 대응하는 표면을 포함하는 지에 따라, 광학 활성 표면의 서로 다른 보정 가능성(corrective potential)이 시뮬레이션을 이용하여 입증된다. 표 1은 서로 다른 섹션 A1에서 A4까지에서, 적절하게 재처리되는 표면 Fi에 대해 퍼센티지로 표시되는 보정 가능성 및 RMS(Root Mean Square value)로서의 남아 있는 잔여 오차를 제공한다. 이러한 경우에서, 시뮬레이션은 렌즈 L2 상의 접동(22)이 체르니케 다항식 Z_{13} 에 의해 설명될 수 있다는 가정을 바탕으로 한다.

[0053] 동일 섹션 A1과 그 다음 섹션 A3에 각각 위치하는 표면 F6과 F24 만이 접동(22)에 의한 이미징 오차를 적합한 재처리에 의해 충분히 감소할 수 있고, 따라서 큰 보정 가능성을 갖는다는 사실을, 상기 표로부터 명확하게 알 수 있다. 각각 섹션 A2와 A4에 위치하고 또한 통상적인 보정 표면 구성이 고려되는 표면 F16과 F46은 이들에 비해 매우 작은 보정 가능성을 갖는다.

표 1

재처리된 표면	섹션	오차(RMS)	보정 가능성
재처리 없음	-	1.6	0%
F6	A1	0.1	95.7%
F16	A2	1.3	15.8%
F24	A3	0.2	86.1%
F46	A4	1.3	21.7%

[0054]

[0055] 표 1: 서로 다른 보정 표면의 보정 가능성

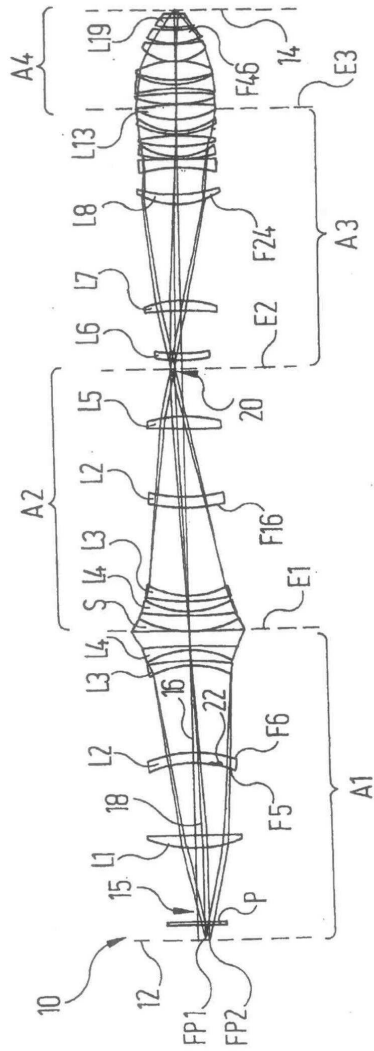
[0056] 앞의 논의에서, 그 위치가 알려진 접동(22)이 단 하나만 존재한다고 가정되었다. 그러나 파면 변형은, 복수 개의, 또한 그 위치를 찾을 수 없거나 또는 찾는데 적어도 상당한 비용이 소요되는 접동에 의해 초래되는 것이 일반적이다. 이는 단일 재처리된 표면으로는 파면 변형을 보정하는 것이 일반적으로 가능하지 않음을 의미한다. 예를 들어, 섹션 A1에서의 하나의 표면과 섹션 A3에서의 또 다른 표면이 재처리될 경우, 그들 사이에 위치하는 섹션 A2에서의 접동에 의한 파면 변형에 대한 어떠한 기여도 하지 않으므로 파면변형이 보정될 수 있다.

[0057] 이러한 논의로부터, 알려지지 않은 접동의 효율적인 보정은, 연이은 또는 그 사이에 짝수의 다른 섹션들이 존재하는, 둘 이상의 섹션에 존재하는 표면을 재처리함에 의해서만 수행될 수 있다는 사실이 도출된다. 본 발명의 바람직한 실시예에서, 이들은 섹션 조합 A1과 A2, A2와 A3, A3과 A4, A1과 A4일 수 있다.

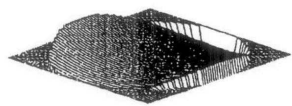
[0058] 앞서 제시된 측정을 이용하여, 필드 포인트에서 필드 포인트로 변화하는 파면 변형의 성분을 보정하는 것만 가능하다. 파면 변형의 필드-독립성 성분(이격), 즉 모든 필드 포인트에 대해 공통인 성분은, 섹션 A1 내지 A4에 위치하는 표면의 국부적 재처리에 의해 보정될 수 있는 것이 아니라, 동공 평면 E1, E3 중 하나에 위치하거나 또는 그에 근접한 표면의 재처리에 의해서만 보정될 수 있다. 파면 변형이 이격 성분을 포함할 수 있기 때문에, 가장 일반적인 유형의 파면 변형을 적어도 거의 정확하게 보정할 수 있도록, 단 두 개의 표면만이 아니라, 세 개의 표면이 재처리되어야 할 것이다. 효율적인 재처리의 한 방법으로 국부적 재료 침식이 있으며, 국부적 재료 침식은 500nm 미만, 바람직하게는 200nm 미만에 달한다.

도면

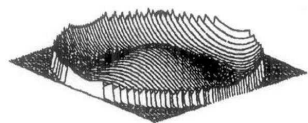
도면1



도면2



도면3



도면4

