



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년06월10일
(11) 등록번호 10-0962911
(24) 등록일자 2010년06월03일

- (51) Int. Cl.
G03F 7/20 (2006.01) *H01L 21/027* (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2008-7001999
(22) 출원일자(국제출원일자) 2006년09월12일
심사청구일자 2009년09월28일
(85) 번역문제출일자 2008년01월25일
(65) 공개번호 10-2008-0054377
(43) 공개일자 2008년06월17일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2006/008869
(87) 국제공개번호 WO 2007/031271
국제공개일자 2007년03월22일
- (30) 우선권주장
60/716,437 2005년09월13일 미국(US)
60/793,387 2006년04월07일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP17166778 A*
KR1020040075764 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
칼 짜이스 에스엠테 아게
독일 73447 오버코헨 루돌프-에버-슈트라세 2
- (72) 발명자
한스 쥬르젠 만느
독일, 73447 오버코헨, 카트젠바흐스트라세 49
윌헤름 우르리치
독일, 73434 에이아렌, 레더래커링 44
마르코 프레토리우스
독일, 73447 오버코헨, 카트젠바흐스트라세 60에이
- (74) 대리인
성낙훈

전체 청구항 수 : 총 15 항

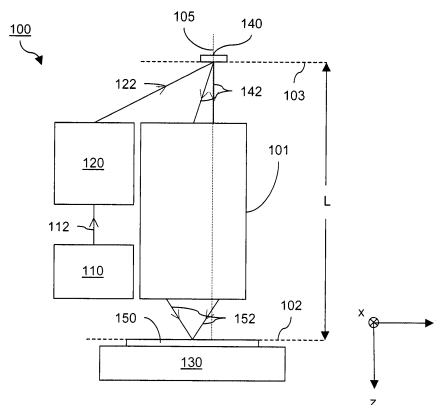
심사관 : 이병진

(54) 마이크로리소그래피 투영 광학 시스템, 디바이스 제작 방법 및 광학 표면을 설계하기 위한 방법

(57) 요약

일반적으로, 일 양상에서 본 발명은 물체 평면(103)으로부터 이미지 평면(102)으로 복사선을 이미징하도록 배치된 복수의 요소(310 내지 360)를 포함하는 마이크로리소그래피 투영 광학 시스템(101)을 특징으로 하고, 이러한 요소 중 적어도 하나는 복사선 경로에 위치한 회전 비대칭인 표면을 가지는 반사 요소이다. 이 회전 비대칭인 표면은 약 10nm 이상만큼 회전 대칭인 표면으로부터 편향되고, 이 광학 시스템은 마이크로리소그래피 투영 광학 시스템이다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

마이크로리소그래피(microlithography) 투영 광학 시스템을 포함하는 시스템으로서, 상기 마이크로리소그래피 투영 광학 시스템은,

동작동안 물체 평면으로부터 파장(λ)의 복사선을 이미지 평면에 이미지화하도록 배치된 복수의 요소를 포함하고, 상기 요소 중 하나 이상은 복사선의 경로에 위치한 회전 비대칭 표면을 가지는 반사성 요소이며,

상기 회전 비대칭 표면은 상기 회전 비대칭 표면의 하나 이상의 위치들에서 λ 또는 그 이상만큼 회전 대칭적 기준 표면으로부터 벗어나는 것이며,

상기 λ 는 복사선의 파장이며,

상기 투영 광학 시스템을 통한 복사선의 경로는 주 광선에 의해 그 특성이 기술되고, 상기 투영 광학 시스템의 정점 섹션에 있어서, 중심 필드 포인트의 주 광선은 상기 요소들 각각의 표면 위에서의 최대 입사각이 θ° 이며, 상기 투영 광학 시스템은 0.3보다 큰 이미지 측 개구수(NA: numeral aperture)를 가지며, 비(θ/NA)는 68보다 작은 것인, 투영 광학 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 회전 비대칭 표면은 방정식

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^a C_j x^m y^n$$

에 대응하는 표면으로부터 0.1 λ 이하의 거리만큼 벗어나고,

여기서,

$$j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1,$$

이며, z는 축에 평행한 표면의 새그(sag)이고, c는 정점 곡률, k는 원뿔 상수, C_j 는 단항식($x^m y^n$)의 계수, 및 a는 정수이며,

m+n은 상기 단항식의 차수이며,

상기 λ 는 복사선의 파장인, 투영 광학 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 회전 비대칭 표면은 하나 이상의 위치들에서 20nm 이상의 거리만큼 상기 회전 대칭적 기준 표면으로부터 벗어나는, 투영 광학 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 복수의 요소들은 양의 주 광선 각도 배율을 가지는 2개 이하의 반사성 요소를 포함하는 것인, 투영 광학 시스템.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 마이크로리소그래피 투영 광학 시스템은 0.2 이상의 이미지-측 개구수를 가지는, 투영 광학 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 투영 광학 시스템은 이미지 평면에서 직사각형의 필드를 가지고, 각각의 직교 방향으로 상기 직사각형 필드는 서로에 대해 직교하는 양 방향으로 1mm 이상의 최소 치수를 가지는, 투영 광학 시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서, 상기 이미지 필드에서의 정적 왜곡은 10nm 이하인, 투영 광학 시스템.

청구항 8

제 1 항에 있어서, 상기 이미지 필드에서의 파면 에러는 $\lambda/14$ 이하이고, 상기 λ 는 복사선의 파장인, 투영 광학 시스템.

청구항 9

제 1 항에 있어서, 상기 주 광선은 물체 평면에서 서로에 대해 발산하는 것인, 투영 광학 시스템.

청구항 10

제 9 항에 있어서, 상기 투영 광학 시스템의 정점 섹션에 대해, 상기 주 광선은 상기 요소들 각각의 표면 위에서 20° 이하의 최대 입사각을 가지는, 투영 광학 시스템.

청구항 11

제 1 항에 있어서, 상기 복수의 요소들은 상기 이미지 평면에서 텔레센트릭한(telecentric) 것인, 투영 광학 시스템.

청구항 12

삭제

청구항 13

제 1 항에 있어서, 상기 투영 광학 시스템은 75mm 이하의 물체-이미지 이동을 가지는, 투영 광학 시스템.

청구항 14

제 1 항에 있어서, 상기 복수의 요소는 25mm 이하의 프리보드(freeboard)를 가지는 4개 이상의 요소를 포함하는, 투영 광학 시스템.

청구항 15

제 1 항에 있어서, 동작동안 λ 의 복사선을 물체 평면에 제공하도록 구성된 복사선 소스를 더 포함하고, 상기 λ 는 복사선의 파장인, 투영 광학 시스템.

청구항 16

제 15 항에 있어서, 동작동안 복사선을 상기 복사선 소스로부터 물체 평면에 위치한 물체로 향하게 하도록 배열된 하나 이상의 요소를 포함하는 조명 시스템을 더 포함하고, 상기 조명 시스템은 상기 마이크로리소그래피 투영 광학 시스템의 입사 pupils에 대응하는 위치에 위치한 요소를 포함하는, 투영 광학 시스템.

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 개시물은 마이크로리소그래피 투영 광학 시스템, 특히 투영 대물렌즈, 그러한 광학 시스템을 포함하는 마이크로리소그래피 도구, 그러한 마이크로리소그래피 도구를 사용하여 미소구성된 성분의 마이크로리소그래피적 제작 방법, 그러한 방법에 의해 만들어지는 미소구성된 성분, 그러한 광학 시스템에서 광학 표면을 설계하기 위한 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 투영 대물렌즈는 기관 위에 배치된 광감성 물질의 층 위에 레티클(reticle)의 이미지를 형성함으로써, 기관에 레티클로부터의 패턴을 전사하기 위해 마이크로리소그래피에서 널리 사용된다. 일반적으로, 투영 대물렌즈는 3개의 상이한 부류로 나누어지는데, 이들은 굴절 광학(dioptric) 대물렌즈, 반사 광학(catoptric) 대물렌즈, 및 굴절 반사(catadioptric) 광학 대물렌즈이다. 굴절 광학 대물렌즈는 굴절 요소(예컨대, 렌즈 요소)를 사용하여 물체 평면으로부터 이미지 평면으로 광을 이미지화한다. 반사 광학 대물렌즈는 반사성 요소(예컨대, 거울 요소)를 사용하여 물체 평면으로부터 이미지 평면으로 광을 이미지화한다. 굴절 반사 대물렌즈는 굴절 요소와 반사 요소를 모두 사용하여 물체 평면으로부터 이미지 평면으로 광을 이미지화한다.

[0003] 특히 투영 시스템에서 사용하기 위한 대물렌즈는, Proc. Spie 2437(1995)에 실린 T.Jewell의 "EUV 리소그래피용 투영 카메라의 현상에 있어서의 광학 시스템 설계 이슈들"로부터 알려져 있다. 다른 대물렌즈는 EP 0 730 169A, EP 0 730 179A, EP 0 730 180A, EP 0 790 513A, US 5 063 586A, US 6 577 443A, US 6 660 552A 및 US 6 710 917A로부터 알려져 있다.

발명의 상세한 설명

[0004] 본 발명의 목적은, 특히 주어진 조명 파장에서의 해상도와 관련하여 마이크로리소그래피 투영 노출 장치에서 투영 대물렌즈로서 사용될 수 있는 광학 시스템을 개선하는 것이다. 또한, 본 발명의 광학 시스템은 조명 광에 관해 높은 광 처리량을 가져야 한다.

[0005] 이러한 목적은 청구항 1의 특징을 가지는 광학 시스템에 의해 충족된다.

[0006] 다음 명세서에서, 본 발명에 따른 회전 비대칭인 표면이 또한 자유 형태 표면이라고 불린다. 구면 또는 비구면 거울과는 달리, 자유 형태 표면은 회전 대칭성을 가지는 축을 가지지 않는다. 본 발명에 따른 자유 형태 표면은 EUV 투영 대물렌즈용의 알려진 비구면 회전 대칭 거울 표면과는 상이한데, 그 상이한 점은 그러한 알려진 비구면 거울 표면이 방정식인 테일러 전개(Taylor expansion)를 통해 설명된다는, 즉 차수(grade)가 n인 회전 대칭 다항식에 의해 주어지는 새그(sag)를 가진다는 점이다. 이들 다항식 항 모두에 대한 이 테일러 전개의 중심점은 공통 광학 축에 의해 정의된다. 알려진 거울 표면은 그러한 전개에 의해 기술되는데, 이는 이 테일러 전개가 계산하기 쉽고, 최적화하기 쉬우며, 그러한 거울 표면을 제작하는 데 있어 많은 경험이 존재하기 때문이다. 하지만 본 발명의 발명자는 공통 중심을 지닌 알려진 테일러 전개가 어떤 레벨 아래로 떨어질 수 없는 원치 않는 왜곡을 발생시킨다는 사실이 인지되었다. 회전 대칭 광학 표면에 내재하는 이러한 왜곡 제한은, 본 발명에 따라 광학 표면 중 하나가 자유 형태 또는 회전 비대칭인 표면으로서 구현될 때 회피된다. 자유 형태 표면을 사용할

으로써, 개구수와, 회전 대칭 표면에 내재하는 개구수와 왜곡에 관한 제한을 극복하는 것이 가능하며, 이는 특히 EUV 마이크로리소그래피 보호 분야에서 유리하다. 특별한 일 실시예에서, 자유 형태 표면은 광학 시스템의 정점(meridional) 평면에 거울 대칭인 표면일 수 있다. 정점 평면은 물체 평면의 법선, 물체 필드의 중심점, 및 광학 시스템의 광학 성분의 개구에 의해 정의되는 평면이다. 유리하게, 본 발명에 따른 투영 대물렌즈는 반사 광학 투영 대물렌즈이다. 일반적으로, 광학 시스템의 이미지 평면은 물체 평면에 평행하다. 이 광학 시스템은 300mm의 최소 곡률 반경을 가지는 이미지 평면에서 필드를 가질 수 있다. 이 광학 시스템에서, 주 광선(chief rays)은 물체 평면에서 수직인 물체 평면에 관해 약 3°, 5°, 7° 또는 그 이상의 각도에 있을 수 있다. 이 광학 시스템은 물체 평면으로부터 2.8m가 넘어, 특히 10m가 넘게 위치하는 입사 pupils(pupil)을 가질 수 있다. 일반적으로, 자유 형태 표면을 지닌 광학 시스템에서는, 정확하게 정의된 pupils 평면이 존재하지 않는다. 광학 시스템의 pupils 평면에서는, 상이한 필드 포인트에 대응하는 주 광선들이 만난다. pupils 평면에서, 각 필드점으로부터의 광선 다발이 중첩된다. pupils 평면이라는 용어는 세기 분포가 물체 평면에서의 조명 각도 분포에 대응하는 광학 시스템에서 안내된 광 빔에 수직인 구역의 특성을 기술하기 위해 사용된다. 이미지화된 복사선은 물체 평면에 위치한 물체로부터 반사될 수 있다. 물체 평면에 위치한 물체는, 복수의 요소에 의해 이미지 평면으로 이미지화 되는 레티클일 수 있다. 이 광학 시스템은 4X의 축소 배율(demagnification)을 가질 수 있다. 본 발명에 따른 광학 시스템은 4개 이상의 반사성 요소를 포함할 수 있다. 특히, 본 광학 시스템은 6개 이상의 반사성 요소를 포함할 수 있다. 복수의 요소는 물체 평면과 이미지 평면 사이의 중간 이미지 평면으로 복사선을 이미지화하도록 배치될 수 있다. 이 경우, 필드 조리개(field stop)이 중간 이미지 평면에 또는 부근에 위치할 수 있다. 특히, 복수의 요소는 5개의 요소를 포함할 수 있고, 물체 평면으로부터 이미지 평면으로의 복사선의 경로를 따라 네 번째 요소와 다섯 번째 요소 사이에 중간 이미지 평면이 위치할 수 있다. 물체와 이미지 평면은 약 1m 이상인 거리(L)에 의해 분리될 수 있다. 물체 평면으로부터 이미지 평면으로의 복사선의 광학 경로 길이는 약 2L, 3L, 4L 또는 그 이상일 수 있다. 복수의 요소는 복사선의 경로에서 인접 요소들의 적어도 한 쌍을 포함할 수 있고, 그 경우 인접 요소들의 쌍은 약 0.5L 이상만큼 분리된다. 유리하게, 복수의 요소 중 어느 것도 출사 pupils의 차폐를 야기하지 않는다. 이 복수의 요소는 제 1 거울과 제 2 거울을 포함할 수 있고, 이 제 1 거울과 제 2 거울은 각각 d_1 과 d_2 의 물체 평면으로부터 최소의 거리를 가지며, 여기서 d_1/d_2 는 약 2 이상이다. 대안적으로, d_1/d_2 는 2보다 작을 수 있다. 그 경우, 광학 시스템은 원칙적으로 물체 측에서 큰 작용 거리를 가진다. 복수의 요소는 물체 평면으로부터 이미지 평면으로의 복사선의 경로에서 제 1 요소를 포함할 수 있고, 이 제 1 요소는 양의 광학적 확대력(optical power)을 가진다. 광학 시스템은 물체 평면과 이미지 평면 사이에 위치한 구경 조리개(aperture stop)를 포함할 수 있다. 광학 시스템의 복수의 요소는 3개의 요소를 포함할 수 있고, 그 구경 조리개는 물체 평면으로부터 이미지 평면으로의 복사선의 경로에서 제 2 요소와 제 3 요소 사이에 위치할 수 있다. 대안적으로, 그 구경 조리개는 제 2 요소 또는 제 3 요소에 위치할 수 있다. 복사선은 구경 조리개를 한번 또는 두번 통과할 수 있다. 본 발명에 따른 광학 시스템에서 사용되는 복사선 소스는 약 300nm 이하, 200nm 이하, 100nm 이하의 파장을 가지는 레이저 복사선 소스일 수 있다.

- [0007] 청구항 2에 따른 자유 형태 표면의 수학적 전개는, 반사성 표면을 양호하고 재생 가능하게 제작할 수 있게 한다. 이 전개에서, a 는 66일 수 있다. 또한, m 은 짝수인 정수로 구성될 수 있다. 또한, $m+n$ 은 10과 같거나 10보다 클 수 있다.
- [0008] 청구항 3 또는 청구항 4에 따른 변위는 회전 대칭인 광학 표면을 사용하여 도달 가능한 한계 아래로 대물렌즈의 왜곡의 적당한 감소를 제공한다. 회전 비대칭인 표면은, 하나 이상의 위치에서 최적 적합 회전 대칭인 표면으로부터 약 100λ 이상만큼 벗어날 수 있다. 회전 비대칭인 표면은, 하나 이상의 위치에서 약 50nm 이상, 약 100nm 이상, 약 500nm 이상, 또는 약 1000nm 이상만큼 최적 적합 회전 대칭인 표면으로부터 벗어날 수 있다.
- [0009] 청구항 5에 따른 거울 대칭인 자유 형태 표면은 자유 형태 광학 표면을 만들기 위한 요구 조건을 더 낮춘다.
- [0010] 청구항 6에 따른 자유 형태 표면을 지닌 2개의 반사성 요소는, 한편으로는 더 나은 수차(aberration) 최소화의 가능성을 만들어내고, 보다 덜 복잡하게 제조될 수 있는 자유 형태에 있어 특정 수차 최소화 요구 조건을 만족시키는 가능성을 주게 된다. 이 광학 시스템은 또한 3개, 4개, 5개 또는 6개의 자유 형태 요소를 가질 수 있다.
- [0011] 청구항 7에 따른 양의 주 광선 각도 배율을 지닌 2개 이하의 반사성 요소를 가지는 광학 시스템은, 거울 상에서 비교적 낮은 입사 광선 각도를 보이며, 따라서 처음부터 더 낮은 수차를 야기한다. 이는 특히 청구항 8에 따른 양의 주 광선 각도 배율을 가지는 하나의 반사성 요소만을 포함하는 광학 시스템을 사용하는 경우 그러하다.
- [0012] 청구항 9에 따른 광학 시스템의 개구수는 높은 해상도를 허용한다. 이 이미지 측 개구수는 0.25, 0.28, 0.3,

0.35, 0.4 또는 그 이상으로 높을 수 있다.

- [0013] 청구항 10에 따른 이미지 필드 치수는 마이크로리소그래피 투영 장치에서의 광학 시스템의 효율적인 사용을 가능하게 한다. 수차 보정이 자유 형태 표면으로 개선되기 때문에, 이제 회전 대칭인 표면을 사용함으로써 요구 사항을 충족시키기에는 너무 높은 수차를 보여주는 직사각형 이미지 필드로 설계를 하는 것이 가능하게 된다. 직사각형 필드는 약 2mm의 최소 치수를 가질 수 있고, 약 1mm 이상의 제 1 치수와 약 1mm 이상의 제 2 치수를 가질 수 있으며, 이 제 1 치수와 제 2 치수는 직교한다. 이 제 2 치수는 약 10mm 또는 약 20mm 또는 그 이상일 수 있다.
- [0014] 청구항 11에 따른 왜곡과 청구항 12에 따른 과면 에러는, 오직 회절에 의해, 즉 투영 광의 파장에 의해서만 제한될 수 있는 투영 품질을 만들어내게 된다. 특히 그러한 낮은 왜곡을 지닌 광학 시스템은, 10nm와 30nm 사이의 범위에 있는 EUV 광원과의 사용을 위해 최적화된다.
- [0015] 광학 시스템은 물체 평면에서 물체 평면 법선에 평행하지 않은 주 광선을 가질 수 있다. 청구항 13에 따른 주 광선 각도는 낮은 개수의 광학 성분을 지닌 투영 대물렌즈 앞의 조명 광학 기기에서의 세기 분포를 제어함으로써, 이미지 평면에서의 조명 각도의 분포를 제어할 가능성을 준다. 이는 주 광선 각도들의 수렴 세트(set)를 지닌 광학 시스템을 사용해서는 가능하지 않은데, 이는 그렇게 함으로써 조작 평면에서의 세기 분포를 통해 조명 각도의 분포를 제어하기 위해 조작 평면으로의 접근을 제공하는 추가 성분의 필요를 초래하기 때문이다. 청구항 13에 따른 발산하는 주 광선을 지닌 광학 시스템에서는, 물체 평면이 광학 시스템의 복수의 요소와 입사 필름 사이에 위치한다.
- [0016] 청구항 14에 따른 최대 입사 각도는, 처음부터 높은 수차를 회피하는데 도움을 준다. 각 요소의 표면 위의 최대 입사 각도는 18° 미만 또는 15° 미만일 수 있다.
- [0017] 청구항 15에 따른 텔레센트릭 광학 시스템은 이미지 평면에서 배치된 기관의 높은 변동을 허용한다.
- [0018] 청구항 16에 따른 광학 시스템은 매우 높은 해상도를 가지게 된다. 비(θ/NA)는 약 60 미만 또는 50 미만일 수 있다.
- [0019] 청구항 17에 따라 약 75mm 이하의 물체-이미지 이동(shift)을 가지는 광학 시스템은 그 광학 시스템의 얇은(slim) 광학 설계를 초래한다. 그러한 물체-이미지 이동은 약 50mm 미만 또는 약 25mm 미만일 수 있다. 물체-이미지 이동이 0인 경우, 광학 시스템은 중심 필드 포인트 평면 이동(translating) 없이, 물체 및 이미지 필드들의 중심 포인트들을 교차하는 축을 중심으로 회전할 수 있다. 이는 광학 시스템의 회전을 요구하는 도량형 및 시험 도구가 사용되는 경우 특히 유리하다.
- [0020] 청구항 18에 따른 요소의 프리보드(freeboard)는 주 광선의 입사 각도가 작은 콤팩트한 설계를 준다. 광학 시스템의 4개 이상의 요소는 약 5mm 이상의 프리보드를 가질 수 있다. 이는 광학 시스템의 광학 요소의 기관 설계와 홀더(holder)에 관한 요구 조건을 낮춘다.
- [0021] 청구항 19에 따른 복사 소스를 가지는 광학 시스템은, 적어도 하나의 자유 형태 표면을 사용함으로써 수차 최소화를 유리하게 이용하는데, 이는 그러한 복사 소스의 파장의 범위내의 수차 및 왜곡이 가능하기 때문이다. 바람직하게, 그 파장은 약 10nm 내지 약 15nm의 범위에 있다.
- [0022] 청구항 20에 따른 광학 시스템과 청구항 21에 따른 마이크로리소그래피 도구의 장점은, 청구항 1 내지 청구항 19에 따른 광학 시스템에 관해 위에서 언급된 것에 대응한다. 동일한 내용이 청구항 22에 따른 제작 방법에 관해 적용되고, 청구항 23에 따른 성분에 관해 성립한다.
- [0023] 청구항 24에 따른 설계 방법은 제어 가능한 방식으로 만들어질 수 있는 자유 형태 표면을 생성하기 위해 재생 가능한 설계 지침을 준다.
- [0024] 또한, 실시예는 다음 장점 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 예컨대, 실시예는 이미지 평면에서 텔레센트릭하는 반사 광학 투영 대물렌즈를 포함한다. 이는 이미지 축 작용 거리의 범위에 걸쳐 일정하거나 거의 일정한 이미지 배율을 제공할 수 있다.
- [0025] 특정 실시예에서는, 반사 투영 대물렌즈가 매우 높은 해상도를 가진다. 예컨대, 투영 대물렌즈는 약 50nm보다 작은 구조물을 해상하는 능력을 가질 수 있다. 짧은 파장(예컨대, 약 10nm 내지 약 30nm)에서 동작하기 위해 설계되는 높은 이미지 축 개구수를 가지는 투영 대물렌즈에서 높은 해상도가 달성될 수 있다.
- [0026] 투영 대물렌즈는 낮은 수차를 갖는 이미지를 제공할 수 있다. 어떤 실시예에서는 투영 대물렌즈가 약 30mλ 이하

의 파면 에러에 대해 보정된다. 어떤 실시예에서는, 투영 대물렌즈가 약 2nm 이하의 값 아래의 왜곡에 대해 보정된다.

- [0027] 실시예는 높은 개구수를 가지는 반사 대물렌즈를 포함하고, 비교적 큰 이미지 필드에 걸쳐 이미지 평면에서 낮은 이미지 왜곡, 낮은 파면 에러, 및 텔레센트리시티(telecentricity)를 지닌 이미징을 제공한다. 이들 특징은 하나 이상의 자유 형태 거울을 사용함으로써 달성될 수 있다.
- [0028] 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈 도량형(metrology)은 회전 축에 대한 투영 대물렌즈의 회전에 불구하고 쉽게 구현될 수 있다. 예컨대, 투영 대물렌즈(예컨대, 높은 NA의 투영 대물렌즈)의 실시예는 투영 대물렌즈가 그 축에 대해 회전할 때 축-상(on-axis) 필드 포인트의 평면 이동이 거의 없거나 전혀 없는 비교적 작은 또는 제로(zero)인 물체-이미지 이동(shift)을 가질 수 있다. 그러므로, 투영 대물렌즈가 회전에 있을 때는, 도량형은 필드 위치를 다시 정할 필요없이 동일한 필드 위치에서 반복 가능하게 수행될 수 있다.
- [0029] 실시예는 또한 어떠한 필드 의존 푸필 차폐 또는 어떠한 중앙 푸필 차폐를 가지지 않는 반사 광학 투영 대물렌즈를 포함한다.
- [0030] 투영 대물렌즈의 요소는 가시 및 자외선(UV) 파장을 포함하는 다양한 상이한 파장에서 동작하기 위해 적합화될 수 있다. 실시예는 극(extreme) UV(EUV) 파장에서 동작하기 위해 적합화될 수 있다. 게다가, 실시예는 하나 이상의 파장에서 또는 파장 범위에 걸쳐 사용하기 위해 적합화될 수 있다.
- [0031] 반사 광학 투영 대물렌즈의 실시예는 리소그래피 도구(예컨대, 리소그래피 스캐너)에서 사용될 수 있고, 비교적 낮은 오버스캔(overscan)을 제공할 수 있다. 예컨대 직사각형 이미지 필드를 지닌 투영 대물렌즈를 사용함으로써, 낮은 오버스캔이 달성된다. 그러한 실시예에서, 이미지는 직사각형 필드의 가장자리가 다이(die) 위치의 앞 가장자리에 평행하여 그 다이 위치 모서리를 스캔하기 위해 이미지 필드의 가장자리 너머 있는 다이 위치의 앞 가장자리를 스캔할 필요성을 회피하도록 정렬될 수 있는데, 이는 통상 직사각형 또는 정방형 다이 위치가 아치형 필드에 대해 스캔되는 경우이다.
- [0032] 실시예는 비교적 높은 처리량을 지닌 리소그래피 도구를 포함한다. 예컨대, 비교적 낮은 오버스캔을 가지는 실시예는 더 큰 오버스캔을 가지는 비슷한 시스템보다 더 효율적이다. 따라서, 이들 낮은 오버스캔 시스템은 비슷한 시스템보다 더 높은 웨이퍼 처리량을 제공할 수 있다.
- [0033] 일부 실시예에서는, 차광 효과(shading effect)의 필드 의존이 낮거나 없는 필드 반사 광학 투영 대물렌즈 제공된다. 예컨대, 반사 광학 투영 대물렌즈는 그것들의 입사 푸필이 물체 필드 상에서 주 광선의 균일한 조명 각도를 제공하는 물체 평면으로부터 멀리 떨어져(예컨대, 무한대) 위치하게 할 수 있다. 이는 주 광선 각도가 물체 필드에 걸쳐 변하는 곳에서 일어나는 필드 의존 차광 효과를 감소시키거나 회피할 수 있다. 대안적으로 또는 추가로, 투영 대물렌즈는 그것의 각 거울에 대한 정점 섹션에서의 광선에 대한 비교적 작은 값의 주 광선 입사 각도 및/또는 입사 각도의 작은 변화를 가질 수 있어, 각각의 다층 반사 스택(stack)이 그러한 입사 각도에 대해 최적화되는 조건에서 각 거울의 평균 반사도를 증가시키는 결과를 가져온다.
- [0034] 어떤 실시예에서는, 투영 대물렌즈가 조명 시스템의 복잡도를 감소시키는 것을 허용하는 특징을 포함할 수 있다. 예컨대, 투영 대물렌즈의 입사 푸필의 위치는 물체 평면 앞에 있을 수 있다. 다시 말해, 상이한 필드 포인트에서 시작하는 주 광선은 서로에 대해서 발산하게 된다. 이는 투영 대물렌즈의 입사 푸필의 위치까지 조명 시스템의 출사 푸필을 중계(relay)하기 위해 조명 시스템에서 망원경을 사용하지 않고 접근 가능한 투영 대물렌즈의 입사 푸필/조명 시스템의 출사 푸필에 접근할 수 있게 해준다.
- [0035] 다른 특징 및 장점은 상세한 설명부, 도면, 및 청구항으로부터 분명해진다.

실시예

- [0081] 일 양상에서, 본 개시물은 자유 형태 거울 표면을 가지는 하나 이상의 거울(자유 형태 거울이라고 부른다)을 가지는 반사 투영 대물렌즈에 관한 것이다. 자유 형태 거울을 지닌 반사 광학 대물렌즈가 마이크로리소그래피 도구에서 사용될 수 있다. 도 1을 참조하면, 마이크로리소그래피 도구(100)는 일반적으로 광원(110), 조명 시스템(120), 투영 대물렌즈(101), 및 스테이지(130)를 포함한다. 직교 좌표 시스템이 참조를 위해 도시되어 있다. 광원(110)은 파장(λ)에서 복사선을 만들어내고, 그 복사선의 빔(112)을 조명 시스템(120)에 향하게 한다. 조명 시스템(120)은 그 복사선과 상호작용(예컨대, 팽창 및 균질화)하고, 그 복사선의 빔(122)을 물체 평면(103)에 위치한 레티클(140)로 향하게 한다. 투영 대물렌즈(101)는 레티클(140)로부터 반사된 복사선(142)을 이미지 평면(102)에 위치한 기관(150)의 표면 위로 이미지화한다. 투영 대물렌즈(101)의 이미지 측 위의 복사선은 광선

(152)으로 표시되어 있다. 도 1에 도시된 바와 같이, 그 광선은 오직 예시적인 것이고, 예컨대 레티클(140)에 관한 복사선의 경로를 정확하게 표시하는 것으로 의도되지는 않는다. 기관(150)은 스테이지(130)에 의해 지지되고, 이 스테이지(130)는 투영 대물렌즈(101)가 레티클(140)을 기관(150)의 상이한 위치로 이미지화하도록 투영 대물렌즈(101)에 대하여 기관(150)을 이동시킨다.

- [0082] 투영 대물렌즈(101)는 기준 축(105)을 포함한다. 투영 대물렌즈가 정점 섹션에 관해 대칭인 실시예에서는, 기준 축(105)이 물체 평면(103)에 수직이고 정점 섹션 내부에 놓인다.
- [0083] 광원(110)은 도구(100)의 바라는 동작 파장(λ)에서 복사선을 제공하도록 선택된다. 일부 실시예에서, 광원(110)은 KrF 레이저(약 248nm의 파장을 가지는) 또는 ArF 레이저(약 193nm의 파장을 가지는)와 같은 레이저 광원이다. 사용될 수 있는 비레이저(non-laser) 광원에는, 예컨대 약 365nm, 약 280nm 또는 약 227nm의 전자기 스펙트럼의 청색선 또는 자외선 부분에서 복사선을 방출하는 LED와 같은 발광 다이오드(LED)가 포함된다.
- [0084] 통상, 리소그래피 도구에서 동작을 위해 설계된 투영 대물렌즈의 경우, 파장(λ)은 전자기 스펙트럼의 자외선 부분, 깊은 자외선 부분 또는 극 자외선 부분에 있다. 예컨대, λ 는 약 400nm 이하(예컨대, 300nm 이하, 약 200nm 이하, 약 100nm 이하, 약 50nm 이하, 약 30nm 이하)일 수 있다. λ 는 약 2nm 보다 클 수 있다(예컨대, 5nm 이상, 약 10nm 이상). 일부 실시예에서, λ 는 약 193nm, 약 157nm, 약 13nm 또는 약 11nm일 수 있다. 비교적 짧은 파장을 사용하는 것이 바람직한데, 이는 일반적으로 투영 대물렌즈의 해상도가 대략 파장에 비례하기 때문이다. 그러므로, 더 짧은 파장은 투영 대물렌즈로 하여금 더 긴 파장을 사용하는 등가의 투영 대물렌즈보다 이미지에서 보다 작은 특징들을 해상하는 것을 허용할 수 있다. 하지만 특정 실시예에서는, λ 가 전자기 스펙트럼의 비-UV 부분(예컨대, 가시 부분)에 있을 수 있다.
- [0085] 조명 시스템(120)은 균질한 세기의 프로파일을 지닌 시준된 복사선 빔을 형성하도록 배치된 광학 성분을 포함한다. 통상 조명 시스템(120)은 빔(122)이 레티클(140)을 향하게 하는 빔 스티어링 광학 장치(beam steering optics)를 포함한다. 일부 실시예에서, 조명 시스템(120)은 또한 복사선 빔에 대한 바라는 편광 프로파일을 제공하기 위한 성분을 포함한다.
- [0086] 통상, 광학 평면(103)은 이미지 평면(102)에 평행하다. 하지만, 어떤 실시예에서는, 이미지 평면(102)이 물체 평면(103)에 관해 기울어져 있다. 예컨대, 이미지 평면(102)은 약 1° 이상인(예컨대, 2° 이상, 약 3° 이상, 약 4° 이상, 약 5° 이상) 각도만큼 기울어져 있을 수 있다.
- [0087] 물체 평면(103)은 투영 대물렌즈(101)의, 길이방향 치수(lengthwise dimension), 트랙길이라고 지칭되는, 거리(L)만큼 이미지 평면(102)으로부터 분리된다. 트랙길이는 2개의 평행한 평면 사이의 거리로 정의된다. 제 1 평면은 물체 평면이고, 제 2 평면은 물체 필드와 같은 물체 평면에 평행하고 가장 가까운 평면으로 정의되어서, 이들 2개의 평행한 평면 사이에 물체 필드 이미지 필드 및 광학 성분이 위치한다. 일반적으로, 이 거리는 투영 대물렌즈(101)의 특정 설계와 도구(100)의 동작 파장에 의존한다. 일부 실시예에서 EUV 리소그래피용으로 설계된 도구에서와 같은 경우, L이 약 1m 내지 약 3m의 범위(예컨대, 약 1.5m 내지 약 2.5m의 범위) 내에 있다. 어떤 실시예에서는, L이 약 1.9m 이하(예컨대, 약 1.8m 이하, 약 1.7m 이하, 약 1.6m 이하, 약 1.5m 이하)와 같이, 2m 보다 작다. L은 약 0.2m 이상(예컨대, 약 0.3m 이상, 약 0.4m 이상, 약 0.5m 이상, 약 0.6m 이상, 약 0.7m 이상, 약 0.8m 이상, 약 0.9m 이상, 약 1m 이상)일 수 있다.
- [0088] 트랙길이에 대한 이미지화된 복사선의 광학 경로 길이의 비는, 투영 대물렌즈(101)의 특정 설계에 의존하여 변한다. 일부 실시예에서, 이러한 트랙길이에 대한 광학 경로 길이의 비는 비교적 높을 수 있다. 예컨대, 트랙길이에 대한 광학 경로 길이의 비는 약 2 이상(예컨대, 약 2.5 이상, 약 3 이상, 약 3.5 이상, 약 4 이상, 약 4.5 이상, 약 5 이상)일 수 있다.
- [0089] 투영 대물렌즈(101)는, 대응하는 이미지 평면(102)에서의 필드의 치수에 대한 물체 평면(103)에서의 필드의 치수의 비를 가리키는 확대 비(magnification ratio)를 가진다. 통상, 리소그래피 도구에 사용된 투영 대물렌즈는 감소 투영 대물렌즈인데, 이는 그것들이 이미지의 치수를 감소시키거나 이미지를 축소하는 것을 의미한다. 그러므로 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈(101)는 치수가 물체 평면(103)에서의 치수에 비해 약 2X 이상(예컨대, 약 3X 이상, 약 4X 이상, 약 5X 이상, 약 6X 이상, 약 7X 이상, 약 8X 이상, 약 9X 이상, 약 10X 이상)만큼 감소되는 이미지 평면(102)에서 필드를 만들 수 있다. 다시 말해, 투영 대물렌즈(101)는 약 2X 이상(예컨대, 약 3X 이상, 약 4X 이상, 약 5X 이상, 약 6X 이상, 약 7X 이상, 약 8X 이상, 약 9X 이상, 약 10X 이상)의 축소를 행할 수 있다. 하지만, 더 일반적으로는 투영 대물렌즈가 확대된 이미지 또는 물체와 동일한 크기의 이미지를 제공하도록 설계될 수 있다.

[0090] 또한 도 2a를 참조하면, 광선(152)이 이미지 평면(102)에서 레티클 이미지를 형성하는 광 경로의 원뿔체를 정의한다. 광선의 원뿔체의 각도는 투영 대물렌즈(101)의 이미지 측 개구수(NA)에 관련된다. 이미지 측 NA는

[0091]
$$NA = n_0 \sin \theta_{\text{최대}}$$

[0092] 로 표현될 수 있고, 여기서 n_0 는 기관(150)의 표면에 인접한 침산(immersing) 매체(예컨대, 공기, 질소, 물, 또는 진공 환경)의 굴절률을 가리키며, $\theta_{\text{최대}}$ 는 투영 대물렌즈(101)로부터의 이미지 형성 광선의 최대 원뿔체 각도의 절반이다.

[0093] 일반적으로, 투영 대물렌즈(101)는 약 0.1 이상(예컨대, 약 0.15 이상, 약 0.2 이상, 약 0.25 이상, 약 0.28 이상, 약 0.3 이상, 약 0.35 이상)의 이미지 측 NA를 가질 수 있다. 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈(101)는 비교적 높은 이미지 측 NA를 가진다. 예컨대, 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈(101)는 0.4 보다 큰(예컨대, 약 0.45 이상, 약 0.5 이상, 약 0.55 이상, 약 0.6 이상) 이미지 측 NA를 가질 수 있다. 일반적으로, 투영 대물렌즈(101)의 해상도는 파장(λ)과 이미지 측 NA에 의존하여 변한다. 이론에 속박되지 않을 바, 투영 대물렌즈의 해상도는 공식

[0094]
$$R = k \frac{\lambda}{NA}$$

[0095] 에 기초한 파장과 이미지 측 NA에 기초하여 결정될 수 있고, 여기서, R은 인쇄될 수 있는 최소 치수이며, k는 과정 인자(process factor)라고 부르는 단위가 없는 상수이다. k는 복사선에 연관된 다양한 인자(예컨대, 편광 특성), 조명 특성(예컨대, 부분 기여도, 환상 조명, 쌍극자 설정, 4극자 설정 등) 및 저항 물질에 의존한다. 통상, k는 약 0.4 내지 0.8 사이의 범위에 있지만, 0.4 미만일 수도 있고, 특정 애플리케이션에 있어서는 0.8 보다 높을 수 있다.

[0096] 투영 대물렌즈(101)는 또한 이미지 평면에서 명목상 텔레센트릭하다. 예컨대, 노출된 필드 위의 이미지 평면에서 주 광선들은 약 0.5° 이하(예컨대, 약 0.4° 이하, 약 0.3° 이하, 약 0.2° 이하, 약 0.1° 이하, 약 0.05° 이하, 0.01° 이하, 0.001° 이하)만큼 서로에게 평행함으로부터 벗어날 수 있다. 그러므로, 투영 대물렌즈(101)는 이미지-크기 작용 거리의 범위에 걸쳐 실질적으로 일정한 배율을 제공할 수 있다. 일부 실시예에서, 주 광선은 명목상 이미지 평면(102)에 직교한다. 그러므로, 웨이퍼 표면의 편평하지 않은 지형 또는 이미지 평면의 초점 흐려짐은 이미지 평면에서의 왜곡 또는 차광 효과를 초래하지 않는다.

[0097] 어떤 실시예에서는, 투영 대물렌즈(101)가 비교적 높은 해상도(즉, R의 값은 비교적 작을 수 있다)를 가진다. 예컨대, R은 약 150nm 이하(예컨대, 약 130nm 이하, 약 100nm 이하, 약 75nm 이하, 약 50nm 이하, 약 40nm 이하, 약 35nm 이하, 약 32nm 이하, 약 30nm 이하, 약 28nm 이하, 약 25nm 이하, 약 22nm 이하, 약 20nm 이하, 약 18nm 이하, 약 17nm 이하, 약 16nm 이하, 약 15nm 이하, 약 14nm 이하, 약 13nm 이하, 약 12nm 이하, 약 11nm 이하, 약 10nm와 같은)일 수 있다.

[0098] 투영 대물렌즈(101)에 의해 형성된 이미지의 품질은 다양한 상이한 방식으로 정량화될 수 있다. 예컨대, 이미지는 가우시안 광학 기기와 연관된 이상화된 조건으로부터 측정된 또는 계산된 이미지의 벗어남에 기초하여 특징이 정해질 수 있다. 이들 벗어남은 일반적으로 수차(aberration)라고 알려져 있다. 이상적이거나 바라는 모양으로부터 파면의 편향을 정량화하기 위해 사용된 한 가지 측정 단위는, 평균 제곱근 파면 에러(W_{rms})이다. W_{rms} 는 본 명세서에서 참조로 통합되는, Michael Bass에 의해 편집된 "Handbook of Optics" Vol. I, 2판(McGraw-Hill, Inc., 1995) 페이지 35.3에서 정의된다. 일반적으로, 대물렌즈에 대한 W_{rms} 값이 낮을수록, 그것의 바라는 또는 이상적인 모양으로부터 파면이 편향되는 것이 덜하게 되고, 이미지의 품질이 더 나아진다. 어떤 실시예에서는, 투영 대물렌즈(101)가 이미지 평면(102)에서 이미지에 대해 비교적 작은 W_{rms} 를 가질 수 있다. 예컨대, 투영 대물렌즈(101)는 약 0.1λ 이하(예컨대, 약 0.07λ 이하, 약 0.06λ 이하, 약 0.05λ 이하, 약 0.045λ 이하, 약 0.04λ 이하, 약 0.035λ 이하, 약 0.03λ 이하, 약 0.025λ 이하, 약 0.02λ 이하, 약 0.015λ 이하, 약 0.01λ 이하, 약 0.005λ 와 같은)의 W_{rms} 를 가질 수 있다.

[0099] 이미지의 품질을 평가하기 위해 사용될 수 있는 또다른 측정 단위는 필드 곡률이라고 부른다. 필드 곡률은 초점 평면의 필드 포인트 의존 위치에 대한 피크-밸리(peak-to-valley) 거리를 가리킨다. 일부 실시예에서는, 투영 대물렌즈(101)가 이미지 평면(102)에서 이미지에 대한 비교적 작은 필드 곡률을 가질 수 있다. 예컨대, 투영 대

물렌즈(101)는 약 50nm 이하(예컨대, 약 30nm 이하, 약 20nm 이하, 약 15nm 이하, 약 12nm 이하, 10nm 이하)의 이미지-축 필드 곡률을 가질 수 있다.

- [0100] 광학 성능을 평가하기 위해 사용될 수 있는 또다른 측정 단위는 정적왜곡이라고 부른다. 정적왜곡은 이미지 평면에서 이상적인 이미지 포인트 위치로부터의 필드 포인트 의존 편향의 최대 절대값을 가리킨다. 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈(101)는 비교적 작은 최대 왜곡을 가질 수 있다. 예컨대, 투영 대물렌즈(101)는 약 50nm 이하(예컨대, 약 40nm 이하, 약 30nm 이하, 약 20nm 이하, 약 15nm 이하, 약 12nm 이하, 10nm 이하, 9nm 이하, 8nm 이하, 7nm 이하, 6nm 이하, 5nm 이하, 4nm 이하, 3nm 이하, 2nm 이하, 1nm와 같은)의 최대 왜곡을 가질 수 있다.
- [0101] 또한, 어떤 실시예에서는, 왜곡이 이미지 필드에 걸쳐 비교적 작은 양만큼 변할 수 있다. 예컨대, 왜곡은 약 5nm 이하(예컨대, 약 4nm 이하, 약 3nm 이하, 약 2nm 이하, 약 1nm 이하)만큼 변할 수 있다.
- [0102] 반사 광학 시스템으로서, 투영 대물렌즈(101)는 기관(150)의 표면 위에 레티클(140)의 이미지를 형성하는 식으로, 레티클(140)로부터 반사된 복사선을 기관(150)으로 향하게 하도록 배치된 다수의 거울을 포함한다. 투영 대물렌즈의 특정 설계가 아래에 설명된다. 하지만, 더 일반적으로, 거울의 개수, 크기, 구조물은 일반적으로 투영 대물렌즈(101)의 바라는 광학 특성과 도구(100)의 물리적인 강제한 사항에 의존한다.
- [0103] 일반적으로, 투영 대물렌즈(101)에서의 거울의 개수는 변할 수 있다. 통상, 이 거울의 개수는, 바라는 처리량 {예컨대, 이미지 평면(102)에서 이미지를 형성하는 물체로부터의 복사선의 세기}, 바라는 이미지-축 NA, 관련된 이미지 해상도, 및 바라는 최대 푸필 차폐와 같은, 대물렌즈의 광학 성능 특징과 연관된 다양한 성능 트레이드-오프(trade-off)에 관련된다.
- [0104] 일반적으로, 투영 대물렌즈(101)는 적어도 4개의 거울(예컨대, 5개 이상의 거울, 6개 이상의 거울, 7개 이상의 거울, 8개 이상의 거울, 9개 이상의 거울, 10개 이상의 거울, 11개 이상의 거울, 12개 이상의 거울)을 가진다. 대물렌즈의 모든 거울이 물체 평면과 이미지 평면 사이에 위치하는 것이 바람직한 실시예에서는, 대물렌즈(101)가 통상 짝수개의 거울(예컨대, 4개의 거울, 6개의 거울, 8개의 거울, 10개의 거울)을 가지게 된다. 어떤 실시예에서는, 투영 대물렌즈의 모든 거울이 물체 평면과 이미지 평면 사이에 위치하는 곳에서 홀수개의 거울이 사용될 수 있다. 예컨대, 하나 이상의 거울이 비교적 큰 각도로 기울어져 있는 경우, 투영 대물렌즈가 모든 거울이 물체 평면과 이미지 평면 사이에 위치하는 곳에서 홀수개의 거울을 포함할 수 있다.
- [0105] 일반적으로, 투영 대물렌즈(101)에서의 거울 중 적어도 하나는, 회전 비대칭이거나 자유 형태 표면을 가진다. 구면 또는 비구면 거울과는 달리, 자유 형태 거울 표면은 회전 대칭축을 가지지 않는다. 일반적으로, 자유 형태 표면은 회전 대칭인 기준 표면으로부터 편향되고(예컨대, 구면 또는 비구면의 회전 대칭인 기준 표면), 이는 회전 비대칭인 표면에 가장 가깝게 매칭되는 회전 대칭인 표면을 가리킨다.
- [0106] 회전 대칭인 기준 표면은 다음과 같이 자유 형태 거울 표면에 대해 결정될 수 있다. 먼저, 고려중인 자유 형태 거울 표면의 특성을 기술하는 정보를 얻는다. 거울의 광학 데이터가 알려진 실시예에서는, 이 정보가 거울의 기본 반경(예컨대, $1/c$, 여기서 c 는 정점 곡률), 거울의 원뿔 상수(k), 및 거울의 특성을 기술하는 다항식 계수를 결정하는 것을 포함한다. 대안적으로 또는 추가로, 거울의 특성을 기술하는 정보는 거울 표면의 표면 모양 측정(예컨대, 간섭계를 사용하여 얻어진)으로부터 얻어질 수 있다. 표면 모양 측정은 거울의 표면을 기술하는 함수 $z'(x', y')$ 를 제공할 수 있고, 여기서 z' 는 도 2b에 예시된 것과 같은 상이한(x', y') 좌표에 대한 z' -축을 따라 있는 거울 표면의 새그이다. 초기 단계는 또한 거울의 축문을 결정하는 것을 포함하고, 거울의 축문이란 대물렌즈에서 이미지 형성 복사선을 반사하기 위해 실제로 사용되는 거울 표면의 영역을 가리킨다. 이 축문은 광선 추적 프로그램을 사용하여 대물렌즈를 통과하는 광선을 추적하고, 그러한 광선에 의해 접촉된 거울 영역을 추출함으로써 결정될 수 있다.
- [0107] 회전 비대칭인 표면의 특성을 기술하는 정보를 얻고난 후에는, 표면의 중심 이탈(decentration)과 경사가 0인 그 표면에 대한 국부 좌표 시스템이 확립된다. 표면의 경사와 중심 이탈을 설정하는 것은 기준 표면을 결정하고 또한 축(z')을 정의하기 위한 최적화 알고리즘에 대한 잘 정의된 시작 포인트를 주게 되고, 축(z')을 따라 거울 표면과 기준 표면 사이의 새그 차이가 결정될 수 있다. 거울 표면에 대한 광학 데이터가 알려진 곳에서, 원뿔 상수(k)와 기본 반경($1/c$)에 기초하여 z' 축이 결정된다. 광학 데이터의 회전 대칭인 부분에 있어서, z' 축은 회전 비대칭인 표면의 회전 대칭인 부분에 대한 대칭 축이다. 거울 표면이 표면 모양 측정으로부터 특징지어지는 실시예에서는, z' 축이 도량형 축(예컨대, 간섭계 광학 축)에 대응한다. 도 2b는 회전 비대칭인 거울(201)의 2차원 섹션에 대해 그러한 사실을 도시하고, 여기서 국부 좌표 시스템은 x', y', z' 축에 의해 표시된다. 회

전 비대칭인 거울(201)의 측면에 대한 경계선들은, 도 2b에 도시된 단면도에 대해 $x_{\text{최소}}$ 와 $x_{\text{최대}}$ 로 도시되어 있다.

[0108] 이후 초기 기준 표면이 좌표 시스템에 관해 확립된다. 초기 기준 표면은 경사가 0이고 중심 이탈이 0이다. 초기 기준 표면은 구면이거나 회전 대칭인 비구면이다. 초기 기준 표면은 회전 비대칭인 거울 표면에 근사하는 회전 대칭인 표면을 지정함으로써 확립된다. 이 초기 기준 표면은 최적화 알고리즘에 대한 시작 포인트를 나타낸다. 일단 초기 기준 표면이 확립되면, 초기 기준 표면의 다수의 포인트와 국부 좌표 시스템의 z' 축을 따라 측정된 회전 비대칭인 표면 측면의 표면 위의 포인트들 사이의 국부 거리(b_i)($i=1..N$)가 결정된다. 그 다음, 다수의 맞춤(fitting) 파라미터와 맞춤 알고리즘을 사용하여, 국부 거리(d_i)에 대한 최소값을 결정함으로써, 회전 대칭인 기준 표면{도 2b에서의 표면(211)}이 확립된다. 회전 대칭인 기준 표면이 구면인 경우에는, 파라미터가 국부 좌표 시스템 내의 구면의 중심의 위치, 기준 표면의 반경을 포함한다. 도 2b에서, 좌표 시스템 원점으로부터 구면 중심의 중심을 벗어나는 것이 좌표 x_c 와 z_c 에 의해 도시되어 있다(y' 축을 따라 양(y_c))만큼의 중심 이탈이 도 2b에 도시되어 있지 않다). 구면의 반경은 R로 지정된다. 파라미터(R, x_c , y_c , z_c)는 방정식

[0109]
$$z' = (R^2 - (x' - x_c)^2 - (y' - y_c)^2)^{1/2} - z_c$$

[0110] 에 기초하여 국부 거리(d_i)에 대해 최소값을 제공하도록 최적화되고, 여기서 이 방정식은 좌표(x_c , y_c , z_c)에 중심을 두고 반경이 R인 구면에 대한 방정식이다.

[0111] 회전 대칭인 기준 표면이 비구면인 경우, 파라미터는 기준면의 중심 이탈, 경사, 베이스 반경, 원뿔 상수 및 비구면 계수를 포함할 수 있다. 이들 파라미터는 방정식

[0112]
$$z' = \frac{c'h^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k')c'^2h^2}} + \sum_j A'_j h^{2j},$$

[0113] 에 기초하여 결정될 수 있고, 이 방정식은 원뿔 및 비구면을 기술하는 방정식이다. 여기서 $h^2 = x'^2 + y'^2$ 이고, A'_j 는 원뿔 표면으로부터 회전 대칭인 기준면의 편향의 특성을 기술하는 계수이다. 일반적으로, 거울 표면에 기준면을 맞추기 위해 사용된 비구면 계수(A'_j)는 표면을 계산하기 위해 사용되는 시스템의 계산 능력, 이용 가능한 시간, 및 바라는 정확도 레벨에 의존하여 변할 수 있다. 일부 실시예에서, 기준면은 3차까지 비구면 계수를 사용하여 계산될 수 있다. 어떤 실시예에서는, 3차보다 높은(예컨대, 4차, 6차) 계수가 사용된다. 원뿔 및 비구면의 파라미터화의 추가 논의를 위해서는, 예컨대, Optical Research Associates{캘리포니아주 패서디나(Pasadena) 소재}로부터 이용 가능한 코드 V에 대한 제품 매뉴얼을 보라.

[0114] 일반적으로, 맞춤은 다양한 최적화 알고리즘을 사용하여 수행될 수 있다. 예컨대, 일부 실시예에서, 댐핑된(damped) 최소 제곱 맞춤 알고리즘과 같은 최소 제곱 맞춤 알고리즘이 사용될 수 있다. 댐핑된 최소 제곱 맞춤 알고리즘은, 예컨대 Code V 또는 ZEMAX(영국 Stansted 소재의 Optima Research사로부터 이용 가능한)와 같은 상업적으로 이용 가능한 광학 설계 소프트웨어를 사용하여 수행될 수 있다.

[0115] 회전 대칭인 기준면이 결정된 후에는, 거울 표면 위에서의 추가 포인트 사이의 국부적인 거리가 결정되고 시각화될 수 있다. 회전 대칭인 기준면의 추가 특징이 결정될 수 있다. 예컨대, 회전 비대칭인 거울 표면으로부터 회전 대칭인 기준면의 최대 편향이 결정될 수 있다.

[0116] 자유 형태 표면은, 예컨대 최상으로 맞는 구면 또는 회전 대칭인 기준면으로부터 약 λ 이상(예컨대, 약 10λ 이상, 약 20λ 이상, 약 50λ 이상, 약 100λ 이상, 약 150λ 이상, 약 200λ 이상, 약 500λ 이상, 약 1000λ 이상, 약 10000λ 이상, 약 50000λ 이상)만큼의 최대 편향을 가질 수 있다. 자유 형태 표면은 약 λ 이상(예컨대, 약 5λ 이상, 약 10λ 이상, 약 20λ 이상, 약 50λ 이상, 약 100λ 이상, 약 200λ 이상, 약 500λ 이상, 약 1000λ 이상, 약 10000λ 이상)의 최상으로 맞는 회전 대칭인 구면으로부터의 최대 편향을 가질 수 있다. 일부 실시예에서는, 자유 형태 표면이 약 1000λ 이하(예컨대, 약 900λ 이하, 약 800λ 이하, 약 700λ 이하, 약 600λ 이하, 약 500λ 이하)의 최상으로 맞는 회전 대칭인 비구면으로부터의 최대 편향을 가질 수 있다.

[0117] 어떤 실시예에서는, 자유 형태 표면이 10nm 이상(예컨대, 약 100nm 이상, 약 500nm 이상, 약 1 μ m 이상, 약 5 μ m 이상, 약 10 μ m 이상, 약 50 μ m 이상, 약 100 μ m 이상, 약 200 μ m 이상, 약 500 μ m 이상, 약 1000 μ m, 약 2000 μ m 이상, 약 3000 μ m 이상)만큼 최상으로 맞는 구면으로부터 최대 편향을 가진다. 자유 형태 표면은 약 10mm 이하(예컨대, 약 5mm 이하, 약 3mm 이하, 약 2mm 이하, 약 1mm 이하, 약 500 μ m 이하)만큼 최상으로 맞는 구면으로부터

최대 편향을 가질 수 있다.

[0118] 자유 형태 표면은 10nm 이상(예컨대, 약 100nm 이상, 약 500nm 이상, 약 1 μ m 이상, 약 5 μ m 이상, 약 10 μ m 이상, 약 50 μ m 이상, 약 100 μ m 이상, 약 200 μ m 이상, 약 500 μ m 이상, 약 1000 μ m)만큼 최상으로 맞는 회전 대칭인 비구면으로부터 최대 편향을 가질 수 있다. 자유 형태 표면은 약 10mm 이하(예컨대, 약 5mm 이하, 약 3mm 이하, 약 2mm 이하, 약 1mm 이하, 약 500 μ m 이하)만큼 최상으로 맞는 회전 대칭인 비구면으로부터 최대 편향을 가질 수 있다.

[0119] 거울 표면의 곡률은 제 1 및 제 2 평균 주 곡률로부터 특징지어지며, 이들 제 1 및 제 2 평균 주 곡률은 중심 필드 포인트의 주 광선을 반사시키는 각 거울 표면 위의 포인트에서 결정된다. 제 1 및 제 2 주 곡률은 I.N.Bronstein 등에 의한 Handbook of Mathematics 4판(2004년 Springer) 567페이지에 설명된 것과 같이 계산된다. 일반적으로, 거울에 대한 제 1 주 곡률은 그 거울에 대한 제 2 주 곡률과는 상이할 수 있다. 일부 실시예에서는, 제 1 주 곡률과 제 2 주 곡률 사이의 차이의 절대값은 약 10⁻⁸ 이상(예컨대, 10⁻⁷ 이상, 5 × 10⁻⁷ 이상, 약 10⁻⁶ 이상, 약 5 × 10⁻⁶ 이상, 약 10⁻⁵ 이상, 약 5 × 10⁻⁵ 이상, 약 10⁻⁴ 이상, 약 5 × 10⁻⁴ 이상, 약 10⁻³ 이상)일 수 있다.

[0120] 일반적으로, 제 1 및/또는 제 2 주 곡률은 양이거나 음의 값일 수 있다. 거울 표면에 대한 제 1 및/또는 제 2 주 곡률은 비교적 작을 수 있다. 예컨대, 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈(101)에서의 하나 이상의 거울에 대한 제 1 주 곡률의 절대값이 약 10⁻² 이하(예컨대, 약 5 × 10⁻³ 이하, 약 3 × 10⁻³ 이하, 약 2 × 10⁻³ 이하, 약 10⁻³ 이하)이다. 투영 대물렌즈(101)에서의 거울에 대한 제 1 주 곡률의 합의 절대값은 약 10⁻³ 이하(예컨대, 약 5 × 10⁻⁴ 이하, 약 3 × 10⁻⁴ 이하, 약 2 × 10⁻⁴ 이하, 약 10⁻⁴ 이하, 5 × 10⁻⁵ 이하, 10⁻⁵ 이하)일 수 있다.

[0121] 어떤 실시예에서는, 투영 대물렌즈(101)에서의 하나 이상의 거울에 대한 제 2 주 곡률의 절대값이 약 10⁻² 이하(예컨대, 약 5 × 10⁻³ 이하, 약 3 × 10⁻³ 이하, 약 2 × 10⁻³ 이하, 약 10⁻³ 이하)이다. 투영 대물렌즈(101)에서의 거울에 대한 제 2 주 곡률의 합의 절대값은 약 10⁻³ 이하(예컨대, 약 5 × 10⁻⁴ 이하, 약 3 × 10⁻⁴ 이하, 약 2 × 10⁻⁴ 이하, 약 10⁻⁴ 이하, 5 × 10⁻⁵ 이하, 10⁻⁵ 이하)일 수 있다.

[0122] 투영 대물렌즈(101)에서의 거울의 제 1 주 곡률과 제 2 주 곡률의 합, 즉 투영 대물렌즈(101)에서의 모든 거울의 제 1 주 곡률의 합, 투영 대물렌즈(101)에서의 모든 거울의 제 2 주 곡률의 합 또는 투영 대물렌즈(101)에서의 모든 거울의 모든 제 1 주 곡률과 제 2 주 곡률의 합은 비교적 작을 수 있다. 예컨대, 거울의 제 1 주 곡률과 제 2 주 곡률의 합의 절대값은, 약 10⁻³ 이하(예컨대, 약 5 × 10⁻⁴ 이하, 약 3 × 10⁻⁴ 이하, 약 2 × 10⁻⁴ 이하, 약 10⁻⁴ 이하, 5 × 10⁻⁵ 이하, 10⁻⁵ 이하)일 수 있다.

[0123] 어떤 실시예에서는 자유 형태 거울 표면이 방정식

$$Z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^{66} C_j X^m Y^n$$

[0124] 에 의해 수학적으로 기술될 수 있고, 여기서

$$j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1,$$

[0127] 이며, Z는 Z축에 평행한 표면{투영 대물렌즈(101)에서의 z축에 평행하거나 평행하지 않을 수 있는, 즉 일반적으로 투영 대물렌즈(101)에서의 z축에 대해 중심이 벗어나 있고 경사져 있음}의 새그이며, c는 정점 곡률에 대응하는 상수, k는 원뿔 상수, C_j는 단항식(X^mYⁿ)의 계수이다. 통상적으로, c, k, 및 C_j의 값은 투영 대물렌즈(101)에 관한 거울의 바라는 광학 특성에 기초하여 결정된다. 또한, 단항식의 차수인 m+n은 바라는 대로 변할 수 있다. 일반적으로, 단항식의 차수가 높아질수록, 수차 보정의 레벨이 더 높아진 투영 대물렌즈 설계를 제공할 수 있지만, 단항식의 차수가 높아지게 되면 통상적으로 결정하는데 있어 계산상 비용이 많아지게 된다. 일부 실시예에서는, m+n이 10 이상(예컨대, 15 이상, 20 이상)이다. 아래에 논의된 것처럼, 자유 형태 거울 방정식에 대한 파라미터는 상업적으로 이용 가능한 광학 설계 소프트웨어를 사용하여 결정될 수 있다. 일부 실시예에서,

$m+n$ 은 10 미만(예컨대, 9 이하, 8 이하, 7 이하, 6 이하, 5 이하, 4 이하, 3 이하)이다.

- [0128] 일반적으로 자유 형태 표면은 위에서 제시된 것 외의 방정식을 사용하여 수학적으로 설명될 수 있다. 예컨대, 일부 실시예에서는 자유 형태 표면이 제니케(Zernike) 다항식(캘리포니아주 패서디나(Pasadena) 소재의 Optical Research Associates로부터 상업적으로 이용 가능한 CODE V[®]에 대한 매뉴얼에서 제시된 것과 같은)을 사용하거나 2차원 스플라인(spline) 표면을 사용하여 수학적으로 설명될 수 있다. 2차원 스플라인 표면의 예는 베지어(Bezier) 스플라인 또는 균일하지 않은 유리(rational) 베지어 스플라인(NURBS: non-uniform rational Bezier splines)이다. 2차원 스플라인 표면은, 예컨대 x - y 평면에서의 포인트, 대응하는 z 값 또는 기울기 및 이들 포인트의 격자(grid)에 의해 설명될 수 있다. 특정 타입의 스플라인 표면에 의존하여, 완전한 표면이 예컨대 연속성 또는 미분 가능성(differentiability)(예컨대, 해석 함수들)에 관해 일정한 특성을 가지는 다항식 또는 함수를 사용하여 격자 포인트 사이의 특정 보간에 의해 얻어진다.
- [0129] 일반적으로, 투영 대물렌즈(101)에서의 자유 형태 거울의 개수와 위치는 변할 수 있다. 실시예는 2개 이상의 자유 형태 거울(예컨대, 3개 이상의 자유 형태 거울, 4개 이상의 자유 형태 거울, 5개 이상의 자유 형태 거울, 6개 이상의 자유 형태 거울)을 지닌 투영 대물렌즈를 포함한다.
- [0130] 투영 대물렌즈(101)는 일반적으로 양의 광학적 확대력을 지닌 하나 이상의 거울을 포함한다. 다시 말해, 거울의 반사성 부분은 오목한 표면을 가지고 오목 거울이라고 부른다. 투영 대물렌즈(101)는 2개 이상(예컨대, 3개 이상, 4개 이상, 5개 이상, 6개 이상)의 오목한 거울을 포함할 수 있다. 투영 대물렌즈(101)는 또한 음의 광학적 확대력을 가지는 하나 이상의 거울을 포함할 수 있다. 이는 하나 이상의 거울이 볼록한(convex) 표면을 지닌 반사성 부분을 가진다는 것을 의미한다(볼록 거울이라고 부름). 일부 실시예에서는, 투영 대물렌즈(101)가 2개 이상(예컨대, 3개 이상, 4개 이상, 5개 이상, 6개 이상)의 볼록한 거울을 포함한다.
- [0131] 6개의 거울을 포함하는 투영 대물렌즈의 일 실시예가 도 3에 도시되어 있다. 본질적으로 투영 대물렌즈(300)는 6개의 자유 형태 거울(310, 320, 330, 340, 350, 360)을 포함한다. 투영 대물렌즈(300)에 대한 데이터는 아래의 표 1a와 표 1b에 나타나 있다. 표 1a는 광학 데이터를 나타내고, 표 1b는 각 거울 표면에 대한 자유 형태의 상수를 나타낸다. 표 1a와 표 1b의 목적상, 거울 지시 표시는 다음과 같이 서로 관련된다. 즉 거울1(M1)은 거울(310)에 대응하고, 거울2(M2)는 거울(320)에 대응하며, 거울3(M3)은 거울(330)에 대응하고, 거울4(M4)는 거울(340)에 대응하며, 거울5(M5)는 거울(350)에 대응하고, 거울6(M6)은 거울(360)에 대응한다. 표 1a와 그 다음 표들에서의 "두께"는, 복사선 경로에서의 인접 요소들 사이의 거리를 가리킨다. 자유 형태 거울에 대한 단항식 계수(C_j)는, 거울이 중심에서 벗어나고 초기 투영 대물렌즈 설계로부터 회전된(또는 경사진) 양과 함께, 표 1b에 제공되고, 반경인 R 은 정점 곡률(c)의 역수이다. 중심 이탈은 mm 단위로 주어지고, 회전은 ° 단위로 주어진다. 단항식 계수에 대한 단위는 mm^{-j+1} 이다. $N_{\text{반경}}$ 은 단위가 없는 스케일링(scaling) 인자이다(예컨대, CODE V[®]에 대한 매뉴얼을 보라).
- [0132] 도 3에서, 투영 대물렌즈(300)는 정점 섹션에 도시되어 있다. 정점 평면은 투영 대물렌즈(300)에 대한 대칭 평면이다. 정점 평면 상의 대칭은, 거울들이 오직 y 축에 관해서 중심이 이탈되고 x 축에 관해서 기울어지는 방식이다. 또한, x 좌표에서 홀수의 차수(degree)를 가지는(예컨대, x , x^3 , x^5 등) 자유 형태 거울에 대한 계수는 0이다.
- [0133] 투영 대물렌즈(300)는 13.5nm의 복사선으로 동작하기 위해 구성되고 0.35의 이미지 측 NA를 가지며, 1500mm의 트랙길이를 가진다. 이미지화된 복사선의 광학 경로 길이는 3833mm이다. 따라서, 트랙길이에 대한 광학 경로 길이의 비는 대략 2.56이다. 투영 대물렌즈는 4X의 배율 축소를 가지고, 100nm 미만의 최대 왜곡을 가지며, W_{rms} 는 0.035λ 이고, 필드 곡률은 28nm이다. 투영 대물렌즈(300)의 추가 특징은 다음에 나오는 투영 대물렌즈(101)의 논의에서 나타난다.
- [0134] 예컨대, 물체 평면(103)으로부터의 복사선 경로에서의 제 1 거울인 거울(310)은 양의 광학적 확대력을 가진다. 거울(320, 340, 360)은 또한 P 거울이다. 거울(330, 350)은 (N) 음의 광학적 확대력을 가진다. 그러므로 투영 대물렌즈(300)에서의 복사선 경로에 있는 거울의 순서는 PPNPNP이다.

표 1a

표면	반경 (mm)	두께 (mm)	모드
물체	무한대	714.025	
거울 1	-1678.761	-414.025	REFL
거울 2	2754.233	564.025	REFL
거울 3	350.451	-316.293	REFL
거울 4	590.379	906.948	REFL
거울 5	433.060	-435.447	REFL
거울 6	521.283	480.767	REFL
이미지	무한대	0.000	

[0135]

표 1b

계수	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-4.724690E+00	-9.830444E+01	-3.914225E-01	-8.227088E-01	7.162282E+00	9.391806E-02
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ²	-1.641507E-04	-1.736185E-04	-2.373278E-04	2.451198E-05	-1.557674E-04	-6.667760E-06
Y ²	-1.752262E-04	-1.741103E-04	-9.708884E-04	-3.130199E-05	1.398839E-04	9.098616E-06
X ² Y	-2.463783E-08	-2.724028E-07	6.327587E-07	-9.301810E-08	9.519017E-07	-8.040311E-10
Y ³	-3.641831E-08	-1.681535E-07	-6.103587E-07	2.218271E-08	6.329282E-07	-4.521618E-10
X ⁴	-1.405718E-10	1.314594E-09	-1.671620E-08	4.569574E-10	7.852021E-10	-5.450396E-11
X ² Y ²	-3.301633E-10	1.799995E-09	9.953323E-09	-1.957005E-10	3.524719E-09	-5.846553E-11
Y ⁴	5.029041E-11	2.141266E-09	2.197236E-09	9.287687E-10	6.848802E-09	-6.829886E-12
X ⁴ Y	2.090103E-13	4.363226E-12	-5.435284E-11	1.915106E-13	-2.016721E-11	5.660569E-15
X ² Y ³	-4.188774E-13	4.826497E-12	3.808642E-11	-5.874603E-12	-1.600920E-11	-1.079542E-14
Y ⁵	-3.154238E-13	-4.239647E-12	-9.502949E-13	9.213338E-13	7.113886E-12	-1.553415E-14
X ⁶	1.150997E-16	-5.978561E-15	1.819755E-13	1.113227E-15	-7.841517E-14	-1.105247E-16
X ⁴ Y ²	-1.278596E-15	-1.564797E-14	-9.716106E-14	4.491475E-15	2.513948E-14	-2.683146E-16
X ² Y ⁴	4.862795E-15	2.347370E-14	-8.086932E-14	-1.357215E-14	7.550314E-13	-1.006466E-16
Y ⁶	-2.281966E-15	6.013241E-15	-9.790347E-15	9.777397E-16	5.013963E-13	2.221551E-17
X ⁶ Y	1.931804E-18	-3.973144E-17	1.435292E-15	2.420914E-18	1.092143E-15	2.493748E-20
X ⁴ Y ³	1.873466E-17	-2.704307E-16	6.491544E-16	1.627727E-18	4.414328E-15	-3.302939E-21
X ² Y ⁵	-1.108422E-17	-6.723973E-16	1.496578E-17	-1.880319E-17	8.552963E-15	-3.287503E-20
Y ⁷	1.208226E-17	-3.735956E-17	5.421342E-17	-8.994976E-19	4.894980E-15	-1.747517E-20
X ⁸	-6.860939E-22	3.733020E-20	-1.370615E-17	-3.978807E-21	-1.975913E-18	-3.966972E-22
X ⁶ Y ²	-2.665919E-20	-1.577571E-19	1.832427E-17	-2.552872E-21	-2.066761E-17	-1.153602E-21
X ⁴ Y ⁴	-1.606232E-19	9.112068E-19	3.422045E-18	-4.011070E-20	-4.034354E-17	-9.786532E-22
X ² Y ⁶	-7.104780E-20	4.547933E-18	3.897160E-19	8.558317E-21	3.324806E-17	-2.054121E-22
Y ⁸	-2.837115E-20	3.557864E-20	-5.077104E-20	8.825661E-22	3.460507E-17	4.049399E-23
X ⁸ Y	1.837688E-23	1.087991E-21	-7.892883E-20	-4.154231E-23	3.418177E-20	2.593417E-25
X ⁶ Y ³	1.326930E-22	6.381757E-21	8.816591E-20	-7.838712E-23	-1.567137E-20	3.310704E-25
X ⁴ Y ⁵	5.956987E-22	3.566833E-22	3.431915E-21	-1.727422E-22	-2.315754E-19	1.062541E-25
X ² Y ⁷	4.749865E-22	-1.305899E-20	-1.115108E-21	2.927898E-23	0.000000E+00	5.083980E-27
Y ⁹	2.880675E-23	3.134161E-21	4.687247E-23	-2.354646E-24	0.000000E+00	-4.697062E-26
X ¹⁰	3.263322E-27	-1.350621E-25	7.223418E-23	3.596439E-27	0.000000E+00	-1.214434E-27
X ⁸ Y ²	-7.476461E-26	-8.102951E-24	-1.439645E-22	-6.842489E-26	0.000000E+00	-7.139344E-27
X ⁶ Y ⁴	-2.162180E-25	-1.982986E-23	1.317953E-22	-1.079450E-25	0.000000E+00	-8.881170E-27
X ⁴ Y ⁶	-8.415305E-25	-1.821358E-26	-5.971700E-24	-1.561940E-25	0.000000E+00	-3.378805E-27
X ² Y ⁸	-8.228853E-25	3.745838E-24	-3.016526E-24	3.289669E-26	0.000000E+00	1.400401E-27
Y ¹⁰	2.644302E-26	-1.118733E-23	5.389015E-25	-3.012754E-27	0.000000E+00	9.011434E-28
N 반경	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y- 중심벗어남	-100.000	-84.186	100.000	19.008	11.570	24.216
X- 회전	-7.020	-1.728	-11.272	-5.323	-2.295	-1.825

[0136]

[0137]

투영 대물렌즈(300)에서의 거울에 있어서, 각 거울에 대한 최상의 맞는 구면으로부터의 자유 형태 표면의 최대 편향은 다음과 같다. 즉 거울(310)에 대해서는 154 μ m, 거울(320)에 대해서는 43 μ m, 거울(330)에 대해서는 240 μ m, 거울(340)에 대해서는 1110 μ m, 거울(350)에 대해서는 440 μ m, 거울(360)에 대해서는 712 μ m이다. 최상의 맞는 회전 대칭인 비구면으로부터의 자유 형태 표면의 최대 편향은 거울(310)에 대해서는 47 μ m이고, 거울(320)에 대해서는 33 μ m이며, 거울(330)에 대해서는 96 μ m, 거울(340)에 대해서는 35 μ m, 거울(350)에 대해서는 152 μ m, 거울(360)에 대해서는 180 μ m이다.

[0138]

거울(310)에 대한 제 1 및 제 2 주 곡률은 각각 9.51×10^{-4} 과 9.30×10^{-4} 이다. 투영 대물렌즈(300)에서의 나머지 거울에 대한 각각의 제 1 및 제 2 주 곡률은 다음과 같다. 즉, 거울(320)에 대해서는 2.76×10^{-5} 과 1.56×10^{-5} , 거울(330)에 대해서는 -2.38×10^{-3} 과 -2.17×10^{-3} , 거울(340)에 대해서는 1.79×10^{-3} 과 1.75×10^{-3} , 거울(350)에 대해서는 -2.64×10^{-3} 과 -2.10×10^{-3} , 거울(360)에 대해서는 1.93×10^{-3} 과 1.91×10^{-3} 이다. 투영

대물렌즈(300)에 대한 제 1 주 곡률의 합은 -3.19×10^{-4} 이다. 제 2 주 곡률의 합은 3.29×10^{-4} 이다. 제 1 주 곡률과 제 2 주 곡률의 합은 9.97×10^{-6} 이고, 제 1 주 곡률과 제 2 주 곡률의 합의 역수는 1.00×10^5 이다.

[0139] 어떤 실시예에서는, 투영 대물렌즈(101)에서의 거울의 배치가 물체 평면(103)으로부터의 하나 이상의 중간 이미지 평면으로의 복사선을 이미지화한다. 예컨대, 투영 대물렌즈(300)는 물체 평면(103)으로부터의 거울(360) 부근의 위치(305)에서 중간 이미지로의 복사선을 이미지화한다. 하나 이상의 중간 이미지를 가지는 실시예는 또한 2개 이상의 퓨필 평면을 포함한다. 일부 실시예에서는, 이들 퓨필 평면 중 적어도 하나가 구경 조리개를 실질적으로 퓨필 평면에 놓을 목적으로 물리적으로 접근 가능하다. 구경 조리개는 투영 대물렌즈의 개구의 크기를 정의하기 위해 사용된다.

[0140] 투영 대물렌즈(101)에서의 중간 이미지에서의 코마(coma)는 비교적 클 수 있다. 코마는 주 광선과, 상부 광선과 하부 광선이 교차하는 포인트에서의 상부 층 및 하부 층 사이의 거리에 의해 정량화될 수 있다. 일부 실시예에서, 이 거리는 약 1mm 이상(예컨대, 약 2mm 이상, 약 3mm 이상, 약 4mm 이상, 약 5mm 이상, 약 6mm 이상, 약 7mm와 같은)일 수 있다. 투영 대물렌즈에서의 중간 이미지에서의 코마는 비교적 작을 수 있다. 일부 실시예에서, 그 거리는 약 1mm 이하(예컨대, 0.1mm 이하, 0.01mm 이하)일 수 있다.

[0141] 일반적으로, 투영 대물렌즈(101)에서의 거울은 그것들이 직각으로 입사하거나 입사 각도의 일정한 범위에 걸쳐 입사하는 파장(λ)의 상당한 양의 복사선을 반사하도록 형성된다. 거울은, 예컨대 그것들이 λ 로 직각으로 입사하는 복사선의 약 50% 이상(예컨대, 약 60% 이상, 약 70% 이상, 약 80% 이상, 약 90% 이상, 약 95% 이상, 98% 이상)을 반사하도록 형성될 수 있다.

[0142] 일부 실시예에서는, 거울이 λ 로 직각으로 입사하는 복사선을 실질적으로 반사하도록 배치된 상이한 물질의 막들의 다층 스택(stack)을 포함한다. 그 스택에서의 각 막은 약 $\lambda/4$ 의 광학 두께를 가질 수 있다. 다층 스택은 약 20개 이상(예컨대, 약 30개 이상, 약 40개 이상, 약 50개 이상)의 막을 포함할 수 있다. 일반적으로, 다층 스택을 형성하기 위해 사용된 물질은 동작 파장(λ)에 기초하여 선택된다. 예컨대, 몰리브덴과 실리콘이 교대로 나타나는 다층 막 또는 몰리브덴과 베릴륨이 교대로 나타나는 다층 막이, 10nm 내지 30nm의 범위에서(예컨대, 각각 약 13nm와 약 11nm의 λ 에 대해서) 복사선을 반사하기 위한 거울을 형성하기 위해 사용될 수 있다. 일반적으로, 몰리브덴과 실리콘이 교대로 나타나는 다층 막은 $\lambda = 11\text{nm}$ 에 대해 선호되고, 몰리브덴과 베릴륨이 교대로 나타나는 다층 막은 $\lambda = 13\text{nm}$ 에 대해 선호된다.

[0143] 어떤 실시예에서는, 거울이 알루미늄의 단일 층으로 코팅되고 MgF_2 , LaF_2 또는 Al_2O_3 로부터 형성된 층과 같은 유전체 물질의 하나 이상의 층으로 오버코팅된(overcoated) 석영 유리(quartz glass)로 만들어진다. 유전체 코팅을 지닌 알루미늄으로부터 형성된 거울은, 예컨대 약 193nm의 파장을 가지는 복사선에 대해 사용될 수 있다.

[0144] 일반적으로, 거울에 의해 반사된 λ 에서의 복사선의 백분율은 거울 표면 위의 복사선의 입사 각도의 함수로서 변한다. 이미지화된 복사선이 다수의 상이한 경로를 따라 반사 광학 투영 대물렌즈를 통해 전파하기 때문에, 각 거울 위에서의 복사선의 입사 각도는 변할 수 있다. 이 효과는 도 4를 참조하여 예시되고, 이 도 4는 정점 섹션에서, 오목한 반사성 표면(401)을 포함하는 거울(400)의 일 부분을 도시한다. 이미지화된 복사선은 광선(410, 420, 430)에 의해 도시된 경로를 포함하는 다수의 상이한 경로를 따라 표면(401) 위에 입사된다. 광선(410, 420, 430)은 표면법선이 상이한 표면(401)의 부분 위에 입사한다. 이들 부분에서 표면 법선의 방향은 선(411, 421, 431)에 의해 도시되어 있고, 이들은 각각 광선(410, 420, 430)에 대응한다. 광선(410, 420, 430)은 각각 각도(θ_{410} , θ_{420} , θ_{430})로 표면(401) 위에 입사한다. 일반적으로, 각도(θ_{410} , θ_{420} , θ_{430})는 변할 수 있다.

[0145] 투영 대물렌즈(101)의 각 거울에 있어서, 이미지화된 복사선의 입사각은 다양한 방식으로 그 특성이 기술될 수 있다. 그 중 한 가지는 투영 대물렌즈(101)의 정점 섹션에서 각 거울 위에서의 정점 광선의 최대 입사각이다. 정점 광선은 정점 섹션에 놓여있는 광선을 가리킨다. 일반적으로, $\theta_{\text{최대}}$ 는 투영 대물렌즈(101)에서의 상이한 거울에 대해 변할 수 있다.

[0146] 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈(101)에서의 모든 거울에 대한 $\theta_{\text{최대}}$ 의 최대값은 약 75° 이하(예컨대, 약 70° 이하, 약 65° 이하, 약 60° 이하, 약 55° 이하, 약 50° 이하, 약 45° 이하)이다. $\theta_{\text{최대}}$ 는 약 5° 이상(예컨대, 약 10° 이상, 약 20° 이상)일 수 있다. 일부 실시예에서, $\theta_{\text{최대}}$ 의 최대값은 비교적 낮을 수 있다. 예컨대, $\theta_{\text{최대}}$ 의 최대값은 약 40° 이하(예컨대, 약 35° 이하, 약 30° 이하, 약 25° 이하, 약 20° 이하, 약 15° 이하, 약 13° 이하, 약 10° 이하)일 수 있다.

- [0147] 일 예로서, 투영 대물렌즈(300)에서 거울(310)에 대한 $\theta_{\text{최대}}$ 는 8.22° , 거울(320)에 대한 $\theta_{\text{최대}}$ 는 10.38° , 거울(330)에 대한 $\theta_{\text{최대}}$ 는 22.35° , 거울(340)에 대한 $\theta_{\text{최대}}$ 는 7.49° , 거울(350)에 대한 $\theta_{\text{최대}}$ 는 24.58° , 거울(360)에 대한 $\theta_{\text{최대}}$ 는 6.15° 이다.
- [0148] 일부 실시예에서, 이미지-측 NA에 대한 $\theta_{\text{최대}}$ 의 최대값($^\circ$)의 비는 약 100 이하(예컨대, 약 80 이하, 약 70 이하, 68 이하, 약 60 이하, 약 50 이하, 약 40 이하, 약 30 이하)일 수 있다.
- [0149] 또다른 특성 기술은 투영 대물렌즈(101)의 정점 섹션에서의 각 거울 위에서의 중심 필드 포인트에 대응하는 주 광선의 입사각이다. 이 각은 θ_{CR} 라고 부른다. 일반적으로, θ_{CR} 은 변할 수 있다. 예컨대, 투영 대물렌즈(300)에 있어서, 거울(310)은 6.59° 의 θ_{CR} 을 가지고, 거울(320)은 7.93° 의 θ_{CR} 을 가지며, 거울(330)은 20.00° 의 θ_{CR} 을 가지고, 거울(340)은 7.13° 의 θ_{CR} 을 가지며, 거울(350)은 13.06° 의 θ_{CR} 을 가지고, 거울(360)은 5.02° 의 θ_{CR} 을 가진다. 일부 실시예에서는 투영 대물렌즈(101)에서의 θ_{CR} 의 최대값인 $\theta_{\text{CR}}(\text{최대})$ 은 비교적 낮을 수 있다. 예컨대, $\theta_{\text{CR}}(\text{최대})$ 은 약 35° 이하(예컨대, 약 30° 이하, 약 25° 이하, 약 20° 이하, 약 15° 이하, 약 13° 이하, 약 10° 이하, 약 8° 이하, 약 5° 이하)일 수 있다. 투영 대물렌즈(300)에 있어서 거울(330)에 대한 θ_{CR} 인 $\theta_{\text{CR}}(\text{최대})$ 은 20.00° 이다.
- [0150] 일부 실시예에서, 이미지-측 NA에 대한 $\theta_{\text{CR}}(\text{최대})$ 의 최대값($^\circ$)의 비는 약 100 이하(예컨대, 약 80 이하, 약 70 이하, 68 이하, 약 60 이하, 약 50 이하, 약 40 이하, 약 30 이하)일 수 있다.
- [0151] 투영 대물렌즈(100)에서 각 거울은 또한 투영 대물렌즈(101)의 정점 섹션에 대한 광선의 입사각의 범위($\Delta\theta$)에 의해 그 특성이 기술될 수 있다. 각 거울에 있어서, $\Delta\theta$ 는 $\theta_{\text{최대}}$ 와 $\theta_{\text{최소}}$ 사이의 차(difference)에 대응하고, 여기서 $\theta_{\text{최소}}$ 는 투영 대물렌즈(101)의 정점 섹션에서의 각 거울 위에서의 광선의 최소 입사각이다. 일반적으로, $\Delta\theta$ 는 투영 대물렌즈(101)에서의 각 거울에 대해 변할 수 있다. 일부 거울에 있어서, $\Delta\theta$ 는 비교적 작을 수 있다. 예컨대, $\Delta\theta$ 는 약 20° 이하(예컨대, 약 15° 이하, 약 12° 이하, 약 10° 이하, 약 8° 이하, 약 5° 이하, 약 3° 이하, 2° 이하)일 수 있다. 대안적으로, 투영 대물렌즈(101)에서의 일부 거울에 있어서는 $\Delta\theta$ 가 비교적 클 수 있다. 예컨대, 일부 거울에 있어서 $\Delta\theta$ 는 약 20° 이상(예컨대, 약 25° 이상, 약 30° 이상, 약 35° 이상, 약 40° 이상)일 수 있다. 투영 대물렌즈(300)에 있어서, 거울(310)에 대한 $\Delta\theta_{\text{최대}}$ 는 3.34° 이고, 거울(320)에 대한 $\Delta\theta_{\text{최대}}$ 는 4.92° , 거울(330)에 대한 $\Delta\theta_{\text{최대}}$ 는 5.18° , 거울(340)에 대한 $\Delta\theta_{\text{최대}}$ 는 0.98° , 거울(350)에 대한 $\Delta\theta_{\text{최대}}$ 는 24.07° , 거울(360)에 대한 $\Delta\theta_{\text{최대}}$ 는 2.77° 이다.
- [0152] 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈(101)에서의 모든 거울에 대한 $\Delta\theta$ 의 최대값인 $\Delta\theta_{\text{최대}}$ 는 비교적 작을 수 있다. 예컨대, $\Delta\theta_{\text{최대}}$ 는 약 25° 이하(예컨대, 약 20° 이하, 약 15° 이하, 약 12° 이하, 약 10° 이하, 약 9° 이하, 약 8° 이하, 약 7° 이하, 약 6° 이하, 약 5° 이하, 3° 와 같은)이다. 투영 대물렌즈(300)에 있어서, $\Delta\theta_{\text{최대}}$ 는 24.07° 이다.
- [0153] 투영 대물렌즈(101)에서의 복사선 경로의 특성을 기술하는 또다른 방식은 각 거울에서의 주 광선 배율에 의한 것으로, 이는 각 거울로부터의 반사 전후의 주 광선(예컨대, 정점 섹션에서)과 기준 축(105) 사이의 각도의 탄젠트(tangent)의 몫(quotient)을 가리킨다. 예컨대 주 광선(501)이 거울(510)로부터의 반사에 앞서 기준 축(105)으로부터 벗어나고, 기준 축(105) 쪽으로 거울(510)로부터 다시 반사하는 도 5a를 참조하면, 거울(510)은 양의 주 광선 각도 배율을 가진다. 대안적으로 주 광선(502)이 거울(520)로부터의 반사 전과 반사 후 모두에서 기준 축(105)으로부터 발산하는 도 5b를 참조하면, 거울(520)은 음의 주 광선 각도 배율을 가진다. 두 경우 모두, 주 광선 배율은 $\tan(\alpha)/\tan(\beta)$ 로 주어진다. 어떤 실시예에서는 양의 주 광선 각도 배율을 지닌 다수의 거울을 가지는 것이, 투영 대물렌즈에서 하나 이상의 거울 위에서 비교적 큰 입사각에 대응할 수 있다. 따라서, 양의 주 광선 각도 배율을 지닌 한 거울만을 가지는 투영 대물렌즈는 또한 거울 위에서 비교적 낮은 입사 광선 각도를 보여줄 수 있다. 투영 대물렌즈(300)에 있어서, 거울(310, 320, 330, 350)은 음의 주 광선 각도 배율을 가지는데 반해, 거울(340)은 양의 주 광선 각도 배율을 가진다.
- [0154] 투영 대물렌즈(101)에서의 거울의 상대적인 간격은, 투영 대물렌즈의 특정 설계에 따라 달라질 수 있다. 인접 거울 사이의 거리가 비교적 큰(복사선의 경로에 관해) 경우는 거울 위에서의 비교적 낮은 입사 광선 각도에 대

응한다. 어떤 실시예에서는, 투영 대물렌즈(101)가 투영 대물렌즈의 트랙길이의 50% 이상만큼 떨어진 적어도 한 쌍의 인접 거울을 포함할 수 있다. 예컨대, 투영 대물렌즈(300)에서는, 거울(340, 350)이 투영 대물렌즈의 트랙길이의 50% 이상으로 떨어진다.

[0155] 어떤 실시예에서는, 복사선 경로에서 물체 평면과 제 2 거울 사이의 거리(d_{op-2})에 비교해, 복사선 경로에서의 물체 평면과 제 1 거울 사이의 비교적 큰 거리(d_{op-1})를 가지는 것이, 또한 거울 위에서의 비교적 낮은 입사 광선 각도에 대응할 수 있다. 예컨대, d_{op-1}/d_{op-2} 이 약 2 이상(예컨대, 약 2.5 이상, 약 3 이상, 약 3.5 이상, 약 4 이상, 약 4.5 이상, 약 5 이상)인 실시예는 또한 비교적 낮은 입사 광선 각도를 가질 수 있다. 투영 대물렌즈(300)에서, d_{op-1}/d_{op-2} 는 2.38이다.

[0156] 일반적으로, 투영 대물렌즈(101)에서의 족문 크기와 거울의 모양은 변할 수 있다. 족문 모양은 x-y 평면에 투영된 거울의 모양을 가리킨다. 거울의 족문은 원형, 타원형, 다각형(예컨대, 직사각형, 정사각형, 6각형), 또는 모양이 불규칙적일 수 있다. 실시예에서는, 족문이 투영 대물렌즈(101)의 정점 평면에 관해 대칭이다.

[0157] 어떤 실시예에서는, 거울이 약 1500mm 이하(예컨대, 1400mm 이하, 약 1300mm 이하, 약 1200mm 이하, 약 1100mm 이하, 약 1000mm 이하, 약 900mm 이하, 약 800mm 이하, 약 700mm 이하, 약 600mm 이하, 약 500mm 이하, 약 400mm 이하, 약 300mm 이하, 약 200mm 이하, 약 100mm 이하)인 최대 치수를 지닌 족문을 가질 수 있다. 거울은 약 10mm 이상(예컨대, 20mm 이상, 약 50mm 이상)인 최대 치수를 가지는 족문을 가질 수 있다.

[0158] 타원형 족문을 지닌 거울(600)의 일 예가 도 6의 (a)에 도시되어 있다. 거울(600)은 M_x 로 주어진 x-방향으로 최대 치수를 가진다. 실시예에서, M_x 는 1500mm 이하(예컨대, 1400mm 이하, 약 1300mm 이하, 약 1200mm 이하, 약 1100mm 이하, 약 1000mm 이하, 약 900mm 이하, 약 800mm 이하, 약 700mm 이하, 약 600mm 이하, 약 500mm 이하, 약 400mm 이하, 약 300mm 이하, 약 200mm 이하, 약 100mm 이하)일 수 있다. M_x 는 약 10mm 이상(예컨대, 20mm 이상, 약 50mm 이상)일 수 있다.

[0159] 거울(600)은 정점(601)에 관해 대칭이다. 거울(600)은 정점(601)을 따라 치수(M_y)를 가진다. 거울(600)에 있어서, M_y 는 M_x 보다 작지만, 더 일반적으로 M_y 는 M_x 보다 더 작거나, 동일한 크기 또는 더 클 수 있다. 일부 실시예에서, M_y 는 약 $0.1M_x$ 내지 약 M_x (예컨대, 약 $0.2M_x$ 이상, 약 $0.3M_x$ 이상, 약 $0.4M_x$ 이상, 약 $0.5M_x$ 이상, 약 $0.6M_x$ 이상, 약 $0.7M_x$ 이상, 약 $0.8M_x$ 이상, 약 $0.9M_x$ 이상)의 범위 내에 있다. 대안적으로, 어떤 실시예에서는, M_y 가 약 $2M_x$ 내지 약 $10M_x$ 의 범위 내와 같이, 약 $1.1M_x$ 이상(예컨대, 약 $1.5M_x$ 이상)일 수 있다. M_y 는 1000mm 이하(예컨대, 약 900mm 이하, 약 800mm 이하, 약 700mm 이하, 약 600mm 이하, 약 500mm 이하, 약 400mm 이하, 약 300mm 이하, 약 200mm 이하, 약 100mm 이하)일 수 있다. M_y 는 약 10mm 이상(예컨대, 약 20mm 이상, 약 50mm 이상)일 수 있다.

[0160] 투영 대물렌즈(300)에서, 거울(310, 303)에 대한 M_x 와 M_y 는 각각 303mm와 139mm이고, 거울(320)에 대한 M_x 와 M_y 는 각각 187mm와 105mm이며, 거울(330)에 대한 M_x 와 M_y 는 각각 114mm와 62mm이고, 거울(340)에 대한 M_x 와 M_y 는 각각 299mm와 118mm이며, 거울(350)에 대한 M_x 와 M_y 는 각각 99mm와 71mm이고, 거울(360)에 대한 M_x 와 M_y 는 각각 358mm와 332mm이다.

[0161] 일부 실시예에서, 거울의 베이스는 하나 이상의 방향으로 거울 표면(즉, 이미지가된 복사선을 반사하는 거울의 부분)을 넘어 연장할 수 있다. 예컨대, 거울의 베이스는 x-방향 및/또는 y-방향으로 광학적으로 활성화된 표면을 넘어 약 10mm 이상(예컨대, 약 20mm 이상, 약 30mm 이상, 약 40mm 이상, 약 50mm 이상) 연장할 수 있다. 거울 베이스 연장은, 탑재 장치에 부착될 수 있는 광학적으로 활성화되지 않은 표면을 제공함으로써, 투영 대물렌즈(101)에서의 거울의 탑재를 용이하게 할 수 있다.

[0162] 바람직하게, 거울 베이스 연장은 투영 대물렌즈(101)에서의 복사선 경로를 폐색하는(occlude) 방향으로 이루어져서는 안 된다. 거울의 가장자리와 거울을 통과할 때 복사선 경로 사이의 거리는 "프리보드(freeboard)"라고 부르는 파라미터와 관련되고, 이는 거울의 가장자리에 가장 가까운 광선과, 거울에 의해 반사되는 거울의 가장자리에 가장 가까운 광선 사이의 최소 거리이다. 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈(101)는 약 20mm 이상(예컨대, 약 25mm 이상, 약 30mm 이상, 약 35mm 이상, 약 40mm 이상, 약 45mm 이상, 약 50mm 이상)의 프리보드를 지닌 하나 이상의 거울을 포함할 수 있다. 큰 프리보드는 거울 제작시 유연성을 제공하는데, 이는 투영 대물렌즈가 이

미지화된 복사선의 폐색없이 연장된 거울 베이스를 수용할 수 있기 때문이다. 하지만 비교적 작은 프리보드는 투영 대물렌즈에서의 거울 위의 낮은 입사 광선각에 대응할 수 있다. 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈(101)는 약 15mm 이하(예컨대, 약 12mm 이하, 약 10mm 이하, 약 8mm 이하, 약 5mm 이하)의 프리보드를 지닌 하나 이상의 거울을 포함할 수 있다. 어떤 실시예에서는 투영 대물렌즈(101)가 5mm와 25mm 사이의 프리보드를 가지는 하나 이상의 거울을 포함한다. 예컨대, 투영 대물렌즈(300)에서 거울(310, 320, 330, 350, 360)은 5mm와 25mm 사이의 프리보드를 가진다.

[0163] 일반적으로, 투영 대물렌즈(101)에서의 거울의 두께는 변할 수 있다. 거울 두께는 그것의 광학 표면에 수직인 거울의 치수를 가리킨다. 거울은 일반적으로 투영 대물렌즈 내에 탑재하는 것을 용이하게 하기에 충분한 두께를 가져야 한다. 도 6의 (b)를 참조하면, 거울(600)의 두께는 최대 두께($T_{\text{최대}}$)와 최소 두께($T_{\text{최소}}$)로 그 특성이 기술될 수 있다. 통상적으로, $T_{\text{최대}}$ 와 $T_{\text{최소}}$ 사이의 차이는 거울 표면의 곡률과 거울의 베이스의 구조에 의존한다. 일부 실시예에서, $T_{\text{최대}}$ 는 약 200mm 이하(예컨대, 약 150mm 이하, 약 100mm 이하, 약 80mm 이하, 약 60mm 이하, 약 50mm 이하, 약 40mm 이하, 약 30mm 이하, 약 20mm 이하)이다. 어떤 실시예에서는 $T_{\text{최소}}$ 가 1mm 이상(예컨대, 약 2mm 이상, 약 5mm 이상, 약 10mm 이상, 약 20mm 이상, 약 50mm 이상, 약 100mm 이상)이다.

[0164] 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈에서의 임의의 거울의 최대 치수는 약 1500mm 이하(예컨대, 약 1400mm 이하, 약 1300mm 이하, 약 1200mm 이하, 약 1100mm 이하, 약 1000mm 이하, 약 900mm 이하, 약 800mm 이하, 약 700mm 이하, 약 600mm 이하, 약 500mm 이하, 약 300mm와 같은)이다. 어떤 실시예에서는, 투영 대물렌즈에서의 임의의 거울의 최대 치수가 약 10mm 이상(예컨대, 약 20mm 이상, 약 30mm 이상, 약 40mm 이상, 약 50mm 이상, 약 75mm 이상, 약 100mm 이상)이다.

[0165] 일반적으로, 투영 대물렌즈(101)의 필드의 모양은 변할 수 있다. 일부 실시예에서, 필드는 고리의 세그먼트의 모양과 같은 아치모양을 가진다. 도 7a를 참조하면, 고리-세그먼트 필드(700)가 x-치수인 d_x , y-치수인 d_y , 및 방사상 치수인 d_r 에 의해 그 특성이 기술될 수 있다. d_x 와 d_y 는 각각 x-방향과 y-방향을 따라 필드의 치수에 대응한다. d_r 은 축(705)으로부터 필드(700)의 내부 경계면까지 측정된 고리 반경에 대응한다. 고리-세그먼트 필드(700)는 y-z 평면에 평행한 평면에 관하여 대칭이고, 선(710)에 의해 표시된다. 일반적으로, d_x , d_y , d_r 의 크기는 투영 대물렌즈(101)의 설계에 따라 변한다. 통상적으로, d_y 는 d_x 보다 작다. 물체 평면(103)과 이미지 평면(102)에서의 필드 치수(d_x , d_y , d_r)의 상대적인 크기는, 투영 대물렌즈(101)의 배율 확대 또는 배율 축소에 따라 변한다.

[0166] 일부 실시예에서, d_x 는 이미지 평면(102)에서 비교적 크다. 예컨대, 이미지 평면(102)에서의 d_x 는 1mm(예컨대, 약 3mm 이상, 약 4mm 이상, 약 5mm 이상, 약 6mm 이상, 약 7mm 이상, 약 8mm 이상, 약 9mm 이상, 약 10mm 이상, 약 11mm 이상, 약 12mm 이상, 약 13mm 이상, 약 14mm 이상, 약 15mm 이상, 약 18mm 이상, 약 20mm 이상, 약 25mm 이상)보다 클 수 있다. 이미지 평면(102)에서의 d_x 는 약 0.5mm 내지 약 5mm의 범위(예컨대, 약 1mm, 약 2mm, 약 3mm, 약 4mm)에 있을 수 있다.

[0167] 통상적으로, 이미지 평면(102)에서는 d_r 은 약 10mm 이상이다. d_r 은 이미지 평면(102)에서, 예컨대 약 15mm 이상(예컨대, 약 20mm 이상, 약 25mm 이상, 약 30mm 이상)일 수 있다. 일부 실시예에서, d_r 은 상당히 클 수 있다(예컨대, 약 1m 이상, 약 5m 이상, 약 10m 이상). 어떤 실시예에서는, 필드는 직사각형이고, d_r 이 무한대가 된다. 투영 대물렌즈(300)는, 예컨대 직사각형 필드를 가진다. 특히, 투영 대물렌즈(300)는 이미지 평면에서 측정시 y-치수가 2mm이고, x-치수가 26mm인 직사각형 필드를 가진다.

[0168] 좀더 일반적으로, 다른 필드 모양에 대해서는 투영 대물렌즈(101)가 이미지 평면(102)에서 1mm 이상(예컨대, 약 3mm 이상, 약 4mm 이상, 약 5mm 이상, 약 6mm 이상, 약 7mm 이상, 약 8mm 이상, 약 9mm 이상, 약 10mm 이상, 약 11mm 이상, 약 12mm 이상, 약 13mm 이상, 약 14mm 이상, 약 15mm 이상, 약 18mm 이상, 약 20mm 이상, 약 25mm 이상)의 최대 필드 치수를 가질 수 있다. 어떤 실시예에서는, 투영 대물렌즈가 약 100mm 이하(예컨대, 약 50mm 이하, 약 30mm 이하)의 최대 필드 치수를 가진다.

[0169] 일부 실시예에서, 이미지 필드 모양은 투영 대물렌즈(101)를 사용하여 노출되는 웨이퍼 위의 다이 위치의 모양에 대응할 수 있다(예컨대, 하나 이상의 치수로). 예컨대, 이미지 필드는 웨이퍼를 노출할 때 오버스캔을 감소시키도록 모양이 만들어질 수 있다. 오버스캔은 전체 위치를 노출하기 위해 다이 위치의 가장자리 넘어 이미지

필드를 스캔할 필요가 있는 것을 가리킨다. 일반적으로, 이는 이미지 필드의 모양이 다이 위치의 모양과 일치하지 않는 경우 발생한다.

[0170] 오버스캔은 다이 위치의 후연에서의 코너가 노출되는 위치에서, 이미지 필드의 전연(leading edge)과 다이 위치의 후연(trailing edge) 사이의 최대 거리의 비(백분율로 표현됨)에 의해 그 특성이 기술될 수 있다. 도 7b를 참조하면, 오버스캔은 d_{os}/d_s 의 비에 대응하고, 여기서 d_{os} 는 코너(721, 722)가 노출되는 위치에서, 이미지 필드(700)의 전연과 다이 위치(720)의 후연 사이의 거리이다. 어떤 실시예에서는, 투영 대물렌즈가 비교적 낮은 오버스캔을 가질 수 있다. 예컨대, 투영 대물렌즈가 약 5% 이하(예컨대, 약 4% 이하, 약 3% 이하, 약 2% 이하, 약 1% 이하, 약 0.5% 이하, 0.1% 이하)의 오버스캔을 가질 수 있다.

[0171] 어떤 실시예에서는, 투영 대물렌즈(101)가 0의 오버스캔으로 사용될 수 있다. 예컨대, 도 7c를 참조하면 정사각형 다이 위치(740)를 노출하기 위해 이미지 필드(730)가 사용되는 실시예에서는 스캐닝이 0의 오버스캔으로 달성될 수 있다.

[0172] 일반적으로, 도 8을 참조하면 투영 대물렌즈(101)는 투영 대물렌즈의 특정 설계에 의존하여 변하는 물체-이미지 이동(d_{ois})을 도입한다. 이 물체-이미지 이동은 x-y 평면에서 측정된 것으로서, 물체 필드에서의 대응하는 포인트로부터 이미지 필드에서의 포인트의 거리를 가리킨다. 광학 축(투영 대물렌즈에서의 각 거울에 대해 회전 대칭인 공통 축)을 가지는 투영 대물렌즈에 있어서, 물체 이미지 이동은 공식

$$[0173] \quad d_{ois} = h_0(1 - M)$$

[0174] 을 사용하여 계산될 수 있고, 여기서 h_0 는 광학 축으로부터 물체 필드에서의 중심 필드 포인트의 x-y 평면에서의 거리를 가리키며, M은 투영 대물렌즈 배율 비이다. 예컨대, 4X의 축소 배율을(즉, M = 0.25) 가지고, 광학 축으로부터의 중심 필드 포인트가 120mm 떨어진 경우, d_{ois} 는 90mm이다.

[0175] 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈(101)는 비교적 작은 물체-이미지 이동을 가질 수 있다. 예컨대, 투영 대물렌즈는 0의 물체-이미지 이동을 가진다. 비교적 작은 물체 이미지 이동을 가지는 투영 대물렌즈는 비교적 슬림한 광학 설계를 가질 수 있다. 게다가, 0의 물체-이미지 이동을 가지는 실시예에서는, 투영 대물렌즈(101)가 예컨대 스테이지(130)에 관한 중심 필드 포인트의 평면 이동 없이, 물체 필드와 이미지 필드 상의 중심 필드 포인트들을 교차하는 축을 중심으로 회전될 수 있다. 이는, 예컨대 투영 대물렌즈(101)에 관해 웨이퍼를 검사하고 정렬하기 위한 도량형 도구(예컨대, US 6,240,158B1에 개시된 것과 같은 검출 광학 시스템)가 중심 필드 포인트의 명목상의 위치에 놓이는 경우 유리할 수 있는데, 이는 투영 대물렌즈가 회전할 때, 이 위치에 관해 중심 필드 포인트가 평면 이동되지 않기 때문이다. 따라서, 0인 물체-이미지 이동이, 동작 중에 투영 대물렌즈가 회전을 하게 되는 경우 투영 대물렌즈(101)의 더 쉬운 도량형 및 테스트를 용이하게 할 수 있다. 이는 이미지 평면(150) 내의 2차원이 CCD 어레이와 같은 검출 표면과 함께 위치한 테스트 또는 도량형 도구(150a)를 도시하는 도 8에 예시되어 있다. 테스트 및 도량형 도구(150a)는 축(105)과 일치하는 기준 축이 검출 표면의 중심 포인트와 교차하도록 배열된다. 테스트 및 도량형 도구(150a)의 검출 표면의 측면 연장은 물체-이미지 이동(d_{ois})보다 크다. 작은 물체-이미지 이동(d_{ois})으로 인해, 테스트 및 도량형 도구(150a)는 기준 축(105) 둘레의 투영 대물렌즈(101)의 회전에 관계없이 투영 대물렌즈(101)의 투영 품질을 측정할 수 있다.

[0176] 일부 실시예에서는, 투영 대물렌즈(101)가 약 80mm 이하(예컨대, 약 60mm 이하, 약 50mm 이하, 약 40mm 이하, 약 30mm 이하, 약 20mm 이하, 약 15mm 이하, 약 12mm 이하, 약 10mm 이하, 약 8mm 이하, 약 5mm 이하, 약 4mm 이하, 약 3mm 이하, 약 2mm 이하, 약 1mm 이하)의 d_{ois} 를 가진다. 투영 대물렌즈(300)는, 예컨대 57mm인 d_{ois} 를 가진다.

[0177] 투영 대물렌즈(101)이 실시예는 비교적 큰 이미지-축 자유 작용 거리를 가질 수 있다. 이미지-축 자유 작용 거리는 이미지화된 복사선을 반사하는 이미지 평면(102)에 가장 가까운 거울의 거울 표면과, 이미지 평면(102) 사이의 가장 짧은 거리를 가리킨다. 이러한 자유 작용 거리의 정의는 자유 작용 거리가 항상 광학 축에서 측정되는 회전 대칭인 표면을 가지는 종래의 광학 시스템에서의 정의와는 상이하다. 본 출원에 따른 정의의 관점에서 자유 작용 거리는 도 9에 예시되어 있고, 이 도 9는 이미지 평면(102)에 가장 가까운 거울로서의 거울(810)을 도시한다. 복사선은 거울(810)의 표면(811)으로부터 반사한다. 이미지-축 자유 작용 거리는 d_f 로 표시된다. 일부 실시예에서, d_f 는 약 25mm 이상(예컨대 30mm 이상, 약 35mm 이상, 약 40mm 이상, 약 45mm 이상, 약 50mm

이상, 약 55mm 이상, 약 60mm 이상, 약 65mm 이상)이다. 어떤 실시예에서는, d_w 가 약 200mm 이하(예컨대, 약 150mm 이하, 약 100mm 이하, 약 50mm 이하)이다. 투영 대물렌즈(300)는 예컨대 약 45mm의 이미지-측 자유 작용 거리를 가진다. 비교적 큰 작용 거리가 바람직한데, 이는 그것이 이미지 평면(102)을 향하는 거울(810)의 면과 접촉하지 않고, 이미지 평면(102)에 기관(150)의 표면이 위치하는 것을 허용할 수 있기 때문이다.

[0178] 비슷하게, 물체-측 자유 작용 거리는 이미지화된 복사선을 반사하는 물체 평면(103)에 가장 가까운 투영 대물렌즈(101)에서의 거울의 반사측의 거울 표면과 물체 평면(103) 사이의 가장 짧은 거리를 가리킨다. 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈(101)는 비교적 큰 물체-측 자유 작용 거리를 가진다. 예컨대, 투영 대물렌즈(101)는 약 50mm 이상(예컨대, 약 100mm 이상, 약 150mm 이상, 약 200mm 이상, 약 250mm 이상, 약 300mm 이상, 약 350mm 이상, 약 400mm 이상, 약 450mm 이상, 약 500mm 이상, 약 550mm 이상, 약 600mm 이상, 약 650mm 이상, 약 700mm 이상, 약 750mm 이상, 약 800mm 이상, 약 850mm 이상, 약 900mm 이상, 약 950mm 이상, 약 1000mm 이상)의 물체-측 자유 작용 거리를 가질 수 있다. 어떤 실시예에서는, 물체-측 자유 작용 거리가 약 2000mm 이하(예컨대, 약 1500mm 이하, 약 1200mm 이하, 약 1000mm 이하)이다. 투영 대물렌즈(300)는 예컨대 대략 300mm의 물체-측 자유 작용 거리를 가진다. 비교적 큰 물체-측 자유 작용 거리는 투영 대물렌즈(101)와 물체 평면(103) 사이의 공간으로의 접근이 요구되는 실시예에서 유리할 수 있다. 예컨대, 레티클(140)이 반사성 레티클인 실시예에서는, 대물렌즈(101)를 향하는 측으로부터 레티클을 조명하는 것이 필수적이다. 그러므로, 바라는 조명 각도에서 조명 시스템(120)에 의해서 레티클이 조명되는 것을 허용하기 위해, 투영 대물렌즈(101)와 물체 평면(103) 사이에 충분한 공간이 존재해야 한다. 게다가, 일반적으로, 물체-측 자유 작용 거리를 더 크게 하는 것은, 예컨대 투영 대물렌즈(101)와 레티클(140)에 대한 지지 구조 사이에 다른 성분들(예컨대, 균등 필터)을 탑재하기에 충분한 공간을 제공함으로써, 도구의 나머지 설계에 융통성을 허용하게 해준다.

[0179] 일반적으로, 투영 대물렌즈(101)는 주 광선이 수렴, 발산 또는 레티클(140)에서 서로 실질적으로 평행하게 되도록 설계될 수 있다. 이에 상응하여, 물체 평면(103)에 관해서 투영 대물렌즈(101)의 입사 pupils의 위치가 변할 수 있다. 예컨대, 주 광선이 레티클(140)에서 수렴하는 경우, 입사 pupils는 물체 평면(103)의 이미지 평면 측 위에 위치한다. 반대로, 주 광선이 레티클(140)에서 발산하는 경우, 물체 평면(103)은 입사 pupils와 이미지 평면(102) 사이에 위치한다. 게다가, 물체 평면(103)과 입사 pupils 사이의 거리는 변할 수 있다. 일부 실시예에서, 입사 pupils는 물체 평면(103)으로부터 약 1m 이상(예컨대, 약 2m 이상, 약 3m 이상, 약 4m 이상, 약 5m 이상, 약 8m 이상, 약 10m 이상) 떨어져 위치한다(물체 평면(103)에 수직인 축을 따라 측정됨). 일부 실시예에서, 입사 pupils는 물체 평면(103)에 관해 무한대에 위치한다. 이는 주 광선이 레티클(140)에서 서로 평행이 되는 것에 대응한다. 투영 대물렌즈(300)에 있어서는, 물체 평면(103)에서의 중심 필드 포인트에서의 주 광선의 입사각이 7° 이고, 중심 필드 포인트 주 광선과 주 광선 각의 최대 변화량은 0.82° 이다. 입사 pupils는 이미지 평면(102)으로부터 물체 평면(103)의 반대 측 위의 물체 평면(103)으로부터 1000mm의 위치에 있다.

[0180] 조명 시스템(120)은 그것의 출사 pupils가 투영 대물렌즈(101)의 입사 pupils에 실질적으로 위치하도록 배열될 수 있다. 어떤 실시예에서는, 조명 시스템(120)이 투영 대물렌즈(101)의 입사 pupils의 위치에 조명 시스템의 출사 pupils를 투영하는 망원경 서브시스템(telescope subsystem)을 포함한다. 하지만 일부 실시예에서는 조명 시스템(120)의 출사 pupils가 그 조명 시스템에서 망원경을 사용하지 않고, 투영 대물렌즈(101)의 입사 pupils에 위치한다. 예컨대, 물체 평면(103)이 투영 대물렌즈(101)와 투영 대물렌즈의 입사 pupils 사이에 있을 때, 그 조명 시스템(120)의 출사 pupils는 그 조명 시스템에서 망원경을 사용하지 않고, 투영 대물렌즈의 입사 pupils와 일치할 수 있다.

[0181] 일반적으로, 투영 대물렌즈(101)는 ZEMAX, OSLO, 또는 Code V와 같은 상업적으로 이용 가능한 광학 설계 소프트웨어를 사용하여 설계될 수 있다. 통상적으로, 예컨대 복사선 파장, 필드 크기 및 개구수와 같은 파라미터와 함께 초기 투영 대물렌즈 설계(예컨대, 거울의 배열)를 조건으로서 지정함으로써, 설계가 시작된다. 이후 코드가 예컨대 파면 에러, 왜곡, 텔레센트리시티(telecentricity), 및 필드 곡률과 같은 조건으로서 지정된 광학 성능 기준에 대한 설계를 최적화한다.

[0182] 어떤 실시예에서는, 초기 투영 대물렌즈가 광학 축 중심에 위치되는 회전 대칭인 거울(예컨대, 구면 또는 비구면 거울)에 의해 지정된다. 각 거울은 이후 광학 축으로부터, 거울이 일부 미리 설정된 기준을 만족하는 위치까지 중심을 벗어나게 된다. 예컨대, 각 거울은 특정 필드에 있어서 거울을 가로지르는 주 광선 입사각을 최소화하는 양만큼 광학 축으로부터 중심이 벗어날 수 있다. 일부 실시예에서, 거울은 약 5mm 이상(예컨대, 약 10mm 이상, 약 20mm 이상, 약 30mm 이상, 약 50mm 이상)만큼 중심이 벗어날 수 있다. 어떤 실시예에서는, 거울이 약 200mm 이하(예컨대, 약 180mm 이하, 약 150mm 이하, 약 120mm 이하, 약 100mm 이하)만큼 중심이 벗어난다.

- [0183] 대안적으로, 또는 추가로 각 거울은 거울이 일부 미리 설정된 기준을 만족시키는 위치까지 경사질 수 있다. 그 경사는 투영 대물렌즈의 초기 구성의 광학 축에 관한 각각의 거울 대칭 축의 배향(orientation)을 가리킨다. 거울은 약 1° 이상(예컨대, 약 2° 이상, 약 3° 이상, 약 4° 이상, 약 5° 이상)만큼 경사질 수 있다. 일부 실시예에서, 거울은 약 20° 이하(예컨대, 약 15° 이하, 약 12° 이하, 약 10° 이하)만큼 경사진다.
- [0184] 중심이 벗어나는 것 및/또는 경사지는 것 후, 조건으로서 지정된 광학 성능 기준에 대한 투영 대물렌즈 설계를 최적화하기 위해, 각 거울의 자유 형태의 모양이 결정될 수 있다.
- [0185] 거울 외에, 투영 대물렌즈(101)는 하나 이상의 구경 조리개와 같은 하나 이상의 다른 성분을 포함할 수 있다. 일반적으로, 구경 조리개의 모양은 변할 수 있다. 구경 조리개의 예에는 원형 구경 조리개, 타원형 구경 조리개, 및/또는 다각형 구경 조리개가 포함된다. 구경 조리개는 또한 이미지 복사선이 구경 조리개를 통과하는 2중 통과 또는 단일 통과를 하도록 위치할 수 있다. 구경 조리개는 투영 대물렌즈(101)에서 교환이 이루어지고/또는 조정 가능한 개구를 가질 수 있다.
- [0186] 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈(101)는 필드 조리개를 포함한다. 예컨대, 투영 대물렌즈가 중간 이미지를 포함하는 실시예에서는, 필드 조리개가 중간 이미지에 또는 그 근처에 있을 수 있다.
- [0187] 실시예는 배플(baffle)(예컨대, 빗나간(stray) 복사선으로부터 웨이퍼를 차폐하기 위해)을 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 투영 대물렌즈(101)는 투영 대물렌즈 내의 거울의 위치에서의 변화를 감지하기 위한 성분(예컨대, 간섭계)을 포함할 수 있다. 이 정보는 거울 간의 임의의 상대적인 움직임을 보정하기 위해 거울을 조정하는데 사용될 수 있다. 거울 조정은 자동화될 수 있다. 거울 위치의 감시/조정을 위한 시스템의 예는 US 6,549,270B1에 개시되어 있다.
- [0188] 도 10을 참조하면, 투영 대물렌즈(1000)의 일 실시예는 6개의 거울(1010, 1020, 1030, 1040, 1050, 1060)을 포함하고, 이미지-측 개구수가 0.35이며, 동작 파장이 13.5nm이다. 거울(1010, 1020, 1030, 1040, 1050, 1060)은 모두 자유 형태 거울이다. 투영 대물렌즈(1000)는 물체 평면(103)으로부터 이미지 평면(102)으로 4X의 배율 축소비로 복사선을 이미지화한다. 투영 대물렌즈(1000)의 트랙 길이는 1497mm이고, 이미지화된 복사선의 광학 경로 길이는 4760mm이다. 따라서, 트랙 길이에 대한 광학 경로 길이의 비는 대략 3,18이다.
- [0189] 투영 대물렌즈(1000)의 입사 pupils는 입사 pupils와 거울 사이에 위치한 물체 평면(103)으로부터 1000mm 떨어져 있다. 물체 평면(103)에 위치한 반사성 레티클로 인해, 조명 광학 기기는 입사 pupils에 대응하며, 위치(1070)에 위치할 수 있다. 물체 평면(103)에서의 중심 필드 포인트의 주 광선 각도는 7°이다. 물체 평면(103)에서의 주 광선 각도의 최대 변화량은 0.82°이다.
- [0190] 투영 대물렌즈(1000)는 직사각형 필드를 가진다. 이미지-측 필드 폭(d_x)은 26mm이다. 이미지-측 필드 길이(d_y)는 2mm이다. 투영 대물렌즈(1000)는 13mm의 물체-이미지 이동을 가진다.
- [0191] 투영 대물렌즈(1000)의 성능은 0.021λ의 이미지-측 W_{rms} 를 포함한다. 왜곡은 10nm 미만이고, 이미지-측 필드 곡률은 19nm이다. 투영 대물렌즈(1000)는 거울(1040)과 거울(1050) 사이에 중간 이미지를 제공한다. 중간 이미지에서의 코마는 비교적 크다. 특히, 상부 광선 및 하부 광선이 교차하는 위치에서 상부 및 하부 광선과, 주 광선 사이의 거리는 7mm이다.
- [0192] 물체 평면(103)으로부터 이미지 평면(102)으로의 복사선 경로의 순서로 거울의 광학적 확대력은 다음과 같다. 즉, 거울(1010)은 양의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1020)은 음의 광학적 확대력을 가지며, 거울(1030)은 양의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1040)은 양의 광학적 확대력을 가지며, 거울(1050)은 음의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1060)은 양의 광학적 확대력을 가진다.
- [0193] $M_x \times M_y$ 로 주어지는 각 거울의 축분의 치수는 다음과 같다. 즉, 거울(1010)에 대해서는 323mm × 152mm, 거울(1020)에 대해서는 107mm × 59mm, 거울(1030)에 대해서는 297mm × 261mm, 거울(1040)에 대해서는 277mm × 194mm, 거울(1050)에 대해서는 99mm × 72mm, 거울(1060)에 대해서는 268mm × 243mm이다.
- [0194] 최상으로 맞는 구면으로부터의 거울(1010)의 최대 편향은 475μm이다. 거울(1020, 1030, 1040, 1050, 1060)의 최상으로 맞는 구면으로부터 최대 편향은, 각각 1234μm, 995μm, 1414μm, 170μm, 416μm이다. 최상으로 맞는 비구면으로부터의 각 거울의 최대 편향은 거울(1010, 1020, 1030, 1040, 1050, 1060)에 대해 각각 236μm, 102μm, 102μm, 148μm, 54μm, 372μm이다.

- [0195] 거울(1010)에 대한 제 1 및 제 2 주 곡률은 각각 1.16×10^{-3} 과 1.05×10^{-3} 이다. 투영 대물렌즈(1000)에서의 다른 거울에 대한 각각의 제 1 및 제 2 주 곡률은 다음과 같다. 즉, 거울(1020)에 대해서는 -3.02×10^{-3} 과 1.13×10^{-3} , 거울(1030)에 대해서는 5.97×10^{-4} 과 4.96×10^{-4} , 거울(1040)에 대해서는 5.50×10^{-4} 과 3.63×10^{-4} , 거울(1050)에 대해서는 -2.24×10^{-3} 과 -2.04×10^{-3} , 거울(1060)에 대해서는 2.57×10^{-3} 과 2.48×10^{-3} 이다. 투영 대물렌즈(1000)에 대한 제 1 주 곡률의 합은 -3.78×10^{-4} 이다. 제 2 주 곡률의 합은 1.22×10^{-3} 이다. 제 1 주 곡률과 제 2 주 곡률의 합은 8.45×10^{-4} 이고, 제 1 주 곡률과 제 2 주 곡률의 합의 역수는 1.18×10^3 이다.
- [0196] 중심 필드 포인트에 대한 입사의 주 광선 각도는, 거울(1010, 1020, 1030, 1040, 1050, 1060)에 대해 각각 3.40° , 9.86° , 6.48° , 10.13° , 13.66° , 7.00° 이다. 정점 섹션에 대한 각 거울 위의 최대 입사각($\theta_{\text{최대}}$)은 거울(1010, 1020, 1030, 1040, 1050, 1060)에 대해 각각 3.94° , 10.42° , 7.45° , 14.34° , 24.28° , 8.61° 이다. 거울(1010, 1020, 1030, 1040, 1050, 1060)에 대한 $\Delta\theta$ 는, 각각 1.13° , 2.74° , 3.42° , 9.96° , 23.69° , 3.95° 이다.
- [0197] 거울(1010, 1020, 1030, 1050, 1060)은 5mm보다 크고 25mm보다 작은 프리보드를 가진다. 거울(1030)은 양의 주 광선 각도 배율을 가지는데 반해, 거울(1040, 1050)은 음의 주 광선 각도 배율을 가진다.
- [0198] 투영 대물렌즈(1000)의 이미지-측 자유 작용 거리는 45mm이다. 물체-측 자유 작용 거리는 252mm이다.
- [0199] 투영 대물렌즈(1000)에서, $d_{\text{op-1}}/d_{\text{op-2}}$ 는 3.14이다. 게다가, 인접하는 거울 쌍들(1020과 1030, 1030과 1040, 1040과 1050)은 투영 대물렌즈의 트랙 길이의 50%를 넘는 거리만큼 분리된다. 또한, 거울(1010)과 물체 평면(103) 사이의 거리는 투영 대물렌즈의 트랙 길이의 50%를 넘는다.
- [0200] 투영 대물렌즈(1000)에 대한 데이터는 아래 표 2a와 표 2b에 나타나 있다. 표 2a와 표 2b 및 그 다음 표에 있는 파라미터와 그 파라미터에 대한 단위는 위 표 1a와 표 1b에서 나타난 대응하는 파라미터 및 단위와 동일하다. 표 2a는 광학 데이터를 나타내는데 반해, 표 2b는 각 거울 표면에 대한 자유로운 형태의 상수를 나타낸다. 표 2a와 표 2b의 목적상, 거울 지정은 다음과 같이 상호 관련된다. 즉, 거울1(M1)은 거울(1010)에 대응하고, 거울2(M2)는 거울(1020)에 대응하며, 거울3(M3)은 거울(1030)에 대응하고, 거울4(M4)는 거울(1040)에 대응하며, 거울5(M5)는 거울(1050)에 대응하고, 거울6(M6)은 거울(1060)에 대응한다.

표 2a

표면	반경 (mm)	두께 (mm)	모드
물체	무한대	788.884	
거울 1	-651.356	-537.372	REFL
거울 2	-463.216	952.014	REFL
거울 3	-1710.243	-783.854	REFL
거울 4	1821.345	1032.444	REFL
거울 5	309.420	-306.504	REFL
거울 6	405.847	351.549	REFL
이미지	무한대	0.000	

[0201]

표 2b

계수	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-5.925412E-01	1.525505E+00	-1.851822E+00	3.314097E+00	1.983829E+00	2.009323E-01
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ²	2.471303E-04	6.505963E-04	7.593410E-05	2.922157E-05	-4.716078E-04	1.426720E-05
Y ²	1.863347E-04	6.677442E-05	-2.868206E-05	-7.428048E-05	-3.446472E-04	5.312976E-05
X ² Y	-3.545294E-08	-2.891983E-06	1.048420E-07	9.891278E-08	2.877558E-06	-2.714955E-08
Y ³	-1.873281E-08	-3.078489E-06	-7.296056E-08	-3.920160E-08	1.288869E-06	-9.898583E-09
X ⁴	1.180642E-11	3.342373E-10	-3.287877E-11	-8.971583E-11	3.862440E-10	-8.982825E-11
X ² Y ²	3.437144E-11	5.937123E-09	-2.687658E-11	-7.769409E-11	1.693138E-08	2.462964E-11
Y ⁴	9.863178E-11	-2.340521E-08	-1.605207E-10	-1.806038E-10	-2.208217E-09	-3.099379E-11
X ² Y ³	-4.051355E-14	1.381955E-13	-2.895532E-14	5.170900E-14	4.797213E-11	-4.214964E-14
X ⁴ Y	-2.144219E-13	-2.531232E-10	-1.637831E-13	2.916068E-13	1.961281E-10	-3.785260E-14
Y ⁵	-2.415401E-14	1.279499E-10	-7.226386E-14	1.273503E-13	2.976407E-11	4.394992E-14
X ⁶	-2.920211E-17	1.949737E-14	-1.774795E-17	-2.785422E-16	8.466233E-11	-5.281246E-16
X ⁴ Y ²	7.135583E-17	-6.187267E-13	-2.447653E-16	-1.867205E-16	3.921385E-13	-5.767253E-16
X ² Y ⁴	5.606882E-16	4.378172E-13	-4.812153E-16	4.588123E-16	7.309790E-13	-7.534000E-17
Y ⁶	-7.879310E-16	-6.710705E-13	6.992795E-19	3.331795E-16	-3.185164E-13	-9.186437E-17
X ² Y ⁵	2.435160E-20	-3.445743E-16	-3.254844E-19	-4.053237E-18	1.681642E-15	-7.144774E-20
X ⁴ Y ³	-1.325499E-18	2.205904E-15	-4.637731E-19	-1.132243E-18	6.530207E-15	-1.155827E-19
X ² Y ⁶	2.538976E-18	7.780251E-15	-5.473994E-19	9.042940E-19	5.583512E-15	1.826925E-19
Y ⁷	6.001333E-18	7.757557E-15	-8.424804E-21	7.805993E-20	-2.390583E-15	3.562442E-19
X ⁸	-2.140710E-22	-1.536511E-18	-5.293518E-23	-7.757919E-22	1.098261E-18	-2.871286E-21
X ⁶ Y ²	-2.383343E-21	-3.017606E-17	-2.564847E-21	-2.918509E-20	-1.382527E-17	-5.946767E-21
X ⁴ Y ⁴	4.328735E-21	-3.407893E-17	-3.923348E-22	-6.995732E-21	2.738740E-17	-2.968388E-21
X ² Y ⁸	-4.831336E-20	-1.206126E-16	-1.673186E-22	5.920827E-22	4.911090E-17	8.147751E-22
Y ⁸	-3.800647E-20	-6.246834E-17	-5.575611E-23	-7.691743E-22	-4.049646E-18	-1.438562E-21
X ⁶ Y	2.973276E-24	6.697817E-20	-9.383994E-25	-1.349984E-23	8.777395E-22	-9.763800E-25
X ⁴ Y ³	1.179538E-23	5.201215E-19	-6.639018E-24	-8.645373E-23	-3.199889E-19	-4.878981E-24
X ² Y ⁵	-1.203834E-23	-4.705218E-20	-1.462557E-25	-1.508808E-23	8.645921E-20	-3.908340E-24
X ² Y ⁷	2.304206E-22	1.208243E-19	2.562699E-25	1.368282E-24	4.649092E-19	2.276452E-24
Y ⁹	1.418250E-22	-1.077428E-19	7.645118E-27	-3.895996E-25	1.402632E-20	5.582547E-24
X ¹⁰	4.021854E-28	2.141815E-23	-3.668876E-27	-1.991462E-26	1.059359E-22	-2.694594E-26
X ⁸ Y ²	-1.314266E-26	-8.696134E-22	-1.671744E-27	-3.158518E-26	-2.330392E-22	-7.617267E-26
X ⁶ Y ⁴	-7.356431E-27	-3.656759E-21	-5.748164E-27	-9.269087E-26	-2.103517E-21	-6.065950E-26
X ⁴ Y ⁶	1.059736E-26	3.564328E-22	-1.527905E-28	-1.292503E-26	-3.644105E-22	1.700246E-26
X ² Y ⁸	-3.817918E-25	2.574506E-21	1.902672E-28	1.728267E-27	1.530993E-21	1.267011E-26
Y ¹⁰	-2.256936E-25	1.804566E-21	1.126083E-29	-2.712119E-28	-1.135939E-22	-1.049025E-26
N반경	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y- 중심 벗어남	-141.222	-91.036	45.162	-4.535	-0.554	-8.496
X- 회전	-9.184	-15.081	1.443	-3.391	-6.975	-1.780

[0202]

[0203]

도 11을 참조하면, 투영 대물렌즈(100)의 일 실시예는 6개의 거울(1110, 1120, 1130, 1140, 1150, 1160)을 포함하고, 이미지-측 개구수가 0.35이며 동작 파장은 13.5nm이다. 거울(1110, 1120, 1130, 1140, 1150, 1160)은 모두 자유 형태 거울이다. 투영 대물렌즈(1100)는 물체 평면(103)으로부터 이미지 평면(102)으로 4X의 축소 배율비로 복사선을 이미지화한다. 투영 대물렌즈(1100)의 트랙 길이는 2000mm이고, 이미지화된 복사선의 광학 경로 길이는 5337mm이다. 따라서 트랙 길이에 대한 광학 경로 길이의 비는 대략 2,67이다. 투영 대물렌즈(1100)는 거울(1120)에 위치한 구경 조리개(1106)를 가진다.

[0204]

투영 대물렌즈(1100)의 입사 필드는 무한대에 위치한다. 물체 평면(103)에서의 중심 필드 포인트의 주 광선 각도는 7° 이다. 물체 평면(103)에서의 주 광선 각도의 최대 변화량은 0.06° 미만이다.

[0205]

투영 대물렌즈(1100)는 직사각형 필드를 가진다. 이미지-측 필드 폭(d_x)은 26mm이다. 이미지-측 필드 길이(d_y)는 2mm이다. 투영 대물렌즈(1100)는 31mm의 물체-이미지 이동을 가진다.

[0206]

투영 대물렌즈(1100)의 성능은 0.025λ 의 이미지-측 W_{rms} 를 포함한다. 이미지-측 필드 곡률은 10nm이다. 투영 대물렌즈(1100)는 거울(1140)과 거울(1150) 사이에 중간 이미지를 제공한다.

[0207]

물체 평면(103)으로부터 이미지 평면(102)으로의 복사선 경로의 순서로 거울의 광학적 확대력은 다음과 같다. 즉, 거울(1110)은 양의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1120)은 양의 광학적 확대력을 가지며, 거울(1130)은 음의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1140)은 양의 광학적 확대력을 가지며, 거울(1150)은 음의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1160)은 양의 광학적 확대력을 가진다.

[0208]

$M_x \times M_y$ 로 주어지는 각 거울의 축분의 치수는 다음과 같다. 즉, 거울(1110)에 대해서는 291mm \times 195mm, 거울(1120)에 대해서는 159mm \times 152mm, 거울(1130)에 대해서는 157mm \times 53mm, 거울(1140)에 대해서는 295mm

×66mm, 거울(1150)에 대해서는 105mm ×86mm, 거울(1160)에 대해서는 345mm ×318mm이다.

[0209] 중심 필드 포인트에 대한 주 광선 입사 각도는, 거울(1110, 1120, 1130, 1140, 1150, 1160)에 대해 각각 4.38°, 4.03°, 18.37°, 7.74°, 12.64°, 5.17° 이다. 정점 섹션에 대한 각 거울 위의 최대 입사각($\theta_{\text{최대}}$)은 거울(1110, 1120, 1130, 1140, 1150, 1160)에 대해 각각 6.48°, 6.44°, 20.05°, 9.12°, 21.76°, 7.22° 이다. 거울(1110, 1120, 1130, 1140, 1150, 1160)에 대한 $\Delta\theta$ 는, 각각 4.27°, 4.92°, 4.09°, 3.12°, 19.37°, 4.61° 이다.

[0210] 거울(1110, 1150, 1160)은 5mm보다 크고 25mm보다 작은 프리보드를 가진다. 거울(1140)은 양의 주 광선 각도 배율을 가지는데 반해, 거울(1110, 1120, 1130, 1150)은 음의 주 광선 각도 배율을 가진다.

[0211] 투영 대물렌즈(1100)의 이미지-측 자유 작용 거리는 25mm이다. 물체-측 자유 작용 거리는 163mm이다.

[0212] 투영 대물렌즈(1100)에서, $d_{\text{op-1}}/d_{\text{op-2}}$ 는 6.57이다. 게다가, 인접하는 거울 쌍(1040과 1050)은 투영 대물렌즈의 트랙 길이의 50%를 넘는 양만큼 분리된다. 또한, 거울(1110)과 물체 평면(103) 사이의 거리는 투영 대물렌즈의 트랙 길이의 50%를 넘는다.

[0213] 투영 대물렌즈(1100)에 대한 데이터는 아래 표 3a와 표 3b에 나타나 있다. 표 3a는 광학 데이터를 나타내는데 반해, 표 3b는 각 거울 표면에 대한 비구면 상수를 나타낸다. 표 3a와 표 3b의 목적상, 거울 지정은 다음과 같이 상호 관련된다. 즉, 거울1(M1)은 거울(1110)에 대응하고, 거울2(M2)는 거울(1120)에 대응하며, 거울3(M3)은 거울(1130)에 대응하고, 거울4(M4)는 거울(1140)에 대응하며, 거울5(M5)는 거울(1150)에 대응하고, 거울6(M6)은 거울(1160)에 대응한다.

표 3a

표면	반경 (mm)	두께 (mm)	모드
물체	무한대	1070.002	
거울 1	-2069.710	-907.121	REFL
거울 2	1710.596	0.000	REFL
조리개	무한대	907.500	
거울 3	414.111	-319.107	REFL
거울 4	618.022	1223.709	REFL
거울 5	406.139	-436.552	REFL
거울 6	522.609	461.570	REFL
이미지	무한대	0.000	

[0214]

표 3b

계수	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-2.012543E+00	-7.790981E+00	-9.061196E-01	-4.714699E-01	5.253415E+00	1.051556E-01
Y	-1.801229E-01	-2.676895E-01	6.249715E-03	2.914352E-02	3.699848E-02	6.762162E-04
X ²	-3.718177E-05	-1.568640E-04	-4.213586E-04	-1.680785E-04	-6.132874E-05	2.479745E-06
Y ²	-5.757281E-05	-1.359112E-04	-3.015850E-04	-9.908817E-05	-6.383717E-05	1.909227E-06
X ² Y	-3.283304E-08	-1.421641E-07	-4.802304E-08	-4.234719E-08	5.460366E-07	-5.398408E-09
Y ³	-7.289267E-08	-9.447144E-08	3.714670E-07	1.405667E-07	2.644773E-08	-4.741511E-09
X ³	-3.792148E-11	2.173390E-10	-8.723035E-10	-2.377992E-11	1.030821E-09	-1.926536E-11
X ² Y ²	-1.087876E-10	5.689855E-10	-5.959943E-10	-4.401654E-10	2.045233E-09	-4.586698E-11
Y ⁴	-1.237594E-10	2.990476E-10	8.549602E-10	-4.022663E-11	5.551510E-11	-2.632066E-11
X ³ Y	-3.587007E-14	-1.028868E-12	-8.033093E-12	1.716353E-13	5.551826E-12	-2.577816E-14
X ² Y ³	8.925822E-14	4.492952E-13	-1.186638E-12	-7.545064E-13	-4.309344E-12	-1.775797E-14
Y ⁵	-7.423435E-14	5.791519E-13	8.705928E-14	-2.700779E-13	-7.302230E-12	-9.309635E-15
X ⁴	1.876383E-17	2.916278E-16	-2.307341E-14	-1.670466E-15	8.878140E-15	-3.351380E-17
X ³ Y ²	-3.009967E-16	-3.620666E-16	-2.232847E-14	1.589023E-15	4.463758E-14	-1.408427E-16
X ² Y ⁴	1.992400E-16	3.916129E-16	1.756497E-15	3.477633E-16	1.478648E-13	-1.372823E-16
Y ⁶	8.315953E-18	-6.580116E-16	8.232062E-16	1.253553E-16	3.691569E-14	-3.799352E-17
X ⁴ Y	-2.621825E-20	-1.237101E-17	-3.125465E-16	-7.682746E-18	3.293829E-16	-1.214309E-19
X ³ Y ³	-1.344388E-18	3.730815E-17	1.376670E-16	5.918289E-18	8.409538E-16	5.369262E-20
X ² Y ⁵	-6.157858E-19	3.202677E-17	4.387074E-19	2.707480E-18	4.875870E-16	-1.363873E-20
Y ⁷	2.770009E-20	8.487049E-18	2.518948E-18	1.820744E-19	1.274511E-16	2.776746E-21
X ⁵	2.265356E-23	-1.881878E-20	6.916970E-19	3.815768E-20	-1.030207E-19	-2.085793E-23
X ⁴ Y ²	-1.848041E-22	-1.667898E-19	-1.070800E-18	1.947584E-20	-6.071205E-19	-1.191227E-22
X ³ Y ⁴	-1.617091E-21	-4.471313E-20	-2.039154E-19	-1.469302E-21	8.581801E-18	-2.848570E-22
X ² Y ⁶	-1.152811E-21	-1.417078E-19	-4.885470E-20	8.329380E-22	2.867618E-18	8.073429E-24
Y ⁸	5.021474E-23	-1.270497E-20	-2.834042E-20	-1.011971E-21	1.813992E-18	-6.757839E-23
X ⁵ Y	0.000000E+00	0.000000E+00	7.973679E-21	2.492982E-22	0.000000E+00	-2.465296E-25
X ⁴ Y ³	0.000000E+00	0.000000E+00	7.629111E-22	1.401277E-22	0.000000E+00	2.930653E-25
X ³ Y ⁵	0.000000E+00	0.000000E+00	-7.196032E-21	-4.219890E-23	0.000000E+00	1.194933E-25
X ² Y ⁷	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.090375E-22	-3.791571E-24	0.000000E+00	5.412579E-25
Y ⁹	0.000000E+00	0.000000E+00	-5.080252E-23	1.076602E-24	0.000000E+00	3.891280E-26
X ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	-6.129418E-25	-1.289913E-27	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁹ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	2.295090E-23	4.078311E-25	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	5.951785E-24	1.728297E-25	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁷ Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.732732E-23	-5.280557E-26	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.410994E-27	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	3.484416E-27	0.000000E+00	0.000000E+00
N반경	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00
Y-중심 벗어남	194.936	-49.734	36.609	9.442	30.019	40.956
X-회전	-5.944	-17.277	-5.569	-0.579	0.301	-0.924

[0215]

[0216]

도 12를 참조하면, 투영 대물렌즈(1200)의 일 실시예는 6개의 거울(1210, 1220, 1230, 1240, 1250, 1260)을 포함하고, 이미지-측 개구수가 0.35이며 동작 파장은 13.5nm이다. 거울(1210, 1220, 1230, 1240, 1250, 1260)은 모두 자유로운 형태의 거울이다. 투영 대물렌즈(1200)는 물체 평면(103)으로부터 이미지 평면(102)으로 4X의 축소 배율비로 복사선을 이미지화한다. 물체 평면(103)에 직교하는 기준 축(1205)과 이미지 평면(102)은, 물체 필드 및 이미지 필드의 대응 필드 포인트들과 교차한다. 투영 대물렌즈(1200)의 트랙 길이는 1385mm이고, 이미지화된 복사선의 광학 경로 길이는 4162mm이다. 따라서 트랙 길이에 대한 광학 경로 길이의 비는 대략 3,01이다. 투영 대물렌즈(1200)는 거울(1220)에 위치한 구경 조리개를 가진다.

[0217]

투영 대물렌즈(1200)의 입사 푸필은 무한대에 위치하며, 물체 평면은 입사 푸필과 거울들 사이에 위치한다. 물체 평면(103)에서의 중심 필드 포인트의 주 광선 각도는 7°이다. 물체 평면(103)에서의 주 광선 각도의 최대 변화량은 0.06° 미만이다.

[0218]

투영 대물렌즈(1200)는 직사각형 필드를 가진다. 이미지-측 필드 폭(d_x)은 26mm이다. 이미지-측 필드 길이(d_y)는 2mm이다. 투영 대물렌즈(1200)는 0의 물체-이미지 이동을 가진다.

[0219]

투영 대물렌즈(1200)는 거울(1240)과 거울(1250) 사이에 중간 이미지를 제공한다.

[0220]

물체 평면(103)으로부터 이미지 평면(102)으로의 복사선 경로의 순서로 거울의 광학적 확대력은 다음과 같다. 즉, 거울(1210)은 양의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1220)은 음의 광학적 확대력을 가지며, 거울(1230)은 양의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1240)은 양의 광학적 확대력을 가지며, 거울(1250)은 음의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1260)은 양의 광학적 확대력을 가진다.

[0221]

M_x × M_y로 주어지는 각 거울의 축분의 치수는 다음과 같다. 즉, 거울(1210)에 대해서는 250mm × 153mm, 거울(1020)에 대해서는 70mm × 69mm, 거울(1230)에 대해서는 328mm × 153mm, 거울(1240)에 대해서는 325mm

×112mm, 거울(1250)에 대해서는 87mm ×75mm, 거울(1260)에 대해서는 269mm ×238mm이다.

[0222] 중심 필드 포인트에 대한 주 광선 입사 각도는, 거울(1210, 1220, 1230, 1240, 1250, 1260)에 대해 각각 6.13°, 10.61°, 8.65°, 8.26°, 14.22°, 5.23° 이다. 정점 섹션에 대한 각 거울 위의 최대 입사각($\theta_{\text{최대}}$)은 거울(1210, 1220, 1230, 1240, 1250, 1260)에 대해 각각 6.53°, 11.63°, 8.91°, 11.39°, 24.26°, 7.44° 이다. 거울(1210, 1220, 1230, 1240, 1250, 1260)에 대한 $\Delta\theta$ 는, 각각 1.07°, 3.64°, 1.74°, 7.44°, 21.70°, 4.51° 이다.

[0223] 거울(1210, 1220, 1250, 1260)은 5mm보다 크고 25mm보다 작은 프리보드를 가진다. 거울(1240)은 양의 주 광선 각도 배율을 가지는데 반해, 거울(1210, 1220, 1230, 1250)은 음의 주 광선 각도 배율을 가진다.

[0224] 투영 대물렌즈(1200)의 이미지-측 자유 작용 거리는 40mm이다. 물체-측 자유 작용 거리는 439mm이다.

[0225] 투영 대물렌즈(1200)에서, $d_{\text{op-1}}/d_{\text{op-2}}$ 는 1.91이다. 게다가, 인접하는 거울 쌍(1240과 1250)은 투영 대물렌즈의 트랙 길이의 50%를 넘는 거리만큼 분리된다. 또한, 거울(1210)과 물체 평면(103) 사이의 거리는 투영 대물렌즈의 트랙 길이의 50%를 넘는다.

[0226] 투영 대물렌즈(1200)에 대한 데이터는 아래 표 4a와 표 4b에 나타나 있다. 표 4a는 광학 데이터를 나타내는데 반해, 표 4b는 각 거울 표면에 대한 비구면 상수를 나타낸다. 표 4a와 표 4b의 목적상, 거울 지정은 다음과 같이 상호 관련된다. 즉, 거울1(M1)은 거울(1210)에 대응하고, 거울2(M2)는 거울(1220)에 대응하며, 거울3(M3)은 거울(1230)에 대응하고, 거울4(M4)는 거울(1240)에 대응하며, 거울5(M5)는 거울(1250)에 대응하고, 거울6(M6)은 거울(1260)에 대응한다.

표 4a

표면	반경 (mm)	두께 (mm)	모드
물체	무한대	836.375	
거울 1	-614.878	-397.397	REFL
거울 2	-383.358	0.000	REFL
조리개	무한대	655.992	
거울 3	-1204.989	-659.631	REFL
거울 4	1885.915	909.840	REFL
거울 5	302.954	-308.805	REFL
거울 6	403.492	348.850	REFL
이미지	무한대	0.000	

[0227]

표 4b

계수	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-6.673329E-01	-2.825442E-01	-1.843864E+00	2.076932E+00	3.340547E+00	1.990979E-01
Y	-5.045837E-02	2.263660E-01	-1.277806E-01	-3.310548E-02	-1.935522E-01	1.783092E-02
X ²	1.827144E-04	1.686990E-04	9.963384E-05	5.203052E-05	-3.849892E-04	3.792405E-05
Y ²	1.737812E-04	2.093994E-04	-1.747764E-05	-7.184095E-05	-3.329705E-04	1.662759E-05
X ² Y	4.765150E-08	-1.595967E-06	-5.515151E-08	-8.752119E-10	1.213426E-06	5.552151E-08
X ³	5.091508E-08	-1.231538E-06	-1.294839E-07	-1.939381E-07	1.502735E-06	9.165146E-08
X ⁴	-4.718889E-11	-6.941238E-09	-7.002011E-11	-5.996832E-11	-2.342602E-09	9.552648E-12
X ² Y ²	-4.340357E-11	-7.827867E-09	-1.801185E-10	-7.139217E-11	-1.234047E-08	-1.611525E-10
Y ⁴	1.234053E-10	-3.130174E-09	-7.281275E-11	-1.598859E-10	-1.206604E-08	-1.662004E-10
X ² Y ³	1.205203E-13	-6.495768E-11	-3.614883E-14	-4.344276E-14	2.268270E-11	2.930397E-13
X ³ Y ³	2.259661E-13	-4.304439E-11	-1.048629E-13	-7.811421E-16	2.977954E-11	8.493936E-13
Y ⁵	-5.198478E-13	-1.485266E-11	5.022687E-15	-1.422459E-14	-1.556209E-11	4.051187E-13
X ⁵	-1.306395E-16	-4.159695E-14	0.000000E+00	-3.767576E-17	1.374773E-14	-9.890588E-17
X ⁴ Y ²	8.838986E-17	1.462867E-14	0.000000E+00	-1.369883E-16	-3.320990E-13	-1.312584E-15
X ³ Y ⁴	-1.745854E-16	4.353978E-13	0.000000E+00	-7.920443E-17	-1.008910E-13	-2.069868E-15
Y ⁶	1.020155E-15	-1.927189E-13	0.000000E+00	-3.431888E-17	-9.148646E-14	-6.650861E-16
X ⁶ Y	1.090627E-19	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	1.607288E-18
X ⁴ Y ³	-4.158749E-19	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	4.652411E-18
X ² Y ⁵	-1.758731E-18	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	4.087290E-18
Y ⁷	-3.081679E-18	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	9.802736E-19
X ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁵ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁴ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ³ Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ³	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁵ Y ⁵	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁴ Y ⁷	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ⁹	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁷ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁵ Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁴ Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
N변경	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y- 중심 벗어남	-118.847	-100.000	100.000	24.472	-11.760	-37.772
X- 회전	-7.782	7.388	1.406	-2.140	-8.177	6.989

[0228]

[0229]

도 13을 참조하면, 투영 대물렌즈(1300)의 일 실시예는 6개의 거울(1310, 1320, 1330, 1340, 1350, 1360)을 포함하고, 이미지-측 개구수가 0.35이며 동작 파장은 13.5nm이다. 거울(1310, 1320, 1330, 1340, 1350, 1360)은 모두 자유 형태의 거울이다. 투영 대물렌즈(1300)는 물체 평면(103)으로부터 이미지 평면(102)으로 4X의 축소 배율비로 복사선을 이미지화한다. 투영 대물렌즈(1300)의 트랙 길이는 1500mm이고, 이미지화된 복사선의 광학 경로 길이는 4093mm이다. 따라서 트랙 길이에 대한 광학 경로 길이의 비는 대략 2,73이다. 투영 대물렌즈(1300)는 거울(1320)에 위치한 구경 조리개를 가진다.

[0230]

투영 대물렌즈(1300)의 입사 필드는 무한대에 위치한다. 물체 평면(103)에서의 중심 필드 포인트의 주 광선 각도는 7° 이다. 물체 평면(103)에서의 주 광선 각도의 최대 변화량은 0.1° 미만이다.

[0231]

투영 대물렌즈(1300)는 직사각형 필드를 가진다. 이미지-측 필드 폭(d_x)는 26mm이다. 이미지-측 필드 길이(d_y)는 2mm이다. 투영 대물렌즈(1000)는 119mm의 물체-이미지 이동을 가진다.

[0232]

투영 대물렌즈(1300)는 거울(1340)과 거울(1350) 사이에 중간 이미지를 제공한다.

[0233]

물체 평면(103)으로부터 이미지 평면(102)으로의 복사선 경로의 순서로 거울의 광학적 확대력은 다음과 같다. 즉, 거울(1310)은 양의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1320)은 음의 광학적 확대력을 가지며, 거울(1330)은 양의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1340)은 양의 광학적 확대력을 가지며, 거울(1350)은 음의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1360)은 양의 광학적 확대력을 가진다.

[0234]

M_x × M_y로 주어지는 각 거울의 축분의 치수는 다음과 같다. 즉, 거울(1310)에 대해서는 271mm × 173mm, 거울(1320)에 대해서는 69mm × 65mm, 거울(1330)에 대해서는 290mm × 115mm, 거울(1340)에 대해서는 272mm × 66mm, 거울(1350)에 대해서는 81mm × 67mm, 거울(1360)에 대해서는 274mm × 243mm이다.

[0235]

중심 필드 포인트에 대한 주 광선 입사 각도는, 거울(1310, 1320, 1330, 1340, 1350, 1360)에 대해 각각 9.66

$^{\circ}$, 12.15° , 9.10° , 5.45° , 13.31° , 4.60° 이다. 정점 섹션에 대한 각 거울 위의 최대 입사각($\theta_{\text{최대}}$)은 거울 (1310, 1320, 1330, 1340, 1350, 1360)에 대해 각각 11.20° , 15.46° , 9.63° , 8.64° , 23.31° , 6.17° 이다. 거울 (1310, 1320, 1330, 1340, 1350, 1360)에 대한 $\Delta\theta$ 는, 각각 3.25° , 7.32° , 1.57° , 6.92° , 21.18° , 3.63° 이다.

[0236] 거울(1340)은 양의 주 광선 각도 배율을 가지는데 반해, 거울(1310, 1320, 1330, 1350)은 음의 주 광선 각도 배율을 가진다. 투영 대물렌즈(1300)의 이미지-측 자유 작용 거리는 40mm이다. 물체-측 자유 작용 거리는 582mm이다. 이 큰 물체-측 자유 작용 거리는 추가 성분의, 특히 추가적인 그레이징(grazing) 입사 폴딩(folding) 거울이나 균등 필터와 같은 조명 시스템의, 추가 성분의 삽입을 허용한다.

[0237] 투영 대물렌즈(1300)에서, $d_{\text{op-1}}/d_{\text{op-2}}$ 는 1.63이다. 게다가, 인접하는 거울 쌍(1340과 1350)은 투영 대물렌즈의 트랙 길이의 50%를 넘는 거리만큼 분리된다. 또한, 거울(1310)과 물체 평면(103) 사이의 거리는 투영 대물렌즈의 트랙 길이의 50%를 넘는다.

[0238] 투영 대물렌즈(1300)에 대한 데이터는 아래 표 5a와 표 5b에 나타나 있다. 표 5a는 광학 데이터를 나타내는데 반해, 표 5b는 각 거울 표면에 대한 비구면 상수를 나타낸다. 표 5a와 표 5b의 목적상, 거울 지정은 다음과 같이 상호 관련된다. 즉, 거울1(M1)은 거울(1310)에 대응하고, 거울2(M2)는 거울(1320)에 대응하며, 거울3(M3)은 거울(1330)에 대응하고, 거울4(M4)는 거울(1340)에 대응하며, 거울5(M5)는 거울(1350)에 대응하고, 거울6(M6)은 거울(1360)에 대응한다.

표 5a

표면	반경 (mm)	두께 (mm)	모드
물체	무한대	946.404	
거울 1	-605.890	-364.901	REFL
거울 2	-368.417	0.000	REFL
조리개	무한대	626.468	
거울 3	-1202.217	-556.441	REFL
거울 4	1949.768	808.432	REFL
거울 5	276.499	-313.562	REFL
거울 6	401.291	353.600	REFL
이미지	무한대	0.000	

[0239]

표 5b

계수	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-5.95606E-01	-1.82166E+00	-5.82444E-01	-2.38948E+00	3.35329E+00	1.67263E-01
Y	1.96214E-02	1.05243E-01	-1.91165E-01	-6.23536E-02	-4.99892E-02	1.30034E-02
X ²	1.71425E-04	1.61788E-04	8.52106E-05	7.49004E-05	-2.48914E-04	3.88103E-05
Y ²	1.59322E-04	1.15506E-04	-1.78602E-05	-9.20778E-05	-2.00659E-04	4.01025E-05
X ² Y	3.03035E-08	-8.08249E-07	-6.98999E-08	-6.74632E-08	7.56105E-07	5.29501E-09
Y ³	2.86899E-08	-3.26183E-07	-9.54345E-08	-1.51650E-07	2.54367E-07	8.86827E-09
X ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ³	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁵	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶ Y	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ³	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁵	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁷	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁸	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶ Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁸	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶ Y ³	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ⁵	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁷	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁹	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ¹⁰	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁸ Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶ Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁸	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ¹⁰	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
N반경	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y-중심 벗어남	-200.000	-82.208	200.000	44.996	-23.759	-73.032
X-회전	-11.492	6.153	4.904	-0.617	-3.814	7.081

[0240]

[0241]

도 14a를 참조하면, 투영 대물렌즈(1400)의 일 실시예는 6개의 거울(1410, 1420, 1430, 1440, 1450, 1460)을 포함하고, 이미지-측 개구수가 0.40이며 동작 파장은 13.5nm이다. 거울(1410, 1420, 1430, 1440, 1450, 1460)은 모두 자유 형태 거울이다. 투영 대물렌즈(1400)는 물체 평면(103)으로부터 이미지 평면(102)으로 4X의 축소 배율비로 복사선을 이미지화한다. 투영 대물렌즈(1400)의 트랙 길이는 1498mm이고, 이미지화된 복사선의 광학 경로 길이는 3931mm이다. 따라서 트랙 길이에 대한 광학 경로 길이의 비는 대략 2,62이다. 투영 대물렌즈(1400)는 거울(1420)과 거울(1430) 사이에 위치한 필름 평면을 가진다.

[0242]

투영 대물렌즈(1400)의 입사 필름은 물체 평면(103)으로부터 1000mm 떨어져 위치하며, 물체 평면은 입사 필름과 거울 사이에 위치한다. 물체 평면(103)에서의 중심 필드 포인트의 주 광선 각도는 7°이다. 물체 평면(103)에서의 주 광선 각도의 최대 변화량은 0.82°이다.

[0243]

투영 대물렌즈(1400)는 직사각형 필드를 가진다. 이미지-측 필드 폭(d_x)는 26mm이다. 이미지-측 필드 길이(d_y)는 2mm이다. 투영 대물렌즈(1000)는 38mm의 물체-이미지 이동을 가진다.

[0244]

투영 대물렌즈(1000)의 성능은 0.083λ의 이미지-측 W_{rms}를 포함한다. 왜곡은 대략 100nm이고, 이미지-측 필드 곡률은 36nm이다. 투영 대물렌즈(1400)는 거울(1440)과 거울(1450) 사이에 중간 이미지를 제공한다.

[0245]

물체 평면(103)으로부터 이미지 평면(102)으로의 복사선 경로의 순서로 거울의 광학적 확대력은 다음과 같다. 즉, 거울(1410)은 양의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1420)은 양의 광학적 확대력을 가지며, 거울(1430)은 음의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1440)은 양의 광학적 확대력을 가지며, 거울(1050)은 음의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1460)은 양의 광학적 확대력을 가진다.

[0246]

M_x × M_y로 주어지는 각 거울의 축문의 치수는 다음과 같다. 즉, 거울(1410)에 대해서는 326mm × 159mm, 거울(1420)에 대해서는 210mm × 123mm, 거울(1430)에 대해서는 120mm × 66mm, 거울(1440)에 대해서는 312mm × 119

mm, 거울(1450)에 대해서는 112mm × 83mm, 거울(1460)에 대해서는 405mm × 379mm이다.

[0247] 중심 필드 포인트에 대한 주 광선 입사 각도는, 거울(1410, 1420, 1430, 1440, 1450, 1460)에 대해 각각 6.70°, 8.08°, 20.41°, 6.68°, 14.52°, 5.67° 이다. 정점 섹션에 대한 각 거울 위의 최대 입사각($\theta_{\text{최대}}$)은 거울(1410, 1420, 1430, 1440, 1450, 1460)에 대해 각각 8.61°, 10.91°, 21.98°, 7.41°, 27.19°, 6.86° 이다. 거울(1410, 1420, 1430, 1440, 1450, 1460)에 대한 $\Delta\theta$ 는, 각각 3.92°, 5.69°, 3.82°, 1.79°, 26.83°, 3.20° 이다.

[0248] 거울(1410, 1420, 1430, 1450, 1460)은 5mm보다 크고 25mm보다 작은 프리보드를 가진다. 거울(1440)은 양의 주 광선 각도 배율을 가지는데 반해, 거울(1410, 1420, 1430, 1450)은 음의 주 광선 각도 배율을 가진다.

[0249] 투영 대물렌즈(1400)의 이미지-측 자유 작용 거리는 45mm이다. 물체-측 자유 작용 거리는 291mm이다.

[0250] 투영 대물렌즈(1400)에서, $d_{\text{op-1}}/d_{\text{op-2}}$ 는 2.47이다. 게다가, 인접하는 거울 쌍(1440과 1450)은 투영 대물렌즈의 트랙 길이의 50%를 넘는 거리만큼 분리된다.

[0251] 투영 대물렌즈(1400)에 대한 데이터는 아래 표 6a와 표 6b에 나타나 있다. 표 6a는 광학 데이터를 나타내는데 반해, 표 6b는 각 거울 표면에 대한 비구면 상수를 나타낸다. 표 6a와 표 6b의 목적상, 거울 지정은 다음과 같이 상호 관련된다. 즉, 거울1(M1)은 거울(1010)에 대응하고, 거울2(M2)는 거울(1020)에 대응하며, 거울3(M3)은 거울(1030)에 대응하고, 거울4(M4)는 거울(1040)에 대응하며, 거울5(M5)는 거울(1050)에 대응하고, 거울6(M6)은 거울(1060)에 대응한다.

표 6a

표면	반경 (mm)	두께 (mm)	모드
물체	무한대	719.154	
거울 1	-1768.086	-427.871	REFL
거울 2	2334.525	575.634	REFL
거울 3	352.553	-347.888	REFL
거울 4	610.853	933.638	REFL
거울 5	431.588	-434.965	REFL
거울 6	521.464	479.940	REFL
이미지	무한대	0.000	

[0252]

표 6b

계수	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-7.735395E+00	-6.005799E+01	-3.751432E-01	-8.758413E-01	6.804547E+00	8.612526E-02
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ²	-1.485069E-04	-1.263679E-04	-2.624294E-04	1.347923E-05	-1.388138E-04	-6.931036E-06
Y ²	-1.726040E-04	-1.711814E-04	-1.005287E-03	-3.665045E-05	1.295215E-04	8.615161E-06
X ² Y	-5.200823E-08	-4.156617E-07	7.669496E-07	-5.478449E-08	9.580682E-07	-4.043887E-09
Y ³	-3.734392E-08	-4.637041E-08	-5.212076E-07	4.563436E-08	1.158899E-07	-6.370253E-09
X ⁴	-1.602036E-10	1.080674E-09	-1.784900E-08	3.290440E-10	2.227159E-09	-4.223672E-11
X ² Y ²	-5.655636E-10	1.150736E-09	9.356049E-09	-1.772824E-10	7.086270E-09	-3.649540E-11
Y ⁴	7.840007E-11	1.816509E-09	1.947612E-09	9.043201E-10	3.962050E-09	5.321857E-12
X ² Y ³	-9.204024E-14	2.366905E-12	-2.677935E-11	-8.314955E-13	-1.528996E-11	2.788263E-15
X ² Y ⁴	1.079182E-12	3.100338E-12	3.708016E-11	-5.930044E-12	-2.181691E-11	-3.366047E-14
Y ⁵	-4.579479E-13	-6.879640E-12	-4.466462E-13	9.529833E-13	-2.295402E-11	-2.906642E-14
X ⁶	6.241273E-17	-3.829664E-15	1.521283E-13	1.097127E-15	-3.501249E-14	-6.862154E-17
X ⁴ Y ²	1.666766E-15	1.243647E-14	5.320614E-14	7.533431E-16	8.652054E-14	-1.407857E-16
X ⁴ Y ³	-2.345440E-15	2.162639E-15	-5.453363E-14	-1.396841E-14	4.036247E-13	1.131588E-17
Y ⁶	-3.012261E-15	-1.224080E-14	-1.034267E-14	9.519542E-16	1.105527E-13	3.923271E-17
X ² Y ⁵	3.484859E-18	-9.656525E-18	-6.882044E-16	7.124323E-18	8.790794E-16	2.032080E-20
X ² Y ⁶	-2.997302E-18	-1.020453E-16	-4.147278E-16	1.059357E-17	9.581262E-16	-8.784820E-20
X ⁴ Y ⁴	3.436846E-18	2.303857E-17	-1.104525E-16	-1.635704E-17	-1.619074E-15	-2.001426E-19
Y ⁷	1.247042E-17	1.643841E-16	4.675424E-17	-7.809506E-19	-3.824576E-15	-5.405817E-20
X ⁸	6.566049E-22	4.616940E-20	-8.583253E-18	1.135128E-21	-4.651481E-19	-3.090479E-22
X ⁶ Y ²	-1.894284E-20	-2.084017E-19	-4.140672E-18	3.271179E-20	-2.096068E-17	-7.650033E-22
X ⁶ Y ³	-4.216883E-21	-3.239553E-19	-3.670866E-19	4.460462E-20	-8.776559E-17	-1.201625E-22
X ⁶ Y ⁴	-2.826171E-21	-3.920562E-19	3.151001E-20	7.969094E-21	-5.615799E-17	3.016401E-22
Y ⁸	-1.315593E-20	-3.058425E-19	2.416437E-20	8.284460E-22	-1.006196E-17	1.721317E-22
X ² Y ⁷	-9.935149E-25	-5.168771E-24	-2.316832E-20	-2.523681E-24	1.540486E-20	-3.155606E-26
X ⁴ Y ⁵	3.001708E-23	1.228818E-21	-2.812819E-21	3.078069E-23	-1.510545E-19	-4.150182E-25
X ⁴ Y ⁶	7.941504E-24	1.371322E-21	-5.440197E-21	3.362723E-23	-6.912241E-19	-2.930215E-25
X ⁶ Y ⁷	-9.194045E-25	7.101398E-22	4.152263E-22	1.093452E-23	-4.418575E-19	3.377883E-25
Y ⁹	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ³	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ⁵	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
N반경	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y-중심 벗어남	-182.329	-165.907	121.386	20.437	21.141	28.282
X- 회전	-10.857	-0.974	-13.061	-5.217	-2.314	-0.850

[0253]

[0254]

도 14b를 참조하면, 투영 대물렌즈(1400)는 컬렉터 유닛(1415), 스펙트럼 순도 필터(1425), 필드 패킷(facet) 거울(1435) 및 퓨필 패킷 거울(1445)을 포함하는 조명 광학 기기와, 광원(1405)을 포함하는 광학 시스템(1401)에서 사용될 수 있다. 광원(1405)은 투영 대물렌즈에 13.5nm로 복사선 제공하도록 구성된 EUV 광원이다. 컬렉터 유닛(1415)은 광원(1405)으로부터 복사선을 모아 13.5nm 이외의 파장에서는 입사 복사선을 필터링하고, 13.5nm의 복사선은 필드 패킷 거울(1435) 쪽으로 향하게 하는 스펙트럼 순도 필터(1415) 쪽으로 향하게 한다. 퓨필 패킷 거울(1445)과 함께, 필드 패킷 거울은 13.5nm의 복사선으로 물체 평면(103)에 위치한 반사성 레티클을 조명한다. 이 복사선은 그레이징 입사 거울과 같은 추가 성분을 사용하지 않고, 이러한 식으로 레티클에 제공된다.

[0255]

도 15를 참조하면, 투영 대물렌즈(1500)의 일 실시예는 6개의 거울(1510, 1520, 1530, 1540, 1550, 1560)을 포함하고, 이미지-측 개구수가 0.40이며 동작 파장은 13.5nm이다. 거울(1510, 1520, 1530, 1540, 1550, 1560)은 모두 자유로운 형태의 거울이다. 투영 대물렌즈(1500)는 물체 평면(103)으로부터 이미지 평면(102)으로 4X의 축소 배율비로 복사선을 이미지화한다. 투영 대물렌즈(1500)의 트랙 길이는 1499mm이고, 이미지화된 복사선의 광학 경로 길이는 4762mm이다. 따라서 트랙 길이에 대한 광학 경로 길이의 비는 대략 3,18이다.

[0256]

투영 대물렌즈(1500)의 입사 퓨필은 물체 평면(103)으로부터 1000mm 떨어져 위치하며, 물체 평면은 입사 퓨필과 거울 사이에 위치한다. 물체 평면(103)에 위치한 반사성 레티클로 인해, 조명 광학 기기, 특히 퓨필 패킷을 가지는 거울은 위치(1501)에 위치되며, 입사 퓨필에 대응한다. 물체 평면(103)에서의 중심 필드 포인트의 주 광선 각도는 7° 이다. 물체 평면(103)에서의 주 광선 각도의 최대 변화량은 0.82° 이다.

[0257]

투영 대물렌즈(1500)는 직사각형 필드를 가진다. 이미지-측 필드 폭(d_x)은 26mm이다. 이미지-측 필드 길이(d_y)는 2mm이다. 투영 대물렌즈(1500)는 7mm의 물체-이미지 이동을 가진다.

- [0258] 투영 대물렌즈(1500)의 성능은 0.040λ 의 이미지-측 W_{rms} 를 포함한다. 도 16a를 또한 참조하면, 왜곡은 이미지 필드에 걸쳐 약 3nm 미만이다. 이미지-측 필드 곡률은 35nm이다. 투영 대물렌즈(1500)는 거울(1540)과 거울(1550) 사이에 중간 이미지를 제공한다. 도 16b를 참조하면, 주 광선은 이미지 필드에서 약 $0.001\text{ rad}(0.06^\circ)$ 내로 이미지 평면(102)에 직교한다.
- [0259] 물체 평면(103)으로부터 이미지 평면(102)으로의 복사선 경로의 순서로 거울의 광학적 확대력은 다음과 같다. 즉, 거울(1510)은 양의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1520)은 음의 광학적 확대력을 가지며, 거울(1530)은 양의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1540)은 양의 광학적 확대력을 가지며, 거울(1550)은 음의 광학적 확대력을 가지고, 거울(1560)은 양의 광학적 확대력을 가진다. $M_x \times M_y$ 로 주어지는 각 거울의 축분의 치수는 다음과 같다. 즉, 거울(1510)에 대해서는 $253\text{mm} \times 162\text{mm}$, 거울(1520)에 대해서는 $105\text{mm} \times 66\text{mm}$, 거울(1530)에 대해서는 $227\text{mm} \times 301\text{mm}$, 거울(1540)에 대해서는 $182\text{mm} \times 220\text{mm}$, 거울(1550)에 대해서는 $111\text{mm} \times 85\text{mm}$, 거울(1560)에 대해서는 $289\text{mm} \times 275\text{mm}$ 이다.
- [0260] 중심 필드 포인트에 대한 주 광선 입사 각도는, 거울(1510, 1520, 1530, 1540, 1550, 1560)에 대해 각각 $3.96^\circ, 12.21^\circ, 7.51^\circ, 11.98^\circ, 15.82^\circ, 8.08^\circ$ 이다. 정점 섹션에 대한 각 거울 위의 최대 입사각($\theta_{\text{최대}}$)은 거울(1510, 1520, 1530, 1540, 1550, 1560)에 대해 각각 $4.47^\circ, 12.81^\circ, 8.55^\circ, 16.91^\circ, 27.68^\circ, 9.96^\circ$ 이다. 거울(1510, 1520, 1530, 1540, 1550, 1560)에 대한 $\Delta\theta$ 는, 각각 $1.10^\circ, 3.61^\circ, 4.19^\circ, 12.12^\circ, 27.17^\circ, 4.79^\circ$ 이다.
- [0261] 거울(1510, 1520, 1540, 1550, 1560)은 5mm보다 크고 25mm보다 작은 프리보드를 가진다. 거울(1530)은 양의 주 광선 각도 배율을 가지는데 반해, 거울(1510, 1520, 1540, 1550)은 음의 주 광선 각도 배율을 가진다.
- [0262] 투영 대물렌즈(1500)의 이미지-측 자유 작용 거리는 45mm이다. 물체-측 자유 작용 거리는 260mm이다.
- [0263] 투영 대물렌즈(1500)에서, $d_{\text{op-1}}/d_{\text{op-2}}$ 는 3.05이다. 게다가, 인접하는 거울 쌍(1520과 1530, 1530과 1540, 1540과 1550)은 투영 대물렌즈의 트랙 길이의 50%를 넘는 거리만큼 분리된다. 또한, 거울(1510)과 물체 평면(103) 사이의 거리는 투영 대물렌즈의 트랙 길이의 50%를 넘는다.
- [0264] 투영 대물렌즈(1500)에 대한 데이터는 아래 표 7a와 표 7b에 나타나 있다. 표 7a는 광학 데이터를 나타내는데 반해, 표 7b는 각 거울 표면에 대한 비구면 상수를 나타낸다. 표 7a와 표 7b의 목적상, 거울 지정은 다음과 같이 상호 관련된다. 즉, 거울1(M1)은 거울(1510)에 대응하고, 거울2(M2)는 거울(1520)에 대응하며, 거울3(M3)은 거울(1530)에 대응하고, 거울4(M4)는 거울(1540)에 대응하며, 거울5(M5)는 거울(1550)에 대응하고, 거울6(M6)은 거울(1560)에 대응한다.

표 7a

표면	반경 (mm)	두께 (mm)	모드
물체	무한대	793.452	
거울 1	-652.351	-533.717	REFL
거울 2	-459.234	946.263	REFL
거울 3	-1711.458	-789.999	REFL
거울 4	1814.404	1037.812	REFL
거울 5	310.131	-304.837	REFL
거울 6	407.712	349.882	REFL
이미지	무한대	0.000	

[0265]

표 7b

계수	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-5.917992E-01	1.401977E+00	-1.852312E+00	3.134672E+00	1.276852E+00	2.162747E-01
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ²	2.486175E-04	6.462590E-04	8.097144E-05	3.683589E-05	-5.694587E-04	1.127522E-05
Y ²	1.796052E-04	-1.218131E-05	-3.272168E-05	-7.479058E-05	-3.798909E-04	5.142215E-05
X ² Y	-3.704365E-08	-3.061838E-06	1.166808E-07	1.073313E-07	3.054784E-06	-1.901527E-08
Y ³	-8.473076E-09	-4.336504E-06	-6.831514E-08	-2.680850E-08	1.944165E-06	2.077407E-09
X ⁴	1.525482E-11	2.440415E-10	-2.839993E-11	-8.352784E-11	1.477727E-09	-1.231925E-10
X ² Y ²	4.909383E-11	1.819997E-09	-2.639958E-11	-7.953809E-11	1.884598E-08	-4.030921E-11
Y ⁴	7.241758E-11	-1.924132E-08	-1.611187E-10	-1.805904E-10	2.829058E-09	-6.788132E-11
X ⁴ Y	-3.944773E-14	-3.384346E-12	4.634420E-14	1.089774E-13	4.746215E-11	7.092901E-15
X ² Y ³	-2.485019E-13	-1.985647E-10	-1.749321E-13	2.706968E-13	1.878106E-10	7.623271E-14
Y ⁵	-6.222758E-14	1.546404E-10	-7.306272E-14	1.121470E-13	2.713089E-11	1.059625E-13
X ⁶	-2.853060E-17	1.499373E-14	-3.327224E-16	-3.396117E-16	1.122966E-13	-7.141998E-16
X ⁴ Y ²	5.428060E-17	-4.560639E-13	-2.729510E-17	1.958645E-17	4.975385E-13	-1.157245E-15
X ² Y ⁴	9.034205E-16	4.633694E-13	-4.803414E-16	4.337124E-16	9.650331E-13	-6.079561E-16
Y ⁶	9.726812E-16	-1.567936E-12	-9.119915E-19	3.224937E-16	-4.013641E-13	-1.910957E-16
X ⁴ Y	7.541120E-20	-5.491590E-16	-3.248735E-18	-4.999870E-18	1.809992E-15	1.533677E-19
X ² Y ⁵	-7.407407E-19	1.626025E-15	-4.175176E-19	-1.121906E-18	4.277794E-15	7.709209E-19
X ² Y ⁶	-3.053897E-18	-1.459850E-15	-5.190383E-19	9.702383E-19	5.157566E-15	9.414679E-19
Y ⁷	-1.167661E-17	1.377526E-14	-3.283791E-21	9.398678E-20	-3.053184E-15	3.954522E-19
X ⁶	-1.128385E-22	-2.091289E-19	-1.560172E-21	-2.941200E-21	2.054965E-18	-3.788563E-21
X ⁴ Y ²	-2.424101E-21	-5.485841E-18	-1.205060E-20	-3.188366E-20	8.911569E-18	-9.560288E-21
X ⁶ Y	4.347588E-22	-3.722786E-17	-1.249304E-21	-8.368608E-21	1.007777E-17	-8.789392E-21
X ⁴ Y ⁶	2.577199E-21	-2.687589E-17	-2.354061E-22	8.597809E-22	1.143993E-17	-3.545101E-21
Y ⁸	5.215288E-20	-7.369037E-17	-4.229309E-23	-6.689468E-22	-7.499429E-18	-1.703637E-21
X ⁶ Y	7.792174E-25	0.000000E+00	-7.813621E-24	-2.516130E-23	0.000000E+00	8.396981E-25
X ⁴ Y ³	8.992421E-24	0.000000E+00	-1.921637E-23	-8.262460E-23	0.000000E+00	4.664369E-24
X ² Y ⁵	-4.714974E-25	0.000000E+00	-1.610571E-24	-1.778199E-23	0.000000E+00	9.398752E-24
X ² Y ⁷	6.059892E-24	0.000000E+00	3.848059E-26	1.222213E-24	0.000000E+00	1.042278E-23
Y ⁹	-8.700880E-23	0.000000E+00	6.368781E-27	-2.288415E-25	0.000000E+00	7.789109E-24
X ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	-5.411923E-27	-1.603639E-26	0.000000E+00	-3.929816E-26
X ⁴ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.609679E-27	-4.538477E-26	0.000000E+00	-1.453997E-25
X ⁶ Y	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.127835E-26	-7.710579E-26	0.000000E+00	-1.839705E-25
X ⁴ Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.495275E-28	-1.413945E-26	0.000000E+00	-8.230974E-26
X ² Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	4.740792E-29	1.022008E-27	0.000000E+00	-8.755646E-27
Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	1.728076E-29	1.964912E-28	0.000000E+00	-7.204080E-27
N반경	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y-중심 벗어남	-144.660	-98.223	42.173	-14.449	2.986	-10.929
X- 회전	-8.868	-16.235	1.500	-3.658	-7.600	-1.635

[0266]

[0267]

도 17 내지 도 20은 모두 자유 형태 표면으로서 설계되는 4개의 거울을 가지는 본 발명의 또다른 실시예를 도시한다. 물체 평면(3000), 이미지 평면(3002), 제 1 거울(S1), 제 2 거울(S2), 제 3 거울(S3), 제 4 거울(S4)이 도시된다. 광학 데이터를 지닌 모든 이어지는 표들은 M1 내지 M4로서 거울(S1 내지 S4)을 지칭한다. 도 17 내지 도 20에 따른 실시예에 있어서, 다음 데이터가 주어진다.

[0268]

개구수: 0.26

[0269]

이미징 인자: 1:4

[0270]

물체 필드의 형태: 직사각형

[0271]

물체 축 위의 스캐닝 필드의 폭: 100mm

[0272]

물체 축 위의 스캐닝 필드의 높이: 8mm

[0273]

길이: 2360mm

[0274]

이미지 평면의 경사: -3084°

[0275]

이 실시예는 개구수, 필드 크기, 시스템 크기, 파면 및 왜곡 보정의 균형잡힌 조합을 가지는 시스템을 보여준다.

[0276] 광학 데이터는 다음 표로부터 볼 수 있다.

표면	반경	두께	모드
물체	무한대	2102,043	
거울 1	3004,821	-1812,311	REFL
거울 2	2545,365	1957,316	REFL
거울 3	706,710	0,000	REFL
조리개	무한대	-339,990	
거울 4	741,656	453,302	REFL
이미지	무한대	0,000	

[0277]

계수	M1	M2	M3	M4	이미지
Y-중심 벗어남	-65,523	54,692	48,905	47,778	23,755
X-회전	-2,620	-2,374	-2,706	-1,585	-3,084

계수	M1	M2	M3	M4
K	-1,09E+00	5,80E-02	2,06E+00	6,72E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	3,54E-04	9,93E-06	-5,35E-04	1,23E-04
Y2	1,97E-04	1,07E-05	1,23E-05	2,97E-04
X2Y	-6,42E-07	-2,47E-08	-4,37E-07	-2,44E-07
Y3	3,69E-07	1,89E-08	-1,34E-06	-4,72E-07
X4	2,63E-09	3,01E-12	-2,94E-08	-5,08E-09
X2Y2	-1,09E-10	2,13E-11	-3,33E-08	-5,07E-09
Y4	-6,07E-11	-1,88E-11	-1,42E-08	-1,36E-09
X4Y	-2,66E-11	-7,36E-14	4,84E-11	-4,80E-12
X2Y3	2,61E-11	3,55E-14	-5,06E-11	-1,05E-11
Y5	-1,67E-12	-6,53E-15	7,86E-11	-1,06E-11
X6	-8,14E-13	-2,93E-16	-7,71E-13	-1,04E-13
X4Y2	1,29E-13	6,33E-17	-1,53E-12	-4,13E-13
X2Y4	-4,50E-14	-7,40E-17	2,40E-13	-3,31E-13
Y6	1,04E-15	1,42E-17	-6,88E-13	1,99E-14
X6Y	1,96E-14	3,20E-18	-6,34E-15	-1,31E-15
X4Y3	-2,85E-16	2,38E-19	-1,30E-14	-5,72E-15
X2Y5	-1,60E-16	-4,36E-20	1,43E-14	-9,75E-16
Y7	1,93E-18	1,20E-20	1,61E-15	2,08E-15
X8	-1,62E-17	-1,41E-21	-8,44E-19	-7,70E-18
X6Y2	-1,69E-16	-1,19E-20	1,72E-16	-1,13E-16
X4Y4	3,10E-18	5,44E-22	2,91E-16	-1,26E-16
X2Y6	-2,80E-19	8,10E-22	9,83E-18	4,36E-17
Y8	8,73E-21	-4,31E-24	4,37E-17	3,31E-17
X8Y	1,79E-19	6,79E-24	1,76E-18	-4,84E-19
X6Y3	6,22E-19	1,62E-23	6,22E-18	-2,33E-18
X4Y5	-2,21E-20	-3,41E-24	-1,22E-19	-1,19E-18
X2Y7	4,10E-21	-2,28E-24	-2,47E-18	5,49E-19
Y9	9,75E-23	-5,21E-26	-5,68E-19	2,75E-19
X10	-3,29E-23	-8,73E-28	-5,00E-21	-4,71E-22
X8Y2	-4,75E-22	-7,40E-27	-6,76E-20	-6,64E-21
X6Y4	-8,19E-22	-6,01E-27	-1,52E-19	-1,46E-20
X4Y6	4,25E-23	3,34E-27	-4,79E-20	-4,03E-21
X2Y8	-6,29E-24	2,20E-27	5,65E-21	1,87E-21
Y10	-3,17E-25	9,18E-29	2,89E-21	8,49E-22
N반경	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

[0278]

X 물체/mm	Y 물체/mm	왜곡 (x)/nm	왜곡 (y)/nm	왜곡 /nm의 절대 값	텔레센트리시티 /도	13.5 nm에서의 파면 에러
0	600	0	-0.960073	0.960073	0.0196465	0.027195
0	602	0	-1.46082	1.46082	0.0111602	0.019766
0	604	0	-1.14157	1.14157	0.00258716	0.015522
0	606	0	-0.708422	0.708422	0.00607316	0.01395
0	608	0	-0.868087	0.868087	0.0148213	0.032279
12.5	600	-0.702813	-0.349919	0.785105	0.0226563	0.026075
12.5	602	-0.506161	-0.815296	0.959639	0.0159931	0.018251
12.5	604	-0.214821	-0.491402	0.536306	0.011916	0.01476
12.5	606	0.161171	-0.084304	0.181888	0.0132822	0.014764
12.5	608	0.611783	-0.300692	0.681685	0.0190686	0.032953
25	600	-0.828473	0.99838	1.29736	0.0299227	0.025603
25	602	-0.613329	0.633853	0.882011	0.0254871	0.014924
25	604	-0.210678	0.966257	0.988958	0.0234105	0.012561
25	606	0.359349	1.28961	1.33874	0.0243974	0.016745
25	608	1.07663	0.89729	1.40152	0.028208	0.035061
37.5	600	-0.079109	1.6231	1.62502	0.0391462	0.033551
37.5	602	-0.207297	1.40928	1.42444	0.036144	0.015412
37.5	604	-0.058849	1.73794	1.73893	0.035006	0.008795
37.5	606	0.335888	1.90321	1.93262	0.0359723	0.018708
37.5	608	0.946577	1.1986	1.5273	0.0389452	0.038658
50	600	1.28921	-0.96207	1.60861	0.0492443	0.056489
50	602	0.261464	-1.00092	1.03450	0.0471902	0.03219
50	604	-0.405953	-0.714664	0.821914	0.0466375	0.018965
50	606	-0.753775	-0.809016	1.10575	0.0476858	0.02652
50	608	-0.82272	-1.99027	2.15361	0.0502807	0.047096

[0279]

[0280]

X물체/mm와 Y물체/mm는 물체 평면에서의 x-좌표와 y-좌표를 나타낸다. 왜곡(x)/nm과 왜곡(y)/nm은 각 좌표에서의 왜곡을 나타낸다. 왜곡/nm의 절대값은 이미지 평면에서 측정된 각 좌표에서의 왜곡값의 절대값을 나타낸다. 텔레센트리시티/도는 각 좌표에서의 주 광선 각도를 나타낸다. 13.5nm에서의 파면 에러는 조명 파장(λ)이 13.5nm인 유닛에서의 RMS 파면 에러를 나타낸다. 광학 시스템이 yz-평면에 관해 거울 대칭적이므로, 물체 평면에서 양의 x-좌표를 가지는 필드포인트에 대한 데이터를 주는 것으로 충분하다.

[0281]

도 18 내지 도 20은 도 17에 따른 대물렌즈의 출사 pupil의 좌표 시스템에서의 측면 수차를 도시한다. 이들 수차 도면은 15개의 필드 포인트, 즉 $x=0$ 과 $x=x_{\text{최대}}/2$ 및 $x=x_{\text{최대}}$ 에서의 물체 필드의 중심에서 $y_{\text{최소}}$ 와 $y_{\text{최대}}$ 사이의 5개의 등거리 y-좌표에 대한 파면 에러를 보여준다.

[0282]

도 21 내지 도 24는 모두 자유 형태 표면으로서 설계되는 4개의 거울을 가지는 본 발명의 또다른 실시예를 도시한다. 도시된 것은 물체 평면(3000), 이미지 평면(3002), 제 1 거울(S1), 제 2 거울(S2), 제 3 거울(S3), 제 4 거울(S4)이 도시된다. 광학 데이터를 지닌 모든 이어지는 표들은 M1 내지 M4로서 거울(S1 내지 S4)을 지칭한다. 도 21 내지 도 24에 따른 실시예에 있어서, 다음 데이터가 주어진다.

[0283]

개구수: 0.3

[0284]

이미징 인자: 1:4

[0285]

물체 필드의 형태: 직사각형

[0286]

물체 축 위의 스캐닝 필드의 폭: 100mm

[0287]

물체 축 위의 스캐닝 필드의 높이: 8mm

[0288]

길이: 2354mm

[0289]

이미지 평면의 경사: -3798°

[0290]

이 실시예는 증가된 개구수를 가지는 시스템을 보여준다.

[0291] 광학 데이터는 다음 표로부터 볼 수 있다.

표면	반경	두께	모드
물체	무한대	2102.043	
거울 1	3030,572	-1827,768	REFL
거울 2	2546,206	1949,851	REFL
거울 3	689,344	0,000	REFL
조리개	무한대	-322,728	
거울 4	734,331	452,552	REFL
이미지	무한대	0,000	

계수	M1	M2	M3	M4	이미지
Y- 중심 벗어남	-60,435	53,835	51,299	48,788	20,674
X- 회전	-2,524	-2,393	-2,965	-1,494	-3,798

[0292]

계수	M1	M2	M3	M4
K	-1,64E+00	5,42E-02	2,28E+00	7,41E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	3,01E-04	8,11E-06	-2,17E-04	3,12E-04
Y2	1,85E-04	9,90E-06	1,37E-05	3,77E-04
X2Y	-8,52E-07	-2,68E-08	-8,61E-07	-3,91E-07
Y3	3,22E-07	1,35E-08	-1,77E-06	-3,44E-07
X4	1,85E-09	-4,10E-12	-3,25E-08	-3,95E-09
X2Y2	1,66E-09	2,16E-11	-4,52E-08	-3,73E-09
Y4	-2,66E-10	-2,70E-11	-1,63E-08	1,07E-09
X4Y	-1,09E-11	-4,58E-14	2,88E-11	-5,23E-12
X2Y3	2,59E-11	1,36E-14	-5,03E-11	-3,04E-12
Y5	-2,08E-12	-8,16E-15	5,68E-11	9,47E-13
X6	-3,36E-13	-1,32E-16	-1,05E-12	-8,91E-14
X4Y2	4,77E-14	2,14E-18	-2,39E-12	-2,67E-13
X2Y4	-1,05E-13	-8,15E-17	-5,56E-13	-1,48E-13
Y6	2,44E-15	1,81E-17	-8,66E-13	-9,89E-14
X6Y	7,74E-15	1,24E-18	-2,94E-15	6,43E-17
X4Y3	-1,33E-16	3,33E-19	-7,65E-15	-1,59E-15
X2Y5	6,38E-17	1,05E-20	2,25E-15	-1,75E-15
Y7	1,78E-17	-9,61E-21	5,45E-15	-1,44E-15
X8	-5,84E-18	-6,31E-22	-2,12E-17	-2,74E-18
X6Y2	-6,51E-17	-4,73E-21	-2,21E-17	-2,49E-17
X4Y4	1,12E-18	-1,06E-21	1,03E-17	-4,22E-17
X2Y6	-1,87E-19	3,30E-23	-3,82E-17	-1,56E-17
Y8	-1,84E-20	-2,35E-23	4,83E-17	-2,21E-18
X8Y	6,56E-20	3,32E-24	5,90E-19	-1,29E-19
X6Y3	2,32E-19	6,89E-24	2,59E-18	-5,99E-19
X4Y5	-7,44E-21	1,27E-24	2,28E-19	-4,47E-19
X2Y7	2,48E-21	-3,15E-25	3,92E-19	-9,74E-20
Y9	4,79E-23	3,01E-26	-8,17E-20	7,95E-20
X10	-1,93E-23	-6,89E-28	-3,94E-21	-2,24E-22
X8Y2	-1,74E-22	-4,55E-27	-2,48E-20	-2,04E-21
X6Y4	-2,97E-22	-4,06E-27	-4,24E-20	-4,46E-21
X4Y6	1,36E-23	-1,24E-27	-3,93E-21	-1,90E-21
X2Y8	-4,52E-24	3,71E-28	9,91E-21	-3,41E-22
Y10	-2,43E-25	-8,40E-31	2,16E-21	3,64E-22
N반경	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

[0293]

X 광재/mm	Y 광재/mm	왜곡 (x)/nm	왜곡 (y)/nm	왜곡/nm의 절대 값	텔레센트리시티 /도	13.5 nm에서의 파면 에러
0	600	0	-2.20023	2.20023	0.0179382	0.046052
0	602	0	-1.79021	1.79021	0.0109101	0.029756
0	604	0	-1.28717	1.28717	0.00378722	0.023987
0	606	0	-0.891336	0.891336	0.00343113	0.017834
0	608	0	-0.799202	0.799202	0.0107455	0.043696
12.5	600	-1.08427	-1.27001	1.66991	0.0239704	0.043224
12.5	602	-0.470847	-0.877877	0.996175	0.0193253	0.026959
12.5	604	0.0397523	-0.421226	0.423098	0.0164496	0.024212
12.5	606	0.437494	-0.10014	0.448809	0.016432	0.020337
12.5	608	0.712381	-0.110954	0.72097	0.0193876	0.042811
25	600	-1.45171	0.861628	1.68815	0.0365032	0.04072
25	602	-0.473724	1.1945	1.28501	0.0337094	0.021812
25	604	0.296494	1.50628	1.53518	0.0322325	0.025914
25	606	0.838851	1.59734	1.80421	0.0323169	0.027051
25	608	1.13332	1.27182	1.70351	0.0340121	0.041958
37.5	600	-0.729082	2.21013	2.32728	0.0509314	0.052463
37.5	602	0.112795	2.42562	2.42824	0.0490538	0.021672
37.5	604	0.637771	2.47706	2.55785	0.0481478	0.026628
37.5	606	0.815622	2.16558	2.31408	0.0483103	0.033809
37.5	608	0.616222	1.29608	1.43512	0.0495729	0.044712
50	600	0.775128	-0.556886	0.954435	0.0660057	0.083092
50	602	0.722695	-0.544482	0.904847	0.0646623	0.033187
50	604	0.238001	-0.896861	0.927904	0.0640826	0.022442
50	606	-0.719402	-1.81183	1.94942	0.0643192	0.040278
50	608	-2.18984	-3.48339	4.11454	0.0653953	0.058456

[0294]

[0295]

도 22 내지 도 24는 도 21에 따른 대물렌즈의 출사 pupils의 좌표 시스템에서의 측면 수차를 도시한다.

[0296]

도 25 내지 도 28는 모두 자유 형태 표면으로서 설계되는 4개의 거울을 가지는 본 발명의 또다른 실시예를 도시한다. 물체 평면(3000), 이미지 평면(3002), 제 1 거울(S1), 제 2 거울(S2), 제 3 거울(S3), 제 4 거울(S4)이 도시된다. 광학 데이터를 지닌 모든 이어지는 표들은 M1 내지 M4로서의 거울(S1 내지 S4)을 지칭한다. 도 25 내지 도 28에 따른 실시예에 있어서, 다음 데이터가 주어진다.

[0297]

개구수: 0.25

[0298]

이미징 인자: 1:5

[0299]

물체 필드의 형태: 직사각형

[0300]

물체 축 위의 스캐닝 필드의 폭: 100mm

[0301]

물체 축 위의 스캐닝 필드의 높이: 8mm

[0302]

길이: 3030mm

[0303]

이미지 평면의 경사: 0°

[0304]

이 실시예는 평행한 물체 및 이미지 평면을 가지는 시스템을 보여준다. 또한 이 실시예는 1:5인 상이한 이미징 인자를 보여준다.

[0305] 광학 데이터는 다음 표로부터 볼 수 있다.

표면	반경 (mm)	두께 (mm)	모드
물체	무한대	2802,724	
거울 1	3724,091	-2465,218	REFL
거울 2	3395,652	2585,049	REFL
거울 3	966,548	0,000	REFL
조리개	무한대	-489,055	
거울 4	977,692	596,613	REFL
이미지	무한대	0,000	

계수	M1	M2	M3	M4	이미지
Y- 중심벗어남	-100,324	68,520	71,277	70,971	11,261
X- 회전	-2,639	-2,442	-1,362	-1,500	0,000

[0306]

계수	M1	M2	M3	M4
K	-1,16E+00	2,46E-02	1,91E+00	6,14E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	7,57E-04	-5,51E-06	-1,67E-03	-7,26E-05
Y2	3,91E-04	1,41E-05	2,55E-04	5,59E-04
X2Y	3,33E-07	4,07E-08	7,06E-06	1,39E-06
Y3	7,43E-07	3,00E-08	-1,85E-06	-7,26E-07
X4	-3,29E-10	-1,40E-11	-3,83E-08	-9,63E-09
X2Y2	-5,31E-09	4,16E-11	-2,00E-08	-9,67E-09
Y4	-1,29E-10	3,16E-11	1,30E-09	-5,34E-10
X4Y	5,56E-11	-8,02E-16	2,62E-10	2,05E-11
X2Y3	9,40E-11	5,57E-14	1,95E-10	-4,65E-11
Y5	-4,49E-12	-1,18E-13	1,24E-10	-2,50E-11
X6	-1,02E-13	-2,32E-17	-7,28E-13	-2,01E-13
X4Y2	-6,56E-13	6,60E-16	3,35E-13	-7,74E-13
X2Y4	-2,69E-13	8,67E-16	3,48E-12	-1,39E-12
Y6	-1,18E-15	1,46E-16	4,55E-13	-6,59E-14
X6Y	1,01E-15	-3,25E-19	1,32E-14	-1,08E-15
X4Y3	3,51E-15	-1,59E-18	2,19E-14	-5,45E-15
X2Y5	-1,34E-16	-2,11E-18	2,46E-14	-1,09E-14
Y7	-2,06E-17	9,07E-21	1,98E-15	-1,21E-17
X8	6,20E-19	7,45E-23	-7,70E-18	-5,96E-18
X6Y2	-3,16E-18	1,52E-21	4,77E-17	-3,66E-17
X4Y4	-7,05E-18	2,84E-21	2,42E-16	-4,83E-17
X2Y6	1,15E-18	2,33E-21	-1,14E-17	-4,02E-17
Y8	8,47E-20	-8,82E-23	9,94E-17	6,83E-19
X8Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y5	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y7	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y9	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X8Y2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y6	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y8	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
N 반경	4,00E+00	4,00E+00	4,00E+00	4,00E+00

[0307]

X 영역/mm	Y 영역/mm	왜곡 (x)/nm	왜곡 (y)/nm	왜곡 /nm의 절대 값	텔레센트리시티 /도	13.5 nm에서의 표면 에러
0	800	0	-0.340392	0.340392	0.0258308	0.017169
0	802	0	-0.548595	0.548595	0.0138699	0.019794
0	804	0	-0.199318	0.199318	0.00186948	0.024128
0	806	0	0.121535	0.121535	0.0101706	0.014148
0	808	0	-0.173787	0.173787	0.0222505	0.035190
12.5	800	0.0450163	-0.176646	0.182292	0.0264815	0.018897
12.5	802	-0.0866232	-0.387405	0.396971	0.0151773	0.020501
12.5	804	-0.0707759	-0.0498264	0.0865557	0.00674106	0.024709
12.5	806	0.0891365	0.250161	0.265567	0.0122229	0.015804
12.5	808	0.389682	-0.0752142	0.396874	0.0233473	0.036331
25	800	0.164298	0.201778	0.260208	0.0283526	0.021433
25	802	-0.143816	-0.0170961	0.144828	0.0185673	0.020512
25	804	-0.157147	0.284935	0.325397	0.0131056	0.024535
25	806	0.117459	0.521867	0.534922	0.0169632	0.017161
25	808	0.673133	0.105856	0.681406	0.0263743	0.038085
37.5	800	0.382136	0.456584	0.595397	0.0312476	0.023030
37.5	802	-0.192076	0.222698	0.294088	0.0231726	0.017658
37.5	804	-0.324591	0.463967	0.566237	0.0195923	0.021537
37.5	806	-0.025688	0.594265	0.59482	0.022802	0.014965
37.5	808	0.694325	0.0256282	0.694798	0.0307906	0.038495
50	800	0.623063	0.0244512	0.623543	0.0349462	0.032248
50	802	-0.351568	-0.233592	0.422096	0.0284496	0.023561
50	804	-0.738167	-0.0805832	0.742553	0.0261558	0.025133
50	806	-0.550452	-0.102823	0.559974	0.0291262	0.020735
50	808	0.197816	-0.888445	0.910201	0.0361232	0.042244

[0308]

[0309]

도 26 내지 도 28은 도 25에 따른 대물렌즈의 출사 pupils의 좌표 시스템에서의 측면 수차를 도시한다.

[0310]

도 29 내지 도 32는 모두 자유 형태 표면으로서 설계되는 4개의 거울을 가지는 본 발명의 또다른 실시예를 도시한다. 물체 평면(3000), 이미지 평면(3002), 제 1 거울(S1), 제 2 거울(S2), 제 3 거울(S3), 제 4 거울(S4)이 도시된다. 광학 데이터를 지닌 모든 이어지는 표들은 M1 내지 M4로서 거울(S1 내지 S4)을 지칭한다. 도 29 내지 도 32에 따른 실시예에 있어서, 다음 데이터가 주어진다.

[0311]

개구수: 0.24

[0312]

이미징 인자: 1:5

[0313]

물체 필드의 형태: 직사각형

[0314]

물체 축 위의 스캐닝 필드의 폭: 100mm

[0315]

물체 축 위의 스캐닝 필드의 높이: 8mm

[0316]

길이: 2273mm

[0317]

이미지 평면의 경사: 0°

[0318]

도 25의 실시예에 비해, 이 실시예는 다소 더 낮은 개구수를 가지고, 다소 더 높은 잔여 수차를 가지지만, 도 17에 따른 시스템의 길이를 가진다.

[0319] 광학 데이터는 다음 표로부터 볼 수 있다.

표면	반경 (mm)	두께 (mm)	모드
물체	무한대	2102,043	
거울 1	2793,659	-1848,726	REFL
거울 2	2546,811	1938,769	REFL
거울 3	724,789	0,000	REFL
조리개	무한대	-366,800	
거울 4	733,040	447,458	REFL
이미지	무한대	0,000	

계수	M1	M2	M3	M4	이미지
Y-중심벗어남	-75,087	51,394	53,563	53,215	8,406
X-회전	-2,635	-2,442	-1,373	-1,503	0,000

[0320]

계수	M1	M2	M3	M4
K	-1,18E+00	2,43E-02	1,79E+00	6,25E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	5,63E-04	-4,21E-06	-1,24E-03	-5,32E-05
Y2	2,93E-04	1,06E-05	1,91E-04	4,21E-04
X2Y	3,27E-07	3,31E-08	5,31E-06	1,03E-06
Y3	5,55E-07	2,25E-08	-1,34E-06	-5,45E-07
X4	-4,83E-11	-1,05E-11	-2,55E-08	-7,45E-09
X2Y2	-4,43E-09	2,08E-11	-8,22E-09	-8,28E-09
Y4	-1,07E-10	2,38E-11	5,97E-09	-1,14E-09
X4Y	2,99E-11	-1,99E-14	2,05E-10	1,41E-11
X2Y3	6,95E-11	5,53E-14	1,56E-10	-5,12E-11
Y5	-3,40E-12	-8,87E-14	1,05E-10	-2,19E-11
X6	-3,28E-14	6,98E-18	-3,80E-13	-1,62E-13
X4Y2	-3,27E-13	6,59E-16	6,90E-13	-6,77E-13
X2Y4	-1,84E-13	6,85E-16	3,09E-12	-1,35E-12
Y6	-8,30E-16	1,08E-16	3,25E-13	-5,27E-14
X6Y	2,31E-16	-3,71E-19	9,39E-15	-9,01E-16
X4Y3	1,75E-15	-1,64E-18	1,82E-14	-5,23E-15
X2Y5	-1,54E-16	-1,71E-18	2,00E-14	-1,08E-14
Y7	-1,38E-17	4,97E-21	1,64E-16	-8,50E-18
X8	4,46E-19	6,17E-23	2,58E-18	-4,70E-18
X6Y2	-8,01E-19	1,33E-21	8,08E-17	-2,87E-17
X4Y4	-3,59E-18	2,58E-21	2,26E-16	-4,48E-17
X2Y6	9,06E-19	1,87E-21	-2,45E-17	-4,08E-17
Y8	6,53E-20	-4,81E-23	8,45E-17	-2,43E-19
X8Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y5	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y7	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y9	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X8Y2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y6	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y8	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
N 반경	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

[0321]

X 물체/mm	Y 물체/mm	왜곡 (x)/nm	왜곡 (y)/nm	왜곡/nm의 절대 값	텔레센트리시티 /도	13.5 nm에서의 표면 에러
0	600	0	-0.303712	0.303712	0.0350766	0.023748
0	602	0	-0.943417	0.943417	0.0190794	0.022355
0	604	0	-0.508069	0.508069	0.00301184	0.029861
0	606	0	0.00377447	0.003775	0.0131266	0.017655
0	608	0	-0.410098	0.410098	0.0293362	0.037546
12.5	600	-0.0976702	-0.0397139	0.105436	0.0359221	0.024194
12.5	602	-0.336727	-0.658804	0.73987	0.0208196	0.021336
12.5	604	-0.305426	-0.223582	0.378515	0.00938223	0.028592
12.5	606	-0.0115266	0.267305	0.267554	0.0161529	0.016575
12.5	608	0.537176	-0.188439	0.569269	0.0309678	0.038828
25	600	0.0740798	0.543069	0.548099	0.0383664	0.025529
25	602	-0.488733	-0.0159655	0.488994	0.0253625	0.019218
25	604	-0.511562	0.417058	0.660025	0.0180672	0.025576
25	606	-0.00993471	0.843229	0.843287	0.0229845	0.014322
25	608	1.00055	0.259991	1.03377	0.0354364	0.042367
37.5	600	0.635211	0.816881	1.03479	0.0421854	0.027832
37.5	602	-0.420855	0.35196	0.548629	0.0315907	0.018948
37.5	604	-0.668773	0.775246	1.02385	0.0269974	0.023314
37.5	606	-0.131864	1.08739	1.09535	0.0312902	0.013747
37.5	608	1.16644	0.285392	1.20085	0.0418989	0.047139
50	600	1.40779	-0.264954	1.43251	0.0471254	0.033617
50	602	-0.396014	-0.610703	0.727863	0.0387971	0.027129
50	604	-1.12571	-0.213831	1.14584	0.0360974	0.028277
50	606	-0.812445	-0.0743145	0.815836	0.0402623	0.020092
50	608	0.512487	-1.19576	1.30095	0.0496609	0.052034

[0322]

[0323]

도 30 내지 도 32는 도 29에 따른 대물렌즈의 출사 pupils의 좌표 시스템에서의 측면 수차를 도시한다.

[0324]

도 33 내지 도 36은 모두 자유 형태 표면으로서 설계되는 4개의 거울을 가지는 본 발명의 또다른 실시예를 도시한다. 물체 평면(3000), 이미지 평면(3002), 제 1 거울(S1), 제 2 거울(S2), 제 3 거울(S3), 제 4 거울(S4)이 도시된다. 광학 데이터를 지닌 모든 이어지는 표들은 M1 내지 M4로서 거울(S1 내지 S4)을 지칭한다. 도 33 내지 도 36에 따른 실시예에 있어서, 다음 데이터가 주어진다.

[0325]

개구수: 0.30

[0326]

이미징 인자: 1:5

[0327]

물체 필드의 형태: 직사각형

[0328]

물체 측 위의 스캐닝 필드의 폭: 100mm

[0329]

물체 측 위의 스캐닝 필드의 높이: 8mm

[0330]

길이: 2332mm

[0331]

이미지 평면의 경사: -4515°

[0332]

이 광학 시스템으로는, 광학 성분의 차폐 없이, 매우 높은 개구수가 실현된다.

[0333] 광학 데이터는 다음 표로부터 볼 수 있다.

표면	반경	두께	모드
물체	무한대	2102,043	
거울 1	2806,084	-1838,550	REFL
거울 2	2547,909	1937,744	REFL
거울 3	678,009	0,000	REFL
조리개	무한대	-321,297	
거울 4	724,986	451,996	REFL
이미지	무한대	0,000	

계수	M1	M2	M3	M4	이미지
Y- 중심벗어남	-60,550	48,435	58,618	51,407	8,786
X- 회전	-2,354	-2,502	-3,516	-1,667	-4,515

[0334]

계수	M1	M2	M3	M4
K	-9,97E-01	3,10E-02	2,78E+00	8,33E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	5,76E-04	3,29E-05	3,77E-04	7,34E-04
Y2	2,85E-04	8,60E-06	-2,80E-04	4,86E-04
X2Y	-1,58E-06	7,59E-11	2,37E-06	4,69E-08
Y3	5,91E-07	1,16E-08	-3,82E-07	-6,08E-07
X4	2,12E-09	2,57E-11	-2,39E-08	4,09E-10
X2Y2	1,66E-08	1,07E-10	-5,49E-08	-8,60E-10
Y4	-4,86E-11	3,13E-11	-4,63E-08	-1,53E-09
X4Y	-3,03E-11	-5,49E-14	1,73E-10	3,15E-12
X2Y3	-6,10E-11	-1,55E-13	1,88E-10	-7,52E-12
Y5	-4,20E-12	-4,44E-14	1,11E-10	-3,72E-12
X6	9,54E-15	3,01E-17	-7,68E-13	-2,46E-14
X4Y2	2,14E-13	4,63E-16	-2,74E-12	-1,59E-13
X2Y4	1,12E-14	3,89E-16	-3,32E-12	-1,92E-13
Y6	1,65E-15	2,47E-17	-1,30E-12	-7,78E-14
X6Y	-2,26E-16	-1,54E-19	8,48E-15	-1,53E-16
X4Y3	-5,47E-16	-7,87E-19	1,15E-14	-6,67E-16
X2Y5	5,78E-16	-3,98E-19	3,95E-15	-3,91E-16
Y7	1,29E-18	-6,38E-21	-3,30E-15	4,66E-16
X8	2,43E-19	3,50E-23	-1,57E-17	-1,17E-18
X6Y2	3,79E-19	4,92E-22	-9,74E-17	-7,71E-18
X4Y4	2,03E-21	1,04E-21	-1,74E-16	-1,21E-17
X2Y6	-1,22E-18	4,66E-22	-1,42E-16	-7,08E-18
Y8	1,73E-20	1,30E-23	-4,17E-17	1,05E-18
X8Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y5	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y7	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y9	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X8Y2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y6	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y8	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
N반경	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

[0335]

x 좌표/mm	y 좌표/mm	왜곡 (x)/nm	왜곡 (y)/nm	왜곡/nm의 절대 값	탈레센트리시티 /도	13.5 nm에서의 표면 에러
0	600	0	-0.166318	0.166318	0.0148053	0.053501
0	602	0	-0.731572	0.731572	0.00884521	0.019284
0	604	0	-0.661487	0.661487	0.00282744	0.038268
0	606	0	-0.504836	0.504836	0.0032483	0.021472
0	608	0	-0.810627	0.810627	0.00938234	0.047628
12.5	600	-0.852921	0.132616	0.863169	0.0186158	0.052338
12.5	602	-0.193958	-0.398416	0.44312	0.0145478	0.024553
12.5	604	0.181685	-0.303572	0.353787	0.0121468	0.042437
12.5	606	0.270096	-0.131573	0.300439	0.012504	0.02662
12.5	608	0.0673771	-0.431381	0.436611	0.0154976	0.048115
25	600	-1.29433	0.754312	1.49809	0.0270423	0.048536
25	602	-0.101019	0.323398	0.338808	0.0247903	0.031643
25	604	0.524636	0.489914	0.717815	0.0238524	0.049015
25	606	0.574789	0.705289	0.909844	0.0244236	0.033313
25	608	0.0416169	0.420711	0.422764	0.0264463	0.04856
37.5	600	-1.11433	0.871449	1.41462	0.0371683	0.044918
37.5	602	0.363273	0.598909	0.700471	0.0359881	0.032203
37.5	604	0.986834	0.876191	1.31968	0.0357827	0.049123
37.5	606	0.744538	1.15498	1.37416	0.0365972	0.031801
37.5	608	-0.375406	0.886699	0.962894	0.0383944	0.049913
50	600	-0.505166	-0.901506	1.03339	0.0480691	0.060875
50	602	0.879494	-0.970155	1.30947	0.0476135	0.036681
50	604	1.12068	-0.556047	1.25104	0.0479137	0.044354
50	606	0.202525	-0.20714	0.289695	0.0489775	0.03033

[0336]

[0337] 도 34 내지 도 36은 도 33에 따른 대물렌즈의 출사 pupils의 좌표 시스템에서의 측면 수치를 도시한다.

[0338] 도 37 내지 도 40은 모두 자유 형태 표면으로서 설계되는 4개의 거울을 가지는 본 발명의 또다른 실시예를 도시한다. 물체 평면(3000), 이미지 평면(3002), 제 1 거울(S1), 제 2 거울(S2), 제 3 거울(S3), 제 4 거울(S4)이 도시된다. 광학 데이터를 지닌 모든 이어지는 표들은 M1 내지 M4로서 거울(S1 내지 S4)을 지칭한다. 도 37 내지 도 40에 따른 실시예에 있어서, 다음 데이터가 주어진다.

[0339] 개구수: 0.20

[0340] 이미징 인자: 1:4

[0341] 물체 필드의 형태: 직사각형

[0342] 물체 축 위의 스캐닝 필드의 폭: 100mm

[0343] 물체 축 위의 스캐닝 필드의 높이: 8mm

[0344] 길이: 2084mm

[0345] 이미지 평면의 경사: +6890°

[0346] 이 실시예는 물체 평면의 법선에 관해 높은 주 광선 각도를 주는 거울 배열을 보여준다. 이는 도시되지 않은 조명 광선 경로와, 반사 마스크 또는 레티클에서의 이미지화 광선 경로의 분리를 용이하게 한다. 또한, 거울 표면 위의 최대 입사각은 이 실시예에서 다소 더 낮고, 이는 다층 반사성 구조물의 제작을 용이하게 한다.

[0347] 광학 데이터는 다음 표로부터 볼 수 있다.

표면	반경	두께	모드
물체	무한대	1781,972	
거울 1	21581,586	-1639,081	REFL
거울 2	4053,640	1376,461	REFL
거울 3	1254,488	0,000	REFL
조리개	무한대	-1067,803	
거울 4	1733,205	1632,838	REFL
이미지	무한대	0,000	

[0348]

계수	M1	M2	M3	M4	이미지
Y- 중심벗어남	-29,501	-2,134	-5,508	-0,487	5,838
X- 회전	-0,812	0,034	2,908	1,105	6,890

계수	M1	M2	M3	M4
K	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	2,80E-04	1,47E-05	-6,54E-04	-1,23E-04
Y2	1,13E-04	7,15E-05	-1,55E-04	-2,14E-05
X2Y	-8,62E-09	-9,59E-08	-2,20E-07	-1,32E-08
Y3	1,51E-07	5,42E-08	1,12E-07	3,86E-08
X4	2,07E-09	-1,04E-10	-6,16E-10	-7,05E-11
X2Y2	-3,64E-09	-1,00E-10	-4,18E-10	-3,95E-11
Y4	-2,70E-11	-3,46E-10	1,32E-09	5,30E-11
X4Y	-2,72E-11	-2,99E-13	1,86E-13	-6,90E-15
X2Y3	1,52E-11	2,29E-13	-1,45E-12	8,75E-14
Y5	-1,49E-12	4,09E-13	5,04E-12	2,35E-14
X6	-2,54E-14	-8,99E-17	-3,11E-16	-5,52E-17
X4Y2	7,40E-14	1,26E-15	-2,70E-15	-2,62E-17
X2Y4	-1,14E-14	-2,54E-15	1,21E-14	1,83E-16
Y6	1,69E-15	1,03E-16	-3,69E-15	6,00E-17
X6Y	-6,30E-17	4,44E-20	-8,25E-18	2,20E-20
X4Y3	6,36E-17	-1,53E-18	-3,51E-17	2,26E-19
X2Y5	-7,58E-17	4,16E-18	3,32E-17	-9,30E-20
Y7	-9,34E-19	-2,88E-19	3,35E-17	8,72E-20
X8	7,35E-18	3,66E-21	-3,46E-20	-7,26E-24
X6Y2	3,71E-18	1,22E-20	-3,57E-20	5,68E-22
X4Y4	3,71E-19	-4,74E-21	3,56E-19	-5,19E-22
X2Y6	1,26E-19	1,19E-21	4,63E-20	-8,91E-22
Y8	3,67E-21	-8,04E-22	3,00E-20	1,91E-22
X8Y	-6,70E-20	-8,52E-23	8,72E-23	1,96E-24
X6Y3	-1,92E-20	-1,06E-22	6,48E-22	2,15E-24
X4Y5	-4,59E-21	-2,85E-23	9,86E-22	-3,07E-24
X2Y7	7,55E-23	-1,72E-23	1,23E-21	-2,46E-24
Y9	3,46E-26	3,04E-24	-2,25E-22	3,35E-25
X10	5,05E-23	6,75E-26	1,03E-24	1,46E-27
X8Y2	1,43E-22	2,53E-25	4,57E-24	4,54E-27
X6Y4	2,81E-23	2,06E-25	2,76E-24	2,39E-27
X4Y6	7,66E-24	9,23E-26	-2,58E-24	-1,86E-27
X2Y8	-1,40E-25	2,75E-26	-6,32E-25	-2,02E-27
Y10	1,61E-27	-2,48E-27	6,81E-25	1,93E-28
N반경	2,00E+00	2,00E+00	2,00E+00	2,00E+00

[0349]

X 물체/mm	Y 물체/mm	왜곡 (x)/nm	왜곡 (y)/nm	왜곡/nm의 절대 값	텔레센트리시티 /도	13.5 nm에서의 파면 에러
0	800	0	-0.366434	0.366434	0.0198854	0.093978
0	802	0	-0.0892875	0.0892875	0.0104067	0.015958
0	804	0	-0.0777646	0.0777646	0.0009187	0.032744
0	806	0	0.0405964	0.0405964	0.0085785	0.042489
0	808	0	0.661542	0.661542	0.018085	0.028159
12.5	800	0.0955838	-0.353342	0.366042	0.0306806	0.091554
12.5	802	-0.0573173	-0.0687788	0.089531	0.0256084	0.020828
12.5	804	-0.106637	-0.0760641	0.130985	0.0234513	0.03637
12.5	806	-0.0613664	-0.00241775	0.061414	0.0249869	0.044044
12.5	808	0.0696061	0.548237	0.552638	0.0296558	0.030805
25	800	0.115633	-0.279658	0.302621	0.0507857	0.08257
25	802	-0.184329	0.0221776	0.185658	0.047943	0.024249
25	804	-0.278855	-0.0466988	0.282738	0.0468785	0.040154
25	806	-0.1860	-0.112547	0.2174	0.0477167	0.043512
25	808	0.0763955	0.221706	0.234499	0.050368	0.032565
37.5	800	0.146594	-0.0521759	0.155602	0.072869	0.065923
37.5	802	-0.292306	0.261705	0.392342	0.0709743	0.020204
37.5	804	-0.42743	0.0728035	0.433586	0.0703175	0.037534
37.5	806	-0.286029	-0.243519	0.375651	0.0709367	0.034303
37.5	808	0.104968	-0.288511	0.307012	0.0728031	0.030384
50	800	0.555156	0.451152	0.715358	0.095576	0.062457
50	802	-0.0193915	0.746217	0.746469	0.0941997	0.044595
50	804	-0.197219	0.352291	0.403738	0.0937666	0.049527
50	806	-0.0149766	-0.352951	0.353268	0.0942927	0.040292
50	808	0.491125	-0.968364	1.08579	0.0957648	0.053486

[0350]

[0351] 도 38 내지 도 40은 도 37에 따른 대물렌즈의 출사 pupils의 좌표 시스템에서의 측면 수차를 도시한다.

[0352]

도 41 내지 도 44는 모두 자유 형태 표면으로서 설계되는 4개의 거울을 가지는 본 발명의 또다른 실시예를 도시한다. 물체 평면(3000), 이미지 평면(3002), 제 1 거울(S1), 제 2 거울(S2), 제 3 거울(S3), 제 4 거울(S4)이 도시된다. 광학 데이터를 지닌 모든 이어지는 표들은 M1 내지 M4로서 거울(S1 내지 S4)을 지칭한다. 도 41 내지 도 44에 따른 실시예에 있어서, 다음 데이터가 주어진다.

[0353]

개구수: 0.22

[0354]

이미징 인자: 1:4

[0355]

물체 필드의 형태: 직사각형

[0356]

물체 축 위의 스캐닝 필드의 폭: 100mm

[0357]

물체 축 위의 스캐닝 필드의 높이: 6mm

[0358]

길이: 1610mm

[0359]

이미지 평면의 경사: -3269°

[0360]

이 광학 시스템은 높은 개구수와 특히 2m 이하인 길이와 더불어 100mm의 전체 물체 필드 폭을 가진다.

[0361] 광학 데이터는 다음 표로부터 볼 수 있다.

표면	반경	두께	모드
물체	무한대	1401,362	
거울 1	2056,786	-1173,664	REFL
거울 2	1698,638	1307,130	REFL
거울 3	485,224	0,000	REFL
조리개	무한대	-242,471	
거울 4	500,544	317,875	REFL
이미지	무한대	0,000	

계수	M1	M2	M3	M4	이미지
Y-중심 벗어남	-39,335	41,119	28,409	29,500	20,214
X-회전	-2,559	-2,218	-2,171	-1,946	-3,269

[0362]

계수	M1	M2	M3	M4
K	1,99E-01	1,77E-02	-1,87E+00	4,88E-01
Y	2,81E-02	1,37E-02	3,55E-02	7,69E-03
X2	2,26E-04	3,48E-06	-4,91E-04	-4,94E-05
Y2	1,03E-04	5,88E-06	4,66E-05	1,24E-04
X2Y	-2,82E-07	-2,37E-09	6,97E-07	5,91E-08
Y3	2,75E-07	1,70E-08	1,19E-07	-2,41E-07
X4	9,82E-10	1,81E-11	4,96E-08	-2,57E-09
X2Y2	3,25E-10	7,65E-11	1,17E-07	-1,97E-09
Y4	3,00E-10	3,51E-11	5,55E-08	-1,12E-09
X4Y	1,63E-12	-5,37E-14	6,00E-11	-1,49E-12
X2Y3	7,72E-12	-1,83E-13	5,59E-11	-5,50E-12
Y5	-1,69E-12	-2,87E-14	1,06E-10	-7,08E-12
X6	-7,06E-13	-2,35E-16	7,97E-13	-3,51E-14
X4Y2	-1,89E-13	2,95E-16	2,92E-12	-2,27E-13
X2Y4	-2,95E-14	8,47E-16	3,43E-12	-8,71E-14
Y6	-6,58E-15	6,72E-17	1,51E-12	2,45E-13
X6Y	1,66E-14	2,27E-18	-5,35E-15	-1,05E-16
X4Y3	3,03E-16	-1,68E-18	-1,54E-14	-4,92E-15
X2Y5	3,34E-17	-1,58E-18	8,39E-15	-7,28E-18
Y7	6,29E-18	-9,72E-20	-1,58E-14	4,60E-15
X8	-8,43E-18	-5,58E-22	3,34E-17	-1,03E-18
X6Y2	-1,36E-16	-3,42E-21	2,48E-16	-4,99E-17
X4Y4	1,67E-17	1,04E-20	5,35E-16	-1,22E-16
X2Y6	-1,28E-19	2,47E-21	1,70E-16	1,96E-17
Y8	2,31E-20	2,12E-22	1,26E-17	2,70E-17
X8Y	6,81E-20	-6,83E-25	1,95E-18	-2,10E-19
X6Y3	4,40E-19	-1,21E-23	8,94E-18	-1,50E-18
X4Y5	-1,14E-19	-2,41E-23	2,11E-18	-1,40E-18
X2Y7	1,00E-21	-2,59E-24	-2,62E-18	2,58E-19
Y9	1,76E-22	-1,04E-25	4,55E-19	4,95E-20
X10	4,15E-23	1,40E-27	1,03E-21	-3,22E-22
X8Y2	-8,40E-23	8,23E-27	-2,65E-20	-3,81E-21
X6Y4	-4,40E-22	2,75E-26	-1,15E-19	-1,13E-20
X4Y6	2,15E-22	2,05E-26	-6,68E-20	-5,18E-21
X2Y8	-2,36E-24	2,35E-27	1,73E-20	1,16E-21
Y10	-4,82E-25	1,60E-28	7,05E-21	6,71E-23
N반경	2,00E+00	2,00E+00	2,00E+00	2,00E+00

[0363]

X 원래/mm	Y 원래/mm	왜곡 (x)/nm	왜곡 (y)/nm	왜곡/nm의 절대 값	텔레센트리시티 /도	13.5 nm에서의 파면 에러
0	400	0	-1.00949	1.00949	0.0229582	0.016806
0	401.5	0	-1.95078	1.95078	0.0133671	0.014259
0	403	0	-1.62222	1.62222	0.00369148	0.023621
0	404.5	0	-1.10626	1.10626	0.00606921	0.019377
0	406	0	-1.48681	1.48681	0.0159156	0.012538
12.5	400	-0.880918	-0.237177	0.912288	0.0242612	0.029659
12.5	401.5	-0.966915	-1.11354	1.47475	0.0158373	0.024479
12.5	403	-0.748886	-0.752973	1.06198	0.00983379	0.029615
12.5	404.5	-0.234325	-0.238253	0.334175	0.0114533	0.0278
12.5	406	0.569207	-0.653615	0.866723	0.0189539	0.028612
25	400	-0.712509	1.51156	1.67107	0.0278372	0.041582
25	401.5	-1.05587	0.817705	1.33548	0.0216593	0.031971
25	403	-0.794449	1.26023	1.48974	0.0186545	0.033731
25	404.5	0.0563116	1.75538	1.75628	0.0204067	0.035112
25	406	1.48083	1.21794	1.91735	0.0260668	0.043885
37.5	400	0.775815	2.32893	2.45475	0.0330354	0.035552
37.5	401.5	-0.220665	1.89815	1.91094	0.0289732	0.019017
37.5	403	-0.318211	2.43041	2.45116	0.0278179	0.018555
37.5	404.5	0.458907	2.84034	2.87718	0.0299911	0.023281
37.5	406	2.08622	2.04109	2.91862	0.0349482	0.041572
50	400	2.20545	-1.61745	2.73499	0.0393365	0.049861
50	401.5	-0.163904	-1.76675	1.77434	0.0370418	0.045563
50	403	-1.35027	-1.20714	1.81119	0.0372211	0.042817
50	404.5	-1.38792	-1.02622	1.72611	0.0399036	0.036919
50	406	-0.3114	-2.31311	2.33398	0.0446971	0.041068

[0364]

[0365]

도 42 내지 도 44는 도 41에 따른 대물렌즈의 출사 pupils의 좌표 시스템에서의 측면 수차를 도시한다.

[0366]

도 45 내지 도 48은 모두 자유 형태 표면으로서 설계되는 4개의 거울을 가지는 본 발명의 또다른 실시예를 도시한다. 물체 평면(3000), 이미지 평면(3002), 제 1 거울(S1), 제 2 거울(S2), 제 3 거울(S3), 제 4 거울(S4)이 도시된다. 광학 데이터를 지닌 모든 이어지는 표들은 M1 내지 M4로서 거울(S1 내지 S4)을 지칭한다. 도 45 내지 도 48에 따른 실시예에 있어서, 다음 데이터가 주어진다.

[0367]

개구수: 0.2

[0368]

이미징 인자: 1:4

[0369]

물체 필드의 형태: 직사각형

[0370]

물체 축 위의 스캐닝 필드의 폭: 48mm

[0371]

물체 축 위의 스캐닝 필드의 높이: 6mm

[0372]

길이: 805mm

[0373]

이미지 평면의 경사: -3254°

[0374]

다소 더 작은 물체 필드를 가지므로, 이 광학 시스템은 매우 콤팩트하다.

[0375] 광학 데이터는 다음 표로부터 볼 수 있다.

표면	반경	두께	모드
물체	무한대	700,681	
거울 1	1028,806	-586,789	REFL
거울 2	849,319	653,594	REFL
거울 3	242,363	0,000	REFL
조리개	무한대	-121,170	
거울 4	250,164	158,873	REFL
이미지	무한대	0,000	

계수	M1	M2	M3	M4	이미지
Y- 중심벗어남	-19,604	20,562	14,246	14,754	10,066
X- 회전	-2,555	-2,217	-2,176	-1,945	-3,254

[0376]

계수	M1	M2	M3	M4
K	1,85E-01	1,74E-02	-1,85E+00	4,82E-01
Y	1,40E-02	6,82E-03	1,78E-02	3,82E-03
X2	1,12E-04	1,78E-06	-2,41E-04	-2,19E-05
Y2	5,11E-05	2,94E-06	2,25E-05	6,32E-05
X2Y	-1,50E-07	-2,03E-09	2,40E-07	6,62E-09
Y3	1,37E-07	8,46E-09	9,10E-08	-1,22E-07
X4	6,14E-10	1,05E-11	2,48E-08	-1,21E-09
X2Y2	1,18E-10	3,69E-11	5,87E-08	-8,27E-10
Y4	1,49E-10	1,75E-11	2,85E-08	-6,21E-10
X4Y	-4,96E-13	-4,03E-14	2,70E-11	-1,87E-12
X2Y3	3,75E-12	-9,18E-14	2,66E-11	-3,21E-12
Y5	-8,45E-13	-1,45E-14	5,11E-11	-3,08E-12
X6	-4,48E-13	-1,55E-16	4,07E-13	-1,32E-14
X4Y2	-9,93E-14	1,76E-16	1,48E-12	-1,34E-13
X2Y4	-1,45E-14	4,25E-16	1,72E-12	-4,41E-14
Y6	-3,27E-15	3,37E-17	5,96E-13	1,31E-13
X6Y	9,85E-15	1,26E-18	-4,00E-15	9,75E-18
X4Y3	2,03E-16	-8,24E-19	-7,92E-15	-2,79E-15
X2Y5	2,17E-17	-7,96E-19	4,39E-15	-2,79E-17
Y7	3,42E-18	-4,69E-20	-7,86E-15	2,14E-15
X8	-9,51E-18	-1,05E-21	2,00E-17	-1,48E-18
X6Y2	-7,13E-17	7,34E-23	1,55E-16	-3,11E-17
X4Y4	8,72E-18	5,00E-21	2,91E-16	-5,52E-17
X2Y6	-6,01E-20	1,22E-21	8,06E-17	1,21E-17
Y8	1,39E-20	1,11E-22	2,93E-17	1,34E-17
X8Y	8,76E-20	3,22E-24	1,62E-18	-1,88E-19
X6Y3	1,77E-19	-1,60E-23	6,77E-18	-9,63E-19
X4Y5	-6,03E-20	-1,18E-23	-5,88E-20	-5,35E-19
X2Y7	3,31E-22	-1,26E-24	-1,35E-18	1,61E-19
Y9	9,94E-23	-4,83E-26	9,84E-20	4,93E-20
X10	2,39E-23	5,19E-28	-1,04E-21	-2,67E-22
X8Y2	-1,62E-22	8,70E-28	-3,92E-20	-3,09E-21
X6Y4	-5,01E-23	2,68E-26	-9,03E-20	-7,21E-21
X4Y6	1,13E-22	1,01E-26	-3,00E-20	-1,55E-21
X2Y8	-8,02E-25	1,14E-27	9,53E-21	7,07E-22
Y10	-3,08E-25	6,63E-29	3,03E-21	1,68E-22
N 반경	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00

[0377]

X 좌표/mm	Y 좌표/mm	왜곡 (x)/nm	왜곡 (y)/nm	왜곡 /nm의 절대 값	텔레센트리시티 /도	13.5 nm에서의 표면 에러
0	200	0	0.448311	0.448311	0.0429146	0.030026
0	201.5	0	-2.47405	2.47405	0.0235631	0.014465
0	203	0	-0.967497	0.967497	0.00387066	0.028481
0	204.5	0	0.932079	0.932079	0.0161673	0.017921
0	206	0	-0.816331	0.816331	0.0365555	0.020854
6	200	-0.229332	0.72028	0.755908	0.0429896	0.031915
6	201.5	-0.764827	-2.11395	2.24805	0.0241369	0.015911
6	203	-0.727117	-0.578603	0.929236	0.00803243	0.028531
6	204.5	-0.144224	1.28903	1.29708	0.018286	0.019129
6	206	0.955191	-0.553491	1.10397	0.0378693	0.025583
12	200	0.0887838	1.34107	1.34401	0.0432387	0.034302
12	201.5	-1.10902	-1.23729	1.66157	0.0258287	0.016652
12	203	-1.16563	0.372291	1.22364	0.0146925	0.027176
12	204.5	-0.139014	2.12835	2.13289	0.0235883	0.019707
12	206	1.91157	-0.015856	1.91164	0.0416026	0.033254
18	200	1.27353	1.60761	2.05092	0.0437339	0.03238
18	201.5	-0.903733	-0.573284	1.07023	0.0285705	0.014127
18	203	-1.38256	1.11952	1.77898	0.0218489	0.02358
18	204.5	-0.254443	2.63758	2.64983	0.0306063	0.015334
18	206	2.38718	-0.072959	2.38829	0.0472927	0.036701
24	200	3.13573	-0.027319	3.13585	0.0445949	0.032197
24	201.5	-0.646294	-1.71453	1.8323	0.0322942	0.028012
24	203	-2.18957	0.0094815	2.18959	0.0293844	0.032097
24	204.5	-1.62383	1.08662	1.95386	0.0386179	0.018853
24	206	0.918622	-2.54687	2.70747	0.0544894	0.035386

[0378]

[0379]

도 46 내지 도 48은 도 45에 따른 대물렌즈의 출사 pupils의 좌표 시스템에서의 측면 수차를 도시한다.

[0380]

도 17 내지 도 52에 도시된 모든 실시예는, 직사각형 물체 필드를 가지는 광학 시스템을 도시한다.

[0381]

도 49 내지 도 50은 모두 자유 형태 표면으로서 설계되는 4개의 거울을 가지는 본 발명의 또다른 실시예를 도시한다. 물체 평면(3000), 이미지 평면(3002), 제 1 거울(S1), 제 2 거울(S2), 제 3 거울(S3), 제 4 거울(S4)이 도시된다. 광학 데이터를 지닌 모든 이어지는 표들은 M1 내지 M4로서 거울(S1 내지 S4)을 지칭한다. 도 49와 도 50에 따른 실시예에 있어서, 다음 데이터가 주어진다.

[0382]

개구수: 0.22

[0383]

이미징 인자: 1:4

[0384]

물체 필드의 형태: 600mm의 반경과 $-4.8^\circ < \Psi < +4.8^\circ$ 의 방위각을 가지는 고리 세그먼트들

[0385]

물체 측 위의 스캐닝 필드의 폭: 100mm

[0386]

물체 측 위의 스캐닝 필드의 높이: 8mm

[0387]

길이: 2418mm

[0388]

이미지 평면의 경사: -3284°

[0389]

이 실시예는 그 설계 장점이 직사각형이 아닌 물체 필드를 지닌 광학 시스템으로 옮겨질 수 있다는 것을 보여준다.

[0390] 광학 데이터는 다음 표로부터 볼 수 있다.

표면	반경	두께	모드
물체	무한대	2102,043	
거울 1	3086,275	-1760,111	REFL
거울 2	2547,993	1960,753	REFL
거울 3	727,984	0,000	REFL
조리개	무한대	-360,225	
거울 4	749,971	475,405	REFL
이미지	무한대	0,000	

계수	M1	M2	M3	M4	이미지
Y- 중심벗어남	-59,076	61,644	42,310	44,405	30,452
X- 회전	-2,561	-2,218	-2,136	-1,933	-3,284

[0391]

계수	M1	M2	M3	M4
K	2,00E-01	1,89E-02	-1,89E+00	4,80E-01
Y	4,23E-02	2,05E-02	5,14E-02	1,08E-02
X2	3,46E-04	6,56E-06	-7,12E-04	-6,02E-05
Y2	1,53E-04	8,72E-06	8,61E-05	1,95E-04
X2Y	-4,18E-07	4,24E-10	1,15E-06	1,02E-07
Y3	4,10E-07	2,56E-08	1,76E-07	-4,73E-07
X4	2,12E-09	2,92E-11	7,50E-08	-3,49E-09
X2Y2	5,90E-10	1,00E-10	1,77E-07	-2,72E-09
Y4	4,49E-10	5,40E-11	8,13E-08	-1,87E-09
X4Y	-3,35E-11	-1,41E-13	9,25E-11	-4,80E-12
X2Y3	1,08E-11	-2,57E-13	6,96E-11	-2,94E-11
Y5	-2,41E-12	-4,00E-14	1,39E-10	-5,57E-12
X6	-3,85E-13	-3,65E-17	1,18E-12	-4,06E-14
X4Y2	2,15E-13	8,00E-16	4,59E-12	-3,08E-13
X2Y4	-4,13E-14	1,38E-15	5,36E-12	-5,08E-13
Y6	-8,84E-15	1,00E-16	1,93E-12	4,48E-13
X6Y	7,18E-15	-4,72E-19	-7,85E-15	1,73E-15
X4Y3	-6,02E-16	-1,61E-18	-1,51E-14	2,44E-16
X2Y5	7,75E-17	-2,49E-18	1,58E-14	-2,98E-15
Y7	1,31E-17	-1,67E-19	-2,79E-14	6,45E-15
X8	-1,06E-17	-5,96E-22	5,82E-17	5,31E-18
X6Y2	-3,13E-17	1,16E-20	2,73E-16	2,65E-17
X4Y4	1,56E-18	3,02E-21	3,20E-16	6,02E-17
X2Y6	-2,21E-19	2,55E-21	-6,39E-18	3,59E-17
Y8	1,87E-20	3,05E-22	6,46E-17	2,87E-17
X8Y	7,61E-20	-2,02E-24	3,28E-18	-4,79E-20
X6Y3	-7,15E-20	-4,82E-23	1,05E-17	-4,21E-19
X4Y5	-2,92E-21	-1,16E-24	-3,75E-18	7,33E-19
X2Y7	1,11E-22	-5,59E-25	-4,58E-18	5,27E-19
Y9	3,34E-24	-4,27E-27	8,58E-19	1,71E-20
X10	1,71E-23	2,57E-28	-2,76E-21	-5,14E-22
X8Y2	-2,62E-23	1,39E-26	-1,87E-20	-3,15E-21
X6Y4	4,86E-22	5,94E-26	-2,67E-20	-6,00E-21
X4Y6	-9,99E-24	-5,21E-28	6,16E-20	3,68E-21
X2Y8	6,99E-25	7,71E-28	3,25E-20	2,02E-21
Y10	1,70E-26	1,19E-29	1,19E-20	9,56E-23
N 반경	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

[0392]

X 공제/mm	Y 공제/mm	왜곡 (x)/nm	왜곡 (y)/nm	왜곡 /nm의 절대 값	텔레센트리시티 /도	13.5 nm에서의 파면 에러
0	600	0	-0.892917	0.892917	0.0133679	0.012256
0	602	0	-0.841667	0.841667	0.00534092	0.016933
0	604	0	0.0201694	0.0201694	0.00275272	0.021805
0	606	0	0.379474	0.379474	0.0109134	0.010404
0	608	0	-1.08242	1.08242	0.0191416	0.02706
12.5655	599.868	-0.463563	-0.551102	0.720142	0.0164908	0.01867
12.6073	601.868	-0.477332	-0.590644	0.759412	0.0108284	0.018161
12.6492	603.868	-0.257454	0.245037	0.355423	0.0095748	0.022897
12.6911	605.867	0.191813	0.643426	0.671409	0.0140875	0.014667
12.733	607.867	0.866074	-0.713531	1.12215	0.0209974	0.029184
25.1254	599.474	-0.531595	0.291324	0.606187	0.0234981	0.028751
25.2091	601.472	-0.737092	-0.0428674	0.738337	0.0195942	0.018248
25.2929	603.47	-0.47659	0.691569	0.839884	0.0185603	0.0228
25.3766	605.468	0.241321	1.18393	1.20828	0.0209057	0.018522
25.4604	607.467	1.40777	0.117965	1.4127	0.0257861	0.030662
37.6743	598.816	0.166072	1.07231	1.08509	0.0319492	0.037305
37.7999	600.812	-0.597255	0.172817	0.621755	0.0288103	0.012352
37.9255	602.808	-0.665059	0.662666	0.938845	0.0277044	0.017593
38.0511	604.804	-0.0504098	1.23414	1.23517	0.0289218	0.01636
38.1766	606.8	1.23319	0.573939	1.36021	0.0322511	0.025322
50.2067	597.896	1.97056	0.813316	2.13181	0.0409886	0.048287
50.3741	599.889	0.0758373	-1.03335	1.03613	0.0381837	0.020354
50.5414	601.882	-0.898661	-1.045	1.37827	0.0369235	0.027327
50.7088	603.875	-0.970685	-0.525246	1.10368	0.0374078	0.03097
50.8761	605.868	-0.159467	-1.30833	1.31801	0.0398057	0.030446

[0393]

[0394]

도 50은 도 49에 따른 대물렌즈의 출사 pupils의 좌표 시스템에서의 측면 수차를 도시한다.

[0395]

도 51은 모두 자유 형태 표면으로서 설계되는 6개의 거울을 가지는 본 발명의 또다른 실시예를 도시한다. 물체 평면(3000), 이미지 평면(3002), 제 1 거울(M1), 제 2 거울(M2), 제 3 거울(M3), 제 4 거울(M4), 제 5 거울(M5), 및 제 6 거울(M6)이 도시된다. 이 투영 대물렌즈는 0.40의 이미지 측 개구수를 가진다. 필드 모양은 폭이 26mm이고, 높이가 2mm인 직사각형이다. 동작 파장은 13.5nm이다. 거울의 광학적 확대력의 순서는 PNPNNP이다. 이 광학 시스템은 거울(M4)과 거울(M5) 사이에 1개의 중간 이미지를 가진다. 이 투영 대물렌즈의 입사 pupils은 물체 평면(3000)으로부터 1000mm 떨어져 위치하고, 이 물체 평면(3000)은 입사 pupils과 거울 사이에 위치한다. 트랙 길이는 1736mm이다. 물체 이미지 이동은 65mm이다. 광학 경로 길이는 4827mm이다.

[0396]

이 투영 대물렌즈의 성능은 0.037λ 의 이미지-측 W_{rms} 를 포함한다. 왜곡은 12nm 미만이다. 이미지 측 필드 곡률은 25nm이다.

[0397]

물체에서의 중심 필드 포인트의 주 광선 각도는 7° 이다. 물체 평면(3000)에서의 주 광선 각도의 최대 변화량은 0.82이다.

[0398]

$M_x \times M_y$ 로 주어지는 각 거울의 축분의 치수는 다음과 같다. 즉, 거울(M1)에 대해서는 $323\text{mm} \times 215\text{mm}$, 거울(M2)에 대해서는 $131\text{mm} \times 102\text{mm}$, 거울(M3)에 대해서는 $267\text{mm} \times 183\text{mm}$, 거울(M4)에 대해서는 $70\text{mm} \times 52\text{mm}$, 거울(M5)에 대해서는 $124\text{mm} \times 109\text{mm}$, 거울(M6)에 대해서는 $447\text{mm} \times 433\text{mm}$ 이다.

[0399]

중심 필드 포인트에 대한 주 입사 광선 각도는, 거울(M1 내지 M6)에 대해 각각 $4.06^\circ, 11.34^\circ, 12.20^\circ, 31.60^\circ, 12.27^\circ, 7.64^\circ$ 이다. 거울(M1 내지 M6)에 대한 정점 섹션에서의 최대 입사각은 $4.96^\circ, 12.38^\circ, 16.54^\circ, 41.24^\circ, 29.42^\circ, 9.25^\circ$ 이다. 거울(M1 내지 M6)에 대한 정점 섹션에서의 입사각의 대역폭은 $1.08^\circ, 2.71^\circ, 9.83^\circ, 22.72^\circ, 29.13^\circ, 4.28^\circ$ 이다. 거울(M2, M4)은 5mm보다 크고 25mm보다 작은 프리보드를 가진다. 거울(M3)은 양의 주 광선 각도 배율을 가지는데 반해, 거울(M1, M2, M4, M5)은 음의 주 광선 각도 배율을 가진다.

[0400]

이 투영 대물렌즈의 이미지-측 자유 작용 거리는 45mm이다. 물체-측 자유 작용 거리는 400mm이다.

[0401]

이 투영 대물렌즈에서, d_{op-1}/d_{op-2} 는 2.67이다. 게다가, 레티클과 거울(M1 내지 M3)은 투영 대물렌즈의 트랙 길이의 50%를 넘는 거리만큼 분리된다.

[0402]

도 51의 투영 대물렌즈에 대한 데이터는 아래 표 8a와 표 8b에 나타나 있다. 표 8a는 광학 데이터를 나타내는데

반해, 표 8b는 각 거울 표면에 대한 비구면 상수를 나타낸다.

표 8a

표면	반경	두께	모드
물체	무한대	1067,761	
거울 1	-1219,687	-668,241	REFL
거울 2	-747,811	1291,054	REFL
거울 3	-969,893	-374,588	REFL
거울 4	-549,105	374,588	REFL
거울 5	470,063	-502,811	REFL
거울 6	618,025	547,811	REFL
이미지	무한대	0.000	

[0403]

표 8b

계수	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	5,078166E-01	2,515234E+00	4,458912E-01	-5,135256E+00	3,709497E+00	1,305537E-01
Y	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
X2	-4,229616E-06	4,423002E-05	-1,137338E-04	6,243736E-04	-4,439433E-04	1,714681E-05
Y2	-2,042693E-05	-3,200090E-04	-1,490188E-04	4,230830E-05	-3,941063E-04	1,369711E-05
X2Y	-2,456512E-08	-1,681122E-06	1,278895E-08	1,439095E-06	1,109021E-07	-7,066857E-09
Y3	-1,017618E-08	-1,085440E-06	-9,040764E-08	-8,248306E-07	6,038369E-07	-8,198184E-09
X4	2,532498E-11	-4,655202E-10	-6,082020E-11	-7,879275E-09	-9,475896E-10	-9,236663E-12
X2Y2	2,917327E-11	-4,875362E-09	-7,951092E-11	-6,364830E-09	-2,626820E-09	-1,778520E-11
Y4	1,116055E-11	9,584332E-10	-1,259982E-10	2,921676E-09	-8,367567E-10	-1,348267E-11
X4Y	-7,018800E-15	-9,924549E-12	-5,700215E-14	-7,337153E-11	-3,015573E-13	-5,057127E-15
X2Y3	-2,588267E-14	-2,065300E-11	-1,623609E-13	-4,830483E-11	-3,421535E-12	-8,177430E-15
Y5	-5,631482E-14	1,175099E-13	-3,257076E-14	2,900148E-11	-5,156003E-12	-7,754740E-16
X6	2,507037E-17	7,181890E-15	-6,970398E-17	1,896541E-13	-2,402650E-14	-1,687447E-17
X4Y2	1,805398E-16	2,845435E-14	-1,726885E-16	-3,660328E-13	-3,460882E-14	-5,258270E-17
X2Y4	3,234883E-16	4,275982E-14	-3,443645E-16	-1,119940E-13	-2,515640E-14	-4,418332E-17
Y6	5,139221E-17	1,240058E-14	-4,807113E-19	2,665448E-14	-3,989968E-14	-9,729792E-18
X6Y	-1,655261E-20	2,112848E-16	-6,490967E-20	2,217817E-15	3,565159E-17	-2,533468E-21
X4Y3	6,406762E-19	7,287537E-16	-1,578781E-19	-1,022968E-15	-2,246920E-17	-9,556211E-21
X2Y5	1,095531E-18	4,084428E-16	-1,89934E-19	8,581644E-18	-4,609677E-16	-8,095822E-21
Y7	3,534107E-19	-1,119501E-16	-6,323108E-20	-1,566387E-16	-4,089822E-16	7,022063E-21
X8	-2,127854E-23	5,631762E-20	-1,645304E-22	-2,809082E-18	-2,426092E-19	-2,519698E-23
X6Y2	-2,911239E-22	1,595162E-18	1,240419E-22	8,883017E-18	-3,131391E-18	-1,169336E-22
X4Y4	2,052045E-21	3,313410E-18	-2,644748E-22	-1,246599E-18	-8,074234E-18	-1,413514E-22
X2Y6	2,303292E-21	8,331439E-19	-5,379641E-23	2,833584E-19	-6,891166E-18	-6,982184E-23
Y8	7,915735E-22	-4,495038E-19	-9,241853E-23	-3,000322E-19	-2,367176E-18	-1,361196E-23
X8Y	-3,633622E-25	-1,145501E-22	-8,423039E-26	-1,268652E-20	2,592347E-21	4,570116E-27
X6Y3	-1,500591E-24	1,545859E-21	6,330084E-25	1,171733E-20	1,459272E-21	1,168279E-26
X4Y5	2,954923E-24	3,997308E-21	1,050127E-26	-4,257185E-23	-1,756358E-22	1,479131E-26
X2Y7	1,472672E-24	3,951572E-22	8,889089E-29	-7,100170E-25	5,863402E-23	6,095900E-27
Y9	4,265712E-25	-3,958881E-23	-1,136961E-30	-9,034885E-27	7,298215E-25	4,531322E-28
X10	1,301003E-29	1,955419E-24	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
X8Y2	-6,199954E-28	-8,094414E-25	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
X6Y4	-1,564267E-27	-8,554437E-24	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
X4Y6	2,214569E-27	1,149257E-24	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
X2Y8	-6,083137E-29	6,386629E-26	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
Y10	1,486303E-30	1,060932E-26	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
N반경	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00

계수	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Y-중심 벗어남	248,450	92,818	-2,826	26,446	-4,799	29,811
X-회전	8,882	-0,938	1,151	-1,082	-3,174	-3,333

[0404]

[0405]

[0406]

도 51의 투영 대물렌즈는, 주로 거울(M4)의 모양에 있어서 도 3, 도 10, 도 11, 도 12, 도 13, 도 14 및 도 15의 실시예와 상이하다. 이들 앞서 설명된 실시예와는 대조적으로, 도 51의 실시예에서의 거울(M4)은 볼록하다.

도 52는 모두 자유 형태 표면으로서 설계되는 6개의 거울을 가지는 본 발명의 또다른 실시예를 도시한다. 물체 평면(3000), 이미지 평면(3002), 제 1 거울(M1), 제 2 거울(M2), 제 3 거울(M3), 제 4 거울(M4), 제 5 거울(M5), 및 제 6 거울(M6)이 도시된다. 이 투영 대물렌즈는 0.35의 이미지 측 개구수를 가진다. 필드 모양은 폭이 26mm이고, 높이가 2mm인 직사각형이다. 동작 파장은 13.5nm이다. 거울의 광학적 확대력의 순서는 PPNPNP이다. 이 광학 시스템은 거울(M4)과 거울(M5) 사이에 1개의 중간 이미지를 가진다. 이 투영 대물렌즈의 입사 pupils

물체 평면(3000)의 이미지 평면 측 위에서 1749mm의 거리에 떨어져 위치한다. 거울(M2) 위에는 구경 조리개가 위치한다. 트랙 길이는 1700mm이다. 물체 이미지 이동은 41mm이다. 광학 경로 길이는 4156mm이다.

- [0407] 이 투영 대물렌즈의 성능은 0.020λ 의 이미지-측 W_{rms} 를 포함한다. 왜곡은 1.1nm 보다 작다. 이미지 측 필드 곡률은 17nm이다.
- [0408] 물체에서의 중심 필드 포인트의 주 광선 각도는 6° 이다. 물체 평면(3000)에서의 주 광선 각도의 최대 변화량은 0.58이다.
- [0409] $M_x \times M_y$ 로 주어지는 각 거울의 축분의 치수는 다음과 같다. 즉, 거울(M1)에 대해서는 $169\text{mm} \times 148\text{mm}$, 거울(M2)에 대해서는 $159\text{mm} \times 136\text{mm}$, 거울(M3)에 대해서는 $120\text{mm} \times 61\text{mm}$, 거울(M4)에 대해서는 $265\text{mm} \times 118\text{mm}$, 거울(M5)에 대해서는 $101\text{mm} \times 77\text{mm}$, 거울(M6)에 대해서는 $345\text{mm} \times 329\text{mm}$ 이다.
- [0410] 거울(M1 내지 M6)에 대한 중심 필드 포인트에 대한 주 입사 광선 각도는, $8.11^\circ, 9.49^\circ, 21.03^\circ, 8.01^\circ, 13.67^\circ, 5.03^\circ$ 이다. 거울(M1 내지 M6)에 대한 정점 섹션에서의 최대 입사각은 $10.31^\circ, 12.06^\circ, 21.56^\circ, 8.45^\circ, 24.59^\circ, 6.36^\circ$ 이다. 거울(M1 내지 M6)에 대한 정점 섹션에서의 입사각의 대역폭은 $4.56^\circ, 5.34^\circ, 1.85^\circ, 1.23^\circ, 22.98^\circ, 3.16^\circ$ 이다. 거울(M4)은 양의 주 광선 각도 배율을 가지는데 반해, 거울(M1, M2, M3, M5)은 음의 주 광선 각도 배율을 가진다.
- [0411] 이 투영 대물렌즈의 이미지-측 자유 작용 거리는 45mm이다. 물체-측 자유 작용 거리는 441mm이다.
- [0412] 이 투영 대물렌즈에서, d_{op-1}/d_{op-2} 는 1.89이다. 게다가, 거울(M4)과 거울(M5)은 투영 대물렌즈의 트랙 길이의 50%를 넘는 거리만큼 분리된다.
- [0413] 도 52의 투영 대물렌즈에 대한 데이터는 아래 표 9a와 표 9b에 나타나 있다. 표 9a는 광학 데이터를 나타내는데 반해, 표 9b는 각 거울 표면에 대한 비구면 상수를 나타낸다.

표 9a

표면	반경	두께	모드
물체	무한대	831,483	
거울 1	-2519,290	-390,700	REFL
거울 2	1736,318	0,000	REFL
조리개	무한대	510,700	
거울 3	353,216	-404,591	REFL
거울 4	691,089	1108,132	REFL
거울 5	454,789	-432,650	REFL
거울 6	522,649	477,625	REFL

[0414]

표 9b

개수	M1	M2	M3	M4	M5	M6
X	-5,620176E+01	-8,079329E+00	-8,913161E-01	-1,320517E+00	4,540035E+00	8.058603E-02
Y	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
X2	-8,081674E-05	-2,443257E-05	-2,909041E-04	-5,514277E-05	-2,176416E-04	-1,481415E-05
Y2	-1,409006E-04	-8,863894E-05	-5,146801E-04	-2,593301E-05	1,796509E-04	7,215641E-06
X2Y	1,932586E-07	4,504714E-08	9,969292E-07	-1,801177E-07	1,153365E-06	5,683301E-09
Y3	-1,223280E-07	-1,884294E-08	-4,877028E-07	1,179942E-07	-2,117705E-07	-5,600182E-09
X4	-7,040228E-11	7,425419E-11	2,136430E-09	4,622733E-10	-1,333652E-09	-5,926598E-11
X2Y2	-1,318594E-10	1,067519E-10	9,622356E-09	-4,928633E-10	1,322772E-08	-2,894278E-11
Y4	6,586919E-11	1,598749E-10	9,675806E-10	8,019884E-10	3,924061E-09	1,500259E-11
X4Y	-1,333049E-12	9,551370E-14	4,142100E-11	7,245165E-13	-2,333334E-11	8,269178E-15
X2Y3	-7,486772E-12	-5,744418E-13	2,571945E-11	-5,121409E-12	-4,081436E-11	-1,142259E-14
Y5	-7,859786E-14	-1,146786E-12	1,015135E-12	7,149294E-13	-3,294173E-11	-6,514010E-14
X6	-1,349693E-17	-2,093126E-15	5,786287E-14	7,466543E-16	3,666869E-14	-1,312132E-16
X4Y2	-4,117907E-15	3,600153E-15	1,917870E-13	4,761724E-15	1,666994E-13	-1,600140E-16
X2Y4	2,686652E-14	2,433374E-14	1,452311E-14	-1,001928E-14	1,713311E-13	4,528614E-17
Y6	-6,985464E-16	-1,574024E-15	-4,040479E-15	1,285725E-15	3,232877E-13	1,795344E-16
X6Y	-6,324670E-18	1,672711E-17	6,549813E-16	7,589572E-18	1,109670E-15	7,389564E-20
X4Y3	1,633680E-16	-5,475446E-17	2,838607E-16	1,219368E-17	1,040774E-15	-3,901601E-20
X2Y5	2,578083E-17	-2,114042E-17	-8,191058E-17	-1,112382E-17	-4,281539E-15	-8,922758E-19
Y7	-5,352170E-18	-4,852332E-17	-8,778735E-18	1,658599E-18	-1,041652E-15	-5,361021E-19
X8	3,930907E-20	-3,041873E-20	1,620935E-18	3,142617E-21	-2,044671E-18	-3,471237E-22
X6Y2	2,642712E-19	1,926793E-19	2,461846E-18	4,103145E-20	9,496169E-18	-5,396836E-22
X4Y4	-1,209256E-18	7,815308E-19	2,461216E-20	2,400689E-20	2,006336E-17	4,153767E-23
X2Y6	-5,242330E-19	-2,345008E-19	-1,129636E-20	-4,573196E-22	-8,505126E-18	2,958769E-21
Y8	5,723961E-20	-4,523191E-19	2,359743E-20	2,441529E-21	2,039563E-17	1,076978E-21
X8Y	-5,843186E-22	4,059084E-22	1,256052E-20	1,926704E-23	-6,283441E-20	8,511910E-25
X6Y3	-1,725684E-21	-3,122858E-21	2,334258E-21	9,329420E-23	-1,729457E-19	2,027558E-25
X4Y5	4,331458E-21	-1,961697E-21	8,015847E-22	2,907419E-23	2,503951E-19	-5,006594E-24
X2Y7	1,628473E-21	-1,158132E-20	2,742066E-22	8,412546E-24	-3,164177E-19	-7,133872E-24
Y9	-2,174037E-22	-5,641899E-21	-6,405172E-23	1,117517E-24	1,693513E-19	-7,896547E-25
X10	3,942480E-26	-1,611794E-24	-3,181193E-25	1,249724E-27	-2,648224E-23	-6,952534E-28
X8Y2	2,026760E-24	2,715637E-24	2,416966E-23	3,491430E-26	-5,242301E-22	-5,078551E-27
X6Y4	3,177651E-24	1,717348E-23	-1,929381E-24	8,815740E-26	-7,406490E-22	-1,604907E-26
X4Y6	-6,089337E-24	-2,527074E-23	2,506522E-24	2,875808E-26	3,978023E-21	4,391294E-28
X2Y8	-1,609759E-24	-7,803424E-23	1,589355E-25	1,072608E-26	-2,716665E-21	4,653881E-27
Y10	2,665008E-25	-1,428174E-23	-2,253314E-25	5,234796E-28	1,510394E-21	-1,026184E-27
N반경	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00

개수	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Y-중심 벗어남	-107,723	-48,244	142,711	9,140	15,331	1,453
X-회전	-3,086	0,713	-20,000	-1,900	0,245	2,474

[0415]

[0416]

[0417]

[0418]

도 52의 투영 대물렌즈는 서로에 대해 수렴하는 한편, 물체 평면(3000)으로부터 시작하는 주 광선을 가진다.

도 1에서 도시되고 위에서 설명된 마이크로리소그래피 도구(100)와 같은 마이크로리소그래피 도구는, 예컨대 반도체 칩, 액정 디스플레이(LCD) 패널, 또는 전하 결합 디바이스(CCD) 검출기 어레이와 같은 반도체 디바이스의 제조시 사용될 수 있다. 일반적으로, 반도체 디바이스의 제조시 사용된 공정 단계들의 순서는, 제조되는 특정 디바이스에 따라 달라진다. 도 53은 반도체 디바이스의 제조시 단계들의 순서의 일 예를 보여주는 흐름도이다. 처음에, 단계(5310)에서는 제작자가 반도체 디바이스에 대해 제작될 집적 회로를 설계한다. 그 다음에 단계(5320)에서는 마스크(즉, 레티클)가 집적 회로의 설계에 기초하여 만들어진다. 집적 회로를 실제로 만들기 전에, 웨이퍼(예컨대, 실리콘 웨이퍼)가 단계(5330)에서 표시된 것처럼 준비된다. 그 다음, 집적 회로가 웨이퍼 처리 단계(단계 5340)에서 마스크를 사용하여 웨이퍼 위에 형성된다. 웨이퍼 처리의 세부 내용은 아래에 더 상세히 논의된다. 웨이퍼에 집적 회로를 형성한 후, 그 웨이퍼는 썰어지고, 접합되며 패키징되어 개별 마이크로 칩을 만들게 된다(단계 5350). 이 조립 단계는 종종 후-처리(post-processing)라고 부른다. 조립 후, 칩들이 검사된다(단계 5360). 예컨대, 칩의 동작 가능성 및/또는 지속성이 테스트된다. 그 후 검사 단계(5360)를 통과한 디바이스는 고객에게 출하된다(단계 5370).

도 54는 웨이퍼 처리 단계의 세부 내용을 보여주는 흐름도이다. 일반적으로, 웨이퍼 처리는 웨이퍼 위에 다양한 물질(예컨대, 전도성 물질, 반전도성 물질 및/또는 유전성 물질)의 다수의 층을 형성하는 단계(단계 5410)를 수반한다. 하나 이상의 이들 층은 리소그래피 과정(단계 5420)을 사용하여 패터닝된다. 이 층들은 다양한 방식으로 형성될 수 있다. 예컨대, 층을 형성하는 것은 산화 처리 단계(단계 5411)에서 웨이퍼의 표면을 산화시키는 단계를 수반할 수 있다. 일부 실시예에서는 층을 형성하는 것이, 예컨대 화학 기상 증착(CVD: chemical vapor deposition)(단계 5412)에 의한 것과 같이 웨이퍼의 표면에 물질을 증착하는 단계를 수반한다. 어떤 실시예에서

는, 층을 형성하는 것이, 예컨대 기상 증착(단계 5412)에 의해 웨이퍼 위에 전극을 형성하기 위한 전극 형성 과정을 수반한다. 층 형성은 이온을 웨이퍼에 주입하기 위한 이온 주입 과정(단계 5414)을 수반할 수 있다.

- [0419] 물질의 층을 형성한 후, 층은 리소그래피 과정을 사용하여 패터닝될 수 있다. 이는 통상적으로 레지스트(resist)를 웨이퍼에 인가하기 위한 레지스트 과정(단계 5415)을 수반한다. 단계 5416은 노출에 의해, 전술한 리소그래피 도구(100)와 같은 리소그래피 도구를 사용하여 웨이퍼 위에 마스크의 회로 패턴을 인쇄하기 위한 노출 과정이다. 단계 5417은 노출된 레지스트가 현상되는 현상 과정이다. 현상 후, 현상된 레지스트에 의해 노출된 웨이퍼의 부분은 에칭 과정(단계 5418)에서 에칭된다. 마지막으로, 잔여 레지스트 물질이 레지스트 분리 과정(단계 5419)에서 웨이퍼로부터 제거된다.
- [0420] 단계(5410, 5420)는 웨이퍼 위에 집적 회로를 형성하기 위해 반복된다. 실시예는, 예컨대 물질의 층을 패터닝하기 전후에 웨이퍼 세척(polishing)과 같은 추가 처리 단계를 포함할 수 있다.
- [0421] 다른 실시예는 청구항에 있다.

산업상 이용 가능성

- [0422] 전술한 바와 같이, 본 발명은 마이크로리소그래피 투영 광학 시스템, 특히 투영 대물렌즈, 그러한 광학 시스템을 포함하는 마이크로리소그래피 도구, 그러한 마이크로리소그래피 도구를 사용하여 미소구성된 성분의 마이크로리소그래피 제작과, 그러한 투영 광학 시스템에서 광학 표면을 설계하는 것에 이용 가능하다.

도면의 간단한 설명

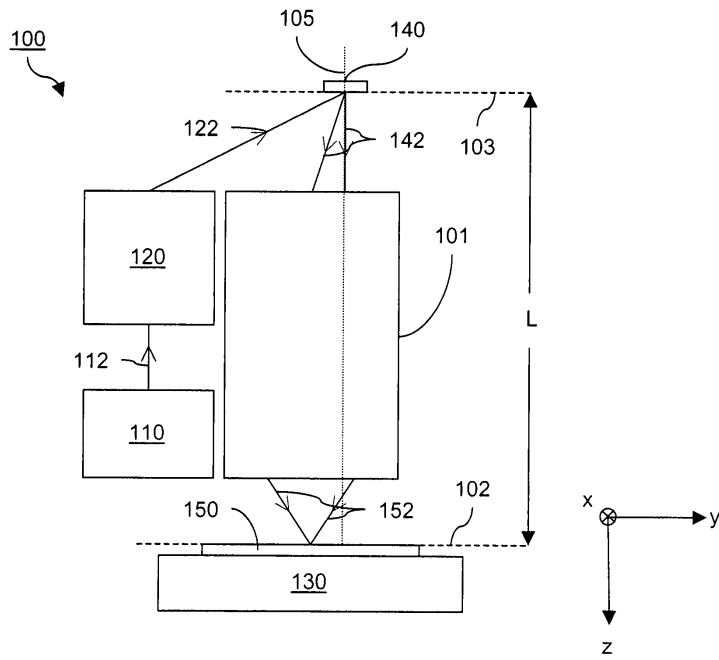
- [0036] 도 1은 마이크로리소그래피 도구의 일 실시예의 개략도.
- [0037] 도 2a는 도 1에 도시된 마이크로리소그래피 도구의 일 부분을 도시하는 개략도.
- [0038] 도 2b는 회전 비대칭인 표면과 대응하는 회전 대칭인 기준 표면의 단면도.
- [0039] 도 3은 정점 섹션에서 본 투영 대물렌즈의 일 실시예의 단면도.
- [0040] 도 4는 정점 섹션에서 본 투영 대물렌즈로부터의 거울의 일 부분의 단면도.
- [0041] 도 5a는 양의 주 광선 각도 배율을 가지는 거울에서의 광선 경로의 개략도.
- [0042] 도 5b는 음의 주 광선 각도 배율을 가지는 거울에서의 광선 경로의 개략도.
- [0043] 도 6의 (a)는 거울의 측면을 도시하는 도면.
- [0044] 도 6의 (b)는 도 6의 (a)에 도시된 거울의 단면도.
- [0045] 도 7a는 고리(ring) 세그먼트 필드의 일 실시예의 평면도.
- [0046] 도 7b는 한 쌍의 웨이퍼 다이 위치에 대한 링 세그먼트 필드의 평면도.
- [0047] 도 7c는 한 쌍의 웨이퍼 다이 위치에 대한 직사각형 필드의 평면도.
- [0048] 도 8은 도 1에 도시된 마이크로리소그래피 도구의 실시예의 투영 대물렌즈의 개략도.
- [0049] 도 9는 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0050] 도 10은 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈 일 부분의 단면도.
- [0051] 도 11은 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0052] 도 12는 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0053] 도 13은 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0054] 도 14a는 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0055] 도 14b는 도 14a에 도시된 투영 대물렌즈를 포함하는 광학 시스템과, 조명 시스템의 단면도.
- [0056] 도 15는 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0057] 도 16a는 도 15에 도시된 투영 대물렌즈에 대한 이미지 필드에서의 위치의 함수로서 계산된 왜곡을 도시하는 x-

y 벡터 플롯.

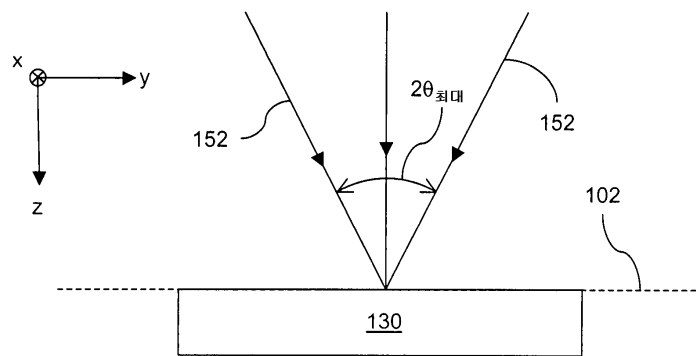
- [0058] 도 16b는 도 15에 도시된 투영 대물렌즈에 대한 이미지 필드에서의 위치의 함수로서 계산된 주 광선 각도를 도시하는 x-y 벡터 플롯.
- [0059] 도 17은 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0060] 도 18 내지 도 20은 도 17에 도시된 투영 대물렌즈에 대한 이미지 필드에서의 위치의 함수로서 측면 수차를 도시하는 플롯.
- [0061] 도 21은 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0062] 도 22 내지 도 24는 도 21에 도시된 투영 대물렌즈에 대한 이미지 필드에서의 위치의 함수로서 수차를 도시하는 플롯.
- [0063] 도 25는 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0064] 도 26 내지 도 28은 도 25에 도시된 투영 대물렌즈에 대한 이미지 필드에서의 위치의 함수로서 수차를 도시하는 플롯.
- [0065] 도 29는 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0066] 도 30 내지 도 32는 도 29에 도시된 투영 대물렌즈에 대한 이미지 필드에서의 위치의 함수로서 수차를 도시하는 플롯.
- [0067] 도 33은 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0068] 도 34 내지 도 36은 도 33에 도시된 투영 대물렌즈에 대한 이미지 필드에서의 위치의 함수로서 수차를 도시하는 플롯.
- [0069] 도 37은 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0070] 도 38 내지 도 40은 도 37에 도시된 투영 대물렌즈에 대한 이미지 필드에서의 위치의 함수로서 수차를 도시하는 플롯.
- [0071] 도 41은 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0072] 도 42 내지 도 44는 도 41에 도시된 투영 대물렌즈에 대한 이미지 필드에서의 위치의 함수로서 수차를 도시하는 플롯.
- [0073] 도 45는 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0074] 도 46 내지 도 48은 도 45에 도시된 투영 대물렌즈에 대한 이미지 필드에서의 위치의 함수로서 수차를 도시하는 플롯.
- [0075] 도 49는 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0076] 도 50은 도 49에 도시된 투영 대물렌즈에 대한 이미지 필드에서의 위치의 함수로서 수차를 도시하는 플롯.
- [0077] 도 51은 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0078] 도 52는 정점 섹션에 도시된 투영 대물렌즈의 단면도.
- [0079] 도 53은 반도체 디바이스의 제작시의 단계들을 도시하는 흐름도.
- [0080] 도 54는 웨이퍼 공정에서의 단계들을 도시하는 흐름도.

도면

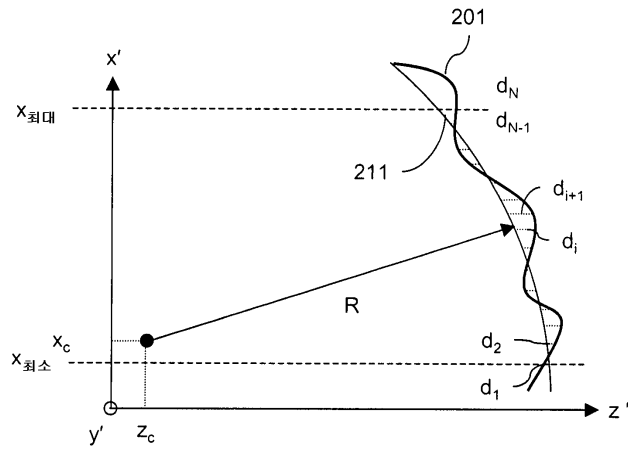
도면1



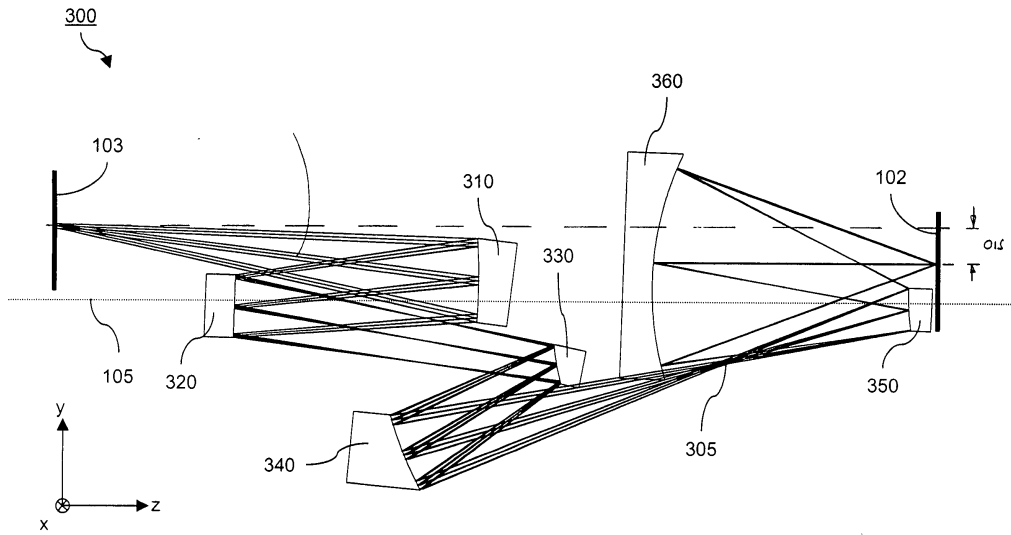
도면2a



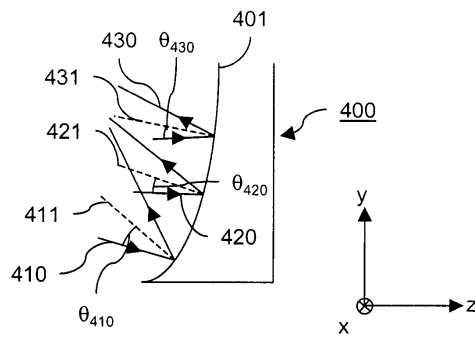
도면2b



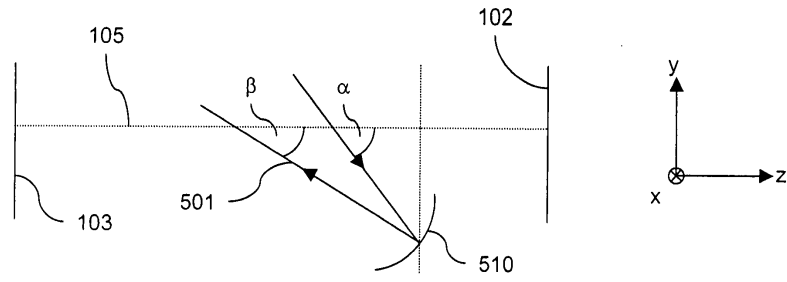
도면3



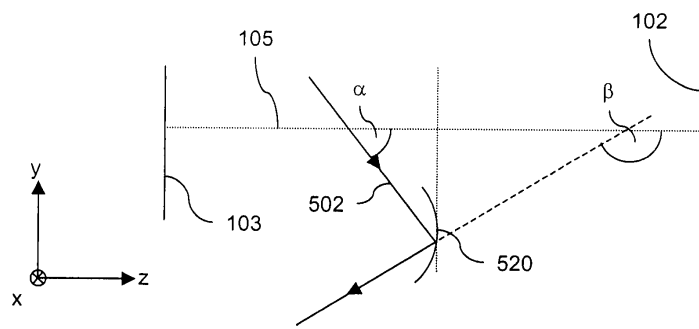
도면4



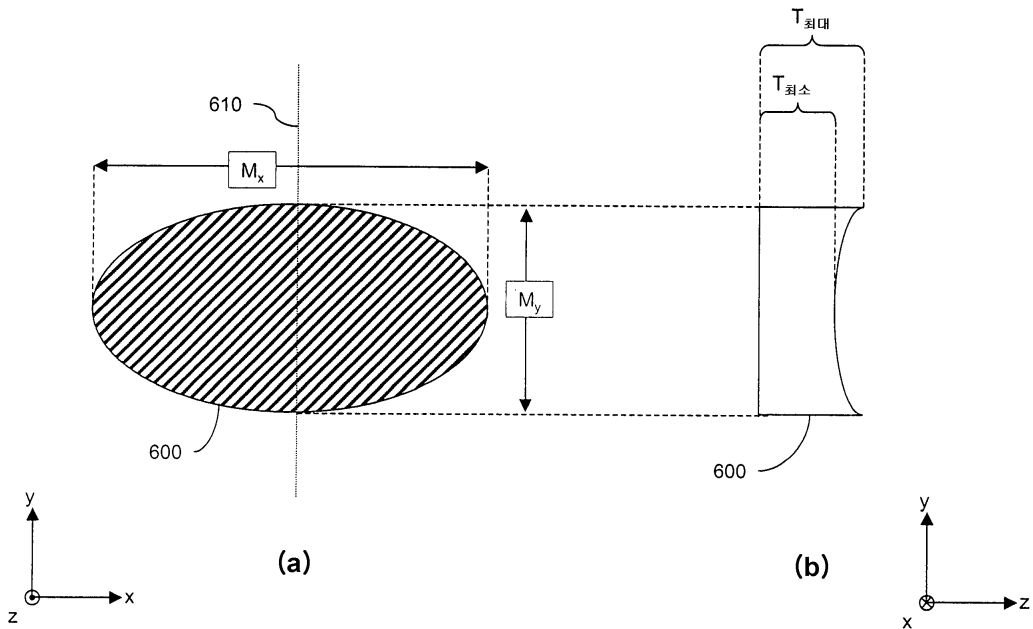
도면5a



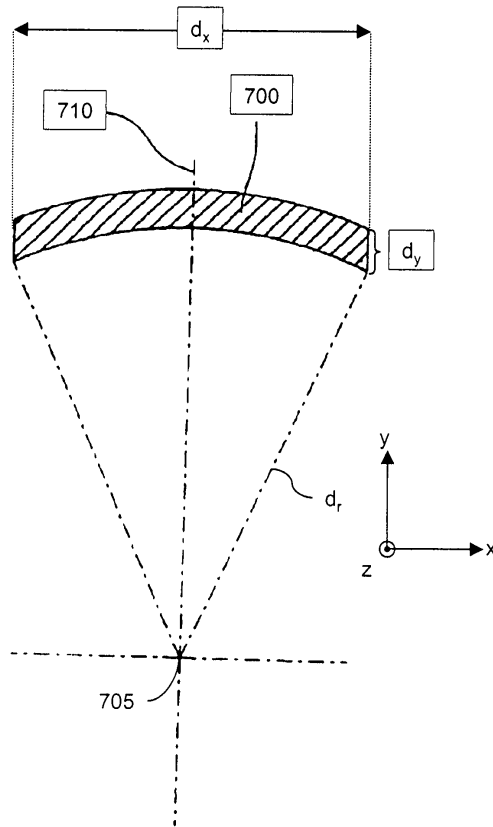
도면5b



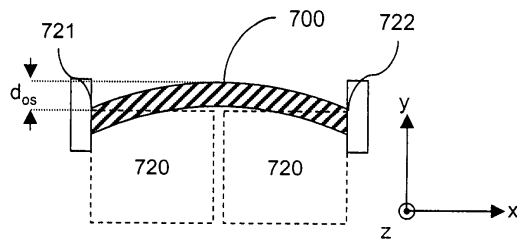
도면6



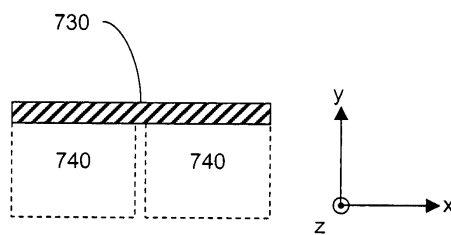
도면7a



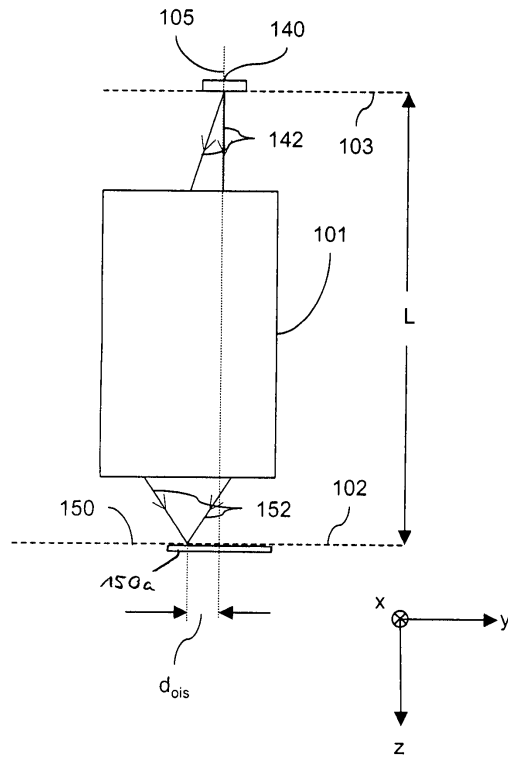
도면7b



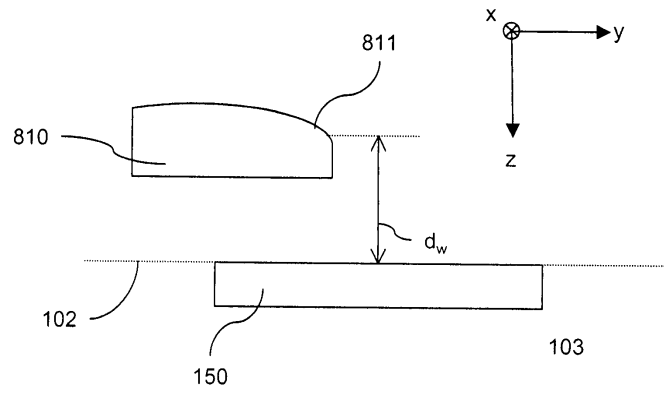
도면7c



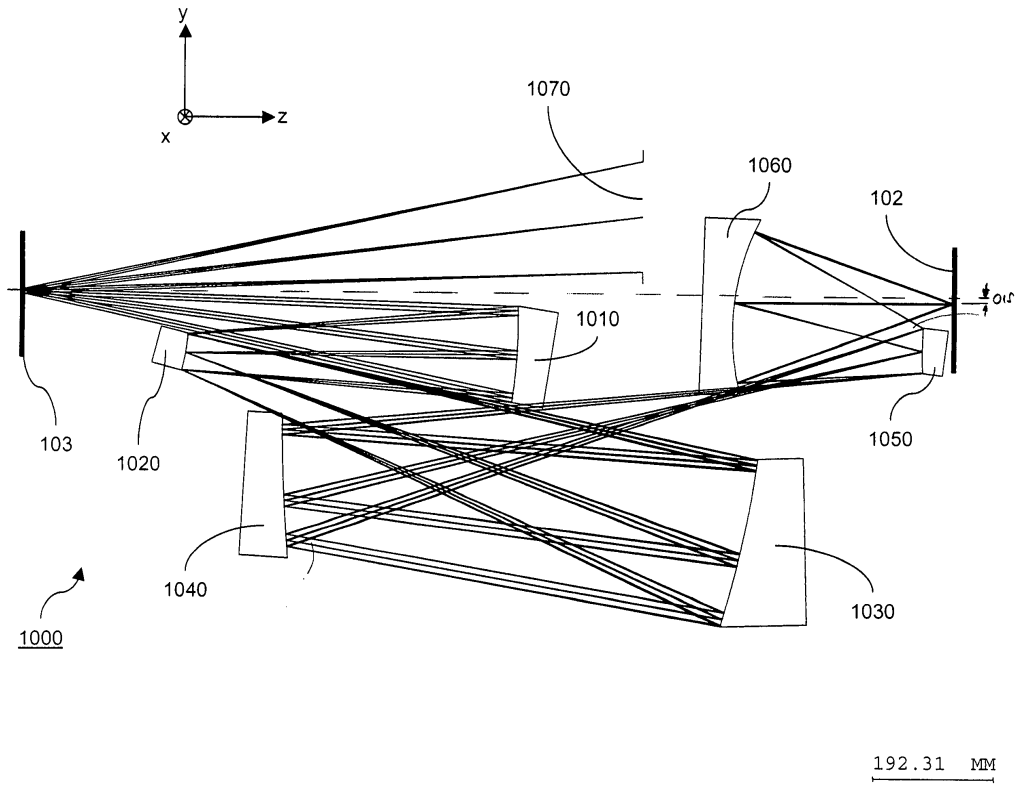
도면8



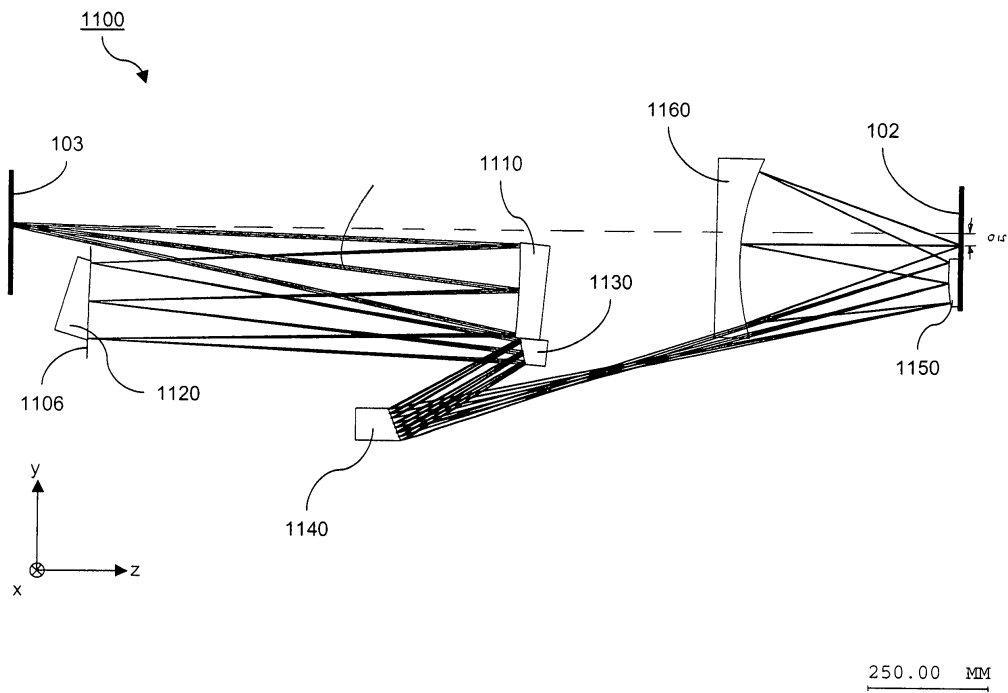
도면9



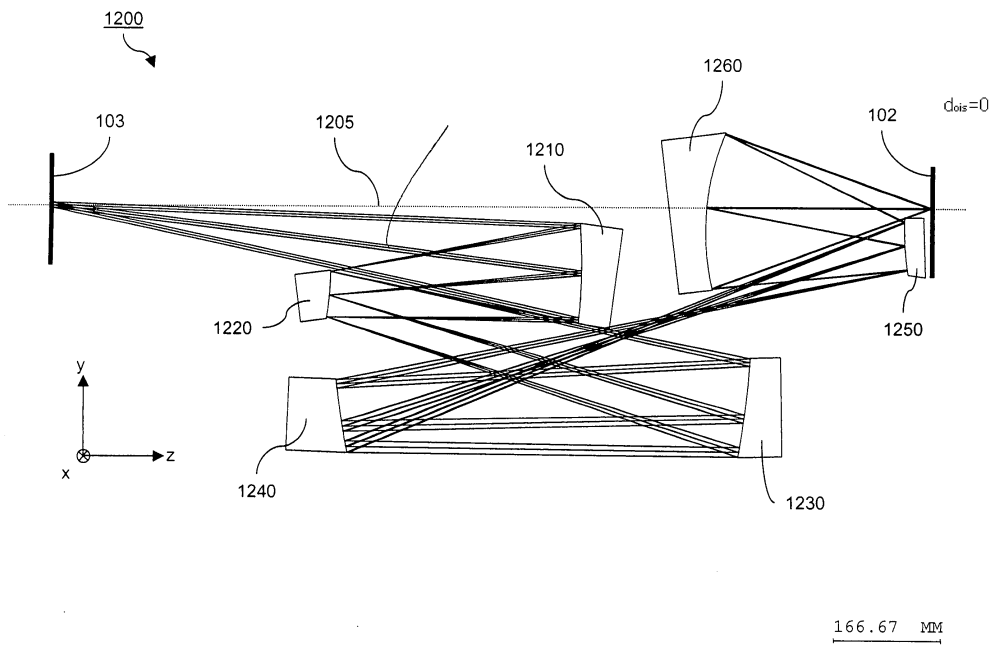
도면10



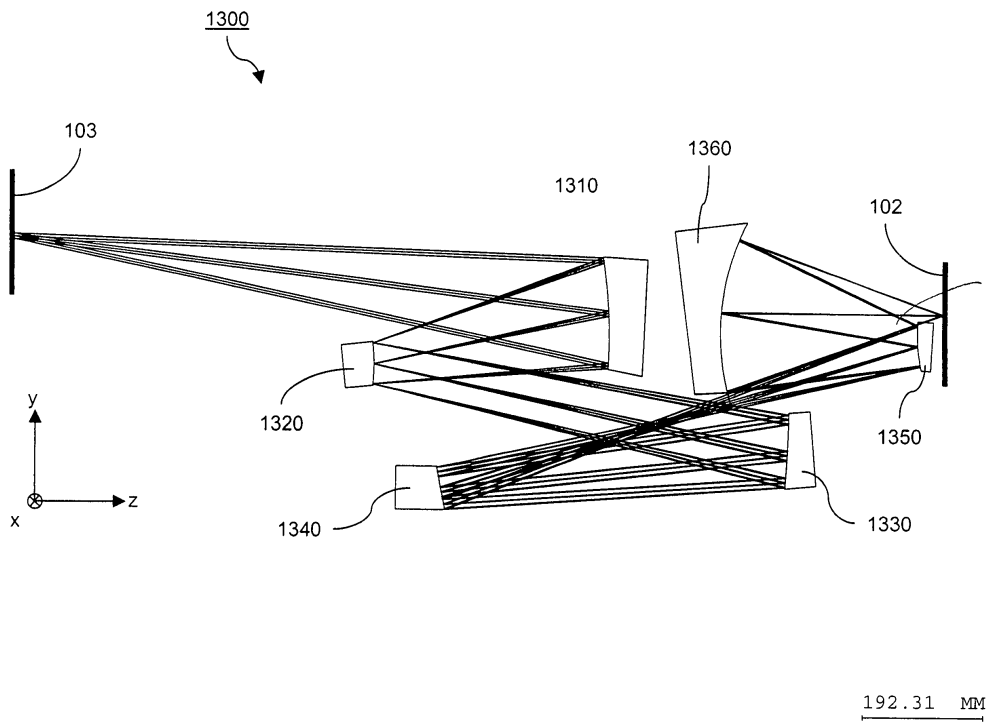
도면11



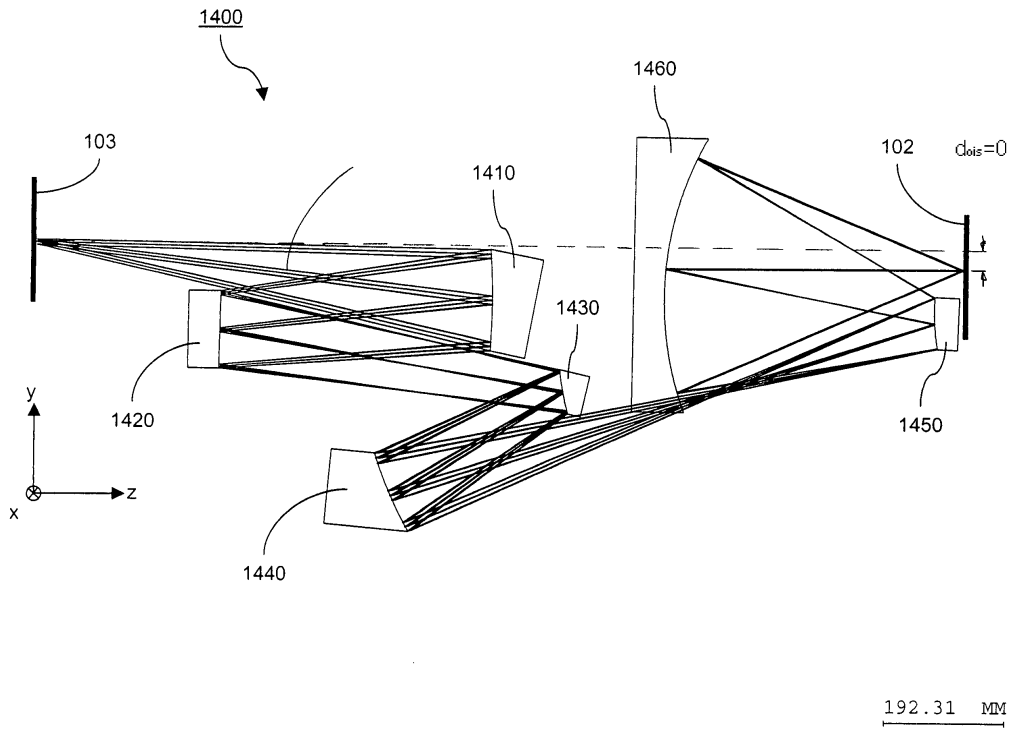
도면12



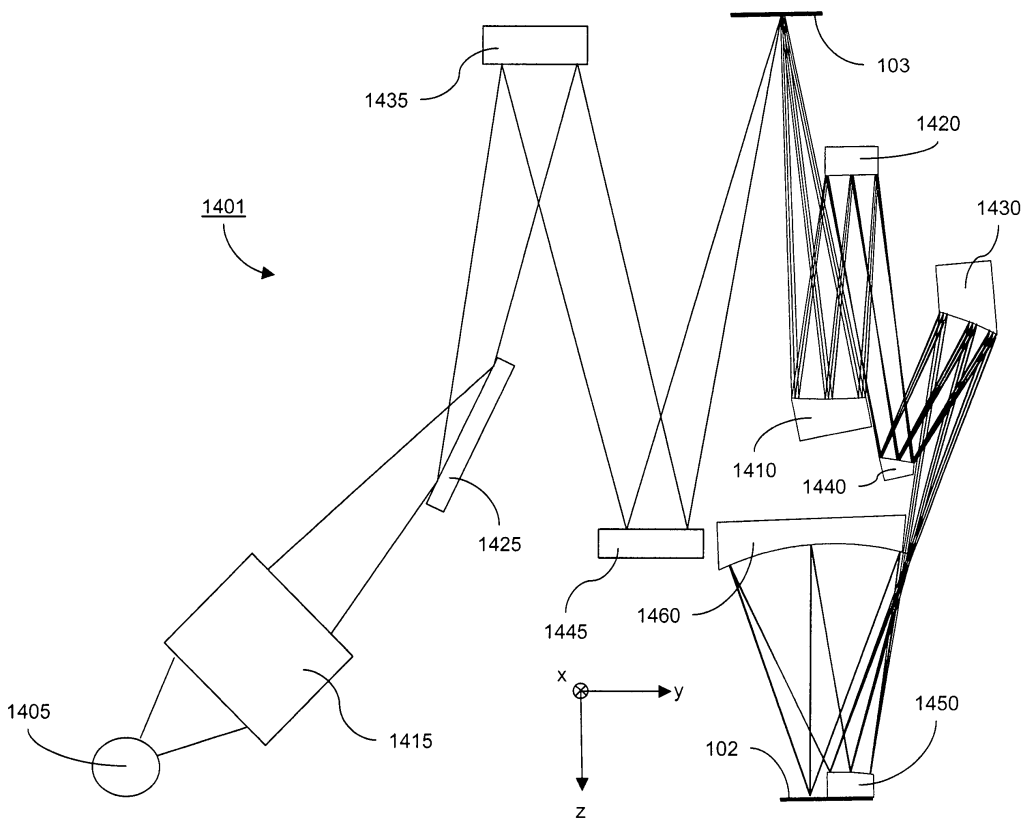
도면13



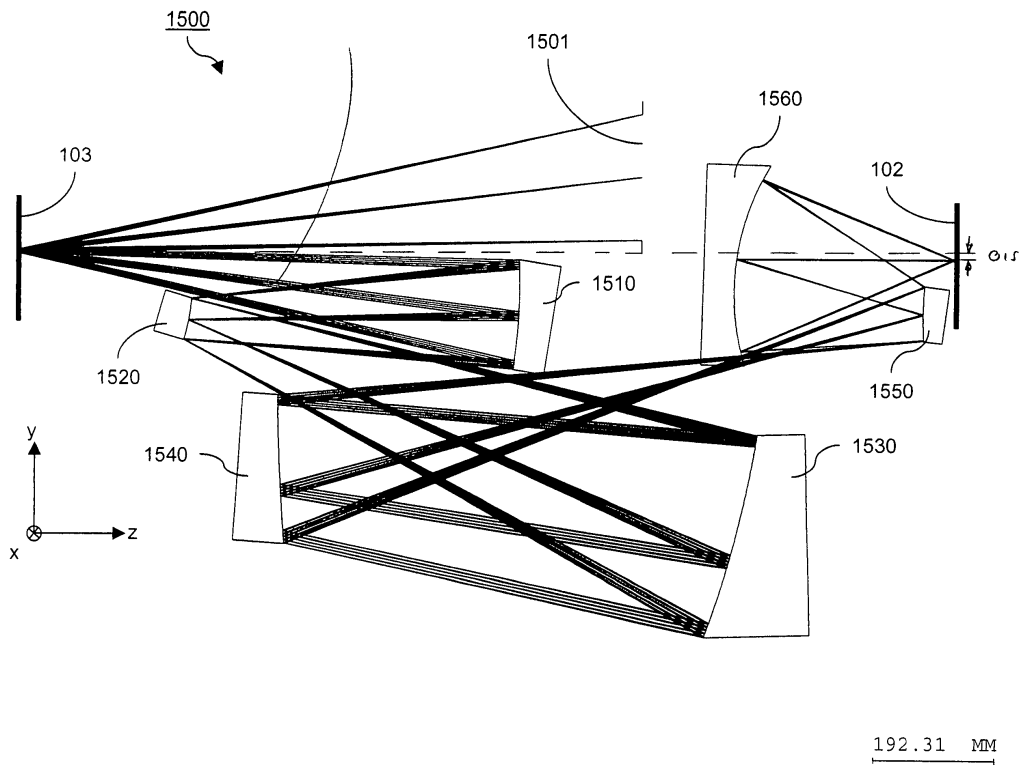
도면14a



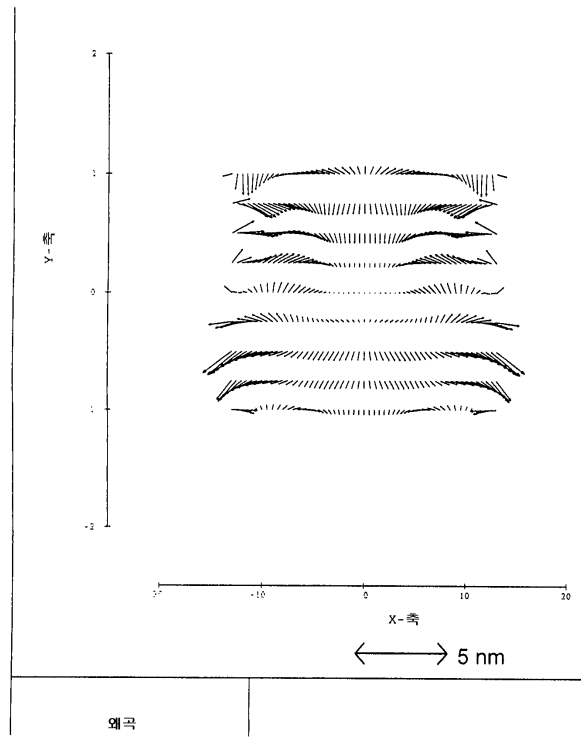
도면14b



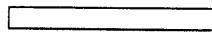
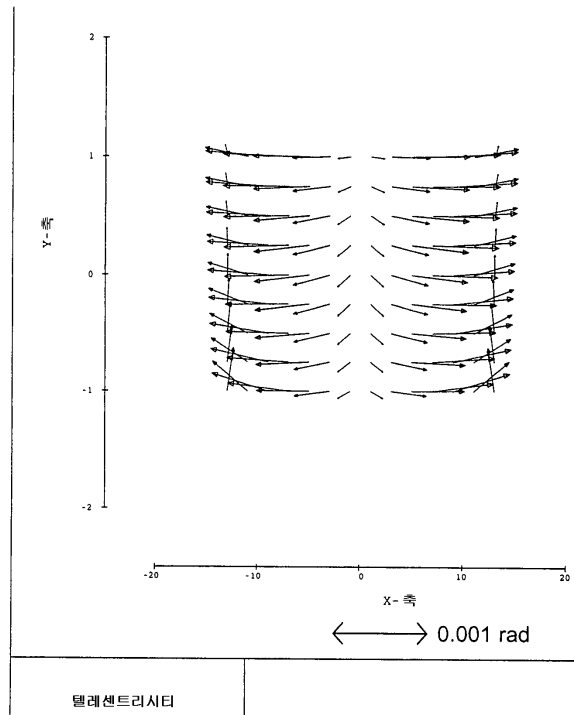
도면15



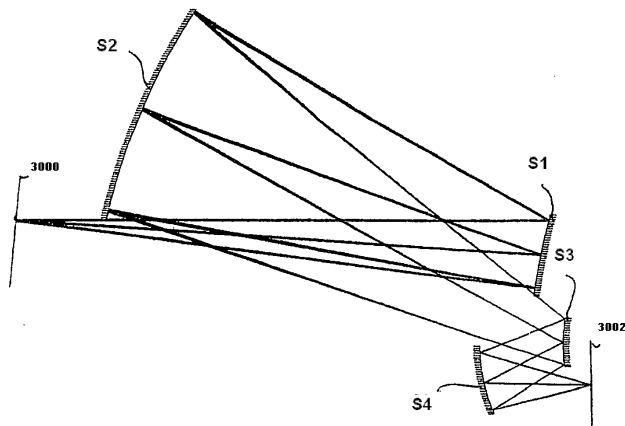
도면16a



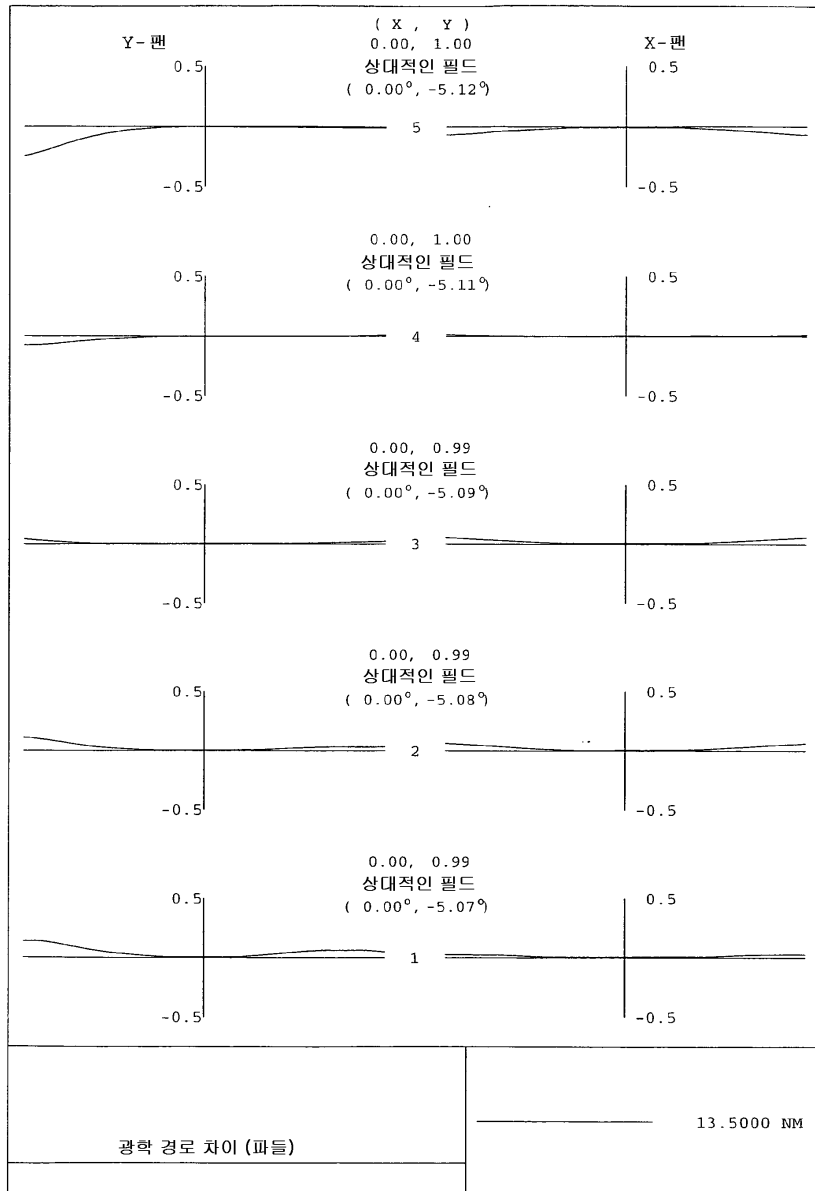
도면16b



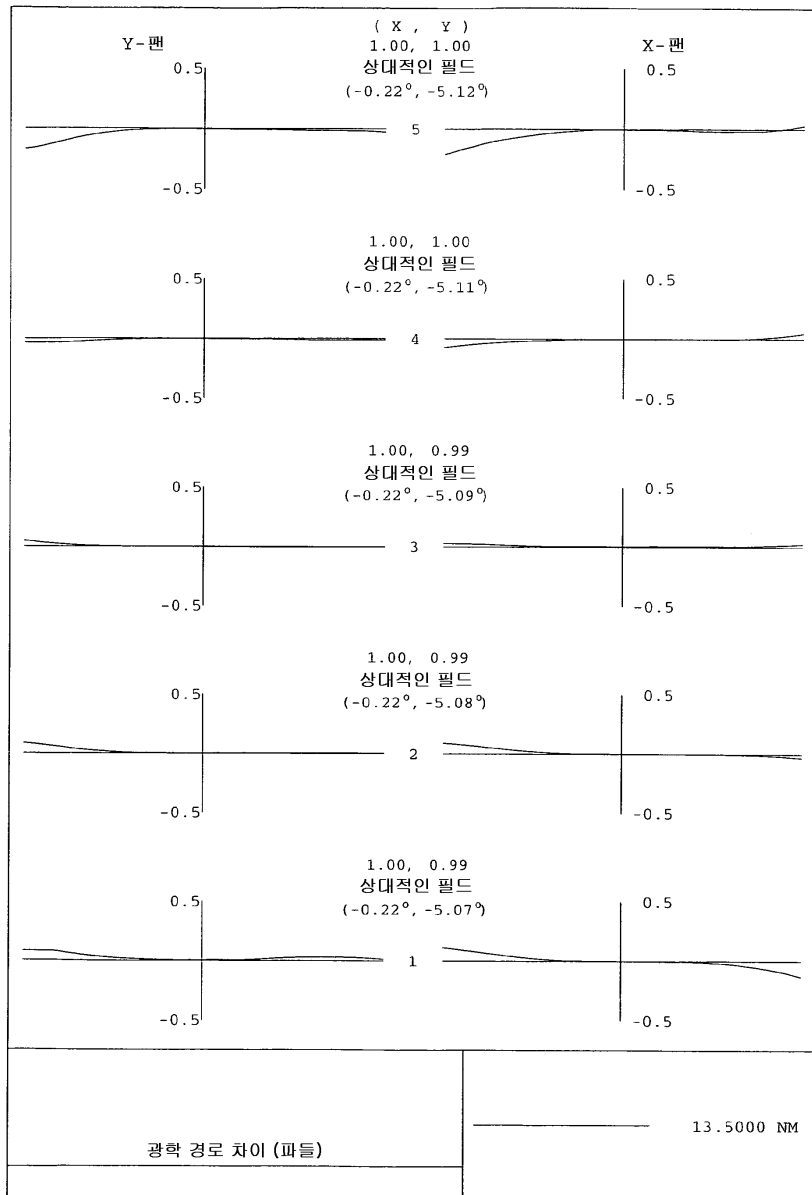
도면17



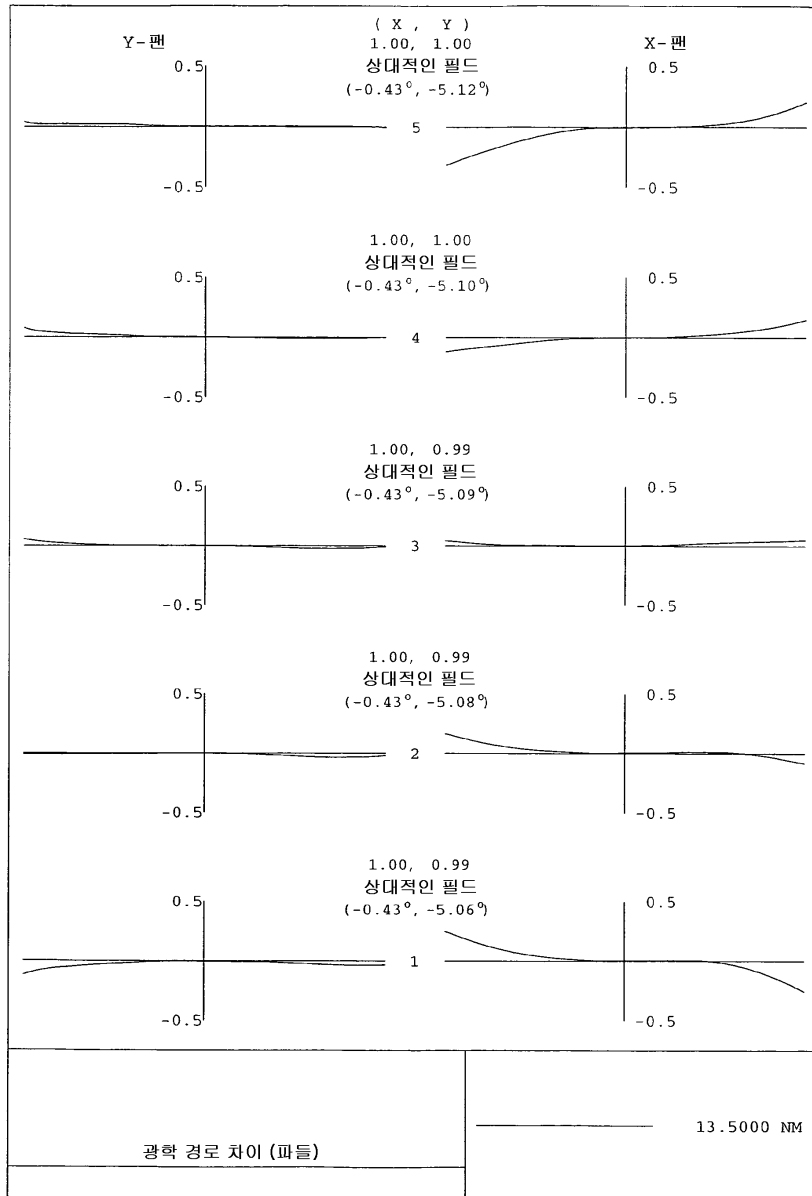
도면18



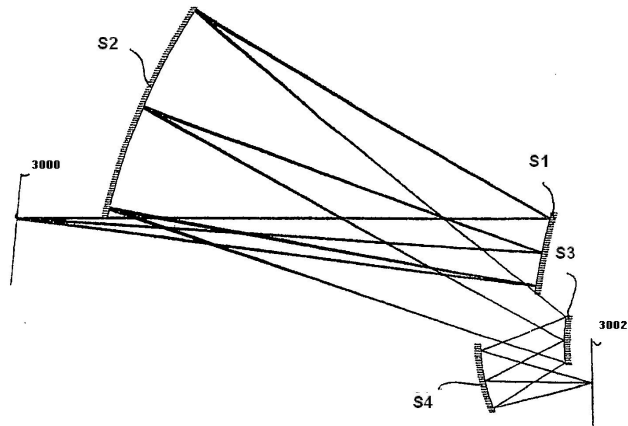
도면19



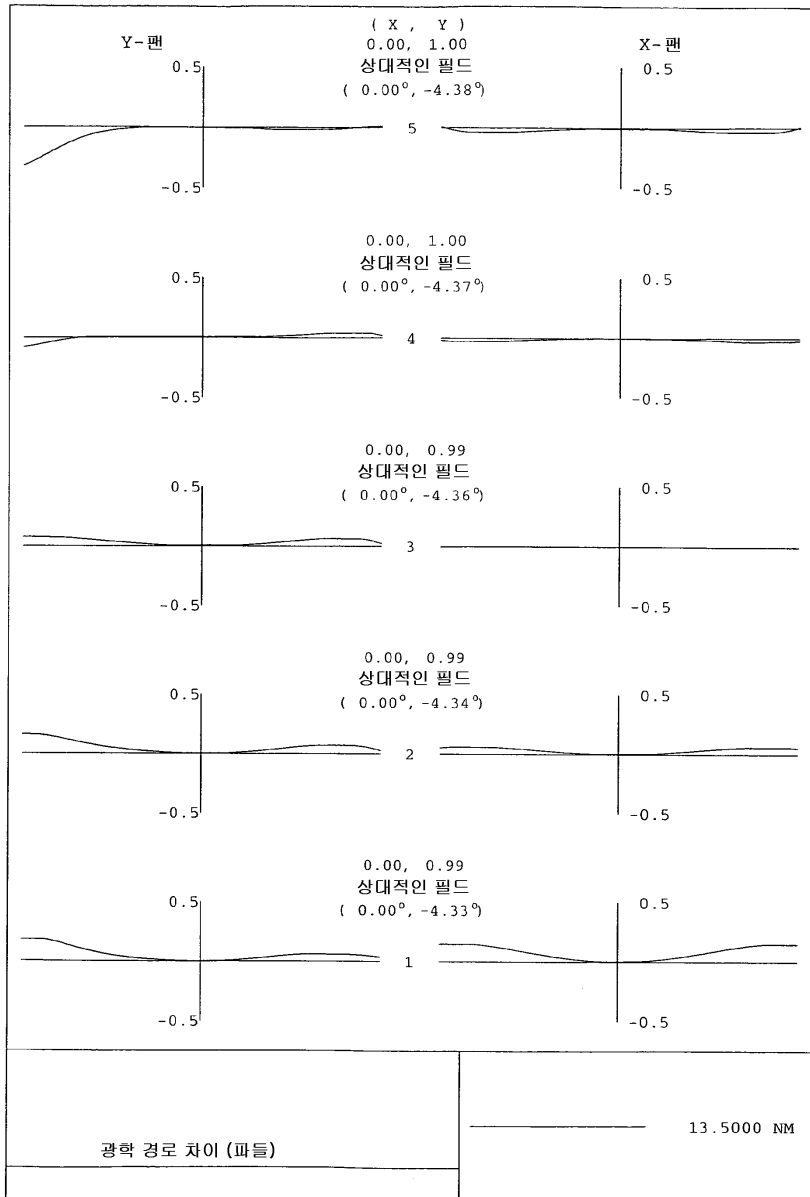
도면20



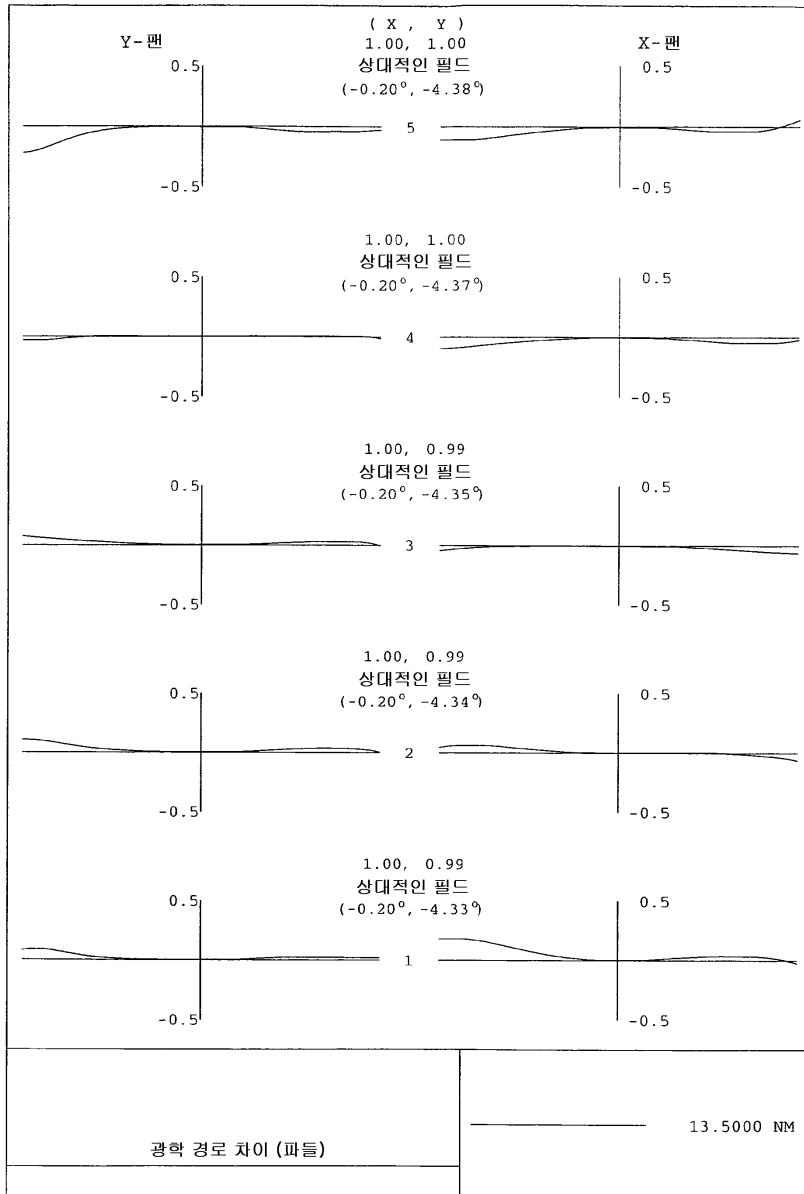
도면21



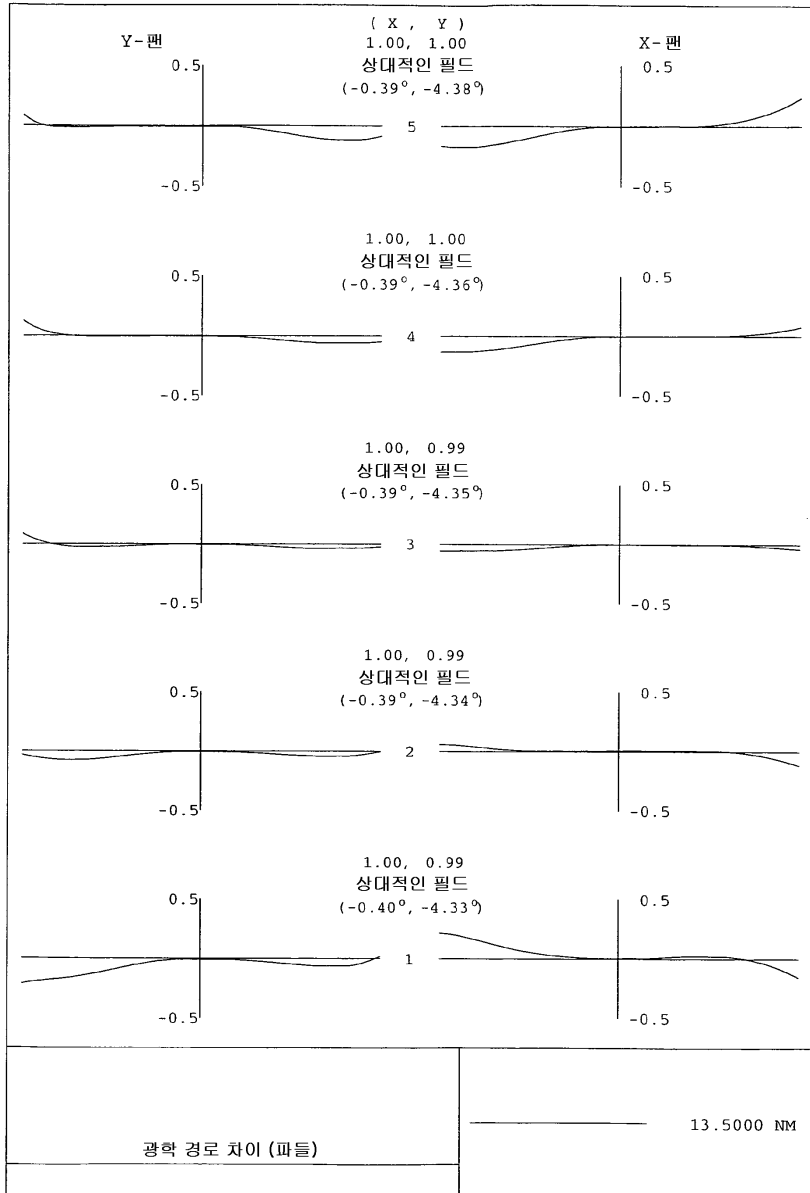
도면22



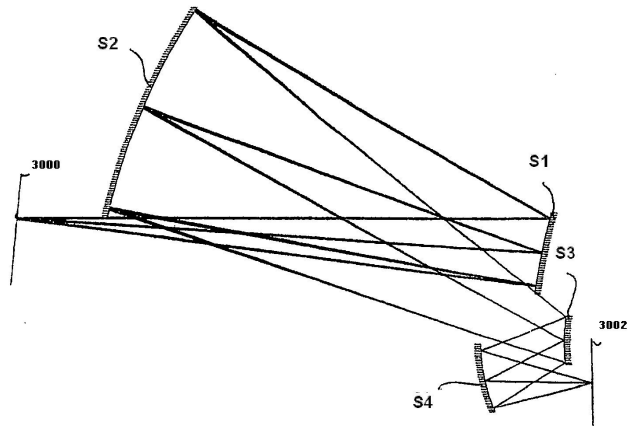
도면23



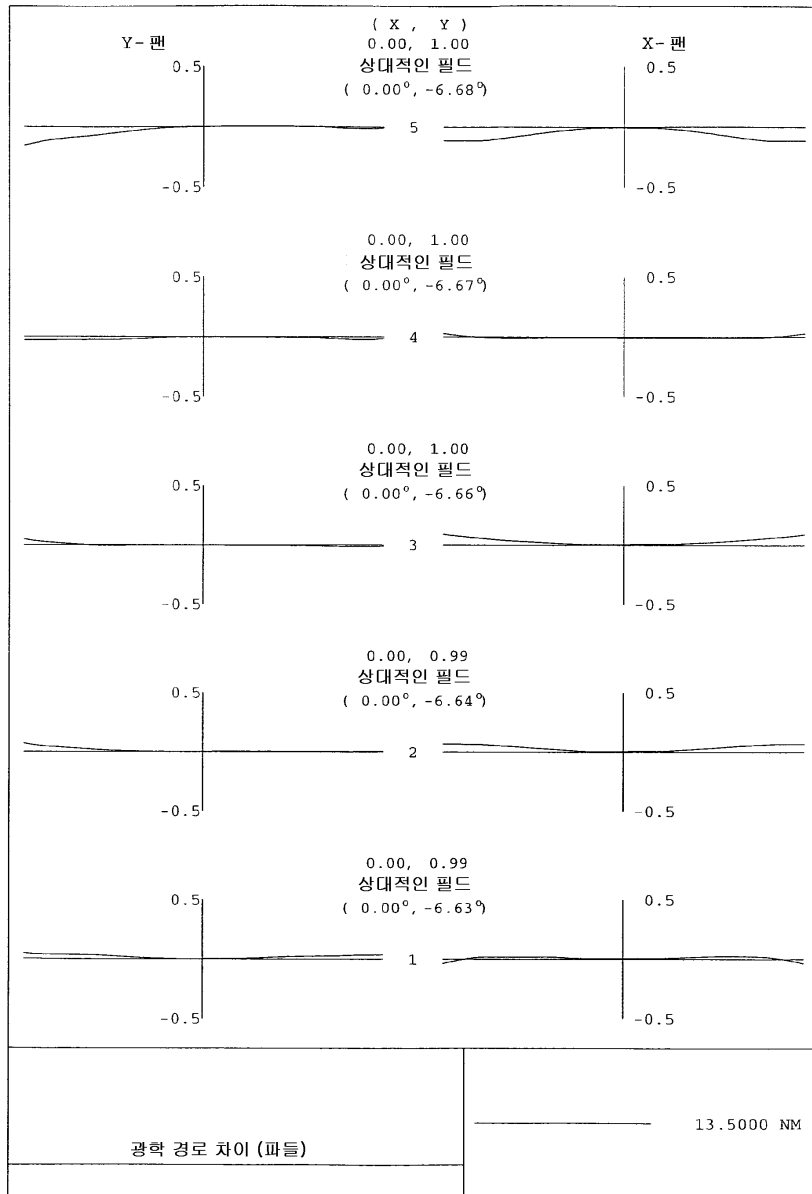
도면24



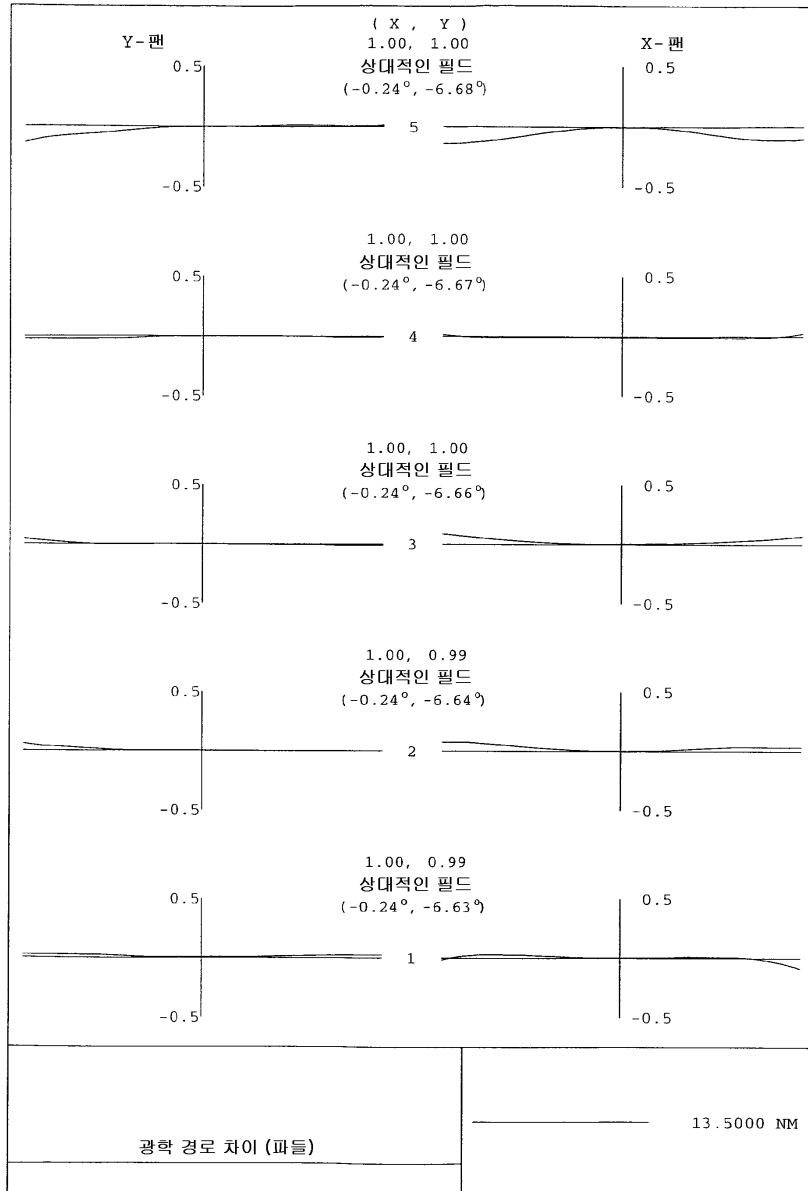
도면25



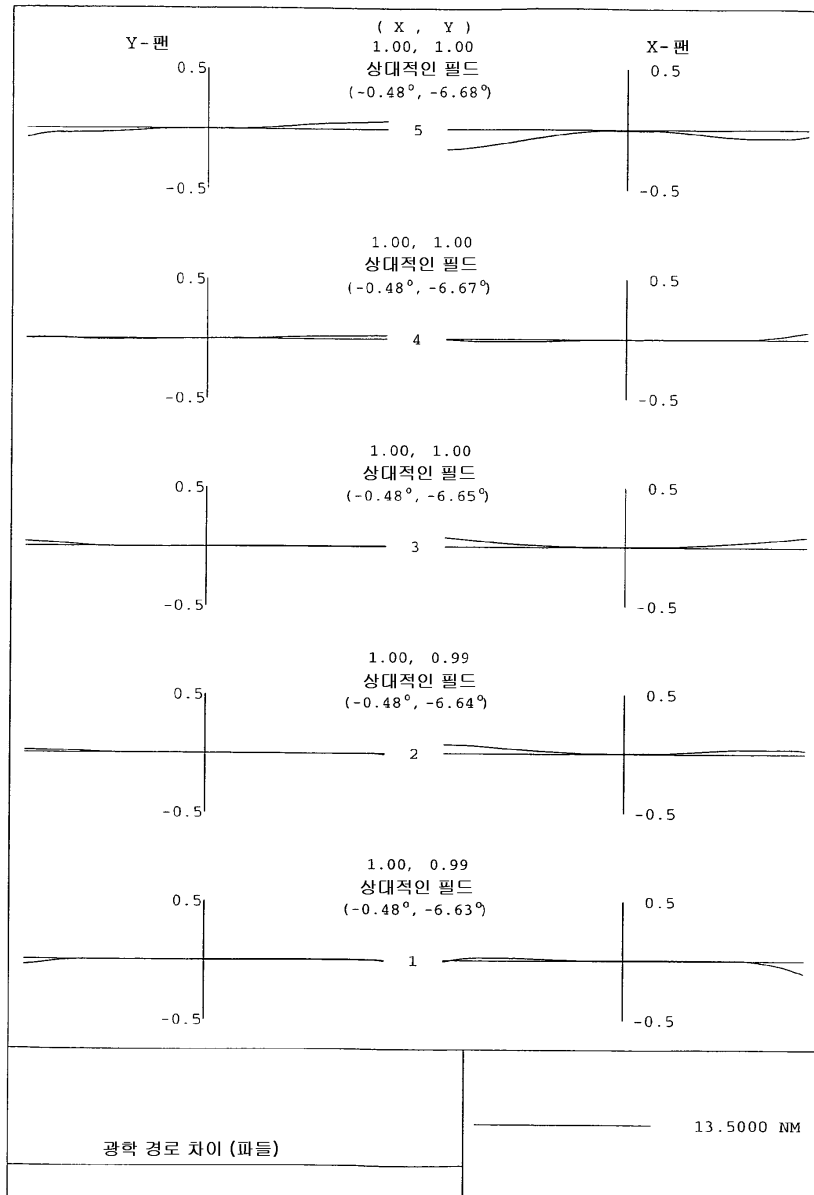
도면26



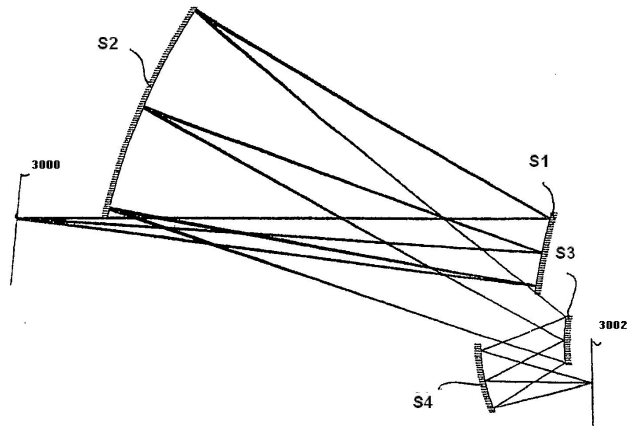
도면27



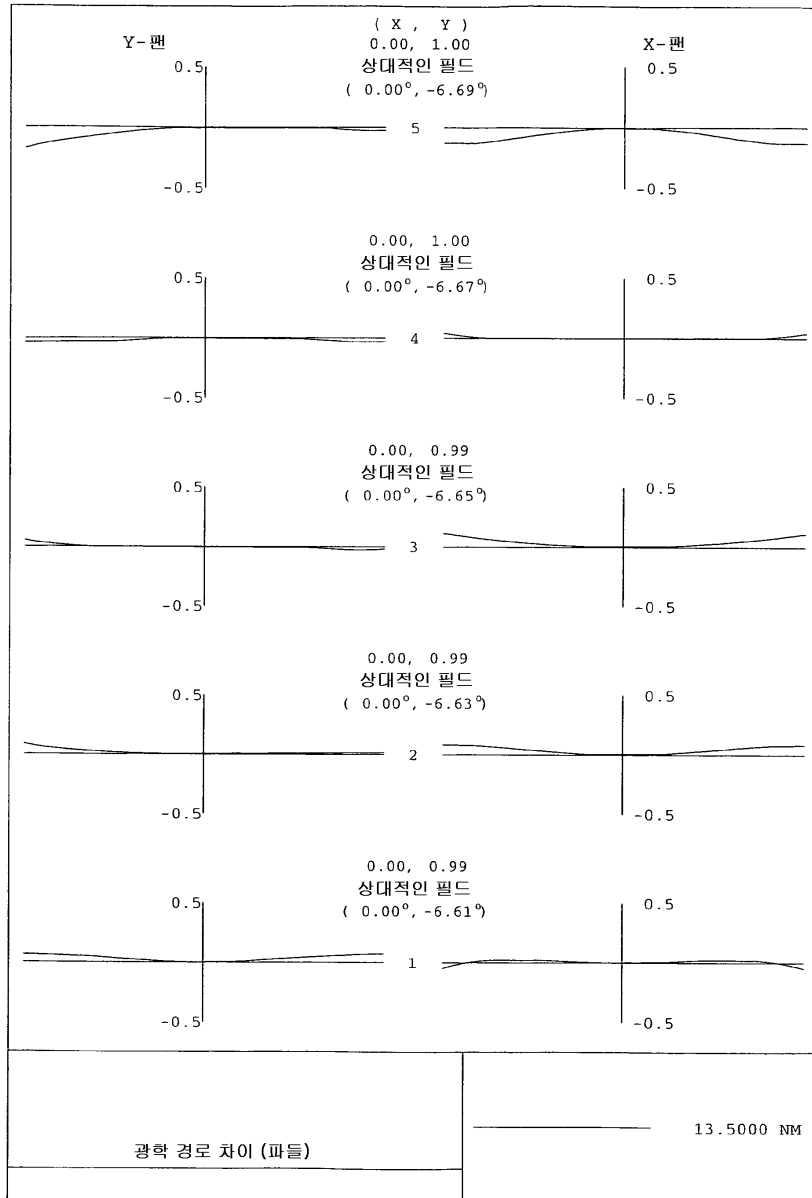
도면28



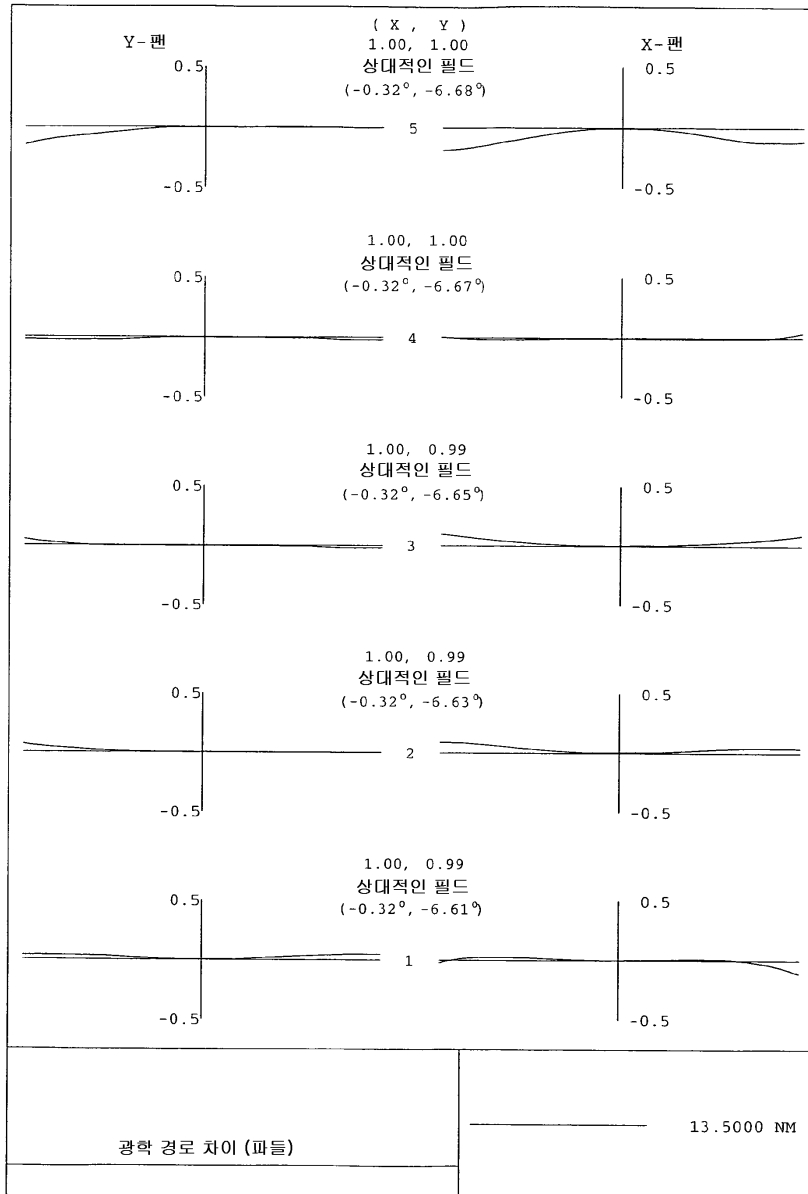
도면29



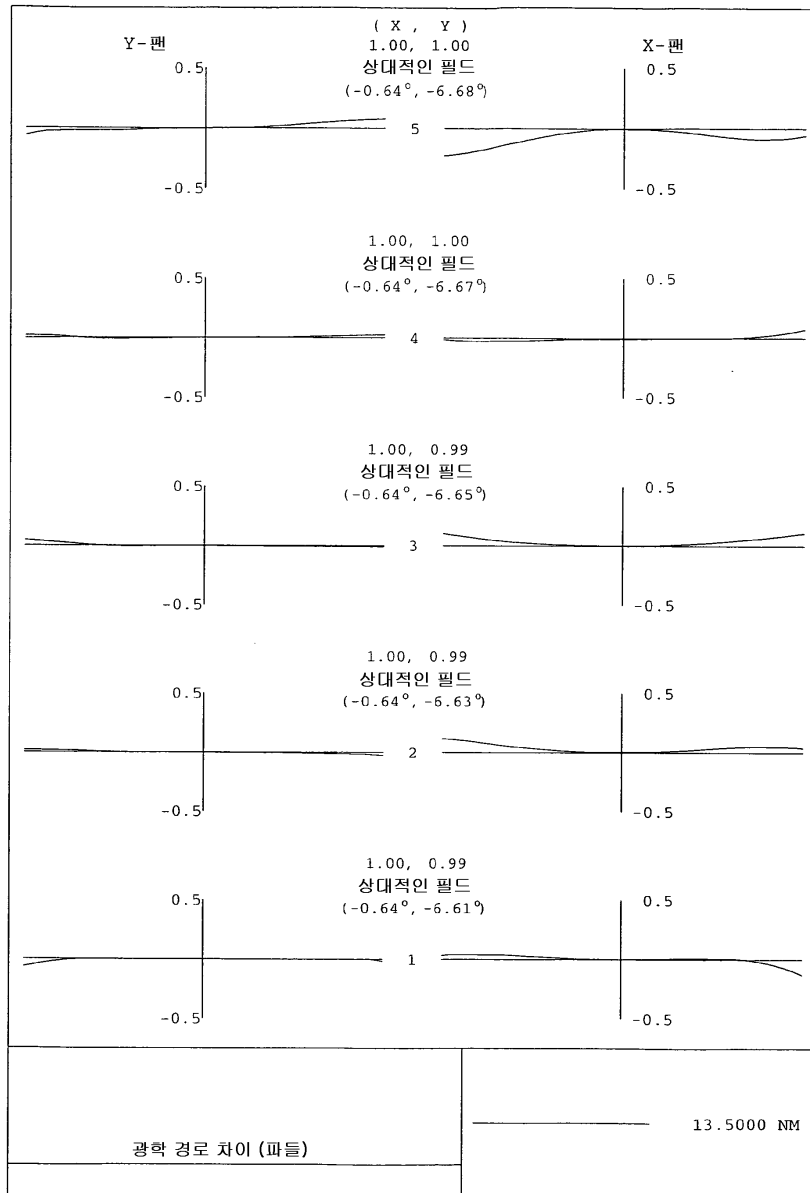
도면30



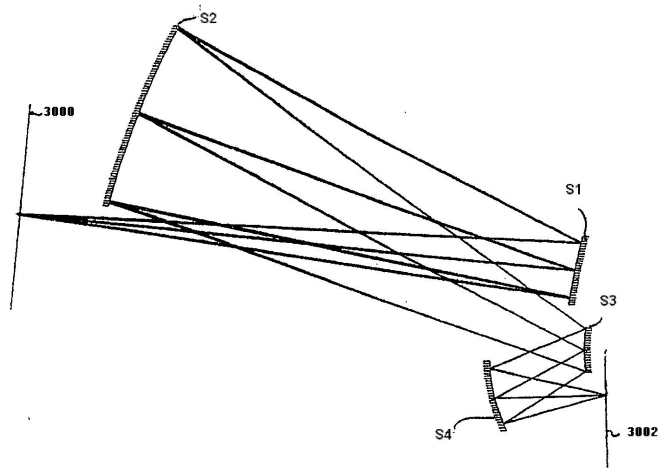
도면31



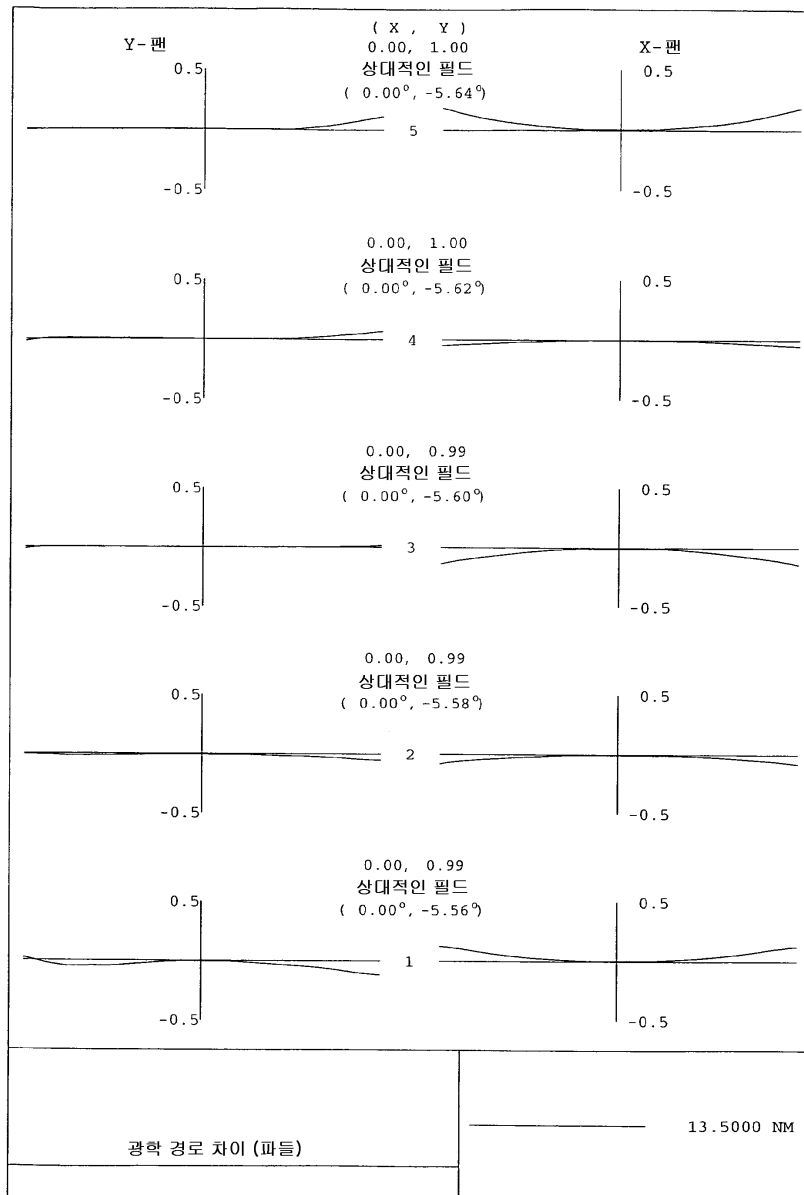
도면32



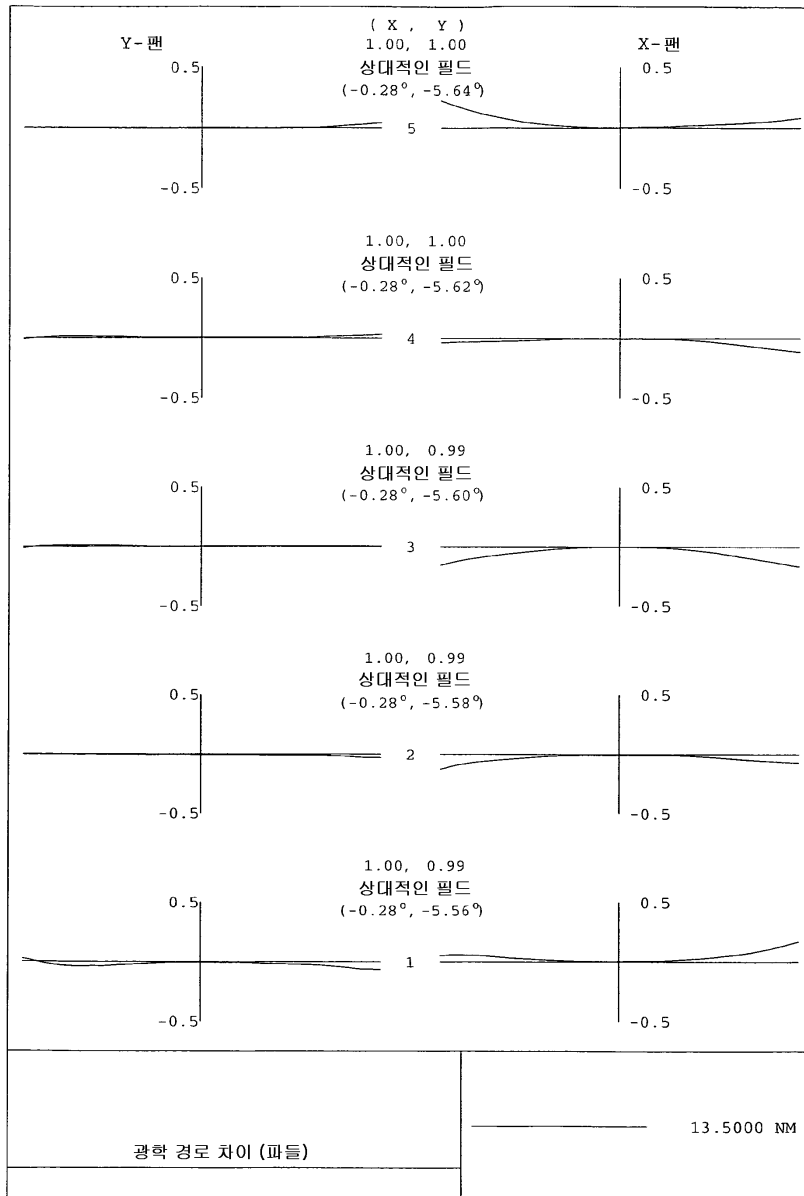
도면33



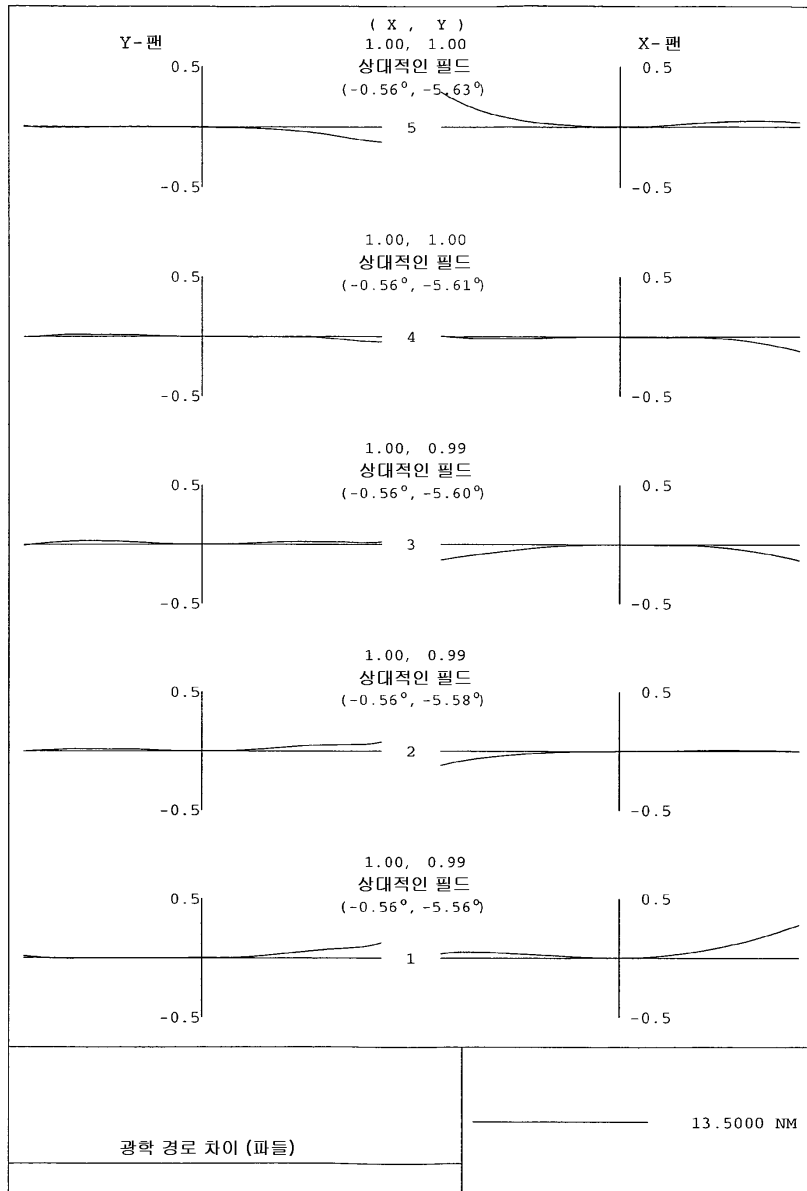
도면34



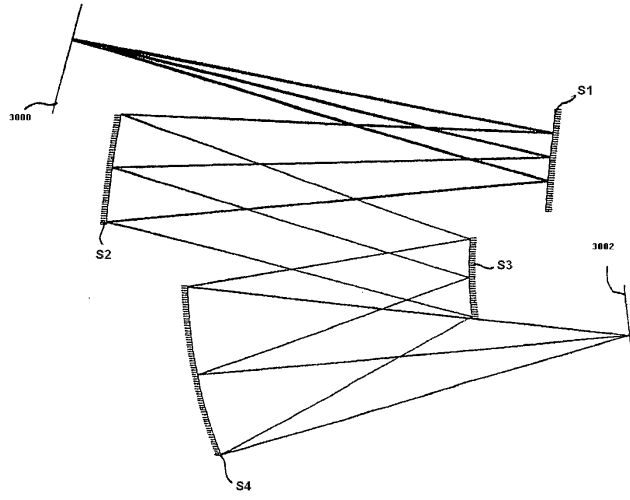
도면35



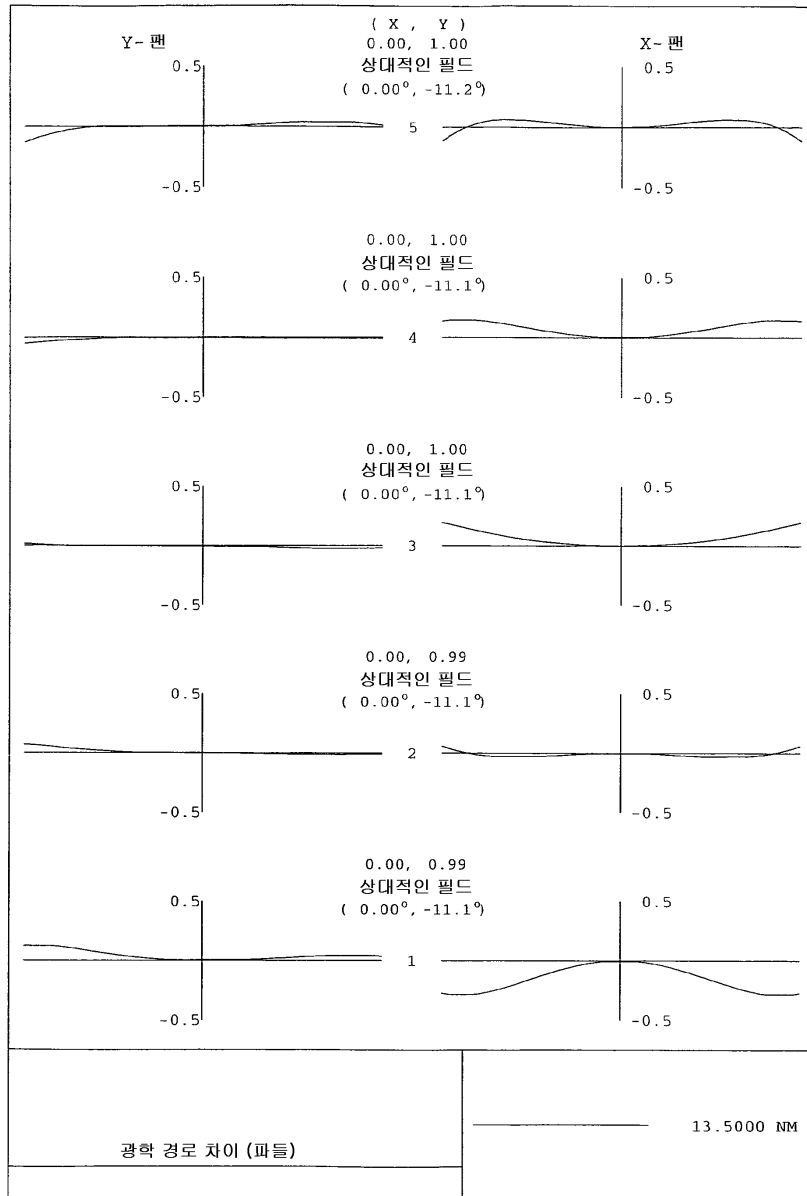
도면36



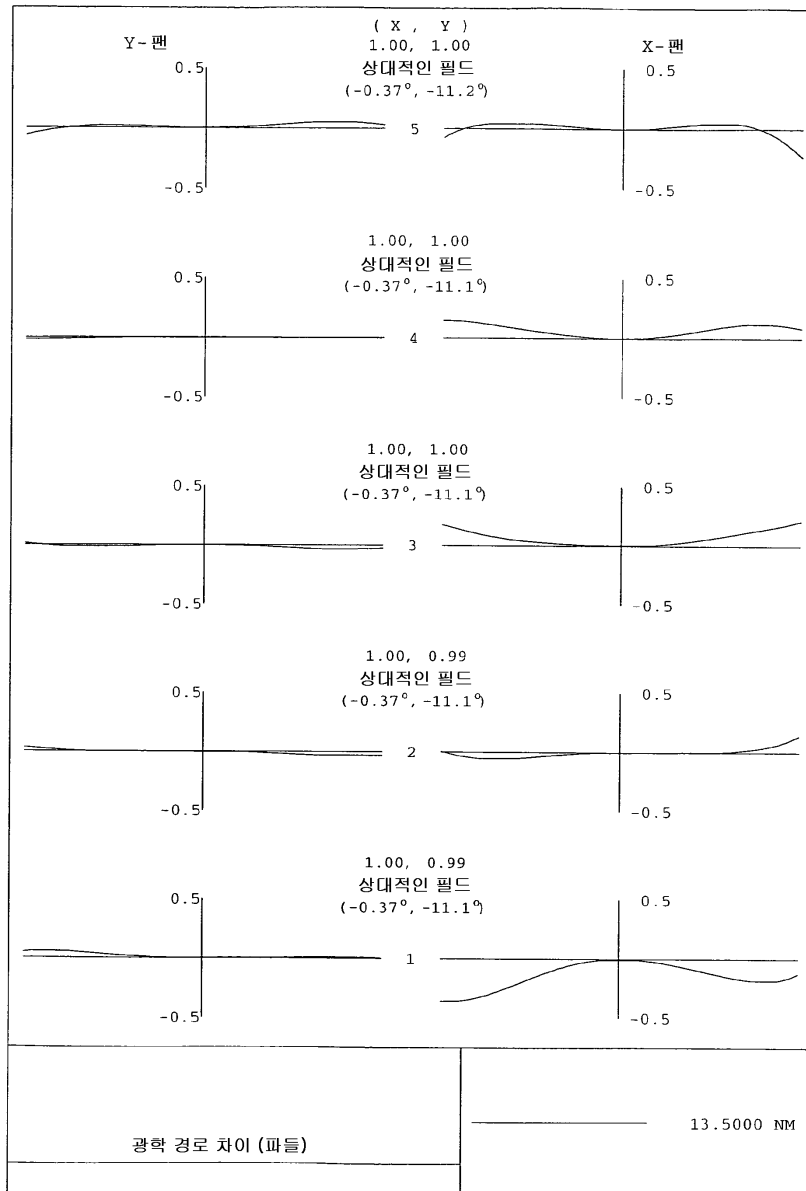
도면37



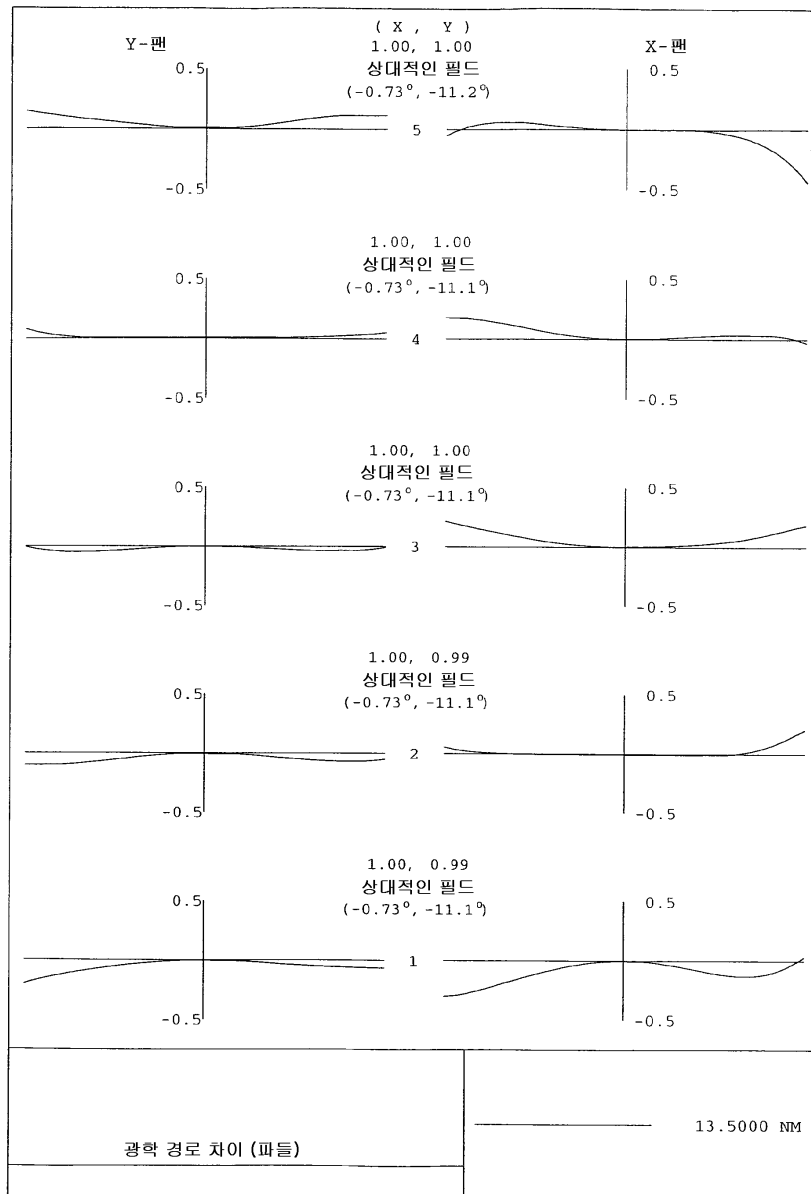
도면38



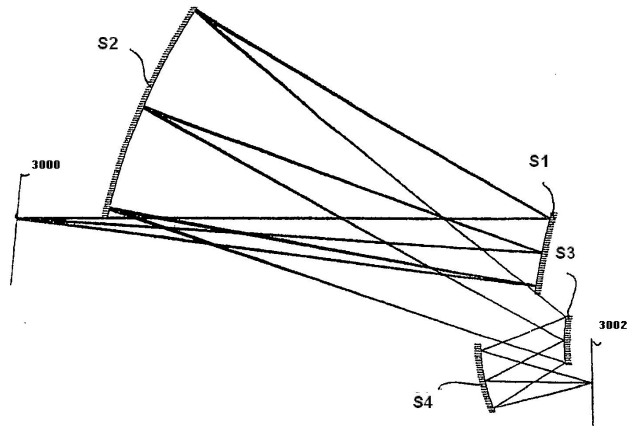
도면39



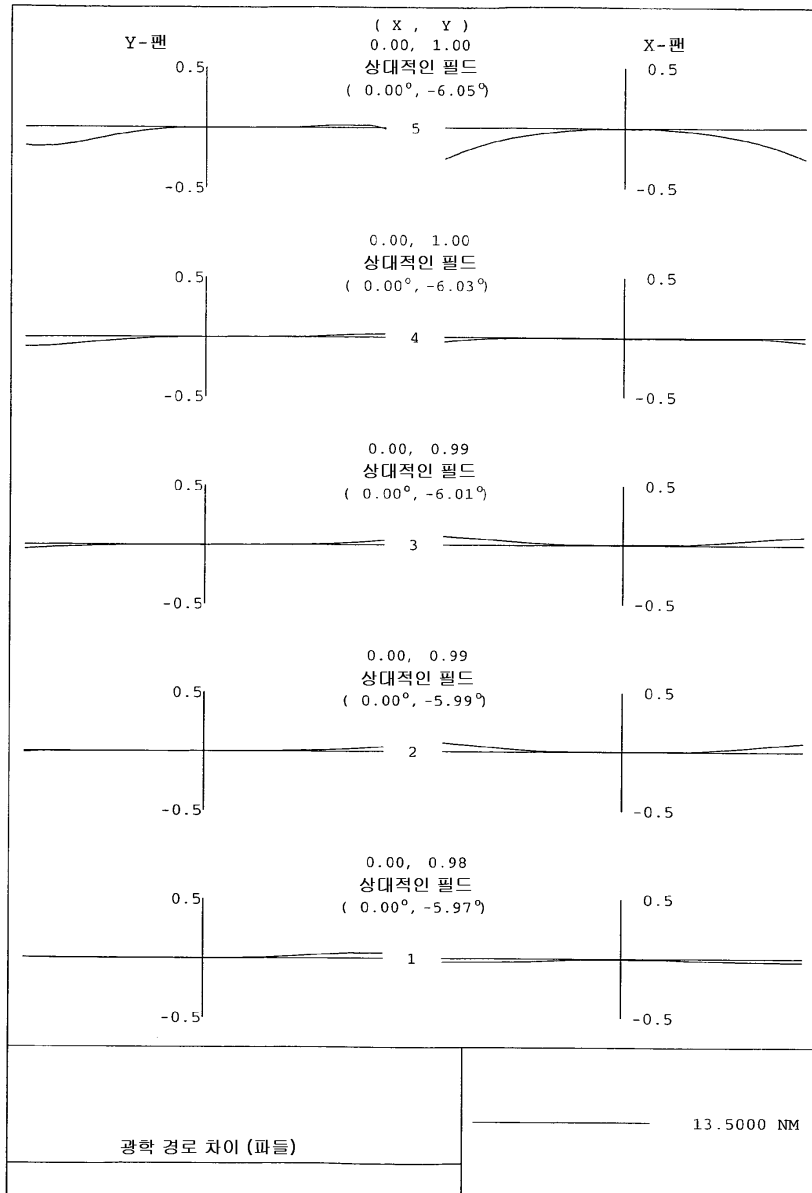
도면40



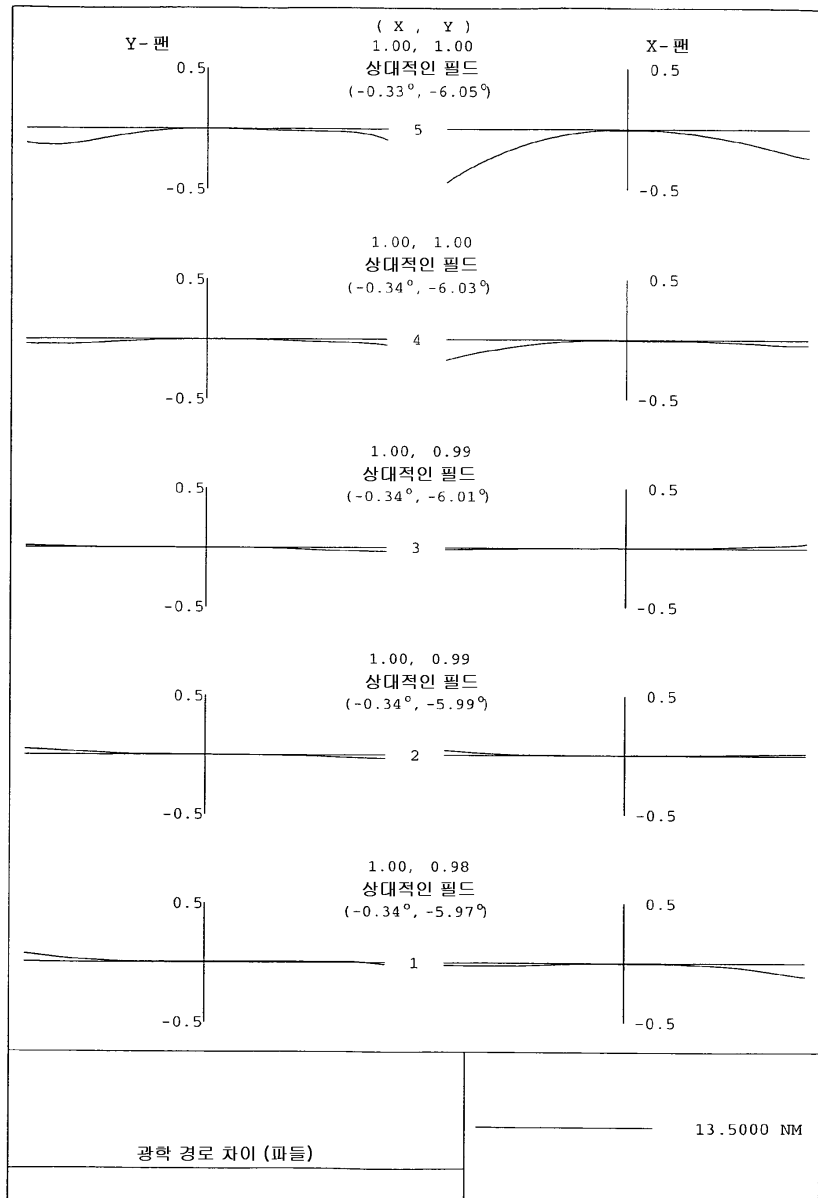
도면41



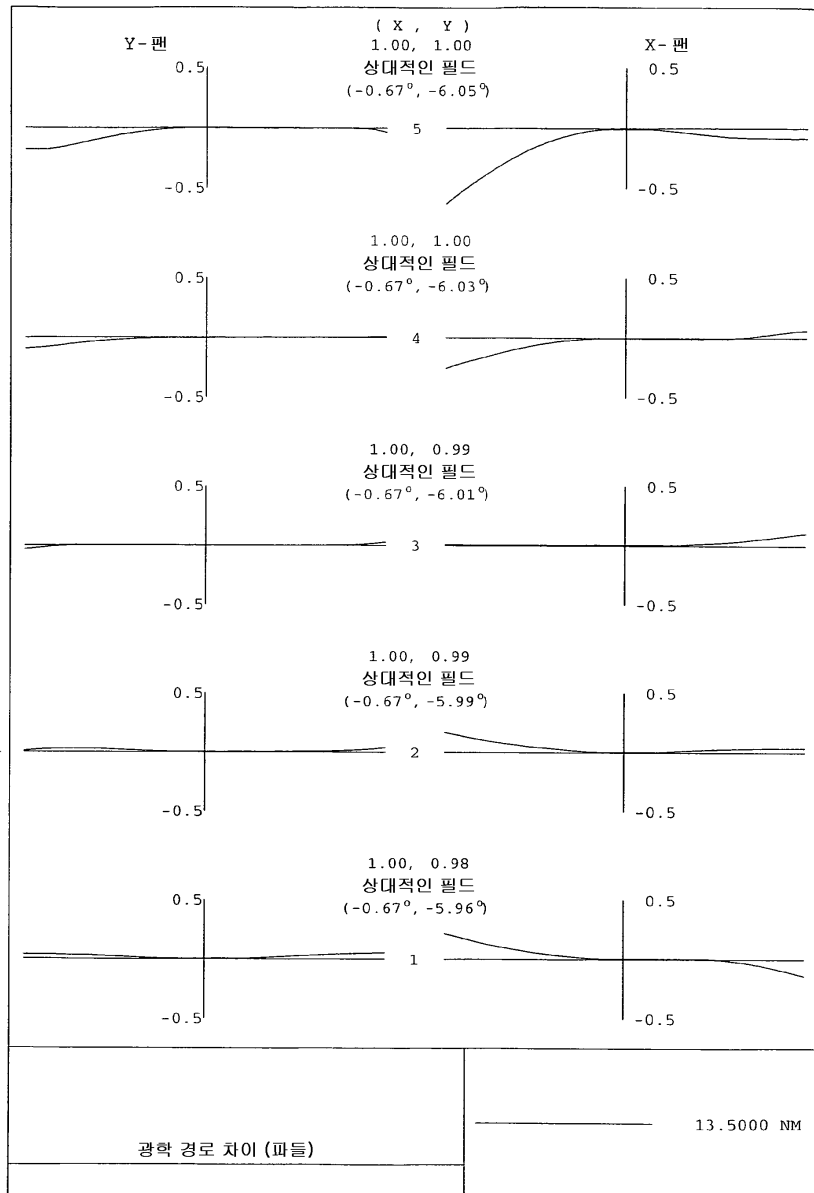
도면42



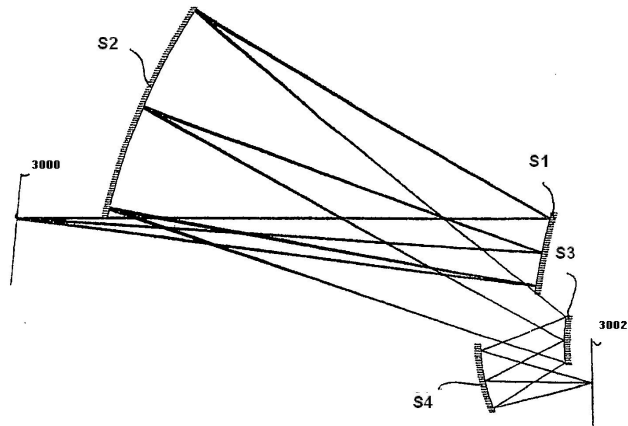
도면43



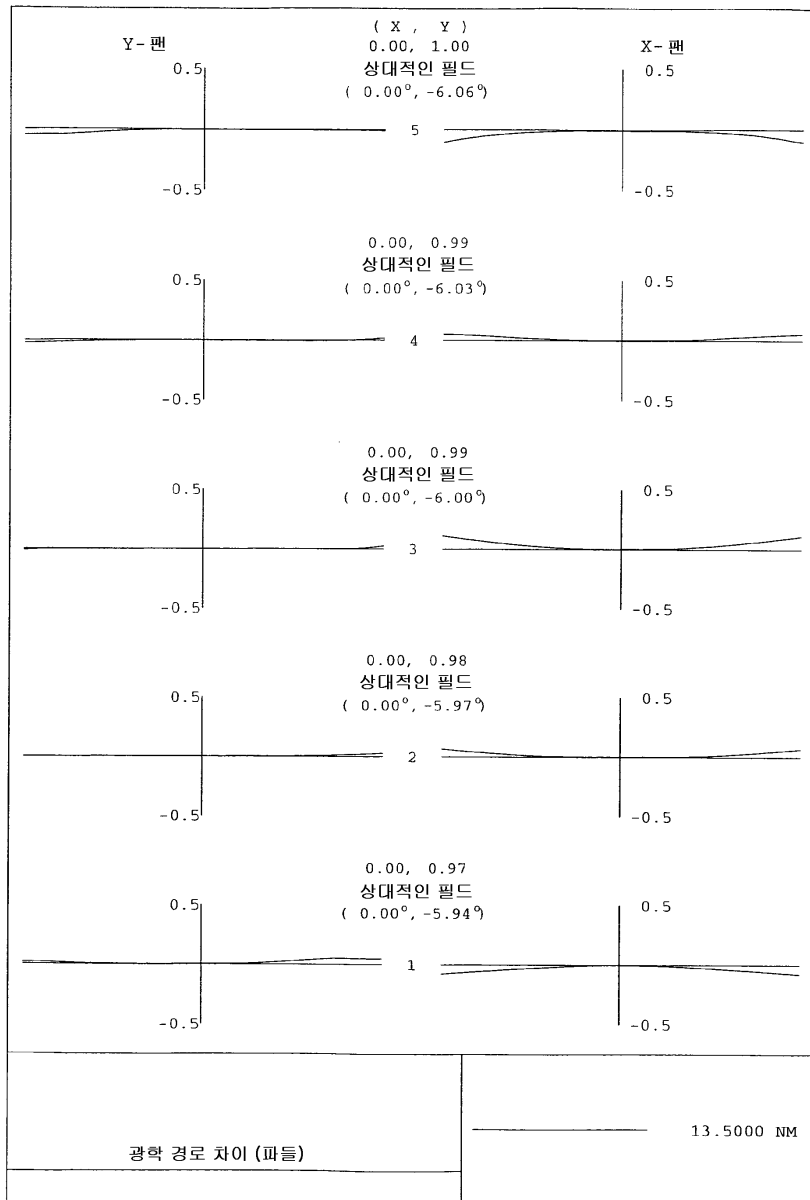
도면44



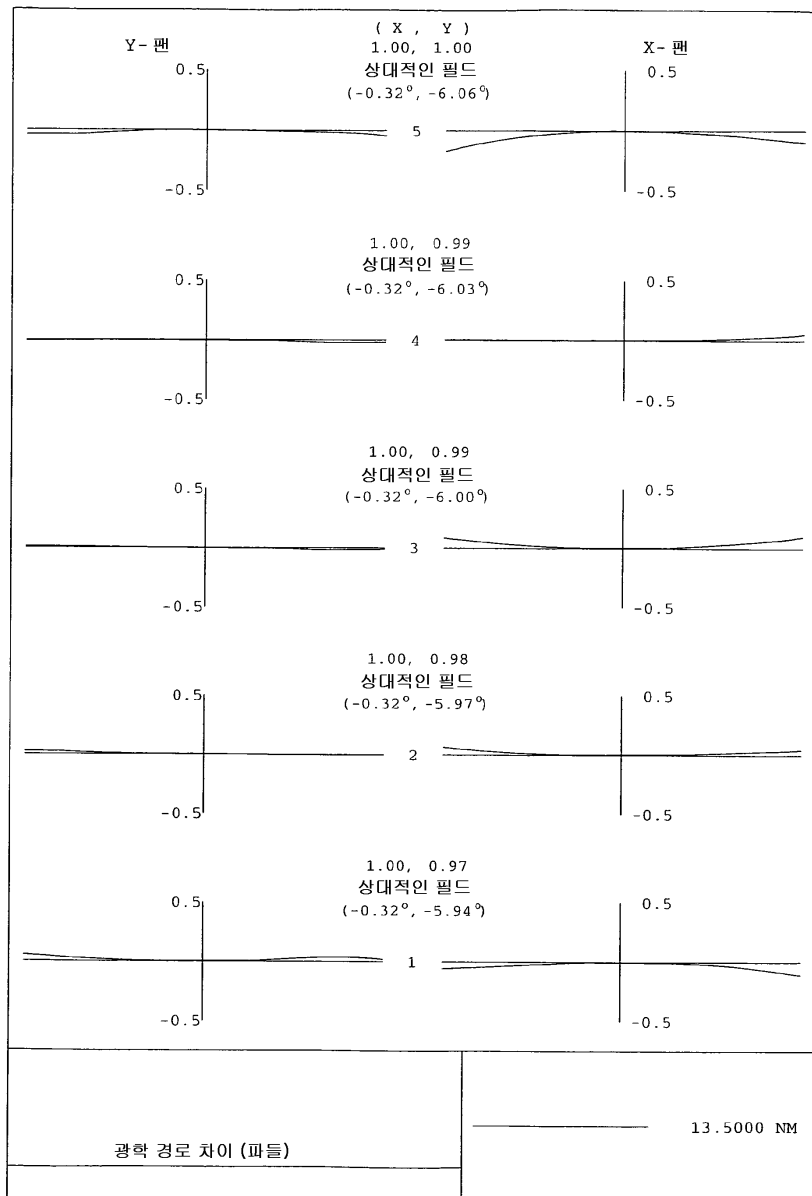
도면45



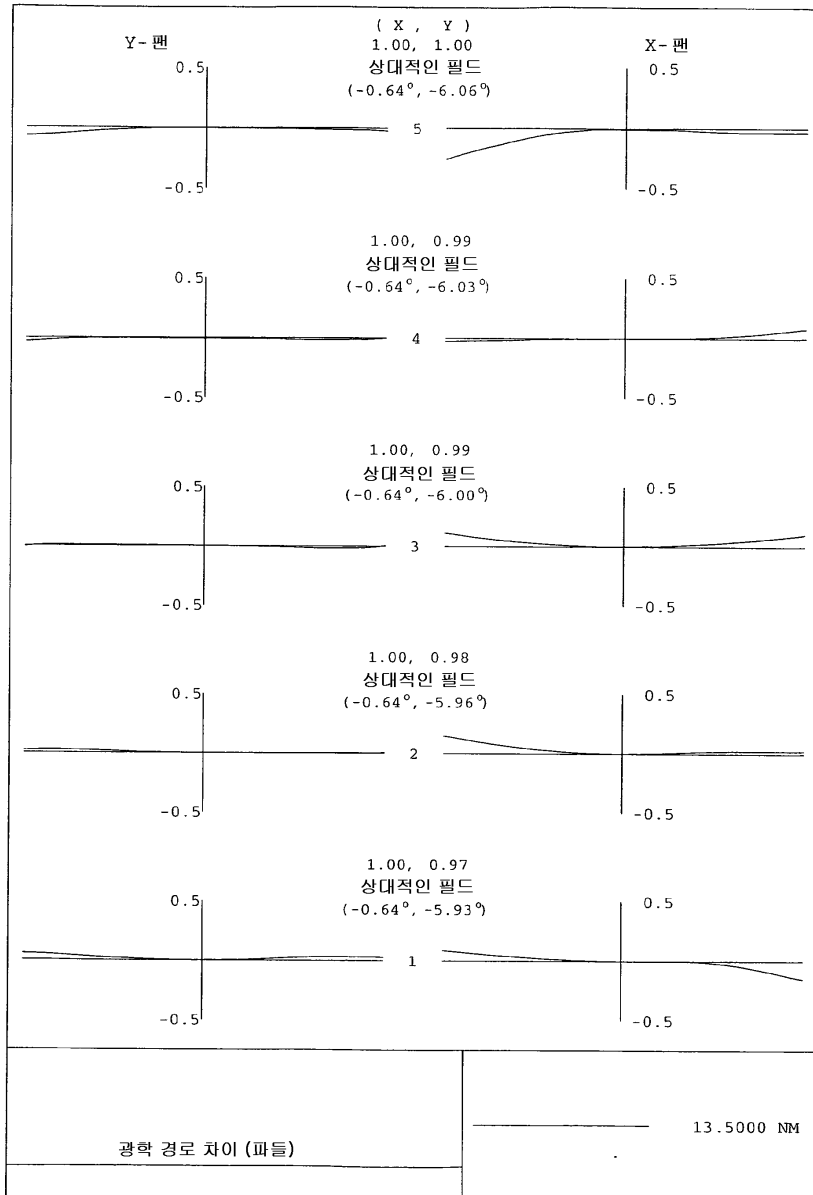
도면46



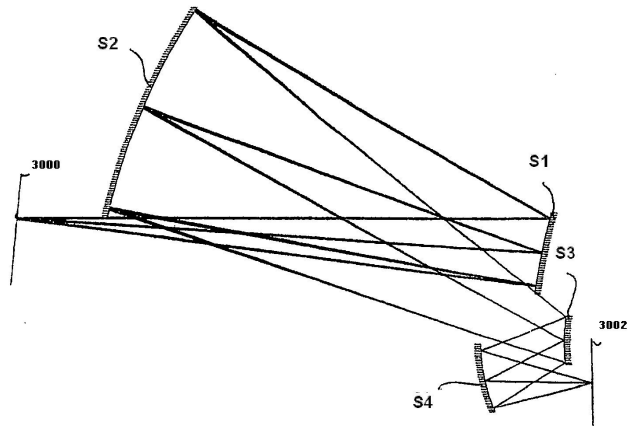
도면47



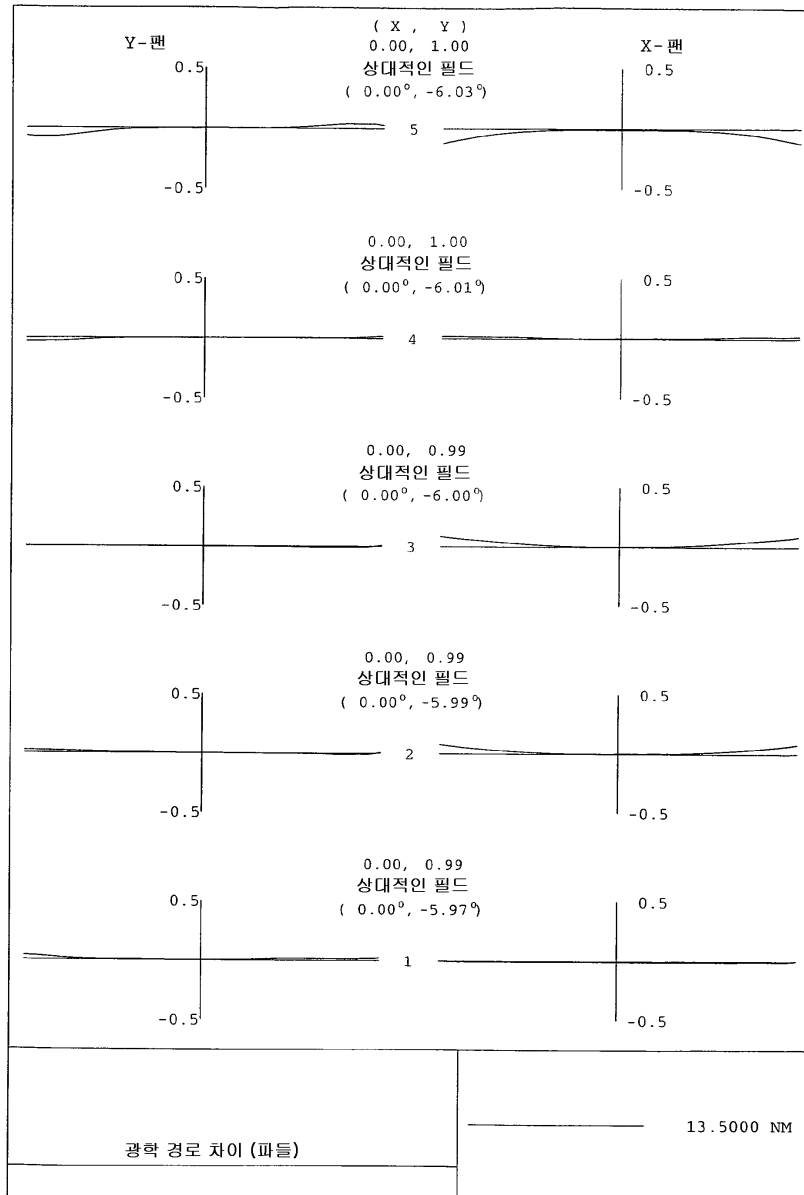
도면48



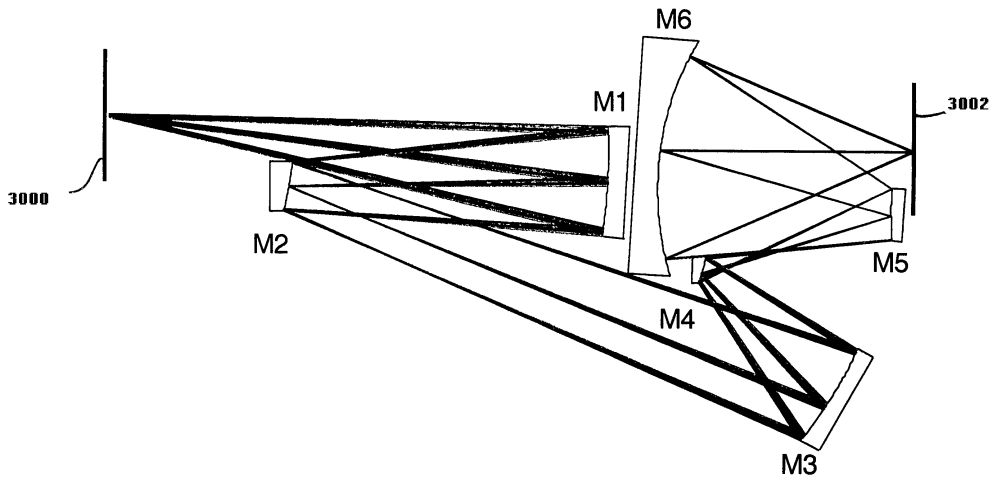
도면49



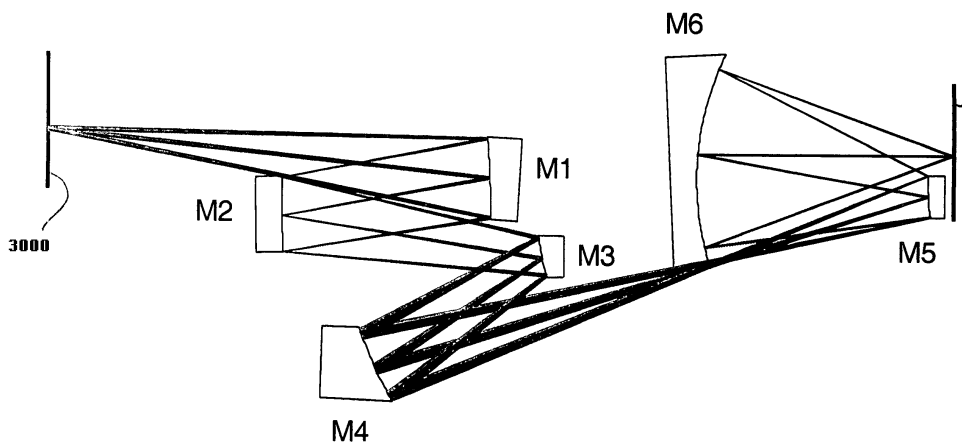
도면50



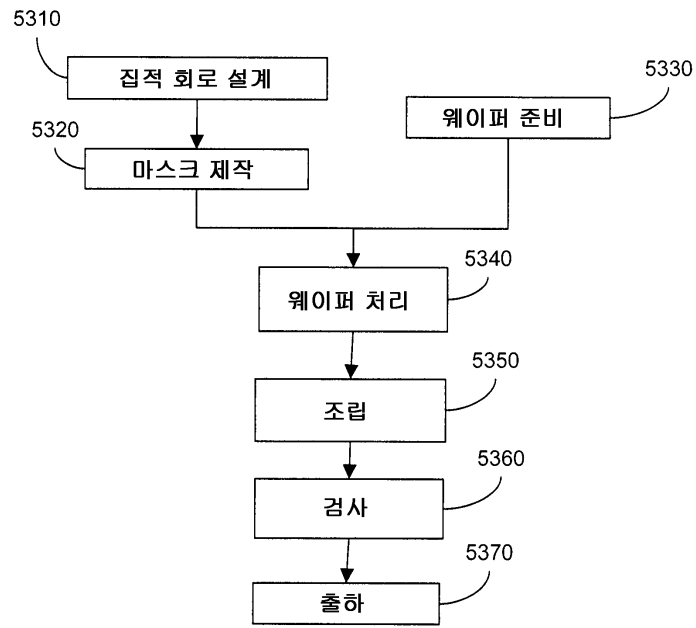
도면51



도면52



도면53



도면54

