



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년05월26일
(11) 등록번호 10-2115279
(24) 등록일자 2020년05월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G03F 7/20 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G03F 7/70258 (2013.01)

G03F 7/70141 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-0123990

(22) 출원일자 2017년09월26일

심사청구일자 2019년03월21일

(65) 공개번호 10-2018-0041567

(43) 공개일자 2018년04월24일

(30) 우선권주장

JP-P-2016-203033 2016년10월14일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

JP1993053057 A

KR1020050024260 A

KR1020060009891 A

US9229205 B2

(73) 특허권자

캐논 가부시끼가이샤

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루코 3조메 30방 2고

(72) 발명자

고노 미치오

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루코 3조메 30방 2고

캐논 가부시끼가이샤 내

후카미 기요시

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루코 3조메 30방 2고

캐논 가부시끼가이샤 내

후쿠오카 료오스케

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루코 3조메 30방 2고

캐논 가부시끼가이샤 내

(74) 대리인

장수길, 이중희

전체 청구항 수 : 총 17 항

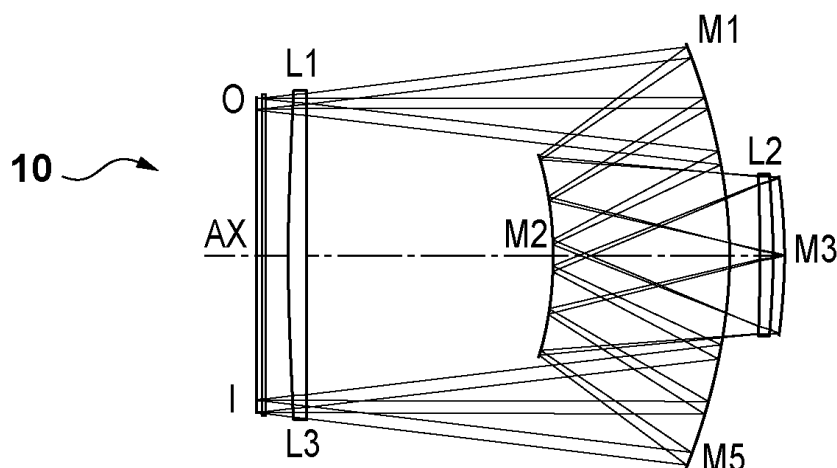
심사관 : 정성용

(54) 발명의 명칭 투영 광학계, 노광 장치 및 물품 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면 및 제3 오목 반사면을 포함하는 투영 광학계를 제공하며, 제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면 및 제3 오목 반사면은, 물체면으로부터의 광이 제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면, 제1 볼록 반사면 및 제3 오목 반사면에 의해 열거된 순서로 반사됨으로써 화상면 상에 화상을 형성하도록 배열된다.

대표도 - 도1a



(52) CPC특허분류
G03F 7/70241 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면 및 제3 오목 반사면을 포함하는 투영 광학계이며,

상기 제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면 및 제3 오목 반사면은, 물체면으로부터의 광이 상기 제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면, 제1 볼록 반사면 및 제3 오목 반사면에 의해 열거된 순서로 반사됨으로써 화상면 상에 화상을 형성하도록 배열되고,

상기 물체면과 상기 제1 오목 반사면 사이 그리고 상기 제3 오목 반사면과 상기 화상면 사이에는 반사면이 존재하지 않고, 상기 물체면과 상기 제2 오목 반사면 사이의 거리를 Lt1이라 하고, 상기 제2 오목 반사면과 상기 화상면 사이의 거리를 Lt2라 하고, 상기 제1 오목 반사면과 상기 제2 오목 반사면 사이의 거리를 Pt1이라 하고, 상기 제2 오목 반사면과 상기 제3 오목 반사면 사이의 거리를 Pt2라 하면,

$0.05 \leq Pt1/Lt1 \leq 0.2$ 또는 $0.05 \leq Pt2/Lt2 \leq 0.2$ 가 만족되는,

투영 광학계.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 볼록 반사면의 곡률반경을 R2라 하고, 상기 제1 볼록 반사면과 반사면이 존재하지 않는 상태에서의 상기 물체면 사이의 거리를 W1라 하고, 상기 제1 볼록 반사면과 반사면이 존재하지 않는 상태에서의 상기 화상면 사이의 거리를 W2라 하면,

$0.70 \leq W1/R2 \leq 1.0$ 또는 $0.70 \leq W2/R2 \leq 1.0$ 가 만족되는,

투영 광학계.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 제1 오목 반사면의 곡률반경을 R1이라 하고, 상기 제1 볼록 반사면의 곡률반경을 R2라 하고, 상기 제3 오목 반사면의 곡률반경을 R5라 하고, 상기 제1 오목 반사면과 상기 제1 볼록 반사면 사이의 거리를 D1이라 하고, 상기 제1 볼록 반사면과 상기 제3 오목 반사면 사이의 거리를 D2라 하면,

$0.87 \leq (R2 + D1)/R1 \leq 1.15$ 또는 $0.87 \leq (R2 + D2)/R5 \leq 1.15$ 가 만족되는,

투영 광학계.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 제1 오목 반사면의 곡률반경을 R1이라 하고, 상기 제2 오목 반사면의 곡률반경을 R3라 하고, 상기 제3 오목 반사면의 곡률반경을 R5라 하면,

$0.8 \leq R3/R1 \leq 1.25$ 또는 $0.8 \leq R3/R5 \leq 1.25$ 가 만족되는,

투영 광학계.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 제2 오목 반사면의 곡률반경을 R3라 하면,

$0.9 \leq R3/Lt1 \leq 1.1$ 또는 $0.9 \leq R3/Lt2 \leq 1.1$ 이 만족되는,

투영 광학계.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 제1 볼록 반사면과 반사면이 존재하지 않는 상태에서의 상기 물체면 사이의 거리를 W1이

라 하고, 상기 제1 볼록 반사면과 반사면이 존재하지 않는 상태에서의 상기 화상면 사이의 거리를 $W2$ 라 하면,
 $0.5 \leq W1/Lt1 \leq 0.7$ 또는 $0.5 \leq W2/Lt2 \leq 0.7$ 가 만족되는,
 투영 광학계.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 물체면, 상기 화상면 및 상기 제1 볼록 반사면 사이에 비구면 형상을 갖는 렌즈를 더 포함하는,
 투영 광학계.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 제1 볼록 반사면과 상기 제2 오목 반사면 사이에, 동일한 방향으로 만곡된 제1 표면 및 제2 표면을 갖는 메니스커스 렌즈를 더 포함하는,
 투영 광학계.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 제1 오목 반사면, 상기 제1 볼록 반사면, 상기 제2 오목 반사면 및 상기 제3 오목 반사면 중 적어도 하나는 비구면 형상을 갖는,
 투영 광학계.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 제1 볼록 반사면과 상기 제2 오목 반사면 사이에 개구 조리개를 더 포함하는,
 투영 광학계.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 개구 조리개의 개구 형상은 가변적인,
 투영 광학계.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 제1 오목 반사면 및 상기 제3 오목 반사면은 하나의 곡률반경을 갖는 하나의 반사면에 의해 형성되는,
 투영 광학계.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 투영 광학계는 확대계 및 축소계 중 하나인,
 투영 광학계.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 제1 오목 반사면의 곡률반경을 $R1$ 이라 하고, 상기 제3 오목 반사면의 곡률반경을 $R5$ 라 하고, 상기 투영 광학계의 화상 형성 배율을 B 라 하면,
 $B \times 0.87 \leq (R5/R1) \leq B \times 1.15$ 가 만족되는,
 투영 광학계.

청구항 15

제1항에 있어서, 상기 투영 광학계는 상기 물체면 측 및 상기 화상면 측 상에서 텔레센트릭한,

투영 광학계.

청구항 16

노광 장치이며,

광원으로부터의 광으로 마스크를 조명하도록 구성된 조명 광학계와,

기관 상에 상기 마스크의 패턴의 화상을 투영하도록 구성된 투영 광학계를 포함하고,

상기 투영 광학계는 제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면 및 제3 오목 반사면을 포함하고,

상기 제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면 및 제3 오목 반사면은, 물체면으로부터의 광이 상기 제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면, 제1 볼록 반사면 및 제3 오목 반사면에 의해 열거된 순서로 반사됨으로써 화상면 상에 화상을 형성하도록 배열되고,

상기 물체면과 상기 제1 오목 반사면 사이 그리고 상기 제3 오목 반사면과 상기 화상면 사이에는 반사면이 존재하지 않고, 상기 물체면과 상기 제2 오목 반사면 사이의 거리를 Lt1이라 하고, 상기 제2 오목 반사면과 상기 화상면 사이의 거리를 Lt2라 하고, 상기 제1 오목 반사면과 상기 제2 오목 반사면 사이의 거리를 Pt1이라 하고, 상기 제2 오목 반사면과 상기 제3 오목 반사면 사이의 거리를 Pt2라 하면,

$0.05 \leq Pt1/Lt1 \leq 0.2$ 또는 $0.05 \leq Pt2/Lt2 \leq 0.2$ 가 만족되는,

노광 장치.

청구항 17

제품을 제조하는 방법이며, 상기 방법은

노광 장치를 이용하여 기관 상에 패턴을 형성하는 단계와,

제품을 제조하기 위해 노광된 기관을 현상하는 단계를 포함하고,

상기 노광 장치는

광원으로부터의 광으로 마스크를 조명하도록 구성된 조명 광학계와,

상기 기관 상에 상기 마스크의 패턴의 화상을 투영하도록 구성된 투영 광학계를 포함하고,

상기 투영 광학계는 제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면 및 제3 오목 반사면을 포함하고,

상기 제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면 및 제3 오목 반사면은, 물체면으로부터의 광이 상기 제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면, 제1 볼록 반사면 및 제3 오목 반사면에 의해 열거된 순서로 반사됨으로써 화상면 상에 화상을 형성하도록 배열되고,

상기 물체면과 상기 제1 오목 반사면 사이 그리고 상기 제3 오목 반사면과 상기 화상면 사이에는 반사면이 존재하지 않고, 상기 물체면과 상기 제2 오목 반사면 사이의 거리를 Lt1이라 하고, 상기 제2 오목 반사면과 상기 화상면 사이의 거리를 Lt2라 하고, 상기 제1 오목 반사면과 상기 제2 오목 반사면 사이의 거리를 Pt1이라 하고, 상기 제2 오목 반사면과 상기 제3 오목 반사면 사이의 거리를 Pt2라 하면,

$0.05 \leq Pt1/Lt1 \leq 0.2$ 또는 $0.05 \leq Pt2/Lt2 \leq 0.2$ 가 만족되는,

제품 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 투영 광학계, 노광 장치 및 물품 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근, 텔레비전 시스템의 HD(High Definition) 표준화가 진행됨에 따라, 많은 FPD(Flat Panel Display)가 디스플레이 디바이스로 사용되며, 더 큰 스크린 및 더 낮은 비용에 대한 요구가 발생하였다. FPD의 제조에서는, 집

적 회로(IC)의 제조에서와 같이 포토레지스트로 코팅된 기판 상에 마스크(원판)의 회로 패턴을 보호하고 상기 기판 상에 상기 패턴을 전사(형성)하는데 포토리소그래피 기술이 사용된다.

[0003] 이러한 포토리소그래피 기술에서 사용하기 위한 투영 광학계의 일 예로서, 보정된 수차를 갖는 유한 슬릿형 영역을 형성하는 거울을 사용하는 등배 광학계(equal-magnification optical system)가 일본 특허 공개 번호 52-5544 및 7-57986에 각각 개시되어 있다. 슬릿형 영역에 대해 물체면(마스크면) 및 화상면(기판면)을 동기식으로 스캐닝함으로써 2차원 광폭 스크린 상에 패턴이 형성될 수 있다.

[0004] 일본 특허 공개 번호 52-5544에 개시된 광학계에서, 마스크 패턴은, 거의 동심으로 배열된 오목 거울 및 볼록 거울에 의해 3회 반사되고, 추가로 파워를 갖지 않는 사다리꼴 거울(no-power trapezoidal mirror)에 의해 2회 반사되어(즉, 상기 패턴은 총 5회 반사되어), 등배로 화상을 형성한다. 일본 특허 공개 번호 52-5544에 개시된 광학계에서, 노광에 기여하는 영역은 축외 유한 원호형상 영역(off-axis finite arcuated region)이다. 일본 특허 공개 번호 7-57986은 복수의 소형 등배 광학계를 배열함으로써 형성되는 다중-렌즈 광학계를 개시하였다. 이 광학계는 기판 상에 형성된 복수의 직사각형 영역들 중 인접한 영역들을 중첩함으로써 대형-스크린 영역을 확보한다. 전술된 바와 같이, 액정 기판과 같은 대형 기판을 노광하는데 사용되는 투영 광학계는, 2개의 거울 즉, 볼록 거울 및 오목 거울을 주로 포함하는 광학계와, 렌즈 및 거울을 포함하는 광학계(소위 다이슨 광학계)로 크게 분류된다.

[0005] 일본 특허 공개 번호 52-5544에 개시된 광학계에서, 거울은 광학계의 주요 파워를 가져서, 색수차가 거의 발생되지 않는다. 또한, 이 광학계는 단일 광학계가 한번에 큰 영역을 노광하는 이점을 갖는다. 반면에, 주 거울인 오목 거울은 큰 직경을 갖는다. 하지만, 이 광학계는 예컨대, 미래에 광학 성능을 개선하기 위해 즉, 개구수(NA)를 증가시킴으로써 해상력을 증가시키고 샷 크기를 증가시키기 위해 동시 노광 영역(광학적으로, 원호형상의 양호-화상 영역)의 확대를 위한 요구를 실현할 때 문제를 야기한다. 더욱 구체적으로는, 이러한 문제는 상기 광학계 및 상기 광학계를 포함하는 노광 장치의 대형화, 중량 및 장치-점유 면적(풋프린트)의 증가 및 열과 진동에 의해 유발되는 성능 변동이다.

[0006] 일본 특허 공개 번호 7-57986에 개시된 광학계는 전체적으로 작게 제조될 수 있다. 하지만, 인접한 직사각형 영역들이 기판 상에서 서로 중첩하는 영역에서 해상도가 감소되고, 이는 전체 스크린 상에서의 균일성을 악화시킨다. 이와 같은 해상도의 감소를 방지하기 위해, 노광량, 초점 및 중첩 정확도를 제어할 필요가 있으며, 그로 인해 제어의 난이도가 증가한다. 또한, 각각의 등배 광학계의 광학 파워가 렌즈의 굴절력에 의존하기 때문에, 색수차가 발생된다. 따라서, 전자의 광학계와 비교할 때, 수차 보정은 적외로부터 원자외까지의 광범위한 파장대역 내에서 그 한계를 갖는다. 또한, 노광이 자외광에 의해 연속되면, 해상도는 굴절력의 변화 또는 렌즈에 의한 광 흡수에 의해 유발되는 열 발생으로 인해 감소된다. 이는 해상력을 증가시킬 때 단파장의 한계 및 높은 NA의 한계를 나타낸다.

[0007] 따라서, 일본 특허 공개 번호 5-53057, 미국 특허 번호 5078502 및 일본 특허 공개 번호 2009-276769는 2개의 거울 즉, 오목 거울 및 볼록 거울을 사용함으로써 반사를 5회 유발하는 광학계 또는 3개의 거울을 사용함으로써 반사를 5회 유발하는 광학계를 제안하였다.

[0008] 일본 특허 공개 번호 5-53057에 개시된 광학계는 페츠발 합계(Petzval sum)를 최소화할 수 있는 설계 해법을 갖는다. 하지만, 설계의 자유도는 투영 광학계에 필요한 다양한 수차를 감소시키기에 불충분하다. 특히, 이 광학계는 NA를 증가시킬 수 없다. 여기서 언급된 다양한 수차는 예컨대, 구면수차, 비점수차 및 노광 슬릿에서의 상면 만곡(image field curvature)을 포함한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 미국 특허 번호 5078502 및 일본 특허 공개 번호 2009-276769에 개시된 광학계에서, 동공면에 위치한 거울은 주 거울(오목 거울)로부터 이격되어, 거울들의 곡률 및 위치는 자유롭게 결정될 수 있다. 이는 일본 특허 공개 번호 5-53057에 개시된 광학계에 비해 설계 자유도를 증가시킨다. 따라서, 수차는 NA가 증가되는 경우에도 감소될 수 있다. 특히, 일본 특허 공개 번호 2009-276769는, 동공면 상에 위치한 거울이 주 거울로부터 크게 이격되는 광학계의 설계 예를 개시하였다. 하지만, 이 설계 예에서는 광학계를 작게 만들기 위해 오목 거울과 볼록 거울 사이의 거리가 감소된 경우에도 광학계의 총 길이가 증가한다. 노광 장치에 사용하기 위한 광학계는 높이 및 깊이 양자 모두의 치수를 감소시키고 높은 정밀도로 수차를 보정할 수 있도록 요구된다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명은 광학계의 소형 크기 및 고성능 양자 모두를 달성하는데 있어서 기술적 이점을 제공한다.
- [0011] 본 발명의 일 양태에 따르면, 제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면 및 제3 오목 반사면을 포함하는 투영 광학계가 제공되며, 제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면 및 제3 오목 반사면은 물체면으로부터의 광이 제1 오목 반사면, 제1 볼록 반사면, 제2 오목 반사면, 제1 볼록 반사면 및 제3 오목 반사면에 의해 열거된 순서로 반사됨으로써 화상면 상에 화상을 형성하는데, 이때 Lt1은 물체면과 제2 오목 반사면 사이의 거리이고, Lt2는 제2 오목 반사면과 화상면 사이의 거리이고, Pt1은 제1 오목 반사면과 제2 오목 반사면 사이의 거리이고, Pt2는 제2 오목 반사면과 제3 오목 반사면 사이의 거리이고, 물체면과 제1 오목 반사면 사이 그리고 제3 오목 반사면과 화상면 사이에는 반사면이 존재하지 않고, $0.05 \leq Pt1/Lt1 \leq 0.2$ 또는 $0.05 \leq Pt2/Lt2 \leq 0.2$ 가 만족된다.
- [0012] 본 발명의 다른 구성은 첨부된 도면을 참조하여 예시적 실시예의 후속하는 설명으로부터 명확해질 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1a 내지 도 1c는 본 발명의 예 1에 따른 투영 광학계를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2a 내지 도 2c는 본 발명의 예 2에 따른 투영 광학계를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3a 내지 도 3c는 본 발명의 예 3에 따른 투영 광학계를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4a 내지 도 4c는 본 발명의 예 4에 따른 투영 광학계를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5a 내지 도 5c는 본 발명의 예 5에 따른 투영 광학계를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6a 내지 도 6c는 본 발명의 예 6에 따른 투영 광학계를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 7a 내지 도 7c는 본 발명의 예 7에 따른 투영 광학계를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 8a 및 도 8b는 본 발명의 예 8에 따른 투영 광학계를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 9a 및 도 9b는 본 발명의 예 9에 따른 투영 광학계를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 10a 및 도 10b는 본 발명의 예 10에 따른 투영 광학계를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 11a 및 도 11b는 본 발명의 예 11에 따른 투영 광학계를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 12는 일 실시예에 따른 광학계의 치수 정의를 도시하는 도면이다.
- 도 13a 및 도 13b는 광학계의 크기를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 14는 동공 돌출 양이 광학계의 크기 및 수차에 대해 갖는 영향을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 15는 본 발명의 일 양태에 다른 노광 장치의 배열을 도시하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0014] 본 발명의 양호한 실시예는 첨부된 도면을 참조하여 이하에서 설명될 것이다. 동일한 참조 번호는 도면 전체에 걸쳐 동일한 부재를 지칭하며, 그에 대한 반복적인 설명은 생략될 것이라는 점에 주목한다.
- [0015] 이 실시예는 상기 NA를 증가시킬 때 소형 및 고성능(정밀한 수차 보정) 모두를 구현하는 광학계를 제안한다. 더욱 구체적으로는, 3개 거울 5회 반사계에서, 주 거울로부터 동공면 상에 위치된 거울의 돌출의 양, 3개 거울의 동심도 및 각 거울의 정점(구심)과 물체면 또는 화상면 사이의 거리가 규정된다. 이러한 조건들을 규정함으로써, 이 실시예는 무수차 상태(aplanatic state)에 근접한 동심 거울계(2개의 거울계)의 이점을 손상시키지 않는 상태에서 3개의 거울을 이용하여 광학계의 자유도를 증가시키고 총 길이를 감소시키는 광학계를 제안한다. 이 광학계의 치수는 도 12에 도시된 바와 같이 규정된다. 거울(반사면)이 광학계의 광축에 대해 수평적으로 대칭이거나 또는 비대칭일 수 있으며, 광학계의 광축의 좌측 및 우측 상에 분할될 수도 있다는 점에 주목한다.
- [0016] 이 실시예에 따른 광학계는 제1 오목 거울(M1), 제1 볼록 거울(M2), 제2 오목 거울(M3)(동공면), 제1 볼록 거울(M2) 및 제3 오목 거울(M5)의 순서로 광을 반사함으로써 원호형상 물체면의 축외 지점으로부터의 광의 화상을 원호형상 화상면 상에 형성한다. 제1 오목 거울(M1)은 제1 오목 반사면으로서 기능하고, 제1 볼록 거울(M2)은

제1 볼록 반사면으로서 기능하고, 제2 오목 거울(M3)은 제2 오목 반사면으로서 기능하고, 제3 오목 거울(M5)은 제3 오목 반사면으로서 기능한다. 제2 오목 거울(M3)은 제1 오목 거울(M1)보다 물체면으로부터 먼 위치에 배치된다. 또한, 이 실시예에 따른 광학계는 기본적으로, 광 경로를 굴곡하기 위한 제1 굴곡 거울이 제1 오목 거울(M1)과 물체면 사이에 배치되고 제2 굴곡 거울이 제3 오목 거울(M5)과 화상면 사이에 배치되는 상태에서 종종 사용된다. 하지만, 이 실시예에 따른 광학계의 이해를 촉진하기 위해, 제1 굴곡 거울 및 제2 굴곡 거울(과워를 갖지 않는 거울(반사면))은 존재하지 않는다고 상정하여 설명될 것이다.

[0017] R1, R2, R3 및 R5는 각각 제1 오목 거울(M1), 제1 볼록 거울(M2), 제2 오목 거울(M3), 제3 오목 거울(M5)의 곡률반경이다. D1은 제1 오목 거울(M1)과 제1 볼록 거울(M2) 사이의 거리이며, D2는 제1 볼록 거울(M2)과 제3 오목 거울(M5) 사이의 거리이다. W1은 물체면(제1 굴곡 거울이 없을 때의 물체면)과 제1 볼록 거울(M2) 사이의 거리(작동 거리)이며, W2는 화상면(제2 굴곡 거울이 없을 때의 화상면)과 제1 볼록 거울(M2) 사이의 거리이다. Lt1은 물체면과 제2 오목 거울(M3) 사이의 거리(광학 길이)이며, Lt2는 화상면과 제2 오목 거울(M3) 사이의 거리(광 길이)이다. B는 화상 형성 배율이다.

[0018] 이 실시예에 따른 광학계는 아래 조건 1, 2, 3, 4, 5, 6 및 7을 만족한다.

[0019] 조건 1: $0.05 \leq Pt1/Lt1 \leq 0.2$ 또는 $0.05 \leq Pt2/Lt2 \leq 0.2$

[0020] 조건 1은 본 발명자에 의해 설계측면에서 발견된 조건이며, 광학계의 총 길이에 대한 동공면의 돌출 양을 규정한다. 광학계가 무수차 상태가 되는 가장 기본적인 조건들 중 하나는 거울 및 렌즈와 같은 광학 요소들이 동심으로 배열되고 거울 및 물체면이 구심에 위치되는 상태이다. 2개 거울 5회 반사계와 비교할 때, 3개 거울 5회 반사계는 설계의 자유도를 증가시키지만, 거울들 사이의 동심도로부터 벗어나는 경향이 있다. 조건 1은 이러한 상충하는 조건들 양자 모두를 취하고, 동공면 상에 위치한 광학 요소(제2 오목 거울(M3) 또는 렌즈(L2))가 가장 효과적으로 수차를 보정하는 영역을 의미한다. 또한, 조건 1은 광학계의 총 길이를 감소시키는 것에도 기여한다.

[0021] 조건 2: $0.70 \leq W1/R2 \leq 1.0$ 또는 $0.70 \leq W2/R2 \leq 1.0$

[0022] 조건 2는 제1 볼록 거울(M2)(곡률반경(R2)) 및 물체면의 동심도를 규정한다. 전술된 바와 같이, 물체면이 거울의 구심에 접근함에 따라, 전체 광학계의 동심도가 증가하며, 구면수차와 축외 화상 높이(off-axis image height)의 후광과 같은 수차가 개선된다. 또한, 실제 레이아웃에서, 물체면과 제1 볼록 거울(M2) 사이의 거리(W1)를 확보하는 것은 굴곡 거울들을 배열하는 것을 가능하게 하며, 마스크와 기판을 노광 장치 내에서 서로 평행하게 배열하고 이들을 동기식으로 스캐닝할 수 있게 한다.

[0023] 조건 3: $0.87 \leq (R2 + D1)/R1 \leq 1.15$ 또는 $0.87 \leq (R2 + D2)/R5 \leq 1.15$

[0024] 조건 3은 제1 오목 거울(M1) 및 제1 볼록 거울(M2)의 동심도를 규정한다.

[0025] 조건 4: $0.8 \leq R3/R1 \leq 1.25$ 또는 $0.8 \leq R3/R5 \leq 1.25$

[0026] 조건 4는 제1 오목 거울(M1) 및 제2 오목 거울(M3)의 동심도를 규정한다.

[0027] 조건 5: $0.9 \leq R3/Lt1 \leq 1.1$ 또는 $0.9 \leq R3/Lt2 \leq 1.1$

[0028] 조건 5는 제2 오목 거울(M3) 및 물체면의 동심도를 규정한다.

[0029] 전술된 바와 같이, 조건 3, 4 및 5는 구면수차와 같은 수차 개선에 기여한다.

[0030] 조건 6: $0.5 \leq W1/Lt1 \leq 0.7$ 또는 $0.5 \leq W2/Lt2 \leq 0.7$

[0031] 조건 6은 필수 작동 거리(거리(W1 및 W2))에 대해 광학계의 총 길이(거리(Lt1 및 Lt2))를 제한한다. 노광될 스크린 크기가 노광 장치 내에서 지정되면, 노광 폭 및 원호형상 화상 높이는 지정된 크기에 기초하여 결정된다. 사전에 결정된 작동 거리가 광 경로 내의 전체 노출 광을 반사하는 굴곡 거울을 배치하기 위해 요구된다. 조건 6은 작동 거리가 증가할 때에도 광학계의 총 길이를 제한할 수 있다.

[0032] 조건 7: $B \times 0.87 \leq (R5/R1) \leq B \times 1.15$

[0033] 이 실시예에 따른 광학계는 물체면과 화상면 부근(제1 볼록 거울(M2) 및 물체면 및 화상면 사이)에 비구면 형상을 갖는 렌즈를 포함한다. 또한, 이 실시예에 따른 광학계는 제2 오목 거울(M3)의 부근(제1 볼록 거울(M2) 및 제2 오목 거울(M3) 사이)에서 동일 방향으로 만곡된 제1 및 제2 면을 갖는 메니스커스 렌즈를 포함한다. 이 실시예에 따른 광학계에서, 제1 오목 거울(M1), 제1 볼록 거울(M2), 제2 오목 거울(M3) 및 제3 오목 거울(M5) 중

적어도 하나는 비구면 형상을 갖는다. 이 실시예에 따른 광학계는 제1 볼록 거울(M2)과 제2 오목 거울(M3) 사이에 가변 개구를 갖는 조리개를 포함한다. 이 실시예에 따른 광학계는 물체면 측 및 화상면 측에 텔레센트릭(telecentric)이다.

[0034] 후속하는 예들은 조건 1 내지 조건 7에서 수치의 유효성을 증명한다. 이러한 조건들의 하한 또는 상한이 초과되면, 광학계의 동심도가 파괴되어, 수차가 악화됨에 따라 해상력이 감소한다. 또한, 광학계의 크기가 증가한다.

[0035] <예 1>

[0036] 도 1a는 예 1의 투영 광학계(10)의 배열을 도시하는 단면도이다. 투영 광학계(10)는 정의 파워를 갖는 제1 오목 거울(M1), 부의 파워를 갖는 제1 볼록 거울(M2), 정의 파워를 갖는 제2 오목 거울(M3) 및 정의 파워를 갖는 제3 오목 거울(M5)을 포함한다.

[0037] 투영 광학계(10)는 예 1에서 등배계이기 때문에, 제1 오목 거울(M1) 및 제3 오목 거울(M5)은 광학적으로 동일한 거울이다. 따라서, 제1 오목 거울(M1) 및 제3 오목 거울(M5)은 중앙에 중공 부분을 갖는 도넛형 일체식 거울에 의해 형성될 수 있으며, 상이한 거울들에 의해 형성될 수도 있다.

[0038] 렌즈(L1)는 물체면(O) 근처에 배치되고, 렌즈(L3)는 화상면(I) 근처에 배치된다. 렌즈(L2)가 제2 오목 거울(M3) 근처에 배치된다. 물체면(O)으로부터의 광은 렌즈(L1), 제1 오목 거울(M1), 제1 볼록 거울(M2), 렌즈(L2), 제2 오목 거울(M3), 렌즈(L2), 제1 볼록 거울(M2), 제3 오목 거울(M5) 및 렌즈(L3)를 순서대로 통과하여 화상면(I) 상에 화상을 형성한다. 제2 오목 거울(M3)은 투영 광학계(10)의 동공면 상에 배치된다. 또한, 개구 조리개가 제2 오목 거울(M3) 근처에 배치된다. 투영 광학계(10)의 광축의 중심을 통과하는 각 물체 화상 지점의 주광선은 물체면 상에서 텔레센트릭하게 된다. 개구 조리개는, 개구 직경 또는 개구 형상이 가변적이게 하는 기구를 가질 수 있다. 이로 인해, 다양한 노광 공정에 따른 최적의 개구수를 설정할 수 있다. 더욱 구체적으로, 해상 선폴이 클 때, 개구 조리개의 개구 직경을 감소시킴으로써 동시에 필수 해상력을 얻고 초점 깊이를 넓힐 수 있게 한다. 제2 오목 거울(M3)에 추가하여 개구 조리개를 사용하는 대신에, 제2 오목 거울(M3) 자체가 개구 조리개의 기능을 가질 수 있다는 것에 주목한다.

[0039] 렌즈(L1, L3)는 반드시 필수적이지는 않다. 하지만, 렌즈(L1, L3)는 축외 화상 높이의 상면 만곡 및 비점수차를 보정하고 양호한 화상 영역을 확장하기 위해 비구면 렌즈로서 설치되는 것이 바람직하다. 이 경우, 이러한 비구면 렌즈는 전술된 렌즈계의 문제점을 해결하기 위해 실질적으로 파워를 갖지 않는 것이 바람직하다. 렌즈(L2)는 동일 방향으로 만곡된 굴절면을 갖는 소위 메니스커스 렌즈(무한 곡률을 갖는 평탄 유리를 포함함)이다. 렌즈(L2)는 렌즈(L1, L3)에 의해 발생하는 색수차를 보정하는데 주로 기여한다. 렌즈(L2)의 굴절면의 만곡 방향은 동심도의 측면에서 제2 오목 거울(M3)의 만곡 방향과 동일한 방향인 것이 바람직하다. 렌즈(L2)는 렌즈(L1, L3)와 같이 실질적으로 파워를 갖지 않으며, 따라서 전술된 렌즈계의 문제를 해결하는데 기여한다.

[0040] 도 1b는 예 1의 투영 광학계(10)의 종방향 수차 및 왜곡을 도시하는 도면이다. 도 1c는 예 1의 투영 광학계(10)의 횡방향 수차를 도시하는 도면이다. 도 1b 및 도 1c는 종방향 수차 및 횡방향 수차가 축외 화상 높이에 의해 보정되는 것을 나타낸다. 예 1의 투영 광학계(10)는, 동공면 상에 배치된 제2 오목 거울(M3)에 대해 대칭이어서, 기본적으로는 왜곡이 발생하지 않는 등배계이다. 또한, 코마 및 배율 색수차와 같은 비대칭 수차가 발생되지 않는다. 또한, 상기 거울계는 전체 투영 광학계(10)의 주요 광학 파워를 갖기 때문에, 렌즈(L1, L2, L3)에 의해 발생하는 색수차도 실질적으로 작다.

[0041] 아래의 표 1은 예 1의 투영 광학계(10)의 실질적인 수치 예들을 나타낸다. R은 곡률반경이고, D는 표면 거리이고, N은 유리 재료이다. R이 공란인 것은 평탄 표면(곡률반경이 무한)을 의미하고, N이 공란인 것은 굴절률이 1이라는 것을 의미한다. NA는 물체면 측 상에서 0.12이며, 보정 파장은 i-선(365 nm), h-선(405 nm) 및 g-선(436 nm)이며 사용된 화상 높이는 490 내지 530 mm라는 것에 주목한다. 따라서, 노광 슬릿 폭은 40 mm이다. 이 사용된 화상 높이는 750 mm 이상의 동시 노광 폭을 보장한다. 예 1의 투영 광학계(10)는 복수의 비구면 거울면 및 복수의 비구면 렌즈면을 포함하고, 그들의 계수는 표 1의 하위 반부에 도시된다.

[표 1]

면번호		R	D	N
물체				
1			18.75	
2			11.72	'SiO2'
3			74.59	
4	비구면	10463.57	59.73	'SiO2'
5			816.66	
6		-1229.02	579.45	
7		-1871.68	-579.45	반사
8	비구면	-1229.02	0	반사
9			579.45	
10		-1871.68	108.23	
11		-3720.42	40	'SiO2'
12	비구면	-3648.34	10.26	
13			28.76	
14	비구면	-1706.24	-28.76	반사
15			-10.26	
16	비구면	-3648.34	-40	'SiO2'
17		-3720.42	-108.23	
18			-579.45	
19	비구면	-1229.02	0	반사
20			579.45	
21		-1871.68	-579.45	반사
22			-816.66	
23			-59.73	'SiO2'
24	비구면	10463.57	-74.59	
25			-11.72	'SiO2'
26			-18.75	

화상

[0042]

비구면 데이터

면번호	K	A04	B06	C08	D10
4	1.0510E+00	1.0860E-09	-1.2960E-14	7.5870E-20	-3.0020E-25
8	-1.2200E-01	-9.0750E-12	-8.0640E-17	3.0480E-21	-7.3390E-26
12	1.0400E+00	-2.4020E-12	1.1800E-16	-1.3520E-21	2.1820E-27
14	-3.8300E-01	-8.6940E-12	3.5680E-17	-7.0450E-21	3.6480E-25
16	1.0400E+00	-2.4020E-12	1.1800E-16	-1.3520E-21	2.1820E-27
19	-1.2200E-01	-9.0750E-12	-8.0640E-17	3.0480E-21	-7.3390E-26
24	1.0510E+00	1.0860E-09	-1.2960E-14	7.5870E-20	-3.0020E-25
면번호	E12	F14	G16	H18	J20
4	8.0560E-31	-1.2580E-36	5.3720E-43	1.3540E-48	-1.5950E-54
8	1.1120E-30	-1.0680E-35	6.2720E-41	-2.0500E-46	2.8490E-52
12	1.2790E-31	-8.0870E-38	-7.4360E-42	-1.6870E-46	1.7250E-51
14	-1.0800E-29	1.9740E-34	-2.2080E-39	1.3910E-44	-3.7840E-50
16	1.2790E-31	-8.0870E-38	-7.4360E-42	-1.6870E-46	1.7250E-51
19	1.1120E-30	-1.0680E-35	6.2720E-41	-2.0500E-46	2.8490E-52
24	8.0560E-31	-1.2580E-36	5.3720E-43	1.3540E-48	-1.5950E-54

[0043]

[0044]

비구면은 $z = rh^2 / (1 + (1 - (1 + k)r^2 h^2)^{1/2}) + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} + Eh^{12} + Fh^{14} + Gh^{16}$ 으로 표현된다.

[0045]

광학계의 크기 비교가 후술될 것이다. 도 13a는 2개 거울을 포함하는 종래의 광학계의 섹션을 도시하는 도면이며, 도 13b는 예 1의 투영 광학계(10)의 섹션을 도시하는 도면이다. 종래의 2개 미러 광학계 및 예 1의 투영 광학계(10)는 동일한 사양으로 설계되며, 동일 척도로 도시된다. 따라서, 물체 화상 거리(H)가 1,060 mm인 동일 조건 하에서, 주 거울인 가장 큰 오목 거울의 직경(F)은 종래 기술에서는 ϕ 1,964 mm이고, 예 1에서는 ϕ 1,410 mm(종래 기술의 72%)이다. 또한, 광학계의 총 길이(L)는 종래 기술에서는 3,459 mm이고, 예 1에서는 1,744 mm(종래 기술의 50%)이다. 따라서, 예 1의 투영 광학계(10)의 높이 및 총 길이는 충분히 작다.

[0046]

예 1의 투영 광학계(10)는 아래 조건을 만족한다:

[0047]

조건 1로서, 동공 돌출 양($Pt/Lt1$) = 0.11

[0048]

조건 2로서, 작동 거리($W1/R2$) = 0.80

[0049]

조건 3으로서, 동심도($(R2 + D)/R1$) = 0.97

[0050]

조건 4로서, 동심도($R3/R1$) = 0.91

[0051]

조건 5로서, 동심도($R3/Lt1$) = 0.98

[0052]

조건 6으로서, 작동 거리($W1/Lt1$) = 0.56

[0053]

디자인 측면에서 조건 1 하의 동공 돌출 양이 광학계의 크기 및 수차에 대해 갖는 영향이 도 14를 참조로 설명될 것이다. 도 14를 참조하면, 동공 돌출 양(Pt)이 증가할 때, 예컨대 제2 오목 거울(M3)을 위치(M3')로 이동시킬 때, 광축에 대한 주광선(Rp) 및 주변 광선(Rm)의 입사각을 감소시킬 필요가 있다. 제1 볼록 거울(M2)의 곡률이 감소되면, 주변 광선(Rm)은 도 14에서 H에 의해 지시된 바와 같이 제1 오목 거울(M1)의 유효 직경을 간섭한다. 물체 높이(Y)가 이 간섭을 회피하기 위해 증가되어야 하기 때문에, 제1 오목 거울(M1)의 유효 직경이 증가한다. 따라서, 광학계는 동공 돌출 양(Pt)이 증가할 때 높이와 깊이 모두에서 확대된다. 또한, 수차가 상기 간섭을 회피하는 동안 큰 물체 높이로 보정되기 때문에, 수차 자체가 악화되는 경향이 있다.

[0054] 따라서, 예 1의 투영 광학계(10)에서, 총 길이(L)에 대한 동공 돌출 양(Pt)의 비율(Pt/Lt)은 5% 이상 및 20% 미만으로 설정된다. 하한은 투영 광학계(10)가 3개 거울 광학계로서 설계의 자유도를 충분히 취할 수 있게 설정된다. 이는 후속하는 예들 특히, 예 2 및 예 3에서 구현될 것이다.

[0055] <예 2>

[0056] 도 2a는 예 2의 투영 광학계(10)의 배열을 도시하는 단면도이다. 예 2에서, 투영 광학계(10)는 등배계이다. 예 2의 투영 광학계(10) 내의 광학 요소들의 레이아웃 및 화상 형성 관계는 예 1의 것과 동일하다.

[0057] 아래 표 2는 예 2의 투영 광학계(10)의 실제 수치 예를 나타낸다. NA는 물체면 측상에서 0.12이고, 보정 파장은 i-선(365 nm), 320 nm이고, 사용된 화상 높이는 20 내지 520 mm라는 것에 주목한다. 따라서, 노광 슬릿 폭은 40 mm이다. 이 사용된 화상 높이는 750 mm 이상의 동시 노광 폭을 보장한다. 예 2의 투영 광학계(10)는 복수의 비구면 거울면 및 복수의 비구면 렌즈면을 포함한다.

[표 2]

면번호	R	D	N
물체		0	
1		23	
2		6	'SiO2'
3		220	
4 비구면	-820.87	29.22	'SiO2'
5 비구면	-1335.63	134	
6		640	
7	-1175.42	473.14	
8	-1668.57	-473.14	반사
9	-1175.42	473.14	반사
10	-1668.57	260	
11 비구면	-2495.35	30	'SiO2'
12 비구면	-2490.48	90	
13 비구면	-1878.71	-90	반사
14 비구면	-2490.48	-30	'SiO2'
15 비구면	-2495.35	-260	
16		-473.14	
17	-1175.42	473.14	반사
18	-1668.57	-473.14	반사
19		-640	
20		-134	
21 비구면	-1335.63	-29.22	'SiO2'
22 비구면	-820.87	-220	
23		-6	'SiO2'
24		-23	

화상

[0058]

비구면 데이터

면번호	K	A04	B06	C08	D10
4	5.1210E-01	4.8730E-09	-1.7910E-14	6.8300E-20	-2.9110E-25
5	3.2210E+00	2.2640E-09	-1.3770E-15	-1.6940E-20	2.6460E-26
11	4.0000E+00	-2.7440E-10	-3.9510E-15	-4.6580E-22	2.1590E-25
12	2.5550E+00	-1.9420E-10	-5.5920E-15	1.1670E-20	1.2040E-25
13	2.8130E-01	-2.4860E-11	7.3410E-16	-7.5900E-21	2.9780E-25
14	2.5550E+00	-1.9420E-10	-5.5920E-15	1.1670E-20	1.2040E-25
15	4.0000E+00	-2.7440E-10	-3.9510E-15	-4.6580E-22	2.1590E-25
21	3.2210E+00	2.2640E-09	-1.3770E-15	-1.6940E-20	2.6460E-26
22	5.1210E-01	4.8730E-09	-1.7910E-14	6.8300E-20	-2.9110E-25
면번호	E12	F14	G16	H18	J20
4	8.2960E-31	-1.1790E-36	5.9500E-43	1.9040E-49	1.1280E-55
5	7.8500E-32	-1.9450E-37	-6.0680E-44	6.5160E-49	-4.6160E-55
11	4.7830E-30	-2.0090E-35	-6.0850E-40	5.5390E-46	4.3970E-50
12	5.1290E-30	1.8800E-35	-9.3170E-40	-2.8390E-45	8.0400E-50
13	-9.8600E-30	1.8550E-34	-2.4320E-39	2.0590E-44	-8.0080E-50
14	5.1290E-30	1.8800E-35	-9.3170E-40	-2.8390E-45	8.0400E-50
15	4.7830E-30	-2.0090E-35	-6.0850E-40	5.5390E-46	4.3970E-50
21	7.8500E-32	-1.9450E-37	-6.0680E-44	6.5160E-49	-4.6160E-55
22	8.2960E-31	-1.1790E-36	5.9500E-43	1.9040E-49	1.1280E-55

[0059]

[0060]

도 2의 투영 광학계(10)는 아래 조건을 만족한다:

[0061]

조건 1로서, 동공 돌출 양($Pt/Lt1$) = 0.20

[0062]

조건 2로서, 작동 거리($W1/R2$) = 0.90

[0063]

조건 3으로서, 동심도($(R2 + D)/R1$) = 0.99

[0064]

조건 4로서, 동심도($R3/R1$) = 1.13

[0065]

조건 5로서, 동심도($R3/Lt1$) = 0.99

[0066]

조건 6으로서, 작동 거리($W1/Lt1$) = 0.55

[0067]

도 2b는 도 2의 투영 광학계(10)의 종방향 수차 및 왜곡을 도시하는 도면이다. 도 2c는 예 2의 투영 광학계(10)의 횡방향 수차를 도시하는 도면이다. 도 2b 및 도 2c는 종방향 수차 및 횡방향 수차가 양호하게 보정된 것을 나타낸다. 왜곡은 축외의 사용된 화상 높이의 범위 내의 세로좌표의 축에 평행하고, 이는 일정한 배율이 노광 슬릿 내에서 발생하는 것을 보여준다. 예 2의 투영 광학계(10)가 대칭 레이아웃을 갖는 등배계이기 때문에, 왜곡은 제로이어야 한다. 하지만, 엄밀하게 말해서, 텔레센트릭은 약 0.001 rad의 오더에서 발생된다. 수차가 최소화되는 최적 화상면 위치가 광축 방향으로 약간 양만큼 이동할 때, 화상 형성 지점은 상기 둘의 곱만큼 시프트되고 배율이 변경된다. 그 결과, 왜곡이 세로좌표의 축으로부터 시프트된다. 이 현상은 최적화에 의해 용이하게 제거될 수 있어서, 약간의 배율 시프트(magnification shift)가 문제가 되지 않는다. 중요한 것은 배율이 노광 슬릿 내에서 일정하다는 것이다. 그 결과, 마스크 및 기관을 스캐닝할 때 다중 노광이 노광 슬릿 내의 마스크 패턴 상에 수행되는 경우에도, 기관에 대한 전사 화상은 시프트하지 않으며, 따라서 높은-콘트라스트

트 화상이 형성될 수 있다.

<예 3>

도 3a는 예 3의 투영 광학계(10)의 배열을 도시하는 단면도이다. 예 3에서, 투영 광학계(10)는 등배계이다. 예 3의 투영 광학계(10) 내의 광학 요소의 레이아웃 및 화상 형성 관계는 예 1의 것과 동일하다.

아래 표 3은 예 3의 투영 광학계(10)의 실제 수치 예를 도시한다. NA는 물체면 측 상에서 0.12이고, 보정 파장은 i-선(365 nm), 320 nm이고, 사용된 화상 높이는 480 내지 520 mm이다. 따라서, 노광 슬릿 폭은 40 mm이다. 이 사용된 화상 높이는 750 mm 이상의 동시 노광 폭을 보장한다. 예 3의 투영 광학계(10)는 복수의 비구면 거울면 및 복수의 비구면 렌즈면을 포함한다.

[표 3]

면번호		R	D	N
물체			0	
1			25	
2			6	'SiO2'
3			220	
4	비구면	-832.37	46.65	'SiO2'
5	비구면	-1332	134	
6			640	
7		-1195.13	579.43	
8		-1810.07	-579.43	반사
9		-1195.13	579.43	반사
10		-1810.07	30	
11	비구면	-1925.69	35.67	'SiO2'
12	비구면	-1928.46	20	
13	비구면	-1689	-20	반사
14	비구면	-1928.46	-35.67	'SiO2'
15	비구면	-1925.69	-30	
16			-579.43	
17		-1195.13	579.43	반사
18		-1810.07	-579.43	반사
19			-640	
20			-134	
21	비구면	-1332	-46.65	'SiO2'
22	비구면	-832.37	-220	
23			-6	'SiO2'
24			-25	
화상				

비구면 데이터

면번호	K	A04	B06	C08	D10
4	5.4470E-01	4.8280E-09	-1.6900E-14	6.9290E-20	-2.9210E-25
5	2.9050E+00	2.4730E-09	-1.2060E-15	-1.6580E-20	2.7150E-26
11	4.7310E-01	3.9170E-11	-5.0760E-16	5.0060E-21	-1.8330E-25
12	-1.0650E+00	8.8510E-12	-4.4940E-16	6.1330E-21	-2.1910E-25
13	-3.8330E-01	-1.0320E-11	4.5670E-17	-5.7730E-21	3.0310E-25
14	-1.0650E+00	8.8510E-12	-4.4940E-16	6.1330E-21	-2.1910E-25
15	4.7310E-01	3.9170E-11	-5.0760E-16	5.0060E-21	-1.8330E-25
21	2.9050E+00	2.4730E-09	-1.2060E-15	-1.6580E-20	2.7150E-26
22	5.4470E-01	4.8280E-09	-1.6900E-14	6.9290E-20	-2.9210E-25
면번호	E12	F14	G16	H18	J20
4	8.2360E-31	-1.1950E-36	5.8080E-43	2.2010E-49	1.0410E-55
5	7.7910E-32	-2.0380E-37	-1.0240E-43	5.9400E-49	-2.9300E-55
11	2.7380E-30	-6.2880E-36	-3.2960E-40	3.3670E-45	-6.8240E-51
12	2.4730E-30	1.5760E-35	-5.3090E-40	2.0290E-45	1.2230E-50
13	-9.4210E-30	1.8990E-34	-2.4820E-39	1.9210E-44	-6.6390E-50
14	2.4730E-30	1.5760E-35	-5.3090E-40	2.0290E-45	1.2230E-50
15	2.7380E-30	-6.2880E-36	-3.2960E-40	3.3670E-45	-6.8240E-51
21	7.7910E-32	-2.0380E-37	-1.0240E-43	5.9400E-49	-2.9300E-55
22	8.2360E-31	-1.1950E-36	5.8080E-43	2.2010E-49	1.0410E-55

[0072]

[0073] 예 3의 투영 광학계(10)는 아래의 조건을 만족한다:

[0074] 조건 1로서, 동공 돌출 양($Pt/Lt1$) = 0.05

[0075] 조건 2로서, 작동 거리($W1/R2$) = 0.90

[0076] 조건 3으로서, 동심도($(R2 + D)/R1$) = 0.98

[0077] 조건 4로서, 동심도($R3/R1$) = 0.93

[0078] 조건 5로서, 동심도($R3/Lt1$) = 0.97

[0079] 조건 6으로서, 작동 거리($W1/Lt1$) = 0.62

[0080] 도 3b는 예 3의 투영 광학계(10)의 종방향 수차 및 왜곡을 도시하는 도면이다. 도 3c는 예 3의 투영 광학계(10)의 횡방향 수차를 도시하는 도면이다.

[0081] <예 4>

[0082] 도 4a는 예 4의 투영 광학계(10)의 배열을 도시하는 단면도이다. 예 4에서, 투영 광학계(10)는 등배계이다. 예 4의 투영 광학계(10)의 광학 요소의 레이아웃 및 화상 형성 관계는 예 1의 것과 동일하다.

[0083] 아래 표 4는 예 4의 투영 광학계(10)의 실제 수치 예들을 도시한다. NA는 물체면 측 상에서 0.12이고, 보정 파장은 i-선(365 nm), 320 nm이고, 사용된 화상 높이는 480 내지 520 mm라는 점에 주목한다. 따라서, 노광 슬릿 폭은 40 mm이다. 이 사용된 화상 높이는 750 mm 이상의 동시 노광 폭을 보장한다. 예 4의 투영 광학계(10)는 복수의 비구면 거울면 및 복수의 비구면 렌즈면을 포함한다.

[표 4]

면번호		R	D	N
물체			0	
1			100.12	
2	비구면	-5213.78	74.91	'SiO2'
3			727.09	
4		-1180.07	592.51	
5	비구면	-1842.72	-592.51	반사
6	비구면	-1180.07	592.51	반사
7		-1842.72	59.19	
8		-2949.6	30	'SiO2'
9		-2894.7	30.96	
10	비구면	-1582.26	-30.96	반사
11		-2894.7	-30	'SiO2'
12		-2949.6	-59.19	
13			-592.51	
14	비구면	-1180.07	592.51	반사
15	비구면	-1842.72	-592.51	반사
16			-727.09	
17			-74.91	'SiO2'
18	비구면	-5213.78	-100.12	

화상

[0084]

비구면 데이터

면번호	K	A04	B06	C08	D10
2	2.6980E+00	1.7300E-09	-1.5360E-14	9.1290E-20	-3.9150E-25
5	-3.8090E-03	4.0110E-13	-6.7150E-19	-3.0660E-26	5.6830E-32
6	-4.3570E-02	-3.7170E-12	-8.3110E-17	3.4030E-21	-9.7850E-26
10	-3.0960E-01	-1.1840E-11	1.2000E-16	-1.0790E-20	5.2760E-25
14	-4.3570E-02	-3.7170E-12	-8.3110E-17	3.4030E-21	-9.7850E-26
15	-3.8090E-03	4.0110E-13	-6.7150E-19	-3.0660E-26	5.6830E-32
18	2.6980E+00	1.7300E-09	-1.5360E-14	9.1290E-20	-3.9150E-25
면번호	E12	F14	G16	H18	J20
2	1.1190E-30	-1.8070E-36	8.3810E-43	1.6740E-48	-1.9230E-54
5	-5.4020E-37	-2.3680E-42	1.5460E-48	9.1220E-54	-1.0480E-59
6	1.7150E-30	-1.8910E-35	1.2730E-40	-4.7560E-46	7.5240E-52
10	-1.5750E-29	2.9300E-34	-3.3230E-39	2.1040E-44	-5.7100E-50
14	1.7150E-30	-1.8910E-35	1.2730E-40	-4.7560E-46	7.5240E-52
15	-5.4020E-37	-2.3680E-42	1.5460E-48	9.1220E-54	-1.0480E-59

[0085]

[0086]

도 4의 투영 광학계(10)는 아래 조건을 만족한다:

[0087]

조건 1로서, 동공 돌출 양($Pt/Lt1$) = 0.14

[0088]

조건 2로서, 작동 거리($W1/R2$) = 0.84

[0089]

조건 3으로서, 동심도($(R2 + D)/R1$) = 0.87

[0090]

조건 4로서, 동심도($R3/R1$) = 0.80

[0091]

조건 5로서, 동심도($R3/Lt1$) = 0.89

[0092]

조건 6으로서, 작동 거리($W1/Lt1$) = 0.57

[0093]

도 4b는 예 4의 투영 광학계(10)의 종방향 수차 및 왜곡을 도시하는 도면이다. 도 4c는 예 4의 투영 광학계(10)의 횡방향 수차를 도시하는 도면이다.

[0094]

예 4에서, 조건 3은 0.87이고, 조건 4는 0.80이다. 하지만, 동심도가 완전한 경우 이 값들은 1.0이다. 동심도로부터의 편위의 허용 가능한 값들을 규정한다는 측면에서, 등가의 허용 가능한 범위는 1.0 이상에서도 존재한다. 예컨대, 조건 3에 대해 상한으로서 $1/0.87 = 1.15$ 가 설정되고 조건 4에 대한 상한으로서 $1/0.80 = 1.25$ 가 설정된다.

[0095]

<예 5>

[0096]

도 5a는 예 5의 투영 광학계(10)의 배열을 도시하는 단면도이다. 예 5에서, 투영 광학계(10)는 등배계이다. 예 5의 투영 광학계(10)의 광학 요소의 레이아웃 및 화상 형성 관계는 예 1의 것과 동일하다.

[0097]

아래 표 5는 예 5의 투영 광학계(10)의 실제 수치 예들을 도시한다. NA는 물체면 측 상에서 0.08이고, 보정 파장은 i-선(365 nm), 320 nm이고, 사용된 화상 높이는 480 내지 520 mm라는 점에 주목한다. 따라서, 노광 슬릿 폭은 40 mm이다. 이 사용된 화상 높이는 750 mm 이상의 동시 노광 폭을 보장한다. 예 5의 투영 광학계(10)는 복수의 비구면 거울면 및 복수의 비구면 렌즈면을 포함한다.

[표 5]

면번호		R	D	N
물체			0	
1			23	
2			6	'SiO2'
3			220	
4	비구면	-846.36	43.23	'SiO2'
5	비구면	-1314.35	134	
6			640	
7		-1267.88	530.4	
8	비구면	-2067.32	-530.4	반사
9	비구면	-1267.88	530.4	반사
10		-2067.32	104.38	
11	비구면	-1027.49	46.33	'SiO2'
12	비구면	-1067.49	47.85	
13			64.64	
14	비구면	-1648.77	-64.64	반사
15			-47.85	
16	비구면	-1067.49	-46.33	'SiO2'
17	비구면	-1027.49	-104.38	
18			-530.4	
19	비구면	-1267.88	530.4	반사
20	비구면	-2067.32	-530.4	반사
21			-640	
22			-134	
23	비구면	-1314.35	-43.23	'SiO2'
24	비구면	-846.36	-220	
25			-6	'SiO2'
26			-23	
화상				

[0098]

비구면 데이터

면번호	K	A04	B06	C08	D10
4	6.9750E-01	4.9420E-09	-1.7410E-14	6.8640E-20	-2.9260E-25
5	3.0400E+00	2.3420E-09	-1.6620E-15	-1.6510E-20	2.6880E-26
8	1.1910E+00	-3.8790E-11	3.8430E-21	1.2080E-23	2.8790E-29
9	3.6720E+00	-3.6420E-10	-8.8140E-16	5.5570E-21	-9.3910E-27
11	4.0000E+00	-1.7110E-09	-1.3850E-14	-2.8380E-20	1.4300E-24
12	4.0000E+00	-1.4500E-09	-1.1330E-14	-3.3630E-22	1.0650E-24
14	1.0540E+00	-4.9320E-11	2.6280E-16	-3.9220E-21	-5.3160E-26
16	4.0000E+00	-1.4500E-09	-1.1330E-14	-3.3630E-22	1.0650E-24
17	4.0000E+00	-1.7110E-09	-1.3850E-14	-2.8380E-20	1.4300E-24
19	3.6720E+00	-3.6420E-10	-8.8140E-16	5.5570E-21	-9.3910E-27
20	1.1910E+00	-3.8790E-11	3.8430E-21	1.2080E-23	2.8790E-29
23	3.0400E+00	2.3420E-09	-1.6620E-15	-1.6510E-20	2.6880E-26
24	6.9750E-01	4.9420E-09	-1.7410E-14	6.8640E-20	-2.9260E-25
면번호	E12	F14	G16	H18	J20
4	8.2490E-31	-1.1960E-36	5.8740E-43	2.1330E-49	-5.2590E-56
5	7.9670E-32	-2.0470E-37	-1.1070E-43	4.8480E-49	-1.5680E-55
8	-7.0510E-35	1.0870E-41	8.3410E-47	1.0780E-52	-3.3780E-58
9	-4.8590E-31	4.8830E-37	2.0020E-40	-2.7300E-45	1.0400E-50
11	-1.5750E-29	-1.3560E-33	3.2810E-38	1.1110E-42	-2.2530E-47
12	-2.5350E-29	-2.1120E-35	-9.0470E-40	1.2730E-42	-2.0370E-47
14	5.5150E-30	2.3210E-35	-1.2180E-38	3.0500E-43	-2.4270E-48
16	-2.5350E-29	-2.1120E-35	-9.0470E-40	1.2730E-42	-2.0370E-47
17	-1.5750E-29	-1.3560E-33	3.2810E-38	1.1110E-42	-2.2530E-47
19	-4.8590E-31	4.8830E-37	2.0020E-40	-2.7300E-45	1.0400E-50
20	-7.0510E-35	1.0870E-41	8.3410E-47	1.0780E-52	-3.3780E-58
23	7.9670E-32	-2.0470E-37	-1.1070E-43	4.8480E-49	-1.5680E-55
24	8.2490E-31	-1.1960E-36	5.8740E-43	2.1330E-49	-5.2590E-56

[0099]

[0100] 도 5의 투영 광학계(10)는 아래 조건을 만족한다:

[0101] 조건 1로서, 동공 돌출 양($Pt/Lt1$) = 0.07

[0102] 조건 2로서, 작동 거리($W1/R2$) = 0.76

[0103] 조건 3으로서, 동심도($(R2 + D)/R1$) = 0.96

[0104] 조건 4로서, 동심도($R3/R1$) = 0.86

[0105] 조건 5로서, 동심도($R3/Lt1$) = 0.98

[0106] 조건 6으로서, 작동 거리($W1/Lt1$) = 0.56

[0107] 도 5b는 예 5의 투영 광학계(10)의 종방향 수차 및 왜곡을 도시하는 도면이다. 도 5c는 예 5의 투영 광학계(10)의 횡방향 수차를 도시하는 도면이다.

[0108] <예 6>

[0109] 도 6a는 예 6의 투영 광학계(10)의 배열을 도시하는 단면도이다. 예 6에서, 투영 광학계(10)는 등배계이다. 예 6의 투영 광학계(10)의 광학 요소의 레이아웃 및 화상 형성 관계는 도 1의 것과 동일하다.

[0110] 아래 표 6은 예 6의 투영 광학계(10)의 실제 수치 예들을 도시한다. NA는 물체면 측 상에서 0.12이고, 보정 파장은 i-선(365 nm), 320 nm이고, 사용된 화상 높이는 480 내지 520 mm라는 점에 주목한다. 따라서, 노광 슬릿 폭은 40 mm이다. 이 사용된 화상 높이는 750 mm 이상의 동시 노광 폭을 보장한다. 예 6의 투영 광학계(10)는 복수의 비구면 거울면 및 복수의 비구면 렌즈면을 포함한다.

[표 6]

면번호		R	D	N
물체		0	0	
1		0	216.27	
2	비구면	2012.25	95	'SiO2'
3		0	600.12	
4		-1025.59	360.97	
5	비구면	-1495.57	-360.97	반사
6	비구면	-1025.59	360.97	반사
7		-1495.57	50	
8		-4412.97	30	'SiO2'
9		-4586.58	21	
10	비구면	-1236.02	-21	반사
11		-4586.58	-30	'SiO2'
12		-4412.97	-50	
13		0	-360.97	
14	비구면	-1025.59	360.97	반사
15	비구면	-1495.57	-360.97	반사
16		0	-600.12	
17		0	-95	'SiO2'
18	비구면	2012.25	-216.27	

화상

[0111]

비구면 데이터

면번호	K	A04	B06	C08	D10
2	2.6980E+00	1.1640E-09	-1.4360E-14	9.1670E-20	-3.9330E-25
5	-2.4740E-01	8.6820E-12	-5.9800E-18	1.6730E-23	-1.6060E-29
6	-7.3730E-02	8.0690E-12	-1.0890E-16	1.0640E-21	-7.8670E-26
10	-1.3500E-01	-1.8960E-11	4.2930E-17	-7.5310E-21	4.1440E-25
14	-7.3730E-02	8.0690E-12	-1.0890E-16	1.0640E-21	-7.8670E-26
15	-2.4740E-01	8.6820E-12	-5.9800E-18	1.6730E-23	-1.6060E-29
18	2.6980E+00	1.1640E-09	-1.4360E-14	9.1670E-20	-3.9330E-25
면번호	E12	F14	G16	H18	J20
2	1.1140E-30	-1.8170E-36	8.8120E-43	1.8190E-48	-2.2620E-54
5	-1.3460E-34	8.6920E-41	3.5640E-46	1.4400E-51	-3.9900E-57
6	1.6610E-30	-1.9550E-35	1.2930E-40	-3.9610E-46	1.6260E-52
10	-1.3170E-29	2.6860E-34	-4.3930E-39	6.1180E-44	-4.4640E-49
14	1.6610E-30	-1.9550E-35	1.2930E-40	-3.9610E-46	1.6260E-52
15	-1.3460E-34	8.6920E-41	3.5640E-46	1.4400E-51	-3.9900E-57
18	1.1140E-30	-1.8170E-36	8.8120E-43	1.8190E-48	-2.2620E-54

[0112]

[0113] 예 6의 투영 광학계(10)는 아래 조건을 만족한다:

[0114] 조건 1로서, 동공 돌출 양($Pt/Lt1$) = 0.07

[0115] 조건 2로서, 작동 거리($W1/R2$) = 0.89

[0116] 조건 3으로서, 동심도($(R2 + D)/R1$) = 0.93

[0117] 조건 4로서, 동심도($R3/R1$) = 0.83

[0118] 조건 5로서, 동심도($R3/Lt1$) = 0.90

[0119] 조건 6으로서, 작동 거리($W1/Lt1$) = 0.66

[0120] 도 6b는 예 6의 투영 광학계(10)의 종방향 수차 및 왜곡을 도시하는 도면이다. 도 6c는 예 6의 투영 광학계(10)의 횡방향 수차를 도시하는 도면이다.

[0121] <예 7>

[0122] 도 7a는 예 7의 투영 광학계(10)의 배열을 도시하는 단면도이다. 예 7에서, 투영 광학계(10)는 등배계이다. 예 7의 투영 광학계(10)의 광학 요소의 레이아웃 및 화상 형성 관계는 도 1의 것과 동일하다.

[0123] 아래 표 7은 예 7의 투영 광학계(10)의 실제 수치 예들을 도시한다. NA는 물체면 측 상에서 0.13이고, 보정 파장은 i-선(365 nm), h-선(405 nm) 및 g-선(436 nm)이고, 사용된 화상 높이는 500 내지 530 mm라는 점에 주목한다. 따라서, 노광 슬릿 폭은 30 mm이다. 이 사용된 화상 높이는 750 mm 이상의 동시 노광 폭을 보장한다. 예 7의 투영 광학계(10)는 복수의 비구면 거울면 및 복수의 비구면 렌즈면을 포함한다.

[표 7]

면번호		R	D	N
물체			0	
1			18.21	
2			11.38	'SiO2'
3			74.78	
4	비구면	-8713.03	70	'SiO2'
5			726.38	
6		-1178.26	591.59	
7		-1845.9	-591.59	반사
8	비구면	-1178.26	0	
9			591.59	
10		-1845.9	50	
11		-2722.84	20.38	'SiO2'
12		-2673	30.05	
13	비구면	-1556.35	-30.05	반사
14		-2673	-20.38	'SiO2'
15		-2722.84	-50	
16			-591.59	
17	비구면	-1178.26	0	
18			591.59	
19		-1845.9	-591.59	반사
20			-726.38	
21	비구면	-8713.03	-70	'SiO2'
22			-74.78	
23			-11.38	'SiO2'
24			-18.21	

화상

[0124]

비구면 데이터

면번호	K	A04	B06	C08	D10
4	2.6980E+00	1.7010E-09	-1.5430E-14	9.1050E-20	-3.9170E-25
8	-2.8980E-02	-6.0400E-12	-4.8000E-17	3.1090E-21	-9.6560E-26
13	-2.9690E-01	-1.2230E-11	1.0250E-16	-9.9840E-21	5.1480E-25
17	-2.8980E-02	-6.0400E-12	-4.8000E-17	3.1090E-21	-9.6560E-26
21	2.6980E+00	1.7010E-09	-1.5430E-14	9.1050E-20	-3.9170E-25
면번호	E12	F14	G16	H18	J20
4	1.1200E-30	-1.8010E-36	8.5450E-43	1.7110E-48	-2.1270E-54
8	1.7310E-30	-1.8970E-35	1.2580E-40	-4.6510E-46	7.3810E-52
13	-1.5780E-29	2.9540E-34	-3.3140E-39	2.0500E-44	-5.3740E-50
17	1.7310E-30	-1.8970E-35	1.2580E-40	-4.6510E-46	7.3810E-52
21	1.1200E-30	-1.8010E-36	8.5450E-43	1.7110E-48	-2.1270E-54

[0125]

[0126] 예 7의 투영 광학계(10)는 아래 조건을 만족한다:

[0127] 조건 1로서, 동공 돌출 양($Pt/Lt1$) = 0.06[0128] 조건 2로서, 작동 거리($W1/R2$) = 0.76[0129] 조건 3으로서, 동심도($(R2 + D)/R1$) = 0.96[0130] 조건 4로서, 동심도($R3/R1$) = 0.84[0131] 조건 5로서, 동심도($R3/Lt1$) = 0.98[0132] 조건 6으로서, 작동 거리($W1/Lt1$) = 0.57

[0133] 도 7b는 예 7의 투영 광학계(10)의 종방향 수차 및 왜곡을 도시하는 도면이다. 도 7c는 예 7의 투영 광학계(10)의 횡방향 수차를 도시하는 도면이다.

[0134] <예 8>

[0135] 도 8a는 예 8에 따른 투영 광학계(10)의 배열을 도시하는 단면도이다. 예 8에서, 투영 광학계(10)는 x1.25의 배율을 갖는 확대계이다. 투영 광학계(10)는 정의 파워를 갖는 제1 오목 거울(M1), 부의 파워를 갖는 제1 볼록 거울(M2), 정의 파워를 갖는 제2 오목 거울(M3) 및 정의 파워를 갖는 제3 오목 거울(M5)을 포함한다.

[0136] 렌즈(L1)는 물체면(O) 근처에 배치되고, 렌즈(L3)는 화상면(I) 근처에 배치된다. 렌즈(L2)가 제2 오목 거울(M3) 근처에 배치된다. 물체면(O)으로부터의 광은 렌즈(L1), 제1 오목 거울(M1), 제1 볼록 거울(M2), 렌즈(L2), 제2 오목 거울(M3), 렌즈(L2), 제1 볼록 거울(M2), 제3 오목 거울(M5) 및 렌즈(L3)를 순서대로 통과하여 화상면(I) 상에 화상을 형성한다. 제2 오목 거울(M3)은 투영 광학계(10)의 동공면 상에 배치된다.

[0137] 등배계와의 예 8의 투영 광학계(10)의 유일한 차이점은, 제1 볼록 거울(M2)에 의해 두 번째 반사된 광이 제3 오목 거울(M5) 및 렌즈(L3)의 순서로 전파된다는 것이다. 나머지 배열은 예 1 내지 예 7에서 설명된 등배계의 것과 동일하다.

[0138] 아래 표 8은 예 8의 투영 광학계(10)의 실제 수치 예들을 도시한다. NA는 화상면 측 상에서 0.08이고, 보정 파장은 i-선(365 nm) 및 h-선(405 nm)이고, 사용된 화상 높이는 625 내지 675 mm라는 점에 주목한다. 따라서, 노광 슬릿 폭은 50 mm이다. 이 사용된 화상 높이는 750 mm 이상의 동시 노광 폭을 보장한다. 예 8의 투영 광학계(10)는 복수의 비구면 거울면 및 복수의 비구면 렌즈면을 포함한다.

[표 8]

면번호		R	D	N
물체			0	
1			49.23	
2			12	'SiO2'
3			10	
4	비구면	-11407.08	26	'SiO2'
5			713.36	
6		-1319.74	580.82	
7	비구면	-1886.04	-580.82	반사
8	비구면	-1319.74	0	반사
9			580.82	
10		-1886.04	104.25	
11		-10607.1	30.95	'SiO2'
12	비구면	-9732.89	18.26	
13			36.73	
14	비구면	-1695.22	-36.73	반사
15			-18.26	
16	비구면	-9732.89	-30.95	'SiO2'
17		-10607.1	-104.25	
18			-580.82	
19	비구면	-1319.74	0	반사
20			818.71	
21	비구면	-2355.19	-818.71	반사
22			-988.61	
23			-33	'SiO2'
24	비구면	-10974.44	-37	
25			-12	'SiO2'
26			-50	

화상

[0139]

비구면 데이터

면번호	K	A04	B06	C08	D10
4	-4.0000E+00	1.5410E-09	-1.4440E-14	7.5760E-20	-2.9280E-25
7	8.5550E-02	-1.8560E-12	-3.5470E-18	-2.4110E-24	-1.9760E-31
8	1.0270E-01	-4.5390E-11	-3.6100E-17	2.1430E-21	-7.2450E-26
12	-4.0000E+00	4.3080E-11	-1.5070E-15	1.1900E-20	4.6130E-26
14	1.3500E-01	-2.2460E-11	5.4680E-16	-1.7630E-21	1.0860E-25
16	-4.0000E+00	4.3080E-11	-1.5070E-15	1.1900E-20	4.6130E-26
19	1.0270E-01	-4.5390E-11	-3.6100E-17	2.1430E-21	-7.2450E-26
21	3.4490E-02	-3.3700E-13	-8.8170E-19	-2.9180E-25	-3.7570E-32
24	4.0000E+00	6.4350E-10	-1.2680E-14	7.7910E-20	-2.9610E-25
면번호	E12	F14	G16	H18	J20
4	8.2480E-31	-1.2660E-36	3.3490E-43	6.4650E-49	6.6930E-55
7	4.2490E-36	1.7180E-42	2.4770E-47	-6.1340E-53	3.7940E-59
8	1.0440E-30	-9.4510E-36	6.9920E-41	-3.7520E-46	9.2880E-52
12	-1.2500E-30	5.8520E-35	9.9850E-40	-4.4960E-44	3.7550E-49
14	-1.2350E-29	3.0640E-34	-1.2650E-39	-6.1100E-44	6.9940E-49
16	-1.2500E-30	5.8520E-35	9.9850E-40	-4.4960E-44	3.7550E-49
19	1.0440E-30	-9.4510E-36	6.9920E-41	-3.7520E-46	9.2880E-52
21	7.8300E-38	-6.8540E-43	7.6250E-49	2.0630E-54	-1.9900E-60
24	8.0780E-31	-1.2760E-36	4.7630E-43	1.2620E-48	-1.2050E-54

[0140]

[0141] 예 8의 투영 광학계(10)는 아래 조건을 만족한다:

[0142] 조건 1로서, 동공 돌출 양($Pt/Lt1$) = 0.03

[0143] 조건 2로서, 작동 거리($W1/R2$) = 0.85

[0144] 조건 3으로서, 동심도($(R2 + D)/R1$) = 0.91

[0145] 조건 4로서, 동심도($R3/R1$) = 0.72

[0146] 조건 5로서, 동심도($R3/Lt1$) = 0.90

[0147] 조건 6으로서, 작동 거리($W1/Lt1$) = 0.59

[0148] 조건 7로서, 비율($(R5/R1)/B$) = 1.00

[0149] 도 8b는 예 8의 투영 광학계(10)의 종방향 수차 및 왜곡을 도시하는 도면이다.

[0150] <예 9>

[0151] 도 9a는 예 9의 투영 광학계(10)의 배열을 도시하는 단면도이다. 예 9에서, 투영 광학계(10)는 x1.38의 배율을 갖는 확대계이다. 예 9의 투영 광학계(10)의 광학 요소의 레이아웃 및 화상 형성 관계는 예 8의 것과 동일하다.

[0152] 아래 표 9는 예 9의 투영 광학계(10)의 실제 수치 예들을 도시한다. NA는 화상면 측 상에서 0.08이고, 보정 파장은 i-선(365 nm), h-선(405 nm) 및 g-선(436 nm)이고, 사용된 화상 높이는 690 내지 745 mm라는 점에 주목한

다. 따라서, 노광 슬릿 폭은 55 mm이다. 이 사용된 화상 높이는 750 mm 이상의 동시 노광 폭을 보장한다. 예 9의 투영 광학계(10)는 복수의 비구면 거울면 및 복수의 비구면 렌즈면을 포함한다.

[표 9]

면번호		R	D	N
물체			0	
1			71.34	
2			6	'SiO2'
3			10	
4	비구면	-11967.88	65	'SiO2'
5	비구면	-3198.85	0	
6			775.73	
7		-1380.84	552.9	
8	비구면	-1903.85	-552.9	반사
9	비구면	-1380.84	0	반사
10			552.9	
11		-1903.85	82.99	
12		-4552.16	56.18	'SiO2'
13	비구면	-4430.09	21.67	
14			41.42	
15	비구면	-1711.97	-41.42	반사
16			-21.67	
17	비구면	-4430.09	-56.18	'SiO2'
18		-4552.16	-82.99	
19			-552.9	
20	비구면	-1380.84	0	반사
21			913.79	
22	비구면	-2632.22	-913.79	반사
23			-977.95	
24			-25	'SiO2'
25	비구면	3089.51	-50	
26			-6	'SiO2'
27			-35	
화상				

[0153]

비구면 데이터

면번호	K	A04	B06	C08	D10
4	-3.2340E+00	1.3070E-09	-1.3370E-14	7.6120E-20	-2.8960E-25
5	-4.0000E+00	-7.8520E-11	2.4890E-15	-1.1050E-22	-1.1480E-26
8	1.9860E-01	-8.0820E-12	5.0680E-18	-1.8410E-23	-2.4110E-29
9	5.1480E-01	-6.4830E-11	-5.4370E-16	5.5230E-21	-6.4800E-26
13	-4.0000E+00	-3.7400E-11	1.2630E-15	5.6650E-21	-3.8000E-25
15	-2.9600E-01	-9.6600E-12	-8.3710E-16	1.1910E-20	1.1030E-25
17	-4.0000E+00	-3.7400E-11	1.2630E-15	5.6650E-21	-3.8000E-25
20	5.1480E-01	-6.4830E-11	-5.4370E-16	5.5230E-21	-6.4800E-26
22	1.4520E-01	-2.6980E-12	1.7260E-18	-2.3040E-24	-2.9110E-30
25	-4.0000E+00	7.2180E-10	-1.6540E-14	7.8660E-20	-2.8300E-25
면번호	E12	F14	G16	H18	J20
4	8.1610E-31	-1.3350E-36	2.3380E-43	7.0880E-49	2.7200E-54
5	-2.9390E-32	0.0000E+00	2.8580E-43	0.0000E+00	0.0000E+00
8	7.2340E-35	1.4580E-40	-3.8970E-46	-1.4980E-52	5.4670E-58
9	8.8180E-31	-1.0080E-35	7.6580E-41	-3.7520E-46	9.2880E-52
13	-2.0100E-30	8.8570E-35	1.2040E-39	-4.3550E-44	3.0110E-49
15	-1.3850E-29	3.1700E-34	-5.8670E-40	-5.8880E-44	5.2640E-49
17	-2.0100E-30	8.8570E-35	1.2040E-39	-4.3550E-44	3.0110E-49
20	8.8180E-31	-1.0080E-35	7.6580E-41	-3.7520E-46	9.2880E-52
22	2.8120E-36	6.0900E-42	-6.9170E-48	-1.1500E-54	2.4050E-60
25	8.2210E-31	-1.2820E-36	4.2160E-43	1.0650E-48	-8.7450E-55

[0154]

[0155] 예 9의 투영 광학계(10)는 아래 조건을 만족한다:

[0156] 조건 1로서, 동공 돌출 양($Pt/Lt1$) = 0.12, 동공 돌출 양($Pt/Lt2$) = 0.09

[0157] 조건 2로서, 작동 거리($W1/R2$) = 0.67, 작동 거리($W2/R2$) = 0.79

[0158] 조건 3으로서, 동심도($(R2 + D)/R1$) = 1.02, 동심도($(R2 + D)/R5$) = 0.87

[0159] 조건 4로서, 동심도($R3/R1$) = 0.90, 동심도($R3/R5$) = 0.65

[0160] 조건 5로서, 동심도($R3/Lt1$) = 1.02, 동심도($R3/Lt2$) = 0.93

[0161] 조건 6으로서, 작동 거리($W1/Lt1$) = 0.55, 작동 거리($W1/Lt2$) = 0.59

[0162] 조건 7로서, 비율($(R5/R1)/B$) = 1.00

[0163] 도 9b는 예 9의 투영 광학계(10)의 종방향 수차 및 왜곡을 도시하는 도면이다.

[0164] <예 10>

[0165] 도 10a는 예 10의 투영 광학계(10)의 배열을 도시하는 단면도이다. 예 10에서, 투영 광학계(10)는 x0.75의 배율을 갖는 축소계이다. 예 10의 투영 광학계(10)의 광학 요소의 레이아웃 및 화상 형성 관계는 예 9의 것과 동일하다.

[0166] 아래 표 10은 예 10의 투영 광학계(10)의 실제 수치 예들을 도시한다. NA는 화상면 측 상에서 0.107이고, 보정 파장은 i-선(365 nm) 및 h-선(405 nm)이고, 사용된 화상 높이는 500 내지 540 mm라는 점에 주목한다. 따라서, 노광 슬릿 폭은 40 mm이다. 이 사용된 화상 높이는 750 mm 이상의 동시 노광 폭을 보장한다. 예 10의 투영 광학계(10)는 복수의 비구면 거울면 및 복수의 비구면 렌즈면을 포함한다.

[표 10]

면번호		R	D	N
물체			0	
1			60	
2			6	'SiO2'
3			50	
4	비구면	5939.49	25	'SiO2'
5			1019.95	
6			798.19	
7	비구면	-2488.24	-798.19	반사
8	비구면	-1381.76	0	반사
9			560.03	
10			86.5	
11		-5570.45	39.2	'SiO2'
12	비구면	-5375.23	23.01	
13			42.79	
14	비구면	-1714.43	-42.79	반사
15			-23.01	
16	비구면	-5375.23	-39.2	'SiO2'
17		-5570.45	-86.5	
18		-1921.36	-560.03	
19	비구면	-1381.76	0	반사
20			560.03	
21	비구면	-1921.36	-560.03	반사
22		-1381.76	-776.76	
23			-57.73	'SiO2'
24	비구면	3194.53	-10	
25			-6	'SiO2'
26			-75	

화상

[0167]

비구면 데이터

면번호	K	A04	B06	C08	D10
4	-4.0000E+00	3.3390E-10	-1.4150E-14	7.8220E-20	-2.8800E-25
7	-2.2980E-03	8.8210E-13	-3.0540E-18	-3.0540E-24	-5.2630E-31
8	2.9020E-01	-5.3870E-11	-4.0670E-16	3.6810E-21	-5.9140E-26
12	-1.7510E+00	9.5200E-11	-3.1310E-15	3.3260E-20	-1.7760E-25
14	6.1670E-01	-3.5610E-11	6.8570E-16	1.0860E-20	-9.2910E-26
16	-1.7510E+00	9.5200E-11	-3.1310E-15	3.3260E-20	-1.7760E-25
19	2.9020E-01	-5.3870E-11	-4.0670E-16	3.6810E-21	-5.9140E-26
21	8.1300E-02	-6.9940E-13	-9.4420E-18	-1.2790E-23	3.5690E-30
24	-6.5180E-01	6.0450E-10	-1.2190E-14	7.5850E-20	-2.9680E-25
면번호	E12	F14	G16	H18	J20
4	8.1590E-31	-1.2800E-36	4.4540E-43	1.0990E-48	-9.4300E-55
7	5.3110E-36	6.7490E-42	-9.9230E-48	-5.6740E-54	8.4330E-60
8	8.5180E-31	-8.5440E-36	6.9320E-41	-3.7520E-46	9.2880E-52
12	-2.6290E-30	1.0600E-34	1.5100E-39	-5.7260E-44	4.1660E-49
14	-1.4380E-29	3.4630E-34	-5.0550E-40	-6.7550E-44	5.9570E-49
16	-2.6290E-30	1.0600E-34	1.5100E-39	-5.7260E-44	4.1660E-49
19	8.5180E-31	-8.5440E-36	6.9320E-41	-3.7520E-46	9.2880E-52
21	6.7920E-35	4.5200E-41	-3.8660E-46	3.5290E-52	3.7940E-59
24	8.1100E-31	-1.2800E-36	4.4850E-43	1.0670E-48	-4.4500E-55

[0168]

[0169]

예 10의 투영 광학계(10)는 아래 조건을 만족한다:

[0170]

조건 1로서, 동공 돌출 양($Pt/Lt1$) = 0.02, 동공 돌출 양($Pt/Lt2$) = 0.11

[0171]

조건 2로서, 작동 거리($W1/R2$) = 0.84, 작동 거리($W2/R2$) = 0.67

[0172]

조건 3으로서, 동심도($(R2 + D)/R1$) = 0.88, 동심도($(R2 + D)/R5$) = 1.01

[0173]

조건 4로서, 동심도($R3/R1$) = 0.69, 동심도($R3/R5$) = 0.89

[0174]

조건 5로서, 동심도($R3/Lt1$) = 0.90, 동심도($R3/Lt2$) = 1.02

[0175]

조건 6으로서, 작동 거리($W1/Lt1$) = 0.61, 작동 거리($W1/Lt2$) = 0.55

[0176]

조건 7로서, 비율($(R5/R1)/B$) = 1.03

[0177]

도 10b는 예 10의 투영 광학계(10)의 종방향 수차 및 왜곡을 도시하는 도면이다.

[0178]

<예 11>

[0179]

도 11a는 예 11의 투영 광학계(10)의 배열을 도시하는 단면도이다. 예 11에서, 투영 광학계(10)는 x1.25의 배율을 갖는 확대계이다. 예 11의 투영 광학계(10)의 광학 요소의 레이아웃 및 화상 형성 관계는 예 8의 것과 동일하다.

[0180]

아래 표 11은 예 11의 투영 광학계(10)의 실제 수치 예들을 도시한다. NA는 화상면 측 상에서 0.08이고, 보정 파장은 i-선(365 nm) 및 h-선(405 nm)이고, 사용된 화상 높이는 625 내지 675 mm라는 점에 주목한다. 따라서, 노광 슬릿 폭은 50 mm이다. 이 사용된 화상 높이는 750 mm 이상의 동시 노광 폭을 보장한다. 예 11의 투영 광

학계(10)는 복수의 비구면 거울면 및 복수의 비구면 렌즈면을 포함한다.

[표 11]

면번호

물체	R	D	N
1		0	
2		49.48	
3		12	'SiO2'
4		10	
5 비구면	-16833.11	62.36	'SiO2'
6		368.64	
7	-1230.07	582.4	
8 비구면	-1712.56	-582.4	반사
9 비구면	-1230.07	582.4	반사
10	-1712.56	94.54	
11	-3296.43	25	'SiO2'
12 비구면	-3217.51	33.01	
13		51.48	
14 비구면	-1735.02	-51.48	반사
15		-33.01	
16 비구면	-3217.51	-25	'SiO2'
17	-3296.43	-94.54	
18		-582.4	
19 비구면	-1230.07	1041.04	반사
20 비구면	-2456.88	-1041.04	반사
21		-1480.62	
22		-25	'SiO2'
23 비구면	-39858.98	-37	
24		-12	'SiO2'
25		-50	

화상

[0181]

비구면 데이터

면번호	K	A04	B06	C08	D10
5	-2.3570E-01	3.2960E-09	-2.4370E-14	7.3460E-20	-2.4980E-25
8	8.2130E-02	-2.6860E-13	-9.3550E-18	3.0540E-24	9.2580E-30
9	-2.8760E-01	-2.0460E-11	3.1380E-16	2.2840E-21	-1.0000E-25
12	2.1570E+00	1.8130E-10	-4.8920E-15	2.6050E-20	6.6920E-25
14	9.0470E-01	-4.2860E-11	1.7630E-15	-1.5070E-20	2.8940E-25
16	2.1570E+00	1.8130E-10	-4.8920E-15	2.6050E-20	6.6920E-25
19	-2.8760E-01	-2.0460E-11	3.1380E-16	2.2840E-21	-1.0000E-25
20	-2.2670E-02	7.5060E-13	-5.4710E-19	1.3740E-25	4.9740E-31
23	4.0000E+00	1.8220E-09	-1.6730E-14	7.6450E-20	-2.8920E-25
면번호	E12	F14	G16	H18	J20
5	9.3210E-31	-1.2930E-36	-5.0470E-43	-1.3520E-48	6.7810E-54
8	4.6410E-36	-2.7880E-41	-4.8970E-47	6.5210E-53	3.7940E-59
9	9.0230E-31	-5.4870E-36	5.3980E-41	-3.7520E-46	9.2880E-52
12	-1.0280E-29	-3.2360E-34	1.6080E-39	2.1340E-43	-2.7180E-48
14	-1.0490E-29	2.5350E-34	-1.9300E-39	-2.8880E-44	4.7150E-49
16	-1.0280E-29	-3.2360E-34	1.6080E-39	2.1340E-43	-2.7180E-48
19	9.0230E-31	-5.4870E-36	5.3980E-41	-3.7520E-46	9.2880E-52
20	4.3850E-37	-1.0360E-42	-3.5760E-49	1.0490E-54	-3.7890E-61
23	8.2350E-31	-1.2710E-36	4.3120E-43	1.1460E-48	-1.0170E-54

[0182]

[0183] 예 11의 투영 광학계(10)는 아래 조건을 만족한다:

[0184] 조건 1로서, 동공 돌출 양($Pt/Lt1$) = 0.16, 동공 돌출 양($Pt/Lt2$) = 0.11

[0185] 조건 2로서, 작동 거리($W1/R2$) = 0.41, 작동 거리($W2/R2$) = 1.30

[0186] 조건 3으로서, 동심도($(R2 + D)/R1$) = 1.06, 동심도($(R2 + D)/R5$) = 0.92

[0187] 조건 4로서, 동심도($R3/R1$) = 1.01, 동심도($R3/R5$) = 0.71

[0188] 조건 5로서, 동심도($R3/Lt1$) = 1.35, 동심도($R3/Lt2$) = 0.73

[0189] 조건 6으로서, 작동 거리($W1/Lt1$) = 0.39, 작동 거리($W1/Lt2$) = 0.67

[0190] 조건 7로서, 비율($(R5/R1)/B$) = 1.15

[0191] 도 11b는 예 11의 투영 광학계(10)의 종방향 수차 및 왜곡을 도시하는 도면이다.

[0192] 예 11에서, 조건 7은 1.15이다. 하지만, 이상적으로는 비율($R5/R1$)이 확대계 또는 축소계의 배율을 결정한다는 원리가 존재한다. 이러한 관점에서, $(R5/R1)/B$ 의 값이 1.0 이하인 등가의 허용 가능한 범위가 존재한다. 따라서, 하한으로 $(R5/R1)/B = 1/1.15 = 0.87$ 이 설정된다.

[0193] 표 12 및 표 13은 예 1 내지 예 11의 투영 광학계(10)의 수치 및 조건을 집합적으로 도시한다.

[표 12]

		NA(@화상면)	보정 파장	Ymax(@화상면)	Ymin(@화상면)	SW(@화상면)
예 1	등배계 1	0.12	ihg-선	530	490	40
예 2	등배계 2	0.12	i-선, 320nm	520	480	40
예 3	등배계 3	0.12	i-선, 320nm	520	480	40
예 4	등배계 4	0.12	i-선, 320nm	520	480	40
예 5	등배계 5	0.08	i-선, 320nm	520	480	40
예 6	등배계 6	0.12	i-선, 320nm	520	480	40
예 7	등배계 7	0.13	ihg-선	530	500	30
예 8	확대계 1	0.08	ih-선	675	625	50
예 9	확대계 2	0.08	ih-선	745	690	55
예 10	축소계 1	0.107	ih-선	540	500	40
예 11	확대계 3	0.08	ih-선	675	625	50

(단위:mm)

[0194]

[표 13]

		조건							
		조건 1	조건 2	조건 3	조건 4	조건 5	조건 6	조건 7	
	동공 투영량	작업 거리	동심성	동심성	동심성	작업 거리	비율		
	(P/L1)	(W/R2)	(R2+D/R1)	(R3/R1)	(R3/L1)	(W/L1)	(R5/R1)배율		
예 1	등배계 1	0.11	0.80	0.97	0.91	0.98	0.56		
예 2	등배계 2	0.20	0.90	0.99	1.13	0.99	0.55		
예 3	등배계 3	0.05	0.90	0.98	0.93	0.97	0.62		
예 4	등배계 4	0.14	0.84	0.87	0.80	0.89	0.57		
예 5	등배계 5	0.07	0.76	0.96	0.86	0.98	0.56		
예 6	등배계 6	0.07	0.89	0.93	0.83	0.90	0.66		
예 7	등배계 7	0.06	0.76	0.96	0.84	0.98	0.57		
예 8	확대계 1	상위 광로	0.12	0.61	1.01	0.90	1.07	0.51	1.00
	1.25x	하위 광로	0.03	0.85	0.91	0.72	0.90	0.59	
예 9	확대계 2	상위 광로	0.12	0.67	1.02	0.90	1.02	0.55	1.00
	1.38x	하위 광로	0.09	0.79	0.87	0.65	0.93	0.59	
예 10	축소계 1	상위 광로	0.02	0.84	0.88	0.69	0.90	0.61	1.03
	0.75x	하위 광로	0.11	0.67	1.01	0.89	1.02	0.55	
예 11	확대계 3	상위 광로	0.16	0.41	1.06	1.01	1.35	0.39	1.15
	1.25x	하위 광로	0.11	1.30	0.92	0.71	0.73	0.67	
예 12	등배계 1 (실배치도)	0.11	0.80	0.97	0.91	0.98	0.56		

이 실시예에 다른 투영 광학계(각 예의 투영 광학계(10))는 예컨대, 기관 상에 마스크 패턴의 화상을 투영하기 위한 투영 광학계로서 기관을 노광하기 위한 노광 장치에 적용될 수 있다. 도 15는 투영 광학계(10)를 포함하는 노광 장치(100)의 배열을 도시하는 도면이다.

마스크(M)는 패턴이 형성된 원판이다. 기관(P)은 감광성 레지스트로 코팅된 플레이트이다. 마스크(M) 및 기관(P)은 가동 스테이지 상에 보유되어 화살표 방향으로 동기식으로 스캐닝된다. 그 결과, 마스크(M)의 패턴이 기관(P) 상에 전사된다. 도 15는 광원으로부터 마스크(M)를 조명하기 위한 조명 광학계 및 다른 유닛을 도시하지 않는다. 예 1의 설계 예가 투영 광학계(10)에 적용된다.

사다리꼴 굴곡 거울(DM)이 마스크(M)와 기관(P) 사이에 위치된다. 굴곡 거울(DM)은 앞서 기술된 제1 및 제2 굴곡 거울을 형성한다. 마스크(M)로부터의 광은 굴곡 거울(DM)의 상위 반사면에 의해 수직 방향으로부터 수평 방향으로 위로부터 반사되고, 굴곡 거울(DM)의 하위 반사면에 의해 수평 방향으로부터 수직 방향으로 하방으로 반사된다. 작동 거리의 조건 2 내지 6이 전술된 바와 같이 만족되기 때문에, 굴곡 거울(DM)은 광학계의 크기를 축소된 상태에서 설치될 수 있다.

본 발명의 일 실시예에 따른 제품을 제조하는 방법은 디바이스(예컨대, 반도체 디바이스, 자기 저장 매체 또는 액정 디스플레이 디바이스)와 같은 제품을 제조하는데 적합하다. 이 제조 방법은 노광 장치(100)를 사용하여 감광성화 작용제로 코팅된 기관을 노광하는 단계와, 노광된 기관을 현상하는 단계를 포함한다. 상기 제조 방법은 다른 공지된 단계(산화, 퇴적, 증착, 도핑, 평탄화, 에칭, 레지스트 제거, 다이싱, 접합, 패키징 등)를 더 포함한다. 이 실시예에 따른 제품을 제조하는 방법은 제품의 성능, 품질, 생산성 및 생산 비용 중 적어도 하나에 있어서 종래의 방법보다 우수하다.

NA, 화상 높이, 슬릿 폭, 사용된 파장 등은 상기 예들에서 예시된 수치에 제한되지 않으며, 예컨대 노광 장치의

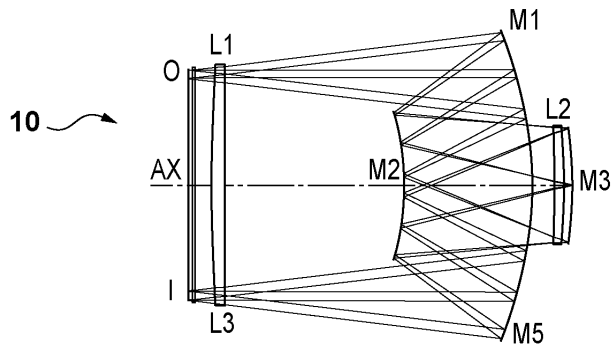
필요한 정밀도 및 사양에 따라 변경되고, 본 발명은 이러한 조건들을 포함한다는 것에 주목한다. 또한, 비구면의 레이아웃 및 구면 표면으로부터 편위 양은 상기 예들에 제한되지 않는다는 점에 주목한다. 또한, 전술된 실시예 및 예들의 투영 광학계는 일본 특허 공개 번호 7-57986에 개시된 각각의 다중-렌즈 광학계에도 적용될 수 있다.

[0201]

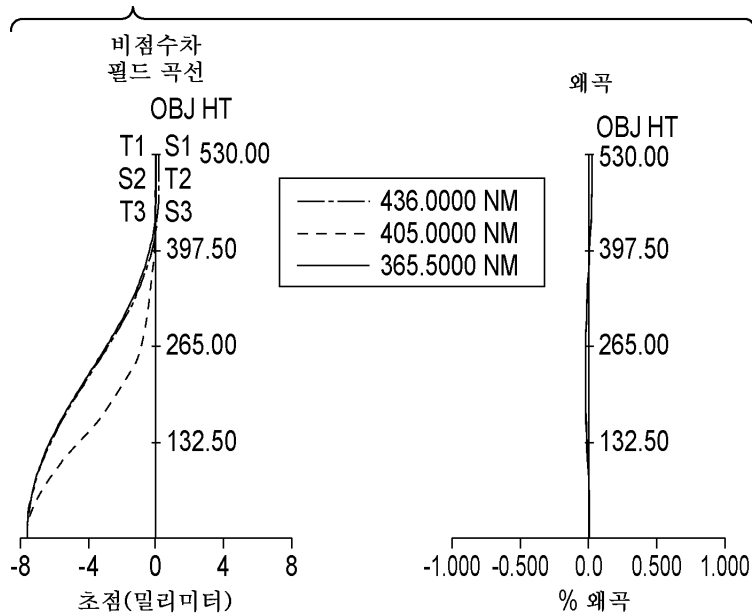
본 발명은 예시적 실시예를 참조하여 설명되었지만, 본 발명은 기술된 예시적 실시예에 제한되지 않는다는 것이 이해되어야 한다. 후속하는 청구항의 범주는 모든 그러한 변형 및 등가의 구조 및 기능을 포함하도록 광범위하게 해석되어야 한다.

도면

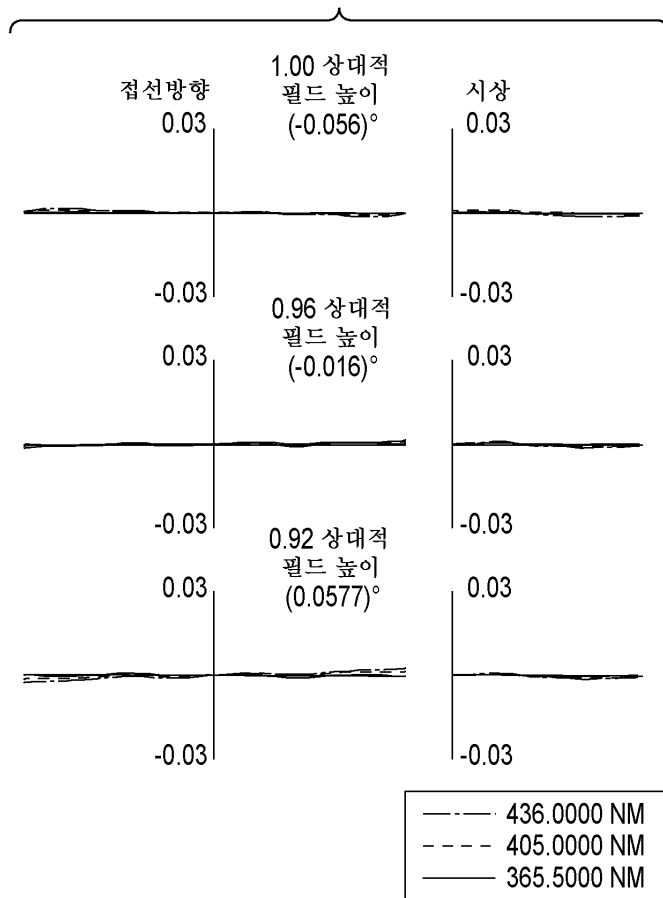
도면1a



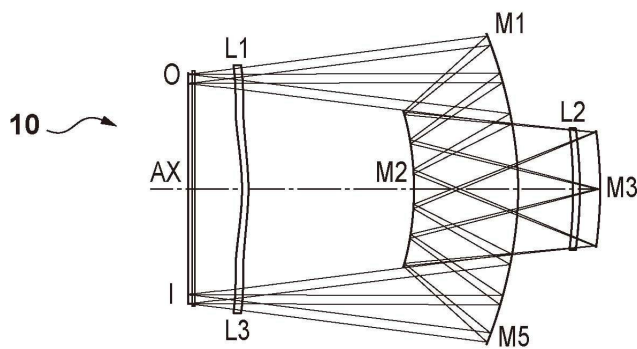
도면1b



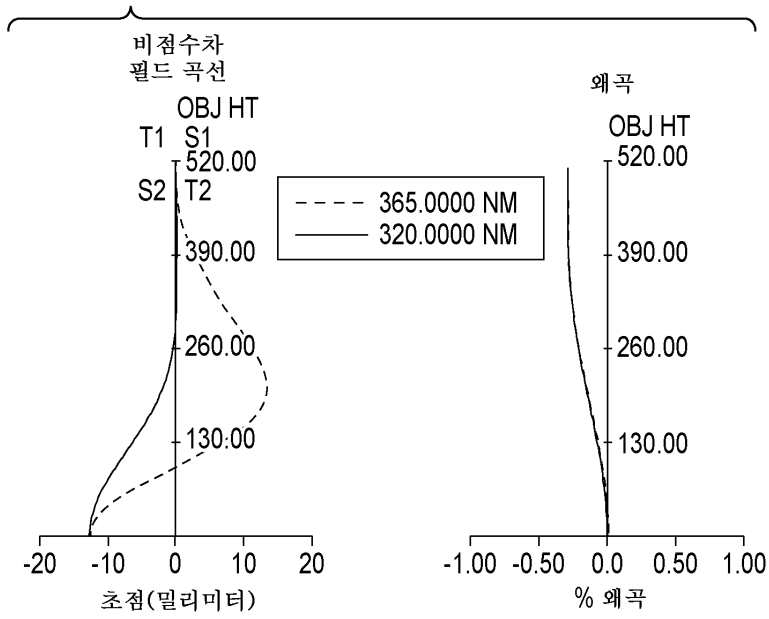
도면1c



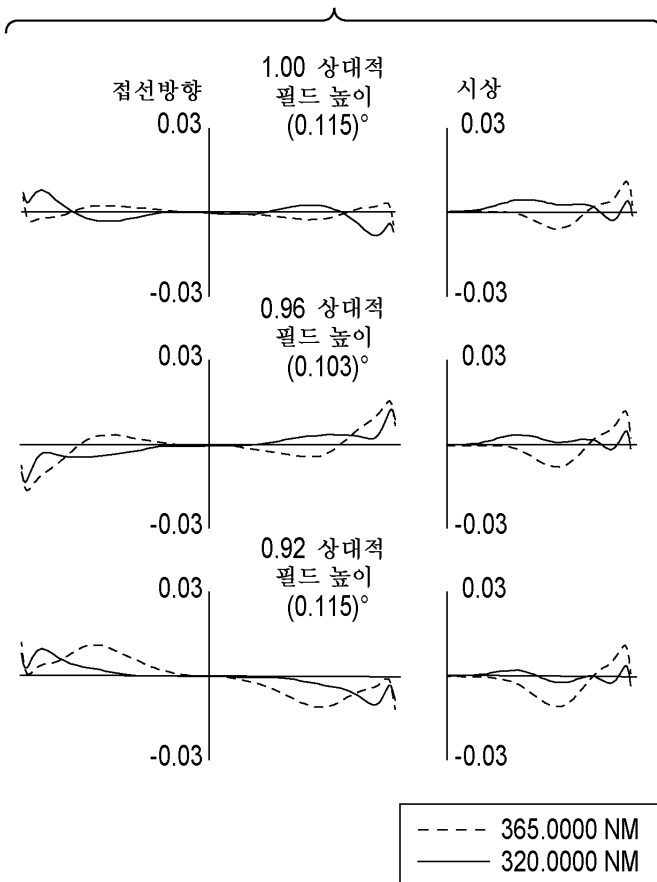
도면2a



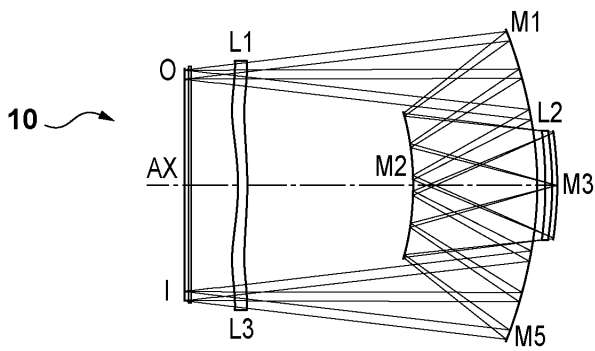
도면2b



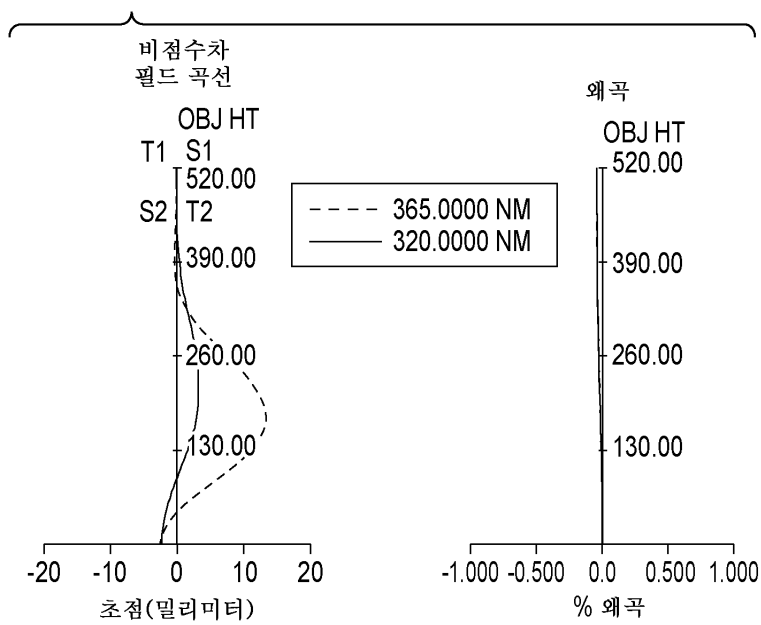
도면2c



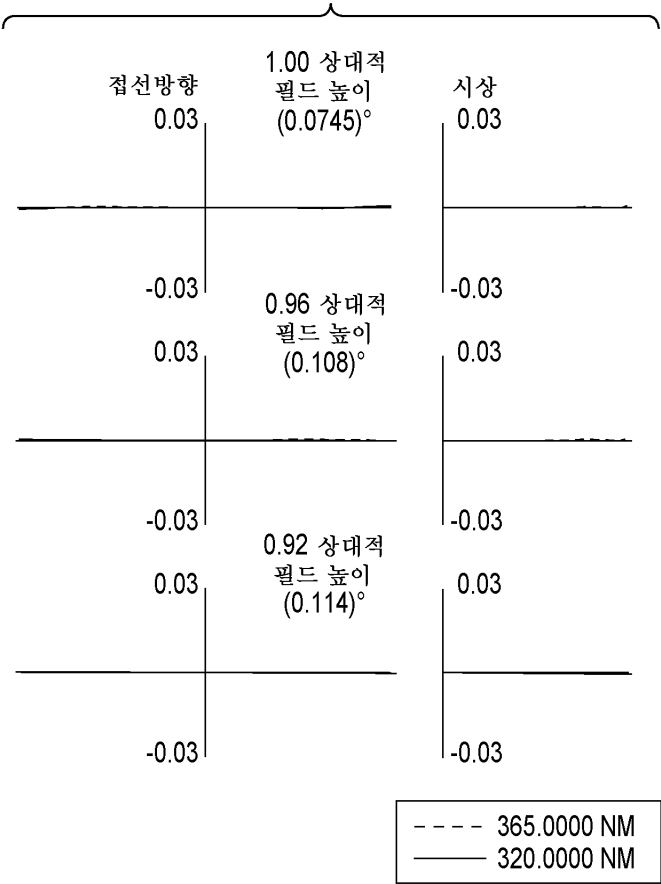
도면3a



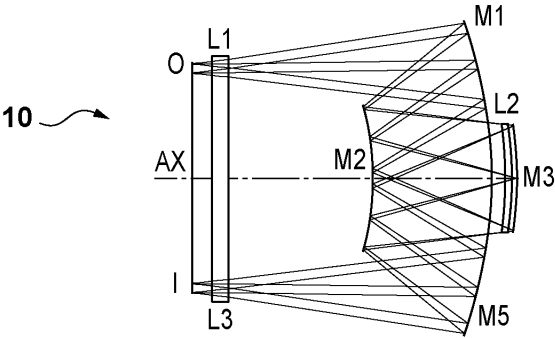
도면3b



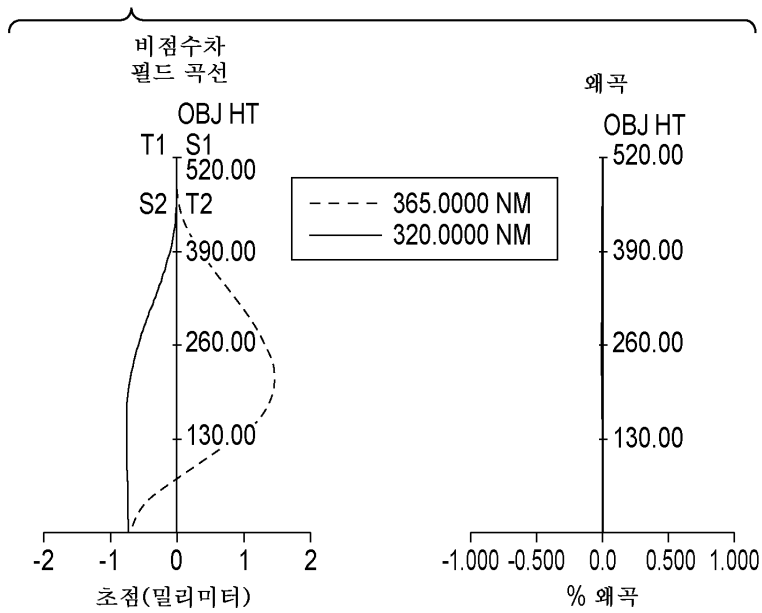
도면3c



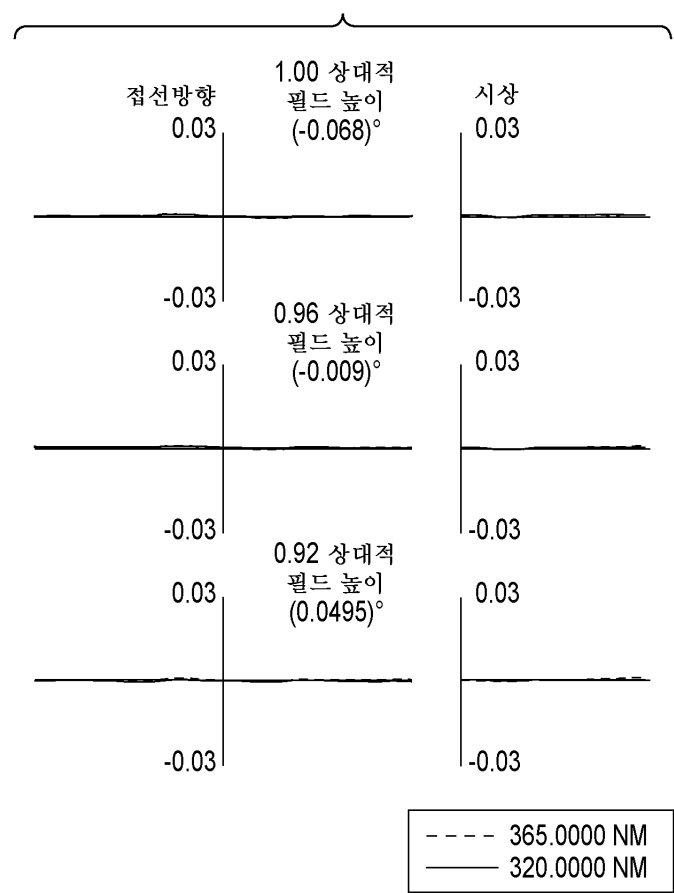
도면4a



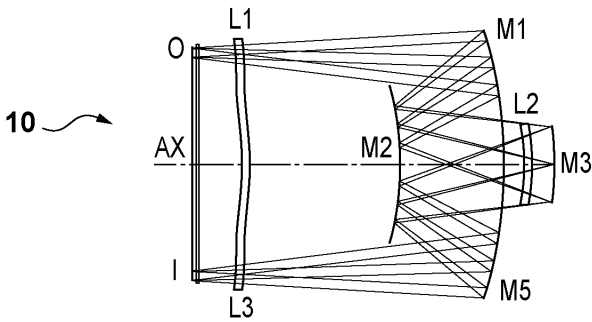
도면4b



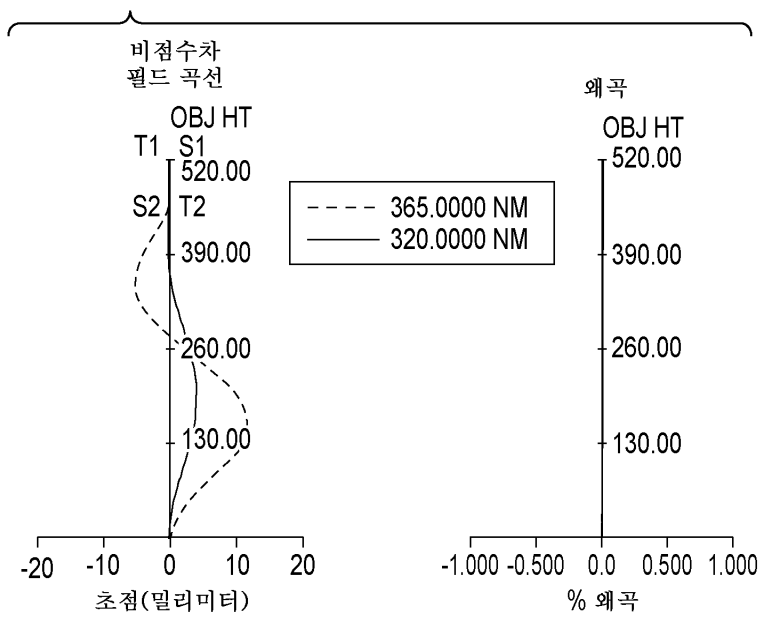
도면4c



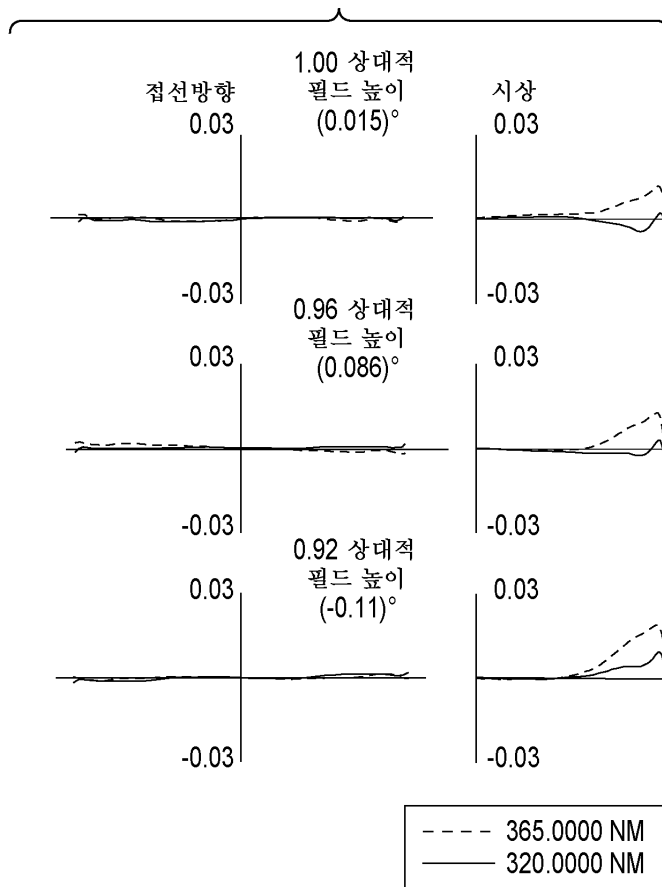
도면5a



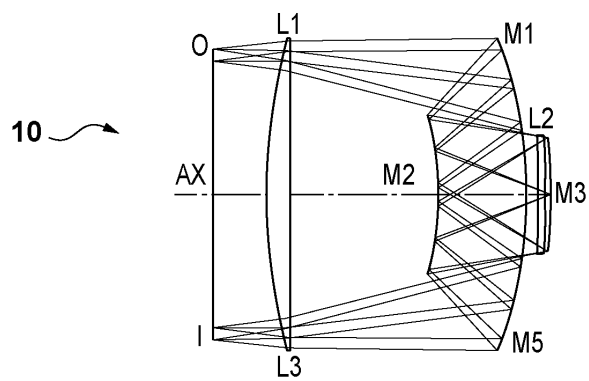
도면5b



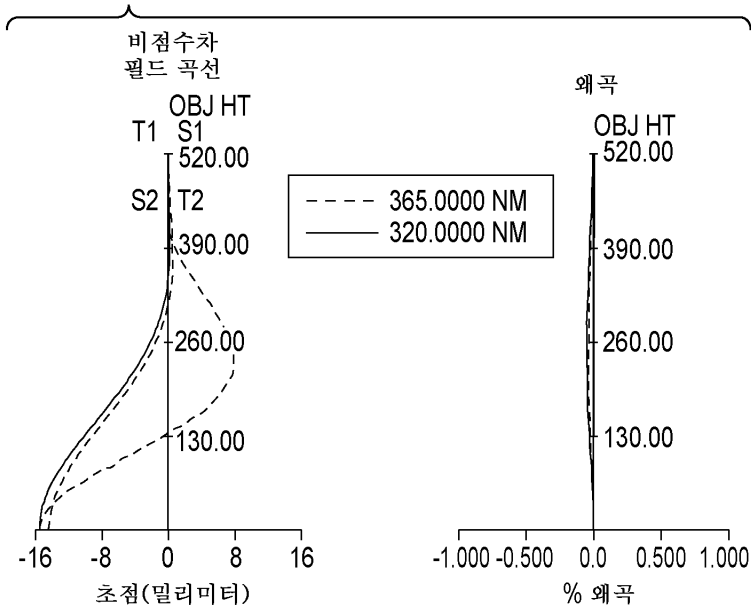
도면5c



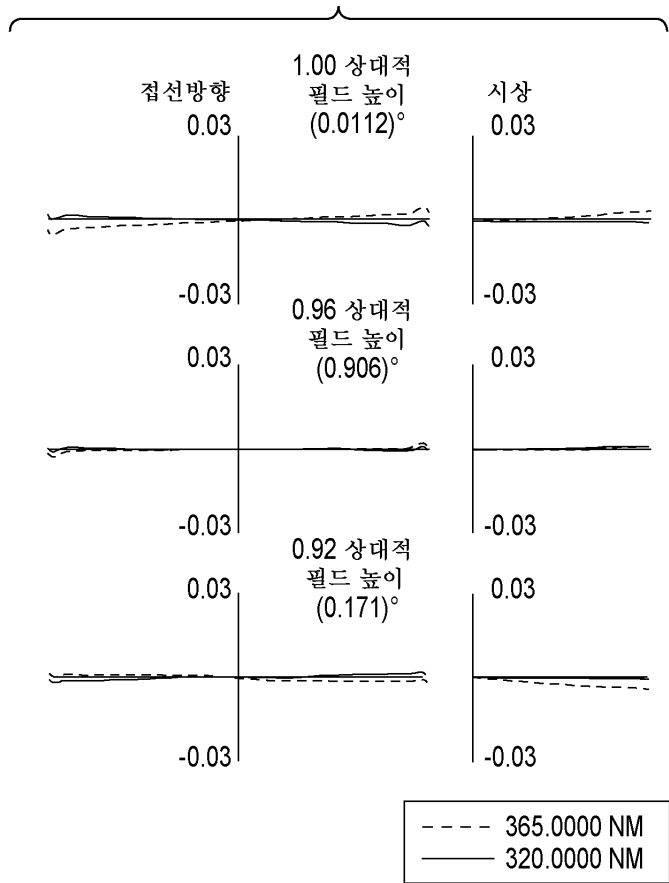
도면6a



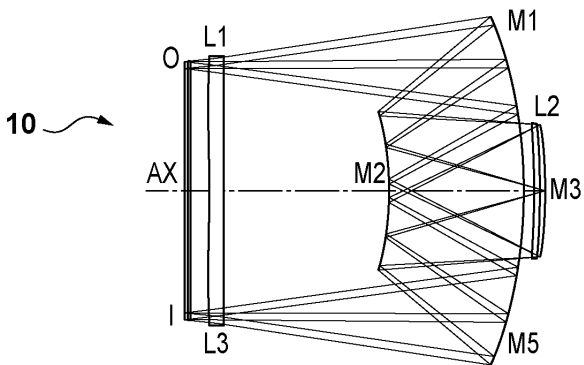
도면6b



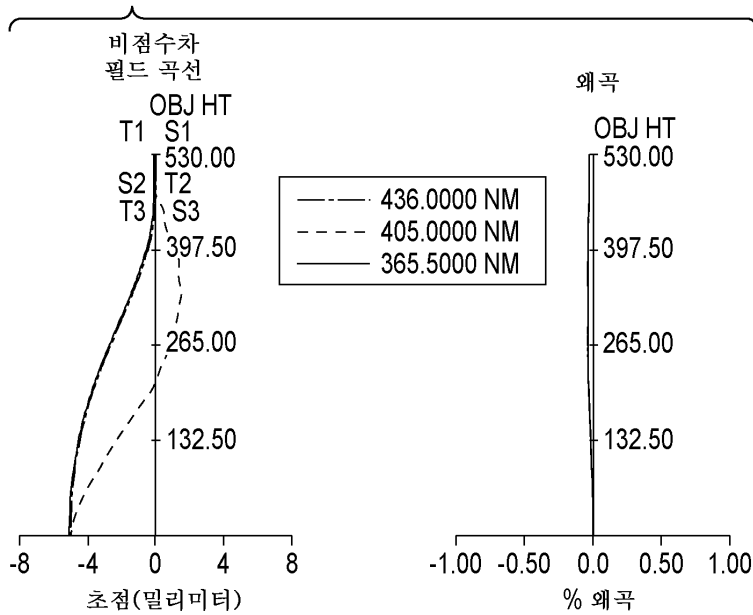
도면6c



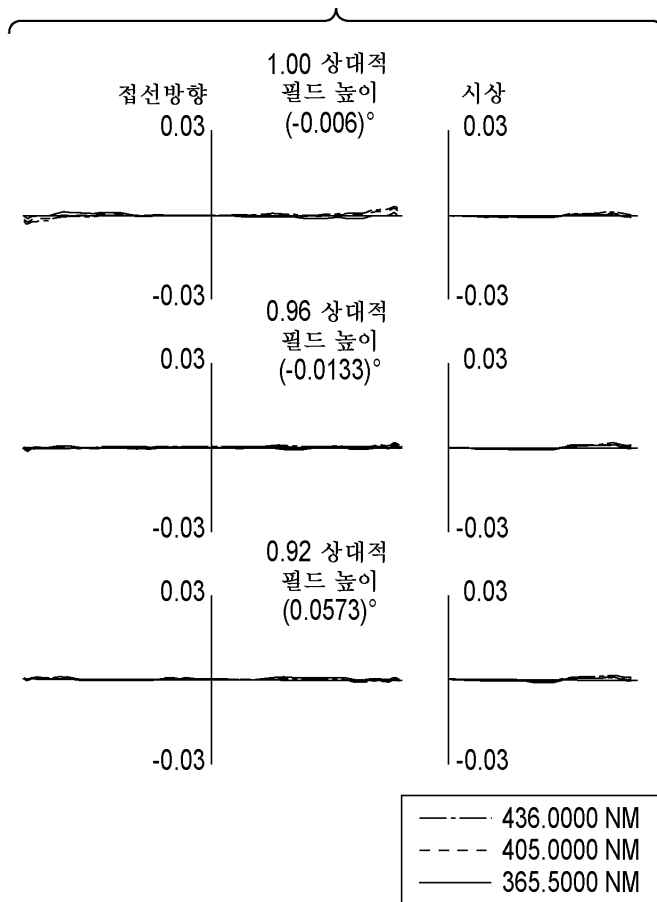
도면7a



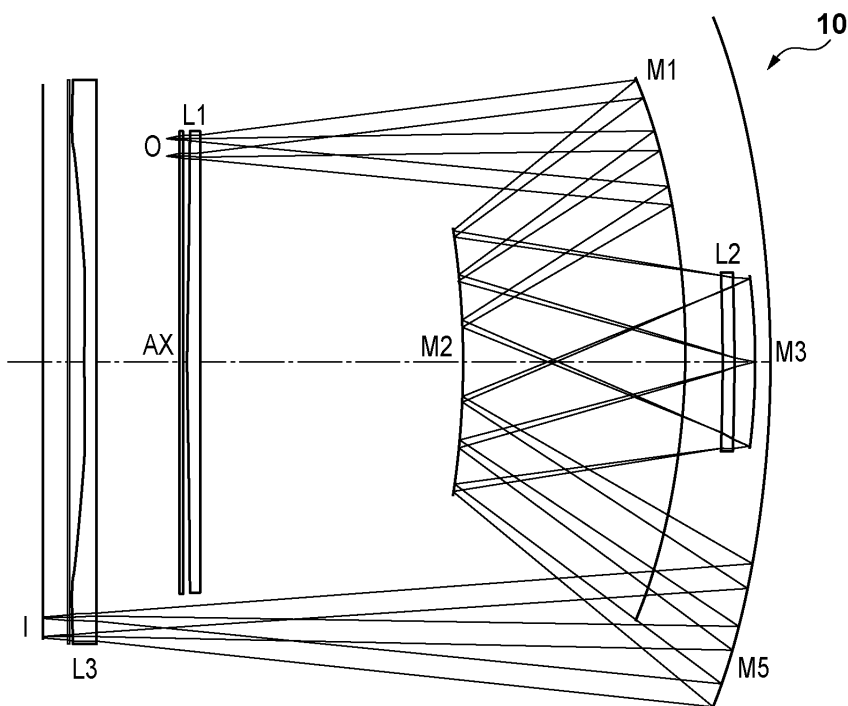
도면7b



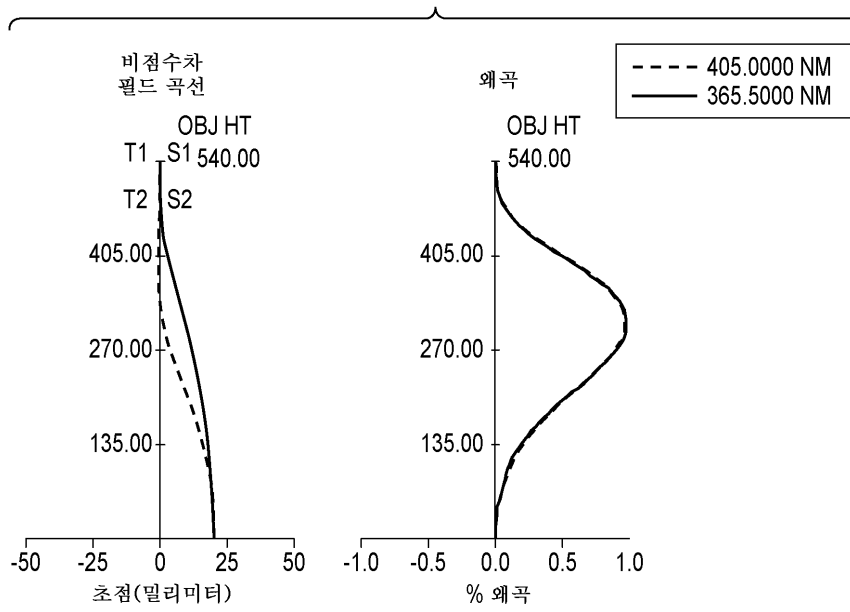
도면7c



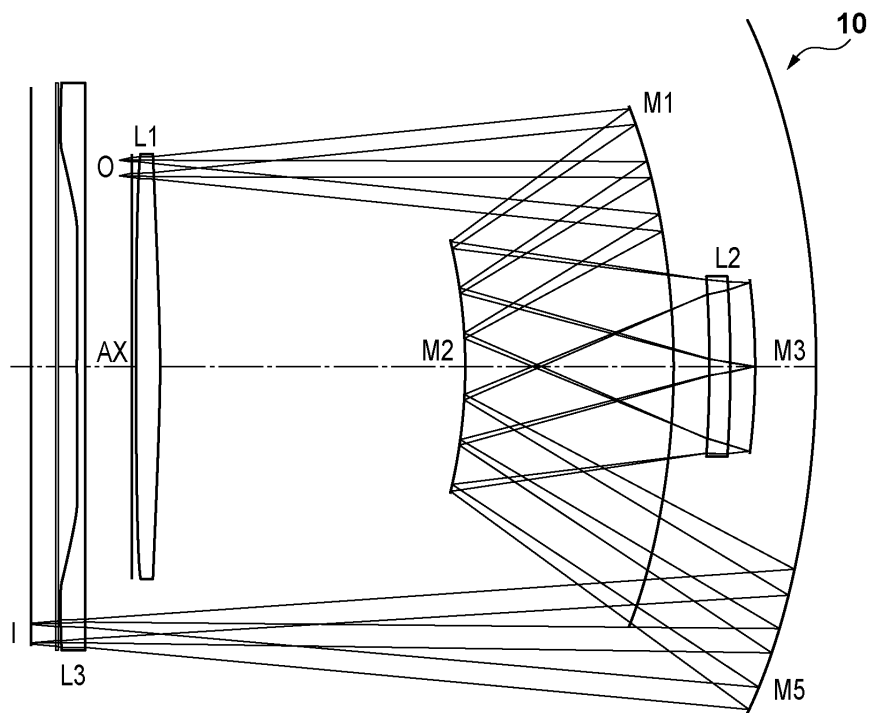
도면8a



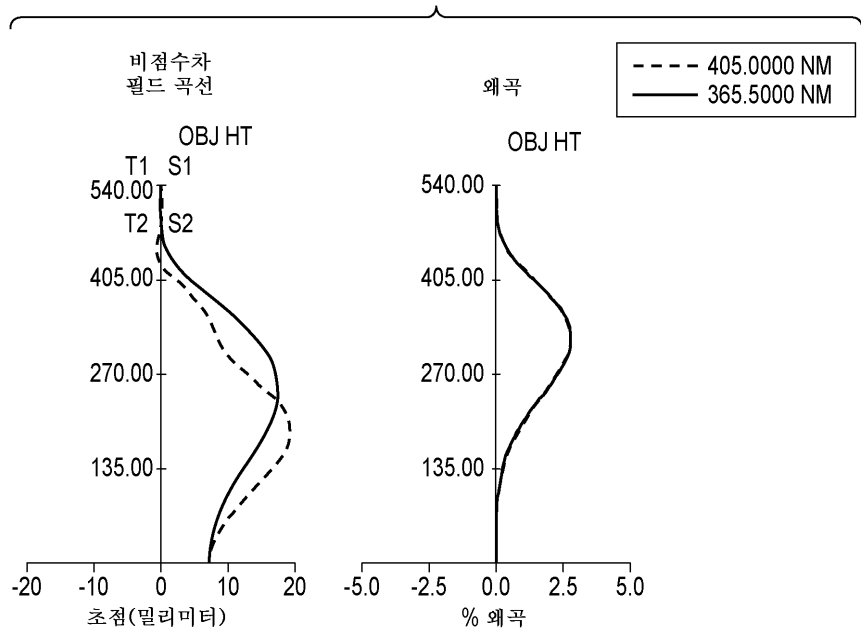
도면8b



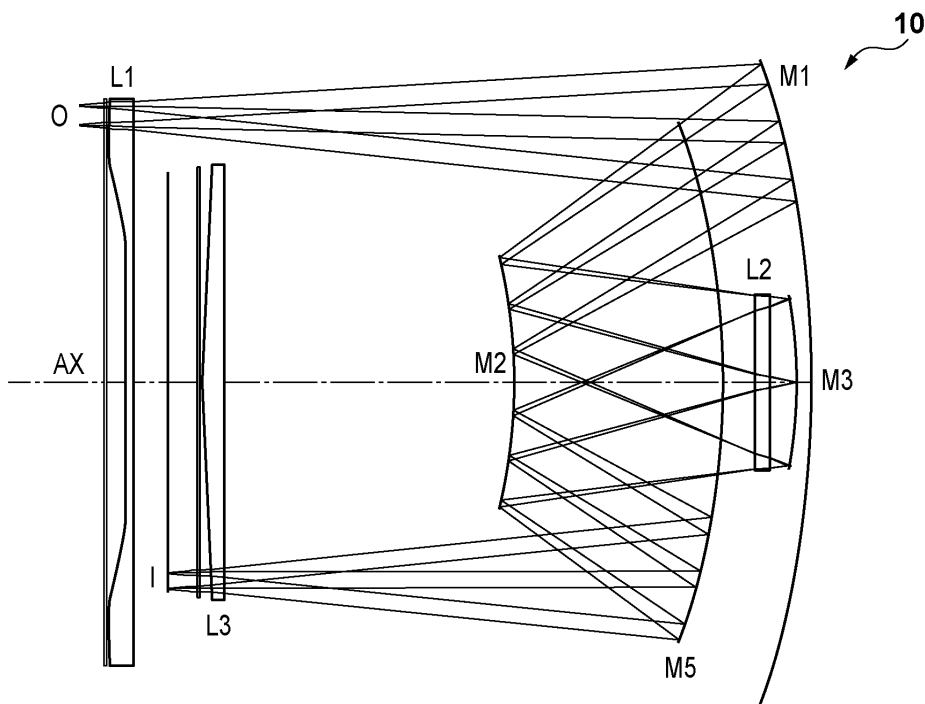
도면9a



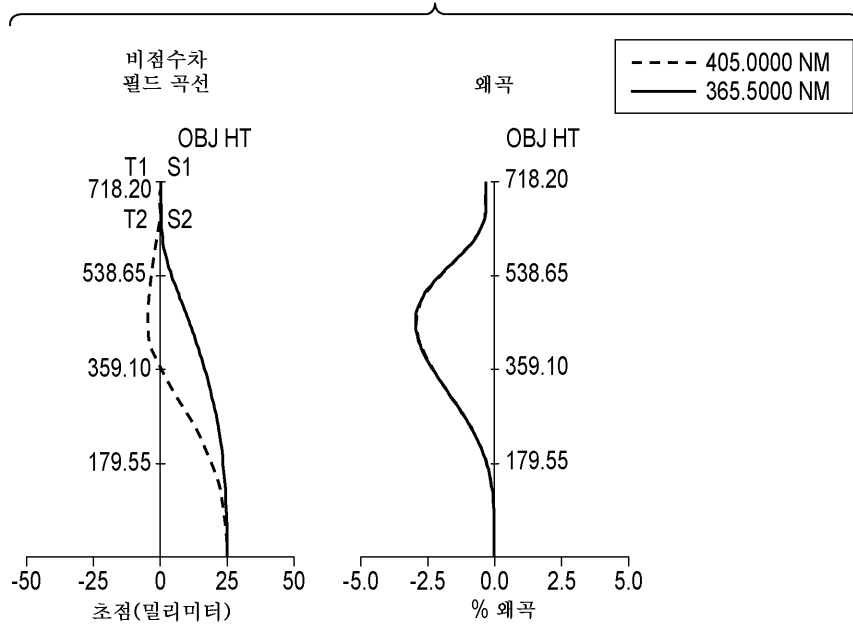
도면9b



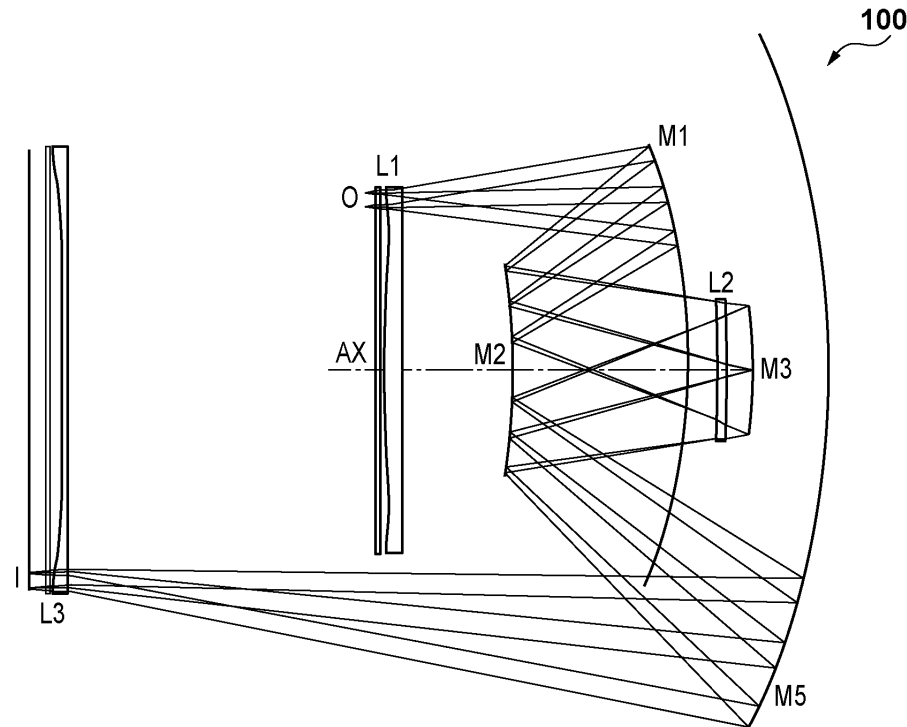
도면10a



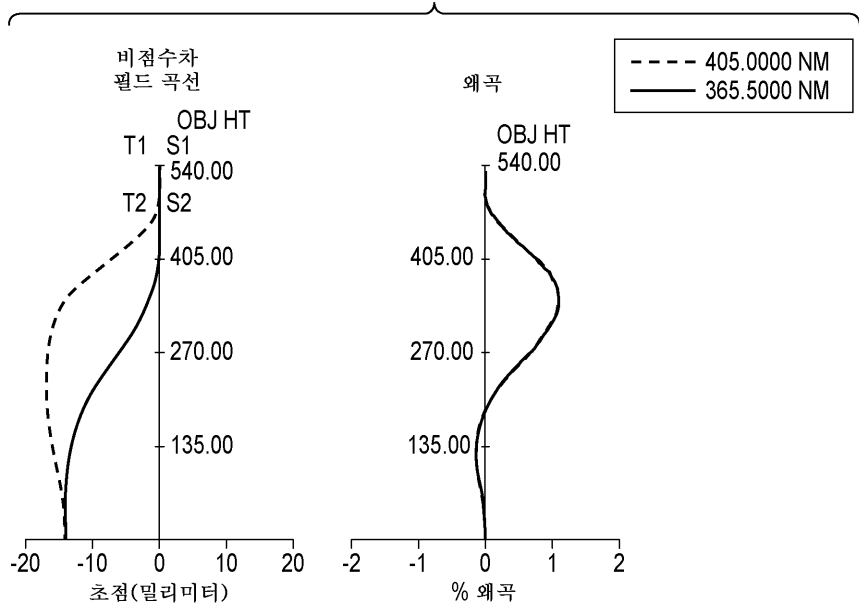
도면10b



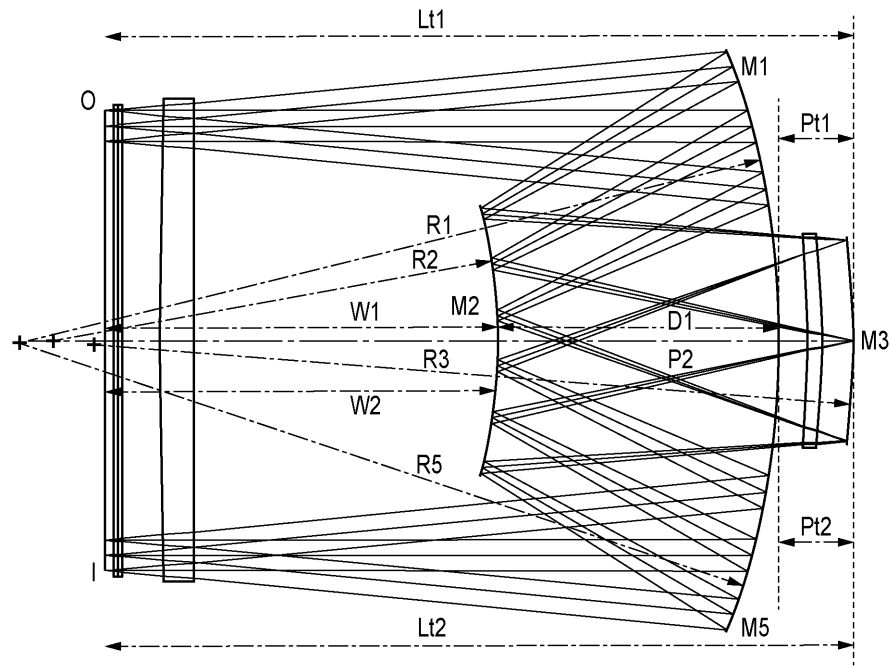
도면11a



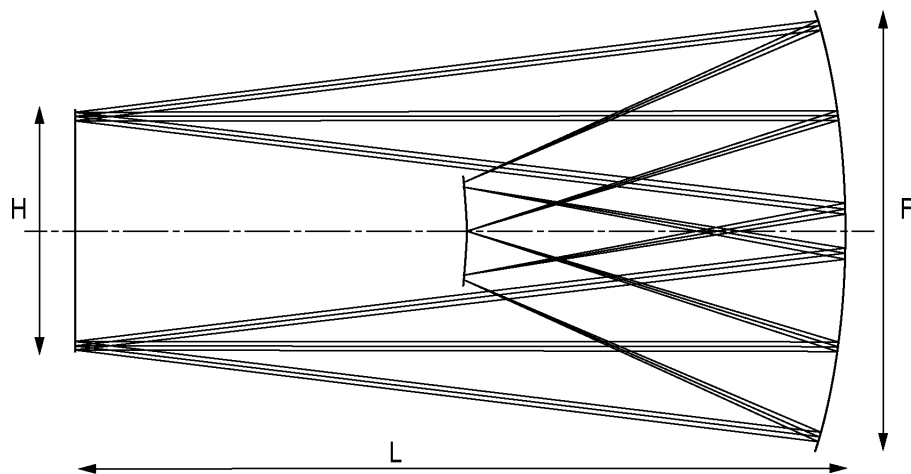
도면11b



도면12

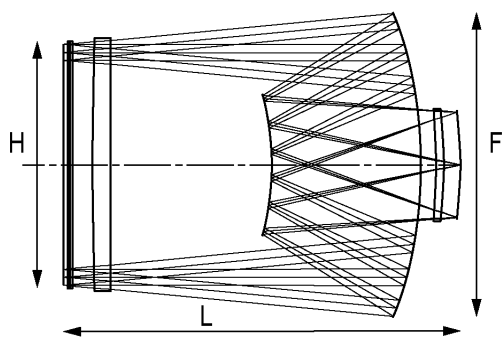


도면13a

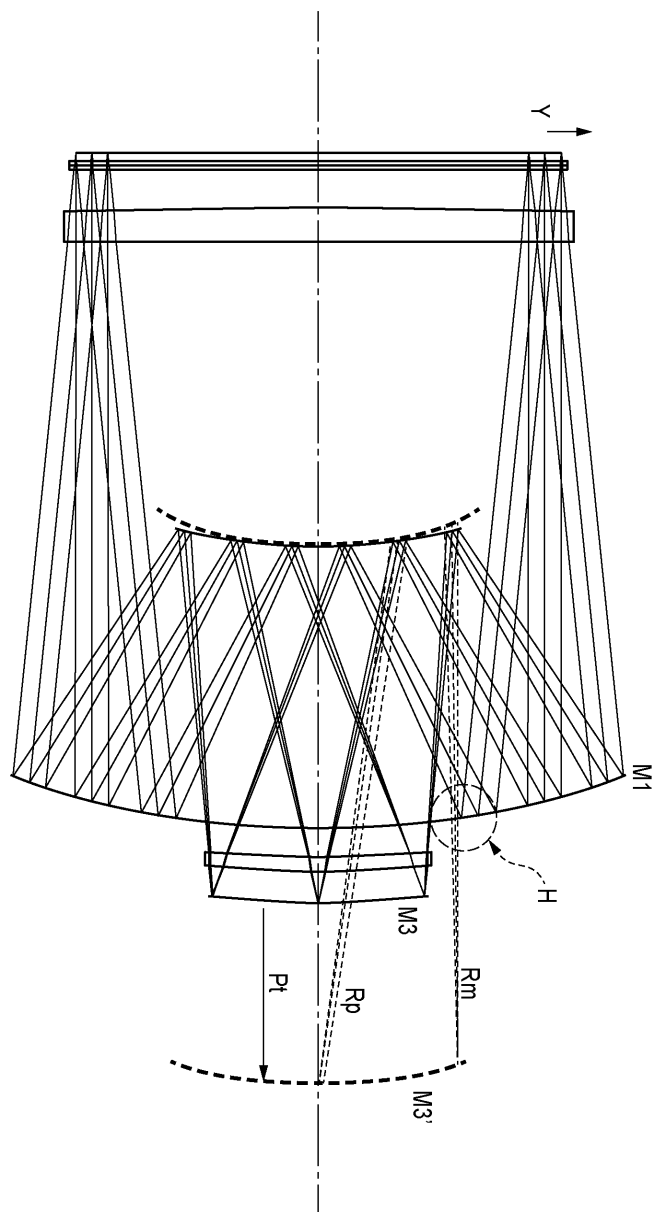


종래기술

도면13b



도면14



도면15

