(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。Int. Cl.[7]
G03F 7/20
G02B 13/24

(45) 공고일자 2003년08월21일
(11) 등록번호 10-0387003
(24) 등록일자 2003년05월28일

(21) 출원번호 10-1995-0040578
(22) 출원일자 1995년11월10일

(65) 공개번호 특1996-0018769
(43) 공개일자 1996년06월17일

(30) 우선권주장 337647 1994년11월10일 미국(US)

(73) 특허권자
가부시키가이샤 니콘
일본 도꾜도 지요다꾸 마루노우찌 3쵸메 2방 3고

(72) 발명자
사사야도시히로
일본국가나가와켄요코하마시이즈마구료쿠엔6-12-6

우시다가즈오
일본국도쿄도세타가야쿠가라스야마1-11-12

스에나가유타카
일본국가나가와켄요코하마시호도가야쿠이마이죠412-5빌러누브호도가야624

로메오아이.메르카도
미국,캘리포니아94555,프레몬트,마운틴드라이브2977

(74) 대리인
김창세
장성구
김원준
이승호

심사관 : 김현숙

(54) 투영광학시스템,투영노광장치,노광방법,및노광장치제조방법

요약

[과제] 노광 영역이 크고, 해상도가 높으며, 개구수가 큰 투영 광학시스템 및 이것을 구비한 투영 노광 장치를 제공한다.
[해결수단] 투영 광학 시스템은 제 1 물체 R 상의 상을 일정 축소율로 제 2 물체 W 상에 투영한다. 투영 광학 시스템은 상기 제 1 물체 R의 측면에서 보아 차례로 정의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹과, 실질적으로 어포컬 시스템으로 되는 제 2 렌즈 그룹과, 정의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈 그룹을 구비한다. 전체 시스템(entire system)의 초점 거리를 F, 투영 광학 시스템의 투영 배율을 B, 상기 제 1 물체와 제 2 물체간의 거리를 L, 상기 투영 광학 시스템의 광축에 대해 평행하고 상기 투영 광학 시스템의 제 2 물체 측으로부터의 광선이 상기 투영 광학 시스템에 사출될 때에 이 사출 광선의 제 1 물체 측에서의 연장선이 광축과 교차하는 점과 상기 제 1 물체면과의 사이의 거리를 e, 상기 투영 광학 시스템을 통해서 오는 거친 상기 사출 광선이 상기 제 1 물체에 도달할 때에 상기 투영 광학 시스템의 광축에서의 상기 제 1 물체 상의 광선이 높이를 h로 하면, $1.8 \leq |F/(B \cdot L)|$ 및, $|h/e| \leq 3/1000$의 조건을 만족한다. 본 투영 광학 시스템을 구비하는 투영 노광 장치도 제공한다.

대표도

도 8

명세서

도면의 간단한 설명

제 1 도는 물체(object) 측과 상(image) 측에서 텔레센트리시티(telecentricity)에서의 편차가 충분히 작은 본 발명의 투영 광학 시스템(projection optical system)을 도시한 개념적인 도면,
제 2 도는 본 발명의 투영 광학 시스템의 기본 구조를 도시한 도면,
제 3 도는 제 2 도의 구조에 의해 충분한 화각(angle of view)과 NA가 달성되는 형상을 도시한 도면,
제 4 도는 렌즈 그룹(lens groups) G1 및 G2 사이의 부근 a_1 에서 광선의 동작의 일 예로서, 렌즈면에 입사하는 축상 물점(axial object point)에서의 근접 축 주변(마지널) 광선(paraxial marginal ray)의 높이가 물체에 가장 근접한 위치에서 극대 경향을 나타내고, 그 구배가 거의 0으로 되는 경향을 도시한 도면,
제 5 도는 렌즈 그룹 G1 및 G2 사이의 부근 a_2 에서 광선의 동작의 다른 예로서, 축상 물점에서의 근접 축 주변 광선의 구배의 변동이 물체에 가장 가까운 부근에서 0으로 되고, 그 구배는 거의 0이며, 렌즈에 입사하는 광선의 높이가 증대하는 경향을 도시한 도면,
제 6 도는 렌즈 그룹 G2 및 G3 사이의 영역 b1에서 광선의 동작의 일 예로서, 렌즈면에 입사하는 축상 물점에서의 근접 축 주변 광선의 높이가 상(image) 측에 가장 근접한 위치에서 극대 경향을 도시하고, 또한 구배가 거의 0으로 되는 경향을 도시한 도면,
제 7 도는 렌즈 그룹 G2 및 G3사이의 영역 b2에서 광선의 동작의 다른 예로서, 렌즈면에 입사하는 축상 물점에서의 근접 축 주변 광선의 높이가 감소하고, 구배의 변동이 물체에 가장 근접한 부근에서 0으로 되며, 구배가 거의 0으로 되는 경향을 도시한 도면,
제 8 도는 본 발명의 투영 광학 시스템을 응용한 경우에 투영 노광 장치(projection aligner)의 개략 구조를 도시한 도면,
제 9 도는 본 발명의 제 1실시예의 렌즈 배열을 도시한 도면,
제 10 도는 본 발명의 제 2 실시예의 렌즈 배열을 도시한 도면,
제 11 도는 본 발명의 제 3 실시예의 렌즈 배열을 도시한 도면,
제 12 도는 본 발명의 제 4 실시예의 렌즈 배열을 도시한 도면,
제 13 도는 본 발명의 제 5 실시예의 렌즈 배열을 도시한 도면,
제 14 도는 본 발명의 제 6 실시예의 렌즈 배열을 도시한 도면,
제 15 도는 본 발명의 제 1 실시예의 각종 수차(various aberration)를 도시한 도면,
제 16 도는 본 발명의 제 2 실시예의 각종 수차를 도시한 도면,
제 17 도는 본 발명의 제 3 실시예의 각종 수차를 도시한 도면,
제 18 도는 본 발명의 제 4 실시예의 각종 수차를 도시한 도면,
제 19 도는 본 발명의 제 5 실시예의 각종 수차를 도시한 도면,
제 20 도는 본 발명의 제 6 실시예의 각종 수차를 도시한 도면.
도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명
AS : 개구 조리개
G1, G2, G3 : 렌즈 그룹
G21, G22, G23, G24 : 서브렌즈 그룹
IS : 조명 광학 시스템
PL : 투영 광학 시스템
R : 레티클(제 1 물체)
W : 웨이퍼(제 2 물체)

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

(발명이 속하는 기술분야)
본 발명은 일반적으로 제 1 물체(object)의 패턴을 축소하고 기판과 같은 제 2 물체 상에 투영하기 위해 사용되는 투영 광학 시스템(projection optical system) 및 투영 노광 장치(projection aligner)에 관한 것이고, 보다 상세하게는

제 1 물체로서 레티클(reticle ; 마스크)에 형성된 집적회로의 패턴을 제 2 물체로서 기판(웨이퍼) 상에 투영 노광하기에 이상적인 투영 광학 시스템 및 투영 노광 장치에 관한 것이다.

(종래기술)

집적회로 패턴이 미세하게 됨에 따라 웨이퍼를 인화하기 위해 사용되는 투영 광학 시스템은 보다 높은 성능을 갖는 것이 필요하다. 그와 같은 상황에서 투영 광학 시스템의 해상도를 개선하기 위해서는 노광 파장(λ)을 더욱 짧게 하거나 또는 투영 광학 시스템의 개구수 NA를 증가시키는 것이 고려된다.

근년에 미세한 전사 패턴에 대응하기 위해서 노광에 사용되는 광원은 g선(436nm)을 방사하는 광원으로부터 i선(365nm)을 방사하는 광원이 주로 사용되고 있다. 또한, 엑시머 레이저(excimer laser ; 248nm, 193nm)와 같은 보다 짧은 파장을 갖는 광선을 방사하는 광원도 사용되고 있다.

또한, 상술한 각종 노광 파장을 사용하여 레티클 상의 패턴을 웨이퍼 상에 투영 노광하는 투영 광학 시스템이 제안되고 있다.

투영 노광 시스템으로서는 상의 왜곡을 감소시킴과 동시에, 해상도를 개선하는 것이 요구된다. 본 명세서에서 사용되는 '상 왜곡(image distortion)'은 투영 광학 시스템이 갖는 상 왜곡만은 아니고, 투영 광학 시스템의 상(像) 측에서 인화되는 웨이퍼의 휘어짐에서 기인하는 왜곡 및, IC 등의 회로 패턴 등이 그려지는 투영 광학 시스템의 물체 측의 레티클 휘어짐에 기인하는 왜곡이 있다. 근년에 전사 패턴은 더욱 미세해지고, 상의 왜곡을 감소시키려는 요구는 보다 엄격하게 되고 있다.

상 왜곡에 대한 웨이퍼의 휘어짐 영향을 감소하기 위하여, 그 상 측이 거의 텔레센트릭(telecentric)하게 되어, 사출동공(pupil)의 위치를 상 위치로부터 멀게 하는 있는 광학 시스템이 사용되고 있다.

한편, 레티클 휘어짐에 의해 생기는 상 왜곡의 감소에 관해서는 투영 광학 시스템 물체 측이 거의 텔레센트릭한 즉, 투영 광학 시스템의 입사 동공 위치가 물체 평면에서 비교적 벗어나서 위치하고 있는 광학 시스템이 고려되고, 그와 같은 투영 광학 시스템이 제안피고 있다. 그와 같은 예들 중 몇 개는 일본국 특허 공개 소하 제63-118115호, 일본국 특허 공개 평성 제4-157412호 및 일본국 특허 공개 평성 제5-173065호에 기재되어 있다.

그러나, 상기 각 특허 공개 공보에 기재되어 있는 투영 광학 장치는 개구수 NA가 적고, 해상도가 불충분하며, 노광 영역이 협소하다. 또한, 상 왜곡을 감소시키고자 하는 요구는 점점 엄격해지고 있음에도 불구하고, 상기 특허 공개 공보에 기재되어 있는 것은 단순히 투영 광학 시스템의 입사 동공 위치를 물체 평면(레티클 면)에서 비교적 먼 곳에 설치하는 것뿐이고, 물체 측 및 상 측(웨이퍼 측)에 있어서, 텔레센트릭 광학 시스템으로부터의 편차(이하, '텔레센트리시티(telecentricity)로부터의 편차'라 함)가 충분히 커서, 따라서 보다 미세한 전사 패턴에 충분히 대응시킬 수 없었다.

또한, 물체 측(레티클 측)에서의 텔레센트리시티(telecentricity)로부터의 편차가 클 경우, 레티클을 균일하게 조명하기 위한 조명광은 상기 텔레센트리시티로부터의 편차의 영향이 그 조명 광학 시스템에 의해 보상되도록 입사될 필요가 있다. 따라서, 노광 장치에 장착되야 할 조명 광학 시스템을 설계하는 것이 극히 곤 란하였다.

(발명이 해결하고자 하는 과제)

본 발명은 상술한 사정을 염두에 두고서 발명된 것으로, 본 발명의 목적은 비교적 많은 노광 면적을 유지하면서, 조명 광학 시스템을 그다지 제약하지 않고 많은 개구수를 갖는 높은 해상도의 투영 광학 시스템 및 이것을 구비한 노광 장치를 제공하는 것이다. 또한, 이 투영 광학 시스템의 물체 측 및 상 측에서 텔레센트리시티로부터의 편차는 제 1 물체(레티클) 및 제 2 물체(웨이퍼)의 평면도가 양호하지 않는 경우에도 극히 적어지고, 이에 따라 상 왜곡의 문제를 해소할 수 있는 투영 광학 시스템 및 투영 광학 장치를 제공하는 것이다.

(과제를 해결하기 위한 수단)

본 발명의 한 양상에 따르면, 제 1 물체의 상을 일정한 축소율로 제 2 물체에 투영하는 투영 광학 시스템에 있어서, 이 투영 광학 시스템은 상기 제 1 물체측에서 보아 차례로 정(positive)의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹 G1과, 어포컬 시스템(afocal systems)으로 실질적으로 구성되는 제 2 렌즈 그룹 G2과, 정의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈 그룹을 구비한다.

전체 시스템의 초점 거리를 F로 표시하고. 투영 광학 시스템의 투영 배율을 B로 표시하며, 제 1 물체와 제 2 물체간의 거리를 L로 표시하고, 투영 광학 장치의 입사 동공 위치 즉, 상기 투영 광학 장치의 제 2 물체 측으로부터 투영 광학 시스템의 광축에 대해 평행한 광선이 상기 투영 광학 시스템을 사출할 때에 그 사출 광선의 연장선이 광축과 교차하는 점(편의상 이하에선 '유한 물체 높이에 대응하는 입사점 위치'라고 함)과 제 1 물체 평면간의 거리를 e로 표시하며, 입사 동공 즉, 상기 투영 광학 시스템의 유한한 물체 높이에 대응하는 입사점 위치를 결정하는 광선이 투영 광학 시스템을 통과할 때에, 제 1 물체 평면에서 광축으로부터의 광선의 높이를 h로 표시하는 경우, 본 투영 광학 시스템은 이하의 조건을 만족하도록 구성된다.

$$(\mathrm{I})\ 1.8 \leq |F/(B \cdot L)|$$

$$(\mathrm{II})\ |h/e| \leq 3/1000$$

본 발명의 다른 양상에 따른 투영 노광 장치는 소정 패턴이 형성되어 있는 제 1 물체를 조명하는 조명 수단과, 상기 제 1 물체의 상을 제 2 물체에 투영하는 투영 광학 시스템과, 상기 제 1 물체를 지지하는 제 1 지지 수단과, 상기 제 2 물체를 지지하는 제 2 지지수단을 구비하고,

상기 투영 광학 시스템은 상기 제 1 물체 측에서 보아 차례로 정의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹 G1과, 어포컬 시스템으로 실질적으로 구성된 제 2 렌즈 그룹 G2과, 정의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈 그룹 G3을 구비한다.

전체 시스템의 초점 거리를 F로 표시하고, 상기 투영 광학 시스템의 투영 배율을 B로 표시하며, 상기 제 1 물체와 제 2 물체 사이의 거리를 L로 표시하고, 상기 투영 광학 시스템의 입사 동공 위치 즉, 투영 광학 시스템의 광축에 대해 평행한 상기 투영 광학 시스템의 제 2 물체로부터의 광선이 상기 투영 광학 장치를 사출할 때에, 유한한 물체 높이에 대

응하는 입사점 위치로부터 제 1 물체 평면까지의 거리를 e로 표시하며, 상기 광선이 입사 동공 위치 즉, 투영 광학 시스템의 유한물체 높이에 대응하는 입사점 위치를 결정하는 상기 광선이 상기 투명 광학 시스템을 통과할 때에 제 1 물체 평면에서 광축으로부터의 상기 광선의 높이를 h로 표시하는 경우에, 본 투영 노광 장치는 이하의 조건을 만족하도록 구성되어 있다.

(Ⅰ) $1.8 \leq |F/(B \cdot L)|$

(Ⅱ) $|h/e| \leq 3/1000$

발명의 실시 형태

본 발명을 설명하기 전에 기본적인 형태와 그 것의 각종 바람직한 조건을 설명한다.

제 1도에 도시한 바와 같이, 개구 조리개(aperture stop; AS)는 통상 투영 광학 시스템에 장착된다. 투영 광학 시스템의 입사 동공 위치(entrance pupil position)는 개구 조리개 AS의 물체 측(레티클 측)에 설치된 광학 시스템에 의한 AS의 상(image) 위치로서 근접 축 광선 궤적(paraxial ray tracing)에 의해 볼 수 있다.

그러나, 물체 높이 h에서 나오는, 광속(光束)의 실제 주광선 (개구 조리개 AS의 중심을 통과하는 광선)의 연장선은 광학 시스템의 광축의 근접 축 입사 동공 위치와 정확히 교차하지 않는다(즉, 동공 수차). 여기에서, 물체 높이 h로부터 광속의 주광선 연장선이 광축과 교차하는 점은 '물체 높이 h에 대응하는 입사 동공 위치'라 호칭되고, 또한 물체 높이 h로부터 나오는 광속이 투영 광학 시스템을 사출했을 때에 주광선의 연장선이 광축과 교차하는 점은 '물체 높이 h에 대응하는 사 출 동공 위치(exit pupil position)'라 불린다.

한편, 상 왜곡 때에 투영 광학 시스템의 물체 측의 레티클의 휘어짐 영향은 레티클로부터 투영 광학 시스템으로 입사하는 입사 광속의 텔레센트리시티로부터의 편차, 즉 투영 광학 시스템의 광축에 대한 입사 광속의 주광선의 구배에 비례한다.

여기서, 레티클 상에서 광축에서의 그 높이가 h(물체 높이)인 점으로부터의 입사 광속(주광선)의 텔레센트리시로부터의 편차를 T(h)로 표시하면, 물체 높이 h에 대응하는 입사 동공 위치와 레티클간의 거리는 E(h)로 표시되고, T(h) 및 E(h)는 이하의 관계를 갖는다.

$$T(h) = h/E(h) \quad (1)$$

따라서, 항상 일정한 텔레센트리시티로부터의 편차를 얻고, 물체 높이 h에 관계없이 물체 측의 상 왜곡에 대한 영향을 균일하게 하기 위해서는 물체 높이 h에 비례하도록 물체 높이에 대응하는 입사 동공 위치를 변화시키는 것으로 충분하다. 환언하면, 물체 높이 h가 낮을 때의 물체 높이 h에 대응하는 입사 동공 위치를 물체 높이가 높을 때의 물체 높이에 대응하는 입사 동공 위치보다도 물체(레티클 측)에 가깝게 설치함으로써 물체 측의 상 왜곡에 대한 영향을 거의 균일하게 할 수 있다.

본 발명에 있어서는 물체 높이 h에 대응하는 입사 동공 위치가 일반적으로 물체 높이에 따라서 변화하지만, 상 왜곡에 대한 물체 높이에 대응하는 입사 동공 위치의 영향 정도도, 물체 놀이에 따라서 변화한다는 사실에 주목하고, 물체 높이 h의 높이(레티클 상에서 광축으로부터의 높이)에 따라서 입사 동공 위치를 잘 조절 하여 물체 평면 전체의 상 왜곡에 대한 영향을 균일하게 하는 것이 가능하다.

이하에 나타내는 조건 (Ⅰ)은 투영 광학 시스템의 초점 거리 F와 투영 광학 시스템의 결상 배율(imagery magnification) B 및 물체와 상간의 거리(레티클과 웨이퍼간의 거리) L의 곱과의 최적비를 제공한다.

$$1.8 \leq |F/(B \cdot L)| \quad (I)$$

상기 조건 (Ⅰ)은 투영 광학 시스템의 상 측(웨이퍼 측)의 사출 동공 위치가 무한히 멀다라고 가정하면, 물체 평면(레티클 평면)으로부터 투영 광학 시스템의 입사 동공까지의 거리 E와 물체와 상간의 거리(레티클로부터 웨이퍼까지의 거리) L과의 비를 부여하는 것으로 동일하다고 하는 것을 의미하고 있다.

보다 구체적으로 설명하면, 제 1 도에 도시하는 바와 같이, 투영 광학 시스템의 사출 동공 위치가 무한히 멀다라고 가정하면, 투영 광학 시스템 전체의 앞쪽 초점(primary focal point)(레티클 측의 초점) f는 입사 동공 위치에 대응하고, 또한 투영 광학 시스템 전체의 초점 거리를 F로 하고, 투영 광학 시스템의 앞쪽 주평면을 P, 투영 광학 시스템의 투영 배율을 B, 물체 평면(레티클 평면)으로부터 투영 광학 시스템 전체의 앞쪽 초점 f까지의 거리를 E라고 할 때, 횡배율(lateral magnification)의 식으로 하면, 이하의 관계가 성립한다.

$$B = F/E \quad (2)$$

상기 식 (2)을 변형하면 하기 식이 얻어진다.

$$E = F/B \quad (3)$$

식 (3)의 양변을 물체와 상간의 거리(레티클과 웨이퍼간의 거리;L)로 나누어 그 절대값을 취하면 상술한 조건 (Ⅰ)의 의미를 나타내는 식 (4)가 최종적으로 도출된다.

$$|E/L| = |F/(B \cdot L)| \quad (4)$$

상술한 사항으로부터 상기 조건 (Ⅰ)은 투영 광학 시스템의 상 측(웨이퍼측)의 사출 동공 위치가 무한히 멀다고 가정하면, 물체 평면(레티클 평면)으로부터 입사 동공 E까지의 거리와 물체와 상간의 거리(레티클과 웨이퍼간의 거리) L과의 최적비의 절대값을 부여하는 것이 이해된다.

조건 (Ⅰ)의 하한값을 초과하면, 투영 광학 시스템의 입사 동공 위치가 물체와 상간의 거리(레티클과 웨이퍼간의 거리) L과 비교하여 물체에 너무 가깝게 되어 물체 평면 전체(레티클 평면 전체)에 걸친 텔레센트리시티로부터의 편차가 악화되고, 따라서 텔레센트리시티로부터의 편차를 수정할 때에 어떤 곤란성이 생긴다. 또한 물체 평면 전체의 상의 왜곡에 대한 투영을 균일하게 또한 충분히 감소시키기 위해서는 조건 (Ⅰ)를 $6 \leq |F/(B \cdot L)|$로 하여 하한값을 6으

로 하는 것이 바람직하다. 이것은 입사광선의 텔레센트리시티로부터의 편차에 의한 상의 왜곡에 대한 투영이 거의 무시할 수 있는 형태의 투영 광학 시스템을 구성하는 것을 가능하게 하고, 이에 따라 입사 광선의 텔레센트리시티로부터의 편차는 보상할 필요성이 저감됨과 동시에 조명 광학 시스템을 설계할 때의 자유도가 증대하는 효과가 얻어진다. 또한 텔레센트리시티로부터의 편차를 거의 완전히 감소시키고 또한 조명 광학 시스템을 설계할 때의 자유도를 충분히 증대시키기 위해서는, 상술한 조건 (Ⅰ)을 7.2 ≤ | F/(B · L) | 로 하여 하한값을 7.2로 하는 것이 보다 적합하다.
또한 조건 (Ⅰ)은 투영 광학 시스템의 상 측(웨이퍼 측)의 사출 동공 위치가 무한히 먼 것으로 가정할 때의 투영 광학 시스템의 최적인 입사 동공 위치를 제공하고, 이에 따라 상 측의 상의 왜곡에 부여하는 영향을 감소시키지만, 또한 동시에 투영 광학 시스템의 최적인 사출 동공 위치를 제공한다.
보다 구체적으로 설명하기 위해, 투영 광학 시스템의 물체 측(레티클 측)의 입사 동공 위치가 무한히 멀다라고 가정하고, 해당 투영 광학 시스템의 사출 동공위치로부터 상면(image side)(웨이퍼 면)까지의 거리를 E'로 하면, 횡배율의 식에 따라 하기의 식이 얻어진다.

$$1/B = F/E' \qquad (5)$$

식 (5)을 변형하면 이하의 식 (6)이 도출된다.

$$E' = F \cdot B = (F/B) \cdot B^2 \qquad (6)$$

상술한 식 (3)을 이용하여 상술한 식 (5)를 또한 변형하면 하기의 식 (7)이 도출된다.

$$E' = E \cdot B^2 \qquad (7)$$

식 (7)은 투영 광학 시스템의 투영 배율 B의 2승(B^2)을 식 (3)의 우변에 곱한 것과 등가이며, 상술한 식 (7)의 양변을 물체와 상간의 거리(레티클과 웨이퍼간 의 거리) L로 나누어 그 절대값을 취하면 하기의 식 (8)이 도출된다.

$$|F \cdot B/L| = |[F/(B \cdot L)]| \cdot B^2 \qquad (8)$$

이 식 (8)은 상기 조건 (Ⅰ)의 의미를 설명하는 식 (4)의 우변에 투영 광학 시스템의 투영 배율 B의 2승(B^2)을 곱한 것과 동일하게 되며, 이것을 상기 조건(Ⅰ)에 대응시켜 나타내면 하기의 식 (9)가 얻어진다.

$$|F/(B \cdot L)| \geq 1.8 \cdot B \qquad (9)$$

따라서, 조건 (Ⅰ)은 투영 광학 시스템의 사출 동공 위치가 무한히 멀다라고 가정하면, 투영 광학 시스템의 최적인 입사 동공 위치를 부여하고, 또한 동시에 조건 (Ⅰ) 전체의 값에 B^2를 곱한 양을 고려함으로써, 투영 광학 시스템의 입사 동공 위치가 무한히 멀다라고 가정하면, 사출 동공 위치도 부여되고, 이에 따라 상 측의 상의 왜곡에 대한 영향을 감소시키는 것이 이해될 수 있다.
따라서, 투영 광학 시스템의 상 측(웨이퍼 측)의 사출 동공 위치 및 투영 광학 시스템의 물체 측(레티클 측)의 입사 동공 위치는 조건 (Ⅰ)의 범위에 있는 한, 완전히 무한한 것으로 할 필요는 없고 상 측(웨이퍼 측) 및 물체 측(레티클 측)의 텔레센트리시티로부터의 편차를 실질적으로 양호하게 균형을 맞춘 상태로 유지하는 것이 가능하다는 것이 이해될 수 있다. 또한 투영 광학 시스템의 수차(收差)를 수정할 때의 자유도는 확보하면서 투영 광학 시스템을 구성하기 위한 광학 부재(렌즈 등)의 수를 감소시키기 위해서는 조건 (Ⅰ)을 | F/(B · L) | ≤22로 하여 상한값을 22로 하는 것이 보다 적합하다.
조건 (Ⅱ)에 있어서는 투영 광학 시스템의 사출 동공 위치가 무한히 멀다라고 가정하고, 투영 광학 시스템의 제 1 물체 측으로의 입사 동공 위치(즉, 투영 광학 시스템의 광축에 평행인 제 2 물체로부터의 광선이 투영 광학 시스템에 입사할 때에 결정되며, 투영 광학 장치의 제 1 물체 측의 유한한 물체 높이에 대응하는 입사점 위치)와 제 1 물체면간의 거리가 e로 표시되며, 투영 광학 시스템을 통과하여 상기 입사 동공 위치(즉, 투영 광학 시스템의 제 1 물체 측의 유한인 물체 높이에 대응하는 입사점 위치)를 결정하는 상기 광선이, 상기 제 1 물체에 도달할 때의 투영 광학 시스템의 레티클 상의 광측으로부터의 상기 광선의 높이가 h로 표시하면, 제 1 물체 평면으로부터 입사 동공 위치(즉, 물체 높이 h에 대응하는 입사점 위치)까지의 최적거리 e가 부여된다.

$$|h/e| \leq 3/1000 \qquad (II)$$

상기 조건 (Ⅰ)은 투영 광학 시스템 상 측(웨이퍼 측)의 사출 동공 위치가 무한히 먼 것으로 가정하면, 물체 평면(레티클 평면)으로부터 투영 광학 시스템의 근접 축 입사 동공까지의 거리 E와, 물체와 상간의 거리(레티클로부터 웨이퍼까지의 거리) L과의 최적비를 부여하지만, 실제로는 한정된 노광 면적을 갖는 투영 광학 시스템에서는 유한한 물체 높이 h에 대한 입사 동공 위치도 고려해야만 한다. 특히 전사 패턴이 보다 미세하게 되고, 상의 왜곡을 감소시키는 요구가 보다 엄격하게 됨에 따라 조건 (Ⅰ)에 부가하여 조건 (Ⅱ)을 만족할 필요가 있다.
조건 (Ⅱ)의 h는 광축으로부터의 최대 높이 H로 하면 식 (10)에서 나타낸 범위로 할 수가 있다.

$$0 \leq h \leq H \qquad (10)$$

따라서 물체 높이 h는 식 (10)의 범위 내에서 조건 (Ⅱ)으로 만족시키는 것이 요구된다. 즉 조건 (Ⅱ)은 | h/e | 가 최대로 되는 h 및 e의 조합으로 만족시킬 필요가 있다.
또한 조건 (Ⅱ)은 최적인 입사 동공 위치, 즉 투영 광학 시스템의 상 측(웨이퍼 측)의 사출 동공 위치가 무한히 먼 것으로 가정할 때의 투영 광학 시스템의 물체 높이 h에 대응하는 입사점 위치를 부여하지만, 상술한 조건 (Ⅰ)과 동일하게 물체 높이 h에 대응하는 투영 광학 시스템의 최적인 사출 동공 위치에 관해서도 고려되어야 한다.
보다 구체적으로 설명하면, 조건 (Ⅱ)의 | h/e | 는 투영 광학 시스템의 상측(웨이퍼 측)의 사출 동공 위치가 무한히 먼 것으로 가정하면, 투영 광학 시스템의 물체 측(레티클 측)으로부터 나오는 광선의 광측에 대한 구배에 상당한다. 이때 입사 광선의 구배가 조건 (Ⅱ)을 만족할 때에는 물체 평면(레티클 평면)상의 광축으로부터 높이(물체 높이) h에 있어 투영 광학 시스템의 광측에 평행인 광선 즉, 광축에 대한 구배가 제로인 광선이 투영 광학 시스템에 입사되면 광

학 시스템으로부터 나온 광선의 구배(α)는 하기의 식으로 표시된다.

$$\alpha \fallingdotseq |h/(e \cdot B)| \quad (11)$$

이것은 조건 (Ⅱ)의 양변을 B로 나눈 것을 의미한다. 즉 다음과 같다.

$$|h/(e \cdot B)| \leq 3/(1000\ |B|) \quad (12)$$

이것은 투영 광학 시스템의 입사 동공 위치가 무한히 멀 때의 사출 동공 위치 즉, 물체 높이 h에 대응하는 사출점 위치를 부여한다.

따라서, 투영 광학 시스템의 사출 동공 위치가 무한히 먼 것으로 가정하면, 물체 높이 h에 대응하는 투영 광학 시스템에 대한 치적인 입사점 위치를 부여함과 동시에 조건 (Ⅱ)은 또한 투영 광학 시스템의 입사 동공 위치가 무한히 먼 것으로 가정하면, 조건 (Ⅱ) 전체를 B로 나눈 양을 고려함으로써 물체 높이 h에 대응하는 사출점 위치가 부여된다. 환언하면, 입사 동공 측 및 사출 동공 측의 광속의 흔들림이 동시에 고려된다고 하는 의미에 있어서는, 조건 (Ⅰ)과 동일하지만, 조건 (Ⅰ)은 근접 축 광선의 궤적을 이용한 기본적인 조건을 나타내고, 한편 조건 (Ⅱ)은 또한 유한한 물체 높이 h(≤H)를 고려하여 넣는다.

조건 (Ⅱ)의 상한값을 초과하면, 유한한 물체 높이 h(≤H)에 대한 입사 동공 위치 또는 사출 동공 위치는 물체 평면 또는 상면(像面)에 너무 근접하기 때문에, 외측(웨이퍼 측) 및 물체 측(레티클 측)에 있어서의 텔레센트리시티로부터의 편차를 균형 있게 보상할 때에 곤란이 생긴다. 최대의 물체 높이 H의 범위 내에 있어서, 조건 (Ⅱ)을 만족하면, 입사 광속 및 사출 광속의 텔레센트리시티로부터의 편차가 상의 왜곡에 부여되는 영향이 거의 무시될 수 있으며, 텔레센트리시티로부터의 편차가 매우 적으며, 투영 광학 시스템을 구성하는 것이 가능하다.

또한 하기에 나타내는 조건 (III)은 투영 광학 시스템의 광축으로부터 제 1 물체의 최대 높이 H와 투영 광학 시스템의 투영 배율 B의 곱과 투영 광학 시스템의 초점 거리 F간의 최적비의 범위를 나타낸다.

$$|BH/F| \leq 8/1000 \quad (Ⅲ)$$

조건 (III)에 있어서는, 유한한 상 높이 h(≤H)에 관한, 투영 광학 시스템의 상 측(웨이퍼 측)의 사출 동공 위치가 근접 축 광선의 어프로치에 의해 고려된다. 환언하면, 투영 광학 시스템의 상 측(웨이퍼 측)의 사출 동공 위치가 무한히 먼 것으로 가정하면, 상술한 식 (3)에 의해 물체 평면(레티클 평면)으로부터 입사 동공까지의 거리 E는 F/B이다. 따라서, 상기 값에서 최대의 물체 높이 h를 나눈 몫 BH/F는 투영 광학 시스템의 상 측(웨이퍼 측)의 사출 동공 위치가 무한히 먼 것으로 가정하면, 근접 축 광선 궤적에 의해 부여된, 투영 광학 시스템에 입사하는 광속의 물체 측(레티클 측)의 구배이며, 상기 몫은 동공 수차가 아닌 경우의 물체 측(레티클 측)의 최대 물체 높이 H에 있어서 광속의 주광선의 구배에 상당한다. 이 구배에 관하여, 조건 (III)이 부여된 것은 근접 축 광선 궤적에 의해 동공에 관련되는 수차를 규정하고, 적합하게는 결상 성능을 갖는 광학 시스템을 얻는 것이다.

조건 (III)의 상한값을 초과하면, 투영 광학 시스템의 사출 동공 위치가 무한히 먼 것으로 가정한 경우에, 투영 광학 시스템에 입사하는 유한한 물체 높이 h(≤H)로부터의 광속의 주광선의 구배가 조건 (II)을 만족한다고 하면, 근접 축 광선 궤적에 의해 규정되는 광속의 주광선의 구배는 매우 크게 된다. 이것은 텔레센트리시티로부터의 편차가 작은 광학 시스템에는 원래 적합하지 않는 특성을 갖는 광학 시스템이 그 투영 광학 시스템에 입사하는 실제의 유한 물체 높이 h로부터의 광속 의 주광선의 구배를 강제적으로 개선하는 것으로 되어, 필요 이상으로 광학 시스템을 복잡하게 하여 적합하지 않은 것으로 된다. 또한 텔레센트리시티로부터의 편차가 작고 구성 요소가 적은 투영 광학 시스템을 실현하기 위해서는 조건 (III)을 |BH/F|≤6.5/1000으로 하여 상한값을 6.5/1000으로 하는 것이 보다 접합하다.

또한, 텔레센트리시티로부터의 편차가 충분히 작은 투영 광학 시스템을 실현하기 위해서는 하기의 조건 (IV)을 만족하는 것이 바람직하다.

$$|Fh/(BHe)| \leq 4 \quad (Ⅳ)$$

또한 상기 조건 (IV)은 하기 식에 근거한다.

$$|Fh/(BHe)| = |h/e| / |BH/F| \quad (13)$$

조건 (IV)는 투영 광학 장치의 물체 측에 입사하는 광속의 주광선의 구배에 상당하는 조건 (II)과 근접 축 광선 궤적에 의해 부여되는 조건 (III)과의 비를 나타낸다. 환언하면, 조건 (IV)는 조건 (III)이 근접 축 광선 궤적으로 어느 정도 제어될 때에 조건 (II)를 어느 정도 허용하는 것이 적합한가를 나타내고, 근접 축 광선 궤적과 실제의 광선 궤적간의 최적인 균형을 부여한다. 상기 조건 (IV)의 상한을 초과하면, 근접 축 광선 궤적으로 결정되는 값을 충분히 제어하는 것과 관계없이, 투영 광학 시스템에 입사하는 실제의 유한 물체 높이 h로부터의 광속의 주광선의 구배가 근접 축 평가로부터도 나쁜 조건으로 사용되며, 광학 시스템의 잠재적인 성능이 충분히 이용되지 않으므로 적합하지 않다. 또한 소정의 텔레센트리시티는 유지하면서, 구성 요소의 수가 보다 적은 투영 광학 시스템을 실현하기 위해서는 조건 (IV)를 |Fh/(BHe)|≤2로 하여 상한값을 2로 하는 것이 보다 적합하다.

이상과 같이, 상술한 조건 (Ⅰ) 및 (Ⅱ)를 만족하면, 입사 광속 및 사출 광속의 양쪽의 텔레센트리시티로부터의 편차의 영향이 거의 무시되는 투영 광학 시스템을 구성하는 것이 가능하다. 또한 근접 축 광선 궤적을 이용한 조건 (III)을 만족하면, 텔레센트리시티로부터의 편차가 작은 투영 광학 시스템을 용이차게 얻을 수 있다. 또한, 조건 (IV)를 만족하면, 텔레센트리시티로부터의 편차가 작고, 본래 가지고 있는 잠재적인 성능이 충분히 활용되는 투영 광학 시스템을 형성하는 것이 가능하다.

또한, 투영 광학 시스템이 기본적으로 제 1 물체 측으로부터 보아 순차로, 정의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹과, 실질적으로 어포컬 시스템으로부터 구성되는 제 2 렌즈 그룹과, 정의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈 그룹을 포함한 기본 구성의 경우에는, 제 1 렌즈 그룹 G1의 초점 거리 f_1 과 제 2 렌즈 그룹 G3의 초점 거리 f3간의 최적비가 이하에 나타낸 바와 같이 만족되는 것이 바람직하다.

$$0.80 \leq f_3/f_1 \leq 1.5 \quad (V)$$

조건 (V)는 큰 노광 영역을 유지함과 동시에 높은 개구수 NA를 실현하여 높은 해상도를 갖는 투영 광학 시스템을 달성하기 위한 것이다. 여기에서 상기 조건을 설명하기 전에, 본 발명의 투영 광학 시스템의 기본적인 구성을 검토한다.

제 2 도에 도시하는 바와 같이, 본 발명의 투영 광학 시스템은 기본적으로 물체 측(레티클 측)으로부터 보아 순차로 정의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹 G1과 실질적으로 어포컬 시스템으로부터 구성되는 제 2 렌즈 그룹 G2와 정의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈 그룹 G3을 포함하는 구성으로 되어있다.

또한, 제 2 도에 있어서, 물체(레티클) 상의 물체 높이 h가 제로인 점 (레티클과 투영 광학 시스템의 광축이 교차하는 점)으로부터 실선으로 나타내는 광선은 축상 물점(물체의 중심)으로부터의 근접 축 주변 광선(근접 축 마지널 광선)을 나타내고 있으며, 물체 높이 h(광축으로부터의 물체 높이 h)의 위치로부터 파선으로 나타내고 있는 광선은 축선 외의 (축을 벗어난) 물점으로부터의 근접 축 주변 광선(근접 축 마지널 광선)을 나타내고 있다. 본 발명에 있어서, 근접 축 주변 광선(근접 축 마지널 광선)으로 정의되는 것은 어느 발산 각도를 가지고 있는 물점으로부터 나온 광선이 광학 시스템에 입사할 때에 주변 가장자리(외측) 입사 광선을 근접 축 광선 궤적으로 구한 것이다.

상술한 렌즈의 구성에 기초하여 콤팩트성 및 큰 노광 영역을 유지하면서 높은 해상도를 갖는 투영 광학 시스템을 얻기 위해서는, 화각(畵角)에 기인하는 수차 혹은, 물체 높이 H에 기인하는 수차(상면 만곡, 비점 수차, 코마 수차 및 왜곡 수차 등의 축 외 광속에 의한 수차) 및 투영 광학 시스템의 상 측의 개구수 NA에 관계하는 수차 즉, 해상도에 관한 수차(구면 수차와 같은 축상 광속에 기인하는 수차)를 균형 있게 보정하는 것이 필요하다.

상기 목적을 위해, 제 3 도에 도시한 바와 같이, 제 1 렌즈 그룹 G1의 물체 측(레티클 측)의 개구수 NAa와 제 2 렌즈 그룹 G2로부터 나온 주광선과 광축간의 입사각의 정현값(이하의 기재에 있어서는 '제 2 렌즈 그룹의 사출 측의 동공에 관 계하는 개구수 NAd'라고 칭함)간의 비 및 제 3 렌즈 그룹 G3의 상 측(웨이퍼 측)의 개구수 NAb와 제 2 렌즈 그룹 G2에 입사하는 주광선과 광축간의 입사각의 정현값(이하의 기재에 있어서는 '제 2 렌즈그룹의 입사측의 동공에 관계하는 개구수 NAb'라고 함)간의 비를 거의 동일하게 유지하는 것이 적합하다.

이것은 제 1 렌즈 그룹 G1의 개구수 NAa와 제 2 렌즈 그룹의 입사측의 동공에 관한 개구수 NAc에 관계하는 투영 광학 시스템의 수차를 보정할 때의 부하와, 제 3 렌즈 그룹 G3의 상 측(웨이퍼 측)의 개구수(NAb)와 제 2 렌즈 그룹 G2의 사출측의 동공에 관계하는 개구수(NAd)에 관한 투영 광학 시스템의 수차를 수정할 때의 부하를 동일하게 하는 것을 의미한다.

상술한 관계를 수식화하여 나타내면 하기의 식 (14) 및 (15)가 얻어진다.

$$NAa : NAd = NAb : NAc \quad (14)$$

$$NAa \times NAc = NAb \times NAd \quad (15)$$

따라서 투영 광학 시스템의 투영 배율을 B로 나타내고 제 1 렌즈 그룹 G1의 초점 거리를 f_1로 나타내고, 제 3 렌즈 그룹 G3의 초점 거리를 f_3으로 나타내고, 투영 광학 시스템의 광축으로부터의 최대 물체 높이(예를 들면, 레터클 상의 사용 가능한 유효 패턴 영역에 있어서 대각선의 길이의 절반)를 H로 나타내면, 상술한 식(15)는 하기의 식 (16)으로 변형할 수가 있다.

$$(NAb \cdot B) \times (H/f_1) = NAb \times (H \cdot B/f_3) \quad (16)$$

또한, 상기 식 (16)은 최종적으로 하기의 식 (17)을 도출한다.

$$f_1 = f_3 \quad (17)$$

상술한 식 (17)으로부터 제 1 렌즈 그룹 G1의 초점 거리 f_1과 제 3 렌즈 그룹 G3의 초점 거리 f_3을 거의 동등하게 함으로써 화각에 관계하는 수차(상면 만곡, 비점 수차, 코마 수차, 왜곡 수차) 및 투영 광학 시스템의 상 측의 개구수에 관계하는 수차(구면 수차)를 균형 있게 보정하는 것이 가능하게 되며, 큰 노광 영역을 유지하면서 개구수가 높고 해상도가 높은 투영 광학 시스템을 얻을 수 있는 것으로 이해된다.

이와 같이 각종 수차의 균형 및 넓은 노광 영역을 유지하기 위해서는 상술한 식 (17)을 만족시키는 것이 이상적이지만, 실제로는 상술한 조건 (V)의 범위를 만족하는 것으로 충분하다.

그러나, 조건 (V)의 하한값을 초과하는 경우, 제 1 렌즈 그룹 G1의 초점 거리 f_1을 일정하게 하면, 제 3 렌즈 그룹의 초점 거리 f_3이 짧게 되며, 제 2 렌즈 그룹의 사출 측의 동공에 관계하는 개구수 NAb가 크게 된다. 그 결과 투영 광학 시스템의 상 측의 개구수에 관계하는 수차(구면 수차)를 보정하여 상 측(웨이퍼 측)의 개구수(NAb)를 증대시키면서 화각에 관계하는 수차(상면 만곡, 이점 수차, 코마 수차 및 왜곡 수차)를 양호하게 보정하는 것이 곤란하게 되며, 따라서 우수한 결상성능을 얻는 것이 불가능하게 된다.

역으로, 제 3 렌즈 그룹 G3의 초점 거리 f_3을 일정하다고 하면 제 1 렌즈 그 룹 G1의 초점 거리 f_1이 길어지게 되며, 투영 광학 시스템의 상 측의 개구수에 관한 수차(구면 수차) 및 화각에 관한 수차(상면 만곡, 이점 수차, 코마 수차 및 왜곡 수차)를 보정하는 것은 비교적 용이하지만, 물체면(레티클면)으로부터 투영 광학 시스템의 제 1 렌즈면까지의 거리(d_0)는 길게 된다. 그 때문에 투영 광학 시스템의 전장(全長)뿐만 아니라, 렌즈 지름도 크게 되어 투영 광학 시스템을 콤팩트하게 유지하는 것이 매우 곤란하다. 조건 (V)의 상한값의 상한을 초과한 경우, 제 1 렌즈 그룹 G1의 초점 거리 f_1을 일정하다고 하면, 제 3 렌즈 그룹 G_3의 초점 거리 f_3이 길어지게 되며, 따라서 투영 광학 시스템의 상 측의 개구수에 관한 수차(구면 수차) 및 화각에 관한 수차(상면 만곡, 비점 수차, 코마 수차 및 왜곡 수차)를 보정하는 것은 비교적 용이하게 되지만, 투영 광학 시스템의 최후의 렌즈면으로부터 상면(웨이퍼면)까지의 거리는 길게 된다. 그 때문에 투영 광학 시스템의 전장 및 렌즈의 직경이 길어져, 투영 광학 시스템을 소형화하는 시도는 불가능하게 된다. 반대로 제 3 렌즈 그룹 G3의 초점 거리 f_3을 일정하게 하면, 제 1 렌즈 그룹 G1의 초점 거리 f_1은 짧아지고, 제 2 렌즈 그룹의 입사 측의 동공에 관한 개구수 NAa가 커져 화각에 관한 수차(상면 만곡, 비점 수차, 코마 수차

및 왜곡 수차)를 양호하게 하는 것이 곤란하며, 그 결과 바람직한 결상 성능을 얻을 수가 없다. 또한 투영 광학 시스템을 보다 콤팩트하게 유지하면서 보다 적합한 결상 성능을 얻기 위해서는 $f_3/f_1 \leq 1.2$로 하여 조건 (V)의 상한값을 1.2로 하는 것이 보다 적합하다. 이에 따라, 제 3 렌즈 그룹 G3의 초점 거리 f_3의 길이를 제어할 수 있으며 개구수 NAb가 크게 되어도 제 3 렌즈 그룹 G3의 유효 구경이 증대하는 것을 저지할 수가 있다.

또한, 더욱 충분하게 소형화한 광학 시스템으로 하기 위해서는 상술 조건에 더하여 하기의 조건 (VI)도 만족하는 것이 적합하다.

$$0.05 \leq f_1/L \leq 0.3 \qquad (VI)$$

상기 식은 f_1이 제 1 렌즈 그룹 G1의 초점 거리를 나타내고, 또한 L이 제 1 물체(레티클)와 제 2 물체(웨이퍼)간의 거리(물체와 상간의 거리)를 표시함으로써 부여된다.

조건 (V)은 제 1 렌즈 그룹 G1의 초점 거리(f_1) 및 물체와 상과의 거리 L의 최적비를 부여함으로써, 투영 광학 시스템의 전장을 짧게 한다.

조건 (VI)의 상한값을 초과하면, 투영 광학 시스템을 콤팩트하게 유지하는 것이 곤란하게 되는데, 그 이유는 투영 광학 시스템의 전장이 길어지기 때문이다. 반대로 조건 (VI)의 하한값을 초과하면, 각종 수차를 보정하는 것이 곤란하게 되지만, 그 이유는 투영 광학 시스템의 전장이 길어지기 때문이다. 반대로, 조건 (VI)의 하한값을 초과하면, 그 수차를 보정하는 것이 곤란하게 된다. 그 이유는 제 1 렌즈 그룹 G1의 파워(굴절력)가 물체와 상간의 거리 L에 대하여 너무 강하게 되기 때문이다. 또한, 투영 광학 시스템 전체의 수차를 충분히 보정하기 위해서는 조건(VI)을 $0.15 \leq f_1/L$로 하여 하한값을 0.15로 하는 것이 보다 적합하다.

또한, 투영 광학 시스템의 전장을 충분히 짧게 하기 위해서는 하기의 조건(VII)을 만족하는 것이 바람직하다.

$$0.03 \leq H/L \leq 0.2 \qquad (VII)$$

상기 식에 있어서 H는 제 1 물체(레티클) 상의 투영 광학 시스템의 광축으로부터 최대 물체 높이(레티클 상의 사용 가능한 유효 패턴 영역 중의 대각선의 길이의 절반)를 나타내고, L은 제 1 물체(레티클)와 제 2 물체(웨이퍼)간의 거리(물체와 상간의 거리)를 나타내고 있다. 조건 (VII)은 또한 최대 물체 높이 H에 대한 물체와 상간의 거리 L의 최적비를 부여한다. 최대 물체 높이 H에 대한 물체와 상간의 거리 L이 조건 (VII)의 하한값을 초과하여 길어지면, 광학 시스템을 콤팩트하게 유지하는 것이 불가능하게 된다. 그 이유는 투영 광학 시스템의 전장이 너무 길기 때문이다. 반대로 조건 (VII)의 상한값을 초과하면, 각종 수차를 결상면 전면(全面)(웨이퍼 전면)에 걸쳐서 양호하게 보정하는 것이 곤란하게 된다. 또한 상면을 평탄하게 유지하면서 결상면 전체에 수차를 양호하게 하기 위해서는 조건 (VII)를 $H/L \leq 0.1$로 하여 상한값은 0.1로 하는 것이 보다 적합하다.

또한, 전부가 구면 광학 요소에 의해 구성된 경우에 각종 수차를 보정할 때의 자유도를 유지하면서 각종 수차를 균형있게 보정하기에는 제 1 렌즈 그룹 G1이 적어도 2개 또는 그 이상의 정의 렌즈를 구비하고 제 2 렌즈 그룹 G2가 적어도 4개 또는 그 이상의 부의 렌즈 및 적어도 4개 또는 정의 렌즈를 구비하고, 제 3 렌즈 그룹 G3이 적어도 2개 또는 그 이상의 정의 렌즈를 구비하는 것이 바람직하다. 또한, 각 렌즈 그룹에 관하여 구면 광학 요소는 없고, 1개 또는 그 이상의 비구면 광 학 요소를 사용하는 경우에는, 광학 시스템 전체를 구성하는 광학 요소의 수를 줄이며 보다 높은 투과율을 얻어 광학 시스템을 가볍게 할 수 있으며 또한, 동일수의 요소를 사용한 경우에는, 광학 시스템이 보다 높은 성능(보다 높은 NA 및 보다 큰 시야)을 갖는 것이 가능하다.

이상에 있어서는 물체 측(레티클 측)으로부터 보아 순차로 정의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹 G1과 실질적으로 어포컬 시스템으로 이루어진 제 2 렌즈 그룹 G2와 정의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈 그룹 S3을 포함한 렌즈 그룹 구성에 기초하여 투영 광학 시스템을 설명했다. 다음에 설명하는 것은 투영 광학 시스템의 전체로서 콤팩트하게 유지하고, 또한 상면 만곡을 양호하게 보정하기 위한 제 2 렌즈 그룹 G2의 적합한 구조이다. 실질적으로 어포컬 시스템으로 이루어진 제 2 렌즈 그룹 G2가, 제 2 도 및 제 3 도에 나타난 바와 같이, 물체 측(레티클 측)으로부터 보아 순차로 부의 굴절력을 갖는 제 1 서브렌즈 그룹 G21과 정의 굴절력을 가진 제 2 서브 렌즈 그룹 G22와, 부의 굴절력을 가진 제 3 서브렌즈 그룹 G23을 적어도 구비하는 것이 바람직하다.

처음에, 제 2 렌즈 그룹 G2의 부의 제 1 서브렌즈 그룹 G21 및 제 2 서브렌즈 그룹 G22가 역 갈릴레오 시스템(reverse-Galileo system)(혹은 리트로 포커스 시스템;retro-focus system)을 형성하기 위해 주점(principal point)을 상측(웨이퍼 측)으로 위치시켜 물체 평면(레티클 평면)으로부터 투영 광학 시스템까지의 거리를 짧게 하여, 투영 광학 시스템의 전장을 짧게 하고 있다. 또한, 제 2 렌즈 그룹 G2의 제 3 서브렌즈 그룹 G23은 주로서 페츠발 합(Petzval sum)의 보정에 기여 하고, 상면 만곡을 만족하게 보정함으로써 상면을 평탄하게 한다.

또한, 상술한 제 1서브렌즈 그룹 G21 및 제 2 서브렌즈 그룹 G22가 역 갈릴레오 시스템을 형성하므로, 투영 광학 시스템의 입사 동공이 물체 평면(레티클 면)에 근접하게 될 우려가 있지만, 제 1 정의 렌즈 그룹 G1의 뒤쪽 초점(secondary focal point)(상 측 초점 또는 웨이퍼 측 초점)을 제 2 렌즈 그룹 G2 이하의 광학 시스템의 입사 동공 위치에 대체로 합치시키는 것이 바람직하다. 이에 따라 촬영 광학 시스템의 전장을 짧게 유지함과 동시에, 투영 광학 시스템의 입사 동공 위치를 물체면 (레티클 면)으로부터 분리하여 위치시키는 것이 가능하게 된다.

상술한 제 2 렌즈 그룹 G2의 기본 구성에 따라, 광학 시스템을 충분히 콤팩트하게 유지함과 동시에 제 2 렌즈 그룹 G2가 만족하게 수차를 보정하도록 기능하기 위해 하기의 조건 (VIII) 및 (IX)을 더욱 만족하는 것이 바람직하다.

$$1.5 \leq |f_{22}/f_{21}| \leq 5 \qquad (VIII)$$

$$0.02 \leq |f_{23}/L| \leq 0.10 \qquad (IX)$$

상기 식에 있어서 제 1 서브렌즈 그룹 G21의 초점 거리는 f_{21}로 표시되며, 제 2 서브렌즈 그룹 G22의 초점 거리는 f_{22}로 표시되며, 제 3 서브렌즈 그룹 G23의 초점 거리는 f_{23}으로 표시된다.

조건 (VIII)은 역 갈릴레오 시스템(또는, 리트로 포커스 시스템)을 구성하는 제 1 서브렌즈 그룹 G21 및 제 2 서브렌즈 그룹 G22에 대하여 최적인 배율을 부여 하는 것에 상당하고, 투영 광학 시스템의 전장을 콤팩트하게 유지하기 위한 조건이다. 조건 (VIII)의 하한값을 초과하면, 투영 광학 시스템을 콤펙트하게 유지하는 것은 곤란하게 된다. 또한 광학 시스템을 충분히 콤팩트하게 유지하기 위해서는 조건(VIII)의 하한값을 1.7로 하여 $1.7 \leq |f_{22}/f_{21}|$인 것이 보다 적합하다. 반대로 조건(VIII)의 상한값을 초과하면, 제 1 서브렌즈 그룹 G21의 초점 거리 f21이 짧게 되어 각종 수차를 보정하는 것이 극히 곤란하게 되며, 제 1 서브렌즈 그룹 G21의 초점 거리 f_{21}을 일정하게 하여도, 제 2 서브렌즈 그룹 G22의 초점 거리 f_{22}가 길게 되어 광학 시스템이 충분히 콤팩트하게 되지 않는다. 또한 제 1 서브렌즈 그룹 G21에 있어서 적절한 초점 거리를 부여함으로써 각종 수차의 보정을 보다 유리하게 하기 위해서는 조건 (VIII)은 $|f_{22}/f_{21}| \leq 3.5$로 하여 상한값을 3.5로 하는 것이 보다 적합하다.

또한, 조건 (IX)는 제 3 서브렌즈 그룹 G23이 패츠발 합을 보정하는 기능을 충분히 담당하기 위한 조건이다. 조건 (IX)의 하한값을 초과하면, 제 3 서브렌즈 그룹 G23의 초점 거리 f_{23}이 너무 짧게 되어, 각종 수차를 보정하는 것이 곤란하게 되며, 또한 반대로 조건 (IX)의 상한값을 초과하면, 페츠발 합의 보정이 불충분하게 되어 상면을 평탄화하는 것이 곤란하게 된다. 또한, 페츠발 합을 충분하게 보정하기 위해서는 조건 (IX)을 $|f_{23}/L| \leq 0.08$로 하여 상한값을 0.08로 하는 것이 보다 적합하다.

또한, 투영 광학 시스템의 입사 동공을 물체로부터 떼어놓기 위해서는 하기의 조건 (X)을 만족하는 것이 바람직하다.

$$4 \leq |fa/f_{23}| \qquad (X)$$

상기 식에 있어서는 정의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹 G1, 제 2 렌즈 그룹 G2에 있어서, 부의 굴절력을 갖는 제 1 서브렌즈 그룹 G21 및 제 2 렌즈 그룹 G2에 있어서, 정의 굴절력을 갖는 제 2 서브렌즈 그룹 G22의 합성 초점 거리가 fa로 표시되며, 제 2 렌즈 그룹 G2의 제 3 서브렌즈 그룹 G23의 초점 거리가 f_{23}으로 표시되어 있다.

투영 광학 시스템의 입사 동공을 멀리 위치시키기 위해서는, 조건 (Ⅰ)을 만족하는 것이 바람직하다는 것은 상술한 바가 있지만, 이 사실을 충분히 보증하기 위해서는 조건 (Ⅰ)에 있어서 제 1 물체의 제 2 물체간의 거리 L과 투영 배율 B를 일정하게 하면, 전체 시스템의 초점 거리를 투영 배율 B 및 물체와 상간의 거리 L에 따라서 보다 길게 할 필요가 있다.

따라서, 조건 (X)는 투영 배율 B 및 제 1 물체와 제 2 물체간의 거리 L에 따라서 전체 시스템의 초점 거리를 보다 길게 하기 위한 조건을 도시하고 있지만, 그 이유는 투영 광학 시스템의 초점 거리 F의 비율을 크게 하기 위해서 각 그룹의 초점 거리를 단순히 길게 한 것으로는 물체와 상간의 거리 L도 길게 되기 때문이다. 환언하면, 제 1 렌즈 그룹 G1, 제 2 렌즈 그룹 G2의 제 1 서브렌즈 그룹 G21 및 제 2 서브렌즈 그룹 G22의 합성 초점 거리 fa가 제 3 서브렌즈 그룹의 초점 거리 f23 의 4배 또는 그 이상 긴 경우에는 제 1 물체와 제 2 물체간의 거리 L이 제어되고, 전체 시스템의 초점 거리가 투영 배율 B에 따라서 크게 유지된다. 또한, 이 조건 (X)의 범위를 만족하는 것은 부의 굴절력을 갖는 제 3 서브렌즈 그룹 G23의 초점 거리 f_{23}을 제 3 서브렌즈 그룹 fa보다도 작게 유지하는 것을 의미하고, 이에 따라 페츠발(Petzval) 합을 작게 함과 동시에 상면을 평탄하게 유지할 수 있다.

조건 (X)의 하한값을 초과하면, 전체 시스템의 초점 거리 F를 투영 배율 B 및, 제 1 물체와 제 2 물체간의 거리 L에 비교해서 크게 하는 것이 곤란할 뿐 아니라, 상면을 평탄하게 유지하는 것도 곤란하게 된다. 또한 광학 시스템 전체의 길이를 짧게 함과 동시에, 전체 시스템의 초점 거리를 길게 하기 위해서는 조건 (X)을 $4.4 \leq |fa/f_{23}|$으로서 하한값을 4.4로 하는 것이 보다 양호하다. 또한, 제 3 서브 렌즈 그룹 G23에 있어서, 적절한 초점 거리를 부여함으로써 각종 수차의 보정을 보다 유리하게 하기 위해서는 상한값을 설정하여 조건 (X)을 $|fa/f_{23}| \leq 8$로 하는 것이 보다 바람직하다.

또한, 제 1 물체(레티클)와 제 2 물체(웨이퍼)간의 거리(물체와 상간의 거리)를 L로 표시하고, 제 1 렌즈 그룹 G1의 초점 거리를 f_1로 표시하며, 제 3 렌즈 그룹 G3의 초점 거리를 f_3으로 표시하며, 제 2 렌즈 그룹의 물체 측으로부터 제 i 번째의 서브렌즈 그룹이 초점 거리를 f_{2i}로 표시하면, 하기 식을 만족하는 것이 바 람직하다.

$$-50 \leq (L/f_1)+(L/f_3)+\sum(L/f_{2i}) \leq 0.5 \qquad (XI)$$

상기 식에서, $\Sigma(L/f_{2i})$는 $(L/f_{21})+(L/f_{22})+\Sigma(L/f_{23})$...을 표시하고, i는 1, 2, 3...(자연수)이다.

조건 (XⅠ)에 있어서는, 부의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹의 초점 거리와 비교해서 보다 양호한 초점 거리를 정의 굴절력을 갖는 렌즈 그룹에 부여함으로써, 투영 광학 시스템 전체의 초점 거리 F를 보다 크게 하여 텔레센트리시티로부터의 편차를 적절하게 하고 있다. 동시에 제 2 렌즈 그룹 G2의 부의 굴절력을 갖은 제 1 서브렌즈 그룹 G21과 제 3 서브렌즈 그룹 G23의 굴절력의 절대값을 비교적 크게 유지하는 것도 가능하며, 따라서 페츠발 합의 보정에 기여함으로써 상면의 평탄성을 확보할 수가 있다.

조건 (XⅠ)의 상한값을 초과하면, 투영 광학 시스템의 초점 거리 F를 크게 하는 것 또는, 상면 만곡의 보정이 곤란하게 된다. 반대로, 조건 (XⅠ)의 하한값을 초과하면, 부의 굴절력이 너무 강해짐에 따라, 전체 시스템의 초점 거리 F를 크게 하는 것 및 상면 만곡을 보정하는 것이 곤란하게 된다. 상면을 또한 충분히 평탄하게 유지하면서 전장에 대한 전체 시스템의 초점 거리 F의 비율을 크게 하기 위해서는 조건 (XⅠ)을 $(L/f_1)+(L/f_3)+\Sigma(L/f_{2i}) \leq -10$으로서 상한값을 -10으로 하는 것이 보다 바람직하다.

또한, 각종 수차를 보정할 때에 자유도를 확보하면서 각종 수차를 보정하기 위해서는 모든 구성 요소가 구면 광학 요소인 경우에는 제 2 렌즈그룹 G2가 적어도 4개 또는 그 이상의 부의 렌즈 및, 적어도 4개 또는 그 이상의 정의 렌즈를 포함하도록 구성하는 것이 바람직하다는 것은 이미 설명했지만, 제 2 렌즈 그룹 G2의 보다 바람직한 구성은 적어도 2개 또는 그 이상의 부의 렌즈를 갖는 제 1 서브렌즈 그룹 G21과, 적어도 4개 또는 그 이상의 정의 렌즈를 갖는 제 2 서브렌즈 그룹 G22와, 적어도 2개 또는 그 이상의 부의 렌즈를 갖는 제 2 서브렌즈 그룹 G3을 포함하는 것이다.

또한, 양호한 구성에 있어서는 제 2 서브렌즈 그룹 G22 중 적어도 4개 또는 그 이상의 정의 렌즈 중에 적어도 2개의 정의 렌즈가 양쪽이 볼록인 렌즈(biconvex lenses)로 구성되는 것이 바람직하다.
또한, 제 2 렌즈 그룹 G3을 구성하는 각 서브렌즈 그룹에 관해서 구면 광학 요소가 아니고, 하나 또는 그 이상의 비구면 광학 요소를 사용하는 경우에는 광학 시스템 전체를 구성하는 광학 요소의 수를 감소시키고, 보다 높은 투과율을 확보하거나, 광학 시스템을 가볍게 할 수 있고, 동일한 수의 구성 요소를 사용한 경우에는 보다 성능이 높은(개구수가 많고, 시야가 크다) 광학 시스템을 얻는 것이 가능하게 된다.
그런데, 본 발명의 제 2 렌즈 그룹 G2는 실질적으로 어포컬 시스템을 구성하지만 반드시 완전한 어포컬 시스템으로 할 필요는 없다.
구체적으로 설명하면, 물체(레티클)의 물체 높이 h가 제로인 점(레티클과 투영 광학 시스템의 광축이 교차하는 점)을 축상 물점으로서, 근접 축 주변 광선 궤 적을 행하면, 근접 축 주변 광선의 구배의 변동량이 0으로 되는 경향을 도시하는 물체(레티클)에 가장 가까운 영역에 있어서, 구배가 0 또는 가장 0에 매우 가까운 값으로 되는 렌즈의 간격의 개소를 제 1 렌즈 그룹 G1과 제 2 렌즈 그룹 G2간의 경계로 하고, 또한 근접 축 주변 광선의 구배의 변동량이 0으로 되는 경향을 나타내는 상(웨이퍼 측)에 가장 가까운 영역에 있어서, 구배가 0또는 가장 0에 매우 가까운 값으로 되는 렌즈 간격의 개소를 제 2 렌즈 그룹 G2와 제 3 렌즈 그룹 G3간의 경계로 하는 경우에는 그와 같은 경우에 있어서의 제 2 렌즈 그룹 G2는 본 발명이 의미하는 어포컬 시스템의 정의에 포함된다.
따라서, 본 발명에서 의미하는 실질적인 어포컬 시스템인 제 2 렌즈 그룹 G2의 이해를 용이하게 하기 위해서 렌즈가 제 1 렌즈 그룹 G1내지 제 3 렌즈 그룹 G3으로 세분되는 상태를 제 4 도 내지 제 7 도를 참조하여 설명한다. 제 4 도 및 제 5 도를 근접 축 주변 광선 추적 시에 근접 축 주변 광선의 구배의 변동량이 0으로 되는 경향을 도시하는, 물체 측(레티클 측)에 가장 가까운 영역 a_1, a_2 에 있어서, 근접 축 주번 광선의 광로를 정성적(qualitatively)으로 도시하고 있고, 제 6 도 및 제 7 도는 근접 축 주변 광선의 구배의 변동량이 0으로 되는 경향을 도시하는, 상 측(웨이퍼 측)에 가장 가까운 영역 b_1, b_2 에 있어서 근접 축 주변 광선의 광로를 정성적으로 도시하고 있다. 단, 제 4 도 내지 제 7 도의 근접 축 주변 광선의 광로에 표시된 점은 근접 축 주변 광선이 통과하는 투영 광학 시스템의 각 렌즈 표면에서 광축 Ax으로부터의 높이를 도시한다.
최초에, 제 4 도는 투영 광학 시스템의 각 렌즈에 입사하는 근접 축 주변 광선의 높이가 가장 물체 측에 가까워서 극대로 되는 경향을 도시하는 위치 또는 그 부근을 포함하는 영역 a_1 에 있어서의 근접 축 주변 광선의 구배를 도시하고 있다. 이 경우에는 제 1 렌즈 그룹 G1과 제 2 렌즈 그룹 G2간의 경계는 근접 축 주변 광선의 구배가 영역 a_1 에 제로 또는 가장 제로에 가깝게 되는 렌즈 간격 d_{a1} 의 중간 위치에 있다.
제 5 도는 구배가 증대하는 경향이 있을 때의 근접 축 주변 광선의 구배를 도시하고 있다. 이 영역 a_2 에 있어서는 투영 광학 시스템의 각 렌즈에 인사하는 근접 축 주변 광선의 구배 변동은 투영 광학 시스템의 가장 물체 측(레티클 측) 가까이에 있어서 0에 가깝게 되는 경향을 도시하고, 그 구배는 0부근으로 된다. 이 경우에 제 1 렌즈 그룹 G1과 제 2 렌즈 그룹 G2간의 경계는 근접 축 주변 광선의 경사 각도가 영역 a_2 에 있어서 제로 또는 제로에 가깝게 되어 있는 렌즈 간격 d_{a2} 의 중간 위치로 된다.
제 6 도는 투영 광학 시스템의 각 렌즈에 입사하는 근접 축 주변 광선의 높이가 가장 상 측에 가까워서 극대로 되는 경향을 도시하는 위치 또는 그 부근을 포함하는 영역 b_1 의 광선의 경사를 도시하고 있다. 이 경우에는 제 2 렌즈 그룹 G2와 제 3 렌즈 그룹 G3간의 경계는 근접 축 주변 광선의 경사각도가 영역 b_1 에서 제로 또는 제로에 가장 가깝게 되어 렌즈 간격 d_{b1} 의 중간 위치로 된다.
제 7 도는 근접 축 주변 광선의 구배가 감소하는 경향이 있을 때, 근접 축 주변 광선의 경사를 도시하고 있다. 이 영역 b_2 에 있어서는 투영 광학 시스템의 각 렌즈에 입사하는 근접 축 주변광선의 구배의 변동은 가장 상 측(웨이퍼 측) 부근에 있어서 0에 가깝게 되는 경향을 도시하고, 그 구배는 0에 가깝게 된다. 이 경우에는 제 2 렌즈 그룹 G2와 제 3 렌즈 그룹 G3간의 경계는 근접 축 주변 광선의 경사각도가 영역 b_2 에서 제로 또는 제로에 가깝게 되는 렌즈 간격 즉, 스페이스 d_{b2} 의 중간 위치에 있다.
제 2 렌즈 그룹 G2 제 1 렌즈 그룹 G1내지 제 3 렌즈 그룹 G3을 포함하는 상술한 렌즈 구성에 의해서 어포컬 시스템으로서 충분히 기능하기 위해서는 물체(레티클) 상에서 축상 물점으로부터의 근접 축 주변 광선의 제 1 렌즈 그룹 G1에 입사할 때의 근접 축 주변 광선의 입사 각도를 U_2 로 표시하고, 물체(레티클) 상에 축상 물점으로부터의 근접 축 광선이 제 2 렌즈 그룹 G2로부터 사출할 때에, 근접 축 주변 광선의 사출각을 $U_{2'}$ 로 표시하며, 물체(레티클)상에서 축 방향의 초점으로부터의 근접 축 주변 광선이 제 3 렌즈 그룹 G3으로부터 사출될 때에 근접 축 광선의 사출각을 $U_{3'}$ 로 표시하면, 하기 식을 만족하는 것이 바람직하다.

$$|u_2/u_1| \leq 0.5 \qquad (XII)$$

$$|u_2'/u_3'| \leq 0.5 \qquad (XIII)$$

조건 (XII) 및 (XIII)을 만족시키지 않으면, 화각에 관한 수차(상면 만곡, 비점 수차, 코마 수차 및 왜곡 수차) 및, 투영 광학 시스템의 상 측의 개구수 NA에 관한 수차(구면 수차)를 균형 있게 보정하는 것이 곤란하게 되고, 또한 본 발명의 목적으로서 상술한 종류의 투영 광학 시스템을 실현하는 것이 불가능하게 된다. 또한, 화각에 관한 수차 및, 투영 광학 시스템의 상 측의 개구수 NA에 관한 수차를 균형 있게 하기 위해서는 조건 (XII) 및(XIII)을 각각 $|U_2/U_1| \leq 0.3$ 및 $|U_{2'}/U_{3'}| \leq 0.3$으로서 각각의 상한값을 0.3으로 하는 것이 보다 양호하다.
또한, 사실상 어포컬 시스템인 제 2 렌즈 그룹 G2를 충분히 기능시키기 위해서는 하기 식을 만족시키는 것이 또한 바람직하다.

$$|f_2|/f_1 > 1 \qquad (XIV)$$

$$|f_2|/f_3 > 1 \qquad (XIV)$$

상기 식에 있어서는 제 1 렌즈 그룹 G1의 초점 거리가 f_1로 표시되고 제 2 렌즈 그룹 G2의 초점 거리를 f_2로 표시하며, 제 3 렌즈 그룹 G3의 초점 거리가 f_3으로 표시되어 있다.

조건 (XIV)이 만족되지 않는다면, 제 1 렌즈 그룹 G1로 물체 측(레티클측)의 텔레센트리시티로부터의 편차를 적게 하는 것이 불가능하게 되고, 본 발명의 목적으로서 설명한 종류의 투영 광학 시스템을 얻을 수가 없게 된다. 또한, 충분히 작은 텔레센트리시티로부터의 편차를 확보하기 위해서는 조건 (XIV)을 $|f_2|/f_1 \leq 1.5$로서 하한값을 1.5 또는 그 이상으로 하는 것이 또한 바람직하다.

또한, 조건 (XV)의 관계로부터 이탈하여 제 2 렌즈 그룹 G2의 초점 거리가 음인 경우에는 제 2 렌즈 그룹 G2로부터 사출하는 근접 축 주변 광선은 발산한다. 이 때문에, 투영 광학 시스템의 상 측(웨이퍼 측)의 개구수 NA는 작게 되고, 높은 해상도를 갖는 투영 광학 시스템을 실현하는 것이 곤란하게 된다. 투영 광학 시스템의 상 측(웨이퍼 측)의 개구수 NA를 확보하도록 하면, 제 3 렌즈 그룹 G3의 렌즈 직경이 증대하고, 광학 시스템을 콤팩트하게 유지하는 것이 곤란하게 된다. 또한 조건 (XV)으로부터 이탈하여 제 2 렌즈 그룹의 초점 거리가 양으로 되면 투영 광학 시스템과 상 측(웨이퍼평면)간의 거리(백 포커스;back focus)를 확보하는 것이 불가능하게 되어 광학 시스템을 바람직하지 않은 것으로 한다. 이 때문에, 투영 광학 시스템과 상면(웨이퍼 표면)간의 거리(백 포커스)를 확보하도록 하면, 제 2 렌즈 그룹 G2의 렌즈 직경이 증대하며, 따라서 광학 시스템은 콤팩트성을 유지할 수가 없다. 또한, 투영 광학 시스템을 콤팩트하게 하면서 높은 결상 성능을 달성하기 위해서는 조건 (XV)을 $|f_2|/f_3 \geq 1.5$로 하여 하한값을 1.5 또는 그 이상으로 하는 것이 보다 바람직하다.

또한, 상술한 바와 같이, 제 2 렌즈 그룹 G2는 물체 측(레티클 측)으로부터 보아서 차례로 부의 굴절력을 갖는 제 1 서브렌즈 그룹 G21과, 정의 굴절력을 갖는 제 2 서브렌즈 그룹 G22와, 부의 굴절력을 갖는 제 3 서브렌즈 그룹 G23을 적어도 구비하는 것이 바람직하지만, 제 2 도 및 제 3 도에 도시한 바와 같이, 정의 굴절력을 갖는 제 4 서브렌즈 그룹 G24를 부의 굴절력을 갖는 제 3 서브렌즈 그룹 G23 의 상 측에 설치할 수도 있다. 이에 따라 투영 광학 시스템의 상 측(웨이퍼 측)의 개구부(NA)를 증대시키기 위해서 구면 수차의 수정에 크게 관계하는 제 3 의 제 3 렌즈 그룹 G3의 구면 수차 보정상의 부하를 제 4 서브렌즈 그룹 G24에 분담시키는 것이 가능하게 되고, 그 결과 구면 수차의 균형 있는 보정을 행할 수가 있다. 이 때에 제 1 서브렌즈 그룹 G21 및 제 2 서브렌즈 그룹 G22는 역 갈릴레오 또는 리트로 포커스 시스템을 구성하고, 제 3 서브렌즈 그룹 G23 및 제 4 서브렌즈 그룹 G24도 역 갈릴레오 또는 리트로 포커스 시스템을 구성한다. 따라서, 제 2 렌즈그룹 G2가 투영 광학 시스템을 콤팩트로 유지하는 것에 공헌하고, 2개의 부분적인 광학 시스템(역 갈릴레오 시스템 또는 리트로 포커스 시스템)을 갖는 것으로 되므로 제 4 서브렌즈 그룹 G24를 가하여도 사실상 투영 광학 시스템의 사이즈를 크게 하는 것은 아니다.

제 2 렌즈 그룹 G2가 4개의 서브렌즈 그룹을 갖는 경우에도, 상기 조건 (Ⅰ) 내지 (XV)가 적용될 수 있는 것은 말할 것도 없고, 또한, 제 4 서브렌즈 그룹 G24를 제 2 렌즈 그룹 중에 배치하는 경우에는 구면 수차의 충분한 보정을 행하기 위해서 G24가 적어도 2개 또는 그 이상의 정의 렌즈를 구비하는 것이 바람직하다.

또한, 제 2 렌즈 그룹이 물체 측(레티클 측)에서 보아서 차례로 부의 굴절력을 갖는 제 1 서브렌즈 그룹 G21, 정의 굴절력을 갖는 제 2 서브렌즈 그룹 G22 및, 부의 굴절력을 갖는 제 3 서브렌즈 그룹 G23 중 3개의 서브렌즈 그룹만 구비하지 않는 경우에는 제 2 서브렌즈 그룹 G22로부터 사출하는 광을 수속 광속으로 함으로써 제 3 서브렌즈 그룹 G23으로부터 사출하는 광을 거의 평행한 광속으로 할 수가 있다. 이 경우에도 상술한 조건 (Ⅰ) 내지 (XV)를 적용할 수가 있다. 따라서, 제 4 서브렌즈 그룹 G24의 구성은 제 2 렌즈 그룹을 구체적으로 구성할 때에 필수의 요건은 아니다.

이하의 기재에 있어서는 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 본 실시예의 투영 광학 시스템은 제 8 도에 도시한 투영 노광 장치에 적용되는 것이다.

먼저, 제 8 도를 간단히 설명하면, 도면에 도시한 바와 같이, 소정의 집적회로의 패턴이 형성되어 있는 투영용의 원판으로서의 레티클 R이 투영 광학 시스템(PL)의 물체면 상에 배치되고, 기판으로서의 웨이퍼 W가 투영 광학 시스템(PL)의 상면 상에 배치되어 있다. 레티클 R은 레티클 스테이지 RS에 의해 유지되어 있고, 웨이퍼 W는 웨이퍼 스테이지 WS에 의해 지지되고 있다. 또한, 레티클 R을 균일하게 조명하기 위해서 조명 광학 시스템(IS)이 레티클 R의 상방에 설치되고 있다.

상술한 구성에 따라서, 조명 광학 장치로부터 공급되는 광이 레티클 R을 조명하고, 또한 조명 광학 시스템(IS)의 광에 의해 투영 광학 시스템(PS)의 동공 위치(개구 조리개 AS의 위치)에는 광원상이 형성된다. 따라서, 소위 칼라 조사가 행해진다. 투영 광학 시스템(PL)에 의해 칼라 조사된 레티클 R 상의 패턴은 투영 광학계 PL에 의해 웨이퍼 W상에 노광(전사)되는 것으로 된다.

본 발명은 조명 광학 시스템(IS)의 내부에 배치되는 광원으로서 248mm의 노광 파장(λ)의 광을 공급하고, 엑시머 레이저를 사용한 때의 투영 광학 시스템의 예를 도시하고, 제 9 도 내지 제 14 도는 제 1 내지 제 6 실시예의 투영 광학 시스 템의 렌즈 구성을 도시하고 있다.

제 9 도 내지 제 14 도에 도시한 바와 같이, 상기 각 실시예의 투영 광학 시스템은 물체 측(레티클 측)에서 차례로 정의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹 G1과, 어포컬 시스템으로 이루어진 제 2 렌즈 그룹 G2와, 정의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈그룹 G3을 구비하고 있고, 제 2 렌즈 그룹 G2는 물체 측(레티클 측)에서 순서대로, 부의 굴절력을 갖는 제 1 서브렌즈 그룹 G21과, 정의 굴절력을 갖는 제 2 서브렌즈 그룹 G22과, 부의 굴절력을 갖는 제 3 서브렌즈 그룹 G23과, 정의 굴절력을 갖는 제 4 서브렌즈그룹 G24를 구비하고, 이 투영 광학 시스템은 물체 측(레티클 측) 및 상 측(웨이퍼 측)에 있어서 텔러센트리시티로부터의 편차가 매우 적은 광학 시스템이다.

제 9 도에 도시한 제 1 실시예의 투영 광학 시스템은 물체와 상간의 거리 L(물체 평면에서 상면까지의 거리 또는 레티클 R에서 웨이퍼 W까지의 거리)이 1000이고, 상 측의 개구수 NA가 0.56이며, 투영 배율 B이 1/4이고, 웨이퍼 W 상의 노광 영역의 직경이 23.4이라고 규정하는 형상을 갖고 있다.

제 9 도에 도시한 실시의 구체적인 렌즈 구성을 설명하면 정의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹 G1은 물체 측에서 보아 차례로, 그 볼록면을 상 측으로 향한 정의 메니스커스 렌즈(meniscus lens) L_{11} 과, 정의 양쪽 볼록 렌즈 L_{12} 로 구성되고, 또한 제 2 렌즈 그룹 G2의 제 1 서브렌즈 그룹 G21은 물체 측에서 보아 차례로, 상측의 면이 보다 큰 곡률을 갖는 부의 메니스커스 렌즈 L_{211} 과, 부의 양쪽 오목 렌즈(biconcave lens) L_{212} 와, 상 측의 면이 보다 큰 곡률을 갖는 부의 렌즈 L_{213} 과, 물체측의 면이 보다 큰 곡률을 갖는 부의 렌즈 L_{214} 를 구비하고 있다. 제 2 렌즈 그룹 G2의 제 2 서브렌즈 그룹 G22는 물체 측에서 보아 차례로, 상 측의 면이 보다 큰 곡률을 갖는 정의 렌즈 L_{221} 과, 3개의 정의 양쪽 볼록 렌즈 L_{222} ~L_{224} 와, 볼록면을 물체 측으로 향한 정의 메니스커스 렌즈 L_{225} 를 구비하고, 또한 제 2 렌즈 그룹 G2의 제 3 서브렌즈 그룹 G23은 물체 측에서 보아 차례로 상 측의 면이 보다 큰 곡률을 갖는 부의 렌즈 L_{231} 과, 부의 양쪽 오목 렌즈 L_{232} 와, 물체 측의 면이 보다 큰 곡률을 갖는 부의 렌즈 L_{233} 을 구비하고 있다. 제 2 렌즈 그룹 G2의 제 4 서브렌즈 그룹 G24는 물체 측에서 보아 차례로 상 측을 향한 오목면을 각각 갖는 2개의 정의 렌즈 L_{241} , L_{242} 와, 정의 양쪽 볼록 렌즈 L_{243} 을 구비하고, 또한 제 3 렌즈 그룹 G3은 물체 측에서 보아 차례로 물체 측을 향해 블록면을 갖는 2 개의 정의 렌즈 L_{31} , L_{33} 과, 물체 측을 향해 블록면을 갖는 부의 메니스커스 렌즈 L_{33} 과, 물체 측으로 향해 오목면을 갖는 정의 렌즈 L_{34} 를 구비하고 있다.

제 10 도에 도시한 제 2 실시예의 투영 광학 시스템은 물체와 상간의 거리 L가 1000이고, 상 측의 개구수 NA가 0.56이며, 투영 배율 B이 1/4이고, 웨이퍼 W 상의 노광 영역의 직경이 23.7인 것을 사용하고 있다.

제 2 실시예의 구체적인 렌즈 구성은, 제 10 도에 도시한 바와 같이, 기본적 으로는 제 9 도에 도시한 제 1 실시예의 구성과 동일하지만, 다른 점은 제 1 렌즈 그룹 G1의 제 2 정의 양쪽 볼록 렌즈 L_{12} 가 제 1 실시예의 렌즈보다도 얇은 렌즈를 구비하고, 또한 상 측의 면이 보다 큰 곡률을 가지며, 제 2 렌즈 그룹 G2의 제 1 서브렌즈 그룹 G21의 제 1 렌즈인 부의 메니스커스 렌즈 L_{211} 이 상기 제 1 실시예의 렌즈보다도 두꺼운 렌즈를 구비하고 있다.

제 11 도에 도시한 제 3 실시예의 투영 광학 시스템은 물체와 상과의 사시의 거리 L과 1000이고, 상 측의 개구수 NA가 0.60이며, 투영 배율 B가 1/4이고 웨이퍼 W의 노광 영역의 직경이 20.0인 것을 사용하고 있다.

제 3 실시예의 구체적인 렌즈 구성은, 제 11 도에 도시한 바와 같이, 상술한 제 1 실시예와 동일하지만 다른 점은 제 3 정의 양측 볼록 렌즈 L_{243} 이 제 1 실시예의 렌즈보다도 두꺼운 렌즈를 구비하고 있는 것이다.

제 12 도에 도시한 제 4 실시예의 투영 광학 시스템은 물체와 상간의 거리 L이 1000이고, 상 측의 개구수 NA가 0.60이며, 투영 배율 B가 1/4이고, 웨이퍼 W의 노광 영역의 직경이 20.0인 것을 사용하고 있다.

제 4 실시예의 구체적인 렌즈 구성은, 제 12 도에 도시한 바와 같이 상기 제 3 실시예의 렌즈 구성과 기본적으로 동일하다.

또한, 제 13 도에 도시한 제 5 실시예의 투영 광학 시스템은 물체와 상간의 거리 L이 1000이고, 상 측의 개구수 NA가 0.62이며, 투영 배율 B가 1/4이고, 웨이퍼 W의 노광 영역의 직경이 19.8인 것을 사용하고 있다.

제 5 실시예의 구체적인 렌즈 구성은, 제 13 도에 도시한 바와 같이, 상기 제 1 실시예의 렌즈 구성과 기본적으로 동일하지만, 물체 측을 향한 오목면을 가지며, 제 3 렌즈 그룹 G3의 제 4 렌즈인 정의 렌즈 L_{34} 의 상 측(웨이퍼 측)의 렌즈면은 비구면 형상이다.

또한, 제 6 실시예의 투영 광학 시스템은 물체와 상간의 거리 L이 1000이고, 상 측의 개구수 NA0이 0.6이며, 투영 배율 B가 1/4이고, 웨이퍼 W의 노광 영역의 직경이 23.3인 것을 갖고 있다.

제 6 실시예의 구체적인 렌즈 구성은, 제 13 도에 도시한 바와 같이, 제 5 실시예의 렌즈 구성과 동일하고, 물체 측을 향한 오목면을 가지며, 제 3 렌즈 그룹 G3 중의 제 4 렌즈인 정의 렌즈의 상 측(웨이퍼 측)의 렌즈면은 비구면 형상이다.

이하의 기재에 있어서는 본 발명에서 각 실시예의 각종의 값 및, 각 조건에 대응하는 수치를 리스트로 도시한다.

즉, 좌측의 수는 물체 측(레티클 측)에서의 표면의 번호를 표시하고, r은 렌즈표면의 곡률 반경을 표시하며, d는 렌즈면의 간격 즉, 스페이스를 표시하고, n은 노광 파장(λ)이 248nm인 때의 석영 글래스(SiO_2)의 굴절력을 표시하며, d_0 는 상 측(웨이퍼 측)에서 제 1 렌즈 그룹 G1에 있어서 물체 측(레티클 측)에 가장 가까운 렌즈면(제 1 렌즈면)까지의 거리를 표시하고, B는 투영 광학 시스템의 투영 배율을 표시하며, NA는 투영 광학 시스템의 상 측의 개구수를 표시하고, F는 전체 시스템의 초점 거리를 표시하고, L은 물체면(레티클면)과 상면(웨이퍼면)간의 거리를 표 시하며, e는 투영 광학 시스템의 광축에 대해서 평행한 투영 광학 시스템의 상 측(웨이퍼 측)에서의 광선이 투명 광학은 사출할 때에 있어서 그 사출 광선이 물체 측(레티클 측)에서의 연장선이 광축과 교차하는 위치와 물체면(레티클면)간의 거리를 표시하고, h는 투영 광학 시스템의 광축에 대해서 평행한 광선이 투영 광학 시스템의 상 측(웨이퍼 측)에서 투영 광학 시스템에 입사하여 상기 교차 위치를 결정하며, 최종적으로 물체(레티클)의 최대 높이를 표시하며, f_1 은 제 1 렌즈 그룹 G1의 초점 거리를 표시하고, f_2 는 제 2 렌즈 그룹 G2의 초점 거리를 표시하며, f_3 은 제 3 렌즈 그룹 G3의 초점 거리를 표시하고, f_{21} 은 제 1 서브렌즈 그룹 G21의 초점 거리를 표시하며, f_{22} 는 제 2 서브렌즈 그룹 G_{22} 의 초점 거리를 표시하며, f_{23} 은 제 3 렌즈 그룹 G23의 초점 거리를 표시하며, u_1 은 물체(레티클) 상에서 축상 물점(레티클 중심)으로부터의 근접 축 주변 광선의 입사각을 표시하고, u_2 는 물체(레티클) 상에서 축상 물점(레티클 중심)으로부터의 근접 축 주변 광선이 제 2 렌즈 그룹 G2에 입사할 때의 근접 축 주변 광선의 입사각도를 표시하며, $u_{2'}$ 는 물체(레티클) 상의 축상 물점(레티클 중심)으로부터의 근접 축 주변 광선이 제 2 렌즈 그룹 G2로부터 사출할 때의 근접 축 주변 광선의 사출각을 표시하고, $u_{3'}$ 은 물체(레티클) 상의 축상 물점(레티클 중심)으로부터의 근접 축 주변 광선이 제 3 렌즈 그룹 G3에서 사출할 때의 근접 축 주변 광선 사출 각도를 표시하며, AS는 그 수가 상자의 중심에 도시되는 렌즈면의 정점으로부터의 축상 거리를 표시함으로써 개구 조리개 위치를 표 시하고 있다.

또한 제 5 및 제 6 실시예의 투영 광학 시스템은 그 일부의 면이 비구면 형상이고, 이 비구면은 이하와 같이 표시할 수 있다.

$x = (y^2/r)/[1+(1-k(y^2/r^2))^{0.5}] + A4 \cdot y^4+A6 \cdot y^6+A8 \cdot y^8+A10 \cdot y^{10}$

상기 식에 있어서, 광축의 축 방향은 x로 표시되고, 또한 광축과 각각으로 교차하는 방향은 y로 표시되어 있다. 또한, 상기 식에서 k는 원추정수를 나타내고, A4, A6, A8 및 A10은 비구면 계수를 나타내며, r은 근접 축 곡률 반경을 나타낸다. 제 5 및 제 6 실시예의 각종 항의 값으로는 원추정수(k) 및, 비구면 계수(A4, A6, A8, A10)만이 도시되어 있다.

표 1

	r	d	n
1	-617.8800	30.375	1.5084
2	-207.0893	0.934	
3	201.9739	68.636	1.5084
4	-416.6217	0.865	
5	460.0439	7.061	1.5084
6	179.6999	15.608	
7	-373.0162	6.952	1.5084
8	249.4960	30.983	
9	-2591.2236	11.541	1.5084
10	229.2357	33.165	
11	-82.3025	11.524	1.5084
12	569.8191	9.159	
13	5523.6251	36.703	1.5084
14	-156.8200	0.889	
15	610.3354	41.168	1.5084
16	-221.8862	0.883	
17	528.5938	26.903	1.5084
18	-570.2004	0.883	
19	423.5775	21.883	1.5084
20	-1396.2999	0.883	
21	203.9075	22.715	1.5084
22	835.4548	67.972	
23	-735.8990	8.386	1.5084
24	104.6386	23.616	
25	-184.6683	11.034	1.5084
26	288.7053	58.171	
27	-74.5663	11.343	1.5084
28	2318.9745	11.371	
29	-238.4504	22.211	1.5084
30	-142.5176	1.323	
31	-5670.4690	39.484	1.5084
32	-146.6908	0.883	
33	654.7531	37.168	1.5084
34	-347.7071	0.883	
35	254.9142	31.600	1.5084
36	2133.1980	0.883	
37	164.8042	27.885	1.5084
38	349.3775	0.884	
39	108.9816	73.045	1.5084
40	75.6698	54.069	
41	46.2841	16.956	1.5084
42	99.3161	13.169	

d 0=107.954、b=1/4、NA=0.56、|F/(B・L)|=8.563、
|h/e|=2.790/1000, |BH/F|=5.465/1000
|Fh/(BIIe)|=0.511、f3/f1=0.847、f1/L=0.191、
H/L=0.0468、|f22/f21|=1.890、|f23/L|=0.0422、
|fa/f23|=4.472、
(L/f1)+(L/f3)+Σ(L/f21)=(L/f1)+(L/f3)+(L/f21)+(L/f22)+(L/f23)
+(L/f24)=-14.110、
|u2/u1|=0.257、|u2'/u3'|=0.119、
|f2|/f1=1.803、|f2|/f3=2.128
AS=-0.759(30)

표 2

	r	d	n
1	-918.0100	29.281	1.5084
2	-226.7230	1.015	
3	197.5077	35.504	1.5084
4	-436.3992	0.900	
5	401.4765	25.145	1.5084
6	169.5548	14.473	
7	-466.0571	7.085	1.5084
8	220.0642	25.179	
9	-2519.6149	11.761	1.5084
10	225.1572	46.410	
11	-83.4467	11.744	1.5084
12	575.7315	10.248	
13	4614.1788	34.259	1.5084
14	-159.8067	0.906	
15	630.2516	42.049	1.5084
16	-224.4420	0.900	
17	525.5979	27.738	1.5084
18	-577.7859	0.900	
19	421.4433	22.686	1.5084
20	-1393.5376	0.900	
21	207.4893	29.821	1.5084
22	827.0193	58.785	
23	-787.7625	8.546	1.5084
24	104.7597	24.059	
25	-195.7892	11.245	1.5084
26	291.7525	60.021	
27	-75.8912	11.560	1.5084
28	2363.2066	11.580	
29	-287.0462	22.500	1.5084
30	-145.9749	1.348	
31	-5220.9017	40.372	1.5084
32	-149.1133	0.900	
33	669.4812	34.560	1.5084
34	-352.4399	0.900	
35	259.9778	32.204	1.5084
36	2252.3734	0.900	
37	168.0113	28.182	1.5084
38	357.0361	0.901	
39	111.0821	74.558	1.5084
40	77.6094	54.365	
41	48.1923	18.000	1.5084
42	104.8219	13.194	

d 0=112.420、b=1/4、NA=0.56、|F／(B・L)|=7.401、
|h／e|=2.911/1000,|BH／F|=6.405/1000
|Fh／(BHe)|=0.454、f3／f1=0.882、f1／L=0.186、
H／L=0.0474、|f22／f21|=1.913、|f23／L|=0.0430、
|fe／f23|=4.433、
(L/f1)+(L/f3)+Σ(L/f2i)=(L/f1)+(L/f3)+(L/f21)+(L/f22)+(L/f23)
+(L/f24)=-13.901、
|u2／u1|=0.252、|u2'／u3'|=0.118、
|f2|／f1=1.835、|f2|／f3=2.079
AS=-5.581(3D)

표 3

	r	d	n
1	-597.3748	25.242	1.5084
2	-200.9166	0.911	
3	196.2951	67.818	1.5084
4	-409.7939	0.844	
5	529.6446	6.007	1.5084
6	181.3119	14.179	
7	-356.9113	6.776	1.5084
8	259.7156	29.718	
9	-1951.4288	11.249	1.5084
10	224.0588	33.845	
11	-80.3909	11.233	1.5084
12	559.5923	8.464	
13	7435.8600	38.209	1.5084
14	-154.1071	0.867	
15	578.7376	41.988	1.5084
16	-221.7634	0.860	
17	520.2543	27.091	1.5084
18	-580.8810	0.860	
19	434.8497	21.591	1.5084
20	-1469.6787	0.860	
21	203.8777	23.215	1.5084
22	822.6243	71.754	
23	-778.1701	8.174	1.5084
24	100.2296	24.584	
25	-182.2880	10.755	1.5084
26	332.2997	53.448	
27	-72.2384	11.056	1.5084
28	2288.1473	11.500	
29	-297.2735	22.609	1.5084
30	-139.2217	1.289	
31	-5373.4418	36.531	1.5084
32	-145.1851	0.860	
33	638.7734	54.278	1.5084
34	-341.5270	0.860	
35	247.9732	26.877	1.5084
36	1983.1986	0.860	
37	160.1370	28.237	1.5084
38	339.1395	0.862	
39	106.1048	70.038	1.5084
40	73.3426	54.566	
41	44.7083	16.217	1.5084
42	95.4941	12.459	

d0=110.356、b=1/4、NA=0.60、|F／(B　L)|=10.143、
|h／e|=1.341/1000,|BH／F|=3.943/1000
|Fh／(BHe)|=0.340、f3／f1=0.849、f1／L=0.187、
H／L=0.0400、|f22／f21|=1.945、|f23／L|=0.0420、
|fa／f23|=4.450、
(L/f1)+(L/f3)+Σ(L/f2i)=(L/f1)+(L/f3)+(L/f21)+(L/f22)+(L/f23)
+(L/f24)=-14.386、
|u2／u1|=0.249.　|u2'／u3'|=0.124、
|f2|／f1=1.747、|f2|／f3=2.058
AS=-27.149(32)

표 4

	r	d	n
1	-640.8560	25.052	1.5084
2	-201.3946	0.916	
3	200.8206	55.783	1.5084
4	-426.0199	0.848	
5	552.0410	10.513	1.5084
6	181.9271	18.101	
7	-362.9705	6.813	1.5084
8	272.4238	31.271	
9	-1373.4347	11.310	1.5084
10	231.8733	33.558	
11	-80.6736	11.294	1.5084
12	561.4486	8.395	
13	7776.9451	39.474	1.5084
14	-155.3822	0.871	
15	578.3969	42.753	1.5084
16	-224.7120	0.865	
17	519.4619	27.661	1.5084
18	-585.1361	0.865	
19	434.8598	21.928	1.5084
20	-1518.8470	0.865	
21	204.6036	23.631	1.5084
22	817.4877	71.724	
23	-793.6290	8.218	1.5084
24	100.6732	25.059	
25	-181.6364	10.814	1.5084
26	342.5369	53.305	
27	-72.5780	11.116	1.5084
28	2312.7950	11.602	
29	-301.4732	22.614	1.5084
30	-140.2430	1.296	
31	-5376.0587	36.747	1.5084
32	-146.2354	0.865	
33	641.9743	49.864	1.5084
34	-344.2090	0.865	
35	249.0052	27.017	1.5084
36	1968.1030	0.865	
37	160.7579	28.435	1.5084
38	341.1087	0.867	
39	106.4499	70.093	1.5084
40	73.6346	54.900	
41	44.8018	16.645	1.5084
42	96.0196	12.413	

d0=111.911、b=1/4、NA=0.60、|F／(B・L)|=9.430、
|h／e|=1.458/1000,|BH／F|=4.242/1000
|Fh／(BHe)|=0.344、f3／f1=0.848、f1／L=0.187、
H／L=0.0400、|f22／f21|=1.963、|f23／L|=0.0423、
|fa／f23|=4.447、
(L/f1)+(L/f3)+Σ(L/f2i)=(L/f1)+(L/f3)+(L/f21)+(L/f22)+(L/f23)
+(L/f24)=-14.363、
|u2／u1|=0.255、|u2'／u3'|=0.123、
|f2|／f1=1 752、|f2|／f3=2.065
AS=-29.928(32)

표 5

	r	d	n
1	930.3000	23.651	1.5084
2	-278.6119	0.903	
3	223.9529	64.885	1.5084
4	-615.0526	0.837	
5	338.2442	5.968	1.5084
6	119.1255	18.260	
7	-457.7663	6.722	1.5084
8	521.2617	15.918	
9	-470.3372	11.159	1.5084
10	329.2273	32.346	
11	-79.8352	11.143	1.5084
12	545.0078	7.974	
13	7884.3462	44.592	1.5084
14	-155.3688	0.860	
15	560.1230	43.244	1.5084
16	-235.1212	0.854	
17	493.3688	29.453	1.5084
18	-676.3608	0.854	
19	413.6605	22.508	1.5084
20	-1827.7591	0.854	
21	210.0563	23.049	1.5084
22	787.2641	71.559	
23	-855.8139	8.109	1.5084
24	98.8737	27.185	
25	-153.2442	10.669	1.5084
26	417.3767	52.341	
27	-72.4729	10.968	1.5084
28	2643.0756	11.192	
29	-322.1128	22.704	1.5084
30	-137.8365	1.279	
31	-5876.7456	34.318	1.5084
32	-147.0938	0.854	
33	628.2663	32.223	1.5084
34	-345.6471	0.854	
35	243.4254	28.062	1.5084
36	1821.2525	0.854	
37	156.8171	36.395	1.5084
38	338.0123	0.855	
39	104.7020	64.828	1.5084
40	72.3277	51.845	
41	45.4012	20.617	1.5084
42	98.9903	9.870	

제 42 면(비구면)

k = 0.6624700

A 4 = 0.6179381×10^{-7}

A 6 = $-0.3925351 \times 10^{-10}$

A 8 = $0.1585343 \times 10^{-13}$

A10 = $-0.1843319 \times 10^{-14}$

d 0 = 138.409、 b = 1/4、 N A = 0.62、 | F / (B · L) | = 16.387、
| h / e | = 1.915/1000, | B H / F | = 2.416/1000
| F h / (B H e) | = 0.792、 f 3 / f 1 = 0.813、 f 1 / L = 0.190、
H / L = 0.0396、 | f 22 / f 21 | = 1.891、 | f 23 / L | = 0.0414、
| f a / f 23 | = 4.574、
(L/f1)+(L/f3)+Σ(L/f2i)=(L/f1)+(L/f3)+(L/f21)+(L/f22)+(L/f23)
+(L/f24)=-13.746、
| u 2 / u 1 | = 0.160、 | u 2 ' / u 3 ' | = 0.125、
| f 2 | / f 1 = 1.825、 | f 2 | / f 3 = 2.245
A S = -8.576(3D)

표 6

	r	d	n
1	1043.7100	88.697	1.5084
2	-251.9259	0.869	
3	214.6715	45.354	1.5084
4	-527.5931	0.805	
5	339.0410	7.148	1.5084
6	119.9759	29.589	
7	-513.5016	6.489	1.5084
8	370.4852	14.053	
9	-493.2523	10.739	1.5084
10	311.7938	36.894	
11	-78.7992	10.724	1.5084
12	535.3653	8.196	
13	6096.2460	39.479	1.5084
14	-151.8460	0.827	
15	541.8595	48.739	1.5084
16	-231.6198	0.821	
17	468.0735	38.476	1.5084
18	-550.7152	0.821	
19	391.2085	25.660	1.6084
20	-1843.0508	0.821	
21	210.4257	24.826	1.5084
22	768.0175	65.432	
23	-850.6670	7.804	1.5084
24	94.7518	27.586	
25	-145.5262	10.268	1.5084
26	410.8385	48.747	
27	-69.9031	10.555	1.5084
28	2477.5890	10.405	
29	-311.1732	22.756	1.5084
30	-131.8814	1.231	
31	-6862.7408	32.505	1.5084
32	-142.2005	0.821	
33	594.5368	44.464	1.5084
34	-336.9460	0.821	
35	233.2823	30.775	1.5084
36	1678.8294	0.821	
37	150.4910	33.272	1.5084
38	522.4344	0.823	
39	100.4797	61.637	1.5084
40	70.0396	50.464	
41	44.7238	18.586	1.5084
42	93.5811	10.952	

제 42 면(비구면)

$k = -0.2403500$

$A4 = 0.2795584 \times 10^{-8}$

$A6 = -0.2375848 \times 10^{-8}$

$A8 = 0.1012624 \times 10^{-11}$

$A10 = -0.9704745 \times 10^{-14}$

$d0 = 80.374$, $b = 1/4$, $NA = 0.60$, $|F/(B \cdot L)| = 7.991$,
$|h/e| = 2.922/1000$, $|BH/F| = 5.832/1000$
$|Fh/(BHe)| = 0.501$, $f3/f1 = 0.843$, $f1/L = 0.181$,
$H/L = 0.0466$, $|f22/f21| = 1.981$, $|f23/L| = 0.0398$,
$|fa/f23| = 4.536$,
$(L/f1)+(L/f3)+\Sigma(L/f2i)=(L/f1)+(L/f3)+(L/f21)+(L/f22)+(L/f23)$
$+(L/f24)=-14.908$,
$|u2/u1| = 0.217$, $|u2'/u3'| = 0.126$,
$|f2|/f1 = 1.755$, $|f2|/f3 = 2.081$
$AS = -3.358(3D)$

각 실시예에 관한 각 요소의 상기 값으로부터, 비교적 작은 렌즈를 구비하여 구성되고, 또한 광학 시스템 전체가 콤팩트화되어도 상관없고. 비교적 큰 노광 면적 및, 0.56 또는 그 이상의 높은 개구수를 유지할 수 있음과 동시에, 물체 측(레티클 측 및 상 측(웨이퍼 측)에 있어서 동시에 극히 작은 텔레센트리시티로부터의 편차를 갖는 투영 광학 시스템이 달성되는 것이 이해된다.

또한, 제 15 도 내지 제 20 도는 제 1 내지 제 6 실시예에서의 각종 수차를 도시하고 있다.

각 수차를 도시한 이들 도면에 있어서 NA는 투영 광학 장치의 개구수를 표시하고, Y는 상의 높이를 표시하며, 또한 비점 수차를 표시하는 도면에 있어서는 파선은 메리디오날 상면(meridional image surface)을 도시하고, 또한 실선은 서지털 상면(sagittal image surface)을 도시하고 있다.

수차를 도시한 각 도면을 비교하면, 각 실시예에 있어서 0.56 또는 그 이상의 개구수를 갖는 고해상도의 투영 광학 시스템이 달성되고, 동시에 각종 수차가 적절히 제어되고 있는 것을 이해할 수 있다. 특히, 왜곡 수차가 상 전체에 걸쳐서 거의 제로까지 보정되어 있어서 바람직하다.

또한, 상술한 각 실시예에서는 제 2 렌즈 그룹 G2를 음, 양, 음 및 정의 4개의 서브렌즈 그룹으로 구비하는 예가 도시되어 있지만, 제 2 렌즈 그룹 G2를 음, 양 및 부의 3 개의 서브렌즈 그룹으로 구성할 수 있는 것은 말할 것도 없다.

또한, 상술한 각 실시예에서 제 2 렌즈 그룹 G2의 굴절력은 비교적 약한 정의 굴절력을 갖지만, 제로 굴절력 또는 비교적 약한 부의 굴절력을 갖는 제 2 렌즈 그룹 G2를 구성해도 양호한 것은 물론이다.

또한, 상술한 각 실시예에 있어서는 투영 광착 시스템을 구성하기 위한 광학 재료로서 단일의 광학 재료 즉, 석영(SiO

$_2$)을 이용하고 있지만, 노광광이 어느 정도의 반값 폭을 갖는 경우에는 석영(SiO_2) 및 형석(CaF_2)을 조합시켜서 색 수차를 수정할 수가 있고, 또한 자외선이 통과할 수 있는 다른 광학 재료를 조합시켜서 색 수차를 수정할 수도 있다.

또한, 제 5 및 제 6 실시예에 있어서는 제 3 렌즈 그룹의 최후의 렌즈 L34의 한쪽 표면만이 비구면 형상이지만, 각 실시예의 투영 광학 시스템에 있어서 복수의 렌즈면을 비구면 형상으로 구성한 경우에는 광학 시스템 전체에 사용되는 광학 요소의 수가 감소하고, 이에 따라 보다 높은 투과율을 가지며, 보다 가벼운 광학 시스템을 얻는 것이 가능한 것은 말할 필요도 없고, 동일한 수의 광학 요소를 사용한 경우에는 보다 높은 NA 및 보다 큰 시야를 얻을 수가 있다.

또한, 각 실시예는 248nm의 광을 공급하는 엑시머 레이저를 광원으로 사용하는 예를 도시하고 있지만, 반드시 그와 같은 광원에 한정할 필요는 없고, g선(436nm) 및 i선(365nm)을 공급하는 수은 램프, 193nm에 광선을 공급하는 엑시머 레이저, 또는 자외 영역의 광(ultraviolet ray)을 공급하는 다른 광원을 사용한 것으로 응용하여 얻을 수 있는 것은 말할 것도 없다.

또한, 투영 광학 시스템을 구성하는 렌즈의 일부 대신에 반사경과 이같이 반사 부재를 사용하는 것도 가능하다.

따라서, 본 발명의 각 실시예에 의하면 각종 수차가 균형 있게 수정되고, 큰 개구수를 갖는 고해상도의 투영 광학 시스템을 얻을 수 있고, 동시에 비교적 큰 노광 영역을 확보함과 동시에, 물체 측(레티클 측) 및 상 측(웨이퍼 측)에 있어서 텔레센트리시티로부터의 편차가 거의 완전히 작은 광학 시스템으로서 유지할 수 있다.

텔레센트리시티로부터의 편차가 극히 작고 투영 광학 시스템의 입사 동공(pupil) 위치가 물체면(레티클면)에서 멀고, 또한 사출 동공도 상 측(웨이퍼)으로부터 먼 광학 시스템을 얻을 수 있으므로 물체면이나 상면의 휨에서 기인하는 상의 왜곡 문제를 해소할 수 있고, 또한 조명 광학 시스템을 계측할 때의 부담을 대폭적으로 저감할 수가 있다.

또한, 투영 광학 시스템의 렌즈 직경뿐만 아니라 투영 광학 시스템의 전장도 짧게 할 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

제 1 물체 상의 상(image)을 일정 축소율로 제 2 물체 상에 투영하는 투영 광학 시스템에 있어서,

상기 제 1 물체의 측면에서 보아 차례로 정의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹과, 실질적으로 어포컬(afocal) 시스템으로 되는 제 2 렌즈 그룹과, 정의 굴절력을갖는 제 3 렌즈 그룹을 포함하고,

전체 시스템(entire system)의 초점 거리를 F로 표시하고, 상기 투영 광학 시스템의 투영 배율을 B로 표시하며, 상기 제 1 물체나 제 2 물체간의 거리를 L로 표시하고, 상기 투영 광학 시스템의 광축에 대해 평행한, 상기 투영 광학 시스템의 제 2 물체 측으로부터의 광선이 상기 투영 광학 시스템에 사출될 때에 이 사출 광선의 제 1 물체 측에서의 연장선이 광축과 교차하는 점과 상기 제 1 물체면간의 거리를 e로 표시하며, 상기 투영 광학 시스템을 거친 상기 사출 광선이 상기 제 1 물체에 도달할 때에 상기 투영 광학 시스템의 광축에서의 상기 제 1 물체 상의 상기 광선의 높이를 h로 표시한 경우에,

$1.8 \leq |F/(B \cdot L)|$ 및,

$|h/e| \leq 3/1000$

의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 투영 광학 시스템의 광축에서의 상기 제 1 물체의 최대 높이를 H로 표시하고, 전체 시스템의 초점 거리를 F로 표시하며, 상기 투영 광학 시스템의 투영 배율을 B로 표시한 경우에,

$|BH/F| \leq 8/1000$

의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 3.

제 2 항에 있어서,

전체 시스템의 초점 거리를 F로 표시하고, 상기 투영 광학 시스템의 광축에 대해서 평행한, 상기 투영 광학 시스템의 제 2 물체 측에서의 광선이 상기 투영 광학 시스템을 사출할 때에 상기 사출 광선의 제 1 물체 측에서의 연장선이 광축과 교차하는 점과 상기 제 1 물체면간의 거리를 e로 표시하며, 상기 투영 광학 시스템을 거친 상기 사출 광선이 상기 제 1 물체 측에 도달할 때의 상기 투영 광학 시스템의 광축에서 상기 제 1 물체 상의 상기 광선의 높이를 h로 표시하고, 상기 투영 광학 시스템의 광축에서 상기 제 1 물체의 최대 높이를 H로 표시한 경우에,

$Fh/(BHe) \leq 4$

의 조건을 만즉하는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 4.

제 3 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 그룹의 초점 거리를 f_1로 표시하고, 상기 게 3 렌즈 그룹의 초점 거리를 f_3으로 표시한 경우에,

$0.80 \leq f_3/f_1 \leq 1.5$

의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 5.

제 4 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 그룹의 초점 거리를 f_1로 표시하고, 상기 제 1 물체와 상기 제 2 물체간의 거리를 L로 표시한 경우에

,
$0.05 \leq f_1/L \leq 0.3$
의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 6.
제 5 항에 있어서,
상기 제 1 물체 상의 상기 투영 광학 시스템의 광축에서 물체의 최대 높이를 H로 표시하고, 상기 제 1 물체와 상기 제 2 물체간의 거리를 L로 표시한 경우에,
$0.03 \leq H/L \leq 0.2$
의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 7.
제 6 항에 있어서,
상기 제 1 렌즈 그룹이 적어도 2개의 정의 렌즈를 갖고,
상기 제 2 렌즈 그룹이 적어도 4개의 부의 렌즈 및, 적어도 4개의 정의 렌즈 를 가지며,
상기 제 3 렌즈 그룹이 적어도 2개의 정의 렌즈를 갖는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 8.
제 7 항에 있어서,
상기 제 1, 제 2 및 제 3 렌즈 그룹 중 적어도 하나의 렌즈 그룹이 비구면 렌즈를 갖는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 9.
제 7 항에 있어서,
상기 제 2 렌즈 그룹이 상기 제 1 물체 측에서 보아 차례로 부의 굴절력을 갖는 제 1 서브렌즈 그룹, 정의 굴절력을 갖는 제 2 서브렌즈 그룹 및, 부의 굴절력을 갖는 제 3 서브렌즈 그룹을 적어도 구비한 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 10.
제 9 항에 있어서,
상기 제 1 서브렌즈 그룹의 초점 거리를 f_{21} 로 표시하고, 상기 제 2 서브렌즈 그룹의 초점 거리를 f_{22} 로 표시한 경우에,
$1.5 \leq |f_{22}/f_{21}| \leq 5$
의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 11.
제 10 항에 있어서,
상기 제 3 서브렌즈 그룹의 초점 거리를 f_{23} 으로 표시하고, 상기 제 1 물체와 제 2 물체간의 거리를 L로 표시한 경우에,
$0.02 \leq |f_{23}/L| \leq 0.10$
의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 12.
제 11 항에 있어서,
상기 제 1 렌즈 그룹, 상기 제 2 렌즈 그룹의 제 1 서브렌즈 그룹 및, 상기 제 2 렌즈 그룹의 제 2 서브렌즈 그룹의 합성 초점 거리를 fa로 표시하고, 상기 제 2 렌즈 그룹의 제 3 서브렌즈 그룹의 초점 거리를 f_{23} 으로 표시한 경우에,
$4 \leq |fa/f_{23}|$
의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 13.
제 12 항에 있어서,
상기 제 1 물체와 상기 제 2 물체간의 거리를 L로 표시하고, 상기 제 1 렌즈그룹 G1의 초점 거리를 f_1 로 표시하며, 상기 제 3 렌즈 그룹 G3의 초점 거리를 f_3 으로 표시하고, 상기 제 2 렌즈 그룹에 있어서 물체 측으로부터 제 i 번째인 제 1 번 째 서브렌즈 그룹의 초점 거리를 f_{2i} 로 표시한 경우에,
$-50 \leq (L/f_1)+(L/f_3)+\Sigma(L/f_{2i}) \leq 0.5$
의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 14.
제 13 항에 있어서,
상기 제 1 서브렌즈 그룹이 적어도 2개의 부의 렌즈를 갖고,
상기 제 2 서브렌즈 그룹이 적어도 4개의 정의 렌즈를 가지며,
상기 제 3 서브렌즈 그룹이 적어도 2개의 부의 렌즈를 갖는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 15.
제 14 항에 있어서,
상기 제 2 서브렌즈 그룹이 2개의 양(兩)오목 렌즈를 갖는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 16.
제 15 항에 있어서,

상기 제 1 물체 상의 축 방향 물점에서의 근접축(paraxial) 마지널(marginal) 광선이 상기 제 1 렌즈 그룹에 들어 갈 때에 상기 근접축 마지널 광선의 입사각을 u_1 로 표시하고, 상기 제 1 물체 상의 축상 물점에서의 근접축 마지널 광선이 상기 제 2 렌즈 그룹에 들어갈 때에 상기 근접축 마지널 광선의 입사각 을 u_2 로 표시하며, 상기 제 1 물체 상의 측 상의 물점에서의 근접축 마지널 광선이 상기 제 2 렌즈 그룹으로부터 나올 때에 상기 근접축 마지널 광선의 사출각을 $u_{2'}$ 로 표시하고, 상기 제 1 물체 상의 축상 물점에서의 근접축 마지널 광선이 상기 제 3 렌즈 그룹으로부터 나올 때에 상기 근접축 마지널 광선의 사출각을 $u_{3'}$ 로 표시한 경우에,

$|u_2/u_1| \leq 0.5$ 및

$|u_{2'}/u_{3'}| \leq 0.5$

의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 17.

제 16 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 그룹의 초점 거리를 f_1 로 표시하고, 상기 제 2 렌즈 그룹의 초점 거리를 f_2 로 표시하며, 상기 제 3 렌즈 그룹의 초점 거리를 f_3 으로 표시한 경우에

$|f_2|/f_1 > 1$ 및

$|f_2|/f_3 > 1$

의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 18.

제 3 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 그룹이 적어도 2개의 정의 렌즈를 갖고,

상기 제 3 렌즈 그룹이 적어도 2개의 정의 렌즈를 가지며,

상기 제 2 렌즈 그룹이 상기 제 1 물체 측으로부터 보아서 차례로 부의 굴절력을 갖는 제 1 서브렌즈 그룹과, 정의 굴절력을 갖는 제 2 서브렌즈 그룹과, 부의 굴절력을 갖는 제 3 서브렌즈 그룹을 가지고,

상기 제 1 서브렌즈 그룹이 적어도 2개의 부의 렌즈를 가지며,

상기 제 2 서브렌즈 그룹이 적어도 4개의 정의 렌즈를 갖고,

상기 제 3 서브렌즈 그룹이 적어도 2개의 부의 렌즈를 갖는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 19.

제 3 항에 있어서,

상기 제 2 렌즈 그룹이 상기 제 1 물체 측으로부터 보아 차례로 부의 굴절력을 갖는 제 1 서브렌즈 그룹과, 정의 굴절력을 갖는 제 2 서브렌즈 그룹과, 부의 굴절력을 갖는 제 3 서브렌즈 그룹과, 정의 굴절력을 갖는 제 4 서브렌즈 그룹을 구비하는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 20.

제 19 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 그룹이 적어도 2개의 정의 렌즈를 갖고,

상기 제 3 렌즈 그룹이 적어도 2개의 정의 렌즈를 가지며,

상기 제 1 서브렌즈 그룹이 적어도 2개의 부의 렌즈를 갖고,

상기 제 2 서브렌즈 그룹이 적어도 4개의 정의 렌즈를 가지며,

상기 제 3 서브렌즈 그룹이 적어도 2개의 부의 렌즈를 갖고,

상기 제 4 서브렌즈 그룹이 적어도 2개의 정의 렌즈를 갖는 것을 특징으로 하는 투영 광학 시스템.

청구항 21.

투영 노광 장치에 있어서,

소정 패턴이 형성되고 있는 제 1 물체를 조명하는 조명 수단과,

상기 제 1 물체의 상을 제 2 물체 상에 투영하는 투영 광학 시스템과,

상기 제 1 물체를 유지하는 제 1 유지 수단과,

상기 제 2 물체를 유지하는 제 2 유지 수단을 구비하고,

상기 투영 광학 시스템이 상기 제 1 물체의 측면에서 보아 차례로 정의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈 그룹과, 실질적으로 어포컬 시스템으로 되는 제 2 렌즈 그룹과, 정의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈 그룹을 갖고 있으며,

전체 시스템의 초점 거리를 F로 표시하고, 상기 투영 광학 시스템의 투영 배율을 B로 표시하며, 상기 제 1 물체와 제 2 물체간의 거리를 L로 표시하고, 상기 투영 광학 시스템의 광축에 대해 평행한, 상기 투영 광학 시스템의 제 2 물체 측으로부터의 광선이 상기 투영 광학 시스템에 사출될 때에, 이 사출 광선의 제 1 물체측에서의 연장선이 광축과 교차하는 점과 상기 제 1 물체면간의 거리를 e로 표시하며, 상기 투영 광학 시스템을 거친 상기 사출 광선이 상기 제 1 물체에 도달할 때 에 상기 투영 광학 시스템의 광축에서 상기 제 1 물체 상의 광선의 높이를 h로 표시한 경우에,

$1.8 \leq |F/(B \cdot L)|$ 및

$|h/e| \leq /1000$

의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 22.

제 21 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 그룹이 적어도 2개의 정의 렌즈를 갖고,

상기 제 3 렌즈 그룹이 적어도 2개의 정의 렌즈를 가지며,

상기 제 2 렌즈 그룹이 상기 제 1 물체 측으로부터 보아서 차례로 부의 굴절력을 갖는 제 1 서브렌즈 그룹과, 정의 굴절력을 갖는 제 2 서브렌즈 그룹과, 부의 굴절력을 갖는 제 3 서브렌즈 그룹을 갖고,
상기 제 1 서브렌즈 그룹이 적어도 2개의 부의 렌즈를 가지며,
상기 제 2 서브렌즈 그룹이 적어도 4개의 정의 렌즈를 갖고,
상기 제 3 서브렌즈 그룹이 적어도 2개의 부의 렌즈를 갖는 것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 23.

제 21 항에 있어서,
상기 제 2 렌즈 그룹이 상기 제 1 물체 측으로부터 보아 차례로, 부의 굴절력을 갖는 제 1 서브렌즈 그룹과, 정의 굴절력을 갖는 제 2 서브렌즈 그룹과, 부의 굴절력을 갖는 제 3 서브렌즈 그룹과, 정의 굴절력을 갖는 제 4 서브렌즈 그룹을 구비하는 것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 24.

제 23 항에 있어서,
상기 제 1 렌즈 그룹이 적어도 2개의 정의 렌즈를 갖고,
상기 제 3 렌즈 그룹이 적어도 2개의 정의 렌즈를 가지며,
상기 제 1 서브렌즈 그룹이 적어도 2개의 부의 렌즈를 갖고,
상기 제 2 서브렌즈 그룹이 적어도 4개의 정의 렌즈를 가지며,
상기 제 3 서브렌즈 그룹이 적어도 2개의 부의 렌즈를 갖고,
상기 제 4 서브렌즈 그룹이 적어도 2개의 정의 렌즈를 갖는 것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 25.

제 21 항에 있어서,
상기 투영 광학 시스템의 광축에서 제 1 물체의 최대 높이를 H로 표시하고, 전체 시스템의 초점 거리를 F로 표시하며, 상기 투영 광학 시스템의 투영 배율을 B로 표시한 경우에,
$|BH/F| \leq 8/1000$
의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 26.

제 21 항에 있어서,
전체 시스템의 초점 거리를 F로 표시하고, 상기 투영 광학 시스템의 광축에 대해서 평행한, 상기 투영 광학 시스템의 제 2 물체 측에서의 광선이 상기 투영 광학 시스템을 사출할 때에, 상기 사출 광선의 제 1 물체 측에서의 연장선이 광축과 교차하는 점과 상기 제 1 물체면간의 거리를 e로 표시하며, 상기 투영 광학 시스템을 거친 상기 사출 광선이 상기 제 1 물체에 도달할 때에 상기 투영 광학 시스템의 광축에서 상기 제 1 물체 상의 상기 광선의 높이를 h로 표시하고, 상기 투영 광학 시스템의 광축에서 상기 제 1 물체의 최대 높이를 H로 표시한 경우에,
$|Fh/(BHe)| \leq 4$
의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 27.

제 21 항에 있어서,
상기 제 1 렌즈 그룹의 초점 거리를 f_1 로 표시하고, 상기 제 3 렌즈 그룹의 초점 거리를 f_3 으로 표시한 경우에,
$0.80 \leq f_3/f_1 \leq 1.5$
의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 28.

제 21 항에 있어서,
상기 제 1 렌즈 그룹의 초점 거리를 f_1 로 표시하고, 상기 제 1 물체와 상기 제 2 물체간의 거리를 L로 표시한 경우에,
$0.05 \leq f_1/L \leq 0.3$
의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 29.

제 21 항에 있어서,
상기 제 1 물체 상의 상기 투영 광학 시스템의 광축에서 물체의 최대 높이를 H로 표시하고, 상기 제 1 물체와 제 2 물체간의 거리를 L로 표시한 경우에,
$0.03 \leq H/L \leq 0.2$
의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 투영 노광 장치.

청구항 30.

레티클의 패턴을 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서,
상기 제 1 물체로서의 레티클을 소정의 파장을 갖는 광에 조명하는 조명 공정과,
청구항 제 1항 내지 청구항 제 20 항 중 어느 한 항에 기재된 투영 광학 시스템을 이용하여 상기 레티클에 형성된 패턴의 상(image)을 상기 제 2 물체로서의 기판에 투영하는 투영 공정을 포함하는
노광 방법.

청구항 31.

레티클에 형성된 패턴의 상을 기판에 투영하는 투영 광학 시스템에 있어서, 상기 레티클로부터 광 경로 순으로(the light path order)
㉠ 적어도 2개의 양(positive)의 렌즈를 구비하는, 정의 굴절력을 갖는 제 1 그룹과,
㉡ 적어도 4개의 정의 렌즈와 적어도 4개의 음(negative)의 렌즈를 구비하는 제 2 그룹과,
㉢ 적어도 2개의 정의 렌즈를 구비하는, 정의 굴절력을 갖는 제 3 그룹과,
㉣ 상기 제 1, 제 2 및/또는 제 3 그룹 중 적어도 하나에 포함되는 적어도 하나의 비구면 렌즈면(aspherical lens surface)을 포함하는
투영 광학 시스템.

청구항 32.
제 31 항에 있어서 ,
상기 적어도 하나의 비구면 렌즈면은 실질적으로 광축에 대해 회전하는 대칭형상을 갖는 투영 광학 시스템.

청구항 33.
제 31 항에 있어서,
상기 적어도 하나의 비구면 렌즈면은 연속적인 굴절성 표면으로 형성되는 투영 광학 시스템.

청구항 34.
제 31 항에 있어서,
상기 제 2 그룹의 상기 적어도 4개의 부의 렌즈 중 2개의 부의 렌즈는 각각 오목면(concave surface)을 갖고, 상기 적어도 4개의 부의 렌즈 중 상기 2개의 부 의 렌즈 상에 각기 형성된 상기 오목면은 서로 대향하여 형성되는 투영 광학 시스템.

청구항 35.
제 31 항에 있어서,
상기 제 2 그룹의 상기 적어도 4개의 부의 렌즈의 각각은 오목면을 갖고, 상기 적어도 4개의 부의 렌즈 중 상기 2개의 부의 렌즈 상에 각기 형성된 상기 오목면의 제 1 쌍이 서로 대향하여 형성되고, 상기 적어도 4개의 부의 렌즈 중 나머지 2개의 부의 렌즈 상에 각기 형성된 상기 오목면의 제 2 쌍이 서로 대향하여 형성되는 투영 광학 시스템.

청구항 36.
제 31 항에 있어서,
상기 제 1 그룹의 상기 적어도 2개의 정의 렌즈는 상기 기판 측과 각기 마주하는 볼록면(convex surfaces)을 갖는 투영 광학 시스템.

청구항 37.
제 31 항에 있어서,
상기 제 3 그룹의 상기 적어도 2개의 정의 렌즈는 상기 기판 측과 각기 마주하는 볼록면을 갖는 투영 광학 시스템.

청구항 38.
제 31 항에 있어서,
상기 투영 광학 시스템은 0.56보다 작지 않은 개구수(numerical aperture)를 갖는 투영 광학 시스템.

청구항 39.
제 31 항에 있어서,
상기 제 1, 제 2 및 제 3 그룹의 모든 렌즈는 비접합 단일 렌즈(non-cemented single lens)로 구성되는 투영 광학 시스템.

청구항 40.
제 31 항에 있어서,
상기 제 2 그룹은 상기 레티클로부터 광 경로 순으로,
㉠ 적어도 2개의 부의 렌즈를 구비하는, 부의 굴절력을 갖는 제 1 서브 그룹과,
㉡ 적어도 4개의 정의 렌즈를 구비하는, 정의 굴절력을 갖는 제 2 서브 그룹과,
㉢ 적어도 2개의 부의 렌즈를 구비하는, 부의 굴절력을 갖는 제 3 서브 그룹을 포함하는 투영 광학 시스템.

청구항 41.
제 1 항에 있어서,
상기 제 2 그룹은 정의 굴절력을 갖는 제 4 서브 그룹을 더 포함하고, 상기 제 2 서브 그룹은 적어도 2개의 정의 렌즈를 포함하는 투영 광학 시스템.

청구항 42.
제 1 항에 있어서,
상기 투영 광학 시스템은 축소배율을 갖는 투영 광학 시스템.

청구항 43.
제 1 항에 있어서,
상기 투영 광학 시스템은 레티클 측과 기판 측에 대해 텔레센트릭(telecentric)한 투영 광학 시스템.

청구항 44.
노광 장치에 있어서,
제 31 항 내지 제 43 항 중 어느 한 항에 따라, 레티클 상에 형성된 패턴의 상(image)을 기판에 투영하는 투영 광학 시스템과,

사전 정의된 파장을 갖는 광으로 상기 레티클을 조명하는 조명시스템과,
상기 레티클을 지지하는 제 1 스테이지와,
상기 기판을 지지하는 제 2 스테이지를 포함하는
노광 장치.

청구항 45.

레티클의 패턴을 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서,
상기 레티클을 사전 정의된 파장을 갖는 광으로 조명하는 단계와,
제 31 항 내지 제 43 항 중 어느 한 항에 따라, 레티클 상에 형성된 패턴의 상을 기판에 투영하는 단계를 포함하는
노광 방법.

청구항 46.

레티클 상에 형성된 패턴의 상을 기판에 투영하는 투영 광학 시스템에 있어서,
㉠ 상기 레티클과 상기 기판 사이의 광 경로 내에 배치된, 정의 굴절력을 갖고 적어도 2개의 정의 렌즈를 구비하는 제 1 그룹과,
㉡ 상기 제 1 그룹과 상기 기판 사이의 광 경로 내에 배치되고, (1) 적어도 2개의 부의 렌즈를 구비하는, 부의 굴절력을 갖는 부의 서브 그룹과, (2) 적어도 2개의 정의 렌즈를 구비하는 정의 굴절력을 갖는 정의 서브 그룹과, (3) 상기 정의 서브 그룹내의 상기 적어도 2개의 정의 렌즈사이에 배열된 조리개(stop)를 구비하는 제 2 그룹과,
㉢ 상기 제 2 그룹과 상기 기판 사이의 광 경로내에 배치된, 정의 굴절력을 갖고 적어도 2개의 정의 렌즈를 구비하는 제 3 그룹과,
㉣ 상기 제 1, 제 2 및/또는 제 3 그룹 중 적어도 하나에 포함되는 적어도 하나의 비구면 렌즈면을 포함하되,
상기 부의 서브 그룹내의 상기 2개의 부의 렌즈는 서로 대향하여 형성된 오목면을 포함하는
투영 광학 시스템.

청구항 47.

제 46 항에 있어서,
상기 적어도 하나의 비구면 렌즈면은 연속적인 굴절성 표면으로 형성되는 투영 광학 시스템.

청구항 48.

제 46 항에 있어서,
상기 투영 광학 시스템은 0.56보다 작지 않은 개구수(numerical aperture)를 갖는 투영 광학 시스템.

청구항 49.

제 46 항에 있어서,
상기 투영 광학 시스템은 레티클 측과 기판 측에 대해 텔레센트릭(telecentric)한 투영 광학 시스템.

청구항 50.

노광 장치에 있어서,
제 46 항 내지 제 49 항 중 어느 한 항에 따라, 레티클 상에 형성된 패턴의 상(image)을 기판에 투영하는 투영 광학 시스템과,
사전 정의된 파장을 갖는 광으로 상기 레티클을 조명하는 조명시스템과,
상기 레티클을 지지하는 제 1 스테이지와,
상기 기판을 지지하는 제 2 스테이지를 포함하는
노광 장치.

청구항 51.

레티클의 패턴을 기판에 노광하는 노광 방법에 있어서,
상기 레티클을 사전 정의된 파장을 갖는 광으로 조명하는 단계와,
제 46 항 내지 제 49 항 중 어느 한 항에 따른 투영 광학 시스템을 이용하 여, 레티클 상에 형성된 패턴의 상을 기판에 투영하는 단계를 포함하는
노광 방법.

청구항 52.

노광 장치에 있어서,
0.56 이상의 개구수를 가짐과 동시에, 1개 또는 그 이상의 비구면 광학 면을 포함하고, 레티클 상에 형성된 패턴의 상(image)을 기판에 투영하며, 레티클 측과 기판 측에 대해 텔레센트릭한 투영 시스템과,
상기 레티클을 조명하기 위해, 상기 레티클 측에서의 상기 투영 시스템의 텔레센트리시티(telecentricity)에 따라서 설계된 조명 시스템을 포함하는
노광 장치.

청구항 53.

제 52 항에 있어서,
상기 레티클로부터 광 경로 순으로(the light path order),
㉠ 적어도 2개의 양(positive)의 렌즈를 구비하는, 정의 굴절력을 갖는 제 1 그룹과,
㉡ 적어도 4개의 정의 렌즈와 적어도 4개의 음(negative)의 렌즈를 구비하는 제 2 그룹과,
㉢ 적어도 2개의 정의 렌즈를 구비하는, 정의 굴절력을 갖는 제 3 그룹을 포함하는
노광 장치.

청구항 54.
제 53 항에 있어서,
상기 투영 시스템은 상기 제 1, 제 2 및/또는 제 3 그룹 중 적어도 하나에 포함된 상기 1개 또는 그 이상의 비구면 광학 면을 더 포함하는 노광 장치.

청구항 55.
제 52 항, 제 53 항 및 제 54 항 중 어느 한 항에 따른 노광 장치를 이용하는 노광 방법에 있어서,
상기 조명 시스템을 이용하여, 레티클을 사전 정의된 파장을 갖는 광으로 조명하는 단계와,
상기 투영 광학 시스템을 이용하여, 상기 레티클 상에 형성된 패턴의 상을 기판에 투영하는 단계를 포함하는
노광 방법.

청구항 56.
노광 장치를 제조하는 방법에 있어서,
0.56 이상의 개구수를 가짐과 동시에, 1개 또는 그 이상의 비구면 광학 면을 포함하고, 레티클 상에 형성된 패턴의 상을 기판에 투영하며, 레티클 측과 기판 측에서 텔레센트릭한 투영 시스템을 마련하는 단계와,
상기 레티클을 조명하기 위해, 상기 레티클 측에서의 상기 투영 시스템의 텔레센트리시티(telecentricity)에 따라서 설계된 조명 시스템을 마련하는 단계를 포함하는
노광 장치 제조방법.

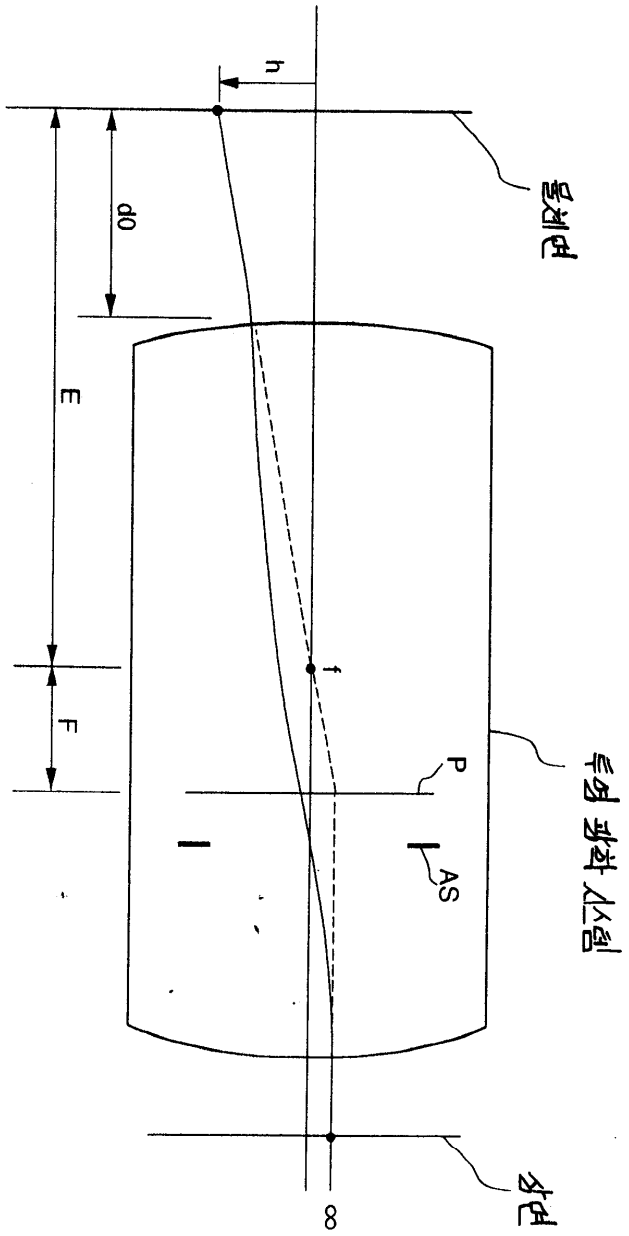
청구항 57.
노광 방법에 있어서,
레티클 상에 형성된 패턴의 상을 기판에 투영하는, 레티클 측과 기판 측에서 텔레센트릭한 투영 시스템을 마련하는 단계와,
상기 레티클 측에서의 상기 투영 시스템의 텔레센트리시티(telecentricity)에 따라서 설계된 조명 시스템을 준비하는 단계와,
상기 조명 시스템을 이용하여 상기 레티클을 조명하는 단계와,
상기 투영 시스템을 이용하여 상기 레티클 상에 형성된 상기 패턴 상을 상기 기판에 투영하는 단계를 포함하는
노광 방법.

청구항 58.
제 57 항에 있어서,
상기 투영 시스템은 비구면 광학 면을 포함하는 노광 방법.

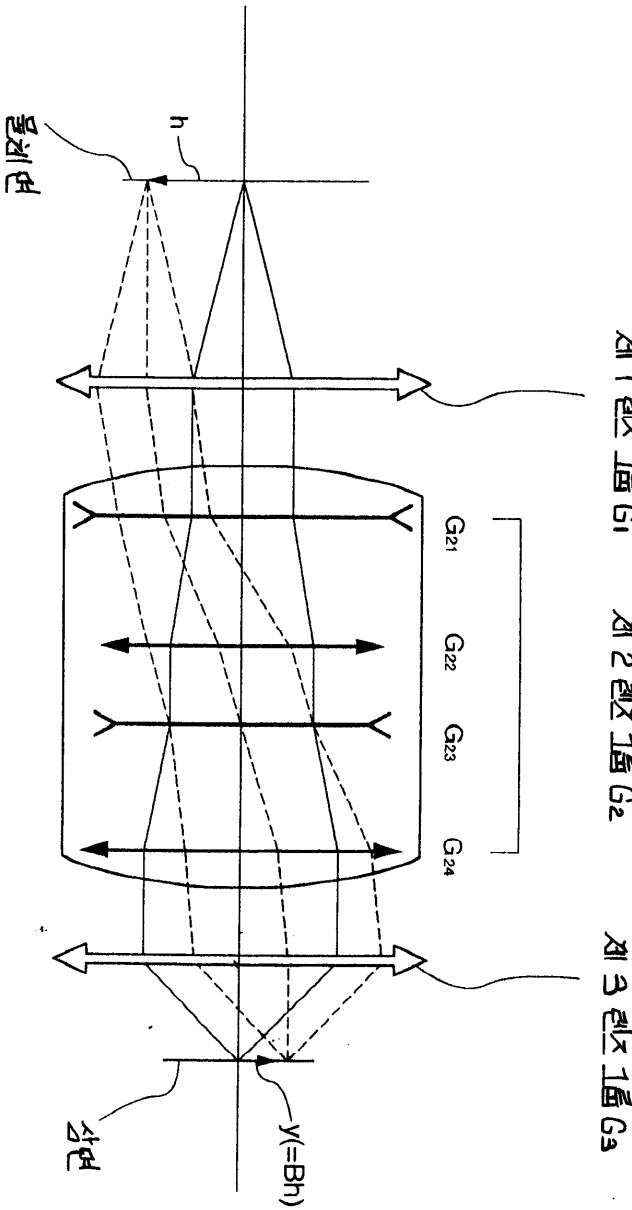
청구항 59.
제 58 항에 있어서,
상기 투영 시스템은 0.56보다 작지 않은 개구수(numerical aperture)를 갖는 노광 방법.

도면

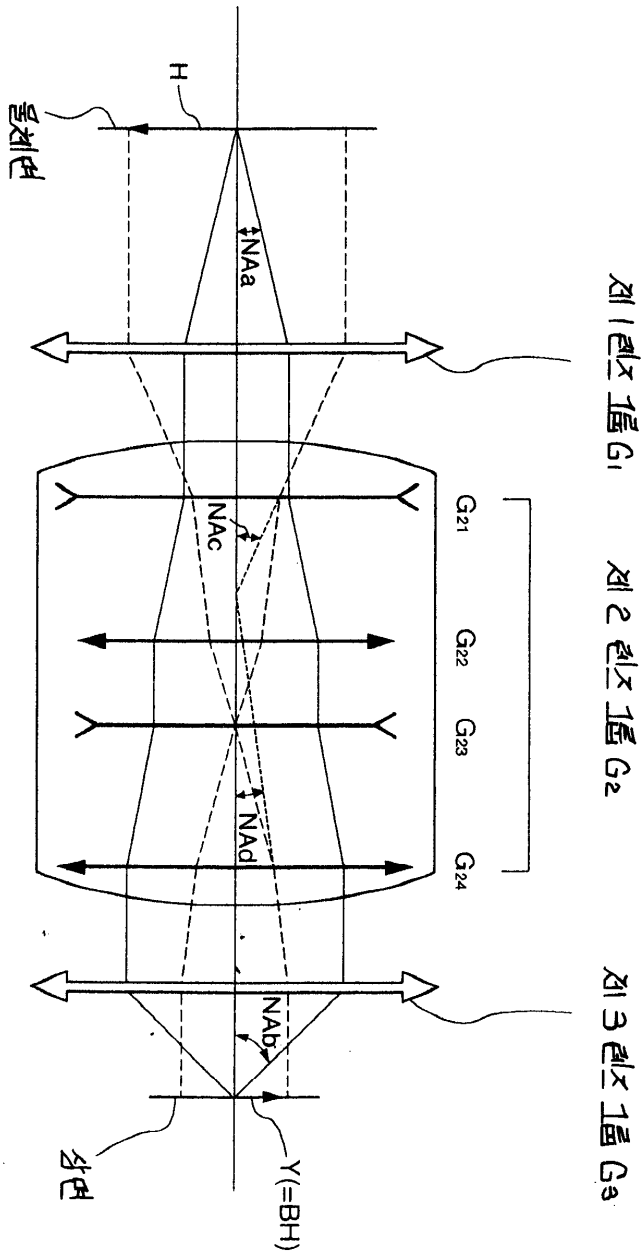
도면1



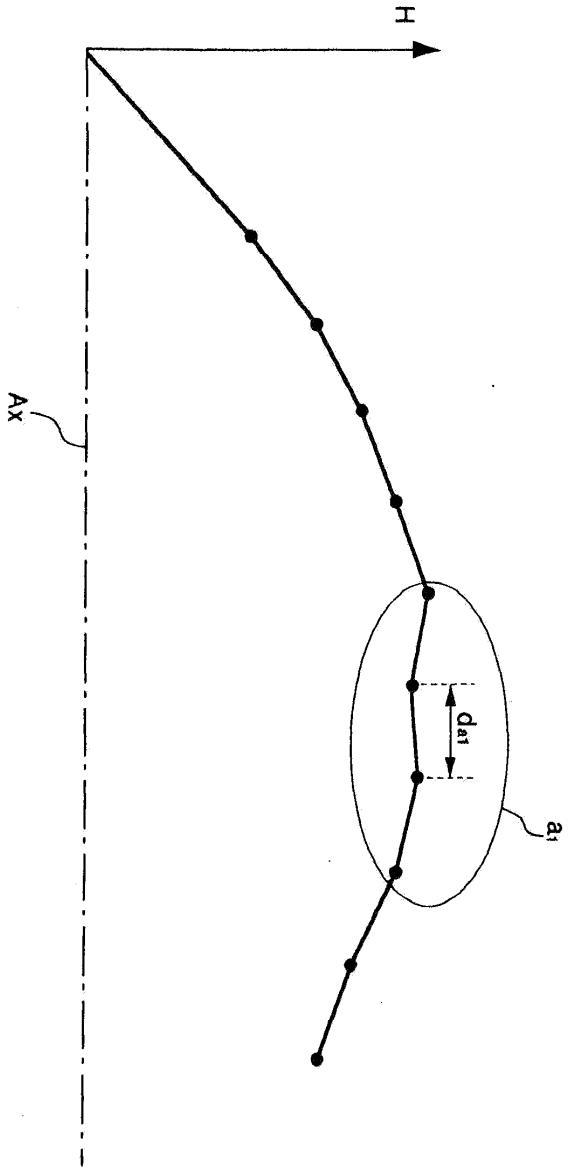
도면2



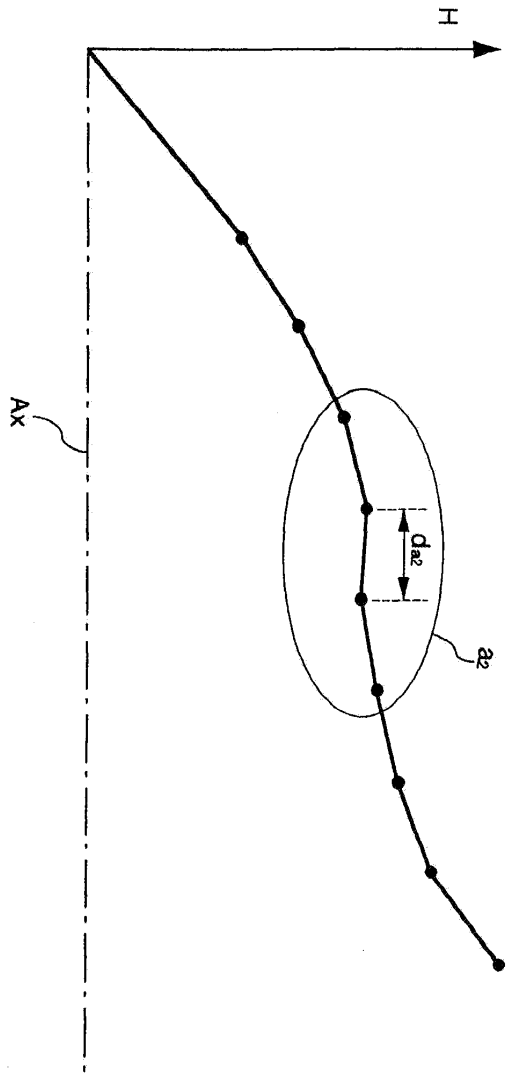
도면3


H
물체면
NAa
제 1 렌즈 1군 G1
NAc
G21
G22
G23
G24
제 2 렌즈 1군 G2
NAd
NAb
제 3 렌즈 1군 G3
상면
Y(=BH)

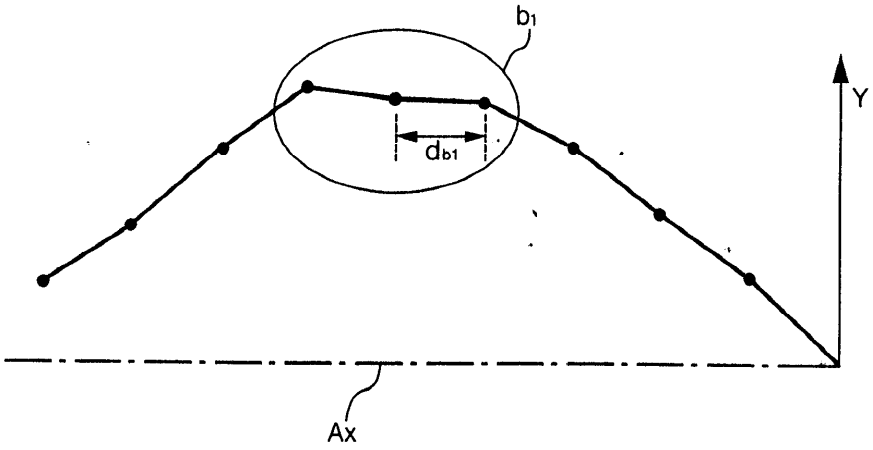
도면4



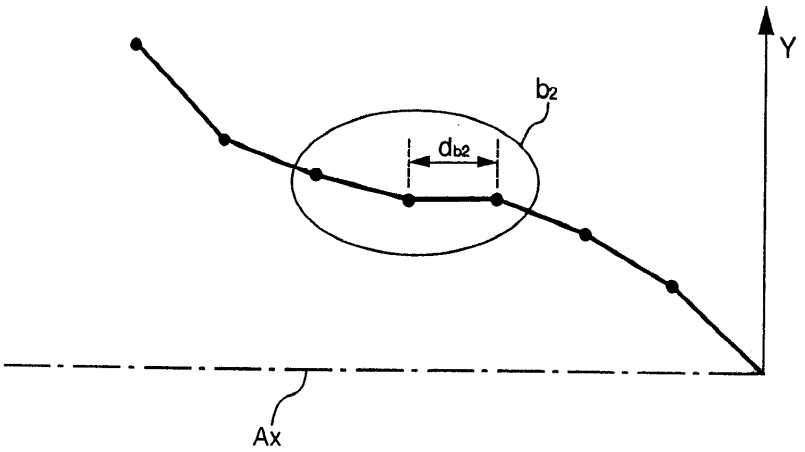
도면5



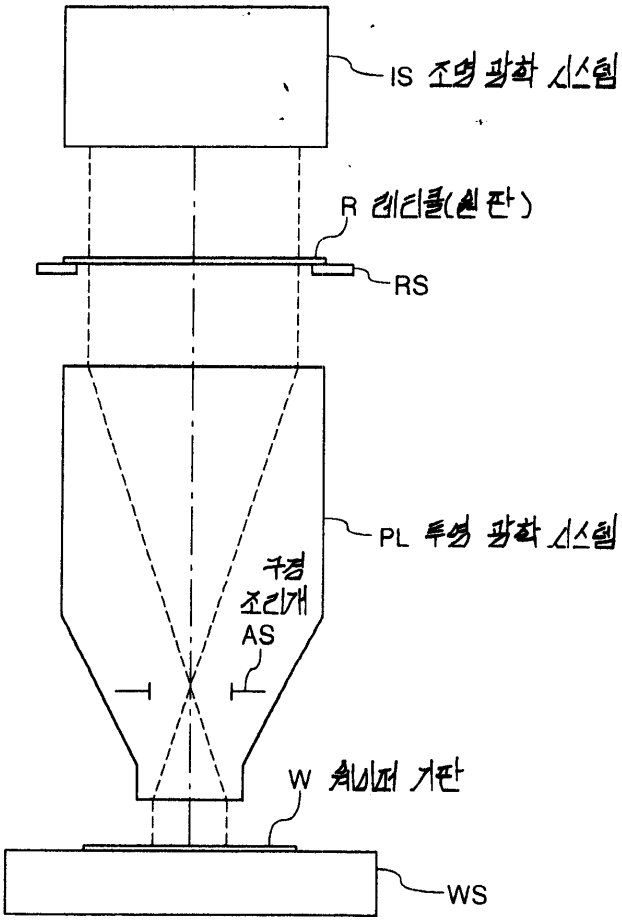
도면6



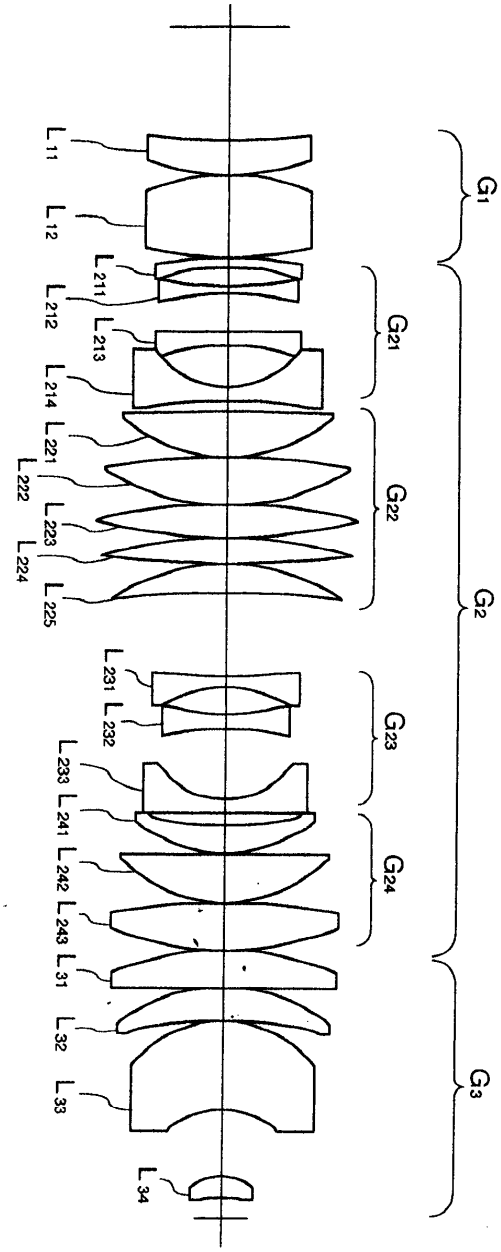
도면7



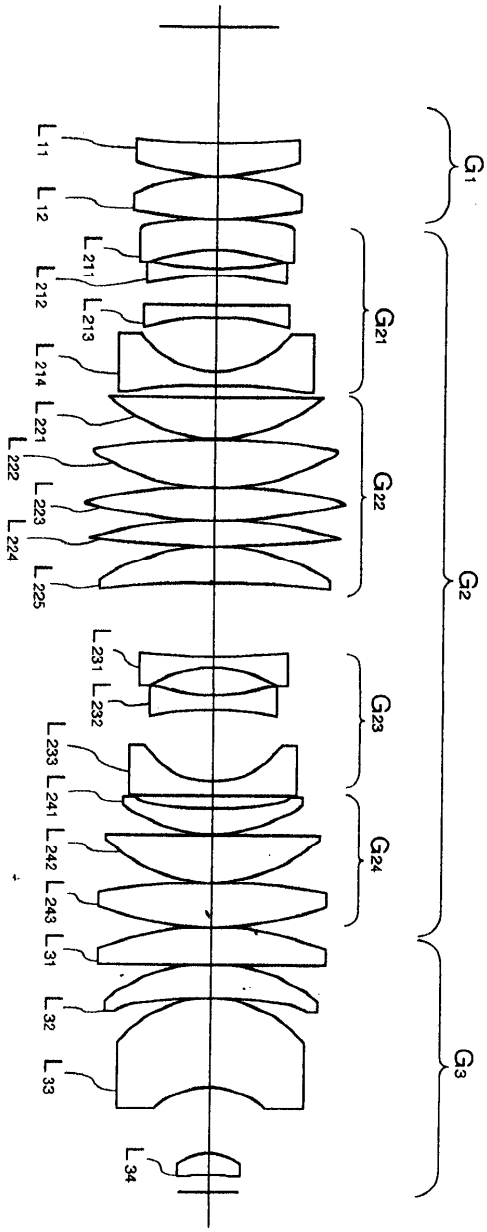
도면8



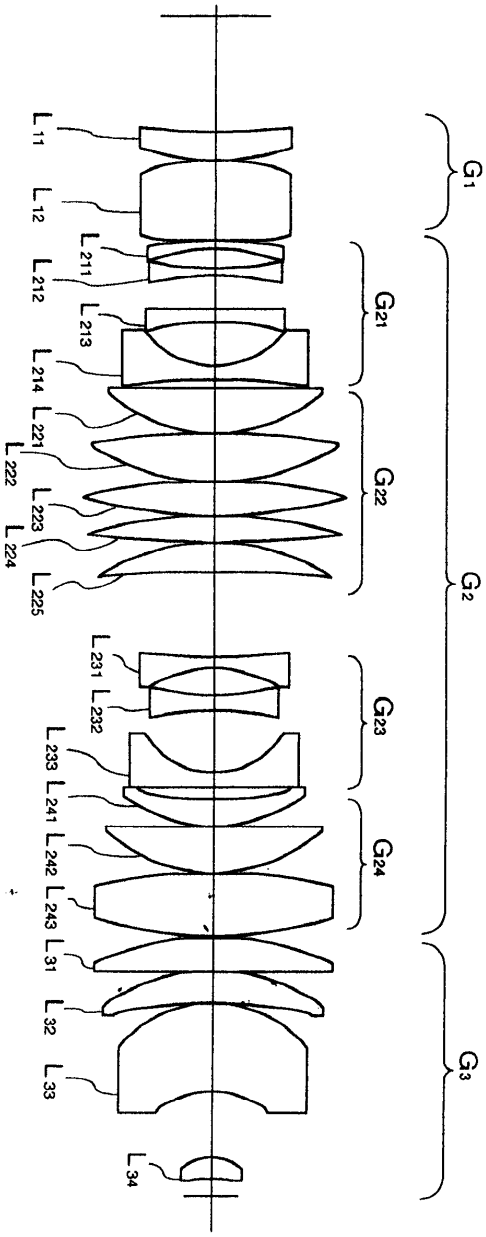
도면9


L11
L12
L211
L212
L213
L214
L221
L222
L223
L224
L225
L231
L232
L233
L241
L242
L243
L31
L32
L33
L34
G1
G2
G21
G22
G23
G24
G3

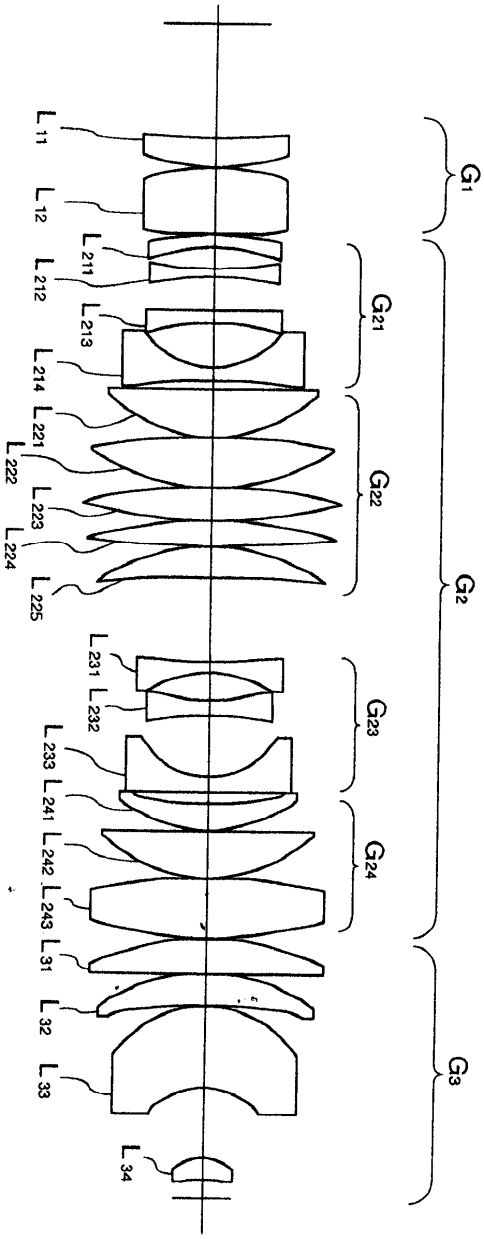
도면10


G1
G2
G21
G22
G23
G24
G3
L11
L12
L211
L212
L213
L214
L221
L222
L223
L224
L225
L231
L232
L233
L241
L242
L243
L31
L32
L33
L34

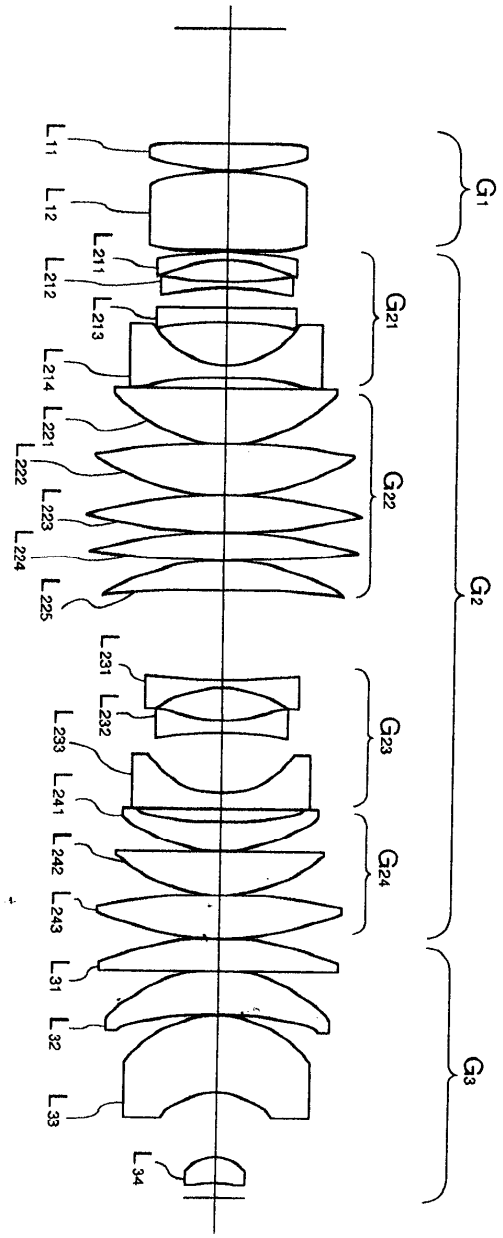
도면11


L11
L12
L211
L212
L213
L214
L221
L222
L223
L224
L225
L231
L232
L233
L241
L242
L243
L31
L32
L33
L34
G1
G2
G21
G22
G23
G24
G3

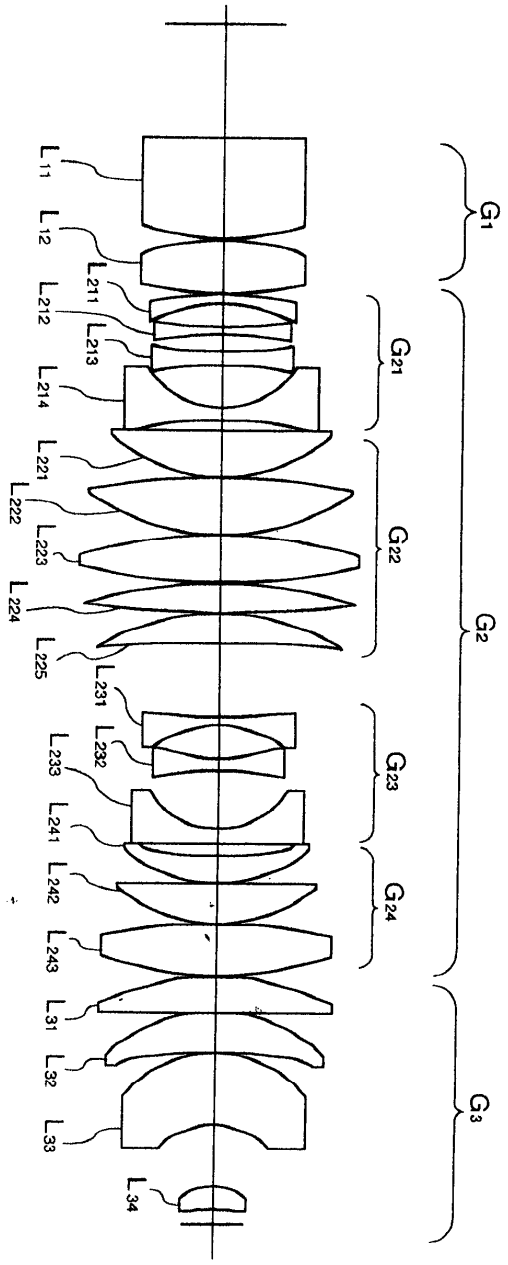
도면12


L11
L12
L211
L212
L213
L214
L221
L222
L223
L224
L225
L231
L232
L233
L241
L242
L243
L31
L32
L33
L34
G1
G2
G21
G22
G23
G24
G3

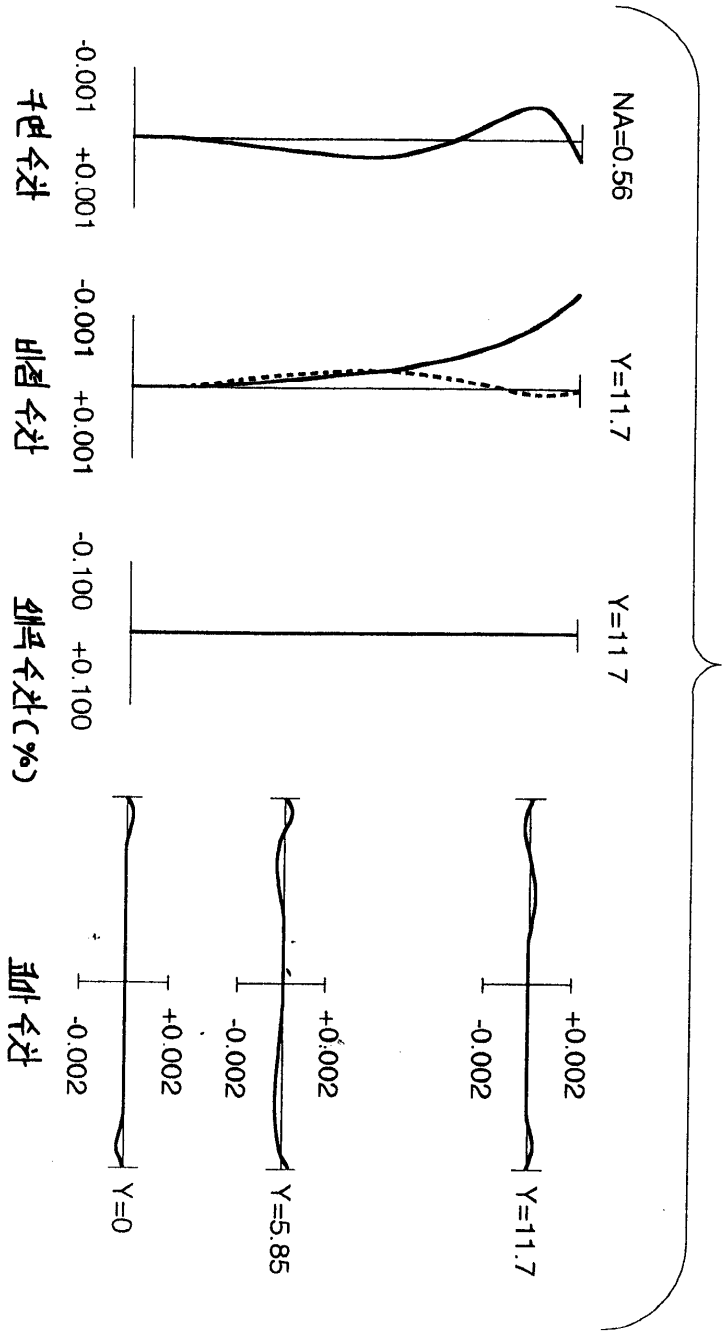
도면13


L11
L12
L211
L212
L213
L214
L221
L222
L223
L224
L225
L231
L232
L233
L241
L242
L243
L31
L32
L33
L34
G1
G2
G21
G22
G23
G24
G3

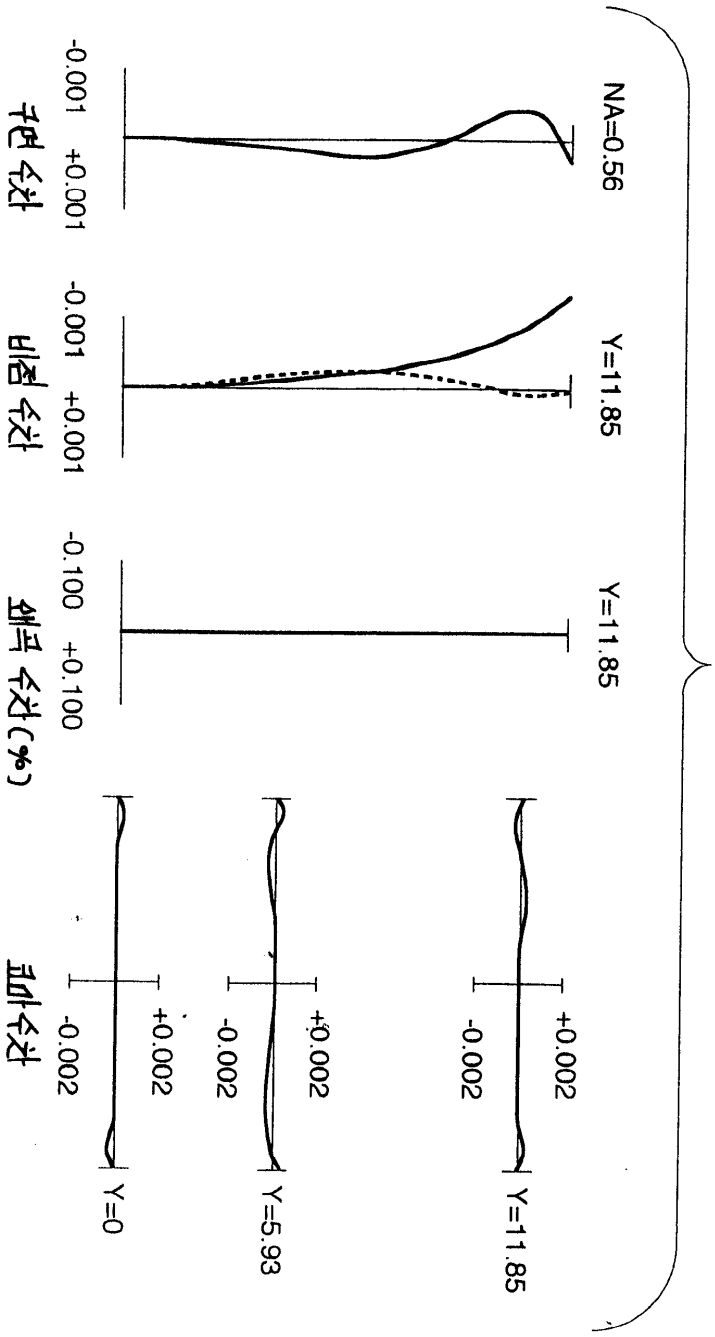
도면14


L11
L12
L211
L212
L213
L214
L221
L222
L223
L224
L225
L231
L232
L233
L241
L242
L243
L31
L32
L33
L34
G1
G2
G21
G22
G23
G24
G3

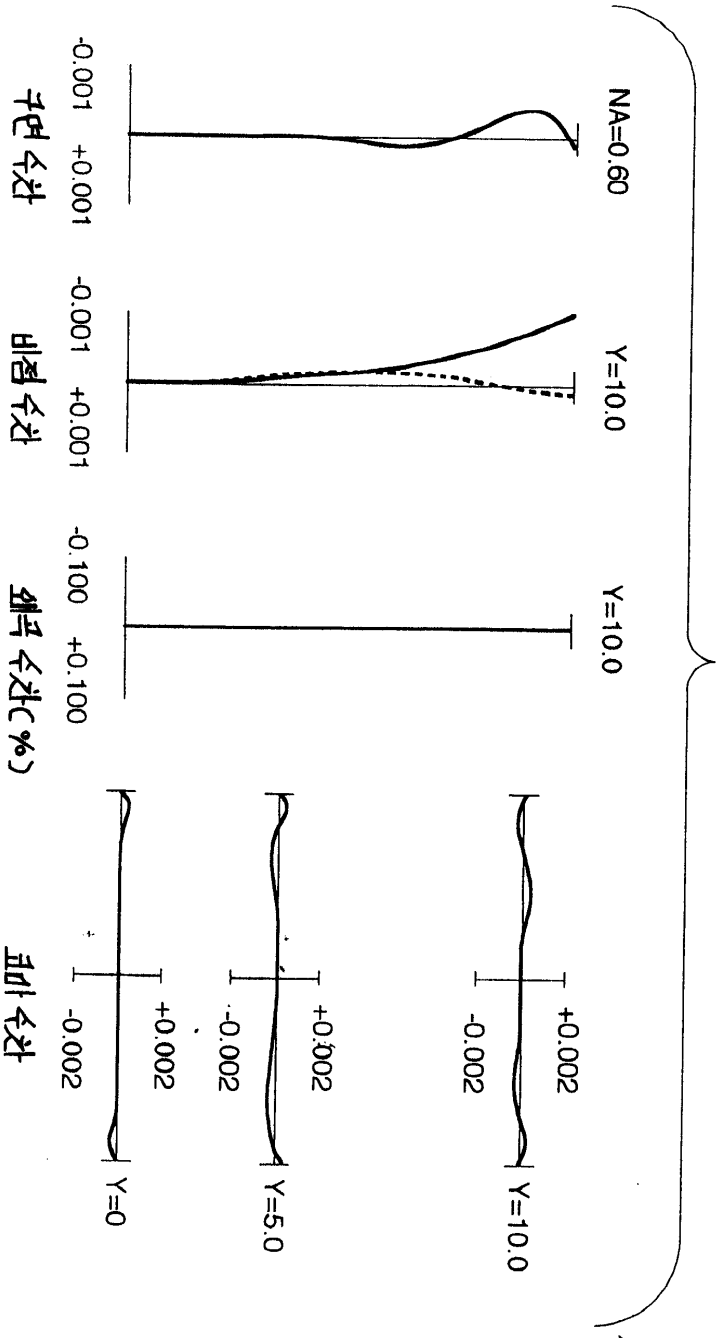
도면15


NA=0.56
Y=11.7
Y=11 7
Y=11.7
Y=5.85
Y=0
+0.002
-0.002
+0.002
-0.002
+0.002
-0.002
-0.001 +0.001
-0.001 +0.001
-0.100 +0.100
구면 수차
비점 수차
왜곡 수차(%)
파면 수차

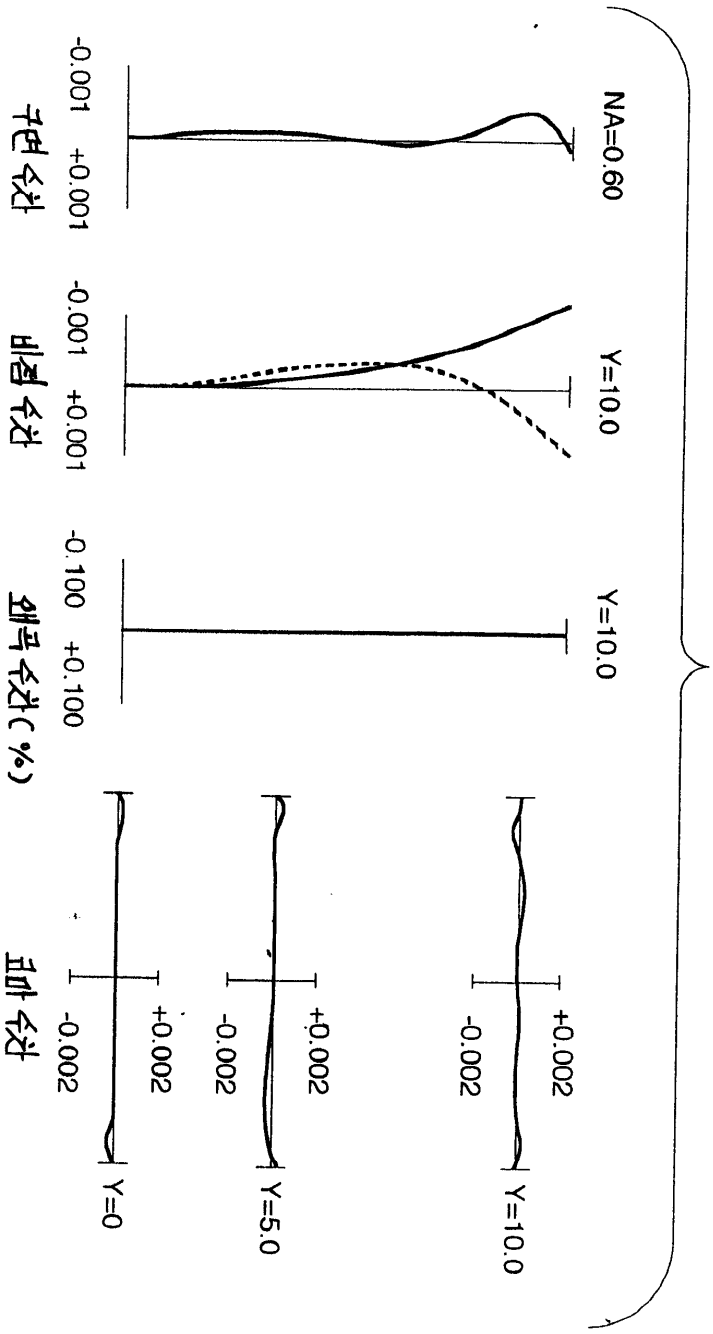
도면16


NA=0.56
Y=11.85
Y=11.85
Y=11.85
Y=5.93
Y=0
-0.001 +0.001
구면 수차
-0.001 +0.001
비점 수차
-0.100 +0.100
왜곡 수차(%)
-0.002 +0.002
-0.002 +0.002
-0.002 +0.002
파면수차

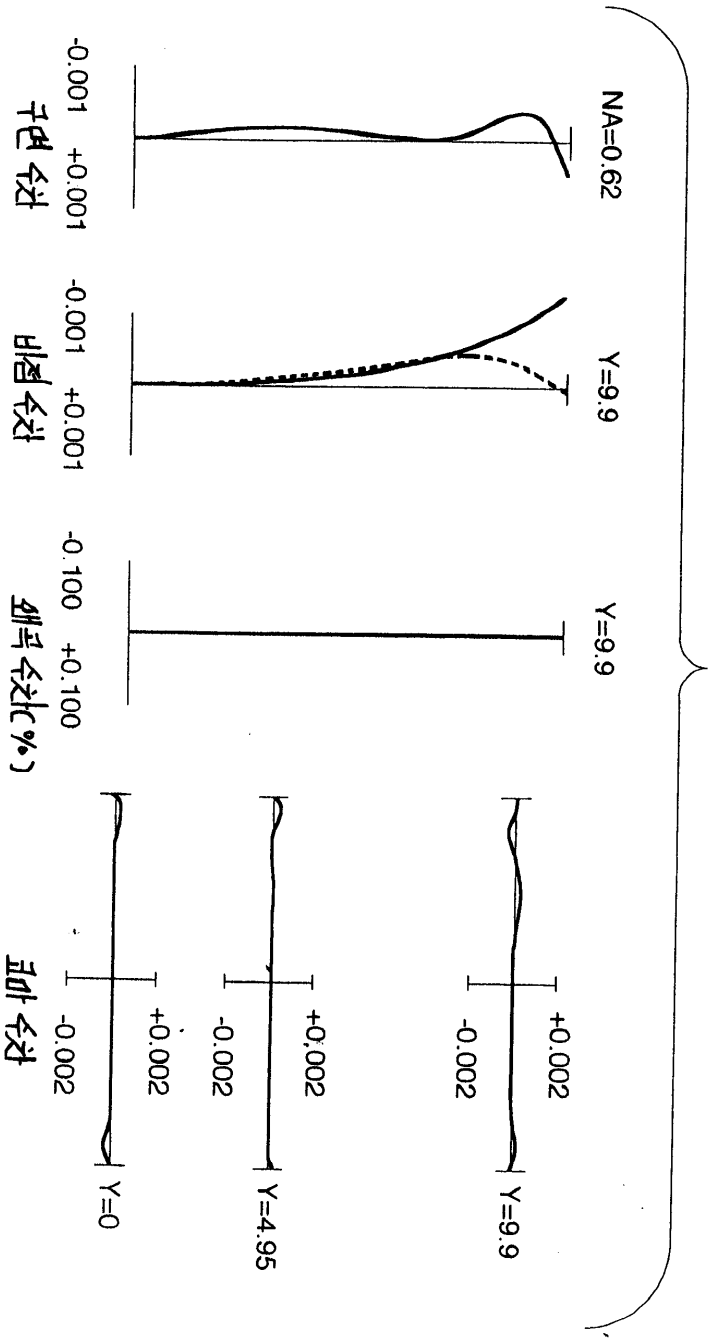
도면17


NA=0.60
Y=10.0
Y=10.0
구면 수차
-0.001 +0.001
비점 수차
-0.001 +0.001
왜곡 수차(%)
-0.100 +0.100
+0.002
-0.002
Y=10.0
+0.002
-0.002
Y=5.0
+0.002
-0.002
Y=0
표시 수차

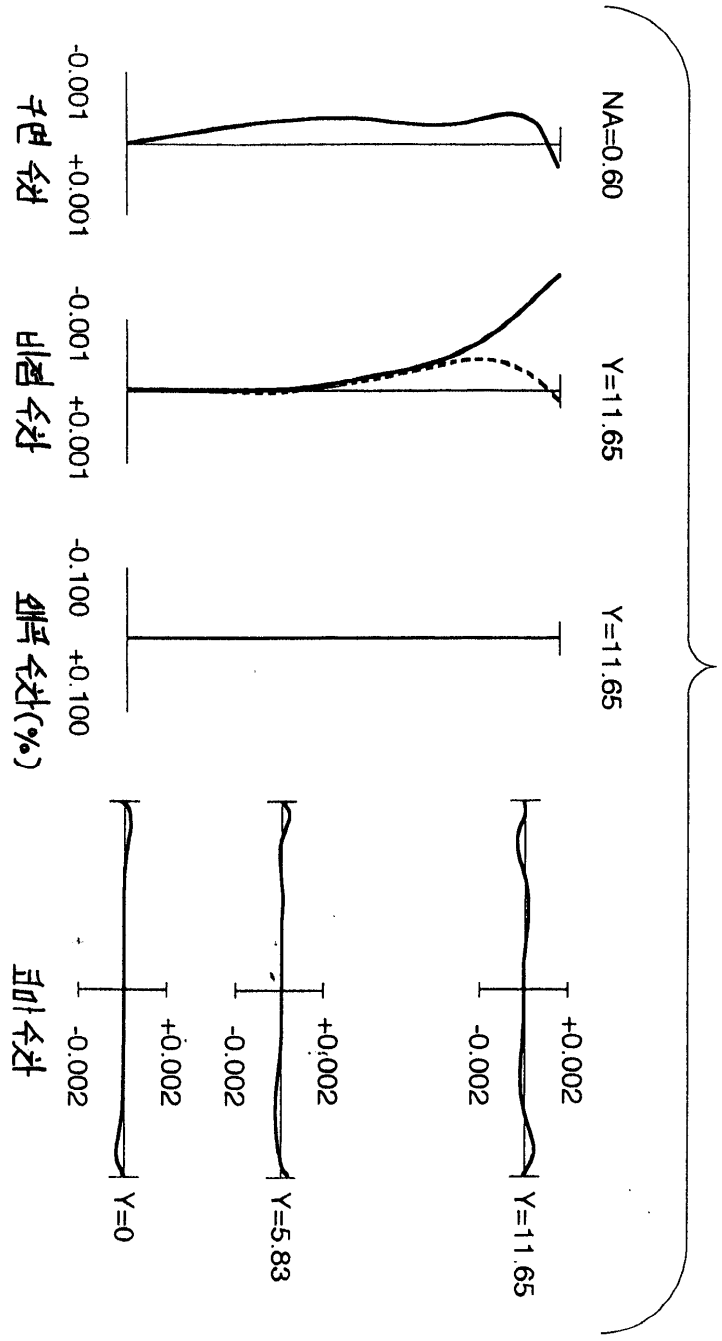
도면18


NA=0.60
Y=10.0
Y=10.0
구면 수차
-0.001 +0.001
비점 수차
-0.001 +0.001
왜곡 수차(%)
-0.100 +0.100
Y=10.0
Y=5.0
Y=0
+0.002
-0.002
+0.002
-0.002
+0.002
-0.002
파마 수차

도면19


NA=0.62
Y=9.9
Y=9.9
구면 수차
-0.001 +0.001
비점 수차
-0.001 +0.001
왜곡 수차(%)
-0.100 +0.100
Y=9.9
-0.002
+0.002
Y=4.95
-0.002
+0.002
Y=0
-0.002
+0.002
코마 수차

도면20


NA=0.60
Y=11.65
Y=11.65
Y=11.65
Y=5.83
Y=0
-0.001 +0.001
구면 수차
-0.001 +0.001
비점 수차
-0.100 +0.100
왜곡 수차(%)
-0.002 +0.002
-0.002 +0.002
-0.002 +0.002
코마 수차