



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년01월30일
(11) 등록번호 10-0799418
(24) 등록일자 2008년01월23일

(51) Int. Cl.

H01L 21/027 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2003-7005588
(22) 출원일자 2003년04월22일
심사청구일자 2006년10월20일
번역문제출일자 2003년04월22일
(65) 공개번호 10-2003-0045130
(43) 공개일자 2003년06월09일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2001/009266
국제출원일자 2001년10월23일
(87) 국제공개번호 WO 2002/35273
국제공개일자 2002년05월02일
(30) 우선권주장

JP-P-2000-00322068 2000년10월23일 일본(JP)

(뒷면에 계속)

(56) 선행기술조사문헌

JP12098228 A

JP12235144 A

KR100130773 B1

KR1019900007049 A

전체 청구항 수 : 총 28 항

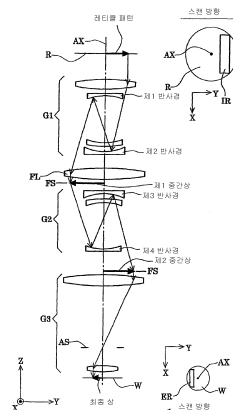
심사관 : 설관식

(54) 반사굴절광학계 및 이 광학계를 구비한 노광장치

(57) 요약

본 발명은 반사굴절광학계와 상기 광학계를 구비한 노광장치에 관한 것으로서, 반사굴절광학계는 적어도 2개의 반사경을 갖고, 제 1 면으로부터의 광에 기초하여 제 1 면의 제 1 중간상을 형성하기 위한 제 1 결상광학계와, 적어도 2개의 반사경을 갖고, 제 1 결상광학계를 통한 광에 기초하여 제 1 면의 제 2 중간상을 형성하기 위한 제 2 결상광학계와, 제 2 결상광학계를 통한 광에 기초하여 제 1 면의 최종상을 제 2 면 상에 형성하기 위한 굴절형 제 3 결상광학계를 구비하며, 제 1 결상광학계, 제 2 결상광학계 및 제 3 결상광학계를 구성하는 모든 광학부재가 단일 직선형상 광축을 따라서 배치되어 있는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(81) 지정국

국내특허 : 아랍에미리트, 안티구와바부다, 알바니아, 아르메니아, 오스트리아, 오스트레일리아, 아제르바이잔, 보스니아 헤르체고비나, 바베이도스, 불가리아, 브라질, 벨라루스, 벨리즈, 캐나다, 스위스, 중국, 콜롬비아, 코스타리카, 쿠바, 체코, 독일, 덴마크, 도미니카, 알제리, 에쿠아도르, 에스토니아, 스페인, 핀란드, 영국, 그라나다, 그루지야, 가나, 감비아, 크로아티아, 헝가리, 인도네시아, 이스라엘, 인도, 아이슬랜드, 케냐, 키르기스스탄, 북한, 대한민국, 카자흐스탄, 세인트루시아, 스리랑카, 리베이라, 레소토, 리투아니아, 룩셈부르크, 라트비아, 모로코, 몰도바, 마다가스카르, 마케도니아공화국, 몽고, 말라위, 멕시코, 모잠비크, 노르웨이, 뉴질랜드, 필리핀, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 러시아, 수단, 스웨덴, 싱가포르, 슬로베니아, 슬로바키아, 시에라리온, 타지키스탄, 투르크멘, 터키, 트리니다드토바고, 탄자니아, 우크라이나, 우간다, 우즈베키스탄, 베트남, 세르비아 앤 몬테네그로, 남아프리카, 짐바브웨, 미국

AP ARIPO특허 : 가나, 감비아, 케냐, 레소토, 말라위, 모잠비크, 수단, 시에라리온, 탄자니아, 우간다, 짐바브웨, 스와질랜드

EA 유라시아특허 : 아르메니아, 아제르바이잔, 벨라루스, 키르기스스탄, 카자흐스탄, 몰도바, 러시아, 타지키스탄, 투르크멘

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 사이프러스, 독일, 덴마크, 스페인, 핀란드, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴, 터키

OA OAPI특허 : 부르키나파소, 베닌, 중앙아프리카, 콩고, 코트디부아르, 카메룬, 가봉, 기니, 적도 기니, 말리, 모리타니, 니제르, 세네갈, 차드, 토고, 기니 비사우

(30) 우선권주장

JP-P-2001-00003200 2001년01월11일 일본(JP)

JP-P-2001-00309516 2001년10월05일 일본(JP)

특허청구의 범위

청구항 1

2개 이상의 반사경을 갖고, 제 1 면으로부터의 광에 기초하여 상기 제 1 면의 제 1 중간상을 형성하기 위한 제 1 결상광학계;

2개 이상의 반사경을 갖고, 상기 제 1 결상광학계를 통한 광에 기초하여 상기 제 1 면의 제 2 중간상을 형성하기 위한 제 2 결상광학계; 및

상기 제 2 결상광학계를 통한 광에 기초하여 상기 제 1 면의 최종상을 제 2 면 상에 형성하기 위한 굴절형 제 3 결상광학계를 구비하며,

상기 제 1 결상광학계, 상기 제 2 결상광학계 및 상기 제 3 결상광학계를 구성하는 모든 광학부재가 단일 직선형상 광축에 따라서 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 반사굴절광학계.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 결상광학계와 상기 제 2 결상광학계 사이의 광로 중에는 필드렌즈가 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 반사굴절광학계.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 제 1 결상광학계는 상기 2개의 반사경과 1개 이상의 렌즈 성분을 갖는 것을 특징으로 하는 반사굴절광학계.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 제 1 결상광학계와 상기 필드렌즈의 합성광학계는 제 1 면측 및 제 2 면측에 텔레센트릭한 광학계를 구성하고 있는 것을 특징으로 하는 반사굴절광학계.

청구항 5

제 2 항에 있어서,

상기 제 1 결상광학계는 상기 2개의 반사경 사이의 광로 중에 배치된 1개 이상의 부(負) 렌즈 성분을 갖는 것을 특징으로 하는 반사굴절광학계.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 결상광학계는 상기 2개의 반사경 사이의 광로 중에 배치된 1개 이상의 부 렌즈 성분을 갖는 것을 특징으로 하는 반사굴절광학계.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

제 1 면과 제 2 면 사이의 광로 중에 상기 제 1 면의 중간상을 2회 형성하고, 상기 제 1 면의 제 3 회째의 중간상을 최종상으로 하여 상기 제 2 면 상에 형성하며, 모든 광학부재는 단일 직선형상 광축을 따라서 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 반사굴절광학계.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 중간상은 상기 광축에서 떨어진 위치에 형성되는 것을 특징으로 하는 반사굴절광학계.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

2 개의 상기 중간상 사이의 광로중에 배치된 2개의 반사경을 구비하는 것을 특징으로 하는 반사 굴절 광학계.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 제 1 면과 상기 2 개의 반사경 사이의 광로 중에 배치된 다른 2 개의 반사경을 구비하는 것을 특징으로 하는 반사 굴절 광학계.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 2 개의 반사경과 상기 다른 2 개의 반사경 사이의 광로 중에 배치된 필드레스를 구비하는 것을 특징으로 하는 반사 굴절 광학계.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 면과 상기 다른 2 개의 반사경과의 사이의 광로 중에 배치된 렌즈 성분을 갖는 것을 특징으로 하는 반사 굴절 광학계.

청구항 13

제 10 항에 있어서,

상기 2 개의 반사경 사이의 광로 중에 배치된 부 렌즈 성분을 가진 것을 특징으로 하는 반사 굴절 광학계.

청구항 14

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 면 상에 있어서 상기 광축으로부터 떨어진 직사각형 형상의 영역의 상을 상기 제 2 면 상에 형성하는 것을 특징으로 하는 반사굴절광학계.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 반사굴절광학계로 형성되는 상 영역을 규정하는 시야 조리개와, 상기 반사굴절광학계의 개구수를 규정하는 개구 조리개를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 반사굴절광학계.

청구항 16

제 14 항에 있어서,

상기 제 1 면과 상기 제 2 면과의 사이의 광로 중에 상기 제 1 면의 중간상을 2 회 형성하고, 상기 제 1 면의 제 3 회째의 중간상을 최종상으로 하여 상기 제 2 면상에 형성하고,

상기 반사굴절광학계 중의 모든 광학 부재가 단일 직선상 광축을 따라서 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 반사 굴절 광학계.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 복수의 반사경은 2 개의 상기 중간상의 사이의 광로 중에 배치된 2 개의 반사경을 구비하는 것을 특징으로

로 하는 반사 굴절 광학계.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 복수의 반사경은 상기 제 1 면과 상기 2 개의 반사경과의 사이의 광로중에 배치된 다른 2 개의 반사경을 구비하는 것을 특징으로 하는 반사 굴절 광학계.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 2 개의 반사경과 상기 다른 2 개의 반사경과의 사이의 광로 중에 배치된 필드렌즈를 구비하는 것을 특징으로 하는 반사 굴절 광학계.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

상기 제 1 면과 상기 다른 2 개의 반사경과의 사이의 광로 중에 배치된 렌즈 성분을 갖는 것을 특징으로 하는 반사 굴절 광학계.

청구항 21

제 18 항에 있어서,

상기 2 개의 반사경 사이의 광로 중에 배치된 부 렌즈 성분을 가진 것을 특징으로 하는 반사 굴절 광학계.

청구항 22

제 14 항에 있어서,

상기 복수의 반사경 중 하나 이상의 반사경의 외측을 통과하는 광로를 구비하는 것을 특징으로 하는 반사 굴절 광학계.

청구항 23

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 결상광학계는 제 1 반사경과 제 2 반사경을 갖고,

상기 제 2 결상광학계는 제 3 반사경과 제 4 반사경을 갖고,

상기 제 1 반사경, 상기 제 2 반사경, 상기 제 3 반사경 및 상기 제 4 반사경 중에서 2개의 반사경의 반사면측의 직전에 하나 이상의 부 렌즈가 각각 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 반사굴절광학계.

청구항 24

제 23 항에 있어서,

상기 2개의 반사경의 반사면측의 직전에 1개 이상의 부 렌즈가 각각 배치되어 있는 것에 의해 배율의 색수차의 보정이 실시되고,

배율 색수차 계수(LAT)는,

$$|LAT| < 5 \times 10^{-6}$$

의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 반사굴절광학계.

청구항 25

제 24 항에 있어서,

상기 2개의 반사경의 반사면측의 직전에 1개 이상의 부 렌즈가 각각 배치되어 있는 것에 의해 축상의 색수차의

보정이 실시되고,

축상 색수차 계수(AX)는,

$$|AX| < 2 \times 10^{-4}$$

의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 반사굴절광학계.

청구항 26

소정의 패턴을 조명하기 위한 조명계; 및

상기 소정의 패턴의 상을 감광성 기판 상에 형성하기 위한 투영광학계를 구비하며,

상기 투영광학계는 청구항 1 내지 청구항 25 중 어느 한 항에 기재된 반사굴절광학계로 구성되며,

상기 소정의 패턴은 상기 반사굴절광학계의 상기 제 1 면에 위치 결정되고, 상기 감광성 기판은 상기 반사굴절광학계의 상기 제 2 면에 대응하는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

청구항 27

제 26 항에 있어서,

상기 소정의 패턴을 상기 감광성 기판 상에 주사노광하기 위해, 상기 반사굴절광학계에 대해 상기 소정의 패턴이 형성된 마스크 및 상기 감광성 기판을 상대 이동시키는 구동계를 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

청구항 28

청구항 27에 기재된 노광장치에 의해 상기 소정의 패턴을 상기 감광성 기판 상에 노광하는 노광공정; 및

상기 노광공정에 의해 노광된 상기 감광성 기판을 현상하는 현상공정을 갖는 것을 특징으로 하는 마이크로 디바이스의 제조방법.

명세서

기술 분야

- <1> 본 발명은 반사굴절광학계 및 이 광학계를 구비한 노광장치에 관한 것으로, 특히 반도체 소자 등을 포토리소그래피 공정에서 제조할 때 사용되는 노광장치에 최적인 고해상도의 반사굴절형 투영광학계에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 최근, 반도체 소자의 제조나 반도체칩 실장기판의 제조에서는 미세화가 점점 진행되고 있고, 패턴을 프린팅하는 노광장치에서는 보다 해상력이 높은 투영광학계가 요구되고 있다. 상기 고해상의 요구를 만족하는 데에는 노광광을 단파장화하고 또한 NA(투영광학계의 개구수)를 크게 하지 않으면 안된다. 그러나, 노광광의 파장이 짧아지면 광의 흡수를 위해 실용에 건디는 광학 유리의 종류가 한정된다. 예를 들어 파장이 180nm이하가 되면, 실용상 사용할 수 있는 초재(硝材)는 형식만으로 한정된다.
- <3> 이 경우, 굴절광학부재(렌즈, 평행평면판 등)만으로 촬영광학계를 구성하면 형성된 굴절형의 투영광학계에서는 색수차의 보정이 전혀 불가능해진다. 다시 말하면 요구되는 해상력을 갖는 투영광학계를 굴절광학부재만으로 구성하는 것은 매우 어려운 것이 된다. 이에 대해서 반사광학부재 즉 반사경만으로 투영광학계를 구성하는 것도 시도되고 있다.
- <4> 그러나, 이 경우 형성되는 반사형의 투영광학계는 대형화되고, 또한 반사면의 비구면화가 필요해진다. 또한, 반사면을 고정밀도로 비구면화하는 것은 제작면에서 매우 곤란하다. 그래서, 단파장광의 사용에 건딜 수 있는 광학유리로 이루어진 굴절광학부재와 반사경을 조합시킨, 소위 반사굴절형의 축소광학계가 여러가지 제안되어 있다.
- <5> 그 중에서, 오목면 반사경을 1매만 사용하여 중간상을 1회만 형성하는 타입의 반사굴절광학계가 알려져 있다. 상기 타입의 반사굴절광학계에서는 오목면 반사경을 포함하는 왕복경용 광학계 부분이 부(負)렌즈만을

포함하고, 정(正) 파위를 갖는 굴절광학부재를 포함하고 있지 않다. 그 결과, 광속(光束)이 확대된 상태에서 오목면 반사경에 입사하므로, 오목면 반사경의 직경이 커지기 쉬웠다.

- <6> 특히, 오목면 반사경을 포함하는 왕복검용 광학계 부분이 완전대칭형의 구성을 갖는 경우, 상기 왕복검용 광학계 부분에서의 수차의 발생을 최대한 억제하고 후속의 굴절광학계 부분의 수차보정부담을 가볍게 하고 있다. 그러나, 대칭형 왕복검용 광학계를 채용하고 있으므로, 제 1 면 부근에서의 워킹 디스턴스(working distance)를 충분히 확보하기 어렵고, 또한 광로분기를 위해 하프프리즘을 사용하지 않으면 안되었다.
- <7> 또한, 중간상의 형성위치보다도 후방에 배치되는 2차 결상광학계에 오목면 반사경을 사용하는 경우, 광학계의 필요한 밝기를 확보하기 위해서는 광속이 확대된 상태에서 오목 반사경에 입사하게 된다. 그 결과, 오목면 반사경의 직경이 커지기 쉽고 그 소형화가 곤란했다.
- <8> 한편, 복수매의 반사경을 사용하여 중간상을 1회만 형성하는 타입의 반사굴절광학계도 알려져 있다. 상기 타입의 반사굴절광학계에서는 굴절광학계 부분의 렌즈매수를 삭감할 수 있을 가능성이 있다. 그러나, 상기 타입의 반사굴절광학계에서는 이하의 불합리함이 있었다.
- <9> 상술한 바와 같은 구성의 왕복검용 광학계 부분을 축소측인 제 2 면측에 배치하는 타입의 반사굴절광학계에서는 축소배율의 관계로부터 반사경에서 반사된 후의 제 2 면(웨이퍼면)까지의 거리를 충분히 길게 확보할 수 없다. 이 때문에, 상기 광로중에 너무 많은 매수의 렌즈를 삽입할 수 없고, 얻어지는 광학계의 밝기를 한정된 값으로 하지 않을 수 없었다. 또한, 높은 개구수를 갖는 광학계를 가령 실현할 수 있다고 해도, 한정된 길이의 광로중에 많은 굴절광학부재가 배치되므로, 제 2 면인 웨이퍼면과 무엇보다도 제 2 면측의 렌즈면의 거리, 소위 워킹 디스턴스(WD)를 충분히 길게 확보할 수 없었다.
- <10> 종래의 반사굴절광학계에서는 광로를 절곡할 필요가 있고, 필연적으로 복수의 광축(광학계를 구성하는 굴절곡면 또는 반사곡면의 곡률중심을 연결하는 직선을 말한다)을 갖는 것이 된다. 그 결과, 광학계를 형성하기 위해 복수의 경통을 필요로 하고, 광축상호의 조정작업이 매우 곤란해지고 고정밀도의 광학계를 실현할 수 없었다. 또한, 중앙에 개구부(광투과부)를 갖는 한쌍의 반사경을 사용함으로써 모든 광학부재를 단일한 직선형상 광축을 따라서 배치한 타입의 반사굴절광학계도 가능하다. 그러나, 상기 타입의 반사굴절광학계에서는 반사경에서 반사되지 않고 광축을 따라서 진행하는 불필요광을 차단하기 위해, 중심광속의 차폐 즉 중심차폐가 필요해진다. 그 결과, 중심차폐에 기인하여 특정 주파수의 패턴에서 콘트라스트의 저하가 발생하는 불합리함이 있었다.
- <11> 또한, 종래의 반사굴절광학계에서는 유효한 시야 조리개 및 개구 조리개를 설치할 위치를 확보할 수 없었다. 또한, 상술한 바와 같이 종래의 반사굴절광학계에서는 워킹 디스턴스를 충분히 길게 확보할 수 없었다. 또한, 상술한 바와 같이 종래의 반사굴절광학계에서는 오목면 반사경이 대형화되기 쉽고 광학계의 소형화를 도모할 수 없었다.
- <12> 또한, EP1069448A1에 개시된 반사굴절광학계에서는 제 2 면측(웨이퍼측)의 워킹 디스턴스가 확보되고, 단일 광축을 따라서 구성되어 있다는 이점이 있지만, 제 1 면측(마스크측)의 워킹 디스턴스(제 1 면인 마스크면과 무엇보다도 제 1 면측의 렌즈면의 거리)를 충분히 길게 확보할 수 없다는 불합리함이 있었다. 또한, W001/51979A2에 개시된 반사굴절광학계에서는 반사경의 직경이 너무 커지므로, 충분히 큰 개구수를 달성할 수 없다는 불합리함이 있었다. 동일하게, 일본 특개 2001-228401호 공보에 개시된 반사굴절광학계에서도 반사경의 직경이 너무 커지므로, 충분히 큰 개구수를 달성할 수 없다는 불합리함이 있었다.

발명의 상세한 설명

- <13> 본 발명은 상술한 과제를 감안하여 이루어진 것으로, 조정이 용이하게 고정밀도로 광학계를 제조할 수 있고, 예를 들어 파장이 180nm 이하의 진공 자외선 파장영역의 광을 사용하여 0.1 μ m 이하의 고해상을 달성할 수 있는 반사굴절광학계를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- <14> 또한, 본 발명은 유효한 시야 조리개 및 개구 조리개를 설치할 위치를 확보할 수 있고, 예를 들어 파장이 180nm 이하의 진공자외선 파장영역의 광을 사용하여 0.1 μ m 이하의 고해상도를 달성할 수 있는 반사굴절광학계를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- <15> 또한, 본 발명은 충분히 긴 워킹 디스턴스를 확보할 수 있고, 예를 들어 파장이 180nm이하의 진공자외선 파장영역의 광을 사용하여 0.1 μ m이하의 고해상도를 달성할 수 있는 반사굴절광학계를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- <16> 또한, 본 발명은 오목면 반사경의 대형화를 억제하여 광학계의 소형화를 도모할 수 있고, 예를 들어 파장이 180

nm이하의 진공자외선 파장영역의 광을 사용하여 0.1 μ m 이하의 고해상을 달성할 수 있는 반사굴절광학계를 제공하는 것을 목적으로 한다.

- <17> 또한, 본 발명은 제 1 면측의 워킹 디스턴스를 충분히 길게 확보함과 동시에, 반사경의 직경의 대형화를 억제하여 충분히 큰 개구수를 달성할 수 있고, 예를 들어 파장이 180nm이하의 진공자외선 파장영역의 광을 사용하여 0.1 μ m이하의 고해상을 달성할 수 있는 반사굴절광학계를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- <18> 또한, 본 발명의 반사굴절광학계를 투영 광학계로서 사용하고, 예를 들어 파장이 180nm이하의 노광광을 사용하고, 0.1 μ m이하의 고해상으로 양호한 투영노광을 실시할 수 있는 노광장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.
- <19> 또한, 본 발명의 노광장치를 사용하여 예를 들어 0.1 μ m 이하의 고해상으로 양호한 투영노광을 실시함으로써 고정밀한 마이크로 디바이스를 제조할 수 있는 마이크로 디바이스 제조방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- <20> 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명의 반사굴절광학계는 적어도 2개의 반사경을 갖고, 제 1 면으로부터의 광에 기초하여 제 1 면의 제 1 중간상을 형성하기 위한 제 1 결상광학계와, 적어도 2개의 반사경을 갖고 제 1 결상광학계를 통한 광에 기초하여 제 1 면의 제 2 중간상을 형성하기 위한 제 2 결상광학계와, 제 2 결상광학계를 통한 광에 기초하여 제 1 면의 최종상을 제 2 면상에 형성하기 위한 굴절형의 제 3 결상광학계를 구비하고, 제 1 결상광학계, 제 2 결상광학계 및 제 3 결상광학계를 구성하는 모든 광학부재가 단일한 직선형상 광축을 따라서 배치되어 있다.
- <21> 상기 반사굴절광학계에서 제 1 결상광학계와 제 2 결상광학계 사이의 광로중에는 필드렌즈가 배치되어 있는 것이 바람직하다.
- <22> 또한, 제 1 결상광학계는 2개의 반사경과 적어도 하나의 렌즈 성분을 갖는 것이 바람직하다.
- <23> 이들의 경우, 제 1 결상광학계와 필드렌즈의 합성광학계는 제 1 면측 및 제 2 면측에 텔레센트릭인 광학계를 구성하는 것이 바람직하다.
- <24> 상기 각각의 반사굴절광학계에서 제 1 결상광학계는 2개의 반사경 사이의 광로중에 배치된 적어도 1개의 부렌즈 성분을 갖는 것이 바람직하다.
- <25> 또한, 제 2 결상광학계는 2개의 반사경 사이의 광로중에 배치된 적어도 하나의 부렌즈 성분을 갖는 것이 바람직하다.
- <26> 본 발명의 다른 반사굴절광학계는 제 1 면과 제 2 면 사이의 광로중에 제 1 면의 중간상을 2회 형성하고, 제 1 면의 제 3 회계의 중간상을 최종상으로 하여 제 2 면상에 형성하는 복수의 광학부재를 구비하고, 복수의 광학부재는 단일한 직선형상 광축을 따라서 배치되어 있다.
- <27> 상기 반사굴절광학계에서 중간상은 광축으로부터 떨어진 위치에 형성되는 것이 바람직하다.
- <28> 본 발명의 다른 반사굴절광학계는 단일한 직선형상 광축을 따라서 배치된 복수의 반사경을 구비하고, 제 1 면에서 광축으로부터 떨어진 직사각형 형상의 영역의 상을 제 2 면상에 형성한다.
- <29> 상기 반사굴절광학계는 상기 반사굴절광학계에서 형성되는 상영역을 규정하는 시야 조리개와, 상기 반사굴절광학계의 개구수를 규정하는 개구 조리개를 더 구비하고 있는 것이 바람직하다.
- <30> 본 발명의 다른 반사굴절광학계는 적어도 제 1 반사경과 제 2 반사경을 구비하고, 제 1 면으로부터의 광에 기초하여 제 1 면의 제 1 중간상을 형성하기 위한 제 1 결상광학계와, 적어도 제 3 반사경과 제 4 반사경을 구비하고, 제 1 결상광학계를 통한 광에 기초하여 제 1 면의 제 2 중간상을 형성하기 위한 제 2 결상광학계와, 제 2 결상광학계를 통한 광에 기초하여 제 1 면의 최종상을 제 2 면상에 형성하기 위한 굴절형의 제 3 결상광학계를 구비하고, 제 1 결상광학계, 제 2 결상광학계 및 제 3 결상광학계를 구성하는 모든 광학부재가 단일한 직선형상 광축을 따라서 배치되고, 제 1 반사경, 제 2 반사경, 제 3 반사경 및 제 4 반사경 중 2개의 반사경의 반사면측의 직전에 적어도 하나의 부렌즈가 각각 배치되어 있다.
- <31> 상기 반사굴절광학계에서 2개의 반사경의 반사면측의 직전에 적어도 1개의 부렌즈가 각각 배치되어 있어 배율의 색수차의 보정이 이루어지고, 배율색수차 계수(LAT)는 $|LAT| < 5 \times 10^{-6}$ 의 조건을 만족하는 것이 바람직하다. 이 경우, 또는 상기의 반사굴절광학계에서 2개의 반사경의 반사면측의 직전에 적어도 하나의 부렌즈가 각각 배치되어 있어 축상의 색수차의 보정이 이루어지고, 축상색수차 계수(AX)는 $|AX| < 2 \times 10^{-4}$ 의 조건을 만족하는 것

이 바람직하다.

- <32> 본 발명의 노광장치는 마스크를 조명하기 위한 조명계와, 마스크에 형성된 패턴의 상을 감광성 기판상에 형성하기 위한 투영광학계를 구비하고, 투영광학계는 상기 기재의 반사굴절광학계로 구성되고, 마스크는 반사굴절광학계의 제 1 면에 대응하여 감광성 기판은 반사굴절광학계의 제 2 면에 대응한다.
- <33> 상기 노광장치에서 마스크 패턴을 감광성 기판상에 주사노광하기 위해 반사굴절광학계에 대해서 마스크 및 감광성 기판을 상대 이동시키는 구동계를 더욱 구비하는 것이 바람직하다.
- <34> 본 발명의 마이크로 디바이스의 제조방법은 상기 노광장치에 의해 마스크의 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광공정과, 노광공정에 의해 노광된 감광성 기판을 현상하는 현상공정을 갖는다.

실시예

- <62> 도 1은 본 발명의 반사굴절광학계의 기본적인 구성을 설명하기 위한 도면이다. 또한, 도 1에서는 본 발명의 반사굴절광학계가 주사노광형의 노광장치의 투영광학계에 적용되고 있다. 도 1에 도시한 바와 같이 본 발명의 반사굴절광학계는 제 1 면에 배치된 투영원판으로서의 레티클(R) 패턴의 제 1 중간상을 형성하기 위한 제 1 결상광학계(G1)를 구비하고 있다. 또한, 제 1 결상광학계(G1)는 적어도 2개의 반사경, 즉 제 1 반사경 및 제 2 반사경을 갖는다.
- <63> 제 1 결상광학계(G1)를 통한 광은 적어도 2개의 반사경, 즉 제 3 반사경 및 제 4 반사경을 갖는 제 2 결상광학계(G2)를 통하여, 레티클(R) 패턴의 제 2 중간상을 형성한다. 제 2 결상광학계(G2)를 통한 광은, 반사경을 포함하지 않고 굴절광학부재를 갖는 굴절형의 제 3 결상광학계(G3)를 통하여, 레티클(R) 패턴의 최종상을 제 2 면에 배치된 감광성 기판으로서의 웨이퍼(W)상에 형성한다. 제 1 결상광학계(G1), 제 2 결상광학계(G2) 및 제 3 결상광학계(G3)를 구성하는 모든 광학부재가 단일한 직선형상 광축(AX)을 따라서 배치되어 있다.
- <64> 또한, 구체적인 태양(態樣)에 의하면 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2) 사이의 광로중에, 필드렌즈(FL)가 배치되어 있다. 여기에서, 필드렌즈(FL)는 제 1 중간상의 형성에 관하여 적극적으로 기여하지 않고, 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2)를 정합 접속하는 기능을 갖는다. 또한, 제 1 결상광학계(G1)는 2개의 반사경에 더하여, 적어도 하나의 렌즈 성분을 갖는다. 이렇게 하여 제 1 결상광학계(G1)와 필드렌즈(FL)의 합성광학계는 레티클측(제 1 면측) 및 웨이퍼측(제 2 면측)에 텔레센트릭한 광학계를 구성한다. 또한, 제 2 결상광학계(G2)와 제 3 결상광학계(G3) 사이의 광로중에도 필요에 따라서 필드렌즈가 배치된다.
- <65> 또한, 구체적인 태양에 의하면 제 1 결상광학계(G1) 및 제 2 결상광학계(G2) 중 적어도 한쪽의 광학계에서는 2개의 반사경의 사이의 광로중에 적어도 하나의 부렌즈 성분(L13, L21)이 배치되어 있는 것이 바람직하다. 이 구성에 의해, 굴절광학부재(렌즈성분)를 단일종의 광학재료로 형성해도, 색수차가 양호한 보정이 가능해진다.
- <66> 또한, 반사굴절광학계에서 형성되는 상영역을 규정하는 시야 조리개(FS)를 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2) 사이의 필드렌즈(FL)의 근방, 또는 제 2 결상광학계(G2)와 제 3 결상광학계(G3) 사이의 필드렌즈의 근방에 배치할 수 있다. 이 경우, 조명광학계에 시야 조리개를 설치하지 않아도 좋은 구성으로 할 수 있다. 또한, 제 3 결상광학계(G3)의 광로중에 개구 조리개(AS)를 배치할 수 있다.
- <67> 이상과 같이, 본 발명의 반사굴절광학계에서는 복수의 광축을 갖는 종래의 반사굴절광학계와는 달리, 모든 광학부재가 단일한 광축(AX)을 따라서 배치되어 있다. 따라서, 광학계를 형성하기 위해 복수의 경통을 요하지 않고, 광축 상호의 조정작업도 불필요해지고, 단일 광축(AX)을 따른 각 광학부재의 기울기나 위치 어긋남 등을 광학적으로 검지하기 쉬워지므로, 고정밀도의 광학계를 제조할 수 있다. 또한, 이 구성에 의해 단일 광축(AX)을 중력방향(연직방향)에 일치시키면, 중력에 의한 렌즈의 휨이 회전대칭이 되도록 설정하는 것이 가능해지고, 광학조정에 의해 결상성능의 열화를 작게 억제하는 것이 가능해진다.
- <68> 특히, 노광장치의 투영광학계에 적용된 경우, 단일 광축(AX)을 따라서 직립자세에서 사용함으로써 레티클(R) 및 웨이퍼(W)를 중력방향으로 직교하는 면(즉 수평면)을 따라서 서로 평행으로 배치함과 동시에 투영광학계를 구성하는 모든 렌즈를 중력방향의 단일 광축(AX)을 따라서 수평으로 배치할 수 있다. 그 결과, 레티클(R), 웨이퍼(W) 및 투영광학계를 구성하는 모든 렌즈가 수평으로 유지되고, 자중(自重)에 의한 비대칭인 변형을 받지 않고, 광학조정이나 기계설계나 고해상도의 확보 등에서 매우 유리하다.
- <69> 또한, 본 발명에서는 제 3 결상광학계(G3)의 굴절광학계 부분이 정(正)의 굴절력(파워)을 갖기 위해 정(正)이 되기 쉬운 페츠발 합(Petzval sum)을 제 1 결상광학계(G1) 및 제 2 결상광학계(G2)에서의 오목면 반사경 부분의

부의 페즈발 합에 의해 상쇄하고, 전체의 페즈발 합을 완전히 0으로 억제할 수 있다.

- <70> 또한, 반사경을 포함하는 모든 광학부재를 단일 광축을 따라서 배치하는 구성에서는 반사경에 대해서 어떻게 광로를 설정하는지가 큰 문제가 된다. 하나의 해결책으로서 상술한 바와 같이 반사경의 중앙에 개구부(광투과부)를 형성하고, 그 중앙개구부를 통하여 광로를 설정하는 기술을 생각할 수 있다. 그러나, 이 종래 기술에서는 필연적으로 입사동(入射瞳, entrance pupil) 부분에서 중심차폐를 형성하지 않을 수 없고, 이 중심차폐에 기인하여 광학결상성능의 저하를 초래하게 된다.
- <71> 이에 대하여, 본 발명에서는 제 1 결상광학계(G1)에서 레티클 패턴으로부터의 광축이 제 1 반사경의 외측을 돌아 들어가 제 2 반사경에 입사된다. 그리고, 제 2 반사경에서 반사된 광축은 제 1 반사경에서 반사된 후 제 2 반사경의 외측을 돌아 들어가 제 1 중간상을 형성한다. 또한, 제 2 결상광학계(G2)에서 제 1 중간상으로부터의 광축은 제 3 반사경의 외측을 돌아 들어가 제 4 반사경에 입사한다. 그리고, 제 4 반사경에서 반사된 광축은 제 3 반사경에서 반사된 후, 제 4 반사경의 외측을 돌아 들어와 제 2 중간상을 형성한다. 본 발명에서는 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2)가, 제 1 중간상의 형성위치에 관해 거의 대칭으로 구성되어 있다. 그 결과, 레티클측 워킹 디스턴스(무엇보다도 레티클측의 광학면과 레티클의 사이의 광축을 따른 거리)를 크게 확보할 수 있다. 즉, 제 2 결상광학계(G2)를 통하여 형성되는 제 2 중간상의 위치를 제 3 반사경으로부터 멀리하도록 설정함으로써, 레티클의 워킹 디스턴스를 크게 확보할 수 있다. 샤프만의 색제거의 원리 「An achromat of the Schupmann(Refer R. Kinglake, "Lens Design Fundamentals", Academic Press, 1978, Page 89)」에 의하면 부렌즈로부터의 공역상(레티클(R), 중간상)까지의 거리차(도 1에서는 레티클(R)로부터 제 2 반사경까지의 거리를 c로 하고, 제 2 반사경으로부터 제 1 반사경까지의 거리를 b로 하고, 제 1 반사경으로부터 중간상까지의 거리를 a로 하면 $a+b-c$)가 크면 색보정이 곤란하다. 본 발명에서는 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2)가 제 1 중간상의 형성위치에 관해서 거의 대칭으로 구성되어 있으므로, 제 1 결상광학계(G1)의 부렌즈로부터의 공역상까지의 거리차($a+b-c$)를 제 2 결상광학계(G2)에서 상쇄(캔슬)할 수 있어 색수차 보정의 관점에서 유리하다.
- <72> 이상과 같은 구성을 채택함으로써 입사동에서의 중심차폐를 회피할 수 있고, 더 나아가서는 중심차폐에 기인하는 광학결상특성의 저하를 회피할 수 있다. 또한, 반사굴절광학계 전체의 결상배율을 적절하게 선택함으로써 각 반사경의 외측을 돌아 들어오는 광로의 설정이 용이해진다. 그 결과, 도 1에 도시한 바와 같이 레티클 필드에서 광축(AX)으로부터 편심한 비교적 큰 직사각형 형상의 조명영역(IR)에 형성된 레티클 패턴의 최종상을, 웨이퍼 필드에서 광축(AX)으로부터 편심한 비교적 큰 직사각형 형상의 실효노광영역(ER)상에 형성할 수 있다. 이에 대응하여, 레티클 패턴의 제 1 중간상 및 제 2 중간상은 광축(AX)으로부터 떨어진 위치에 형성된다.
- <73> 이와 같이, 본 발명의 반사굴절광학계를 투영광학계로서 탑재한 노광장치에서는, 레티클(R) 및 웨이퍼(W)를 소정의 방향(스캔 방향)을 따라서 이동시키면서 직사각형 형상의 조명영역(IR) 및 실효노광영역(ER)에 기초하는 주사노광을 실시할 수 있다. 이에 대해서, 모든 광학부재가 단일 광축을 따라서 배치된 반사굴절광학계를 촬영광학계로서 탑재한 종래의 노광장치에서는 비교적 큰 직사각형 형상의 조명영역 및 실효노광영역을 확보할 수 없고, 가늘고 긴 원호형 조명영역 및 실효노광영역에 기초한 주사노광을 실시하고 있었다.
- <74> 이 경우, 종래의 노광장치에서는 실효노광영역의 형상이 가늘고 긴 원호형상이었으므로, 주사노광시에 실효노광영역이 투영광학계의 초점 심도내에 항상 들어가도록 웨이퍼 스테이지의 기울기를 조정하는 것이 곤란했다. 또한, 종래의 노광장치에서는 실효노광영역의 형상이 가늘고 긴 원호형상이므로, 스캔 방향을 따른 레티클(R) 및 웨이퍼(W)의 소요 이동량, 즉 스캔폭이 커진다. 본 발명에서는 실효노광영역의 형상이 비교적 큰 직사각형 형상이므로 주사노광시에 실효노광영역이 투영광학계의 초점 심도내에 항상 들어가도록 웨이퍼 스테이지의 기울기를 조정하는 것이 용이하고 스캔폭도 작아진다.
- <75> 이하, 본 발명의 실시예를 첨부도면에 기초하여 설명한다.
- <76> 도 2는 본 발명의 각 실시예에 관한 반사굴절광학계를 투영광학계로서 구비한 노광장치의 전체 구성을 개략적으로 도시한 도면이다. 또한, 도 2에서 투영광학계(PL)를 구성하는 반사굴절광학계의 기준 광축(AX)에 평행으로 Z축을, 광축(AX)에 수직인 내부면에서 도 2의 지면에 평행으로 Y축을, 지면에 수직으로 X축을 설정하고 있다.
- <77> 도시한 노광장치는 자외영역의 조명광을 공급하기 위한 광원(100)으로서 F₂레이저 광원(발진중심파장 157.6nm)을 구비하고 있다. 광원(100)으로부터 사출된 광은 조명광학계(IL)를 통하여, 소정의 패턴이 형성된 레티클(마스크)(R)을 균일하게 조명한다. 또한, 광원(100)과 조명광학계(IL)의 사이의 광로는 케이싱(도시하지 않음)에서 밀봉되어 있고, 광원(100)으로부터 조명광학계(IL) 중의 가장 레티클측의 광학부재까지의 공간은 노광광의

흡수율이 낮은 기체인 헬륨가스나 질소 등의 불활성 가스로 치환되어 있거나, 또는 거의 진공상태로 유지되어 있다.

<78> 레티클(R)은 레티클 홀더(RH)를 통하여, 레티클 스테이지(RS)상에서 XY평면에 평행으로 유지되어 있다. 레티클(R)에는 전자해야할 패턴이 형성되어 있고, 패턴 영역 전체 중 X방향을 따라서 단변을 갖고 또한 Y방향을 따라서 단변을 갖는 직사각형 형상의 패턴 영역이 조명된다. 레티클 스테이지(RS)는 도시를 생략한 구동계의 작용에 의해 레티클면(즉 XY평면)을 따라서 이차원적으로 이동 가능하고, 그 위치 좌표는 레티클 이동경(RM)을 사용한 간섭계(RIF)에 의해 계측되고 위치제어되도록 구성되어 있다.

<79> 레티클(R)에 형성된 패턴으로부터의 광은 반사굴절형의 투영광학계(PL)를 통하여, 감광성 기관인 웨이퍼(W)상에 레티클 패턴상을 형성한다. 웨이퍼(W)는 웨이퍼 테이블(웨이퍼 홀더)(WT)을 통하여, 웨이퍼 스테이지(WS)상에서 XY평면에 평행으로 유지되어 있다. 그리고, 레티클(R)상에서의 직사각형 형상의 조명영역에 광학적으로 대응하도록, 웨이퍼(W)상에서는 X방향을 따라서 장변을 갖고 또한 Y방향을 따라서 단변을 갖는 직사각형 형상의 노광영역에 패턴상이 형성된다. 웨이퍼 스테이지(WS)는 도시를 생략한 구동계의 작용에 의해 웨이퍼면(즉 XY평면)을 따라서 이차원적으로 이동 가능하고, 그 위치 좌표는 웨이퍼 이동경(WM)을 사용한 간섭계(WIF)에 의해 계측되고 위치 제어되도록 구성되어 있다.

<80> 도 3은 웨이퍼상에 형성되는 직사각형 형상의 노광영역(즉 실효노광영역)과 기준 광축의 위치 관계를 도시한 도면이다. 도 3에 도시한 바와 같이 각 실시예(단, 제 6 실시예 제외)에서는 기준 광축(AX)을 중심으로 한 반경(A)(최대 상 높이에 대응)을 갖는 원형의 영역(이미지 서클)(IF) 내에서 기준 광축(AX)로부터 -Y방향으로 편심한 위치에 소망의 크기를 갖는 직사각형 형상의 실효노광영역(ER)이 설정되어 있다. 여기에서, 실효노광영역(ER)의 X방향의 길이는 LX이고, 그 Y방향의 길이는 LY이다.

<81> 따라서, 도 1에 도시한 바와 같이 레티클(R)상에서는 기준 광축(AX)으로부터 +Y방향으로 편심한 위치에 실효노광영역(ER)에 대응한 크기 및 형상을 갖는 직사각형 형상의 조명영역(IR)이 형성된다. 즉, 기준 광축(AX)을 중심으로 한 반경(B)(최대 물체높이에 대응)을 갖는 원형 영역내에서 기준 광축(AX)으로부터 +Y방향으로 편심한 위치에 소망의 크기를 갖는 직사각형 형상의 조명영역(IR)이 설정되어 있다.

<82> 또한, 도시한 노광장치에서는 투영광학계(PL)를 구성하는 광학부재 중 가장 레티클측에 배치된 광학부재(각 실시예에서는 렌즈(L11))와 가장 웨이퍼측에 배치된 광학부재(제 1 및 제 2 실시예에서는 렌즈(L38), 제 3 실시예에서는 렌즈(L312), 제 4 실시예에서는 렌즈(L39), 제 5, 제 6 및 제 9 실시예에서는 렌즈(L315), 제 7 및 제 8 실시예에서는 렌즈(L317))의 사이에서 투영광학계(PL)의 내부가 기밀상태를 유지하도록 구성되고, 투영광학계(PL)의 내부의 기체는 헬륨가스나 질소 등의 불활성 가스로 치환되어 있거나, 또는 거의 진공상태로 유지되어 있다.

<83> 또한, 조명광학계(IL)와 투영광학계(PL) 사이의 좁은 광로에는 레티클(R) 및 레티클 스테이지(RS)등이 배치되어 있지만, 레티클(R) 및 레티클 스테이지(RS) 등을 밀봉 포위하는 케이싱(도시하지 않음)의 내부에 질소나 헬륨가스 등의 불활성 가스가 충전되어 있거나, 또는 거의 진공상태로 유지되어 있다.

<84> 또한, 투영광학계(PL)와 웨이퍼(W) 사이의 좁은 광로에는 웨이퍼(W) 및 웨이퍼 스테이지(WS) 등이 배치되어 있지만, 웨이퍼(W) 및 웨이퍼 스테이지(WS) 등을 밀봉 포위하는 케이싱(도시하지 않음)의 내부에 질소나 헬륨가스 등의 불활성 가스가 충전되어 있거나, 또는 거의 진공상태로 유지되어 있다. 이와 같이, 광원(100)으로부터 웨이퍼(W)까지의 광로 전체에 걸쳐, 노광광이 거의 흡수되지 않는 분위기가 형성되어 있다.

<85> 상술한 바와 같이 투영광학계(PL)에 의해 규정되는 레티클(R)상의 조명영역 및 웨이퍼(W)상의 노광영역(즉 실효노광영역(ER))은 Y방향을 따라서 단변을 갖는 직사각형 형상이다. 따라서, 구동계 및 간섭계(RIF, WIF) 등을 사용하여 레티클(R) 및 웨이퍼(W)의 위치제어를 실시하면서, 직사각형 형상의 노광영역 및 조명영역의 단변방향 즉 Y방향을 따라서 레티클 스테이지(RS)와 웨이퍼 스테이지(WS)를, 더 나아가서는 레티클(R)과 웨이퍼(W)를 반대 방향으로(즉 반대 방면으로) 동기적으로 이동(주사)시킴으로써 웨이퍼(W)상에는 노광영역의 장변에 동등한 폭을 갖고 또한 웨이퍼(W) 주사량(이동량)에 맞는 길이를 갖는 영역에 대해서 레티클 패턴이 주사 노광된다.

<86> 각 실시예에서 본 발명의 반사굴절광학계로 이루어진 투영광학계(PL)는 제 1 면에 배치된 레티클(R) 패턴의 제 1 중간상을 형성하기 위한 반사굴절형의 제 1 결상광학계(G1)와, 제 1 결상광학계(G1)를 통한 광에 기초하여 레티클(R)의 패턴의 제 2 중간상을 형성하기 위한 반사굴절형의 제 2 결상광학계(G2)와, 제 2 결상광학계(G2)를 통한 광에 기초하여 제 2 면에 배치된 웨이퍼(W)상에 레티클 패턴의 최종상(레티클 패턴의 축소상)을 형성하기 위한 굴절형 제 3 결상광학계(G3)를 구비하고 있다.

- <87> 또한, 각 실시예에서 제 1 결상광학계(G1), 제 2 결상광학계(G2) 및 제 3 결상광학계(G3)를 구성하는 모든 광학부재가 단일한 직선형상 광축(AX)을 따라서 배치되어 있다. 또한, 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2) 사이의 광로중에는 제 1 필드렌즈가 배치되어 있다. 또한, 제 2 결상광학계(G2)와 제 3 결상광학계(G3) 사이의 광로중에는 제 2 필드렌즈가 배치되어 있다. 또한, 기준 광축(AX)은 중력방향(즉 연직방향)을 따라서 위치되어 있다. 그 결과, 레티클(R) 및 웨이퍼(W)는 중력방향과 직교하는 면 즉 수평면을 따라서 서로 평행으로 배치되어 있다. 또한, 투영광학계(PL)를 구성하는 모든 광학부재(렌즈 및 반사경)도, 기준광축(AX)상에서 수평면을 따라서 배치되어 있다.
- <88> 각 실시예에서 투영광학계(PL)를 구성하는 모든 굴절광학부재(렌즈성분)에는 형석(CaF₂결정)을 사용하고 있다. 또한, 노광광인 F₂레이저광의 발진중심파장은 157.6nm이고, 157.6nm 부근에서 CaF₂의 굴절율은 +1pm의 파장변화당 -2×10^{-6} 의 비율로 변화되고, -1pm의 파장변화당 $+2 \times 10^{-6}$ 의 비율로 변화된다. 다시 말하면, 157.6nm부근에서 CaF₂의 굴절률의 분산(dn/dλ)은 $2 \times 10^{-6}/\text{pm}$ 이다.
- <89> 따라서, 각 실시예에서 중심파장 157.6nm에 대한 CaF₂의 굴절율은 1.560000이다. 그리고, 제 1 실시예, 제 2 실시예 및 제 4 실시예에서는 157.6nm+0.5pm=157.6005nm에 대한 CaF₂의 굴절율은 1.559999이고 157.6nm-0.5pm=157.5995nm에 대한 CaF₂의 굴절율은 1.560001이다. 또한, 제 3 실시예, 제 5 실시예 및 제 6 실시예에서는 157.6nm+0.3pm=157.6003nm에 대한 CaF₂의 굴절율은 1.5599994이고, 157.6nm-0.3pm=157.5997nm에 대한 CaF₂의 굴절율은 1.5600006이다. 또한, 제 7 실시예~제 9 실시예에서는 157.6nm+0.4pm=157.6004nm에 대한 CaF₂의 굴절율은 1.5599992이고 157.6nm-0.4pm=157.5996nm에 대한 CaF₂의 굴절율은 1.5600008이다.
- <90> 또한, 각 실시예에서 비(非)구면은 광축에 수직인 방향의 높이를 y로 하고, 비구면의 정점에서의 접평면으로부터 높이 y에서의 비구면상의 위치까지의 광축을 따른 거리(새그량)를 z로 하고, 정점곡률반경을 r로 하고, 원추계수를 κ로 하고, n차의 비구면 계수를 C_n으로 했을 때 이하의 수식으로 나타낸다.
- $$z = (y^2/r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}] + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10}$$
- <91>
- <92> 각 실시예에서 비구면 형상으로 형성된 렌즈면에는 면 번호의 우측에 *표를 붙이고 있다.
- <93> (제 1 실시예)
- <94> 도 4는 제 1 실시예에 관한 반사굴절광학계(투영광학계(PL))의 렌즈 구성을 도시한 도면이다. 도 4의 반사굴절광학계에서 제 1 결상광학계(G1)는 레티클측부터 차례로 웨이퍼측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 정(正) 메니스커스렌즈(L11)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L12)와, 웨이퍼측에 평면에 가까운 오목면을 향한 오목면 반사경(M11)과, 레티클측에 오목면을 향한 부(負) 메니스커스렌즈(L13)와, 레티클측에 오목면을 향한 오목면 반사경(M12)으로 구성되어 있다.
- <95> 또한, 제 2 결상광학계(G2)는 레티클측부터 차례로, 웨이퍼측에 오목면을 향한 오목면 반사경(M21)과, 레티클측에 볼록면을 향한 부 메니스커스렌즈(L21)와, 레티클측에 평면에 가까운 오목면을 향한 오목면 반사경(M22)으로 구성되어 있다.
- <96> 또한, 제 3 결상광학계(G3)는 레티클측부터 차례로, 웨이퍼측에 비구면형상의 볼록면을 향한 부 메니스커스렌즈(L31)와, 레티클측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 부 메니스커스렌즈(L32)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L33)와, 개구조리개(AS)와, 레티클측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L34)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L35)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L36)와, 양(兩)볼록렌즈(L37)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 양볼록렌즈(L38)로 구성되어 있다.
- <97> 또한, 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2) 사이의 광로중에는 레티클측부터 차례로, 레티클측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L41)와, 레티클측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 양볼록렌즈(L42)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L43)로 구성된 제 1 필드렌즈가 배치되어 있다. 또한, 제 2 결상광학계(G2)와 제 3 결상광학계(G3) 사이의 광로중에는 레티클측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 양볼록렌즈(L51)로 구성된 제 2 필드렌즈가 배치되어 있다.

<98> 따라서, 제 1 실시예에서는 레티클(R)로부터의 광이 정 메니스커스렌즈(L11), 정 메니스커스렌즈(L12) 및 부 메니스커스렌즈(L13)를 통하여, 오목면 반사경(M12)에 입사한다. 오목면 반사경(M12)에서 반사된 광은 부 메니스커스렌즈(L13)를 통하여 오목면 반사경(M11)에서 반사된 후, 제 1 필드렌즈(L41~L43) 중에 레티클 패턴의 제 1 중간상을 형성한다.

<99> 제 1 필드렌즈(L41~L43) 중에 형성된 제 1 중간상으로부터의 광은 오목면 반사경(M22)에서 반사되고, 부 메니스커스렌즈(L21)를 통하여 오목면 반사경(M21)에서 반사된 후, 부 메니스커스렌즈(L21)를 통하여 제 2 필드렌즈(L51)의 근방에 레티클 패턴의 제 2 중간상을 형성한다. 제 2 필드렌즈(L51)의 근방에 형성된 제 2 중간상으로부터의 광은 제 3 결상광학계(G3)를 구성하는 각 렌즈(L31~L38)를 통하여, 웨이퍼(W)상에 레티클 패턴의 최종상을 형성한다.

<100> 다음의 표 1에, 제 1 실시예의 반사굴절광학계의 제원의 값을 든다. 표 1의 주요제원에서 λ 은 노광광의 중심파장을, β 는 투영배율(전체계의 결상배율)을, NA는 상(像)측(웨이퍼측) 개구수를, A는 웨이퍼(W)상에서의 이미지 서클(IF)의 반경 즉 최대 상 높이를, B는 최대 상 높이(A)에 대응하는 최대 물체 높이를, LX는 실효노광영역(ER)의 X방향을 따른 크기(장변의 크기)를, LY는 실효노광영역(ER)의 Y방향을 따른 크기(단변의 크기)를 각각 나타내고 있다.

<101> 또한, 표 1의 광학부재 제원에서 제 1 컬럼의 면 번호는 레티클측부터의 면의 순서를, 제 2 컬럼의 r은 각 면의 곡률반경(비구면의 경우에는 정점곡률반경:mm)을, 제 3 컬럼의 d는 각 면의 축상 간격 즉 면간격(mm)을, 제 4 컬럼의 n은 중심파장에 대한 굴절율을 각각 나타내고 있다. 또한, 면간격(d)은 반사될 때마다 그 부호를 바꾸는 것으로 한다. 따라서, 면간격(d)의 부호는 오목면 반사경(M12)으로부터 오목면 반사경(M11)으로의 광로 중 및 오목면 반사경(M22)으로부터 오목면 반사경(M21)으로의 광로 중에서는 부로 하고, 그 밖의 광로중에서는 정으로 하고 있다. 또한, 광의 입사방향에 관계없이, 레티클측을 향하여 볼록면의 곡률반경을 정으로 하고, 레티클측을 향하여 오목면의 곡률반경을 부로 하고 있다.

<102> (표 1)

(주요 제원)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/4$$

$$NA = 0.70$$

$$A = 17 \text{ mm}$$

$$B = 68 \text{ mm}$$

$$LX = 22 \text{ mm}$$

$$LY = 5 \text{ mm}$$

<103>

(광학부재 제원)

면 번호	r	d	n
	(레티클면)	64.582058	
1	-209.99497	24.525484	1.560000 (렌즈 L 11)
2*	-166.93294	2.218319	
3	-155.66573	15.657738	1.560000 (렌즈 L 12)
4*	-112.14862	222.388536	
5	-137.10069	10.687500	1.560000 (렌즈 L 13)
6	-297.35521	5.164034	
7	-230.99151	-5.164034	(오목면 반사경 M 12)

<104>

8	-297.35521	-10.687500	1.560000	(렌즈 L 13)
9	-137.10069	-202.268536		
10	9031.77704	238.120070		(오목면 반사경 M 11)
11*	-476.24503	35.519322	1.560000	(렌즈 L 41)
12	-183.40344	1.000000		
13*	232.87955	33.691524	1.560000	(렌즈 L 42)
14	-6107.18575	1.000000		
15	296.13333	25.457233	1.560000	(렌즈 L 43)
16*	365.41518	301.171316		
17	-2848.33830	-261.483816		(오목면 반사경 M 22)
18	165.31377	-10.687500	1.560000	(렌즈 L 21)
19	383.70240	-5.000000		
20	255.80102	5.000000		(오목면 반사경 M 21)
21	383.70240	10.687500	1.560000	(렌즈 L 21)
22	165.31377	281.483816		
23*	896.07542	60.560876	1.560000	(렌즈 L 51)
24	-133.46870	19.157687		
25	-130.23246	70.000000	1.560000	(렌즈 L 31)
26*	-151.76418	175.887352		
27*	132.53655	15.000000	1.560000	(렌즈 L 32)
28	94.29966	25.759223		
29	104.80691	17.096377	1.560000	(렌즈 L 33)
30*	291.29374	30.716267		
31	∞	6.113832		(개구 조리개 AS)
32*	-426.89300	18.954117	1.560000	(렌즈 L 34)
33	-107.18535	14.684919		
34	152.17692	18.992313	1.560000	(렌즈 L 35)
35	2173.98608	1.000000		
36	84.63119	31.851802	1.560000	(렌즈 L 36)

<105>

37*	383.82672	1.072291		
38	262.82386	15.136062	1.560000	(렌즈 L 37)
39	-676.46385	1.000000		
40	80.48028	37.973817	1.560000	(렌즈 L 38)
41*	-2872.34135	6.000000		

(웨이퍼 면)

<106>

(비구면 데이터)

2면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.291653 \times 10^{-4} \quad C_6 = 0.688361 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.173883 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.114644 \times 10^{-18}$$

4면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.245562 \times 10^{-4} \quad C_6 = 0.937520 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.121380 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.619768 \times 10^{-18}$$

11면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.317890 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.350349 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.549441 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.185236 \times 10^{-19}$$

13면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.274807 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.280710 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.990831 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.764627 \times 10^{-19}$$

<107>

16면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = 0.507380 \times 10^{-7} \quad C_2 = -0.797166 \times 10^{-11}$$

$$C_3 = -0.693684 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.761192 \times 10^{-20}$$

23면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = -0.124616 \times 10^{-4} \quad C_2 = 0.245376 \times 10^{-10}$$

$$C_3 = -0.436363 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.165599 \times 10^{-18}$$

26면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = -0.652972 \times 10^{-7} \quad C_2 = 0.117653 \times 10^{-10}$$

$$C_3 = -0.107028 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.613946 \times 10^{-19}$$

27면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = -0.272313 \times 10^{-7} \quad C_2 = -0.517344 \times 10^{-11}$$

$$C_3 = -0.904051 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.601541 \times 10^{-21}$$

30면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = 0.303099 \times 10^{-8} \quad C_2 = 0.157674 \times 10^{-10}$$

$$C_3 = 0.136800 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.231671 \times 10^{-18}$$

32면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = -0.161006 \times 10^{-8} \quad C_2 = 0.118724 \times 10^{-10}$$

$$C_3 = 0.790687 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.271051 \times 10^{-19}$$

37면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = 0.894445 \times 10^{-7} \quad C_2 = 0.728182 \times 10^{-10}$$

$$C_3 = -0.886021 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.108877 \times 10^{-17}$$

41면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = 0.677633 \times 10^{-8} \quad C_2 = -0.377321 \times 10^{-9}$$

$$C_3 = 0.103549 \times 10^{-12} \quad C_{10} = 0.227795 \times 10^{-16}$$

도 5는 제 1 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면이다. 수차도에서 Y는 상 높이(mm)를 나타내고 있다. 수차도로부터 밝혀진 바와 같이, 제 1 실시예에서는 파장폭이 $157.6\text{nm} \pm 0.5\text{pm}$ 의 노광광에 대해서 색수차가 양호하게 보정되어 있는 것을 알 수 있다. 또한, 구면수차, 코머수차, 비점수차, 디스토션(왜곡수차)이 거의 무수차에 가까운 상태까지 양호하게 보정되고, 우수한 결상성능을 갖는 것을 확인하고 있다.

- <111> (제 2 실시예)
- <112> 도 6은 제 2 실시예에 관한 반사굴절광학계(투영광학계(PL))의 렌즈 구성을 도시한 도면이다. 도 6의 반사굴절광학계에서 제 1 결상광학계(G1)는 레티클측부터 차례로, 웨이퍼측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L11)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L12)와, 웨이퍼측에 평면에 가까운 오목면을 향한 오목면 반사경(M11)과, 레티클측에 오목면을 향한 부 메니스커스렌즈(L13)와, 레티클측에 오목면을 향한 오목면 반사경(M12)으로 구성되어 있다.
- <113> 또한, 제 2 결상광학계(G2)는 레티클측부터 차례로, 웨이퍼측에 오목면을 향한 오목면 반사경(M21)과, 레티클측에 볼록면을 향한 부 메니스커스렌즈(L21)와, 레티클측에 평면에 가까운 오목면을 향한 오목면 반사경(M22)으로 구성되어 있다.
- <114> 또한, 제 3 결상광학계(G3)는 레티클측부터 차례로, 웨이퍼측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 부 메니스커스렌즈(L31)와, 레티클측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 부 메니스커스렌즈(L32)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 양볼록렌즈(L33)와, 개구 조리개(AS)와, 레티클측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 양볼록렌즈(L34)와, 레티클측에 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L35)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L36)와, 레티클측에 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L37)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 양볼록렌즈(L38)로 구성되어 있다.
- <115> 또한, 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2) 사이의 광로중에는 레티클측부터 차례로, 레티클측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L41)와, 레티클측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L42)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L43)로 구성된 제 1 필드렌즈가 배치되어 있다. 또한, 제 2 결상광학계(G2)와 제 3 결상광학계(G3) 사이의 광로중에는 레티클측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 양볼록렌즈(L51)로 구성된 제 2 필드렌즈가 배치되어 있다.
- <116> 따라서, 제 2 실시예에서는 레티클(R)로부터의 광이 정 메니스커스렌즈(L11), 정 메니스커스렌즈(L12) 및 부 메니스커스렌즈(L13)를 통하여, 오목면 반사경(M12)에 입사한다. 오목면 반사경(M12)에서 반사된 광은 부 메니스커스렌즈(L13)를 통하여, 오목면 반사경(M11)에서 반사된 후, 제 1 필드렌즈(L41~L43) 중에 레티클 패턴의 제 1 중간상을 형성한다.
- <117> 제 1 필드렌즈(L41~L43) 중에 형성된 제 1 중간상으로부터의 광은 오목면 반사경(M22)에서 반사되고, 부 메니스커스렌즈(L21)를 통하여 오목면 반사경(M21)에서 반사된 후, 부 메니스커스렌즈(L21)를 통하여 제 2 필드렌즈(L51)의 근방에 레티클 패턴의 제 2 중간상을 형성한다. 제 2 필드렌즈(L51) 근방에 형성된 제 2 중간상으로부터의 광은 제 3 결상광학계(G3)를 구성하는 각 렌즈(L31~L38)를 통하여 웨이퍼(W)상에 레티클 패턴의 최종상을 형성한다.
- <118> 다음의 표 2에, 제 2 실시예의 반사굴절광학계의 제원의 값을 든다. 표 2의 주요제원에서, λ 는 노광광의 중심 파장을, β 는 투영배율(전체계의 결상배율)을, NA는 상측(웨이퍼측) 개구수를, A는 웨이퍼(W)상에서의 이미지 서클(IF)의 반경 즉 최대 상 높이를, B는 최대 상 높이(A)에 대응하는 최대 물체 높이를, LX는 실효노광영역(ER)의 X방향을 따른 크기(장변의 크기)를, LY는 실효노광영역(ER)의 Y방향을 따른 크기(단변의 크기)를 각각 나타내고 있다.
- <119> 또한, 표 2의 광학부재 제원에서 제 1 컬럼의 면 번호는 레티클측부터의 면의 순서를, 제 2 컬럼의 r은 각 면의 곡률반경(비구면의 경우에는 정점곡률반경:mm)을, 제 3 컬럼의 d는 각 면의 축상 간격 즉 면 간격(mm)을, 제 4 컬럼의 n은 중심파장에 대한 굴절율을 각각 나타내고 있다. 또한, 면간격(d)은 반사될 때마다 그 부호를 변화시키는 것으로 한다. 따라서, 면간격(d)의 부호는 오목면 반사경(M12)으로부터 오목면 반사경(M11)으로의 광로 중 및 오목면 반사경(M22)으로부터 오목면 반사경(M21)으로의 광로중에서는 부로 하고, 그 밖의 광로중에서는 정으로 하고 있다. 또한, 광의 입사방향에 관계없이 레티클측을 향해서 볼록면의 곡률반경을 정으로 하고, 레티클측을 향하여 오목면의 곡률반경을 부로 하고 있다.

<120> (표 2)

(주요 제원)

$\lambda = 1\,57.6\,\text{nm}$

$\beta = 1/5$

$NA = 0.8$

$A = 21\,\text{mm}$

$B = 105\,\text{mm}$

$LX = 22\,\text{mm}$

$LY = 5\,\text{mm}$

<121>

(광학부재 제원)

면 번호	r	d	n
	(레티클 면)	89.097796	
1	-183.14650	19.722044	1.560000 (렌즈 L 11)
2*	-172.17054	34.263431	
3	-461.61726	32.462803	1.560000 (렌즈 L 12)
4*	-180.99449	199.550635	
5	-272.56734	13.359375	1.560000 (렌즈 L 13)
6	-988.74052	13.790803	

<122>

7	-326.92312	-13.790803		(오목면 반사경 M 12)
8	-988.74052	-13.359375	1.560000	(렌즈 L 13)
9	-272.56734	-179.450635		
10	1164.40577	226.600813		(오목면 반사경 M 11)
11*	-673.49253	52.893617	1.560000	(렌즈 L 41)
12	-170.57409	1.000000		
13*	145.84783	18.775044	1.560000	(렌즈 L 42)
14	177.50368	1.000000		
15	174.53532	35.709621	1.560000	(렌즈 L 43)
16*	297.00962	294.044471		
17	-2044.05791	-247.356971		(오목면 반사경 M 22)
18	160.43373	-10.687500	1.560000	(렌즈 L 21)
19	366.71769	-12.000000		
20	264.23742	12.000000		(오목면 반사경 M 21)
21	366.71769	10.687500	1.560000	(렌즈 L 21)
22	160.43373	267.356971		
23*	385.86277	39.609336	1.560000	(렌즈 L 51)
24	-192.31716	45.851242		
25	-210.15146	15.000000	1.560000	(렌즈 L 31)
26*	-216.35913	193.996639		
27*	224.33623	28.450755	1.560000	(렌즈 L 32)
28	112.85221	2.259549		
29	118.06671	31.990438	1.560000	(렌즈 L 33)
30*	-575.87913	51.431023		
31	∞	32.226964		(개구 조리개 AS)
32*	739.93426	27.150099	1.560000	(렌즈 L 34)
33	-203.64309	1.000000		
34	180.06059	22.479157	1.560000	(렌즈 L 35)
35	737.32257	1.000000		

<123>

36	135.48460	23.362271	1.560000	(렌즈 L 36)
37*	559.50671	4.229139		
38	120.70160	24.487231	1.560000	(렌즈 L 37)
39	372.54409	8.973147		
40	91.59293	44.833371	1.560000	(렌즈 L 38)
41*	-2636.41853	6.000000		

(웨이퍼 면)

<124>

(비구면 데이터)

2면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.264407 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.476678 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.155729 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.517698 \times 10^{-20}$$

4면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.280731 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.571906 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.469828 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.988050 \times 10^{-21}$$

11면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.275486 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.579812 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.188014 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.327703 \times 10^{-20}$$

13면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.305645 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.100924 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.185962 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.380314 \times 10^{-20}$$

16면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.476746 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.515517 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.536543 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.833063 \times 10^{-20}$$

23면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.916646 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.125088 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.367721 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.108975 \times 10^{-20}$$

26면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.696241 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.269136 \times 10^{-10}$$

$$C_6 = -0.305398 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.112606 \times 10^{-18}$$

27면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.216592 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.590674 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = 0.832609 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.333598 \times 10^{-18}$$

30면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.180772 \times 10^{-4} \quad C_5 = 0.105754 \times 10^{-10}$$

$$C_6 = 0.691500 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.189377 \times 10^{-18}$$

32면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.173909 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.507430 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = -0.989619 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.182632 \times 10^{-18}$$

37면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.764004 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.873773 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = -0.285150 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.481104 \times 10^{-18}$$

41면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.145715 \times 10^{-4} \quad C_5 = -0.124981 \times 10^{-4}$$

$$C_6 = 0.704755 \times 10^{-18} \quad C_{10} = -0.114853 \times 10^{-18}$$

<126>

<127>

도 7은 제 2 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면이다. 수차도에서 Y는 상 높이(mm)를 도시하고 있다. 수차도로부터 밝혀진 바와 같이, 제 2 실시예에서도 제 1 실시예와 동일하게, 파장폭이 157.6nm ±0.5pm의 노광광에 대해서 색수차가 양호하게 보정되어 있는 것을 알 수 있다. 또한, 구면수차, 코마수차, 비점수차, 디스토션(왜곡수차)이 거의 무수차에 가까운 상태까지 양호하게 보정되고, 우수한 결상성능을 갖는 것을 확인하고 있다.

<128>

(제 3 실시예)

<129>

도 8은 제 3 실시예에 관한 반사굴절광학계(투영광학계(PL))의 렌즈 구성을 도시한 도면이다. 도 8의 반사굴절광학계에서 제 1 결상광학계(G1)는 레티클측부터 차례로, 양볼록렌즈(L11)와, 웨이퍼측에 평면에 가까운 오목면을 향한 오목면 반사경(M11)과, 레티클측에 오목면을 향한 오목면 반사경(M12)으로 구성되어 있다.

<130>

또한, 제 2 결상광학계(G2)는 레티클측부터 차례로, 웨이퍼측에 오목면을 향한 오목면 반사경(M21)과, 레티클측에 오목면을 향한 부 메니스커스렌즈(L21)와, 레티클측에 평면에 가까운 오목면을 향한 오목면 반사경(M22)으로 구성되어 있다.

<131>

또한, 제 3 결상광학계(G3)는 레티클측부터 차례로, 레티클측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L31)와, 레티클측에 볼록면을 향한 부 메니스커스렌즈(L32)와, 레티클측에 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L33)와, 웨이퍼측에 비구면형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L34)와, 양볼록렌즈(L35)와, 레티클측에

비구면 형상의 오목면을 향한 부 메니스커스렌즈(L36)와, 개구 조리개(AS)와, 레티클측에 비구면 형상의 오목면을 향한 부 메니스커스렌즈(L37)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 양볼록렌즈(L38)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L39)와, 레티클측에 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L310)와, 양오목렌즈(L311)와, 레티클측에 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L312)로 구성되어 있다.

<132> 또한, 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2)사이의 광로중에는 레티클측부터 차례로, 양볼록렌즈(L41)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 양볼록렌즈(L42)로 구성된 제 1 필드렌즈가 배치되어 있다. 또한, 제 2 결상광학계(G2)와 제 3 결상광학계(G3) 사이의 광로중에는 레티클측부터 차례로, 레티클측에 오목면을 향한 정메니스커스렌즈(L51)와, 양볼록렌즈(L52)로 구성된 제 2 필드렌즈가 배치되어 있다.

<133> 따라서, 제 3 실시예에서는 레티클(R)로부터의 광이 양볼록렌즈(L11)를 통하여 오목면 반사경(M12)에 입사한다. 오목면 반사경(M12)에서 반사된 광은, 오목면 반사경(M11)에서 반사된 후, 제 1 필드렌즈(L41 및 L42)를 통하여 레티클 패턴의 제 1 중간상을 형성한다.

<134> 제 1 필드렌즈(L41 및 L42)를 통하여 형성된 제 1 중간상으로부터의 광은 오목면 반사경(M22)에서 반사되고, 부 메니스커스렌즈(L21)를 통하여 오목면 반사경(M21)에서 반사된 후, 부 메니스커스렌즈(L21)를 통하여 제 2 필드렌즈(L51 및 L52)의 근방에 레티클 패턴의 제 2 중간상을 형성한다. 제 2 중간상으로부터의 광은 제 2 필드렌즈(L51 및 L52), 및 제 3 결상광학계(G3)를 구성하는 각 렌즈(L31~L312)를 통하여 웨이퍼(W)상에 레티클 패턴의 최종상을 형성한다.

<135> 다음의 표 3에, 제 3 실시예의 반사굴절광학계의 제원의 값을 든다. 표 3의 주요제원에서, λ 는 노광광의 중심 파장을, β 는 투영배율(전체계의 결상배율)을, NA는 상측(웨이퍼측) 개구수를, A는 웨이퍼(W) 상에서의 이미지 서클(IF)의 반경 즉 최대 상 높이를, B는 최대 상 높이(A)에 대응하는 최대 물체 높이를, LX는 실효노광영역(ER)의 X방향을 따른 크기(장변의 크기)를, LY는 실효노광영역(ER)의 Y방향을 따른 크기(단변의 크기)를 각각 나타내고 있다.

<136> 또한, 표 3의 광학부재 제원에서 제 1 컬럼의 면 번호는 레티클측으로부터의 면의 순서를, 제 2 컬럼의 r은 각 면의 곡률반경(비구면의 경우에는 정점곡률반경:mm)을, 제 3 컬럼의 d는 각 면의 축상 간격 즉 면간격(mm)을, 제 4 컬럼의 n은 중심파장에 대한 굴절율을 각각 나타내고 있다. 또한, 면간격(d)은 반사될 때마다 그 부호를 바꾸는 것으로 한다. 따라서, 면간격(d)의 부호는 오목면 반사경(M12)으로부터 오목면 반사경(M11)으로의 광로 중 및 오목면 반사경(M22)으로부터 오목면 반사경(M21)으로의 광로 중에서는 부로 하고, 그 밖의 광로 중에서는 정으로 하고 있다. 또한, 광의 입사방향에 관계없이 레티클측을 향하여 볼록면의 곡률반경을 정으로 하고, 레티클측을 향하여 오목면의 곡률반경을 부로 하고 있다.

<137> (표 3)

(주요 제원)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/5$$

$$NA = 0.8$$

$$A = 18 \text{ mm}$$

$$B = 90 \text{ mm}$$

$$LX = 20 \text{ mm}$$

$$LY = 5 \text{ mm}$$

<138>

(광학부재 제원)

면 번호	r	d	n
	(레티클 면)	115.557292	
1	637.80078	35.884968	1.560000 (렌즈 L 11)
2	-384.35892	264.955326	
3	-649.27643	-234.955326	(오목면 반사경 M 12)
4	1823.09082	264.955326	(오목면 반사경 M 11)
5	801.77882	37.945664	1.560000 (렌즈 L 41)
6	-494.28706	3.445777	
7	369.70210	39.503113	1.560000 (렌즈 L 42)

<139>

8*	-792.94351	343.865788	
9	-1937.59830	-284.229026	(오목면 반사경 M 22)
10	155.49061	-12.344063	1.560000 (렌즈 L 21)
11	512.20865	-17.292699	
12	227.77903	17.292699	(오목면 반사경 M 21)
13	512.20865	12.344063	1.560000 (렌즈 L 21)
14	155.49061	314.229026	
15	-689.77068	17.668624	1.560000 (렌즈 L 51)
16	-259.40459	1.000000	
17	8014.40173	18.997331	1.560000 (렌즈 L 52)
18	-384.30480	56.716677	
19*	-1649.43052	30.000000	1.560000 (렌즈 L 31)
20	-393.58799	164.724808	
21	631.85472	15.000000	1.560000 (렌즈 L 32)
22	150.20509	19.656249	
23	538.55887	15.000000	1.560000 (렌즈 L 33)
24	1467.74312	31.821291	
25	165.43316	25.293398	1.560000 (렌즈 L 34)
26*	367.95233	6.929525	
27	350.71428	45.314099	1.560000 (렌즈 L 35)
28	-265.00281	45.939883	
29*	-222.47865	20.000000	1.560000 (렌즈 L 36)
30	-254.36058	1.000000	
31	∞	14.234702	(개구 조리개 AS)
32*	-300.54174	30.000000	1.560000 (렌즈 L 37)
33	-831.20280	1.000000	
34	202.39550	41.149482	1.560000 (렌즈 L 38)
35*	-341.32295	1.000000	
36	135.74819	60.768405	1.560000 (렌즈 L 39)

<140>

37*	873.19608	4.920450		
38	95.14679	23.732322	1.560000	(렌즈 L 310)
39	382.32196	4.152784		
40	-7890.70221	15.000000	1.560000	(렌즈 L 311)
41	554.20021	1.823828		
42	164.57547	17.998214	1.560000	(렌즈 L 312)
43	21350.59500	6.000000		
	(웨이퍼 면)			

<141>

(비구면 데이터)

8면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.120134 \times 10^{-7} \quad C_5 = -0.141075 \times 10^{-12}$$

$$C_6 = 0.191837 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -0.169436 \times 10^{-22}$$

19면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.153558 \times 10^{-7} \quad C_5 = -0.750057 \times 10^{-12}$$

$$C_6 = -0.110884 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.325196 \times 10^{-22}$$

26면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.494425 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.707114 \times 10^{-12}$$

$$C_6 = 0.176474 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.615523 \times 10^{-22}$$

29면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.755499 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.321947 \times 10^{-12}$$

$$C_6 = -0.596697 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.457591 \times 10^{-22}$$

32면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.509707 \times 10^{-7} \quad C_5 = -0.426764 \times 10^{-12}$$

$$C_6 = 0.576131 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -0.691255 \times 10^{-22}$$

35면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.283140 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.915262 \times 10^{-12}$$

$$C_6 = 0.266523 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.112707 \times 10^{-22}$$

37면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.443648 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.354423 \times 10^{-12}$$

$$C_6 = 0.351861 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -0.206407 \times 10^{-22}$$

<142>

<143>

도 9는 제 3 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면이다. 수차도에서 Y는 상 높이(mm)를 도시하고 있다. 수차도로부터 밝혀진 바와 같이 제 3 실시예에서는 파장폭이 $157.6\text{nm} \pm 0.3\text{pm}$ 의 노광광에 대해서 색수차가 양호하게 보정되어 있는 것을 알 수 있다. 또한, 구면수차, 코머수차, 비점수차, 디스토션(왜곡수차)이 거의 무수차에 가까운 상태까지 양호하게 보정되고, 우수한 결상성능을 갖는 것을 확인하고 있다.

- <144> (제 4 실시예)
- <145> 도 10은 제 4 실시예에 관한 반사굴절광학계(촬영광학계(PL))의 렌즈 구성을 도시한 도면이다. 도 10의 반사굴절광학계에서 제 1 결상광학계(G1)는 레티클측부터 차례로, 웨이퍼측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 양볼록렌즈(L11)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 부 메니스커스렌즈(L12)와, 웨이퍼측에 평면에 가까운 오목면을 향한 오목면 반사경(M11)과, 레티클측에 오목면을 향한 부 메니스커스렌즈(L13)와, 레티클측에 오목면을 향한 오목면 반사경(M12)으로 구성되어 있다.
- <146> 또한, 제 2 결상광학계(G2)는 레티클측부터 차례로, 웨이퍼측에 오목면을 향한 오목면 반사경(M21)과, 레티클측에 볼록면을 향한 부 메니스커스렌즈(L21)와, 레티클측에 평면에 가까운 오목면을 향한 오목면 반사경(M22)으로 구성되어 있다.
- <147> 또한, 제 3 결상광학계(G3)는 레티클측부터 차례로, 웨이퍼측에 비구면형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L31)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 부 메니스커스렌즈(L32)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L33)와, 개구 조리개(AS)와, 레티클측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L34)와, 레티클측에 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L35)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L36)와, 웨이퍼측에 비구면형상의 볼록면을 향한 양볼록렌즈(L37)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L38)와, 레티클측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L39)로 구성되어 있다.
- <148> 또한, 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2) 사이의 광로중에는 레티클측부터 차례로, 레티클측에 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L41)와, 웨이퍼측에 비구면형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L42)와, 웨이퍼측에 비구면형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L43)으로 구성된 제 1 필드렌즈가 배치되어 있다. 또한, 제 2 결상광학계(G2)와 제 3 결상광학계(G3) 사이의 광로중에는 레티클측부터 차례로, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L51)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 양볼록렌즈(L52)로 구성된 제 2 필드렌즈가 배치되어 있다.
- <149> 따라서, 제 4 실시예에서는 레티클(R)로부터의 광이 양볼록렌즈(L11), 부 메니스커스렌즈(L12) 및 부 메니스커스렌즈(L13)를 통하여, 오목면 반사경(M12)에 입사한다. 오목면 반사경(M12)에서 반사된 광은 부 메니스커스렌즈(L13)를 통하여 오목면 반사경(M11)에서 반사된 후, 제 1 필드렌즈(L41~L43) 중에 레티클 패턴의 제 1 중간상을 형성한다.
- <150> 제 1 필드렌즈(L41~L43) 중에 형성된 제 1 중간상으로부터의 광은, 오목면 반사경(M22)에서 반사되고 부 메니스커스렌즈(L21)를 통하여 오목면 반사경(M21)에서 반사된 후, 부 메니스커스렌즈(L21)를 통하여 제 2 필드렌즈(L51 및 L52) 중에 레티클 패턴의 제 2 중간상을 형성한다. 제 2 필드렌즈(L51 및 L52) 중에 형성된 제 2 중간상으로부터의 광은 제 3 결상광학계(G3)를 구성하는 각 렌즈(L31~L39)를 통하여, 웨이퍼(W)상에 레티클 패턴의 최종상을 형성한다.
- <151> 다음의 표 4에, 제 4 실시예의 반사굴절광학계의 제원의 값을 든다. 표 4의 주요제원에서, λ 는 노광광의 중심 파장을, β 는 투영배율(전체계의 결상배율)을, NA는 상측(웨이퍼측) 개구수를, A는 웨이퍼(W)상에서의 이미지 서클(IF)의 반경 즉 최대 상 높이를, B는 최대 상 높이(A)에 대응하는 최대 물체 높이를, LX는 실효노광영역(ER)의 X방향을 따른 크기(장변의 크기)를, LY는 실효노광영역(ER)의 Y방향을 따른 크기(단변의 크기)를 각각 나타내고 있다.
- <152> 또한, 표 4의 광학부재 제원에서 제 1 컬럼의 면번호는 레티클측으로부터의 면의 순서를, 제 2 컬럼의 r은 각 면의 곡률반경(비구면의 경우에는 정점곡률반경:mm)을, 제 3 컬럼의 d는 각 면의 축상간격 즉 면간격(mm)을, 제 4 컬럼의 n은 중심파장에 대한 굴절율을 각각 나타내고 있다. 또한, 면간격(d)은 반사될 때마다 그 부호를 변화시키는 것으로 한다. 따라서, 면간격(d)의 부호는 오목면 반사경(M12)으로부터 오목면 반사경(M11)으로의 광로 중 및 오목면 반사경(M22)으로부터 오목면 반사경(M21)으로의 광로 중에서는 부로 하고, 그 밖의 광로 중에서는 정으로 하고 있다. 또한, 광의 입사방향에 관계없이, 레티클측을 향하여 볼록면의 곡률반경을 정으로 하고, 레티클측을 향하여 오목면의 곡률반경을 부로 하고 있다.

<153>

(표 4)

(주요 제원)

$\lambda = 157.6 \text{ nm}$

$\beta = 1/5$

$NA = 0.6$

$A = 21 \text{ mm}$

$B = 105 \text{ mm}$

$LX = 22 \text{ mm}$

$LY = 6 \text{ mm}$

<154>

(광학부재 제원)

면 번호	r	d	n	
	(레티클 면)	89.750712		
1	487.10912	59.670314	1.560000	(렌즈 L 11)
2*	-519.08376	1.000000		
3	903.03433	15.000000	1.560000	(렌즈 L 12)
4*	1000.08801	242.753250		
5	-175.15215	13.359375	1.560000	(렌즈 L 13)
6	-345.12145	4.339428		
7	-279.08379	-4.339428		(오목면 반사경 M 12)
8	-345.12145	-13.359375	1.560000	(렌즈 L 13)
9	-175.15215	-153.071977		
10	1708.26507	200.770780		(오목면 반사경 M 11)
11	249.41241	26.953146	1.560000	(렌즈 L 41)
12	718.70577	1.000000		
13	309.55923	20.466222	1.560000	(렌즈 L 42)
14*	307.16348	1.000000		
15	130.97653	54.347087	1.560000	(렌즈 L 43)
16*	-1198.98798	237.403998		
17	-932.83768	-186.980264		(오목면 반사경 M 22)
18	136.92807	-10.687500	1.560000	(렌즈 L 21)
19	362.11962	-9.736234		
20	239.02716	9.736234		(오목면 반사경 M 21)
21	362.11962	10.687500	1.560000	(렌즈 L 21)
22	136.92807	279.616570		
23	234.11735	35.444231	1.560000	(렌즈 L 51)
24*	166013.12617	19.145884		
25	443.29340	39.864137	1.560000	(렌즈 L 52)
26*	5423.37926	22.505878		
27	224.26889	15.000000	1.560000	(렌즈 L 31)

<155>

28*	450. 00000	191. 487329	
29	131. 47312	15. 000000	1. 560000 (렌즈 L 32)
30*	73. 42096	6. 655173	
31	107. 95341	21. 906621	1. 560000 (렌즈 L 33)
32*	-557437. 69550	42. 476569	
33	∞	2. 832772	(개구 조리개 AS)
34*	-431. 12055	17. 973889	1. 560000 (렌즈 L 34)
35	-118. 75437	1. 000000	
36	99. 31449	15. 000000	1. 560000 (렌즈 L 35)
37	127. 78163	1. 000000	
38	92. 45252	21. 852801	1. 560000 (렌즈 L 36)
39*	118. 80433	6. 195531	
40	198. 80815	21. 182933	1. 560000 (렌즈 L 37)
41*	-156. 29012	1. 000000	
42	77. 69761	24. 589309	1. 560000 (렌즈 L 38)
43*	443. 02200	1. 000000	
44*	133. 51267	31. 188952	1. 560000 (렌즈 L 39)
45	17904. 27963	6. 018159	
	(웨이퍼 면)		

<156>

(비구면 데이터)

2면

$$\kappa = 0. 000000$$

$$C_4 = -0. 815643 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0. 413258 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = -0. 113569 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0. 147898 \times 10^{-20}$$

4면

$$\kappa = 0. 000000$$

$$C_4 = 0. 114732 \times 10^{-6} \quad C_5 = -0. 219867 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = 0. 617602 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0. 322366 \times 10^{-21}$$

14면

$$\kappa = 0. 000000$$

$$C_4 = -0. 117278 \times 10^{-6} \quad C_5 = 0. 199688 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = 0. 688425 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0. 127291 \times 10^{-20}$$

<157>

16면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = 0.191460 \times 10^{-4} \quad C_2 = 0.172729 \times 10^{-11}$$

$$C_3 = -0.417938 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.122892 \times 10^{-19}$$

24면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = 0.101006 \times 10^{-4} \quad C_2 = -0.601731 \times 10^{-11}$$

$$C_3 = 0.336098 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.113255 \times 10^{-19}$$

26면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = -0.259409 \times 10^{-4} \quad C_2 = 0.200455 \times 10^{-10}$$

$$C_3 = -0.886510 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.203312 \times 10^{-19}$$

28면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = 0.254720 \times 10^{-4} \quad C_2 = -0.499612 \times 10^{-11}$$

$$C_3 = -0.101235 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.475827 \times 10^{-19}$$

30면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = -0.122986 \times 10^{-4} \quad C_2 = -0.297417 \times 10^{-10}$$

$$C_3 = -0.286999 \times 10^{-14} \quad C_{10} = -0.314877 \times 10^{-19}$$

32면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = 0.260763 \times 10^{-4} \quad C_2 = 0.278223 \times 10^{-10}$$

$$C_3 = 0.311168 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.409140 \times 10^{-19}$$

34면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = -0.246966 \times 10^{-7} \quad C_2 = -0.328800 \times 10^{-11}$$

$$C_3 = 0.155119 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.481917 \times 10^{-19}$$

39면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = 0.363517 \times 10^{-4} \quad C_2 = 0.688387 \times 10^{-18}$$

$$C_3 = 0.263082 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.401937 \times 10^{-18}$$

41면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = 0.171166 \times 10^{-4} \quad C_2 = -0.110988 \times 10^{-10}$$

$$C_3 = 0.989095 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.238040 \times 10^{-18}$$

43면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = 0.130469 \times 10^{-4} \quad C_2 = 0.132452 \times 10^{-9}$$

$$C_3 = -0.246540 \times 10^{-13} \quad C_{10} = 0.404311 \times 10^{-17}$$

44면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_1 = 0.736368 \times 10^{-4} \quad C_2 = 0.554124 \times 10^{-10}$$

$$C_3 = 0.111988 \times 10^{-13} \quad C_{10} = 0.498595 \times 10^{-17}$$

<159>

<160>

도 11은 제 4 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면이다. 수차도에서 Y는 상 높이(mm)를 나타내고 있다. 수차도로부터 밝혀진 바와 같이, 제 4 실시예에서도 제 1 실시예 및 제 2 실시예와 동일하게, 파장폭이 $157.6\text{nm} \pm 0.5\text{pm}$ 의 노광광에 대해서 색수차가 양호하게 보정되어 있는 것을 알 수 있다. 또한, 구면수차, 코머수차, 비점수차, 디스토션(왜곡수차)이 거의 무수차에 가까운 상태까지 양호하게 보정되고, 우수한 결상성능을 갖는 것을 확인하고 있다.

<161>

(제 5 실시예)

<162>

도 12는 제 5 실시예에 관한 반사굴절광학계(투영광학계(PL))의 렌즈 구성을 도시한 도면이다. 도 12의 반사굴절광학계에서 제 1 결상광학계(G1)는 레티클측부터 차례로, 레티클측에 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L11)와, 웨이퍼측에 평면에 가까운 오목면을 향한 오목면 반사경(M11)과, 레티클측에 오목면을 향한 부 메니스커스렌즈(L12)와, 레티클측에 오목면을 향한 오목면 반사경(M12)으로 구성되어 있다.

<163>

또한, 제 2 결상광학계(G2)는 레티클측부터 차례로, 웨이퍼측에 오목면을 향한 오목면 반사경(M21)과, 레티클측에 평면에 가까운 오목면을 향한 오목면 반사경(M22)으로 구성되어 있다.

<164>

또한, 제 3 결상광학계(G3)는 레티클측부터 차례로, 양오목렌즈(L31)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L32)와, 양볼록렌즈(L33)와, 레티클측에 볼록면을 향한 부 메니스커스렌즈(L34)와, 레티클측에 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L35)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L36)와, 양볼록렌즈(L37)와, 레티클측에 오목면을 향한 부 메니스커스렌즈(L38)와, 개구 조리개(AS)와, 레티클

측에 비구면 형상의 오목면을 향한 부 메니스커스렌즈(L39)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 볼록면을 향한 양볼록렌즈(L310)와, 레티클측에 오목면을 향한 부 메니스커스렌즈(L311)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L312)와, 레티클측에 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L313)와, 레티클측에 볼록면을 향한 정 메니스커스렌즈(L314)와, 양볼록렌즈(L315)로 구성되어 있다.

<165> 또한, 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2) 사이의 광로중에는 레티클측부터 차례로, 양볼록렌즈(L41)와, 웨이퍼측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L42)로 구성된 제 1 필드렌즈가 배치되어 있다. 또한, 제 2 결상광학계(G2)와 제 3 결상광학계(G3) 사이의 광로중에는 레티클측부터 차례로, 레티클측에 비구면 형상의 오목면을 향한 정 메니스커스렌즈(L51)와, 양볼록렌즈(L52)로 구성된 제 2 필드렌즈가 배치되어 있다.

<166> 따라서, 제 5 실시예에서는 레티클(R)로부터의 광이 정 메니스커스렌즈(L11) 및 부 메니스커스렌즈(L12)를 통하여 오목면 반사경(M12)에 입사한다. 오목면 반사경(M12)에서 반사된 광은 부 메니스커스렌즈(L12)를 통하여 오목면 반사경(M11)에서 반사된 후, 제 1 필드렌즈(L41 및 L42)의 근방에 레티클 패턴의 제 1 중간상을 형성한다.

<167> 제 1 중간상으로부터의 광은 제 1 필드렌즈(L41 및 L42)를 통하여 오목면 반사경(M22) 및 오목면 반사경(M21)에서 차례로 반사된 후, 제 2 필드렌즈(L51 및 L52)의 근방에 레티클 패턴의 제 2 중간상을 형성한다. 제 2 중간상으로부터의 광은 제 2 필드렌즈(L51 및 L52), 및 제 3 결상광학계(G3)를 구성하는 각 렌즈(L31~L315)를 통하여 웨이퍼(W)상에 레티클 패턴의 최종상을 형성한다.

<168> 다음의 표 5에, 제 5 실시예의 반사굴절광학계의 제원의 값을 든다. 표 5의 주요제원에서, λ 는 노광광의 중심 파장을, β 는 투영배율(전체계의 결상배율)을, NA는 상측(웨이퍼측) 개구수를, A는 웨이퍼(W)상에서의 이미지 서클(IF)의 반경 즉 최대 상 높이를, B는 최대 상 높이(A)에 대응하는 최대 물체 높이를, LX는 실효노광영역(ER)의 X방향을 따른 크기(장변의 크기)를, LY는 실효노광영역(ER)의 Y방향을 따른 크기(단변의 크기)를 각각 나타내고 있다.

<169> 또한, 표 5의 광학부재 제원에서 제 1 컬럼의 면 번호는 레티클측으로부터의 면의 순서를, 제 2 컬럼의 r은 각 면의 곡률반경(비구면의 경우에는 정점곡률반경:mm)을, 제 3 컬럼의 d는 각 면의 축상간격 즉 면간격(mm)을, 제 4 컬럼의 n은 중심파장에 대한 굴절율을 각각 나타내고 있다. 또한, 면간격(d)은 반사될 때마다 그 부호를 바꾸는 것으로 한다. 따라서, 면간격(d)의 부호는 오목면 반사경(M12)으로부터 오목면 반사경(M11)으로의 광로 중 및 오목면 반사경(M22)으로부터 오목면 반사경(M21)으로의 광로 중에서는 부로 하고, 그 외의 광로 중에서는 정으로 하고 있다. 또, 광의 입사방향에 상관없이, 레티클측을 향해 볼록면의 곡률반경을 정으로 하고, 레티클측으로 향해 오목면의 곡률반경을 부로 하고 있다.

<170> (표 5)

(주요 제원)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/5$$

$$NA = 0.8$$

$$A = 18 \text{ mm}$$

$$B = 90 \text{ mm}$$

$$LX = 20 \text{ mm}$$

$$LY = 5 \text{ mm}$$

<171>

(광학부재 제원)

면 번호	r	d	n	
	(레티클 면)	61.000000		
1	211.27080	26.106514	1.560000	(렌즈 L 11)
2	459.51275	321.906829		
3	-213.95008	20.000000	1.560000	(렌즈 L 12)
4	-1566.75457	16.802820		
5	-284.67128	-16.802820		(오목면 반사경 M 12)
6	-1566.75457	-20.000000	1.560000	(렌즈 L 12)
7	-213.95008	-291.906829		
8	1086.35493	358.709650		(오목면 반사경 M 11)
9	318.29494	44.860140	1.560000	(렌즈 L 41)
10	-887.18127	1.000000		
11	171.70178	32.360508	1.560000	(렌즈 L 42)

<172>

12*	289. 71170	292. 761556		
13	-1680. 12168	-262. 761555		(오목면 반사경 M 22)
14	417. 88785	346. 788846		(오목면 반사경 M 21)
15*	-280. 27770	23. 000000	1. 560000	(렌즈 L 51)
16	-181. 49299	1. 000000		
17	362. 82014	70. 000000	1. 560000	(렌즈 L 52)
18	-416. 73075	146. 098155		
19	-156. 85191	20. 000000	1. 560000	(렌즈 L 31)
20	267. 60016	1. 000000		
21	187. 76395	25. 225435	1. 560000	(렌즈 L 32)
22*	384. 80207	2. 961318		
23	431. 01527	41. 508704	1. 560000	(렌즈 L 33)
24	-276. 05667	1. 000000		
25	308. 47916	20. 000000	1. 560000	(렌즈 L 34)
26	136. 01010	20. 206121		
27	277. 79256	21. 000000	1. 560000	(렌즈 L 35)
28	333. 49880	1. 000000		
29	125. 27880	25. 793541	1. 560000	(렌즈 L 36)
30*	216. 27362	7. 601524		
31	154. 24702	48. 496542	1. 560000	(렌즈 L 37)
32	-544. 19222	18. 722230		
33	-285. 23875	20. 000000	1. 560000	(렌즈 L 38)
34	-800. 51580	10. 000000		
35	∞	13. 059929		(개구 조리개 AS)
36*	-322. 74880	16. 000000	1. 560000	(렌즈 L 39)
37	-286. 86928	1. 000000		
38	164. 94509	45. 299315	1. 560000	(렌즈 L 310)
39*	-210. 06061	2. 818820		
40	-163. 13416	15. 000000	1. 560000	(렌즈 L 311)

<173>

41	-369. 63693	1. 000000		
42	111. 12796	27. 284262	1. 560000	(렌즈 L 312)
43*	1842. 35594	1. 000000		
44	92. 22880	20. 000000	1. 560000	(렌즈 L 313)
45	177. 36266	1. 236998		
46	177. 43094	16. 861444	1. 560000	(렌즈 L 314)
47	186. 23389	1. 000000		
48	165. 56422	15. 000000	1. 560000	(렌즈 L 315)
49	-1131. 06283	6. 000000		

(웨이퍼 면)

<174>

(비구면 데이터)

12면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.181313 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.145718 \times 10^{-12}$$

$$C_6 = -0.178341 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.265148 \times 10^{-21}$$

15면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.588707 \times 10^{-7} \quad C_5 = -0.844226 \times 10^{-12}$$

$$C_6 = -0.743823 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.197114 \times 10^{-21}$$

22면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.294829 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.384432 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = -0.393756 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.345603 \times 10^{-21}$$

30면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.100809 \times 10^{-4} \quad C_5 = 0.669526 \times 10^{-12}$$

$$C_6 = -0.609327 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.830042 \times 10^{-21}$$

36면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.137850 \times 10^{-4} \quad C_5 = -0.508803 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = -0.272924 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.202953 \times 10^{-19}$$

39면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.111530 \times 10^{-4} \quad C_5 = 0.650079 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = 0.157560 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.172336 \times 10^{-19}$$

43면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.170111 \times 10^{-4} \quad C_5 = -0.258296 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = 0.608232 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.232160 \times 10^{-19}$$

<175>

<176>

도 13은 제 5 실시예에 따른 반사굴절광학계의 가로수차를 나타내는 도면이다. 수차도에 있어서, Y는 상 높이(mm)를 나타내고 있다. 수차도로부터 명확해진 바와 같이 제 5 실시예에서도 제 3 실시예와 마찬가지로, 파장 폭이 $157.6\text{nm} \pm 0.3\text{pm}$ 의 노광광에 대해 색수차가 양호하게 보정되어 있는 것을 알 수 있다. 또, 구면수차, 코머 수차, 비점수차, 디스토션(왜곡수차)이 거의 무수차에 가까운 상태까지 양호하게 보정되고, 우수한 결상성능을 갖는 것이 확인되고 있다.

<177>

(제 6 실시예)

<178>

도 14는 제 6 실시예에 따른 반사굴절광학계(투영광학계(PL))의 렌즈 구성을 나타내는 도면이다. 도 14의 반사 굴절광학계에 있어서, 제 1 결상광학계(G1)는 레티클측으로부터 차례로, 레티클측에 볼록면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L11)와, 웨이퍼측에 평면에 가까운 오목면을 향하게 한 오목면 반사경(M11)과, 레티클측에 오목면을 향하게 한 오목면 반사경(M12)으로 구성되어 있다.

<179>

또, 제 2 결상광학계(G2)는 레티클측으로부터 차례로, 웨이퍼측에 오목면을 향하게 한 오목면 반사경(M21)과, 레티클측에 볼록면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L21)와, 레티클측에 평면에 가까운 오목면을 향하게 한 오목면 반사경(M22)으로 구성되어 있다.

<180>

또, 제 3 결상광학계(G3)는 레티클측에서 차례로, 양오목렌즈(L31)와, 웨이퍼측에 비구면형상의 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L32)와, 레티클측에 볼록면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L33)와, 양오목렌즈(L34)

와, 레티클측에 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L35)와, 웨이퍼측에 비구면형상의 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L36)와, 양볼록렌즈(L37)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L38)와, 개구 조리개(AS)와, 레티클측으로 비구면형상의 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L39)와, 웨이퍼측에 비구면형상의 볼록면을 향하게 한 양볼록렌즈(L310)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L311)와, 웨이퍼측으로 비구면형상의 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L312)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L313)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L314)와, 양볼록렌즈(L315)로 구성되어 있다.

<181> 또, 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2)의 사이의 광로 중에는 레티클측에서 차례로, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L41)와, 웨이퍼측으로 비구면형상의 볼록면을 향하게 한 양볼록렌즈(L42)로 구성된 제 1 필드렌즈가 배치되어 있다. 또, 제 2 결상광학계(G2)와 제 3 결상광학계(G3)의 사이의 광로 중에는 레티클측에서 차례로, 레티클측으로 비구면형상의 볼록면을 향하게 한 양볼록렌즈(L51)와, 양볼록렌즈(L52)로 구성된 제 2 필드렌즈가 배치되어 있다.

<182> 따라서, 제 6 실시예에서는 레티클(R)로부터의 광이 정 메니스커스렌즈(L11)를 통해 오목면 반사경(M12)으로 입사한다. 오목면 반사경(M12)에서 반사된 광은 오목면 반사경(M11)에서 반사된 후, 제 1 필드 렌즈(L41 및 L42) 중에 레티클 패턴의 제 1 중간상을 형성한다.

<183> 제 1 필드렌즈(L41 및 L42) 중에 형성된 제 1 중간상으로부터의 광은 오목면 반사경(M22)에서 반사되고, 부 메니스커스렌즈(L21)를 통해 오목면 반사경(M21)에서 반사된 후, 부 메니스커스렌즈(L21)를 통해 제 2 필드렌즈(L51 및 L52)의 근방에 레티클 패턴의 제 2 중간상을 형성한다. 제 2 중간상으로부터의 광은 제 2 필드 렌즈(L51 및 L52) 및 제 3 결상광학계(G3)를 구성하는 각 렌즈(L31~L315)를 통해 웨이퍼(W)상에 레티클 패턴의 최종 상을 형성한다.

<184> 또, 상술한 제 1 실시예~제 5 실시예에서는 웨이퍼(W)상에 직사각형 형상의 실효노광영역(ER)이 형성되지만, 제 6 실시예에서는 원호형상의 실효노광영역(ER)이 형성된다. 도 15는 제 6 실시예에서 웨이퍼 상에 형성되는 원호형상의 실효노광영역과 기준 광축의 위치관계를 나타내는 도면이다. 도 15에 도시한 바와 같이, 제 6 실시예에서는 기준 광축(AX)을 중심으로 하여 반경(A)(최대 상 높이에 대응)을 갖는 원 형상의 영역(이미지 서클)(IF)내에서 기준 광축(AX)으로부터 +Y방향으로 편심한 위치에 원하는 크기를 갖는 원호형상의 실효노광영역(ER)이 설정되어 있다. 여기서, 원호형상의 실효노광영역(ER)의 X방향의 길이는 LX' 이며, 그 Y방향의 길이는 LY' 이다. 따라서, 레티클(R)상에서는 기준 광축(AX)으로부터 -Y방향으로 편심한 위치에 원호형상의 실효노광영역(ER)에 대응한 크기 및 형상을 갖는 원호형상의 조명영역(IR)이 형성되어 있게 된다. 즉, 기준 광축(AX)을 중심으로 한 반경(B)(최대 물체 높이에 대응)을 갖는 원 형상의 영역내에 있어서, 기준 광축(AX)으로부터 -Y방향으로 편심한 위치에 원하는 크기를 갖는 원호형상의 조명영역(IR)이 설정되어 있다.

<185> 다음의 표 6에, 제 6 실시예의 반사굴절광학계의 제원의 값을 든다. 표 6의 주요 제원에 있어서, λ 는 노광광의 중심 파장을, β 는 투영배율(전체계의 결상배율)을, NA는 상측(웨이퍼측) 개구수를, A는 웨이퍼(W)상에서의 이미지 서클(IF)의 반경, 즉 최대 상 높이를, B는 최대 상 높이(A)에 대응하는 최대 물체 높이를, LX' 는 원호형상의 실효노광영역(ER)의 X방향을 따르는 치수를, LY' 는 원호형상의 실효노광영역(ER)의 Y방향을 따르는 치수를 각각 나타내고 있다.

<186> 또, 표 6의 광학부재 제원에 있어서, 제 1 컬럼의 면 번호는 레티클측으로부터의 면의 순서를, 제 2 컬럼의 r은 각 면의 곡률반경(비구면의 경우에는 정점 곡률반경:mm)을, 제 3 컬럼의 d는 각 면의 축상간격, 즉 면간격(mm)을, 제 4 컬럼의 n은 중심파장에 대한 굴절율을 각각 나타내고 있다. 또, 면간격(d)은 반사될 때 마다 그 부호를 바꾸는 것으로 한다. 따라서, 면간격(d)의 부호는 오목면 반사경(M12)으로부터 오목면 반사경(M11)으로의 광로 중 및 오목면 반사경(M22)으로부터 오목면 반사경(M21)으로의 광로 중에서는 부로 하고, 그 외의 광로 중에서는 정으로 하고 있다. 또, 광의 입사방향에 상관없이 레티클측을 향해 볼록면의 곡률반경을 정으로 하고, 레티클측을 향해 오목면의 곡률반경을 부로 하고 있다.

<187> (표 6)

(주요 제원)

$$\lambda = 1\,57.6\,\text{nm}$$

$$\beta = 1/5$$

$$NA = 0.8$$

$$A = 1.8\,\text{mm}$$

$$B = 9.0\,\text{mm}$$

$$LX' = 2.0\,\text{mm}$$

$$LY' = 3\,\text{mm}$$

<188>

(광학부재 제원)

면 번호	r	d	n	
	(레티클 면)	60.000000		
1	419.18852	19.580407	1.560000	(렌즈 L 11)
2	1680.57391	254.993608		
3	-489.61861	-224.993608		(오목면 반사경 M 12)
4	2084.90414	254.993608		(오목면 반사경 M 11)
5	-1514.77737	69.985952	1.560000	(렌즈 L 41)
6	-244.82172	1.000000		
7	364.28042	32.967769	1.560000	(렌즈 L 42)
8*	-3138.44099	509.623508		
9	-2184.60801	-442.835110		(오목면 반사경 M 22)
10	149.68327	-20.000000	1.560000	(렌즈 L 21)
11	559.08929	-16.788398		
12	263.00265	16.788398		(오목면 반사경 M 21)
13	559.08929	20.000000	1.560000	(렌즈 L 21)

<189>

14	149.68327	442.835110		
15*	1889.70924	23.000000	1.560000	(렌즈 L 51)
16	-264.21722	1.000000		
17	233.99661	35.823627	1.560000	(렌즈 L 52)
18	-619.37646	38.987456		
19	-5441.96593	20.000000	1.560000	(렌즈 L 31)
20	502.25155	1.000000		
21	182.75539	20.000000	1.560000	(렌즈 L 32)
22*	97.20773	1.457183		
23	97.56626	26.063961	1.560000	(렌즈 L 33)
24	183.48181	23.001316		
25	-240.13113	20.000000	1.560000	(렌즈 L 34)
26	145.02922	19.973246		
27	-950.10258	21.000000	1.560000	(렌즈 L 35)
28	-183.48772	69.067372		
29	126.47126	23.315183	1.560000	(렌즈 L 36)
30*	187.64534	7.841194		
31	217.50174	40.946892	1.560000	(렌즈 L 37)
32	-326.63509	22.449513		
33	-196.62797	20.000000	1.560000	(렌즈 L 38)
34	-267.67602	10.000000		
35	∞	12.422431		(개구 조리개 AS)
36*	-340.00000	16.000000	1.560000	(렌즈 L 39)
37	-248.51990	1.000000		
38	156.19975	43.018450	1.560000	(렌즈 L 310)
39*	-324.35639	5.121067		
40	-177.96849	15.000000	1.560000	(렌즈 L 311)
41	-358.98302	1.000000		
42	107.39866	29.810536	1.560000	(렌즈 L 312)

<190>

43*	-5286.38967	1.000000		
44	88.60392	20.000000	1.560000	(렌즈 L 313)
45	178.21372	1.000000		
46	177.28766	17.334341	1.560000	(렌즈 L 314)
47	131.47878	1.213668		
48	131.32841	15.001321	1.560000	(렌즈 L 315)
49	-1923.73296	6.000000		

(웨이퍼 면)

<191>

(비구면 데이터)

8면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.554200 \times 10^{-4} \quad C_5 = -0.280967 \times 10^{-13}$$

$$C_7 = 0.778972 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.177500 \times 10^{-22}$$

15면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.109228 \times 10^{-1} \quad C_5 = -0.364285 \times 10^{-13}$$

$$C_7 = 0.142762 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.362739 \times 10^{-21}$$

22면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.225626 \times 10^{-1} \quad C_5 = -0.154524 \times 10^{-12}$$

$$C_7 = 0.164766 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.164885 \times 10^{-20}$$

30면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.379428 \times 10^{-1} \quad C_5 = 0.163017 \times 10^{-11}$$

$$C_7 = 0.684667 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.115849 \times 10^{-20}$$

36면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.146106 \times 10^{-4} \quad C_5 = -0.502919 \times 10^{-11}$$

$$C_7 = -0.270461 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.186877 \times 10^{-19}$$

39면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.159225 \times 10^{-4} \quad C_5 = 0.844367 \times 10^{-11}$$

$$C_7 = 0.120649 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.173041 \times 10^{-19}$$

43면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.204302 \times 10^{-1} \quad C_5 = -0.422928 \times 10^{-11}$$

$$C_7 = 0.824463 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.719034 \times 10^{-20}$$

<192>

<193>

도 16은 제 6 실시예에 따른 반사굴절광학계의 가로수차를 나타내는 도면이다. 수차도에 있어서, Y는 상 높이(mm)를 나타내고 있다. 수차도로부터 명확해진 바와 같이 제 6 실시예에서도 제 3 실시예 및 제 5 실시예와 마찬가지로 파장폭이 $157.6\text{nm} \pm 0.3\text{pm}$ 인 노광광에 대해 색수차가 양호하게 보정되어 있는 것을 알 수 있다. 또, 구면수차, 코마수차, 비점수차, 디스토션(왜곡수차)이 거의 무수차에 가까운 상태까지 양호하게 보정되고, 우수한 결상성능을 갖는 것을 확인하고 있다.

<194>

(제 7 실시예)

<195>

도 17은 제 7 실시예에 따른 반사굴절광학계(투영광학계(PL))의 렌즈 구성을 나타내는 도면이다. 도 17의 반사굴절광학계에 있어서, 제 1 결상광학계(G1)는 레티클측으로부터 차례로, 양볼록렌즈(L11)와, 웨이퍼측에 평면에 가까운 볼록면을 향하게 한 볼록면 반사경(M11)과, 레티클측에 오목면을 향하게 한 오목면 반사경(M12)으로 구성되어 있다.

<196>

또, 제 2 결상광학계(G2)는 레티클측으로부터 차례로, 웨이퍼측으로 오목면을 향하게 한 오목면 반사경(M21)과, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L21)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L22)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 오목면 반사경(M22)으로 구성되어 있다.

<197>

또, 제 3 결상광학계(G3)는 레티클측에서 차례로, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L31)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L32)와, 웨이퍼측에 비구면형상의 오목면을 향하게 한 정

메니스커스렌즈(L33)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L34)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L35)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L36)와, 웨이퍼측으로 비구면형상의 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L37)와, 양볼록렌즈(L38)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L39)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L310)와, 레티클측으로 비구면형상의 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L311)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L312)와, 웨이퍼측의 비구면형상의 볼록면을 향하게 한 양볼록렌즈(L313)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L314)와, 웨이퍼측으로 비구면형상의 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L315)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L316)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L317)로 구성되어 있다.

<198> 또, 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2)의 사이의 광로 중에는 레티클측에서 차례로, 양볼록렌즈(L41)와, 웨이퍼측으로 비구면형상의 볼록면을 향하게 한 양볼록렌즈(L42)로 구성된 제 1 필드렌즈가 배치되어 있다. 또, 제 2 결상광학계(G2)와 제 3 결상광학계(G3)의 사이의 광로 중에는 레티클측으로 비구면형상의 볼록면을 향하게 한 양볼록렌즈(L51)로 구성된 제 2 필드렌즈가 배치되어 있다.

<199> 따라서, 제 7 실시예에서는 레티클(R)로부터의 광이 양볼록렌즈(L11)를 통해 오목면 반사경(M12)으로 입사한다. 오목면 반사경(M12)에서 반사된 광은 볼록면 반사경(M11)에서 반사된 후, 제 1 필드렌즈(L41 및 L42)의 근방에 레티클 패턴의 제 1 중간상을 형성한다.

<200> 제 1 중간상으로부터의 광은 부 메니스커스렌즈(L22)를 통해 오목면 반사경(M22)에서 반사된 후, 부 메니스커스렌즈(L22) 및 부 메니스커스렌즈(L21)를 통해 오목면 반사경(M21)에 입사한다. 오목면 반사경(M21)에서 반사된 광은 부 메니스커스렌즈(L21)를 통해 제 2 필드렌즈(L51)의 근방에 레티클 패턴의 제 2 중간상을 형성한다. 제 2 중간상으로부터의 광은 제 3 결상광학계(G3)를 구성하는 각 렌즈(L31~L317)를 통해 웨이퍼(W)상에 레티클 패턴의 최종 상을 형성한다.

<201> 다음의 표 7에 제 7 실시예의 반사굴절광학계의 제원의 값을 든다. 표 7의 주요 제원에 있어서, λ 는 노광광의 중심파장을, β 는 투영배율(전체계의 결상배율)을, NA는 상측(웨이퍼측) 개구수를, A는 웨이퍼(W)상에서의 이미지 서클(IF)의 반경, 즉 최대 상 높이를, B는 최대 상 높이(A)에 대응하는 최대 물체 높이를, LX는 실효노광영역(ER)의 X방향을 따르는 치수(장변의 치수)를, LY는 실효노광영역(ER)의 Y방향을 따르는 치수(단변의 치수)를 각각 나타내고 있다.

<202> 또, 표 7의 광학부재 제원에 있어서, 제 1 컬럼의 면 번호는 레티클측으로부터의 면의 순서를, 제 2 컬럼의 r은 각 면의 곡률반경(비구면의 경우에는 정점곡률반경:mm)을, 제 3 컬럼의 d는 각 면의 축상간격, 즉 면간격(mm)을, 제 4 컬럼의 n은 중심파장에 대한 굴절율을 각각 나타내고 있다. 또, 면간격(d)은 반사될 때마다 그 부호를 바꾸는 것으로 한다. 따라서, 면간격(d)의 부호는 오목면 반사경(M12)으로부터 오목면 반사경(M11)으로의 광로 중 및 오목면 반사경(M22)으로부터 오목면 반사경(M21)으로의 광로 중에서는 부로 하고, 그 외의 광로 중에서는 정으로 하고 있다. 또, 광의 입사방향에 상관없이 레티클측을 향해 볼록면의 곡률반경을 정으로 하고, 레티클측을 향해 오목면의 곡률반경을 부로 하고 있다. 또, 표 7의 조건식 대응값에 있어서, LAT는 배율색수차계수를, AX는 축상색수차계수를 각각 나타내고 있다.

<203> (표 7)

(주요 제원)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/4$$

$$NA = 0.845$$

$$A = 18 \text{ mm}$$

$$B = 72 \text{ mm}$$

$$LX = 22 \text{ mm}$$

$$LY = 4 \text{ mm}$$

<204>

(광학부재 제원)

면 번호	r	d	n
	(레티클 면)	64.313122	
1	633.35560	29.362563	1.560000 (렌즈 L 11)
2	-297.41454	217.631552	
3	-376.41908	-187.631552	(오목면 반사경 M 12)
4	-1719.92425	217.631552	(볼록면 반사경 M 11)
5	1020.41099	44.070507	1.560000 (렌즈 L 41)
6	-406.99116	1.000000	
7	426.60624	46.118329	1.560000 (렌즈 L 42)
8*	-604.42303	465.826853	
9	-401.62011	20.000000	1.560000 (렌즈 L 22)
10	-2157.31867	6.871072	
11	-632.50781	-6.871072	(오목면 반사경 M 22)
12	-2157.31867	-20.000000	1.560000 (렌즈 L 22)
13	-401.62011	-401.565841	
14	163.07026	-20.000000	1.560000 (렌즈 L 21)
15	512.54817	-14.261012	
16	296.41597	14.261013	(오목면 반사경 M 21)
17	512.54817	20.000000	1.560000 (렌즈 L 21)
18	163.07026	458.436913	
19*	8910.30168	26.990021	1.560000 (렌즈 L 51)
20	-390.02333	1.000000	
21	154.61680	27.437462	1.560000 (렌즈 L 31)
22	266.36618	10.838480	
23	578.36195	20.000000	1.560000 (렌즈 L 32)
24	156.58391	10.000000	
25	200.15045	20.000000	1.560000 (렌즈 L 33)
26*	355.24067	10.000000	

<205>

27	199. 94207	20. 000000	1. 560000	(렌즈 L 34)
28	565. 87990	165. 714184		
29	1057. 18610	20. 000000	1. 560000	(렌즈 L 35)
30	132. 35645	30. 141989		
31	-325. 89570	21. 445301	1. 560000	(렌즈 L 36)
32	-460. 40857	1. 000000		
33	180. 42036	25. 000000	1. 560000	(렌즈 L 37)
34*	290. 73962	15. 607903		
35	153. 52191	54. 725337	1. 560000	(렌즈 L 38)
36	-377. 47953	10. 000000		
37	-596. 78960	16. 523215	1. 560000	(렌즈 L 39)
38	-292. 83030	4. 261011		
39	-234. 60209	20. 000000	1. 560000	(렌즈 L 310)
40	-317. 15396	19. 987264		
41*	-596. 23286	16. 000000	1. 560000	(렌즈 L 311)
42	-10714. 58691	1. 000000		
43	201. 11330	20. 217332	1. 560000	(렌즈 L 312)
44	561. 52434	5. 000000		
45	161. 81186	41. 142108	1. 560000	(렌즈 L 313)
46*	-311. 48442	7. 344549		
47	-177. 28368	15. 000000	1. 560000	(렌즈 L 314)
48	-264. 46461	1. 000000		
49	114. 47887	21. 221832	1. 560000	(렌즈 L 315)
50*	284. 79460	1. 000000		
51	87. 32352	28. 536749	1. 560000	(렌즈 L 316)
52	301. 26342	4. 000000		
53	149. 71418	26. 671264	1. 560000	(렌즈 L 317)
54	1921. 15947	6. 000000		
(웨이퍼 면)				

(비구면 데이터)

8 면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.118332 \times 10^{-7} \quad C_5 = -0.901477 \times 10^{-13}$$

$$C_6 = 0.456579 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 0.500107 \times 10^{-23}$$

19면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.362526 \times 10^{-7} \quad C_5 = -0.325425 \times 10^{-13}$$

$$C_6 = -0.715942 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.938233 \times 10^{-23}$$

26면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.784516 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.132181 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = 0.390546 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.194862 \times 10^{-20}$$

34면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.770740 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.108454 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = -0.141384 \times 10^{-18} \quad C_{10} = -0.154327 \times 10^{-20}$$

41면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.111168 \times 10^{-6} \quad C_5 = -0.459164 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = -0.179391 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.627753 \times 10^{-20}$$

46면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.806181 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.979363 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = -0.432122 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.353438 \times 10^{-20}$$

50면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.171550 \times 10^{-6} \quad C_5 = -0.506941 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = 0.172612 \times 10^{-14} \quad C_{10} = -0.907247 \times 10^{-19}$$

<207>

(조건식 대응값)

$$LAT = -3.9 \times 10^{-7}$$

$$AX = -5.2 \times 10^{-5}$$

<208>

<209>

도 18 및 도 19는 제 7 실시예에 따른 반사굴절광학계의 가로수차를 나타내는 도면이다. 수차도에 있어서, Y는 상 높이(mm)를 나타내고 있다. 수차도로부터 명확해진 바와 같이, 제 7 실시예에서는 파장폭이 $157.6\text{nm} \pm 0.4\text{pm}$ 의 노광광에 대해 색수차가 양호하게 보정되는 것을 알 수 있다. 또, 구면수차, 코머수차, 비점수차, 디스토션(왜곡수차)이 거의 무수차에 가까운 상태까지 양호하게 보정되고, 우수한 결상성능을 갖는 것이 확인되고 있다.

<210>

(제 8 실시예)

<211>

도 20은 제 8 실시예에 따른 반사굴절광학계(투영광학계(PL))의 렌즈 구성을 나타내는 도면이다. 도 20의 반사굴절광학계에 있어서, 제 1 결상광학계(G1)는 레티클측으로부터 차례로, 양볼록렌즈(L11)와, 웨이퍼측으로 평면에 가까운 볼록면을 향하게 한 볼록면 반사경(M11)과, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 오목면 반사경(M12)으로 구성되어 있다.

<212>

또, 제 2 결상광학계(G2)는 레티클측으로부터 차례로, 웨이퍼측으로 오목면을 향하게 한 오목면 반사경(M21)과, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L21)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 부 메니스커스

렌즈(L22)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 오목면 반사경(M22)으로 구성되어 있다.

<213> 또, 제 3 결상광학계(G3)는 레티클측에서 차례로, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L31)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L32)와, 양볼록렌즈(L33)와, 웨이퍼측에 비구면형상의 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L34)와, 양오목렌즈(L35)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L36)와, 웨이퍼측으로 비구면형상의 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L37)와, 양볼록렌즈(L38)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L39)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L310)와, 레티클측으로 비구면형상의 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L311)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L312)와, 웨이퍼측의 비구면형상의 볼록면을 향하게 한 양볼록렌즈(L313)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L314)와, 웨이퍼측으로 비구면형상의 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L315)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L316)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L317)로 구성되어 있다.

<214> 또, 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2) 사이의 광로 중에는 레티클측으로부터 차례로, 양볼록렌즈(L41)와, 웨이퍼측으로 비구면형상의 볼록면을 향하게 한 양볼록렌즈(L42)로 구성된 제 1 필드렌즈가 배치되어 있다. 또, 제 2 결상광학계(G2)와 제 3 결상광학계(G3)의 사이의 광로 중에는 레티클측으로 비구면형상의 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L51)로 구성된 제 2 필드렌즈가 배치되어 있다.

<215> 따라서, 제 8 실시예에서는 레티클(R)로부터의 광이 양볼록렌즈(L11)를 통해 오목면 반사경(M12)으로 입사된다. 오목면 반사경(M12)에서 반사된 광은 볼록면 반사경(M11)에서 반사된 후, 제 1 필드렌즈(L41 및 L42)의 근방에 레티클 패턴의 제 1 중간상을 형성한다.

<216> 제 1 중간상으로부터의 광은 부 메니스커스렌즈(L22)를 통해 오목면 반사경(M22)으로 반사된 후, 부 메니스커스렌즈(L22) 및 부 메니스커스렌즈(L21)를 통해 오목면 반사경(M21)으로 입사된다. 오목면 반사경(M21)에서 반사된 광은 부 메니스커스렌즈(L21)를 통해 제 2 필드렌즈(L51)의 근방에 레티클 패턴의 제 2 중간상을 형성한다. 제 2 중간상으로부터의 광은 제 3 결상광학계(G3)를 구성하는 각 렌즈(L31~L317)를 통해 웨이퍼(W)상에 레티클 패턴의 최종 상을 형성한다.

<217> 다음의 표 8에 제 8 실시예의 반사굴절광학계의 제원의 값을 든다. 표 8의 주요 제원에 있어서, λ 는 노광광의 중심파장을, β 는 투영배율(전체계의 결상배율)을, NA는 상측(웨이퍼측) 개구수를, A는 웨이퍼(W)상에서의 이미지 서클(IF)의 반경, 즉 최대 상 높이를, B는 최대 상 높이(A)에 대응하는 최대 물체 높이를, LX는 실효노광영역(ER)의 X방향을 따르는 치수(장변의 치수)를, LY는 실효노광영역(ER)의 Y방향을 따르는 치수(단변의 치수)를 각각 나타내고 있다.

<218> 또, 표 8의 광학부재 제원에 있어서, 제 1 컬럼의 면 번호는 레티클측으로부터의 면의 순서를, 제 2 컬럼의 r은 각 면의 곡률반경(비구면의 경우에는 정점곡률반경:mm)을, 제 3 컬럼의 d는 각 면의 축상간격, 즉 면간격(mm)을, 제 4 컬럼의 n은 중심파장에 대한 굴절율을 각각 나타내고 있다. 또, 면간격(d)은 반사될 때마다 그 부호를 바꾸는 것으로 한다. 따라서, 면간격(d)의 부호는 오목면 반사경(M12)으로부터 오목면 반사경(M11)으로의 광로 중 및 오목면 반사경(M22)으로부터 오목면 반사경(M21)으로의 광로 중에서는 부로 하고, 그 외의 광로 중에서는 정으로 하고 있다. 또, 광의 입사방향에 상관없이 레티클측을 향해 볼록면의 곡률반경을 정으로 하고, 레티클측을 향해 오목면의 곡률반경을 부로 하고 있다. 또, 표 8의 조건식 대응값에 있어서, LAT는 배율색수차계수를, AX는 축상색수차계수를 각각 나타내고 있다.

<219> (표 8)

(주요 제원)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/4$$

$$NA = 0.845$$

$$A = 18 \text{ mm}$$

$$B = 72 \text{ mm}$$

$$LX = 22 \text{ mm}$$

$$LY = 4 \text{ mm}$$

<220>

(광학부재 제원)

면 번호	r	d	n	
	(레티클 면)	64.644427		
1	567.00647	29.774149	1.560000	(렌즈 L 11)
2	-305.96356	215.805682		
3	-375.35826	-185.805682		(오목면 반사경 M 12)
4	-1771.14235	215.805682		(볼록면 반사경 M 11)
5	1046.06672	43.621058	1.560000	(렌즈 L 41)
6	-403.21536	1.000000		
7	421.69510	45.558190	1.560000	(렌즈 L 42)
8*	-640.00612	490.635779		
9	-305.40131	10.000000	1.560000	(렌즈 L 22)
10	-663.42492	1.000000		
11	-681.00059	-1.000000		(오목면 반사경 M 22)
12	-663.42492	-10.000000	1.560000	(렌즈 L 22)
13	-305.40131	-433.352800		
14	163.68529	-12.344063	1.560000	(렌즈 L 21)
15	526.44415	-14.938916		
16	294.23457	14.938916		(오목면 반사경 M 21)
17	526.44415	12.344063	1.560000	(렌즈 L 21)
18	163.68529	474.352800		
19*	-742.11875	26.894368	1.560000	(렌즈 L 51)
20	-266.21012	1.000000		
21	-400.00000	15.000000	1.560000	(렌즈 L 31)
22	-534.63536	1.000000		
23	184.35678	20.000000	1.560000	(렌즈 L 32)
24	153.88212	10.000000		
25	168.88100	50.000000	1.560000	(렌즈 L 33)
26	-1758.10942	10.000000		

<221>

27	235. 07511	20. 000000	1. 560000	(렌즈 L 34)
28*	189. 46638	163. 801245		
29	-2896. 25856	20. 000000	1. 560000	(렌즈 L 35)
30	124. 65800	29. 898504		
31	-242. 21131	17. 005799	1. 560000	(렌즈 L 36)
32	-357. 22247	1. 000000		
33	192. 53113	25. 000000	1. 560000	(렌즈 L 37)
34*	412. 29894	8. 987693		
35	152. 52351	53. 177839	1. 560000	(렌즈 L 38)
36	-296. 92089	10. 000000		
37	-316. 87875	15. 000000	1. 560000	(렌즈 L 39)
38	-219. 63445	3. 105791		
39	-194. 61097	20. 000000	1. 560000	(렌즈 L 310)
40	-271. 06241	20. 333056		
41*	-523. 95508	16. 000000	1. 560000	(렌즈 L 311)
42	-1588. 24429	1. 000000		
43	255. 61070	18. 833104	1. 560000	(렌즈 L 312)
44	1097. 97464	5. 000000		
45	151. 14790	42. 445707	1. 560000	(렌즈 L 313)
46*	-331. 45182	8. 725261		
47	-170. 85207	15. 000000	1. 560000	(렌즈 L 314)
48	-227. 87568	1. 000000		
49	112. 98983	21. 658527	1. 560000	(렌즈 L 315)
50*	277. 63494	1. 000000		
51	85. 92800	24. 591365	1. 560000	(렌즈 L 316)
52	235. 86682	4. 000000		
53	137. 24923	31. 502456	1. 560000	(렌즈 L 317)
54	1707. 95360	6. 000000		

(웨이퍼 면)

(비구면 데이터)

8면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.115614 \times 10^{-7} \quad C_5 = -0.898054 \times 10^{-12}$$

$$C_6 = 0.586813 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 0.189867 \times 10^{-23}$$

19면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.128999 \times 10^{-7} \quad C_5 = -0.445747 \times 10^{-12}$$

$$C_6 = 0.542677 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -0.302494 \times 10^{-22}$$

28면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.535059 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.132973 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = 0.750691 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 0.629454 \times 10^{-28}$$

34면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.887048 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.117209 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = -0.416125 \times 10^{-18} \quad C_{10} = -0.382530 \times 10^{-28}$$

41면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.113856 \times 10^{-6} \quad C_5 = -0.516355 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = -0.221902 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.928183 \times 10^{-20}$$

46면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.824280 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.998838 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = -0.426713 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.170015 \times 10^{-28}$$

50면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.159085 \times 10^{-5} \quad C_5 = -0.478787 \times 10^{-11}$$

$$C_6 = 0.166305 \times 10^{-14} \quad C_{10} = -0.824509 \times 10^{-19}$$

<223>

(조건식 대응값)

$$LAT = -5.7 \times 10^{-4}$$

$$AX = -3.9 \times 10^{-5}$$

<224>

<225>

도 21 및 도 22는 제 8 실시예에 따른 반사굴절광학계의 가로수차를 나타내는 도면이다. 수차도에 있어서, Y는 상 높이(mm)를 나타내고 있다. 수차도로부터 명확해진 바와 같이, 제 8 실시예에서는 제 7 실시예와 마찬가지로 파장 폭이 $157.6\text{nm} \pm 0.4\text{pm}$ 인 노광광에 대해 색수차가 양호하게 보정되는 것을 알 수 있다. 또, 구면수차, 코머수차, 비점수차, 디스토션(왜곡 수차)이 거의 무수차에 가까운 상태까지 양호하게 보정되고, 우수한 결상 성능을 갖는 것이 확인되고 있다.

<226>

(제 9 실시예)

<227>

도 23은 제 9 실시예에 따른 반사굴절광학계(투영광학계(PL))의 렌즈 구성을 나타내는 도면이다. 도 23의 반사굴절광학계에 있어서, 제 1 결상광학계(G1)는 레티클측으로부터 차례로, 양볼록렌즈(L11)와, 웨이퍼측에 평면에 가까운 볼록면을 향하게 한 볼록면 반사경(M11)과, 레티클측에 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L12)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 오목면 반사경(M12)으로 구성되어 있다.

<228>

또, 제 2 결상광학계(G2)는 레티클측으로부터 차례로, 웨이퍼측으로 오목면을 향하게 한 오목면 반사경(M21)과,

레티클측으로 볼록면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L21)와, 레티클측으로 평면에 가까운 오목면을 향하게 한 오목면 반사경(M22)으로 구성되어 있다.

<229> 또, 제 3 결상광학계(G3)는 레티클측으로부터 차례로, 양볼록렌즈(L31)와, 웨이퍼측으로 비구면형상의 오목면을 향하게 한 양오목렌즈(L32)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L33)와, 양오목렌즈(L34)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L35)와, 웨이퍼측으로 비구면형상의 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L36)와, 양볼록렌즈(L37)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L38)와, 레티클측으로 비구면형상의 오목면을 향하게 한 양오목렌즈(L39)와, 양볼록렌즈(L310)와, 웨이퍼측으로 비구면형상의 볼록면을 향하게 한 양볼록렌즈(L311)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 부 메니스커스렌즈(L312)와, 웨이퍼측의 비구면형상의 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L313)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L314)와, 레티클측으로 볼록면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L315)로 구성되어 있다.

<230> 또, 제 1 결상광학계(G1)와 제 2 결상광학계(G2)의 사이의 광로 중에는 레티클측으로부터 차례로, 양볼록렌즈(L41)와, 웨이퍼측으로 비구면형상의 볼록면을 향하게 한 양볼록렌즈(L42)로 구성된 제 1 필드렌즈가 배치되어 있다. 또, 제 2 결상광학계(G2)와 제 3 결상광학계(G3)의 사이의 광로 중에는 레티클측으로 비구면형상의 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L51)와, 레티클측으로 오목면을 향하게 한 정 메니스커스렌즈(L52)로 구성된 제 2 필드렌즈가 배치되어 있다.

<231> 따라서, 제 9 실시예에서는 레티클(R)로부터의 광이 양볼록렌즈(L11) 및 부 메니스커스렌즈(L12)를 통해 오목면 반사경(M12)으로 입사한다. 오목면 반사경(M12)에서 반사된 광은 볼록면 반사경(M11)에서 반사된 후, 제 1 필드 렌즈(L41 및 L42)의 근방에 레티클 패턴의 제 1 중간상을 형성한다.

<232> 제 1 중간상으로부터의 광은 오목면 반사경(M22)에서 반사된 후, 부 메니스커스렌즈(L21)를 통해 오목면 반사경(M21)으로 입사한다. 오목면 반사경(M21)에서 반사된 광은 부 메니스커스렌즈(L21)를 통해 제 2 필드렌즈(L51 및 L52)의 근방에 레티클 패턴의 제 2 중간상을 형성한다. 제 2 중간상으로부터의 광은 제 3 결상광학계(G3)를 구성하는 각 렌즈(L31~L315)를 통해 웨이퍼(W)상에 레티클 패턴의 최종 상을 형성한다.

<233> 다음의 표 9에 제 9 실시예의 반사굴절광학계의 제원의 값을 든다. 표 9의 주요 제원에 있어서, λ 는 노광광의 중심파장을, β 는 투영배율(전체계의 결상배율)을, NA는 상측(웨이퍼측) 개구수를, A는 웨이퍼(W)상에서의 이미지 서클(IF)의 반경, 즉 최대 상 높이를, B는 최대 상 높이(A)에 대응하는 최대 물체 높이를, LX는 실효노광영역(ER)의 X방향을 따르는 치수(장변의 치수)를, LY는 실효노광영역(ER)의 Y방향을 따르는 치수(단변의 치수)를 각각 나타내고 있다.

<234> 또, 표 9의 광학부재 제원에 있어서, 제 1 컬럼의 면 번호는 레티클측으로부터의 면의 순서를, 제 2 컬럼의 r은 각 면의 곡률반경(비구면의 경우에는 정점곡률반경:mm)을, 제 3 컬럼의 d는 각 면의 축상간격, 즉 면간격(mm)을, 제 4 컬럼의 n은 중심파장에 대한 굴절율을 각각 나타내고 있다. 또, 면 간격(d)은 반사될 때마다 그 부호를 바꾸는 것으로 한다. 따라서, 면 간격(d)의 부호는 오목면 반사경(M12)으로부터 오목면 반사경(M11)으로의 광로 중 및 오목면 반사경(M22)으로부터 오목면 반사경(M21)으로의 광로 중에서는 부로 하고, 그 외의 광로 중에서는 정으로 하고 있다. 또, 광의 입사방향에 상관없이 레티클측을 향해 볼록면의 곡률반경을 정으로 하고, 레티클측을 향해 오목면의 곡률반경을 부로 하고 있다. 또, 표 9의 조건식 대응값에 있어서, LAT는 배율색수차계수를, AX는 축상색수차계수를 각각 나타내고 있다.

<235> (표 9)

(주요 제원)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/4$$

$$NA = 0.845$$

$$A = 18 \text{ mm}$$

$$B = 72 \text{ mm}$$

$$LX = 22 \text{ mm}$$

$$LY = 4 \text{ mm}$$

<236>

(광학부재 제원)

면 번호	r	d	n	
	(레티클 면)	60.000000		
1	991.47248	28.195143	1.560000	(렌즈 L 11)
2	-267.50588	192.866330		
3	-212.01226	15.000000	1.560000	(렌즈 L 12)
4	-359.05656	7.438380		
5	-274.13902	-7.438380		(오목면 반사경 M 12)
6	-359.05656	-15.000000	1.560000	(렌즈 L 12)
7	-212.01226	-162.866330		
8	-2397.49986	215.304710		(볼록면 반사경 M 11)
9	480.51853	46.865206	1.560000	(렌즈 L 41)
10	-546.66851	1.000000		
11	379.33588	44.717026	1.560000	(렌즈 L 42)
12*	-630.25132	422.571113		
13	-1860.74365	-369.081141		(오목면 반사경 M 22)
14	136.07113	-15.000000	1.560000	(렌즈 L 21)
15	388.51075	-8.489972		
16	269.57337	8.489972		(오목면 반사경 M 21)
17	388.51075	15.000000	1.560000	(렌즈 L 21)
18	136.07113	399.081141		
19*	-368.26543	30.000000	1.560000	(렌즈 L 51)
20	-253.70093	1.000000		
21	-2467.73840	30.000000	1.560000	(렌즈 L 52)
22	-400.60099	68.350972		
23	171.28983	44.279149	1.560000	(렌즈 L 31)
24	-3312.88121	44.770000		
25	-448.65736	20.000000	1.560000	(렌즈 L 32)
26*	168.02309	10.000000		
27	170.42305	25.208415	1.560000	(렌즈 L 33)
28	769.81302	99.804041		
29	-1652.36364	20.000000	1.560000	(렌즈 L 34)
30	132.90519	15.026016		
31	530.98620	70.000000	1.560000	(렌즈 L 35)

32	452.64324	1.000000	
33	177.34168	25.000000	1.560000 (렌즈 L 36)
34*	415.66350	1.000000	
35	138.37477	47.565338	1.560000 (렌즈 L 37)
36	-654.96909	10.000000	
37	-2112.93849	34.994222	1.560000 (렌즈 L 38)
38	-411.84982	16.215559	
39*	-4467.59569	16.000000	1.560000 (렌즈 L 39)
40	568.03899	1.000000	
41	359.65731	20.527531	1.560000 (렌즈 L 310)
42	-5233.89502	5.000000	
43	146.19360	42.262782	1.560000 (렌즈 L 311)
44*	-225.18468	5.392886	
45	-155.97378	15.000000	1.560000 (렌즈 L 312)
46	-257.64593	1.000000	
47	87.50795	24.651827	1.560000 (렌즈 L 313)
48*	221.10625	1.000000	
49	83.17065	29.222819	1.560000 (렌즈 L 314)
50	263.21163	4.000000	
51	149.89321	16.010949	1.560000 (렌즈 L 315)
52	1461.12239	6.000000	

(웨이퍼 면)

<239>

(비구면 데이터)

12면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.269991 \times 10^{-7} \quad C_5 = -0.510706 \times 10^{-12}$$

$$C_7 = 0.110177 \times 10^{-18} \quad C_{10} = -0.123713 \times 10^{-21}$$

19면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.121430 \times 10^{-7} \quad C_5 = -0.146728 \times 10^{-12}$$

$$C_7 = 0.126272 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 0.894134 \times 10^{-23}$$

26면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.691903 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.102075 \times 10^{-11}$$

$$C_7 = 0.983473 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 0.117306 \times 10^{-20}$$

34면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.993275 \times 10^{-7} \quad C_5 = 0.240380 \times 10^{-11}$$

$$C_7 = 0.301051 \times 10^{-18} \quad C_{10} = -0.215154 \times 10^{-20}$$

39면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.140256 \times 10^{-4} \quad C_5 = -0.785178 \times 10^{-11}$$

$$C_7 = -0.323968 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.150679 \times 10^{-19}$$

44면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.100300 \times 10^{-4} \quad C_5 = 0.114834 \times 10^{-10}$$

$$C_7 = -0.384285 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.139887 \times 10^{-19}$$

48면

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.200382 \times 10^{-4} \quad C_5 = -0.794777 \times 10^{-11}$$

$$C_7 = 0.361073 \times 10^{-14} \quad C_{10} = -0.138717 \times 10^{-18}$$

<240>

(조건식 대응값)

$$LAT = +9.7 \times 10^{-7}$$

$$AX = -4.5 \times 10^{-3}$$

<241>

<242>

도 24 및 도 25는 제 9 실시예에 따른 반사굴절광학계의 가로수차를 나타내는 도면이다. 수차도에 있어서, Y는 상 높이(mm)를 나타내고 있다. 수차도로부터 명확해진 바와 같이, 제 9 실시예에 있어서는 제 7 실시예 및 제 8 실시예와 마찬가지로 파장폭이 $157.6\text{nm} \pm 0.4\text{pm}$ 인 노광광에 대해 색수차가 양호하게 보정되는 것을 알 수 있다. 또, 구면수차, 코머수차, 비점수차, 디스토션(왜곡수차)이 거의 무수차에 가까운 상태까지 양호하게 보정되고, 우수한 결상성능을 갖는 것이 확인되고 있다.

<243>

이상과 같이, 제 1 실시예에서는 중심파장이 157.6nm 의 F_2 레이저광에 대해 0.7의 상 측 NA를 확보하고 또, 웨이퍼(W)상에서 색수차를 비롯한 제수차가 충분히 보정된 반경이 17mm 의 이미지 서클을 확보할 수 있다. 한편, 제 2 실시예에서는 중심 파장이 157.6nm 의 F_2 레이저광에 대해 0.8의 상 측 NA를 확보하고 또, 웨이퍼(W)상에서 색수차를 비롯한 제수차가 충분히 보정된 반경이 21mm 의 이미지 서클을 확보할 수 있다. 또, 제 3 실시예, 제 5 실시예 및 제 6 실시예에서는 중심파장이 157.6nm 의 F_2 레이저광에 대해 0.8의 상 측 NA를 확보하고, 또 웨이퍼(W)상에서 색수차를 비롯한 제수차가 충분히 보정된 반경이 18mm 의 이미지 서클을 확보할 수 있다. 또,

제 4 실시예에서는 중심파장이 157.6nm의 F₂ 레이저광에 대해 0.6의 상 측 NA를 확보하고 또, 웨이퍼(W)상에서 색수차를 비롯한 제수차가 충분히 보정된 반경이 21mm의 이미지 서클을 확보할 수 있다. 또, 제 7 실시예~제 9 실시예에서는 중심파장이 157.6nm의 F₂ 레이저광에 대해 0.845의 상 측 NA를 확보하고, 또 웨이퍼(W)상에 있어서 색수차를 비롯한 제수차가 충분히 보정된 반경이 18mm의 이미지 서클을 확보할 수 있다.

<244> 따라서, 제 1 실시예 및 제 2 실시예에서는 22mm×5mm의 충분히 큰 직사각형 형상의 실효노광영역을 확보하고, 제 4 실시예에서는 22mm×약 6mm의 충분히 큰 직사각형 형상의 실효노광영역을 확보하여, 0.1 μ m 이하의 고해상을 달성할 수 있다. 그리고, 웨이퍼(W)에 있어서, 예를 들면 22mm×33mm의 크기를 갖는 각 노광영역에 레티클(R)의 패턴을 주사노광에 의해 고정밀도로 전사할 수 있다. 또, 제 3 실시예 및 제 5 실시예에서는 20mm×5mm의 충분히 큰 직사각형 형상의 실효노광영역을 확보하여, 0.1 μ m이하의 고해상을 달성할 수 있다. 그리고, 웨이퍼(W)에 있어서, 예를 들면 20mm×33mm의 크기를 갖는 각 노광영역에 레티클(R)의 패턴을 주사노광에 의해 고정밀도로 전사할 수 있다. 또, 제 6 실시예에서는 20mm×3mm의 충분히 큰 원호형상의 실효노광영역을 확보하여 0.1 μ m이하의 고해상을 달성할 수 있다. 그리고 웨이퍼(W)에 있어서, 예를 들면 20mm×33mm의 크기를 갖는 각 노광영역에 레티클(R)의 패턴을 주사노광에 의해 고정밀도로 전사할 수 있다. 또, 제 7 실시예~제 9 실시예에서는 22mm×4mm의 충분히 큰 직사각형 형상의 실효노광영역을 확보하여, 0.1 μ m 이하의 고해상을 달성할 수 있다. 그리고, 웨이퍼(W)에 있어서, 예를 들면 22mm×33mm의 크기를 갖는 각 노광영역에 레티클(R)의 패턴을 주사 노광에 의해 고정밀도로 전사할 수 있다. 또, 상술한 각 실시예에서는 약 6mm의 충분히 긴 웨이퍼측 워킹 디스턴스를 확보할 수 있다. 또, 각 실시예에서는 약 60mm~115mm의 충분히 긴 마스크측 워킹 디스턴스를 확보할 수 있다.

<245> 또, 제 1 실시예에서는 렌즈(L41)의 유효직경이 약 240mm로 최대이며, 그외의 대부분 렌즈의 유효직경은 200mm 이하이다. 한편, 제 2 실시예에서는 오목면 반사경(M21)의 유효직경이 약 250mm로 최대이고, 렌즈(L41)의 유효직경이 약 268mm로 최대이다. 그리고, 그외의 대부분 렌즈의 유효직경은 200mm 이하이다. 또, 제 3 실시예에서는 렌즈(L41)의 유효직경이 약 260mm로 최대이고, 그외의 대부분의 렌즈의 유효직경은 200mm이하이다. 또, 제 4 실시예에서는 렌즈(L11)의 유효직경이 약 235mm로 최대이고, 그외의 대부분의 렌즈의 유효직경은 200mm이하이다. 또, 제 5 실시예에서는 렌즈(L41)의 유효직경이 약 250mm로 최대이고, 그외의 대부분의 렌즈의 유효직경은 200mm 이하이다. 또, 제 6 실시예에서는 렌즈(L41)의 유효직경이 약 250mm로 최대이고, 그외의 대부분의 렌즈의 유효직경은 200mm 이하이다. 또, 제 7 실시예에서는 오목면 반사경(M21)의 유효직경이 약 260mm로 최대이고, 렌즈(L41 및 L42)의 유효직경이 약 280mm로 최대이다. 그리고, 그외의 대부분의 렌즈의 유효직경은 190mm 이하이다. 또, 제 7 실시예에서는 오목면 반사경(M21)의 유효직경이 약 260mm로 최대이고, 렌즈(L41 및 L42)의 유효직경이 약 277mm로 최대이다. 그리고, 그외의 대부분의 렌즈의 유효직경은 179mm 이하이다. 또, 제 9 실시예에서는 오목면 반사경(M21)의 유효직경이 약 217mm로 최대이고, 렌즈(L41 및 L42)의 유효직경이 약 280mm로 최대이다. 그리고, 그외의 대분의 렌즈의 유효직경은 176mm 이하이다. 이와 같이, 각 실시예에 있어서 오목면 반사경이나 렌즈의 대형화를 억제하여 광학계의 소형화가 도모되었다.

<246> 또, 상술한 각 실시예에서는 3회 결상방식의 광학계이면서 렌즈 매수가 매우 적은 구성(제 1 실시예 및 제 2 실시예에서는 16매이고, 제 3 실시예 및 제 4 실시예에서는 18매이고, 제 5 실시예에 및 제 6 실시예에서는 21매이고, 제 7 실시예 및 제 8 실시예에서는 23매이고, 제 9 실시예에서는 21매)으로 되어 있다. F₂레이저광을 이용하는 광학계에서는 양호한 반사 방지 코트를 얻을 수 없기 때문에 렌즈 매수가 많으면 렌즈면에 있어서 광량 손실을 초래하기 쉽다. 이 관점에서, 상술한 각 실시예에서는 렌즈 매수가 적고, 렌즈면의 광량 손실을 억제하는 구성으로 되어 있다. 또, 상술한 각 실시예에서는 도입된 비구면의 수도 매우 적은 구성(제 1 실시예 및 제 2 실시예에서는 12매이며, 제 3 실시예, 제 4 실시예에서는 14매이며, 제 5 실시예 및 제 6 실시예에서는 7매이고, 제 7 실시예~제 9 실시예에서는 7매)으로 되어 있다.

<247> 그런데, 제 7 실시예~제 9 실시예에서는 제 1 결상광학계(G1)에 포함되는 2개의 반사경(M11 및 M12)과 제 2 결상광학계(G2)에 포함되는 2개의 반사경(M21 및 M22) 중, 2개의 반사경의 직전에 각각 1개의 부 렌즈가 배치되어 있다. 구체적으로는 제 7 실시예 및 제 8 실시예에 있어서, 오목면 반사경(M21)의 직전에 부 메니스커스렌즈(L21)가 배치되고, 오목면 반사경(M22)의 직전에 부 메니스커스렌즈(L22)가 배치되어 있다. 한편, 제 9 실시예에서는 오목면 반사경(M12)의 직전에 부 메니스커스렌즈(L12)가 배치되고, 오목면 반사경(M21)의 직전에 부 메니스커스렌즈(L21)가 배치되어 있다. 이와 같이하여, 제 7 실시예~제 9 실시예에서는 2개의 반사경의 직전에 1개의 부 렌즈가 각각 배치되어 있는 것에 의해 배율의 색수차 및 축상의 색수차의 보정이 실시되어 있다.

<248> 여기서, 표 7~표 9의 조건식 대응값을 참조하면 제 7 실시예~제 9 실시예에서는 배율색수차계수(LAT) 및 축상

색수차계수(AX)가 이하의 조건식 (1) 및 (2)를 만족하고 있다.

<249> $|LAT| < 5 \times 10^{-6}$ (1)

<250> $|AX| < 2 \times 10^{-4}$ (2)

<251> 또, 배울의 색수차 및 축상의 색수차를 더 양호하게 보정하는 데는, 조건식 (1)의 상한값을 2.5×10^{-6} 으로, 조건식 (2)의 상한값을 1.0×10^{-4} 으로 각각 설정하는 것이 바람직하다.

<252> 상술한 실시형태에 따른 노광장치에서는 조명광학계에 의해 레티클(마스크)을 조명하고(조명공정), 투영광학계를 이용하여 레티클에 형성된 전사용 패턴을 감광성 기판에 주사노광하는(노광공정) 것에 의해 마이크로 디바이스(반도체소자, 촬상소자, 액정표시소자, 박막자기헤드 등)를 제조할 수 있다. 이하, 본 실시형태의 노광장치를 이용하여 감광성 기판으로서의 웨이퍼 등에 소정의 회로 패턴을 형성하는 것에 의해 마이크로 디바이스로서의 반도체 디바이스를 얻을 때의 수법의 일례에 대해 도 26의 플로우차트를 참조하여 설명한다.

<253> 우선, 도 26의 단계(301)에서 1로트의 웨이퍼상에 금속막이 증착된다. 다음 단계(302)에서, 그 1로트의 웨이퍼상의 금속막상에 포토레지스트가 도포된다. 그 후, 단계(303)에서, 본 실시형태의 노광장치를 이용하여 레티클상의 패턴의 상이 그 촬영광학계를 통해 그 1로트의 웨이퍼상의 각 쇼트 영역에 차례로 노광전사된다. 그 후, 단계(304)에서, 그 1로트의 웨이퍼상의 포토레지스트의 현상이 실시된 후, 단계(305)에 있어서, 그 1로트의 웨이퍼상에서 레지스트패턴을 마스크로서 에칭을 실시하는 것에 의해 레티클 상의 패턴에 대응하는 회로 패턴이 각 웨이퍼상의 각 쇼트영역에 형성된다. 그 후, 또 위의 레이어의 회로 패턴의 형성 등을 실시하는 것에 의해 반도체소자 등의 디바이스가 제조된다. 상기한 반도체 디바이스 제조방법에 의하면 매우 미세한 회로 패턴을 갖는 반도체 디바이스를 스루풋 좋게 얻을 수 있다.

<254> 또, 본 실시형태의 노광장치에서는 플레이트(유리기판) 상에 소정의 패턴(회로 패턴, 전극 패턴 등)을 형성하는 것에 의해 마이크로 디바이스로서의 액정표시소자를 얻을 수도 있다. 이하, 도 27의 플로우차트를 참조하여 이때의 치수의 일례에 대해 설명한다. 도 27에 있어서, 패턴 형성 공정(401)에서는 각 실시형태의 노광장치를 이용하여 레티클의 패턴을 감광성 기판(레지스트가 도포된 유리기판 등)에 전사 노광하는, 소위 광리소그래피 공정이 실행된다. 이 광리소그래피 공정에 의해 감광성 기판상에는 다수의 전극 등을 포함한 소정 패턴이 형성된다. 그 후, 노광된 기판은 현상 공정, 에칭 공정, 레티클 박리 공정 등의 각 공정을 거치는 것에 의해 소정의 패턴이 형성되고, 다음의 칼라필터 형성 공정(402)으로 이행한다.

<255> 계속해서, 칼라필터 형성 공정(402)에서는 R(Red), G(Green), B(Blue)에 대응한 3개의 도트의 셋트가 매트릭스 형상으로 다수 배열되거나 또는 R, G, B의 3개의 스트라이프의 필터의 셋트를 복수 수평주사방향으로 배열한 칼라필터를 형성한다. 그리고, 칼라필터 형성 공정(402) 후에 셀 조립 공정(403)이 실행된다. 셀 조립 공정(403)에서는 패턴 형성 공정(401)에서 얻어진 소정 패턴을 갖는 기판 및 칼라 필터 형성 공정(402)으로 얻어진 칼라필터 등을 이용하여 액정 패널(액정 셀)을 조립한다. 셀 조립 공정(403)에서는 예를 들면 패턴 형성 공정(401)으로 얻어진 소정 패턴을 갖는 기판과 칼라필터 형성 공정(402)으로 얻어진 칼라필터 사이에 액정을 주입하여 액정 패널(액정 셀)을 제조한다.

<256> 그 후, 모듈 조립 공정(404)으로, 조립된 액정 패널(액정 셀)의 표시 동작을 실시시키는 전기회로, 백라이트 등의 각 부품을 부착하여 액정표시소자로서 완성시킨다. 상술한 액정표시소자의 제조방법에 의하면 매우 미세한 회로 패턴을 갖는 액정표시소자를 스루풋 좋게 얻을 수 있다.

<257> 또, 상술한 실시형태에서는 파장이 157.6nm의 광을 공급하는 F₂레이저를 이용하고 있지만, 이에 한정되지 않고, 예를 들면 파장 248nm의 광을 공급하는 KrF 엑시머레이저나 파장 193nm의 광을 공급하는 ArF 엑시머레이저, 파장 126nm의 광을 공급하는 Ar₂레이저 등을 이용할 수도 있다.

<258> 또, 상술한 실시형태에서는 주사노광형 노광장치의 촬영광학계에 본 발명을 적용하고 있지만, 이에 한정되지 않고, 일괄노광형 노광장치의 투영광학계에 본 발명을 적용하거나 노광장치의 투영광학계 이외의 일반적인 결상광학계에 본 발명을 적용할 수도 있다.

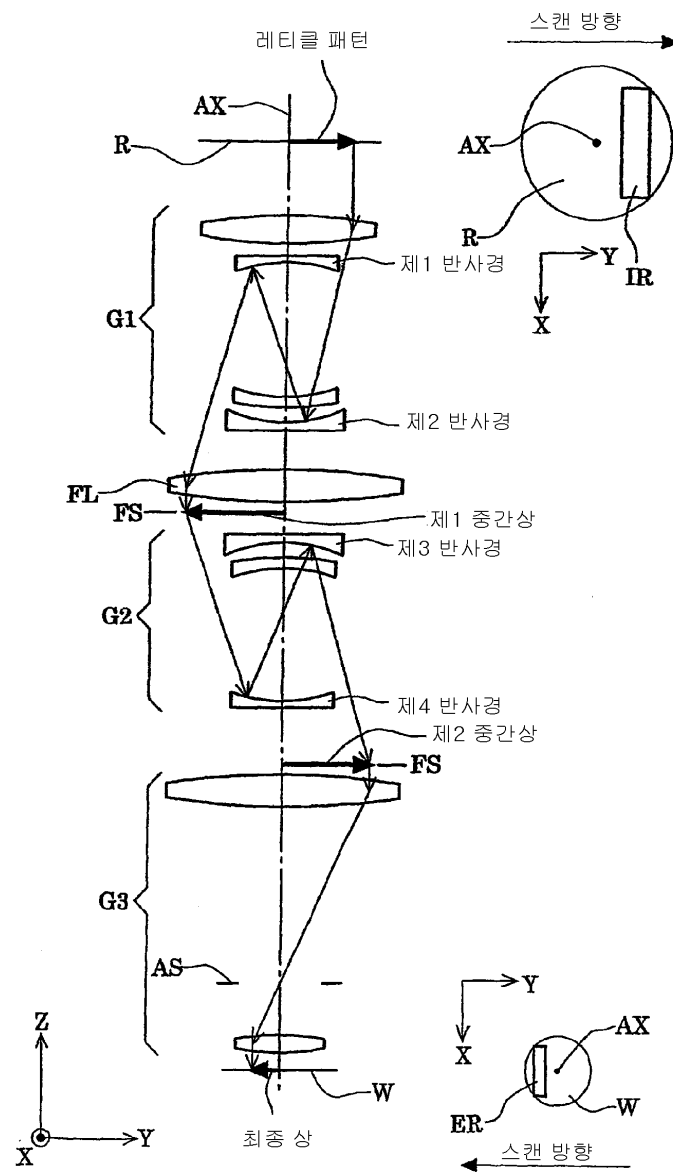
도면의 간단한 설명

<35> 도 1은 본 발명의 반사굴절광학계의 기본적인 구성을 설명하기 위한 도면,

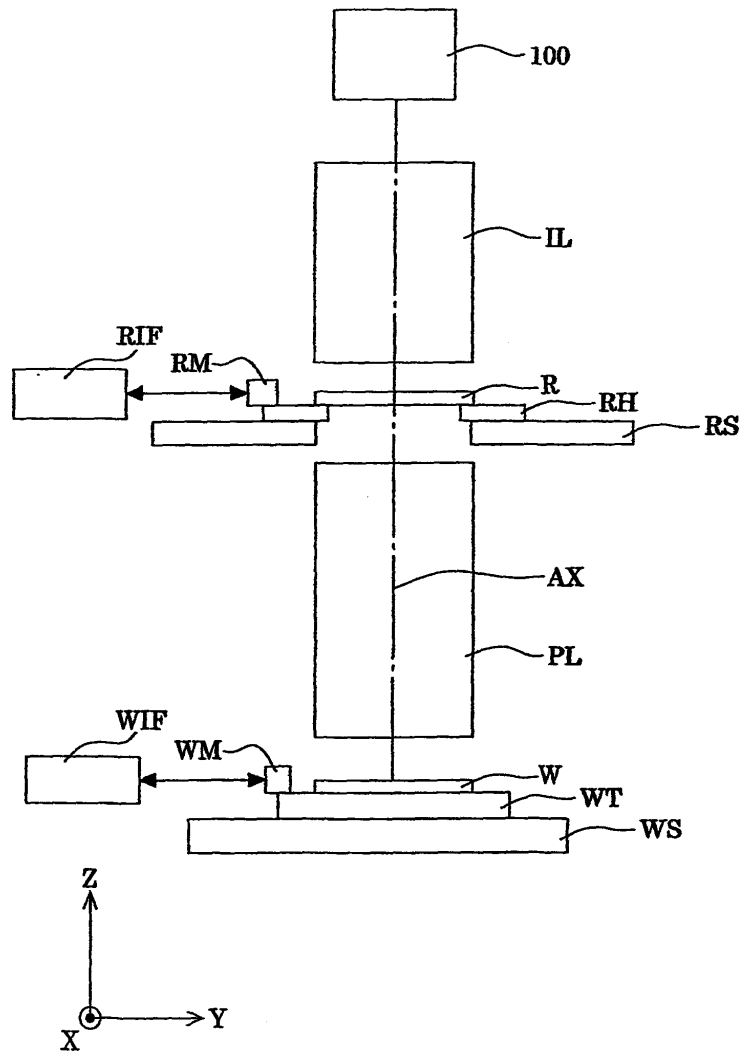
- <36> 도 2는 본 발명의 각 실시예에 관한 반사굴절광학계를 투영광학계로서 구비한 노광장치의 전체 구성을 개략적으로 도시한 도면,
- <37> 도 3은 웨이퍼 상에 형성되는 직사각형 형상의 노광영역(즉, 실효노광영역)과 기준 광축의 위치관계를 도시한 도면,
- <38> 도 4는 제 1 실시예에 관한 반사굴절광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- <39> 도 5는 제 1 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면,
- <40> 도 6은 제 2 실시예에 관한 반사굴절광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- <41> 도 7은 제 2 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면,
- <42> 도 8은 제 3 실시예에 관한 반사굴절광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- <43> 도 9는 제 3 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면,
- <44> 도 10은 제 4 실시예에 관한 반사굴절광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- <45> 도 11은 제 4 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면,
- <46> 도 12는 제 5 실시예에 관한 반사굴절광학계의 렌즈구성을 도시한 도면,
- <47> 도 13은 제 5 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면,
- <48> 도 14는 제 6 실시예에 관한 반사굴절광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- <49> 도 15는 제 6 실시예에서 웨이퍼상에 형성되는 원호형상의 실효노광영역과 기준 광축의 위치관계를 도시한 도면,
- <50> 도 16은 제 6 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면,
- <51> 도 17은 제 7 실시예에 관한 반사굴절광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- <52> 도 18은 제 7 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면,
- <53> 도 19는 제 7 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면,
- <54> 도 20은 제 8 실시예에 관한 반사굴절광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- <55> 도 21은 제 8 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면,
- <56> 도 22는 제 8 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면,
- <57> 도 23은 제 9 실시예에 관한 반사굴절광학계의 렌즈 구성을 도시한 도면,
- <58> 도 24는 제 9 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면,
- <59> 도 25는 제 9 실시예에 관한 반사굴절광학계의 가로수차를 도시한 도면,
- <60> 도 26은 마이크로 디바이스로서의 반도체 디바이스를 얻을 때의 방법의 흐름도 및
- <61> 도 27은 마이크로 디바이스로서의 액정표시소자를 얻을 때의 방법의 흐름도이다.

도면

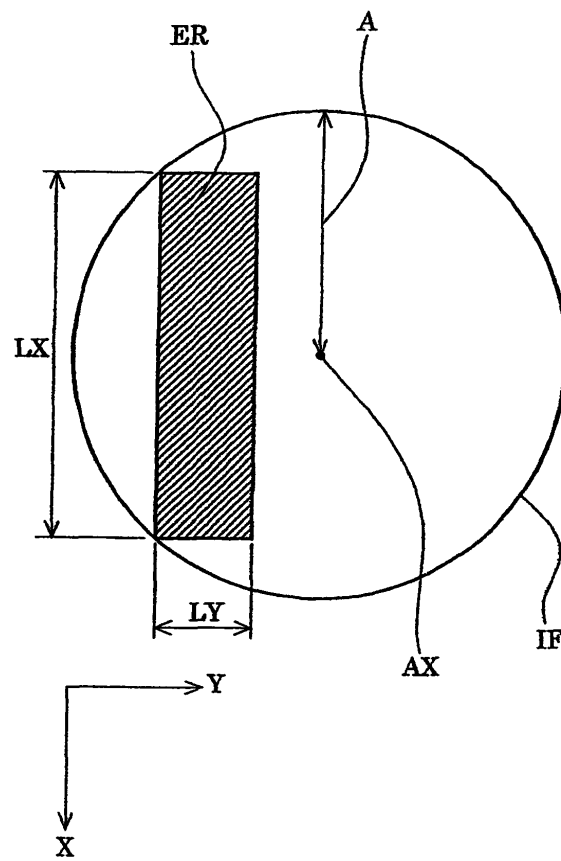
도면1



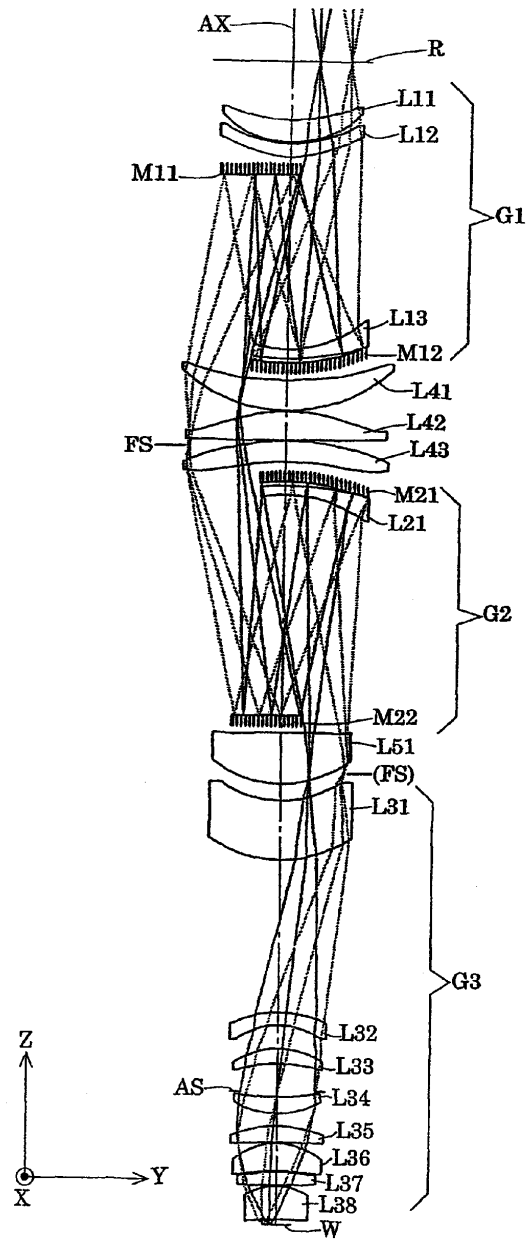
도면2



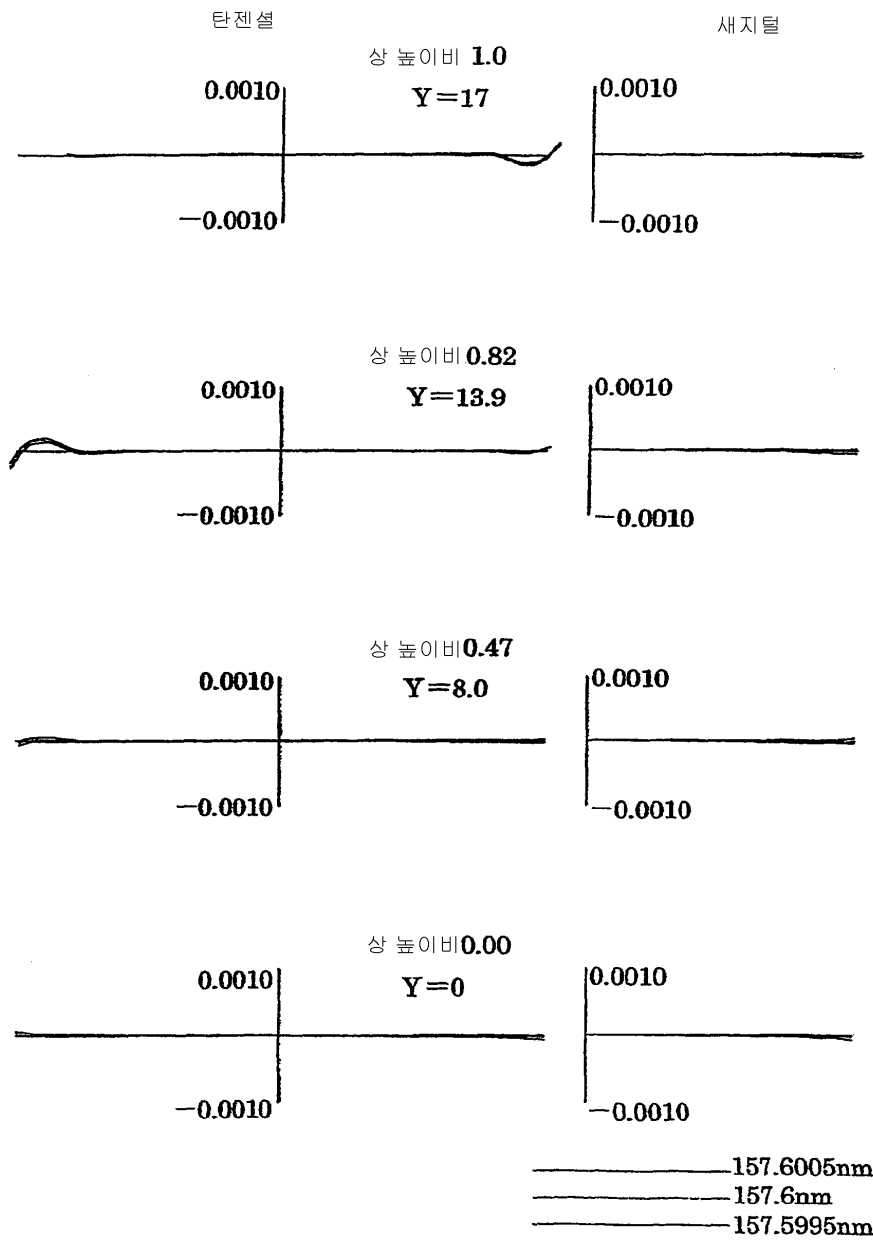
도면3



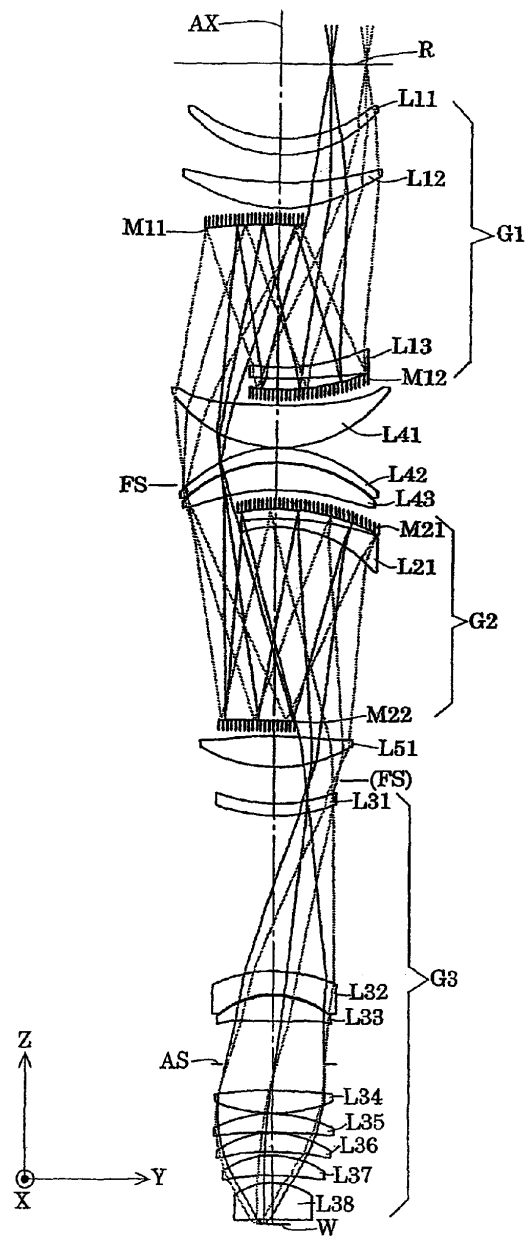
도면4



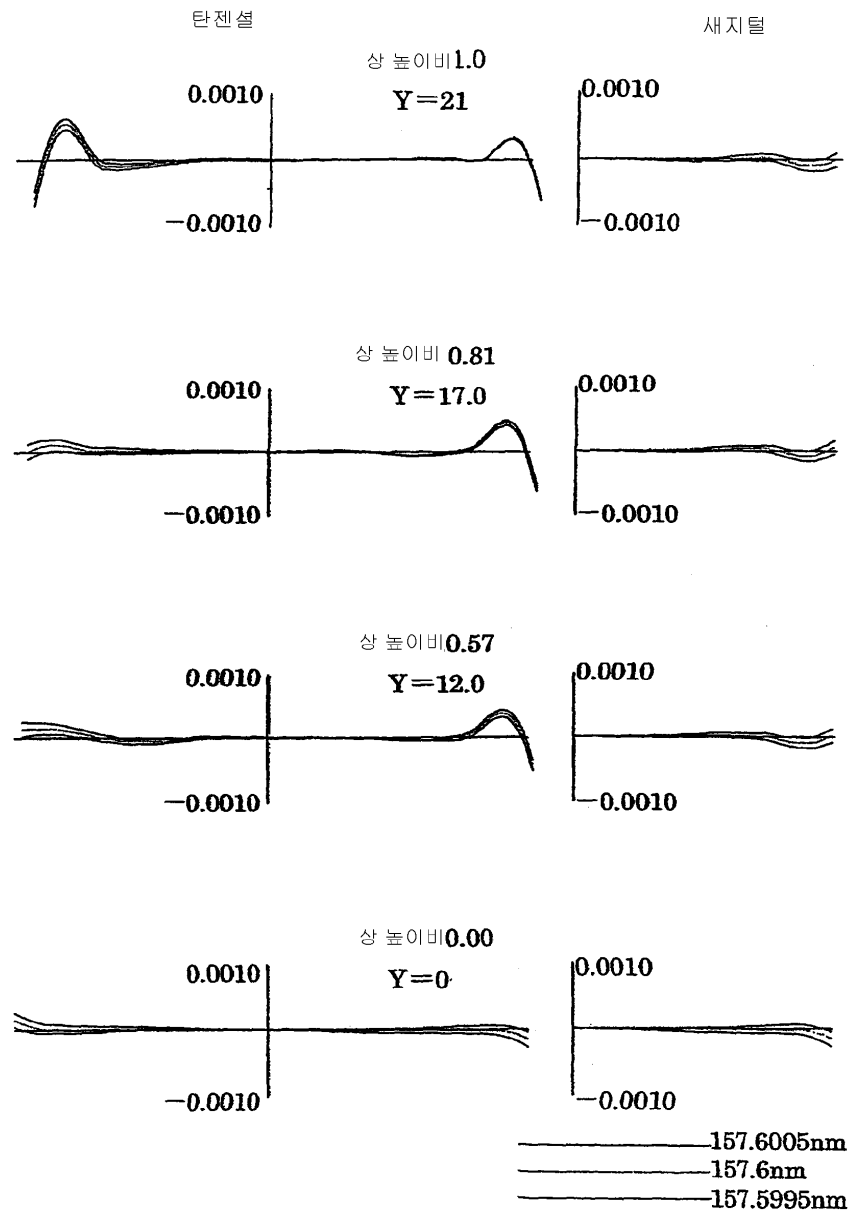
도면5



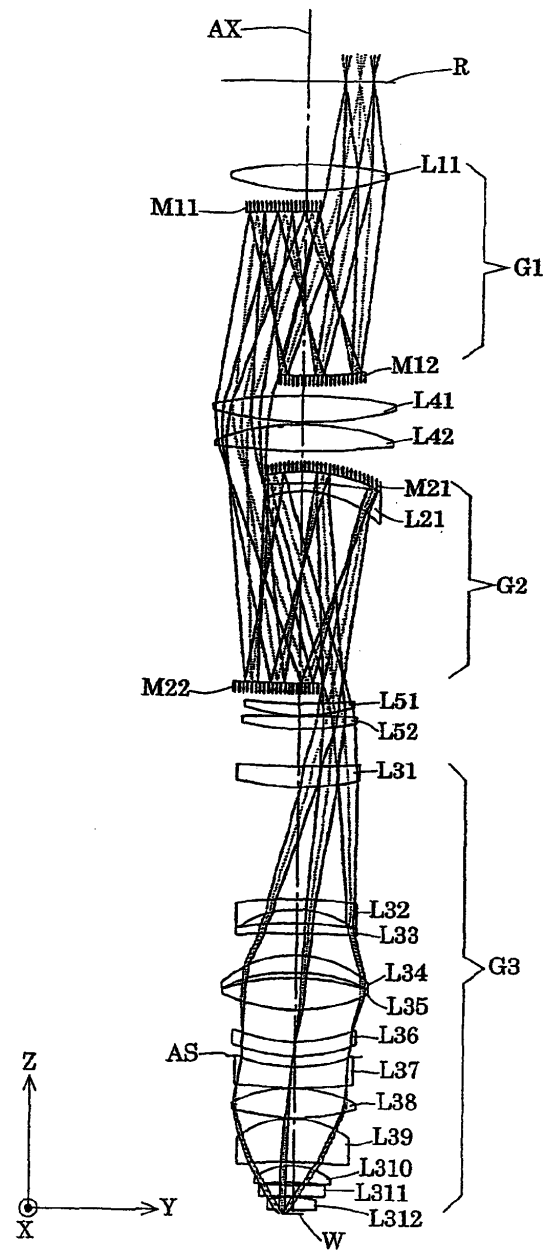
도면6



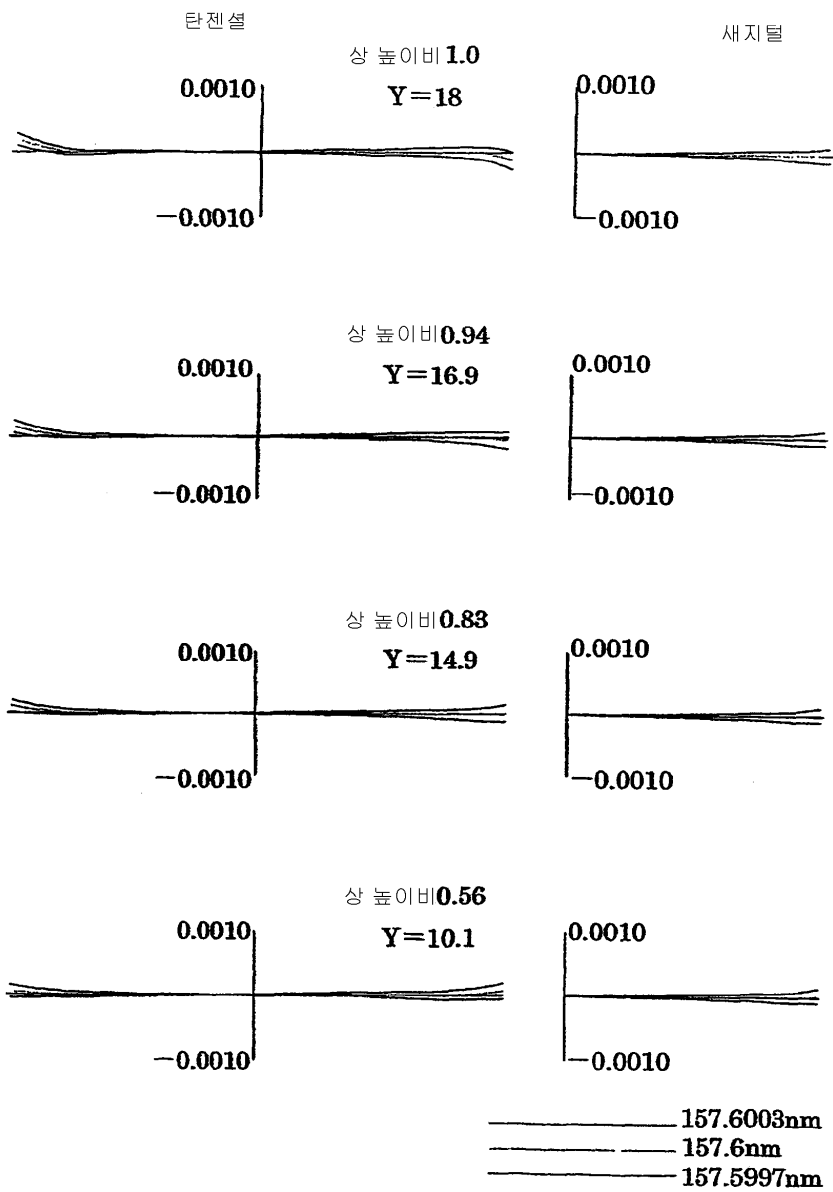
도면7



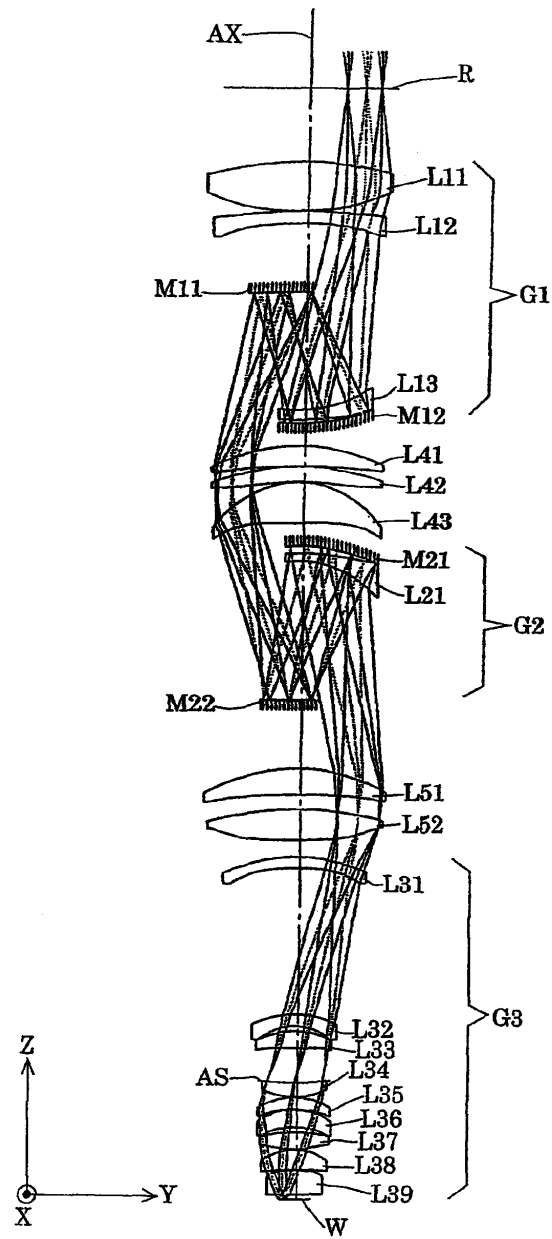
도면8



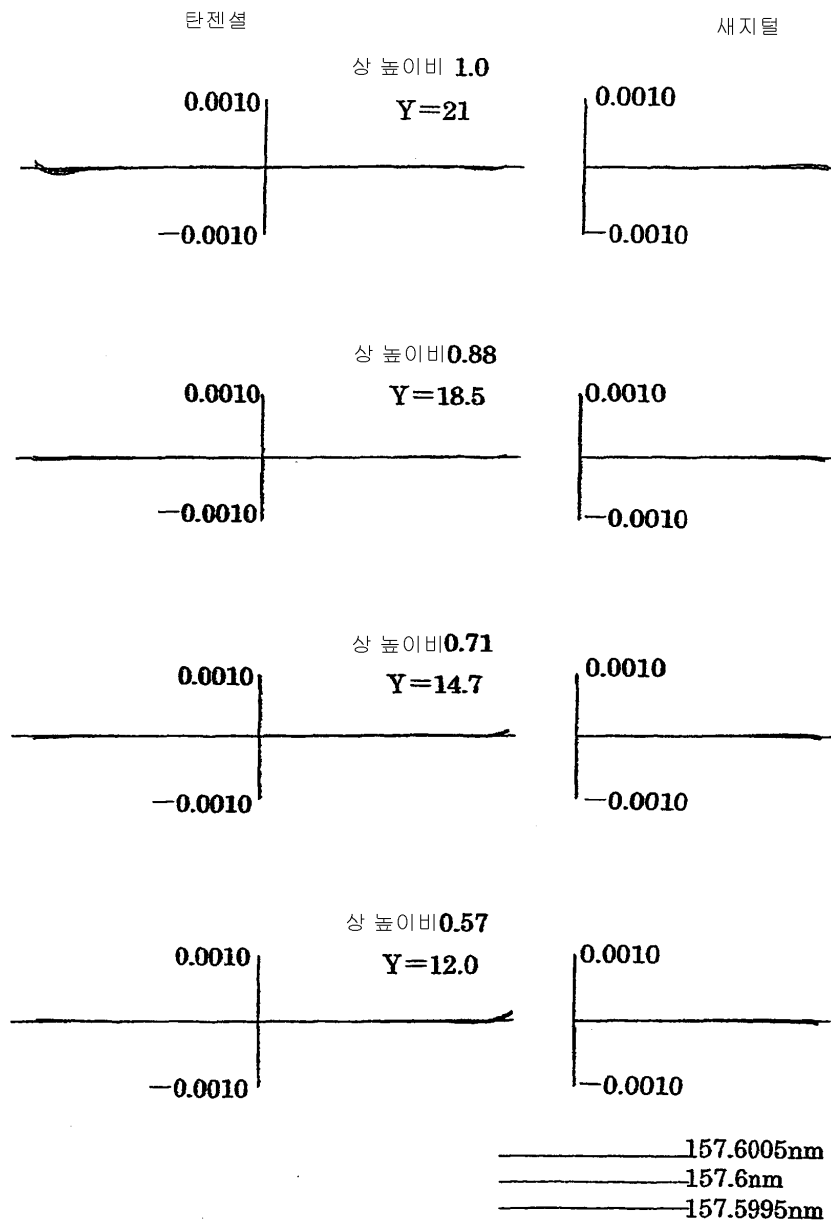
도면9



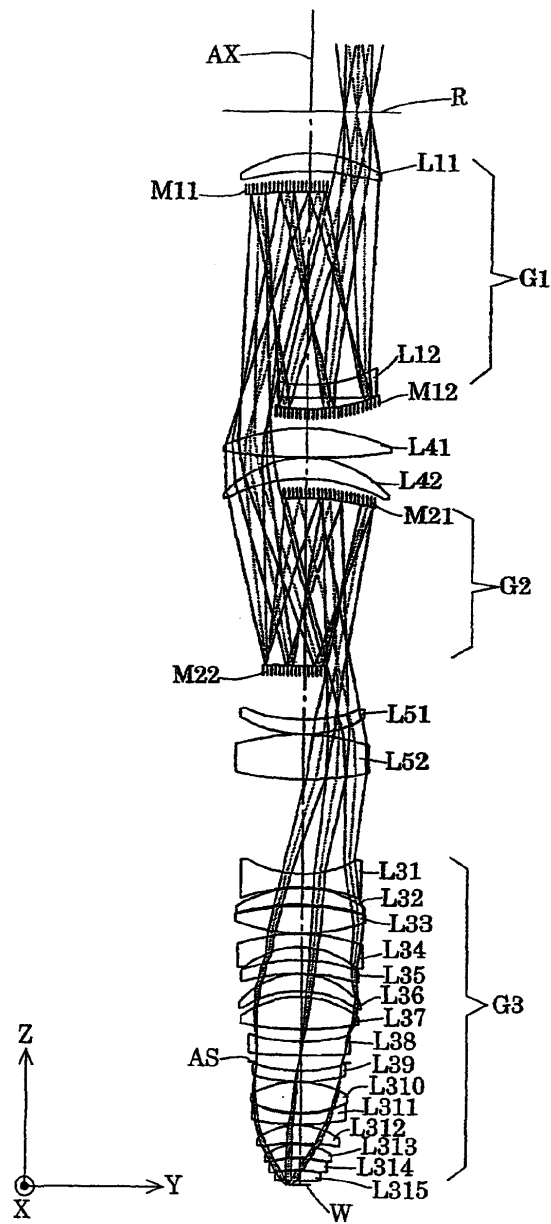
도면10



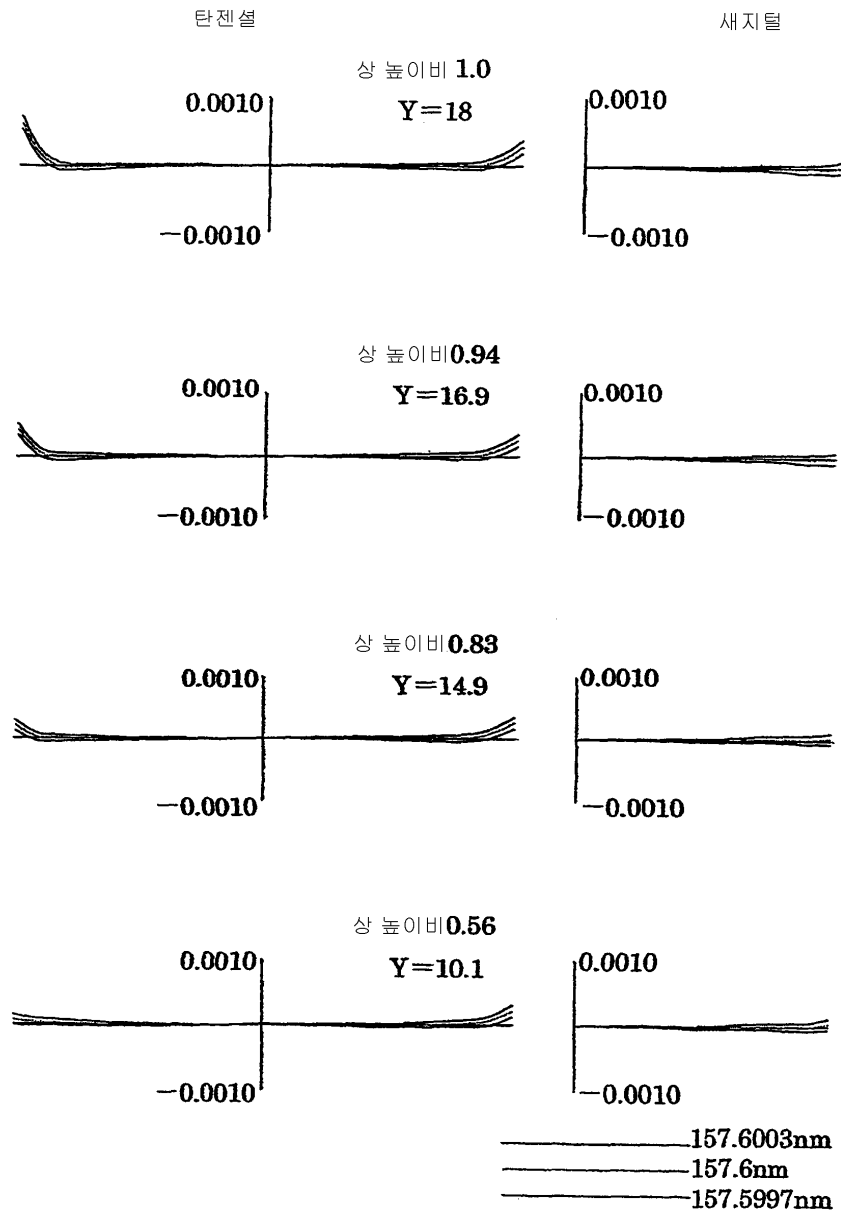
도면11



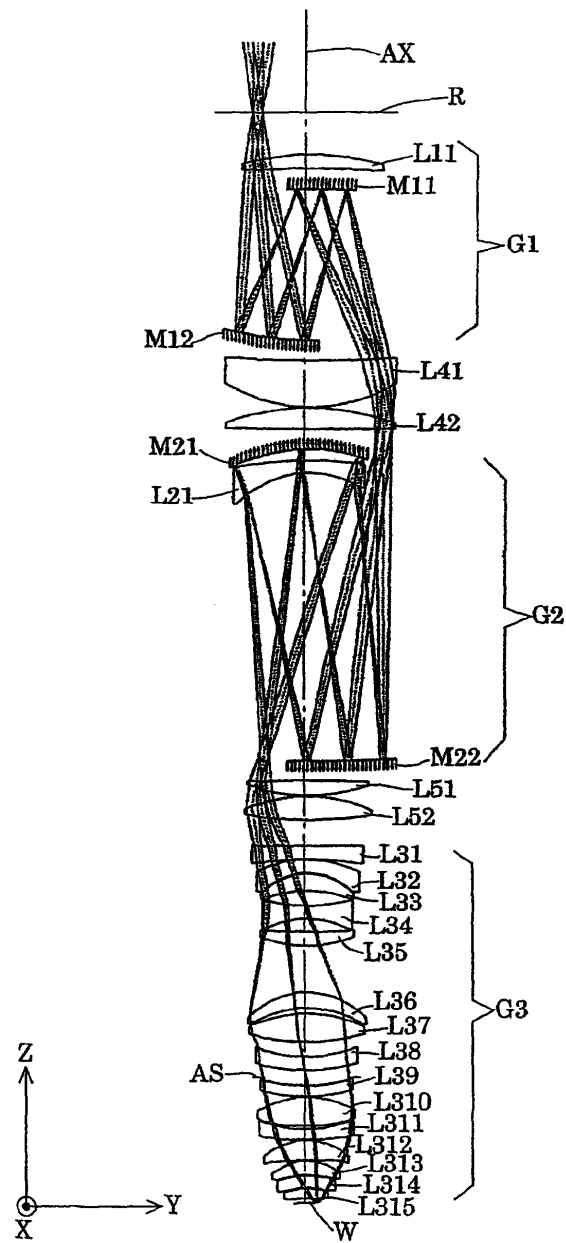
도면12



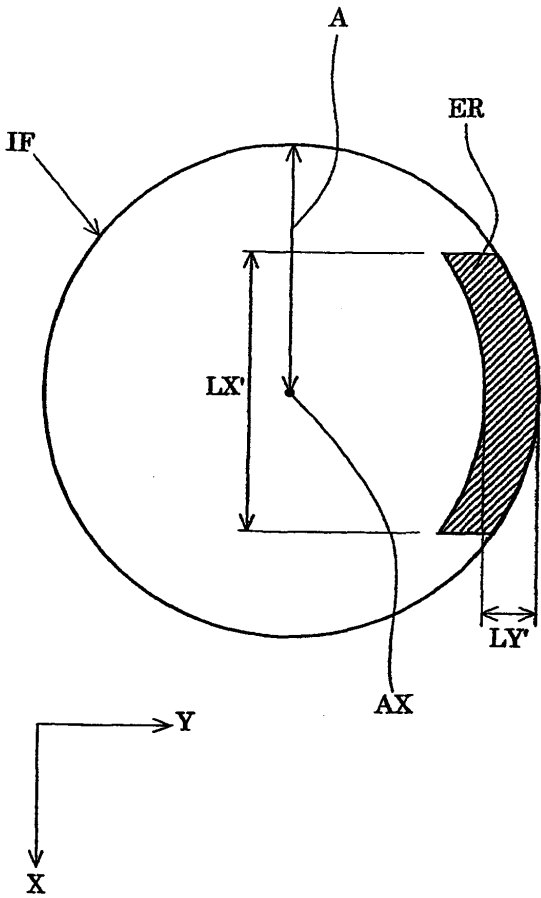
도면13



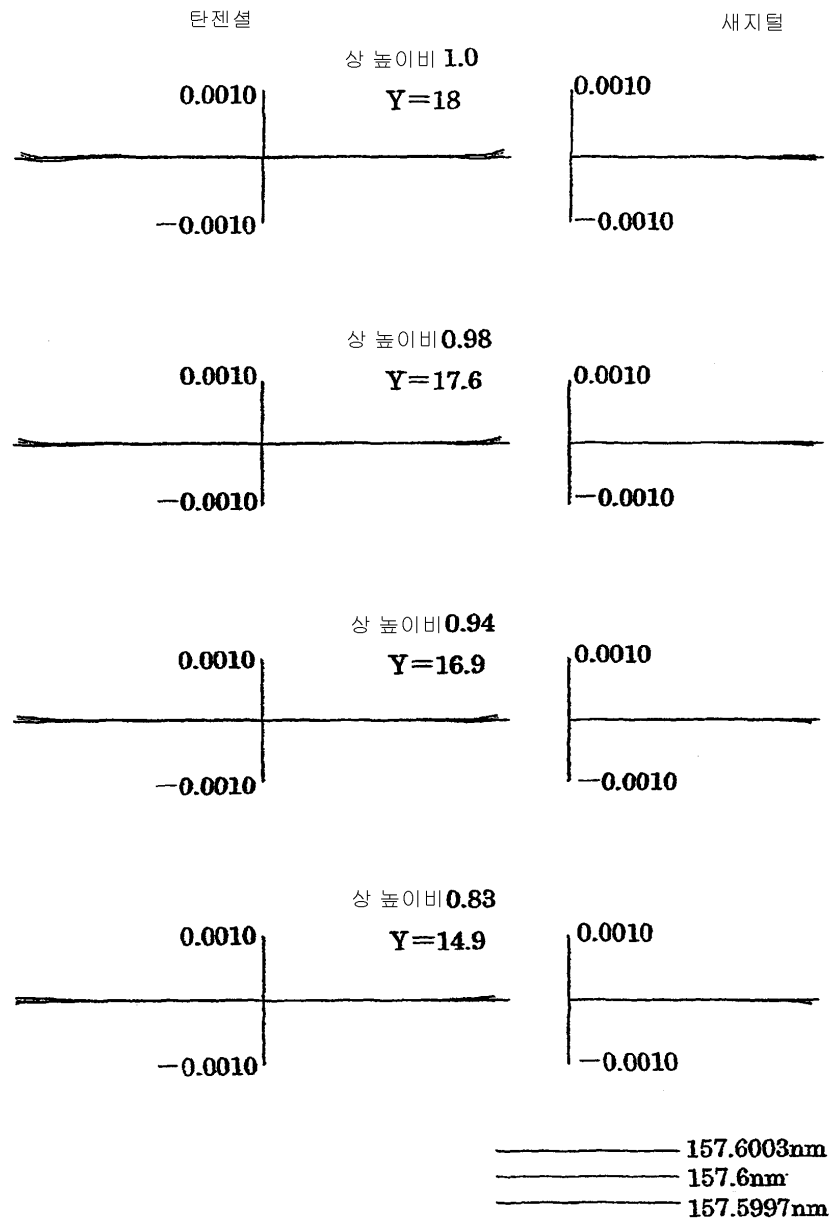
도면14



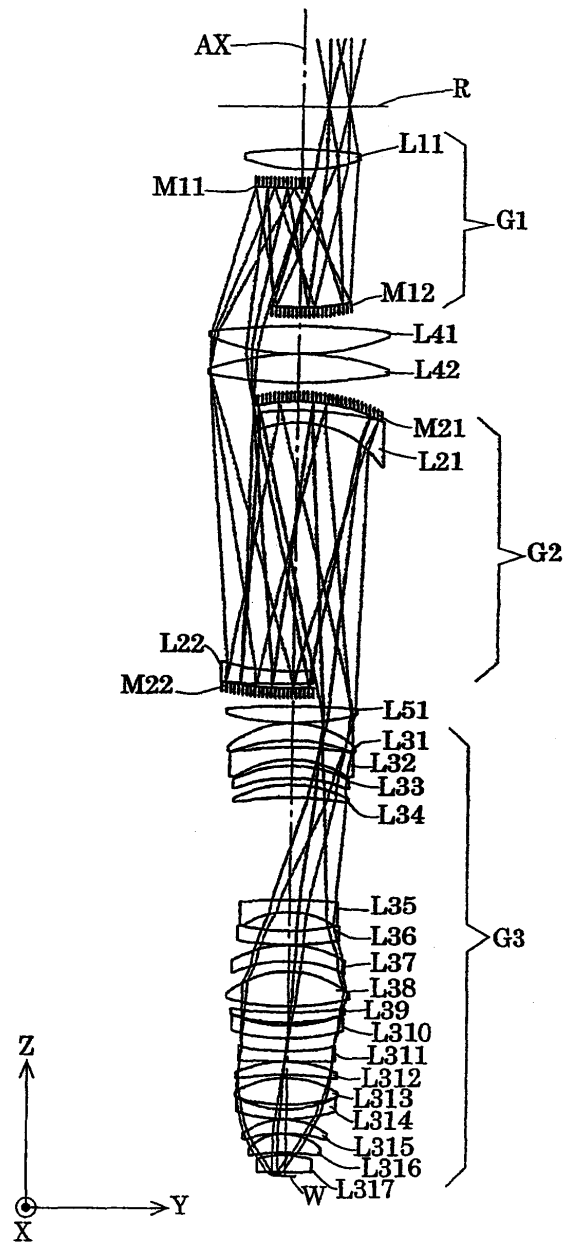
도면15



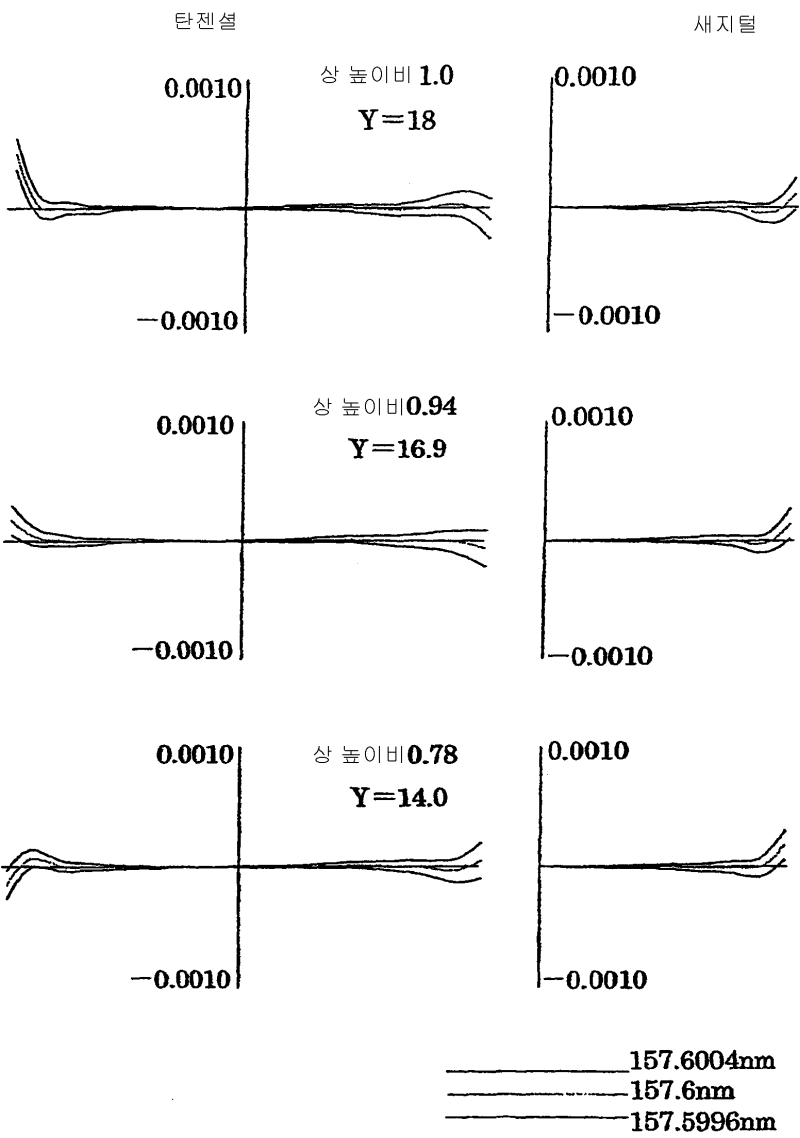
도면16



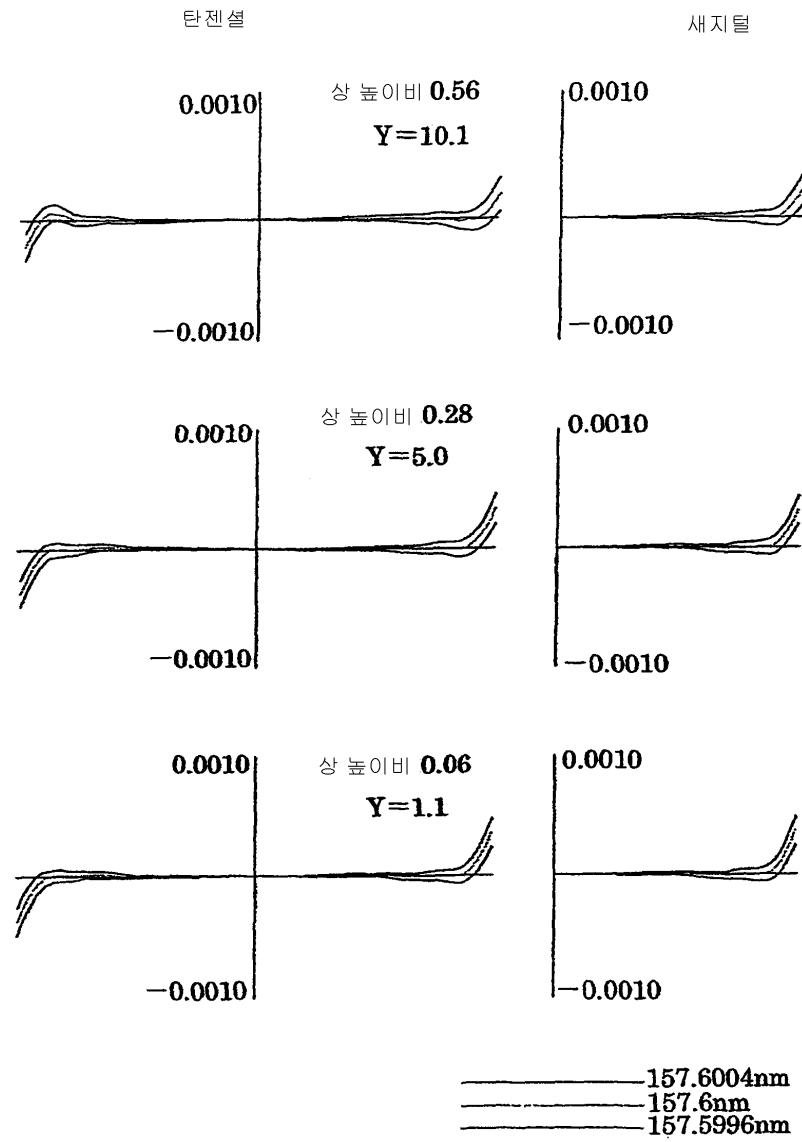
도면17



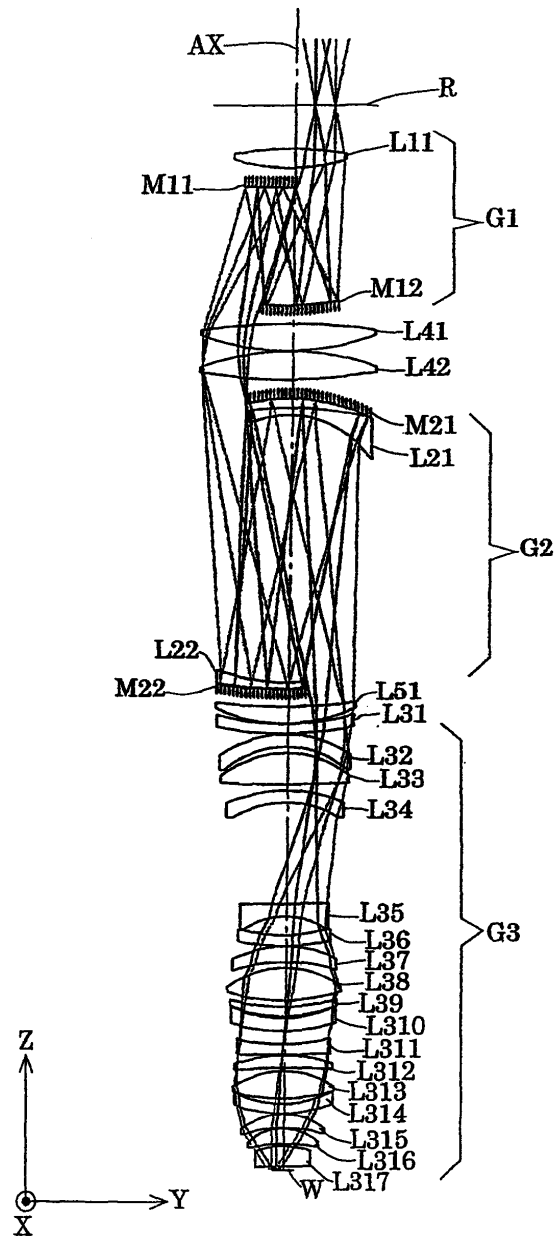
도면18



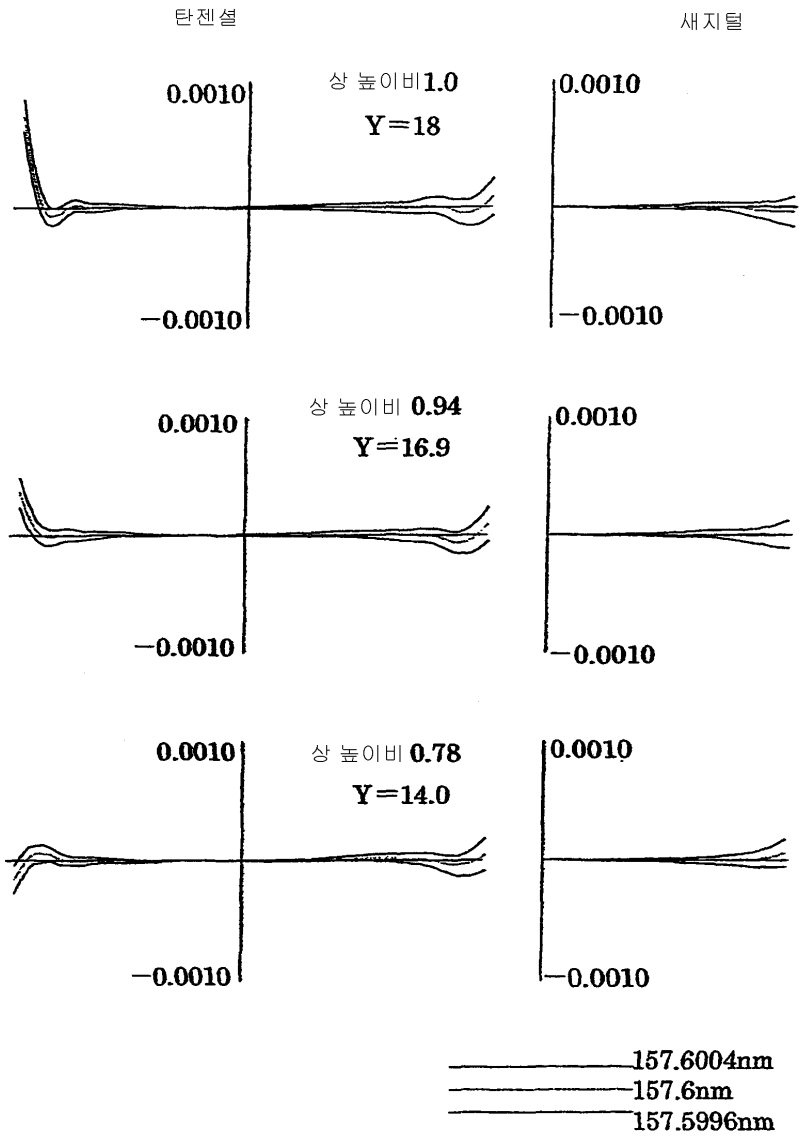
도면19



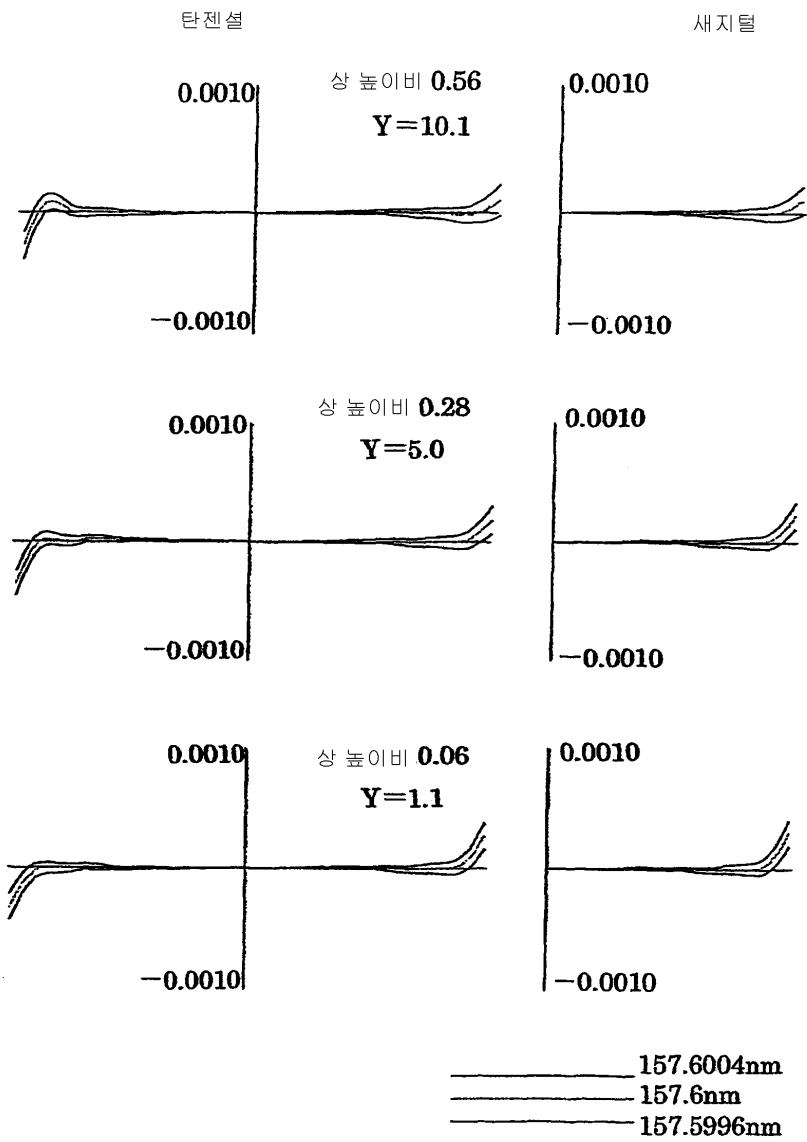
도면20



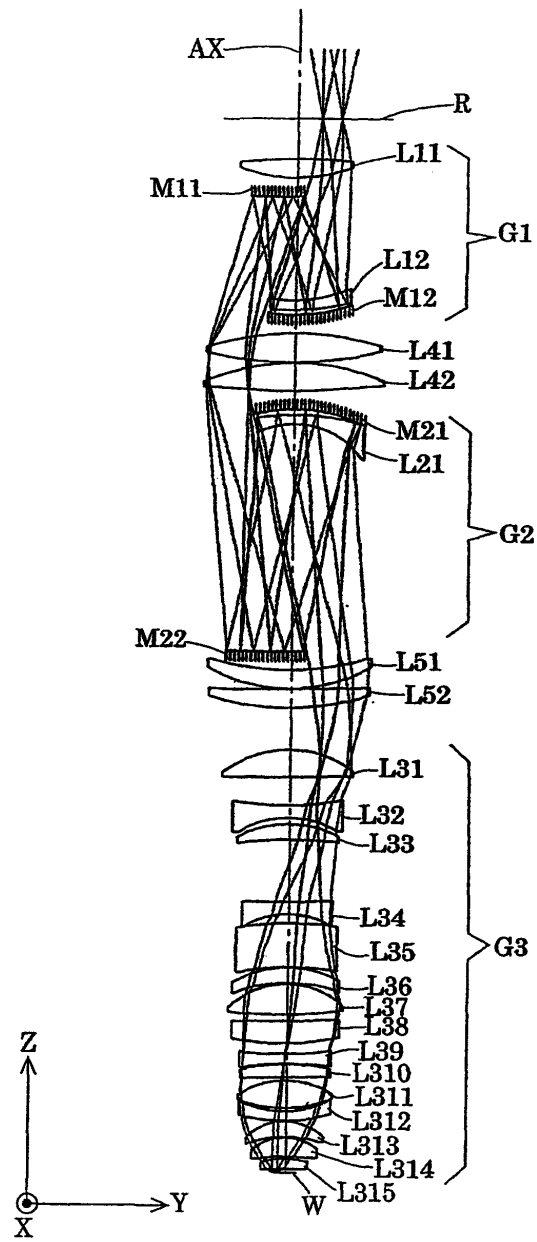
도면21



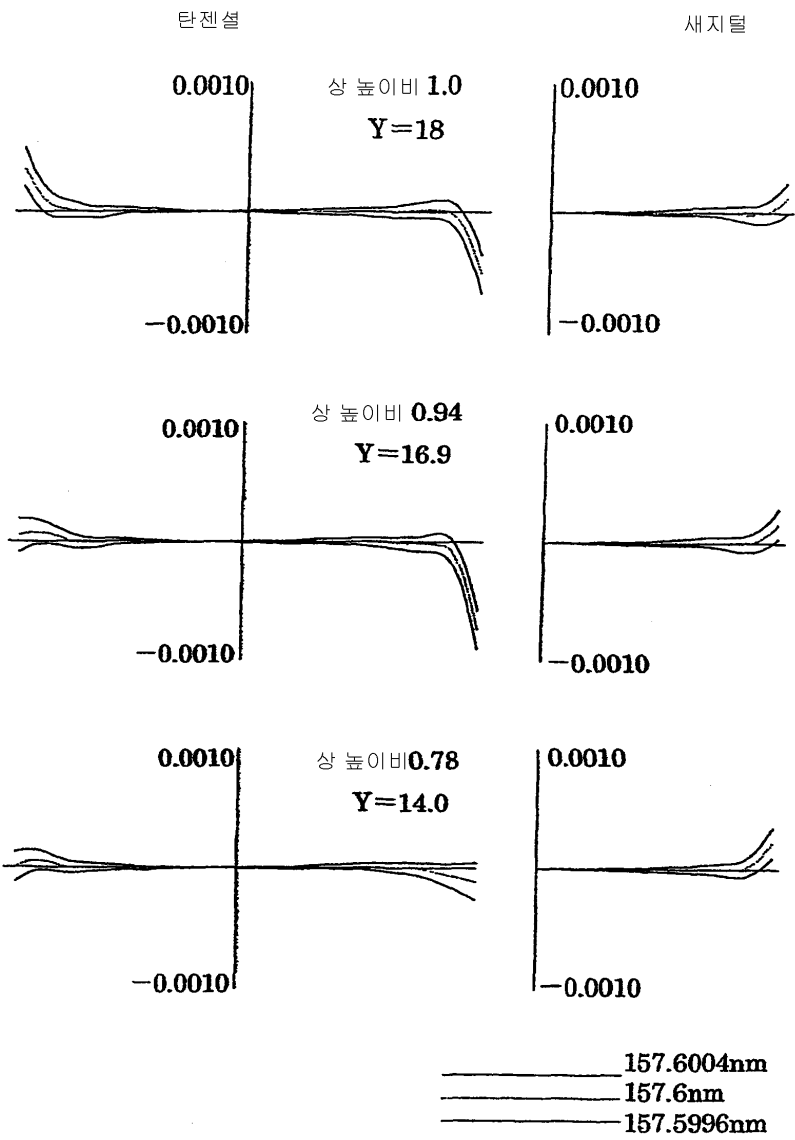
도면22



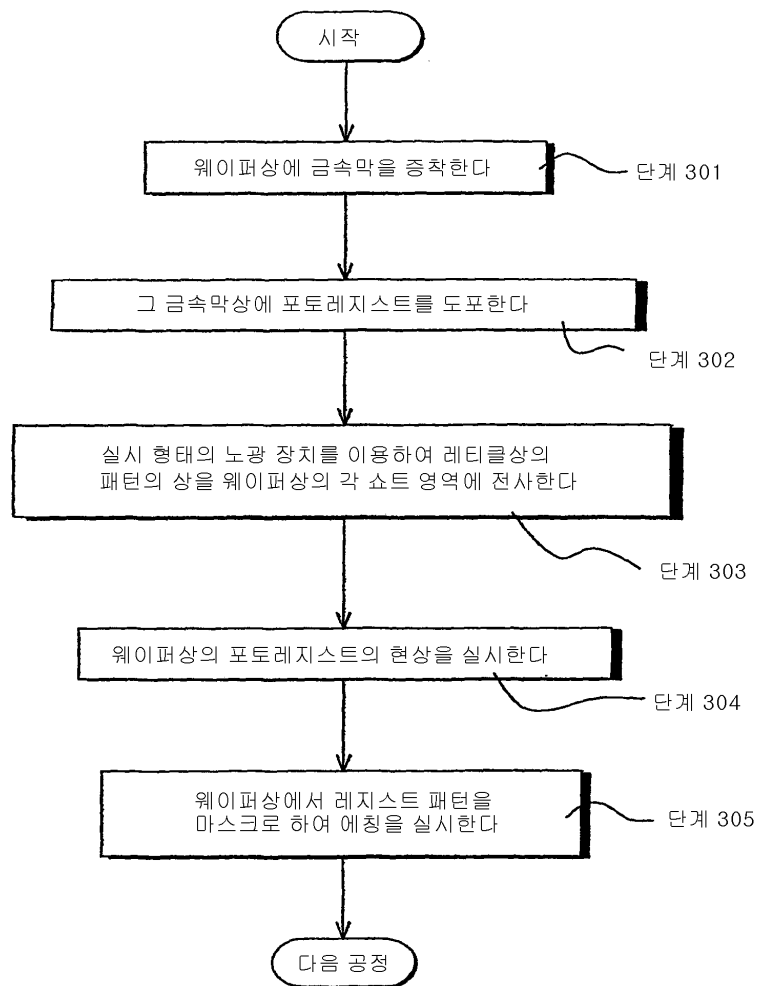
도면23



도면24



도면26



도면27

