(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0043485
(43) 공개일자 2014년04월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*G02B 17/08* (2006.01) *G03F 7/20* (2006.01)
*G02B 13/14* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7005016(분할)
(22) 출원일자(국제) 2005년05월13일
심사청구일자 2014년03월26일
(62) 원출원 특허 10-2013-7007683
원출원일자(국제) 2005년05월13일
심사청구일자 2013년04월22일
(85) 번역문제출일자 2014년02월26일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2005/005250
(87) 국제공개번호 WO 2005/111689
국제공개일자 2005년11월24일
(30) 우선권주장
60/571,533 2004년05월17일 미국(US)

(71) 출원인
**칼 짜이스 에스엠티 게엠베하**
독일 오버코헨 73447 루돌프-에버-슈트라쎄 2
(72) 발명자
**도독 아우렐리안**
독일 73447 오버코헨 하인부헨베그 7
**울리히 빌헬름**
독일 73434 아알렌 레더악케링 44
**에플레 알렉산더**
독일 73431 아알렌 랑게르트쉬트라쎄 38
(74) 대리인
**안국찬, 양영준**

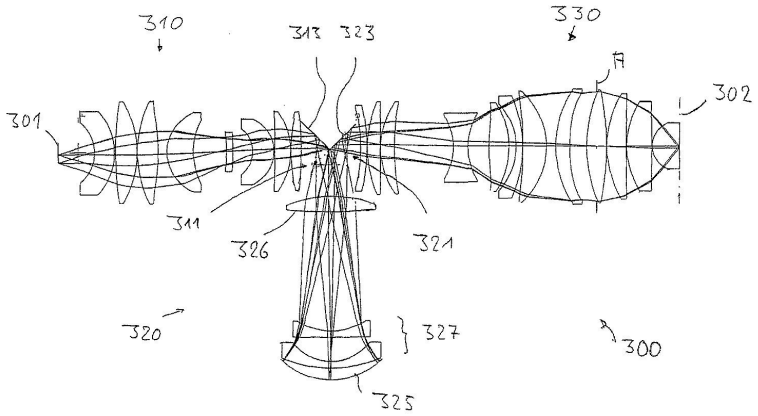
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 **중간이미지를 갖는 카타디옵트릭 투사 대물렌즈**

## (57) 요 약

투사 대물렌즈의 물체평면 상에 배열된 패턴을 투사 대물렌즈의 이미지평면 상에 결상하기 위한 카타디옵트릭 투사 대물렌즈로서, 물체필드를 실 제1중간이미지로 결상하기 위한 제1대물렌즈부분과, 제1대물렌즈부분으로부터의 방사를 이용하여 실 제2중간이미지를 생성하기 위한 제2대물렌즈부분과, 이미지평면 상에 실 제2중간이미지를 결상하기 위한 제3대물렌즈부분을 구비한다. 제2대물렌즈부분은 오목거울을 가진 카타디옵트릭 대물렌즈부분이다. 물체평면으로부터의 방사를 오목거울 방향으로 편향하기 위한 제1꺾음거울과 꺾음거울로부터의 방사를 이미지평면 방향으로 편향하기 위한 제2꺾음거울이 구비된다. 파지티브 굴절력의 필드렌즈가 제1중간이미지 및/또는 제1꺾음거울과 오목거울 사이에 제1중간이미지의 필드에 인접한 영역에 배치된다.

## 대 표 도



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

청구항 5에 있어서, 상기 투사 대물렌즈는,

물체필드를 결상하여 실 제1중간이미지를 형성하기 위한 제1대물렌즈부분;

제1대물렌즈부분으로부터의 방사를 이용하여 실 제2중간이미지를 생성하기 위한 것으로서, 오목거울을 가진 카타디옵트릭 대물렌즈부분인 제2대물렌즈부분; 및

이미지평면 상에 실 제2중간이미지를 결상하기 위한 제3대물렌즈부분;

를 포함하는 투사 대물렌즈.

## 명 세 서

### 기 술 분 야

[0001] 본 발명은 투사 대물렌즈의 물체평면(object plane)에 배열된 패턴을 투사 대물렌즈의 이미지평면(image plane) 상에 결상하기 위한 카타디옵트릭 투사 대물렌즈에 관한 것이다.

### 배 경 기 술

[0002] 이와 같은 투사 대물렌즈는 반도체 소자 및 다른 미세구조 소자 제조용 마이크로리소그래피 투사 노광 시스템에 사용된다. 이는 이하에서 마스크 또는 레티클과 같이 일반적인 용어로 언급될 포토마스크 또는 레티클의 패턴을 감광층으로 코팅된 물체 상에 매우 높은 해상도 및 축소율로 투사하는데 사용된다.

[0003] 이 경우, 더욱 미세한 구조를 생성하기 위하여, 한편으로는 투사 대물렌즈의 이미지측 개구수(NA; numerical aperture)를 크게할 필요가 있으며, 다른 한편으로는 더욱 짧은 파장, 바람직하게는 대략 260nm보다 짧은 파장, 예컨대 248nm, 193nm 또는 157nm 파장의 자외선을 사용할 필요가 있다.

[0004] 과거에는 광학 리소그래피용으로 순수 굴절 투사 대물렌즈가 주로 사용되어 왔다. 이는, 꺾이지 않은 오직 한 개의 광축을 갖는, 기계적으로 상대적으로 단순하고 중심이 있는 디자인(centered design)으로 특징지어진다. 나아가, 광축에 대해 중심에 위치한 물체필드(object field)를 사용하는 것이 가능한데, 이는 보정될 광 투과 레벨을 최소화하며, 대물렌즈의 조정을 단순화한다.

[0005] 그러나 굴절 디자인의 형태는 주로 두 개의 기초적인 결상 오차라는 특징이 있다: 색수차 보정(chromatic correction) 및 페츠발 합(Petzval sum, 이미지필드 곡률(image field curvature)) 보정이다.

[0006] 적어도 한 개의 카타디옵트릭 대물렌즈부분과 중공(中空)거울(hollow mirror) 또는 오목거울을 갖는 카타디옵트릭 디자인은, 페츠발 조건을 위한 보정을 단순화하고 색수차 보정의 가능성을 제공하기 위해 사용된다. 이 경우, 페츠발 보정은 오목거울의 곡률과 그 인근의 네거티브 렌즈들에 의해 이루어지며, 색수차 보정은 (CHV용) 오목거울에 대한 조리개(diaphragm) 위치뿐만 아니라 (CHL용) 오목거울 이전의 네거티브 렌즈들의 굴절력에 의해 이루어진다.

[0007] 그러나 빔 스플리팅을 갖는 카타디옵트릭 디자인의 일 단점은 비축상 이미지필드, 즉 (기하학적 빔 스플리팅을 이용하는 시스템에서) 증가된 광 전도도(light conductance value)를 다루거나, 일반적으로 편광 문제를 야기하는 물리적 빔 스플리터 요소를 이용할 필요가 있다는 것이다. 여기서 사용된 "광 전도도"는 여기서 이미지필드 직경과 이미지측 개구수의 곱으로 정의되는 라그랑즈 광학 불변량(Lagrange optical iinvariant) 또는 에텐듀(Etendue)를 의미한다.

[0008] 비축 카타디옵트릭 시스템의 경우, 즉 기하학적 빔 스플리팅을 갖는 시스템의 경우, 광학적 디자인을 위한 필요사항은 다음과 같다: (1) 광 투과 레벨을 최대한으로 줄일 것, (2) 꺽음(folding)(빔 굴절)의 기하학적 형태를, 마운팅 기술이 이를 위해 개발될 수 있도록 디자인할 것, (3) 효과적인 보정, 특히 카타디옵트릭 거울군에서 페츠발 합 및 색수차를 함께 보정할 수 있는 능력을 제공할 것.

[0009] 기하학적 광 전도도(에텐듀)를 낮게 유지하기 위해, 디자인의 꺽음은 원칙적으로 낮은 NA의 영역에서, 즉 예컨

대 물체에 가깝거나 실 중간이미지(real intermediate image)의 인근에서 발생해야 한다.

[0010] 그러나 개구수가 증가함에 따라 물체측 개구수 역시 증가하며, 따라서 제1꺽음거울과 레티클 사이의 거리 역시 증가하여 광 투과 레벨이 높아진다. 더욱이, 중공거울의 직경과 꺽음거울의 사이즈가 증가한다. 이는 물리적인 설치공간의 문제를 야기할 수 있다.

[0011] 이 문제는, 먼저 제1릴레이시스템(relay system)을 이용하여 레티클을 중간이미지 상으로 결상하고 중간이미지의 영역에서 제1꺽음을 행함으로써 해결될 수 있다. 이와 같은 카타디옵트릭 시스템이 EP 1 191 378 A1에 개시되어 있다. 이것은 오목거울을 가진 카타디옵트릭 대물렌즈부분이 뒤따르는 굴절 릴레이시스템을 갖는다. 광이 물체평면으로부터 제1중간이미지 인근에 위치한 꺽음거울(편향거울) 상으로, 그곳으로부터 오목거울로, 그리고 그곳으로부터 제2편향거울 인근에 제2실 중간이미지를 형성하면서 굴절 대물렌즈부분으로 입사하며, 굴절 대물렌즈부분은 제2중간이미지를 이미지평면(웨이퍼) 상에 결상한다. 그와 같은 순서로 굴절(R), 카타디옵트릭(C) 및 굴절(R) 결상 서브시스템을 갖는 연쇄 시스템(concatenated system)을 이하에서는 "R-C-R" 유형 시스템이라 한다.

[0012] 유사한 꺽음 기하구조를 가진 R-C-R 유형 시스템이 WO 2004/019128 A, WO 03/036361 A1 및 US 2002/019946 A1에 개시되어 있다. 특허출원 US 2004/0233405 A1은 제1꺽음거울이 광학적으로 오목거울 이후에 배열되어 오목거울로부터의 방사(radiation)를 이미지평면 방향으로 편향시키는 대물렌즈를 포함하는 상이한 꺽음 기하구조를 갖는 R-C-R 유형 투사 대물렌즈를 개시한다.

[0013] 두 개의 실 중간이미지들을 갖는 다른 카타디옵트릭 시스템이 JP 2002-372668 및 US 특허 5,636,066에 개시되어 있다. WO 02/082159 A1 및 WO 01/04682는 한개 이상의 중간이미지를 갖는 다른 카타디옵트릭 시스템을 개시한다.

## *발명의 내용*

### *해결하려는 과제*

[0014] 본 발명의 목적은 매우 높은 해상도가 달성되도록 하면서 최적화된 크기를 갖는 컴팩트한 디자인을 갖는 카타디옵트릭 투사 대물렌즈를 제공하는 것이다. 또한 본 발명의 다른 목적은 우수한 제조 조건으로 페츠발 합 및 색수차의 보정을 가능하게 하는 것이다.

### *과제의 해결 수단*

[0015] 이러한 목적 및 다른 목적을 달성하기 위하여, 일 형식에 따르면, 본 발명은 투사 대물렌즈의 물체평면 상에 배열된 패턴을 투사 대물렌즈의 이미지평면 상에 결상하기 위한 카타디옵트릭 투사 대물렌즈를 제공하는데, 이는 물체필드를 결상하여 제1실 중간이미지를 형성하기 위한 제1대물렌즈부분과, 제1대물렌즈부분으로부터의 방사를 이용하여 제2실 중간이미지를 형성하기 위한 제2대물렌즈부분과, 제2실 중간이미지를 이미지평면 상에 결상하기 위한 제2대물렌즈부분을 포함하며, 제2대물렌즈부분은 오목거울을 가진 카타디옵트릭 대물렌즈부분이고, 물체평면으로부터의 방사를 오목거울의 방향으로 편향시키기 위한 제1꺽음거울과 오목거울로부터의 방사를 이미지평면의 방향으로 편향시키기 위한 제2꺽음거울이 제공되며, 제1중간이미지와 오목거울 사이의 제1중간이미지 필드에 가까운 영역에 파지티브 굴절력을 가진 필드렌즈(field lens)가 배열된다.

[0016] 다른 형식에 따르면, 파지티브 굴절력을 갖는 필드렌즈가 제1꺽음거울과 오목거울 사이의 제1중간이미지 필드에 가까운 영역에 기하학적으로 배열된다. 이 위치는, 만일 제1중간이미지가 광학적으로 이전에, 즉 광 전파 방향에 있어서 필드렌즈 이전에 형성된다면, 제1중간이미지와 오목거울 사이이다. 제1중간이미지는 또한 광학적으로 이후에, 즉 필드렌즈 이후에 위치할 수도 있으며, 또는 부분적으로는 필드렌즈 내로 확대될 수도 있다.

[0017] 고해상도를 달성하기 위하여 요구되는 개구수 확대는 때때로 통상적인 시스템에서 바람직한 조리개 위치의 영역에 위치한 광학요소들의 직경에 있어서의 큰 증가에 이르게 한다. 본 발명은 이러한 효과를 방지한다.

[0018] "필드렌즈(field lens)"라는 표현은 개개 렌즈 또는 적어도 두 개의 개개 렌즈들을 갖는 렌즈그룹을 의미한다. 이 표현은 렌즈의 기능이 근본적으로 두 개 이상의 렌즈들에 의해서도 이루어질 수 있다는 사실(렌즈들의 스플리팅)을 고려한 것이다. 이 필드렌즈의 굴절력은 필드에 가깝게, 즉 광학적으로 필드평면 인근에 배열된다. 필드평면을 위한 필드에 가까운 이 영역은, 결상의 주변광선 높이(marginal ray height)에 비해 결상의 주광선 높이(chief ray height)가 크다는 것에 의해 특히 구별된다. 이 경우, 주변광선 높이는 광축에 가장 가까운 물체필드의 가장 깊숙한 지점으로부터 구경 조리개(aperture diaphragm)의 가장자리에 이르는 주변광선의 광선높이

이며, 반면 주광선(chief ray, principal ray)은 광축에 대해 평행하거나 예각을 이루는 물체필드의 최외각 필드지점으로부터 이르며, 시스템 조리개의 영역에서, 즉 구경 조리개의 피팅에 적합한 조리개 위치에서 광축과 교차한다. 주변광선높이와 주광선 높이 사이의 비는 따라서 필드에 가까운 영역에서 1보다 작다.

[0019] "중간이미지(intermediate image)"라는 표현은 근축 중간이미지(paraxial intermediate iamge)와 주변광선 중간이미지 사이의 영역을 나타낸다. 중간이미지의 보정상태에 따라, 이 영역은, 예컨대 근축 중간이미지가 구면수차에 따라(과보정 또는 부족보정) 주변광선 중간이미지의 이전 또는 이후의 광 경로에 위치할 수 있는 경우 특정한 축상 범위에 걸쳐 확장될 수 있다. 근축 중간이미지 및 주변광선 중간이미지는 또한 실질적으로 일치할 수 있다. 이 응용예를 위해, 예컨대 필드렌즈와 같은 광학요소 A가, 광학요소 A의 적어도 일부분이 (일반적으로 축상으로 확장된) 중간이미지와 다른 광학요소 B 사이에 위치할 때, 중간이미지와 광학요소 B "사이"에 위치한다. 따라서 중간이미지는 또한 광학 면 상부로 부분적으로 확장될 수 있는데, 이는 예컨대 보정 목적에 있어서 바람직할 수 있다. 중간이미지는 때때로 완전히 광학요소들의 외측에 위치한다. 중간이미지 영역에서의 방사 에너지 밀도는 특히 높기 때문에, 이는 예컨대 광학요소에 있어서의 방사 부하(radiation load)의 관점에 있어서 바람직할 수 있다.

[0020] 중간이미지 이전과 오목거울 사이의 발산하는 빔 경로에서의 파지티브 굴절력은 빔 경로에 있어서의 이후의 렌즈들과 오목 거울이 작은 직경을 갖도록 하는데 기여한다. 이는 바람직한 실시예에서 오목거울 이전의 인접한 영역에 제공되며, 오목거울과 함께 길이방향 색수차의 보정(CHL; correction of the chromatic longitudinal aberration)에 크게 기여하는 적어도 한 개의 네가티브 렌즈에 특히 적용된다. 만일 길이방향 색수차가 다른 방식으로 보정된다면, 이 네가티브 렌즈는 필요하지 않다.

[0021] 오목거울 이전의 필드평면과 오목거울 사이에 파지티브 굴절력을 삽입하는 것은 당연히 파지티브 굴절력의 강도에 비례하는 이미지필드 곡률에 기여한다. 이 효과를 적어도 부분적으로 보상하기 위하여, 오목거울은 파지티브 굴절력이 없는 경우보다 더 큰 곡률을 가져야만 한다. 반면, 오목거울 상에 반사에 의해 도입된 수차를 가능한 작게 유지하기 위하여, 방사 거울을 가능한 작게 하는 것이 바람직하고, 오목거울에 입사하는 방사가 오목거울에 실질적으로 수직으로 입사하도록 하는 것이 바람직하다. 파지티브 굴절력이 중간이미지 이후에 삽입되면, 이는, 스캐터링 효과에 의해 광범위하게 수직인 방사 입사를 확실하게 하기 위하여, 오목거울 직전의 네거티브 굴절력의 증가에 이르게 된다. 오목거울 이전의 네거티브 굴절력의 증가는 이 영역에서의 렌즈직경의 사이즈를 줄임으로써 CHL 보정 감소를 적어도 부분적으로 보상할 수 있어, 상대적으로 작은 거울 직경으로도 우수한 CHL 보정을 확실히 할 수 있다.

[0022] 바람직한 실시예에서, 제1중간이미지는 꺾음거울의 인근에 위치하는데, 이는 시스템의 에텐듀를 작게 유지하는 것을 가능하게 한다. 필드렌즈는 일반적으로 꺾음거울에 의해 역으로 영향받지 않으면서도 중간이미지에 매우 인접하여 배치될 수어, 따라서 결상 오차의 효과적인 보정을 가능하게 한다. 특히, 필드렌즈에 인접한 중간이미지가 적어도 심각한 수차에 직면한다는 것을 확실히 하기 위하여, 대물렌즈부분은 적절하게 디자인될 수 있다. 이는 결상 오차의 특히 효과적인 보정을 가능하게 한다. 적어도, 중간이미지에 대향하는 필드렌즈의 렌즈 면을 비구면으로 디자인함으로써, 보정의 효과를 보조할 수 있다.

[0023] 일 실시예에서, 필드렌즈는 오목거울과 빔이 두 번 통과하는 영역에의 적어도 한 개의 꺾음거울 사이에 기하학적으로 배열되는데, 필드렌즈의 제1렌즈영역이 물체평면과 오목거울 사이의 빔경로에 위치하고 필드렌즈의 제2렌즈영역이 오목거울과 이미지평면 사이의 빔경로에 배열되도록 하는 방식으로 배열된다.

[0024] 필드렌즈는, 오목거울 이전의 빔 경로에 위치한 중간이미지평면의 광학적 인근뿐만 아니라 오목거울 이후의 빔 경로에 위치한 중간이미지평면의 광학적 인근에도 배열되는 것과 같이 배열될 수 있다. 이는 두 개의 연속적인 필드평면들에 대해 필드에 가까운 배열의 결과를 가져와, 빔 경로의 두 지점에서 강력한 보정효과를 달성할 수 있다.

[0025] 적어도 한 개의 복합영역렌즈(multiple area lens)가 빔이 두 번 통과하는 투사 대물렌즈의 영역에 배열될 수 있는데, 상기 투사 대물렌즈는 빔이 제1방향으로 통과하는 제1렌즈영역과 빔이 제2방향으로 통과하며 제2렌즈영역을 가지며 상기 제1렌즈영역과 상기 제2렌즈영역은 적어도 렌즈의 일측 상에서 상호 중첩되지 않는다. 이 복합영역렌즈는 필드렌즈로서 사용될 수도 있다. 만일 빔 경로들의 자국(footprint)들이 두 렌즈 면들 중 적어도 하나 상에서 중첩되지 않는다면, 이와 같은 복합영역렌즈는 상호 독립적으로 작용하는 두 렌즈들을 공통 지점으로 기하학적으로 이동시키는 것을 가능하게 한다. 상호 독립적으로 작용하는 두 렌즈들을 물리적으로 한 렌즈로, 특히 한 렌즈를 공백상태로 만드는 일체의 복합영역렌즈로 만드는 것도 가능하다. 이와 같은 복합영역렌즈는 빔이 두 번 통과하는 통상적인 렌즈와 명확하게 구별되는데, 이러한 유형의 복합영역렌즈의 경우 상호

독립적으로 그것을 통과하는 빔들 상의 복합영역렌즈의 광학적 효과가 렌즈영역들의 굴절면들의 적절한 독립적인 형상(shaping)에 의해 상호 독립적으로 영향받을 수 있기 때문이다. 또는, 상호 독립적으로 상호 통과하는 빔들에 영향을 주기 위하여, 전체(integral) 복합영역렌즈의 위치에, 한 개 또는 두 개의 반-렌즈(half-lens)들 또는 렌즈요소들을 가진 렌즈 배열이 배열될 수 있다.

[0026] 기하학적 빔 스플리팅, 중간이미지 및 복합영역렌즈를 가진 투사 대물렌즈가 예컨대 동일한 출원인의 WO 03/052462 A1에 개시되어 있다. 그 출원에 개시된 사항은 본원에 참조로서 포함된다.

[0027] 투사 대물렌즈는 바람직하게는 NA>0.85의 이미지측 개구수와, A≤10mm의 이미지측 동작거리(working distance)를 갖는다. 이와 같은 투사 대물렌즈들은, 필요하다면, NA>1의 액침 리소그래피에서 사용될 수 있다. 이미지측 동작거리 또는 이미지영역에서의 동작거리는 대물렌즈의 출사면과 이미지평면 사이의 (최단) 축상 거리이다. 건식 시스템(dry system)에서 작동하는 동안 가스로 채워지는 이미지영역에서의 동작거리는 액침 시스템(immersion system)에서 작동하는 동안 액침 매질로 채워지는데, 액침 매질은 가스의 굴절율에 비해 상대적으로 높은 굴절율을 갖는다.

[0028] 이미지측 동작거리가 최소값 이하로 떨어지지 않는 것이 일반적으로 바람직하다. 이 경우, 최종 광학요소 상의 또는 최종 광학요소 내의 스크래치, 먼지 및 불균일성이, 만일 동작거리가 과도하게 짧다면 이미지의 품질저하를 유발한다는 것을 주목해야만 한다. 예컨대 1mm 이상의 유한한 동작거리는 반대로 높은 이미지측 개구수를 갖는 상대적으로 큰 서브-조리개들에 이르게 하여 평균화 효과(averaging effect)가 일어날 수 있으며 이미지 품질저하가 줄어들거나 억제된다.

[0029] 액침 시스템의 이미지영역에서의 동작거리의 정의를 위해 특별한 기준들을 고려해야만 한다. 한편으로는 긴 동작거리는 액침 액체의 통상적으로 낮은 투과율에 기인한 더 큰 방사 손실을 초래할 뿐만 아니라 이미지평면의 인근에 위치한 면들의 더 많은 양의 수차, 특히 구면수차를 초래한다. 다른 한편으로는 이미지측 동작거리는 액침 유체의 층류(層流, laminar flow)를 가능하게 하기 위해서는 충분히 커야만 한다. 이는 측정을 위한 공간 및 센서를 위한 공간을 제공하기 위해서도 필요할 수도 있다. 바람직한 실시예에서, 이미지측 동작거리는 대략 1mm와 대략 8mm 사이이며, 특히 대략 1.5mm와 대략 5mm 사이이다. 출사면과 이미지평면 사이의 액침 유체를 사용할 때, 바람직한 실시예는 NA≥0.98의 이미지측 개구수를 갖는데, 이미지측 개구수는 바람직하게는 적어도 NA=1.0 또는 적어도 NA=1.1이다. 바람직하게는 투사 대물렌즈는 작동파장(operating wavelength)에서 $n_l$>1.3의 굴절율을 갖는 액침 매질에 매칭된다.

[0030] $n_l$≒1.43인 매우 순수한 물이 193nm의 작동파장의 액침매질로 적합하다. "Immersion Lithography at 157nm by M. Switkes and M. Rothschild, J.Vac.Sci. Technol. B 19(6), Nov/Dec. 2001, pages 1 et seq"는 157nm의 작동파장에서 충분히 투명하며 마이크로리소그래피에서 현재 사용되고 있는 많은 포토리지스트 물질들과 융화성(compatible)인 퍼플루오로폴리에테르(PFPE; perfluoropolyethers)를 기초로 한 액침 액체를 제안하고 있다. 일 테스트된 액침 액체는 157nm에서 $n_l$=1.37의 굴절율을 갖는다.

[0031] 광학 디자인은 또한 비접촉식 중간이미지 필드(near-field) 투사 리소그래피용 사용을 가능하게 한다. 이 경우, 시간으로 평균하여 충분히 짧은 이미지측 동작거리가 유지된다면, 충분한 광 에너지가 가스로 채워진 갭(gap)을 통해 노광될 기판으로 입사될 수 있다. 이것은 사용되는 작동파장의 네 배보다 작아야만 하며, 특히 작동파장보다 작아야 한다. 동작거리가 작동파장의 절반보다 작은 것, 예컨대 작동파장의 1/3, 1/4 또는 1/5보다 작은 것이 특히 바람직하다. 이 짧은 동작거리는, 결상 시스템의 최종 광학면의 인접한 인근에 존재하는 소산(消散, evanescent)필드가 결상용으로 사용되는 광학적 중간이미지 필드에서의 결상을 가능하게 한다.

[0032] 본 발명은 따라서 출사면의 인접 인근에 위치한 조광의 소산필드가 리소그래피 프로세스용으로 사용될 수 있는 비접촉식 투사 노출 방법도 포함한다. 이 경우, 만일 동작거리가 충분히 짧다면(유한하다면), 리소그래피용으로 사용될 수 있는 광 성분이 대물렌즈의 출사면으로부터 방출될 수 있고, 이 광 성분이, 투사 대물렌즈의 최종 광학면 상에서의 전 내부반사(total internal reflection) 조건에도 불구하고, 얼마간 떨어져서 인접한 입사면에 입사될 수 있다.

[0033] 비접촉식 근거리 필드 투사 리소그래피용 실시예는 바람직하게는 예컨대 대략 3nm와 대략 200nm 사이, 특히 대략 5nm와 대략 100nm 사이와 같은 작동파장 또는 작동파장보다 작은 영역의 통상적인 동작거리를 이용한다. 동작거리는 투사 시스템의 다른 특성들(출사면에 가까운 대물렌즈의 특성, 입사면에 가까운 기판의 특성)에 매칭되어서 시간에 대한 평균으로서 적어도 10%의 입력효율을 달성해야만 한다.

[0034] 반도체 소자 등과 같은 것의 제조방법은 따라서 본 발명의 범위 내일 수 있는데, 그 방법에서는 유한한 동작거리가 투사 대물렌즈와 관련된 노광용 출사면과 기판과 관련된 노광용 입사면 사이에서 세팅되며, 노광 시간 인터벌 내의 동작거리는 출사면으로부터 나오는 광의 광학적 근거리 필드의 최대양보다 작은 값으로 적어도 때때로 세팅된다.

[0035] 만일 필요하다면 작은 변형을 통한 건식 대물렌즈로서의 사용도 가능하다. 건식 대물렌즈는 가스로 채워지는 갭이 투사 대물렌즈의 출사면과 예컨대 웨이퍼와 같은 노광될 물체의 입사면 사이에서 작동 중 형성되는데, 이 갭 폭은 통상적으로 작동파장보다 상당히 더 크다. 이와 같은 시스템으로 달성할 수 있는 개구수는 NA<1의 값으로 제한되는데, NA=1의 값에 다가갈수록 출사면 상에서 전 내부반사 조건이 일어나 어떠한 노광도 출사면으로부터 방출되지 못하도록 하기 때문이다. 건식 시스템의 바람직한 실시예에서 이미지측 개구수는 NA≥0.85 또는 NA≥0.9이다.

[0036] *이미지평면 직전의 제3대물렌즈부분은 바람직하게는 순수하게 굴절성이도록 디자인되며, 높은 이미지측 개구수를 만들기 위해 최적화될 수 있다. 그것은 바람직하게는 제2중간이미지를 따르며 파지티브 굴절력을 갖는 제1렌즈그룹과, 제1렌즈그룹을 바로 따르며 네거티브 굴절력을 갖는 제2렌즈그룹과, 제2렌즈그룹을 바로 따르며 파지티브 굴절력을 갖는 제3렌즈그룹과, 제3렌즈그룹을 바로 따르며 파지티브 굴절력을 갖는 제4렌즈그룹과, 제3렌즈그룹으로부터 제4렌즈그룹으로의 전이영역에 배열되며 인근에 시스템 조리개가 배열될 수 있는 동공면(pupil surface)을 갖는다. 제3렌즈그룹은 바람직하게는 제2렌즈그룹과 제3렌즈그룹 사이의 주변광선높이의 변곡점 인근에 위치하는 입사면을 가지며, 네거티브 렌즈를 갖지 않고, 이 입사면과 시스템 조리개 사이에 어떠한 실질적인 굴절력도 배열되도록 한다. 이 입사면과 이미지평면 사이에는 오직 파지티브 렌즈들만이 존재한다. 이는 적당한 크기를 가지며 물질을 절약하는 디자인을 가능하게 한다.

[0037] 이미지평면 직전의 투사 대물렌즈의 최종 광학요소는 바람직하게는 큰 구형 또는 비구형 곡면인 입사면과 실질적으로 평탄한 출사면을 갖는 평볼록렌즈이다. 이것은 가상적으로 반구형인 또는 반구형이 아닌 평볼록렌즈의 형태일 수 있다. 최종 광학요소, 특히 평볼록렌즈는, 방사에 의해 유발되는 밀도 변화(특히 컴팩션(compaction))으로부터 초래되는 문제점을 피하기 위하여, 칼슘 플루오라이드로 형성될 수 있다.

[0038] 물체평면으로부터 나오는 방사로부터 적절한 위치에 사전설정된 보정 상태로 제1중간이미지를 형성하기 위하여, 제1대물렌즈부분은 릴레이시스템으로서 사용될 수도 있다. 제1대물렌즈부분은 일반적으로 순수하게 굴절성이다. 몇몇 실시예들에서, 적어도 한 개의 꺾음거울이 물체평면을 결상하여 제1중간이미지를 형성하는 제1대물렌즈부분에 구비되어, 물체에 가장 가까운 대물렌즈부분 내에서 광축이 적어도 한 번 꺾이고 바람직하게는 한 번 이후에는 꺾이지 않도록 한다.

[0039] 몇몇 실시예들에서, 제1대물렌즈부분은 오목거울과, 관련된 꺾음거울을 갖는 카타디옵트릭 대물렌즈부분인데, 꺾음거울은 전체 투사 대물렌즈용 제1꺾음거울로서 사용될 수도 있다.

[0040] 적어도 도 개의 카타디옵트릭 서브시스템들을 구비하는 것은 중요한 장점을 갖는다. 오직 한 개의 카타디옵트릭 서브시스템을 가진 시스템의 중요한 단점을 확인하기 위하여, 페츠발 합과 색수차가 카타디옵트릭부분(catadioptric part)에서 어떻게 보정되는가를 고려할 필요가 있다. 길이방향 색수차의 보정(CHL)에 대한 렌즈의 기여는 주변광선 높이 h의 제곱과, 렌즈의 굴절력 φ와, 재료의 분산도(dispersion) ν에 비례한다. 한편, 페츠발 합에의 표면의 기여는 오직 표면 곡률과 굴절율(공기 중의 거울의 경우 -2)의 갑작스런 변화에 의존한다.

[0041] 카타디옵트릭 그룹의 색수차 보정에 대한 기여가 크도록 하기 위해서, 큰 주변광선 높이(즉 큰 직경)가 따라서 필요하며, 페츠발 보정에 대한 기여가 크게 되도록 하기 위해서 큰 곡률(즉 작은 직경으로 가장 잘 달성될 수 있는 작은 반경)이 필요하다. 이 두 필요조건들은 모순된다.

[0042] 페츠발 보정(즉 이미지필드 곡률의 보정)을 기초로 한 양립하지 않는 필요조건들과 색수차 보정은 시스템에 (적어도 한 개의) 다른 카타디옵트릭부분을 더 도입함으로써 해결될 수 있다. 이미지필드 곡률과 길이방향 색수차 모두 광범위하게 또는 완벽하게 보정되고 제1중간이미지가 이 수차들에 대해 한정된 보정 상태를 가질 수 있어 후속의 대물렌즈부분들이 유리한 디자인을 가질 수 있도록, 제1카타디옵트릭 대물렌즈부분이 디자인될 수 있다.

[0043] 일 실시예에서, 제1대물렌즈부분은 물리적인 빔 스플리터를 갖는 카타디옵트릭 대물렌즈부분인데, 이 스플리터는 편광-선택적(polarization-selective) 빔 스플리터면을 가지며, 이 면은 꺾음거울로서 사용되는 동시에 제1

대물렌즈부분의 오목거울에 이르는 방사를 이 오목거울에 의해 반사된 방사로부터 분리한다.

[0044] 몇몇 실시예들에서, 능동 거울로서 디자인되어 오목거울면의 형상이 적절한 구동에 의해 가변하는 오목거울이 구비된다. 이것은 다양한 결상 오차를 보상하는데 사용될 수 있다.

[0045] 본 발명에 따른 투사 대물렌즈의 몇몇 실시예들은 적어도 한 지점에서 교차되는 빔 경로를 갖는다. 이를 위하여, 실시예들은 물체평면으로부터 오목거울에 이르는 제1빔섹션과 오목거울로부터 이미지평면에 이르는 제2빔섹션이 생성될 수 있도록 디자인되며, 한 개의 꺾음거울이, 빔섹션들 중 하나가 꺾음거울에서 꺾이고 다른 빔섹션이 비네팅 없이 꺾음거울을 통과하며 제1빔섹션과 제2빔섹션이 교차영역에서 교차하는 방식이 되도록, 오목거울에 대해 배열된다.

[0046] 카타디옵트릭 대물렌즈부분 영역에서의 교차된 빔경로는, 투사 대물렌즈가 광학소자들의 컴팩트하고 기계적으로 튼튼한 배열을 갖도록 한다. 이 경우, 비네팅이 없는 빔경로를 달성할 수 있어, 어떠한 꺾음거울도 꺾음거울 상에서 반사되거나 반사 없이 꺾음거울을 통과하는 빔과 교차하지 않는다. 이러한 방식으로, 오직 시스템 조리개만이 축상으로 대칭인 방식으로 결상에 기여하는 광선들의 각도 분포(angular distribution)를 제한한다. 동시에, 큰 최대 빔 직경과 아마도 필드평면들 영역에서의 크게 수렴하는 또는 발산하는 빔들과 관련된 가장 큰 개구수로도, 보정될 전체 필드(overall field)에 대한 적절한 사이즈를 달성하는 것이 가능하다. 이 경우, "전체 필드"라는 표현은 일반적으로 사각 필드 주변의 최소 원에 의해 둘러싸이는 필드영역을 나타낸다. 보정될 전체 필드의 사이즈는, 필드 사이즈와, 광축에 대해 축상으로 비대칭인 필드의 측면 오프셋(off-set)에 따라 증가하며, 보정 프로세스를 단순화하기 위하여 최소화되어야만 한다.

[0047] 교차된 빔 경로를 갖는 카타디옵트릭 투사 대물렌즈는 예컨대 같은 출원인에 의해 2003년 10월 17일 출원된 US 임시출원 60/511,673호, 2003년 12월 27일 출원된 미국출원 제10/734,623호 또는 2003년 12월 19일 출원된 미국 임시출원 60/530,622호에 개시되어 있다. 이 특허출원들에 기재된 내용은 본원에 참조로서 포함된다.

[0048] 바람직한 실시예들에서, 투사 대물렌즈의 물체면(object surface)에 배열된 비축 유효 물체필드(off-axis effective object field)는 투사 대물렌즈의 이미지면(image surface)에 배열된 비축 유효 이미지필드(off-axis effective image field) 상에 결상된다. 여기서 "유효 물체필드"는 주어진 개구수에서 비네팅 없이 투사 대물렌즈에 의해 효과적으로 결상될 수 있는 물체필드에 관한 것이다. 유효

[0049] 제1대물렌즈부분에 의해 정의되는 광축의 제1부분과 물체필드 사이의 측면 오프셋(lateral offset)의 양은 유한한 물체 중심 높이 h에 의해 특징지어질 수 있다. 유사하게 투사 대물렌즈의 이미지측 상에서, 유효 이미지필드는, $h'=|\beta \cdot h|$에 따라 투사 대물렌즈의 확대율 $\beta$에 의해 물체 중심 높이 h에 관련되는 유한한 이미지 중심 높이 h'에 의한, 광축의 이미지측부분에 관한 측면 오프셋이다. 굴절성 제1대물렌즈부분, 카타디옵트릭 제2대물렌즈부분 및 굴절성 제3대물렌즈부분을 갖는 몇몇 통상적인 투사 댐루렌즈들(R-C-R 유형으로 표시될 수 있다)에 있어서, 물체측 굴절성 대물렌즈부분과 이미지측 굴절성 대물렌즈부분에 의해 정의되는 광축의 부분들을 정렬하여 광축의 이 부분들 사이에 어떠한 측면 축 오프셋이 존재하지 않도록 하려는 노력이 있어왔다. 그러나 이러한 조건들 하에서, 물체필드 중심과 이미지필드 중심 사이에서 정의되는 물체-이미지-쉬프트(OIS; object-image-shift)의 유한한 값의 결과가 초래된다. 투사 대물렌즈의 물체면과 이미지면이 상호 평행하면, 물체-이미지-쉬프트는 유효 물체필드의 중심을 통과하는 물체측 광축과 평행하게 연장되는 물체필드 중심 축과 유효 이미지필드의 중심을 통과하는 광축의 이미지측부분에 평행하게 연장되는 이미지필드 중심축 사이의 측면 오프셋으로 정의될 수 있다. 예컨대 투사 대물렌즈가 스캐닝 작동(scanning operation)용으로 디자인된 투사 노광 시스템에 장착된다면, 작은 값의 물체-이미지-쉬프트가 바람직할 수 있다는 것이 밝혀졌다. 또한, 만일 작은 양의 물체-이미지-쉬프트를 얻는다면, 투사 대물렌즈의 품질평가에 사용되는 측정기술이 통상적인 특정기술에 대해 단순화될 수 있다. 따라서, 바람직한 실시예들에 있어서 다음의 조건이 성립한다:

[0050] $0 \leq OIS \leq |h \cdot (1+|\beta|)|$

[0051] 이 조건을 만족시키는 실시예들에 있어서, 물체-이미지-쉬프트(OIS)는 광축의 물체측부분과 광축의 이미지측부분이 동축인 디자인의 물체-이미지-쉬프트보다 작다. 바람직한 실시예들에 있어서, OIS=0의 조건이 만족되는 것과 같은 물체-이미지-쉬프트는 존재하지 않는다.

[0052] 이 조건들은 제1중간이미지와 제1중간이미지의 광학적 인근에 위치한 오목거울 사이에 배열된 파지티브 굴절력을 가진 필드렌즈를 갖는 본 발명의 실시예들에 있어서 유용할 수 있다. 그러나 작은 값의 OIS는 또한, 예컨대 WO 2004/019128 A에 개시된 것과 같은, 이 유형의 필드렌즈를 갖지 않는 통상적인 디자인에서도 유용할 수도 있다.

[0053] 본 발명의 다른 특징은 NA>1,2 또는 NA>1,3의 매우 높은 이미지측 개구수를 위한 가능성을 가지면서도, 동시에 전체적인 트랙 길이(물체면과 이미지면 사이의 축상 거리)가 통상적인 투사 노광 시스템에서의 투사 대물렌즈의 장착을 가능하게 하는 값으로 한정될 수 있으며 또한 동시에 꺾음거울 이전 및/또는 이후의 굴절성 대물렌즈부분들에서의 렌즈들의 최대 사이즈(직경)을 제한할 수 있는 투사 대물렌즈들을 디자인하는 것을 가능하게 한다. 이 때문에, 바람직한 실시예들에서, 필드렌즈의 위치와 굴절력은, 제1중간이미지에서 제1주광선방향 코사인 $CRA_1$에 대해 다음의 조건이 성립하도록 세팅된다:

[0054] $|CRA1| < |\beta_1*(Y_{OB})/(L_{HOA})|$

[0055] *여기서 $\beta_1$은 제1대물렌즈부분의 배율을 나타내고, $Y_{OB}$는 주광선으로 간주되는 최외각 필드지점의 물체높이이며, $L_{HOA}$는 제1중간이미지로부터 오목거울까지의 기하학적 거리(수평축의 길이)이다. 즉, 중간이미지에서 주광선이 텔레센트릭(telecentric)이거나 거의 텔레센트릭인 것이 바람직하다. 상기와 같은 조건을 만족시키는 주광선을 이하에서는 "본질적 텔레센트릭 주광선(essentially telecentric chief ray)"라 한다. 그러한 중간이미지에 가까운 꺾음거울에서의 본질적 텔레센트릭 주광선을 제공하는 것은 꺾음거울 직전 및/또는 직후의 렌즈들의 사이즈를 한정하는 것을 가능하게 한다. 더욱이, 높은 이미지측 개구수를 담당하는 제3대물렌즈부분 내에서의 설치공간을 얻을 수 있다는 것이 밝혀졌다.

[0056] 더욱이, 몇몇 실시예들에서, 만일 제1대물렌즈부분의 제1축상거리(axial length)(AL1)가 제3대물렌즈부분의 제3축상거리(AL3)보다 작다면 매우 높은 이미지측 개구수를 얻는데 유리하다는 것이 밝혀졌는데, 여기서 축상거리(AL1)는 꺾음거울과 광축의 교차점과 물체평면 사이에서 측정되며, 축상거리(AL3)는 꺾음거울과 광축의 교차점과 이미지평면 사이에서 측정된다. 바람직한 실시예들에서 $AL1/AL3 < 0,9$, 더욱 바람직하게는 $AL1/AL3 < 0,8$의 조건이 성립한다.

[0057] 본 발명에 따른 시스템은 바람직하게는 원 자외선(deep UV) 밴드, 예컨대 248nm, 193nm 또는 157nm 또는 이보다 짧은 파장에서 사용될 수 있다.

## *발명의 효과*

[0058] 이러한 특징들 및 다른 특징들은 청구항들로부터 뿐만 아니라 상세한 설명 및 도면으로부터 명백하고, 개개 특징들은 자체적으로 구현되거나 본 발명 및 다른 영역의 실시예들의 서브컴비네이션의 형태로 함께 구현될 수 있으며, 그 자체로 보호받을 가치가 있는 실시예들 뿐만 아니라 유리한 실시예들을 나타낼 수 있다.

[0059] 본 발명은 투사 대물렌즈의 물체평면(object plane)에 배열된 패턴을 투사 대물렌즈의 이미지평면(image plane) 상에 결상하기 위한 카타디옵트릭 투사 대물렌즈에 관한 것으로, 컴팩트하면서도 성능이 우수한 투사 대물렌즈의 제조 및/또는 이를 이용한 반도체 소자 등의 제조분야에서 활용될 수 있다.

## *도면의 간단한 설명*

[0060] 도 1은 본 발명에 따른 카타디옵트릭 투사 대물렌즈의 일 실시예를 가진 액침 리소그래피용 투사 노광 시스템을 개략적으로 도시한다.

도 2는 굴절성 제1대물렌즈부분, 카타디옵트릭 제2대물렌즈부분 및 굴절성 제3대물렌즈부분을 가진 본 발명에 따른 투사 대물렌즈의 바람직한 실시예의 디자인을 개략적으로 도시한다.

도 3은 본 발명에 따른 투사 대물렌즈의 제1실시예의 렌즈부를 도시한다.

도 4는 본 발명에 따른 투사 대물렌즈의 제2실시예의 렌즈부를 도시한다.

도 5는 상이한 꺾음 기하학 및 교차하는 빔 경로를 갖는 본 발명에 따른 투사 대물렌즈의 일 실시예의 디자인을 개략적으로 도시한다.

도 6은 카타디옵트릭 제1대물렌즈부분, 카타디옵트릭 제2대물렌즈부분 및 굴절성 제3대물렌즈부분을 갖는 본 발명에 따른 투사 대물렌즈의 일 실시예를 개략적으로 도시한다.

도 7은 도 6에 도시된 디자인에 사용될 수 있는 물리적 빔 스플리터를 가진 카타디옵트릭 제1대물렌즈부분의 일 실시예의 렌즈부를 도시한다.

도 8은 본 발명에 따른 투사 대물렌즈들용 꺽음거울들용으로서의 다양한 거울 배열들을 도시한다.

도 9는 동축인 제1대물렌즈부분 및 제3대물렌즈부분을 갖는 실시예의 렌즈부를 도시한다.

도 10은 동축인 제1대물렌즈부분 및 제3대물렌즈부분을 갖는 다른 실시예의 렌즈부를 도시한다.

도 11은 물체-이미지-쉬프트(OIS)가 존재하지 않도록 측면으로 오프셋된 제1대물렌즈부분 및 제3대물렌즈부분을 갖는 실시예의 렌즈부를 도시하는 도면이며, 도 11a은 이를 위한 조건을 나타내는 도면이다.

도 12는 필드렌즈를 갖지 않는 레퍼런스 시스템의 렌즈부를 도시한다.

도 13은 꺽음거울들에서 본질적 텔레센트릭 주광선을 갖는 실시예의 렌즈부를 도시한다.

도 14는 통상적인 시스템(a)에 따른, 그리고 꺽음거울에서 본질적 텔레센트릭 주광선을 갖는 실시예들(b)에 따른, 주광선의 경로를 개략적으로 도시한다.

도 15는 꺽음거울들에서 본질적 텔레센트릭 주광선을 갖고 꺽음거울들에 기하학적으로 가까운 필드렌즈를 가지며, 필드렌즈가 제1대물렌즈부분과 제3대물렌즈부분 모두에 광학적으로 위치한 다른 실시예의 렌즈부를 도시한다.

도 16은 NA=1,30을 가지며 카타디옵트릭 제2대물렌즈부분 내에서 광학적으로 꺽음거울들로부터 더 떨어진 필드렌즈를 갖는 실시예의 렌즈부를 도시한다.

도 17은 NA=1,35를 갖는 도 16의 투사 대물렌즈의 변형예를 도시한다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0061] 이하의 바람직한 실시예들의 기재에서, "광축(optical axis)"은 광학 소자들의 곡률중심들을 통과하는 직선 또는 일련의 직선부들을 의미한다. 광축은 꺽음거울들(편향거울들) 또는 다른 반사면들에서 꺽인다. 방향 및 거리는 그것들이 이미지평면 또는 그곳에 배치되어 노광될 기판의 방향으로 향해진 것이라면 "이미지측" 상에 있는 것으로서 설명되며, 광축에 대해 물체평면 또는 그곳에 배치되는 레티클로 향해진 것이라면 "물체측" 상에 있는 것으로서 설명된다. 예들에서 물체는 집적회로 패턴을 가진 마스크(레티클)인데, 물론 그 패턴은 예컨대 격자와 같은 상이한 패턴이 될 수도 있다. 예들에 있어서 이미지는 포토리지스트층이 구비되며 기판으로서 사용되는 웨이퍼 상에 투사된다. 예컨대 액정 디스플레이용 요소들 또는 광학격자용 기판들과 같은 다른 기판들도 물론 가능하다.

[0062] 도 1은 웨이퍼 스테퍼(1, wafer stepper) 형태의 마이크로리소그래피 투사 노광 시스템을 개략적으로 도시하는 것으로, 이는 액침 리소그래피를 이용하여 큰 스케일의 집적 반도체 소자들의 제조용으로 사용된다. 투사 노광 시스템(1)은 광원으로서 193nm의 작동파장을 갖는 엑시머레이저(2)를 갖는데, 물론 다른 작동파장, 예컨대 157nm 또는 248nm의 작동파장도 또한 가능하다. 이후의 조명시스템(3)은 크고 날카롭게 압축되며 매우 균일하게 조명되는 조명필드를 생성하는데, 이 조명필드는 출사평면(4) 상의 이후의 투사 대물렌즈(5)의 텔레센트릭 필요조건에 매칭된다. 조명시스템(3)은 조명모드를 선택하기 위한 장치를 가지며, 예컨대 가변적인 코히런트 정도(variable coherent degree)를 가진 통상적인 조명, 환형 필드조명 및 다이폴 또는 콰드루폴조명 사이에서 스위칭될 수 있다.

[0063] 마스크평면으로도 언급되는 평면(4) 뒤에는 카타디옵트릭 축소 대물렌즈(5)가 뒤따르는데, 이는 마스크의 이미지를 포토리지스트로 코팅된 웨이퍼(10) 상에 4:1의 축소된 스케일로 결상한다. 예컨대 5:1, 10:1 또는 100:1 또는 그 이상의 다른 축소 스케일도 유사하게 가능하다. 감광성 기판으로 사용된 웨이퍼(10)는 포토리지스트층을 가진 평평한 기판면(11)이 투사 대물렌즈(5)의 이미지평면(12)과 실질적으로 일치하도록 배열된다. 웨이퍼는 웨이퍼를 마스크(6)와 동기적으로(sinchronously) 그리고 마스크에 평행하게 이동시키기 위하여 스캐너 드라이브를 구비하는 장치(50, 웨이퍼 스테이지)에 의해 지지된다. 장치(50)는 또한, 투사 대물렌즈의 광축(13)에 평행한 z 방향과 이 축에 수직인 x 및 y 방향으로 웨이퍼를 이동시키기 위하여, 매니퓰레이터(manipulator)를 갖는다. 기울임 장치(tilting device)가 일체화되는데, 이는 광축(13)에 수직으로 연장되는 적어도 한 개의 기울임축을 갖는다.

[0064] 웨이퍼(10)를 지지하기 위해 구비되는 장치(50)는 액침 리소그래피용으로 디자인된다. 그것은, 스캐너 드라이브에 의해 이동될 수 있으며 웨이퍼(10)를 지지하기 위하여 베이스가 평평한 함몰부(depression) 또는 오목부(recess)를 갖는 지지장치(15)를 갖는다. 액체 액침 매질(20)용으로서 상부가 개방된 액체가 새어들지 않는 평

평한 홀더가 원주 테(16)에 의해 형성되며, 액침 매질(20)이 홀더에 도입되어 도시되지 않은 장치에 의해 이동된다. 테의 높이는, 채워진 액침 매질이 완전하게 웨이퍼(10)의 표면(11)을 덮고 투사 대물렌즈(5)의 출사측 단부영역이 동작거리가 올바르게 세팅된 상태에서 웨이퍼면과 대물렌즈 출사부 사이에서 액침 용액에 잠길 수 있도록 디자인된다.전체 시스템은 중앙 컴퓨터 유닛(60)에 의해 제어된다.

[0065] 도 2는 본 발명에 따른 투사 대물렌즈의 바람직한 실시예를 개략적으로 도시한다. 투사 대물렌즈(200)는 마스크의 (물체평면(201) 상에 배열된) 패턴을 물체평면에 평행하게 정렬된 축소된 스케일의 이미지평면(202) 상에 축소된 스케일로 결상하는데 사용된다. 그것은 물체필드를 결상하여 실 제1중간이미지(211)를 형성하는 굴절성 제1대물렌즈부분(210)과, 제1중간이미지를 결상하여 실 제2중간이미지(221)를 형성하는 카타디옵트릭 제2대물렌즈부분(220)과, 제2중간이미지를 축소된 스케일로 이미지평면(202) 상에 결상하는 굴절성 제3대물렌즈부분(230)을 갖는다. 카타디옵트릭 대물렌즈부분(220)은 오목거울(225)을 갖는다. 제1꺽음거울(213)이 광축(204)에 45° 각도로 제1중간이미지의 인근에 배열되어, 물체평면으로부터 입사하는 방사를 오목거울(225) 방향으로 반사한다. 평평한 거울면이 제1꺽음거울의 평평한 거울면에 수직으로 정렬된 제2꺽음거울(223)은 오목거울(225)로부터의 방사를 이미지평면(202) 방향으로 반사한다.

[0066] 꺽음거울들(213, 223)은 각각 중간이미지 인근에 배열되어 광 전도도를 낮게 유지할 수 있도록 한다. 중간이미지들, 즉 근축 중간이미지와 주변광선 중간이미지 사이의 전체 영역은 바람직하게는 거울면들 상에는 위치하지 않으며, 따라서 중간이미지와 거울면 사이의 유한한 최소 거리의 결과를 가져와, 예컨대 스크래치 또는 불순물과 같은 거울면에서의 흠이 이미지평면 상에 선명하지 나타나지 않도록 한다. 최소 거리는, 방사의 서브-개구 즉 특정 필드지점으로부터 기인하거나 그것에 수렴하는 빔들의 자국이 거울면 상에서 5㎜ 또는 10㎜보다 작은 직경을 갖지 않도록 세팅되어야만 한다. 제1중간이미지(211)와 제2중간이미지(221)가 꺽음거울들과 오목거울(225)(실선 화살표) 사이의 기하학적 공간에 위치하는 실시예들이 존재한다. 이 측면 아암(arm)은 수평 아암(HOA; horizontal arm)으로 언급될 수도 있다. 다른 실시예들에서, 제1중간이미지(211')는 제1꺽음거울(213) 이전의 빔경로에 위치할 수도 있으며, 제2중간이미지(221')는 제2꺽음거울(점선으로 표시된 화살표)로부터 이후의 빔 경로에 위치할 수도 있다.

[0067] 이 예시적인 실시예에서의 꺽음각은 정확하게 90° 이다. 이것은 꺽음거울들의 거울층들의 성능을 위해 바람직하다. 90° 를 전후한 편향 역시 가능하며, 따라서 이는 비스듬하게 위치한 수평 아암의 결과를 가져온다.

[0068] 모든 대물렌즈부분들(210, 220, 230)은 파지티브 굴절력을 갖는다. 개략적인 도시에서, 파지티브 굴절력을 가진 렌즈들 또는 렌즈그룹들은 외측을 가리키는 점을 가진 더블헤드 화살표로 나타나며, 반면 네거티브 굴절력을 가진 렌즈들 또는 렌즈그룹들은 반대로 내측으로 향하는 헤드를 가진 더블헤드 화살표들로 표시된다.

[0069] 제1대물렌즈부분(210)은 파지티브 굴절력을 가진 두 개의 렌즈그룹들(215, 216)을 구비하는데, 그 사이에는 실선으로 표시된 주광선(203)이 일점쇄선으로 표시된 광축(204)과 교차하는 곳에 가능한 조리개 위치가 존재한다. 광축은 제1꺽음거울(213)에서 90° 로 꺽인다. 제1중간이미지는 제1꺽음거울(213) 직후의 광경로에 형성된다.

[0070] 제1중간이미지(211)는 후속하는 카타디옵트릭 대물렌즈부분(220)에 대해 물체로서 작용한다. 이것은 필드에 가까운 파지티브 렌지그룹(226)과, 조리개에 가까운 네거티브 렌즈그룹(227)과, 이것의 직후에 배열되며 제1중간이미지를 결상하여 제2중간이미지(221)를 형성하는 오목거울(225)을 갖는다. 전체적으로 파지티브 효과를 갖는 렌즈그룹(226)은 "필드렌즈"로 사용되며, 전체적으로 파지티브 굴절력을 가진 두 개 이상의 개별적인 렌즈들에 의해서도 그 효과를 얻을 수 있는 단일 파지티브 렌즈에 의해 형성된다.

[0071] 제2꺽음거울(223)의 광학적 전면(前面)에 위치한 제2중간이미지(221)는 굴절성 제3대물렌즈부분(230)에 의해 이미지평면(202) 상에 결상된다. 굴절성 대물렌즈부분(230)은 파지티브 제1렌즈그룹(235), 네거티브 제2렌즈그룹(236), 파지티브 제3렌즈그룹(237) 및 파지티브 제4렌즈그룹(238)을 갖는다. 주광선이 광축과 교차하는 파지티브 렌즈그룹들(237, 238) 사이에 가능한 조리개 위치가 존재한다.

[0072] 도 3은 본질적으로 도 2를 참조하여 설명한 원리를 이용하여 형성된 투사 대물렌즈(300)의 렌즈부를 도시한다. 동일한 또는 대응하는 요소들 또는 요소그룹들은 100만큼 증가된 도 2에서와 동일한 참조번호로 표시된다.

[0073] 시스템의 특별한 일 특징은 두 방향으로 빔이 통과하는 파지티브 양볼록렌즈(326)이 빔이 두 번 통과하는 투사 대물렌즈의 영역에서 꺽음거울들(313, 323)과 오목거울(325) 사이에 기하학적으로 구비된다는 것인데, 빔은 제1중간이미지(311)와 오목거울(325) 사이의 광경로에서와 오목거울과 제2중간이미지(321) 또는 이미지평면(302) 사이의 광경로에서 상호 오프셋된 렌즈영역들에서 상기 영역을 통과한다. 파지티브 렌즈(326)는 오목거울(325)보다 꺽음거울들(313, 323)에 더 가깝게 배열되는데 특히 꺽음거울들과 오목거울 사이의 축상 거리의 1/3 지점

에 배열된다. 파지티브 렌즈(326)의 영역에 있어서 주변광선 높이는 주광선 높이에 비해 작아, 주광선 높이에 대한 주변광선 높이의 비는 대략 0.3이다. 따라서 파지티브 렌즈(326)는 제1중간이미지(311)와 제2중간이미지(321) 모두에 대해 가깝게 배열되며, 다라서 양 중간이미지들에 대한 필드렌즈로서 작용한다. 제1중간이미지(311)와 오목거울(325) 사이의 광경로에서의 파지티브 굴절력은 그중에서도 특히 후속하는 렌즈들(327) 및 오목거울(325)의 직경을 작게 유지하는 것을 보장한다. 오목거울로부터 제2중간이미지(321) 및 이미지평면까지의 광경로에서의 파지티브 굴절력은, 이미지필드에 가장 가까우며 액침 투사 대물렌즈의 높은 이미지측 개구수(NA=1.20)를 책임지는 굴절성 대물렌즈부분(330)에서의 렌즈직경들의 제한을 위한 것일 뿐만 아니라, 제2꺽음거울(323)에도 도달하며 따라서 유리한 반사층들로 코팅될 수 있는 방사의 입사각 대역폭에서의 감소의 결과를 가져온다.

[0074] *파지티브 렌즈는 필요하다면 꺽음거울들에 의해 방해되지 않으면서도 두 중간이미지들에 매우 가깝게 이동될 수 있어, 강한 보정 효과가 가능하다. 필드에 가깝게 배열된 파지티브 굴절력은 수평 아암이 더 길어지는 것을 가능하게 한다. 제1중간이미지(311)에서의 큰 개구때문에, 수평 아암의 길이는 일반적으로 더 짧아질 것이며, 그것의 직전에 배열된 네거티브 그룹(327)의 네가티브 메니스커스 렌즈들 및 오목거울(325)의 직경은 색 보정에 관련되며 따라서 불명확하게 커서는 안 된다. (오목거울과 비교해 보면) 페츠발 곡률에 대한 보상때문에, 필드에 가까운 파지티브 렌즈그룹(326)의 도입도 네거티브 렌즈들(327)의 굴절력을 증가시키며, 따라서 오목거울의 영역에서 상대적으로 작은 직경들에 대한 길이방향 색 오차의 보정을 증가시킨다. 따라서 카타디옵트릭 대물렌즈부분은 적절한 색 보정이 이루어지면서도 상대적으로 작은 렌즈직경들을 갖도록 컴팩트하게 디자인될 수 있다.

[0075] 두 중간이미지들(311, 321)의 인근에 배열된 필드렌즈(326) 또한 이하에서 더욱 상세하게 설명되는 것과 같이 광학 보정에 관하여 중요한 장점을 갖는다. 원칙적으로, 큰 수차에 직면한 중간이미지들의 인근에 광학면들을 갖는 것이 결상 오차의 보정에 유리하다. 그 이유는 다음과 같다: 중간이미지로부터 먼 거리에서, 예컨대 시스템 조리개 또는 그것의 켤레 평면들(conjugate planes)의 인근에서, 광 빔의 모든 개시광선(opening ray)은 동공 좌표에 대해 유한하며 단조롭게 증가하는 높이를 갖는데, 즉 광학면이 모든 개시광선에 작용한다. 동공 가장자리에서 더 바깥쪽에 위치한 개시빔(opening beam)도 이 면에서 더욱 큰 높이(또는 더욱 정확하게는 주광선으로부터 증가한 거리)를 갖는다.

[0076] 그러나 이는 더이상 극심한 수차에 직면한 중간이미지의 인근에서의 경우가 아니다. 사실, 중간이미지의 화면(caustic) 내에 위치한다면, 그 면이 대략 주변광선 이미지 내에 또는 주변광선 이미지에 가깝게 위치하는 것이 가능한데, 즉 그것은 주변광선에 작용하지 않으며 존 광선(zone ray)에 상당한 광학적 효과를 갖는다. 따라서 예컨대 광학 수차에서의 존 오차를 보정하는 것이 가능하다. 이 원리는 예컨대 구형 존 오차에 신중히 영향을 주기 위하여 사용될 수도 있다.

[0077] 중간이미지들(311, 321)에 대향하며 그 인근에 배열된 파지티브 렌즈(326)의 볼록렌즈면은 비구면으로 굽은 모양이다. 필드에 가까운 배열과 관련하여, 이것은 매우 중요한 보정 효과가 달성될 수 있도록 한다.

[0078] 이미지에 가장 가까운 적어도 두 개에서 세 개의 렌즈들은 컴팩션(compaction) 문제를 피하기 위하여 칼슘 플루오라이드로 제조될 수 있다. 본질적인 복굴절(birefringence)을 보상하기 위하여, 렌즈들의 결정학적인 주축들은 상호 회전될 수 있다. 오목거울(325)도 능동거울의 형태일 수 있는데, 거울면의 형상은 적절한 매니퓰레이터들을 이용하여 변화될 수 있다. 이는 다양한 결상 오차를 보상하는데 사용될 수 있다. 적어도 한 개의 중간이미지의 인근에서의 빔경로는 실질적으로 텔레센트릭이다.

[0079] 표 1은 표의 형태로 디자인의 상세사항을 보여준다. 이 경우, 열 1은 굴절성, 반사성 또는 다른 형태로 특징지어지는 면 번호를 나타내고, 열 2는 면의 반경 r (㎜), 열 3은 면과 후속하는 면 사이의 거리(㎜), 열 4는 소자의 재료를 나타내며, 열 5는 광학 소자들의 광학적으로 사용 가능한 자유 직경을 나타낸다(㎜). 반사성 면들은 열 1에서 "R"로 표시된다. 표 2는 대응하는 비구면 데이터를 나타내는데, 비구면들의 화살표 높이는 다음의 법칙을 이용하여 계산되었다:

[0080] $p(h) = [((1/r)h^2/(1+SQRT(1-(1+k)(1/r)^2h^2))]+C1*h^4+C2*h^6+...$

[0081] 이 경우, 반경의 역수(1/r)는 면 정점에서의 면 곡률을 나타내며, h는 면 지점과 광축 사이의 거리를 나타낸다. 따라서 화살표 높이는 p(h), 즉 z 방향(즉 광축 방향)으로의 면 지점과 면 정점 사이의 거리이다. 상수 K, C1,

C2 등은 표 2에 표시되어 있다.

[0082] 액침 대물렌즈(300)는 모든 렌즈들용으로 사용되는 칼슘 플루오라이드가 n=1.5593의 굴절율을 갖는 대략 157nm의 작동파장용으로 디자인된다. 이는 157nm에서 $n_l$=1.37인 액침매질로서 진공 기술분야에서 사용되는 퍼플루오로폴리에테르(perfluoropolyether, Fomblin®)에 매칭되며, 대략 1.5mm의 이미지측 동작거리를 갖는다. 이미지측 개구수 NA는 1.2이며, 이미지측 스케일 축소 팩터는 4:1이다. 시스템은 사이즈가 26 X 5.0 $mm^2$인 이미지필드용으로 디자인되며, 그것은 이중 텔레센트릭이다.

[0083] 도 4는 도 3에 도시된 실시예의 변형예를 나타내며 도 2를 참조하여 설명된 원리를 이용하여 유사하게 형성된 투사 대물렌즈(400)의 렌즈부를 도시한다. 동일한 또는 대응하는 요소들 또는 요소그룹들은 도 3에서의 참조번호를 100만큼 증가시켜 표시되었다. 이 예시적인 실시예에 대한 상세한 사항은 표 3 및 표 4에 나타나 있다.

[0084] 이 실시예에서도, 필드렌즈로 사용되는 파지티브 양볼록렌즈(426)가 꺽음거울들(413, 423)과 오목거울(425) 사이에 배열된 중간이미지들(411, 421)의 광학적 인근에서 수평 아암에 배열됨으로써, 수평 아암이 작은 직경을 갖도록 하며 반면 중간이미지들에 중요한 보정효과의 결과를 가져온다.

[0085] 이 실시예의 다른 특별한 특징은 굴절성 제3대물렌즈부분(430)의 디자인인데, 이는 작은 크기와 작은 최대 직경을 가진 특히 컴팩트한 구성을 갖는다. 네가티브 그룹(436)과, 사이에 조리개(구경 조리개)(A)가 있는 두 개의 후속 파지티브 그룹들(437, 438)가 뒤따르는 초기 파지티브 그룹(435)을 가진 기초 디자인은 도 3에 도시된 디자인에 대응한다. 제3렌즈그룹(437)의 입사면(E)은 제2렌즈그룹(436)에서 유일한 렌즈인 네가티브 양오목렌즈(436) 뒤에 위치하는데, 빔 직경의 최대 발산 영역에 그리고 주변광선 높이의 변곡점의 영역에 위치한다. 이 입사면과 구경 조리개(A) 사이 또는 구경 조리개와 이미지평면 사이에는 광학적 디자인에 중요한 산란효과를 가진 네가티브 렌즈들은 존재하지 않는다. 특히, 오직 파지티브 렌즈들만이 입사면(E)과 이미지평면 사이에 구비된다.

[0086] 빔 직경이 상대적으로 큰 영역에 상당한 굴절력을 가진 네가티브 렌즈들이 존재하지 않는다면, 이는 렌즈들의 최대 직경들을 이 영역에서 실제적인 사이즈로 제한하는 것을 가능하게 한다. 이 응용을 위한 "상대적으로 큰 빔 직경"은 특히 르네즈에서의 주변광선 높이가 잠재적인 조리개 위치 예컨대 시스템 조리개의 위치에서 적어도 주변광선 높이의 절반만큼 클 때 발생한다. 이 측정은 네가티브 렌즈의 산란효과가 보정의 이유로는 바람직할 수 있으나 네가티브 렌즈 이후의 산란효과는 네가티브 렌즈가 없을 경우 필요할 렌즈직경보다 큰 렌즈직경에 이르게 하는 경향이 있다는 사실을 고려한다. 더욱이, 빔의 광선은 이후의 이미지평면의 방향에서 함께 만나며, 파지티브 굴절력이 이를 위해 요구된다. 이를 위해 필요하게 되는 파지티브 렌즈들은, 빔의 조합에 있어서 네가티브 렌즈들의 산란효과를 보상할 필요도 없다면, 전체적으로 상대적으로 적당하게 디자인된다. 더욱이, 렌즈들의 개수가 제한될 수도 있다. 따라서 본 발명은 최소 렌즈직경을 가진 컴팩트한 투사 대물렌즈를 가능하게 한다.

[0087] 도 5는 광학적 관점에서 도 2를 참조하여 설명된 원리를 기초로 하여 디자인된 투사 대물렌즈(500)의 실시예를 도시한다. 동일한 또는 대응하는 요소들 또는 요소그룹들은 도 2의 참조번호에 300을 증가시켜 나타내었다.

[0088] 도 2에 도시된 시스템과 도 5에 도시된 시스템에서의 빔 프로파일들을 비교하면, 본 발명의 범위 내에서 상이한 빔 경로들도 가능하다는 것을 보여준다. 물체평면으로부터 오목거울(225)로 연장된 제1빔섹션(first beam section)과 이 오목거울로부터 이미지평면으로 연장된 제2빔섹션이 어디에서도 교차하지 않기 때문에, 교차하지 않는 빔경로가 도 2의 시스템에서 도시되어 있다. 반대로 도 5에 도시된 실시예는 교차된 빔경로를 갖는다. 제1꺽음거울(513)은 제2꺽음거울(523)을 외면하며 광축(504)측 상에 배열되어 있으며, 제2꺽음거울은 기하학적으로 물체평면에 더 가깝게 위치해 있다. 따라서, 물체평면(501)으로부터 오목거울(525)로 연장되는 제1빔섹션(540)과 오목거울(525)로부터 제2꺽음거울(523)을 거쳐 이미지평면으로 연장되는 제2꺽음거울(523)은, 중간이미지들(511, 521)의 인근에서 제2꺽음거울(523)의 거울면의 직전 영역에서 교차한다. 이 경우, 제2중간이미지(521)는 광학적으로는 제2꺽음거울(523)의 직전에 위치하며 기하학적으로는 제1꺽음거울의 광축(504)에 대향하는 내측 거울 가장자리(528)의 인근에 위치한다. 방사가 내측 거울 가장자리(528) 영역에서 제1꺽음거울에 의해 비네팅 없이 제2꺽음거울의 방향으로 강제되는 이 교차된 빔 경로는 시스템의 광전도도 최적화를 가능하게 한다. 그것은 또한 두 개의 꺽음거울들용의 더 큰 물리적 공간을 제공한다.

[0089] 이 실시예에서도 또한, 비록 제2꺽음거울과 제2중간이미지가 파지티브 렌즈(526)로부터 어느정도 더 떨어져 있을지라도, 파지티브 렌즈그룹(526)은 광학적으로는 중간이미지들 인근에 위치하며 기하학적으로는 꺽음거울들과

오목거울 사이에 위치한다.

[0090] 투사 대물렌즈(600)의 일 실시예를 도 6을 참조하여 설명하는데, 물체평면(601)에 배열된 패턴이 물체평면에 평행하게 정렬된 이미지평면(602) 상에 결상되어 두 실 중간이미지들(611, 621)을 생성한다. 투사 대물렌즈는 물체필드의 실 제1중간이미지(611)를 생성하는 카타디옵트릭 제1대물렌즈부분(610)과, 제1중간이미지를 결상하여 실 제2중간이미지(621)를 형성하는 후속의 카타디옵트릭 제2대물렌즈부분(620)과, 제2중간이미지(621)를 직접, 즉 다른 중간이미지를 거치지 않고 이미지평면(602) 상에 결상하는 후속의 굴절성 제3대물렌즈부분을 갖는다.

[0091] 지금까지 설명된 실시예들과 상이한 주요한 차이점은 제1대물렌즈부분(610)이 컴팩트한 카타디옵트릭 서브시스템이라는 것이다. 카타디옵트릭 대물렌즈부분(610)은 물체평면에 직각인 광축을 갖는 오목거울(615)과, 물체평면과 오목거울 사이에 배열되며 광축(604)에 대해 45°로 기울어져 투사 대물렌즈(610)의 제1꺽음거울로 사용되는 평평한 빔스플리터 면(613)을 갖는 편광-선택적 빔 스플리터(660, BSC, Beamsplitter cube)를 갖는다. 오목거울 바로 전면(前面)에 배열된 λ/4판(661), 파지티브 제1그룹(662), 파지티브 제2그룹(663), 빔스플리터(660), 다른 λ/4판(664) 및 네가티브 그룹(665)이 물체평면과 오목거울 사이에 이 순서로 배열된다. 이후에 다른 λ/4판(666)과 파지티브 그룹(667)이 꺽음거울(613) 이후의 빔경로에 배열된다. 필드에 가까운 파지티브 제2그룹(626)을 가진 카타디옵트릭 제2대물렌즈부분(620)의 기본 구성은 실질적으로 도 2에 도시된 기본 디자인에 대응한다. 굴절성 제3대물렌즈부분은 사이에 조리개 위치가 배치되는 파지티브 그룹들만을 갖는다.

[0092] 이 예시적인 실시예에서, 따라서 꺽음이 카타디옵트릭 제1대물렌즈부분 내에서 발생하는데, 적어도 한 개의 파지티브 렌즈(667)의 형태로 파지티브 굴절력이 이를 책임지는 꺽음거울(613)과 제1서브시스템에 의해 형성되는 제1중간이미지(611) 사이에 배열된다. 전체적인 시스템은 원편광된 입력광으로 작동되는데, 이는 λ/4판에 의해 선편광 방사로 변환되며, 이는 비스듬히 위치한 빔스플리터층(613)에 대해 p편광되어 따라서 그것을 완전하게 통과하여 오목거울(650)에 도달한다. 빔스플리터층과 오목거울 사이에 배열된 λ/4판은 선편광된 방사에 의해 두 번 통과되며, 프로세스에 있어서 편광 우선 방향(polarization preferred direction)을 90° 회전시켜 오목거울로부터 편광스플리터층(613)에 도달하는 방사가 이것에 대해 p편광되도록 하고, 후속의 대물렌즈부분의 방향으로 반사된다. 제3λ/4판(666)은 방사를 원편광된 방사로 변환하는데, 이는 그 후 후속의 서브시스템들을 통과한다.

[0093] 카타디옵트릭 제1대물렌즈부분(610)은 거울 곡률 및 거울 이전의 네가티브 굴절력과 관련하여 이미지필드 곡률 및 길이방향 색수차를 광범위하게 또는 완전히 보정할 수 있도록 디자인되기 때문에, 후속의 부분 대물렌즈들은 부하가 걸리지 않거나 이 결상 오차에 의해 오직 작은 부하만 걸린다. 더욱이, 이 배열은 수평으로 정렬된 카타디옵트릭 대물렌즈부분(620)과 물체평면 사이의 물리적 공간이 커지도록 할 수 있는데, 이는 광 전도도를 줄이기 위해 사용될 수 있다.

[0094] 개구 조리개(A)는 바람직하게는 제3대물렌즈부분(630)에 배열되는데, 이는 이미지에 가장 가까우며 주광선이 광축과 교차하는 곳이다. 두 개의 다른 가능한 조리개 위치들이 제1대물렌즈부분과 제2대물렌즈부분에 도시되어 있는데, 각각의 경우 오목거울들(615, 625)에 가깝다.

[0095] 제1대물렌즈부분은 물리적으로 컴팩트할 수 있다. 도 7은 도 6에 도시된 시스템의 제1대물렌즈부분(610)으로서 사용될 수 있는 카타디옵트릭 서브시스템의 실시예를 도시하며 그 상세한 사항은 표 5에 기재되어 있다. 동일한 또는 대응하는 요소들 또는 요소그룹들은 100만큼 증가시켜 도 6에서와 동일한 참조번호로 표시되어 있다. 모든 렌즈들은 구형이며, 빔스플리터 블록(760)을 포함하는 모든 투명한 소자들은 합성 석영 유리로 형성된다.

[0096] 도 8은 빔경로를 꺽기위해 제공되는 꺽음거울들용에 대한 다양한 적용 옵션들을 개략적으로 보여준다. 예컨대 꺽음거울들은 자유-스탠딩(free-standing) 평거울들, 특히 전면(前面) 면거울들로서의 평거울들의 형태를 가질 수도 있다(도 8a, 8b). 이 경우, 도 2에 도시된 실시예에서, 물론 도 8b에 도시된 것과 같은 분리된 거울들이 연합하여 유지될 수도 있다. 꺽음거울은 또한 도 8c 및 8d에 도시된 것과 같이 자유-스탠딩 프리즘의 형태를 가질 수도 있다. 만일 필요하다면 반사성 프리즘면이 입사각에 의존하여 내부 전반사면으로서 작용할 수 있으며, 또는 반사성 코팅을 가질 수도 있다. 특히 도 2 내지 도 4에 도시된 실시예들에 대해서는, 거울들은 도 8e에 도시된 것과 같이 거울 프리즘의 반사성 외측면들의 형태를 가질 수도 있다.

[0097] 도 9에서, 도 2와 관련하여 설명된 R-C-R 유형을 갖는 투사 대물렌즈(900)의 다른 실시예가 도시되어 있다. 참조번호는 기본 구성의 설명에 대해 작성되었다. 굴절성 제1대물렌즈부분(910)은 물체면(901)에 배열된 비축상 유효 물체필드(OF)를 제1중간이미지(911) 상으로 결상하기 위해 디자인된다. 평평한 제1꺽음거울(913)은 제1중간이미지 직전의 제1대물렌즈부분 내에 배열된다. 오목거울(925)을 포함하는 카타디옵트릭 제2대물렌즈부분

(920)은 제1중간이미지를 제2꺽음거울(932)의 직전에 그것으로부터 떨어져 위치하는 제2중간이미지(921)로 결상하기 위해 디자인된다. 자유롭게 억세스할 수 있는(freely accessible) 구경조리개(AS; aperture stop)를 포함하는 굴절성 제3대물렌즈부분(930)은 광축 외측에 유효 이미지필드(IF)가 생성되는 이미지면(902) 상에 제2중간이미지를 결상하도록 디자인된다. 제1대물렌즈부분(910)은 제1중간이미지를 제1꺽음거울(913)에 가까이 위치시키기 위한 릴레이 시스템으로 기능한다. 카타디옵트릭 제2대물렌즈부분(92)은 광학적으로는 꺽음거울들에 가깝고 광학적으로는 두 중간이미지들에 가까운 단일 파지티브 렌즈(필드렌즈(926))를 포함하여 결상 오차와 관련된 효과적인 필드 보정을 가능하게 한다. 제3대물렌즈부분은 투사 대물렌즈의 축소율의 주요부분을 제공하여 유효 물체필드(OF)의 26mm * 5,5mm 필드 사이즈에서 이 실시예에서 NA=1,20인 이미지측 개구수를 얻도록 하는 집속렌즈그룹(focussing lens group)으로 기능한다. 전체적인 트랙 길이(물체면(901)과 이미지면(902) 사이의 축상거리)는 1400mm이다. 파면(wavefront) 수차는 대략 4mλ rms이다. 상세한 사항은 표 9, 9a에 주어져 있다. 결상의 주광선(CR; chief ray)은 주광선의 이후의 경로를 용이하게 하기 위해 굵게 도시되어 있다.

[0098] 제1대물렌즈부분(910)의 렌즈들은 광축의 제1부분(OA1)을 정의하는데, 광축은 렌즈들의 회전대칭이며 물체면(901)에 수직인 축이다. 오목거울(925)과 제2대물렌즈부분의 렌즈들의 회전대칭축은 이 실시예에서 광축의 제1부분(OA1)과 수직이 되도록 정렬된 광축의 제2부분(OA2)을 정의한다. 즉, 제1꺽음거울(913)에 의해 광축은 90°로 꺽인다. 제3대물렌즈부분(930)의 렌즈들은 광축의 제3부분(OA3)을 정의하는데, 이는 광축의 제1부분(OA1)과 평행하며 이미지면(902)에 수직이다. 이 실시예에서, 광축의 물체측인 제1부분(OA1)과 광축의 이미지측인 제3부분(OA3)은 동축이어서 어떠한 측면 축 오프셋(lateral axis offset)이 광축의 이 부분들 사이에 존재하지 않는다. 이 구성은 굴절성 대물렌즈부분들의 렌즈들의 마운팅에 관하여 바람직할 수 있다. 광축의 제1부분과 제3부분(OA1, OA3)이 동축인 유사한 구성이 도 10에 투사 대물렌즈(1000)로서 도시되어 있다. 이 디자인의 상세한 사항은 표 10, 10a에 주어져 있다. 두 실시예들에서 물체-이미지-쉬프트(OIS)에 대한 유한한 값이 존재한다.

[0099] 투사 대물렌즈(900)에서 제1꺽음거울(913) 직전의 렌즈면(ASP)은 비구면인데, 이는 제1중간이미지에 광학적으로 가깝다. 결상 오차와 관련된 효율적인 필드 보정을 얻는다. 투사 대물렌즈(1000)에서 필드렌즈(1026)는 오목거울에 대향하는 비구면 렌즈면(ASP)을 갖는다. 이 비구면은 제1중간이미지(1011)과 제2중간이미지(1021) 모두에 가장 가까운 렌즈면이며, 따라서 빔경로를 따라 두 지점들에서의 보정에 매우 효과적이다. 이 디자인의 파면 수차는 대략 3mλ rms이다.

[0100] 도 11에 도시된 투사 대물렌즈(1100)의 실시예(표 11, 11a에 상세한 사항이 기재되어 있음)는 물체측 상의 광축의 제1부분(OA1)과 이미지측 상의 광축의 제3부분(OA3) 사이의 측면 축 오프셋(AO)이 적절하게 조정된다면 바람직한 실시예에서 실제적인 이점을 얻을 수 있다는 점을 증명하는 예이다. 이하에서 사용되는 용어들의 이해를 용이하게 하기 위하여, 도 11a은 중요한 특징들 및 파라미터들이 도시된 개략도를 보여주고 있다.

[0101] 광학적 관점으로부터, 비축상 유효 물체필드(OF)는 제1대물렌즈부분(1110)에 의해 제1꺽음거울(1113)과 제3대물렌즈부분(1120)의 파지티브 필드렌즈(1126) 사이에 배열된 제1중간이미지(1111)로 결상된다. 제2대물렌즈부분은 오목거울(1125)을 포함하며 파지티브 렌즈(1126)와 제2꺽음거울(1123) 사이에 위치한 제2중간이미지(1121)를 만드는 결상 서브시스템으로서 디자인된다. 제3대물렌즈부분(1130)은 여기서 NA=1.30인 매우 높은 이미지측 개구수에서 비축상 유효 이미지필드(IF)를 생성하기 위한 집속그룹으로서 기능한다.

[0102] 도 9 및 도 10의 실시예들과 달리 수직한 평평한 면들로 제1꺽음거울과 제2꺽음거울을 형성하는 꺽음프리즘을 비대칭적으로 사용하여, 물체측 상의 광축의 | 제1부분(OA1)과 이미지측 상의 광축의 제3부분(OA3) 사이에서 측면 축 오프셋(AO)을 얻는다(도 11a 참조). 이 특별한 실시예에서 축 오프셋(AO)은 물체필드 중심을 통과하여 광축의 제1부분(OA1)에 평행하게 연장되는 물체필드 중심축(OFCA; object field center axis)과 광축의 제3부분(OA3)에 평행하고 이미지필드(IF)의 중심을 통과하여 연장되는 이미지필드 중심축(IMCA)가 일치하도록(동축이도록) 세팅된다. 즉, 유효 물체필드(OF)와 이미지필드(IF)의 중심들 사이에 어떠한 물체-이미지-쉬프트(OIS)도 존재하지 않는다. 이 특성은 비축상 물체필드를 가진 카타디옵트릭 투사 대물렌즈에서뿐만 아니라 광축 주위에 중심이 있는 유효 물체필드를 갖는 투사 대물렌즈(즉, 물리적 빔 스플리터 또는 동공 모호를 가진 대물렌즈를 갖는 카타디옵트릭 대물렌즈 또는 순수 굴절 대물렌즈)에서도 일반적으로 얻어지지 않는다. 도 11a으로부터 명백히 알 수 있듯이, 만일 OIS=0이 요구된다면 측면 축 오프셋(AO)의 양은 측면 축 오프셋(OA)과 이미지필드 중심높이(h')의 합이 물체필드 중심높이 h와 일치하도록 세팅된다. 이 경우 다음과 같다:

[0103] $|AO| = |h*(1+|\beta|)|$

[0104] 본 발명의 바람직한 실시예의 다른 유익한 특징은 필드렌즈용 파지티브 굴절력의 적절한 선택에 관한 것이다. 이하에서 예시적으로 설명되듯이, 적절한 굴절력의 선택은, 꺽음거울들 이전 및/또는 이후의 렌즈들의 최대 사

이즈 및 투사 대물렌즈의 전반적 트랙 길이를 적절하게 유지하면서도, NA=1,3 또는 NA=1,35와 같은 매우 높은 이미지측 개구수를 가진 투사 대물렌즈의 제조를 가능하게 한다. 설명의 목적으로, 도 12는 WO 2004/019128에 도시된 이미지측 개구수 NA=1,25 및 1250mm의 트랙 길이를 갖는 R-C-R 유형의 다양한 선행기술 투사 대물렌즈를 보여주는데, 이는 관련된 선행기술 대물렌즈의 트랙길이(WO 2004/019128 A1의 도 19에서 1400mm)보다 더 작다. 기하학적으로 꺽음거울들과 오목거울 사이에는 어떠한 필드렌즈도 존재하지 않는다.

[0105] 비교를 위하여, 도 13은 본 발명의 실시예로서 동일한 개구수(NA=1,25) 및 트랙 길이(1250mm)를 갖는 투사 대물렌즈(1300)를 도시하는데, 파지티브 필드렌즈(1326)가 기하학적으로 꺽음거울들(131, 1323)과 오목거울(1325) 사이에 위치한다. 비교를 용이하게 하기 위하여, 개략적인 도 14a에서 필드렌즈가 없는 선행기술 시스템을, 도 14b에서 필드렌즈(FL)를 포함하는 본 발명의 실시예를 도시하고 있다. 주광선(CR)의 경로가 도 12 및 도 13에서 굵게 도시되어 있으며 도 14에서도 아웃라인으로 나타나 있는데, 후자의 경우 나아가 주변광선(MR)의 경로도 도시되어 있다.

[0106] 다음으로, 도 12의 실시예와 관련된 종래의 시스템의 몇몇 특징들이 도 14a의 동일한 참조번호를 이용하여 요약되어 있다. 제1대물렌즈부분은 꺽음프리즘의 제1꺽음거울(FM1)에 가까운 제1중간이미지(IMI1)를 만들도록 디자인된 굴절성 릴레이그룹(L1)이다. 오목거울(CM)을 포함하는 축방향으로 컴팩트한 (짧은) 카타디옵트릭 제2대물렌즈부분은 제2꺽음거울(FM2)에 가까운 제2중간이미지(IMI2)를 생성한다. 제3대물렌즈부분으로 형성된 순수 굴절성 메인 집속그룹(L2)은 이미지를 형성한다.

[0107] 제1대물렌즈부분은 (각각 파지티브 글절력을 가진) 제1렌지그룹(LG1)과 제2렌즈그룹(LG2)으로 나뉘는데, 동공면(pupil surface)이 주광선(CR)이 광축(OA)과 교차하는 이 렌즈그룹들 사이에 위치한다. 이러한 순서에서 제3대물렌즈부분은 파지티브 굴절력을 가진 제3렌즈그룹(LG3), 네가티브 굴절력을 가진 제4렌즈그룹(LG4) 및 파지티브 굴절력을 가진 제5렌지그룹(LG5)을 포함한다. 이미지측 동공면이 주광선이 광축을 가로지르는 제3대물렌즈부분에 위치한다. 구경조리개(AS)가 일반적으로 이 지점에 위치한다. 광학적으로 제1중간이미지와 제2중간이미지 사이의 동공면이 오목거울(CM)에 또는 이에 가깝게 위치한다.

[0108] 또는, 구경조리개가 다른 동공면들 중 하나에서, 소위 굴절성 릴레이그룹(L1) 또는 카타디옵트릭 그룹에서, 오목거울에 가깝게 위치할 수도 있다.

[0109] 주광선(CR)은 제1중간이미지(IMI1)에서 수렴하고 제1꺽음거울은 광학적으로 그 중간이미지에 가깝다. 여기서 수렴하는 주광선은 주광선높이(CRH) 즉 주광선과 광축 사이의 방사상의 거리가 광 전파 방향에 있어서 줄어드는 주광선이다. 반면, 제2중간이미지(IMI2) 및 제2꺽음거울에서 주광선은 발산한다(즉, 주광선높이가 광 전파 방향에 있어서 증가한다).

[0110] 꺽음거울들과 오목거울 사이에 중간이미지들을 갖는 꺽음 기하학적 구조 때문에, 제1중간이미지와 제2중간이미지에 각각 가장 가까운 제2렌즈그룹(LG2)과 제3렌즈그룹(LG3)의 렌즈들은 중간이미지들로부터 광학적으로 상대적으로 멀리 위치하는데, 이 렌즈들과 중간이미지들 사이에 꺽음거울이 위치하기 때문이다. 주광선의 수렴/발산의 결과로서, 꺽음거울들에 가장 가까운 이 렌즈들은 커지는 경향이 있다(큰 렌즈직경을 갖는 경향이 있다). 오목거울과 꺽음거울들 사이에 더 큰 거리가 세팅되어 대물렌즈의 더 긴 수평 아암(HOA)을 형성한다면 이 효과를 더 약하게 할 수 있다는 것을 주목하라.

[0111] 이러한 조건들 하에서, 만일 이미지측 개구수(NA)가 증가한다면 수평 광축이 더 짧아지는 경향이 있다. 이는 다음과 같이 이해할 수 있다. 오목거울의 주된 목적은 투사 대물렌즈의 페츠발 합(이미지필드 곡률)을 보정하는 것이다. 페츠발 합 보정에 대한 오목거울의 기여는 오목거울의 곡률에 직접적으로 비례한다. 만일 시스템의 개구수가 증가하고 그와 동시에 수평 아암(HOA)의 길이가 일정하게 유지된다면, 오목거울을 포함하는 카타디옵트릭 그룹의 직경은 증가할 것이다. 중요한 일 결과는 오목거울의 곡률이 더 작아짐으로써 페츠발 합 보정에 대한 오목거울의 효과가 감소하는 것이다. 그러면 페츠발 합 보정이 투사 대물렌즈의 다른 부분에서 고려되어야만 하여 디자인을 더욱 복잡하게 만들기 때문에, 이는 덜 바람직하다고 생각된다.

[0112] 한편, 페츠발 합 보정에 대한 카타디옵트릭 그룹의 보정효과를 유지하는 것이 필요하다면, 오목거울을 포함하는 카타디옵트릭 그룹의 직경은 본질적으로 일정하게 유지되어야만 한다. 그러나 이는 수평 아암의 길이 감소를 의미하며, 이는 역으로 도 14a에서 개략적으로 도시되고 도 12의 투사 대물렌즈(1200)에서 개략적으로 도시된 것과 같이 중간이미지들에서의 상대적으로 큰 주광선 각도의 결과에 이르게 된다.

[0113] 도 12로부터 제1꺽음거울 직전의 제2렌즈그룹(LG2)의 두 개 또는 세 개의 파지티브 렌즈들에 대해 매우 큰 렌즈직경이 필요하다는 것이 명백하다.

[0114] 그러나 개구수를 증가시킬 필요가 있다면, 렌즈들을 위한 충분한 공간이 제3대물렌즈부분에, 주로 웨이퍼 인근에 가장 가까운 동공위치의 인근에, 제공되어야만 한다. 만일 나아가 대물렌즈의 트랙 길이를 적절한 값으로 한정할 필요가 있다면, 제1대물렌즈부분(렐리이 그룹(L1))을 축방향으로 더욱 짧게 디자인하고 제1꺽음거울 직전의 렌즈들의 직경을 줄이는 것이 바람직한 것으로 보인다.

[0115] 이러한 목적들은 도 14b에 개략적으로 도시되어 있고 도 13의 실시예(1300)에서 예시적으로 설명되어 있는 것과 같이 기하학적으로 중간이미지들에 광학적으로 가까운 오목거울과 꺽음거울들 사이에 충분한 파지티브 굴절력을 갖는 필드렌즈를 도입함으로써 달성할 수 있다. 도 13으로부터 명백한 바와 같이, 렌즈(1326)에 의해 제공되는 파지티브 굴절력은 주광선(CR)을 광축에 거의 평행하게 가이딩하거나 제1꺽음거울(1313) 상으로 살짝 발산하도록 가이딩하는 것을 가능하게 함으로써 도 12의 디자인에 비해 제1꺽음거울 직전의 두 개 또는 세 개의 렌즈들의 직경이 실질적으로 감소되도록 할 수 있다. 또한, 제1대물렌즈부분(1310)의 제1축상길이(AL1)는 도 12의 제1대물렌즈부분(1210)의 대응하는 길이에 비해 실질적으로 감소된다. 그 결과, 개구수 증가에 기여하는 렌즈들을 도입하기 위하여, 제3대물렌즈부분에서의 더 많은 공간이 이용가능하게 된다. 또한, 필드렌즈가 도입될 때, 오목거울을 포함하는 수평 아암은 실질적으로 더 길어지고 오목거울은 실질적으로 더 작아진다.

[0116] 도 13의 실시예에서, 오목거울(1325)을 포함하는 거울그룹과 필드렌즈(1326) 사이의 공간에 제1중간이미지 및 제2중간이미지가 위치한다는 것도 명백하다. 특히, 중간이미지들과 이에 가장 가까운 광학면(오목거울에 대향하는 파지티브 렌즈(1326)의 렌즈면) 사이의 축상 거리가 충분히 크게 되어, 근축 중간이미지(근축광선에 의해 형성된 중간이미지)와 (결상의 주변광선에 의해 형성된) 주변광선 중간이미지 사이의 축방향으로 정의된 중간이미지 공간 외측에 가장 가까운 광학면이 위치한다. 적어도 10㎜의 최소거리를 여기서 얻는다. (축소 투사 대물렌즈로서 의도된 사용에서 광 전파 방향에서 보았을 때) 필드렌즈는 제1대물렌즈부분(1310)의 최종렌즈와 제3대물렌즈부분(1330)의 최초렌즈로서 효과적이다. 따라서, 도 13이 (제1대물렌즈부분(1310)과 제3대물렌즈부분(1330)에 의해 형성된) 두 개의 굴절성 결상 서브시스템들을 갖는 투사 대물렌즈를 도시한다는 것을 주목할 가치가 있는데, 여기서 렌즈(필드렌즈(1326))는 광학적으로 제1결상 서브시스템과 제2결상 서브시스템 사이에 배열된다. 또한, 각각의 꺽음거울이 굴절성 결상 서브시스템 내부에서 굴절성 서브시스템의 렌즈들 사이에 위치한다.

[0117] 도 15 내지 도 17의 실시예들(표 15, 15a, 16, 16a, 17, 17a에 각각의 상세한 사항이 기재되어 있음)은 도 13의 실시예를 기초로 한 것으로, 충분한 굴절력을 갖는 필드렌즈를 포함하는 기본 디자인이 적절한 렌즈 사이즈를 가지면서도 더 큰 이미지측 개구수를 얻을 수 있도록 한다는 것을 예시적으로 보여준다. 상세한 사항은 표 15, 15a, 16, 16a, 17, 17a에 각각 주어져 있다.

[0118] 도 15의 투사 대물렌즈(1500)에 있어서 이미지측 개구수 NA=1,30이 얻어진다. 여기서 주광선(CR)은 제1꺽음거울 및 제2꺽음거울에서 광축에 거의 평행하다. 상세하게는, 제1주광선방향 코사인 |CRA1|=0.055가 제1꺽음거울에서 얻어지며 제2주광선방향 코사인 CRA2=0.058이 제2꺽음거울에서 얻어진다.

[0119] 투사 대물렌즈들(1300, 1500)에서, 수평 아암에서의 파지티브 필드렌즈(1326, 1526)가 꺽음거울에 매우 가깝게 배열되어 중간이미지들이 필드렌즈와 오목거울 사이의 광학적 재료에 관계없는 공간 내에 형성된다. 그러나 교차하는 렌즈 표시로부터 명백하듯이, 하나 이상의 절두된(truncated) 렌즈가 꺽음거울들 가까이에 사용되어야만 하며, 이는 렌즈 마운팅을 더욱 복잡하게 한다.

[0120] 그러한 마운팅 문제점을 도 16의 투사 대물렌즈(1600)에 대해 피할 수 있는데, 여기서 파지티브 필드렌즈(1626)는 꺽음거울들(1613, 1623)로부터 떨어져서, 대부분 꺽음거울들 직전 및 직후의 렌즈들 사이에 정의된 원통형 공간 외측에 위치한다. 이 실시예에서, 적합한 마운팅 테크닉으로 원형 렌즈들이 사용될 수 있다. 광학적 관점에서, 제1꺽음거울 및 제2꺽음거울에서의 주광선 각도는 거의 제로이다(실질적으로 텔레센트릭 주광선). 중간이미지들(1611, 1621) 다 실질적으로 꺽음거울들과 필드렌즈(1626) 사이에 위치함에 따라, 필드렌즈는 오목거울(1625)을 포함하는 카타디옵트릭 제2결상대물렌즈부분(1620)의 부분이다. 이 변형예에서, 꺽음거울에 가까운 설치공간 문제를 피할 수 있다. 이미지측 개구수 NA=1,30을 얻는다.

[0121] 디자인 유형은 더 큰 개구수에 대한 잠재력을 갖는데, 이는 이미지측 개구수 NA=1,35를 갖는 도 17에 도시된 투사 대물렌즈(1700)로부터 명백하다. 도 16에서의 실시예에서와 같이, 주광선은 꺽음거울들에서 거의 텔레센트릭이며 중간이미지들(1711, 1721)은 실질적으로 꺽음거울들과 필드렌즈(1726) 사이에 위치한다. 도 16의 실시예에 대한 개구수 증가는, 그 실시예에서 다른 및/또는 더 강력한 렌즈들용의 충분한 공간이 높은 개구수 제공의 책임을 지는 제3대물렌즈부분에서 이용가능하다는 것을 보여준다.

[0122] 전술한 바와 같이, 본 발명은 높은 개구수를 가진 카타디옵트릭 투사 대물렌즈를 구현하는 것을 가능하게 하며, 특히 NA>1의 개구수에서 액침 리소그래피를 가능하게 하는데, 이는 상대적으로 작은 광학 재료를 이용하여 이루어질 수 있다. 작은 재료 소비에 대한 가능성은 특히 컴팩트한 투사 대물렌즈를 제조할 수 있다는 사실을 설명하는 파라미터들에 대한 다음 설명에서 증명된다.

[0123] 일반적으로 투사 대물렌즈의 크기는 이미지측 개구수(NA)가 증가함에 따라 기하급수적으로 증가하는 경향이 있다. 실험적으로, 최대 렌즈직경 $D_{max}$가 $D_{max} \sim NA^{k}$(k>1)에 따라 개구수의 증가에 따라 선형보다 더 크게 증가하는 경향이 있다는 것이 밝혀졌다. k=2의 값이 본 적용의 목적으로 사용된 근사이다. 나아가, 최대 렌즈직경 $D_{max}$가 (이미지필드 지점과 광축 사이의 최대거리인 이미지필드 높이 Y'으로 나타내어지는) 이미지필드 사이즈에 비례하여 증가한다는 것이 밝혀졌다. 본 적용을 위해 선형의 의존도를 가정한다. 이러한 고려사항들을 기초로하면 제1컴팩트화 파라미터 COMP1은 다음과 같이 정의된다:

[0124] $COMP1 = D_{max} / (Y' \cdot NA^{2})$

[0125] 주어진 이미지필드 높이와 개구수의 값에 대해 만일 컴팩트한 디자인이 요구된다면 제1컴팩션 파라미터(COMP1)가 가능한한 작아야 한다는 것이 명백하다.

[0126] 투사 대물렌즈를 제공하기 위해 필요한 전체적인 재료 소비를 고려하면, 렌즈의 무명수(無名數, absolute number) $N_L$ 또한 관련된다. 통상적으로, 적은 개수의 렌즈들을 가진 시스템이 많은 수의 렌즈들을 가진 시스템보다 선호된다. 따라서, 제1컴팩트화 파라미터 COMP2는 다음과 같이 정의된다:

[0127] $COMP2 = COOMP1 \cdot N_L$

[0128] 여기서, COMP2에 대한 작은 값은 컴팩트한 광학 시스템을 의미한다.

[0129] 나아가, 본 발명의 바람직한 실시예들에 따른 투사 대물렌즈는 입사측 필드면을 광학적으로 콜레인 출사측 필드면으로 결상하기 위한 적어도 세 개의 대물렌즈부분들을 갖는데, 여기서 결상 대물렌즈부분들은 중간이미지들에서 사슬과 같이 연결된다. 통상적으로, 투사 대물렌즈를 형성하기 위해 필요한 전체적인 재료 및 렌즈들의 개수는 광학 시스템의 결상 대물렌즈부분들의 개수 $N_{OP}$가 커질수록 증가할 것이다. 대물렌즈부분 당 렌즈들의 평균 개수 $N_L/N_{OP}$를 가능한한 작게 유지하는 것이 바람직하다. 따라서, 제3컴팩트화 파라미터 COMP3은 다음과 같이 정의된다:

[0130] $COMP3 = COMP1 \cdot N_L / N_{OP}$

[0131] 여기서, 광학 재료 소비가 적은 투사 대물렌즈는 COMP3의 값이 작은 것으로 특징지어질 것이다.

[0132] 표 18은 컴팩트화 파라미터 COMP1, COMP2, COMP3을 계산하는데 필요한 값들과, 상세한 표로 나타내어진 각 시스템에 대한 이 파라미터들에 대한 각 값을 요약한 것이다((도면의 동일한 번호에 대응하는) 표 번호가 표 18의 열 1에 주어져 있다). 따라서, 적어도 한 개의 오목거울과 적어도 두 개의 결상 대물렌즈부분들(즉, 적어도 한 개의 중간이미지)을 갖는 컴팩트한 카타디옵트릭 투사 대물렌즈를 얻기 위하여, 다음 조건(1) 내지 (3) 중 적어도 한 개를 고려해야만 한다:

[0133] (1) COMP1 < 11 바람직하게는 COMP1 < 10,7을 고려해야만 한다.

[0134] (2) COMP2 < 340 바람직하게는 COMP2 < 320, 더욱 바람직하게는 COMP2 < 300을 고려해야만 한다.

[0135] (3) COMP3 < 110 바람직하게는 COMP3 < 100을 고려해야만 한다.

[0136] 몇몇 실시예들에서는 COMP1<11이고 동시에 COMP2<340으로서, 특히 컴팩트한 디자인을 가능하게 한다.

[0137] 다른 특징은 오목거울의 사이즈에 관한 것으로, 오목거울은 몇몇 실시예들에 있어서 가장 큰 렌즈들에 비해 특히 작음으로써 제조 및 마운팅을 용이하게 한다. 몇몇 실시예들에서 오목거울은 거울직경 $D_M$을 갖고 투사 대물렌즈는 최대 렌즈직경 $D_{max}$를 갖는데, $D_M < 0,75*D_{max}$가 성립한다. 바람직하게는 $D_M < 0,70*D_{max}$가 만족될 수도 있다.

[0138] 표 18은 본 발명에 따른 바람직한 실시예들이, 적절한 재료 소비 및/또는 작은 오목거울을 갖는 컴팩트한 디자인을 본 상세한 설명에서 설명된 디자인 법칙에 따라 얻는다는 것을 나타내는 조건들 중 적어도 한 개를 일반적

으로 만족시킨다는 것을 보여준다.

[0139] 본 발명은 물체평면으로부터 입사한 방사를 오목거울 방향으로 편향시키기 위한 제1꺽음거울과 오목거울로부터 입사한 방사를 이미지평면의 방향으로 편향시키기 위한 제2꺽음거울을 갖는 R-C-R 유형의 카타디옵트릭 투사 대물렌즈의 예들을 이용하여 상세히 설명되었다. 본 발명은 또한 다른 꺽음 기하학적 구조를 갖는 디자인에도 적용될 수 있는데, 예컨대 물체평면으로부터의 방사가 오목거울에서 오목거울로부터의 방사를 이미지평면의 방향으로 편향하기 위해 배열된 제1꺽음거울 상에서의 반사에 앞서 직접 향해지도록 하는 것도 가능하다. 그러한 실시예들에서, 제2꺽음거울이 일반적으로 제1꺽음거울 이후에 제공되어 물체평면과 이미지평면의 평행한 배열을 가능하게 한다.

[0140] 상술한 바와 같은 모든 시스템들이 완전한 시스템들이라는 것, 즉 실 물체(예컨대 포토리소그래피 마스크)의 실상을 (예컨대 웨이퍼 상에) 형성하는 시스템이라는 것이 명백하다. 그러나 시스템은 더 큰 시스템의 서브시스템으로서 사용될 수도 있다. 예컨대 전술한 바와 같은 시스템들 중 일 시스템의 "물체"는 따라서 물체평면 이전에 위치한 결상시스템(예컨대 릴레이 시스템)에 의해 생성된 이미지일 수도 있다. 전술한 바와 같은 시스템들 중 일 시스템에 의해 형성된 이미지는 유사하게 이미지평면 이후의 시스템(예컨대 릴레이 시스템)용 물체로서 사용될 수도 있다. "제1대물렌즈부분" 및 "제2대물렌즈부분" 등과 같은 표현을 가진 대물렌즈부분의 카운팅(enumeration)은 그것들이 축소 대물렌즈로서 사용되었을 때 빔이 통과하는 순서에 관련된다. "제1" 및 "제2" 등의 표현은 상호 상대적인 것으로 이해되어야만 한다. 빔이 통과하는 방향에 있어서 "제1"대물렌즈부분은 "제2"대물렌즈부분 이전에 배열된다. 이것은 전체 시스템에 있어서 제1대물렌즈부분일 필요는 없는데, 즉 시스템에서 이미지평면을 바로 뒤따르는 대물렌즈부분일 필요는 없다. 그러나 이는 예시적인 실시예들에 있어서의 경우이다.

표 1

NA = 1.2 Y = 57.7 mm

| | | | |
|---|---|---|---|
| WL | 157.2852 | 157.2862 | 157.2842 |
| CAF2 | 1.55930394 | 1.55930133 | 1.55930655 |
| IMM | 1.37021435 | 1.37021206 | 1.37021665 |

| 면 | 반경 | 거리 | 재료 | ½ 직경 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.000000000 | 48.029632171 | AIR | 57.700 |
| 1 | 0.000000000 | 39.172776328 | AIR | 72.768 |
| 2 | -96.971407438 | 43.719958386 | CAF2 | 74.418 |
| 3 | -158.002766036 | 5.165244231 | AIR | 98.534 |
| 4 | 781.518257267 | 56.238731708 | CAF2 | 120.188 |
| 5 | -253.290501301 | 4.909571912 | AIR | 123.211 |
| 6 | 288.016848173 | 49.396794919 | CAF2 | 124.172 |
| 7 | -435.168087157 | 26.736905514 | AIR | 122.368 |
| 8 | 105.910945049 | 62.394238960 | CAF2 | 94.783 |
| 9 | 178.698362309 | 79.753912118 | AIR | 79.042 |
| 10 | -274.352911686 | 15.001130830 | CAF2 | 42.116 |
| 11 | -481.511902624 | 46.498544862 | AIR | 46.787 |
| 12 | -70.442117850 | 52.555341121 | CAF2 | 55.942 |
| 13 | -90.455727573 | 1.806830035 | AIR | 78.160 |
| 14 | 3232.255140950 | 36.176140320 | CAF2 | 91.116 |
| 15 | -186.488036306 | 1.000000000 | AIR | 92.734 |
| 16 | 365.731282758 | 20.809036457 | CAF2 | 90.268 |
| 17 | -2611.121142850 | 101.825417590 | AIR | 88.935 |
| 18 | 0.000000000 | 0.000000000 | AIR | 84.274 |
| 19 | 0.000000000 | 65.181628952 | AIR | 84.274 |
| 20 | 258.735107311 | 37.578859051 | CAF2 | 105.187 |
| 21 | -1152.159158690 | 288.921175238 | AIR | 104.969 |
| 22 | -129.279458408 | 15.003276235 | CAF2 | 81.991 |
| 23 | -2262.350961510 | 56.312694509 | AIR | 88.341 |
| 24 | -117.450410520 | 15.001009008 | CAF2 | 91.957 |
| 25 | -309.800170740 | 28.401147541 | AIR | 113.929 |
| 26 R | -175.988719829 | 0.000000000 | AIR | 117.602 |
| 27 R | 0.000000000 | 28.401147541 | AIR | 168.871 |
| 28 | 309.800170740 | 15.001009008 | CAF2 | 112.745 |
| 29 | 117.450410520 | 56.312694509 | AIR | 87.774 |
| 30 | 2262.350961510 | 15.003276235 | CAF2 | 78.116 |
| 31 | 129.279458408 | 288.921175238 | AIR | 70.315 |
| 32 | 1152.159158690 | 37.578859051 | CAF2 | 91.290 |
| 33 | -258.735107311 | 65.181629067 | AIR | 91.634 |
| 34 | 0.000000000 | 0.000000000 | AIR | 84.438 |
| 35 | 0.000000000 | 95.566202561 | AIR | 84.438 |
| 36 | -385.455042894 | 15.000000000 | CAF2 | 93.816 |
| 37 | -452.475904634 | 1.000000003 | AIR | 97.482 |
| 38 | 254.248242468 | 32.034900497 | CAF2 | 105.601 |
| 39 | 5899.473023640 | 1.000023801 | AIR | 105.353 |
| 40 | 190.848967014 | 30.278271846 | CAF2 | 104.456 |
| 41 | 621.351654529 | 138.920391104 | AIR | 102.039 |
| 42 | -123.640610032 | 33.881654714 | CAF2 | 76.579 |
| 43 | 158.155949669 | 49.867792861 | AIR | 80.512 |
| 44 | 412.757602921 | 47.829461944 | CAF2 | 98.825 |
| 45 | -208.949912656 | 17.094373280 | AIR | 103.896 |
| 46 | -158.641772839 | 15.212844332 | CAF2 | 105.038 |
| 47 | -313.678744542 | 1.052590482 | AIR | 118.827 |
| 48 | -829.528825093 | 55.527291516 | CAF2 | 125.550 |
| 49 | -184.492343437 | 11.796257723 | AIR | 129.573 |
| 50 | 260.696800337 | 37.374556186 | CAF2 | 132.314 |
| 51 | 497.808165974 | 65.844307831 | AIR | 127.088 |
| STO | 0.000000000 | 0.000000000 | AIR | 127.776 |
| 53 | 0.000000000 | -22.615444914 | AIR | 128.288 |
| 54 | 358.239917958 | 44.763751865 | CAF2 | 128.404 |
| 55 | -739.494996855 | 1.004833255 | AIR | 127.649 |
| 56 | 242.528908132 | 44.488018592 | CAF2 | 121.037 |
| 57 | 3949.584753010 | 1.000094237 | AIR | 116.970 |
| 58 | 201.527861764 | 58.711711773 | CAF2 | 103.897 |
| 59 | -1366.391075450 | 1.000007100 | AIR | 89.104 |
| 60 | 62.439639631 | 63.828426005 | CAF2 | 55.026 |
| 61 | 0.000000000 | 1.550000000 | IMM | 17.302 |
| 62 | 0.000000000 | 0.000000000 | AIR | 14.425 |

[0141]

표 2

비구면 상수

| 면 번호. 2 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 1.90827109e-008 |
| C2 | 1.04825601e-012 |
| C3 | -1.78093208e-017 |
| C4 | 2.90254732e-020 |
| C5 | -9.28646308e-025 |
| C6 | 9.92757252e-029 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 7 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 4.29834963e-008 |
| C2 | -9.32018657e-013 |
| C3 | 3.88421097e-017 |
| C4 | -1.41048066e-021 |
| C5 | 3.20036532e-026 |
| C6 | -2.55377630e-031 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 12 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 7.12539594e-008 |
| C2 | 7.81169353e-012 |
| C3 | 2.24285994e-016 |
| C4 | 2.70399434e-019 |
| C5 | -5.33658325e-023 |
| C6 | 1.07824675e-026 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호.17 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 3.44530878e-008 |
| C2 | -3.20209778e-013 |
| C3 | 4.32090602e-018 |
| C4 | 3.71891782e-022 |
| C5 | -2.41461999e-026 |
| C6 | 6.86020285e-031 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 20 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 5.99206839e-009 |
| C2 | -2.26778093e-013 |
| C3 | -5.52734742e-019 |
| C4 | 3.37919534e-022 |
| C5 | -2.42416300e-026 |
| C6 | 5.56746821e-031 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 22 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 6.63814399e-008 |
| C2 | 1.50151781e-012 |
| C3 | 3.42715896e-017 |
| C4 | 1.13418489e-020 |
| C5 | -1.20800658e-024 |
| C6 | 1.36760067e-028 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 31 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | -6.63814399e-008 |
| C2 | -1.50151781e-012 |
| C3 | -3.42715896e-017 |
| C4 | -1.13418489e-020 |
| C5 | 1.20800658e-024 |
| C6 | -1.36760067e-028 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 33 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | -5.99206839e-009 |
| C2 | 2.26778093e-013 |
| C3 | 5.52734742e-019 |
| C4 | -3.37919534e-022 |
| C5 | 2.42416300e-026 |
| C6 | -5.56746821e-031 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 41 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 3.02036913e-008 |
| C2 | -8.49897291e-013 |
| C3 | -2.62757380e-018 |
| C4 | 2.42290737e-021 |
| C5 | -1.80384886e-025 |
| C6 | 4.40130958e-030 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 42 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 1.57083344e-007 |
| C2 | -5.70047014e-012 |
| C3 | 9.96269363e-016 |
| C4 | -9.51074757e-020 |
| C5 | 2.78023503e-024 |
| C6 | 2.11268686e-028 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 44 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | -6.63114425e-008 |
| C2 | 1.06389778e-012 |
| C3 | -1.73700448e-016 |
| C4 | 7.83565903e-021 |
| C5 | -3.69851418e-025 |
| C6 | 6.43100123e-031 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 51 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 3.97980700e-008 |
| C2 | -1.14363396e-015 |
| C3 | 2.12173627e-019 |
| C4 | -1.81177143e-022 |
| C5 | -9.65440963e-027 |
| C6 | 3.69511989e-031 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 59 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 3.28933356e-008 |
| C2 | -4.67953085e-013 |
| C3 | 1.96156711e-017 |
| C4 | 1.01627452e-022 |
| C5 | -3.59201172e-026 |
| C6 | 2.16163436e-030 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

[0142]

표 3

NA = 1.1 Y = 57.7 mm

| WL | 157.2852 | 157.2862 | 157.2842 |
|---|---|---|---|
| CAF2 | 1.55930394 | 1.55930133 | 1.55930655 |

| 면 | 반경 | 거리 | 재료 | ½ 직경 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.000000000 | 47.596241819 | AIR | 57.700 |
| 1 | 0.000000000 | 21.484078486 | AIR | 71.361 |
| 2 | -130.196528296 | 81.232017348 | CAF2 | 71.411 |
| 3 | -201.970612192 | 1.090292328 | AIR | 102.064 |
| 4 | 0.000000000 | 43.035190104 | CAF2 | 111.239 |
| 5 | -219.688636866 | 1.000008083 | AIR | 113.511 |
| 6 | 196.835177454 | 48.645753259 | CAF2 | 112.440 |
| 7 | -1062.563638620 | 1.011278327 | AIR | 109.626 |
| 8 | 102.486371771 | 51.257817769 | CAF2 | 88.766 |
| 9 | 125.152226832 | 78.537765316 | AIR | 72.052 |
| 10 | -276.036111675 | 19.246024827 | CAF2 | 35.565 |
| 11 | -344.559129459 | 44.417965355 | AIR | 42.153 |
| 12 | -73.158562407 | 46.803238343 | CAF2 | 53.934 |
| 13 | -81.595671547 | 1.005611042 | AIR | 71.774 |
| 14 | 917.859457951 | 35.862144308 | CAF2 | 83.802 |
| 15 | -184.688054893 | 1.002179985 | AIR | 85.191 |
| 16 | 520.342292054 | 23.034106261 | CAF2 | 82.478 |
| 17 | -768.099839930 | 99.999802859 | AIR | 80.816 |
| 18 | 0.000000000 | 0.000000000 | AIR | 72.928 |
| 19 | 0.000000000 | 49.999962118 | AIR | 72.928 |
| 20 | 241.487091044 | 30.190977973 | CAF2 | 85.575 |
| 21 | -1164.355916310 | 264.025266484 | AIR | 85.757 |
| 22 | -132.516232462 | 15.000193519 | CAF2 | 81.831 |
| 23 | -1356.484422410 | 61.385058143 | AIR | 89.265 |
| 24 | -108.588059874 | 14.999993604 | CAF2 | 92.698 |
| 25 | -296.429590341 | 28.045104017 | AIR | 119.543 |
| 26 R | -171.604551151 | 0.000000000 | AIR | 121.617 |
| 27 R | 0.000000000 | 28.045104017 | AIR | 187.566 |
| 28 | 296.429590341 | 14.999993604 | CAF2 | 118.640 |
| 29 | 108.588059874 | 61.385058143 | AIR | 87.692 |
| 30 | 1356.484422410 | 15.000193519 | CAF2 | 75.436 |
| 31 | 132.516232462 | 264.025266484 | AIR | 68.614 |
| 32 | 1164.355916310 | 30.190977973 | CAF2 | 79.925 |
| 33 | -241.487091044 | 49.999914356 | AIR | 79.985 |
| 34 | 0.000000000 | 0.000000000 | AIR | 73.069 |
| 35 | 0.000000000 | 107.612168038 | AIR | 73.069 |
| 36 | -693.184976623 | 16.117644573 | CAF2 | 81.276 |
| 37 | -696.986438150 | 2.228062889 | AIR | 84.557 |
| 38 | 272.001870523 | 26.851322582 | CAF2 | 90.453 |
| 39 | -11518.014964700 | 1.683452367 | AIR | 90.747 |
| 40 | 204.924277454 | 41.781211890 | CAF2 | 91.627 |
| 41 | 3033.528484830 | 106.582128113 | AIR | 88.228 |
| 42 | -134.400581416 | 22.683343530 | CAF2 | 70.595 |
| 43 | 149.085276952 | 30.111359058 | AIR | 72.323 |
| 44 | -1571.459281550 | 66.592767742 | CAF2 | 74.527 |
| 45 | -685.256687590 | 11.096249234 | AIR | 101.072 |
| 46 | -661.646567779 | 85.751986497 | CAF2 | 106.788 |
| 47 | -157.414472118 | 1.578582665 | AIR | 121.872 |
| 48 | 281.442061787 | 38.097581301 | CAF2 | 126.470 |
| 49 | 2477.671193110 | 77.916990124 | AIR | 123.978 |
| 50 | 0.000000000 | 0.000000000 | AIR | 117.805 |
| 51 | 0.000000000 | -4.224796803 | AIR | 118.082 |
| 52 | 629.850672554 | 48.195853438 | CAF2 | 118.380 |
| 53 | -440.009879814 | 0.999978780 | AIR | 118.034 |
| 54 | 243.613408298 | 52.262412712 | CAF2 | 109.822 |
| 55 | 11973.088705700 | 1.027491789 | AIR | 101.920 |
| 56 | 115.269169988 | 60.712228046 | CAF2 | 83.889 |
| 57 | 372.135519803 | 1.030688086 | AIR | 63.468 |
| 58 | 72.776794128 | 53.208894511 | CAF2 | 48.890 |
| 59 | 0.000000000 | 0.000000000 | CAF2 | 14.425 |
| 60 | 0.000000000 | 0.000000000 | AIR | 14.425 |

[0143]

표 4

비구면 상수

| 면 번호. 2 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | -4.90420246e-011 |
| C2 | 7.22127484e-014 |
| C3 | 1.72996941e-017 |
| C4 | -3.83158229e-021 |
| C5 | 1.65903133e-024 |
| C6 | -1.68929866e-028 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 7 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 2.96559302e-008 |
| C2 | -4.45892297e-013 |
| C3 | 1.35851832e-017 |
| C4 | -9.75107227e-022 |
| C5 | 6.40021152e-026 |
| C6 | -9.93085086e-031 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 12 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 6.82301843e-008 |
| C2 | 6.13339976e-012 |
| C3 | -1.47536226e-016 |
| C4 | -7.56092252e-020 |
| C5 | 1.52586945e-023 |
| C6 | -1.35801785e-027 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호.17 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 4.47108229e-008 |
| C2 | -4.00171489e-013 |
| C3 | 4.13032418e-018 |
| C4 | 6.29956500e-022 |
| C5 | -3.85978221e-026 |
| C6 | 2.31708241e-030 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 20 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 2.82365956e-009 |
| C2 | -3.11781699e-013 |
| C3 | -1.69631649e-018 |
| C4 | 1.14900242e-021 |
| C5 | -1.52629451e-025 |
| C6 | 8.81503206e-030 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 22 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 6.25856212e-008 |
| C2 | 9.37857950e-013 |
| C3 | 3.67635940e-017 |
| C4 | 8.35698619e-021 |
| C5 | -1.33482892e-024 |
| C6 | 1.38831758e-028 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 31 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | -6.25856212e-008 |
| C2 | -9.37857950e-013 |
| C3 | -3.67635940e-017 |
| C4 | -8.35698619e-021 |
| C5 | 1.33482892e-024 |
| C6 | -1.38831758e-028 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 33 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | -2.82365956e-009 |
| C2 | 3.11781699e-013 |
| C3 | 1.69631649e-018 |
| C4 | -1.14900242e-021 |
| C5 | 1.52629451e-025 |
| C6 | -8.81503206e-030 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 41 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 2.31765306e-008 |
| C2 | -1.15108202e-012 |
| C3 | 2.55992541e-017 |
| C4 | 6.87393928e-022 |
| C5 | -3.66676084e-026 |
| C6 | -2.77895503e-030 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 42 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 1.23211770e-007 |
| C2 | -2.94099944e-012 |
| C3 | 1.13325221e-015 |
| C4 | -1.09316744e-019 |
| C5 | 2.28727473e-024 |
| C6 | 1.03306617e-027 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 44 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | -1.18481725e-007 |
| C2 | -2.04738790e-012 |
| C3 | -5.33930585e-016 |
| C4 | -1.51638014e-020 |
| C5 | 1.67227571e-024 |
| C6 | -4.91365155e-028 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호.49 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 2.68959500e-008 |
| C2 | -9.41267411e-014 |
| C3 | 2.54969437e-018 |
| C4 | -1.50502498e-022 |
| C5 | 6.35633774e-027 |
| C6 | -9.71849339e-032 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

| 면 번호. 57 | |
|---|---|
| K | 0.0000 |
| C1 | 3.32050996e-008 |
| C2 | 4.58821096e-012 |
| C3 | -7.80384116e-016 |
| C4 | 1.16466986e-019 |
| C5 | -1.04436731e-023 |
| C6 | 4.66260861e-028 |
| C7 | 0.00000000e+000 |
| C8 | 0.00000000e+000 |
| C9 | 0.00000000e+000 |

[0144]

표 5

NAO = 0.27 Y = 56.08 mm

| | | | |
|---|---|---|---|
| WL | 193.3685 | 193.368 | 193.3675 |
| SiO22 | 1.56078491 | 1.5607857 | 1.56078649 |

| 면 | 반경 | 거리 | 재료 | ½ 직경 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.000000000 | 40.000000000 | AIR | 56.080 |
| 1 | 700.000000000 | 30.000000000 | SIO2 | 70.401 |
| 2 | -700.000000000 | 1.000000000 | AIR | 74.095 |
| 3 | 700.000000000 | 30.000000000 | SIO2 | 75.879 |
| 4 | -700.000000000 | -1.000000000 | AIR | 77.689 |
| 5 | 500.000000000 | 30.000000000 | SIO2 | 78.339 |
| 6 | -1000.000000000 | 15.000000000 | AIR | 78.060 |
| 7 | 700.000000000 | 30.000000000 | SIO2 | 76.609 |
| 8 | -700.000000000 | 0.000000000 | AIR | 74.839 |
| 9 | 0.000000000 | 75.000000000 | SIO2 | 74.070 |
| 10 | 0.000000000 | 75.000000000 | SIO2 | 64.964 |
| 11 | 0.000000000 | 13.000000000 | AIR | 55.857 |
| 12 | -300.000000000 | 10.000000000 | SIO2 | 54.317 |
| 13 | -500.000000000 | 5.000000000 | AIR | 53.682 |
| 14 | 0.000000000 | 10.000000000 | AIR | 52.538 |
| 15 | -290.000000000 | 0.000000000 | AIR | 55.162 |
| 16 | 0.000000000 | 15.000000000 | AIR | 54.666 |
| 17 | 500.000000000 | 10.000000000 | SIO2 | 56.801 |
| 18 | 300.000000000 | 13.000000000 | AIR | 57.279 |
| 19 | 0.000000000 | 75.000000000 | SIO2 | 58.589 |
| 20 | 0.000000000 | 75.000000000 | SIO2 | 66.927 |
| 21 | 0.000000000 | 30.000000000 | AIR | 75.266 |
| 22 | 300.000000000 | 30.000000000 | SIO2 | 82.546 |
| 23 | -400.000000000 | 40.000100000 | AIR | 82.595 |
| 24 | 500.000000000 | 25.000000000 | SIO2 | 76.453 |
| 25 | -400.000000000 | 41.206360088 | AIR | 74.915 |
| 26 | 0.000000000 | 0.000000000 | AIR | 63.567 |

[0145]

표 9

| 면 | 반경 | 두께 | 재료 | 굴절율 | 반지름 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,000000 | 59,209510 | | | 64,0 |
| 1 | 6291,598274 | 23,678332 | SILUV | 1,560491 | 85,8 |
| 2 | -280,600902 | 1,025405 | | | 87,8 |
| 3 | 144,511042 | 32,290800 | SILUV | 1,560491 | 93,4 |
| 4 | 416,821920 | 57,132926 | | | 91,4 |
| 5 | 163,242835 | 31,337729 | SILUV | 1,560491 | 78,6 |
| 6 | -661,478201 | 9,882827 | | | 75,2 |
| 7 | 85,805375 | 31,336035 | SILUV | 1,560491 | 59,0 |
| 8 | 97,841124 | 32,157174 | | | 46,3 |
| 9 | -110,558780 | 50,000185 | SILUV | 1,560491 | 43,4 |
| 10 | -105,568468 | 7,861299 | | | 62,9 |
| 11 | -95,869843 | 33,360087 | SILUV | 1,560491 | 64,6 |
| 12 | -396,465160 | 25,208502 | | | 89,8 |
| 13 | -295,388642 | 49,666565 | SILUV | 1,560491 | 103,3 |
| 14 | -127,525234 | 0,999856 | | | 109,4 |
| 15 | -279,794894 | 36,644817 | SILUV | 1,560491 | 118,2 |
| 16 | -160,830350 | 0,999370 | | | 121,6 |
| 17 | 321,280433 | 28,683439 | SILUV | 1,560491 | 121,8 |
| 18 | 1713,098384 | 0,999141 | | | 120,6 |
| 19 | 249,641678 | 30,928964 | SILUV | 1,560491 | 117,3 |
| 20 | 1775,118866 | 84,998661 | | | 114,7 |
| 21 | 0,000000 | -14,998086 | REFL | | 183,2 |
| 22 | -322,738827 | -22,708716 | SILUV | 1,560491 | 86,5 |
| 23 | 1794,276655 | -198,953288 | | | 84,1 |
| 24 | 102,167956 | -12,500000 | SILUV | 1,560491 | 72,4 |
| 25 | 15297,224085 | -58,562725 | | | 82,5 |
| 26 | 106,167570 | -12,500000 | SILUV | 1,560491 | 89,2 |
| 27 | 192,760260 | -27,399192 | | | 107,8 |
| 28 | 154,038668 | 27,399192 | REFL | | 115,3 |
| 29 | 192,760260 | 12,500000 | SILUV | 1,560491 | 107,8 |
| 30 | 106,167570 | 58,562725 | | | 89,2 |
| 31 | 15297,224085 | 12,500000 | SILUV | 1,560491 | 82,5 |
| 32 | 102,167956 | 198,954271 | | | 72,4 |
| 33 | 1794,276655 | 22,708716 | SILUV | 1,560491 | 84,1 |
| 34 | -322,738827 | 14,999504 | | | 86,5 |
| 35 | 0,000000 | -84,999766 | REFL | | 179,0 |
| 36 | 665,918045 | -20,162556 | SILUV | 1,560491 | 112,6 |
| 37 | 332,340267 | -0,999827 | | | 115,0 |
| 38 | -545,416435 | -30,156611 | SILUV | 1,560491 | 121,7 |
| 39 | 972,309758 | -0,999891 | | | 122,2 |
| 40 | -239,092507 | -40,367741 | SILUV | 1,560491 | 122,8 |
| 41 | -3867,765964 | -1,000866 | | | 121,0 |
| 42 | -145,814165 | -43,782811 | SILUV | 1,560491 | 108,8 |
| 43 | -475,322286 | -20,838629 | | | 103,7 |
| 44 | 994,251725 | -9,999791 | SILUV | 1,560491 | 100,7 |
| 45 | -102,926902 | -38,025955 | | | 82,3 |

[0146]

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 46 | -666,254624 | -9,999917 | SILUV | 1,560491 | 82,7 |
| 47 | -120,991218 | -38,125943 | | | 83,4 |
| 48 | -444,529439 | -19,995612 | SILUV | 1,560491 | 93,9 |
| 49 | 7256,085975 | -72,078976 | | | 96,0 |
| 50 | 861,320622 | -16,316029 | SILUV | 1,560491 | 115,4 |
| 51 | 367,114240 | -21,532267 | | | 118,5 |
| 52 | -578,781634 | -19,544116 | SILUV | 1,560491 | 135,3 |
| 53 | -1539,844110 | -1,000064 | | | 136,2 |
| 54 | -409,215581 | -53,967605 | SILUV | 1,560491 | 140,1 |
| 55 | 388,259251 | -21,190519 | | | 140,0 |
| 56 | 0,000000 | -14,363454 | | | 131,6 |
| 57 | -492,744559 | -42,747305 | SILUV | 1,560491 | 135,3 |
| 58 | 596,175995 | -0,999975 | | | 134,4 |
| 59 | -188,727208 | -44,971247 | SILUV | 1,560491 | 119,1 |
| 60 | -1267,900423 | -0,999664 | | | 114,6 |
| 61 | -118,853763 | -29,974419 | SILUV | 1,560491 | 90,5 |
| 62 | -172,286110 | -2,720285 | | | 82,2 |
| 63 | -83,065857 | -24,574193 | SILUV | 1,560491 | 67,0 |
| 64 | -111,658319 | -1,105096 | | | 56,0 |
| 65 | -69,828581 | -43,055955 | SILUV | 1,560491 | 50,3 |
| 66 | 0,000000 | -1,001571 | H2OV193 | 1,436823 | 20,5 |
| 67 | 0,000000 | 0,000000 | | | 19,0 |

[0147]

[0148] [표 9a]

비구면 상수

| 면 | 6 | 15 | 20 | 24 |
|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 7,168010E-08 | -6,564766E-09 | 1,990247E-08 | -1,434139E-07 |
| C2 | 7,874235E-13 | 4,352930E-13 | 2,214975E-13 | -3,992456E-12 |
| C3 | 3,026860E-16 | -2,400883E-17 | -2,046213E-17 | -3,265156E-16 |
| C4 | -3,434246E-20 | 3,866886E-22 | 9,725329E-22 | 3,104990E-21 |
| C5 | 3,870353E-25 | 1,162444E-27 | -2,756730E-26 | -1,874174E-24 |
| C6 | 7,234455E-29 | -1,259764E-32 | 4,143527E-31 | -4,628892E-28 |

| 면 | 43 | 45 | 47 | 50 |
|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | -1,007015E-08 | -4,489903E-08 | 5,184442E-08 | 3,174451E-08 |
| C2 | -3,821558E-13 | 1,198606E-12 | 5,582183E-12 | 5,537615E-14 |
| C3 | 8,872440E-17 | -1,562441E-16 | 2,393671E-16 | 3,190712E-18 |
| C4 | -6,956619E-21 | 1,250805E-20 | 7,608169E-21 | -6,524213E-22 |
| C5 | 3,866469E-25 | 2,467619E-24 | -1,988373E-24 | -7,379838E-27 |
| C6 | -7,623750E-30 | -1,675469E-28 | 2,670495E-28 | -9,847764E-31 |

| 면 | 62 | 64 |
|---|---|---|
| K | 0 | 0 |
| C1 | 6,908374E-08 | -2,282295E-07 |
| C2 | -7,414546E-12 | -2,062783E-11 |
| C3 | 1,971662E-16 | 1,258799E-15 |
| C4 | -5,334580E-20 | -2,146440E-19 |
| C5 | 5,884223E-24 | 4,332875E-23 |
| C6 | -3,743875E-28 | -1,189088E-27 |

[0149]

표 10

| 면 | 반경 | 두께 | 재료 | 굴절율 | 반지름 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,000000 | 51,000259 | | | 64,0 |
| 1 | 1084,670740 | 20,061470 | SILUV | 1,560491 | 84,0 |
| 2 | -489,591572 | 8,024505 | | | 85,7 |
| 3 | 147,977412 | 33,265720 | SILUV | 1,560491 | 93,2 |
| 4 | 533,607588 | 60,035648 | | | 91,5 |
| 5 | 162,257926 | 31,487872 | SILUV | 1,560491 | 79,2 |
| 6 | -641,542087 | 12,321334 | | | 75,9 |
| 7 | 88,691635 | 37,381348 | SILUV | 1,560491 | 60,1 |
| 8 | 113,767960 | 26,723349 | | | 45,6 |
| 9 | -117,888976 | 42,501530 | SILUV | 1,560491 | 42,0 |
| 10 | -162,865349 | 13,700402 | | | 59,6 |
| 11 | -116,482373 | 32,902705 | SILUV | 1,560491 | 63,1 |
| 12 | -306,816392 | 26,438566 | | | 83,9 |
| 13 | -323,530175 | 41,085951 | SILUV | 1,560491 | 99,9 |
| 14 | -137,244758 | 5,556612 | | | 105,5 |
| 15 | -451,636628 | 44,589731 | SILUV | 1,560491 | 115,9 |
| 16 | -154,769207 | 0,999820 | | | 119,2 |
| 17 | 392,370175 | 25,008628 | SILUV | 1,560491 | 118,0 |
| 18 | 3014,562689 | 0,999723 | | | 117,0 |
| 19 | 289,177591 | 25,844242 | SILUV | 1,560491 | 114,3 |
| 20 | 925,962044 | 84,999670 | | | 112,1 |
| 21 | 0,000000 | -14,999476 | REFL | | 175,2 |
| 22 | -331,395343 | -22,607980 | SILUV | 1,560491 | 89,7 |
| 23 | 3332,007318 | -230,559976 | | | 87,1 |
| 24 | 98,691313 | -12,500000 | SILUV | 1,560491 | 73,1 |
| 25 | 28881,747267 | -55,643371 | | | 84,0 |
| 26 | 105,777999 | -12,500000 | SILUV | 1,560491 | 89,4 |
| 27 | 190,916612 | -27,579443 | | | 109,5 |
| 28 | 155,323230 | 27,579443 | REFL | | 118,2 |
| 29 | 190,916612 | 12,500000 | SILUV | 1,560491 | 109,5 |
| 30 | 105,777999 | 55,643371 | | | 89,4 |
| 31 | 28881,747267 | 12,500000 | SILUV | 1,560491 | 84,0 |
| 32 | 98,691313 | 230,560091 | | | 73,1 |
| 33 | 3332,007318 | 22,607980 | SILUV | 1,560491 | 87,1 |
| 34 | -331,395343 | 14,999815 | | | 89,7 |
| 35 | 0,000000 | -85,031452 | REFL | | 185,4 |
| 36 | 632,234731 | -21,937556 | SILUV | 1,560491 | 116,1 |
| 37 | 312,776852 | -1,989523 | | | 118,6 |
| 38 | -419,317799 | -39,548184 | SILUV | 1,560491 | 126,0 |
| 39 | 679,933212 | -11,879717 | | | 126,0 |
| 40 | -359,055554 | -33,826228 | SILUV | 1,560491 | 122,0 |
| 41 | 1713,588185 | -6,930143 | | | 120,4 |
| 42 | -130,793879 | -40,665153 | SILUV | 1,560491 | 103,0 |
| 43 | -297,152405 | -24,525611 | | | 97,5 |
| 44 | 888,942670 | -10,000074 | SILUV | 1,560491 | 94,8 |
| 45 | -95,853886 | -38,822971 | | | 77,7 |

[0150]

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 46 | -1286,530610 | -10,502279 | SILUV | 1,560491 | 78,3 |
| 47 | -122,332491 | -53,312951 | | | 80,5 |
| 48 | -1046,310490 | -29,995767 | SILUV | 1,560491 | 98,8 |
| 49 | -3155,314818 | -35,731529 | | | 106,3 |
| 50 | -2635,516216 | -38,906996 | SILUV | 1,560491 | 121,6 |
| 51 | 253,216058 | -1,026566 | | | 125,0 |
| 52 | -477,178385 | -27,726167 | SILUV | 1,560491 | 136,5 |
| 53 | -1111,410551 | -1,006437 | | | 137,0 |
| 54 | -419,465047 | -45,153215 | SILUV | 1,560491 | 138,9 |
| 55 | 657,652879 | -27,561809 | | | 138,4 |
| 56 | 0,000000 | 11,279146 | | | 129,1 |
| 57 | -1714,364190 | -34,463306 | SILUV | 1,560491 | 133,1 |
| 58 | 435,051330 | -26,422505 | | | 131,9 |
| 59 | -217,425708 | -40,030383 | SILUV | 1,560491 | 113,2 |
| 60 | 191072,918549 | -0,999778 | | | 109,6 |
| 61 | -106,841172 | -32,593766 | SILUV | 1,560491 | 85,0 |
| 62 | -202,323930 | -0,999427 | | | 77,0 |
| 63 | -79,299863 | -25,891843 | SILUV | 1,560491 | 63,5 |
| 64 | -117,061751 | -0,998476 | | | 52,9 |
| 65 | -70,340516 | -36,868819 | SILUV | 1,560491 | 46,7 |
| 66 | 0,000000 | -1,001571 | H2OV193 | 1,436823 | 20,5 |
| 67 | 0,000000 | 0,000000 | | | 19,0 |

[0151]

[0152] [표 10a]

비구면 상수

| 면 | 6 | 15 | 23 | 24 | 32 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 8,416890E-08 | -2,308559E-08 | -8,485003E-09 | -1,223767E-07 | -1,223767E-07 |
| C2 | 1,006640E-12 | 1,109550E-13 | -6,734945E-14 | -7,438273E-12 | -7,438273E-12 |
| C3 | 3,617643E-16 | -6,344353E-18 | 5,661979E-19 | -4,704304E-16 | -4,704304E-16 |
| C4 | -4,192188E-20 | 1,566682E-22 | -2,504587E-22 | 3,963572E-21 | 3,963572E-21 |
| C5 | 6,704096E-26 | -4,902118E-27 | 2,908669E-26 | -6,736661E-24 | -6,736661E-24 |
| C6 | 1,721955E-28 | 4,306889E-32 | -1,350234E-30 | -4,531767E-28 | -4,531767E-28 |

| 면 | 33 | 43 | 45 | 47 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | -8,485003E-09 | -3,497951E-09 | -4,202804E-08 | 6,218114E-08 | 3,138180E-08 |
| C2 | -6,734945E-14 | -5,106017E-13 | 1,982600E-12 | 4,755456E-12 | -3,924136E-13 |
| C3 | 5,661979E-19 | 6,844726E-17 | -1,463517E-16 | 4,467358E-16 | 5,657046E-18 |
| C4 | -2,504587E-22 | -3,263478E-21 | 9,687863E-21 | 2,313332E-20 | -6,552593E-22 |
| C5 | 2,908669E-26 | 9,349870E-26 | 2,764278E-24 | -3,886568E-24 | 2,087202E-26 |
| C6 | -1,350234E-30 | 2,248476E-30 | 7,460803E-29 | 4,543438E-28 | -5,207993E-31 |

| 면 | 55 | 62 | 64 |
|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 |
| C1 | -5,022929E-10 | -2,500268E-08 | -1,132630E-07 |
| C2 | -3,387071E-14 | -7,360583E-12 | -3,255025E-11 |
| C3 | -1,887886E-17 | 1,175353E-15 | 6,754420E-15 |
| C4 | 6,061750E-22 | -2,566402E-19 | -9,778374E-19 |
| C5 | -8,730441E-27 | 2,406082E-23 | 6,403897E-23 |
| C6 | 4,736715E-32 | -1,314800E-27 | 1,523975E-27 |

[0153]

표 11

| 면 | 반경 | 두께 | 재료 | 굴절율 | 반지름 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,000000 | 42,716567 | | | 63,0 |
| 1 | 187,082284 | 29,074103 | SIO2 | 1,560491 | 87,7 |
| 2 | 1122,624300 | 13,704059 | | | 87,8 |
| 3 | 257,788495 | 25,970502 | SIO2 | 1,560491 | 89,3 |
| 4 | 4087,923719 | 6,751806 | | | 88,2 |
| 5 | 149,090802 | 9,999268 | SIO2 | 1,560491 | 84,3 |
| 6 | 112,190840 | 20,619019 | | | 79,4 |
| 7 | 222,671339 | 39,005001 | SIO2 | 1,560491 | 79,4 |
| 8 | -171,486868 | 0,999098 | | | 77,9 |
| 9 | 72,242638 | 58,534093 | SIO2 | 1,560491 | 61,0 |
| 10 | 103,263585 | 23,657309 | | | 38,2 |
| 11 | -120,537552 | 36,218695 | SIO2 | 1,560491 | 39,7 |
| 12 | -79,009690 | 13,559024 | | | 52,6 |
| 13 | -70,743286 | 10,000301 | SIO2 | 1,560491 | 55,6 |
| 14 | -406,875493 | 15,578104 | | | 72,7 |
| 15 | -167,014571 | 41,099022 | SIO2 | 1,560491 | 76,7 |
| 16 | -97,881974 | 0,999302 | | | 86,2 |
| 17 | -289,132352 | 49,908319 | SIO2 | 1,560491 | 102,4 |
| 18 | -127,491717 | 0,999640 | | | 108,2 |
| 19 | -915,187280 | 29,128849 | SIO2 | 1,560491 | 114,2 |
| 20 | -267,279137 | 70,000315 | | | 116,1 |
| 21 | 0,000000 | -99,530888 | REFL | | 163,4 |
| 22 | -211,224346 | -59,634155 | SIO2 | 1,560491 | 129,3 |
| 23 | 847,318306 | -285,786240 | | | 127,5 |
| 24 | 108,606993 | -12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 68,7 |
| 25 | -2037,814268 | -40,801930 | | | 77,3 |
| 26 | 98,650256 | -12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 79,4 |
| 27 | 173,699507 | -12,863441 | | | 95,4 |
| 28 | 147,630649 | 12,863441 | REFL | | 98,7 |
| 29 | 173,699507 | 12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 95,4 |
| 30 | 98,650256 | 40,801930 | | | 79,4 |
| 31 | -2037,814268 | 12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 77,3 |
| 32 | 108,606993 | 285,786240 | | | 68,7 |
| 33 | 847,318306 | 59,634155 | SIO2 | 1,560491 | 127,5 |
| 34 | -211,224346 | 81,116047 | | | 129,3 |
| 35 | 0,000000 | -73,612596 | REFL | | 160,7 |
| 36 | -389,330139 | -33,487696 | SIO2 | 1,560491 | 114,9 |
| 37 | 1028,934202 | -0,999947 | | | 113,5 |
| 38 | -174,265376 | -32,363134 | SIO2 | 1,560491 | 104,3 |
| 39 | -396,847027 | -1,000532 | | | 99,8 |
| 40 | -121,243745 | -48,918207 | SIO2 | 1,560491 | 89,3 |
| 41 | -131,171270 | -29,702617 | | | 71,3 |
| 42 | 335,952888 | -10,034790 | SIO2 | 1,560491 | 69,3 |
| 43 | -82,977553 | -43,925742 | | | 61,4 |
| 44 | 142,301184 | -9,999862 | SIO2 | 1,560491 | 63,2 |
| 45 | -263,305242 | -23,458962 | | | 74,7 |

[0154]

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 46 | 2291,125201 | -61,398344 | SIO2 | 1,560491 | 84,5 |
| 47 | 165,812687 | -1,061241 | | | 103,9 |
| 48 | 486,553030 | -37,309271 | SIO2 | 1,560491 | 113,9 |
| 49 | 194,984003 | -21,455915 | | | 120,7 |
| 50 | -2153,235102 | -50,329924 | SIO2 | 1,560491 | 142,6 |
| 51 | 291,296473 | -0,999132 | | | 144,8 |
| 52 | -443,499291 | -44,594835 | SIO2 | 1,560491 | 146,7 |
| 53 | 1173,500711 | -8,577265 | | | 145,5 |
| 54 | 0,000000 | 7,578035 | | | 138,4 |
| 55 | -337,532449 | -35,808358 | SIO2 | 1,560491 | 139,1 |
| 56 | -1836,960645 | -1,165380 | | | 136,4 |
| 57 | -439,395199 | -28,816834 | SIO2 | 1,560491 | 133,5 |
| 58 | 2161,178835 | -0,998190 | | | 130,3 |
| 59 | -260,497359 | -36,004531 | SIO2 | 1,560491 | 115,8 |
| 60 | 5382,003743 | -0,997164 | | | 110,1 |
| 61 | -122,176927 | -36,201583 | SIO2 | 1,560491 | 86,2 |
| 62 | -321,548352 | -1,000000 | | | 76,5 |
| 63 | -54,686592 | -41,835126 | SIO2 | 1,560491 | 49,5 |
| 64 | 0,000000 | -3,000000 | H2O | 1,436823 | 25,2 |
| 65 | 0,000000 | 0,000000 | | | 18,8 |

[0155]

[0156] [표 11a]

비구면 상수

| 면 | 8 | 14 | 19 | 22 | 25 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 1,079370E-07 | 7,669220E-08 | -7,045424E-09 | 1,010508E-08 | 3,738770E-08 |
| C2 | 1,064327E-12 | -1,973038E-11 | -3,066122E-14 | 1,795924E-13 | -3,496492E-12 |
| C3 | -4,566909E-16 | 2,138994E-15 | -4,118337E-18 | 1,934995E-18 | 3,233016E-16 |
| C4 | 1,905320E-19 | -1,074179E-19 | 3,495758E-22 | 1,389960E-22 | -3,498294E-20 |
| C5 | -1,972022E-23 | -2,090955E-24 | -2,483792E-26 | -5,289985E-27 | 2,704951E-24 |
| C6 | 8,751032E-28 | 4,279927E-28 | 4,016359E-31 | 1,320749E-31 | -9,856748E-29 |

| 면 | 31 | 34 | 42 | 46 | 48 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 3,738770E-08 | 1,010508E-08 | 3,117477E-08 | 8,249850E-08 | 4,142725E-08 |
| C2 | -3,496492E-12 | 1,795924E-13 | -1,385143E-11 | -1,955317E-13 | -2,012061E-12 |
| C3 | 3,233016E-16 | 1,934995E-18 | 2,707311E-15 | -8,022466E-17 | 1,566310E-17 |
| C4 | -3,498294E-20 | 1,389960E-22 | -3,351896E-19 | -1,723197E-20 | 1,046236E-22 |
| C5 | 2,704951E-24 | -5,289985E-27 | 2,318550E-23 | -8,777152E-25 | 3,404661E-25 |
| C6 | -9,856748E-29 | 1,320749E-31 | -7,018917E-28 | -2,800720E-28 | -8,280605E-30 |

| 면 | 51 | 57 | 60 |
|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 3,292883E-10 | 4,807681E-08 | 3,409977E-09 |
| C2 | -7,254285E-13 | -2,265563E-12 | -3,641765E-12 |
| C3 | 2,476488E-17 | 6,703492E-17 | 2,594792E-16 |
| C4 | -1,056859E-21 | -1,704146E-21 | -1,764035E-20 |
| C5 | 4,966804E-26 | 4,472968E-26 | 7,777614E-25 |
| C6 | -8,485797E-31 | -6,865707E-31 | -1,797945E-29 |

[0157]

표 12

| 면 | 반경 | 두께 | 재료 | 굴절율 | 반지름 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,000000 | 35,040681 | | | 61,5 |
| 1 | 210,405327 | 30,736588 | SIO2 | 1,560491 | 81,0 |
| 2 | -829,214191 | 5,286654 | | | 81,6 |
| 3 | 107,948426 | 51,211605 | SIO2 | 1,560491 | 82,3 |
| 4 | 81,561700 | 24,185596 | | | 66,5 |
| 5 | 129,355284 | 38,167801 | SIO2 | 1,560491 | 67,5 |
| 6 | -166,842164 | 0,997639 | | | 65,8 |
| 7 | 73,621253 | 52,812760 | SIO2 | 1,560491 | 55,2 |
| 8 | 87,502326 | 23,343983 | | | 35,4 |
| 9 | -63,355137 | 18,274984 | SIO2 | 1,560491 | 38,4 |
| 10 | -64,795456 | 15,650649 | | | 46,8 |
| 11 | -65,436171 | 11,477841 | SIO2 | 1,560491 | 52,6 |
| 12 | -192,744558 | 16,904355 | | | 69,7 |
| 13 | -246,808133 | 48,828721 | SIO2 | 1,560491 | 85,8 |
| 14 | -107,969356 | 0,997713 | | | 94,9 |
| 15 | -447,790890 | 56,851474 | SIO2 | 1,560491 | 111,1 |
| 16 | -133,844748 | 0,997553 | | | 116,8 |
| 17 | 315,857486 | 38,321196 | SIO2 | 1,560491 | 120,8 |
| 18 | -1923,797869 | 0,996321 | | | 119,7 |
| 19 | 232,932637 | 43,497172 | SIO2 | 1,560491 | 114,0 |
| 20 | -887,954229 | 59,994922 | | | 110,5 |
| 21 | 0,000000 | -177,093526 | REFL | | 80,1 |
| 22 | 102,645236 | -12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 67,0 |
| 23 | 942,361489 | -43,357484 | | | 77,8 |
| 24 | 90,416551 | -12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 79,9 |
| 25 | 149,946360 | -13,736983 | | | 97,4 |
| 26 | 131,782255 | 13,736983 | REFL | | 100,5 |
| 27 | 149,946360 | 12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 97,4 |
| 28 | 90,416551 | 43,357484 | | | 79,9 |
| 29 | 942,361489 | 12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 77,8 |
| 30 | 102,645236 | 177,093526 | | | 67,0 |
| 31 | 0,000000 | -60,055220 | REFL | | 75,6 |
| 32 | 104914,890260 | -35,073765 | SIO2 | 1,560491 | 98,4 |
| 33 | 219,963934 | -0,997320 | | | 101,4 |
| 34 | -485,974374 | -33,321196 | SIO2 | 1,560491 | 106,4 |
| 35 | 531,348627 | -0,997416 | | | 106,7 |
| 36 | -179,150861 | -35,974078 | SIO2 | 1,560491 | 104,0 |
| 37 | -726,299833 | -0,997789 | | | 101,1 |
| 38 | -143,133378 | -31,466370 | SIO2 | 1,560491 | 92,9 |
| 39 | -333,246416 | -43,619093 | | | 87,4 |
| 40 | 149,805913 | -9,999074 | SIO2 | 1,560491 | 78,6 |
| 41 | -96,090593 | -42,639692 | | | 69,3 |
| 42 | 224,529027 | -9,998160 | SIO2 | 1,560491 | 70,5 |
| 43 | -264,668390 | -13,559760 | | | 81,5 |
| 44 | -938,629305 | -29,640517 | SIO2 | 1,560491 | 87,3 |
| 45 | 304,621140 | -22,447192 | | | 93,1 |

[0158]

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 46 | -943,485170 | -40,752283 | SIO2 | 1,560491 | 115,1 |
| 47 | 271,215785 | -2,888195 | | | 119,3 |
| 48 | -456,833471 | -43,199885 | SIO2 | 1,560491 | 132,8 |
| 49 | 693,683615 | -0,999609 | | | 133,5 |
| 50 | -281,164030 | -30,395117 | SIO2 | 1,560491 | 132,9 |
| 51 | -613,816799 | -6,979889 | | | 131,4 |
| 52 | 0,000000 | 4,747264 | | | 128,8 |
| 53 | -323,801518 | -45,333595 | SIO2 | 1,560491 | 131,0 |
| 54 | 567,522747 | -0,997957 | | | 129,5 |
| 55 | -227,500831 | -39,940578 | SIO2 | 1,560491 | 115,7 |
| 56 | 2013,736081 | -0,994433 | | | 111,6 |
| 57 | -127,539619 | -33,332450 | SIO2 | 1,560491 | 88,1 |
| 58 | -263,904129 | -0,995386 | | | 79,4 |
| 59 | -186,455700 | -17,466462 | SIO2 | 1,560491 | 75,0 |
| 60 | -223,493619 | -1,000000 | | | 65,7 |
| 61 | -50,654088 | -43,114607 | SIO2 | 1,560491 | 46,1 |
| 62 | 0,000000 | -1,001571 | H2O | 1,436823 | 20,2 |
| 63 | 0,000000 | 0,000000 | | | 18,4 |

[0159]

[0160] [표 12a]

비구면 상수

| 면 | 6 | 15 | 20 | 23 | 29 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 1,415105E-07 | -3,894450E-08 | 3,025563E-08 | 1,956249E-08 | 1,956249E-08 |
| C2 | 2,826103E-11 | 2,477873E-13 | -9,725078E-13 | -1,254267E-12 | -1,254267E-12 |
| C3 | -2,796060E-15 | -1,083388E-17 | 5,264859E-17 | 9,958049E-17 | 9,958049E-17 |
| C4 | -2,054534E-20 | -9,685453E-22 | -2,790853E-21 | -1,339908E-20 | -1,339908E-20 |
| C5 | 2,141589E-23 | 4,488758E-26 | 1,033038E-25 | 1,243181E-24 | 1,243181E-24 |
| C6 | 2,934466E-27 | -1,114090E-30 | -1,853921E-30 | -1,590289E-29 | -1,590289E-29 |

| 면 | 39 | 40 | 42 | 46 | 53 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | -2,460699E-08 | -1,818564E-07 | 9,053886E-08 | 2,136533E-08 | 3,430277E-08 |
| C2 | 7,712743E-13 | -5,379726E-12 | -1,959930E-12 | 6,940713E-13 | 2,113104E-13 |
| C3 | -8,069808E-17 | 1,480406E-15 | -3,377347E-17 | -1,785783E-17 | -8,054096E-17 |
| C4 | -5,118403E-22 | -1,519056E-19 | 3,600872E-20 | -1,433861E-21 | 3,084255E-21 |
| C5 | -4,277639E-25 | 1,009523E-23 | -8,476096E-24 | 1,884530E-25 | -3,491487E-26 |
| C6 | 1,160028E-29 | -4,043479E-28 | 3,114715E-28 | -8,828841E-30 | 5,775365E-32 |

| 면 | 55 | 58 |
|---|---|---|
| K | 0 | 0 |
| C1 | 2,382259E-08 | 9,580994E-08 |
| C2 | -8,346810E-13 | -3,279417E-11 |
| C3 | 1,015704E-16 | 5,067874E-15 |
| C4 | 5,829694E-22 | -5,784345E-19 |
| C5 | 6,456340E-26 | 4,554897E-23 |
| C6 | -7,406922E-30 | -1,883439E-27 |

[0161]

표 13

| 면 | 반경 | 두께 | 재료 | 굴절율 | 반지름 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,000000 | 35,000921 | | | 64,0 |
| 1 | 187,873268 | 27,994570 | SIO2 | 1,560491 | 84,8 |
| 2 | 1232,241084 | 0,999905 | | | 84,9 |
| 3 | 208,335351 | 22,691065 | SIO2 | 1,560491 | 85,8 |
| 4 | 516,062469 | 36,805573 | | | 84,3 |
| 5 | 144,085611 | 11,684135 | SIO2 | 1,560491 | 79,4 |
| 6 | 104,200976 | 18,908624 | | | 74,4 |
| 7 | 198,091293 | 38,252361 | SIO2 | 1,560491 | 74,7 |
| 8 | -192,861116 | 2,099088 | | | 73,3 |
| 9 | 68,893595 | 56,883996 | SIO2 | 1,560491 | 61,6 |
| 10 | 85,948719 | 33,744342 | | | 40,9 |
| 11 | -114,007614 | 22,821973 | SIO2 | 1,560491 | 45,3 |
| 12 | -76,222967 | 9,221322 | | | 52,2 |
| 13 | -67,210067 | 9,999789 | SIO2 | 1,560491 | 53,7 |
| 14 | -429,663877 | 10,809503 | | | 70,6 |
| 15 | -265,085106 | 43,979820 | SIO2 | 1,560491 | 76,7 |
| 16 | -101,149234 | 0,999957 | | | 85,3 |
| 17 | -188,336349 | 61,381983 | SIO2 | 1,560491 | 94,4 |
| 18 | -125,228059 | 0,999649 | | | 108,4 |
| 19 | -831,599269 | 31,650721 | SIO2 | 1,560491 | 113,5 |
| 20 | -227,778209 | 70,000634 | | | 115,5 |
| 21 | 0,000000 | -10,976723 | REFL | | 113,6 |
| 22 | -197,591390 | -49,195844 | SIO2 | 1,560491 | 114,4 |
| 23 | 1113,814097 | -282,271651 | | | 112,2 |
| 24 | 95,811897 | -12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 68,9 |
| 25 | 1585,519591 | -38,490833 | | | 81,2 |
| 26 | 106,142717 | -12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 83,5 |
| 27 | 160,434031 | -12,092178 | | | 98,0 |
| 28 | 144,603311 | 12,092178 | REFL | | 101,8 |
| 29 | 160,434031 | 12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 98,0 |
| 30 | 106,142717 | 38,490833 | | | 83,5 |
| 31 | 1585,519591 | 12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 81,2 |
| 32 | 95,811897 | 282,271651 | | | 68,9 |
| 33 | 1113,814097 | 49,195844 | SIO2 | 1,560491 | 112,2 |
| 34 | -197,591390 | 10,976723 | | | 114,4 |
| 35 | 0,000000 | -70,000758 | REFL | | 113,0 |
| 36 | -227,942708 | -45,666153 | SIO2 | 1,560491 | 113,9 |
| 37 | 815,467694 | -8,857490 | | | 111,9 |
| 38 | -130,706498 | -42,732270 | SIO2 | 1,560491 | 96,7 |
| 39 | -422,473074 | -3,774367 | | | 91,0 |
| 40 | -347,973618 | -10,000122 | SIO2 | 1,560491 | 87,2 |
| 41 | -187,015492 | -26,831797 | | | 79,4 |
| 42 | 305,312838 | -9,999427 | SIO2 | 1,560491 | 77,7 |
| 43 | -96,429310 | -63,819408 | | | 67,9 |
| 44 | 128,506823 | -9,999684 | SIO2 | 1,560491 | 71,4 |
| 45 | -306,117569 | -15,977415 | | | 85,1 |
| 46 | 4806,899558 | -32,925545 | SIO2 | 1,560491 | 89,1 |
| 47 | 230,072868 | -16,329646 | | | 96,4 |

[0162]

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 48 | 1322,097164 | -30,272168 | SIO2 | 1,560491 | 111,8 |
| 49 | 252,570224 | -1,000013 | | | 117,3 |
| 50 | -862,460198 | -42,042752 | SIO2 | 1,560491 | 133,4 |
| 51 | 448,126973 | -5,878180 | | | 135,8 |
| 52 | -378,669699 | -51,982596 | SIO2 | 1,560491 | 142,6 |
| 53 | 730,087868 | -26,644994 | | | 141,8 |
| 54 | 0,000000 | 0,211836 | | | 130,3 |
| 55 | -454,237341 | -34,638587 | SIO2 | 1,560491 | 132,4 |
| 56 | 896,710905 | -0,999763 | | | 131,1 |
| 57 | -281,292658 | -31,904925 | SIO2 | 1,560491 | 122,1 |
| 58 | -1508,491985 | -0,999650 | | | 118,8 |
| 59 | -157,343378 | -32,737319 | SIO2 | 1,560491 | 105,3 |
| 60 | -431,549831 | -0,998214 | | | 98,8 |
| 61 | -227,748250 | -34,282018 | SIO2 | 1,560491 | 96,4 |
| 62 | 1679,133063 | -1,000000 | | | 90,0 |
| 63 | -57,914528 | -47,987219 | SIO2 | 1,560491 | 52,2 |
| 64 | 0,000000 | -3,000000 | H2O | 1,436822 | 24,4 |
| 65 | 0,000000 | 0,000000 | | | 19,0 |

[0163]

[0164] [표 13a]

비구면 상수

| 면 | 8 | 19 | 22 | 25 | 31 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 8,300393E-08 | -1,573837E-08 | 1,023614E-08 | 2,221568E-08 | 2,221568E-08 |
| C2 | 1,027628E-11 | -1,239737E-13 | 1,645106E-13 | -1,740421E-12 | -1,740421E-12 |
| C3 | -1,162954E-15 | 4,333229E-19 | 5,476658E-18 | 8,521877E-17 | 8,521877E-17 |
| C4 | 2,985096E-19 | 4,074898E-23 | 5,702605E-23 | -2,769929E-21 | -2,769929E-21 |
| C5 | -2,802134E-23 | -1,053291E-26 | 9,144213E-28 | -2,436823E-25 | -2,436823E-25 |
| C6 | 1,422951E-27 | 3,216727E-31 | 2,477447E-32 | 1,867891E-29 | 1,867891E-29 |

| 면 | 34 | 37 | 39 | 42 | 48 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 1,023614E-08 | -2,156946E-08 | 2,940607E-08 | -4,027138E-08 | 3,236874E-08 |
| C2 | 1,645106E-13 | 7,245612E-13 | -3,554065E-12 | -8,699926E-12 | -3,262283E-13 |
| C3 | 5,476658E-18 | -3,214615E-17 | 2,494890E-16 | 1,342629E-15 | 2,281353E-17 |
| C4 | 5,702605E-23 | 1,250838E-21 | -1,750741E-20 | -1,587155E-19 | 2,583318E-22 |
| C5 | 9,144213E-28 | -3,654841E-26 | 8,304704E-25 | 1,051342E-23 | -8,007782E-27 |
| C6 | 2,477447E-32 | 5,939707E-31 | -4,233041E-29 | -3,667649E-28 | 2,555841E-30 |

| 면 | 55 | 57 | 60 |
|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 2,858710E-08 | -6,660513E-09 | -8,504243E-08 |
| C2 | -4,529671E-13 | 1,798520E-13 | 9,820443E-13 |
| C3 | -2,789924E-17 | 8,149876E-17 | -5,540310E-17 |
| C4 | 2,259110E-21 | -5,213396E-22 | 1,576819E-20 |
| C5 | -7,538599E-26 | -1,301705E-27 | -9,640368E-25 |
| C6 | 9,633331E-31 | -5,575917E-31 | 1,171801E-29 |

[0165]

표 15

| 면 | 반경 | 두께 | 재료 | 굴절율 | 반지름 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,000000 | 35,638328 | | | 64,5 |
| 1 | 180,670546 | 28,377083 | SIO2 | 1,560491 | 86,9 |
| 2 | 823,598018 | 1,194225 | | | 86,9 |
| 3 | 205,952639 | 21,462318 | SIO2 | 1,560491 | 87,9 |
| 4 | 398,186838 | 32,742116 | | | 86,4 |
| 5 | 132,286925 | 9,999671 | SIO2 | 1,560491 | 82,8 |
| 6 | 105,118100 | 22,332626 | | | 78,4 |
| 7 | 169,334381 | 39,894990 | SIO2 | 1,560491 | 78,9 |
| 8 | -204,634515 | 0,998375 | | | 77,3 |
| 9 | 71,137197 | 56,763393 | SIO2 | 1,560491 | 63,5 |
| 10 | 89,028585 | 28,411826 | | | 42,3 |
| 11 | -109,689407 | 29,990063 | SIO2 | 1,560491 | 42,5 |
| 12 | -79,244543 | 11,316478 | | | 52,9 |
| 13 | -69,719014 | 9,999481 | SIO2 | 1,560491 | 55,1 |
| 14 | -486,086468 | 8,908815 | | | 72,6 |
| 15 | -280,858669 | 63,675056 | SIO2 | 1,560491 | 77,0 |
| 16 | -111,752476 | 0,999172 | | | 95,1 |
| 17 | -263,723959 | 47,422516 | SIO2 | 1,560491 | 107,8 |
| 18 | -134,607968 | 0,998507 | | | 113,2 |
| 19 | -648,995845 | 28,867753 | SIO2 | 1,560491 | 116,3 |
| 20 | -239,623615 | 69,998695 | | | 118,1 |
| 21 | 0,000000 | -9,999382 | REFL | | 115,6 |
| 22 | -176,982011 | -52,138664 | SIO2 | 1,560491 | 117,7 |
| 23 | 2325,743514 | -250,507300 | | | 115,3 |
| 24 | 98,260574 | -12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 68,0 |
| 25 | 8846,828964 | -46,770944 | | | 78,6 |
| 26 | 91,149491 | -12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 80,6 |
| 27 | 149,955261 | -18,614447 | | | 98,7 |
| 28 | 143,121066 | 18,614447 | REFL | | 106,4 |
| 29 | 149,955261 | 12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 98,7 |
| 30 | 91,149491 | 46,770944 | | | 80,6 |
| 31 | 8846,828964 | 12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 78,6 |
| 32 | 98,260574 | 250,507300 | | | 68,0 |
| 33 | 2325,743514 | 52,138664 | SIO2 | 1,560491 | 115,3 |
| 34 | -176,982011 | 9,999382 | | | 117,7 |
| 35 | 0,000000 | -69,999093 | REFL | | 117,4 |
| 36 | -198,540813 | -50,399536 | SIO2 | 1,560491 | 120,7 |
| 37 | -96842,830748 | -0,998438 | | | 118,2 |
| 38 | -171,973861 | -30,749387 | SIO2 | 1,560491 | 106,4 |
| 39 | -310,515975 | -0,999047 | | | 100,9 |
| 40 | -148,789628 | -29,674304 | SIO2 | 1,560491 | 92,9 |
| 41 | -216,223375 | -29,457017 | | | 83,9 |
| 42 | 244,105965 | -9,998957 | SIO2 | 1,560491 | 81,6 |
| 43 | -94,244903 | -51,985700 | | | 68,7 |
| 44 | 177,704589 | -9,999140 | SIO2 | 1,560491 | 70,5 |
| 45 | -255,547186 | -23,809565 | | | 80,1 |

[0166]

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 46 | 1016,476754 | -31,174795 | SIO2 | 1,560491 | 85,3 |
| 47 | 185,094367 | -0,999190 | | | 93,0 |
| 48 | 1691,382932 | -25,547970 | SIO2 | 1,560491 | 105,3 |
| 49 | 356,397350 | -45,184652 | | | 109,5 |
| 50 | -673,758971 | -45,536220 | SIO2 | 1,560491 | 137,5 |
| 51 | 386,080342 | -0,998330 | | | 139,3 |
| 52 | -725,704793 | -34,052538 | SIO2 | 1,560491 | 143,2 |
| 53 | 1177,576128 | -20,729220 | | | 143,2 |
| 54 | 0,000000 | 19,731628 | | | 138,3 |
| 55 | -296,953200 | -49,211938 | SIO2 | 1,560491 | 142,1 |
| 56 | 755,844934 | -0,996608 | | | 140,3 |
| 57 | -413,530408 | -40,022653 | SIO2 | 1,560491 | 135,6 |
| 58 | 728,550434 | -0,994509 | | | 133,1 |
| 59 | -253,678570 | -33,049432 | SIO2 | 1,560491 | 114,4 |
| 60 | -3840,733691 | -0,992017 | | | 108,6 |
| 61 | -147,857222 | -36,663873 | SIO2 | 1,560491 | 91,0 |
| 62 | -727,362791 | -1,000000 | | | 82,4 |
| 63 | -54,588882 | -41,518373 | SIO2 | 1,560491 | 49,4 |
| 64 | 0,000000 | -3,000000 | H2O | 1,436822 | 25,6 |
| 65 | 0,000000 | 0,000000 | | | 19,1 |

[0167]

[0168] [표 15a]

비구면 상수

| 면 | 8 | 19 | 22 | 25 | 31 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 1,080775E-07 | -1,359371E-08 | 1,195268E-08 | 1,894952E-08 | 1,894952E-08 |
| C2 | 4,576422E-12 | -1,179706E-13 | 3,137653E-13 | -2,377925E-12 | -2,377925E-12 |
| C3 | -8,540180E-16 | -1,702891E-18 | 4,990292E-18 | 2,890682E-16 | 2,890682E-16 |
| C4 | 2,711292E-19 | 8,483261E-23 | 5,081387E-22 | -5,626586E-20 | -5,626586E-20 |
| C5 | -3,150111E-23 | -9,645405E-27 | -1,599365E-26 | 6,907483E-24 | 6,907483E-24 |
| C6 | 1,652368E-27 | 2,669817E-31 | 6,313609E-31 | -3,643846E-28 | -3,643846E-28 |

| 면 | 34 | 42 | 46 | 48 | 51 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 1,195268E-08 | -5,071114E-08 | 2,526230E-08 | 1,948430E-08 | -7,924272E-09 |
| C2 | 3,137653E-13 | -7,730551E-12 | 5,333528E-12 | -3,427570E-12 | -2,800312E-13 |
| C3 | 4,990292E-18 | 1,390231E-15 | -2,388835E-16 | 8,808674E-17 | -1,107739E-18 |
| C4 | 5,081387E-22 | -1,451491E-19 | 1,259420E-20 | -8,959654E-22 | -6,249802E-22 |
| C5 | -1,599365E-26 | 9,288570E-24 | -1,438626E-24 | 8,169992E-25 | 3,539057E-26 |
| C6 | 6,313609E-31 | -2,767389E-28 | 4,673358E-29 | -4,150555E-29 | -3,955788E-31 |

| 면 | 56 | 57 | 60 |
|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 |
| C1 | -5,185154E-08 | 2,760546E-08 | 2,284067E-09 |
| C2 | 1,533838E-12 | -1,425919E-12 | -5,023236E-12 |
| C3 | -3,899899E-17 | 4,438919E-17 | 4,371011E-16 |
| C4 | 2,974803E-21 | 1,556484E-21 | -3,186523E-20 |
| C5 | -1,127749E-25 | -7,877661E-26 | 1,530451E-24 |
| C6 | 1,290864E-30 | 3,875637E-31 | -3,713691E-29 |

[0169]

표 16

| 면 | 반경 | 두께 | 재료 | 굴절율 | 반지름 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,000000 | 35,000018 | | | 61,5 |
| 1 | 176,014829 | 27,505489 | SIO2 | 1,560491 | 83,2 |
| 2 | 841,641338 | 3,539440 | | | 83,3 |
| 3 | 235,708002 | 18,995896 | SIO2 | 1,560491 | 84,2 |
| 4 | 435,386108 | 31,751453 | | | 83,2 |
| 5 | 145,827863 | 9,997737 | SIO2 | 1,560491 | 81,5 |
| 6 | 108,756276 | 21,241416 | | | 77,5 |
| 7 | 172,246858 | 43,116768 | SIO2 | 1,560491 | 78,7 |
| 8 | -170,835113 | 1,011739 | | | 77,5 |
| 9 | 69,519772 | 62,982649 | SIO2 | 1,560491 | 62,1 |
| 10 | 79,357512 | 24,125307 | | | 37,1 |
| 11 | -105,554185 | 28,151777 | SIO2 | 1,560491 | 40,1 |
| 12 | -75,432491 | 8,970185 | | | 50,0 |
| 13 | -65,960377 | 9,998436 | SIO2 | 1,560491 | 51,6 |
| 14 | -458,378416 | 15,879266 | | | 68,1 |
| 15 | -182,010566 | 40,279435 | SIO2 | 1,560491 | 74,6 |
| 16 | -98,619683 | 0,998823 | | | 84,4 |
| 17 | -298,466841 | 53,135226 | SIO2 | 1,560491 | 100,4 |
| 18 | -121,383228 | 0,999120 | | | 106,3 |
| 19 | -835,480319 | 32,135277 | SIO2 | 1,560491 | 109,9 |
| 20 | -214,880198 | 81,470423 | | | 111,6 |
| 21 | 0,000000 | -104,650759 | REFL | | 105,0 |
| 22 | -181,003736 | -50,001353 | SIO2 | 1,560491 | 108,2 |
| 23 | 25242,924145 | -247,127318 | | | 104,9 |
| 24 | 102,272953 | -12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 70,6 |
| 25 | 2103,060508 | -45,023548 | | | 79,1 |
| 26 | 93,409938 | -12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 81,3 |
| 27 | 183,538848 | -17,774476 | | | 102,5 |
| 28 | 145,905578 | 17,774476 | REFL | | 106,5 |
| 29 | 183,538848 | 12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 102,5 |
| 30 | 93,409938 | 45,023548 | | | 81,3 |
| 31 | 2103,060508 | 12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 79,1 |
| 32 | 102,272953 | 247,127318 | | | 70,6 |
| 33 | 25242,924145 | 50,001353 | SIO2 | 1,560491 | 104,9 |
| 34 | -181,003736 | 104,650759 | | | 108,2 |
| 35 | 0,000000 | -69,997840 | REFL | | 105,8 |
| 36 | -274,353554 | -38,229015 | SIO2 | 1,560491 | 110,1 |
| 37 | 1131,690506 | -0,997876 | | | 108,9 |
| 38 | -183,833011 | -33,580596 | SIO2 | 1,560491 | 101,6 |
| 39 | -632,386130 | -3,643030 | | | 97,6 |
| 40 | -138,532192 | -34,568737 | SIO2 | 1,560491 | 86,8 |
| 41 | -189,656554 | -26,890307 | | | 75,9 |
| 42 | 255,989593 | -9,998587 | SIO2 | 1,560491 | 73,9 |
| 43 | -92,462677 | -50,122191 | | | 64,9 |
| 44 | 175,417954 | -9,998324 | SIO2 | 1,560491 | 68,1 |
| 45 | -239,557458 | -20,895117 | | | 78,3 |

[0170]

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 46 | 893,327075 | -36,743354 | SIO2 | 1,560491 | 83,5 |
| 47 | 180,351521 | -1,580032 | | | 92,3 |
| 48 | 1793,077203 | -23,224027 | SIO2 | 1,560491 | 102,7 |
| 49 | 346,025735 | -46,740042 | | | 107,1 |
| 50 | -587,720308 | -49,840882 | SIO2 | 1,560491 | 138,2 |
| 51 | 362,715565 | -0,996413 | | | 139,9 |
| 52 | -802,776800 | -32,541316 | SIO2 | 1,560491 | 143,2 |
| 53 | 1200,879163 | -20,610535 | | | 143,1 |
| 54 | 0,000000 | 19,614848 | | | 138,0 |
| 55 | -277,707719 | -52,291236 | SIO2 | 1,560491 | 141,8 |
| 56 | 708,666176 | -0,995494 | | | 139,7 |
| 57 | -424,462858 | -35,408449 | SIO2 | 1,560491 | 134,6 |
| 58 | 920,517618 | -0,994818 | | | 131,9 |
| 59 | -257,650413 | -33,302544 | SIO2 | 1,560491 | 115,0 |
| 60 | -3892,659133 | -0,993481 | | | 109,3 |
| 61 | -150,518437 | -37,001664 | SIO2 | 1,560491 | 91,7 |
| 62 | -815,328045 | -1,000000 | | | 83,2 |
| 63 | -54,709895 | -42,146539 | SIO2 | 1,560491 | 49,5 |
| 64 | 0,000000 | -3,000000 | H2O | 1,436822 | 24,8 |
| 65 | 0,000000 | 0,000000 | | | 18,4 |

[0171]

[0172] [표 16a]

비구면 상수

| 면 | 8 | 19 | 22 | 25 | 31 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 9,477707E-08 | -1,630325E-08 | 8,446555E-09 | 3,545371E-09 | 3,545371E-09 |
| C2 | 1,961231E-12 | -9,812446E-14 | 2,275492E-13 | -6,774437E-13 | -6,774437E-13 |
| C3 | -4,595943E-16 | -1,945238E-18 | -8,360514E-19 | 4,237596E-17 | 4,237596E-17 |
| C4 | 2,712352E-19 | 2,190264E-22 | 1,164424E-21 | -5,726376E-21 | -5,726376E-21 |
| C5 | -3,717129E-23 | -2,392299E-26 | -6,873389E-26 | 1,719638E-25 | 1,719638E-25 |
| C6 | 2,062145E-27 | 8,993812E-31 | 2,030241E-30 | 1,264086E-29 | 1,264086E-29 |

| 면 | 34 | 42 | 46 | 48 | 51 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 8,446555E-09 | -3,731377E-08 | -7,541203E-09 | 3,402805E-08 | -7,582220E-09 |
| C2 | 2,275492E-13 | -5,506103E-12 | 3,280912E-12 | -2,111476E-12 | -1,607342E-13 |
| C3 | -8,360514E-19 | 1,183283E-15 | -1,338960E-16 | 3,392400E-17 | -9,929315E-18 |
| C4 | 1,164424E-21 | -1,705010E-19 | -2,204551E-20 | -3,518123E-21 | -4,709955E-22 |
| C5 | -6,873389E-26 | 1,532771E-23 | 5,087511E-26 | 1,006578E-24 | 4,064977E-26 |
| C6 | 2,030241E-30 | -6,241836E-28 | -4,751065E-28 | -2,276157E-29 | -5,868799E-31 |

| 면 | 56 | 57 | 60 |
|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 |
| C1 | -5,466505E-08 | 3,173474E-08 | 4,604026E-09 |
| C2 | 1,620583E-12 | -1,360966E-12 | -4,261817E-12 |
| C3 | -3,331287E-17 | 4,744992E-17 | 3,289463E-16 |
| C4 | 2,561164E-21 | 9,163771E-22 | -2,280425E-20 |
| C5 | -1,070898E-25 | -7,066436E-26 | 9,960289E-25 |
| C6 | 1,395421E-30 | 7,159877E-31 | -2,271390E-29 |

[0173]

표 17

| 면 | 반경 | 두께 | 재료 | 굴절율 | 반지름 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,000000 | 35,062171 | | | 61,5 |
| 1 | 160,377892 | 33,915692 | SIO2 | 1,560491 | 85,2 |
| 2 | 4339,545820 | 35,211752 | | | 85,0 |
| 3 | 134,501543 | 9,996831 | SIO2 | 1,560491 | 83,7 |
| 4 | 111,692176 | 24,343835 | | | 80,0 |
| 5 | 176,022408 | 44,412851 | SIO2 | 1,560491 | 81,0 |
| 6 | -158,125766 | 1,097941 | | | 79,5 |
| 7 | 70,127955 | 63,281412 | SIO2 | 1,560491 | 62,6 |
| 8 | 80,899024 | 23,149420 | | | 37,4 |
| 9 | -104,439732 | 28,493683 | SIO2 | 1,560491 | 39,7 |
| 10 | -76,691544 | 9,373106 | | | 50,2 |
| 11 | -66,201313 | 9,999364 | SIO2 | 1,560491 | 51,9 |
| 12 | -449,321456 | 12,356383 | | | 69,1 |
| 13 | -193,830863 | 41,850652 | SIO2 | 1,560491 | 73,7 |
| 14 | -96,808240 | 0,997395 | | | 83,6 |
| 15 | -309,193570 | 53,879882 | SIO2 | 1,560491 | 100,4 |
| 16 | -121,506051 | 0,996721 | | | 106,4 |
| 17 | -1347,934891 | 32,667851 | SIO2 | 1,560491 | 110,7 |
| 18 | -232,958167 | 69,997839 | | | 112,2 |
| 19 | 0,000000 | -95,009945 | REFL | | 106,8 |
| 20 | -169,601782 | -49,964697 | SIO2 | 1,560491 | 108,4 |
| 21 | -2559,597028 | -244,909101 | | | 104,7 |
| 22 | 94,645450 | -12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 70,0 |
| 23 | 2366,726589 | -50,185589 | | | 83,9 |
| 24 | 96,645650 | -12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 86,5 |
| 25 | 158,153978 | -11,143815 | | | 106,9 |
| 26 | 150,128583 | 11,143815 | REFL | | 111,0 |
| 27 | 158,153978 | 12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 106,9 |
| 28 | 96,645650 | 50,185589 | | | 86,5 |
| 29 | 2366,726589 | 12,500000 | SIO2 | 1,560491 | 83,9 |
| 30 | 94,645450 | 244,909101 | | | 70,0 |
| 31 | -2559,597028 | 49,964697 | SIO2 | 1,560491 | 104,7 |
| 32 | -169,601782 | 95,009945 | | | 108,4 |
| 33 | 0,000000 | -69,996314 | REFL | | 106,9 |
| 34 | -281,792007 | -41,385881 | SIO2 | 1,560491 | 110,8 |
| 35 | 657,889902 | -0,997396 | | | 109,7 |
| 36 | -174,312217 | -32,438650 | SIO2 | 1,560491 | 100,1 |
| 37 | -476,477690 | -1,935634 | | | 95,7 |
| 38 | -123,498799 | -34,625674 | SIO2 | 1,560491 | 85,0 |
| 39 | -152,214034 | -29,454227 | | | 73,4 |
| 40 | 230,398053 | -9,988522 | SIO2 | 1,560491 | 71,5 |
| 41 | -84,263230 | -42,301978 | | | 62,8 |
| 42 | 148,358426 | -9,995751 | SIO2 | 1,560491 | 64,2 |
| 43 | -285,965468 | -29,500257 | | | 76,2 |
| 44 | 1365,214672 | -52,201213 | SIO2 | 1,560491 | 91,3 |
| 45 | 197,964169 | -1,405485 | | | 110,1 |

[0174]

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 46 | 471,452295 | -43,072393 | SIO2 | 1,560491 | 120,4 |
| 47 | 209,873148 | -1,120291 | | | 130,5 |
| 48 | -1186,156898 | -60,630783 | SIO2 | 1,560491 | 155,2 |
| 49 | 325,015642 | -0,999174 | | | 157,9 |
| 50 | -2211,880008 | -27,251892 | SIO2 | 1,560491 | 162,5 |
| 51 | 1353,381133 | -0,997683 | | | 163,0 |
| 52 | -333,578758 | -60,245043 | SIO2 | 1,560491 | 162,7 |
| 53 | 664,853013 | -3,960500 | | | 160,4 |
| 54 | 0,000000 | 2,974292 | | | 153,2 |
| 55 | -436,081909 | -40,203050 | SIO2 | 1,560491 | 152,1 |
| 56 | 1058,418471 | -0,974875 | | | 149,3 |
| 57 | -242,988440 | -46,663567 | SIO2 | 1,560491 | 127,0 |
| 58 | 1737,489827 | -0,944194 | | | 120,7 |
| 59 | -113,935104 | -37,162408 | SIO2 | 1,560491 | 86,5 |
| 60 | -237,094762 | -1,000000 | | | 75,1 |
| 61 | -53,008742 | -37,444181 | SIO2 | 1,560491 | 48,1 |
| 62 | 0,000000 | -3,000000 | H2O | 1,436823 | 26,7 |
| 63 | 0,000000 | 0,000000 | | | 18,4 |

[0175]

[0176] [표 17a]

비구면 상수

| 면 | 6 | 17 | 20 | 23 | 29 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 1,567356E-07 | -1,504554E-08 | 1,102741E-08 | 1,329977E-08 | 1,329977E-08 |
| C2 | -1,454311E-12 | -1,033827E-13 | 3,161475E-13 | -6,446967E-13 | -6,446967E-13 |
| C3 | -4,821299E-16 | -5,875858E-18 | -3,234527E-18 | 2,574587E-17 | 2,574587E-17 |
| C4 | 3,177351E-19 | 7,367131E-22 | 1,863348E-21 | 2,145483E-21 | 2,145483E-21 |
| C5 | -4,247779E-23 | -5,690740E-26 | -1,058278E-25 | -6,859442E-25 | -6,859442E-25 |
| C6 | 2,417313E-27 | 1,690737E-30 | 3,288177E-30 | 4,363205E-29 | 4,363205E-29 |

| 면 | 32 | 40 | 44 | 46 | 49 |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1 | 1,102741E-08 | -7,623733E-08 | 5,961950E-08 | 4,163425E-08 | 1,556511E-08 |
| C2 | 3,161475E-13 | -2,696128E-12 | 2,260719E-12 | -2,205874E-12 | -9,513867E-13 |
| C3 | -3,234527E-18 | 1,720996E-15 | 1,675440E-17 | -2,145810E-18 | 1,334037E-17 |
| C4 | 1,863348E-21 | -3,583626E-19 | 9,620913E-21 | -9,265446E-21 | -6,577842E-22 |
| C5 | -1,058278E-25 | 3,893269E-23 | -4,439958E-24 | 1,471307E-24 | 4,785308E-26 |
| C6 | 3,288177E-30 | -1,781650E-27 | -3,165933E-29 | -4,599952E-29 | -1,010940E-30 |

| 면 | 53 | 55 | 58 |
|---|---|---|---|
| K | 0 | 0 | 0 |
| C1 | -4,190276E-08 | 3,093715E-08 | 6,193974E-09 |
| C2 | 1,643663E-12 | -1,212659E-12 | -3,507726E-12 |
| C3 | -4,727323E-17 | 4,234860E-17 | 2,841523E-16 |
| C4 | 7,314393E-22 | -1,652445E-21 | -1,871154E-20 |
| C5 | 7,386195E-27 | 5,642952E-26 | 7,577332E-25 |
| C6 | -2,389707E-31 | -7,153949E-31 | -1,502450E-29 |

[0177]

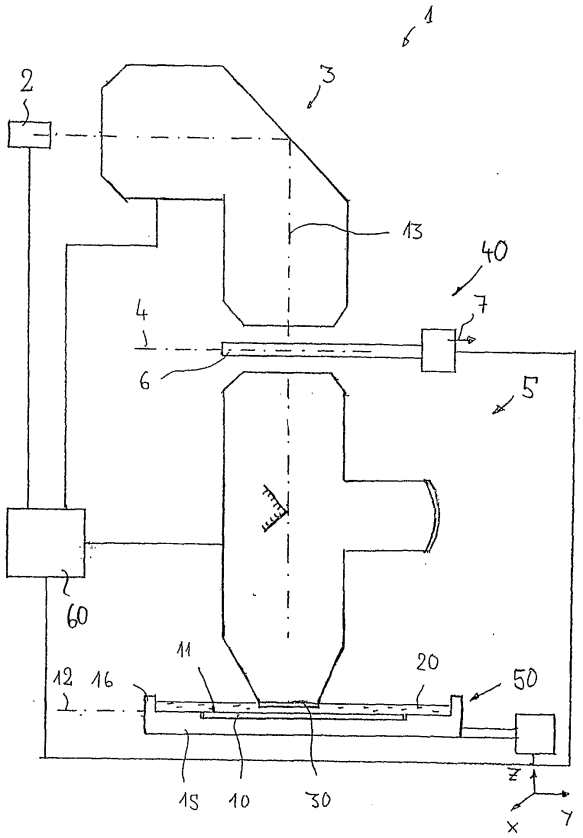
표 18

| Tab. | $D_{max}$ | $D_M$ | $D_M / D_{max}$ | Y' | NA | $N_L$ | $N_{OP}$ | COMP1 | COMP2 | COMP3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 256.8 | 235.2 | 0.92 | 14.4 | 1.2 | 23 | 3 | 12.4 | 284.5 | 94.8 |
| 3 | 252.9 | 243.3 | 0.96 | 14.4 | 1.1 | 25 | 3 | 14.5 | 362.4 | 120.8 |
| 9 | 270.6 | 230.6 | 0.85 | 16.0 | 1.2 | 28 | 3 | 11.7 | 328.9 | 109.6 |
| 10 | 277.8 | 236.4 | 0.85 | 16.0 | 1.2 | 28 | 3 | 12.1 | 337.6 | 112.5 |
| 11 | 293.4 | 197.4 | 0.67 | 16.0 | 1.3 | 27 | 3 | 10.9 | 293.0 | 97.7 |
| 12 | 267.0 | 201.0 | 0.75 | 16.0 | 1.25 | 27 | 3 | 10.7 | 288.4 | 96.1 |
| 13 | 285.2 | 203.6 | 0.71 | 16.0 | 1.25 | 27 | 3 | 11.4 | 308.0 | 102.7 |
| 15 | 286.4 | 212.8 | 0.74 | 16.1 | 1.3 | 27 | 3 | 10.5 | 283.8 | 94.6 |
| 16 | 286.4 | 213.0 | 0.74 | 15.4 | 1.3 | 27 | 3 | 11.0 | 297.6 | 99.2 |
| 17 | 326.0 | 222.0 | 0.68 | 15.4 | 1.35 | 26 | 3 | 11.6 | 302.5 | 100.8 |

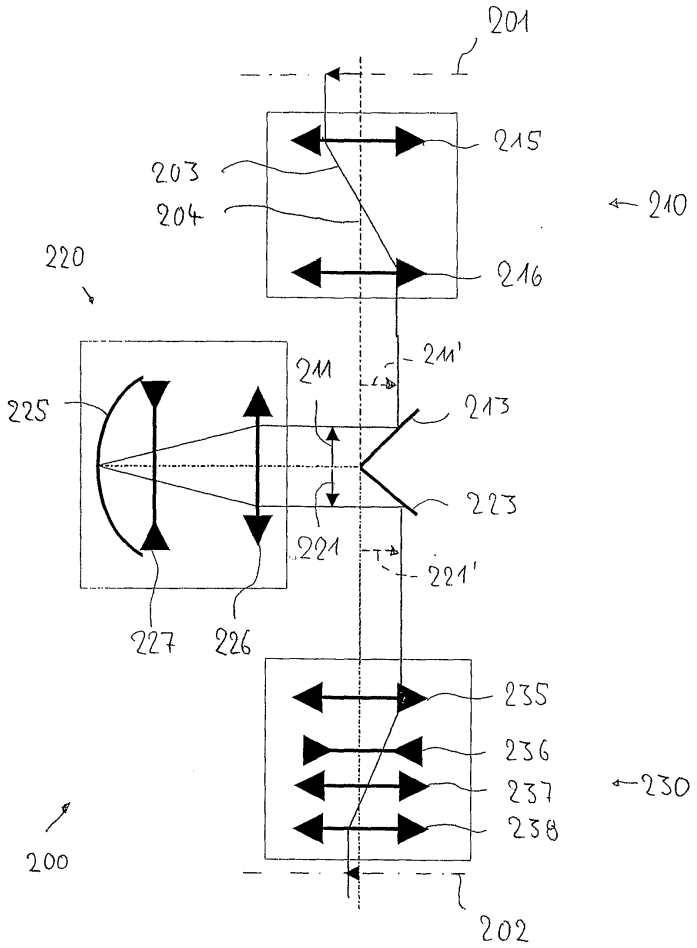
[0178]

## 도면

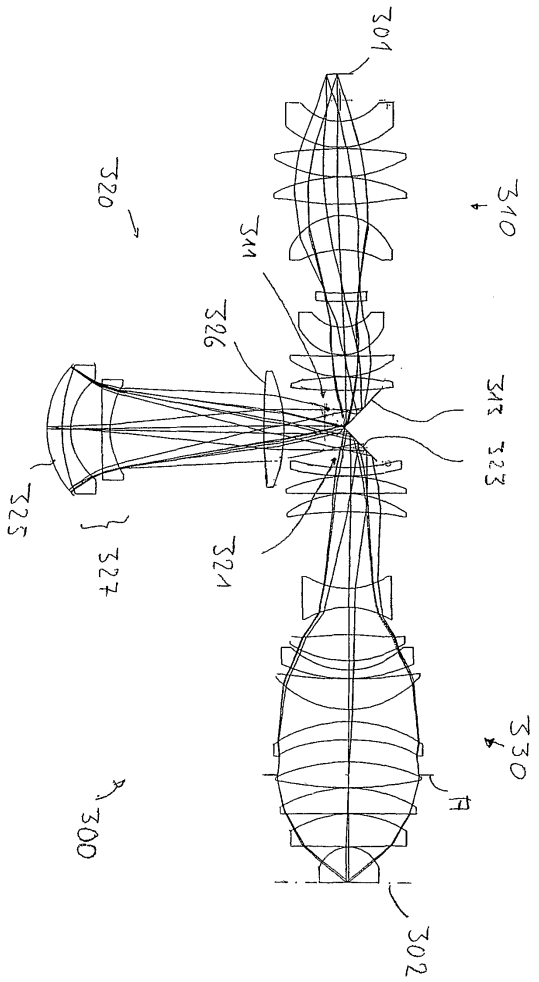
### 도면1



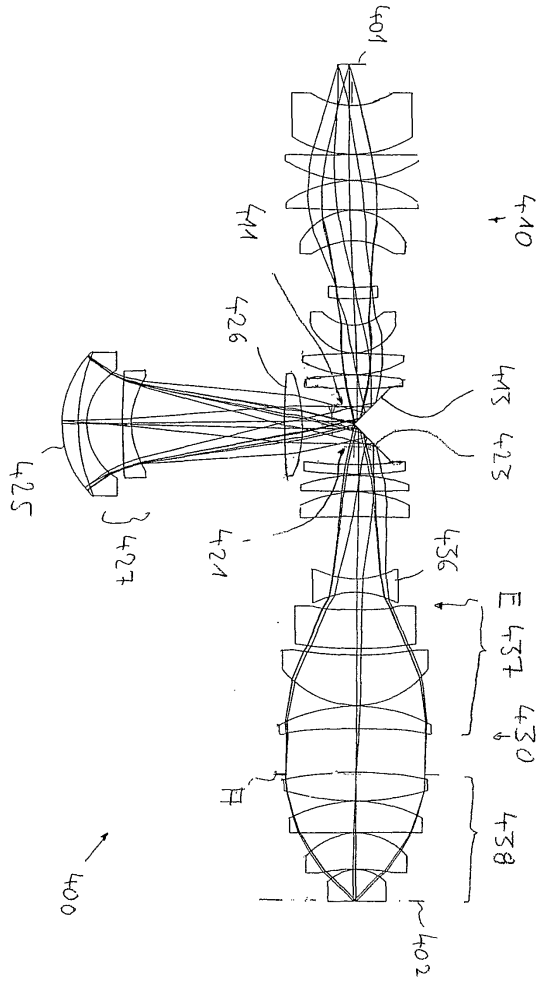
도면2


201
215
203
204
210
220
216
211'
211
213
225
223
221
221'
227
226
235
236
237
230
238
200
202

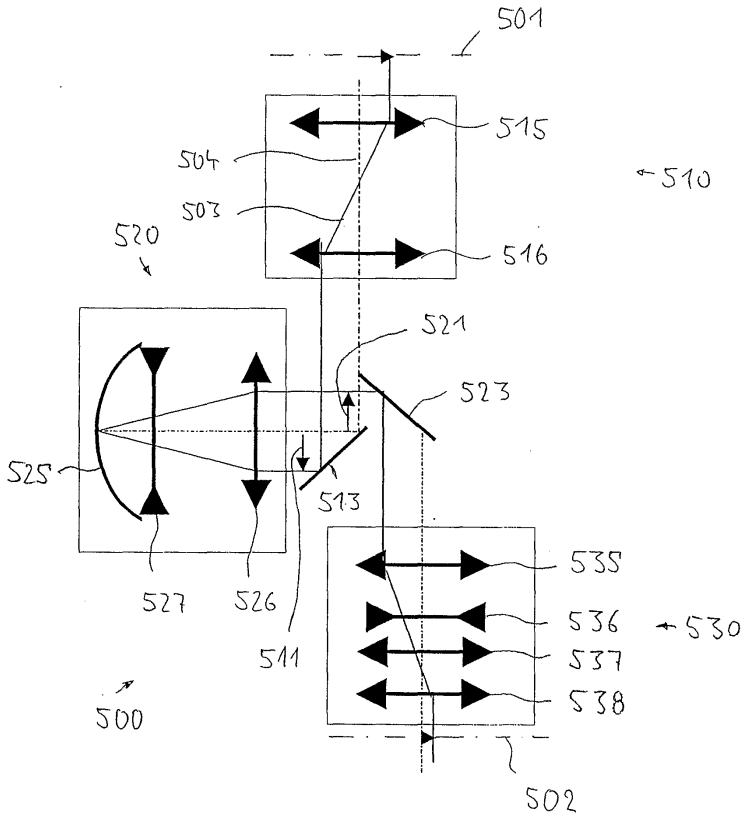
도면3



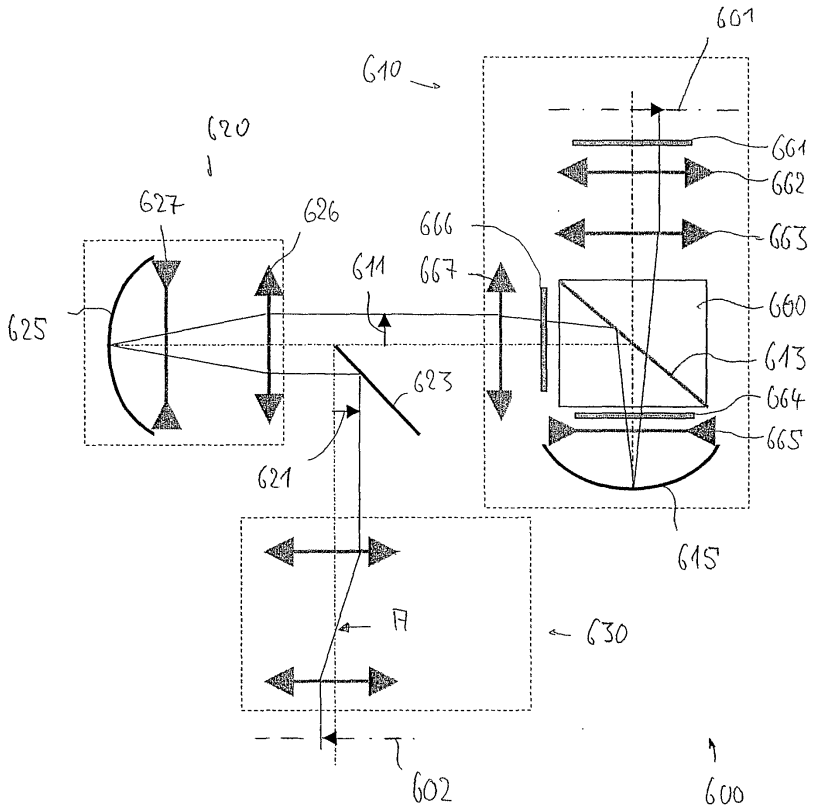
도면4



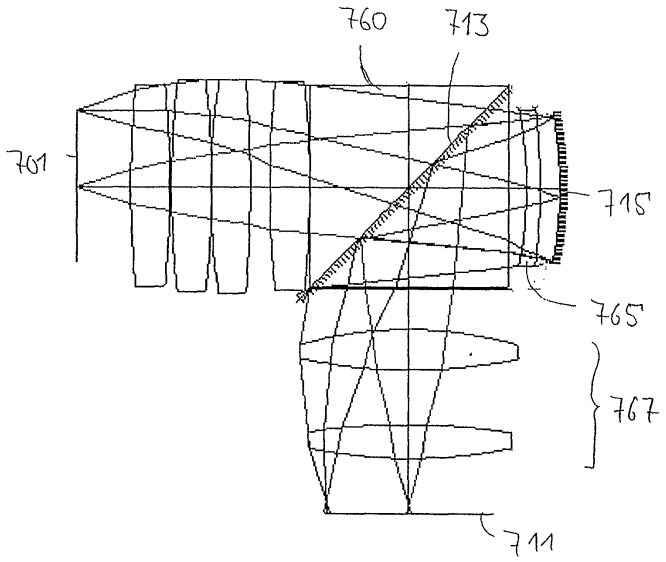
도면5


501
515
504
503
510
520
516
521
523
525
513
535
527
526
536
530
511
537
538
500
502

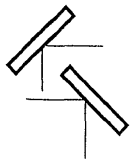
도면6


601
610
620
661
662
627
626
666
663
611
667
660
625
613
623
664
621
665
615
A
630
602
600

도면7



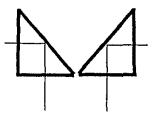

도면8a



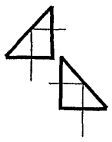
도면8b



도면8c



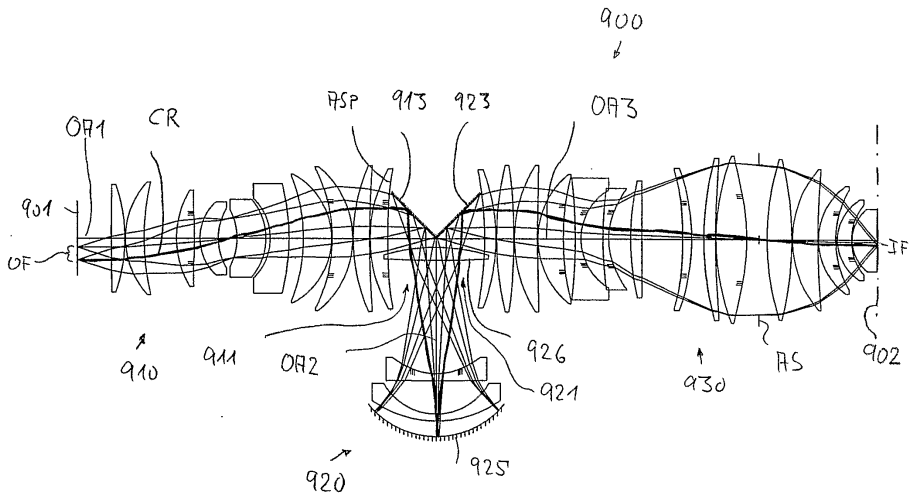
도면8d



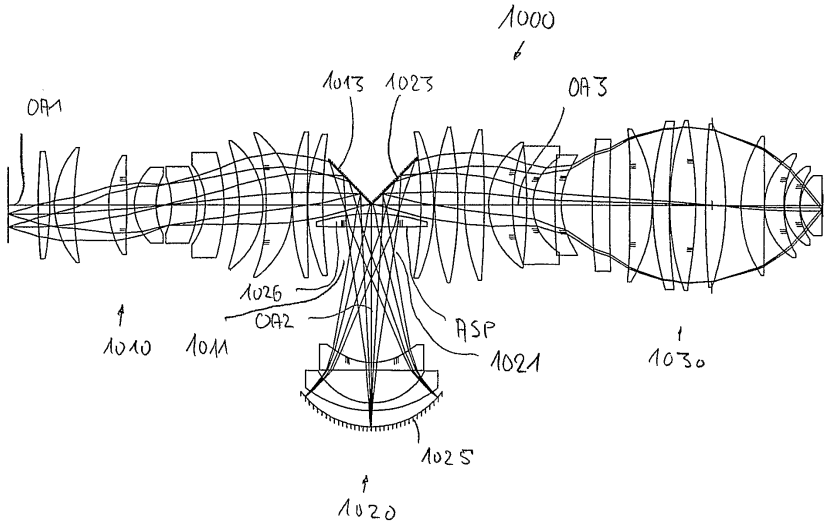
도면8e



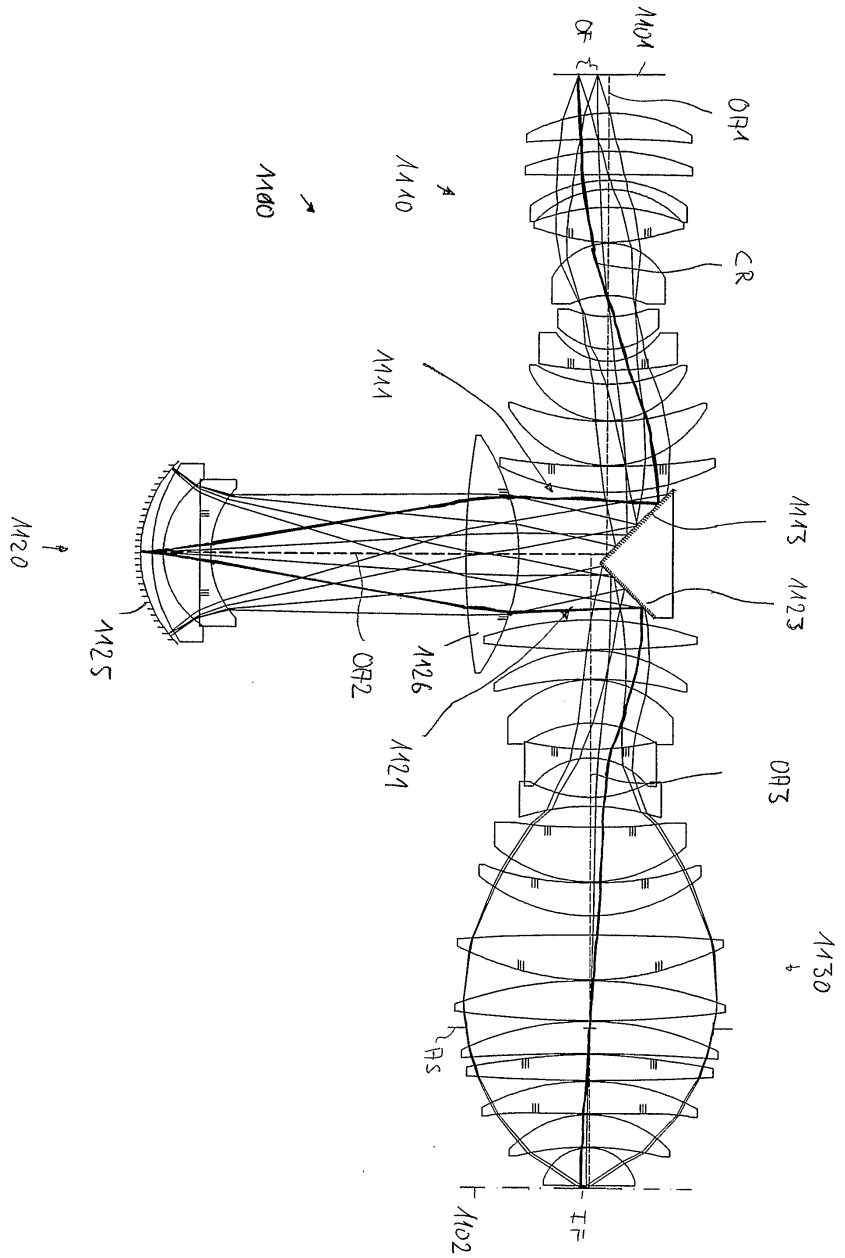
도면9


900
OA1
CR
ASP
913
923
OA3
901
OF
IF
910
911
OA2
926
921
930
AS
902
920
925

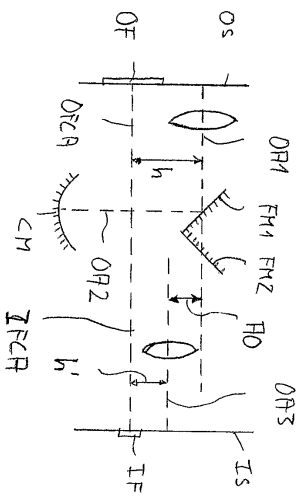
도면10


1000
1013
1023
OA3
OA1
1026
OA2
ASP
1021
1010
1011
1030
1025
1020

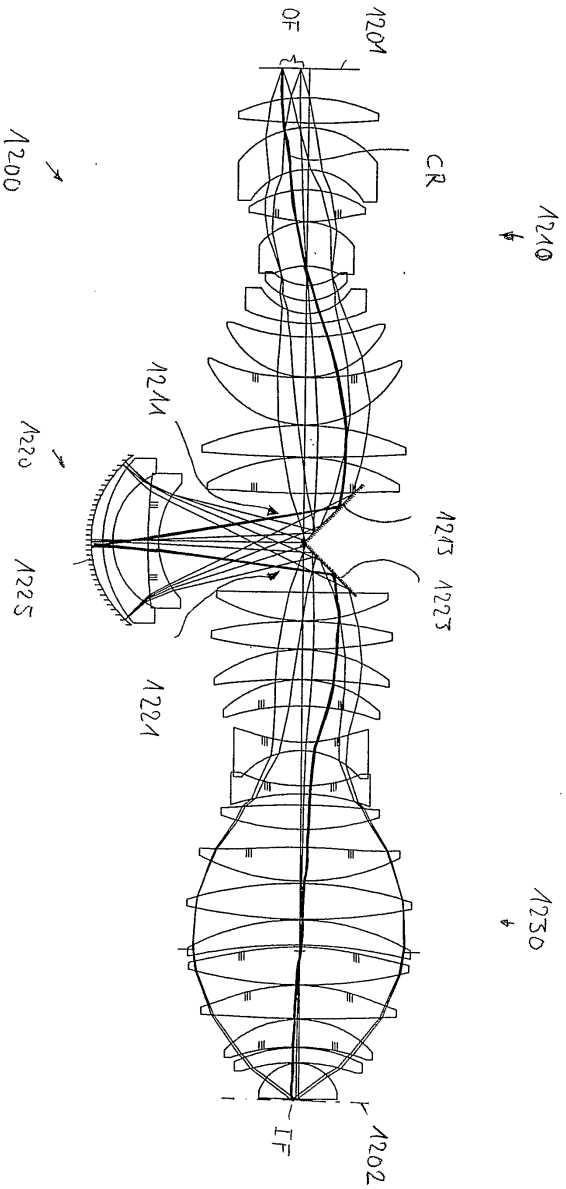
도면11


1101
OR1
CR
1110
1100
1111
1113
1123
1120
1125
OR2
1126
1121
OR3
1130
AS
1102

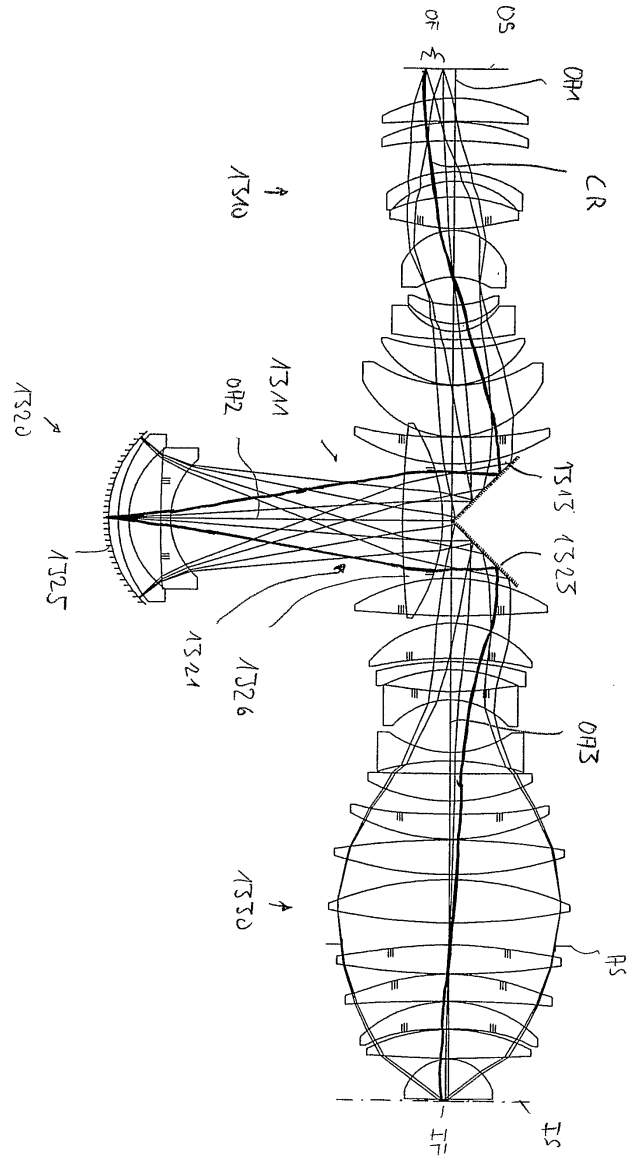
도면11a


OF
OS
OFCA
OA1
h
FM1
FM2
CM
OA2
AO
IFCA
h'
OA3
IF
IS

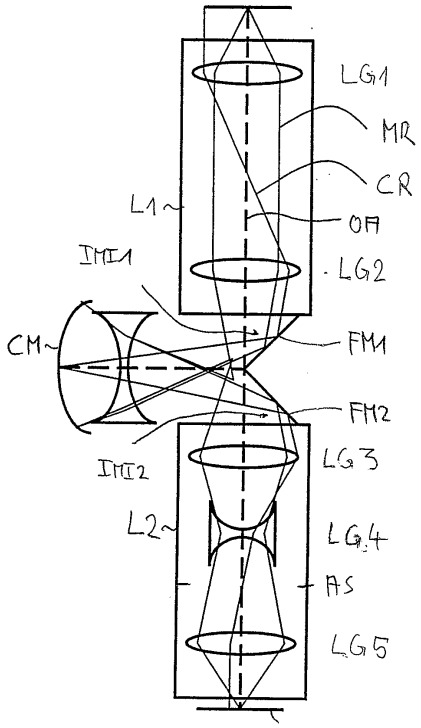
도면12


OF
1201
1200
CR
1210
1211
1220
1213
1223
1225
1221
1230
IF
1202

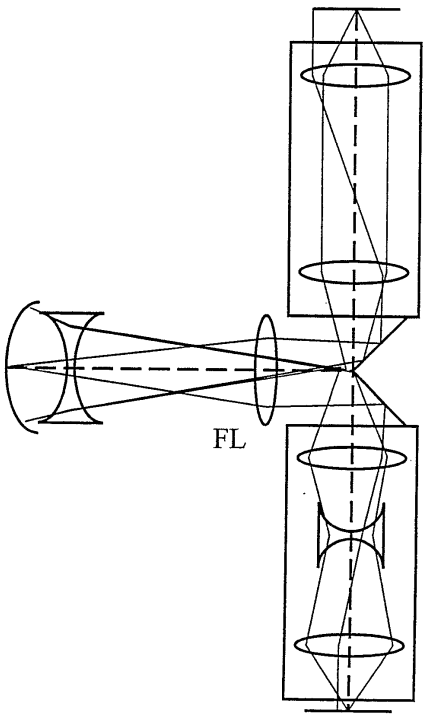
도면13



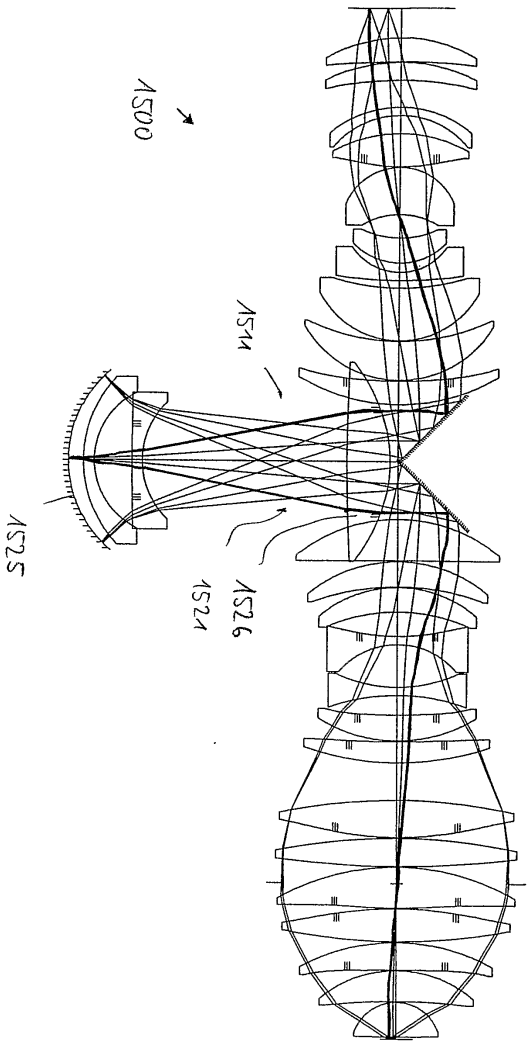
도면14a



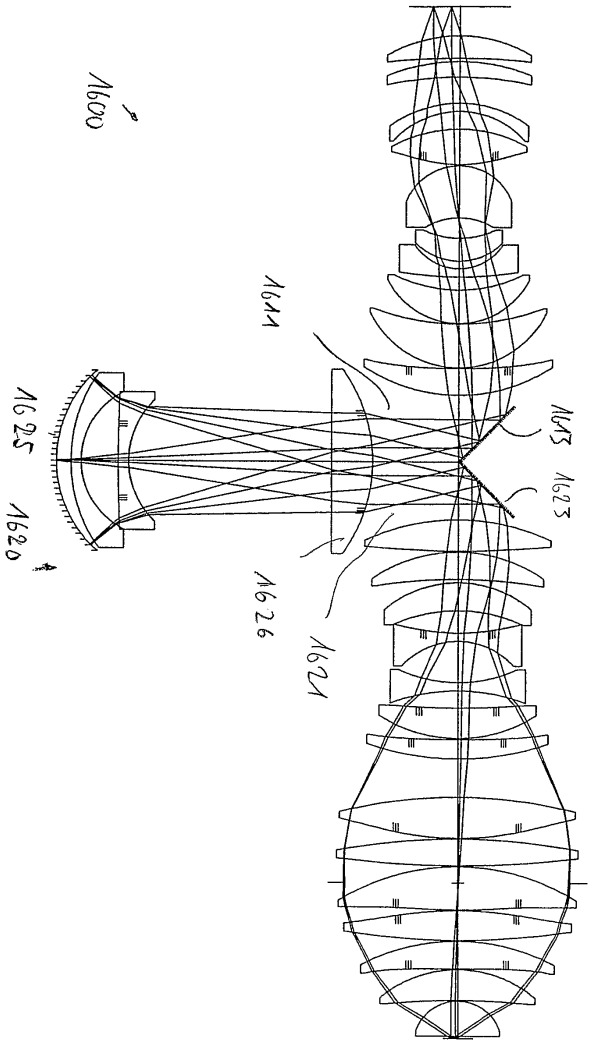

도면14b



도면15



도면16



도면17

