



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년03월09일

(11) 등록번호 10-1500784

(24) 등록일자 2015년03월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G02B 17/08 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)

G03B 27/00 (2015.01)

(21) 출원번호 10-2010-7004855

(22) 출원일자(국제) 2008년09월01일

심사청구일자 2013년08월01일

(85) 번역문제출일자 2010년03월04일

(65) 공개번호 10-2010-0052515

(43) 공개일자 2010년05월19일

(86) 국제출원번호 PCT/EP2008/007123

(87) 국제공개번호 WO 2009/030444

국제공개일자 2009년03월12일

(30) 우선권주장

11/896,689 2007년09월05일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP2001166210 A

EP0902329 A

US20060098298 A1

JP2000133588 A

전체 청구항 수 : 총 28 항

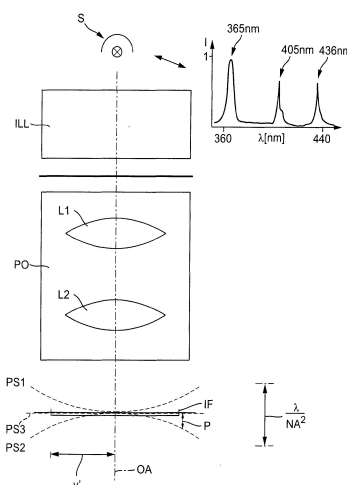
심사관 : 오균규

(54) 발명의 명칭 색 보정된 반사굴절 대물부 및 이를 포함하는 투영 노광 장치

(57) 요약

반사굴절 대물부는 중심 파장 λ 주위의 파장 대역으로부터의 전자기 방사선에 의해 영상측 개구수 NA에서 대물부의 대상물 표면의 물체 필드로부터 패턴을 대물부의 결상면 영역의 영상 필드에 결상시키도록 광축을 따라 배치되는 복수의 광학 소자를 포함한다. 광학 소자는 오목 거울 및 복수의 렌즈를 포함한다. 투영 대물부는 파장 대역의 각각의 파장 λ 에 대해 각각의 페즈발 면에 패턴의 영상을 형성하고, 페즈발 면들은 상이한 파장에 대해서로부터 벗어난다. 여러 실시예들에서, 결상면 영역에서 광축에 평행하게 측정된, 영상 필드의 가장자리 필드 점에서(최대 영상 높이 y' 에서) 평면 기준면으로부터 주어진 파장에서의 페즈발 면의 중방향 이탈 p 는 $dp/d\lambda < (0.2\lambda/NA^2)/nm$ 에 따라서 파장 λ 에 따라 변한다.

대표도 - 도2a



특허청구의 범위

청구항 1

반사굴절 대물부이며,

중심 파장 λ 주위의 파장 대역으로부터의 전자기 방사선에 의해 영상측 개구수 NA에서 반사굴절 대물부의 대상물 표면(OS)의 물체 필드로부터 패턴을 반사굴절 대물부의 결상면(IS) 영역의 영상 필드에 결상시키도록 광축(OA)을 따라 배치되는 복수의 광학 소자를 포함하고,

광학 소자는,

오목 거울(CM), 및

중앙 아베수를 규정하는 상이한 아베수를 갖는 상이한 재료로 제조되는 렌즈들을 포함하는 복수의 렌즈를 포함하며,

반사굴절 대물부가 파장 대역의 각각의 중심 파장 λ 에 대해서 상이한 파장에 대해 서로로부터 벗어나는 페즈발면들의 각각에 패턴의 영상을 형성하도록, 복수의 렌즈 중 적어도 하나는 중앙 아베수와 동일하거나 그것보다 큰 제1 아베수를 갖는 제1 재료로 제조되는 제1 렌즈이고, 복수의 렌즈 중 적어도 하나는 중앙 아베수보다 작은 아베수를 갖는 제2 재료로 제조되며,

영상 필드는 3 mm보다 큰 최대 영상 필드 높이 y' 에 의해 규정되는 영상 필드 크기를 갖고,

반사굴절 대물부는 영상측 개구수 $NA > 0.2$ 를 갖고,

결상면 영역에서 광축에 평행하게 측정된, 영상 필드의 가장자리 필드 점에서(최대 영상 필드 높이 y' 에서) 평면 기준면으로부터 주어진 파장에서의 페즈발 면의 종방향 이탈 p 는,

$$dp/d\lambda < (0.2\lambda/NA^2)/nm$$

에 따라서 중심 파장 λ 에 따라 변하는 반사굴절 대물부.

청구항 2

제1항에 있어서, 전체 렌즈들 중 50%보다 많은 렌즈들이 제1 재료로 제조되고, 하나 내지 50%보다 적은 렌즈들이 제2 재료로 제조되는 반사굴절 대물부.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 전체 렌즈들 중 하나 내지 30%보다 적은 렌즈들은 제2 재료로 제조되는 반사굴절 대물부.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서, 제2 재료로 제조되는 적어도 하나의 제2 렌즈는 네거티브 렌즈인 반사굴절 대물부.

청구항 5

제4항에 있어서, 네거티브 렌즈(L1-7, L3-3)는 양면오목 네거티브 렌즈인 반사굴절 대물부.

청구항 6

제4항에 있어서, 네거티브 렌즈(L1-7, L3-3)는 네거티브 렌즈에 바로 인접한 적어도 하나의 렌즈의 광학적 자유 직경보다 작은 광학적 자유 직경을 갖는 반사굴절 대물부.

청구항 7

제4항에 있어서, 반사 굴절 대물부는 최대 광학적 자유 직경을 갖는 최대 렌즈를 갖고, 네거티브 렌즈는 반사굴절 대물부의 최대 렌즈의 광학적 자유 직경의 80% 미만인 광학적 자유 직경을 갖는 반사굴절 대물부.

청구항 8

제4항에 있어서, 네거티브 렌즈(L1-7)는 2개의 인접한 렌즈 사이에 배치되고, 2개의 인접한 렌즈의 각각은 네거티브 렌즈의 광학적 자유 직경보다 큰 광학적 자유 직경을 갖는 반사굴절 대물부.

청구항 9

제4항에 있어서, 반사굴절 대물부는 반사굴절 대물부를 투과하는 방사선 빔의 빔 직경이 국소적 최소치를 갖는 적어도 하나의 웨이스트 영역을 포함하고, 네거티브 렌즈(L1-7)는 웨이스트 영역에 위치되는 반사굴절 대물부.

청구항 10

제4항에 있어서, 반사굴절 대물부는 적어도 하나의 중간 영상을 구비하고, 네거티브 렌즈는 중간 영상에 근접하게 위치되는 반사굴절 대물부.

청구항 11

제1항 또는 제2항에 있어서, 반사굴절 대물부는 제2 재료로 이루어진 적어도 2개의 네거티브 렌즈를 포함하는 반사굴절 대물부.

청구항 12

제1항 또는 제2항에 있어서, 제1 재료는 용융 실리카(SiO_2)인 반사굴절 대물부.

청구항 13

제1항 또는 제2항에 있어서, 광학 소자는 제1 렌즈(L2-1) 및 제1 렌즈에 바로 인접한 제2 렌즈(L2-2)로 구성되는 2겹 렌즈를 포함하며, 제1 렌즈(L2-1)는 제1 재료로 제조되는 포지티브 렌즈이고, 제2 렌즈(L2-2)는 제2 재료로 제조되는 네거티브 렌즈인 반사굴절 대물부.

청구항 14

제13항에 있어서, 2겹 렌즈는 주광선 높이가 반사굴절 대물부에서의 최대 주광선 높이의 적어도 50%인 반사굴절 대물부의 필드면에 광학적으로 근접한 영역에 배치되는 반사굴절 대물부.

청구항 15

제13항에 있어서, 2겹 렌즈는 방사선이 2겹 렌즈를 반대 방향으로 적어도 두 번 투과하도록 이중 투과 영역에 배치되는 반사굴절 대물부.

청구항 16

제13항에 있어서, 제1 재료로 제조되는 포지티브 렌즈(L2-3)가 2겹 렌즈의 제1 렌즈(L2-1)와 반대 측에서 2겹 렌즈의 제2 렌즈(L2-2)에 바로 인접하게 배치되는 반사굴절 대물부.

청구항 17

제1항 또는 제2항에 있어서, 오목 거울(CM)은 반사굴절 대물부의 표면에 또는 그것에 광학적으로 근접하게 배치되고, 적어도 하나의 네거티브 렌즈를 포함하는 네거티브 군은 방사선이 네거티브 군(NG)을 반대 방향으로 적어도 두 번 투과하도록 이중 투과 영역에서 오목 거울의 전방에서 그 반사측 상에 배치되는 반사굴절 대물부.

청구항 18

제1항 또는 제2항에 있어서, 반사굴절 대물부는 파장 대역의 각각의 파장에 대해 최대 영상 필드 높이 y' 에서 영상 필드의 가장자리 필드 점에서 평면 기준면으로부터 주어진 파장에서의 페즈발 면의 종방향 이탈 p 를 λ/NA^2 미만으로 감소시키는 반사굴절 대물부.

청구항 19

제1항 또는 제2항에 있어서, 중심 파장 λ 는 300 nm보다 크고 $dp/d\lambda < (0.2\lambda/NA^2)/nm$ 인 반사굴절 대물부.

청구항 20

제1항 또는 제2항에 있어서, 반사굴절 대물부는 파장 대역의 제1 파장 $\lambda_1 < \lambda$ 에서 제1 페즈발 면에 패턴의 제1 영상을 형성하고, 2 nm 이상인 파장 차이 $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ 만큼 제1 파장으로부터 이격된 제2 파장 $\lambda_2 > \lambda$ 에서 제2 페즈발 면에 패턴의 제2 영상을 형성하는 반사굴절 대물부.

청구항 21

제1항 또는 제2항에 있어서,

광축을 따라 배치된 광학 소자들은

패턴을 제1 중간 영상(IMI1)으로 결상시키도록 구성되는 제1 대물부 부품(OP1),

제1 중간 영상을 제2 중간 영상(IMI2)으로 결상시키도록 구성되는 제2 대물부 부품(OP2), 및

제2 중간 영상을 결상면(IS) 상에 결상시키도록 구성되는 제3 대물부 부품(OP3)을 형성하는 반사굴절 대물부.

청구항 22

제21항에 있어서, 제2 대물부 부품은 적어도 하나의 오목 거울(CM)을 포함하는 반사굴절 대물부.

청구항 23

제21항에 있어서, 제1 대물부 부품(OP1)과 제3 대물부 부품(OP3) 중 하나 이상은 굴절 대물부 부품인 반사굴절 대물부.

청구항 24

제21항에 있어서, 방사선을 대상물 표면(OS)으로부터 오목 거울(CM) 쪽으로 편향시키거나 방사선을 오목 거울로부터 결상면 쪽으로 편향시키도록 배치되는 제1 편향 거울(FM1)로서, 기하학적으로 제1 편향 거울과 오목 거울(CM) 사이에 이중 투과 영역이 형성되도록 배치되는 제1 편향 거울과,

결상면(IS)이 대상물 표면(OS)에 평행하도록 방사선을 제1 편향 거울로부터 결상면 쪽으로 편향시키도록 배치되는 제2 편향 거울(FM2)을 더 포함하는 반사굴절 대물부.

청구항 25

제21항에 있어서, 제1 중간 영상을 제2 중간 영상으로 결상시키도록 구성되는 제2 대물부 부품(OP2)은 조건 $0.8 \leq |\beta_2| \leq 1.1$ 에 따른 제2 배율 β_2 를 갖는 반사굴절 대물부.

청구항 26

제22항에 있어서, 정확하게 하나의 오목 거울(CM)이 있는 반사굴절 대물부.

청구항 27

반사굴절 대물부의 대상물 표면의 영역에 배치된 마스크(M)의 패턴의 적어도 하나의 영상으로 반사굴절 대물부(PO)의 결상면의 영역에 배치된 전자기 방사선 민감성 기관(W)을 노광시키도록 구성되는 투영 노광 장치(WS)이며,

중심 파장 λ 주위의 파장 대역으로부터 전자기 방사선을 방출하는 복사원(S),

복사원으로부터 방사선을 수신하고 마스크의 패턴 상으로 지향되는 조명 방사선을 성형시키는 조명 시스템(ILL), 및

제1항 또는 제2항에 따른 반사굴절 대물부를 포함하는 투영 노광 장치.

청구항 28

제27항에 있어서, $\lambda > 300 \text{ nm}$ 이고, 파장 대역은 제1 파장 $\lambda_1 < \lambda$ 및 1 nm 보다 큰 파장 차이 $\Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ 만큼 제1 파장으로부터 이격된 제2 파장 $\lambda_2 > \lambda$ 를 포함하는 투영 노광 장치.

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

청구항 58

삭제

청구항 59

삭제

청구항 60

삭제

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

삭제

청구항 64

삭제

청구항 65

삭제

청구항 66

삭제

청구항 67

삭제

청구항 68

삭제

명세서

기술분야

[0001]

본 발명은 반사굴절 대물부에 관한 것이다. 이 대물부는, 투영 대물부의 대상물 표면(object surface)의 영역에 배치된 마스크의 패턴의 적어도 하나의 상으로 투영 대물부의 결상면(image surface)의 영역에 배치된 방사선 민감성 기판을 노광시키기 위해 마이크로리소그래피 투영 노광 장치에 사용될 수 있는 반사굴절 투영 대물부로서 구성될 수 있다. 본 발명은 또한 그러한 반사굴절 대물부를 포함하는 투영 노광 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002]

반도체 구성요소 및 다른 세밀하게 패턴화된 구성요소를 제조하기 위해 마이크로리소그래피 투영 노광 방법 및 장치가 사용된다. 마이크로리소그래피 노광 공정은 결상될 구조체의 패턴, 예를 들어 반도체 구성요소 층의 선 패턴을 구비하거나 형성하는 마스크[레티클(reticle)]의 사용을 수반한다. 이 패턴은 투영 대물부의 대상물 표면의 영역에서 조명 시스템과 투영 대물부 사이의 투영 노광 장치에 위치된다. 자외선 전자기 스펙트럼으로부터의 일차 방사선(UV 방사선)이 일차 복사원에 의해 제공되어, 마스크의 패턴으로 지향된 조명 방사선을 생성하도록 조명 시스템의 광학 구성요소에 의해 변환된다. 마스크와 패턴에 의해 변환된 방사선은 투영 대물부를 통과하여, 노광될 기판이 배치되는 투영 대물부의 결상면에 패턴의 영상을 형성한다. 기판, 예컨대 반도체 웨이퍼는 보통 방사선 민감성 층(포토레지스트)을 구비한다.

[0003]

현재 다양한 유형의 일차 복사원이 마이크로리소그래피 분야에 사용되고 있다. 몇몇 경우들에서는, 일차 복사원으로서 레이저가 사용된다. 레이저의 고유 대역폭은 적절한 대역폭 협소화 장치에 의해 좁혀질 수 있다. 예를 들어, 약 $\Delta\lambda = 500 \text{ pm}$ 의 고유 대역폭은 노광에 사용되는 대역폭 $\Delta\lambda \approx 0.5 \text{ pm}$ 을 갖는 방사선을 얻기 위해 3개 크기 자릿수만큼 감소될 수 있다. 비교적 작은 대역폭을 갖는 방사선이 노광에 사용되는 경우에, 투영

대물부의 광학 소자에 의해 유발된 색 수차는 색 보정(색 수차의 보정)에 대한 특별한 노력 없이도 비교적 작게 유지될 수 있다.

[0004] 비교적 넓은 파장 대역으로부터 자외선 방사선을 방출하는 일차 복사원을 구비한 마이크로리소그래피 시스템에서는 상황이 다르다. 예를 들어, 수은 증기 램프 또는 발광 다이오드(LED)가 일차 복사원으로서 사용될 수 있다. 구체적으로, 중심 파장 $\lambda = 365.5 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$ 를 갖는 투영 노광 시스템(이른바 i-라인 시스템)이 오랫동안 사용되어 왔다. 이들 시스템은 수은 증기 램프의 i-라인을 사용하며, 이때 그것의 고유 대역폭은 필터의 도움으로 또는 어떤 다른 방식으로 약 2 nm의 보다 좁은 사용 대역폭 $\Delta\lambda$ 로 제한된다. 약 405 nm의 수은 h-라인 및 약 436 nm의 수은 g-라인과 같은, 수은 증기 램프의 다른 스펙트럼 라인이 또한 노광에 사용될 수 있다. 라인들의 각각의 전자기 스펙트럼은 비교적 넓으며, 따라서 그러한 넓은 대역의 방사선을 가지고서도 필요로 하는 분해능에서의 저-수차 결상을 보장하기 위해서는, 투영 대물부가 색 수차의 비교적 효율적인 보정을 제공하여야 하는 것을 필요로 한다. 색 보정은 또한 자연 선폭(natural line width)에서 레이저원을 사용하고자 하는 경우에, 또는 단지 보통의 선폭 협소화만을 갖는 레이저원을 사용하고자 하는 경우에 필요하다.

[0005] 색 수차는 기본적으로 투과성 광학 재료의 굴절률 n 이 파장 λ 의 함수로서 변하기 때문에 발생한다. 일반적으로, 광학 재료의 굴절률은 보다 긴 파장에 대해서보다 보다 짧은 파장에 대해 더욱 크다. 색 수차는 상이한 범주들로 세분될 수 있다. 색 수차의 제1 범주는 이상적 영상으로부터의 상이한 파장에서 형성된 영상의 위치, 형상 및/또는 크기의 편차를 포함한다. 이는, 영상이 각각의 파장에 대해 근축 영역에 형성되고 이 영상들이 보통 위치, 형상 및/또는 크기에 있어 상이하다는 사실의 원인이 된다. 제1 범주의 색 수차는 보통 "축상 색수차(axial chromatic aberration)"[또는 종색수차(axial color), AX]와 "배울 색수차(chromatic difference of magnification)"[또는 횡색수차(lateral color), LAT]로 지칭된다.

[0006] 축상 색수차는 파장에 따른 근축 초점(또는 영상 위치)의 종방향 변동이다. 광학 재료의 굴절률이 보다 긴 파장에 대해서보다 보다 짧은 파장에 대해 더욱 큰 경우에, 짧은 파장은 렌즈 소자의 각각의 면에서 더욱 강하게 굴절되어, 예를 들어 단순 포지티브 렌즈(positive lens)에서, 상대적으로 더욱 짧은 파장의 광선이 상대적으로 더욱 긴 파장의 광선에 비해 렌즈에 더욱 근접하게 집중되도록 한다. 두 초점들 사이의, 렌즈의 광축을 따른 근축 거리가 축상 색수차이다. 보다 짧은 파장의 광선이 보다 긴 파장의 광선에 비해 포지티브 렌즈에 더욱 근접하게 집중될 때, 종방향 축상 색수차는 보통 "저보정된(undercorrected)" 것으로 또는 "음(negative)"인 것으로 지칭된다.

[0007] 렌즈계가 상이한 파장에 대해 상이한 크기의 영상을 형성하거나 비축 점(off-axis point)의 영상을 색띠(color fringe)로 확산시킬 때, 상이한 색에 대한 근축 영상 높이들 사이의 차이가 보통 횡색수차 또는 배울 색수차로 지칭된다.

[0008] 굴절률의 색 변동은 또한 단색수차의 변동을 유발하며, 이는 색 수차의 제2 범주로 요약될 수 있다. 단색수차의 변동은 구면 수차의 색 변동, 코마(coma)의 색 변동, 비점 수차의 색 변동, 왜곡의 색 변동, 및 영상 필드 만곡(image field curvature)의 색 변동을 포함한다.

[0009] 몇몇 경우들에서, 비교적 광대역 복사원과 함께 사용되는 대물부에서 특히 긴 영상 필드의 외측 가장자리 부근에서 낮은 콘트라스트를 갖는 흐릿한 영상이 관측되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 한가지 목적은 광대역 복사원에 의해 제공된 자외선 방사선으로 작동될 수 있는, 마이크로리소그래피에 유용한 반사굴절 대물부를 제공하는 것이다.

[0011] 본 발명의 다른 목적은 광대역 복사원에 의해 제공된 자외선 방사선으로 작동될 때 전체 영상 필드에 걸쳐 충분한 콘트라스트를 갖는 영상을 생성하는, 마이크로리소그래피에 유용한 반사굴절 대물부를 제공하는 것이다.

[0012] 본 발명의 또 다른 목적은 페츠발 합(Petzval sum)의 색 변동에 대해 우수한 보정 상태를 갖는 반사굴절 대물부를 제공하는 것이다.

[0013] 본 발명의 또 다른 목적은 투과성 광학 소자에 사용되는 재료의 품질 허용오차에 관하여 그리고 재료의 선택에 관하여 제조가 용이해지는, 광대역 복사원에 의해 제공된 자외선 방사선으로 작동될 수 있는, 마이크로리소그래피에 유용한 반사굴절 대물부를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0014] 본 발명의 이들 및 다른 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 제1 태양에 따르면, 청구범위 제1항의 특징을 갖는 반사굴절 대물부를 제공한다. 바람직한 실시예들이 종속항들에 제시된다. 모든 청구범위의 표현은 본 명세서에 참고로 통합된다.
- [0015] 반사굴절 대물부는, 중심 파장 λ 주위의 파장 대역으로부터의 전자기 방사선에 의해 영상측 개구수 NA에서 대물부의 대상물 표면의 물체 필드로부터 패턴을 대물부의 결상면 영역의 영상 필드에 결상시키도록 광축을 따라 배치되는 복수의 광학 소자를 포함한다. 광학 소자는 오목 거울 및 복수의 렌즈를 포함한다.
- [0016] 복수의 렌즈는 중앙 아베수(median Abbe number)를 규정하는 상이한 아베수들을 갖는 상이한 재료로 제조되는 렌즈를 포함하며, 여기에서 복수의 렌즈 중 적어도 하나는 중앙 아베수와 동일하거나 그것보다 큰 제1 아베수를 갖는 제1 재료로 제조되는 제1 렌즈이고, 복수의 렌즈 중 적어도 하나는 중앙 아베수보다 작은 아베수를 갖는 제2 재료로 제조된다.
- [0017] 투영 대물부는 파장 대역의 각각의 파장 λ 에 대해 각각의 페즈발 면에 패턴의 영상을 형성하고, 페즈발 면들은 상이한 파장에 대해 서로로부터 벗어난다. 결상면 영역에서 광축에 평행하게 측정된, 영상 필드의 가장자리 필드 점에서(최대 영상 높이 y' 에서) 평면 기준면으로부터 주어진 파장에서의 페즈발 면의 종방향 이탈 p 는 $dp/d\lambda < (0.2\lambda/NA^2)/nm$ 에 따라서 파장 λ 에 따라 변한다.
- [0018] 전술된 평면 기준면은 때때로 가우시안 결상면(Gaussian image surface)으로 지칭되는, 대물부의 근축 결상면일 수 있다. 이 근축 결상면은 근축 영상(근축 광선에 의해 형성되는 영상)이 형성되는 축방향 위치에서 광축에 수직하게 연장된다. 평면 기준면은 대물부의 가장 좋은 초점 평면일 수 있다. 일반적으로, 가장 좋은 초점 평면은 근축 영상 평면과 일치하지 않고, 탈초점(defocus)을 비롯한 모든 수차가 양호하게 평행되는 위치로 근축 영상 평면에 대해 다소 탈초점된다.
- [0019] 모든 광학계는 종래에 페즈발 만곡(Petzval curvature)으로 불리웠던 일종의 기본 필드 만곡과 관련되었다. 비점 수차가 없을 때, 구결 결상면(sagittal image surface)과 자오 결상면(tangential image surface)은 서로 일치하고 페즈발 면 상에 놓인다. 포지티브 렌즈(양의 굴절력을 갖는 렌즈)는 광학계에 페즈발 면의 내향 만곡을 도입하고, 네거티브 렌즈(negative lens)(음의 굴절력을 갖는 렌즈)는 후향 만곡을 도입한다. 페즈발 만곡 $1/R_p$ 는 페즈발 면의 곡률 반경인 페즈발 반경 R_p 의 역수인 페즈발 합 $1/R_p$ 에 의해 주어진다. 광선굴절(dioptic)(굴절) 광학 소자의 페즈발 합은 다음과 같이 정의될 수 있다.
- [0020] [수학식 1]
- $$\frac{1}{R_p} = -n_{img} \sum_i \frac{1}{r_i} \left(\frac{1}{n_i} - \frac{1}{n_{i-1}} \right)$$
- [0021]
- [0022] 이 식에서, R_p 는 영상 공간에서의 페즈발 면의 곡률 반경이고, n_{img} 는 영상 공간에서의 굴절률이며, r_i 는 i 번째 광학계 면의 곡률 반경(입사 방사선 쪽으로 볼록하면 양)이고, n_i 및 n_{i-1} 은 i 번째 광학계 면의 하류 및 상류의 매질의 굴절률이다. 비점 수차가 없는 경우에, 페즈발 만곡은 결상면의 곡률에 해당한다. 반사면(거울)에 대해, 조건 $n_i = -n_{i-1}$ 이 충족되어 다음의 식이 성립하며,
- [0023] [수학식 2]
- $$\frac{1}{R_p} = n_{img} \sum_i \frac{2}{r_i \cdot n_i},$$
- [0024]
- [0025] 여기에서 n_i 는 거울면을 둘러싸는 매질의 굴절률이다. 식 (1)과 식 (2)는 포지티브 렌즈에 대해 조건 $R_p < 0$ 이 충족됨을 보여주며, 이는 페즈발 면의 내향 만곡에 해당한다. 따라서, 평면 물체의 영상은 방사선 방향 쪽으로 오목할 것이며, 이 조건은 전형적으로 필드 만곡의 "저보정(undercorrection)"으로 지칭된다. 이와는 대조적으로, 오목 거울에 대해 조건 $R_p > 0$ 이 충족되며, 이는 필드 만곡의 과보정(overcorrection)에 해당한다.
- [0026] 페즈발 면과 근축 결상면은 광축 상에서 일치한다. 페즈발 면의 만곡은 페즈발 면이 광축으로부터 더욱 멀리

떨어진 필드 점에 대해 이상적 결상면으로부터 이탈되는 상황을 유발할 수 있다. 페즈발 면이 만족된다는 사실로 인해, 영상 공간에서 광축에 평행하게 측정된, 영상 필드의 외측 가장자리의 필드 점에서(최대 영상 필드 높이 y' 에서) 이상적 결상면(보통 평탄함)으로부터 페즈발 면의 종방향 이탈 p 가 형성된다. 용어 "영상 필드 만족"은 종래에 그러한 최대 영상 필드 높이 y' 에서의 종방향 이탈[또는 침하(sag)]을 지칭하는데 사용되고 있으며, 영상 필드의 곡률 반경의 역수인 "영상 필드의 곡률"과 혼동되지 않아야 한다.

[0027]

일반적으로, 영상 필드 만족은 상이한 파장에 대해 상이할 것이며, 이는 광학계의 "영상 필드 만족의 색 변동"(또는 페즈발 합의 색 변동)에 해당한다. 바꾸어 말하면, 영상 필드 만족(또는 페즈발 합)은 파장 λ 의 함수이다. 단지 한가지 재료만으로 제조된 렌즈를 구비한 광학계를 고려하면(단일-재료 광학계), 모든 렌즈의 굴절률에 대한 파라미터 n_g 와 렌즈들 사이의 공간에서의 매질의 굴절률에 대한 파라미터 n_a 를 사용하여 다음의 식들에 따라 식 (1)이 재수식화될 수 있다.

[0028]

[수학식 3]

$$\frac{1}{R_p} = \left(\frac{1}{n_g} - \frac{1}{n_a} \right) n_{img} \cdot \sum_{lenses} \left(\frac{1}{r_{i,1}} - \frac{1}{r_{i,2}} \right)$$

[0029]

[0030]

[수학식 3a]

$$\frac{1}{R_p} = \left(\frac{1}{n_g} - \frac{1}{n_a} \right) n_{img} \cdot G,$$

여기에서

[0031]

[0032]

[수학식 3b]

$$G = \sum_{lenses} \left(\frac{1}{r_{i,1}} - \frac{1}{r_{i,2}} \right)$$

[0033]

[0034]

[수학식 3c]

$$\frac{d}{d\lambda} \left(\frac{1}{R_p} \right) = \left(-\frac{1}{n_g^2} \right) n_{img} \cdot G \cdot \frac{dn_g}{d\lambda}$$

[0035]

[0036]

식 (3)은 광학계 페즈발 합에 대한 광선굴절 기여를 제공한다. 식 (3)의 우측의 합산 항에서, 파라미터 $r_{i,1}$ 및 $r_{i,2}$ 는 각각 렌즈의 입사면 및 출사면의 곡률 반경을 지칭한다. 식 (3b)에 정의된 바와 같은 합산 항 G 에 해당하는, 식 (3)의 우측의 곱셈식의 합산 항은 광학계의 순수 기하학적 특성을 기술하는 반면에, 식 (3)의 곱셈식의 제1 인수는 렌즈의 굴절률을 포함하고 일반적으로 0과는 상이하며 파장에 따라 변한다. 따라서, 합산 항(순수 기하학적 항 G)이 0과 상이하고, 렌즈에 사용되는 투과성 재료가 분산성 재료이면(굴절률이 파장에 따라 변함), 거울에 인접한 매질의 분산을 무시해도 좋다고 가정할 때, 식 (3)에 제시된 페즈발 합에 대한 기여가 식 (3c)에 제시된 바와 같이 파장에 따라 변하게 된다.

[0037]

식 (2)로부터 명백한 바와 같이, 반사면의 페즈발 합에 대한 기여는 반사면이 공기 또는 다른 가스와 같은 사실상 무분산(dispersion-free) 매질에 놓이는 한 파장에 의존하지 않는다. 따라서, 반사굴절 광학계에서 페즈발 합의 전체 색 변동은 광학계의 광선굴절(굴절) 광학 구성요소의 페즈발 합의 색 변동과 동일하다.

[0038]

전술된 바와 같이, 페즈발 합은 최적의 품질을 갖는 영상이 생성되는 영상 필드의 곡률을 나타내는 파라미터이다(비점 수차가 같은 다른 수차가 존재하지 않으면). 주어진 영상 필드 만족이 광학계에 수용가능한지의 여부를 결정하고자 하는 경우에, 다음과 같은 문제점이 기술될 수 있다. 결상면 영역에서 광축에 평행하게 측정된, 영상 높이 y' 에서의 영상 필드의 가장자리 필드 점에서 기준 결상면으로부터의 페즈발 면의 종방향 이탈 p 는 다음과 같이 기재될 수 있으며,

[0039] [수학식 4]

$$p = \frac{1}{2R_p} y'^2$$

[0040]

[0041] 여기에서 R_p 는 페즈발 반경(페즈발 면의 반경)이다. 종방향 이탈 p 는 사실상 광축에 수직한 평면 또는 다른 형상의 면일 수 있는 기준면으로부터 영상 필드의 외측 가장자리에서의 탈초점에 해당한다. 전체 영상 필드를 가로질러 회절 제한 영상(diffraction limited image)을 얻고자 하는 경우에, 이 탈초점(종방향 이탈)은 다음과 같이 정의된 레일리 단위(Rayleigh unit) RU에 비례하는 초점 심도(depth of focus: DOF)의 소정의 분율을 초과하지 않아야 한다.

[0042] [수학식 5]

$$RU = \frac{\lambda}{NA^2}$$

[0043]

[0044] 따라서, 페즈발 함으로부터 유발되는 탈초점은 다음 식에 따라서 주어진 한계치를 초과하지 않아야 한다.

[0045] [수학식 6]

$$p < A \cdot \frac{\lambda}{NA^2}$$

[0046]

[0047] 일반적으로, 회절 제한 결상이 요망되는 경우에, 조건 $A < 1$ 이 충족되어야 한다.

[0048] 페즈발 함이 파장에 따라 변하는 경우에, 위에서 정의된 종방향 이탈 p 는 파장 λ 에 대한 p 의 미분계수 $dp/d\lambda$ 가 0과는 다른 유한한 값을 갖도록 또한 파장에 따라 변한다. 파장 λ 에 대한 p 의 미분계수 $dp/d\lambda$ 는 광학계에 서 영상 필드 만곡의 색 변동의 크기를 특징짓는데 사용될 수 있다. 파장 λ 에 대한 p 의 미분계수 $dp/d\lambda$ 는 다음의 식이 성립하도록 의도된 용도의 파장 대역에서 한계치 B 를 초과하지 않아야 한다.

[0049] [수학식 7]

$$dp/d\lambda < B$$

[0050]

[0051] 광대역 응용분야에서, 파장 차이 $\Delta\lambda$ 만큼 이격된 적어도 2개의 파장 λ_1 및 λ_2 를 사용하고자 하는 경우에, 조건 (6)은 다음과 같이 재수식화될 수 있다.

[0052] [수학식 8]

$$dp/d\lambda * \Delta\lambda < A * 1RU$$

[0053]

[0054] 대물부가 마이크로리소그래피 시스템에 투영 대물부로서 사용되도록 구성되는 경우에, 상이한 파장에 대해 형성된 영상이 공통 영상 필드 영역에 비교적 서로 근접하게 놓이고, 이 공통 영상 필드 영역은 본질적으로 구성요소의 경제적인 제조를 가능하게 하기 위해 충분히 큰 영역에서 평탄한 것이 바람직할 수 있다. 이들 실시예에서, 대물부는 대물부의 초점 심도보다 작은 영상 영역에서 제1 파장 및 제2 파장의 각각에 대해 영상 필드 만곡을 줄이도록 구성될 수 있다. 초점 심도(DOF)는 레일리 단위 $RU = \lambda/NA^2$ 에 비례한다.

[0055] 본 발명의 제1 태양에 따른 반사굴절 대물부에서, 적어도 2개의 투과성 광학 재료가 색 보정, 특히 페즈발 만곡의 색 변동의 보정을 지원하기 위해 렌즈에 사용된다. 이들 실시예에서, 복수의 렌즈는 상이한 아베수를 갖는 상이한 재료로 제조되는 렌즈를 포함한다. 굴절률 n (파장 λ 에 의존하는)을 갖는 재료에 대한 아베수 v 는 일반적으로 다음과 같이 정의될 수 있으며,

[0056] [수학식 9]

$$v = \frac{n-1}{n_{\lambda_1} - n_{\lambda_2}}$$

[0057]

[0058] 여기에서 λ_1 및 $\lambda_2 > \lambda_1$ 은 아베수의 계산을 위해 대역폭을 결정하는 상이한 파장이고, n 은 λ_2 와 λ_1 사이의 파장 λ 에서의 굴절률이며, n_{λ_1} 및 n_{λ_2} 는 각각 λ_1 및 λ_2 에 대한 굴절률이다. 아베수는 때때로 역 상대 분산도(reciprocal relative dispersion)로 지칭되고, 이는 일반적으로 비교적 큰 아베수가 비교적 낮은 분산도를 갖는 재료에 해당하고 그 역도 성립하는 것을 나타내며, 여기에서 재료의 분산도는 파장에 대한 굴절률의 변화율, 즉 $dn/d\lambda$ 이다.

[0059]

굴절 광학계에서 색 수차의 보정에 대한 종래의 이론은 어느 한 파장 대역에서의 2개 이상의 상이한 파장에 대해 축상 색수차를 보정하기 위해서는 상이한 분산도(또는 아베수)를 갖는 적어도 2개의 상이한 광학 재료가 조합될 필요가 있음을 교시하고 있다. 종래에, 2개의 파장이 공통 초점에 집속되는 광학계는 "색지움 렌즈(achromat)"로 불리운다. 3개의 파장이 공통 초점에 집속되는 광학계는 보통 "고도 색지움 렌즈(apochromat)"로 불리운다. 용어 "초고도 색지움 렌즈(superapochromat)"는 4개 이상의 파장이 공통 초점에 집속되는 광학계를 지칭하도록 사용될 수 있다.

[0060]

축상 색수차(AX)의 보정은 색 보정된 대물부를 얻기 위한 선행 조건으로서 고려될 수 있지만, 단지 AX의 보정만으로는 광대역 복사원이 사용되는 긴 영상 필드 영역에서 유용한 영상을 얻기에 충분한 조건이 아니다. 대신에, 영상 필드 만곡의 색 변동의 보정을 달성하기 위한 추가적인 수단이 요구되며, 이제 이에 대해 더욱 상세히 설명할 것이다.

[0061]

상이한 아베수를 갖는 복수의 상이한 재료를 채용한 모든 광학계에 대해서, "중앙 아베수(median Abbe number)"가 정의될 수 있다. "중앙 아베수"는 샘플의 보다 큰 절반을 보다 작은 절반으로부터 나누는 수로서 통계학에서와 유사하게 결정될 수 있다. 한정된 목록의 숫자들의 중앙값은, 이 한정된 목록의 모든 숫자들을 최저값으로부터 최고값까지 정렬시키고 요소들 중 중앙값을 결정하는 중간의 것을 추출함으로써 찾아낼 수 있다. 목록에 짝수개의 숫자들이 있으면, 중앙값은 본 출원을 위해서 두 중간값의 평균값으로서 정의될 수 있다. 예를 들어, 복수의 렌즈 중 모든 렌즈의 60%가 한가지의 동일한 제1 재료로 제조되고, 40%가 제2 재료로 제조되면, 중앙 아베수는 제1 재료의 아베수이다.

[0062]

복수의 렌즈 중 적어도 하나는 중앙 아베수와 동일하거나 그것보다 큰 제1 아베수를 갖는 제1 재료로 제조되는 제1 렌즈일 수 있고, 복수의 렌즈 중 적어도 하나는 중앙 아베수보다 작은 아베수를 갖는 제2 재료로 제조될 수 있다. 본 출원을 위해서, 제1 재료(일반적으로 상대적으로 보다 작은 분산도에 해당하는 상대적으로 더욱 큰 아베수를 갖는)는 "상대적 크라운 재료(relative crown material)" 또는 간단히 "크라운 재료"로 지칭될 것이고, 상대적으로 보다 작은 아베수(일반적으로 상대적으로 더욱 큰 분산도에 해당하는)를 갖는 제2 재료는 "상대적 플린트 재료(relative flint material)" 또는 간단히 "플린트 재료"로 지칭될 것이다.

[0063]

몇몇 실시예들에서, 모든 렌즈 중 50% 초과가 제1 재료로 제조되고, 50% 미만이 제2 재료로 제조된다. 몇몇 실시예들에서, 모든 렌즈 중 30% 미만이 또는 모든 렌즈 중 20% 미만이 제2 재료(비교적 높은 분산도)로 제조된다.

[0064]

몇몇 실시예들에서, 모든 렌즈 중 50% 초과가 제2 재료로 제조되고, 50% 미만이 제1 재료로 제조된다.

[0065]

적어도 하나의 제2 렌즈(제2 재료로 제조된)가 네거티브 렌즈이면, 영상 필드 만곡의 색 변동의 보정에 유용한 것으로 밝혀졌다. 바꾸어 말하면, 상대적 크라운 재료로 제조된 렌즈와 조합된 상대적 플린트 재료로 제조된 적어도 하나의 렌즈는 영상 필드 만곡의 색 수차를 보정하는 강력한 굴절 수단일 수 있다.

[0066]

네거티브 렌즈가 비교적 강한 굴절력을 갖는 것이 바람직할 수 있다. 따라서, 비록 네거티브 렌즈가 메니스커스 렌즈(meniscus lens)로서 설계될 수 있지만, 몇몇 실시예들에서, 네거티브 렌즈는 양면오목 네거티브 렌즈이다. 네거티브 렌즈는 평면-오목 렌즈일 수 있다.

[0067]

주로 축상 색수차(AX)의 보정을 지원하도록 제공되는 네거티브 렌즈와는 달리, 영상 필드 만곡의 색 변동의 보정을 지원하도록 사용되는 네거티브 렌즈는 예컨대 인접 렌즈와 비교시 직경에 있어 상대적으로 작아야 한다. 네거티브 렌즈는 네거티브 렌즈에 바로 인접한 적어도 하나의 렌즈의 광학적 자유 직경(optically free

diameter)보다 상당히 작은 광학적 자유 직경을 가질 수 있다. 예를 들어, 네거티브 렌즈는 두 인접 렌즈 사이에 배치될 수 있으며, 여기에서 두 인접 렌즈의 각각은 네거티브 렌즈의 광학적 자유 직경보다 상당히 큰, 예컨대 적어도 10% 또는 적어도 20%만큼 큰 광학적 자유 직경을 갖는다. 몇몇 실시예들에서, 네거티브 렌즈는 대물부의 최대 렌즈(최대 광학적 자유 직경을 갖는 렌즈)의 광학적 자유 직경의 80% 미만인 광학적 자유 직경을 갖는다. 네거티브 렌즈의 광학적 자유 직경은 대물부의 최대 렌즈의 광학적 자유 직경의 70% 미만 및/또는 60% 미만 및/또는 50% 미만일 수 있다.

[0068] 네거티브 렌즈는 비교적 작은 주변 광선 높이(marginal ray height)의 영역에 배치될 수 있다. 이는 비교적 강한 음의 굴절력을 갖는 네거티브 렌즈를 설계할 수 있도록 하면서, 동시에 네거티브 렌즈의 분산 효과를 보상하기 위해 고출력 포지티브 렌즈를 제공할 필요가 없도록 대물부의 전체 굴절력에 대한 네거티브 렌즈의 기여가 비교적 적게 유지될 수 있도록 한다. 몇몇 실시예들에서, 대물부는 대물부를 통과하는 방사선 빔의 빔 직경이 국소적 최소치를 갖는 적어도 하나의 웨이스트(waist) 영역을 포함하고, 네거티브 렌즈는 이 웨이스트 영역에 위치된다.

[0069] 전술된 바와 같은 네거티브 렌즈는 또한 대상물 표면 또는 결상면과 같은, 대물부의 필드면에 근접하게 위치될 수 있다. 하나 이상의 실제 중간 영상을 갖는 실시예들에서, 네거티브 렌즈는 중간 영상에 근접하게 위치될 수 있다.

[0070] 비록 몇몇 실시예들에서는 상대적 플린트 재료로 제조된 하나의 단일 네거티브 렌즈가 영상 필드 만곡의 색 변동을 보정하는데 충분할 수 있지만, 다른 실시예들은 제2 재료의 적어도 2개의 네거티브 렌즈를 구비한다. 원하는 경우에, 제2 재료의 2개 초과인 네거티브 렌즈가 제공될 수 있다. 네거티브 렌즈는 동일하거나 상이한 상대적 플린트 재료로 제조될 수 있다.

[0071] 몇몇 실시예들에서, 대부분의 렌즈는, 본질적으로 아래로 약 190 nm의 자외선 파장까지 흡수하지 않고 기화됨에 공정에 의해 알맞은 비용으로 제조될 수 있는 용융 실리카(SiO_2)로 제조된다.

[0072] 용융 실리카는 상이한 재료와 조합될 수 있다. 예를 들어, 몇몇 실시예들에서, 용융 실리카의 렌즈는 용융 실리카보다 큰 상대 분산도를 갖는 하나 이상의 재료로 제조되는 렌즈와 조합된다. 이들 조합에서, 용융 실리카 렌즈는 "상대적 크라운 재료"로 제조되는 반면에, 다른 렌즈는 "상대적 플린트 재료"로 제조된다. 이들 조합에서, FK5, LF5 또는 LLF1[독일 마인츠 소재 쇼트(SCHOTT)에 의해 판매됨]과 같은 특수 광학 유리, 또는 오히려(OHARA)와 같은 다른 제조업자에 의해 제공되는 유사한 광학 특성을 갖는 동등한 유리가 상대적 플린트 재료로서 사용될 수 있다. 다른 재료 조합에서, 용융 실리카는 대물부의 다른 렌즈보다 상대적으로 높은 분산도를 갖는 상대적 플린트 재료일 수 있다. 예를 들어, 용융 실리카 렌즈는 예컨대 193 nm 작동 파장에 대해 설계된 대물부의 실시예들에서, 불화 칼슘으로 제조된 렌즈와 조합될 수 있다. 이 재료 조합에서, 불화 칼슘은 상대적 크라운 재료로서 기능한다.

[0073] 영상 필드 만곡의 색 변동을 충분히 제어하는, 광대역 응용분야에 유용한 반사굴절 대물부가 다양한 방식으로 구성될 수 있다.

[0074] 몇몇 실시예들에서, 오목 거울은 대물부의 pupilsurface(pupil surface)에 또는 광학적으로 그것에 근접하게 배치되고, 적어도 하나의 네거티브 렌즈를 포함하는 네거티브 군(negative group)은 방사선이 네거티브 군을 반대 방향으로 적어도 두 번 통과하도록 이중 통과 영역에서 오목 거울의 전방에 그것의 반사면 상에 배치된다. 네거티브 군은 pupilsurface 부근의 영역에서 오목 거울에 바로 근접하게 위치될 수 있으며, 여기에서 이 영역은 결상의 주변 광선 높이(MRH)가 주광선 높이(chief ray height: CRH)보다 크다는 사실에 의해 특징지워질 수 있다. 바람직하게는, 주변 광선 높이는 네거티브 군의 영역에서 주광선 높이보다 적어도 2배, 특히 적어도 5배 내지 10배 크다. 큰 주변 광선 높이의 영역에서 네거티브 군은 색 보정, 특히 축상 색수차(AX)의 보정에 효과적으로 기여할 수 있는데, 왜냐하면 얇은 렌즈의 축상 색수차(AX)는 렌즈의 위치에서 주변 광선 높이의 제곱에 비례하기 때문이다(그리고 렌즈의 굴절력과 분산도에 비례함). 이에 추가하여, 투영 방사선이 오목 거울에 바로 근접하게 배치된 네거티브 군을 통해 반대 통과-복사 방향으로 두 번 통과하며, 그 결과 네거티브 군의 색 과보정 효과가 두 번 활용된다. 네거티브 군은 예컨대 단일 네거티브 렌즈로 구성될 수 있거나 적어도 2개의 네거티브 렌즈를 포함할 수 있다.

[0075] pupilsurface 또는 그것 부근에 배치된 오목 거울과, 거울면 바로 전방에 배치된 네거티브 군의 조합["슈프만 색지움 렌즈(Schupmann achromat)"](미국 특허 공보 제US 620,978호 참조)의 방식으로 작용하는]이 다양한 구성으로 반사굴절 광학계에 사용될 수 있다.

- [0076] 본 발명의 상기한 목적 및 다른 목적을 달성하기 위해서, 본 발명의 제2 태양에 따르면, 청구범위 제55항의 특징을 갖는 반사굴절 대물부를 제공한다. 바람직한 실시예들이 종속항들에 제시된다. 모든 청구범위의 표현은 본 명세서에 참고로 통합된다.
- [0077] 제2 태양에 따른 반사굴절 대물부에서, 대물부는 대물부가 반대 방향 곡률의 반사면을 구비한 적어도 2개의 곡면 거울(curved mirror)을 포함하도록 적어도 하나의 오목 거울 외에 적어도 하나의 볼록 거울을 포함한다. 볼록 거울은 발산(네거티브) 렌즈처럼 음의 광출력을 갖지만, 분산성은 갖지 않는다. 페즈발 합에 대한 볼록 거울의 기여는 단지 곡면 거울의 곡률 반경에 의존한다. 페즈발 합에 대한 볼록 거울의 기여는 오목 거울의 기여에 비해 반대 부호를 갖는다.
- [0078] 적어도 하나의 볼록 거울이 적어도 하나의 오목 거울에 추가로 제공되면, 굴절 광학 소자에 사용되는 재료들 또는 재료의 선택은 간단해질 수 있는데, 왜냐하면 충분한 색 보정, 특히 영상 필드 만곡(페즈발 합)의 색 변동의 보정을 얻기 위해 더 이상 상이한 아베수를 갖는 재료의 혼합물을 필요로 하지 않을 수 있기 때문이다. 몇몇 실시예들에서, 복수의 렌즈 중 적어도 90% 또는 복수의 렌즈의 전부는 한가지 재료 또는 본질적으로 동일한 아베수를 갖는 복수의 재료로 제조된다. 아베수의 차이는 예를 들어 20% 미만일 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 복수의 렌즈의 모든 렌즈는 동일한 재료로 제조된다. 이 동일한 재료는 용융 실리카(SiO_2), 불화 칼슘(CaF_2) 또는 BK7과 같은 일반 크라운 유리, 또는 FK5 또는 유사한 광학 특성을 갖는 유리일 수 있다.
- [0079] 대물부의 모든 렌즈에 단지 한가지 광학 재료만이 사용되면(단일-재료 광학계), 대물부의 제조업자는 상이한 유리 유형의 분산도 또는 부분 분산도와 같은 재료 특성의 정확한 사양에 덜 의존한다. 예를 들어, 광학계의 모든 렌즈에 사용되는 단일 재료의 분산도 또는 부분 분산도가 충전량 변동(charge fluctuation)으로 인해 변화되면, 이들 변화는 기본적으로 모든 사용된 광학 소자에 대해 동일하며, 따라서 비교적 간단한 조절에 의해 비교적 쉽게 보상될 수 있다. 그러한 보상은 한가지 초과 재료의 사용되면 일반적으로 더욱 어려울 수 있으며, 여기에서 사용된 재료의 각각의 광학 특성은 충전량 변동으로 인해 상이한 방식으로 변화될 수 있어, 더 이상 비교적 간단한 조절에 의한 보상을 가능하게 하지 못한다.
- [0080] 영상 필드 만곡을 특징짓는 반사굴절 광학계의 페즈발 합은 모든 광선굴절(굴절) 광학계 부재 및 모든 반사(catoptric)[반사(reflective)] 광학계 부재의 페즈발 합의 합산치이다. 식 (3c)로부터 볼 수 있는 바와 같이, 광선굴절 렌즈에 대해 파장에 따른 페즈발 합의 변동은 사용된 렌즈 재료의 분산도 $dn/d\lambda$ 에 의존한다. 그러나, 식 (3a)로부터 볼 수 있는 바와 같이, 반사 광학계 소자의 페즈발 합은 파장에 따라 변화하지 않으며(주위 매질, 일반적으로 공기 또는 다른 가스가 분산을 보이지 않는다고 가정하면), 따라서 파장에 따른 페즈발 합의 총 변화는 페즈발 합에 대한 광선굴절 기여에 의해 주어진다. 단지 한가지 재료만을 또는 아주 유사한 아베수를 갖는 재료들을 구비한 광학계에서 영상 필드 만곡의 색 변동을 보정하고자 하는 경우에, 모든 광선굴절 구성요소의 페즈발 합이 실질적으로 0이거나 아주 작은 값을 얻도록 하여, 그것이 파장에 따라 현저히 변화되지 않도록 하는 것이 바람직하다.
- [0081] 비교적 큰 필드 크기를 가로질러 대물부의 전체 페즈발 합을 충분히 보정하고자 하는 경우에, 총 페즈발 합이 0이 되고, 따라서 페즈발 합에 대한 모든 반사 구성요소의 기여가 또한 본질적으로 0이 되어야 하는 것이 요구된다. 이는, 오목 거울 및 적어도 하나의 볼록 거울의 각각이 기본 곡률(즉, 거울의 정점에서 반사면의 곡률로서, 정점 곡률로도 지칭됨)을 갖도록 하고, 모든 곡면 거울의 기본 곡률의 합이 실질적으로 0이도록 함으로써 달성될 수 있다. 하나 이상의 볼록 거울이 제공될 수 있다.
- [0082] 다른 태양에 따르면, 중심 파장 λ 주위의 파장 대역으로부터의 전자기 방사선에 의해 영상측 개구수 NA에서 대물부의 대상물 표면의 물체 필드로부터 패턴을 대물부의 결상면 영역의 영상 필드에 결상시키도록 광축을 따라 배치되는 복수의 광학 소자를 포함하는 반사굴절 대물부가 제공된다. 광학 소자는 오목 거울 및 복수의 렌즈를 포함한다. 대물부는 파장 대역의 제1 파장 $\lambda_1 < \lambda$ 에서 제1 페즈발 면에 패턴의 제1 영상을 형성하고, 5 nm보다 큰 파장 차이 $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ 만큼 제1 파장으로부터 이격된 제2 파장 $\lambda_2 > \lambda$ 에서 제2 페즈발 면에 패턴의 제2 영상을 형성한다. 결상면 영역에서 광축에 평행하게 측정된, 제1 페즈발 면과 제2 페즈발 면 사이의 종방향 페즈발 면 이탈 ΔPS 는 영상 필드의 모든 필드 점에 대해 λ/NA^2 미만이다.
- [0083] 다른 태양에 따르면, 중심 파장 λ 주위의 파장 대역으로부터의 전자기 방사선에 의해 영상측 개구수 NA에서 대물부의 대상물 표면의 물체 필드로부터 패턴을 대물부의 결상면 영역의 영상 필드에 결상시키도록 광축을 따라 배치되는 복수의 광학 소자를 포함하는 반사굴절 대물부가 제공된다. 광학 소자는 오목 거울 및 복수의 렌즈를 포함한다. 투영 대물부는 파장 대역의 각각의 파장 λ 에 대해 각각의 페즈발 면에 패턴의 영상을 형성하고, 페

즈발 면들은 상이한 파장에 대해 서로로부터 벗어난다. 복수의 렌즈는 현저히 상이한 아베수를 갖는 상이한 재료로 제조되는 렌즈를 포함한다. 결상면 영역에서 광축에 평행하게 측정된, 영상 필드의 가장자리 필드 점에서(최대 영상 높이 y' 에서) 평면 기준면으로부터 주어진 파장에서의 페즈발 면의 종방향 이탈 p 는 $dp/d\lambda < (7.7 \lambda / NA^2)/nm$ 에 따라서 파장 λ 에 따라 변한다.

[0084] 다른 태양에 따르면, 중심 파장 $\lambda < 300 \text{ nm}$ 주위의 파장 대역으로부터의 전자기 방사선에 의해 영상측 개구수 NA에서 대물부의 대상물 표면의 물체 필드로부터 패턴을 대물부의 결상면 영역의 영상 필드에 결상시키도록 광축을 따라 배치되는 복수의 광학 소자를 포함하는 반사굴절 대물부가 제공된다. 광학 소자는 오목 거울 및 복수의 렌즈를 포함한다. 투영 대물부는 파장 대역의 각각의 파장 λ 에 대해 각각의 페즈발 면에 패턴의 영상을 형성하고, 페즈발 면들은 상이한 파장에 대해 서로로부터 벗어난다. 복수의 렌즈는 현저히 상이한 아베수를 갖는 상이한 재료로 제조되는 렌즈를 포함한다. 결상면 영역에서 광축에 평행하게 측정된, 영상 필드의 가장자리 필드 점에서(최대 영상 높이 y' 에서) 평면 기준면으로부터 주어진 파장에서의 페즈발 면의 종방향 이탈 p 는 $dp/d\lambda < (15 \lambda / NA^2)/nm$ 에 따라서 파장 λ 에 따라 변한다.

[0085] 하기의 특징들이 본 발명의 여러 태양들에 따른 모든 실시예들에 제시될 수 있다.

[0086] 몇몇 실시예들에서, 영상 필드는 3 mm 보다 큰 최대 영상 필드 높이 y' 에 의해 규정되는 영상 필드 크기를 갖는다. 최대 영상 필드 높이의 2배는 영상 필드 직경에 해당하며, 이는 실제로 예를 들어 리소그래피 공정에서 사용될 수 있다. 최대 영상 필드 높이 y' 는 예를 들어 5 mm 이상, 또는 8 mm 이상, 또는 10 mm 이상, 또는 15 mm 이상일 수 있다.

[0087] 여러 실시예들은 영상측 개구수 $NA > 0.2$ 를 가질 수 있으며, 따라서 예를 들어 마이크로리소그래피에의 사용을 가능하게 한다. 몇몇 실시예들에서, 영상측 개구수 $NA > 0.3$ 또는 $NA > 0.4$ 또는 $NA \geq 0.5$ 가 얻어진다. 영상측 개구수는 $NA \geq 0.6$ 또는 $NA \geq 0.7$ 또는 $NA \geq 0.8$ 과 같이 훨씬 더 클 수 있다. 여러 실시예들은 액침(immersion) 구성에 사용될 수 있으며, 따라서 대물부가 그러한 액침 작업에 맞게 구성되는 경우에 $NA \geq 1.0$ 을 가능하게 한다.

[0088] 파장 대역은 파장 $\lambda \geq 300 \text{ nm}$ 를 포함할 수 있다. 예를 들어, 일차 방사선이 수은 증기 복사원에 의해 제공되는 경우에, 파장 대역은 수은 g-라인, h-라인, 및 i-라인 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 파장 대역은 적어도 2개의 수은 스펙트럼 라인, 예를 들어 수은 g-라인, h-라인, 및 i-라인의 각각을 포함할 수 있다. 파장 대역은 예를 들어 $\lambda < 260 \text{ nm}$ 또는 $\lambda < 200 \text{ nm}$ 와 같은 파장 $\lambda < 300 \text{ nm}$ 를 포함할 수 있다. 파장은 100 nm 보다 크거나 150 nm 보다 클 수 있다. 300 nm 보다 작은 파장은 레이저 복사원에 의해 제공될 수 있다.

[0089] 파장 대역은 단지 하나의 스펙트럼 라인 영역의 방사선을 포함할 수 있으며, 여기에서 스펙트럼 라인 영역의 상당량의 에너지가 사용될 수 있다. 파장 차이 $\Delta\lambda$ 는 몇몇 경우들에서 0.1 nm 이상 또는 1 nm 이상 또는 2 nm 이상일 수 있다. $\Delta\lambda > 5 \text{ nm}$ 와 같은 더욱 큰 파장 차이가 가능하다. 몇몇 실시예들에서, $\Delta\lambda > 10 \text{ nm}$, 또는 $\Delta\lambda > 25 \text{ nm}$, 또는 $\Delta\lambda > 50 \text{ nm}$ 이다. 예를 들어, 파장 대역이 수은 g-라인, h-라인, 및 i-라인의 각각을 포함하는 경우에, $\Delta\lambda$ 는 70 nm 보다 클 수 있다. $\Delta\lambda$ 는 200 nm 보다 작을 수 있거나 100 nm 보다 작을 수 있다.

[0090] 전술된 특성 및 다른 특성은 청구범위뿐만 아니라 상세한 설명 및 도면에서도 확인할 수 있고, 개별적인 특성은 단독으로 사용될 수 있거나 본 발명의 실시예로서 부조합되어 그리고 다른 분야에 사용될 수 있으며, 개별적으로 유리한 및 특허가능한 실시예들을 나타낼 수 있다.

발명의 효과

[0091] 본 발명에 의하면, 광대역 복사원에 의해 제공된 자외선 방사선으로 작동될 수 있는, 마이크로리소그래피에 유용한 반사굴절 대물부가 제공된다.

[0092] 본 발명에 의하면, 광대역 복사원에 의해 제공된 자외선 방사선으로 작동될 때 전체 영상 필드에 걸쳐 충분한 콘트라스트를 갖는 영상을 생성하는, 마이크로리소그래피에 유용한 반사굴절 대물부가 제공된다.

[0093] 본 발명에 의하면, 페즈발 합의 색 변동에 대해 우수한 보정 상태를 갖는 반사굴절 대물부가 제공된다.

[0094] 본 발명에 의하면, 투과성 광학 소자에 사용되는 재료의 품질 허용오차에 관하여 그리고 재료의 선택에 관하여 제조가 용이해지는, 광대역 복사원에 의해 제공된 자외선 방사선으로 작동될 수 있는, 마이크로리소그래피에 유

용한 반사굴절 대물부가 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0095]

도 1은 조명 시스템 및 투영 대물부를 구비한 마이크로리소그래피용 투영 노광 장치의 일 실시예의 개략도이다.

도 2는 수은 증기 복사원 및 색 보정된 투영 대물부를 구비한 투영 노광 장치의 개략도를 도 2a에 도시하고, 상이한 복사 스펙트럼을 도 2b 및 도 2c에 도시하며, 영상 필드 크기 및 형상에 관련된 도면을 도 2d에 도시한다.

도 3은 반사굴절 투영 대물부의 제1 실시예를 도 3a에 도시하고, 이 실시예의 광학 특성을 나타내는 다이어그램을 도 3b 및 도 3c에 도시한다.

도 4는 반사굴절 투영 대물부의 제2 실시예를 도 4a에 도시하고, 이 실시예의 광학 특성을 나타내는 다이어그램을 도 4b에 도시한다.

도 5는 반사굴절 투영 대물부의 제3 실시예를 도 5a에 도시하고, 이 실시예의 광학 특성을 나타내는 다이어그램을 도 5b, 도 5c 및 도 5d에 도시한다.

도 6은 반사굴절 투영 대물부의 제4 실시예를 도 6a에 도시하고, 이 실시예의 광학 특성을 나타내는 다이어그램을 도 6b, 도 6c, 도 6d 및 도 6e에 도시한다.

도 7은 반사굴절 투영 대물부의 제5 실시예를 도 7a에 도시하고, 이 실시예의 광학 특성을 나타내는 다이어그램을 도 7b, 도 7c 및 도 7d에 도시한다.

도 8은 반사굴절 투영 대물부의 제6 실시예를 도 8a에 도시하고, 이 실시예의 광학 특성을 나타내는 다이어그램을 도 8b, 도 8c 및 도 8d에 도시한다.

도 9는 반사굴절 투영 대물부의 제7 실시예를 도 9a에 도시하고, 이 실시예의 광학 특성을 나타내는 다이어그램을 도 9b, 도 9c 및 도 9d에 도시한다.

도 10은 반사굴절 투영 대물부의 제8 실시예를 도 10a에 도시하고, 이 실시예의 광학 특성을 나타내는 다이어그램을 도 10b, 도 10c, 도 10d 및 도 10e에 도시한다.

도 11은 반사굴절 투영 대물부의 제9 실시예를 도 11a에 도시하고, 이 실시예의 광학 특성을 나타내는 다이어그램을 도 11b 및 도 11c에 도시한다.

도 12는 도 11a에 도시된 투영 대물부의 3가지 변형예를 도시한다.

도 13은 반사굴절 투영 대물부의 제10 실시예를 도 13a에 도시하고, 이 실시예의 광학 특성을 나타내는 다이어그램을 도 13b에 도시한다.

도 14는 도 13a의 투영 대물부의 2가지 변형예를 도시한다.

도 15는 일 실시예에 따른 현미경 대물부를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0096]

하기의 바람직한 실시예의 설명에서, 용어 "광축"은 광학 소자의 곡률 중심을 통과하는 직선 또는 일련의 직선 선분들을 지칭한다. 광축은 광축의 후속하는 직선 선분들 사이에 각도가 형성되도록 폴딩 거울(folding mirror)(편향 거울)에 의해 구부러질 수 있다. 아래에 제시되는 예에서, 물체는 집적 회로 층의 패턴 또는 어떤 다른 패턴, 예를 들어 회절격자 패턴을 갖는 마스크[레티클(reticle)]이다. 물체의 영상은 포토레지스트 층으로 코팅된, 기관의 역할을 하는 웨이퍼 상에 투영되지만, 액정 디스플레이의 구성요소 또는 광학 회절격자용 기관과 같은 다른 유형의 기관도 또한 가능하다.

[0097]

도면에 도시된 설계의 사양을 개시하기 위해 표가 제시되는 경우에, 이 표 또는 표들은 각각의 도면과 동일한 번호로 표기된다. 도면들의 상응하는 특징부는 용이한 이해를 위해 유사하거나 동일한 참조 식별 부호로 표기된다. 렌즈가 지칭되는 경우에, 식별 부호 L3-2는 제3 대물부 부품의 제2 렌즈를 가리킨다(방사선 전과 방향으로 볼 때).

[0098]

도 1은 특정한 대규모 집적 반도체 구성요소 층을 제조하기 위해 설치된 웨이퍼 스캐너(WS) 형태의 마이크로리소그래피 투영 노광 장치를 개략적으로 도시하며, 세팅에 따라 아래로 $R = 180 \text{ nm}$ 이하까지의 분해능(resolution capability)을 갖고서 노광을 가능하게 한다. 노광 장치의 일차 복사원(S)은 약 436 nm 에서의 수

은 g-라인, 약 405 nm에서의 수는 h-라인, 및 약 365 nm에서의 수는 i-라인(도 2 비교)을 포함한 파장 대역에서 자외선 방사선을 방출하는 고효율 수은-아크 램프를 포함한다. 몇몇 실시예들에서, 3개의 수은 라인의 각각으로부터의 방사 강도가 노광에 사용되며, 그래서 일차 복사원 하류의 광학계는 최단 파장(i-라인)과 최장 파장(g-라인) 사이에 약 70 nm의(또는 그보다 큰) 파장 차이 $\Delta\lambda$ 를 갖는 광역 파장 대역으로부터의 상이한 파장에서 제대로 작동되게 구성되어야 한다.

[0099]

하류 조명 시스템(ILL)은 일차 복사원(S)으로부터 광을 수신하여, 그것의 출사면(exit plane)(EX)에서, 투영 대물부(PO)의 평행성(telecentricity) 요건에 맞게 구성되고 조명 시스템의 광축(OA_i)에 중심설정된, 큰, 명확히 경계지워진, 균질하게 조사된 조명 필드를 생성시킨다. 조명 시스템(ILL)은 조명 모드를 설정하기 위한 장치를 구비하며, 이 예에서는, 가변 간섭도를 갖는 종래의 조명, 환형 조명, 및 2극 또는 4극 조명 사이에서 변경될 수 있다.

[0100]

조명 시스템의 출사측 최후 광학 소자와 투영 대물부의 입사측 사이에는, 제조될 특정한 반도체 구성요소 층의 패턴(마스크(M) 상에 배치된)이 투영 대물부의 물체 평면(object plane)(OS)에 놓이도록 마스크를 유지 및 조작하기 위한 장치(RS)가 배치되며, 이때 상기 물체 평면은 조명 시스템의 출사면(EX)과 일치한다. 조명 시스템의 광축(OA_i)과 투영 대물부(PO)의 광축(OA)은 투영 대물부의 광축(OA)에 대해 비축(off-axis) 필드를 형성하도록 서로에 대해 측방향으로 편위된다. 마스크를 유지 및 조작하기 위한 장치(RS)[보통 "레티클 스테이지(reticle stage)"로 지칭됨]는 마스크가 스캐닝 방향(y 방향)으로 투영 대물부의 대상물 표면(OS)에 평행하게 또는 투영 대물부 및 조명 시스템의 광축에 수직하게 이동될 수 있도록 하는 스캐너 구동장치를 포함한다.

[0101]

투영 대물부(PO)는 마스크면으로도 지칭되는 출사면(EX)의 하류의 방사선 경로를 따른다. 투영 대물부는 마스크에 의해 형성된 구조체의 축소된 영상을 포토레지스트 층으로 코팅된 웨이퍼(W) 상에 축소된 스케일로, 예를 들어 4:1 또는 5:1 또는 10:1의 스케일로 결상시키기 위해 설치된 축소 렌즈일 수 있다. 투영 대물부는 단위 배율(1:1) 광학계일 수 있다. 감광성 기관의 역할을 하는 웨이퍼(W)는 그것의 평면 기관 표면이 투영 대물부(PO)의 평면 결상면[영상 평면(image plane)](IS)과 일치하도록 배치된다. 웨이퍼는 웨이퍼를 마스크(M)에 평행한 방식으로 마스크와 동기 이동시키기 위해, 스캐너 구동장치를 포함한 장치(WST)(웨이퍼 스테이지)에 의해 유지된다.

[0102]

투영 대물부(PO)는 결상면(IS)에 가장 근접한 최후 투과성 광학 구성요소로서 최후 광학 소자(LOE)를 구비한다. 최후 광학 소자의 출사면은, 투영 대물부의 출사면과 기관 표면 사이에 가스-충진된 간극이 위치되도록(건식 시스템) 웨이퍼의 기관 표면 위로 수 밀리미터의 작동 거리를 두고 배치되는, 투영 대물부의 최후 광학면이다. 다른 실시예들에서, 최후 광학 소자(LOE)와 웨이퍼 사이의 작동 거리가 침지액(immersion liquid)(예컨대, 물)으로 충전되는 액침 시스템이 사용된다. 최후 광학 소자(LOE)는 평면 출사면을 제공하는 평면-볼록 렌즈일 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 최후 광학 소자는 역시 투영 대물부의 평면 출사면을 제공하는 평행 평면판에 의해 형성될 수 있다. 투영 대물부의 출사면은 또한 만곡될 수 있다. 그러한 만곡된 출사면은 예를 들어 양면볼록 렌즈처럼 형성된 최후 광학 소자에 의해 제공될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 최후 광학면(투영 대물부의 출사면)은 오목할 수 있다.

[0103]

투영 대물부(PO)는 축소 대물부로서 또는 1:1 대물부로서 설계될 수 있다. 대물부는 복수의 개략적으로 지시된 렌즈(렌즈의 전형적인 개수는 흔히 10개를 초과하거나 15개의 렌즈를 초과함) 외에, 해당된다면(적어도 하나의) 오목 거울(CM)인 다른 투과성 광학 구성요소를 구비하며, 이것은 본 예의 경우에 투영 대물부의 필드면에 근접하게 배치된다. 마이크로리소그래피 분야의 많은 응용분야에 대해서, 투영 대물부의 영상측 개구수는 $NA > 0.6$ 이고, 많은 실시예들에서, NA는 대략 $NA = 0.65$ 내지 $NA = 0.85$ 이다. 결과적으로, 복사원(S)에 의해 사전규정된 작동 파장에서 아래로 $R = 180$ nm 이하까지의 전형적인 분해능이 가능하다. 기본적으로 영상측 NA와 복사원의 파장의 조합에 따라 아래로 약 150 nm, 또는 130 nm, 또는 100 nm, 또는 90 nm 이하까지의 전형적인 분해능도 또한 가능하다.

[0104]

투영 대물부가 원하는 파장 대역 내에서 주어진 파장 또는 주어진 복수의 파장에서 제대로 기능하게 하기 위해서, 투영 대물부는 투영 대물부의 설계시 의도되는 파장 대역으로부터의 광을 사용한 기관의 노광을 가능하게 하도록 구성되어야 한다. 이 파장 대역은 "설계 파장 대역"으로 지칭될 수 있으며, 투영 대물부의 광학 성능이 비교적 낮은 수차 레벨을 갖는 회절 제한 결상을 가능하게 하기에 충분히 우수하도록 하는 파장을 포함한 파장 범위를 나타낸다. 예를 들어, 설계 파장 대역이 수은 g-라인, h-라인, 및 i-라인을 포함하도록 투영 대물부의 구성이 이루어지는 경우에, 투영 대물부는 투영 노광 장치의 광원으로서 고효율 수은-아크 램프와 함께 사용될 수 있다. 따라서, 수은-아크 램프와 함께 사용되도록 구성된 투영 대물부는 약 365 nm에서의 수는

라인(i-라인), 약 405 nm에서의 수은 라인(h-라인), 및 약 436 nm에서의 수은 라인(g-라인) 중 적어도 하나에 대해 최적화되어야 하는 반면에, 광학 성능은 설계 파장 대역 밖에서 상당히 열화될 수 있다. 전형적으로, 오로지 수은 g-라인, h-라인, 및 i-라인을 포함한 설계 파장 대역에 대해서만 최적화된 투영 대물부는 약 260 nm 보다 짧은 파장을 갖는 극자외선(DUV) 영역에서와 같은 상당히 짧은 파장에서, 및/또는 가시 파장 범위에서, 예컨대 약 500 nm보다 큰 파장에서 노광을 위해 제대로 작동될 수 없다.

[0105]

투영 대물부는 유용한 영상이 비교적 좁은 파장 대역에서 단지 하나의 파장만에 대해 형성되도록 설계될 수 있다. 본 출원에 기재된 실시예들은 파장 차이 $\Delta\lambda$ 만큼 이격된 2개 이상의 파장에서 작동되도록 보장된다. 파장 차이는 예를 들어 약 50 pm(50 피코미터) 이상, 또는 100 pm 이상, 또는 1 nm(1 나노미터) 이상, 2 nm 이상일 수 있다. 파장 차이는 예를 들어 조건 $\Delta\lambda < 0.25 \mu\text{m}$ 에 따라 수십 나노미터 이상에 이를 수 있다. 도 2의 예시적인 실시예는 70 nm 초과와 파장 차이 $\Delta\lambda$ 에 해당하는, 본질적으로 수은 g-라인, h-라인, 및 i-라인의 파장에 대응하는 3개의 파장에 대해 색 보정된다. 그러한 경우에, 모든 수은 라인은 노광에 사용될 수 있으며, 따라서 일차 복사원의 더욱 큰 분율의 출력이 노광에 사용될 수 있어, 시간 단위당 더욱 많은 처리량의 노광된 기판을 가능하게 한다.

[0106]

전술된 바와 같이, 영상 필드(image field) 영역에 영상을 제공하도록 설계된 모든 광학 결상 광학계는 종래에 페즈발 만곡으로 지칭된 일종의 기본 영상 필드 만곡과 관련되었다. 페즈발 만곡은 페즈발 면의 곡률 반경인 페즈발 반경 R_p 의 역수인 페즈발 합 $1/R_p$ 에 비례한다. 광학계가 렌즈(L1, L2)와 같은 굴절 광학 소자를 포함하는 경우에, 영상 필드 만곡은 상이한 파장에 대해 상이할 수 있으며, 이 효과는 본 명세서에서 "영상 필드 만곡의 색 변동"으로 지칭된다. 바꾸어 말하면, 대물부는 파장 대역의 제1 파장 λ_1 에서 제1 페즈발 면(PS1)에 패턴의 제1 영상을 형성하고, 제2 파장 $\lambda_2 > \lambda_1$ 에서 제2 페즈발 면(PS2)에 패턴의 제2 영상을 형성하며, 여기에서 제1 페즈발 면 및 제2 페즈발 면은 일치하지 않는다. 이 상황이 도 2a에 개략적으로 도시되며, 여기에서 투영 대물부(P0)는 $\lambda = 365 \text{ nm}$ (i-라인)에 대해 제1 페즈발 면(PS1), $\lambda = 436 \text{ nm}$ (g-라인)에 대해 제2 페즈발 면(PS2), 및 $\lambda = 405 \text{ nm}$ (h-라인)에 대해 제3 페즈발 면(PS3)을 생성시킨다. 예시적인 실시예에서, 투영 대물부의 설계는 중간 파장 $\lambda = 405 \text{ nm}$ 의 페즈발 면이 본질적으로 평면이고 투영 대물부의 평면 결상면(IS)(리소그래피 공정에서 기판의 평면 방사선 입사면이 배치되는 위치)과 일치하도록 구성된다. 이들 조건 하에서, 상대적으로 더욱 짧은 파장(i-라인)에 대한 페즈발 면(PS1)은 내향으로 만곡되는 반면에[투영 대물부 쪽으로 오목하게, 즉 저보정됨(undercorrected)], 더욱 큰 파장(g-라인)의 페즈발 면(PS2)은 반대 방향으로 만곡된다.

[0107]

도 2a의 예시적인 광학계에서, 모든 3개의 파장의 페즈발 면은 광축(OA) 상의 결상면(IS)의 축방향 위치와 본질적으로 일치한다. 이 일치하는 축상 색수차(AX)가 본질적으로 3개의 파장의 각각에 대해 보정되는 보정 상태에 해당한다. 이 유형의 대물부는 때때로 설계 파장 대역에 3개의 공통 초점을 갖는 광학계로, 또는 고도 색지움(apochromatic) 광학계로 지칭된다. 그러나, 최대 영상 필드 높이 y' 를 갖는 필드 점에 대응하는 유효 영상 필드(IF)의 외측 가장자리의 필드 점에 대해서는 상황이 다르다. 페즈발 면의 만곡으로 인해, 최장 파장 및 최단 파장의 각각에 대한 페즈발 면의 중방향 이탈 p(또한 침하로도 지칭됨)(광축에 평행하게 측정됨)는 가장자리 필드 점에서 주어진다. 중방향 이탈 p는 사실상 영상 공간에서 광축에 수직하게 연장되는 기준면인 평면 결상면(IS)으로부터 영상 필드(IF)의 외측 가장자리에서의 탈초점(defocus)에 해당한다. 이탈 p의 크기는 위의 식(4)에 의해 주어진다. 그러한 중방향 이탈은 상이한 파장의 페즈발 면이 더 이상 일치하지 않기 때문에 연장된 영상 필드의 외측 가장자리에 근접한 영역에서 영상 품질의 열화를 초래할 수 있음을 도 2a로부터 정성적으로 볼 수 있다. 따라서, 광축으로부터 더욱 떨어진 영역에서 콘트라스트의 상당한 손실 또는 흐린 영상을 유발할 수 있으며, 이 효과는 영상 필드 크기(최대 영상 필드 높이 y' 에 의해 특징지워짐)가 커질수록 악화된다. 반면에, 영상 필드 만곡의 색 변동이 투영 대물부 내에서 적절한 기술적 수단에 의해 능동적으로 제어되면, 전체 영상 필드(IF)에서 충분한 품질을 갖는 영상이 얻어질 수 있다. 이 점에 있어서, 투영 복사에 사용된 파장에 대응하는 관련 페즈발 면들 사이의 중방향 이탈 p가 영상 필드(IF)의 모든 필드 점에 대해 레일리 단위 $RU = \lambda / NA^2$ 보다 작도록 함으로써 여러 실시예들이 최적화될 수 있다. 구체적으로, 모든 관련 페즈발 면이 초점 심도(DOF)(RU에 비례함)의 영역 내에 놓이는 경우에, 영상 품질은 일반적으로 영상 필드(IF)의 모든 필드 점에 대해 회절 제한 노광을 가능하게 하기에 충분할 것이다.

[0108]

도 2a는 순전히 개략적으로 도시된 도면으로서, 도 2a와 관련하여 논의된 임의의 특징부에 대해 축척에 맞게 도시되지 않았음에 주목하라.

[0109]

이제 용어 "파장 차이 $\Delta\lambda$ " 및 "최대 영상 필드 높이 y' "와 같은 본 명세서에 사용되는 몇몇 용어의 의미를 도 2b, 도 2c 및 도 2d와 관련하여 더욱 상세히 설명할 것이다. 도 2b는 3개의 규정된 스펙트럼 라인이 스펙트럼

내에 발생하는 영역에서 파장 λ 에 대한 복사원의 강도 I 의 종속성을 개략적으로 도시한다. 3개의 스펙트럼 라인은 예를 들어 수은 g-라인, h-라인, 및 i-라인에 해당할 수 있다. 본 예에서 스펙트럼의 하단부에 배치된 스펙트럼 라인은 고려된 스펙트럼 범위의 강도의 최대값 I_{MAX} 를 갖는다. 대응하는 파장 차이 $\Delta\lambda$ 를 규정하기 위해서, 스펙트럼 대역의 하한치, 즉 제1 파장 λ_1 은 보다 짧은 파장으로부터 발생할 때 강도가 최초로 강도 하한치 I_L 을 초과하는 파장으로서 규정될 수 있고, 파장 대역의 상한치는 스펙트럼 라인들의 군의 상단부 상의 스펙트럼 라인에 대응하는 파장보다 큰 파장에서 강도가 하한치 I_L 아래로 하락하는 제2 파장 λ_2 로서 규정될 수 있다. 강도의 하한치 I_L 은 조건 $I_L = 0.1I_{MAX}$ 가 충족되도록 선택될 수 있다. 수은 g-라인, h-라인, 및 i-라인의 경우에, 파장 차이 $\Delta\lambda$ 는 이 규정에 따라 70 nm보다 크다. 고려된 파장 대역 주위의 다른 스펙트럼 라인을 적절한 필터 또는 다른 수단으로 차단하는 것이 유용할 수 있다.

[0110]

도 2c에 개략적으로 도시된 바와 같이, 파장 차이 $\Delta\lambda$ 의 유사한 정의가 단지 하나의 스펙트럼 라인만을 포함한 파장 영역에 적용될 수 있다. 이 단일 스펙트럼 라인은 예를 들어 수은 i-라인일 수 있다. 레이저 복사원이 사용되는 경우에, 단일 스펙트럼 라인의 강도의 최대값 I_{MAX} 의 파장은 예를 들어 ArF 레이저에 대해 약 193 nm와 같이, 레이저 복사원의 공칭 작동 파장에 해당할 수 있다. 복사원이 복사원의 고유 대역폭을 좁히기 위한 특정 수단을 구비하는 경우에, 대응하는 파장 차이 $\Delta\lambda$ 의 값이 작아지는 것은 명백하다. 예를 들어, 수은 i-라인을 사용하는 경우에, 수은 i-라인의 고유 대역폭을 좁히기 위해 간섭 필터 등이 사용될 수 있다. 레이저 복사원의 경우에, 레이저의 고유 대역폭을 좁히기 위해 비교적 복잡한 구조를 갖는 대역폭 협소화 장치가 사용될 수 있다.

[0111]

이제 대물부의 영상측의 조건을 도 2d와 관련하여 설명한다. 마이크로리소그래피 공정에 사용되도록 의도된 대물부의 실시예들에서, 일반적으로 비교적 큰 영상 필드 크기가 요망된다. 본 출원을 위해서, 영상 필드 크기는 대물부의 (원형) "설계 영상 필드"의 반경에 해당하는 최대 영상 필드 높이 y' 에 의해 특징지워질 수 있다. 설계 영상 필드(IF_D)는 대물부의 결상 충실도(imaging fidelity)가 의도된 리소그래피 공정에 충분히 우수하도록 하는 결상면의 모든 필드 점을 포함한다. 바꾸어 말하면, 모든 결상 수차는 최대 영상 필드 높이 y' 와 같거나 그보다 작은 반경방향 좌표를 갖는 영역 내에서 의도된 용도에 충분하게 보정되는 반면에, 하나 이상의 수차는 설계 영상 필드(IF_D) 밖의 필드 점에 대해 필요로 하는 한계값보다 클 수 있다.

[0112]

일반적으로, 설계 영상 필드(IF_D) 내의 모든 필드 점이 리소그래피 공정에 사용되지는 않는다. 대신에, 노광은 단지 적당한 크기의 기관이 리소그래피 공정에서 노광될 수 있도록 하기에 크기 면에서 충분히 커야 하는 유효 영상 필드(IF) 내에 놓인 필드 점을 사용하여 수행된다. 많은 투영 노광 시스템에서, 특히 스캐닝 작업을 위해 설계된 투영 노광 시스템에서, 슬릿형 유효 영상 필드(IF)가 사용되고, 결상될 패턴뿐만 아니라 노광될 기관도 또한 투영 단계 중 스캐닝 방향에 평행하게 동시에 이동되며, 이때 스캐닝 방향은 도 1의 실시예의 y 방향에 해당한다. 도 2d는 본 명세서에서 논의되는 바와 같은 반사굴절 투영 대물부의 실시예들과 함께 사용될 수 있는 유효 영상 필드(IF_1 , IF_2 , IF_3)의 3개의 예를 도시한다. 유효 영상 필드의 크기는 일반적으로 스캐닝 방향에 평행한 길이 A 와 스캐닝 방향에 수직인 폭 $B > A$ 로 기술될 수 있으며, 따라서 종횡비 $AR = B/A > 1$ 을 규정한다. 많은 실시예들에서, 종횡비는 예를 들어 2:1 내지 10:1의 범위일 수 있다.

[0113]

유효 영상 필드는, 대물부가 충분히 보정되도록 하고 비네팅(vignetting)이 발생하지 않도록 하는 필드 점만을 포함하기 위해, 설계 영상 필드(IF_D) 내에 맞추어져야 한다. 반사굴절 대물부의 설계에 따라 유효 영상 필드를 설계 영상 필드 내에 맞추는 다양한 방식이 있다. 몇몇 실시예들에서, 축상(on-axis) 영상 필드(광축에 중심설정된 영상 필드)가 사용될 수 있다. 중심설정된 영상 필드는 예를 들어 중심 pupils 차폐부(pupil obscuration)를 구비한 시스템(예를 들어 도 4 또는 도 11 비교) 또는 물리적 빔 스플리터를 구비한 시스템에 사용될 수 있다. 길이 A_3 및 폭 B_3 를 갖는 제3 유효 영상 필드(IF_3)는 설계 영상 필드(IF_D) 내에 맞추어진 중심설정된 유효 영상 필드의 일례이다. 몇몇 실시예들에서, 비네팅을 회피하기 위해, 모든 필드 점을 광축 밖에 갖는 유효 영상 필드[이른바 비축(off-axis) 필드]가 사용되어야 한다. 제1 유효 영상 필드(IF_1)는 길이 A_1 및 폭 B_1 을 갖는 직사각형 비축 유효 영상 필드의 일례이다. 몇몇 실시예들에서, 제2 유효 영상 필드(IF_2)와 같은, 아치형 형상을 갖는 유효 영상 필드(때때로 환형 필드 또는 링 필드로 지칭됨)가 사용된다. 둘 다 전체적으로 광축(OA) 밖에서 그것으로부터 반경방향 거리를 두고 위치되는 제1 유효 영상 필드 및 제2 유효 영상 필드는 각각 동일한 길이 A_1 , A_2 와 폭 B_1 , B_2 를 갖는 것에 주목하라. 노광 공정에 사용되는 유효 영상 필드의 유용한 치수가 최대 영상 필드 높이 Y' (또한 영상 필드 반경으로도 지칭됨)가 커질수록 커질 수 있음은 도 2d로부터 명백하

다.

- [0114] 이제 페즈발 합의 색 변동의 비교적 작은 값을 얻을 수 있는 여러 실시예들을 상세히 설명할 것이다.
- [0115] 도 3은 약 365 nm에서의 수은 라인(i-라인), 약 405 nm에서의 수은 라인(h-라인), 및 약 436 nm에서의 수은 라인(g-라인)의 3개의 수은 라인을 포함한 일차 UV 방사선, 즉 적어도 파장 차이 $\Delta \lambda = 71$ nm만큼 이격된 파장들을 갖는 작동 파장 대역을 포함한 일차 UV 방사선을 위해 설계된 반사굴절 투영 대물부(300)의 제1 실시예를 도시한다. 4:1의 축소 결상 스케일을 가정하면($\beta = -0.25$), 투영 대물부는 물체측 상에서 및 영상측 상에서 텔레센트릭(telecentric)하고, 영상측 개구수 $NA = 0.5$ 를 갖는다. 영상 필드 크기는 $26 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm}$ 이다. 사양이 표 3, 표 3A에 주어진다.
- [0116] 투영 대물부(300)는 정확하게 2개의 실제 중간 영상(IMI1, IMI2)을 생성시키면서, 평면 대상물 표면(OS)(물체 평면)에 배치된 레티클 상의 패턴의 영상을 축소된 스케일, 예를 들어 4:1로 평면 결상면(IS)(영상 평면)에 투영하도록 설계된다. 직사각형 유효 물체 필드(OF)와 영상 필드(IF)는 비축, 즉 완전히 광축(OA) 밖에 있다. 제1 굴절 대물부 부품(OP1)은 대상물 표면에서 제공된 패턴을 제1 중간 영상(IMI1)으로 결상하도록 설계된다. 제2 반사굴절(굴절/반사) 대물부 부품(OP2)은 제1 중간 영상(IMI1)을 1:(-1)에 근사한 배율로 제2 중간 영상(IMI2)으로 결상한다. 제3 굴절 대물부 부품(OP3)은 제2 중간 영상(IMI2)을 큰 축소비로 결상면(IS) 상에 결상한다.
- [0117] 투영 대물부(300)는, 각각 결상 광학계로서 구성되고 중간 영상을 통해 연결되는 복수의 다단배치된(cascaded) 대물부 부품을 구비한 "연쇄된(concatenated)" 투영 대물부의 일례이며, 이때 방사선 경로의 이전 결상 광학계에 의해 생성된 영상(중간 영상)은 방사선 경로의 후속 결상 광학계에 대한 물체의 역할을 한다. 후속 결상 광학계는 다른 중간 영상을 생성할 수 있거나[제2 대물부 부품(OP2)의 경우에서와 같이], 또는 투영 대물부의 영상 평면에 "최종" 영상 필드를 생성하는, 투영 대물부의 최종 결상 광학계[제3 대물부 부품(OP3)과 같이]를 형성한다. 도 3에 도시된 유형의 광학계는 때때로 R-C-R 광학계로 지칭되며, 여기에서 "R"은 굴절 결상 광학계를 가리키고, "C"는 반사굴절(또는 반사) 결상 광학계를 가리킨다.
- [0118] 투영 빔의 빔 경로를 추적하는 것을 용이하게 하기 위해 비축 물체 필드(OF)의 외부 필드 점의 주광선(chief ray)(CR)의 경로가 도 3에 굵게 도시된다. 본 출원을 위해서, 용어 "주광선"[또한 주선(principal ray)으로도 알려짐]은 유효하게 사용된 물체 필드(OF)의 최외측 필드 점(광축으로부터 가장 멀리 떨어진)으로부터 입사 pupils의 중심으로 진행되는 광선을 지칭한다. 광학계의 회전 대칭으로 인해, 주광선은 설명의 목적으로 도면들에 도시된 바와 같은 자오면(meridional plane)의 동등한 필드 점으로부터 선택될 수 있다. 본질적으로 물체측 상에서 텔레센트릭한 투영 대물부에서, 주광선은 광축에 평행하게 또는 그것에 대해 아주 작은 각도로 대상물 표면으로부터 나온다. 결상 공정은 주변 광선(marginal ray)의 궤도에 의해 또한 특징지어진다. 본 명세서에 사용되는 바와 같은 "주변 광선"은 축상 물체 필드 점(광축 상의 필드 점)으로부터 구경 조리개(aperture stop)의 가장자리로 진행되는 광선이다. 이 주변 광선은 비축 유효 물체 필드가 사용될 때 비네팅으로 인해 영상 형성에 기여하지 못할 수 있다. 주광선과 주변 광선은 투영 대물부의 광학 특성을 특징짓도록 선택된다. 주어진 축방향 위치에서 그러한 선택된 광선들과 광축 사이의 반경방향 거리는 각각 "주광선 높이"(CRH)와 "주변 광선 높이"(MRH)로 지칭된다. 본 출원에서 "주변 광선 높이"(MRH) 또는 "주광선 높이"(CRH)에 대해 언급하는 경우, 이는 근축 주변 광선 높이 및 근축 주광선 높이를 의미하는 것으로 해석된다.
- [0119] 주광선(CR)이 광축과 교차하는 위치에 3개의 상호 결합된 퓨필면(P1, P2, P3)이 형성된다. 제1 퓨필면(P1)은 대상물 표면과 제1 중간 영상 사이의 제1 대물부 부품에 형성되고, 제2 퓨필면(P2)은 제1 중간 영상과 제2 중간 영상 사이의 제2 대물부 부품에 형성되며, 제3 퓨필면(P3)은 제2 중간 영상과 결상면(IS) 사이의 제3 대물부 부품에 형성된다.
- [0120] 제2 대물부 부품(OP2)은 제2 퓨필면(P2)에 위치한 단일 오목 거울(CM)을 포함한다. 제1 평면 편향 거울(FM1)이 광축(OA)에 대해 45° 의 각도로 제1 중간 영상(IMI1)에 광학적으로 근접하게 배치되되, 그것이 대상물 표면으로부터 나오는 방사선을 오목 거울(CM)의 방향으로 반사시키도록 배치된다. 제1 편향 거울의 평면 거울면에 직각으로 정렬된 평면 거울면을 구비한 제2 편향 거울(FM2)이 오목 거울(CM)로부터 나오는 방사선을 대상물 표면에 평행한 결상면의 방향으로 반사시킨다. 편향 거울(FM1, FM2)은 각각 광학적으로 최근접한 중간 영상 부근에, 그러나 그것으로부터 작은 거리를 두고서 위치된다. 따라서, 방사선이 반대 방향으로 두 번 투과하는 이중 투과 영역이 기하학적으로 편향 거울(FM1, FM2)과 오목 거울(CM) 사이에 형성된다. 단일 포지티브 렌즈(positive lens)(L2-1)가 기하학적으로 편향 거울(FM1, FM2)에 근접하게, 그리고 광학적으로 제1 중간 영상 및 제2 중간 영상 둘 다에 근접하게 이중 투과 영역에 배치되어, 포지티브 필드 렌즈(positive field lens)로서 작용한다.

정확하게 하나의 네거티브 렌즈(negative lens)(L2-2)를 구비한 네거티브 군(NG)이 방사선이 네거티브 군을 통해 반대 방향으로 두 번 투과하도록 오목 거울 부근에 그리고 오목 거울과 동축으로 큰 주변 광선 높이를 갖는 영역에 배치된다. 네거티브 군과 오목 거울 사이에는 광학 소자가 배치되지 않는다.

[0121]

광대역 복사원이 사용되기 때문에, 투영 대물부는 리소그래피 응용분야에 대해 전체 영상 필드에서 충분한 품질을 갖는 다색 결상을 가능하게 할 정도로 색 수차를 줄일 수 있어야 한다. 예를 들어, 종색수차(AX) 및 배울 색수차(LAT)와 같은 주요 색 수차를 보정할 필요가 있다. 이들 색 수차의 보정은 주로 오목 거울(CM) 및 오목 거울의 상류에서 두 번 투과되는 발산 렌즈(L2-2)의 직경과, 또한 영상 부근의 후방 제3 대물부 부품의 렌즈들의 직경을 적절히 선택함으로써 영향받는다. 이들은 종색수차의 보정에 중요하다. 배울 색수차(LAT)는 실질적으로 필립 위치의 상류 및 하류의 렌즈의 굴절력 분포와, 주광선 높이에 관한 렌즈의 숙련된 위치설정에 의해 영향받는다.

[0122]

양의 굴절력을 갖는 전체 광학계에 필요한 색 과보정(chromatic overcorrection)은 주로 제2 대물부 부품(OP2)의 오목 거울(CM)에 바로 선행하는 네거티브 군(NG)의 영역에서 일어난다. 이 실시예에서, 네거티브 군은 종색수차의 색 보정에 대한 과보정 기여분의 합이 릴레이 광학계의 역할을 하는 제1 대물부 부품(OP1) 및 집속 광학계의 역할을 하는 굴절 제3 대물부 부품(OP3)의 저보정 기여분의 합과 본질적으로 균형을 이루도록 직경 및 굴절력에 관하여 치수지어진다.

[0123]

이제 영상 필드 만곡의 색 변동을 보정하기 위한 옵션을 상세히 설명할 것이다. 이 실시예는 주로 종색수차(AX) 및 횡색수차(lateral color)(LAT)와 같은 주요 색 수차를 보정하기 위해 네거티브 군(NG)[슈프만 색지움 렌즈(Schupmann achromat)]과 조합된 단일 오목 거울(CM)을 포함한다. 오목 거울은 페즈발 합에 대한 과보정 기여를 제공하고, 따라서 오목 거울은 이 점에 있어서 네거티브 렌즈에 상응한다. 렌즈와 같은 광선굴절 구성요소는 본질적으로 평탄한 영상을 얻기 위해 저보정 효과를 제공한다. 일반적으로, 저보정 효과의 크기는 파장이 감소함에 따라 증가한다. 전술된 바와 같이, 오목 거울(CM)과 같은 반사 구성요소는 영상 필드 만곡의 변동에 기여하지 않는다. 따라서, 적어도 하나의 오목 거울을 포함한 반사굴절 대물부에서 페즈발 합의 변동을 효과적으로 줄이기 위한 한가지 수단은 대물부의 다른 굴절 광학 소자보다 상당히 높은 분산도(보다 작은 아베수)를 갖는 재료로 제조된 적어도 하나의 과보정 광선굴절(굴절) 광학 소자를 제공하는 것이다. 광역 파장 대역으로부터의 상이한 파장을 결상에 사용하고자 하는 상황에서, 비교적 고분산도 재료[상대적 플린트 재료]로 제조된 그러한 과보정 광선굴절 소자(또는 소자들)는 페즈발 합에 과보정 방식으로 기여할 수 있다. 과보정 소자 또는 소자들의 굴절력 및 분산도(또는 아베수)의 크기가 적절하게 선택되는 경우에, 그러한 과보정 소자 또는 소자들은 결상 성능이 더 이상 페즈발 합의 색 변동에 의해 제한되지 않을 정도로 영상 필드 만곡의 색 변동을 효과적으로 줄일 수 있다.

[0124]

도 3a의 실시예에서, 각각 제1 대물부 부품 및 제3 대물부 부품(OP1, OP3)의 비교적 작은 네거티브 렌즈(L1-7, L3-3)를 제외한 모든 렌즈는 동일한 재료, 즉 합성 용융 실리카(SiO₂)로 제조된다. 2개의 비교적 작은(작은 직경의) 네거티브 렌즈(L1-7, L3-3)는 독일 마인츠 소재 쇼트(SCHOTT)에 의해 상품명 LLF1으로 판매되는 특수 유리로 제조된다. 이 재료 조합에서, 용융 실리카는 전형적으로 비교적 저분산도를 갖는 유리[비교적 큰 아베수의 크라운 유리(crown glass)]를 대표하고, LLF1은 전형적으로 비교적 고분산도를 갖는 유리[비교적 작은 아베수의 플린트 유리(flint glass)]를 대표한다. 아래의 표 A는 자외선 스펙트럼 범위에서(파장은 상단 열에 기재됨) 광학계의 렌즈를 형성하는데 사용될 수 있는 여러 투과성 광학 재료(좌측 컬럼)에 대한, 굴절률 및 아베수와 같은 몇몇 관련 특성을 요약한다.

[0125]

[표 A]

	192.999	193.000	193.001	360.000	365.500	370.000	405.000	436.000	<i>V</i> (Abbe)
SILUV	1.560972	1.560970	1.560969	1.475299	1.474477	1.473834	1.469595	1.466705	60.4
CAFUV	1.501396	1.501395	1.501394	1.445430	1.444863	1.444419	1.441484	1.439477	82.0
FK5				1.504780	1.503934	1.503272	1.498902	1.495918	62.2
LF5				1.621262	1.619068	1.617371	1.606590	1.599610	31.2
LLF1				1.580929	1.579164	1.577796	1.569035	1.563301	35.9

[0126]

[0127]

명칭 "SILUV"는 용융 실리카를 나타내고, 명칭 "CAFUV"는 불화 칼슘(CaF₂)을 나타내며, 명칭 FK5, LF5, 및 LLF1은 독일 마인츠 소재 쇼트에 의해 판매되는 특수 광학 유리를 나타낸다. 오히라(OHARA)와 같은 다른 공급처에

의해 제공되는 유사한 광학 특성을 갖는 유사한 또는 동등한 유리도 또한 사용될 수 있다. 용융 실리카와 불화 칼슘은 본질적으로 아래로 약 193 nm 이하까지 흡수하지 않지만, 특수 유리 FK5, LF5, 및 LLF1은 주로 파장 $\lambda > 300$ nm에 대해, 특히 수은 i-라인을 위한 광학계에 대해 사용된다. 우측 컬럼은 다음의 식에 따라 수은 g-라인, h-라인, 및 i-라인을 포함한 파장 대역에 대해 계산된, 재료들에 대한 아베수(v)를 열거한다.

[수학식 10]

$$v = \frac{n_{405} - 1}{n_{365.5} - n_{436}}$$

여기에서, n_{405} , $n_{365.5}$ 및 n_{436} 은 각각 405 nm, 365 nm 및 436 nm에서의 재료의 굴절률이다. 표 A의 아베수로부터, 용융 실리카는 상대적 크라운 재료($v = 60.4$)인 반면에, LLF1은 상대적 플린트 재료($v = 35.9$)이고, 아베수 차이 Δv 는 비교적 큰($\Delta v = 24.5$) 것이 명백하다. 대부분의 렌즈(22개의 렌즈 중 20개)가 용융 실리카로 제조되기 때문에, 중앙 아베수는 용융 실리카의 아베수에 해당한다($v = 60.4$).

주로 페즈발 합의 색 변동을 보정하도록 사용되는 비교적 고분산도 재료의 네거티브 렌즈는 직경에 있어 비교적 작아야 하고 비교적 큰 굴절력을 가져야 함이 유용한 것으로 밝혀졌다. 이는 다음과 같이 이해될 수 있다. 위의 식 (3), (3a), (3b) 및 (3d)로부터 명백한 바와 같이, 페즈발 합은 광학계 내에서 광학면의 각각의 곡률 반경에 의해 결정되는 순수 기하학적 특성이다. 그러나, 렌즈 또는 거울의 곡률 반경은 광학면의 굴절(또는 반사) 광출력을 결정한다. 따라서, 곡률 반경과 광출력 사이에 상관관계가 존재한다. 전술된 바와 같이, 비교적 고분산도를 갖는 재료로 제조된 하나 이상의 네거티브 렌즈가 페즈발 합의 색 변동을 보정하는데 효과적인 것으로 밝혀졌다. 따라서, 상대적 플린트 재료로 제조된 하나 이상의 네거티브 렌즈가 바람직할 것이다. 반면에, 물체의 영상을 형성하기 위해, 마이크로리소그래피에 유용한 투영 대물부와 같은 결상 광학계에 전체적으로 양의 광출력이 요구된다. 광학계를 간단하게 유지시키기 위해서, 음의 굴절력은 대물부 내에서 최대한 회피되어야 한다. 만일 고분산도 재료(페즈발 합의 색 변동의 변화를 보정하는데 유용한)에서 음의 굴절력이 비교적 작은 광학적 자유 직경을 갖는 하나 이상의 네거티브 렌즈에 의해 제공되면, 이들 상충하는 요건들 사이의 합리적인 절충방안이 얻어질 수 있다. 네거티브 렌즈의 광학적 자유 직경이 비교적 작은 경우에, 네거티브 렌즈는 강한 음의 굴절력(광학면의 비교적 작은 곡률 반경)을 가질 수 있고, 동시에 광학계의 전체 굴절력에 대한 기여는 비교적 작은 네거티브 렌즈가 단지 비교적 작은 주변 광선 높이의 영역에서만 효과적이라는 사실로 인해 비교적 적게 유지될 수 있다. 바꾸어 말하면, 강한 음의 출력을 갖는 네거티브 렌즈가 작은 주변 광선 높이의 영역(네거티브 렌즈의 비교적 작은 사용 자유 직경에 대응하는)에 제공되면, 그러한 네거티브 렌즈는 페즈발 합의 색 변동의 보정에 강력한 영향을 줄 수 있고, 동시에 전체 광학계에 의해 수행되는 결상에 미치는 바람직하지 않은 영향이 비교적 적게 유지될 수 있다.

도 3a의 실시예의 설계는 이 기본 개념을 사용한다. 거의 평탄한 입사면과 오목한 출사면을 구비한 네거티브 렌즈(L1-7)가, 방사선 빔의 직경이 국소적 최소치[이른바 웨이스트(waist)]를 이 웨이스트 상류의 일군의 포지티브 렌즈와 웨이스트 하류의 일군의 포지티브 렌즈 사이에 형성하는 영역에서, 제1 대물부 부품(OP1)의 제1 퓨필면(P1)에 아주 근접하게 배치된다. 렌즈(L1-7)의 광학적 자유 직경은 네거티브 렌즈 상류의 포지티브 렌즈(L1-6) 및 하류의 포지티브 렌즈(L1-8)의 광학적 자유 직경보다 상당히 작다(10% 이상 또는 20% 이상 또는 30% 이상 작음). 네거티브 렌즈(L1-7)의 광학적 자유 직경은 양면볼록 포지티브 렌즈(L1-4) 또는 네거티브 군(NG)을 형성하는 네거티브 렌즈(L2-2)와 같은, 광학계의 최대 렌즈의 직경의 50% 미만 또는 심지어 40% 미만이다. 네거티브 렌즈(L1-7)에서의 주변 광선 높이는 오목 거울(CM)에서 얻은 최대 주변 광선 높이의 단지 약 25%이다. 네거티브 렌즈(L3-3) 상류의 네거티브 메니스커스 렌즈(meniscus lens)(L3-2)와 하류의 양면볼록 포지티브 렌즈(L3-4) 사이의 방사선 빔의 작은 웨이스트 영역에서 제2 중간 영상(IMI2)과 제3 퓨필면(P3) 사이의 제3 대물부 부품(OP3)에 제공된 양면오목 네거티브 렌즈(L3-3)가 동등한 조건을 따른다. 플린트 재료 네거티브 렌즈(L3-3)의 상류 및 하류의 렌즈의 각각은 네거티브 렌즈보다 큰 광학적 자유 직경을 갖고, 네거티브 렌즈에서의 주변 광선 높이는 오목 거울(CM)의 주변 광선 높이의 단지 약 35%이다.

단지 작은 분율만이(10% 미만, 즉 22개의 렌즈 중 2개) 비교적 고분산도를 갖는 제2 재료로 제조되기 때문에, 단지 소량의 제2 재료만이 사용되며, 이는 비용 및 제조 면에서 유리하다.

전술된 교시 내용에 따르면, 페즈발 합의 색 변동에 대한 효과적인 기여가 또한 상대적 플린트 재료로 제조된 적어도 하나의 네거티브 렌즈를 중간 영상에 광학적으로 근접하게 또는 대상물 표면 또는 결상면에 광학적으로

근접하게와 같이, 즉 필드 렌즈의 방식으로 비교적 작은 주변 광선 높이를 갖는 다른 위치에 제공함으로써 얻어질 수 있다. 예를 들어, 상대적 플린트 재료로 제조된 작은 네거티브 렌즈는 제1 중간 영상의 바로 상류에, 및/또는 제2 중간 영상의 바로 하류에 배치될 수 있다. 그러한 렌즈는 플린트 재료의 작은 네거티브 렌즈에 대한 적으로 또는 그것에 추가적으로 광학계 내의 다른 광학 위치에 제공될 수 있다.

[0135] 대안적으로, 또는 추가적으로, 이 일반 개념은 상대적 크라운 재료(대부분의 다른 렌즈보다 작은 분산도)로 제조된 하나 이상의 포지티브 렌즈가 필드면 부근과 같은, 비교적 작은 주변 광선 높이를 갖는 영역에 제공되는 방식으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 대부분의 렌즈가 또는 모든 렌즈가 용융 실리카로 제조된 투영 대물부에서, 불화 칼슘으로 제조된 포지티브 렌즈가 예를 들어 광학적으로 중간 영상 중 하나(IMI1 또는 IMI2) 부근에 배치될 수 있다. 예를 들어, 제2 중간 영상(IMI2) 바로 하류의 양면볼록 포지티브 렌즈(L3-1)는 영상 필드 만곡의 색 변동의 보정을 지원하기 위해 용융 실리카 대신에 불화 칼슘으로 제조될 수 있다.

[0136] 도 3a의 실시예의 몇몇 관련 광학 특성이 도 3b 및 도 3c에 도시된다. 도 3b의 다이어그램은 색 초점 이동(chromatic focal shift), 즉 360 nm 내지 440 nm의 상이한 파장에 대해 기준 영상 평면에 대한 초점 평면의 위치를 도시한다. 이 곡선은 각각 본질적으로 수은 i-라인, h-라인, 및 g-라인에 대응하는 약 380 nm, 405 nm, 및 428 nm에서 3개의 영점 교차점(three-zero-crossing)을 보인다. 바꾸어 말하면, 도 3a의 광학계는 수은 i-라인, g-라인, 및 h-라인을 포함한 파장 대역에서 3개의 공통 초점을 가지며, 이는 축상 색수차(AX)가 모든 수은 라인에 대해 보정됨을 말한다(고도 색지움 광학계).

[0137] 도 3c는 영상 필드 만곡의 색 변동을 보인 다이어그램을 도시하며, 여기에서 횡좌표는 파장 λ 를 나타내고, 종좌표는 최대 영상 높이 y' 에서 영상 필드의 가장자리 필드 점에서 이상적 결상면으로부터 페즈발 면의 종방향 이탈 p 를 레일리 단위 $RU = \lambda/NA^2$ 의 단위로 나타낸다. 파장에 따른 종방향 이탈 p 의 변화율 $dp/d\lambda$ 가 약 365 nm 내지 약 440 nm의 전체 파장 대역에 걸쳐 약 0.0085 RU/nm인 것을 볼 수 있다. 결과적으로, 수은 아크 복사원에 의해 제공된 모든 3개의 파장에 대한 페즈발 면은 영상 필드의 중심으로부터 광축 주위로 영상 필드의 외부 가장자리에 이르기까지 광학계의 초점 심도 내에 충분히 위치되며, 따라서 광대역 복사원에 의한 높은 콘트라스트 결상을 가능하게 한다(도 2 비교).

[0138] 도 4a는 약 365 nm에서의 수은 라인(i-라인), 약 405 nm에서의 수은 라인(h-라인), 및 약 436 nm에서의 수은 라인(g-라인)의 3개의 수은 라인을 포함한 일차 UV 방사선, 즉 적어도 파장 차이 $\Delta\lambda = 71$ nm만큼 이격된 파장들을 갖는 작동 파장 대역을 포함한 일차 UV 방사선을 위해 설계된 반사굴절 투영 대물부(400)의 제2 실시예를 도시한다($NA = 0.16$). 투영 대물부는 퓨필면(P2)과 일치하는 대칭면을 중심으로 대칭 구조를 갖는 단위 배율 광학계이다(결상 스케일 $|\beta| = 1$). 사양이 표 4, 표 4A에 주어진다.

[0139] 투영 대물부(400)는 정확하게 2개의 중간 영상(IMI1, IMI2)을 생성시키면서, 평면 대상물 표면(OS)으로부터 페턴의 영상을 평면 결상면(IS)에 투영하도록 설계된다. 광축(OA)에 중심설정된 영상 필드(축상 필드)는 중앙 퓨필 차폐부를 구비하여 결상된다. 제1 굴절 부품(OP1)은 대상물 표면으로부터 방사선에 의해 제1 중간 영상(IMI1)을 생성시키고, 제2 반사굴절 대물부 부품(OP2)은 제1 중간 영상(IMI1)으로부터 제2 중간 영상(IMI2)을 생성시키며, 굴절 제3 대물부 부품(OP3)은 제2 중간 영상(IMI2)으로부터 최종 영상을 평면 결상면(IS) 상에 생성시킨다. 모든 광학 소자는 하나의 직선 광축을 따라 정렬된다[인라인 시스템(in-line system)].

[0140] 제2 대물부 부품은, 대상물 표면과 대면하는 반사면을 구비하고 제1 중간 영상(IMI1)으로부터 방사선을 수신하는 제1 오목 거울(CM1)과, 결상면과 대면하는 반사면을 구비하고 제1 오목 거울로부터 반사된 방사선을 수신하며 그러한 방사선을 제2 중간 영상(IMI2) 쪽으로 반사시키는 제2 오목 거울(CM2)을 포함한다. 각각의 오목 거울은, 각각 제1 중간 영상(IMI1)으로부터 나오는 방사선이 제2 대물부 부품에 입사되도록 하고 방사선이 제2 중간 영상(IMI2)을 형성하도록 제2 대물부 부품으로부터 출사되도록 하기 위해, 광축 주위에 중앙 보어(구멍 또는 개구)를 구비한다. 양 중간 영상은 보어의 영역에 형성된다. 제1 오목 거울(CM1)과 제2 오목 거울(CM2) 사이에 대칭으로 배치된 큰 직경의 양면오목 네거티브 렌즈는 광학적으로 오목 거울에 근접한 네거티브 군(NG)을 형성한다. 얇고 본질적으로 무출력의(powerless) 메니스커스 렌즈가 오목 거울(CM1, CM2)의 각각과 네거티브 군(NG) 사이에 배치된다. 이들 렌즈는 다른 실시예들에서는 생략될 수 있다.

[0141] 대부분의 렌즈(75% 초과)는 용융 실리카로 제조된다. 도 4a에 해칭선으로 도시된, 31개의 렌즈 중 8개는 비교적 고분산도를 갖는 제2 재료, 즉 LLF1으로 제조된다.

[0142] 대상물 표면으로부터의 방사선은 제1 중간 영상을 형성하도록 제1 대물부 부품(OP1)에 의해 변환된 다음에 네거티브 군(NG)을 통해 제1 오목 거울(CM1) 쪽으로 발산되고, 이 제1 오목 거울은 방사선을 모아 방사선 빔을 네거

티브 군(NG)을 통해 제2 오목 거울(CM2) 쪽으로 반사시키며, 이 제2 오목 거울은 방사선 빔을 수렴시켜 방사선을 제2 중간 영상(IMI2)을 형성하기 전에 네거티브 군(NG)을 통해 세 번째로 투과시키도록 반사시킨다. 방사선은 이어서 결상면(IS)에 최종 영상을 형성하기 위해 제3 대물부 부품(OP3)에 의해 재결상된다. 오목 거울(CM1, CN2)의 각각은 광학적으로 근접하게 위치되지만, 큰 주변 광선 높이의 영역에서 제2 플리면(P2)으로부터 작은 거리를 두고 위치된다. 네거티브 군(NG)은 정확하게 제2 플리면(P2)에 위치된다.

[0143] 제2 플리면에 근접한 큰 주변 광선 높이의 영역에서 오목 거울들과 네거티브 군(NG)의 조합된 작용은 도 3a의 제1 실시예에서 슈프만 색지움 렌즈[오목 거울(CM)과 네거티브 군(NG)]와 관련하여 전술된 바와 유사한 방식으로 축상 색수차의 보정에 크게 기여한다. 도 4b는 투영 대물부가 수은 램프의 모든 3개의 파장(g-라인, h-라인, 및 i-라인)에서 작동될 수 있는 고도 색지움 광학계인 것을 나타내는 색 초점 이동에 대한 효과를 도시한다.

[0144] 영상 필드 만곡의 색 변동의 보정은 주로 제1 대물부 부품의 비교적 고분산도 렌즈(L1-8 내지 L1-11)[그리고 제3 대물부(OP3)의 대칭 관련 렌즈]에 의해 이루어진다. 이들 렌즈 군은 플린트 재료의 상대적으로 더욱 큰 렌즈에 의해 둘러싸인 그 렌즈 군의 최소 렌즈를 형성하는 양면오목 네거티브 렌즈(L1-10)를 포함한다. 네거티브 렌즈(L1-10)는, 단지 이 네거티브 렌즈 상류의 외측으로 볼록한 부분(positive belly)의 주변 광선 높이의 약 절반이고 네거티브 군(NG) 또는 오목 거울(CM1, CM2)의 영역의 주변 광선 높이의 약 30% 미만인 주변 광선 높이를 갖는 위치에서, 방사선 빔 직경의 국소적 최소치를 갖는 웨이스트 영역에 배치된다. 비록 상대적 플린트 재료 렌즈 군이 하나의 포지티브 렌즈(L1-9)를 포함하지만, 이 렌즈 군의 전체 굴절력은 음이어서, 렌즈 군 상류의 렌즈에 의해 제공되는 수렴 빔을 렌즈 군 하류의 두꺼운 양면볼록 포지티브 렌즈(L1-12)로 입사되는 발산 빔으로 변환시킬 수 있도록 한다.

[0145] 이 예시적인 실시예는 제1 실시예와 관련하여 기재된 일반적 효과가 또한 작은 주변 광선 높이의 영역에서 원하는 음의 굴절력을 전체적으로 음의 굴절력을 갖는 2개 이상의 비교적 작은 렌즈에 분배시킴으로써 얻어질 수 있음을 보여준다. 영상 필드 만곡의 변동을 보정하는데 대한 다른 기여는 대상물 표면(OS)에 근접한 제1 근소 웨이스트 영역의 네거티브 렌즈(L1-2)가 용융 실리카 대신에 LLF1과 같은 비교적 고분산도 재료로 제조되는 경우에 얻어질 수 있다.

[0146] 파장에 따른 영상 필드 만곡의 변동은 $dp/d\lambda = 0.0121 \text{ RU/nm}$ 에 의해 특징지워질 수 있다.

[0147] 도 3a의 투영 대물부(300)와 유사한 일반 레이아웃을 갖는 반사굴절 투영 대물부(500)의 제3 실시예가 도 5a에 도시된다. 편향 거울(FM1, FM2)에 의한 광축의 구부러짐과, 단일 오목 거울(CM) 및 이 오목 거울 바로 전방에 있고 방사선에 의해 두 번 투과되는 네거티브 군(NG)을 구비한 반사굴절 군에 대한 일반적 설계는 도 3a의 실시예와 유사하며, 따라서 해당 기재를 참조하기로 한다.

[0148] 투영 대물부(500)는 ArF 엑시머 레이저 복사원에 의해 제공될 수 있는, 약 193 nm에서의 극단파장 자외선(very deep ultraviolet)(VUV) 스펙트럼 범위로부터의 일차 UV 방사선용으로 설계된다. 필드 크기는 $26 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm}$ 이고, 수침시 NA = 1.0이다.

[0149] 약 200 nm 이하의 스펙트럼 범위에서, 극히 소수의 재료만이 투영 대물부에 렌즈 재료로서 사용할 수 있도록 하기에 충분한 투과성을 갖는다. 구체적으로, 합성 용융 실리카 재료와, 불화 바륨 또는 불화 칼슘(CaF_2)과 같은 결정질 알칼리성 불화물 재료가 렌즈 재료로서 사용될 수 있다. 용융 실리카(해칭선이 없는 렌즈)와 불화 칼슘(해칭선이 있는 렌즈, 검게 보임)의 조합이 투영 대물부(500)에 사용된다. 이 재료 조합에서, 용융 실리카는 상대적 플린트 재료(보다 큰 분산도 및 보다 작은 아베수를 갖는)이고, 불화 칼슘은 상대적 크라운 재료이다(일반적 관계에 대해 표 A 참조, 절대값은 193 nm에서 상이함).

[0150] 도 5a로부터 명백한 바와 같이, 상대적으로 더욱 작은 분산도를 갖는 재료(CaF_2)는 주로 포지티브 렌즈에 사용된다. 구체적으로, 제1 중간 영상(IMI1) 바로 상류의 포지티브 렌즈(L1-10, L1-11), 제2 대물부 부품(OP2)에서 중간 영상에 근접한 포지티브 렌즈(L2-1), 및 제2 중간 영상(IMI2)에 이어지는 제3 대물부 부품(OP3)의 제1 렌즈인 포지티브 렌즈(L1-3)는 상대적 크라운 재료로 제조된다. 반면에, 상대적 플린트 재료는 제1 플리면(P1) 부근의 웨이스트 영역의 작은 네거티브 렌즈(L1-8) 또는 제3 대물부 부품(OP3)의 웨이스트 부근의 네거티브 렌즈(L3-2, L3-3)를 비롯한 다른 렌즈에 사용된다. 상대적 크라운 재료 및 상대적 플린트 재료의 조합된 사용은 색 수차의 보정에 기여하여 대역폭을 개선시킨다. 도 5b로부터 명백한 바와 같이, 축상 색수차의 넓은 최소범위가 중심 파장 193 nm 주위로 얻어진다. 대응하는 대역폭은 도 5d의 다이어그램에 개략적으로 도시된 바와 같이, 파면 수차(wavefront aberration)와 파장 사이의 관계를 평가함으로써 결정될 수 있으며, 여기에서 파면 오

차($m\lambda$ 단위)의 제곱 평균 제곱근(root-mean-square)(RMS) 값은 파장 λ 의 함수로서 제공된다. 본 출원을 위해서, 10 $m\lambda$ 미만의 파면 오차가 유용한 대물부를 규정하는 것으로 간주된다. 이 조건 하에서, 약 192.91 내지 193.09의 파장의 각각의 영상이 형성하는데 사용될 수 있다. 바깥 한계치들 사이의 파장 차이 $\Delta\lambda$ 를 유용한 대역폭으로 규정하면, 광학계의 대역폭은 약 $\Delta\lambda = 0.18 \text{ nm}$ (약 180 피코미터)이다. 이 실시예에 대해 값 $dp/d\lambda = 5.35 \text{ RU/nm}$ 가 얻어지며, 이는 영상 필드 만곡의 색 보정에 대해 부분 보정이 이루어짐을 나타낸다. 이는 근본적으로 VUV 영역에서 사용가능 재료의 분산도의 차이가 순광선굴절 수단으로 그 수차를 보정하기 위한 옵션을 제한한다는 사실에 기인한다. 도 5c는 비교적 작은 왜곡을 보여준다.

[0151] 각각 도 6a, 도 7a, 도 8a 및 도 9a의 투영 대물부(600, 700, 800, 900)의 실시예들은 상이한 분산도를 갖는 2가지 초과와 상이한 재료를 사용함으로써 투영 대물부의 색 특성에 영향을 주는 방식을 보이도록 사용될 수 있다. 이 광학계의 일반 레이아웃은 도 3a 및 도 5a의 그것과 유사하며, 따라서 해당 기재를 참조하기로 한다. 사양이 각각 표 6, 표 6A, 표 7, 표 7A, 표 8, 표 8A, 표 9, 및 표 9A에 주어진다.

[0152] 도 6a의 투영 대물부(600)(제4 실시예)에서, 5가지 상이한 재료(용융 실리카, 불화 칼슘, FK5, LF5, 및 LLF1, 표 A 참조)가 색 보정을 개선시키기 위해 조합되어 사용된다. 영상측 개구수 $NA = 0.60$ 이 26 mm $\times$ 5.5 mm 영상 필드에서 얻어진다. 이 광학계는 수은 램프의 스펙트럼 라인의 각각에 대해 거의 측상 색수차 없이 작동되는 고도 색지움형이다(도 6b 참조). 영상 필드에서의 왜곡(도 6c)과 파면 오차(도 6d)가 스펙트럼 라인의 각각에 대해 우수하게 보정된다. 도 6e로부터 명백한 바와 같이, 영상측 평행성(telecentricity)은 중심 파장 $\lambda = 405 \text{ nm}$ 에 대해 우수하게 보정된다. 완전한 평행성으로부터의 이탈은 보다 작은 파장[i-라인에 대해 약 -7.5 밀리라디안(mrad)] 및 보다 큰 파장(g-라인에 대해 약 ± 5 밀리라디안)에 대해 발생된다.

[0153] 투영 대물부(700)(제5 실시예)는 투영 대물부(600)의 변형예로서 파악될 수 있는데, 왜냐하면 렌즈의 수, 유형 및 분포가 그 실시예와 다소 유사하기 때문이다. 영상측 개구수 $NA = 0.60$ 이 26 mm $\times$ 5.5 mm 영상 필드에서 얻어진다. 그러나, 이 광학계는 사용되는 재료의 총수를 줄이기 위해 불화 칼슘(비교적 고가인)의 사용과 특수 유리 LLF1의 사용을 회피하도록 설계되며, 따라서 제조를 용이하게 한다. 결과적으로, 단지 3가지 상이한 재료, 즉 용융 실리카, FK5, 및 LF5만이 렌즈에 사용된다.

[0154] 고도 색지움 보정이 여전히 이루어지지만(도 7b), 왜곡(도 7c) 및 파면 수차(도 7d)의 보정에 대한 어느 정도의 손실이 발생된다.

[0155] 도 8a의 투영 대물부(800)(제6 실시예)는 표 A에 열거된 5가지의 상이한 재료를 사용함으로써 가능해진 개선된 대역폭을 제공하는 변형예이다. 영상측 개구수 $NA = 0.60$ 이 26 mm $\times$ 5.5 mm 영상 필드에서 얻어진다. 도 8b의 색 초점 이동의 다이어그램은 수은 스펙트럼 라인에 의해 포괄된 파장 범위에서 4개의 공통 초점을 나타내는, 약 360 nm, 380 nm, 405 nm, 및 436 nm에서의 4개의 영점 교차점을 보여준다. 왜곡은 아주 우수하게 보정된다(도 8c). 360 nm 내지 440 nm의 모든 파장에 대해 10 $m\lambda$ 제곱 평균 제곱근보다 상당히 작은 파면 수차가 얻어지며, 이는 투영 대물부가 수은 g-라인, h-라인, 및 i-라인을 포함한 연속하는 스펙트럼 범위를 사용하여 광대역 응용분야를 위한 초고도 색지움 투영 대물부를 형성하도록 변형될 수 있음을 나타낸다.

[0156] 도 9a의 투영 대물부(900)(제7 실시예)는 단지 수은 i-라인과 함께 사용되도록 최적화되지만, i-라인의 중심 파장 주위의 대역폭에 관하여 개선된다. 영상측 개구수 $NA = 0.80$ 이 26 mm $\times$ 5.5 mm 영상 필드에서 얻어진다. 이 투영 대물부는 구조 복잡성을 감소시킨 상태로 수은 증기 복사원을 사용할 수 있도록 하는데, 왜냐하면 필터링 등을 위한 비용이 절감될 수 있기 때문이다. 도 9c 및 도 9d에 도시된 바와 같이, 광학계는 약 4 nm(365 nm $\pm$ 2 nm)의 전체 대역폭(최단 파장과 최장 파장 사이의 파장 차이)을 갖는 스펙트럼 범위에 걸쳐 왜곡 및 파면 오차의 아주 우수한 보정을 제공한다. 영상 필드 만곡의 색 변동은 $dp/d\lambda = 0.036 \text{ RU/nm}$ 에 의해 특징지어질 수 있다.

[0157] 도 5 내지 도 9의 실시예들의 각각에서, 패턴을 제1 중간 영상으로 결상시키도록 구성된 제1 대물부 부품은, 제1 대물부 부품을 투과하는 방사선의 빔 직경이 국소적 최소치를 갖는 적어도 2개의 별개의 웨이스트 영역이 생성되도록, 양의 굴절력을 갖는 제1 렌즈 군; 제1 렌즈 군에 바로 이어지는, 음의 굴절력을 갖는 제2 렌즈 군; 제2 렌즈 군에 바로 이어지는, 양의 굴절력을 갖는 제3 렌즈 군; 제3 렌즈 군에 바로 이어지는, 음의 굴절력을 갖는 제4 렌즈 군; 및 제4 렌즈 군에 바로 이어지는, 양의 굴절력을 갖는 제5 렌즈 군을 포함하는, 교번하는 굴절력을 갖는 일련의 연속하는 렌즈 군을 포함한다. 이들 웨이스트는 도 9에 각각 도면 부호 W1 및 W2로 표기된다. 웨이스트는 일반적으로 네거티브 렌즈에 또는 그것 부근에 형성된다. 제1(릴레이) 대물부 부품의 이중 웨이스트 구조는 굴절 수단에 의한 페즈발 합 보정을 지원한다.

- [0158] 위의 실시예들과 관련하여 기술된 투영 대물부 각각은 그것들의 설계시 의도된 파장 또는 파장들에 대한 색 수차를 비롯한 파면 오차 및 왜곡의 우수한 보정을 제공한다. 반사굴절 군(푸필의 또는 그것 부근의 적어도 하나의 오목 거울과 이 오목 거울에 근접한 네거티브 군을 포함하는)과 상이한 분산도를 갖는 광선굴절 재료의 사용에 의해 보정에 대한 상당한 기여가 이루어진다. 푸필 결상의 축상 색수차의 보정에 특별히 중점을 두지 않았다. 이 수차는 투영 대물부의 초점 길이의 고유(저보정된) 색 변동을 조래할 수 있으며, 이는 다시 입사 푸필 및 출사 푸필의 위치의 색 변동과, 따라서 정해진 위치의 구경 조리개를 구비한 광학계의 평행성 특성의 색 변동으로 이어진다. 이는 투영 대물부의 대상물 표면, 결상면 또는 중간 결상면에 근접한 영역에 대응하는, 푸필 결상의 푸필 위치에서 또는 그것 부근에서 유리하게 보정될 수 있는 푸필 결상에 대한 축상 색수차의 저보정에 상당한다.
- [0159] 투영 대물부(1000)(제8 실시예)는 푸필 결상의 축상 색수차를 보정하는데 전적으로 사용되어 물체측 평행성을 개선시키는 광선굴절 수단을 포함한다. 영상측 개구수 $NA = 0.60$ 이 $26 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm}$ 영상 필드에서 얻어진다. 투영 대물부(1000)는, 주광선 높이가 주변 광선 높이보다 큰, 광학적으로 대상물 표면에 근접한 영역에서 대상물 표면에 바로 이어지는 제1 색지움 렌즈 군(AG1)과, 제1 중간 영상(IMI1) 및 제2 중간 영상(IMI2)에 광학적으로 근접한, 즉 광학적으로 대상물 표면(OS)에 결합된 다른 필드면에 광학적으로 근접한 제2 색지움 렌즈 군(AG2)을 포함한다.
- [0160] 제1 색지움 렌즈 군(AG1)은 불화 칼슘으로 제조된 양면볼록 포지티브 렌즈(L1-1), 영상측에서 오목하고 LF5로 제조된 네거티브 메니스커스 렌즈(L1-2), 및 용융 실리카로 제조된 양면볼록 포지티브 렌즈(L1-3)를 포함한다. 색지움 렌즈 군(AG2)은 불화 칼슘으로 제조된 양면볼록 포지티브 렌즈(L2-1), 포지티브 렌즈(L2-1)에 대향된 오목한 면을 구비하고 LF5로 제조된 네거티브 메니스커스 렌즈(L2-2), 및 불화 칼슘으로 제조된 양면볼록 포지티브 렌즈(L2-3)에 의해 형성된다. LF5는 불화 칼슘 및 용융 실리카 둘 다에 비해 상대적 플린트 재료이다. 따라서, 렌즈(L1-1, L1-2)는, 상대적 크라운 재료로 제조된 포지티브 렌즈(L1-1)가 상대적 플린트 재료로 제조된 네거티브 렌즈(L1-2)에 바로 인접하게 배치되어 푸필 결상의 축상 색수차의 색 과보정을 생성하는 2점(doublet) 렌즈를 형성하는 것으로 기술될 수 있다. 마찬가지로, 렌즈(L1-2, L1-3)의 조합은 그러한 왜곡 및 굴절력의 상대 관계를 갖는 2점 렌즈로서 기술될 수 있다.
- [0161] 유사하게, 제2 색지움 렌즈 군(AG2)은 2개의 바로 인접한 렌즈 쌍을 포함하는 것으로 기술될 수 있으며, 여기에서 렌즈 중 하나는 상대적 크라운 재료로부터의 포지티브 렌즈이고, 다른 하나의 렌즈는 상대적 플린트 재료로부터의 네거티브 렌즈이다.
- [0162] 따라서, 색지움 렌즈 군(AG1, AG2)의 각각은 축상 색수차를 줄이는데 효과적이다. 투영 대물부의 필드면에 근접한 색지움 렌즈 군(AG1, AG2)의 위치설정으로 인한 효과는 푸필 결상의 축상 색수차를 줄이는 것이며, 이는 다시 물체측 상의 평행성 오차를 줄인다.
- [0163] 성능에 미치는 효과가 도 10b 내지 도 10e로부터 파악될 수 있다. 결상면에서의 축상 색수차는 고려된 수은 스펙트럼 라인 주위로 3개의 파장에 대해 보정된다. 왜곡은 수은 스펙트럼 라인의 각각에 대해 최소화된다(도 10c). 파면 오차는 스펙트럼 라인의 각각에 대해 10 nm보다 상당히 더욱 우수하다(도 10d). 물체측 평행성은 약 405 nm에 대해 완전하며, 보다 긴 파장(436 nm) 및 보다 짧은 파장(365 nm)의 각각에 대해 약 1.5 밀리라디안 미만의 절대값을 갖는다. 도 6e와의 비교로부터, 색지움 렌즈 군(AG1, AG2)이 물체측 평행성 오차를 충분히 줄이는데 효과적이어서, 조명 시스템의 출사측 평행성에 대한 사양을 완화시킬 수 있음이 명백하다.
- [0164] 도 11 내지 도 14는 마이크로리소그래피에 유용한 반사굴절 투영 대물부의 실시예들을 도시하며, 여기에서 모든 렌즈는 동일한 재료로 제조된다(이른바 단일 재료 시스템). 이 실시예들에서, 용융 실리카가 모든 렌즈에 사용된다. 페즈발 합의 색 변동의 보정은, 모든 광선굴절 구성요소(렌즈)의 조합된 페즈발 합이 실질적으로 0이고 모든 반사 구성요소(렌즈)의 조합된 페즈발 합이 실질적으로 0이도록, 투영 대물부의 모든 광선굴절 구성요소와 모든 반사 구성요소의 기여를 평형시킴으로써 얻어진다. 반사 구성요소에 대한 그러한 요건을 충족시키기 위해서, 대부분의 종색수차 및 횡색수차를 보정하기 위해 음의 굴절력과 관련하여 사용되는 적어도 하나의 오목 거울 외에 볼록 거울이 제공된다.
- [0165] 제9 실시예를 형성하는 투영 대물부(1100)는 약 365 nm에서의 수은 라인(i-라인), 약 405 nm에서의 수은 라인(h-라인), 및 약 436 nm에서의 수은 라인(g-라인)의 3개의 수은 라인을 포함한 일차 UV 방사선, 즉 적어도 파장 차이 $\Delta \lambda = 71 \text{ nm}$ 만큼 이격된 파장들을 갖는 작동 파장 대역의 일차 UV 방사선을 위해 설계된다. 4:1의 축소 결상 스케일을 가정하면($\beta = -0.25$), 투영 대물부는 물체측 상에서 및 영상측 상에서 텔레센트릭하고, 영상측

개구수 NA = 0.5를 갖는다. 영상 필드 크기는 26 mm × 5.5 mm이다. 사양이 표 11, 표 11A에 주어진다.

[0166] 투영 대물부(1100)는 정확하게 2개의 실제 중간 영상(IMI1, IMI2)을 생성시키면서, 평면 대상물 표면(OS)(물체 평면)에 배치된 레티클 상의 패턴의 영상을 축소된 스케일, 예를 들어 4:1로 평면 결상면(IS)(영상 평면)에 투영하도록 설계된다. 직사각형 유효 물체 필드(OF)와 영상 필드(IF)는 비축, 즉 완전히 광축(OA) 밖에 있다. 제1 굴절 대물부 부품(OP1)은 대상물 표면에서 제공된 패턴을 제1 중간 영상(IMI1)으로 결상하도록 설계된다. 제2 반사굴절(굴절/반사) 대물부 부품(OP2)은 제1 중간 영상(IMI1)을 1:(-1)에 근사한 배율로 제2 중간 영상(IMI2)으로 결상한다. 제3 굴절 대물부 부품(OP3)은 제2 중간 영상(IMI2)을 큰 축소비로 결상면(IS) 상에 결상한다.

[0167] 제1 순굴절 대물부 부품(OP1)은 6개의 바로 연속하는 포지티브 렌즈에 의해 형성되는 제1 포지티브 렌즈 군(LG1), 3개의 바로 연속하는 네거티브 렌즈에 의해 형성되는 제2 네거티브 렌즈 군(LG2), 및 4개의 바로 연속하는 렌즈에 의해 형성되는 포지티브 렌즈 군(LG3)을 구비한 굴절 단일-웨이스트 릴레이 광학계를 형성하는 12개의 용융 실리카 렌즈를 구비한다.

[0168] 제2 대물부 부품(OP2)은 제2 플립면(P2)에 근접하게 위치되는 단일 제1 오목 거울(CM1)을 포함한다. 제1 평면 편향 거울(FM1)이 광축(OA)에 대해 45°의 각도로 제1 중간 영상(IMI1)에 광학적으로 근접하게 배치되되, 그것이 대상물 표면으로부터 나오는 방사선을 제1 오목 거울(CM1)의 방향으로 반사시키도록 배치된다. 제1 편향 거울의 평면 거울면에 직각으로 정렬된 평면 거울면을 구비한 제2 편향 거울(FM2)이 제1 오목 거울(CM1)로부터 나오는 방사선을 대상물 표면에 평행한 결상면의 방향으로 반사시킨다. 편향 거울(FM1, FM2)은 각각 광학적으로 최근접한 중간 영상 부근에 위치된다. 따라서, 방사선이 반대 방향으로 두 번 투과하는 이중 투과 영역이 기하학적으로 편향 거울(FM1, FM2)과 오목 거울(CM1) 사이에 형성된다. 단일 포지티브 렌즈(L2-1)가 기하학적으로 편향 거울(FM1, FM2)에 근접하게, 그리고 광학적으로 제1 중간 영상 및 제2 중간 영상 둘 다에 근접하게 이중 투과 영역에 배치되어, 포지티브 필드 렌즈로서 작용한다. 정확하게 하나의 네거티브 메니스커스 렌즈(L2-2)를 구비한 네거티브 군(NG)이 방사선이 네거티브 군을 통해 반대 방향으로 두 번 투과하도록 오목 거울 부근에 그리고 오목 거울과 동축으로 큰 주변 광선 높이를 갖는 영역에 배치된다. 네거티브 군과 오목 거울 사이에는 광학 소자가 배치되지 않는다.

[0169] 제3 대물부 부품(OP3)은 제2 오목 거울(CM2), 볼록 거울(CVM), 및 8개의 용융 실리카 렌즈를 포함한 반사굴절 대물부 부품이다. 제2 오목 거울(CM2)은 광축의 영역에서 중앙 구멍, 및 결상면과 대면하는 반사면을 구비한다. 볼록 거울(CVM)은 제2 오목 거울(CM2)과 대면하는 볼록 반사면을 구비하고, 제2 오목 거울(CM2)의 영상측에서 광축 상에 위치된다. 제2 중간 영상(IMI2)으로부터 나오는 방사선은 제2 오목 거울(CM2)의 중앙 구멍을 통해 제2 오목 거울(CM2)과 볼록 거울(CVM) 사이의 공간에 입사하기 전에 우선 네거티브-포지티브 2겹 렌즈를 투과한다. 방사선은, 제2 오목 거울(CM2) 바로 전방에 배치되고 동일한 방향의 곡률을 갖는 큰 네거티브 메니스커스 렌즈(L3-3)를 투과한다. 네거티브 렌즈(L3-3)에 의해 발산된 방사선은 음의 광출력을 갖는 볼록 거울(CVM)에 입사되어, 네거티브 렌즈(L3-3) 및 제2 오목 거울(CM2) 쪽으로 지향되는 반사된 방사선 빔의 발산각을 증가시킨다. 방사선은 네거티브 렌즈(L3-3)를 두 번째로 투과하여, 양의 광출력을 갖고 결상면(IS) 쪽으로 지향되는 수렴 방사선을 생성시키는 오목 거울(CM2)에 입사된다. 오목 거울(CM2)에 의해 반사된 방사선은 네거티브 렌즈(L3-3)를 세 번째로 투과하여, 볼록 거울(CVM)을 거쳐 렌즈(L3-4 내지 L3-8) 및 평면 평행판을 통해 결상면(IS) 쪽으로 지향된다. 제2 오목 거울(CM2)과 네거티브 렌즈(L3-3)는 광학적으로 제3 플립면(P3)에 근접하게 위치되어, 제2 대물부 부품(OP2)의 네거티브 군(NG) 및 오목 거울(CM1)의 조합과 기본적으로 유사한 방식으로 색 수차의 보정에 기여한다. 제2 오목 거울(CM2)의 구멍으로 인해 중앙 플립 차폐부가 생성된다.

[0170] 볼록 거울(CVM)의 곡률 반경은 투영 대물부에서 곡면 거울의 기본 곡률의 합이 실질적으로 0이도록 제1 오목 거울(CM1) 및 제2 오목 거울(CM2)의 곡률 반경에 맞게 형성된다. 본 출원에 사용되는 바와 같이, 용어 "기본 반경"은 곡면 거울의 정점에서, 즉 각각의 반사면에 의해 규정된 만곡면과 광축(OA)의 교점에서 곡면 거울의 곡률 반경을 지칭한다. 곡면 거울의 기본 곡률의 합은 정확하게 0일 수 있다. 그러나, 사양에 따라 작은 편차도 또한 허용가능할 수 있다. 일반적으로, 이 합은 다음 조건이 충족되면 "실질적으로 0"인 것으로 간주될 수 있다.

[0171] [수학식 9]

$$|C_M \cdot L| < 2$$

[0172]

[0173] 몇몇 실시예들에서, 상한치는 예를 들어 $|C_M \cdot L| < 1$ 또는 $|C_M \cdot L| < 0.5$ 이도록 더욱 작을 수 있다. 식

(9)에서, 파라미터 L은 대상물 표면(OS)과 결상면 사이의 기하학적 거리(또한 트랙 길이로도 지칭됨)이고,

[수학식 10]

$$C_M = \sum_{Mirrors} c_i$$

은 투영 대물부에서 곡면 거울의 기본 곡률 c_i 의 합이며, 여기에서 볼록한 기본 곡률은 양으로 계산되고, 오목한 기본 곡률은 음으로 계산된다. 도 11a의 실시예에서, $|C_M \cdot L| = 0.251$ 이다.

도 11a의 제9 실시예의 몇몇 관련 광학 특성이 도 11b와 도 11c에 도시된다. 도 11b의 다이어그램은 색 초점 이동, 즉 360 nm 내지 440 nm의 상이한 파장에 대해 기준 영상 평면에 대한 초점 평면의 위치를 도시한다. 이 곡선은 본질적으로 각각 수은 i-라인, h-라인, 및 g-라인에 대응하는 약 360 nm, 405 nm, 437 nm에서 3개의 영점 교차점을 보인다.

도 11c는 영상 필드 만곡의 색 변동을 보이는 다이어그램을 도시하며, 여기에서 황좌표는 파장 λ 를 나타내고, 종좌표는 최대 영상 높이 y' 에서 영상 필드의 가장자리 필드 점에서 이상적 결상면으로부터 페즈발 면의 종방향 이탈 p 를 레일리 단위 $RU = \lambda/NA^2$ 의 단위로 나타낸다. 파장에 따른 종방향 이탈 p 의 변화율 $dp/d\lambda$ 가 약 365 nm 내지 약 440 nm의 전체 파장 대역에 걸쳐 약 0.0028 RU/nm인 것을 볼 수 있다.

도 12는 각각 2개의 오목 거울과 단일 볼록 거울을 구비한 투영 대물부의 3가지 변형예를 개략적으로 도시한다.

이 개략도에서, 곡면 거울은 곡선에 의해 표시되고, 전체적으로 양의 굴절력을 갖는 렌즈 군은 외측으로 향한 화살촉을 갖는 이중 화살표에 의해 표시되며, 전체적으로 음의 굴절력을 갖는 렌즈 군은 내측으로 향한 화살촉을 갖는 이중 화살표에 의해 표시된다. 따라서, 도 12a는 기본적으로 도 11a의 제9 실시예의 일반 레이아웃을 갖는 설계에 대응한다[네거티브 렌즈(L3-3)를 구비하지 않음]. 도 12b에 따른 실시예에서, 제1 대물부 부품(OP1)은 반사굴절형이고, 제2 대물부 부품(OP2)은 반사굴절형이며, 제3 대물부 부품(OP3)은 광선굴절형이다(C-C-R 구성). 제2 오목 거울(CM2)과 볼록 거울(CVM)의 조합체는 제1 대물부 부품(OP1) 내에 통합되는 반면에, 제3 대물부 부품은 기본적으로 제2 중간 영상에 존재하는 개구수로부터 영상측 개구수를 제공하는 하나 이상의 웨이스트를 구비한 단일-웨이스트(waste) 굴절 대물부 부품이다. 이들 실시예에서, 제2 오목 거울(CM2)과 볼록 거울(CVM) 사이에 렌즈가 배치되지 않는 것에 주목하라. 광선굴절 렌즈가 실시예(1100)에 도시된 바와 같이 볼록 거울(CVM)과 오목 거울(CM2) 사이에 제공될 수 있다. 마찬가지로, 원하는 경우에, 투영 대물부(1100)에서 네거티브 렌즈(L3-3)가 생략될 수 있다.

도 12c의 변형예에서, 제2 오목 거울(CM2)과 볼록 거울(CVM)의 조합체는 볼록 거울(CVM)이 기하학적으로 두 오목 거울(CM1, CM2) 사이에 배치되도록 반사굴절 제2 대물부 부품 내에 통합된다. 이 실시예에서, 제1 대물부 부품(OP1)과 제3 대물부 부품(OP3)은 각각 순굴절형이다(R-C-R 구성). 원하는 경우에, 광선굴절 렌즈가 CVM과 CM2 사이에 삽입될 수 있다.

투영 대물부(1300)(제10 실시예)는 정확하게 2개의 중간 영상과, 2개의 오목 거울 및 하나의 볼록 거울과, 복수의 렌즈를 구비한 투영 대물부의 다른 예이며, 여기에서 모든 렌즈는 동일한 재료(용융 실리카)로 제조된다. 제1 대물부 부품(OP1)은 순굴절형이다. 평면 제1 편향 거울(FM1)이 제1 중간 영상(IMI1)이 광학적으로 제1 편향 거울(FM1) 후방에 생성되도록 제1 대물부 부품(OP1) 내에 위치된다. 대안적으로, 중간 영상은 제1 편향 거울(FM1)과 오목 거울(CM1) 사이에 위치될 수 있다. 반사굴절 대물부 부품(OP2)은 제2 퓨필면(P2)에서의 제1 오목 거울(CM1)과, 이 제1 오목 거울(CM1) 바로 전방의 네거티브 군(NG)을 포함한다. 네거티브 필드 렌즈(L2-1)가 양쪽 중간 영상에 광학적으로 근접하게 배치되고, 포지티브 렌즈(L2-2)가 중간 영역에 위치된다. 제3 대물부 부품(OP3)은 반사굴절형이며, 물체측 쪽으로 오목한 거울면을 구비한 제2 오목 거울(CM2)과, 결상면과 대면하는 오목 거울(CM2)과 제2 편향 거울(FM2) 사이에 기하학적으로 배치된 볼록 거울(CVM)을 포함한다. 다수의 렌즈가 방사선을 결상면 쪽으로 수렴시키기 위해 광학적으로 오목 거울(CVM)의 하류에 배치된다.

투영 대물부는 볼록 거울(CVM) 및 오목 거울(CM2)을 구비한 거울 군이 제3 대물부 부품 내에 통합된다는 사실에도 불구하고 퓨필 차폐없이 비축 영상 필드를 생성시키도록 설계된다. 비네팅을 회피하기 위해 아크형 물체 필드(OF)와 영상 필드가 사용된다. 대상물 표면으로부터의 방사선은 제1 중간 영상(IMI1)을 형성하고, 이 제1 중간 영상은 제2 대물부 부품(OP2)에 의해 제2 중간 영상(IMI2)을 형성하도록 재결상된다. 제2 중간 영상(IMI2)은 제2 편향 거울(FM2)로부터 반사된 방사선이 우선 오목 거울(CM2)로 지향되도록 기하학적으로 볼록 거울(CV

M)의 외측 가장자리 부근에 이 가장자리로부터 작은 거리를 두고서 생성된다. 오목 거울(CM2)은, 제2 오목 거울(CM2)에 입사되고 그것으로부터 반사되는 방사선에 의해 두 번 투과되는 포지티브 메니스커스 렌즈처럼 형상화된 투과성 기관(L3-1)의 볼록한 배면에 도포되는 반사 코팅에 의해 만진 소자(Mangin element)로서 형성된다. 제2 오목 거울(CM2)로부터 반사된 방사선은 볼록 거울(CVM)에 입사되고, 이 볼록 거울은 방사선을 기관(L3-1)의 렌즈 부분을 통해 기하학적으로 오목 거울(CM2)과 결상면(IS) 사이에 배치된 렌즈 군 쪽으로 반사시킨다. 오목 거울(CM2)은 또한 상류에 렌즈를 구비한 개별 거울로서, 또는 인접 렌즈 소자가 없는 거울로서 구현될 수 있다.

[0184]

도 13b로부터 명백한 바와 같이, 이 광학계는 3개의 수는 라인에 의해 포괄된 파장 대역 내에서 약 371 nm, 약 405 nm, 및 약 420 nm에서 3개의 공통 초점을 가능하게 하는 고도 색지움형이다. 영상 필드 만곡의 색 변동은 $dp/d\lambda = 0.0309 \text{ RU/nm}$ 에 의해 특징지워질 수 있다.

[0185]

도 14는 볼록 거울(CVM)과 이 볼록 거울과 동축인 오목 거울(CM2)을 구비한 거울 군이 통합되는 광학계에서 비네팅 및 퓨필 차폐 없는 영상 필드를 얻기 위해 아크형 필드(링 필드)를 사용하는 반사굴절 투영 대물부의 두 변형예를 도시한다. 도 14a의 실시예에서, 동축 거울 군(CM2, CVM)은 도 13a의 실시예와 유사하게 제3 대물부 부품 내에 통합된다. 도 14b의 실시예에서, 동축 오목 거울(CM2) 및 볼록 거울(CVM)을 포함한 거울 군은 제1 중간 영상(IMI1)을 형성하는 제1 대물부 부품(OP1) 내에 통합된다.

[0186]

도 15는 전술된 교시 내용에 따라 페즈발 합의 색 변동의 보정을 개선시키는 반사굴절 대물부(1500)의 예를 도시한다. 물체가 무한대에 배치되면[평행 빔(collimated beam)이 좌측으로부터 물체에 입사하는 경우에 해당함], 우측으로 높은 NA 측에서 개구수 $NA = 0.6$ 이 얻어진다. 물체가 현미경에 사용될 때, 확대될 물체는 결상면(IS)에 배치될 것이다. 물체는 낮은 NA 측으로부터 높은 NA 측으로, 제1 중간 영상(IMI1)을 생성시키는 반사굴절 제1 대물부 부품(OP1), 제1 중간 영상으로부터 제2 중간 영상(IMI2)을 생성시키는 제2 반사(순반사) 대물부 부품(OP2), 및 제2 중간 영상(IMI2)을 결상면 상에 재결상시키는 제3 굴절 대물부 부품(OP3)을 포함한다. 모든 광학 소자는 구부러지지 않은 직선 광축(OA)을 따라 정렬된다(인라인 시스템). 제1 대물부 부품은 물체측으로부터 영상측으로, 결상면 쪽으로 오목한 제1 오목 거울(CM1), 오목 거울(CM1) 바로 전방의 단일 네거티브 메니스커스 렌즈에 의해 형성되는 네거티브 군(NG), 얇은 메니스커스 렌즈(L1-2), 제1 오목 거울(CM1)과 대면하는 볼록한 반사면을 구비한 볼록 거울(CMV), 및 방사선을 제1 중간 영상(IMI1) 쪽으로 수렴시키는 렌즈(L1-3 내지 L1-6)를 포함한다. 제2 대물부 부품(OP2)은 순반사(반사)형이고, 서로 대면하는 비구면 반사면들을 구비한 2개의 오목 거울(CM2, CM3)을 포함하며, 여기에서 각각의 오목 거울은 방사선이 오목 거울들 사이에 포함된 공간으로 입사 및 그것으로부터 출사되도록 하기 위해 광축 상에서 중앙 구멍을 구비한다. 제1 중간 영상(IMI1)은 제3 오목 거울(CM3)의 구멍에 또는 그것 부근에 형성되고, 제2 중간 영상(IMI2)은 제2 오목 거울(CM2)의 구멍에 또는 그것 부근에 형성된다. 순굴절 제3 대물부 부품(OP3)은 물체가 낮은 NA 측으로부터 높은 NA 측으로 횡단조사될(transirradiated) 때, 제2 중간 영상(IMI2)으로부터 나오는 발산하는 방사선을 결상면(IS) 쪽으로 평행하게 한다.

[0187]

축상 색수차의 보정은 주로 제1 대물부 부품(OP1)의 큰 주변 광선 높이의 영역에 제공된 네거티브 군(NG)과 오목 거울(CM1)의 조합체에 의해 지원된다. 필드 만곡의 과보정에 대한 또 다른 기여는 제2 대물부 부품(OP2)의 2개의 오목 거울(CM2, CM3)에 의해 제공된다. 오목 거울에 의해 제공된 필드 만곡의 과보정은 반대 부호의 곡률을 갖는 볼록 거울(CVM)에 의해 보상된다. 영상 필드 만곡의 색 변동은 $dp/d\lambda = 0.0003 \text{ RU/nm}$ 에 의해 특징지워질 수 있다.

[0188]

아래의 표 B는 각각의 도면의 설계의 각각에 대해 파장 λ 에 대한 p의 미분계수 $dp/d\lambda$ [나노미터(nm)당 레일리 단위(RU)로]와 함께 위에서 설명된 바와 같은 다른 관련 데이터를 요약한다.

[0189] [표 B]

도면	3	4	5	6	7	8
표	3	4	5	6	7	8
λ [nm]	405	405	193	405	405	405
$\Delta\lambda$ [nm]	71	71	0.18	71	71	71
L [mm]	1500	1000	1500	1500	1500	1500
NA	0,5	0,16	1	0,6	0,6	0,6
y' [mm]	15,5	20	15,5	15,5	15,5	15,5
λ/NA^2 [μ m]	1,62	15,82	0,19	1,13	1,13	1,13
dp/d λ [RE/nm]	0,0085	0,0121	5,35	0,0081	0,016	0,0019

도면	9	10	11	13	15
표	9	10	11	13	15
λ [nm]	365,5	405	405	405	405
$\Delta\lambda$ [nm]	5	71	71	71	71
L [mm]	1500	1500	1500	1500	247
NA	0,8	0,6	0,5	0,5	0,6
y' [mm]	15,5	15,5	15,5	15,9	0,25
λ/NA^2 [μ m]	0,57	1,13	1,62	1,62	1,13
dp/d λ [RE/nm]	0,036	0,0092	0,0028	0,0309	0,0003

[0190]

[0191]

본 발명의 태양들은 상이한 구성을 갖는 반사굴절 대물부에 실시될 수 있다. 예를 들어, 기본적으로 미국 특허 공보 제US 6,909,492 B2호 또는 미국 공개 특허 공보 제US 2004/0160677 A1호 또는 미국 공개 특허 공보 제US 2003/0011755 A1호 또는 미국 특허 공보 제US 6,665,126호 또는 유럽 특허 공보 제EP 1 480 065호에 개시된 바와 같이 "슈프만 색지움 렌즈"의 방식으로 설계된 단일 반사굴절 군과 함께 하나 이상의 평면 편향 거울을 구비한, 적어도 하나의 중간 영상을 구비한 폴딩된 반사굴절 투영 대물부가 개조될 수 있다. 기본적으로 국제 공개 특허 공보 제WO 2005/040890호에 개시된 바와 같이 "슈프만 색지움 렌즈"의 방식으로 설계된 하나 초과 반사굴절 군을 구비한 폴딩된 설계가 또한 개조될 수 있다. 예를 들어 유럽 공개 특허 공보 제EP 1 069 448 A1호에 도시된 바와 같이 플립 부근에 배치된 오목 거울을 구비하고 또 다른 오목 거울을 구비하는 비폴딩된 투영 대물부(인라인 시스템)가 개조될 수 있다. 기본적으로 미국 특허 공보 제US 6,636,350호 또는 제US 6,995,918호에 도시된 바와 같이 부분적으로 4개 또는 6개의 오목 거울을 구비한 다른 인라인 시스템이 개조될 수 있다. 이들 시스템 유형은 원칙적으로 본 실시예들의 맥락에서 상응하는 개작을 통해 사용될 수 있다.

[0192]

이상 바람직한 실시예들에 대한 설명은 예로서 제시된 것이다. 이 제시된 개시 내용으로부터, 본 기술 분야의 당업자라면 본 발명과 그것에 수반하는 이점을 파악할 수 있을 뿐만 아니라, 개시된 구조 및 방법에 대한 명백한 다양한 변경 및 수정을 발견할 수 있을 것이다. 따라서, 첨부된 청구범위와 그것의 동등물에 의해 규정된 바와 같은 본 발명의 사상 및 범주 내에 모든 변경과 수정을 포함하고자 한다.

[0193]

모든 청구범위의 내용은 본 명세서의 일부분을 참조하여 기재된다.

[0194]

하기의 표는 전술된 실시예들의 사양을 요약한다. 표에서, 컬럼 1은 굴절면 또는 반사면 또는 어떤 다른 방식으로 구별되는 면의 번호를 특정하고, 컬럼 2는 면의 반경 r(곡률 반경)을 특정하며(mm 단위로), 컬럼 3은 면과 후속 면 사이의 거리 d(두께로도 지칭됨)를 특정하고(mm 단위로), 컬럼 4는 광학 구성요소의 재료를 특정한다. 컬럼 5는 재료의 굴절률을 나타내고, 컬럼 6은 렌즈면 또는 다른 면의 광학적 자유 반경 또는 광학적 자유 반지름(또는 렌즈 높이)을 특정한다(mm 단위로). 반경 r = 0은 평면에 해당한다.

[0195]

표 또는 표들은 각각의 도면과 동일한 번호로 표기된다. 문자 "A"가 추가된 표는 대응하는 비구면 또는 다른 관련 데이터를 특정한다. 비구면 표면은 다음의 식에 따라 계산된다.

[0196]

$$p(h)=[((1/r)h^2)/(1+\text{SQRT}(1-(1+K)(1/r)^2h^2))]+C1\cdot h^4+C2\cdot h^6+..$$

[0197]

이 경우에, 반경의 역수(1/r)는 면 곡률을 특정하고, h는 면의 점과 광축 사이의 거리(즉, 광선 높이)를 특정한다. 결과적으로, p(h)는 이른바 구결(sagitta), 즉 면의 점과 면의 정점 사이의 z 방향(광축 방향)으로의 거리를 특정한다. 상수 K는 원주 상수이고, 파라미터 C1, C2는 비구면 상수이다.

[0198]

본 발명의 바람직한 특징들이 또한 하기의 항목들에 개시된다.

[0199]

1. 반사굴절 대물부이며,

[0200]

중심 파장 λ 주위의 파장 대역으로부터의 전자기 방사선에 의해 영상측 개구수 NA에서 대물부의 대상물 표면의 물체 필드로부터 패턴을 대물부의 결상면 영역의 영상 필드에 결상시키도록 광축을 따라 배치되는 복수의 광학

소자를 포함하고,

- [0201] 광학 소자는,
- [0202] 오목 거울, 및
- [0203] 복수의 렌즈를 포함하며,
- [0204] 투영 대물부는 파장 대역의 각각의 파장 λ 에 대해 각각의 페즈발 면에 패턴의 영상을 형성하고, 페즈발 면들은 상이한 파장에 대해 서로로부터 벗어나며,
- [0205] 결상면 영역에서 광축에 평행하게 측정된, 영상 필드의 가장자리 필드 점에서(최대 영상 높이 y' 에서) 평면 기준면으로부터 주어진 파장에서의 페즈발 면의 종방향 이탈 p 는,
- [0206] $dp/d\lambda < (0.2\lambda/NA^2)/nm$
- [0207] 에 따라서 파장 λ 에 따라 변하는 대물부.
- [0208] 2. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 대물부는 파장 대역의 각각의 파장에 대해 최대 영상 높이 y' 에서 영상 필드의 가장자리 필드 점에서 평면 기준면으로부터 주어진 파장에서의 페즈발 면의 종방향 이탈 p 를 λ/NA^2 미만으로 감소시키는 대물부.
- [0209] 3. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 영상 필드는 3 mm보다 큰 최대 영상 필드 높이 y' 에 의해 규정되는 영상 필드 크기를 갖는 대물부.
- [0210] 4. 제3 항목에 따른 대물부에 있어서, 최대 영상 필드 높이 y' 는 10 mm 이상인 대물부.
- [0211] 5. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 대물부는 영상측 개구수 $NA > 0.2$ 를 갖는 대물부.
- [0212] 6. 제5 항목에 따른 대물부에 있어서, 대물부는 영상측 개구수 $NA \geq 0.6$ 을 갖는 대물부.
- [0213] 7. 제5 항목에 따른 대물부에 있어서, 대물부는 대물부의 출사면과 결상면 사이의 영상측 작동 공간이 작동 중 가스로 충전될 때 영상측 개구수 $NA < 1$ 을 생성시키도록 구성되는 건식 대물부(dry objective)인 대물부.
- [0214] 8. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 대물부는 작동 중 대물부의 출사면과 결상면 사이의 영상측 작동 공간에서의 침지액과 함께 사용될 때 영상측 개구수 $NA \geq 1$ 을 갖는 액침 대물부로서 구성되는 대물부.
- [0215] 9. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 중심 파장 λ 는 300 nm보다 크고 $dp/d\lambda < (0.2\lambda/NA^2)/nm$ 인 대물부.
- [0216] 10. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 투영 대물부는 파장 대역의 제1 파장 $\lambda_1 < \lambda$ 에서 제1 페즈발 면에 패턴의 제1 영상을 형성하고, 2 nm 이상인 파장 차이 $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ 만큼 제1 파장으로부터 이격된 제2 파장 $\lambda_2 > \lambda$ 에서 제2 페즈발 면에 패턴의 제2 영상을 형성하는 대물부.
- [0217] 11. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 오목 거울은 대물부의 플립면에 또는 그것에 광학적으로 근접하게 배치되고, 적어도 하나의 네거티브 렌즈를 포함하는 네거티브 군은 방사선이 네거티브 군을 반대 방향으로 적어도 두 번 투과하도록 이중 투과 영역에서 오목 거울의 전방에 그것의 반사면 상에 배치되는 대물부.
- [0218] 12. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 복수의 렌즈는 중앙 아베수를 규정하는 상이한 아베수를 갖는 상이한 재료로 제조되는 렌즈를 포함하고, 복수의 렌즈 중 적어도 하나는 중앙 아베수와 동일하거나 그것보다 큰 제1 아베수를 갖는 제1 재료로 제조되는 제1 렌즈이며, 복수의 렌즈 중 적어도 하나는 중앙 아베수보다 작은 아베수를 갖는 제2 재료로 제조되는 대물부.
- [0219] 13. 제12 항목에 따른 대물부에 있어서, 모든 렌즈의 50% 초과는 제1 재료로 제조되고, 50% 미만은 제2 재료로 제조되는 대물부.
- [0220] 14. 제13 항목에 따른 대물부에 있어서, 모든 렌즈의 30% 미만은 제2 재료로 제조되는 대물부.
- [0221] 15. 제12 항목에 따른 대물부에 있어서, 모든 렌즈의 50% 초과는 제2 재료로 제조되고, 50% 미만은 제1 재료로 제조되는 대물부.
- [0222] 16. 제12 항목에 따른 대물부에 있어서, 제2 재료로 제조되는 적어도 하나의 제2 렌즈는 네거티브 렌즈인 대물부.

- [0223] 17. 제16 항목에 따른 대물부에 있어서, 네거티브 렌즈는 양면오목 네거티브 렌즈인 대물부.
- [0224] 18. 제16 항목에 따른 대물부에 있어서, 네거티브 렌즈는 네거티브 렌즈에 바로 인접한 적어도 하나의 렌즈의 광학적 자유 직경보다 현저히 작은 광학적 자유 직경을 갖는 대물부.
- [0225] 19. 제16 항목에 따른 대물부에 있어서, 네거티브 렌즈는 대물부의 최대 렌즈의 광학적 자유 직경의 80% 미만인 광학적 자유 직경을 갖는 대물부.
- [0226] 20. 제19 항목에 따른 대물부에 있어서, 네거티브 렌즈의 광학적 자유 직경은 대물부의 최대 렌즈의 광학적 자유 직경의 50% 미만인 대물부.
- [0227] 21. 제16 항목에 따른 대물부에 있어서, 네거티브 렌즈는 2개의 인접한 렌즈 사이에 배치되고, 2개의 인접한 렌즈의 각각은 네거티브 렌즈의 광학적 자유 직경보다 현저히 큰 광학적 자유 직경을 갖는 대물부.
- [0228] 22. 제16 항목에 따른 대물부에 있어서, 대물부는 대물부를 투과하는 방사선 빔의 빔 직경이 국소적 최소치를 갖는 적어도 하나의 웨이스트 영역을 포함하고, 네거티브 렌즈는 웨이스트 영역에 위치되는 대물부.
- [0229] 23. 제16 항목에 따른 대물부에 있어서, 네거티브 렌즈는 대물부의 필드면에 근접하게 위치되는 대물부.
- [0230] 24. 제23 항목에 따른 대물부에 있어서, 필드면은 대상물 표면인 대물부.
- [0231] 25. 제23 항목에 따른 대물부에 있어서, 필드면은 결상면인 대물부.
- [0232] 26. 제23 항목에 따른 대물부에 있어서, 대물부는 적어도 하나의 중간 영상을 구비하고, 네거티브 렌즈는 중간 영상에 근접하게 위치되는 대물부.
- [0233] 27. 제16 항목에 따른 대물부에 있어서, 대물부는 제2 재료의 적어도 2개의 네거티브 렌즈를 포함하는 대물부.
- [0234] 28. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 모든 렌즈의 50% 초과는 용융 실리카(SiO_2)로 제조되는 대물부.
- [0235] 29. 제12 항목에 따른 대물부에 있어서, 제1 재료는 용융 실리카(SiO_2)인 대물부.
- [0236] 30. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 복수의 렌즈는 3개의 현저히 상이한 아베수를 갖는 적어도 3가지 상이한 재료로 제조되는 렌즈를 포함하는 대물부.
- [0237] 31. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 복수의 렌즈는 4개의 현저히 상이한 아베수를 갖는 4가지 상이한 재료로 제조되는 렌즈를 포함하는 대물부.
- [0238] 32. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 복수의 렌즈는 5개의 현저히 상이한 아베수를 갖는 5가지 상이한 재료로 제조되는 렌즈를 포함하는 대물부.
- [0239] 34. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 복수의 렌즈는 적어도 2개의 상이한 아베수를 갖는 적어도 2가지 상이한 재료로 제조되는 렌즈를 포함하고, 재료 중 적어도 하나는 불화 칼슘도 아니고 용융 실리카(SiO_2)도 아닌 대물부.
- [0240] 35. 제12 항목에 따른 대물부에 있어서, 광학 소자는 제1 렌즈 및 제1 렌즈에 바로 인접한 제2 렌즈로 구성되는 2겹 렌즈를 포함하며, 제1 렌즈는 제1 재료로 제조되는 포지티브 렌즈이고, 제2 렌즈는 제2 재료로 제조되는 네거티브 렌즈인 대물부.
- [0241] 36. 제35 항목에 따른 대물부에 있어서, 2겹 렌즈는 주광선 높이가 대물부에서의 최대 주광선 높이의 적어도 50%인 투영 대물부의 필드면에 광학적으로 근접한 영역에 배치되는 대물부.
- [0242] 37. 제36 항목에 따른 대물부에 있어서, 필드면은 대상물 표면인 대물부.
- [0243] 38. 제36 항목에 따른 대물부에 있어서, 필드면은 결상면인 대물부.
- [0244] 39. 제36 항목에 따른 대물부에 있어서, 광학 소자는 대상물 표면과 결상면 사이의 중간 결상면에 적어도 하나의 중간 영상을 형성하도록 배치되고, 필드면은 중간 결상면인 대물부.
- [0245] 40. 제35 항목에 따른 대물부에 있어서, 2겹 렌즈는 방사선이 2겹 렌즈를 반대 방향으로 적어도 두 번 투과하도록 이중 투과 영역에 배치되는 대물부.
- [0246] 41. 제35 항목에 따른 대물부에 있어서, 제1 재료로 제조되는 포지티브 렌즈가 2겹 렌즈의 제1 렌즈에 대향된

갖는 제4 렌즈 군, 및 제4 렌즈 군에 바로 이어지는, 양의 굴절력을 갖는 제5 렌즈 군을 포함하는, 교번하는 굴절력을 갖는 일련의 연속하는 렌즈 군을 포함하는 대물부.

[0269] 60. 제52 항목에 따른 대물부에 있어서, 정확하게 하나의 오목 거울이 있는 대물부.

[0270] 61. 제52 항목에 따른 대물부에 있어서, 대물부는 대물부의 모든 광학 소자에 공통된 직선의 구부러지지 않은 광축을 구비하는 대물부.

[0271] 62. 제52 항목에 따른 대물부에 있어서, 퓨필면에 또는 그것에 근접하게 위치되는 오목 거울은 퓨필 차폐부가 생성되도록 반사 영역에 투과성 부분을 포함하는 대물부.

[0272] 63. 제52 항목에 따른 대물부에 있어서, 볼록 거울이 제1 대물부 부품에 배치되는 대물부.

[0273] 64. 제52 항목에 따른 대물부에 있어서, 볼록 거울이 제2 대물부 부품에 배치되는 대물부.

[0274] 65. 제52 항목에 따른 대물부에 있어서, 볼록 거울이 제3 대물부 부품에 배치되는 대물부.

[0275] 66. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 대물부는 적어도 하나의 편향 거울을 포함하는 폴딩된 대물부이고, 대물부는 작동 중 아치형 유효 물체 필드를 결상면에 결상시키는 대물부.

[0276] 67. 제1 항목에 따른 대물부에 있어서, 대물부는 적어도 하나의 편향 거울을 포함하는 폴딩된 대물부이고, 퓨필면에 또는 그것에 근접하게 위치되는 오목 거울은 퓨필 차폐부가 생성되도록 반사 영역에 투과성 부분을 포함하는 대물부.

[0277] 68. 반사굴절 대물부이며,

[0278] 중심 파장 λ 주위의 파장 대역으로부터의 전자기 방사선에 의해 영상측 개구수 NA에서 대물부의 대상물 표면의 물체 필드로부터 패턴을 대물부의 결상면 영역의 영상 필드에 결상시키도록 광축을 따라 배치되는 복수의 광학 소자를 포함하고,

[0279] 광학 소자는,

[0280] 오목 거울, 및

[0281] 복수의 렌즈를 포함하며,

[0282] 대물부는 파장 대역의 제1 파장 $\lambda_1 < \lambda$ 에서 제1 페즈발 면에 패턴의 제1 영상을 형성하고, 5 nm보다 큰 파장 차이 $\Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ 만큼 제1 파장으로부터 이격된 제2 파장 $\lambda_2 > \lambda$ 에서 제2 페즈발 면에 패턴의 제2 영상을 형성하며,

[0283] 결상면 영역에서 광축에 평행하게 측정된, 제1 페즈발 면과 제2 페즈발 면 사이의 종방향 페즈발 면 이탈 ΔPS 는 영상 필드의 모든 필드 점에 대해 λ/NA^2 미만인 대물부.

[0284] 69. 반사굴절 대물부이며,

[0285] 중심 파장 λ 주위의 파장 대역으로부터의 전자기 방사선에 의해 영상측 개구수 NA에서 대물부의 대상물 표면의 물체 필드로부터 패턴을 대물부의 결상면 영역의 영상 필드에 결상시키도록 광축을 따라 배치되는 복수의 광학 소자를 포함하고,

[0286] 광학 소자는,

[0287] 오목 거울, 및

[0288] 복수의 렌즈를 포함하며,

[0289] 투영 대물부는 파장 대역의 각각의 파장 λ 에 대해 각각의 페즈발 면에 패턴의 영상을 형성하고, 페즈발 면들은 상이한 파장에 대해 서로로부터 벗어나며,

[0290] 복수의 렌즈는 현저히 상이한 아베수를 갖는 상이한 재료로 제조되는 렌즈를 포함하고,

[0291] 결상면 영역에서 광축에 평행하게 측정된, 영상 필드의 가장자리 필드 점에서(최대 영상 높이 y' 에서) 평면 기준면으로부터 주어진 파장에서의 페즈발 면의 종방향 이탈 p 는,

- [0292] $dp/d\lambda < (7.7\lambda/NA^2)/nm$
- [0293] 에 따라서 파장 λ 에 따라 변하는 대물부.
- [0294] 70. 반사굴절 대물부이며,
- [0295] 중심 파장 $\lambda < 300\text{ nm}$ 주위의 파장 대역으로부터의 전자기 방사선에 의해 영상측 개구수 NA에서 대물부의 대상물 표면의 물체 필드로부터 패턴을 대물부의 결상면 영역의 영상 필드에 결상시키도록 광축을 따라 배치되는 복수의 광학 소자를 포함하고,
- [0296] 광학 소자는,
- [0297] 오목 거울, 및
- [0298] 복수의 렌즈를 포함하며,
- [0299] 투영 대물부는 파장 대역의 각각의 파장 λ 에 대해 각각의 페즈발 면에 패턴의 영상을 형성하고, 페즈발 면들은 상이한 파장에 대해 서로로부터 벗어나며,
- [0300] 복수의 렌즈는 현저히 상이한 아베수를 갖는 상이한 재료로 제조되는 렌즈를 포함하고,
- [0301] 결상면 영역에서 광축에 평행하게 측정된, 영상 필드의 가장자리 필드 점에서(최대 영상 높이 y' 에서) 평면 기준면으로부터 주어진 파장에서의 페즈발 면의 종방향 이탈 p 는,
- [0302] $dp/d\lambda < (15\lambda/NA^2)/nm$
- [0303] 에 따라서 파장 λ 에 따라 변하는 대물부.
- [0304] 71. 투영 대물부의 대상물 표면의 영역에 배치된 마스크의 패턴의 적어도 하나의 영상으로 투영 대물부의 결상면의 영역에 배치된 방사선 민감성 기판을 노광시키도록 구성되는 투영 노광 장치이며,
- [0305] 중심 작동 파장 λ 주위의 파장 대역으로부터 자외선 방사선을 방출하는 복사원,
- [0306] 복사원으로부터 방사선을 수신하고 마스크의 패턴 상으로 지향되는 조명 방사선을 형상화시키는 조명 시스템, 및
- [0307] 제1 항목에 따른 투영 대물부를 포함하는 투영 노광 장치.
- [0308] 72. 제71 항목에 따른 투영 노광 장치에 있어서, $\lambda > 300\text{ nm}$ 이고, 파장 대역은 제1 파장 $\lambda_1 < \lambda$ 및 1 nm 보다 큰 파장 차이 $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ 만큼 제1 파장으로부터 이격된 제2 파장 $\lambda_2 > \lambda$ 를 포함하는 투영 노광 장치.

[0309]

[표 3]

NA	0,5						
OBH	62						
WL	405	365,5	436				
면 번호	곡률 반경	두께	재료	굴절률1	굴절률2	굴절률3	광학적 자유 반경
0	0,000000	30,999606					62,0
1	442,210327	19,399644	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	66,7
2	-519,098537	133,950194					67,0
3	-115,471793	9,999752	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	66,4
4	620,664725	82,839011					73,7
5	-8114,454958	42,716031	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	103,6
6	-185,432886	0,999576					106,1
7	759,870106	45,909768	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	109,0
8	-223,104448	0,999513					109,0
9	108,556004	44,184151	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	92,3
10	226,758476	0,999571					86,8
11	87,389465	62,916943	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	72,7
12	46,681583	25,937231					37,1
13	-6393,436173	9,999569	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	32,1
14	64,185307	70,096512					26,2
15	-113,365188	45,892870	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	48,5
16	-75,373921	0,998865					59,9
17	204,094038	34,671249	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	65,4
18	-155,351422	54,833584					66,2
19	-500,000000	0,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	56,5
20	-500,000000	90,000000					56,5
21	0,000000	-98,001733	REFL				47,0
22	-1918,979286	-30,000065	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	66,8
23	224,227390	-483,329791					69,4
24	146,188532	-15,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	98,2
25	-3322,789744	-90,200337					114,2
26	303,674356	90,200337	REFL				139,6
27	-3322,789744	15,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	106,1
28	146,188532	483,329791					88,8
29	224,227390	30,000065	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	68,5
30	-1918,979286	98,001733					66,3
31	0,000000	-90,000000	REFL				49,7
32	-500,000000	0,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	56,3
33	-500,000000	-0,999434					56,3
34	-88,613541	-40,063824	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	59,9
35	389,461534	-0,999871					58,2
36	-85,096736	-9,999048	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	52,3
37	-60,357818	-43,175897					46,6
38	151,005116	-9,999800	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	45,2
39	-154,602510	-59,622445					46,3
40	-209,277964	-25,732855	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	63,6
41	-2668,608907	-37,078249					64,7
42	-118,939706	-25,943557	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	68,3
43	-208,205009	-32,287180					65,7
44	184,455133	-14,999433	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	65,3
45	-1666,008680	-3,979634					70,5
46	-1690,411885	-42,649332	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	71,5
47	109,373142	-0,999292					73,7
48	-122,073750	-31,195782	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	68,6
49	-428,173772	5,053196					66,5
50	0,000000	-84,671911					67,8
51	230,712331	-16,783825	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	58,5
52	95,347852	-25,305725					58,5
53	-118,738065	-26,920074	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	49,8
54	-3094,028810	-0,999632					46,4
55	-855,681538	-66,820809	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	43,5
56	0,000000	-6,000000					19,1
57	0,000000	0,000000					15,5

[0310]

[0311]

[표 3A]

비구면 상수

SRF	3	8	15	17	22
K	0	0	0	0	0
C1	-1,352838E-08	2,450022E-08	5,831651E-07	-2,714687E-07	1,052250E-08
C2	2,806019E-12	5,467657E-14	-1,445186E-10	2,738411E-11	6,694347E-13
C3	7,585058E-17	-3,444541E-19	4,182731E-14	-4,384852E-15	-1,137411E-16
C4	-7,477742E-21	2,901679E-22	-1,166677E-17	6,483077E-19	1,982512E-20
C5	5,612990E-24	-1,706015E-26	2,227669E-21	-6,586345E-23	-1,232921E-24
C6	-4,972510E-28	3,517925E-31	-1,960258E-25	3,070880E-27	-1,927329E-29
SRF	25	27	30	34	41
K	0	0	0	0	0
C1	2,012570E-08	2,012570E-08	1,052250E-08	9,941130E-08	6,010073E-08
C2	-5,271557E-13	-5,271557E-13	6,694347E-13	1,079479E-11	6,526446E-12
C3	1,646217E-17	1,646217E-17	-1,137411E-16	7,576753E-16	4,150062E-16
C4	-1,435199E-22	-1,435199E-22	1,982512E-20	1,878135E-19	-1,474276E-20
C5	-1,610015E-26	-1,610015E-26	-1,232921E-24	-1,529136E-23	-4,873680E-24
C6	5,321668E-31	5,321668E-31	-1,927329E-29	3,782198E-27	6,536434E-28
SRF	44	47	52	54	
K	0	0	0	0	
C1	3,107676E-07	-3,227235E-08	-5,078522E-07	1,169030E-06	
C2	8,839418E-12	-4,524537E-12	3,305415E-11	-2,964829E-10	
C3	-1,295508E-15	-7,096715E-16	-1,195130E-14	5,174490E-14	
C4	1,086911E-19	-2,046307E-22	1,805728E-18	-5,927366E-18	
C5	-1,087279E-22	-1,265102E-23	-2,512187E-22	3,571492E-22	
C6	1,276003E-26	1,254945E-27	1,386411E-26	-1,057399E-26	

[0312]

[0313]

[표 4]

면 번호	곡률 반경	두께	재료	굴절률 1	굴절률 2	굴절률 3	광학적 자유 반경
0	0,000000	30,000000					20,0
1	0,000000	0,000000	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	24,9
2	0,000000	0,998996					24,9
3	71,505020	17,278950	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	25,8
4	-135,600697	15,835785					25,6
5	-102,466827	10,040269	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	23,8
6	46,804849	23,666744					23,7
7	-30,207629	11,605794	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	25,0
8	-40,037302	1,777476					31,0
9	-48,615984	15,261606	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	32,5
10	-49,955842	1,042998					37,9
11	237,806369	26,314328	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	44,5
12	-92,826530	1,098565					45,8
13	63,699725	24,305861	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	43,6
14	268,334625	31,933675					40,3
15	-78,553440	10,000200	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	31,1
16	-124,449232	10,194899					29,8
17	-67,929099	13,230878	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	27,0
18	-71,976583	1,003059					26,7
19	52,063287	15,522656	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	23,2
20	-2603,360008	6,694216					19,5
21	-52,911743	9,999313	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	16,9
22	141,860863	11,120098					15,6
23	-23,980962	18,719479	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	16,2
24	-32,850592	0,998004					22,4
25	49,471203	29,076524	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	24,6
26	-73,792921	1,012391					22,8
27	-374,091002	10,030736	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	21,5
28	-133,661999	7,972129					19,6
29	-155,779117	11,461812	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	17,5
30	-54,134768	2,490036					16,1
31	0,000000	0,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	14,1
32	0,000000	20,000000					14,1
33	282,108008	40,676565					10,3
34	-390,922222	20,000015	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	22,3
35	-280,977870	42,922714					27,0
36	-211,457624	5,775018	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	40,1
37	0,000000	5,775018	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	42,7
38	211,457624	42,922714					45,5
39	280,977870	20,000015	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	72,4
40	390,922222	40,676565					76,7
41	-282,108008	-40,676565	REFL				86,7
42	390,922222	-20,000015	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	84,2
43	280,977870	-42,922714					83,9
44	211,457624	-5,775018	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	75,8
45	0,000000	-5,775018	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	75,4
46	-211,457624	-42,922714					75,8
47	-280,977870	-20,000015	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	83,9
48	-390,922222	-40,676565					84,2

[0314]

49	282,108008	40,676565	REFL				86,7
50	-390,922222	20,000015	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	76,7
51	-280,977870	42,922714					72,4
52	-211,457624	5,775018	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	45,5
53	0,000000	5,775018	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	42,7
54	211,457624	42,922714					40,1
55	280,977870	20,000015	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	27,0
56	390,922222	40,676565					22,3
57	-282,108008	20,000000					10,3
58	0,000000	0,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	14,1
59	0,000000	2,490036					14,1
60	54,134768	11,461812	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	16,1
61	155,779117	7,972129					17,5
62	133,661999	10,030736	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	19,6
63	374,091002	1,012391					21,5
64	73,792921	29,076524	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	22,8
65	-49,471203	0,998004					24,6
66	32,850592	18,719479	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	22,4
67	23,980962	11,120098					16,2
68	-141,860863	9,999313	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	15,6
69	52,911743	6,694216					16,9
70	2603,360008	15,522656	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	19,5
71	-52,063287	1,003059					23,2
72	71,976583	13,230878	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	26,7
73	67,929099	10,194899					27,0
74	124,449232	10,000200	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	29,8
75	78,553440	31,933675					31,1
76	-268,334625	24,305861	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	40,3
77	-63,699725	1,098565					43,6
78	92,826530	26,314328	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	45,8
79	-237,806369	1,042998					44,6
80	49,955842	15,261606	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	37,9
81	48,615984	1,777476					32,5
82	40,037302	11,605794	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	31,0
83	30,207629	23,666744					25,0
84	-46,804849	10,040269	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	23,7
85	102,466827	15,835785					23,8
86	135,600697	17,278950	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	25,6
87	-71,505020	0,998996					25,8
88	0,000000	0,000000	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	24,9
89	0,000000	30,000000					24,9
90	0,000000	0,000000					20,004

[0315]

[0316]

[표 4A]

비구면 상수

SRF	28	46	49	52	54
K	0	0	0	0	0
C1	4,526533E-06	1,050730E-07	-9,387324E-09	1,050730E-07	-1,050730E-07
C2	1,481358E-09	-1,076582E-11	3,284049E-13	-1,076582E-11	1,076582E-11
C3	4,401153E-13	1,004293E-15	1,082200E-17	1,004293E-15	-1,004293E-15
C4	6,492931E-15	-1,102576E-19	-1,034500E-21	-1,102576E-19	1,102576E-19
C5	-1,244203E-17	7,702115E-24	8,502093E-26	7,702115E-24	-7,702115E-24
C6	1,672184E-20	-3,347093E-28	-1,706409E-30	-3,347093E-28	3,347093E-28

SRF	57	74
K	0	0
C1	9,387324E-09	-4,868716E-07
C2	-3,284049E-13	1,010109E-09
C3	-1,082200E-17	6,221108E-14
C4	1,034500E-21	-1,082355E-16
C5	-8,502093E-26	-8,554228E-20
C6	1,706409E-30	4,272266E-23

[0317]

[0318]

[표 5]

NA OBH WL	1 62 193	192,95	193,05				광학적 자유
면 번호	곡률 반경	두께	재료	굴절률 1	굴절률 2	굴절률 3	반경
0	0,000000	52,003963					62,0
1	-215,712833	23,035701	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	71,8
2	-128,076348	0,999450					76,0
3	151,426866	42,474347	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	82,9
4	-729,275651	7,071245					81,3
5	-426,546840	9,999189	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	80,2
6	261,842774	16,043848					77,6
7	-11777,049949	9,999491	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	77,8
8	169,293494	56,379980					78,6
9	691,791322	73,161522	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	96,0
10	-141,860549	0,999306					101,5
11	116,062052	46,924402	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	91,5
12	494,204476	0,999795					87,1
13	102,783313	57,100880	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	73,0
14	63,969000	25,033136					42,1
15	-246,879276	9,999595	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	37,9
16	995,973277	82,840679					41,5
17	-227,141816	12,314049	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	75,2
18	-297,081330	1,000034					82,1
19	-432,392392	44,994112	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	84,7
20	-113,419623	0,999918					89,2
21	-2525,154853	44,365477	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	94,4
22	-139,684282	109,398402					96,7
23	0,000000	-98,001733	REFL				73,1
24	-443,052731	-30,000907	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	83,1
25	373,578857	-362,178493					84,2
26	176,909720	-15,000000	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	90,3
27	563,266306	-51,728642					97,8
28	119,506240	-15,000000	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	99,8
29	420,143117	-37,416219					130,2
30	198,624832	37,416219	REFL				135,7
31	420,143117	15,000000	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	130,7
32	119,506240	51,728642					101,3
33	563,266306	-15,000000	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	100,2
34	176,909720	362,178493					93,2
35	373,578857	30,000907	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	93,1
36	-443,052731	98,001733					92,4
37	0,000000	-90,999924	REFL				71,6
38	-129,776522	-48,648200	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	84,8
39	827,646034	-63,899751					83,0
40	372,011643	-9,999744	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	68,2
41	-273,104022	-28,121346					65,9
42	190,398249	-14,999809	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	66,6
43	1016,184194	-168,331693					73,2
44	531,087094	-56,072211	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	131,1
45	177,485817	-0,999626					137,2
46	-537,586457	-56,628557	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	140,0
47	397,129639	-44,087590					138,9
48	0,000000	43,087853					118,4
49	-153,486833	-67,057493	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	117,7
50	-249,299442	-20,267809					104,8
51	-162,370282	-20,842280	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	92,1
52	-156,733700	-9,203222					83,7
53	-117,699878	-55,240329	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	77,3
54	-149,805182	-0,998971					55,9
55	-62,433321	-55,696773	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	47,3
56	0,000000	-3,000000	H2OV193	1,437468	1,437576	1,437360	18,5
57	0,000000	0,000000					15,5

[0319]

[0320]

[표 5A]

비구면 상수

SRF	1	10	17	21	24
K	0	0	0	0	0
C1	-6,708531E-08	2,403412E-08	4,755112E-08	-8,563057E-08	4,477313E-09
C2	-1,705483E-12	5,166728E-13	-1,636240E-11	2,159181E-12	-1,420701E-14
C3	-7,297932E-17	1,588393E-17	9,465561E-16	-8,271916E-17	1,771705E-18
C4	7,204007E-21	1,305430E-21	-1,062161E-19	7,540861E-21	5,190139E-22
C5	-1,589172E-24	-1,770637E-26	7,674898E-24	-3,712728E-25	-5,453752E-26
C6	9,231896E-29	2,718726E-30	-4,144957E-28	5,093035E-30	2,236635E-30
SRF	29	31	36	38	41
K	0	0	0	0	0
C1	6,085379E-09	6,085379E-09	4,477313E-09	1,767039E-08	-1,728330E-07
C2	-8,735959E-14	-8,735959E-14	-1,420701E-14	8,316564E-13	-1,025592E-11
C3	2,780158E-18	2,780158E-18	1,771705E-18	4,937988E-17	-8,277512E-16
C4	-9,170747E-23	-9,170747E-23	5,190139E-22	5,039321E-21	-4,377410E-20
C5	2,453451E-27	2,453451E-27	-5,453752E-26	-1,717773E-25	-1,042063E-23
C6	-3,229238E-32	-3,229238E-32	2,236635E-30	2,891565E-29	3,839128E-28
SRF	44	47	50	54	
K	0	0	0	0	
C1	3,870375E-08	-1,633267E-09	3,936289E-08	3,278814E-09	
C2	-6,465213E-13	-4,107714E-14	-1,118071E-12	2,417322E-11	
C3	-1,535545E-17	-1,794721E-17	2,312000E-17	-5,059698E-15	
C4	-1,454853E-23	7,679954E-22	-3,066503E-21	5,143166E-19	
C5	2,932144E-26	-1,568521E-26	1,702929E-25	-7,127504E-23	
C6	-5,208776E-31	1,467656E-31	-3,177511E-30	2,926135E-27	

[0321]

[0322]

[표 6]

NA	0,6						
OBH	62						
WL	405	365,5	436				
면 번호	곡률 변경	두께	재료	굴절률1	굴절률 2	굴절률 3	광학적 자유 변경
0	0,000000	36,200602					62,0
1	171,518544	32,339567	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	69,8
2	-317,786104	79,008130					69,3
3	-147,047114	9,999748	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	55,1
4	342,405051	20,144647					55,5
5	-140,400996	11,668079	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	55,9
6	557,807949	37,480362					62,1
7	-682,419001	28,287548	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	75,6
8	-158,158201	0,999647					79,5
9	2791,087463	36,298237	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	85,4
10	-163,612629	0,999498					86,9
11	163,587527	34,932650	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	83,0
12	-1411,005987	6,407633					80,6
13	77,014420	17,848764	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	63,3
14	74,562204	75,241594					56,1
15	1709,016613	9,999818	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	33,0
16	86,348889	19,951833					34,2
17	-115,135799	18,126817	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	36,7
18	-84,865845	86,519899					41,5
19	19952,065163	33,257664	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	67,2
20	-114,476351	0,999646					69,0
21	-269,872351	20,702731	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	68,2
22	-138,267238	97,475014					69,5
23	0,000000	-71,735184	REFL				50,9
24	-245,337556	-29,999844	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	61,3
25	333,850389	-296,940370					62,3
26	137,245344	-15,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	63,0
27	1268,305030	-29,114799					67,6
28	132,293526	-15,000000	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	70,7
29	435,521613	-64,440722					85,3
30	216,777334	64,440722	REFL				115,7
31	435,521613	15,000000	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	94,0
32	132,293526	29,114799					80,7
33	1268,305030	15,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	79,6
34	137,245344	296,940370					72,8
35	333,850389	29,999844	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	67,9
36	-245,337556	71,735184					66,8
37	0,000000	-93,381314	REFL				50,5
38	-107,581987	-42,025300	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	64,5
39	247,652865	-0,999459					63,2
40	-365,522301	-9,999229	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	59,3
41	-156,785496	-27,775457					55,7
42	215,516764	-9,999346	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	54,1
43	-186,416544	-28,697629					54,3
44	-3995,126063	-21,876902	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	58,7
45	162,926370	-12,599437					60,0
46	99,826076	-15,000424	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	60,0
47	153,618881	-144,443627					64,8
48	-186,191390	-23,831946	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	87,4

[0323]

49	-476,244153	-42,228444					86,6
50	-413,374893	-36,176646	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	85,2
51	214,495806	-5,020862					84,4
52	201,213917	-19,999607	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	83,4
53	358,671343	29,882770					86,1
54	0,000000	-58,991901					85,9
55	-301,790975	-29,667431	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	86,7
56	640,247261	-0,998732					85,4
57	-111,315063	-77,785400	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	81,6
58	-111,070627	-1,047719					57,1
59	-91,910863	-11,770454	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	55,9
60	-58,089956	-8,095749					47,6
61	-61,321099	-42,499546	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	47,4
62	290,536721	-0,999509					41,6
63	-425,141129	-36,248294	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	37,8
64	-5184,051745	-2,053661					23,8
65	0,000000	-5,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	22,3
66	0,000000	-6,000000					20,0
67	0,000000	0,000000					15,5

[0324]

[0325]

[표 6A]

비구면 상수

SRF	1	6	21	24	29
K	0	0	0	0	0
C1	7,821851E-09	2,019984E-07	-8,707918E-08	1,672282E-08	1,350610E-08
C2	-4,052293E-12	-1,334213E-11	-1,886222E-12	-3,595586E-13	-2,922381E-13
C3	3,821805E-16	-9,167908E-16	2,097888E-18	1,743202E-17	7,887008E-18
C4	-3,079520E-20	1,911693E-19	-2,628100E-20	4,201755E-22	-1,332483E-21
C5	1,934159E-24	-1,067121E-23	4,098044E-24	7,233906E-25	1,160768E-25
C6	-7,115391E-29	1,595763E-28	-3,598416E-28	-8,373187E-29	-1,934082E-30

SRF	31	36	38	56	58
K	0	0	0	0	0
C1	1,350610E-08	1,672282E-08	9,769778E-08	-6,550682E-08	9,791014E-09
C2	-2,922381E-13	-3,595586E-13	3,453391E-12	-1,560644E-13	-7,781176E-12
C3	7,887008E-18	1,743202E-17	2,976442E-16	-5,817328E-17	-9,884985E-17
C4	-1,332483E-21	4,201755E-22	1,726040E-20	-2,712719E-21	6,888650E-21
C5	1,160768E-25	7,233906E-25	-6,147409E-26	1,429099E-25	6,352680E-24
C6	-1,934082E-30	-8,373187E-29	1,933603E-28	-4,115515E-29	-1,260629E-28

[0326]

[0327]

[표 7]

NA	0,6					
OBH	62					
WL	405	365,5	436			

면 번호	곡률 반경	두께	재료	굴절률1	굴절률2	굴절률3	광학적 자유 변경
0	0,000000	34,808993					62,0
1	170,953570	48,314819	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	69,6
2	-348,563652	76,127192					68,1
3	-121,551034	9,999796	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	55,0
4	390,647960	20,425620					56,4
5	-137,936653	18,688128	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	57,0
6	1839,684661	31,593236					65,7
7	-1016,867210	29,294191	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	78,5
8	-162,136440	0,999636					82,1
9	4389,236277	36,772688	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	88,1
10	-168,369436	0,999530					89,7
11	175,091671	35,550265	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	86,1
12	-1214,508467	0,999763					83,8
13	81,914223	27,014446	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	67,9
14	72,400375	51,756442					55,7
15	271,721751	52,860899	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	41,6
16	82,426550	25,551029					33,3
17	-92,405936	26,193583	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	36,9
18	-78,985036	51,966934					44,4
19	736,381190	40,572456	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	60,1
20	-109,010821	0,999212					62,5
21	-234,728770	16,781333	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	60,9
22	-146,225510	76,172833					61,6
23	0,000000	-66,560378	REFL				47,7
24	-299,050945	-30,000133	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	57,7
25	323,230184	-319,705713					59,3
26	135,177370	-15,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	69,1
27	766,049320	-29,585170					75,3
28	142,363008	-15,000000	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	79,4
29	487,000553	-63,633859					95,8
30	223,534072	63,633859	REFL				124,3
31	487,000553	15,000000	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	103,0
32	142,363008	29,585170					88,0
33	766,049320	15,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	86,7
34	135,177370	319,705713					78,2
35	323,230184	30,000133	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	65,1
36	-299,050945	66,560378					63,5
37	0,000000	-103,992166	REFL				48,2
38	-103,786383	-42,306734	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	63,4
39	228,514801	-0,999313					62,2
40	-220,182594	-9,999287	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	57,5
41	-110,370872	-28,069207					53,2
42	138,302084	-9,999765	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	52,7
43	-213,235355	-9,705758					55,0
44	-1047,828065	-23,921683	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	56,3
45	142,824452	-9,454040					58,2
46	104,729965	-19,886717	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	58,5
47	140,641782	-104,824622					64,1
48	-169,227381	-16,128099	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	83,4

[0328]

49	-222,667961	-105,563157					82,5
50	0,000000	21,631658					87,1
51	-248,029065	-44,545250	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	86,8
52	205,620581	-5,466712					86,0
53	189,539651	-20,000871	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	85,3
54	360,155646	-38,897623					88,2
55	-290,846282	-33,599052	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	88,7
56	436,910026	-0,998269					87,2
57	-107,156836	-82,856699	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	80,9
58	-131,854211	-4,919893					53,9
59	-133,325829	-9,999244	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	52,0
60	-53,333982	-7,270691					42,6
61	-55,970923	-33,068995	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	42,3
62	205,125551	-0,990514					38,8
63	-2418,727152	-26,895913	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	35,0
64	-1099,461984	-2,248719					23,8
65	0,000000	-5,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	22,3
66	0,000000	-6,000000					20,0
67	0,000000	0,000000					15,5

[0329]

[0330]

[표 7A]

비구면 상수

SRF	1	10	25	28	37
K	0	0	0	0	0
C1	-2,114185E-08	1,054702E-07	-4,275135E-08	3,021420E-08	4,868775E-08
C2	-1,750724E-12	-3,764752E-13	-1,372984E-12	-1,683656E-13	-5,672263E-13
C3	1,274243E-16	-3,742119E-16	1,762178E-17	-8,145104E-18	9,474618E-17
C4	-1,457299E-20	-9,898545E-20	-2,356683E-20	8,879145E-21	-2,107717E-21
C5	1,135473E-24	-2,100825E-24	5,272291E-24	-1,554926E-24	8,157939E-26
C6	-4,050698E-29	-1,945638E-27	-5,662110E-28	1,021591E-28	1,338073E-29
SRF	39	48	50	68	70
K	0	0	0	0	0
C1	4,868775E-08	3,021420E-08	1,900388E-08	-5,250831E-08	1,468736E-08
C2	-5,672263E-13	-1,683656E-13	3,608771E-13	-9,201980E-13	-3,031829E-12
C3	9,474618E-17	-8,145104E-18	-5,270168E-17	-1,540202E-17	-1,306691E-15
C4	-2,107717E-21	8,879145E-21	2,365395E-20	-4,940151E-21	1,417316E-19
C5	8,157939E-26	-1,554926E-24	-6,443516E-24	3,358184E-25	-1,951105E-23
C6	1,338073E-29	1,021591E-28	7,466478E-28	-3,228554E-29	1,556934E-27

[0331]

[0332]

[표 8]

NA	0,6							
OBH	62							
WL	405	360	370	436				
면 번호	곡률 반경	두께	재료	굴절률 1	굴절률 2	굴절률 3	굴절률 4	광학적 자유 반경
0	0,000000	44,811170						62,0
1	210,182433	30,174472	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	70,7
2	-326,391489	88,409321						70,5
3	-130,618974	9,999831	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	58,2
4	267,126803	19,554220						60,3
5	-220,570364	9,999316	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	61,2
6	-1327,710736	47,668085						66,0
7	-1284,621428	39,185850	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	85,3
8	-137,855924	0,999817						88,3
9	487,178102	33,104977	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	91,2
10	-293,325530	1,000628						91,0
11	105,926259	43,802410	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	80,6
12	324,516337	1,015188						73,5
13	118,963359	29,431556	LF5	1,606590	1,621262	1,617371	1,599610	65,9
14	108,340385	31,172710						51,7
15	1396,105980	23,321303	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	38,9
16	71,044081	51,368380						27,7
17	-126,060484	41,789099	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	41,1
18	-99,403845	22,583650						52,7
19	857,805509	74,427244	CAFUV	1,441484	1,445430	1,444419	1,439477	61,4
20	-122,114806	5,533749						67,9
21	-209,762399	16,947254	LF5	1,606590	1,621262	1,617371	1,599610	66,4
22	-146,253848	70,999492						67,7
23	0,000000	-63,249129	REFL					55,7
24	-208,552769	-29,999696	CAFUV	1,441484	1,445430	1,444419	1,439477	61,6
25	424,428567	-324,827916						62,2
26	139,396378	-15,000000	SILUV	1,469595	1,475299	1,473834	1,466705	59,9
27	625,984557	-25,225350						66,1
28	135,274526	-15,000000	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	70,5
29	456,048088	-54,202821						84,4
30	212,790280	54,202821	REFL					108,3
31	456,048088	15,000000	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	92,1
32	135,274526	25,225350						80,1
33	625,984557	15,000000	SILUV	1,469595	1,475299	1,473834	1,466705	79,2
34	139,396378	324,827916						73,1
35	424,428567	29,999696	CAFUV	1,441484	1,445430	1,444419	1,439477	69,2
36	-208,552769	63,249129						68,4
37	0,000000	-75,015181	REFL					53,8
38	-102,357875	-40,431118	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	63,3
39	310,580801	-1,000180						61,5
40	-1464,052553	-10,066792	LF5	1,606590	1,621262	1,617371	1,599610	58,8
41	-119,074302	-65,705900						54,3
42	252,233957	-10,774655	LF5	1,606590	1,621262	1,617371	1,599610	52,7
43	-237,924629	-12,657002						54,1
44	-982,309305	-24,602972	CAFUV	1,441484	1,445430	1,444419	1,439477	56,1
45	134,357661	-9,844974						57,7
46	97,826963	-17,230429	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	57,7
47	168,004193	-87,239672						63,4
48	-175,762982	-25,893749	CAFUV	1,441484	1,445430	1,444419	1,439477	82,9

[0333]

49	-699,027803	-17,210584						82,3
50	-149743,474739	-29,904546	CAFUV	1,441484	1,445430	1,444419	1,439477	81,9
51	177,810695	-4,217914						81,7
52	171,401135	-15,000047	LLF1	1,569035	1,580929	1,577796	1,563301	80,5
53	384,037176	-34,560433						81,3
54	0,000000	-36,090269						77,8
55	-275,985796	-34,854093	SILUV	1,469595	1,475299	1,473834	1,466705	85,0
56	366,768308	-0,999932						84,9
57	-122,626193	-68,301753	LLF1	1,569035	1,580929	1,577796	1,563301	83,4
58	-153,700052	-0,999887						68,1
59	-112,945765	-17,455396	LLF1	1,569035	1,580929	1,577796	1,563301	65,1
60	-74,284310	-5,894701						56,6
61	-78,256214	-41,228121	CAFUV	1,441484	1,445430	1,444419	1,439477	56,7
62	276,325888	-1,000199						53,4
63	-269,254473	-61,769289	LLF1	1,569035	1,580929	1,577796	1,563301	47,5
64	3062,914635	-1,999421						23,9
65	0,000000	-5,000000	SILUV	1,469595	1,475299	1,473834	1,466705	22,3
66	0,000000	-6,000000						20,0
67	0,000000	0,000000						15,5

[0334]

[0335]

[표 8A]

비구면 상수

SRF	1	6	21	24	29
K	0	0	0	0	0
C1	1,862046E-08	1,365542E-07	-7,395316E-08	1,970356E-08	9,523709E-09
C2	-2,828954E-12	-2,458877E-12	-2,209504E-12	5,033917E-14	-1,069547E-13
C3	2,151571E-16	-5,576839E-16	-2,590830E-18	3,242161E-17	-4,405911E-17
C4	-1,753914E-20	-1,015221E-20	-2,666927E-20	-5,485376E-21	7,942019E-21
C5	1,937299E-24	6,091438E-24	4,049751E-24	9,280815E-25	-7,143343E-25
C6	-1,158966E-28	-2,884858E-28	-3,738732E-28	-6,499681E-29	2,799653E-29
SRF	31	36	38	56	58
K	0	0	0	0	0
C1	9,523709E-09	1,970356E-08	9,873859E-08	-5,846436E-08	-6,029739E-08
C2	-1,069547E-13	5,033917E-14	5,158775E-12	-8,519802E-13	-5,656839E-12
C3	-4,405911E-17	3,242161E-17	3,420249E-16	1,039592E-17	4,131463E-16
C4	7,942019E-21	-5,485376E-21	4,395630E-20	-1,484379E-20	-1,406823E-19
C5	-7,143343E-25	9,280815E-25	-7,030301E-25	1,237068E-24	2,390138E-23
C6	2,799653E-29	-6,499681E-29	3,152174E-28	-7,465268E-29	-1,707603E-27

[0336]

[0337]

[표 9]

NA	0,8					
OBH	62					
WL	365,5	363	368			
면 번호	반경	두께	재료	굴절률 1	굴절률 2	굴절률 3
0	0,000000	42,281274				62,0
1	166,908129	34,871030	FK5	1,503934	1,504313	1,503563
2	-341,893289	0,999918				73,8
3	131,686316	35,947291	LLF1	1,579164	1,579953	1,578396
4	107,532111	30,309772				69,3
5	-195,556850	9,999800	FK5	1,503934	1,504313	1,503563
6	112,709650	26,612732				58,7
7	-382,031523	30,093650	FK5	1,503934	1,504313	1,503563
8	-330,495973	13,081852				58,2
9	528,171459	47,830904	FK5	1,503934	1,504313	1,503563
10	-126,002394	0,990028				60,8
11	105,174708	94,034451	LF5	1,619068	1,620048	1,618115
12	292,344324	21,869742				70,2
13	-234,084742	9,993574	LF5	1,619068	1,620048	1,618115
14	111,571995	10,348907				81,2
15	-4730,475364	16,938839	FK5	1,503934	1,504313	1,503563
16	-130,801477	33,406348				83,4
17	-122,494260	16,927788	CAFUV	1,444863	1,445117	1,444614
18	-91,730678	44,231022				77,0
19	-866,948845	33,656774	CAFUV	1,444863	1,445117	1,444614
20	-115,085426	4,628809				49,7
21	-349,685621	20,995629	LF5	1,619068	1,620048	1,618115
22	-163,782660	107,526737				41,2
23	0,000000	-55,573674	REFL			36,6
24	-154,658152	-29,626090	CAFUV	1,444863	1,445117	1,444614
25	572,342589	-288,913729				38,9
26	110,160044	-15,000000	SILUV	1,474477	1,474845	1,474117
27	1661,316293	-30,266996				42,5
28	158,023919	-15,000000	FK5	1,503934	1,504313	1,503563
29	461,458850	-36,803870				52,8
30	184,050543	36,803870	REFL			56,6
31	461,458850	15,000000	FK5	1,503934	1,504313	1,503563
32	158,023919	30,266996				71,7
33	1661,316293	15,000000	SILUV	1,474477	1,474845	1,474117
34	110,160044	288,913729				73,6
35	572,342589	29,626090	CAFUV	1,444863	1,445117	1,444614
36	-154,658152	55,573674				72,0
37	0,000000	-102,983229	REFL			72,9
38	-102,461599	-43,346204	SILUV	1,474477	1,474845	1,474117
39	800,608314	-0,999940				54,6
40	-187,732221	-10,035239	LF5	1,619068	1,620048	1,618115
41	-116,181870	-28,943519				65,6
42	272,293629	-10,394818	LF5	1,619068	1,620048	1,618115
43	-152,134293	-20,260151				66,3
44	-1759,716053	-78,616687	LLF1	1,579164	1,579953	1,578396
45	225,871084	-20,423140				61,9
46	121,303195	-20,000179	SILUV	1,474477	1,474845	1,474117
47	151,175562	-25,512299				61,6
48	-181,315542	-18,873440	CAFUV	1,444863	1,445117	1,444614

[0338]

49	-225,795277	-79,146460					108,0
50	-229,348186	-68,605482	CAFUV	1,444863	1,445117	1,444614	116,8
51	265,046380	-5,694596					115,7
52	243,482530	-14,992693	LF5	1,619068	1,620048	1,618115	113,9
53	927,754944	-20,172540					113,1
54	0,000000	-10,314431					110,0
55	-228,338073	-51,669046	SILUV	1,474477	1,474845	1,474117	112,6
56	642,206527	-0,999876					110,6
57	-154,052849	-32,638805	LF5	1,619068	1,620048	1,618115	100,6
58	-355,383378	-6,665973					94,9
59	-103,705135	-18,674690	LF5	1,619068	1,620048	1,618115	81,9
60	-77,782031	-7,387778					68,5
61	-79,458605	-77,668297	CAFUV	1,444863	1,445117	1,444614	67,5
62	-1050,909172	-1,243784					44,3
63	-224,928327	-21,310075	FK5	1,503934	1,504313	1,503563	40,6
64	1305,278413	-1,998158					30,0
65	0,000000	-5,000000	SILUV	1,474477	1,474845	1,474117	26,8
66	0,000000	-6,000000					23,6
67	0,000000	0,000000					15,5

[0339]

[0340]

[표 9A]

비구면 상수

SRF	1	8	21	24	29
K	0	0	0	0	0
C1	-1,069190E-08	9,416541E-08	-4,595192E-08	3,727563E-08	2,192364E-08
C2	-1,399566E-12	2,525251E-12	-1,284346E-12	2,351610E-13	-4,594443E-13
C3	2,336566E-17	-4,301671E-17	2,845285E-17	1,072476E-16	2,242516E-17
C4	-4,113735E-21	-3,682918E-20	-1,667194E-20	-2,008136E-20	-8,023095E-22
C5	2,551561E-25	-9,663120E-25	2,424974E-24	3,511793E-24	2,390197E-26
C6	-1,622700E-29	-3,447128E-28	-1,780620E-28	-2,459834E-28	-4,678263E-31

SRF	31	36	38	56	58
K	0	0	0	0	0
C1	2,192364E-08	3,727563E-08	8,350902E-08	9,823458E-09	-8,214838E-08
C2	-4,594443E-13	2,351610E-13	4,809445E-12	-4,162035E-12	5,487551E-12
C3	2,242516E-17	1,072476E-16	2,268610E-16	2,899377E-16	-6,017095E-16
C4	-8,023095E-22	-2,008136E-20	3,941727E-20	-1,644217E-20	4,538588E-20
C5	2,390197E-26	3,511793E-24	-1,253329E-24	5,972180E-25	-2,358426E-24
C6	-4,678263E-31	-2,459834E-28	4,149074E-28	-1,129886E-29	6,188033E-29

[0341]

[0342]

[표 10]

NA	0,6						
OBH	62						
WL	405	365,5	436				
면 번호곡률 반경	두께	재료	굴절률 1	굴절률 2	굴절률 3	광학적 자유 반경	
0	0,000000	30,999411				62,0	
1	160,049940	28,873463	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	69,0
2	-612,800703	0,999346					68,7
3	562,651054	9,999487	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	67,8
4	124,936938	4,912088					65,2
5	133,737902	30,988506	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	66,1
6	-610,136767	82,523616					65,6
7	5664,315171	10,019147	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	55,0
8	97,875194	12,798979					52,9
9	138,126408	13,783375	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	54,7
10	227,439334	35,032188					54,5
11	-140,068683	10,450931	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	56,6
12	-177,688800	0,999944					59,6
13	473,598029	34,727404	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	62,4
14	-139,868570	19,240488					63,5
15	-1801,386070	10,050254	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	58,5
16	3294,618402	1,054855					57,5
17	80,335540	47,778166	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	54,8
18	68,155225	10,902616					39,5
19	133,649980	80,251715	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	38,5
20	154,882915	55,279023					42,6
21	-252,086079	20,530066	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	56,7
22	-110,793858	14,517252					59,6
23	2813,840547	30,324966	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	64,2
24	-117,864605	0,999050					65,1
25	-395,675659	12,899412	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	62,5
26	-335,951936	116,084001					62,2
27	0,000000	-65,130908	REFL				50,3
28	-242,480715	-28,237391	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	62,5
29	288,591213	-2,780254					63,7
30	-708,094923	-19,844459	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	64,0
31	-197,420763	-2,401508					63,6
32	-176,742702	-34,902913	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	64,3
33	840,762679	-242,286700					64,4
34	112,979620	-15,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	58,0
35	-346,487350	-33,491143					64,2
36	159,571570	-15,000000	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	69,2
37	464,555752	-45,208278					82,6
38	179,131521	45,208278	REFL				102,3
39	464,555752	15,000000	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	88,6
40	159,571570	33,491143					77,4
41	-346,487350	15,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	75,1
42	112,979620	242,286700					66,3
43	840,762679	34,902913	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	73,8
44	-176,742702	2,401508					73,8
45	-197,420763	19,844459	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	72,7
46	-708,094923	2,780254					73,3
47	288,591213	28,237391	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	72,8
48	-242,480715	65,130908					71,9

[0343]

49	0,000000	-109,174016	REFL				54,2
50	444,534782	-14,410283	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	56,3
51	556,321250	-21,392174					58,3
52	-197,721972	-43,357955	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	63,3
53	-406,898787	-99,037117					61,8
54	-359,291375	-20,716603	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	64,5
55	-201,379285	-12,859452					63,2
56	-1468,206088	-18,746270	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	63,7
57	284,407201	-17,054527					64,3
58	111,237525	-15,013460	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	64,2
59	305,091626	-3,499576					69,8
60	-155,067381	-19,151255	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	75,7
61	-272,458298	-83,309836					75,2
62	0,000000	9,395386					79,4
63	-3096,938214	-23,798328	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	78,9
64	251,532882	-9,058033					79,2
65	186,412154	-16,074626	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	79,3
66	220,346643	-0,999405					83,4
67	-601,395145	-36,909051	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	87,1
68	210,054860	-0,997007					88,0
69	-128,898773	-94,527249	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	85,9
70	-120,282475	-3,487284					59,8
71	-99,777439	-12,100203	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	58,6
72	-68,345307	-5,410149					52,1
73	-71,199596	-40,265588	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	52,2
74	214,629531	-0,999455					48,8
75	-239,769691	-46,991889	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	42,5
76	-825,534544	-2,340391					23,8
77	0,000000	-5,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	22,3
78	0,000000	-6,000000					20,0
79	0,000000	0,000000					15,5

[0344]

[0345]

[표 10A]

비구면 상수

SRF	1	10	25	28	37
K	0	0	0	0	0
C1	-2,114185E-08	1,054702E-07	-4,275135E-08	3,021420E-08	4,868775E-08
C2	-1,750724E-12	-3,764752E-13	-1,372984E-12	-1,683656E-13	-5,672263E-13
C3	1,274243E-16	-3,742119E-16	1,762178E-17	-8,145104E-18	9,474618E-17
C4	-1,457299E-20	-9,898545E-20	-2,356683E-20	8,879145E-21	-2,107717E-21
C5	1,135473E-24	-2,100825E-24	5,272291E-24	-1,554926E-24	8,157939E-26
C6	-4,050698E-29	-1,945638E-27	-5,662110E-28	1,021591E-28	1,338073E-29

SRF	39	48	50	68	70
K	0	0	0	0	0
C1	4,868775E-08	3,021420E-08	1,900388E-08	-5,250831E-08	1,468736E-08
C2	-5,672263E-13	-1,683656E-13	3,608771E-13	-9,201980E-13	-3,031829E-12
C3	9,474618E-17	-8,145104E-18	-5,270168E-17	-1,540202E-17	-1,306691E-15
C4	-2,107717E-21	8,879145E-21	2,365395E-20	-4,940151E-21	1,417316E-19
C5	8,157939E-26	-1,554926E-24	-6,443516E-24	3,358184E-25	-1,951105E-23
C6	1,338073E-29	1,021591E-28	7,466478E-28	-3,228554E-29	1,556934E-27

[0346]

[0347]

[표 11]

NA	0,5				
OBH	62				
면 번호	곡률 반경	두께	재료	굴절률 1	광학적 자유 반경
0	0,000000	65,555132			62,0
1	-262,692796	58,390159	SILUV	1,469595	68,9
2	-335,491269	1,002142			80,9
3	-485,982299	95,402145	SILUV	1,469595	81,6
4	-178,089496	0,998908			95,0
5	301,194343	30,926496	SILUV	1,469595	93,9
6	-730,523345	0,998615			92,7
7	134,963732	23,829147	SILUV	1,469595	83,9
8	214,686465	0,998184			79,9
9	94,793549	53,781244	SILUV	1,469595	72,2
10	80,671778	12,965521			49,6
11	143,725446	13,924891	SILUV	1,469595	47,4
12	56,122354	30,110864			37,8
13	184,633446	9,999420	SILUV	1,469595	32,2
14	70,709704	50,069936			28,7
15	-88,188113	9,998814	SILUV	1,469595	33,7
16	1639,141921	38,152732			42,3
17	-452,766366	47,717755	SILUV	1,469595	71,2
18	-90,282467	0,999222			77,1
19	-203,492844	18,252322	SILUV	1,469595	84,3
20	-151,049946	0,998618			87,6
21	3424,253364	28,068559	SILUV	1,469595	93,4
22	-275,141884	0,998939			94,7
23	1095,872351	30,146098	SILUV	1,469595	95,0
24	-289,000591	271,986113			94,9
25	0,000000	-165,255256	REFL		44,8
26	-543,613185	-29,999930	SILUV	1,469595	74,6
27	364,048320	-677,088340			76,0
28	225,653383	-15,000000	SILUV	1,469595	128,6
29	-8889,084188	-83,801565			147,7
30	406,604358	83,801565	REFL		172,2
31	-8889,084188	15,000000	SILUV	1,469595	153,4
32	225,653383	677,088340			136,8
33	364,048320	29,999930	SILUV	1,469595	91,3
34	-543,613185	165,255256			89,9
35	0,000000	-60,999486	REFL		46,5
36	-248,722657	-9,999624	SILUV	1,469595	49,7
37	-124,021747	-3,776030			49,8
38	-126,072837	-20,177162	SILUV	1,469595	50,8
39	-2579,523815	-40,088038			50,9
40	-304,558745	-24,999919	SILUV	1,469595	51,7
41	-228,739251	-127,090268			50,6
42	-195,231753	127,090268	REFL		56,5
43	-228,739251	24,999919	SILUV	1,469595	130,5
44	-304,558745	15,449014			149,9
45	-353,360267	-15,449014	REFL		163,0
46	-304,558745	-24,999919	SILUV	1,469595	159,3
47	-228,739251	-142,090268			148,6

[0348]

48	0,000000	-10,000000	SILUV	1,469595	140,4
49	0,000000	-0,999090			139,8
50	-208,937715	-54,704843	SILUV	1,469595	135,0
51	-3444,288303	-0,998850			131,9
52	-159,376740	-30,213730	SILUV	1,469595	113,5
53	-226,044729	-0,998872			107,7
54	-99,116898	-28,577130	SILUV	1,469595	89,5
55	-104,030988	-24,590921			80,3
56	-180,364312	-9,999790	SILUV	1,469595	77,1
57	-68,074055	-93,378648			58,9
58	-87,812319	-27,638274	SILUV	1,469595	33,9
59	-248,098009	-5,059518			25,4
60	0,000000	-5,000000	SILUV	1,469595	23,1
61	0,000000	-10,000000			21,3
62	0,000000	0,000000			15,5

[0349]

[0350]

[표 11A]

비구면 상수

SRF	1	13	20	27	29
K	0	0	0	0	0
C1	-5,755134E-08	1,257426E-07	1,746543E-08	-1,028877E-08	4,311682E-09
C2	-1,878304E-12	3,158426E-11	6,867790E-13	1,901025E-14	-4,199724E-14
C3	-6,883986E-17	5,520463E-15	2,422369E-17	1,731970E-18	4,941219E-19
C4	-1,810212E-20	1,538498E-18	8,419344E-22	-3,546398E-23	-4,176595E-24
C5	2,094060E-24	-6,359530E-22	2,862393E-26	2,594256E-27	5,734147E-30
C6	-2,075578E-28	-2,859857E-25	2,452940E-30	-2,169849E-31	1,584763E-34
SRF	31	33	40	42	44
K	0	0	0	1,096180	0
C1	4,311682E-09	-1,028877E-08	-8,491784E-10	0,000000E+00	-8,491784E-10
C2	-4,199724E-14	1,901025E-14	-1,138273E-14	0,000000E+00	-1,138273E-14
C3	4,941219E-19	1,731970E-18	-1,123799E-19	0,000000E+00	-1,123799E-19
C4	-4,176595E-24	-3,546398E-23	-1,110851E-24	0,000000E+00	-1,110851E-24
C5	5,734147E-30	2,594256E-27	-1,428900E-29	0,000000E+00	-1,428900E-29
C6	1,584763E-34	-2,169849E-31	-2,789684E-34	0,000000E+00	-2,789684E-34
SRF	46	51	59		
K	0	0	0		
C1	-8,491784E-10	-8,342928E-09	6,045965E-07		
C2	-1,138273E-14	5,550791E-14	2,453289E-11		
C3	-1,123799E-19	-4,161956E-19	-5,303577E-14		
C4	-1,110851E-24	-1,852225E-24	-1,222148E-16		
C5	-1,428900E-29	6,941238E-29	1,863660E-19		
C6	-2,789684E-34	9,151959E-34	-1,271608E-22		

[0351]

[0352]

[표 13]

NA OBH	0,5 63,13				
면 번호	곡률 반경	두께	재료	굴절률	광학적 자유 반경
0	0,000000	30,999901			63,1
1	352,100506	9,999238	SILUV	1,469595	67,6
2	299,112304	0,999782			68,3
3	160,170855	35,197130	SILUV	1,469595	70,0
4	-272,295394	37,070906			69,7
5	4280,985563	9,999101	SILUV	1,469595	61,3
6	144,106953	41,623829			58,6
7	-80,869280	10,596275	SILUV	1,469595	58,6
8	-147,787619	1,414406			65,2
9	-354,217751	10,723672	SILUV	1,469595	67,6
10	262,847784	20,206270			73,8
11	-537,366032	24,136927	SILUV	1,469595	76,2
12	-179,202003	1,004382			80,4
13	433,783416	49,527682	SILUV	1,469595	91,4
14	-163,736190	0,999059			93,1
15	257,199757	25,769544	SILUV	1,469595	89,4
16	15065,300591	0,998689			87,7
17	153,282386	24,817103	SILUV	1,469595	81,5
18	354,352062	0,998458			77,9
19	103,512120	49,204101	SILUV	1,469595	69,6
20	63,335357	5,215736			45,8
21	62,448757	53,951200	SILUV	1,469595	44,2
22	52,316362	36,399551			21,7
23	-57,975068	9,999020	SILUV	1,469595	27,3
24	-168,359577	21,370197			33,7
25	-110,026859	9,999453	SILUV	1,469595	44,4
26	-309,306552	0,998977			51,5
27	617,306803	52,552537	SILUV	1,469595	57,4
28	-751,837962	3,136581			75,7
29	-4472,469303	36,790931	SILUV	1,469595	79,2
30	-335,977329	0,999700			88,5
31	349,440658	48,466362	SILUV	1,469595	95,7
32	-161,233077	0,999113			98,5
33	251,193853	43,001663	SILUV	1,469595	102,9
34	-479,286567	95,998539			102,0
35	0,000000	-230,845227	REFL		74,2
36	137,186190	-10,000000	SILUV	1,469595	62,5
37	412,408427	-383,574884			65,4
38	933,172212	-30,001428	SILUV	1,469595	118,8
39	261,021411	-274,087200			120,2
40	365,416470	-15,000000	SILUV	1,469595	116,7
41	-276,031009	-54,345556			122,4
42	355,768801	54,345556	REFL		125,4
43	-276,031009	15,000000	SILUV	1,469595	121,0
44	365,416470	274,087200			112,0
45	261,021411	30,001428	SILUV	1,469595	111,1
46	933,172212	383,574884			109,7
47	412,408427	10,000000	SILUV	1,469595	69,3
48	137,186190	230,845227			66,6
49	0,000000	-293,610022	REFL		82,2
50	2450,097020	-25,000000	SILUV	1,469595	126,2
51	582,198145	25,000000	REFL	1,469595	128,7
52	2450,097020	173,510495			124,9
53	310,101034	-173,510495	REFL		56,8
54	2450,097020	-25,000000	SILUV	1,469595	56,6
55	582,198145	-14,321186			56,8
56	159,877367	-9,999169	SILUV	1,469595	56,5
57	-649,160080	-20,169434			58,7
58	188,208878	-67,830259	SILUV	1,469595	60,1
59	147,140721	-0,998999			73,6
60	-496,278915	-28,772948	SILUV	1,469595	75,8
61	229,044072	-0,998595			75,9

[0353]

62	-176,316076	-25,458327	SILUV	1,469595	71,6
63	1913,113358	8,841967			70,8
64	0,000000	-9,840838			71,8
65	-97,753416	-47,419715	SILUV	1,469595	67,0
66	-92,271860	-30,224839			53,3
67	437,045983	-9,999462	SILUV	1,469595	50,9
68	-72,399349	-6,511379			47,1
69	-82,744683	-28,425240	SILUV	1,469595	48,1
70	732,945497	-0,999834			47,1
71	-86,412037	-19,156627	SILUV	1,469595	44,7
72	-253,551246	-1,075789			41,7
73	-73,478775	-23,301264	SILUV	1,469595	38,6
74	-72,591632	-9,781690			30,4
75	-469,190155	-12,924465	SILUV	1,469595	28,7
76	155,107728	-2,055207			25,7
77	0,000000	-5,000000	SILUV	1,469595	23,4
78	0,000000	-10,000000			21,6
79	0,000000	0,000000			15,8

[0354]

[0355]

[표 13A]

비구면 상수

SRF	1	25	31	39	41
K	0	0	0	0	0
C1	-3.661258E-07	3.464559E-07	-1.305972E-07	-8.640857E-09	3.747660E-08
C2	1.843015E-10	-1.827813E-11	5.295276E-12	4.122788E-14	-7.383285E-13
C3	-6.268258E-14	9.923469E-15	-3.005150E-16	-1.211841E-18	2.271622E-17
C4	1.260432E-17	3.105717E-18	7.641800E-21	2.586648E-23	-6.270152E-22
C5	-1.377543E-21	-1.902555E-21	8.273928E-26	-6.141904E-28	1.356418E-26
C6	6.363984E-26	2.869632E-25	-9.242276E-30	6.191402E-33	-1.478323E-31
SRF	43	45	51	53	55
K	0	0	0	0	0
C1	3.747660E-08	-8.640857E-09	-5.179072E-10	-2.124238E-09	-5.179072E-10
C2	-7.383285E-13	4.122788E-14	-1.738331E-15	-1.918149E-14	-1.738331E-15
C3	2.271622E-17	-1.211841E-18	1.880377E-19	2.010594E-16	1.880377E-19
C4	-6.270152E-22	2.586648E-23	-1.509297E-23	-3.842452E-20	-1.509297E-23
C5	1.356418E-26	-6.141904E-28	6.484461E-28	8.836848E-24	6.484461E-28
C6	-1.478323E-31	6.191402E-33	-1.081688E-32	-8.715692E-28	-1.081688E-32
SRF	62	67	76		
K	0	0	0		
C1	3.148507E-08	-1.234016E-07	-1.048054E-06		
C2	1.380670E-12	-4.625862E-12	1.803949E-09		
C3	3.697255E-17	1.096597E-15	-2.780582E-12		
C4	5.878420E-21	-2.873895E-19	3.426059E-15		
C5	-5.716172E-25	5.922872E-23	-2.424520E-18		
C6	4.374170E-29	-7.953932E-27	7.260331E-22		

[0356]

[0357]

[표 15]

NA	0,6						
OBH	5						
WL	405	365,5	436				
면 번호	곡률 변경	두께	재료	굴절률 1	굴절률 2	굴절률 3	광학적 자유 변경
0	0,000000	100,000000					5,00
1	0,000000	23,978926					6,69
2	100,279375	4,997550	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	5,49
3	38,347603	48,860824					5,22
4	-63,524424	7,500790	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	4,67
5	-59,086406	3,427079					4,79
6	21,437764	-3,427079	REFL				4,72
7	-59,086406	-7,500790	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	6,71
8	-63,524424	-48,860824					8,64
9	38,347603	-4,997550	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	26,51
10	100,279375	-3,978926					32,70
11	68,011922	3,978926	REFL				33,28
12	100,279375	4,997550	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	32,95
13	38,347603	48,860824					28,42
14	-63,524424	7,500790	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	25,42
15	-59,086406	5,427079					25,92
16	0,000000	2,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	24,76
17	0,000000	2,987131					24,61
18	225,245996	7,432028	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	23,91
19	-69,420918	19,596774					23,69
20	23,134512	20,599033	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	13,22
21	-276,448248	0,870385					5,51
22	-28,412945	1,997697	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	5,13
23	21,255456	1,109912					4,03
24	-31,221803	2,081591	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	3,80
25	-16,655361	21,725692					3,28
26	-28,142553	-16,629382	REFL				9,12
27	28,142553	23,241691	REFL				8,70
28	-27,198294	3,352300	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	4,74
29	-9,909839	0,198323					5,66
30	259,226768	3,184463	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	6,40
31	-21,910436	0,199199					6,86
32	27,736079	42,459484	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	7,28
33	-36,360999	0,198349					8,60
34	48,850843	3,912770	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	8,47
35	-29,828770	0,190193					8,27
36	11,325954	4,718220	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	7,08
37	-82,204408	1,146759					6,19
38	-19,195841	3,439905	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	5,78
39	-17,019410	0,355875					4,71
40	0,000000	2,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	3,98
41	0,000000	4,000000					3,12
42	0,000000	0,000000					0,25

[0358]

[0359]

[표 15A]

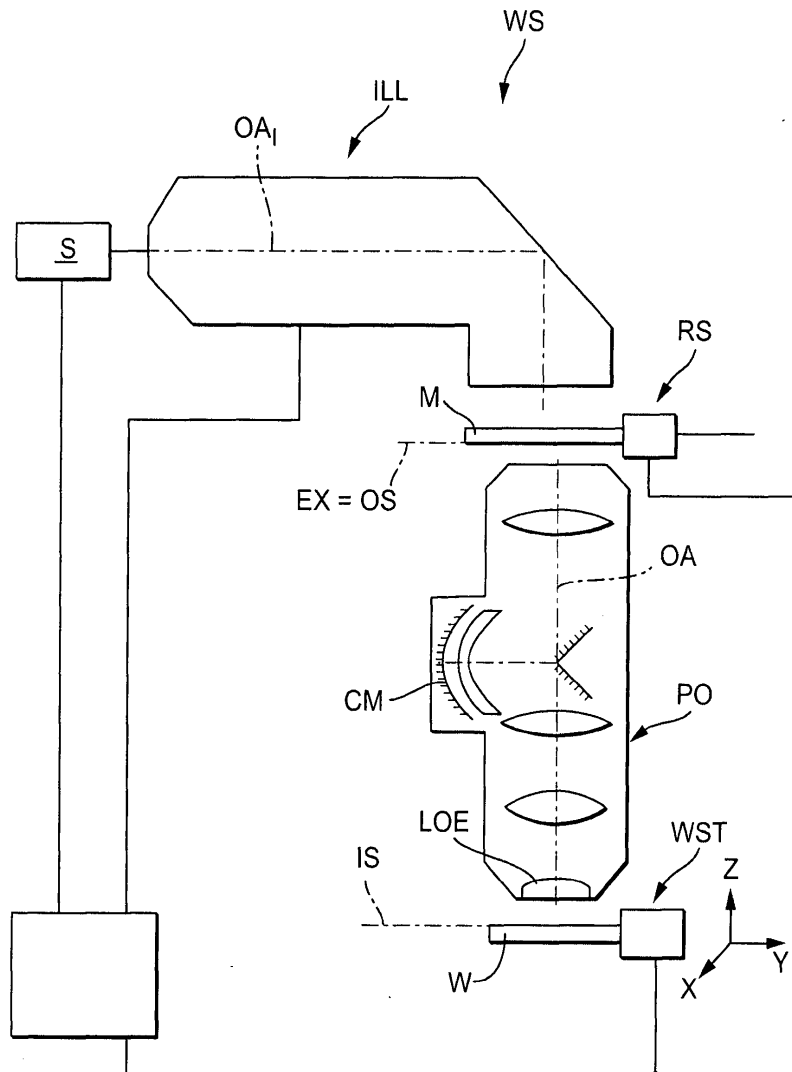
원추 상수

원추	상수
Srf	K
26	-4,263306
27	-4,263306

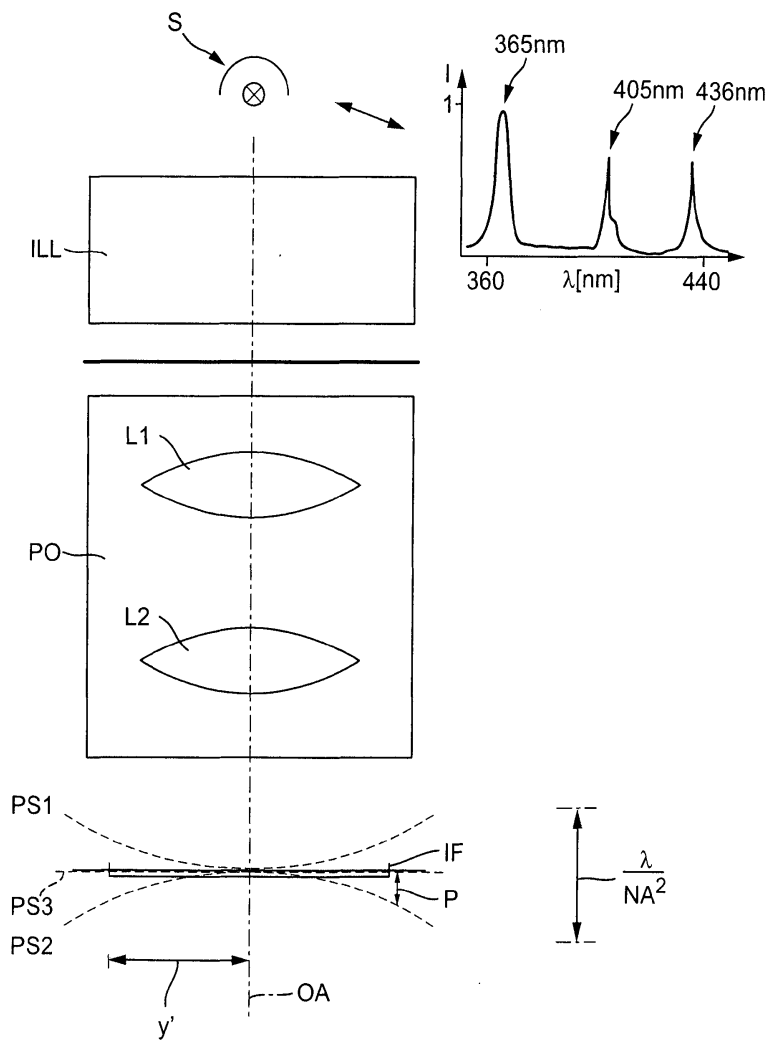
[0360]

도면

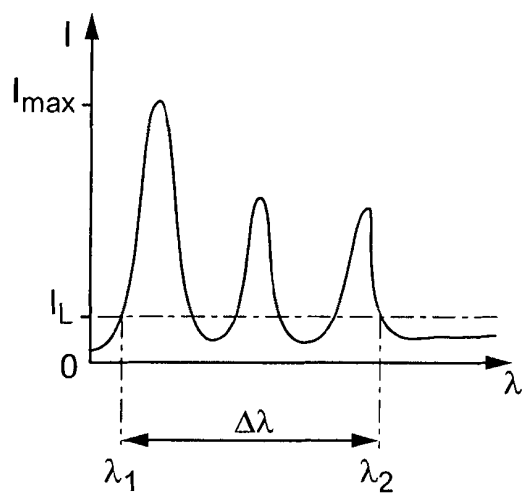
도면1



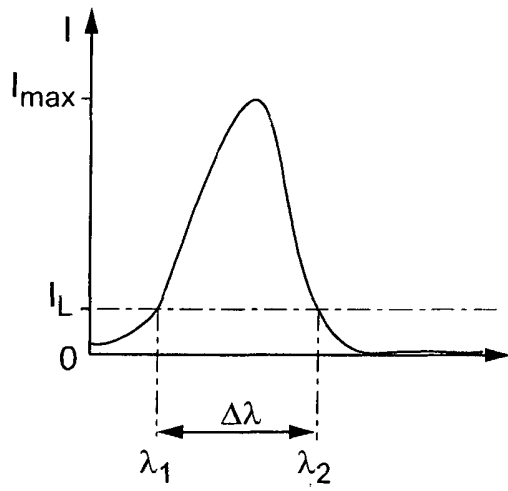
도면2a



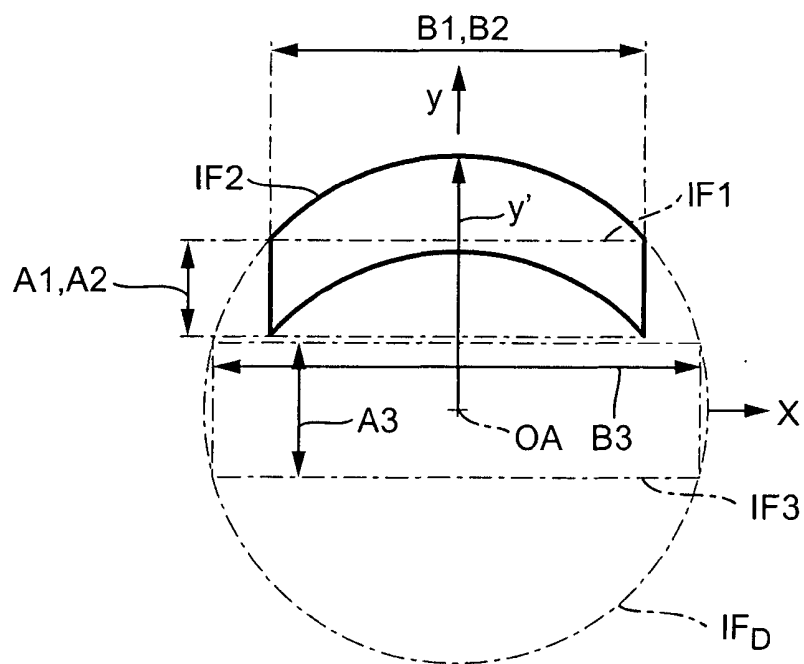
도면2b



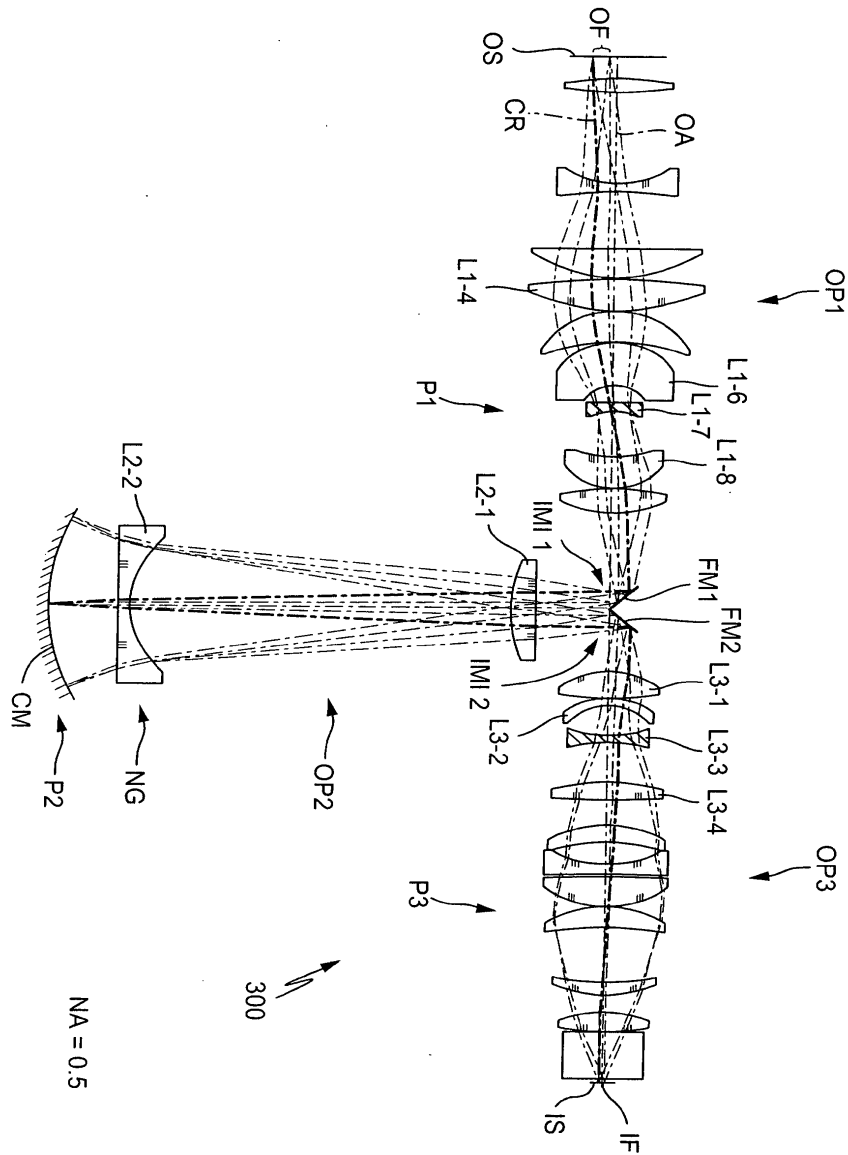
도면2c



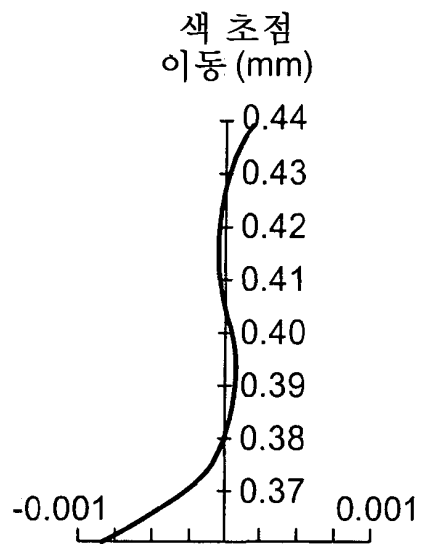
도면2d



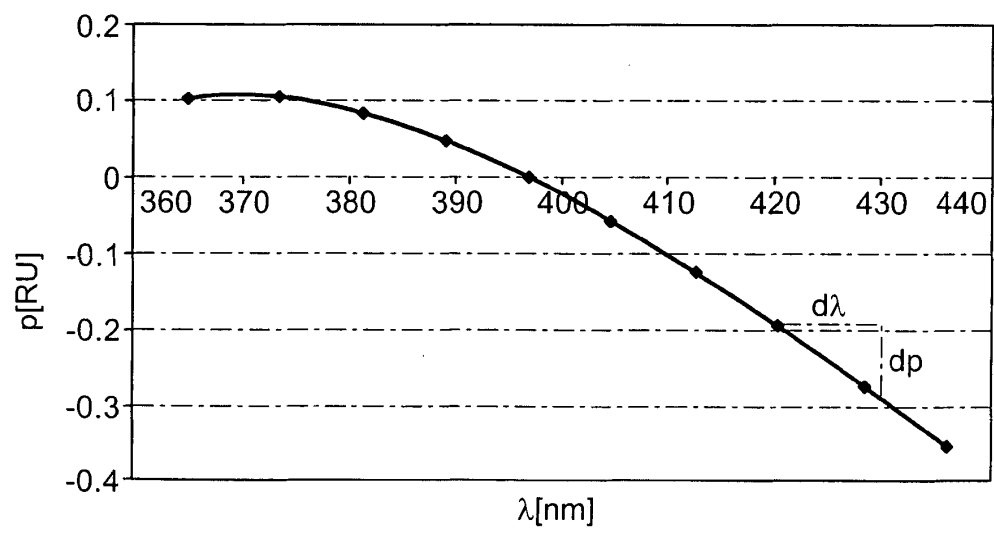
도면3a



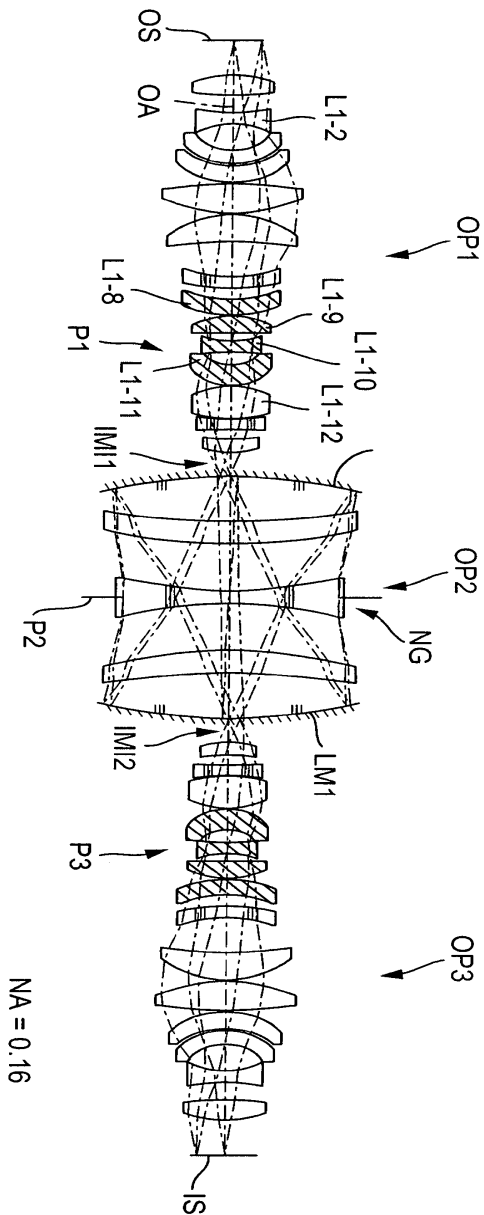
도면3b



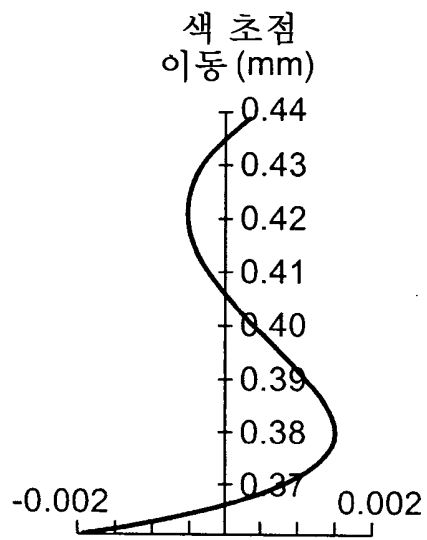
도면3c



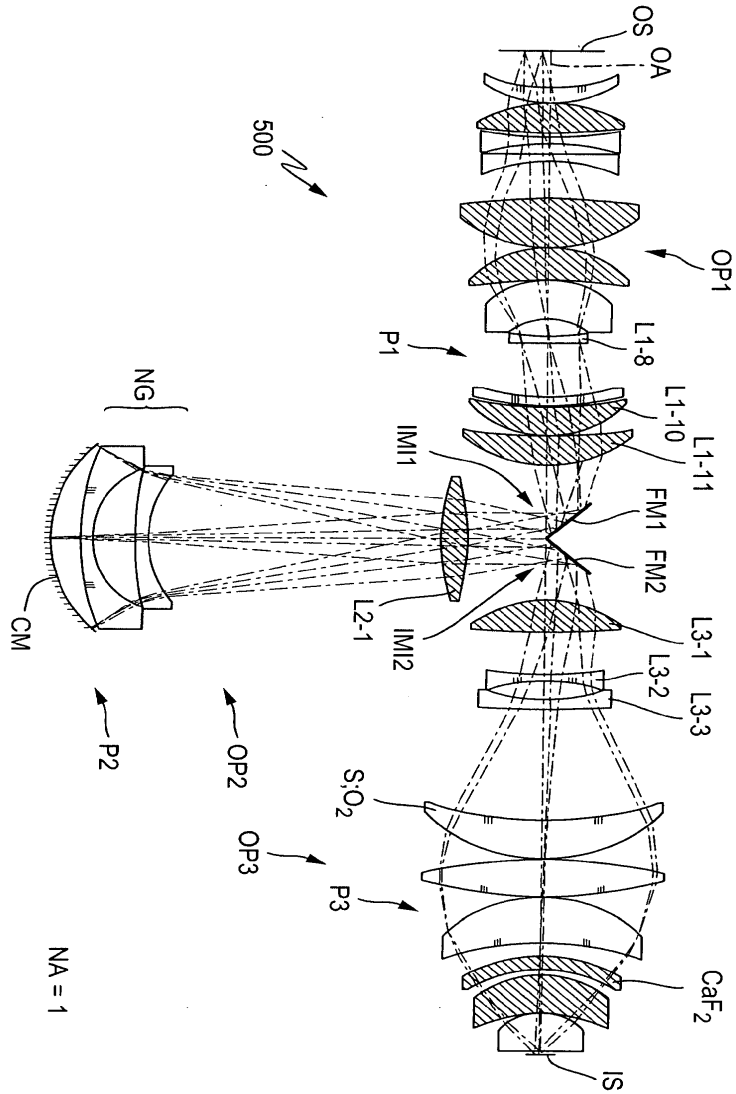
도면4a



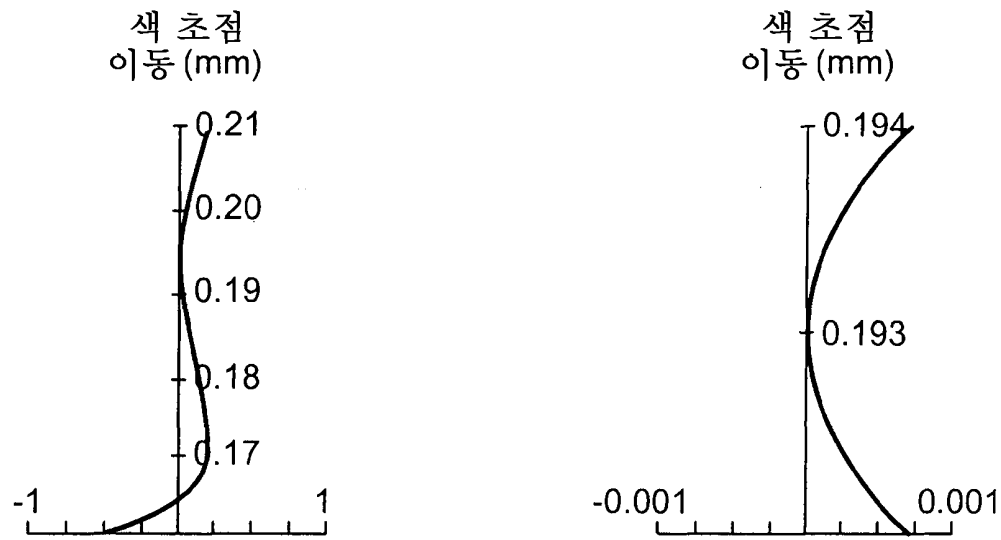
도면4b



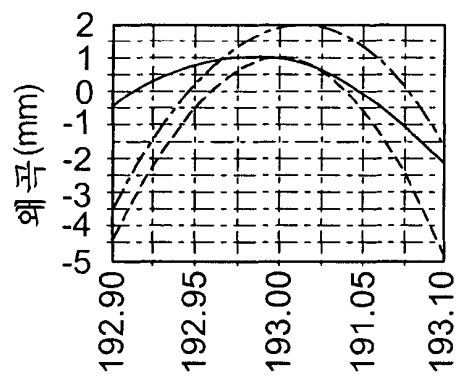
도면5a



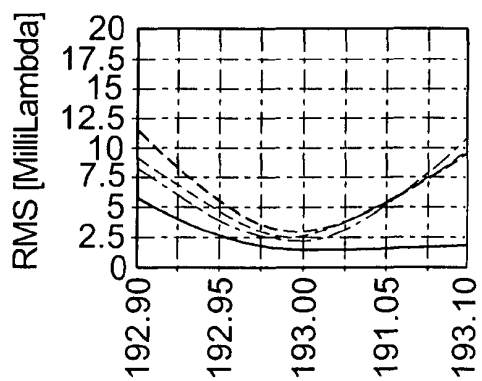
도면5b



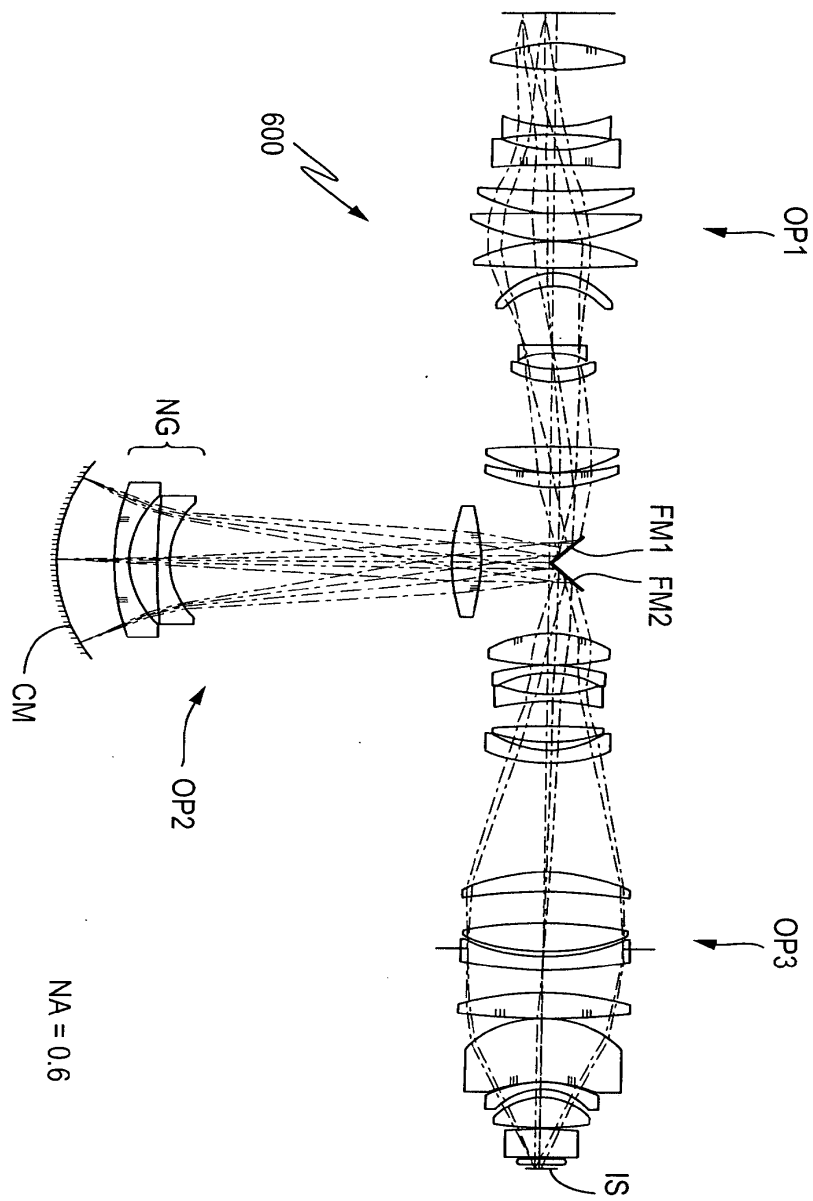
도면5c



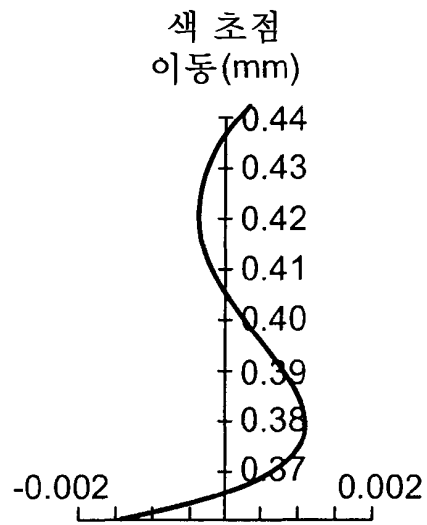
도면5d



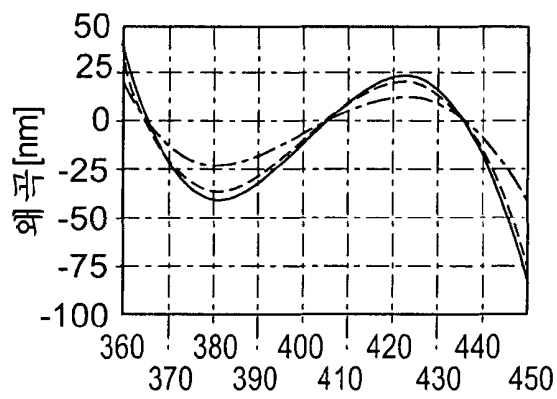
도면6a



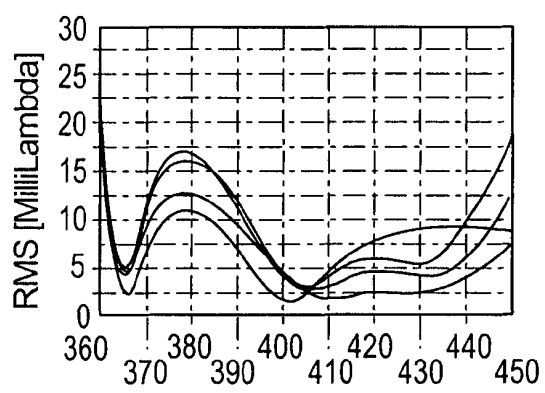
도면6b



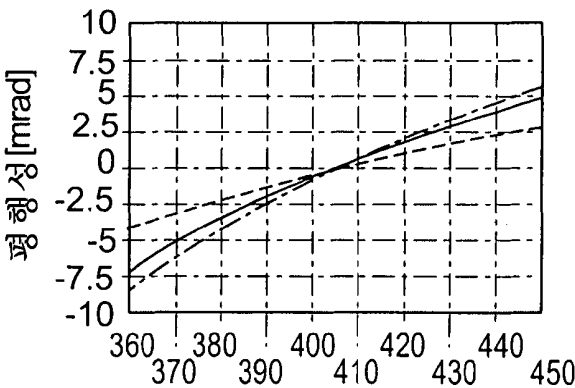
도면6c



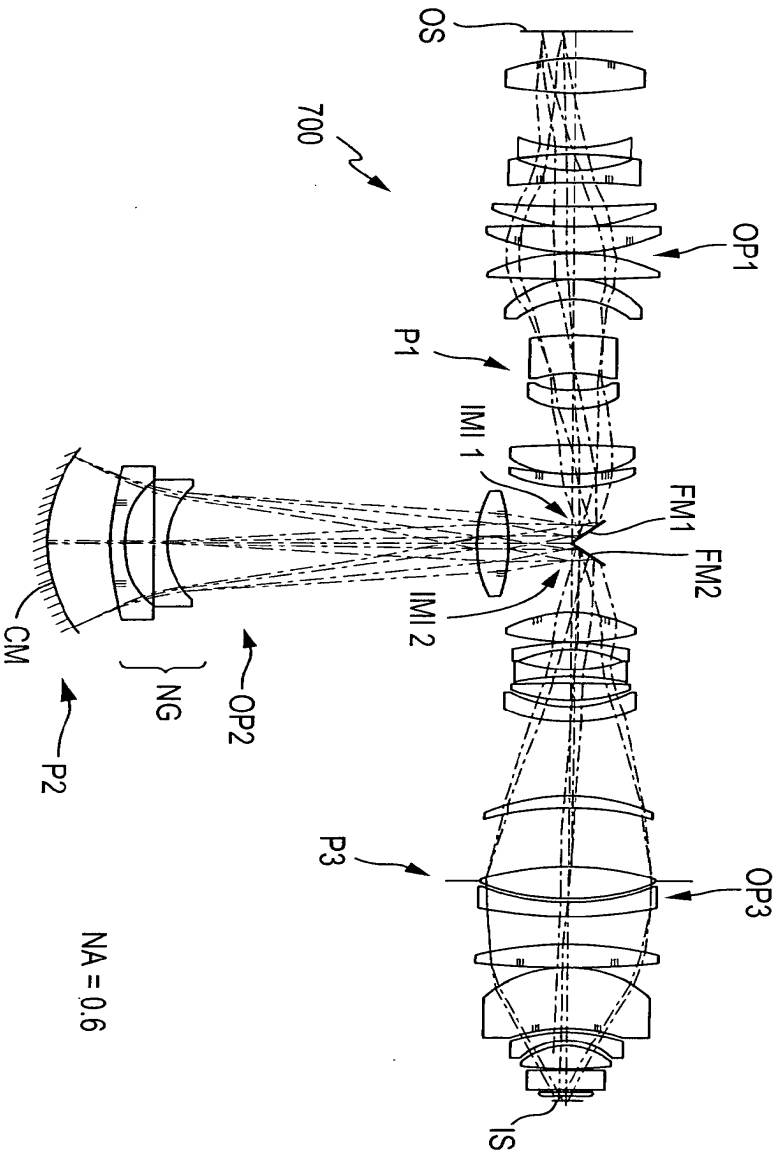
도면6d



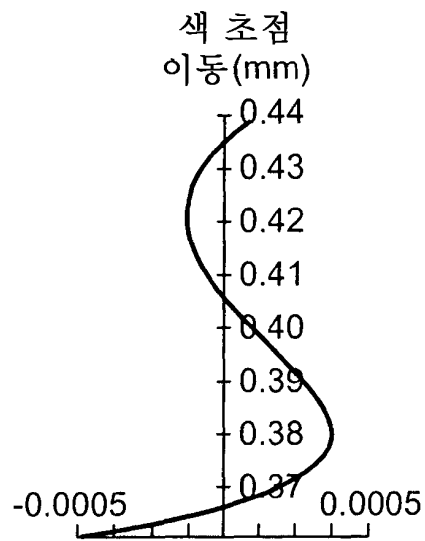
도면6e



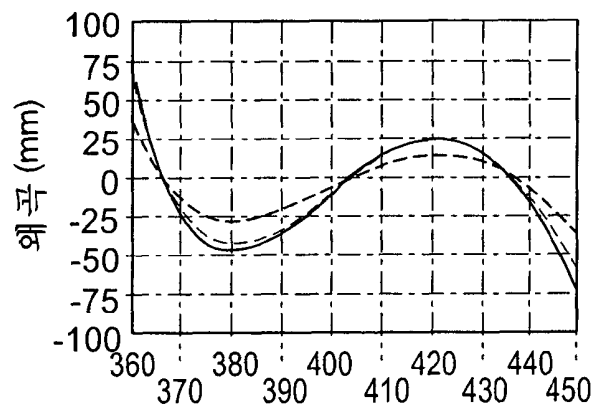
도면7a



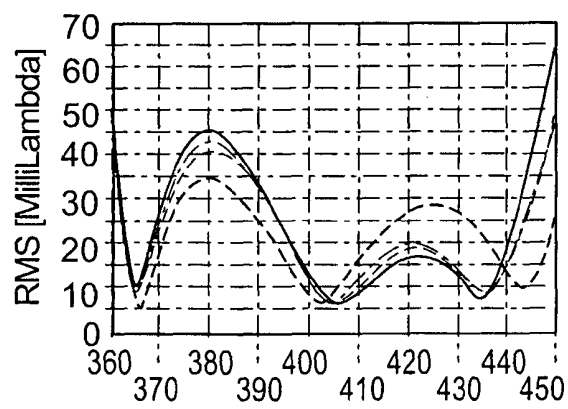
도면7b



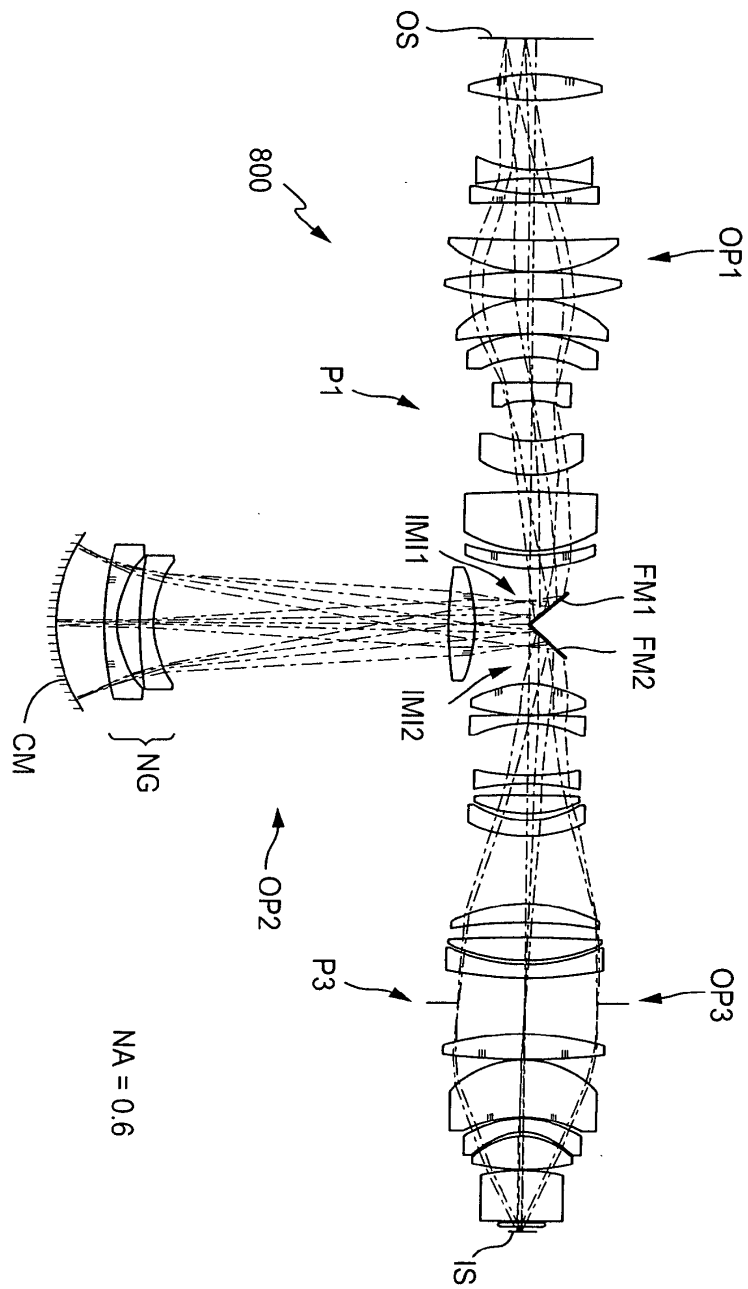
도면7c



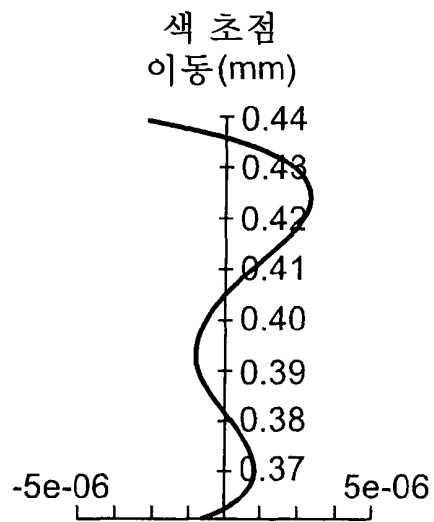
도면7d



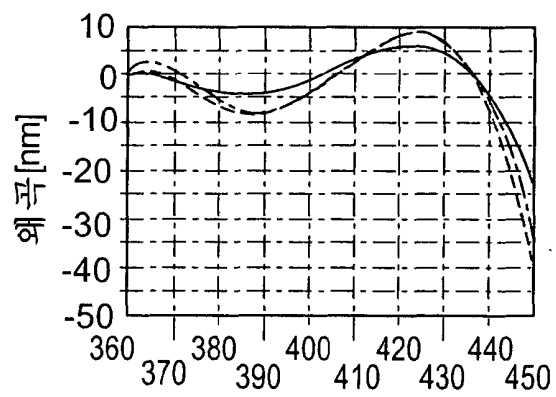
도면8a



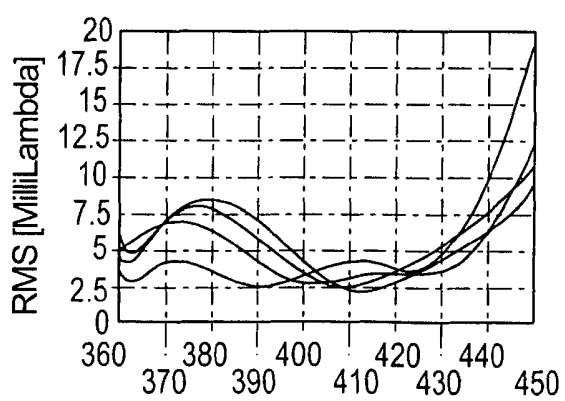
도면8b



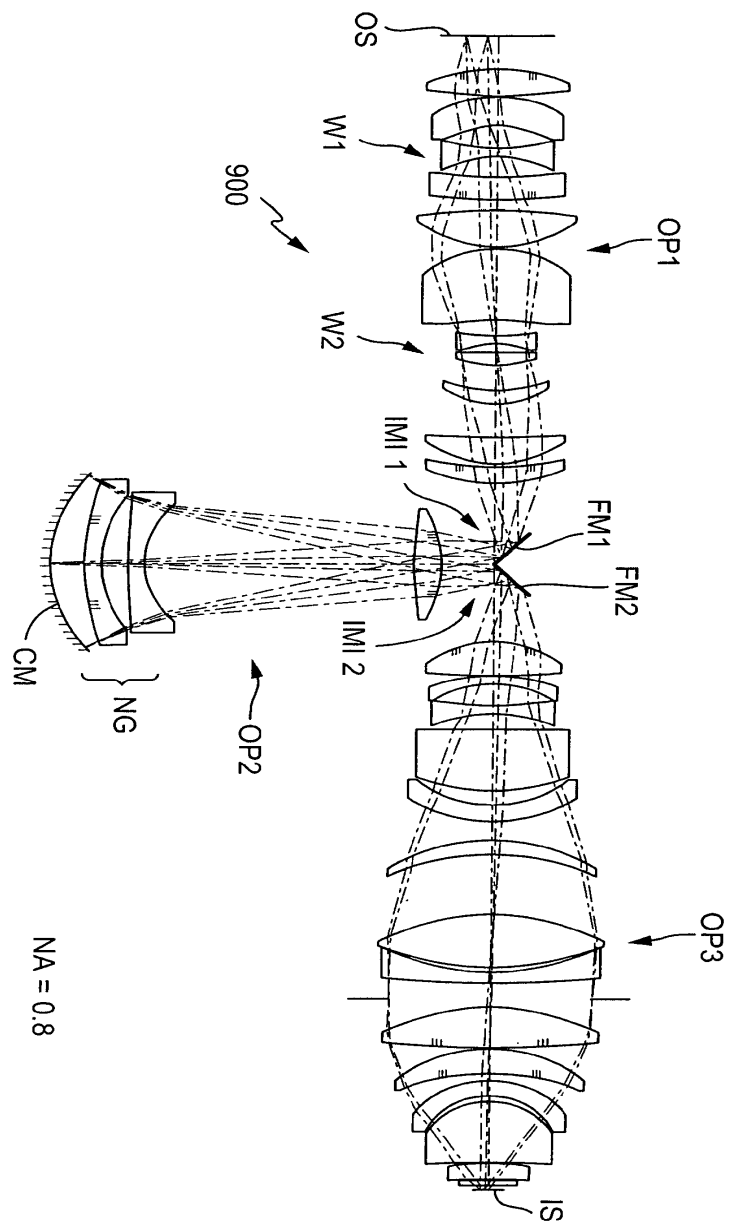
도면8c



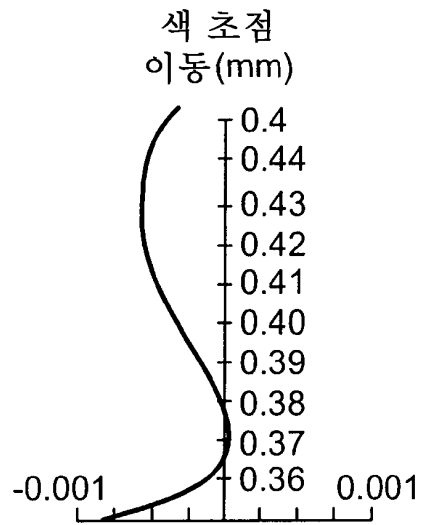
도면8d



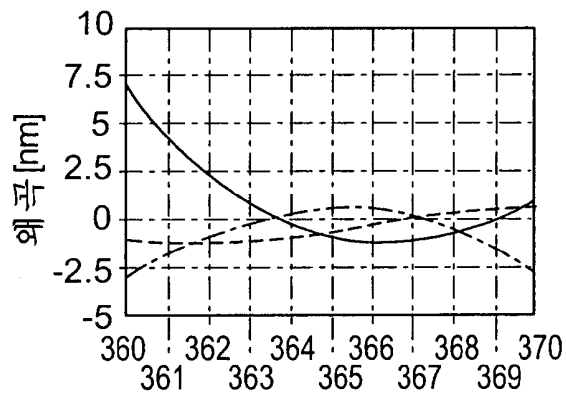
도면9a



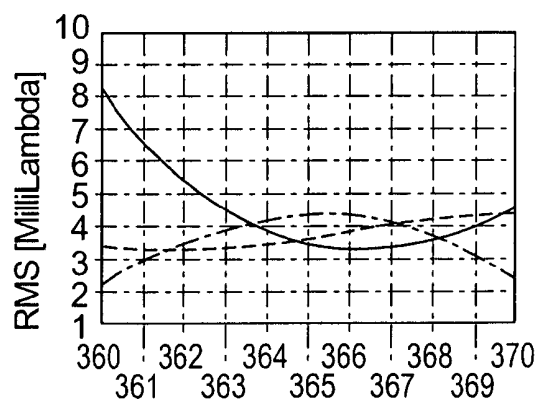
도면9b



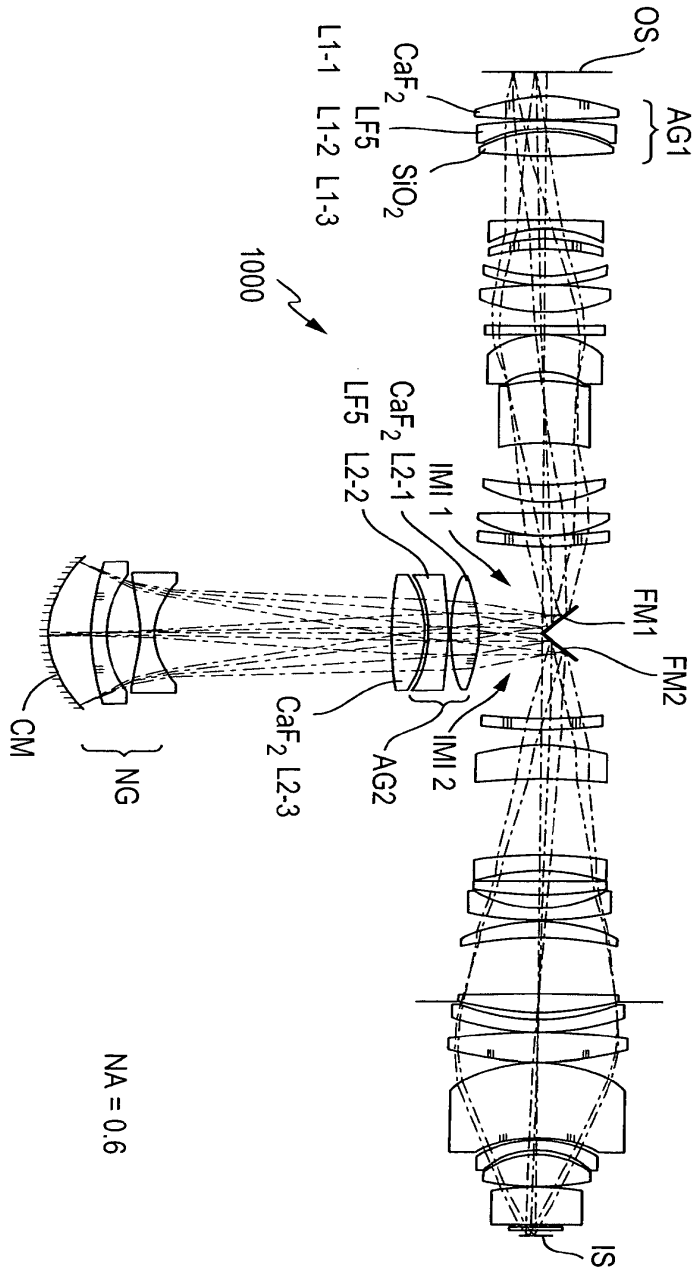
도면9c



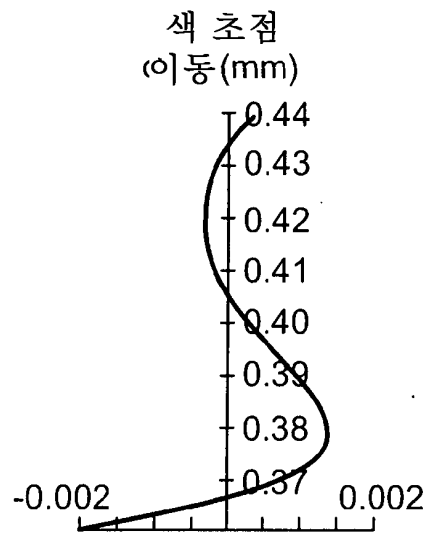
도면9d



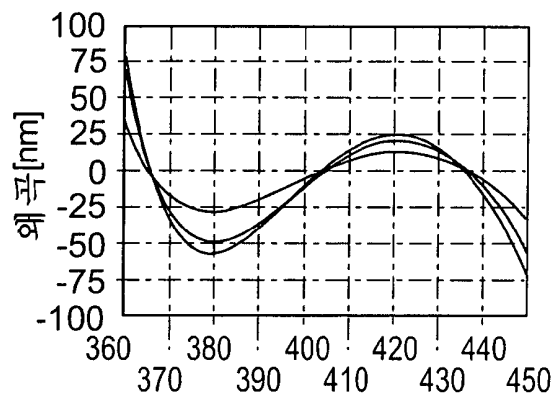
도면10a



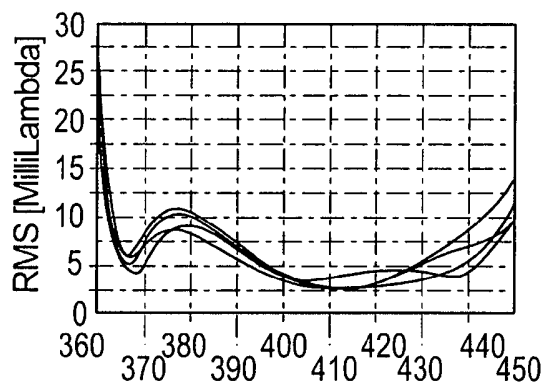
도면10b



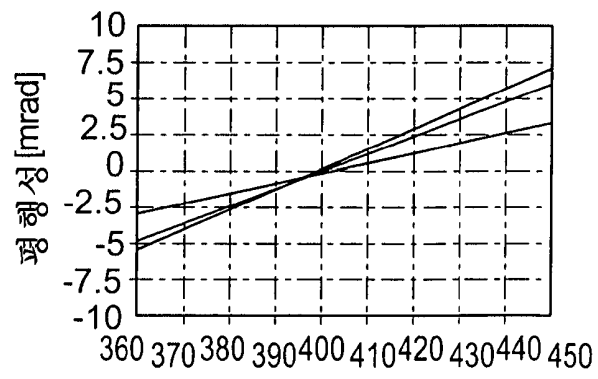
도면10c



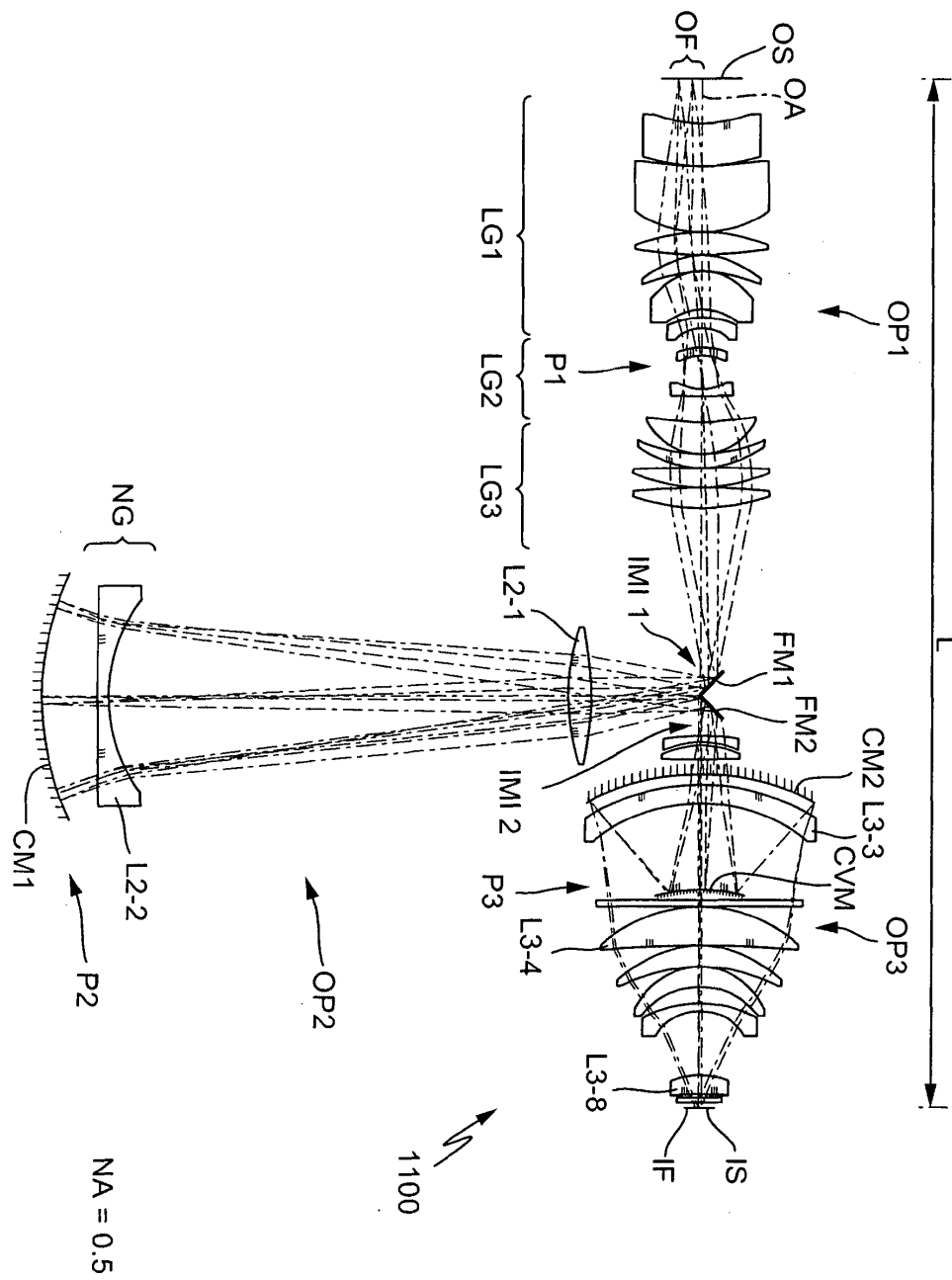
도면10d



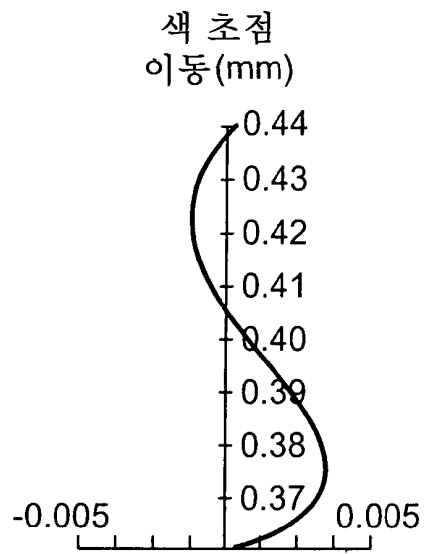
도면10e



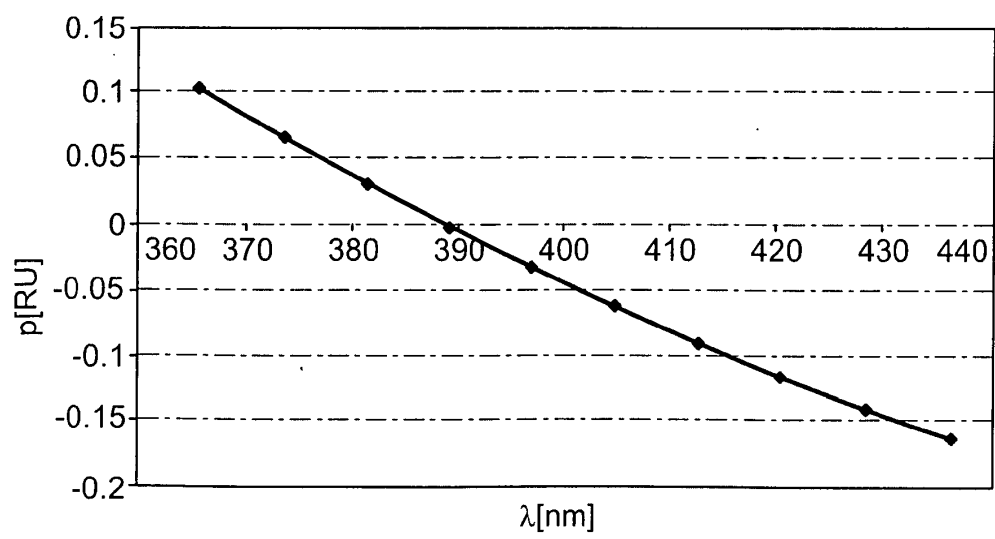
도면11a



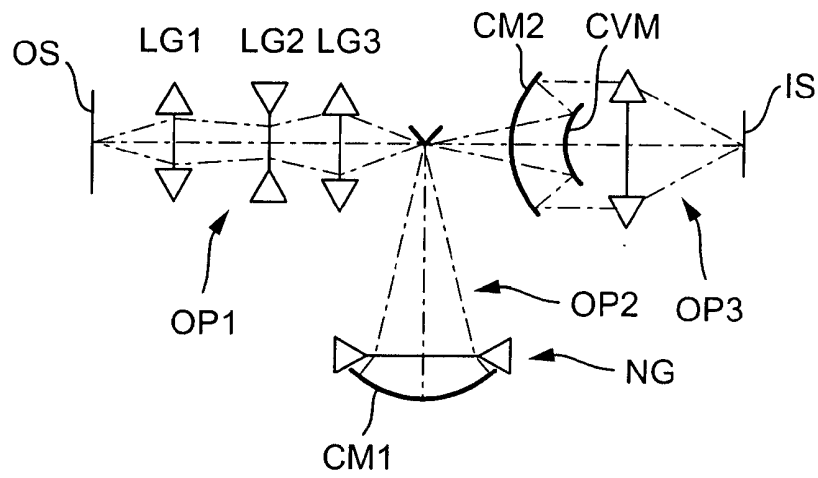
도면11b



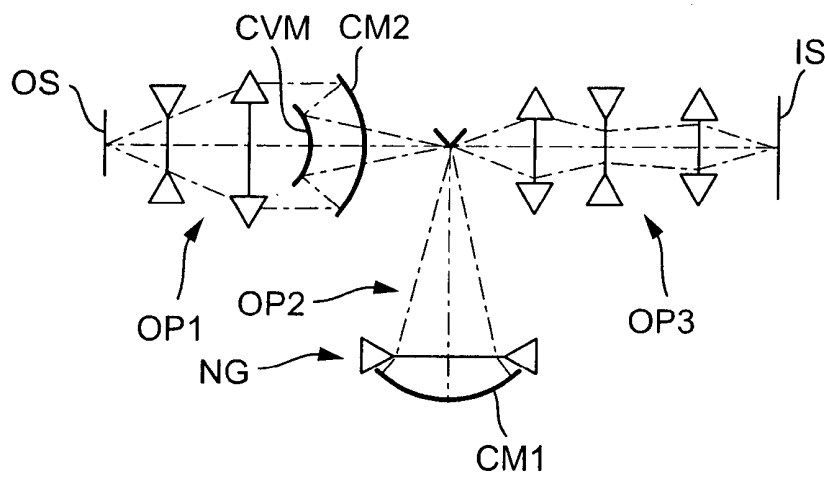
도면11c



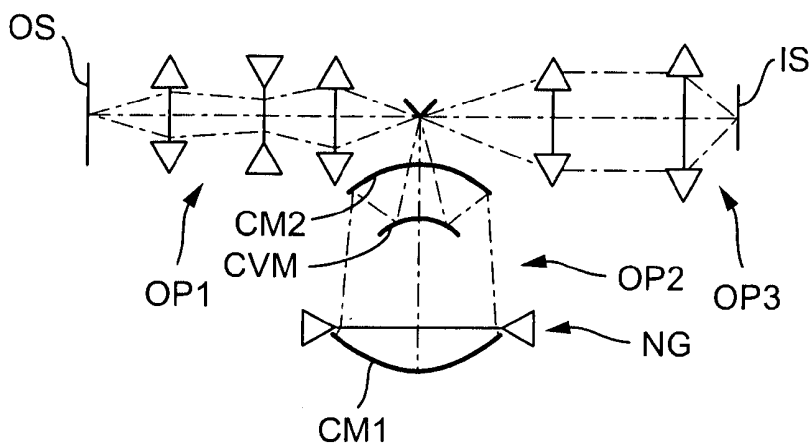
도면12a



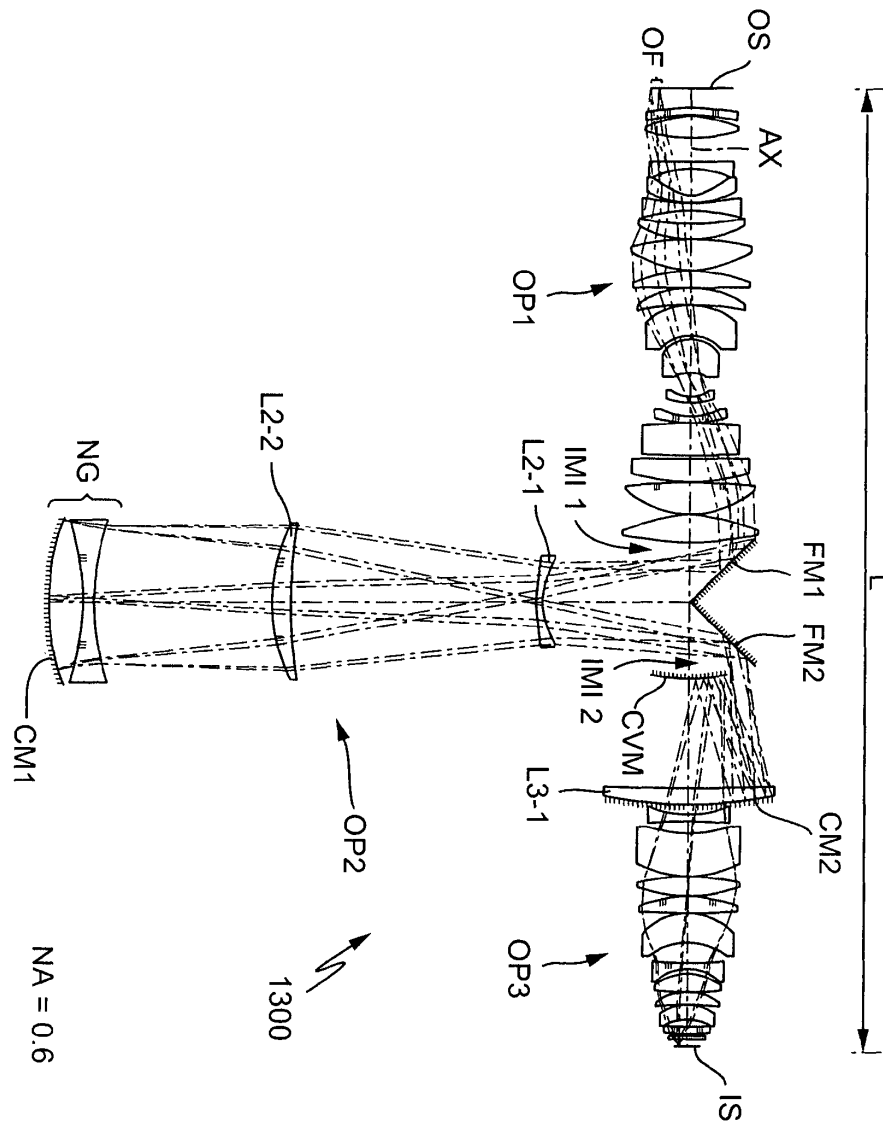
도면12b



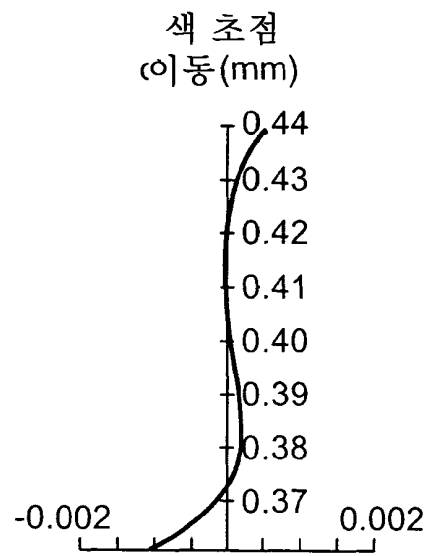
도면12c



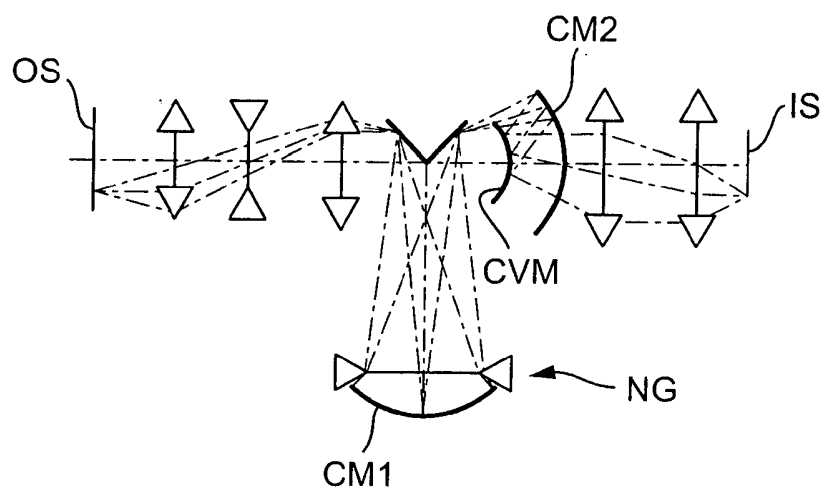
도면13a



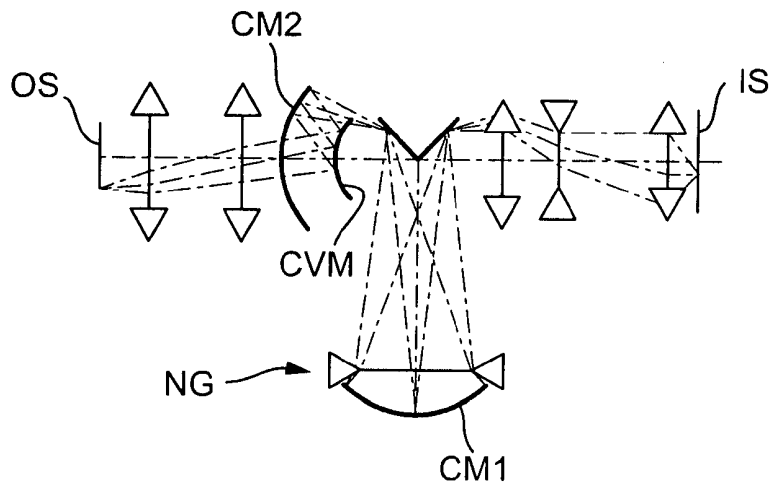
도면13b



도면14a



도면14b



도면15

