



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년04월06일
(11) 등록번호 10-1109844
(24) 등록일자 2012년01월18일

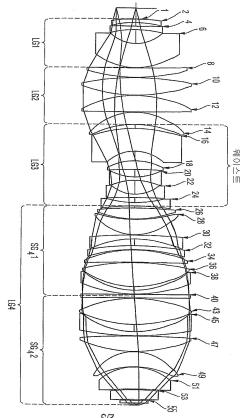
(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 9/34 (2006.01) G02B 13/14 (2006.01)
G02B 27/18 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-7000522(분할)
(22) 출원일자(국제) 2004년11월25일
심사청구일자 2010년02월04일
(85) 번역문제출일자 2010년01월11일
(65) 공개번호 10-2010-0019568
(43) 공개일자 2010년02월18일
(62) 원출원 특허 10-2006-7010738
원출원일자(국제) 2004년11월25일
심사청구일자 2009년11월25일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2004/013519
(87) 국제공개번호 WO 2005/054956
국제공개일자 2005년06월16일
(30) 우선권주장
60/526,096 2003년12월02일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌
EP01245984 A2
전체 청구항 수 : 총 50 항

심사관 : 경천수

(54) 발명의 명칭 **프로젝션 광학 시스템****(57) 요 약**

본 발명의 프로젝션 광학 시스템은 상기 프로젝션 광학 시스템의 광축을 따라 배치된 복수의 렌즈를 구비하고, 상기 복수의 렌즈는 양의 굴절력과 음의 굴절력을 갖는 렌즈들의 4개의 비중첩 그룹으로 구분될 수 있으며, 하기 식(1)이 충족된다: (1) 여기서, y 는 상기 프로젝션 광학 시스템에 의해 이미지된 최대 이미지 필드의 직경(mm)의 절반이고, NA 는 제 2 물체의 일측상의 최대 개구수이며, ϕ_i 는 i 번째 렌즈의 굴절력(mm^{-1})이고, k 는 프로젝션 광학 시스템의 렌즈의 총 개수이며, V_i 은 0.045보다 크다.

대 표 도 - 도2

(72) 발명자
울리히, 빌헬름
독일 73434 알렌 리더락커링 44

에펠, 알렉산더
독일 73431 알렌 랑게르트스트라쎄 38

특허청구의 범위

청구항 1

250nm 보다 짧은 파장의 광을 사용하여 제 1 물체를 제 2 물체영역에 이미징하는 프로젝션 광학 시스템에 있어서,

상기 프로젝션 광학 시스템의 광축을 따라 배치된 복수의 렌즈를 구비하고,

상기 복수의 렌즈는

상기 제 1 물체에 가장 가까이 배치된 제 1 그룹의 전체 굴절력은 음의 굴절력이고,

상기 제 1 그룹에 바로 인접 배치된 제 2 그룹의 전체 굴절력은 양의 굴절력이며,

상기 제 2 그룹에 바로 인접 배치된 제 3 그룹의 전체 굴절력은 음의 굴절력이고,

상기 제 3 그룹에 바로 인접 배치된 제 4 그룹의 전체 굴절력은 양의 굴절력이도록 4개의 비중첩 렌즈 그룹으로 구분될 수 있고,

하기의 관계식이 충족되며:

$$2 \cdot y \cdot NA \cdot \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k |\phi_i| \geq V_1$$

여기서,

y는 상기 프로젝션 광학 시스템에 의해 이미지된 최대 이미지 필드의 직경(㎟)의 절반이고,

NA는 제 2 물체의 일측에 대한 최대 개구수이며,

ϕ_i 는 i번째 렌즈의 굴절력(㎟⁻¹)이고,

k는 프로젝션 광학 시스템의 렌즈의 총 개수이며,

V_1 은 0.045보다 큰 프로젝션 광학 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 V_1 은 0.055 보다 큰 프로젝션 광학 시스템

청구항 3

제 1 항에 있어서,

하기의 식이 충족되고:

$$2 \cdot y \cdot NA \cdot \sin\left(\frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k |\sigma_{i1}| + |\sigma_{i2}|\right) \geq V_2$$

여기서,

y는 상기 프로젝션 광학 시스템에 의해 이미지된 최대 이미지 필드의 직경(㎟)의 절반이고,

NA는 제 2 물체의 일측에 대한 최대 개구수이며,

σ_{i1} 은 i번째 렌즈의 제 1 광학표면에서의 이미징 빔의 최대 편향각도이고,

δ_{i2} 는 i번째 렌즈의 제 2 광학표면에서의 이미징 빔의 최대 편향각도이며,

k 는 프로젝션 광학 시스템의 렌즈의 총 개수이고,

V_2 는 4 보다 큰 프로젝션 광학 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 V_2 는 5 보다 큰 프로젝션 광학 시스템.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 렌즈 중 적어도 5개의 렌즈 각각이 적어도 하나의 비구면을 갖는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 비구면과 대응하는 이상적인 구형 사이의 축 거리가 $300\mu\text{m}$ 보다 크고 $500\mu\text{m}$ 보다 작으며,

상기 이상적인 구형은 상기 비구면의 중심과 주변이 상기 이상적인 구형상에 위치되도록 선택되는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 제 4 렌즈 그룹 중 2개의 렌즈 사이에 배치된 개구 조리개를 구비하고,

상기 제 4 렌즈 그룹은 상기 제 1 물체와 상기 개구 조리개 사이에 있는 제 1 렌즈 서브그룹 및 상기 개구 조리개와 상기 제 2 물체 사이에 있는 제 2 렌즈 서브그룹으로 구성되는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

아래의 조건이 충족되고:

$$\frac{f_1}{f_2} < 0.9 \cdot |\beta|$$

여기서,

f_1 은 상기 제 1, 제 2 및 제 3 그룹뿐만 아니라 상기 제 4 그룹의 제 1 서브그룹으로 구성되는 렌즈 유닛의 초점길이이며,

f_2 는 상기 제 4 그룹의 제 2 서브그룹의 초점길이이고,

β 는 상기 프로젝션 광학 시스템의 배율인 프로젝션 광학 시스템.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

아래의 조건이 충족되고:

$$\frac{f_1}{f_2} > 1.1 \cdot |\beta|$$

여기서,

f_1 은 상기 제 1, 제 2 및 제 3 그룹뿐만 아니라 상기 제 4 그룹의 제 1 서브그룹으로 구성되는 렌즈 유닛의 초점길이이며,

f_2 는 제 4 그룹의 제 2 서브그룹의 초점길이이고,

β 는 프로젝션 광학 시스템의 배율인 프로젝션 광학 시스템.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

아래의 조건이 충족되고:

$$\frac{L_D \cdot D_{beam} \cdot \log\left(\frac{1}{NA}\right)}{100 \cdot FD} < 3$$

여기서,

L_D 는 상기 제 1 물체 및 상기 제 2 물체 사이의 설계 거리이며,

D_{beam} 은 빔 다발의 최대 직경이고,

NA 는 상기 제 2 물체의 일측상의 최대 개구수이며,

FD 는 상기 제 1 물체의 최대 필드 높이인 프로젝션 광학 시스템.

청구항 11

제 5 항에 있어서,

상기 비구면의 반경방향면 프로파일은 많아야 하나의 곡률 변곡점을 갖는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

많아야 하나의 상기 비구면의 반경방향면 프로파일은 상기 비구면의 광학적 유효영역에서 하나의 곡률 변곡점을 갖는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 프로젝션 광학 시스템의 초점 길이는 250mm 보다 짧은 프로젝션 광학 시스템.

청구항 14

제 7 항에 있어서,

상기 제 4 렌즈 그룹의 제 2 서브그룹에 있는 적어도 하나의 렌즈는 양의 굴절력을 갖는 렌즈이고,

상기 적어도 하나의 렌즈는 하기의 조건을 충족하며:

$$i_1 \cdot (u_{1i} + u_{1o}) + i_2 \cdot (u_{2i} + u_{2o}) > 2.5 \text{ 및} \\ f_{4p} < 2500mm$$

여기서,

i_1 은 상기 적어도 하나의 렌즈의 제 1 면상에 이미징 빔의 최대입사각도이고,

i_2 는 상기 적어도 하나의 렌즈의 제 2 면상에 이미징 빔의 최대입사각도이며,

u_{1i} 는 상기 적어도 하나의 렌즈 바깥의 제 1 면에서 이미징 빔과 광축 사이에 형성된 최대각도이고,

u_{2i} 는 상기 적어도 하나의 렌즈 안쪽의 제 2 면에서 이미징 빔과 광축 사이에 형성된 최대각도이며,

u_{1o} 는 상기 적어도 하나의 렌즈 안쪽의 제 1 면에서 이미징 빔과 광축 사이에 형성된 최대각도이고,

u_{2o} 는 적어도 하나의 렌즈 바깥쪽의 제 2 면에서 이미징 빔과 광축 사이에 형성된 최대각도이며,

f_{4p} 는 적어도 하나의 렌즈의 초점 길이인 프로젝션 광학 시스템.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 그룹은 음의 굴절력을 갖는 렌즈들로만 구비되고, 상기 제 1 그룹의 렌즈들 중 하나는 상기 제 1 물체를 바라보는 오목면을 갖는 반월형 렌즈(meniscus lens)인 프로젝션 광학 시스템.

청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 렌즈 그룹은 양의 굴절력을 갖는 렌즈들로만 구비되고, 상기 제 2 그룹의 렌즈들 중 적어도 하나는 오목한 비구면을 갖는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 17

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 렌즈 그룹은 적어도 3개의 렌즈를 구비하는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 18

제 1 항에 있어서,

상기 제 3 렌즈 그룹 중 적어도 하나는 비구면을 갖는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 19

제 19 항에 있어서,

상기 제 3 렌즈 그룹은 음의 굴절력을 갖는 렌즈들로만 구비되는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

상기 제 3 렌즈 그룹은 음의 굴절력을 갖는 3 개 이상의 렌즈들을 구비하는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 21

제 1 항에 있어서,

상기 제 3 렌즈 그룹에서 음의 굴절력을 갖는 2개의 렌즈를 사이에 양의 굴절력을 갖는 렌즈가 배치되는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 22

제 7 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 서브 그룹은 제 1 및 제 2 면을 갖는 음의 굴절력을 갖는 적어도 하나의 렌즈를 구비하고,

상기 렌즈는 하기의 조건을 충족하며:

$$\left| \frac{c_{11} + c_{12}}{c_{11} - c_{12}} \right| < -0.5$$

여기서,

c_{11} 은 상기 적어도 하나의 렌즈의 제 1 면의 곡률이고,

c_{12} 는 상기 적어도 하나의 렌즈의 제 2 면의 곡률인 프로젝션 광학 시스템.

청구항 23

제 7 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 서브그룹은 양의 굴절력을 갖는 2 내지 4개의 렌즈를 구비하는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 24

제 7 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 서브그룹은 제 1 및 제 2 면을 갖는 음의 굴절력을 갖는 적어도 하나의 렌즈를 구비하고,

상기 렌즈는 하기의 조건을 충족하며:

$$\left| \frac{c_{21} + c_{22}}{c_{21} - c_{22}} \right| > 0.5$$

여기서,

c_{21} 은 상기 적어도 하나의 렌즈의 제 1 면의 곡률이고,

c_{22} 는 상기 적어도 하나의 렌즈의 제 2 면의 곡률인 프로젝션 광학 시스템.

청구항 25

제 7 항에 있어서,

상기 제 2 렌즈 서브그룹은 음의 굴절력을 갖는 하나의 렌즈만을 구비하는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 26

제 7 항에 있어서,

상기 제 2 렌즈 서브그룹은 양의 굴절력을 갖는 렌즈에 인접 배치된 음의 굴절력을 갖는 렌즈를 구비하고, 상기 양의 굴절력을 갖는 렌즈는 상기 제 2 물체에 더 가까이 위치되며,

상기 음의 렌즈는 하기의 조건을 충족하고:

$$\left| \frac{c_{31} + c_{32}}{c_{31} - c_{32}} \right| < -0.5$$

여기서,

c_{31} 은 적어도 하나의 렌즈의 제 1 면의 곡률이고,

c_{32} 는 적어도 하나의 렌즈의 제 2 면의 곡률인 프로젝션 광학 시스템.

청구항 27

제 7 항에 있어서,

상기 제 2 렌즈 서브그룹은 음의 굴절력을 갖는 렌즈에 인접 배치된 양의 굴절력을 갖는 렌즈를 구비하고, 상기 음의 굴절력을 갖는 렌즈는 상기 제 2 물체에 더 가까이 위치되며,

상기 음의 렌즈는 하기의 조건을 충족하고:

$$\left| \frac{c_{41} + c_{42}}{c_{41} - c_{42}} \right| > 0.5$$

여기서,

c_{41} 은 적어도 하나의 렌즈의 제 1 면의 곡률이고,

c_{42} 는 적어도 하나의 렌즈의 제 2 면의 곡률인 프로젝션 광학 시스템.

청구항 28

제 7 항에 있어서,

상기 제 2 렌즈 서브그룹은 상기 제 2 물체를 바라보는 오목면을 갖는 2개 이상 4개 이하의 양의 반월형 렌즈를 구비하는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 29

제 7 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 그룹은 최대 2개의 비구면 렌즈를 포함하고,

상기 제 2 렌즈 그룹은 최대 2개의 비구면 렌즈를 포함하며,

상기 제 3 렌즈 그룹은 최대 1개의 비구면 렌즈를 포함하고,

상기 제 4 렌즈 그룹의 제 1 서브그룹은 최대 3개의 비구면 렌즈를 포함하며,

상기 제 4 렌즈 그룹의 제 2 서브그룹은 최대 3개의 비구면 렌즈를 포함하는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 30

제 7 항에 있어서,

상기 제 4 렌즈 그룹의 제 2 서브그룹에서, 비구면을 갖는 임의의 렌즈는 상기 제 2 물체를 바라보는 렌즈의 일측이 비구면인 프로젝션 광학 시스템.

청구항 31

제 7 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈 그룹에서, 비구면을 갖는 임의의 렌즈는 상기 제 1 물체를 바라보는 렌즈의 일측이 비구면인 프로젝션 광학 시스템.

청구항 32

제 1 항에 있어서,

하기의 조건이 충족되고:

$$\frac{L_D}{G_D} > 1.4$$

여기서,

G_D 는 모든 렌즈의 측 두께의 합이고, 상기 각 렌즈의 측 두께는 상기 광축상의 위치에 있는 렌즈의 두께를 나타내며,

L_D 는 상기 제 1 물체와 상기 제 2 물체 사이의 설계 거리인 프로젝션 광학 시스템.

청구항 33

제 1 항에 있어서,

상기 모든 렌즈는 칼슘 플루오라이드(calcium fluoride)로 제조되는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 34

제 1 항에 있어서,

상기 모든 렌즈는 실리카(silica)로 제조되는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 35

제 1 항에 있어서,

하나 이상의 결정 재료들이 렌즈 재료로서 사용되는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 36

제 35 항에 있어서,

상기 결정 재료들은 플루오라이드 재료를 구비하는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 37

제 36 항에 있어서,

상기 제 2 물체에 가장 가까이 배치된 4개의 렌즈 중 하나 이상은 플루오라이드 재료로 제조되고, 상기 광축에 대해 하나 이상의 렌즈에서 상기 플루오라이드 재료의 결정방향은 2 이상의 렌즈에서와 동일한 프로젝션 광학 시스템.

청구항 38

제 35 항에 있어서,

상기 제 2 및 제 3 렌즈 그룹 중 적어도 하나 이상의 렌즈가 플루오라이드 재료로 제조되는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 39

제 35 항에 있어서,

상기 제 4 렌즈 그룹에서 양의 렌즈 중 하나가 플루오라이드 재료로 제조되는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 40

제 1 항에 있어서,

상기 프로젝션 광학 시스템은 조절가능한 개구 조리개를 더 구비하고, 상기 개구 조리개에 의해 형성된 개구의 축 위치는 상기 개구의 크기에 따라 변하고, 상기 개구의 축 위치는 상기 개구와 상기 광축에 의해 형성된 면의 교차에 의해 형성되는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 41

제 40 항에 있어서,

상기 조절가능한 개구 조리개는 평평한 형태를 갖는 박판을 구비하는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 42

제 40 항에 있어서,

상기 조절가능한 개구 조리개는 동일한 구형을 갖는 박판을 구비하는 프로젝션 광학 시스템.

청구항 43

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 물체의 일측상의 상기 프로젝션 광학 시스템의 개구수는 0.91 보다 큰 프로젝션 광학 시스템.

청구항 44

제 1 항에 있어서,

상기 제 4 렌즈 그룹은 바로 인접한 적어도 한 쌍의 렌즈들을 구비하고, 상기 렌즈 쌍들 중 제 1 렌즈는 제 1 및 제 2 면을 가지며 상기 렌즈 쌍들 중 제 2 렌즈는 제 3 면 및 제 4 면을 가지고, 상기 제 1, 제 2, 제 3 및 제 4 면은 이 순서대로 상기 광축을 따라 배치되며,

하기의 조건이 충족되고:

$$d < V_5$$

$$\left| \frac{c_{51} + c_{52}}{c_{51} - c_{52}} \right| > V_6$$

$$c_{51} > V_7$$

여기서,

d 는 상기 제 2 면과 상기 제 3 면 사이의 최대 거리이며,

c_{51} 은 상기 제 1 면의 곡률이고,

c_{52} 는 상기 제 4 면의 곡률이며,

$V_5 = 15\text{mm}$, $V_6 = 10$, $V_7 = 0.003\text{mm}^{-1}$ 인 프로젝션 광학 시스템.

청구항 45

250nm 보다 짧은 파장의 광을 사용하여 제 1 물체를 제 2 물체영역에 이미징하는 프로젝션 광학 시스템에 있어서,

상기 프로젝션 광학 시스템의 광축을 따라 배치된 복수의 렌즈를 구비하고,

상기 복수의 렌즈는

상기 제 1 물체에 가장 가까이 배치된 제 1 그룹의 전체 굴절력이 음의 굴절력이고,

상기 제 1 그룹에 바로 인접 배치된 제 2 그룹의 전체 굴절력이 양의 굴절력이며,

상기 제 2 그룹에 바로 인접 배치된 제 3 그룹의 전체 굴절력이 음의 굴절력이고,

상기 제 3 그룹에 바로 인접 배치된 제 4 그룹의 전체 굴절력이 양의 굴절력이도록 4개의 비중첩 렌즈 그룹으로 구분될 수 있고,

하기의 관계식이 충족되며:

$$2 \cdot y \cdot NA \cdot \sin\left(\frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k |\sigma_{i1}| + |\sigma_{i2}|\right) \geq V_2$$

여기서,

y 는 상기 프로젝션 광학 시스템에 의해 이미지된 최대 이미지 필드의 직경(㎟)의 절반이고,

NA는 상기 제 2 물체의 일측상의 최대 개구수이며,

σ_{i1} 은 i 번째 렌즈의 제 1 광학 표면에서의 이미징 빔의 최대 편향각도이고,

σ_{i2} 는 i 번째 렌즈의 제 2 광학 표면에서의 이미징 빔의 최대 편향각도이며,

k 는 프로젝션 광학 시스템의 렌즈의 총 개수이고,

V_2 는 4 보다 큰 프로젝션 광학 시스템.

청구항 46

제 3 항에 있어서,

상기 V_2 는 5 보다 큰 프로젝션 광학 시스템.

청구항 47

250㎚ 보다 짧은 파장의 광을 사용하여 제 1 물체를 제 2 물체영역에 이미징하는 프로젝션 광학 시스템에 있어서,

상기 프로젝션 광학 시스템의 광축을 따라 배치된 복수의 렌즈를 구비하고,

상기 복수의 렌즈는

상기 제 1 물체에 가장 가까이 배치된 제 1 그룹의 전체 굴절력이 음의 굴절력이고,

상기 제 1 그룹에 바로 인접 배치된 제 2 그룹의 전체 굴절력이 양의 굴절력이며,

상기 제 2 그룹에 바로 인접 배치된 제 3 그룹의 전체 굴절력이 음의 굴절력이고,

상기 제 3 그룹에 바로 인접 배치된 제 4 그룹의 전체 굴절력이 양의 굴절력이도록 4개의 비중첩 렌즈 그룹으로 구분될 수 있고,

하기의 관계식이 충족되며:

$$\frac{G_D}{2 \cdot y \cdot NA} \leq V_4$$

여기서,

y 는 상기 프로젝션 광학 시스템에 의해 이미지된 최대 이미지 필드의 직경(㎟)의 절반이고,

NA는 상기 제 2 물체의 일측상의 최대 개구수이며,

G_D 는 렌즈의 모든 축 두께의 합이며, 각 렌즈의 축 두께는 광축상의 한 위치에 있는 렌즈의 두께를 나타내고,

V_4 는 40보다 작은 프로젝션 광학 시스템.

청구항 48

제 47 항에 있어서,

상기 V_4 는 35보다 작은 프로젝션 광학 시스템.

청구항 49

250nm 보다 짧은 광장을 갖는 광의 광빔을 발생하는 조명 광학 시스템;

제 1 물체로서 패터닝 구조를 올려놓는 마운트;

제 2 물체로서 방사감지기판을 올려놓는 기판 마운트; 및

상기 제 1 물체를 제 2 물체영역에 이미징하기 위해, 제 1 항 내지 제 48 항 중 어느 한 항에 따른 프로젝션 광학 시스템을 구비하는 프로젝션 노광 시스템.

청구항 50

250nm 보다 짧은 광장을 갖는 광의 광빔을 발생하는 조명 광학 시스템;

제 1 물체로서 패터닝 구조를 올려놓는 마운트;

제 2 물체로서 방사감지기판을 올려놓는 기판 마운트; 및

상기 제 1 물체를 제 2 물체영역에 이미징하기 위해, 제 1 항 내지 제 48 항 중 어느 한 항에 따른 프로젝션 광학 시스템을 구비하는 프로젝션 노광 시스템을 사용하는 단계; 및

상기 250nm 보다 짧은 광장을 갖는 광의 광빔으로 방사감지기판상에 상기 패터닝 구조를 이미징하는 단계를 포함하는 미세장치 제조방법.

청구항 51

삭제

명세서

기술분야

[0001]

본 발명은 프로젝션 광학 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 큰 개구수(numerical aperture)를 갖는 프로젝션 광학 시스템에 관한 것이다.

배경기술

[0002]

리소그라피 공정은 통상적으로 직접회로(IC), LSI, 액정 소자, 마이크로패턴 부재 및 미세구조역학적 구성부품들과 같은 반도체 소자의 제조에 사용된다.

[0003]

포토리소그라피에 사용되는 프로젝션 노광장치(projection exposure apparatus)는 광원 및 프로젝션 광학 시스템을 갖는 조명광학 시스템을 구비한다. 조명광학 시스템으로부터의 광이 소정의 패턴을 갖는 십자선(제 1 물체)을 조명하고 프로젝션 광학 시스템이 상기 십자선 패턴(제 1 물체)의 이미지를 광감지 기판(제 2 물체) 영역에 전사한다. 십자선 패턴의 이미지는 또한 프로젝션 광학 시스템에 의해 크기가 감소될 수 있어 기판위에 십자선 패턴의 더 작은 이미지를 생성하게 한다.

[0004]

더 작고 더 정교한 초소형 장치에 대한 추세가 프로젝션 노광 시스템 및 이에 따라 이를 장치의 제조에 사용되는 프로젝션 광학 시스템에 대해 점점 더 많은 수요를 주문하고 있다. 기판의 노출시에 더 양호한 해상도를 달성하기 위해, 큰 개구수를 갖는 프로젝션 광학 시스템이 개발중에 있다. 또한, 기판 노광에 사용되는 광의 광장

이 줄어든다. 이들 모든 변화는 프로젝션 광학 시스템의 설계 및 렌즈재료의 선택 면에서 전체적인 새로운 도전을 야기한다.

[0005] 현재, 200nm 보다 짧은 파장의 조명광이 최근에 개발된 프로젝션 노광 시스템에 널리 사용되고 있다. 더 짧은 파장에서 큰 개구수를 갖는 프로젝션 광학 시스템에 사용하기에 적합한 고품질의 렌즈재료는 공급이 부족한 경향이 있고 일반적으로 고비용과 직결된다.

[0006] 해당 기술분야의 상태로부터, (프로젝션 광학 시스템의 기판측상에) 0.9까지의 개구수를 갖는 프로젝션 광학 시스템이 공지되어 있다. 프로젝션 광학 시스템에서 수차 보정의 필요성으로 인해, (제 1 물체의 이미지를 제 2 물체의 영역상에 전사하는) 이미징 빔의 낮은 입사 및 편향 각도가 일반적으로 이러한 시스템에 바람직하다. 이는 일반적으로 큰 직경의 렌즈들과 각각 제 1 물체 및 제 2 물체 또는 접사선과 기판 사이의 먼 거리로 이루어지는 프로젝션 광학 시스템이 되게 한다. 그러나, 큰 렌즈 직경과 먼 거리는 일반적으로 렌즈재료의 질량을 크게하고 비용을 증가시키게 하는 것과 같은 말이다. 그 결과, 프로젝션 광학 시스템은 오히려 더 무거워지게 되는 경향이 있다.

[0007] 따라서, 200nm보다 더 짧은 조명광 파장을 사용하고 심지어 더 큰 개구수를 갖는 한편 프로젝션 광학 시스템의 치수 증가적 접근을 이용하는 따른 현재의 추세 및 프로젝션 광학 시스템 개발은 불가피하게 프로젝션 광학 시스템 및 그 내에 포함된 렌즈들의 실행하기가 어려운 큰 치수를 야기하게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은 큰 개구수와 양호한 이미징 성능을 갖는 프로젝션 광학 시스템을 제공하는 것이다.

[0009] 또한, 본 발명의 목적은 컴팩트한 설계를 가지며, 특히, 대물면(또는 제 1 물체)과 이미지면(또는 제 2 물체) 사이의 짧은 거리 및/또는 비교적 작은 직경 및/또는 비교적 작은 질량의 렌즈재료를 갖는 한편 양호한 이미징 성능을 제공하는 프로젝션 광학 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 목적을 달성하기 위해, 본 발명은 250nm 보다 짧은, 바람직하게는 200nm 보다 짧은 파장의 광을 사용하여 제 1 물체를 제 2 물체의 영역에 이미징하는 프로젝션 광학 시스템으로서, 상기 광학 시스템의 광축을 따라 배치된 복수의 렌즈를 구비하고, 상기 복수의 렌즈는 상기 제 1 물체에 가장 가까이 배치된 제 1 그룹의 전체 굴절력(refractive power)이 음의 굴절력이고, 상기 제 1 그룹에 바로 인접 배치된 제 2 그룹의 전체 굴절력이 양의 굴절력이며, 상기 제 2 그룹에 바로 인접 배치된 제 3 그룹의 전체 굴절력이 음의 굴절력이고, 상기 제 3 그룹에 바로 인접 배치된 제 4 그룹의 전체 굴절력이 양의 굴절력이도록 4개의 비중첩 렌즈 그룹들로 구분될 수 있으며, 본 발명의 제 1, 제 2, 제 3, 및 제 4 태양 중 적어도 하나의 프로젝션 광학 시스템이 하기에 기술된 바와 같이 구현된다.

[0011] 바람직한 실시예에서, 제 1, 제 2, 제 3, 및 제 4 그룹의 전체 굴절력의 절대값의 합은 최대값(특히 다른 가능한 그룹으로의 구분에 의해 달성될 수 있는 값과 비교하여 최대값)이다.

[0012] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 렌즈는 복수의 렌즈소자로 이루어진 광학 시스템이 아니라 단일 렌즈소자에 관한 것이다.

[0013] 프로젝션 광학 시스템은 바람직하게는 순전히 굴절 또는 광굴절(dioptric) 프로젝션 광학 시스템이며, 미러와 같은 반사 광 소자를 구비하지 않는다.

[0014] 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템의 광축 방향으로 (제 1 물체에서 시작하는 주어진 순서대로) 일반적으로 "단일 웨이스트 타입(single waist type)"의 프로젝션 광학 시스템이라고 하는 음의 렌즈 그룹 다음에 양의 렌즈 그룹, 음의 렌즈 그룹, 양의 렌즈 그룹의 잇따른 배열이 발생된다. 웨이스트는 프로젝션 광학 시스템의 협착부 또는 최소 직경을 나타낸다. 특히, 웨이스트는 제 3 렌즈 그룹의 렌즈들에 의해 형성된다.

[0015] 본 발명의 제 1 태양에 따라, 하기의 관계가 충족되는 프로젝션 광학 시스템이 형성된다:

수학식 1

$$2 \cdot y \cdot NA \cdot \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k |\phi_i| \geq V_1$$

[0016] 여기서,

[0017] y 는 프로젝션 광학 시스템에 의해 이미지된 최대 이미지 필드의 직경(mm)의 절반이다;

[0018] NA 는 제 2 물체의 일측상의 최대 개구수이다;

[0019] ϕ_i 는 i 번째 렌즈의 굴절력(mm^{-1})이다;

[0020] k 는 프로젝션 광학 시스템의 렌즈의 총 개수이다;

[0021] V_1 은 0.045보다 크다.

[0022] 본 발명의 예시적인 실시예에서, V_1 은 0.0055 보다 크다.

[0023] 본 발명의 제 1 태양에 따른 프로젝션 광학 시스템에서, 비교적 고굴절력을 갖는 렌즈들이 사용되고 이에 따라 제 1 물체의 이미지를 제 2 물체의 영역으로 전사하는데 사용되는 이미징 빔이 다소 큰 편향/입사 각도로 놓여질 수 있다. 비교적 고굴절력을 갖는 렌즈들의 사용은 프로젝션 광학 시스템의 컴팩트한 설계, 특히 제 1 및 제 2 물체 사이의 거리를 짧게 할 뿐만 아니라 비교적 작은 직경을 갖는 렌즈들의 사용을 가능하게 한다. 예컨대, 제 1 및 제 2 물체 사이의 거리가 약 1000mm 정도로 짧게 구현될 수 있다. 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템에서의 렌즈의 가장 큰 직경은 약 300mm 보다 더 작을 수 있다.

[0024] 고굴절력 렌즈가 프로젝션 광학 시스템에 사용되는 범위에 대한 적절한 측정은 프로젝션 광학 시스템에서의 모든 렌즈들의 평균 굴절력 ϕ_m 이며, 하기의 식으로 주어진다:

수학식 2

$$\phi_m = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k |\phi_i|$$

[0025] ϕ_i 와 k 는 상기에서 정의한 바와 같다.

[0026] 프로젝션 광학 시스템 설계에서 중요한 또 다른 요인은 아래와 같이 표현될 수 있는 연장(etendue) E 이다:

수학식 3

$$E = 2 \cdot y \cdot NA$$

[0027] 따라서, 식(1)은 또한 아래와 같이 쓸 수 있다:

수학식 4

$$E \cdot \phi_m \geq V_1$$

[0032] 본 발명의 발명자는 ϕ_m 및 E의 값이 0.045 보다 클 때, 특히 상술한 바와 같이 0.055 보다 클 때 양호한 이미징 특성을 갖는 프로젝션 광학 시스템의 이점적이고 컴팩트한 설계가 구현될 수 있음을 알았다.

[0033] 본 발명의 제 2 태양에 따른, 하기의 관계식이 충족되는 프로젝션 광학 시스템이 제공된다:

수학식 5

$$2 \cdot y \cdot NA \cdot \sin\left(\frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k |\sigma_{i1}| + |\sigma_{i2}|\right) \geq V_2$$

[0034] 여기서,

y, NA, 및 k는 상기 정의한 바와 같다;

[0037] δ_{i1} 은 i번째 렌즈의 제 1 광표면에서의 이미징 빔의 최대 편향각도이다;

[0038] δ_{i2} 는 i번째 렌즈의 제 2 광표면에서의 이미징 빔의 최대 편향각도이다; 그리고

[0039] V_2 는 4 보다 크다.

[0040] 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, V_2 는 5 보다 크다.

[0041] 간략한 표현으로, 이 관계식은 다음과 같이 기술될 수 있다:

수학식 6

$$\sin(\delta_m) \cdot E > V_2$$

[0042] 여기서, δ_m 은 식(5)에서 다음과 같이 정의된 바와 같이 프로젝션 광학 시스템의 렌즈의 표면에서의 이미징 빔의 최대편향각도의 절대값의 평균치이다:

수학식 7

$$\frac{1}{k} \cdot \sum |\sigma_{i1}| + |\sigma_{i2}|$$

[0045] 큰 입사각도 및 큰 편향각도 중 적어도 하나의 의도적인 사용으로 양호한 이미징 특성을 갖는 프로젝션 광학 시스템은 광학 시스템에서 광빔이 각 렌즈의 표면에 입사하는 각도가 더 작을수록 수차가 더 작게 발생되고 허용 오차도 더 줄어들게 되는 일반적인 교시와는 매우 대조적이다.

[0046] 특히, 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템에서 고굴절력 렌즈의 사용 및 큰 입사/편향 각도의 발생에 대해, 수차와 같은 이미징 오차의 보정은 프로젝션 광학 시스템에서 비구면(aspherical surface)의 사용에 의해 이점적으로 수행될 수 있다. 이미징 오차는 본 명세서에서 이미징 특성의 최적치로부터 이미징 특성의 임의의 편차로서 정의된다.

[0047] 본 발명의 프로젝션 광학 시스템의 예시적인 실시예에 따르면, 복수의 렌즈중 적어도 5개의 렌즈 각각이 적어도 하나의 비구면을 갖는다. 예시적인 실시예에 따르면, 프로젝션 노광 시스템은 10개 이상의 비구면을 포함하지 않는다.

[0048] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 용어 "비구면"은 상기 비구면과 최적의 조정구(fitting sphere) 사이의 최대 축

거리가 $2\mu\text{m}$ 이상인 비구면을 말하는 것으로 이해되어야 한다. 이러한 정의는 제조방법에 기인한 것이기 보다는 일반적으로 프로젝션 광학 시스템의 특정 설계에 대해 고유한 수차 보정을 위해 렌즈/프로젝션 광학 시스템의 제조후에 일반적으로 도입되는 비구면의 일부분 뿐만 아니라 의도하지 않은 왜곡을 갖는 구면을 배제하는데 사용된다. 표면이 비구인 정도를 설명하기 위해, (가상의) 이상적인 구형 또는 최적의 조정구가 비구면의 중심 또는 외면이 상기 최적의 조정구상에 위치되고 그런 후 상기 최적의 조정구와 상기 비구면 사이의 축 거리가 결정되도록 선택된다. 상기에 따라 선택된 반경방향 면 프로파일과 최적의 조정구가 도 1a에 도시되어 있다. 수차에 대한 비구면의 영향, 특히 이미징 성능을 향상시키기 위한 비구면이 제공하는 파라미터들이 광범위하게 연구되었고 문현으로 제공되었다.

[0049] 제 3 태양에 따른, 복수의 렌즈 중 적어도 5개의 렌즈 각각이 적어도 하나의 비구면을 가지며 상기 비구면과 최적의 조정구 사이의 축 거리가 약 $300\mu\text{m}$ 보다 크고 약 $500\mu\text{m}$ 보다 작은 프로젝션 광학 시스템이 형성된다. 상술한 바와 같이, 상기 최적의 조정구는 상기 비구면의 중심과 외면이 상기 최적의 조정구상에 위치되도록 선택된다. 상기 값들은 상기 사용된 렌즈면들이 비교적 큰 비구면인 것을, 즉, 최적의 조정구로부터의 이탈이 비교적 큰 것을 나타낸다. 이러한 비구면들은 바람직하게는 제 1 렌즈 그룹에 그리고/또는 개구 조리개(aperture stop)가 프로젝션 광학 시스템에 제공되는 경우 상기 구경 조리개 부근에 위치된다.

[0050] 프로젝션 광학 시스템에서 비구면 렌즈의 사용은 상기 프로젝션 광학 시스템의 길이와 렌즈재료의 필요량을 절감하게 할 뿐만 아니라 이미징 성능을 향상시키는데 일조한다.

[0051] 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 비구면(들)의 곡률의 최대변화의 절대값은 300m^{-2} 보다 크다.

[0052] 프로젝션 광학 시스템의 예시적인 실시예에서, 특히 본 발명의 제 3 태양에 따르면, 유효 직경 D_{as} 을 갖는 적어도 5개의 비구면 각각은 상기 비구면을 유지하는 렌즈로부터 멀리 마주보는 비구면의 일측에 배치된 최적의 조정구의 곡률중심을 가지며, D_{as} 는 제 1 물체 및 제 2 물체 사이의 설계 거리 L_D 의 0.2배이다. 다르게 말하면, 비구면은 바람직하게는 면이 전반적으로 오목한 형태인 렌즈의 표면에 배치된다.

[0053] 상기에 형성된 바와 같이 큰 최적의 조정구에 대한 축 거리를 갖는 비구면을 구비하는 렌즈 제조는 제조 공정 그자체 뿐만 아니라 제조된 비구면의 광학검사 모두에 많은 요구를 주문한다. 이러한 표면 검사를 위해, 간섭기법(interferometric technique)이 사용되는 것이 바람직하다. 비구면의 간섭 측정을 위해, 비구파면(aspherical wave front)이 비교되는 기준파면의 파면은 측정되는 파면의 이상적인 맞춤을 달성하기 위해 비구면이 되는 것이 필요하다. 이를 위해, 이를 바 "널 광학장치(null-optics)" 또는 "널 시스템(null-system)"을 개발하는 것이 필요하며, 상기 장치는 렌즈의 비구면을 간섭계로 측정하기 위한 적절한 비구파면을 발생시킬 수 있다. 큰 왜곡과 제르니크 계수(Zernik coefficient)로 환산한 큰 값을 갖는 비구면은 이들 굴절 시스템이 실질적으로 불가능 해지고/해지거나 경제적으로 제조할 수 없을 정도로 복잡한 굴절 시스템을 갖는 간섭계를 필요로 한다.

[0054] 비구면의 심한 왜곡은 일반적으로 비구면의 간섭 측정에 사용되는 컴퓨터로 만든 홀로그램, 즉, 굴절 시스템을 필요로 한다. 컴퓨터로 만든 홀로그램(CGH)은, 소수의 굴절 소자들 또는 심지어 자체적으로 적절하게 조합되는 경우, 대체로 어떠한 종류의 파면도 만들 수 있다. 그러나, 또한 컴퓨터로 만든 홀로그램은 전자빔, 레이저빔 및 광리소그라피 기술과 같은 CGH 제조에 사용되는 기술에 의해 부과된 제한으로 인해, 특히 그 크기에 대해, 제조가능성에 있어 실질적인 제한을 받는다.

[0055] 본 발명의 일실시예에 따르면, 이러한 문제는 비구면이 상술한 바와 같이 렌즈의 전반적으로 오목한 면에 위치되도록 프로젝션 광학 시스템에 비구면을 배치함으로써 극복되거나 적어도 완화될 수 있다. 렌즈의 전반적으로 오목한 면은 상술한 바와 같이 비구면을 유지하는 렌즈로부터 멀리 바라보는 상기 비구면의 일측에 배치된 최적의 조정구의 곡률중심을 갖는 면이다. 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 약 200mm 보다 큰 최대 직경을 갖는 렌즈들의 일부분인 모든 비구면들이 전반적으로 오목한 면들에 위치된다. 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 상기에 따라 배치된 비구면들은 최적의 조정구가 300mm 보다 크고/크거나 2000mm 보다 작은 반경을 갖는 비구면들과 결합되는 최적의 조정구들을 갖는다. 하한은 제조와 관련한 요인들에 의해 정해지고 상한은 비구면을 간섭측정하는데 사용되는 "널 광학장치"의 최대 실현가능한 길이에 의해 정해진다.

[0056] 편향/입사 각도가 다소 큰 비구면 및 구면을 갖는 프로젝션 광학 시스템은 비교적 소량의 유리를 사용하게 하고 이에 따라 비용과 프로젝션 광학 시스템의 무게를 줄이는데 일조하게 한다.

[0057] 본 발명의 제 4 태양에 따른, 하기의 식이 충족되는 프로젝션 광학 시스템이 형성된다.

수학식 8

$$\frac{G_D}{2 \cdot y \cdot NA} \leq V_4$$

[0058]

[0059] 여기서,

[0060]

y 및 NA는 상기에서 정의된 바와 같고, G_D 는 렌즈의 모든 축 두께의 합이며, 각 렌즈의 축 두께는 광축상의 한 위치에 있는 렌즈의 두께를 나타내고, V_4 는 40보다 작다.

[0061]

예시적인 실시예에 따르면, V_4 는 35보다 작다.

[0062]

G_D 는 프로젝션 광학 시스템에 사용되는 렌즈 재료, 특히, 질량면에서의 양과 이에 따라 렌즈 재료와 결부된 비용에 대한 적절한 표시자이다.

[0063]

예시적인 실시예에서, 프로젝션 광학 시스템은 제 4 렌즈 그룹의 2개 렌즈들 사이에 배치된 개구 조리개를 구비한다. 이들 실시예에서, 제 4 렌즈 그룹은 제 1 물체(또는, 더 정확하게는 제 3 렌즈 그룹) 및 개구 조리개 사이에 있는 제 1 렌즈 서브그룹과 상기 개구 조리개 및 제 2 물체 사이에 있는 제 2 렌즈 서브그룹으로 구성된다.

[0064]

본 발명의 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 하기의 조건이 충족된다:

수학식 9

$$\frac{f_1}{f_2} < 0.9 \cdot |\beta|$$

[0065]

[0066] 여기서,

[0067]

f_1 은 제 1, 제 2 및 제 3 그룹 뿐만 아니라 제 4 그룹의 제 1 서브그룹으로 구성되는 렌즈 유닛의 초점길이이다;

[0068]

f_2 는 제 4 그룹의 제 2 서브그룹의 초점길이이다; 그리고

[0069]

β 는 프로젝션 광학 시스템의 배율이다.

[0070]

본 발명의 대안적인 실시예에서, 하기의 조건이 충족된다:

수학식 10

$$\frac{f_1}{f_2} > 1.1 \cdot |\beta|$$

[0071]

[0072] 여기서, f_1 , f_2 및 β 는 상기 정의된 바와 같다.

[0073]

개구 조리개와 제 1 물체 사이에 있는 모든 렌즈들을 포함하는 렌즈 유닛의 초점길이와 개구 조리개와 제 2 물체 사이에 있는 모든 렌즈들을 포함하는 제 4 렌즈 그룹의 제 2 서브그룹의 초점길이의 불일치가 무한초점(afocal) 프로젝션 광학 시스템을 만드는데 사용된다.

[0074] 본 발명의 프로젝션 광학 시스템의 예시적인 실시예에 따르면, 하기의 조건이 충족된다.

수학식 11

$$\frac{L_D \cdot D_{beam} \cdot \log\left(\frac{1}{NA}\right)}{100 \cdot FD} < 3$$

[0075]

[0076] 여기서,

[0077] L_D 는 제 1 물체 및 제 2 물체 사이의 설계 거리이다;

[0078] D_{beam} 은 빔 다발의 최대 직경이다;

[0079] NA 는 제 2 물체의 일측상의 최대 개구수이다; 그리고

[0080] FD 는 제 1 물체의 최대 필드 높이이다.

[0081] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 용어 "설계 거리" 또는 "설계 길이"는 동작 또는 노출모드에서, 즉, 제 1 및 제 2 물체 모두가 초점에 있을 때 프로젝션 광학 시스템의 설계에 의해 예측되는 바와 같이 제 1 물체와 제 2 물체 사이의 거리를 나타낸다.

[0082] 본 발명의 프로젝션 광학 시스템의 예시적인 실시예에 따르면, 비구면의 반경방향 면 프로파일은 많아야 하나의 곡률 변곡점을 갖는다. 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 많아야 하나의 비구면에 대한 반경방향 면 프로파일은 비구면의 광학적 유효영역에 하나의 곡률 변곡점을 갖는다. 비구면은 일반적으로 회전 대칭이므로, 본 명세서에 사용된 바와 같이, 한 변곡점을 비구면의 표면을 가로질러 소정의 형태로, 특히 원으로 확장된다. 도 1a에 도시된 반경방향 면 프로파일은 한 변곡점만 갖는 비구면의 의도내에 있다.

[0083] 예시적인 실시예에 따르면, 프로젝션 광학 시스템의 초점 길이는 250mm보다 짧다. 이러한 특정한 초점 길이의 선택은, 특히 제 2 물체의 일측상에, 프로젝션 광학 시스템의 양호한 텔레센트릭(telecentric) 특성의 구현을 가능하게 한다.

[0084] 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템의 예시적인 실시예에서, 제 4 렌즈 그룹의 제 2 서브그룹에 있는 적어도 하나의 렌즈는 양의 굴절력 렌즈이고 상기 적어도 하나의 렌즈는 하기의 조건을 충족한다:

수학식 12

$$i_1 \cdot (u_{1i} + u_{1o}) + i_2 \cdot (u_{2i} + u_{2o}) > 2.5 \text{ 및} \\ f_{4p} < 2500mm$$

[0085]

[0086] 여기서,

[0087] i_1 은 적어도 하나의 렌즈의 제 1 면상에서 이미징 빔의 최대입사각도이다;

[0088] i_2 는 적어도 하나의 렌즈의 제 2 면상에서 이미징 빔의 최대입사각도이다;

[0089] u_{1i} 는 적어도 하나의 렌즈 바깥의 제 1 면에서 이미징 빔과 광축 사이에 형성된 최대각도이다;

[0090] u_{2i} 는 적어도 하나의 렌즈 안쪽의 제 2 면에서 이미징 빔과 광축 사이에 형성된 최대각도이다;

[0091] u_{1o} 는 적어도 하나의 렌즈 안쪽의 제 1 면에서 이미징 빔과 광축 사이에 형성된 최대각도이다;

- [0092] u_{2o} 는 적어도 하나의 렌즈 바깥쪽의 제 2 면에서 이미징 빔과 광축 사이에 형성된 최대각도이다; 그리고
- [0093] f_{4p} 는 적어도 하나의 렌즈의 초점 길이이다.
- [0094] 상기에 언급한 각도가 도 1b에 개략적으로 도시되어 있다. 적어도 하나의 렌즈의 초점길이에 대한 제한은 면 평행판들의 통상적인 경우들을 배제하는데 사용된다.
- [0095] 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 제 1 렌즈 그룹은 음의 굴절력을 갖는 렌즈들로만 구비되며, 상기 제 1 렌즈 그룹 중 한 렌즈는 제 1 물체를 바라보는 볼록면을 갖는 반월형 렌즈(meniscus)이다.
- [0096] 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 제 2 렌즈 그룹은 양의 굴절력을 갖는 렌즈들로만 구비되며, 상기 제 2 렌즈 그룹 중 적어도 한 렌즈는 (전반적으로) 오목한 비구면을 갖는다. 본 발명의 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 상기 제 2 렌즈 그룹은 적어도 3개의 렌즈를 구비한다.
- [0097] 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 제 3 렌즈 그룹 중 적어도 하나의 렌즈는 비구면을 갖는다.
- [0098] 본 발명의 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 제 3 렌즈 그룹은 음의 굴절력을 갖는 렌즈들로만 구비된다.
- [0099] 본 발명의 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 제 3 렌즈 그룹은 음의 굴절력의 3개 이상의 렌즈들을 구비한다. 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 양의 굴절력을 갖는 렌즈가 제 3 렌즈 그룹에 음의 굴절력을 갖는 2개의 렌즈들 사이에 배치된다.
- [0100] 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템의 실시예는 제 4 렌즈 그룹의 제 1 서브 그룹이 제 1 및 제 2 면을 가지고 하기의 조건을 충족하는 음의 굴절력을 갖는 적어도 하나의 렌즈를 구비한다:

수학식 13

$$\left| \frac{c_{11} + c_{12}}{c_{11} - c_{12}} \right| < -0.5$$

[0101]

- [0102] 여기서,
- [0103] c_{11} 은 적어도 하나의 렌즈의 제 1 면의 곡률이고,
- [0104] c_{12} 는 적어도 하나의 렌즈의 제 2 면의 곡률이다.
- [0105] 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 제 4 렌즈 그룹의 제 1 서브그룹은 양의 굴절력의 2개 내지 4개의 렌즈를 구비한다.
- [0106] 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 제 4 렌즈 그룹의 제 1 서브그룹은 (또한) 제 1 및 제 2 면을 갖는 음의 굴절력의 적어도 하나의 렌즈를 구비하고, 하기의 조건을 충족한다:

수학식 14

$$\left| \frac{c_{21} + c_{22}}{c_{21} - c_{22}} \right| > 0.5$$

[0107]

- [0108] 여기서,
- [0109] c_{21} 은 적어도 하나의 렌즈의 제 1 면의 곡률이고,
- [0110] c_{22} 는 적어도 하나의 렌즈의 제 2 면의 곡률이다.

[0111] 본 발명의 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 제 4 렌즈 그룹의 제 2 서브그룹은 음의 굴절력을 갖는 하나의 렌즈만을 구비한다.

[0112] 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 제 4 렌즈 그룹의 제 2 서브그룹은 양의 굴절력을 갖는 렌즈에 인접 배치된 음의 굴절력을 갖는 렌즈를 구비하고, 상기 양의 굴절력을 갖는 렌즈는 (음의 굴절력을 갖는 렌즈보다) 제 2 물체에 더 가까이 배치되며, 음의 렌즈는 하기의 조건을 충족한다:

수학식 15

$$\left| \frac{c_{31} + c_{32}}{c_{31} - c_{32}} \right| < -0.5$$

[0113] 여기서,

c₃₁은 적어도 하나의 렌즈의 제 1 면의 곡률이고,

c₃₂는 적어도 하나의 렌즈의 제 2 면의 곡률이다.

[0117] 본 발명의 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 제 4 렌즈 그룹의 제 2 서브그룹은 음의 굴절력을 갖는 렌즈에 인접 배치된 양의 굴절력을 갖는 렌즈를 구비하고, 상기 음의 굴절력을 갖는 렌즈는 제 2 물체에 더 가까이 배치되며, 상기 음의 렌즈는 하기의 조건을 충족한다:

수학식 16

$$\left| \frac{c_{41} + c_{42}}{c_{41} - c_{42}} \right| > 0.5$$

[0118] 여기서,

c₄₁은 적어도 하나의 렌즈의 제 1 면의 곡률이고,

c₄₂는 적어도 하나의 렌즈의 제 2 면의 곡률이다.

[0122] 본 발명의 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 제 4 렌즈 그룹의 제 2 서브그룹은 제 2 물체를 바라보는 오목한 면을 갖는 2개 및 단지 4개의 양의 반월형 렌즈를 구비한다. 이 실시예는 무수차(aplanatic) 설계를 구현하는데 유용하다.

[0123] 본 발명의 예시적인 실시예에서, 제 1 렌즈 그룹은 최대 2개의 비구면 렌즈를 구비하고, 제 2 렌즈 그룹은 최대 2개의 비구면 렌즈를 구비하며, 제 3 렌즈 그룹은 최대 하나의 비구면 렌즈를 구비하고, 제 4 렌즈 그룹의 제 1 서브그룹은 최대 3개의 비구면 렌즈를 구비하며, 제 4 렌즈 그룹의 제 2 서브그룹은 최대 3개의 비구면 렌즈를 구비한다. 본 발명의 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 이들 비구면 렌즈 각각은 하나의 비구면만을 갖는다.

[0124] 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 제 4 렌즈 그룹의 제 2 서브그룹에서, 비구면을 갖는 임의의 렌즈는 제 2 물체를 바라보는 렌즈의 일측상에 비구면을 갖는다.

[0125] 본 발명의 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 제 1 렌즈 그룹에서, 비구면을 갖는 임의의 렌즈는 제 1 물체를 바라보는 렌즈의 일측상에 비구면을 갖는다.

[0126] 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템의 실시예에서 하기의 조건이 충족되는 경우 이점적이다:

수학식 17

$$\frac{L_D}{G_D} > 1.4$$

[0127]

[0128] 여기서,

[0129] G_D 는 상기에서 정의된 바와 같이, 모든 렌즈의 측 두께의 합이다; 그리고[0130] L_D 는 제 1 물체와 제 2 물체 사이의 설계 거리이다.

[0131] 적절한 렌즈 재료 또는 적절한 렌즈 재료들의 선택은 이미징 빔에 사용되고 이에 따른 제 2 물체의 노출을 위한 광의 파장에 주로 따른다. 바람직하기로, 렌즈 재료는 증가된 투과와 같은 상당한 유도 방사(radiation-induced)에 의해 손상되는 경향이 없거나 압축 및 희박(rarefaction)과 같은 현상에 의해 야기된 굴절률에 의해 변화되는 경향도 없으며, 이상적으로는 낮은 복굴절, 즉, 유도된 스트레스와 고유 복굴절 모두를 나타내어야 한다.

[0132] 렌즈 재료(들)의 적절한 선택 및 배치는 프로젝션 광학 시스템에서 색수차의 보정을 하게 하고 이어 따라 어느 정도 프로젝션 광학 시스템의 광학 설계에 놓인 요구들을 경감시킨다.

[0133] 용융 실리카, 특히 합성 용융 실리카는 193nm와 같이 노광용 단파장을 사용하는 프로젝션 노광 시스템에 사용되는 가장 통상적인 재료이다. 용융 실리카 재료를 UV로 인해 유발된 손상의 감수성(susceptibility)은 재료의 화학적 물리적 특성과 상관되며, 차례로, 재료(들)을 제조 및/또는 처리하는 방법과 밀접하게 연결된다. 높은 방사강도에 노출시에, 주어진 재료의 렌즈의 노출영역은 밀도 변화, 특히 고밀화 또는 희박화의 변화를 겪는 것이 발견되었다. 프로젝션 노광 장치에서 렌즈의 노출영역의 밀도 변화는 일반적으로 렌즈의 광학적 성질에 치명적인 영향을 끼치는 것으로 추정될 수 있다. 특히, 파면 왜곡은 조밀화 및 희박화를 나타내며 예컨대 적절한 간섭 방법에 의해 측정되고 판단될 수 있다. 예컨대, 렌즈 재료의 밀도 증가는 재료를 통과하는 물리적 경로를 단축시키지만, 또한 일반적으로 더 큰 정도로 굴절률이 증가되며 변경시키므로, 순효과(net effect)는 광경로의 증가이다. 희박화 현상에 대해서는, 그 반대가 적용된다.

[0134] UV 방사에 투명하고 적어도 지금까지 광학적 성질의 변화와 결부되는 이러한 구조적 변경을 받지 것으로 알려지지 않은 렌즈 재료로는 칼슘 플루오라이드(calcium fluoride)(CaF₂)이다. 따라서, 칼슘 플루오라이드는 일반적으로 사용되는 193nm 및 157nm와 같이 깊은 자외선 파장에 적합한 재료이다. 또한, 다른 알카리토류 플루오라이드 재료는 칼슘 플루오라이드의 특성과 동일한 특성을 갖는 적절한 렌즈 재료이다. 실리카 재료에서 발견된 방사에 의해 유발된 손상으로 인해, 칼슘 플루오라이드는 프로젝션 광학 시스템 및 이에 따른 상응하는 프로젝션 노광 시스템의 수명 연장에 관한 한 선택의 렌즈 재료이다. 그러나, 광학 렌즈에 사용하는데 적합한 칼슘 플루오라이드에 대해, 비쌀 뿐만 아니라 기술적으로도 제조하기가 어려운 단결정의 형태로 있는 것이 요구되므로 이에 따라 발생되는 유한 공급으로 인해 실제 사용이 다소 제한된다.

[0135] 본 발명의 일실시예에서, 모든 렌즈들은 칼슘 플루오라이드로 제조된다. 다른 실시예에서, 모든 렌즈들은 실리카, 특히 용융 실리카로 제조된다.

[0136] 또 다른 실시예에서, 하나 이상의 렌즈 재료들, 특히 결정 재료들이 렌즈 재료로서 사용될 수 있다. 이들 실시예에서, 렌즈 재료/결정 재료들은 칼슘 플루오라이드, 바륨(barium) 플루오라이드 및 다른 적절한 플루오라이드와 같은 플루오라이드 재료를 포함할 수 있다.

[0137] 본 발명의 프로젝션 광학 시스템의 예시적인 실시예에 따르면, 제 2 물체에 가장 가까이 배치된 4개의 렌즈들 중 하나 이상은 플루오라이드 재료로 제조되며, 광축에 대해 하나 이상의 렌즈들에서 플루오라이드 재료의 결정 방향은 2 이상의 렌즈들에서 동일하다. 예컨대, 모든 4개의 렌즈들은 <110> 플루오라이드 재료로 제조될 수 있으며, 특정하게 선택된 결정격자는 모든 4개의 렌즈들에 대한 광축에 대해 하나의 기정의된 방향으로 배열된다.

[0138] 또 다른 실시예에 따르면, 제 3 렌즈 그룹의 하나 이상의 렌즈들은 프로젝션 광학 시스템의 수명을 연장시키는데 일조하기 위해 플루오라이드 재료로 제조된다.

- [0139] 본 발명의 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 제 2 렌즈그룹 중 하나 이상의 렌즈들이 플루오라이드 재료로 제조된다. 바람직하기로, 상기 제 4 렌즈 그룹의 양의 렌즈들 중 하나가 플루오라이드 재료로 제조된다. 이들 실시예들은 색수차 보정면에서, 특히 격자 색수차의 감소면에서 특히 이점적이다.
- [0140] 칼슘 플루오라이드 또는 또 다른 플루오라이드 재료가 프로젝션 광학 시스템의 하나 이상의 렌즈들에 사용되는 경우, 바람직하게는 상기 렌즈에 사용되는 플루오라이드의 직경, 두께, 및 결정방향은 고유의 복굴절로 인해 콘트라스트 손실이 0.5% 미만이도록 선택된다.
- [0141] 본 발명의 예시적인 실시예에 사용되는 개구 조리개가 조절될 수 있는 것이 바람직하다. 프로젝션 광학 시스템의 매우 컴팩트한 설계를 가능하게 하기 위해, 본 발명의 예시적인 실시예는 개구 조리개에 의해 형성된 개구의 축 위치가 개구의 크기에 따라 가변되는 조절가능한 개구 조리개를 가지며, 상기 개구의 축 위치는 개구에 의해 형성된 면, 즉, 개구를 포함하는 면과 광축의 교차점에 의해 정의된다.
- [0142] 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 조절가능한 개구 조리개는 기본적으로 평면 형태를 갖는 박판을 구비한다. 대안으로, 조절가능한 개구 조리개는 기본적으로 모두가 동일한 구형을 갖는 박판을 구비할 수 있다. 이러한 개구의 예가 동일 양수인명의 2000년 10월 4일자로 출원된 US 6,445,510에 기술되어 있으며, 상기 참조문헌의 전체 내용이 본 명세서에서 참조로 합체되어 있다. 개구의 축 위치가 개구의 크기에 따라 변하는 개구들이 함께 매우 가까이 배치되어 있는 개구 전면의 렌즈 및 (제 1 물체에서 제 2 물체로의 방향으로 진행하는 광의 방향으로) 개구 뒤의 렌즈가 이들 두 렌즈들 사이의 필수 간격을 줄이게 할 수 있도록 이점적으로 사용된다. 이 능력은 개구 조리개에 바로 인접한 렌즈들 사이의 큰 간격에 대한 이전의 요건이 더 이상 주어지지 않기 때문에 프로젝션 광학 시스템의 설계 가능성을 더 야기한다.
- [0143] 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템은 일반적으로 제 2 물체의 일측상에 프로젝션 광학 시스템의 큰 개구수를 가지며, 예시적인 실시예에서 개구수는 0.91 보다 크다.
- [0144] 본 발명의 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, 제 4 렌즈 그룹은 적어도 한 쌍의 바로 인접한 렌즈들을 구비하고, 상기 한 쌍의 렌즈들 중 제 1 렌즈는 제 1 및 제 2 면을 가지고, 상기 한 쌍의 렌즈들 중 제 2 렌즈는 제 3 및 제 4 면을 가지며, 상기 제 1, 제 2, 제 3 및 제 4 면은 이 순서대로 광축을 따라 배치되고, 하기의 조건이 충족된다:

수학식 18

$$d < V_5$$

$$\left| \frac{c_{51} + c_{52}}{c_{51} - c_{52}} \right| > V_6$$

$$c_{51} > V_7$$

- [0145] 여기서,
- [0146] d 는 제 2 면 및 제 3 면 사이의 최대 거리이다;
- [0147] c_{51} 은 제 1 면의 곡률이다;
- [0148] c_{52} 는 제 4 면의 곡률이다; 그리고
- [0149] $V_5 = 15\text{mm}$, $V_6 = 10$, $V_7 = 0.003\text{mm}^{-1}$ 이다.
- [0150] 또 다른 예시적인 실시예에 따르면, $V_5 = 10\text{mm}$, $V_6 = 15$ 및/또는 $V_7 = 0.004\text{mm}^{-1}$ 이다.
- [0151] 이들 실시예에서, 제 1 면 및 제 4 면, 즉, 2개의 다른 렌즈들의 두 면은, 실질적으로 반월형 렌즈, 특히 반월형 렌즈의 광학면을 형성한다. 이 배열은 컴팩트한 설계, 즉, 제 1 및 제 2 물체 사이의 짧은 설계 거리와 프로젝션 광학 시스템에 포함된 렌즈들의 비교적 작은 최대 직경들의 프로젝션 광학 시스템의 이미징 특성에 이점적

인 것으로 증명되었다.

- [0153] 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템은 컴팩트한 설계, 특히 제 1 및 제 2 물체 사이의 짧은 설계 거리와 렌즈들의 비교적 작은 최대 직경들 뿐만 아니라 낮은 색수차의 구현을 가능하게 한다.
- [0154] 본 발명의 또 다른 태양에 따르면, 250nm 보다 짧은 파장을 갖는 광의 광빔을 발생하는 조명 광학 시스템, 제 1 물체로서 패터닝 구조를 장착하기 위한 마운트, 제 2 물체로서 방사감지기판을 장착하기 위한 기판 마운트, 및 상술한 바와 같이 제 1 물체를 제 2 물체의 영역에 이미징하기 위한 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템을 구비하는 프로젝션 노광 시스템이 제공된다.
- [0155] 본 발명의 또 다른 태양에 따르면, 250nm 보다 짧은 파장을 갖는 광의 광빔을 발생하는 조명 광학 시스템, 제 1 물체로서 패터닝 구조를 장착하기 위한 마운트, 제 2 물체로서 방사감지기판을 장착하기 위한 기판 마운트, 및 상술한 바와 같이 제 1 물체를 제 2 물체의 영역에 이미징하기 위한 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템을 구비하는 프로젝션 노광 시스템을 사용하는 단계, 및 250nm 보다 짧은 파장을 갖는 광의 광빔으로 상기 방사감지기판상에 상기 패터닝 구조를 이미징하는 단계를 포함하는 미세구조 장치 제조방법이 제공된다.
- [0156] 본 발명의 또 다른 태양은 상기 방법에 의해 제조된 미세구조 장치에 관한 것이다.

발명의 효과

- [0157] 본 발명에 의하면, 큰 개구수와 양호한 이미징 성능을 갖는 프로젝션 광학 시스템을 얻을 수 있다.
- [0158] 또한, 본 발명에 의하면, 컴팩트한 설계를 가지며, 특히, 대물면(또는 제 1 물체)과 이미지면(또는 제 2 물체) 사이의 짧은 거리 및/또는 비교적 작은 직경 및/또는 비교적 작은 질량의 렌즈재료를 갖는 한편 양호한 이미징 성능을 제공하는 프로젝션 광학 시스템을 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0159] 도 1a는 렌즈의 비구면의 반경방향 면 프로파일의 개략도이다.
도 1b는 렌즈의 두 면상의 입사 및 편향 각도의 예이다.
도 2는 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템의 제 1 실시예의 광경로도이다.
도 3은 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템의 제 2 실시예의 광경로도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0160] 하기에서, 본 발명의 실시예들은 도면을 참조로 더 상세히 설명된다.
- [0161] 도 1a는 대응하는 최적의 조정구(2)를 사용하여 맞추어지는 비구면(1)의 반경방향 면 프로파일의 개략도를 도시한 것이다. 점(3)은 비구면의 중심을 나타내고 점(4)은 비구면의 주변을 나타낸다. 점(5)은 비구면 렌즈의 곡률 변곡점을 나타낸다. 도시된 비구면은 회전 대칭이기 때문에, 본 명세서에 사용된 용어에서 비구면은 한 변곡점만을 갖는 것으로 간주되도록 변곡점(5)은 비구면을 가로질러 원으로 확장된다. Δ 는 최적의 조정구로부터의 이탈, 즉, 비구면과 이에 맞추어지는 이상적인 구 사이의 축거리를 나타낸다.
- [0162] 도 1b는 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템의 실시예의 렌즈의 인용을 도시한 것으로,
- [0163] 렌즈 바깥의 제 1 면에서 이미징 빔과 광축 사이에 형성된 최대 각도로서 u_{1i} ;
- [0164] 렌즈 안쪽의 제 2 면에서 이미징 빔과 광축 사이에 형성된 최대 각도로서 u_{2i} ;
- [0165] 렌즈 안쪽의 제 1 면에서 이미징 빔과 광축 사이에 형성된 최대 각도로서 u_{1o} ; 및
- [0166] 렌즈 바깥의 제 2 면에서 이미징 빔과 광축 사이에 형성된 최대 각도로서 u_{2o} 가 예시 용도로 표시되어 있다.
- [0167] 도 2에서, 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템의 제 1 실시예의 광경로도가 도시되어 있다. 팔호로 표시된 바와 같이, 제 1 렌즈 그룹 LG1은 3개의 렌즈를 포함하고 음의 굴절력을 가지며, 제 2 렌즈 그룹 LG2는 4개의 렌즈를 포함하고 양의 굴절력을 가지며, 제 3 렌즈 그룹 LG3는 5개의 렌즈를 포함하고 음의 굴절력을 가지며, 제 4 렌즈 그룹 LG4의 제 1 서브그룹 SG₄₁은 7개의 렌즈를 포함하고 양의 굴절력을 갖는다. 전체적으로, 프로젝션

광학 시스템은 26개의 렌즈를 포함한다. 제 4 렌즈 그룹 LG4은 또한 제 1 및 제 2 서브그룹 사이에 개구 조리개를 포함한다.

[0168] 렌즈의 두께, 렌즈 재료, 광학면의 반경 및 렌즈의 직경과 같은 렌즈 파라미터에 대한 상세한 정보가 표 1에 열거되어 있다. 또한, 프로젝션 광학 시스템에서 비구면들의 위치 표시와 이들의 파라미터들이 표 1에 주어져 있다. 비구면은 하기의 식을 특징으로 할 수 있다:

수학식 19

$$p(h) = \frac{\frac{h^2}{r}}{1 + \sqrt{1 - (1 + K) \frac{h^2}{r^2}}} + C1 \cdot h^4 + C2 \cdot h^6 + \dots$$

[0169] 여기서,

[0171] r 은 비구면의 정점에서의 곡률(근축 곡률(paraxial curvature)) 반경이다;

[0172] h 는 광축으로부터 비구면상의 한 점의 거리(또는 광축으로부터 비구면의 높이)이다;

[0173] $p(h)$ 는 축방향으로 면의 처짐, 즉, 접평면에서 비구면의 정점까지의 광축 방향을 따른 거리이다;

[0174] K 는 원뿔 계수이다; 그리고

[0175] $C1 \dots C6$ 는 비구면 계수이다.

[0176] 표 1로부터 명백한 바와 같이, 프로젝션 광학 시스템(10)의 제 1 실시예는 모두가 전반적으로 오목한 렌즈면상에 배치되는 10개의 비구면들을 포함한다. 제 1 실시예의 프로젝션 광학 시스템은 193nm를 갖는 이미징 범용으로 설계된 것이다.

표 1

면	반경	두께	렌즈 재료	직경
0	0.000	32.000		112.16
1	0.000	0.798		128.31
2	1031.476	10.000	'SiO ₂ HL'	130.89
3	275.197	10.624		133.40
4	-1229.209	10.000	'SiO ₂ HL'	134.92
5	283.300	40.275		141.17
6	-103.631	70.049	'SiO ₂ HL'	143.47
7	-183.668	1.000		220.25
8	-11585.541	27.459	'SiO ₂ HL'	260.83
9	-473.064	1.000		266.76
10	677.737	51.525	'SiO ₂ HL'	292.01
11	-420.149	1.000		294.30
12	299.116	48.633	'SiO ₂ HL'	293.24
13	-8515.515	1.000		289.64
14	165.992	36.044	'SiO ₂ HL'	250.25
15	274.140	11.842		239.88
16	351.874	66.976	'SiO ₂ HL'	236.90
17	113.149	27.726		157.71
18	159.540	25.025	'SiO ₂ HL'	149.32

19	1008.355	21.895		142.58
20	-152.924	10.000	'SiO ₂ HL'	139.65
21	155.990	40.933		131.75
22	-100.703	10.000	'SiO ₂ HL'	132.11
23	2203.235	14.695		156.09
24	-297.997	10.000	'SiO ₂ HL'	159.08
25	630.640	6.141		185.24
26	1026.503	32.293	'SiO ₂ HL'	195.25
27	-289.676	1.000		204.47
28	-446.572	45.387	'SiO ₂ HL'	209.56
29	-141.103	1.000		218.42
30	1251.841	11.400	'SiO ₂ HL'	239.86
31	278.497	19.855		245.36
32	696.209	11.400	'SiO ₂ HL'	247.88
33	473.704	1.000		256.80
34	330.852	35.966	'SiO ₂ HL' ''	271.36
35	4411.497	1.000		274.35
36	597.458	70.550	'SiO ₂ HL'	283.42
37	-250.280	10.735		284.92
38	-211.754	11.400	'SiO ₂ HL'	283.44
39	-367.920	1.022		292.91
40	0.000	10.000	'SiO ₂ HL'	291.79
41	0.000	-6.209		292.85
ST0	0.000	7.653		291.65
43	336.127	77.330	'SiO ₂ HL'	300.00
44	-352.638	21.376		297.91
45	-240.225	12.078	'SiO ₂ HL'	295.04
46	-771.704	1.000		299.02
47	2064.728	45.378	'SiO ₂ HL'	297.01
48	-368.429	1.000		295.99
49	128.930	44.704	'SiO ₂ HL'	221.85
50	222.899	1.000		208.75
51	142.963	65.247	'SiO ₂ HL'	191.87
52	1352.559	1.704		139.24
53	547.791	28.608	'SiO ₂ HL'	128.60
54	784.739	2.695		85.44
55	0.000	8.000	'SiO ₂ HL'	76.26
56	0.000	6.000		64.01
57	0.000	0.000		28.04

[0178] 표 1 (계속)

[0179] 비구면

[0180] 면 2

[0181] K: 0.000000

[0182] A: 0.179210E-06 B:-.183601E-10 C: 0.166069E-14

[0183] D: -.294001E-18 E: 0.883907E-22 F:-.163553E-25

[0184] G: 0.125411E-29 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

[0185] 면 4

[0186] K: 0.000000

[0187] A: 0.766695E-07 B: 0.781019E-11 C: -.117892E-14

[0188] D: 0.172623E-18 E: -.547425E-22 F: 0.100176E-25

[0189] G: -.755382E-30 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

[0190] 면 15

[0191] K: 0.000000

[0192] A: 0.136312E-07 B: -.992470E-13 C: -.345322E-17

[0193] D: 0.206018E-21 E: -.443982E-25 F: 0.210515E-29

[0194] G: -.746796E-34 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

[0195] 면 21

[0196] K: 0.000000

[0197] A: -.225645E-07 B: -.505339E-11 C: -.133289E-15

[0198] D: 0.366375E-19 E: -.737639E-23 F: 0.159483E-26

[0199] G: -.149942E-30 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

[0200] 면 28

[0201] K: 0.000000

[0202] A: -.304506E-07 B: 0.297866E-12 C: 0.296080E-16

[0203] D: -.224605E-20 E: 0.320081E-24 F: -.176893E-28

[0204] G: 0.398957E-33 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

[0205] 면 33

[0206] K: 0.000000

[0207] A: 0.893991E-08 B: -.381137E-13 C: -.103082E-18

[0208] D: -.345423E-22 E: -.117217E-25 F: 0.129547E-29

[0209] G: -.287147E-34 H: -.311364E-39 J: 0.000000E+00

[0210] 면 38

[0211] K: 0.000000

[0212] A: 0.346098E-08 B: 0.239948E-13 C: 0.837128E-18

[0213] D: -.842934E-22 E: 0.107693E-25 F: -.727735E-30

[0214] G: 0.394912E-34 H: -.105875E-38 J: 0.000000E+00

[0215] 면 45

[0216] K: 0.000000

[0217] A: -.240529E-09 B: -.193202E-12 C: 0.332296E-17

[0218] D: 0.154348E-21 E: -.251137E-25 F: 0.174127E-29

[0219] G: -.574851E-34 H: 0.814458E-39 J: 0.000000E+00

[0220] 면 50

[0221] K: 0.000000 KC: 100

[0222] A: 0.664683E-08 B: 0.803136E-12 C: -.257217E-16

[0223] D: 0.827303E-20 E: -.204820E-23 F: 0.261228E-27

[0224] G: -.194941E-31 H: 0.632538E-36 J: 0.000000E+00

[0225] 면 52

[0226] K: 0.000000

[0227] A: 0.273186E-07 B: 0.812461E-11 C: -.105427E-14

[0228] D: 0.485865E-19 E: 0.267241E-22 F: -.580414E-26

[0229] G: 0.370026E-30 H: -.782824E-35 J: 0.000000E+00

[0230] 도 2로부터 명백한 바와 같이, 제 1 렌즈 그룹은 한 반월형 렌즈는 제 2 물체를 바로보는 오목면을 가지며, 다른 반월형 렌즈는 제 1 물체 방향으로 바라보는 오목면을 갖는 2개의 반월형 렌즈를 포함한다. 제 1 렌즈 그룹은 다소 큰 음의 굴절력을 가지고, 이미징 빔 다발의 강한 발산을 달성하기 위해 3개의 렌즈만을 필요로 한다.

[0231] 웨이스트는 제 3 렌즈 그룹 LG3에 의해 형성되며, 상기 웨이스트는 페츠발(Petzval) 보정을 필요로 한다. 제 3 렌즈 그룹 LG3은 이미징 빔에 대한 강한 발산을 부여한다. 제 1 렌즈 배열("용기부")은 제 1 그룹 LG1 및 제 2 렌즈 그룹 LG2에 의해 형성되고, 제 2 렌즈 배열("용기부")은 제 4 그룹 LG4에 의해 형성된다. 제 4 렌즈 그룹의 제 1 서브그룹 SG₄₁의 제 3 및 제 4 렌즈는 모두가 제 2 물체 방향으로 바라보는 오목한 면을 갖는 반월형 렌즈로서 강한 편향각도를 제공한다. 제 4 렌즈 그룹의 제 2 서브 그룹 SG₄₂에서, 광표면(45 및 48), 즉, 제 2 서브그룹의 제 2 렌즈의 제 1 면과 상기 서브그룹의 제 3 렌즈의 제 2 면이 함께 반월형 렌즈를 형성한다. 제 2 렌즈의 제 2 면(46)과 제 3 렌즈의 제 1 면(47)은 매우 근접하여 배치된다.

[0232] 표 2에, 본 발명의 제 1 실시예의 고유 파라미터가 나열되어 있다.

표 2

[0233]

NA	0.95
E [mm]	26.638
$\Phi_m [mm^{-1}]$	2.29e-3
$\Phi_m ?E$	0.061
$\delta_m [^\circ]$	14.73
$\sin(\delta_m) ?E [mm]$	6.77
G _D [mm]	885.5
G _D /E	33.2
dc/ds 최대 [m ⁻²]	574

[0234] 표 1 및 표 2로부터 알 수 있는 바와 같이, 본 발명의 제 1, 제 2, 제 3 및 제 4 태양이 제 1 실시예에서 구현된다.

[0235]

도 3에, 본 발명에 따른 프로젝션 광학 시스템의 제 2 실시예의 광경로도가 도시되어 있다. 괈호로 표시된 바와 같이, 제 1 렌즈 그룹 LG1은 음의 굴절력을 갖는 3개의 렌즈를 포함하고, 제 2 렌즈 그룹 LG2는 양의 굴절력을 갖는 5개의 렌즈를 포함하며, 제 3 렌즈 그룹 LG3는 음의 굴절력을 갖는 3개의 렌즈를 포함하고 프로젝션 광학 시스템의 웨이스트를 형성한다. 제 4 렌즈 그룹 LG4의 제 1 서브그룹 SG₄₁은 4개의 렌즈를 포함하고 제 4 렌즈 그룹 LG4의 제 2 서브그룹 SG₄₂는 8개의 렌즈를 포함하며, 상기 제 4 렌즈 그룹 LG4는 양의 굴절력을 갖는다. 제 4 렌즈 그룹 LG4는 조절가능한 개구 조리개를 더 구비하고, 상기 개구 조리개는 개구의 크기를 변경하는 경우 구형의 측표면상으로 이동될 수 있는 박판을 구비한다. 따라서, 조절동안 광축의 소정 위치에 고정되는 개구를 형성하기 보다는, 개구의 크기를 줄일 때 상기 박판이 구표면을 따르는 광경로로 이동되도록 상기 개구조리개의 박판이 형성되고 배열되는 조절가능한 개구 조리개가 형성된다. 따라서, 제 1 서브그룹 SG₄₁의 마지막 렌즈와 제 2 서브그룹 SG₄₂의 첫번째 렌즈가 서로 근접하여 배치될 수 있다. 제 3 렌즈 그룹 LG3의 마지막 렌즈와

제 1 서브그룹 SG₄₁의 첫번째 렌즈는 제 1 이중렌즈를 형성하고, 제 1 서브그룹 SG₄₁의 두번째와 세번째 렌즈는 제 2 이중렌즈를 형성한다. 렌즈표면(27)은 제 2 물체의 방향에 대해 오목한 면이고, 상기 면에서 이미징 빔은 입사 및 편향각도가 다소 커지게 된다. 이 렌즈표면은, 특히, 프로젝션 광학 시스템의 코마(coma) 및 구면수차에 대해 강한 보정효과를 갖는다. 제 1 서브그룹 SG₄₁의 마지막 렌즈면(31)과 제 2 서브그룹 SG₄₂의 첫번째 렌즈의 렌즈면(34)이 함께 반월형 렌즈를 형성한다. 제 1 서브그룹의 마지막 렌즈는 또한 이미징 빔에 부여되는 큰 편향/입사각도로 인해 중요하게 된다. 제 2 서브그룹 SG₄₂의 첫번째 렌즈와 두번째 렌즈 사이에, 공기렌즈가 형성된다. 제 2 서브그룹 SG₄₂의 두번째 렌즈는 큰 양의 굴절력을 갖는다.

[0236] 렌즈의 두께, 렌즈 재료, 광표면의 반경 및 렌즈의 직경과 같은 렌즈 파라미터들에 대한 상세 정보가 표 3에 열거되어 있다. 또한, 프로젝션 광학 시스템에서 비구면의 위치 표시와 이들의 파라미터가 표 3에 주어져 있다. 표 3으로부터 명백한 바와 같이, 프로젝션 광학 시스템(10)의 제 2 실시예는 모두가 전반적으로 오목한 렌즈면에 배치되는 비구면(10)을 포함한다.

[0237] 표 4에서는, 본 발명의 제 2 실시예의 특성 파라미터들이 열거되어 있다.

표 3

면	반경	두께	렌즈 재료	직경
0	0.000	32.000	'AIRV193'	112.16
1	0.000	0.000	'AIRV193'	127.77
2	57573.384	8.000	'SiO ₂ V'	128.94
3	243.811	13.262	'N2VP950'	132.25
4	-1090.143	9.354	'SiO ₂ V'	134.84
5	466.146	37.485	'N2VP950'	141.26
6	-105.489	75.000	'SiO ₂ V'	144.45
7	-148.914	0.700	'N2VP950'	214.83
8	-934.567	36.244	'SiO ₂ V'	247.24
9	-274.035	0.700	'N2VP950'	254.54
10	1877.003	35.146	'SiO ₂ V'	267.24
11	-433.158	0.700	'N2VP950'	268.74
12	340.474	28.340	'SiO ₂ V'	263.65
13	1177.958	0.700	'N2VP950'	260.39
14	180.585	34.561	'SiO ₂ V'	242.61
15	206.758	0.700	'N2VP950'	224.36
16	155.939	75.000	'SiO ₂ V'	216.75
17	281.771	15.027	'N2VP950'	171.22
18	15953.616	8.000	'SiO ₂ V'	166.15
19	98.432	77.068	'N2VP950'	137.11
20	-111.308	8.019	'SiO ₂ V'	128.52
21	-702.509	18.031	'N2VP950'	136.29
22	-138.076	8.362	'SiO ₂ V'	137.45
23	416.972	18.694	'N2VP950'	158.20
24	-11234.170	41.874	'SiO ₂ V'	170.34
25	-150.893	0.700	'N2VP950'	182.81
26	-1297.101	8.000	'SiO ₂ V'	199.72
27	253.311	21.736	'N2VP950'	215.55
28	1068.917	45.071	'SiO ₂ V'	223.06
29	-236.445	0.700	'N2VP950'	231.38
30	244.024	37.656	'SiO ₂ V'	298.50
31	555.375	27.303	'N2VP950'	297.24
32	0.000	-18.174	'N2VP950'	298.02
33	360.544	15.000	'SiO ₂ V'	302.13

34	221.881	36.472	'N2VP950'	295.96
35	488.301	77.125	'SiO ₂ V'	299.83
36	-279.915	0.700	'N2VP950'	303.00
37	187.876	53.225	'SiO ₂ V'	285.84
38	489.307	0.700	'N2VP950'	278.37
39	163.275	44.194	'SiO ₂ V'	246.77
40	325.398	0.700	'N2VP950'	232.49
41	140.866	60.717	'SiO ₂ V'	200.93
42	235.724	2.997	'N2VP950'	146.44
43	232.815	16.671	'SiO ₂ V'	142.60
44	582.777	6.772	'N2VP950'	127.85
45	375.408	11.293	'SiO ₂ V'	100.07
46	687.655	3.099	'N2VP950'	84.48
47	0.000	9.375	'SiO ₂ V'	73.36
48	0.000	5.000	'AIRV193'	58.93
49	0.000	0.000		28.04

[0239] 표 3 (계속)

[0240] 비) 구면

[0241] 면 2

[0242] K: 0.000000 KC: 100

[0243] A: 0.218716E-06 B: -.248776E-10 C: 0.185358E-14

[0244] D: -.161759E-18 E: 0.192307E-23 F: 0.547379E-28

[0245] G: 0.000000E+00 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

[0246] 면 4

[0247] K: 0.000000 KC: 100

[0248] A: 0.290942E-07 B: 0.126121E-10 C: -.105557E-14

[0249] D: 0.362305E-19 E: 0.842431E-23 F: -.416292E-27

[0250] G: 0.000000E+00 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

[0251] 면 8

[0252] K: 0.000000 KC : 100

[0253] A: -.150691E-08 B: 0.212074E-12 C: 0.518282E-17

[0254] D: 0.216329E-22 E: -.516324E-26 F: 0.333908E-31

[0255] G: 0.000000E+00 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

[0256] 면 17

[0257] K: 0.000000 KC: 100

[0258] A: -.377475E-07 B: 0.114027E-11 C: 0.292881E-16

[0259] D: -.547743E-20 E: 0.158504E-24 F: 0.734629E-29

[0260] G: 0.000000E+00 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

[0261] 면 21

[0262] K: 0.000000 KC: 100

[0263] A: -.113618E-08 B: -.309117E-11 C: -.571100E-15

[0264] D: 0.250974E-19 E: 0.271018E-23 F: -.232236E-27

[0265] G: 0.000000E+00 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

[0266] 면 24

[0267] K: 0.000000 KC: 100

[0268] A: -.626858E-07 B: 0.319357E-11 C: -.159658E-15

[0269] D: 0.992952E-20 E: -.419849E-24 F: 0.152526E-28

[0270] G: 0.000000E+00 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

[0271] 면 31

[0272] K: 0.000000 KC: 100

[0273] A: 0.459357E-08 B: -.505347E-13 C: 0.210154E-17

[0274] D: -.360092E-22 E: 0.512127E-27 F: -.669880E-32

[0275] G: 0.000000E+00 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

[0276] 면 38

[0277] K: 0.000000 KC: 100

[0278] A: 0.667497E-09 B: 0.231564E-12 C: -.696885E-17

[0279] D: 0.193993E-21 E: 0.451888E-27 F: -.167538E-31

[0280] G: 0.000000E+00 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

[0281] 면 40

[0282] K: 0.000000 KC: 100

[0283] A: 0.184307E-08 B: 0.428901E-12 C: 0.159451E-16

[0284] D: -.141858E-20 E: 0.396624E-25 F: -.208535E-30

[0285] G: 0.000000E+00 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

[0286] 면 42

[0287] K: 0.000000 KC: 100

[0288] A: 0.131959E-07 B: 0.540208E-11 C: -.186730E-15

[0289] D: -.295225E-21 E: 0.112720E-23 F: -.134832E-27

[0290] G: 0.000000E+00 H: 0.000000E+00 J: 0.000000E+00

표 4

[0291]

NA	0.95
E [mm]	26.638
$\Phi_m [mm^{-1}]$	2.23e-3
$\Phi_m ?E$	0.059
$\delta_m [^\circ]$	12.32
$\sin(\delta_m)?E [mm]$	5.68
$G_D [mm]$	746.2
G_D /E	28
$dc/ds_{최대} [m^{-2}]$	502

[0292] 표 3 및 표 4로부터 알 수 있는 바와 같이, 본 발명의 제 1, 제 2, 제 3 및 제 4 태양이 제 2 실시예에서 구현된다.

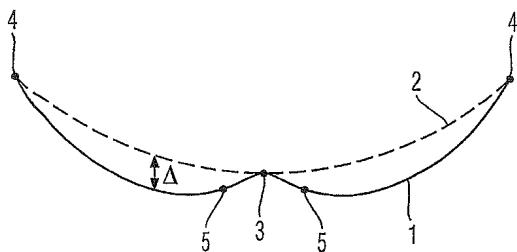
[0293] 본 발명은 소정의 특정 실시예들에 대해 또한 설명하였으나, 많은 대안, 변형 및 변경들이 당업자에게 자명함이 명백하다. 따라서, 본 명세서에 나타낸 본 발명의 예시적인 실시예들은 예시적인 것으로 어떤 식으로도 제한하려는 것은 아니다. 다양한 변형들도 특허청구범위에 정의된 바와 같이 본 발명의 기술사상 및 범위로부터 벗어남이 없이 만들어질 수 있다.

부호의 설명

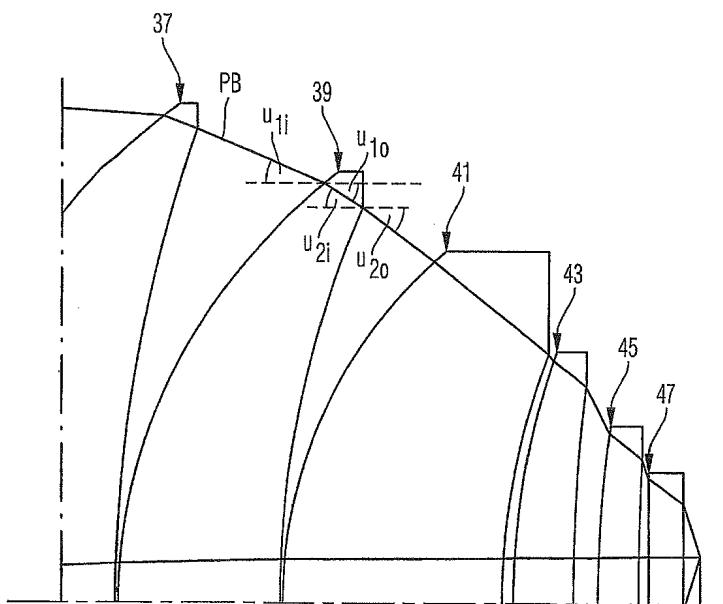
[0294] 1 : 비구면	2 : 조정구
5 : 변곡점	10 : 프로젝션 광학 시스템

도면

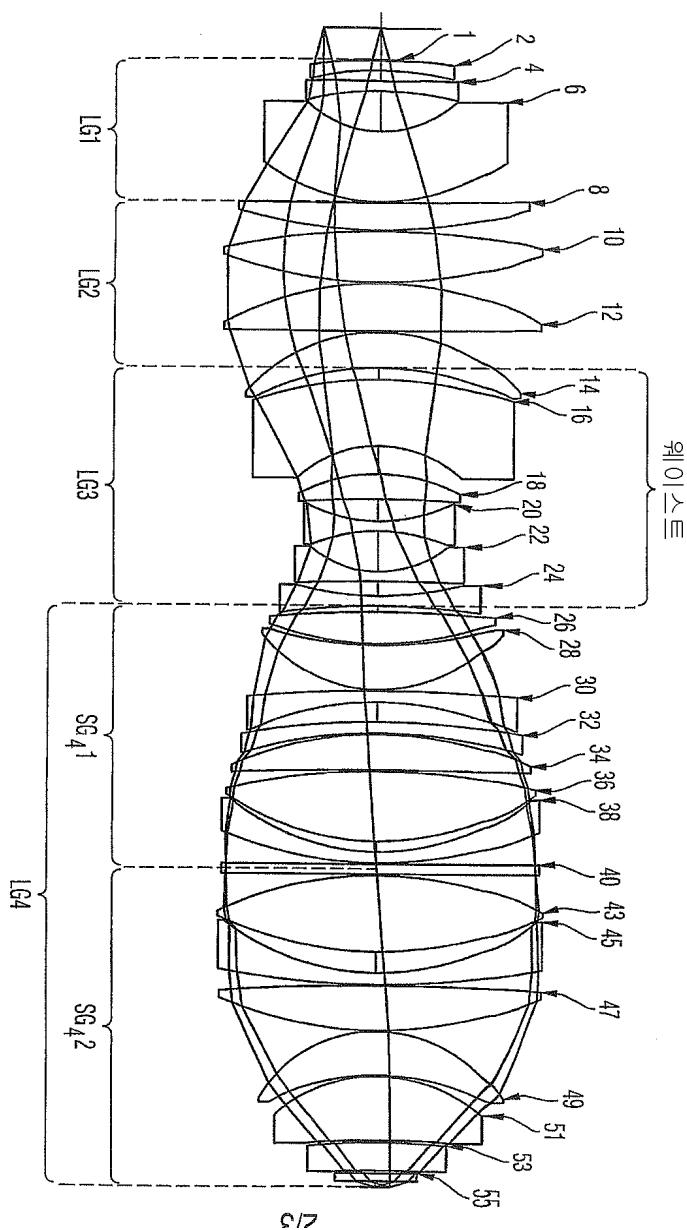
도면 1a



도면 1b



도면2



도면3

