(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0025723
(43) 공개일자 2025년02월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 7/00 (2006.01) *G02B 17/06* (2006.01)
G02B 27/00 (2020.01) *G02B 5/08* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G03F 7/70233 (2023.05)
G02B 17/0647 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2025-7001913
(22) 출원일자(국제) 2023년06월06일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2025년01월20일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2023/065084
(87) 국제공개번호 WO 2023/247170
국제공개일자 2023년12월28일
(30) 우선권주장
10 2022 206 112.8 2022년06월20일 독일(DE)

(71) 출원인
칼 짜이스 에스엠티 게엠베하
독일 오버코헨 73447 루돌프-에버-슈트라쎄 2
(72) 발명자
브렘, 미하엘
독일 오버코헨 73447 루돌프-에버-슈트라쎄 2
베터, 수잔느
독일 오버코헨 73447 루돌프-에버-슈트라쎄 2
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
(유)한양특허법인

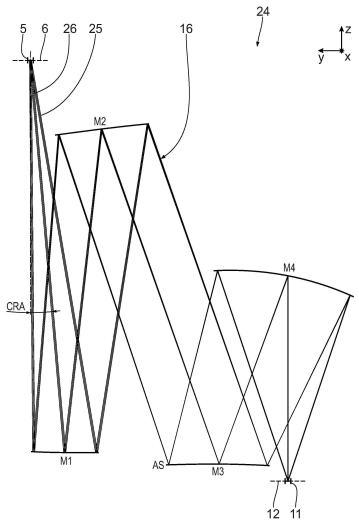
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **오브젝트 필드를 이미지 필드로 이미징하기 위한 이미징 EUV 광학 유닛**

(57) 요 약

이미징 EUV 광학 유닛(24)은 오브젝트 필드(5)를 이미지 필드(11)로 이미징하는 역할을 한다. EUV 광학 유닛(24)은 오브젝트 필드(5)로부터 이미지 필드(11)를 향하여 이미징 빔 경로를 따라 30nm보다 짧은 파장의 EUV 이미징 광(16)을 안내하기 위한 복수의 미러들(M1 내지 M4)을 갖는다. EUV 광학 유닛(24)은 4개의 NI 미러들(M1 내지 M4)을 갖는다. NI 미러들(M 내지 M4)의 전체 전달률은 10% 초과이다. 미러들(M1 내지 M4)은 직선 편광된 EUV 이미징 광(16)이 사용될 때 이미징 빔 경로를 따라 10° 이하의 전체 편광 회전을 초래한다. 이는 이미징 품질에 대한 엄격한 요건들을 준수하면서, 증가된 EUV 처리량을 갖는 이미징 EUV 광학 유닛을 생성한다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
G02B 27/0012 (2013.01)
G02B 5/0891 (2013.01)
(72) 발명자
멘케, 크리스토프
독일 오버코헨 73447 칼-짜이스-슈트라쎄 22
프레토리우스, 마르코
독일 오버코헨 73447 칼-짜이스-슈트라쎄 22

명 세 서

청구범위

청구항 1

오브젝트 필드(5)를 이미지 필드(11)로 이미징하기 위한 이미징 EUV 광학 유닛(10; 24; 27; 28; 29; 32; 33; 35; 36)으로서,

- 상기 오브젝트 필드(5)로부터 상기 이미지 필드(11)를 향하여 이미징 빔 경로를 따라 30nm보다 짧은 파장의 EUV 이미징 광(16)을 안내하기 위한 복수의 미러들(M1 내지 M4; M1 내지 M7, M1 내지 M6, M1 내지 M8)을 갖되,

- 여기서 상기 이미징 EUV 광학 유닛(10; 24; 27; 28; 29; 32; 33; 35; 36)은 적어도 3개의 NI 미러들(M1 내지 M4; M1, M6, M7; M1, M5, M6; M1, M7, M8)을 포함하고,

- 상기 NI 미러들(M1 내지 M4; M1 내지 M7, M 1 내지 M6, M1 내지 M8)의 전체 전달률(overall transmission)이 10%를 초과하되,

- 여기서 상기 미러들(M1 내지 M4) 전체가, 직선 편광된 EUV 이미징 광(16)이 사용될 때 상기 이미징 빔 경로를 따라 10° 이하의 전체 편광 회전을 초래하는, 이미징 EUV 광학 유닛.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

정확히 4개의 NI 미러들(M1 내지 M4)을 특징으로 하는 이미징 EUV 광학 유닛.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 이미징 EUV 광학 유닛(10; 24; 27; 28; 29; 32; 33; 35; 36)이 독점적으로 NI 미러들(M1 내지 M4)을 포함하는 것을 특징으로 하는 이미징 EUV 광학 유닛.

청구항 4

청구항 2 또는 청구항 3에 있어서,

상기 이미징 빔 경로에서의 상기 오브젝트 필드(5)의 제 1 이미징이 상기 이미지 필드(11)에서 발생하는 것을 특징으로 하는 이미징 EUV 광학 유닛.

청구항 5

청구항 1 내지 청구항 4 중 어느 한 항에 있어서,

상기 미러들(M1 내지 M4; M1 내지 M6/M7/M8) 중 적어도 하나는 안장 형상(saddle-shaped)의 반사 표면을 갖는 것을 특징으로 하는 이미징 EUV 광학 유닛.

청구항 6

청구항 1 내지 청구항 5 중 어느 한 항에 있어서,

상기 미러들(M2; M1; M1, M2; M2, M3) 중 적어도 하나는, 제 1 반사 표면 치수(x)를 따르는 더 큰 표면 범위와, 상기 제 1 반사 표면 치수(x)에 수직인 제 2 반사 치수(y)를 따르는 더 작은 표면 범위 사이의 애스펙트 비(x/y)가 1.5보다 큰 반사 표면을 갖는 것을 특징으로 하는 이미징 EUV 광학 유닛.

청구항 7

청구항 1 내지 청구항 6 중 어느 한 항에 있어서,

링 필드 형상의 이미지 필드(11)를 특징으로 하는 이미징 EUV 광학 유닛.

청구항 8

청구항 1 내지 청구항 7 중 어느 한 항에 있어서,

- 각각의 경우, 상기 이미징 빔 경로에서의 오브젝트 필드(5)와 첫 번째 미러(M1) 사이의,

- 각각의 경우, 2개의 연속한 미러들(M2, M3; M4, M5) 사이의 또는

- 상기 이미징 빔 경로에서의 마지막 미러(M6)와 상기 이미지 필드(11) 사이의 -

2개의 이미징 빔 경로 부분들이,

교차 영역(34; 37)에서 교차하는 것을 특징으로 하는 이미징 EUV 광학 유닛.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

교차하는 상기 2개의 이미징 빔 경로 부분들은,

- 상기 이미징 빔 경로에서의 상기 오브젝트 필드(5)와 첫 번째 미러(M1) 사이의 이미징 빔 경로 부분, 및

- 상기 이미징 빔 경로에서의 두 번째 미러(M2)와 상기 이미징 빔 경로에서의 세 번째 미러(M3) 사이의 이미징 빔 경로 부분

인 것을 특징으로 하는 이미징 EUV 광학 유닛.

청구항 10

청구항 1 내지 청구항 9 중 어느 한 항에 있어서,

상기 오브젝트 필드(5) 상류의 상기 이미징 빔 경로에 배열된 입사 동공(entrance pupil)을 특징으로 하는 이미징 EUV 광학 유닛.

청구항 11

청구항 1 내지 청구항 10 중 어느 한 항에 있어서,

상기 미러들(M3, M4) 중 적어도 하나는 상기 이미징 빔 경로의 통과를 위한 통과 개구(30, 31)를 갖는 것을 특징으로 하는 이미징 EUV 광학 유닛.

청구항 12

광학 시스템으로서,

- 오브젝트 필드(5)를 이미징 광(16)으로 조명하기 위한 조명 광학 유닛(4)을 갖고,

- 청구항 1 내지 청구항 11 중 어느 한 항에 기재된 이미징 EUV 광학 유닛(10; 24; 27; 28; 29; 32; 33; 35; 36)을 갖는, 광학 시스템.

청구항 13

투영 노광 장치로서,

청구항 12에 기재된 광학 시스템을 갖고, EUV 광원(3)을 갖는, 투영 노광 장치.

청구항 14

구조화된 부품을 제조하기 위한 방법으로서,

- 레티클(7) 및 웨이퍼(13)를 제공하는 단계,

- 청구항 13에 기재된 투영 노광 장치를 사용하여 상기 레티클(7) 상의 구조를 상기 웨이퍼(13)의 감광층 상으로 투영하는 단계,

- 상기 웨이퍼(13) 상에 마이크로구조 및/또는 나노구조를 생성하는 단계

를 포함하는, 방법.

청구항 15

청구항 14에 기재된 방법에 따라 제조된, 구조화된 부품.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 출원은 독일 특허 출원 DE 10 2022 206 112.8의 우선권을 주장하며, 그 내용은 본원에 참조로 포함된다.

[0002] 본 발명은 오브젝트 필드를 이미지 필드로 이미징하기 위한 이미징 EUV 광학 유닛에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 이러한 이미징 광학 유닛을 포함하는 광학 시스템, 이러한 광학 시스템을 포함하는 투영 노광 장치, 이러한 투영 노광 장치를 사용하여 마이크로구조화된 또는 나노구조화된 부품을 제조하기 위한 방법, 및 상기 방법에 의해 제조된 마이크로구조화된 또는 나노구조화된 부품에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 서두에 제시된 유형의 이미징 광학 유닛들은 DE 10 2018 214 437 A1, US 8,018,650 B2, WO 2018/043 433 A1, US 6,353,470 B1 및 US 5,291,340으로부터 알려져 있다.

발명의 내용

[0004] 본 발명의 목적은 이미징 품질에 대한 엄격한 요건들을 준수하면서 EUV 처리량이 증가되도록, 서두에 제시된 유형의 이미징 EUV 광학 유닛을 개발하는 것이다.

[0005] 본 발명에 따르면, 이 목적은 청구항 1에 명시된 특징들을 갖는 이미징 EUV 광학 유닛에 의해 달성된다.

[0006] 본 발명에 따르면, 이미징 목적으로 필요로 되는 이미징 빔 경로에서 안내된 다양한 회절 차수의 간섭 범위 내에서 원치 않는 콘트라스트 손실을 초래하지 않으면서, 이미징 EUV 광학 유닛의 10° 이하의 작은 편광 회전이, 직선 편광된 이미징 광의 이미징도 가능하게 한다는 것이 인식되었다. 전체 편광 회전은 10° 미만일 수 있고, 8° 미만일 수 있고, 7° 미만일 수 있고, 6° 미만일 수 있고, 5° 미만일 수 있고, 4.5° 미만일 수도 있다. 더욱 더 작은 전체 편광 회전도 가능하다. 전체 편광 회전은 통상 0.1° 초과이다. 전체 편광 회전은 이미징 EUV 광학 유닛에 있어서의 모든 미러들의 누적 편광 회전 효과를 설명한다.

[0007] EUV 광학 유닛은 3개의 NI 미러들 또는 4개의 NI 미러들을 포함할 수 있다. 원칙적으로, 특히 더 적은 수의 NI 미러들도 가능하다.

[0008] EUV 광학 유닛의 전체 전달률(overall transmission)이 통상 10%보다 현저히 낮음을 개시하는 선행 기술과 비교하면, 10%보다 큰 이미징 EUV 광학 유닛의 전체 전달률은 매우 유의한 개선점을 나타내는데, 그 이유는 절대값이 작은 전체 전달률의 경우, 전체 전달률에서 얻어진 모든 백분율이 이미징 EUV 광학 유닛을 통한 EUV 처리량의 현저한 증가를 의미하기 때문이다. 이는 특히 칩 제조을 위한 투영 노광의 범위 내에서 이미징 EUV 광학 유닛을 사용할 때 결정적인 역할을 한다.

[0009] NI 미러들의 전체 전달률, 즉 이미징 EUV 광학 유닛의 전체 전달률은 11% 초과일 수 있고, 12% 초과일 수 있고, 13% 초과일 수 있고, 14% 초과일 수 있고, 15% 초과일 수 있고, 16% 초과일 수 있고, 17% 초과일 수 있고, 18% 초과일 수 있고, 19% 초과일 수도 있다. 전체 전달률은 통상 30% 미만이다.

[0010] 이미징 EUV 광학 유닛의 이미지-측 개구수는 0.5 미만일 수 있으며, 이는 이미징 수차 보정을 촉진하고, 반사율을 높이기 위해 NI 미러들 상에서의 사용 가능한 작은 입사 각도 또는 작은 입사 각도 대역폭을 증가시킨다. 이미징 EUV 광학 유닛의 미러들 중 적어도 하나는 회전 대칭 축을 사용하여 설명될 수 없는 자유-형태 표면(free-form surface)으로 설계될 수 있다. 복수의 또는 모든 미러들은 또한 이러한 자유-형태 표면들로서 설계될 수 있다.

[0011] 이미징 EUV 광학 유닛은 이미징 빔 경로를 따라 미러들의 시퀀스를 가질 수 있으며, 특히 긴 필드 방향의 평면에서는 애스펙트 비가 1보다 큰 오브젝트 필드가 사용되는 경우, 먼저 수렴 미러를 사용하고, 그 다음으로 발산 미러를 사용하고, 그 후에 다시 수렴 미러를 사용한다.

[0012] 이미징 EUV 광학 유닛의 경우, 오브젝트 평면은 이미지 평면에 대해 평행하게 연장될 수 있다. 대안적으로, 특히 설치 공간 최적화의 이유로 이미지 평면에 대해 오브젝트 평면을 기울일 수 있다.

[0013] 이미징 EUV 광학 유닛에 있어서의 적어도 하나의 미러는 안장 형상(saddle-shaped)의 기본 형태를 가질 수 있다. 또한, 이미징 EUV 광학 유닛에 있어서의 2개, 3개 또는 심지어 그 이상의 미러들이 안장 형상의 기본 형태를 가질 수 있다.

[0014] 이미징 EUV 광학 유닛에 있어서의 이미징 빔 경로의 주광선들과, 오브젝트 필드가 위치되는 오브젝트 필드에 대한 법선 사이의 주광선 각도는 4.5° 와 7° 사이의 범위, 예를 들면 5° 와 6° 사이의 범위일 수 있다.

[0015] 비교적 적은 수의 NI 미러들로 인해, 청구항 2에 따른 이미징 EUV 광학 유닛은 유리하게 높은 전체 전달률을 갖고, 이는 달성해야 할 이미징 품질과 관련한 엄격한 요건들을 충족하는 것도 여전히 가능하다는 것이 밝혀졌다.

[0016] 또한, 청구항 3에 따르면, NI 미러들을 독점적으로 사용하는 경우, 즉 원칙적으로 높은 EUV 반사율을 가질 수 있는 추가적인 GI 미러들이 추가의 이미징 수차 보정을 위해 사용되지 않는 경우에도, EUV 광학 유닛의 이미징 품질과 관련한 상당한 요건들이 충족될 수 있음이 확인되었다.

[0017] 오브젝트 필드와 이미지 필드 사이에 중간 이미지가 없는 청구항 4에 따른 이미징 EUV 광학 유닛의 설계는 관련된 NI 미러들 상에 특히 작은 입사 각도 대역폭을 제공할 수 있다. 이는, 특히 이미징 EUV 광학 유닛의 NI 미러들 상에서의 고반사 코팅들에 대한 요건을 충족하기가 더 쉬워진다.

[0018] 청구항 4에 따른 이미징 EUV 광학 유닛의 작은 편광 회전은 직선 편광된 이미징 광의 이미징을 허용한다.

[0019] 청구항 5에 따른 미러들 중 적어도 하나의 안장 표면 설계, 즉 상호 수직인 반사 표면 단면 평면들에서의 각각의 미러 반사 표면의 상이한 곡률 부호들이 이미징 EUV 광학 유닛의 광학 설계에 특히 적합한 것으로 밝혀졌다.

[0020] 청구항 6에 따른 애스펙트 비는, 이미징되는 필드가, 예를 들면 3 초과일 수 있고, 5 초과일 수 있고, 8 초과일 수 있고, 10 초과일 수도 있는 큰 애스펙트 비를 갖는 경우이어도 이미징 빔 경로를 작은 입사 각도 대역폭으로 안내할 수 있게 한다. 미러 반사 표면의 애스펙트 비는 1.7 초과일 수 있고, 2 초과일 수 있고, 2.5 초과일 수도 있다. 미러 반사 표면의 이 애스펙트 비는 통상 5 미만이다. 상응하는 애스펙트 비는 특히 이미징 EUV 광학 유닛에 있어서의 NI 미러들 중 하나에 적용할 수 있다.

[0021] 청구항 7에 따른 링 필드 형상의 이미지 필드가 잘 보정될 수 있다. 대안적으로, 이미지 필드는 직사각형, 또는 그렇지 않으면 링 필드 형상이 아닌 아치형 방식으로 설계될 수 있다.

[0022] 이미징 EUV 광학 유닛의 실시형태에 따라, 청구항 8에 따른 교차 영역은 NI 미러들 상에서의 작은 입사 각도들의 실현 및/또는 작은 입사 각도 대역폭들의 실현으로 이어질 수 있으며, 이들 각각은 높은 반사율들을 얻기 위한 목적에 유리하다.

[0023] 청구항 9에 따른 설계가 특히 적합한 것으로 밝혀졌다.

[0024] 교차 영역은 또한 이미징 빔 경로에서의 끝에서 세 번째 미러와 끝에서 두 번째 미러 사이의 이미징 빔 경로 부분과, 마지막 미러와 이미지 필드 사이의 이미징 빔 경로 부분 사이에 존재할 수 있다.

[0025] 청구항 10에 따른 오브젝트 필드 상류의 이미징 빔 경로에 있어서의 입사 동공(entrance pupil), 즉 오브젝트 필드와 이미지 필드 사이의 이미징 빔 경로 외측의 입사 동공은, 이 입사 동공의 영역의 상응하는 조명-광학 부품의 배열을 허용하고, 그 결과 이미징 EUV 광학 유닛의 다른 방식으로 접근할 수 없는 입사 동공으로 이미징될 동공에 가깝게 조명-광학 부품을 배치할 필요가 없다. 이는 광 안내 부품 부분들을 절약하고, 따라서 EUV 처리량도 증가시킨다.

[0026] 청구항 11에 따른 통과 개구를 갖는 적어도 하나의 미러는 이미징 EUV 광학 유닛이 차폐 시스템(obscured system)으로서 설계될 수 있게 한다. 이미징 EUV 광학 유닛은 차폐 방식으로 단독으로 설계될 수 있으며, 여기서 미러들 중 정확히 하나가 이미징 빔 경로의 통과를 위한 통과 개구를 갖는다. 대안적으로, 2개의 미러들에도 이러한 통과 개구가 제공될 수 있으며, 특히 이중 차폐된시스템이 그 후에 존재할 수 있다. 이러한 미러 통과 개구들은 각각의 NI 미러들 상에서의 작은 입사 각도들 및/또는 작은 입사 각도 대역폭들을 가진 설계들을 허용한다. 대안적으로, 이미징 EUV 광학 유닛은 또한 비차폐 방식으로 설계될 수 있다.

[0027] 청구항 12에 따른 광학 시스템, 청구항 13에 따른 투영 노광 장치, 청구항 14에 따른 제조 방법 및 청구항 15에 따른 마이크로구조화된 또는 나노구조화된 부품의 이점들은 본 발명에 따른 투영 광학 유닛과 관련하여 위에서

이미 상술한 것들에 상응한다. 투영 노광 장치의 EUV 광원은, 예를 들면 30nm 이하, 25nm 이하, 20nm 이하 또는 13.5nm 이하이고, 13.5nm 미만이고, 10nm 미만이고, 8nm 미만이고, 7nm 미만이고, 6.7nm이거나 6.9nm인 사용 파장이 출현하는 방식으로 구현될 수 있다. 6.7nm 미만, 특히 6nm 정도의 사용 파장도 가능하다.

[0028] 특히, 반도체 부품, 예를 들면 메모리 칩은 투영 노광 장치를 사용하여 제조될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 이하에는 본 발명의 적어도 하나의 예시적인 실시형태가 도면에 기초하여 설명되어 있다. 도면에서:

도 1은 EUV 투영 리소그래피를 위한 투영 노광 장치의 자오선 단면(meridional section)을 개략적으로 나타낸다.

도 2는 도 1에 따른 투영 노광 장치에서 투영 렌즈로서 사용될 수 있는 이미징 EUV 광학 유닛의 일 실시형태를 자오선 단면으로 나타내고, 여기서 3개의 선택된 필드 점들의 주광선들을 위한 이미징 빔 경로, 및 상부 코마 광선(coma ray)과 하부 코마 광선을 위한 이미징 빔 경로가 도시되어 있다.

도 3 내지 도 9는 각각의 경우에 있어서 도 1에 따른 투영 노광 장치에서 투영 렌즈로서 다시 한 번 사용 가능한 이미징 EUV 광학 유닛의 추가 실시형태들을 각각의 경우에 있어서 도 2와 유사한 표현들로 나타낸다.

도 10은 도 9의 보기 방향 X로부터 봤을 때, 도 9에 따른 이미징 EUV 광학 유닛의 평면도를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 다음의 본문에서, 먼저 도 1을 참조하여 마이크로리소그래픽 투영 노광 장치(1)의 필수 부품들을 예로서 설명한다. 투영 노광 장치(1)의 기본 구조 및 및 그것의 부품들에 대한 설명은 여기에 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다.

[0031] 투영 노광 장치(1)의 조명 시스템(2)의 일 실시형태는, 광원 또는 방사선원(3)에 더하여, 오브젝트 평면(6) 내의 오브젝트 필드(5)를 조명하기 위한 조명 광학 유닛(4)을 갖는다. 대안적인 실시형태에 있어서, 광원(3)은 또한 조명 시스템의 나머지 부분과 분리된 모듈로서 제공될 수 있다. 이 경우, 조명 시스템은 광원(3)을 포함하지 않는다.

[0032] 오브젝트 필드(5)에 배열된 레티클(7)이 노광된다. 레티클(7)은 레티클 홀더(8)에 의해 유지된다. 레티클 홀더(8)는 레티클 변위 구동부(9)에 의해, 특히 스캐닝 방향으로 변위 가능하다.

[0033] 설명을 위해 데카르트 xyz-좌표계가 도 1에 나타내어진다. x-방향은 도면의 평면에 대해 수직으로 그리고 도면의 평면 내로 진행한다. y-방향은 수평으로 진행하고 z-방향은 수직으로 진행한다. 스캐닝 방향은 도 1에서 y-방향으로 진행한다. z-방향은 오브젝트 평면(6)에 대해 수직으로 진행한다.

[0034] 투영 노광 장치(1)는 투영 광학 유닛(10)을 포함한다. 투영 광학 유닛(10)은 오브젝트 필드(5)를 이미지 평면(12) 내의 이미지 필드(11)로 이미징하기 위한 이미징 광학 유닛의 역할을 한다. 이미지 평면(12)은 오브젝트 평면(6)에 대해 평행하게 연장된다. 대안적으로, 오브젝트 평면(6)과 이미지 평면(12) 사이가 0° 와는 상이한 각도가 또한 가능하다.

[0035] 레티클(7) 상의 구조는 이미지 평면(12) 내의 이미지 필드(11)의 영역에 배열된 웨이퍼(13)의 감광층 상으로 이미징된다. 웨이퍼(13)는 웨이퍼 홀더(14)에 의해 유지된다. 웨이퍼 홀더(14)는 웨이퍼 변위 구동부(15)에 의해, 특히 y-방향으로 변위 가능하다. 먼저 레티클 변위 구동부(9)에 의한 레티클(7)의 변위와, 그 다음으로 웨이퍼 변위 구동부(15)에 의한 웨이퍼(13)의 변위가 서로 동기화되도록 구현될 수 있다.

[0036] 방사선원(3)은 EUV(극자외선) 방사선원이다. 방사선원(3)은, 특히 이하에서 사용 방사선, 조명 방사선, 조명 광 또는 이미징 광이라고도 하는 EUV 방사선(16)을 방출한다. 특히, 사용 방사선은 5nm와 30nm 사이의 범위의 파장을 갖는다. 방사선원(3)은 플라즈마 소스, 예를 들면 LPP(레이저 생성 플라즈마) 소스 또는 GDPP(가스 방전 생성 플라즈마) 소스일 수 있다. 또한 싱크로트론 기반 방사선원일 수도 있다. 방사선원(3)은 자유 전자 레이저(FEL)일 수 있다.

[0037] 방사선원(3)으로부터 나오는 조명 방사선(16)은 집광기(17)에 의해 집속된다. 집광기(17)는 하나 이상의 타원면 및/또는 쌍곡면 반사 표면을 갖는 집광기일 수 있다. 조명 방사선(16)은 그레이징 입사(GI), 즉 45° 초과의 입사 각도들로, 또는 수직 입사(NI), 즉 45° 미만의 입사 각도들로 집광기(17)의 적어도 하나의 반사 표면 상에

입사될 수 있다. 집광기(17)는, 한편으로는 사용 방사선에 대한 반사율을 최적화하기 위해, 다른 한편으로는 미광(stray light)을 억제하기 위해 구조화 및/또는 코팅될 수 있다.

[0038] 조명 방사선(16)은 집광기(17) 하류의 중간 초점 평면(18) 내의 중간 초점을 통해 전파된다. 중간 초점 평면(18)은 방사선원(3)과 집광기(17)를 갖는 방사선원 모듈과, 조명 광학 유닛(4) 사이의 분리를 나타낼 수 있다.

[0039] 조명 광학 유닛(4)은 편향 미러(19)와, 빔 경로에서 하류에 배열된 제 1 패싯 미러(20)를 포함한다. 편향 미러(19)는 평면 편향 미러일 수 있거나, 대안적으로는 순전히 편향 효과를 넘어서는 빔-영향 효과를 갖는 미러일 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 편향 미러(19)는 조명 방사선(16)의 사용 광 파장을, 그 사용 광 파장으로부터 벗어난 파장의 외부 광으로부터 분리하는 스펙트럼 필터 형태로 구현될 수 있다. 제 1 패싯 미러(20)가 필드 평면으로서 오브젝트 평면(6)과 광학적으로 켤레(optically conjugate)인 조명 광학 유닛(4)의 평면에 배열되는 경우, 이는 필드 패싯 미러라고도 한다. 제 1 패싯 미러(20)는 이하에서 필드 패싯들이라고도 하는 다수의 개별 제 1 패싯들(21)을 포함한다. 도 1은 예로서 상기 패싯들(21) 중 일부만을 도시한다.

[0040] 제 1 패싯들(21)은 거시적 패싯들, 특히 직사각형 패싯들 또는 아치형 엣지 윤곽 또는 원의 부분의 에지 윤곽을 갖는 패싯들로서 구현될 수 있다. 제 1 패싯들(21)은 평면 패싯들로서 구현될 수 있거나, 대안적으로 볼록한 또는 오목한 곡률을 갖는 패싯들로서 구현될 수 있다.

[0041] 예를 들면 DE 10 2008 009 600 A1로부터 알려진 바와 같이, 제 1 패싯들(21) 자체는 또한 각각의 경우 다수의 개별 미러들, 특히 다수의 마이크로미러들로 구성될 수 있다. 제 1 패싯 미러(20)는 특히 마이크로전자기계 시스템(MEMS 시스템)으로서 형성될 수 있다. 자세한 내용은 DE 10 2008 009 600 A1을 참조한다.

[0042] 조명 방사선(16)은 집광기(17)와 편향 미러(19) 사이에서 수평으로, 즉 y-방향으로 전달한다.

[0043] 조명 광학 유닛(4)의 빔 경로에는, 제 1 패싯 미러(20) 하류에 제 2 패싯 미러(22)가 배열되어 있다. 제 2 패싯 미러(22)가 조명 광학 유닛(4)의 동공 평면에 배열되는 경우, 이는 동공 패싯 미러라고도 한다. 제 2 패싯 미러(22)는 또한 조명 광학 유닛(4)의 동공 평면으로부터 떨어져서 배열될 수 있다. 이 경우, 제 1 패싯 미러(20)와 제 2 패싯 미러(22)의 조합은 정반사기(specular reflector)라고도 한다. 정반사기들은 US 2006/0132747 A1, EP 1 614 008 B1, 및 US 6,573,978로부터 알려져 있다.

[0044] 제 2 패싯 미러(22)는 복수의 제 2 패싯들(23)을 포함한다. 동공 패싯 미러의 경우, 제 2 패싯들(23)은 동공 패싯들이라고 한다.

[0045] 마찬가지로 제 2 패싯들(23)은 예를 들면 원형, 직사각형 또는 그렇지 않으면 육각형 경계를 가질 수 있는 거시적 패싯들일 수 있거나, 대안적으로는 마이크로미러들로 구성된 패싯들일 수 있다. 이와 관련하여, DE 10 2008 009 600 A1을 참조한다.

[0046] 제 2 패싯들(23)은 평면 반사 표면들 또는 대안적으로 볼록한 또는 오목한 곡률을 갖는 반사 표면들을 가질 수 있다.

[0047] 결과적으로 조명 광학 유닛(4)은 이중 패싯형 시스템(doubly faceted system)을 형성한다. 이 기본 원리는 플라이 아이 집광기(fly's eye condenser(플라이 아이 적분기(fly's eye integrator)))라고도 한다.

[0048] 제 2 패싯 미러(22)를 투영 광학 유닛(10)의 동공 평면과 광학적으로 켤레인 평면에 정확하게 배열하지 않는 것이 유리할 수 있다. 특히, 동공 패싯 미러(22)는, 예를 들면 DE 10 2017 220 586 A1에 설명되는 바와 같이 투영 광학 유닛(10)의 동공 평면에 대해 기울어지도록 배열될 수 있다.

[0049] 제 2 패싯 미러(22)에 의해, 개별 제 1 패싯들(21)이 오브젝트 필드(5)로 이미징된다. 제 2 패싯 미러(22)는 마지막 빔 정형 미러이거나, 그렇지 않으면 사실상 오브젝트 필드(5) 상류의 빔 경로에서의 조명 방사선(16)에 대한 마지막 미러이다.

[0050] 조명 광학 유닛(4)의 나타내어지지 않은 추가 실시형태에 있어서, 특히 제 1 패싯들(21)을 오브젝트 필드(5)로 이미징하는 것에 기여하는 전달 광학 유닛이 제 2 패싯 미러(22)와 오브젝트 필드(5) 사이의 빔 경로에 배열될 수 있다. 전달 광학 유닛은 정확히 하나의 미러를 가질 수 있거나, 대안적으로는 조명 광학 유닛(4)의 빔 경로에서 앞뒤로(one behind the other) 배열되는 2개 이상의 미러들을 가질 수 있다. 전달 광학 유닛은 특히 하나 또는 2개의 수직 입사 미러들(NI 미러들) 및/또는 하나 또는 2개의 그레이징 입사 미러들(GI 미러들)을 포함할 수 있다.

[0051] 도 1에 나타내어진 실시형태에 있어서, 조명 광학 유닛(4)은 집광기(17) 하류에 정확히 3개의 미러들, 특히 편

향 미러(19), 필드 패싯 미러(20) 및 동공 패싯 미러(22)를 갖는다.

[0052] 조명 광학 유닛(4)의 추가 실시형태에서 편향 미러(19)가 또한 생략될 수 있으므로, 조명 광학 유닛(4)은 집광기(17) 하류에 정확히 2개의 미러들, 특히 제 1 패싯 미러(20) 및 제 2 패싯 미러(22)를 가질 수 있다.

[0053] 제 2 패싯들(23)에 의해 또는 제 2 패싯들(23) 및 전달 광학 유닛을 사용하여 제 1 패싯들(21)을 오브젝트 평면(6)으로 이미징하는 것은 원칙적으로 단지 근사적인 이미징이다.

[0054] 투영 광학 유닛(10)은 투영 노광 장치(1)의 빔 경로에서의 배열에 따라 연속적으로 번호가 매겨진 복수의 미러들(Mi)을 포함한다.

[0055] 도 1에 도시된 예에 있어서, 투영 광학 유닛(10)은 6개의 미러들(M1 내지 M6)을 포함한다. 4개, 8개, 10개, 12개 또는 임의의 다른 수의 미러들(Mi)을 갖는 대안도 마찬가지로 가능하다. 투영 광학 유닛(10)은 이중 차폐 광학 유닛이다. 끝에서 두 번째 미러(M5)와 마지막 미러(M6)는 각각 조명 방사선(16)을 위한 통과 개구를 갖는다.

[0056] 마지막 미러(M6)로부터 이미지 필드(11)를 향하여 안내된 이미징 광(16)은 미러(M5)의 통과 개구를 통과한다. 끝에서 세 번째 미러(M4)로부터 끝에서 두 번째 미러(M5)를 향하여 반사된 이미징 광(16)은 미러(M6)의 통과 개구를 통과한다. 그들의 통과 개구들 주위에서, 미러들(M5 및 M6)이 이미징 광(16)의 안내를 위해 반사적으로 사용된다.

[0057] 투영 광학 유닛(10)은 0.25 초과이고 그리고 0.3 초과일 수 있고, 예를 들면 0.33일 수 있는 이미지-측 개구수를 갖는다.

[0058] 이미지-측 개구수는 통상 0.9 미만, 0.75 미만, 0.6 미만이고, 0.5 미만일 수 있다. 원칙적으로, 이미지-측 개구수는 또한 더 클 수 있다.

[0059] 미러들(Mi)의 반사 표면들은 회전 대칭 축이 없는 자유-형태 표면들로서 구현될 수 있다. 대안적으로, 미러들(Mi)의 반사 표면들은 반사 표면 형상의 정확히 하나의 회전 대칭 축을 갖는 비구면 표면들로서 설계될 수 있다. 조명 광학 유닛(4)의 미러들과 마찬가지로, 미러들(Mi)은 조명 방사선(16)에 대해 고반사 코팅들을 가질 수 있다. 이들 코팅들은, 특히 몰리브덴과 규소의 교호 층을 가진 다층 코팅들로서 설계될 수 있다.

[0060] 투영 광학 유닛(10)은 오브젝트 필드(5)의 중심의 y-좌표와, 이미지 필드(11)의 중심의 y-좌표 사이에 y-방향으로의 오브젝트-이미지 오프셋을 갖는다. y-방향으로의 이 오브젝트-이미지 오프셋은 오브젝트 평면(6)과 이미지 평면(12) 사이의 z-거리와 거의 같은 크기일 수 있다.

[0061] 특히, 투영 광학 유닛(10)은 애너모픽 실시형태(anamorphic embodiment)를 가질 수 있다. 특히, 이는 x-방향과 y-방향으로 상이한 이미징 스케일 β_x, β_y을 갖는다. 투영 광학 유닛(10)의 2개의 이미징 스케일 β_x, β_y은 바람직하게는 (β_x, β_y)=(+/- 0.25, +/- 0.125)이다. 양의 이미징 스케일 β은 이미지 반전이 없는 이미징을 의미한다. 이미징 스케일 β의 음수 부호는 이미지 반전이 있는 이미징을 의미한다.

[0062] 예를 들면, 투영 광학 유닛(10)은 x-방향으로, 즉 스캐닝 방향에 대해 수직인 방향으로 4:1 비율의 크기 감소를 갖는다.

[0063] 애너모픽 실시형태의 경우, 투영 광학 유닛(10)은 y-방향으로, 즉 스캐닝 방향으로 8:1의 크기 감소를 갖는다.

[0064] 다른 이미징 스케일들이 또한 가능하다. x-방향 및 y-방향으로 동일한 부호 및 동일한 절대값을 갖는, 예를 들면 절대값이 0.125 및 0.25인 이미징 스케일들이 또한 가능하다.

[0065] 오브젝트 필드(5)와 이미지 필드(11) 사이의 빔 경로에서 x-방향 및 y-방향으로의 중간 이미지 평면들의 수는 동일할 수 있거나, 투영 광학 유닛(10)의 실시형태에 따라서는 상이할 수 있다. x-방향 및 y-방향으로의 상이한 개수의 이러한 중간 이미지들을 갖는 투영 광학 유닛들의 예들이 US 2018/0074303 A1로부터 알려져 있다.

[0066] 각각의 경우에, 동공 패싯들(23) 중 하나는 오브젝트 필드(5)를 조명하기 위한 조명 채널을 각각의 경우에 형성하기 위한 필드 패싯들(21) 중 정확히 하나에 할당된다. 특히, 이는 쾰러 원리에 따라 조명을 생성할 수 있다. 원거리 필드(far field)는 필드 패싯들(21)에 의해 다수의 오브젝트 필드들(5)로 분해된다. 필드 패싯들(21)은 이에 각각 할당된 동공 패싯들(23) 상의 중간 초점의 복수의 이미지들을 생성한다.

[0067] 할당된 동공 패싯(23)에 의해, 필드 패싯들(21)은 각각의 경우에 오브젝트 필드(5)를 조명할 목적으로 서로 중첩되는 방식으로 각각의 경우에 레티클(7) 상으로 이미징된다. 오브젝트 필드(5)의 조명은 특히 가능한 한 균일하다. 바람직하게는 2% 미만의 균일성 오차를 갖는다. 필드 균일성은 상이한 조명 채널들의 중첩에 의해 달성될

수 있다.

[0068] 투영 광학 유닛(10)의 입사 동공의 조명은 동공 패싯들의 배열에 의해 기하학적으로 규정될 수 있다. 투영 광학 유닛(10)의 입사 동공에서의 강도 분포는 조명 채널들, 특히 광을 안내하는 동공 패싯들의 서브세트를 선택함으로써 설정될 수 있다. 이 강도 분포는 조명 설정 또는 조명 동공 채우기라고도 한다.

[0069] 규정된 방식으로 조명되는 조명 광학 유닛(4)의 조명 동공 부분들의 영역에서의 마찬가지로 바람직한 동공 균일성이 조명 채널들의 재분배에 의해 달성될 수 있다.

[0070] 오브젝트 필드(5)의 조명, 특히 투영 광학 유닛(10)의 입사 동공의 추가 양태들 및 상세들이 이하에서 설명된다.

[0071] 투영 광학 유닛(10)은 특히 공심(homocentric) 입사 동공을 가질 수 있다. 공심 입사 동공은 접근 가능할 수 있다. 또한 접근 불가능할 수 있다.

[0072] 투영 광학 유닛(10)의 입사 동공은 통상 동공 패싯 미러(22)를 사용하여 정확하게 조명될 수 없다. 동공 패싯 미러(22)의 중심을 웨이퍼(13) 상으로 텔레센트릭하게(telecentrically) 이미징하는 투영 광학 유닛(10)의 이미징의 경우, 애퍼처 광선들은 단일 점에서 교차하지 않는 경우가 있을 수 있다. 그러나, 쌍들로 결정된 애퍼처 광선들의 거리가 최소화되는 영역을 찾을 수 있다. 이 영역은 입사 동공 또는 입사 동공과 켤레인 실제 공간에서의 영역을 나타낸다. 특히, 이 영역은 유한 곡률을 갖는다.

[0073] 투영 광학 유닛(10)이 접선 빔 경로와 시상 빔 경로에 대해 입사 동공의 상이한 자세들을 갖는 경우가 있을 수 있다. 이 경우, 이미징 요소, 특히 전달 광학 유닛의 광학 부품이 제 2 패싯 미러(22)와 레티클(7) 사이에 제공되어야 한다. 이 광학 요소에 의해, 접선 입사 동공과 시상 입사 동공의 상이한 위치가 고려될 수 있다.

[0074] 도 1에 도시된 조명 광학 유닛(4)의 부품들의 배열에 있어서, 동공 패싯 미러(22)는 투영 광학 유닛(10)의 입사 동공과 켤레인 영역에 배열된다. 필드 패싯 미러(20)는 오브젝트 평면(6)에 대해 기울어지도록 배열된다. 제 1 패싯 미러(20)는 편향 미러(19)에 의해 규정된 배열 평면에 대해 기울어진 방식으로 배열된다.

[0075] 제 1 패싯 미러(20)는 제 2 패싯 미러(22)에 의해 규정되는 배열 평면에 대해 기울어지도록 배열된다.

[0076] 도 2는 도 1에 따른 실시형태의 투영 광학 유닛(10) 대신에 투영 노광 장치(1)에 사용될 수 있는 투영 광학 유닛 또는 이미징 광학 유닛(24)의 추가 실시예를 나타낸다. 도 1을 참조하여 위에서 이미 설명한 것들에 상응하는 부품들 및 기능들은 동일한 참조 부호들을 가지며, 다시 상세히 논의되지 않는다.

[0077] 도 2는 각각의 경우에, 도 2에서 y-방향으로 서로 이격되어 있는 3개의 오브젝트 필드 점들로부터 방출되는 3개의 개별 광선들(25)의 빔 경로를 나타낸다. 주광선들(26), 즉 투영 광학 유닛(24)의 동공 평면에서의 동공의 중심을 통과하는 개별 광선들(25), 및 각각의 경우에 있어서 이들 3개의 오브젝트 필드 점들의 상부 코마 광선과 하부 코마 광선이 도시되어 있다. 오브젝트 필드(5)로부터 진행하여, 주광선들(26)은 오브젝트 평면(6)에 대한 법선과 5.22° 의 각도 CRA를 포함한다. 반사 레티클(7)을 위한 투영 광학 유닛(24)의 설계는 이 주광선 각도 CRA로 인해 존재한다. 따라서 이는 레티클(7) 상에 입사되는 조명 광(16)의 빔 경로가 레티클(7)에 의해 반사된 조명 광 또는 이미징 광(16)의 빔 경로를 방해하지 않도록 한다.

[0078] 투영 광학 유닛(24)은 0.33의 이미지-측 개구수를 갖는다.

[0079] 도 2에 따른 투영 광학 유닛(24)은, 오브젝트 필드(4)로부터 진행하여 개별 광선들(25)의 빔 경로의 순서로 M1 내지 M4로 연속적으로 번호가 매겨진 총 4개의 미러들을 갖는다.

[0080] 도 2는 미러들(M1 내지 M4)의 계산된 반사 표면들의 부분들을 나타낸다. 반사 표면들의 실제 사용된 영역과 오버행(overhang)이 실제 미러들(M1 내지 M4)에 존재한다. 이러한 사용된 반사 표면들은 도 2에 도시되지 않은 미러 본체들에 의해 그 자체로 알려진 방식으로 운반된다.

[0081] 도 2에 따른 투영 광학 유닛(24)에 있어서, 모든 미러들(M1 내지 M4)은 수직 입사를 위한 미러들, 즉 이미징 광(16)이 45° 미만의 작은 입사 각도로 입사되는 미러들로서 구현된다. 수직 입사를 위한 이들 미러들은 NI(수직 입사) 미러들이라고도 한다.

[0082] 미러들(M1 내지 M4)은 이미징 광(16)에 대한 미러들(M1 내지 M4)의 반사율을 최적화하는 코팅을 보유한다. 이는 루테늄 코팅, 몰리브덴 코팅 또는 루테늄의 최상부 층을 갖는 몰리브덴 코팅일 수 있다. 이들 고반사 층들은 다겹(multi-ply) 층들로서 구현될 수 있고, 여기서 연속 층들이 상이한 재료들로 제조될 수 있다. 교호하는 재료

층들이 또한 사용될 수 있다. 전형적인 다겹 층은 각각 몰리브덴 층과 규소 층으로 구성된 50개의 이중 층들을 가질 수 있다.

[0083] 투영 광학 유닛(24)의 전체 반사율을 계산할 목적으로, 시스템 전달률이 다음과 같이 계산된다: 미러 반사율은 안내 광선, 즉 중심 오브젝트 필드 점의 주광선의 입사 각도에 기초하여 각각의 미러 표면에서 결정되고, 곱셈에 의해 조합되어 시스템 전달률을 형성한다.

[0084] 반사율 계산에 관한 상세는 WO 2015/014 753 A1에 설명되어 있다. NI 미러들(수직 입사 미러들)의 반사율에 관한 추가 정보는 DE 101 55 711 A에서 찾을 수 있다.

[0085] 투영 광학 유닛(24), 즉 미러들(M1 내지M4) 전체의 시스템 전달률 또는 전체 전달률은 17.55%이다. 따라서 4개의 미러들 중 각각의 개별 미러가 평균적으로 64.7% 정도의 반사율을 갖는다.

[0086] 투영 광학 유닛(24)의 오브젝트 필드(5)와 이미지 필드(11) 사이의 이미징 빔 경로에서의 직선 편광된 이미징 광(16)의 편광 회전은 약 3.6° 이다.

[0087] 미러들(M1 내지 M4) 중 어느 것도 통과 개구를 갖고 있지 않고, 상기 미러들은 간극(gap) 없이 연속한 영역에서 반사 방식으로 사용된다. 따라서, 미러들(M1 내지 M4)은 개구들 없이 사용된 반사 표면을 갖는다.

[0088] 투영 광학 유닛(24)에서, 이미지 필드(11)는 오브젝트 필드(5) 하류의 이미징 빔 경로에 있어서의 제 1 필드이다. 따라서, 투영 광학 유닛(24)은 중간 이미지 평면을 갖지 않는다.

[0089] 오브젝트 필드와 이미지 필드(8) 사이의 z-거리(설치 길이)는 약 1750mm이다. 오브젝트 필드(5)의 중심 필드 점과 이미지 필드(11)의 중심 필드 점 사이의 y-거리(오브젝트-이미지 오프셋)는 약 1380mm이다. xz-평면에서, 투영 광학 유닛(24)의 입사 동공은 오브젝트 필드(5)의 약 4100mm 하류의 이미징 빔 경로에 놓인다. yz-평면에서, 입사 동공은 오브젝트 필드(5)의 10m 초과의 상류의 이미징 빔 경로에 있다. 따라서, 투영 광학 유닛(24)은 오브젝트 측 상에서 양호한 근사치로 텔레센트릭(telecentric)이다.

[0090] 투영 광학 유닛(24)은 이미지 측 상에서 텔레센트릭이다.

[0091] 웨이퍼(13)와, 웨이퍼에 가장 가까운 미러(M3) 사이의 최소 거리는 75mm이고; 이 거리를 작동 거리라고도 한다.

[0092] 투영 광학 유닛(24)의 평균 파면 수차 RMS는 이미징 광(3)의 사용 파장이 13.5nm인 경우에 35mλ 미만이다.

[0093] 아래의 표 1 및 표 2는 투영 광학 유닛(24)의 필수 데이터를 다시 한 번 요약한 것이다:

사용 파장	13.5 nm
이미지-측 개구수	0.33
이미징 스케일	-4.00
주광선 각도 CRA	5.22°
에탕듀	7.08 mm^2
평균 파면 수차 RMS	33.28 mλ
전체 전달률	17.55%
입사 동공의 위치 (x)	4101.25 mm
입사 동공의 위치 (y)	-39609.53 mm
오브젝트-이미지 오프셋	1379.52 mm
작동 거리(M3에서 이미지 필드까지)	75 mm
오브젝트 필드와 이미지 필드 사이의 z-거리	2156.00 mm
오브젝트 평면과 이미지 평면 사이의 각도	-0.0°
설치 공간 요건 xyz	(980 x 1703 x 1756) mm

도 2에 대한 표1

[0094]

	M1	M2	M3	M4
최대 입사 각도 /°	10.1	14.9	23.7	17.0
최소 입사 각도 /°	2.6	11.9	16.9	3.8
미러 범위 (x)/mm	388.4	980.1	571.3	738.4
미러 범위 (y)/mm	326.4	460.3	519.4	721.4
최대 미러 직경 /mm	388.7	980.2	585.1	738.9

도 2에 대한 표 2

[0095]

[0096] 각각의 경우에 표 2에 명시된 범위들은 미러(M1 내지 M4)의 활용된 반사 표면에 관한 것이다.

[0097] 미러들(M1 내지 M4) 상으로의 이미징 광(16)의 가장 큰 입사 각도는 미러(M3)에 존재하고, 또한 25° 미만이다.

[0098] 가장 작은 입사 각도는 미러(M1)에 존재하고, 2.5° 초과이다. 가장 큰 입사 각도 대역폭, 즉 이미징 광(16)의 최대 입사 각도와 최소 입사 각도 사이의 차이는 마지막 미러(M4)에 존재하고, 15° 미만이다. 가장 작은 입사 각도 대역폭은 미러(M2)에 존재하고, 3° 이다.

[0099] 미러들(M1 내지 M4) 중 어느 것도 직경이 1000mm를 초과하지 않는다. x-범위와 관련하여, M2 미러는 투영 광학 유닛(24)의 가장 큰 미러이다. 특히, 미러(M2)는 미러(M4)보다 더 큰 x-범위를 갖는다.

[0100] 미러(M2)는 투영 광학 유닛(24)의 미러(M2)에서의 더 큰 x-표면 범위와 더 작은 y-표면 범위 사이의 x/y-애스펙트 비가 1.5보다 크고 2.13인, 즉 2보다 큰 반사 표면을 갖는다.

[0101] 이미지 필드(11)는 투영 광학 유닛(24)에서 260mm의 링 필드 반경을 갖는 링 필드 형상이다. 이미지 필드(11)의 x-범위는 26mm이다. 이미지 필드(11)의 y-범위는 2.5mm이다.

[0102] 미러들(M1 내지 M4)은 회전 대칭 기능으로 설명될 수 없는 자유-형태 표면들로서 구현된다. 미러들(M1 내지 M4) 중 적어도 하나가 회전 대칭 비구면으로서 구현되는, 투영 광학 유닛(24)의 다른 실시형태들도 가능하다. 모든 미러들(M1 내지 M4)이 이러한 비구면들로서 구현되는 것이 또한 가능하다.

[0103] 자유-형태 표면은 다음과 같은 자유-형태 표면 방정식(방정식 1)으로 설명될 있다.

$$Z = \frac{c_x x^2 + c_y y^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k_x)(c_x x)^2 - (1+k_y)(c_y y)^2}}$$

$$\begin{aligned} &+ C_1 x + C_2 y \\ &+ C_3 x^2 + C_4 xy + C_5 y^2 \\ &+ C_6 x^3 + \ldots + C_9 y^3 \\ &+ C_{10} x^4 + \ldots + C_{12} x^2 y^2 + \ldots + C_{14} y^4 \\ &+ C_{15} x^5 + \ldots + C_{20} y^5 \\ &+ C_{21} x^6 + \ldots + C_{24} x^3 y^3 + \ldots + C_{27} y^6 \\ &+ \ldots \end{aligned} \qquad (1)$$

[0104]

[0105] 다음은 이 방정식 (1)의 매개변수들에 적용된다.

[0106] Z는 점 x, y에서의 자유-형태 표면의 시상 높이이며, 여기서 $x^2+y^2=r^2$이다. 여기서, r은 자유-형태 표면 방정식의 기준 축(x=0; y=0)으로부터의 거리이다.

[0107] 자유-형태 표면 방정식 (1)에서, C_1, C_2, C_3...은 x 및 y의 거듭제곱으로의 자유-형태 표면 급수 전개의 계수들을 나타낸다.

[0108] 원뿔 베이스 영역의 경우, c_x, c_y는 상응하는 비구면의 정점 곡률에 상응하는 상수이다. 따라서, c_x=1/RDX 및 c_y=1/RDY가 적용된다. CCX 및 CCY라고도 하는 k_x 및 k_y 각각은 상응하는 비구면의 원뿔 상수에 상응한다. 따라서, 방정식 (1)은 쌍원뿔 자유-형태 표면을 설명한다.

[0109] 가능한 대안적인 자유-형태 표면은 회전 대칭 기준 표면으로부터 생성될 수 있다. 마이크로리소그래픽 투영 노광 장치들의 투영 광학 유닛들의 미러들의 반사 표면들을 위한 이러한 자유-형태 표면들은 US 2007-0058269 A1로부터 알려져 있다.

[0110] 대안적으로, 자유-형태 표면들은 또한 2차원 스플라인 표면들을 이용하여 설명될 수도 있다. 이에 대한 예들로는 베지어(Bezier) 곡선들 또는 비균일 유리 기저 스플라인들(NURBS; non-uniform rational basis splines)이 있다. 예로서, 2차원 스플라인 표면들은 xy-평면 내의 점들의 격자 및 연관된 z-값들에 의해, 또는 이들 점들 및 이들과 연관된 구배들(gradient)에 의해 설명될 수 있다. 각각의 유형의 스플라인 표면에 따라, 예를 들면 연속성 및 미분 가능성과 관련하여 특정 속성들을 갖는 다항식들 또는 함수들을 사용하여 격자 점들 간의 보간에 의해 완전한 표면이 얻어진다. 이에 대한 예들로는 해석 함수들(analytical function)이 있다.

[0111] 투영 광학 유닛(24)에 있어서의 미러(M3)의 영역 또는 미러(M3) 상에 동공-규정 애퍼처 스톱(AS)이 배열되고; 이는 도 2에 표시되어 있다. 예로서, 이러한 애퍼처 스톱에 대한 실현 옵션들이 WO 2016/188934 A1에 개시되어 있다. 단일의 동공-규정 애퍼처 스톱(AS)을 갖는 대신에, 이의 효과가 또한 투영 광학 유닛(24) 내의 상이한 점들에 배열되는 복수의 동공-규정 부분 스톱들에 의해 채택될 수 있다.

[0112] 애퍼처 스톱(AS)의 배열 평면은 투영 광학 유닛(24)의 동공 평면과 일치한다.

[0113] 투영 광학 유닛(24)의 미러들(M1 내지 M4)의 반사 표면들의 광학 설계 데이터는 아래의 추가 표들로부터 알 수 있다.

[0114] 표 3은 이미지 필드(11)의 xyz 좌표계와 관련하여, 각각의 미러 표면의 표면 원점 및 오브젝트 필드(5)의 영역의 좌표들을 명시한다.

[0115] 제 1 열은 z-방향(제 1 열) 및 y-방향(제 2 열)에 있어서의 이미지 필드(11)의 중심의 좌표 원점으로부터의 각각의 미러 또는 오브젝트 필드(5)의 거리를 명시한다.

[0116] 표 3의 제 3 열은 이미지 필드(11)의 xy-평면에 대한 미러들(M1 내지 M4)의 각각의 표면 또는 오브젝트 필드(5)의 기울기 값을 추가로 명시한다. 도 2에 따른 실시형태에 있어서, 오브젝트 필드(5)나 이미지 필드(11) 중 어느 것도 x-축에 대해 기울어지지 않고, 서로 평행하게 연장되지 않는다.

[0117] 표 4는 미러들(M1 내지 M4)에 대해 별도로, 매개변수들 RDX, RDY, CCX, CCY, 및 상기 방정식 (1)에 따른 자유-형태 표면 급수 전개의 계수들 C1, C2, C3 ...의 값들을 x 및 y의 거듭제곱에 따라 정렬하여 표로 나타낸 것이다.

[0118] 값 RDX 및 RDY에 대해 상이한 부호를 갖는 미러들은 안장점(saddle point) 형태 또는 극소 극대값(minimax) 기본 형상을 갖는다.

z-거리 [mm]	y-거리 [mm]	x-축에 대한 기울기 [도]
이미지 필드		
0	0	0
M4		
1052.341063	0	15.501098
M3		
85.619483	580.915378	10.659276
M2		
1817.74382	876.483984	12.560313
M1		
263.752971	1956.707604	21.254751
오브젝트 필드		
2156	1379.517221	0

[0119] 도 2에 대한 표 3

[0120]

M4		
RDX	-1713.789502	
RDY	-1630.972761	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
0	1	-8.808510E-02
2	1	-9.112639E-08
0	3	5.902912E-09
4	0	-3.180900E-12
2	2	5.704739E-12
0	4	-7.770599E-12
4	1	-3.760234E-14
2	3	-3.175126E-14
0	5	3.649456E-15
6	0	-2.863198E-18
4	2	-9.789031E-19
2	4	-4.265595E-18
0	6	1.071927E-17
6	1	-1.695599E-20
4	3	-2.536641E-20
2	5	-2.486809E-20
0	7	-1.099456E-19
8	0	-1.128310E-23
6	2	-6.555056E-23
4	4	-6.010323E-23
2	6	8.724420E-23
0	8	-3.350535E-22
8	1	1.669458E-25
6	3	3.233473E-25
4	5	-2.112255E-25
2	7	4.848322E-25
0	9	2.455471E-24
10	0	2.190074E-28
8	2	1.654072E-27
6	4	2.517111E-27
4	6	1.214618E-27
2	8	-3.509487E-27
0	10	4.299321E-27
10	1	-4.097278E-30
8	3	-1.609570E-29
6	5	-9.024499E-30
4	7	8.044016E-30
2	9	-7.508526E-30
0	11	-3.362530E-29
12	0	-2.817127E-33
10	2	-2.522775E-32
8	4	-5.162542E-32
6	6	-5.104284E-32
4	8	-2.182309E-33
2	10	7.275936E-32
0	12	-2.728356E-32
12	1	5.190002E-35
10	3	3.027273E-34
8	5	3.943689E-34

[0121]

6	7	5.297904E-35
4	9	-1.911727E-34
2	11	2.320012E-35
0	13	2.794200E-34
14	0	2.116939E-38
12	2	2.173602E-37
10	4	5.792844E-37
6	10	-1.390506E-42
4	12	3.955854E-42
2	14	4.807288E-42
0	16	6.718872E-43
16	1	1.392492E-45
14	3	1.386113E-44
12	5	3.796803E-44
10	7	4.229694E-44
8	9	1.688964E-44
6	11	-1.295477E-44
4	13	-1.904230E-44
2	15	-6.459948E-45
0	17	2.551614E-45
18	0	1.460048E-49
16	2	1.846243E-48
14	4	6.918107E-48
12	6	1.478223E-47
10	8	1.989426E-47
8	10	1.825423E-47
6	12	-6.581802E-48
4	14	-1.409239E-47
2	16	-1.109145E-47
0	18	-2.289845E-48
18	1	-2.173200E-51
16	3	-2.660179E-50
14	5	-9.153331E-50
12	7	-1.416227E-49
10	9	-1.094782E-49
8	11	-2.473363E-50
6	13	6.467927E-50
4	15	5.298103E-50
2	17	1.907427E-50
0	19	-4.764273E-52

[0122]

M3		
RDX	1944.036655	
RDY	5405.334997	

[0123]

CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
0	1	2.182169E-01
2	1	5.374768E-07
0	3	3.368410E-08
4	0	1.882522E-10
2	2	4.814931E-10
0	4	9.895669E-11
4	1	7.788498E-13
2	3	6.655805E-13
0	5	2.429776E-14
6	0	2.933456E-16
4	2	1.882627E-15
2	4	6.696989E-16
0	6	-7.402579E-16
6	1	1.696766E-18
4	3	3.040842E-18
2	5	-1.099018E-18
0	7	1.814895E-18
8	0	-8.465651E-23
6	2	4.816016E-22
4	4	8.508120E-21
2	6	1.060992E-20
0	8	7.815341E-20
8	1	-1.116409E-23
6	3	-6.898817E-23
4	5	2.846265E-22
2	7	2.976935E-22
0	9	4.324007E-22
10	0	8.024701E-27
8	2	-1.231676E-25
6	4	-4.735824E-25
4	6	4.278970E-24
2	8	2.128412E-24
0	10	-1.134089E-25
10	1	3.040809E-28
8	3	8.683881E-28
6	5	-2.322014E-28
4	7	3.424304E-26
2	9	6.179735E-27
0	11	-1.054361E-26
12	0	-1.638002E-32
10	2	6.917495E-30

8	4	2.450668E-29
6	6	5.925965E-30
4	8	1.642812E-28
2	10	-2.386667E-30
0	12	-4.589280E-29
12	1	5.026753E-34
10	3	6.136948E-32
8	5	1.827506E-31
6	7	-5.298501E-32
4	9	4.686861E-31
2	11	-6.146641E-32
0	13	-7.460826E-32
14	0	-5.233984E-38
12	2	-4.272331E-35
10	4	1.957149E-34
8	6	6.365410E-34
6	8	-8.208325E-34
4	10	6.365528E-34
2	12	-9.232637E-35
0	14	1.442545E-35
14	1	-5.558016E-38
12	3	-7.260530E-37
10	5	-1.903403E-37
8	7	8.690662E-37
6	9	-4.244290E-36
4	11	-4.302095E-37
2	13	3.732467E-37
0	15	1.478303E-37
16	0	-1.929915E-41
14	2	-7.147137E-40
12	4	-4.323496E-39
10	6	-2.917091E-39
8	8	-1.008731E-39
6	10	-1.177587E-38
4	12	-3.455714E-39
2	14	1.787315E-39
0	16	-1.865963E-40
16	1	-2.080615E-43
14	3	-3.260409E-42
12	5	-1.215807E-41
10	7	-7.904989E-42
8	9	-5.382044E-42
6	11	-1.880333E-41
4	13	-6.327925E-42

[0124]

2	15	3.223156E-42
0	17	-1.083953E-42
18	0	-3.356665E-48
16	2	-6.570102E-46
14	4	-6.355054E-45
12	6	-1.648753E-44
10	8	-9.404019E-45
8	10	-7.297624E-45
6	12	-1.636786E-44
4	14	-5.552461E-45
2	16	2.837263E-45
0	18	-1.406749E-45
18	1	-5.363855E-51
16	3	-6.119500E-49
14	5	-4.576056E-48
12	7	-8.682921E-48
10	9	-4.344941E-48
8	11	-3.501716E-48
6	13	-6.055526E-48
4	15	-2.007776E-48
2	17	1.012732E-48
0	19	-6.280638E-49

M2		
RDX	-3324.566351	
RDY	-9483.274483	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
0	1	-3.382629E-01
2	1	-1.071863E-07
0	3	2.867961E-08
4	0	3.646136E-12
2	2	2.026522E-11
0	4	2.338237E-11
4	1	-2.380059E-14
2	3	-2.851575E-14
0	5	2.370796E-14
6	0	1.375465E-18
4	2	1.816337E-17
2	4	3.689470E-17
0	6	-3.927614E-17
6	1	-8.861441E-21
4	3	-3.345473E-20

[0125]

2	5	-5.108831E-20
0	7	1.254309E-18
8	0	3.214031E-24
6	2	3.953073E-23
4	4	-1.934866E-22
2	6	-3.485323E-21
0	8	-1.529886E-20
8	1	-2.518043E-26
6	3	-2.114232E-25
4	5	1.267461E-24
2	7	2.626988E-23
0	9	-4.949649E-23
10	0	-2.549859E-29
8	2	-5.812428E-29
6	4	1.698673E-27
4	6	2.527500E-26
2	8	1.669312E-25
0	10	1.375769E-24
10	1	3.780417E-31
8	3	1.499086E-30
6	5	-2.212016E-30
4	7	-3.564862E-28
2	9	-2.508847E-27
0	11	-4.841319E-27
12	0	1.526141E-34
10	2	-1.668335E-33
8	4	-6.543909E-33
6	6	-1.789348E-31
4	8	1.133507E-30
2	10	4.120133E-30
0	12	-2.166689E-29
12	1	-2.725810E-36
10	3	-5.983401E-36
8	5	-4.725667E-35
6	7	2.372085E-33
4	9	9.674447E-33
2	11	6.880258E-32
0	13	2.104488E-31
14	0	-5.145899E-40
12	2	2.019986E-38
10	4	6.151038E-38
8	6	2.982274E-37
6	8	-1.709548E-35
4	10	-1.023535E-34

[0126]

2	12	-4.192489E-34
0	14	-5.171864E-34
14	1	8.441310E-42
12	3	-1.255458E-41
10	5	5.441572E-40
8	7	5.400383E-39
6	9	7.253605E-38
4	11	3.560909E-37
2	13	6.153482E-37
0	15	-4.737862E-37
16	0	1.009312E-45
14	2	-8.690749E-44
12	4	-7.389234E-43
10	6	-1.046126E-41
8	8	-5.665240E-41
6	10	-1.456557E-40
4	12	-2.825150E-40
2	14	2.217120E-39
0	16	5.617953E-39
16	1	-5.943041E-48
14	3	4.510326E-46
12	5	5.758296E-45
10	7	5.731059E-44
8	9	2.046469E-43
6	11	-1.864067E-44
4	13	-1.444615E-42
2	15	-1.058514E-41
0	17	-1.377045E-41
18	0	-1.479107E-51
16	2	3.466199E-50
14	4	-1.381294E-48
12	6	-1.826969E-47
10	8	-1.325469E-46
8	10	-3.175971E-46
6	12	5.512598E-46
4	14	4.037566E-45
2	16	1.675399E-44
0	18	1.574392E-44
18	1	5.882889E-54
16	3	-1.000900E-52
14	5	2.138644E-51
12	7	1.999396E-50
10	9	1.122599E-49
8	11	1.704435E-49

[0127]

6	13	-6.225197E-49
4	15	-3.181412E-48
2	17	-9.754343E-48
0	19	-7.315424E-48

M1		
RDX	-1202.543664	
RDY	-1250.239722	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
0	1	-1.608492E-01
2	1	-4.553729E-06
0	3	3.531343E-06
4	0	-5.383125E-08
2	2	-1.036445E-08
0	4	1.175888E-08
4	1	-3.605367E-10
2	3	-7.632990E-12
0	5	1.276139E-11
6	0	5.814080E-13
4	2	-7.904053E-13
2	4	-2.462679E-15
0	6	-7.187144E-16
6	1	5.227958E-15
4	3	-3.444078E-16
2	5	-4.638409E-18
0	7	-9.529463E-18
8	0	4.879792E-17
6	2	1.595287E-17
4	4	6.873424E-19
2	6	2.433790E-20
0	8	-1.420795E-21
8	1	3.140876E-19
6	3	1.635033E-20
4	5	-2.822595E-22
2	7	3.354631E-23
0	9	2.177824E-24
10	0	-1.129971E-22
8	2	6.858662E-22
6	4	-4.976489E-24
4	6	-1.902997E-24
2	8	-9.626517E-26
0	10	-1.972173E-27

[0128]

10	1	-5.070592E-25
8	3	3.244055E-25
6	5	-2.529376E-27
4	7	8.607357E-29
2	9	-1.435733E-28
0	11	1.735592E-30
12	0	-2.123660E-26
10	2	-2.078327E-28
8	4	-7.541069E-28
6	6	3.280078E-29
4	8	1.534835E-30
2	10	5.992828E-32
0	12	1.406172E-33
12	1	-1.759678E-28
10	3	3.964315E-30
8	5	-4.740502E-31
6	7	2.032458E-33
4	9	-1.583307E-33
2	11	5.971554E-35
0	13	-3.170590E-36
14	0	-2.925593E-31
12	2	-5.349341E-31
10	4	1.124492E-32
8	6	1.238620E-33
6	8	-6.048986E-35
4	10	-1.482595E-36
2	12	-1.615024E-37
0	14	3.224503E-39
14	1	-1.840085E-33
12	3	-6.484121E-34
10	5	4.202589E-36
8	7	8.323025E-37
6	9	1.140934E-38
4	11	2.886884E-39
2	13	-8.325232E-42
0	15	3.719157E-42
16	0	-3.096944E-38
14	2	-4.575138E-36
12	4	5.179296E-38
10	6	-3.239485E-38
8	8	-1.873420E-39
6	10	1.283441E-40
4	12	2.020349E-42
2	14	2.576550E-43

[0129]

0	16	-6.193179E-45
16	1	-6.350078E-41
14	3	-5.622070E-39
12	5	9.077445E-40
10	7	-6.493625E-41
8	9	-2.768084E-42
6	11	1.025629E-43
4	13	-2.297136E-45
2	15	1.238093E-46
0	17	-5.677907E-48
18	0	-1.005481E-44
16	2	-1.322724E-45
14	4	-3.415610E-42
12	6	8.359513E-43
10	8	-5.006957E-44
8	10	-1.314784E-45
6	12	1.840471E-47
4	14	-2.599925E-48
2	16	-6.227256E-50
0	18	5.924167E-52
18	1	-9.759547E-48
16	3	3.668009E-47
14	5	-8.212843E-46
12	7	2.482996E-46
10	9	-1.427232E-47
8	11	-1.974772E-49
6	13	-4.441671E-51
4	15	-6.928630E-52
2	17	-4.009669E-53
0	19	1.054394E-54

도 2에 대한 표 4

[0130]

[0131] 도 3은 도 1에 따른 실시형태의 투영 광학 유닛(10) 대신에 투영 노광 장치(1)에 사용될 수 있는 투영 광학 유닛 또는 이미징 광학 유닛(27)의 추가 실시형태를 나타낸다. 도 1 및 도 2와 관련하여, 특히 도 2와 관련하여 위에서 이미 설명한 것들에 상응하는 부품들 및 기능들은 동일한 참조 부호들로 표시되며, 다시 상세히 논의되지 않는다.

[0132] 투영 광학 유닛(27)에 있어서 이미지 필드(11)의 링 필드 반경은 80㎜이다. 투영 광학 유닛(27)에 있어서, x-방향 및 y-방향으로의 이미지 필드 치수는 투영 광학 유닛(24)과 동일하다.

[0133] 광학 설계의 핵심 매개변수들은 투영 광학 유닛(27)과 관련하여 아래에 다시 표로 나타낸다.

사용 파장	13.5 nm
이미지-측 개구수	0.25
이미징 스케일	-4.00
주광선 각도 CRA	5.86°
에탕듀	4.06 mm^2
평균 파면 수차 RMS	17.57 mλ
전체 전달률	17.59%
입사 동공의 위치 (x)	4095.77 mm
입사 동공의 위치 (y)	-40778.74 mm
오브젝트-이미지 오프셋	1413.37 mm
작동 거리(M3에서 이미지 필드까지)	81 mm
오브젝트 필드와 이미지 필드 사이의 z-거리	2156.00 mm
오브젝트 평면과 이미지 평면 사이의 각도	0.0°
설치 공간 요건 xyz	(758 x 1600 x 1742) mm

[0134] 도 3에 대한 표 1

	M1	M2	M3	M4
최대 입사 각도 /°	9.4	14.8	22.9	15.5
최소 입사 각도 /°	3.9	12.5	17.9	5.3
미러 범위 (x)/mm	306.2	758.3	431.7	560.4
미러 범위 (y)/mm	252.8	353.9	393.7	543.4
최대 미러 직경 /mm	306.8	758.4	437.0	561.0

[0135] 도 3에 대한 표 2

[0136] 미러들(M1 내지 M4) 상으로의 이미징 광(16)의 가장 큰 입사 각도는 미러(M3) 상에 있고, 22.9° 이다. 따라서, 모든 개별 광선들에 대한 25° 미만의 입사 각도가 투영 광학 유닛(27)의 모든 미러들(M1 내지 M4) 상에 존재한다.

[0137] 최소 입사 각도는 미러(M1) 상에 존재하고, 3.9° 이다. 최소 입사 각도와 최대 입사 각도 사이의 입사 각도 대역폭은 모든 미러들(M1 내지 M4)에 대해 10° 미만이고, 미러들(M1 내지 M3) 각각에 대해 6° 이하이다. 가장 작은 입사 각도 대역폭, 즉 최대 입사 각도와 최소 입사 각도 사이의 차이는 미러(M2) 상에 존재하고, 2.5° 미만이다.

[0138] 미러들(M1 내지 M4) 중 어느 것도 직경이 760mm를 초과하지 않는다. x-범위와 관련하여, 미러(M2)가 가장 큰 미러이다. 특히, 미러(M2)는 투영 광학 유닛(27)의 마지막 미러(M4)보다 더 큰 x-범위를 갖는다.

[0139] 투영 광학 유닛(27)에 있어서 평균 파면 수차 RMS는 20mλ 미만이다.

[0140] 투영 광학 유닛(27)의 이미지-측 개구수는 0.25이다.

[0141] 표면 범위의 최대 x/y-애스펙트 비는 투영 광학 유닛(27)에 있어서의 미러(M2)에 있고, 2.14이다.

[0142] 투영 광학 유닛(27)에 있어서 전체 전달률은 17.59%이다.

[0143] 투영 광학 유닛(27)의 오브젝트 필드(5)와 이미지 필드(11) 사이의 이미징 빔 경로에서의 직선 편광된 이미징 광(16)의 편광 회전은 약 2.8° 이다.

[0144] 도 3에 따른 투영 광학 유닛(27)에 대한 광학 설계 데이터를, 도 2에 따른 실시형태와 관련하여 위에서 이미 설명한 것과 동일한 형식으로 아래에 차례로 표로 나타낸다.

[0145]

z-거리 [mm]	y-거리 [mm]	x-축에 대한 기울기 [도]
이미지 필드		
0	0	0
M4		
1052.151834	0	15.511974
M3		
85.639487	581.289186	10.665766
M2		
1816.248985	876.871977	12.551063
M1		
262.173154	1956.763329	21.244435
오브젝트 필드		
2156	1413.368133	0

도 3에 대한 표 3

[0146]

M4		
RDX	-1718.361974	
RDY	-1630.972683	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
0	1	-8.958776E-02
2	1	-9.203320E-08
0	3	5.439527E-09
4	0	-3.058412E-12
2	2	6.174640E-12
0	4	-7.522104E-12
4	1	-3.783620E-14
2	3	-3.220679E-14
0	5	2.647345E-15
6	0	-2.301182E-18
4	2	-1.017562E-18
2	4	-3.208626E-18
0	6	1.298458E-17
6	1	-3.692393E-20
4	3	-5.869952E-20
2	5	-5.103198E-20
0	7	-8.809417E-20
8	0	-5.073881E-23
6	2	-1.098772E-22
4	4	1.183205E-23
2	6	4.135545E-23
0	8	-4.805095E-22
8	1	1.404190E-24
6	3	3.088309E-24
4	5	1.822223E-24
2	7	1.581019E-24
0	9	2.506186E-24
10	0	2.036646E-27
8	2	7.583794E-27
6	4	3.749259E-27

4	6	-1.063745E-27
2	8	-1.846348E-27
0	10	7.439352E-27
10	1	-5.308849E-29
8	3	-1.791125E-28
6	5	-1.699788E-28
4	7	-6.460812E-29
2	9	-3.708372E-29
0	11	-4.750018E-29
12	0	-4.826737E-32
10	2	-2.550668E-31
8	4	-2.809812E-31
6	6	-1.296886E-31
4	8	2.312623E-32
2	10	3.322372E-32
0	12	-6.684701E-32
12	1	1.188398E-33
10	3	5.588491E-33
8	5	7.828409E-33
6	7	5.177536E-33
4	9	1.146493E-33
2	11	5.680166E-34
0	13	6.281564E-34
14	0	6.629312E-37
12	2	4.558611E-36
10	4	7.529084E-36
8	6	7.867152E-36
6	8	3.746548E-36
4	10	-5.719726E-37
2	12	-1.080816E-37
0	14	3.392424E-37
14	1	-1.563712E-38
12	3	-9.550645E-38
10	5	-1.836836E-37
8	7	-1.763546E-37
6	9	-9.076810E-38
4	11	-5.780125E-39
2	13	-6.975318E-39
0	15	-5.708644E-39
16	0	-4.898875E-42
14	2	-4.175324E-41
12	4	-8.952951E-41
10	6	-1.316286E-40
8	8	-1.457488E-40

[0147]

6	10	-3.561932E-41
4	12	7.311069E-42
2	14	-3.710146E-42
0	16	-1.471567E-42
16	1	1.118489E-43
14	3	8.433103E-43
12	5	2.085672E-42
10	7	2.699934E-42
8	9	2.123616E-42
6	11	7.511531E-43
4	13	-6.338613E-44
2	15	6.709825E-44
0	17	3.389982E-44
18	0	1.505551E-47
16	2	1.541238E-46
14	4	4.023052E-46
12	6	7.133920E-46
10	8	1.119568E-45
8	10	9.361065E-46
6	12	2.247014E-47
4	14	-2.050393E-47
2	16	2.884056E-47
0	18	5.387059E-48
18	1	-3.355919E-49
16	3	-3.009031E-48
14	5	-9.134997E-48
12	7	-1.488706E-47
10	9	-1.589345E-47
8	11	-1.004847E-47
6	13	-1.880511E-48
4	15	5.475794E-49
2	17	-3.047415E-49
0	19	-9.727850E-50

M3		
RDX	1950.769311	
RDY	5405.33455	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
0	1	2.211959E-01
2	1	5.363149E-07
0	3	3.395479E-08
4	0	1.864443E-10

[0148]

2	2	4.823368E-10
0	4	9.157018E-11
4	1	7.645753E-13
2	3	6.891428E-13
0	5	-2.570660E-14
6	0	2.467281E-16
4	2	1.618139E-15
2	4	8.325315E-16
0	6	-8.820476E-16
6	1	6.337835E-19
4	3	2.254354E-19
2	5	-4.831058E-19
0	7	1.843931E-18
8	0	1.040700E-21
6	2	-6.931574E-21
4	4	-5.203138E-21
2	6	1.117601E-20
0	8	7.896627E-20
8	1	2.520620E-23
6	3	-7.530962E-23
4	5	2.702727E-22
2	7	2.957338E-22
0	9	4.321044E-22
10	0	2.324394E-27
8	2	1.716953E-25
6	4	-3.636255E-25
4	6	4.395988E-24
2	8	2.130226E-24
0	10	-1.174848E-25
10	1	-2.162324E-28
8	3	1.562169E-27
6	5	2.219468E-29
4	7	3.452406E-26
2	9	6.192937E-27
0	11	-1.053470E-26
12	0	-1.345201E-30
10	2	3.487516E-30
8	4	2.301171E-29
6	6	6.508609E-30
4	8	1.638736E-28
2	10	-2.420174E-30
0	12	-4.587658E-29
12	1	-2.759759E-32
10	3	5.445478E-32

[0149]

8	5	1.784350E-31
6	7	-4.197042E-32
4	9	4.689537E-31
2	11	-6.143645E-32
0	13	-7.467778E-32
14	0	9.162545E-36
12	2	-4.524112E-34
10	4	2.012209E-34
8	6	6.747699E-34
6	8	-7.939156E-34
4	10	6.439473E-34
2	12	-9.179677E-35
0	14	1.444574E-35
14	1	2.497393E-38
12	3	-3.240023E-36
10	5	1.046025E-37
8	7	9.506375E-37
6	9	-4.333504E-36
4	11	-4.314460E-37
2	13	3.739944E-37
0	15	1.480508E-37
16	0	-4.495069E-41
14	2	2.446468E-39
12	4	-8.023350E-39
10	6	-2.675986E-39
8	8	-9.165381E-40
6	10	-1.193130E-38
4	12	-3.489656E-39
2	14	1.791866E-39
0	16	-1.871617E-40
16	1	2.125963E-42
14	3	3.071722E-41
12	5	-1.554874E-42
10	7	-1.564685E-41
8	9	-2.155536E-42
6	11	-1.761698E-41
4	13	-6.269715E-42
2	15	3.245717E-42
0	17	-1.082520E-42
18	0	1.924996E-46
16	2	2.443271E-44
14	4	1.066775E-43
12	6	1.074146E-44
10	8	-3.435471E-44

[0150]

8	10	5.302669E-45
6	12	-1.291405E-44
4	14	-5.259902E-45
2	16	2.876640E-45
0	18	-1.397427E-45
18	1	3.244719E-48
16	3	5.195045E-47
14	5	1.079975E-46
12	7	9.818738E-49
10	9	-2.530050E-47
8	11	9.709033E-48
6	13	-3.512977E-48
4	15	-1.753958E-48
2	17	1.035584E-48
0	19	-6.191131E-49

M2		
RDX	-3324.161871	
RDY	-9483.273952	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
0	1	-3.352548E-01
2	1	-1.066975E-07
0	3	2.828071E-08
4	0	3.674763E-12
2	2	2.111023E-11
0	4	1.836277E-11
4	1	-2.399790E-14
2	3	-2.765283E-14
0	5	7.073497E-14
6	0	1.435970E-18
4	2	1.591669E-17
2	4	-5.270059E-19
0	6	-5.617890E-16
6	1	-9.649586E-21
4	3	-2.256619E-20
2	5	4.525704E-19
0	7	5.503615E-18
8	0	1.066142E-23
6	2	1.909708E-22
4	4	4.811811E-22
2	6	-8.495791E-21
0	8	-3.175982E-20

[0151]

8	1	-1.732938E-25
6	3	-1.299077E-24
4	5	-2.361479E-24
2	7	6.539053E-23
0	9	-4.459133E-23
10	0	-2.078057E-28
8	2	-3.119694E-27
6	4	-2.336766E-26
4	6	-3.032869E-26
2	8	-3.098679E-26
0	10	1.492980E-24
10	1	5.797700E-30
8	3	6.751324E-29
6	5	3.639691E-28
4	7	3.180267E-28
2	9	-2.168906E-27
0	11	-4.723878E-27
12	0	2.019976E-33
10	2	-5.852430E-33
8	4	-2.695835E-31
6	6	-1.615166E-30
4	8	-1.625220E-30
2	10	6.437924E-30
0	12	-2.309351E-29
12	1	-7.225996E-35
10	3	-7.881430E-34
8	5	-1.560118E-33
6	7	6.447943E-35
4	9	1.555573E-32
2	11	5.635467E-32
0	13	2.076124E-31
14	0	-8.318004E-39
12	2	5.361877E-37
10	4	8.027278E-36
8	6	1.445372E-35
6	8	8.520528E-36
4	10	-1.298243E-34
2	12	-4.262780E-34
0	14	-5.039513E-34
14	1	3.970989E-40
12	3	1.164289E-39
10	5	-3.866255E-38
8	7	-1.459056E-38
6	9	1.196716E-37

[0152]

4	11	4.874640E-37
2	13	7.427533E-37
0	15	-4.298059E-37
16	0	-1.748162E-45
14	2	-4.270297E-42
12	4	-3.026188E-41
10	6	1.248911E-40
8	8	-1.998889E-40
6	10	-1.050110E-39
4	12	-1.788739E-40
2	14	2.544837E-39
0	16	5.525771E-39
16	1	-5.109127E-46
14	3	1.840306E-44
12	5	1.588798E-43
10	7	-3.775213E-43
8	9	8.934178E-43
6	11	3.463040E-42
4	13	-4.296729E-42
2	15	-1.423987E-41
0	17	-1.439764E-41
18	0	3.907694E-50
16	2	5.376711E-48
14	4	-4.447702E-47
12	6	-3.808184E-46
10	8	9.638937E-46
8	10	-1.626263E-45
6	12	-5.468425E-45
4	14	1.260476E-44
2	16	2.570582E-44
0	18	1.785736E-44
18	1	-2.187170E-52
16	3	-1.302474E-50
14	5	6.509474E-50
12	7	3.255861E-49
10	9	-1.115572E-48
8	11	1.261492E-48
6	13	3.423631E-48
4	15	-1.147906E-47
2	17	-1.714431E-47
0	19	-9.157444E-48

[0153]

M1		
RDX	-1202.543882	

[0154]

RDY	-1250.019936	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
0	1	-1.563425E-01
2	1	-4.531102E-06
0	3	3.532752E-06
4	0	-5.415418E-08
2	2	-1.030738E-08
0	4	1.175951E-08
4	1	-3.615123E-10
2	3	-7.628358E-12
0	5	1.275970E-11
6	0	5.882071E-13
4	2	-7.905420E-13
2	4	-2.531874E-15
0	6	-7.172501E-16
6	1	5.248282E-15
4	3	-3.433417E-16
2	5	-4.593723E-18
0	7	-9.529411E-18
8	0	4.858136E-17
6	2	1.596273E-17
4	4	6.863731E-19
2	6	2.438932E-20
0	8	-1.421542E-21
8	1	3.137142E-19
6	3	1.636644E-20
4	5	-2.829057E-22
2	7	3.344288E-23
0	9	2.180154E-24
10	0	-1.507050E-22
8	2	6.871118E-22
6	4	-4.947241E-24
4	6	-1.900225E-24
2	8	-9.619657E-26
0	10	-1.974095E-27
10	1	-5.922204E-25
8	3	3.235591E-25
6	5	-2.634030E-27
4	7	8.633161E-29
2	9	-1.435327E-28
0	11	1.737266E-30
12	0	-2.089061E-26

10	2	-2.240346E-28
8	4	-7.627932E-28
6	6	3.269388E-29
4	8	1.531835E-30
2	10	5.986287E-32
0	12	1.407014E-33
12	1	-1.774134E-28
10	3	3.891570E-30
8	5	-4.738407E-31
6	7	2.078089E-33
4	9	-1.588538E-33
2	11	6.002127E-35
0	13	-3.174629E-36
14	0	-2.659417E-31
12	2	-5.413750E-31
10	4	1.100674E-32
8	6	1.246581E-33
6	8	-6.055077E-35
4	10	-1.488641E-36
2	12	-1.616775E-37
0	14	3.230342E-39
14	1	-1.707796E-33
12	3	-6.490427E-34
10	5	4.220081E-36
8	7	8.171585E-37
6	9	1.153092E-38
4	11	2.891004E-39
2	13	-8.898599E-42
0	15	3.717090E-42
16	0	-6.969664E-37
14	2	-4.371025E-36
12	4	6.033881E-38
10	6	-3.223343E-38
8	8	-1.884409E-39
6	10	1.286094E-40
4	12	2.026228E-42
2	14	2.579207E-43
0	16	-6.194114E-45
16	1	-1.805419E-39
14	3	-5.737127E-39
12	5	9.048566E-40
10	7	-6.520915E-41
8	9	-2.755574E-42
6	11	1.022544E-43

[0155]

4	13	-2.309566E-45
2	15	1.237944E-46
0	17	-5.667040E-48
18	0	1.714397E-42
16	2	-1.467642E-42
14	4	-3.943840E-42
12	6	8.266524E-43
10	8	-5.059477E-44
8	10	-1.316345E-45
6	12	1.795255E-47
4	14	-2.619794E-48
2	16	-6.312609E-50
0	18	5.841591E-52
18	1	2.298365E-45
16	3	-3.955873E-46
14	5	-1.143973E-45
12	7	2.469066E-46
10	9	-1.452947E-47
8	11	-2.061163E-49
6	13	-4.538537E-51
4	15	-7.007726E-52
2	17	-4.054179E-53
0	19	1.042343E-54

도 3에 대한 표 4

[0156]

[0157] 도 4는 도 1에 따른 실시형태의 투영 광학 유닛(10) 대신에 투영 노광 장치(1)에 사용될 수 있는 투영 광학 유닛 또는 이미징 광학 유닛(28)의 추가 실시형태를 나타낸다. 도 1 내지 도 3과 관련하여, 특히 도 2 및 도 3과 관련하여 위에서 이미 설명한 것들에 상응하는 부품들 및 기능들은 동일한 참조 부호들로 표시되며, 다시 상세히 논의되지 않는다.

[0158] 투영 광학 유닛(28)의 이미지 필드(11)는 직사각형이고, 이미지 필드(11)의 x-범위는 26㎜이다. 이미지 필드(11)의 y-범위는 2.5㎜이다.

[0159] 애퍼처 스톱(AS)은 미러들(M3 및 M4) 사이의 이미징 광(16)의 빔 경로에 위치되는 입사 동공의 영역에 배열될 수 있다.

[0160] 아래의 표 1 및 표 2는 다시 한 번 투영 광학 유닛(28)의 필수 데이터를 요약한 것이다:

사용 파장	13.5 nm
이미지-측 개구수	0.28
이미징 스케일	-4.00
주광선 각도 CRA	4.99°
에탕듀	5.10 mm^2
평균 파면 수차 RMS	105.11 mλ
전체 전달률	19.21%
입사 동공의 위치 (x)	-1787.10 mm
입사 동공의 위치 (y)	-1744.09 mm
오브젝트-이미지 오프셋	959.98 mm
작동 거리(M3에서 이미지 필드까지)	77 mm
오브젝트 필드와 이미지 필드 사이의 z-거리	2155.72 mm
오브젝트 평면과 이미지 평면 사이의 각도	0.0°
설치 공간 요건 xyz	(740 x 1289 x 1808) mm

도 4에 대한 표 1

[0161]

	M1	M2	M3	M4
최대 입사 각도 /°	7.0	10.3	18.0	7.0
최소 입사 각도 /°	2.6	9.4	6.5	2.6
미러 범위 (x)/mm	464.9	418.3	236.1	739.6
미러 범위 (y)/mm	277.2	293.6	228.5	717.7
최대 미러 직경 /mm	465.7	419.3	236.8	740.4

도 4에 대한 표 2

[0162]

[0163] 미러들(M1 내지 M4) 각각은 이미징 광(16)의 모든 개별 광선들에 대해 12° 미만의 매우 작은 입사 각도 대역폭들을 갖는다. 2° 미만 및 심지어 1° 미만의 매우 작은 입사 각도 대역폭이 투영 광학 유닛(28)의 미러(M2) 상에 존재한다. 미러들(M1 내지 M4) 상으로의 절대 입사 각도는 또한 각각의 경우에 모든 개별 광선들에 대해 매우 작고, 특히 20° 미만이다. 미러들(M1 및 M4)에서, 이들 절대 입사 각도는 모든 개별 광선들에 대해 심지어 10° 미만이고, 심지어 8° 미만이다.

[0164] 투영 광학 유닛(28)의 미러들(M1 내지 M4) 중 어느 것도 직경이 750mm를 초과하지 않는다.

[0165] 표면 범위의 최대 x/y-애스펙트 비는 투영 광학 유닛(28)에 있어서의 미러(M1)에 있고, 1.68이다.

[0166] 투영 광학 유닛(28)의 이미지-측 개구수는 0.28이다.

[0167] 투영 광학 유닛(28)은 19.21%의 전체 전달률을 갖는다.

[0168] 투영 광학 유닛(28)의 오브젝트 필드(5)와 이미지 필드(11) 사이의 이미징 빔 경로에서의 직선 편광된 이미징 광(16)의 편광 회전은 약 0° 이다.

[0169] 투영 광학 유닛(28)의 입사 동공은 xz-평면 및 yz-평면 모두에서 오브젝트 필드(5) 상류, 구체적으로 이미징 빔 경로에서 오브젝트 필드(5)의 약 1750mm 상류의 이미징 빔 경로에 있다. 특히, 조명 광학 유닛(4)의 동공 패싯 미러가 거기에 배열될 수 있다.

[0170] 도 4에 따른 투영 광학 유닛(28)에 대한 광학 설계 데이터를, 도 2에 따른 실시형태와 관련하여 위에서 이미 설명한 것과 동일한 형식으로 아래에 차례로 표로 나타낸다.

z-거리 [mm]	y-거리 [mm]	x-축에 대한 기울기 [도]
이미지 필드		
0	0	0
M4		
1265.259208	0	-4.891753
M3		
87.643865	-203.060378	2.252342
M2		
1874.587205	-658.154257	4.467444
M1		
344.596382	-801.522927	-0.176651
오브젝트 필드		
2155.723202	-959.975992	0

도 4에 대한 표 3

[0171]

[0172]

M4		
RDX	-1459.985984	
RDY	-1471.16496	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
0	1	-7.411356E-04
2	1	-1.817703E-09
0	3	-1.142046E-10
4	0	-4.505287E-12
2	2	-9.337127E-12
0	4	-5.218128E-12
4	1	-8.902935E-16
2	3	-3.582759E-16
0	5	3.062720E-15
6	0	-2.276580E-18
4	2	-6.683108E-18
2	4	-7.875132E-18
0	6	-1.488301E-18
6	1	-3.286883E-21
4	3	-1.470188E-20
2	5	-4.386099E-20
0	7	-8.991473E-20
8	0	-3.452340E-24
6	2	-2.155999E-23
4	4	-4.893344E-23
2	6	2.633672E-23
0	8	8.990355E-23
8	1	3.023767E-26
6	3	2.218767E-25
4	5	4.968627E-25
2	7	9.922682E-25
0	9	1.014563E-24
10	0	3.887180E-29
8	2	2.997838E-28
6	4	9.380474E-28
4	6	1.137132E-27
2	8	-7.444560E-28
0	10	-1.439654E-27
10	1	-1.408401E-31
8	3	-2.327731E-30
6	5	-4.951165E-30
4	7	-8.803809E-30

2	9	-1.213767E-29
0	11	-6.185665E-30
12	0	-4.045153E-34
10	2	-3.641017E-33
8	4	-9.553028E-33
6	6	-2.308243E-32
4	8	-1.346996E-32
2	10	8.564910E-33
0	12	9.433408E-33
12	1	5.750699E-38
10	3	1.233052E-35
8	5	3.313836E-35
6	7	4.657227E-35
4	9	7.419267E-35
2	11	7.392669E-35
0	13	2.015834E-35
14	0	2.183652E-39
12	2	2.402104E-38
10	4	5.321841E-38
8	6	1.569644E-37
6	8	2.211418E-37
4	10	6.886862E-38
2	12	-4.654317E-38
0	14	-2.643409E-38
14	1	9.268157E-43
12	3	-2.473635E-41
10	5	-9.401326E-41
8	7	-1.324523E-40
6	9	-1.694528E-40
4	11	-2.350844E-40
2	13	-1.759871E-40
0	15	-2.796266E-41
16	0	-4.747404E-45
14	2	-6.265481E-44
12	4	-1.401714E-43
10	6	-3.678372E-43
8	8	-8.212117E-43
6	10	-6.930776E-43
4	12	-1.249946E-43
2	14	9.437368E-44
0	16	2.016067E-44

[0173]

M3		
RDX	993.417469	

RDY	1047.579204	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
0	1	-1.740816E-03
2	1	-1.564476E-07
0	3	-2.242914E-07
4	0	5.071709E-10
2	2	1.035067E-09
0	4	6.298150E-10
4	1	-5.531917E-13
2	3	-1.604328E-12
0	5	-2.083537E-12
6	0	1.291818E-15
4	2	4.819062E-15
2	4	8.579477E-15
0	6	8.389321E-15
6	1	1.331430E-17
4	3	3.811486E-17
2	5	1.325720E-16
0	7	2.818392E-16
8	0	7.660155E-20
6	2	-5.114559E-20
4	4	-8.478639E-20
2	6	-1.440522E-18
0	8	-2.876140E-18
8	1	-2.248822E-21
6	3	-6.556521E-21
4	5	-1.744590E-20
2	7	-3.022254E-20
0	9	-2.113127E-20
10	0	-1.236249E-23
8	2	2.701220E-23
6	4	1.738656E-24
4	6	9.451001E-23
2	8	3.054578E-22
0	10	3.596652E-22
10	1	1.689984E-25
8	3	5.727559E-25
6	5	1.428133E-24
4	7	3.256573E-24
2	9	3.468505E-24
0	11	2.388918E-25
12	0	1.215538E-27

[0174]

10	2	-3.416089E-27
8	4	-3.094976E-27
6	6	3.846174E-28
4	8	-2.371755E-26
2	10	-3.317170E-26
0	12	-2.051409E-26
12	1	-5.749715E-30
10	3	-2.619638E-29
8	5	-6.240658E-29
6	7	-1.669648E-28
4	9	-2.781630E-28
2	11	-2.001536E-28
0	13	4.202469E-29
14	0	-6.120780E-32
12	2	1.794892E-31
10	4	4.684304E-31
8	6	-2.924202E-31
6	8	5.736029E-31
4	10	2.234436E-30
2	12	1.801868E-30
0	14	4.752822E-31
14	1	5.404010E-35
12	3	4.390788E-34
10	5	1.069309E-33
8	7	3.263713E-33
6	9	7.175869E-33
4	11	8.656268E-33
2	13	4.525034E-33
0	15	-1.508141E-33
16	0	1.221936E-36
14	2	-3.237546E-36
12	4	-1.768236E-35
10	6	2.943503E-36
8	8	9.790991E-36
6	10	-4.485353E-35
4	12	-7.093981E-35
2	14	-3.856464E-35
0	16	-1.425716E-36

M2		
RDX	-12328.55323	
RDY	-14249.78736	
CCX	0	
CCY	0	

[0175]

[0176]

x**i	y**j	계수
0	1	8.441191E-03
2	1	1.702516E-08
0	3	3.597981E-08
4	0	-3.195563E-12
2	2	-3.584015E-12
0	4	-7.192425E-12
4	1	-1.273679E-15
2	3	9.673514E-15
0	5	7.429591E-15
6	0	-2.337422E-17
4	2	-4.113079E-17
2	4	-3.482538E-16
0	6	-1.250780E-15
6	1	3.393081E-19
4	3	-4.824056E-19
2	5	-1.266943E-18
0	7	1.087581E-17
8	0	1.841089E-21
6	2	4.421445E-21
4	4	9.901407E-21
2	6	6.548610E-20
0	8	1.270313E-19
8	1	-3.530077E-23
6	3	1.269091E-23
4	5	1.448321E-22
2	7	8.086313E-23
0	9	-2.340839E-21
10	0	-9.053332E-26
8	2	-2.749048E-25
6	4	-6.741347E-25
4	6	-1.346474E-24
2	8	-6.445753E-24
0	10	-5.433212E-24
10	1	1.704017E-27
8	3	1.130479E-27
6	5	-8.654484E-27
4	7	-1.541699E-26
2	9	-2.554007E-27
0	11	2.001114E-25
12	0	2.615771E-30
10	2	1.047683E-29
8	4	2.303065E-29
6	6	4.357951E-29

4	8	8.176319E-29
2	10	3.392389E-28
0	12	2.950021E-28
12	1	-3.884804E-32
10	3	-7.029084E-32
8	5	2.130590E-31
6	7	6.452493E-31
4	9	8.960452E-31
2	11	1.072324E-31
0	13	-8.072254E-30
14	0	-4.143649E-35
12	2	-2.319745E-34
10	4	-4.466640E-34
8	6	-3.691570E-34
6	8	-5.126553E-34
4	10	-1.115748E-33
2	12	-8.633275E-33
0	14	-1.693128E-32
14	1	3.398984E-37
12	3	1.036930E-36
10	5	-1.454444E-36
8	7	-9.455322E-36
6	9	-1.608054E-35
4	11	-2.270646E-35
2	13	-3.120909E-36
0	15	1.281055E-34
16	0	2.797219E-40
14	2	2.191745E-39
12	4	4.806919E-39
10	6	-3.144938E-39
8	8	-1.834862E-38
6	10	-3.041114E-38
4	12	-4.437899E-38
2	14	7.810250E-38
0	16	3.822764E-37

M1		
RDX	-4049.940492	
RDY	-4011.364431	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
0	1	-5.481922E-03
2	1	-6.747788E-09

[0177]

0	3	-1.583252E-08
4	0	2.277802E-13
2	2	2.117441E-12
0	4	9.949218E-12
4	1	4.564205E-17
2	3	-1.739245E-14
0	5	-1.227968E-13
6	0	7.151025E-18
4	2	-2.590453E-17
2	4	1.793620E-17
0	6	1.120764E-15
6	1	-1.604675E-19
4	3	1.004635E-19
2	5	3.727676E-18
0	7	2.164669E-17
8	0	-5.441412E-22
6	2	1.816302E-21
4	4	8.206931E-21
2	6	-1.697825E-20
0	8	-3.319486E-19
8	1	1.302569E-23
6	3	-4.434767E-24
4	5	-3.219492E-23
2	7	-5.340782E-22
0	9	-1.457772E-21
10	0	2.421402E-26
8	2	-4.261739E-26
6	4	-5.147908E-25
4	6	-7.349540E-25
2	8	3.211751E-24
0	10	3.694368E-23
10	1	-5.067503E-28
8	3	-1.989270E-28
6	5	2.259795E-27
4	7	2.745965E-27
2	9	4.114472E-26
0	11	3.673559E-26
12	0	-5.865349E-31
10	2	-3.692018E-32
8	4	1.402344E-29
6	6	3.771171E-29
4	8	2.747047E-29
2	10	-2.713491E-28
0	12	-2.126680E-27

[0178]

12	1	9.300679E-33
10	3	1.282166E-32
8	5	-5.168761E-32
6	7	-1.174732E-31
4	9	-1.259425E-31
2	11	-1.596138E-30
0	13	1.951698E-31
14	0	7.321206E-36
12	2	1.458921E-35
10	4	-1.658061E-34
8	6	-7.491998E-34
6	8	-1.098496E-33
4	10	-4.891952E-34
2	12	1.091569E-32
0	14	6.247808E-32
14	1	-6.524460E-38
12	3	-1.594904E-37
10	5	3.026949E-37
8	7	1.614172E-36
6	9	1.830610E-36
4	11	2.652557E-36
2	13	2.417602E-35
0	15	-1.697322E-35
16	0	-3.709766E-41
14	2	-1.443243E-40
12	4	6.063705E-40
10	6	5.172541E-39
8	8	1.082790E-38
6	10	1.302819E-38
4	12	4.199247E-39
2	14	-1.692833E-37
0	16	-7.411635E-37

[0179] 도 4에 대한 표 4

[0180] 도 5는 도 1에 따른 실시형태의 투영 광학 유닛(10) 대신에 투영 노광 장치(1)에 사용될 수 있는 투영 광학 유닛 또는 이미징 광학 유닛(29)의 추가 실시형태를 나타낸다. 도 1 내지 도 4와 관련하여, 특히 도 2 내지 도 4와 관련하여 위에서 이미 설명한 것들에 상응하는 부품들 및 기능들은 동일한 참조 부호들로 표시되며, 다시 상세히 논의되지 않는다.

[0181] 투영 광학 유닛(29)의 기본 설계는, 예를 들면 DE 10 2018 214 437 A1의 도 2에 있어서의 실시형태와 유사하다.

[0182] 처음 2개의 미러들(M1 및 M2)은 전체에 걸쳐 반사적으로 사용되고, 2개의 후속하는 미러들(M3 및 M4) 각각은 투영 광학 유닛(29)의 이미징 빔 경로에서 이미징 광(16)의 통과를 위한 통과 개구(30, 31)를 갖는다.

[0183] 통과 개구(30)로 인해, 미러(M3)의 전체 반사 표면의 25.3%가 차폐된다. 통과 개구(31)로 인해, 미러(M4)의 전체 반사 표면의 25.6%가 차폐된다.

[0184] 투영 광학 유닛(29)은 0.33의 이미지-측 개구수를 갖는다.

[0185] 투영 광학 유닛(29)의 이미지 필드(11)는 직사각형이다. 이미지 필드(11)는 26㎜의 x-범위 및 2.5㎜의 y-범위를 갖는다.

[0186] 동공 평면은 미러들(M3 및 M4) 사이의 이미징 빔 경로에 존재한다. 도 5에 나타내어진 바와 같이, 애퍼처 스톱(AS)이 거기에 배열될 수 있다.

[0187] 투영 광학 유닛(29)에 있어서 전체 전달률은 17.28%이다.

[0188] 투영 광학 유닛(29)의 오브젝트 필드(5)와 이미지 필드(11) 사이의 이미징 빔 경로에서의 직선 편광된 이미징 광(16)의 편광 회전은 약 0°이다.

[0189] 오브젝트-이미지 오프셋은 투영 광학 유닛들(27 및 28)에서보다 투영 광학 유닛(29)에서 현저히 더 작고, 투영 광학 유닛(29)에서 약 200㎜이다.

[0190] 광학 설계의 핵심 매개변수들을, 이 경우는 투영 광학 유닛(29)과 관련하여 이하에 다시 표로 나타낸다:

사용 파장	13.5 nm
이미지-측 개구수	0.33
이미징 스케일	-4.00
주광선 각도 CRA	5.00°
에탕듀	7.08 mm^2
평균 파면 수차 RMS	50.64 mλ
전체 전달률	17.28%
입사 동공의 위치 (x)	2812.91 mm
입사 동공의 위치 (y)	2964.98 mm
오브젝트-이미지 오프셋	203.26 mm
작동 거리(M3에서 이미지 필드까지)	75 mm
오브젝트 필드와 이미지 필드 사이의 z-거리	2385.61 mm
오브젝트 평면과 이미지 평면 사이의 각도	-0.0°
설치 공간 요건 xyz	(1096 x 1070 x 2051) mm

[0191] 도 5에 대한 표 1

	M1	M2	M3	M4
최대 입사 각도 /°	26.2	23.5	9.5	3.3
최소 입사 각도 /°	14.4	13.2	0.2	0.2
미러 범위 (x)/mm	164.8	235.0	381.0	1096.1
미러 범위 (y)/mm	92.7	152.7	370.7	1069.6
최대 미러 직경 /mm	165.4	235.8	381.7	1096.1

[0192] 도 5에 대한 표 2

[0193] 투영 광학 유닛(29)의 미러들(M3 및 M4) 각각에는 매우 작은 입사 각도가 존재하며, 각각의 개별 광선에 대해 이들은 10° 미만이다. 가장 큰 입사 각도는 미러(M4)에서 심지어 5° 미만이고, 심지어 4° 미만이다.

[0194] 반사 표면 범위의 최대 x/y-애스펙트 비는 투영 광학 유닛(29)의 미러(M1)에 있고, 1.77이다.

[0195] 미러들(M1 내지 M4) 중 어느 것도 직경이 1100㎜를 초과하지 않는다.

[0196] 도 5에 따른 투영 광학 유닛(29)에 대한 광학 설계 데이터를, 도 2에 따른 실시형태와 관련하여 위에서 이미 설명한 것과 동일한 형식으로 아래에 차례로 표로 나타낸다.

z-거리 [mm]	y-거리 [mm]	x-축에 대한 기울기 [도]
이미지 필드		
0	0	0
M4		
1602.762713	0	-0.221361
M3		
85.563209	-10.89504	-0.7957
M2		
2105.234774	28.179636	17.232651
M1		
1916.355899	161.567845	15.328909
오브젝트 필드		
2385.606084	203.256135	0

도 5에 대한 표 3

M4		
RDX	-1896.612449	
RDY	-1898.000451	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
2	1	-2.774952E-10
0	3	-2.592514E-10
4	0	-2.034136E-12
2	2	-4.046657E-12
0	4	-2.193125E-12
4	1	-4.941871E-17
2	3	-8.317272E-17
0	5	-5.068573E-16
6	0	-6.915420E-19
4	2	-2.075615E-18
2	4	-2.142960E-18
0	6	1.472719E-19
6	1	2.263475E-23
4	3	-6.450748E-23
2	5	-4.341871E-22
0	7	1.229492E-21
8	0	-1.981639E-25

[0197]

6	2	-6.187089E-25
4	4	-1.265732E-24
2	6	6.304428E-26
0	8	-3.359561E-24
8	1	-3.685176E-28
6	3	-5.177311E-28
4	5	1.189740E-27
2	7	3.423550E-27
0	9	-2.160284E-27
10	0	-1.601533E-31
8	2	-2.591068E-30
6	4	-1.846959E-30
4	6	3.998578E-30
2	8	-6.319116E-30
0	10	7.185171E-30
10	1	1.889933E-33
8	3	6.119518E-33
6	5	-1.288347E-33
4	7	-1.151201E-32
2	9	-1.915542E-32
0	11	-3.586685E-34
12	0	6.058319E-37
10	2	1.343291E-35
8	4	1.890085E-35
6	6	-1.512723E-35
4	8	-4.940575E-35
2	10	2.593279E-35
0	12	-6.752728E-36
12	1	-4.796194E-39
10	3	-2.305475E-38
8	5	-1.913224E-38
6	7	2.577847E-38
4	9	4.190837E-38
2	11	5.627113E-38
0	13	1.060108E-38
14	0	-1.657266E-42
12	2	-3.773344E-41
10	4	-8.364551E-41
8	6	-2.694547E-41
6	8	1.502360E-40
4	10	1.967819E-40
2	12	-6.174345E-41
0	14	-4.860142E-42
14	1	4.836337E-45

[0198]

12	3	2.918613E-44
10	5	5.068683E-44
8	7	2.594062E-47
6	9	-5.659188E-44
4	11	-5.363765E-44
2	13	-6.584444E-44
0	15	-1.482130E-44
16	0	1.655768E-48
14	2	4.016054E-47
12	4	1.199545E-46
10	6	1.177798E-46
8	8	-7.418456E-47
6	10	-3.348069E-46
4	12	-2.699080E-46
2	14	6.040288E-47
0	16	1.017435E-47

M3		
RDX	2152.094958	
RDY	2170.791343	
CCX	0	
CCY	0	계수
x**i	y**j	
2	1	4.621465E-09
0	3	4.171487E-09
4	0	1.490248E-10
2	2	2.950115E-10
0	4	1.607555E-10
4	1	9.401010E-15
2	3	1.629859E-14
0	5	1.123310E-13
6	0	1.525762E-16
4	2	4.530267E-16
2	4	4.915723E-16
0	6	-4.203565E-16
6	1	-4.795272E-21
4	3	-2.488879E-20
2	5	5.671921E-19
0	7	-2.369938E-18
8	0	6.258650E-22
6	2	2.102143E-21
4	4	4.441941E-21
2	6	-2.712567E-21
0	8	1.865416E-20

[0199]

8	1	5.860996E-25
6	3	1.447554E-23
4	5	3.167383E-24
2	7	-3.814351E-23
0	9	3.809653E-23
10	0	-2.394789E-26
8	2	-7.996981E-26
6	4	-3.002289E-25
4	6	-4.293578E-25
2	8	2.253172E-25
0	10	-3.830409E-25
10	1	2.027308E-29
8	3	-7.461065E-28
6	5	-1.039090E-27
4	7	2.731521E-28
2	9	1.890663E-27
0	11	-1.427744E-28
12	0	8.323626E-31
10	2	2.959543E-30
8	4	1.387158E-29
6	6	2.704898E-29
4	8	2.693460E-29
2	10	-8.501992E-30
0	12	4.197506E-30
12	1	-1.084649E-33
10	3	1.565999E-32
8	5	4.332552E-32
6	7	2.326563E-32
4	9	-1.735573E-32
2	11	-4.887520E-32
0	13	-7.735360E-33
14	0	-1.502837E-35
12	2	-5.727984E-35
10	4	-3.132230E-34
8	6	-7.367812E-34
6	8	-1.015308E-33
4	10	-7.698205E-34
2	12	1.705278E-34
0	14	-1.365811E-35
14	1	1.231658E-38
12	3	-1.099287E-37
10	5	-5.353450E-37
8	7	-6.055353E-37
6	9	-1.346645E-37

[0200]

4	11	2.629146E-37
2	13	4.961818E-37
0	15	1.062565E-37
16	0	1.107682E-40
14	2	4.675367E-40
12	4	2.782630E-39
10	6	7.946130E-39
8	8	1.216237E-38
6	10	1.382898E-38
4	12	8.159712E-39
2	14	-1.356714E-39
0	16	-4.702174E-41

M2		
RDX	-1923.1304	
RDY	-2219.473474	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
2	1	-5.748117E-08
0	3	-5.004139E-08
4	0	4.009398E-11
2	2	6.746734E-11
0	4	-1.594106E-10
4	1	-1.230988E-14
2	3	-5.006134E-14
0	5	-3.174698E-12
6	0	5.542537E-17
4	2	4.325988E-16
2	4	-1.568903E-15
0	6	5.226648E-14
6	1	-2.656489E-18
4	3	-1.430353E-17
2	5	-3.423005E-18
0	7	5.628867E-16
8	0	-5.365074E-21
6	2	-1.468642E-19
4	4	-9.741380E-20
2	6	1.308915E-18
0	8	-1.410339E-17
8	1	4.972131E-22
6	3	2.366641E-21
4	5	1.210811E-20
2	7	4.231993E-21

[0201]

0	9	-7.738693E-20
10	0	2.736194E-25
8	2	3.243836E-23
6	4	6.849828E-23
4	6	-4.760068E-25
2	8	-5.749294E-22
0	10	2.976643E-21
10	1	-5.763081E-26
8	3	-2.920835E-25
6	5	-1.414582E-24
4	7	-4.641822E-24
2	9	-1.429389E-24
0	11	6.416399E-24
12	0	8.738299E-30
10	2	-3.688634E-27
8	4	-1.252427E-26
6	6	-1.708211E-26
4	8	3.385225E-27
2	10	1.397095E-25
0	12	-4.367528E-25
12	1	3.426769E-30
10	3	2.091941E-29
8	5	7.711087E-29
6	7	3.839325E-28
4	9	7.460093E-28
2	11	2.815766E-28
0	13	-5.627423E-29
14	0	-1.572900E-33
12	2	2.085214E-31
10	4	9.511523E-31
8	6	2.105344E-30
6	8	2.965991E-30
4	10	-2.065715E-31
2	12	-1.641397E-29
0	14	3.933252E-29
14	1	-7.846332E-35
12	3	-6.205612E-34
10	5	-1.047769E-33
8	7	-1.182934E-32
6	9	-2.637610E-32
4	11	-4.848910E-32
2	13	-2.268051E-32
0	15	-2.243898E-32
16	0	4.842555E-38

[0202]

14	2	-4.655643E-36
12	4	-2.666823E-35
10	6	-6.958593E-35
8	8	-1.815569E-34
6	10	-1.816555E-34
4	12	-7.206911E-35
2	14	7.115489E-34
0	16	-1.638864E-33

M1		
RDX	1755.063305	
RDY	2147.601582	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
2	1	1.184699E-07
0	3	9.573008E-08
4	0	-1.428257E-10
2	2	-2.292500E-10
0	4	4.643347E-10
4	1	-2.924438E-14
2	3	1.123224E-13
0	5	2.386181E-11
6	0	-1.557101E-16
4	2	-1.199582E-15
2	4	2.034369E-14
0	6	-4.478883E-13
6	1	5.281243E-17
4	3	1.609890E-16
2	5	6.441107E-17
0	7	-1.432148E-14
8	0	-2.071742E-21
6	2	9.858022E-19
4	4	-1.727492E-18
2	6	-3.838913E-17
0	8	3.742033E-16
8	1	-2.372994E-20
6	3	-5.674282E-20
4	5	-3.447810E-19
2	7	-1.578190E-19
0	9	7.142425E-18
10	0	1.144218E-23
8	2	-6.459108E-22
6	4	-3.927221E-22

[0203]

4	6	3.937244E-21
2	8	4.270203E-20
0	10	-2.443914E-19
10	1	5.927660E-24
8	3	1.757922E-23
6	5	7.237423E-23
4	7	3.537100E-22
2	9	1.449351E-22
0	11	-2.532107E-21
12	0	-3.266350E-27
10	2	1.813940E-25
8	4	4.934095E-25
6	6	-2.791265E-25
4	8	-3.336562E-24
2	10	-2.685800E-23
0	12	1.091363E-22
12	1	-7.321071E-28
10	3	-2.950208E-27
8	5	-7.408885E-27
6	7	-5.487276E-26
4	9	-1.424537E-25
2	11	-8.244894E-26
0	13	5.001853E-25
14	0	4.113048E-31
12	2	-2.295726E-29
10	4	-1.048887E-28
8	6	-1.347135E-28
6	8	1.452659E-28
4	10	1.243200E-27
2	12	8.407264E-27
0	14	-2.887808E-26
14	1	3.482369E-32
12	3	1.831772E-31
10	5	1.965410E-31
8	7	3.080072E-30
6	9	9.355299E-30
4	11	2.367852E-29
2	13	1.770252E-29
0	15	-3.765155E-29
16	0	-1.986410E-35
14	2	1.093730E-33
12	4	6.966547E-33
10	6	1.404361E-32
8	8	3.229483E-32

[0204]

6	10	-4.917594E-32
4	12	-1.139920E-31
2	14	-1.017838E-30
0	16	3.372124E-30

도 5에 대한 표 4

[0205]

[0206] 도 6은 도 1에 따른 실시형태의 투영 광학 유닛(10) 대신에 투영 노광 장치(1)에 사용될 수 있는 투영 광학 유닛 또는 이미징 광학 유닛(32)의 추가 실시형태를 나타낸다. 도 1 내지 도 5와 관련하여, 특히 도 2 내지 도 5와 관련하여 위에서 이미 설명한 것들에 상응하는 부품들 및 기능들은 동일한 참조 부호들로 표시되며, 다시 상세히 논의되지 않는다.

[0207] 도 5에 따른 투영 광학 유닛(29)과는 대조적으로, 도 6에 따른 투영 광학 유닛(32)에 있어서 오브젝트 평면(6)은 이미지 평면(12)과 평행하지 않고, 이미지 평면(12)에 대해 기울어져 있다. 투영 광학 유닛(32)에 있어서,

오브젝트 평면(6)과 이미지 평면(12) 사이의 각도는 8.3° 이다. 따라서, 이 각도는 10° 미만이다.

[0208] 광학 설계의 핵심 매개변수들을, 이 경우는 투영 광학 유닛(32)과 관련하여 이하에 다시 표로 나타낸다.

사용 파장	13.5 nm
이미지-측 개구수	0.33
이미징 스케일	-4.00
주광선 각도 CRA	5.00°
에탕듀	7.08 mm^2
평균 파면 수차 RMS	61.41 mλ
전체 전달률	17.37%
입사 동공의 위치 (x)	1883.14 mm
입사 동공의 위치 (y)	1601.18 mm
오브젝트-이미지 오프셋	109.39 mm
작동 거리(M3에서 이미지 필드까지)	75 mm
오브젝트 필드와 이미지 필드 사이의 z-거리	2156.00 mm
오브젝트 평면과 이미지 평면 사이의 각도	-8.3°
설치 공간 요건 xyz	(997 x 975 x 1797) mm

도 6에 대한 표 1

[0209]

	M1	M2	M3	M4
최대 입사 각도 /°	24.6	26.0	9.3	3.9
최소 입사 각도 /°	11.5	13.7	0.0	0.2
미러 범위 (x)/mm	157.3	217.9	399.7	997.0
미러 범위 (y)/mm	91.7	161.9	392.3	975.0
최대 미러 직경 /mm	157.7	218.9	400.0	997.8

도 6에 대한 표 2

[0210]

[0211] 반사 표면 범위의 최대 x/y-애스펙트 비는 투영 광학 유닛(32)에 있어서의 미러(M1)에 있고, 1.71이다.

[0212] 투영 광학 유닛(32)의 전체 전달률은 17.37%이다.

[0213] 투영 광학 유닛(32)의 오브젝트 필드(5)와 이미지 필드(11) 사이의 이미징 빔 경로에서의 직선 편광된 이미징 광(16)의 편광 회전은 약 1.4° 이다.

[0214] 통과 개구(30)로 인해, 미러(M3)의 전체 반사 표면의 24.4%가 차폐된다. 통과 개구(31)로 인해, 미러(M4)의 전체 반사 표면의 26.0%가 차폐된다. 도 6에 따른 투영 광학 유닛(32)에 대한 광학 설계 데이터를, 도 2에 따른 실시형태와 관련하여 위에서 이미 설명한 것과 동일한 형식으로 아래에 차례로 표로 나타낸다.

z-거리 [mm]	y-거리 [mm]	x-축에 대한 기울기 [도]
이미지 필드		
0	0	0
M4		
1458.185065	0	-0.266921
M3		
83.461902	-13.009742	-0.41328
M2		
1848.166908	-2.599705	19.513997
M1		
1676.945301	137.885982	21.303345
오브젝트 필드		
2155.999495	109.392218	8.298895

도 6에 대한 표 3

[0215]

[0216]

M4		
RDX	-1781.351688	
RDY	-1786.933058	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
2	1	-1.577032E-09
0	3	-8.754015E-10
4	0	-2.763784E-12
2	2	-5.361566E-12
0	4	-3.499969E-12
4	1	-4.349902E-16
2	3	-6.866580E-16
0	5	-1.333906E-15
6	0	-1.125273E-18
4	2	-3.285566E-18
2	4	-3.499881E-18
0	6	2.469208E-18
6	1	-1.123221E-22
4	3	-3.026120E-22
2	5	-5.826308E-22
0	7	1.299257E-21
8	0	-3.212716E-25
6	2	-1.473202E-24
4	4	-2.399569E-24
2	6	-2.873776E-25
0	8	-1.250687E-23
8	1	-7.893464E-29
6	3	-2.928983E-28
4	5	-6.749919E-28
2	7	-5.553059E-28
0	9	3.807155E-27
10	0	-3.727491E-31
8	2	-8.324067E-31
6	4	-1.256065E-30
4	6	9.537689E-32
2	8	-4.272432E-30
0	10	2.378393E-29
10	1	9.290659E-36

8	3	-9.638184E-34
6	5	1.581225E-33
4	7	6.223740E-34
2	9	6.475910E-33
0	11	-1.673891E-32
12	0	3.309670E-37
10	2	1.698787E-37
8	4	-4.077089E-37
6	6	-1.640044E-36
4	8	-4.464894E-36
2	10	4.555441E-36
0	12	-1.966704E-35
12	1	3.665695E-41
10	3	3.355117E-39
8	5	1.871653E-39
6	7	-2.898512E-39
4	9	2.752840E-39
2	11	-1.316362E-38
0	13	1.823380E-38

M3		
RDX	2756.438197	
RDY	2799.881003	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
2	1	2.336844E-08
0	3	9.616894E-09
4	0	1.269254E-10
2	2	2.433646E-10
0	4	1.560478E-10
4	1	3.072222E-14
2	3	4.943873E-14
0	5	1.421980E-13
6	0	1.106007E-16
4	2	3.153900E-16
2	4	3.619385E-16
0	6	-8.704664E-16
6	1	4.815942E-20
4	3	9.375829E-20
2	5	1.372310E-19
0	7	-1.144889E-18
8	0	1.649856E-22
6	2	6.191820E-22

[0217]

4	4	1.055121E-21
2	6	-1.063376E-21
0	8	2.048025E-20
8	1	-2.720588E-25
6	3	2.436473E-24
4	5	3.138023E-24
2	7	4.993968E-24
0	9	-1.149177E-23
10	0	-6.073156E-28
8	2	-2.606917E-27
6	4	-1.922072E-27
4	6	-1.107514E-26
2	8	2.608892E-26
0	10	-2.485678E-25
10	1	1.344650E-29
8	3	-2.550393E-29
6	5	-1.370734E-28
4	7	-2.756973E-29
2	9	-1.957515E-28
0	11	3.747474E-28
12	0	8.548938E-33
10	2	5.122573E-32
8	4	6.687237E-32
6	6	9.839367E-32
4	8	2.203827E-31
2	10	-1.748925E-31
0	12	1.270232E-30
12	1	-1.425391E-34
10	3	-4.555582E-35
8	5	1.494223E-33
6	7	1.459523E-33
4	9	-5.314405E-34
2	11	2.176709E-33
0	13	-2.586810E-33

M2		
RDX	-2362.925822	
RDY	-2065.32297	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
2	1	-1.601565E-07
0	3	-8.212809E-08
4	0	1.256633E-10

[0218]

2	2	2.273679E-10
0	4	-3.792821E-10
4	1	-5.883858E-14
2	3	-1.282392E-13
0	5	-4.030038E-12
6	0	3.481209E-16
4	2	8.356580E-16
2	4	-2.299657E-16
0	6	7.799752E-14
6	1	-1.826514E-18
4	3	-2.126057E-18
2	5	2.370234E-17
0	7	3.766295E-16
8	0	-3.663222E-20
6	2	-8.479403E-20
4	4	-1.636193E-20
2	6	3.559382E-20
0	8	-1.031778E-17
8	1	2.040449E-22
6	3	-1.116659E-21
4	5	1.574054E-21
2	7	-7.064762E-21
0	9	-1.718828E-20
10	0	2.834490E-24
8	2	8.990412E-24
6	4	6.428969E-24
4	6	-8.874749E-24
2	8	2.605661E-23
0	10	8.388679E-22
10	1	-1.561690E-26
8	3	1.232149E-25
6	5	-5.193271E-27
4	7	-5.693922E-25
2	9	1.290030E-24
0	11	6.105191E-25
12	0	-8.680887E-29
10	2	-3.818533E-28
8	4	-4.550999E-28
6	6	3.301563E-28
4	8	6.066363E-28
2	10	-3.096519E-27
0	12	-2.959578E-26
12	1	4.264558E-31
10	3	-4.018665E-30

[0219]

8	5	-6.089999E-30
6	7	4.389431E-29
4	9	3.597680E-29
2	11	-9.006648E-29
0	13	-3.287759E-29

M1		
RDX	1802.158337	
RDY	1383.333286	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
2	1	3.055289E-07
0	3	1.588269E-07
4	0	-3.233031E-10
2	2	-6.599977E-10
0	4	1.769134E-09
4	1	-7.323518E-14
2	3	7.857463E-13
0	5	2.871263E-11
6	0	-2.170601E-15
4	2	-5.922462E-15
2	4	1.141578E-14
0	6	-1.133979E-12
6	1	1.102227E-17
4	3	1.534716E-17
2	5	-8.062953E-16
0	7	-7.331779E-15
8	0	5.452183E-19
6	2	1.822246E-18
4	4	5.345617E-19
2	6	-3.704703E-18
0	8	4.846948E-16
8	1	6.366046E-22
6	3	4.847363E-20
4	5	-5.123540E-20
2	7	5.804308E-19
0	9	2.023231E-19
10	0	-7.833507E-23
8	2	-3.460998E-22
6	4	-3.977246E-22
4	6	8.773183E-22
2	8	-2.790707E-21
0	10	-1.266135E-19

[0220]

10	1	-3.898393E-25
8	3	-1.076683E-23
6	5	-8.909172E-24
4	7	6.160100E-23
2	9	-2.833607E-22
0	11	1.946035E-22
12	0	4.510808E-27
10	2	2.752066E-26
8	4	3.836562E-26
6	6	-4.564857E-26
4	8	-1.917629E-25
2	10	1.179558E-24
0	12	1.431623E-23
12	1	3.899648E-29
10	3	7.419905E-28
8	5	1.765702E-27
6	7	-9.379213E-27
4	9	-8.205350E-27
2	11	5.723353E-26
0	13	-1.509316E-26

도 6에 대한 표 4

[0221]

[0222] 도 7은 도 1에 따른 실시형태의 투영 광학 유닛(10) 대신에 투영 노광 장치(1)에 사용될 수 있는 투영 광학 유닛 또는 이미징 광학 유닛(33)의 추가 실시형태를 나타낸다. 도 1 내지 도 6과 관련하여, 특히 도 2 내지 도 6과 관련하여 위에서 이미 설명한 것들에 상응하는 부품들 및 기능들은 동일한 참조 부호들로 표시되며, 다시 상세히 논의되지 않는다.

[0223] 투영 광학 유닛(33)의 이미지-측 개구수는 0.33이다.

[0224] 투영 광학 유닛(33)에 있어서 평균 파면 수차 RMS는 47.2mλ이다.

[0225] 입사 동공의 x-위치는 오브젝트 필드(5)의 5m 초과의 하류의 이미징 빔 경로에 있다. 투영 광학 유닛(33)의 입사 동공의 y-위치는 오브젝트 필드(5)의 8m 초과의 상류의 이미징 빔 경로에 있다. 따라서, 투영 광학 유닛(33)에서도 양호한 근사치에 대한 오브젝트-측 텔레센트리시티(telecentricity)가 존재한다.

[0226] 투영 광학 유닛(33)에 있어서 전체 전달률은 15.6%이다.

[0227] 투영 광학 유닛(33)의 오브젝트 필드(5)와 이미지 필드(11) 사이의 이미징 빔 경로에서의 직선 편광된 이미징 광(16)의 편광 회전은 약 0.5° 이다.

[0228] 상술한 모든 투영 광학 유닛들은 이미징 빔 경로를 따라 직선으로 전파되는 이미징 광(16)에 대한 매우 작은 편광 회전 효과를 갖도록 설계된다. 오브젝트 필드(5)와 이미지 필드(11) 사이의 이미징 빔 경로를 따라 전파되는 직선 편광된 이미징 광(16)은, 10° 미만이고, 7° 미만이고 그리고 5° 미만일 수도 있는 편광 회전을 경험한다. 이 편광 회전은 투영 광학 유닛들(28 및 29)에 있어서 매우 작고, 특히 1° 미만일 수 있다. 원칙적으로, 편광 회전은 0° 초과이다.

[0229] 투영 광학 유닛(33)은 6.0° 의 주광선 각도 CRA를 갖는다.

[0230] 투영 광학 유닛(33)에 있어서 오브젝트 평면(6)과 이미지 평면(12) 사이에는 8.6° 의 기울기 각도가 존재한다.

[0231] 투영 광학 유닛(33)에 있어서 오브젝트-이미지 오프셋은 415mm이다.

[0232] 투영 광학 유닛(33)에 있어서 x/y-방향으로의 설치 공간 요건은 1450mm이다.

[0233] 투영 광학 유닛(33)에 있어서 웨이퍼에 가장 가까운 미러와 이미지 필드(11) 사이의 작동 거리는 50mm이다.

[0234] 투영 광학 유닛(33)에 있어서, 오브젝트 필드(5)와 미러(M1) 사이의 이미징 빔 경로 부분은 미러(M2)와 미러(M3) 사이의 이미징 빔 경로 부분과 교차 영역(34)에서 교차한다.

[0235] 투영 광학 유닛(33)의 미러들(M1 내지 M4)은 또한 자유-형태 반사 표면들을 갖는다. 투영 광학 유닛(33)의 미러들(M1 내지 M4)의 이들 자유-형태 표면들은 G.W. Forbes, Optics Express, 2012, vol. 20, no. 3, pages

2483~2499에 의한 전문 논문 "Characterizing the shape of freeform optics"에 설명되어 있는 표면 방정식에 의해 설명될 수 있다. 이러한 표면 설명에 의한 자유-형태 표면들을 포브스(Forbes) 자유-형태 표면들이라고도 한다.

[0236] 포브스 자유-형태 표면 방정식은 다음과 같다:

$$z(h,\theta)=\frac{\rho h^2}{1+\sqrt{1-(1+\kappa)\rho^2h^2}}+\frac{\sqrt{1-\kappa\rho^2h^2}}{\sqrt{1-(1+\kappa)\rho^2h^2}}u^2(1-u^2)\sum_{n=0}^{N}a_n^0Q_n^0(u^2)$$
$$+\frac{\sqrt{1-\kappa\rho^2h^2}}{\sqrt{1-(1+\kappa)\rho^2h^2}}\sum_{m=1}^{M}u^m\sum_{n=0}^{N}\left[a_n^m\cos(m\theta)+b_n^m\sin(m\theta)\right]Q_n^m(u^2)$$

[0237] (2)

[0238] 다음이 이 방정식 (2)의 매개변수들에 적용된다:

[0239] z는 점 H, Θ에서의 자유-형태 표면의 처짐(sag)이며, 여기서 h는 방사상 좌표이고, Θ는 이 점의 방위각 좌표이다.

[0240] u=h/NH는 정규화된 방사상 좌표이고;

[0241] ρ는 곡률, 즉 곡률 반경 RD의 역수이고;

[0242] κ는 원뿔 상수, 즉 상기 표들의 값 CC에 상응한다.

[0243] Q^m_n은 앞서 언급한 포브스의 전문 전문에 설명된 단위 원(unit circle) 상에서의 직교 다항식이다.

[0244] 투영 광학 유닛(33)의 광학 설계 데이터는 다음의 표 1 및 표 2로부터 알 수 있다. 다음의 표 2에 있어서의 계수는 상기 방정식 (2)의 계수 a^m_n이다. 계수 b^m_n는 0이다.

[0245] 도 7에 따른 투영 광학 유닛(33)에 대한 광학 설계 데이터를, 도 2에 따른 실시형태와 관련하여 위에서 이미 설명한 것과 동일한 형식으로 아래에 차례로 표로 나타낸다.

z-거리 [mm]	y-거리 [mm]	x-축에 대한 기울기 [도]
이미지 필드		
0	0	0
M4		
499.479655	-1.252109	-14.266825
M3		
129.297951	-202.71356	0.224322
M2		
1450.112914	-934.129645	23.188425
M1		
74.84813	-503.522568	7.398378
오브젝트 필드		
2080.169381	-412.759825	-8.55828

도 7에 대한 표 1

M4		
RD	-674.141685	
CC	-7.057546	
NH	178	
m (방위각)	n (방사상)	계수
0	1	2.158826E+00
0	2	9.053848E-02
0	3	8.326399E-03
0	4	7.630368E-04
0	5	7.504028E-05
0	6	7.611690E-06
0	7	7.393046E-07
0	8	5.906798E-08
0	9	3.553988E-08
0	10	1.328395E-08
1	0	-2.461487E-01
2	0	8.280850E-01
1	1	4.060911E-01
3	0	8.152266E-02
2	1	-2.177222E-02
1	2	-8.231040E-03
4	0	7.398675E-04
3	1	-2.394160E-03
2	2	1.474217E-03
1	3	6.070534E-04
5	0	-2.350329E-04
4	1	-4.210644E-05
3	2	9.123412E-05

[0246]

2	3	8.582007E-05
1	4	3.820082E-05
6	0	-8.369689E-05
5	1	-2.685826E-05
4	2	-1.834685E-06
3	3	2.745246E-06
2	4	1.087568E-05
1	5	6.213705E-06
7	0	-1.841681E-05
6	1	1.368494E-06
5	2	-1.020304E-06
4	3	-4.929447E-08
3	4	-1.063891E-07
2	5	1.454338E-06
1	6	9.664322E-07

M3		
RD	-703.081741	
CC	-3.803876	
NH	122.2	
m (방위각)	n (방사상)	계수
0	1	4.007976E-01
0	2	1.117137E-03
0	3	1.362501E-04
0	4	3.380156E-06
0	5	-6.932871E-08
0	6	-2.330231E-09
0	7	-1.499203E-08
0	8	1.708493E-08
0	9	1.663774E-08
0	10	8.506459E-10
1	0	8.127828E-03
2	0	7.774468E-01
1	1	-4.475010E-02
3	0	1.146000E-01
2	1	-1.712697E-02
1	2	1.640428E-03
4	0	6.971913E-03
3	1	-2.987492E-03
2	2	4.508978E-04
1	3	-3.487619E-06
5	0	-1.168978E-03
4	1	-3.768545E-04
3	2	6.215257E-05

[0247]

2	3	2.173801E-06
1	4	1.034637E-05
6	0	-2.019444E-04
5	1	-2.215596E-05
4	2	6.847336E-06
3	3	-1.864898E-06
2	4	-1.067963E-06
1	5	3.143095E-06
7	0	-3.869970E-05
6	1	1.402010E-06
5	2	-1.124569E-06
4	3	-4.110751E-07
3	4	9.245766E-08
2	5	1.239770E-07
1	6	3.386706E-07

M2		
RD	-2266.478893	
CC	3.87813	
NH	469	
m (방위각)	n (방사상)	계수
0	1	-2.429214E+00
0	2	7.665298E-02
0	3	-2.801257E-03
0	4	8.885453E-05
0	5	-2.126937E-06
0	6	-9.077928E-08
0	7	-8.362647E-08
0	8	7.011289E-08
0	9	-3.590886E-10
0	10	-1.816603E-09
1	0	9.023216E-02
2	0	5.484354E-01
1	1	-1.384427E-01
3	0	1.114467E-01
2	1	-3.595621E-03
1	2	-1.164327E-03
4	0	2.391659E-02
3	1	-3.141348E-03
2	2	-8.894507E-04
1	3	2.080530E-04
5	0	-3.882160E-03
4	1	-9.728454E-04
3	2	-1.977228E-05

[0248]

2	3	6.740178E-05
1	4	-1.918278E-06
6	0	-7.882665E-04
5	1	3.950587E-05
4	2	1.751378E-06
3	3	5.893226E-07
2	4	-5.921587E-06
1	5	6.220505E-06
7	0	5.094393E-05
6	1	-6.775249E-07
5	2	-1.116946E-06
4	3	4.148667E-07
3	4	-3.048308E-07
2	5	1.082262E-06
1	6	1.077016E-06

M1		
RD	-2941.822992	
CC	0	
NH	188	
m (방위각)	n (방사상)	계수
0	1	1.210828E-03
0	2	1.771270E-04
0	3	-1.197954E-05
0	4	3.273471E-06
0	5	-2.734902E-07
0	6	1.048878E-07
0	7	-2.920113E-08
0	8	3.789820E-08
0	9	6.366711E-09
0	10	1.721357E-08
1	0	-7.944568E-02
2	0	-3.952909E-01
1	1	7.254268E-02
3	0	6.855305E-02
2	1	5.289044E-03
1	2	-1.884276E-03
4	0	8.098740E-03
3	1	-9.639560E-04
2	2	-1.139779E-04
1	3	-2.811414E-06
5	0	-9.615278E-04
4	1	-3.034513E-04
3	2	-3.827645E-05

[0249]

2	3	9.396414E-06
1	4	7.821304E-06
6	0	-2.274966E-04
5	1	-7.093649E-05
4	2	-3.361308E-06
3	3	2.146141E-07
2	4	-2.333223E-06
1	5	2.051580E-06
7	0	-4.841925E-05
6	1	-4.207961E-06
5	2	-3.969009E-07
4	3	6.252160E-08
3	4	-1.101290E-06
2	5	4.803750E-07
1	6	1.537131E-06

도 7에 대한 표 2

[0250]

[0251] 도 8은 도 1에 따른 실시형태의 투영 광학 유닛(10) 대신에 투영 노광 장치(1)에 사용될 수 있는 투영 광학 유닛 또는 이미징 광학 유닛(35)의 추가 실시형태를 나타낸다. 도 1 내지 도 7과 관련하여, 특히 도 2 내지 도 7과 관련하여 위에서 이미 설명한 것들에 상응하는 부품들 및 기능들은 동일한 참조 부호들로 표시되며, 다시 상세히 논의되지 않는다.

[0252] 투영 광학 유닛(35)의 이미지-측 개구수는 0.26이다.

[0253] 투영 광학 유닛(35)에 있어서 평균 파면 수차 RMS는 71.8mλ이다.

[0254] 투영 광학 유닛(35)의 입사 동공의 x-위치는 오브젝트 필드(5)의 1100mm 초과의 하류의 이미징 빔 경로에 있다. 투영 광학 유닛(35)의 입사 동공의 y-위치는 오브젝트 필드(5)의 약 1100mm 초과의 하류의 이미징 빔 경로에 있다. 따라서, 투영 광학 유닛(35)에 있어서도 양호한 근사치에 대한 오브젝트-측 텔레센트리시티가 존재한다.

[0255] 투영 광학 유닛(35)에 있어서 전체 전달률은 17.5%이다.

[0256] 투영 광학 유닛(35)의 오브젝트 필드(5)와 이미지 필드(11) 사이의 이미징 빔 경로에서의 직선 편광된 이미징 광(16)의 편광 회전은 약 1°이다.

[0257] 투영 광학 유닛(35)은 5.9°의 주광선 각도 CRA를 갖는다.

[0258] 투영 광학 유닛(35)에 있어서 오브젝트 평면(6)과 이미지 평면(12) 사이에는 18.4°의 기울기 각도가 존재한다.

[0259] 투영 광학 유닛(35)에 있어서 오브젝트-이미지 오프셋은 약 1100mm이다.

[0260] 투영 광학 유닛(35)의 오브젝트 필드(5)와 이미지 필드(11) 사이의 이미징 빔 경로의 광 경로는 약 1850mm이다.

[0261] 투영 광학 유닛(35)에 있어서 x/y-방향으로의 설치 공간 요건은 약 830mm이다.

[0262] 투영 광학 유닛(35)에 있어서 웨이퍼에 가장 가까운 미러와 이미지 필드(11) 사이의 작동 거리는 75mm이다.

[0263] 투영 광학 유닛(35)의 광학 설계 데이터는, 기본 설계의 관점에서 도 7에 따른 실시형태에 관한 표에 상응하는 다음의 표 1 및 표 2로부터 알 수 있으며, 즉 포브스 자유-형태 표면을 설명한다.

z-거리 [mm]	y-거리 [mm]	x-축에 대한 기울기 [도]
이미지 필드		
0	0	0
M4		
1383.433074	-13.578952	-4.823026
M3		
75	-241.226417	2.208116
M2		
1528.071357	-566.768637	-8.212052
M1		
60.587987	-1430.118911	-20.666167
오브젝트 필드		
1822.997128	-1096.312645	-18.409534

도 8에 대한 표 1

[0264]

M4		
RD	-1612.45275	
CC	0	
NH	269.320278	
m (방위각)	n (방사상)	계수
0	1	1.760977E-02
0	2	-8.628785E-05
0	3	6.234087E-07
0	4	5.174072E-09
0	5	-2.576197E-09
0	6	-2.407451E-09
0	7	-5.967537E-10
0	8	-6.061126E-11
0	9	-2.150472E-12
1	0	1.704289E-01
2	0	3.486352E-02
1	1	-5.265955E-03
3	0	2.008072E-03
2	1	2.174086E-04
1	2	1.378131E-05
4	0	-7.813876E-05
3	1	8.054593E-05
2	2	-5.160556E-06
1	3	-1.458274E-07
5	0	5.800466E-05
4	1	-5.289889E-06
3	2	-5.066663E-07
2	3	1.363909E-08
1	4	-1.645447E-08
6	0	-3.990225E-06
5	1	-2.912809E-07
4	2	2.983336E-08
3	3	5.370310E-09
2	4	-8.373416E-09
1	5	-5.068696E-09
7	0	-2.243625E-09
6	1	3.226100E-08
5	2	8.411002E-09
4	3	-1.396113E-09
3	4	-1.286162E-10
2	5	-3.510828E-10
1	6	-3.592554E-10

[0265]

M3		

RD	-1320.369333	
CC	0	
NH	151.916317	
m (방위각)	n (방사상)	계수
0	1	2.234853E-01
0	2	-3.494072E-03
0	3	2.464736E-04
0	4	-8.997152E-05
0	5	3.994293E-05
0	6	-1.373121E-05
0	7	3.237536E-06
0	8	-3.184110E-07
0	9	-3.922443E-08
1	0	-1.210345E+00
2	0	4.878177E-01
1	1	-7.295334E-01
3	0	-8.265461E-03
2	1	-2.177110E-02
1	2	1.713353E-02
4	0	-7.985117E-04
3	1	3.437028E-03
2	2	9.446428E-04
1	3	-5.173699E-04
5	0	1.810260E-03
4	1	1.398708E-04
3	2	-1.027657E-04
2	3	-3.317884E-05
1	4	1.261704E-05
6	0	1.546091E-05
5	1	-4.460386E-05
4	2	-5.227008E-06
3	3	1.502412E-06
2	4	6.675811E-07
1	5	1.100138E-06
7	0	4.534528E-06
6	1	-1.352029E-06
5	2	2.166020E-06
4	3	-1.556496E-07
3	4	5.456739E-07
2	5	-2.680866E-07
1	6	-2.451496E-07

[0266]

M2		
RD	4793.987896	

CC	0	
NH	332.761979	
m (방위각)	n (방사상)	계수
0	1	3.461835E+00
0	2	-6.321338E-01
0	3	-4.551329E-01
0	4	2.865871E-01
0	5	1.570447E-01
0	6	-2.681335E-01
0	7	1.489997E-01
0	8	-4.130630E-02
0	9	4.878372E-03
1	0	1.101951E+00
2	0	1.490353E+00
1	1	-1.512959E+00
3	0	3.468813E+00
2	1	1.181578E+00
1	2	-1.713662E+00
4	0	-1.765590E+00
3	1	-2.796762E+00
2	2	-4.031345E-01
1	3	1.089376E+00
5	0	-1.489463E-01
4	1	1.151131E+00
3	2	1.017497E+00
2	3	1.477901E-01
1	4	-4.248762E-01
6	0	-2.770800E-02
5	1	1.103040E-01
4	2	-2.780892E-01
3	3	-2.272929E-01
2	4	-4.227557E-02
1	5	9.912375E-02
7	0	-7.393471E-03
6	1	-1.723151E-04
5	2	-1.452361E-02
4	3	3.241639E-02
3	4	2.269809E-02
2	5	5.839684E-03
1	6	-1.060217E-02

M1		
RD	2770.180378	
CC	0	

[0267]

NH	294.960088	
m (방위각)	n (방사상)	계수
0	1	-4.458839E-02
0	2	1.060174E-02
0	3	-3.335210E-03
0	4	5.393741E-04
0	5	4.439556E-05
0	6	-5.511384E-05
0	7	2.233819E-05
0	8	-6.650336E-06
0	9	1.001173E-06
1	0	-4.098512E-01
2	0	4.037363E-01
1	1	-2.244212E-01
3	0	-2.921199E-02
2	1	2.755862E-02
1	2	2.682705E-02
4	0	1.221419E-02
3	1	1.523907E-02
2	2	-1.041059E-02
1	3	-8.615941E-03
5	0	5.609151E-03
4	1	-3.601026E-03
3	2	-3.429086E-03
2	3	3.158207E-03
1	4	2.286182E-03
6	0	-6.881652E-04
5	1	-7.501832E-04
4	2	7.091527E-04
3	3	7.364596E-04
2	4	-5.928267E-04
1	5	-3.476039E-04
7	0	-9.095077E-05
6	1	7.308780E-05
5	2	7.928103E-05
4	3	-7.798261E-05
3	4	-7.472596E-05
2	5	4.811982E-05
1	6	2.080239E-05

도 8에 대한 표 2

[0268]

[0269] 도 9 및 도 10은 도 1에 따른 실시형태의 투영 광학 유닛(10) 대신에 투영 노광 장치(1)에 사용될 수 있는 투영 광학 유닛 또는 이미징 광학 유닛(36)의 추가 실시형태를 나타낸다. 도 1 내지 도 8과 관련하여, 특히 도 2 내지 도 8과 관련하여 위에서 이미 설명한 것들에 상응하는 부품들 및 기능들은 동일한 참조 부호들로 표시되며, 다시 상세히 논의되지 않는다.

[0270] 투영 광학 유닛(36)은 오브젝트 필드(5)와 이미지 필드(11) 사이의 빔 경로에 총 7개의 미러들(M1 내지 M7)을 갖는다. 미러들(M1, M6 및 M7)은 NI 미러들로서 구현된다. 미러들(M2, M3, M4 및 M5)은 그레이징 입사를 위한 미러들, 즉 이미징 광(16)이 45° 초과의 입사 각도로 입사되는 미러들로서 구현된다. 그레이징 입사를 위한 이들 미러들은 GI(그레이징 입사) 미러들이라고도 한다.

[0271] 4개의 GI 미러들(M2, M3, M4 및 M5)의 편향 효과가 이미징 광(16)에 추가된다.

[0272] 먼저 미러들(M5 및 M6) 사이, 그리고 그 다음으로 미러(M7)와 이미지 필드(11) 사이의 이미징 빔 경로 부분들이 교차 영역(37)에서 교차한다.

[0273] 이미징 광(16)의 자오선 yz-빔 경로에서, y-중간 이미지(38)는 GI 미러들(M4 및 M5) 사이에 위치된다. 이에 수직인 평면(도 10을 참조)에서, GI 미러(M5)와 NI 미러(M6) 사이의 이미징 광(16)의 xz-빔 경로에 x-중간 필드

(39)가 위치된다.

[0274] 투영 광학 유닛(36)의 이미지-측 개구수는 0.33이다.

[0275] 투영 광학 유닛(36)에 있어서 평균 파면 수차 RMS는 8.57mλ이다.

[0276] 투영 광학 유닛(36)의 입사 동공의 x-위치는 오브젝트 필드(5)의 2700mm 하류의 이미징 빔 경로에 있다. 투영 광학 유닛(36)의 입사 동공의 y-위치는 오브젝트 필드(5)의 약 1600mm 초과의 상류의 이미징 빔 경로에 있다. 투영 광학 유닛(36)에 있어서도 양호한 근사치에 대한 오브젝트-측 텔레센트리시티가 존재한다. 투영 광학 유닛(36)에 있어서 전체 전달률은 11.1%이다.

[0277] 투영 광학 유닛(36)의 오브젝트 필드(5)와 이미지 필드(11) 사이의 이미징 빔 경로에서의 직선 편광된 이미징 광(16)의 편광 회전은 약 1.8° 이하이다.

[0278] 투영 광학 유닛(36)은 5.05° 의 주광선 각도 CRA를 갖는다.

[0279] 오브젝트 평면(6)은 이미지 평면(12)에 평행하게 놓인다. 오브젝트 평면과 이미지 평면 사이의 z-거리는 2.1m 정도이다.

[0280] 투영 광학 유닛(36)에 있어서 오브젝트-이미지 오프셋은 약 3.4m이다.

[0281] 투영 광학 유닛(36)에 있어서 x-방향, y-방향 및 z-방향으로의 설치 공간 요건은 약 1140mm×3950mm×1920mm이다.

[0282] 투영 광학 유닛(36)에 있어서 웨이퍼에 가장 가까운 미러와 이미지 필드(11) 사이의 작동 거리는 약 65mm이다.

[0283] 투영 광학 유닛(36)은 동공 차폐가 없다. 모든 미러들(M1 내지 M6)의 반사 표면들은 중단이나 통과 개구 없이 연속적으로 사용된다.

[0284] 투영 광학 유닛(36)의 이미징 스케일 β_x, β_y은 각각 x-방향으로 +0.25 또는 4.00의 축소, 및 y-방향으로 -0.25이고, 이는 전체적으로 홀수 개의 미러와 x-방향 및 y-방향으로의 각각의 중간 이미지에 의해 발생한다.

[0285] 투영 광학 유닛(36)의 이미지 필드(11)는 직사각형이며, x-방향으로 26.0mm의 범위 및 y-방향으로 2.5mm의 범위를 갖는다.

[0286] 미러(M6)의 직경은 1150mm가 조금 못된다. 반사 표면 범위의 최대 y/x-애스펙트 비는 투영 광학 유닛(36)에 있어서의 미러(M6)에 있고, 약 1.56이다. 반사 표면 범위의 최대 x/y-애스펙트 비는 투영 광학 유닛(36)에 있어서의 미러(M4)에 있고, 약 2.76이다.

[0287] 광학 설계의 표면 범위 매개변수들을, 투영 광학 유닛(36)과 관련하여 아래에 표로 나타낸다.

사용 파장	13.5 nm
이미지-측 개구수	0.33
이미징 스케일 β_x	4.00
이미징 스케일 β_y	-4.00
주광선 각도 CRA	5.05°
에탕듀	7.08 mm^2
평균 파면 수차 RMS	8.57 mλ
전체 전달률	11.12%
입사 동공의 위치 (x)	2914.91 mm
입사 동공의 위치 (y)	-1560.59 mm
오브젝트-이미지 오프셋	3359.91 mm
작동 거리(M3에서 이미지 필드까지)	65 mm
오브젝트 필드와 이미지 필드 사이의 z-거리	2156.00 mm
오브젝트 평면과 이미지 평면 사이의 각도	0.0°
설치 공간 요건 xyz	(1138 x 3950 x 1916) mm

도 9에 대한 표 1

[0288]

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
미러 범위 (x)/mm	373.9	468.5	565.1	586.2	494.4	356.4	1137.7
미러 범위 (y)/mm	378.9	679.5	566.1	212.4	233.0	556.4	1144.1

[0289] 도 9에 대한 표 2

[0290] 도 9 및 도 10에 따른 투영 광학 유닛(36)에 대한 광학 설계 데이터를, 도 2에 따른 실시형태와 관련하여 위에서 이미 설명한 것과 동일한 형식으로 아래에 차례로 표로 나타낸다.

z-거리 [mm]	y-거리 [mm]	x-축에 대한 기울기 [도]
이미지 필드		
0	0	0
M7		
1701.872691	0	-6.384275
M6		
194.410382	-341.616989	-25.88081
M5		
1855.02607	1002.790559	32.318876
M4		
1982.035966	1526.553549	2.609139
M3		
1909.396635	2017.721981	-27.21016
M2		
1197.193943	2705.301372	-58.990586
M1		
67.626497	3072.900031	185.646125
오브젝트 필드		
2156	3359.913113	0

도 9에 대한 표 3

[0291]

[0292]

M7		
RDX	-1896.361096	
RDY	-2172.735368	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
2	1	3.748844E-09
0	3	4.082096E-09
4	0	1.862746E-13
2	2	-2.732195E-12
0	4	-2.632870E-12
4	1	1.033608E-15
2	3	3.096581E-15
0	5	3.520198E-15
6	0	5.719348E-20
4	2	-8.213125E-19
2	4	-1.308788E-18
0	6	-8.472091E-19
6	1	3.676281E-22
4	3	1.442725E-21
2	5	2.098759E-21
0	7	1.956110E-21
8	0	-9.972197E-26
6	2	-5.299823E-25
4	4	-1.080368E-24
2	6	-4.511630E-25

0	8	1.273511E-24
8	1	3.183031E-28
6	3	9.255918E-28
4	5	1.120184E-27
2	7	1.307992E-28
0	9	-1.741799E-28
10	0	1.969533E-31
8	2	5.127748E-31
6	4	-9.600424E-31
4	6	1.656009E-30
2	8	1.018525E-30
0	10	-2.959197E-30
10	1	4.372614E-34
8	3	1.719123E-35
6	5	-2.108602E-33
4	7	-1.091440E-33
2	9	2.053459E-33
0	11	-2.688917E-34
12	0	-4.027581E-37
10	2	-2.776349E-36
8	4	1.232076E-36
6	6	1.082332E-36
4	8	-5.268002E-36
2	10	-9.245996E-37
0	12	8.001718E-36
12	1	-2.436417E-39
10	3	-1.522524E-39
8	5	1.700099E-39
6	7	3.507475E-39
4	9	1.089576E-39
2	11	3.717227E-41
0	13	5.267335E-39
14	0	9.757780E-44
12	2	3.145867E-42
10	4	-1.385886E-43
8	6	-1.150477E-42
6	8	3.060764E-42
4	10	7.692377E-42
2	12	2.116562E-42
0	14	-6.199603E-42
14	1	3.488520E-45
12	3	4.245401E-45
10	5	-2.569037E-45
8	7	2.555412E-45

[0293]

6	9	-5.758646E-46
4	11	4.514985E-45
2	13	1.213940E-45
0	15	-4.943294E-45

M6		
RDX	3728.135312	
RDY	7192.393986	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
2	1	-5.393279E-08
0	3	-5.205158E-08
4	0	-4.089258E-11
2	2	1.624848E-10
0	4	6.050377E-11
4	1	-4.619295E-14
2	3	-7.979284E-14
0	5	-1.140717E-13
6	0	3.279642E-16
4	2	1.116363E-16
2	4	1.375112E-16
0	6	9.134526E-17
6	1	1.451666E-19
4	3	-1.747643E-19
2	5	-3.176467E-19
0	7	-3.025259E-19
8	0	-2.941911E-22
6	2	1.667975E-22
4	4	4.611044E-22
2	6	4.351916E-22
0	8	-2.937721E-23
8	1	-7.048831E-24
6	3	-2.273726E-24
4	5	4.048946E-25
2	7	1.712014E-25
0	9	3.678786E-25
10	0	-2.729863E-26
8	2	-1.355962E-26
6	4	6.322920E-27
4	6	-1.524334E-28
2	8	5.527098E-28
0	10	4.030633E-27
10	1	1.485617E-28

[0294]

8	3	4.872947E-29
6	5	-8.988320E-30
4	7	-2.831372E-29
2	9	-1.347069E-29
0	11	-6.417311E-30
12	0	7.289430E-31
10	2	7.728636E-31
8	4	-9.289212E-32
6	6	-4.714241E-32
4	8	6.145293E-33
2	10	-8.664941E-33
0	12	-3.801942E-32
12	1	-1.717065E-33
10	3	-2.483910E-34
8	5	2.537493E-34
6	7	8.942128E-34
4	9	4.358207E-34
2	11	1.043728E-34
0	13	3.153255E-35
14	0	-4.896352E-36
12	2	-1.175634E-35
10	4	-1.512621E-36
8	6	8.887877E-37
6	8	-6.522441E-37
4	10	1.800487E-38
2	12	1.063532E-37
0	14	1.671668E-37
14	1	7.850924E-39
12	3	-1.543486E-38
10	5	-2.410394E-40
8	7	-1.148893E-38
6	9	-7.554073E-39
4	11	-2.435783E-39
2	13	-5.685012E-40
0	15	-1.341775E-40

M5		
RDX	-1506.373665	
RDY	9682.42776	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
0	1	3.695139E-02
2	1	2.174022E-07

[0295]

0	3	1.198814E-07
4	0	5.228456E-11
2	2	6.082154E-11
0	4	1.079968E-10
4	1	1.079134E-13
2	3	-5.953051E-13
0	5	9.794550E-14
6	0	5.711273E-17
4	2	-1.729307E-15
2	4	-1.353663E-15
0	6	2.947486E-16
6	1	-1.617052E-18
4	3	2.211238E-19
2	5	-5.221851E-18
0	7	-1.684650E-17
8	0	-3.980622E-22
6	2	6.198850E-21
4	4	-8.426873E-21
2	6	-1.666015E-19
0	8	-1.813809E-19
8	1	6.533429E-24
6	3	-1.864443E-23
4	5	-5.558139E-22
2	7	-9.943919E-22
0	9	2.952293E-22
10	0	-1.099102E-27
8	2	-5.519478E-26
6	4	-1.347142E-24
4	6	-3.289187E-24
2	8	6.324697E-24
0	10	1.737896E-23
10	1	-5.363127E-29
8	3	-1.976566E-27
6	5	-6.243899E-27
4	7	1.676398E-26
2	9	8.940936E-26
0	11	1.118919E-25
12	0	1.205791E-32
10	2	-1.502974E-30
8	4	4.049948E-31
6	6	7.098927E-29
4	8	2.680790E-28
2	10	1.782132E-28
0	12	-9.493938E-29

[0296]

12	1	-5.045951E-34
10	3	1.316709E-32
8	5	1.828502E-31
6	7	8.846240E-31
4	9	1.128468E-30
2	11	-1.706570E-30
0	13	-4.727743E-30
14	0	-4.213386E-38
12	2	1.595653E-35
10	4	1.884417E-34
8	6	1.174042E-33
6	8	3.721732E-33
4	10	1.459186E-33
2	12	-9.424750E-33
0	14	-2.374136E-32
14	1	6.492504E-39
12	3	7.275952E-38
10	5	5.123507E-37
8	7	2.326211E-36
6	9	5.834886E-36
4	11	-1.104588E-36
2	13	-1.328283E-35
0	15	-4.087884E-35

M4		
RDX	-1210.804598	
RDY	12074.63832	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
0	1	-2.698176E-02
2	1	1.178448E-07
0	3	-3.129178E-07
4	0	4.657755E-11
2	2	-1.372316E-09
0	4	1.796566E-09
4	1	-2.185153E-12
2	3	1.307724E-11
0	5	-3.077661E-12
6	0	-1.111985E-15
4	2	3.684560E-14
2	4	-3.595395E-14
0	6	-2.860790E-14
6	1	3.737178E-17

[0297]

4	3	-2.793525E-16
2	5	-4.710552E-16
0	7	9.377458E-17
8	0	1.175436E-20
6	2	-5.367565E-19
4	4	1.428120E-19
2	6	5.266838E-18
0	8	8.388553E-19
8	1	-3.534523E-22
6	3	3.580506E-21
4	5	1.530824E-20
2	7	-1.958050E-20
0	9	-5.038368E-21
10	0	-7.184751E-26
8	2	4.380259E-24
6	4	-2.318354E-24
4	6	-1.271641E-22
2	8	6.673241E-24
0	10	3.050330E-24
10	1	1.840476E-27
8	3	-2.568708E-26
6	5	-1.277058E-25
4	7	4.551157E-25
2	9	1.077744E-25
0	11	-1.819502E-26
12	0	2.158967E-31
10	2	-1.794638E-29
8	4	3.962308E-29
6	6	8.361486E-28
4	8	-7.058497E-28
2	10	1.445944E-28
0	12	5.444797E-28
12	1	-4.446554E-33
10	3	8.403974E-32
8	5	3.393547E-31
6	7	-1.942772E-30
4	9	7.642385E-31
2	11	-1.855720E-30
0	13	-2.745713E-30
14	0	-2.171509E-37
12	2	2.690822E-35
10	4	-1.679465E-34
8	6	-1.870776E-33
6	8	1.051877E-34

[0298]

4	10	-3.982437E-33
2	12	2.705501E-33
0	14	5.454767E-33
14	1	3.141298E-39
12	3	-6.000786E-38
10	5	6.918862E-38
8	7	2.938557E-36
6	9	4.343960E-36
4	11	8.531465E-36
2	13	6.164676E-37
0	15	-3.804903E-36

M3		
RDX	-5104.296222	
RDY	-3534.780862	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
2	1	6.531888E-08
0	3	3.167985E-08
4	0	-4.423171E-11
2	2	-1.013646E-10
0	4	-1.340077E-10
4	1	9.837574E-14
2	3	2.414040E-13
0	5	2.506732E-13
6	0	-3.082922E-17
4	2	-3.088992E-16
2	4	-7.293534E-16
0	6	-8.437465E-16
6	1	1.918791E-19
4	3	1.130788E-18
2	5	2.455702E-18
0	7	2.901385E-18
8	0	8.357363E-23
6	2	-7.973007E-22
4	4	-4.150210E-21
2	6	-9.802640E-21
0	8	-1.096302E-20
8	1	1.035430E-25
6	3	5.288504E-24
4	5	1.583854E-23
2	7	3.796260E-23
0	9	3.380245E-23

[0299]

10	0	-6.868755E-28
8	2	-4.750674E-27
6	4	-3.284931E-26
4	6	-6.137077E-26
2	8	-1.191020E-25
0	10	-7.006751E-26
10	1	2.793833E-30
8	3	3.109342E-29
6	5	1.536285E-28
4	7	2.033108E-28
2	9	2.707037E-28
0	11	6.574669E-29
12	0	-3.651869E-33
10	2	8.435172E-33
8	4	-1.105801E-31
6	6	-4.536009E-31
4	8	-4.758056E-31
2	10	-4.173359E-31
0	12	6.917769E-32
12	1	4.110075E-35
10	3	-6.825978E-35
8	5	2.546793E-34
6	7	7.220391E-34
4	9	6.765513E-34
2	11	3.997285E-34
0	13	-2.883785E-34
14	0	5.921250E-38
12	2	-2.582457E-38
10	4	1.624420E-37
8	6	-2.096781E-37
6	8	-4.739309E-37
4	10	-4.932859E-37
2	12	-1.998481E-37
0	14	3.401283E-37
14	1	-3.946315E-40
12	3	1.665930E-40
10	5	-3.647359E-40
8	7	-5.456105E-42
6	9	2.134393E-41
4	11	1.279886E-40
2	13	3.027152E-41
0	15	-1.505878E-40

[0300]

M2		

[0301]

RDX	-7297.668572	
RDY	3197.447216	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
2	1	-5.122909E-08
0	3	1.894170E-07
4	0	8.648669E-12
2	2	-1.039141E-10
0	4	2.583551E-10
4	1	3.454564E-14
2	3	-1.609929E-13
0	5	3.504233E-13
6	0	1.448146E-16
4	2	6.887309E-17
2	4	-1.523273E-16
0	6	4.504717E-16
6	1	-8.019700E-20
4	3	8.908636E-19
2	5	4.364543E-19
0	7	5.328307E-19
8	0	7.537477E-22
6	2	2.489353E-21
4	4	3.999364E-21
2	6	1.813683E-21
0	8	2.781947E-22
8	1	1.183138E-24
6	3	7.647074E-24
4	5	5.984084E-24
2	7	-4.469528E-24
0	9	-1.279703E-24
10	0	-1.385165E-26
8	2	-5.258781E-26
6	4	-3.476266E-27
4	6	-4.157106E-26
2	8	-3.764762E-26
0	10	-4.303524E-27
10	1	9.379214E-29
8	3	-7.409396E-29
6	5	-2.285401E-28
4	7	-1.951522E-28
2	9	-5.324588E-29
0	11	-8.489304E-30
12	0	1.382581E-31

10	2	9.276146E-31
8	4	-2.820662E-31
6	6	-5.621783E-31
4	8	-5.830185E-32
2	10	1.641277E-31
0	12	-2.289666E-32
12	1	-2.487975E-33
10	3	-1.101905E-33
8	5	9.657612E-34
6	7	4.854499E-34
4	9	1.187933E-33
2	11	7.038510E-34
0	13	-5.722195E-35
14	0	-2.713939E-37
12	2	-6.052809E-36
10	4	6.399608E-37
8	6	4.484671E-36
6	8	3.162514E-36
4	10	2.601808E-36
2	12	9.818499E-37
0	14	-7.675191E-38
14	1	1.840219E-38
12	3	1.870627E-38
10	5	-9.453009E-40
8	7	5.173327E-39
6	9	2.967839E-39
4	11	1.736632E-39
2	13	5.001498E-40
0	15	-4.024847E-41

M1		
RDX	-8297.712811	
RDY	-1899.720256	
CCX	0	
CCY	0	
x**i	y**j	계수
2	1	4.110040E-08
0	3	1.498006E-08
4	0	1.000736E-10
2	2	1.683917E-11
0	4	-1.850263E-11
4	1	5.430346E-14
2	3	4.291417E-14
0	5	1.608453E-14

[0302]

6	0	-1.063478E-16
4	2	1.196291E-17
2	4	7.109851E-17
0	6	-5.467158E-17
6	1	-1.407651E-19
4	3	-2.070012E-19
2	5	-7.562967E-20
0	7	1.591316E-19
8	0	-3.205437E-22
6	2	-3.080155E-22
4	4	-7.305611E-23
2	6	8.803919E-22
0	8	6.031381E-22
8	1	-5.084704E-25
6	3	5.341415E-24
4	5	1.998606E-23
2	7	2.419009E-23
0	9	-1.669778E-24
10	0	2.036647E-26
8	2	3.818484E-27
6	4	2.062521E-26
4	6	1.148952E-25
2	8	5.836606E-26
0	10	-8.015138E-26
10	1	1.261190E-29
8	3	-3.142738E-28
6	5	-6.349733E-28
4	7	-1.105741E-27
2	9	-9.774871E-28
0	11	-6.495095E-28
12	0	-4.915872E-31
10	2	-6.859774E-31
8	4	-2.708558E-30
6	6	-8.764355E-30
4	8	-1.645344E-29
2	10	-8.426611E-30
0	12	-2.684331E-30
12	1	-1.278878E-33
10	3	2.905399E-33
8	5	-1.151829E-32
6	7	-5.073007E-32
4	9	-8.237880E-32
2	11	-2.939263E-32
0	13	-6.309762E-33

[0303]

14	0	4.347084E-36
12	2	1.653236E-35
10	4	2.405335E-35
8	6	-3.165639E-35
6	8	-1.423336E-34
4	10	-1.902241E-34
2	12	-4.996666E-35
0	14	-8.294123E-36
14	1	3.113712E-38
12	3	3.321563E-38
10	5	3.877339E-38
8	7	-4.393832E-38
6	9	-1.559501E-37
4	11	-1.701134E-37
2	13	-3.396555E-38
0	15	-4.672410E-39

[0304] 도 9에 대한 표 4

[0305] 상기 표들의 곡률 반경의 부호들로부터 알 수 있는 바와 같이, 미러들(M2, M4 및 M5)을 안장 표면들을 갖는다.

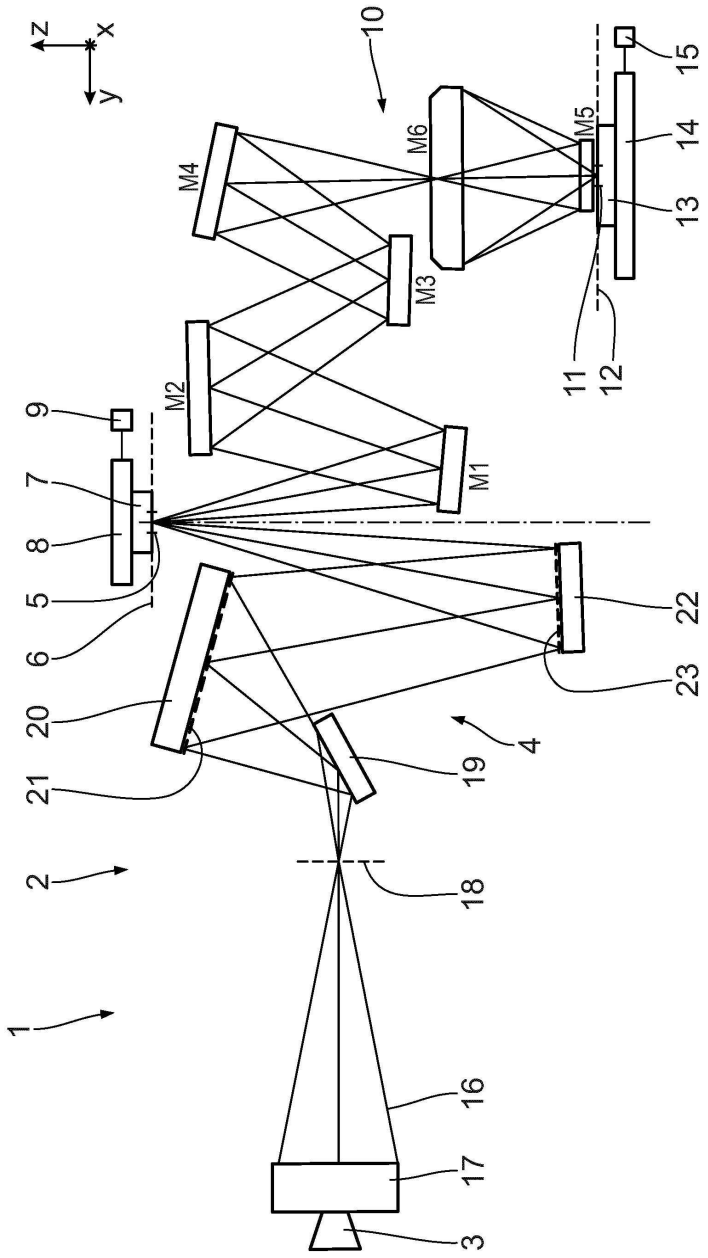
[0306] 원칙적으로, NI 및 GI 미러 시퀀스의 다른 조합도 생각할 수 있다. 특히, 연속한 GI 미러들의 미러의 수는 전달률에 너무 큰 변화를 일으키지 않으면서 3개와 5개 사이에서 변경할 수 있는데, 그 이유는 GI 미러들의 수가 증가하면 그레이징 입사 시에 충돌하여, 각각의 개별 미러가 높은 전달률을 갖기 때문이다.

[0307] 상술한 투영 광학 유닛들 중 어느 것도 오브젝트 필드(5)와 이미지 필드(11) 사이의 이미징 빔 경로에서의 직선 편광된 이미징 광(16)의 편광 회전이 10° 를 초과하지 않는다. 실제로, 상술한 투영 광학 유닛 실시형태들에 있어서, 이 편광 회전은 10° 미만, 7° 미만, 6° 미만, 5° 미만이고 또한 4.5° 미만이다.

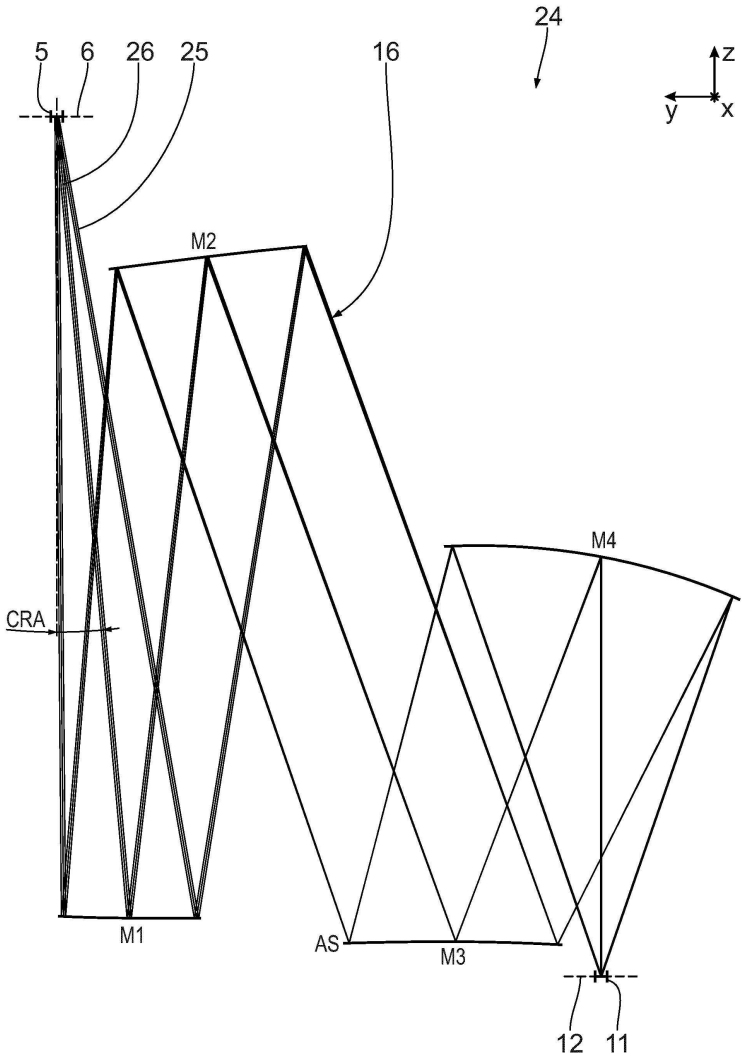
[0308] 마이크로구조화된 또는 나노구조화된 부품을 제조하기 위해, 투영 노광 장치(1)는 다음과 같이 사용된다: 먼저, 반사 마스크(10) 또는 레티클 및 기판 또는 웨이퍼(11)가 제공된다. 이어서, 레티클(10) 상의 구조가 투영 노광 장치(1)에 의해 웨이퍼(11)의 감광층 상으로 투영된다. 그런 다음, 감광층을 현상함으로 웨이퍼(11) 상의 마이크로구조 또는 나노구조, 및 그에 따른 마이크로구조화된 부품이 생성된다.

도면

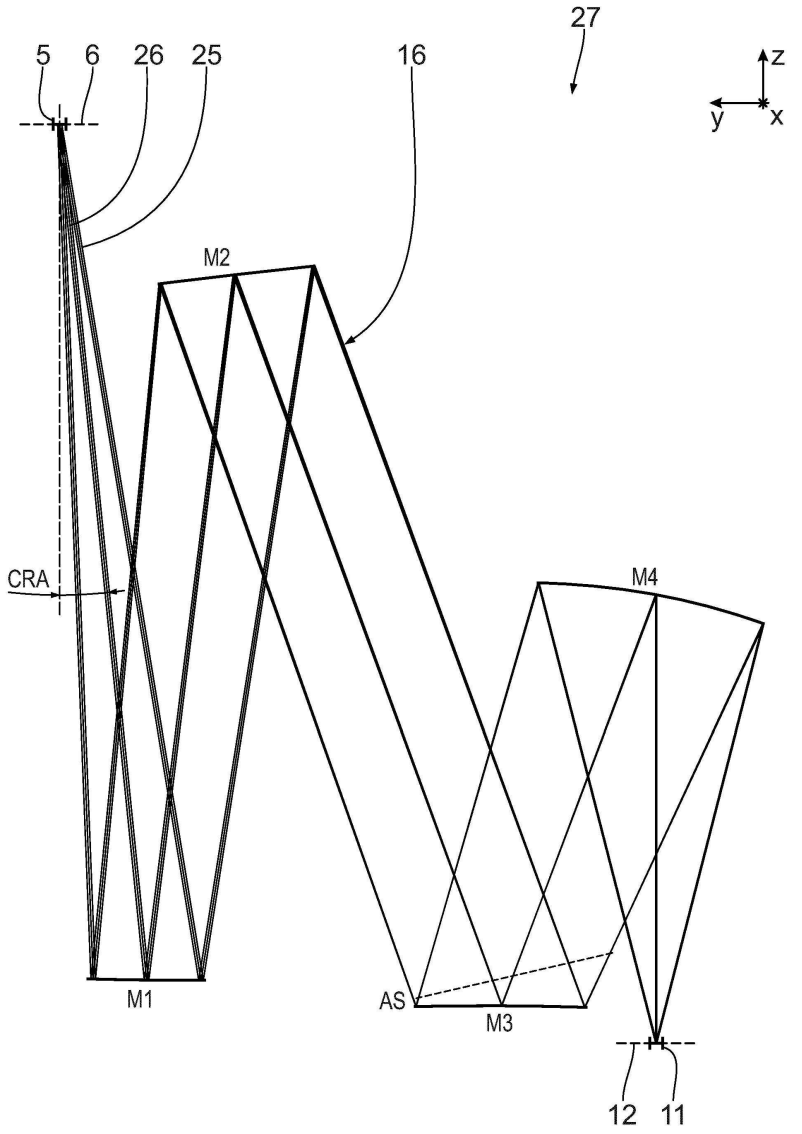
도면1


z
x
y
10
M6
M5
M4
M3
M2
M1
15
14
13
11
12
9
7
8
5
6
20
21
2
1
22
23
4
19
18
16
17
3

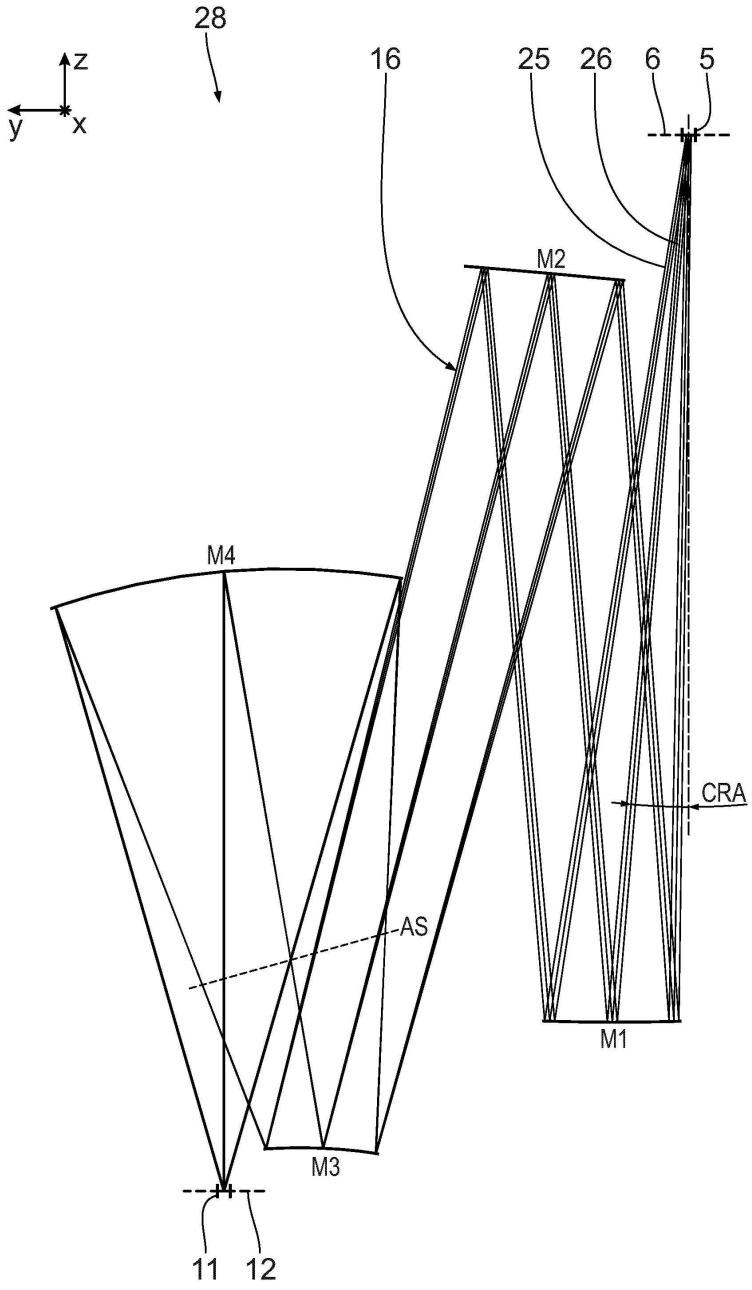
도면2



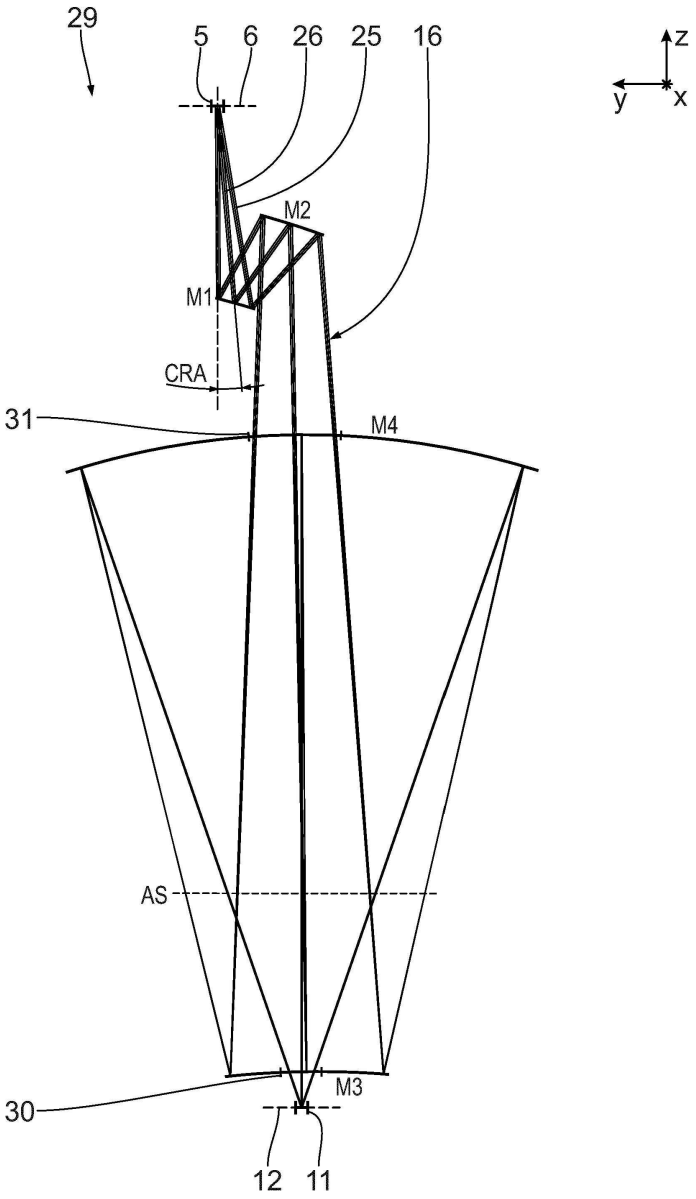
도면3



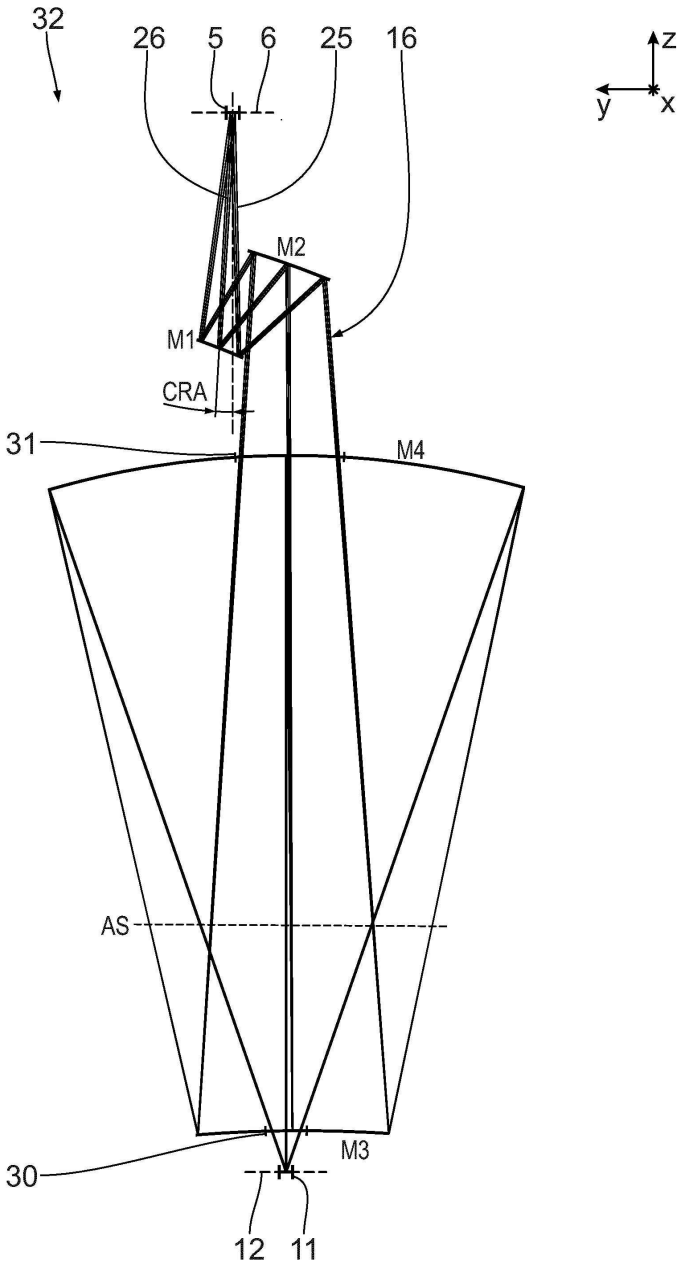
도면4



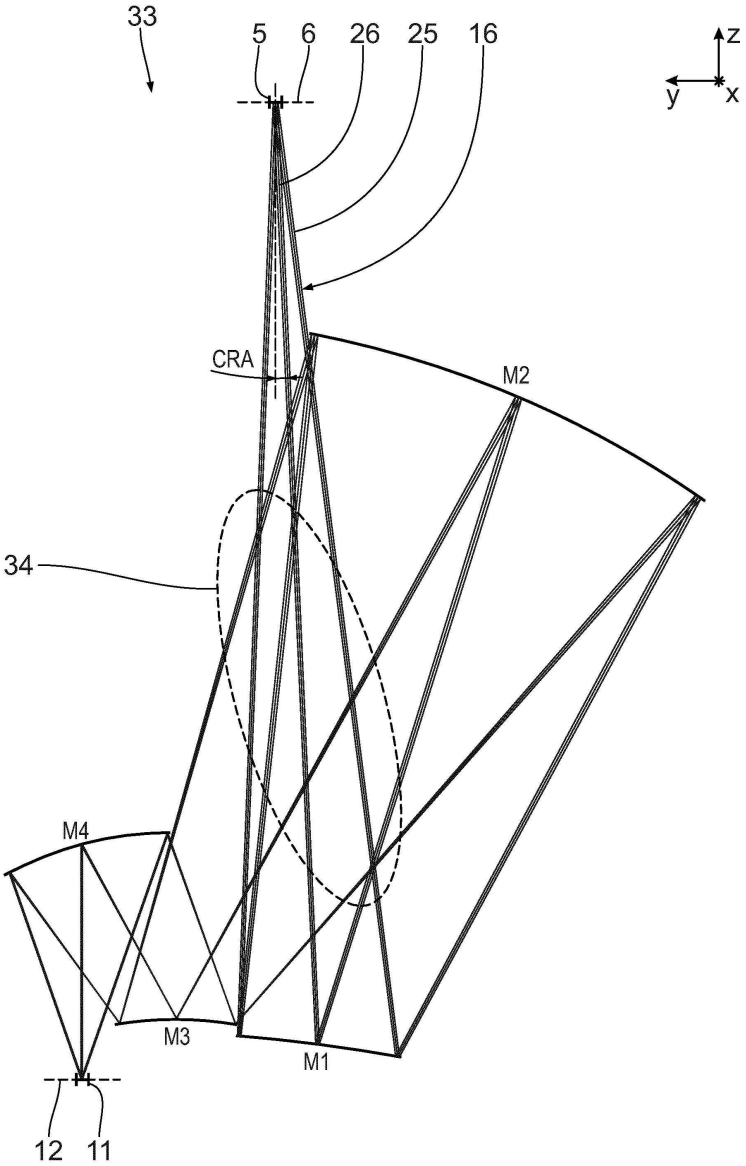
도면5



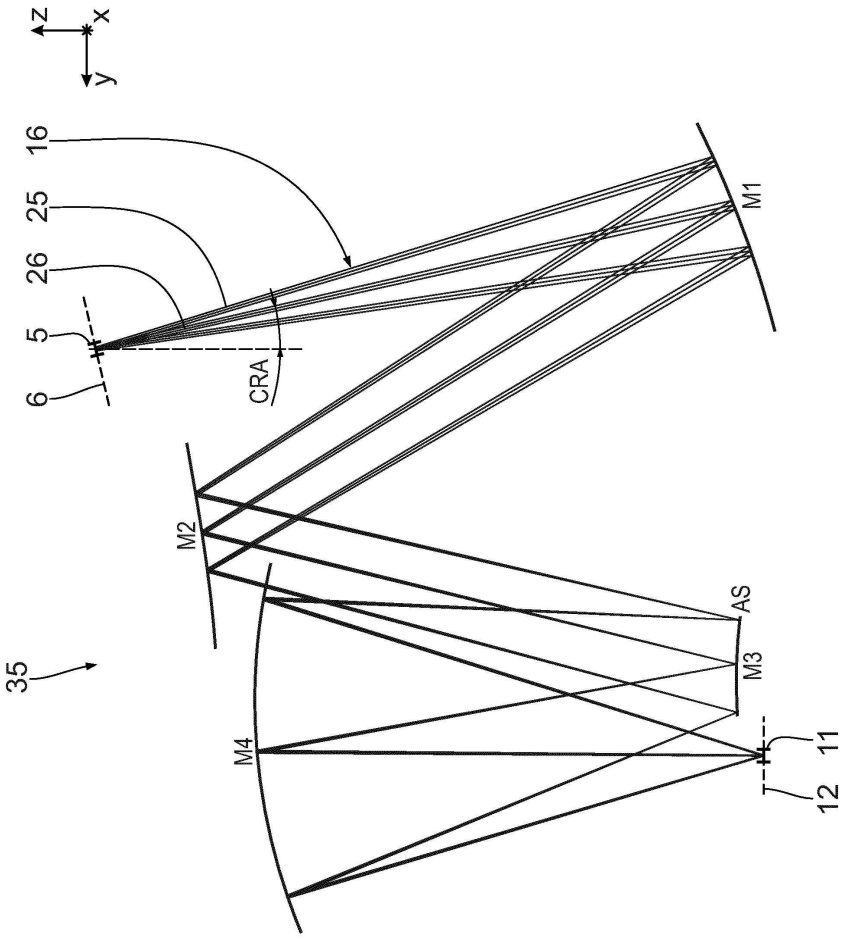
도면6



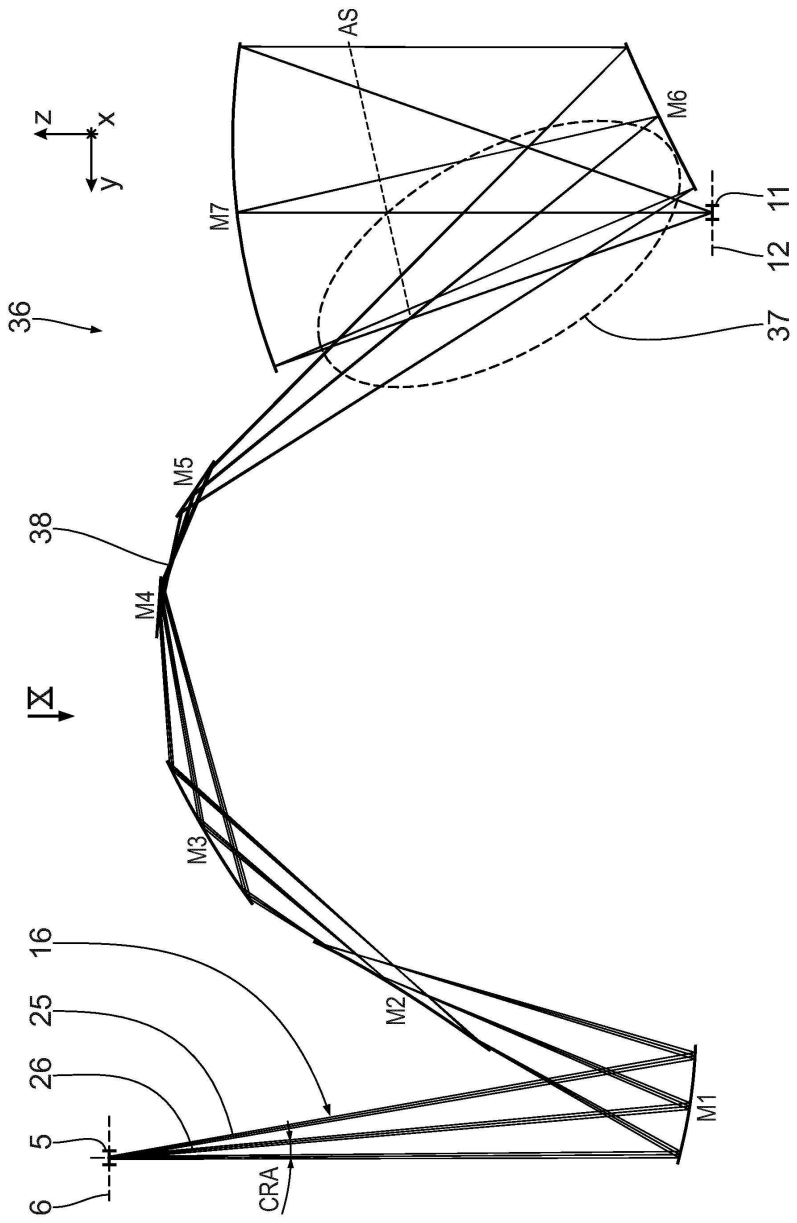
도면7



도면8



도면9



도면10

