



등록특허 10-2464752



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년11월09일
(11) 등록번호 10-2464752
(24) 등록일자 2022년11월03일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 7/20 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G03F 7/702 (2013.01)
G03F 7/70075 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2022-7017234(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2015년02월16일
심사청구일자 2022년05월23일
- (85) 번역문제출일자 2022년05월23일
- (65) 공개번호 10-2022-0070578
- (43) 공개일자 2022년05월31일
- (62) 원출원 특허 10-2016-7024766
원출원일자(국제) 2015년02월16일
심사청구일자 2020년02월14일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2015/053174
- (87) 국제공개번호 WO 2015/124515
국제공개일자 2015년08월27일
- (30) 우선권주장
102014203187.7 2014년02월21일 독일(DE)
- (56) 선행기술조사문헌
KR1020120092049 A
KR1020120087876 A
KR1020110137787 A
WO2011125827 A1

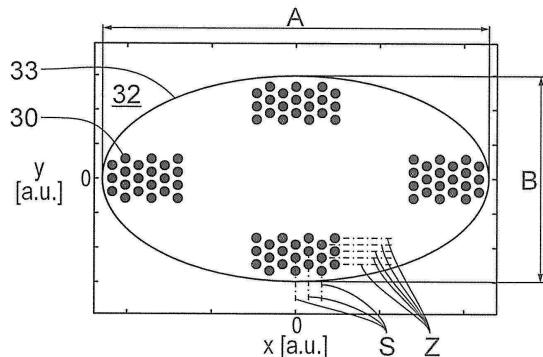
전체 청구항 수 : 총 17 항

심사관 : 정성용

(54) 발명의 명칭 투영 리소그래피용 조명 광학 유닛

(57) 요 약

투영 리소그래피용 조명 광학 유닛은 오브젝트 필드를 조명하는 역할을 한다. 여기서, 제 1 전송 광학 유닛은 광원으로부터 나오는 조명 광을 가이드하는 역할을 한다. 조명 사전결정 패싯 미러는 제 1 전송 광학 유닛의 다운스트림에 배치되며 복수의 조명 사전결정 패싯을 포함한다. 상기 패싯 미러는 조명된 조명 사전결정 패싯의 (뒷면에 계속)

대 표 도 - 도14

배열에 의해 오브젝트 필드의 사전 결정된 조명을 생성한다. 이것은, 오브젝트 필드의 조명 각도 분포를 사전 결정하는 조명 광학 유닛의 조명 동공의 조명을 야기한다. 조명 동공은 원형으로부터 벗어나는 엔벨로프를 갖는다. 조명 동공은 서브-동공 구역(30)으로 세분되고, 이는 라인 바이 라인(Z) 및/또는 칼럼 바이 칼럼(S) 방식으로 배열되어 존재한다. 이것은 투영 광학 유닛의 가능한 완전히 충전된 출사 동공을 갖는 조명 광학 유닛을 야기하며, 이것은 이미지 필드의 오브젝트 필드를 이미징하기 위하여, 그의 다운스트림에 배치된다.

(52) CPC특허분류

G03F 7/70116 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

오브젝트 필드(8)를 조명하기 위한, 투영 리소그래피용 조명 광학 유닛(11)으로서,

- 광원(2)으로부터 나오는 조명 광(3)을 가이드하기 위한 제 1 전송 광학 유닛(4)을 포함하고,
- 상기 제 1 전송 광학 유닛(4)의 다운스트림에 배치되며 복수의 조명 사전결정 패싯(25)을 포함하는 조명 사전 결정 패싯 미러(7) - 상기 패싯 미러는 조명되는 조명 사전결정 패싯(25)의 배열에 의해 상기 오브젝트 필드(8)의 사전 결정된 조명을 생성함 - 를 포함하고,
- 조명 광학 유닛(11)의 배열 - 상기 조명 광학 유닛(11)의 배열은 상기 조명 광학 유닛(11)의 최대 크기를 갖는 조명 동공의, 원형에서 일탈하는 엔벨로프(33)를 가지는 조명을 초래하도록 되어 있고, 오브젝트 필드(8)의 조명 각도 분포를 사전결정함 - 을 포함하고,
- 상기 조명 동공은 복수의 서브-동공 구역(30)으로 세분되며, 상기 복수의 서브 동공 구역은 라인 바이 라인(Z)(line by line) 방식, 또는 칼럼 바이 칼럼(S)(column by column) 방식, 또는 라인 바이 라인(Z) 및 칼럼 바이 칼럼(S) 방식으로 배열되어 존재하며,
- 상기 조명 동공의 상기 엔벨로프(33)는 제 1 동공 치수(x)의 최대 크기(A) 및 제 2 동공 치수(y)의 최소 크기(B)를 갖고, 상기 최대 크기(A)와 상기 최소 크기(B) 간의 비는 적어도 1.1인, 조명 광학 유닛.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 조명 사전결정 패싯 미러(7)는, 복수의 동공 패싯을 포함하고 상기 조명 광학 유닛의 동공 평면(32)에 또는 그에 결레인 평면(32a)에 배열되는 동공 패싯 미러(7)로서 구성되고, 상기 동공 패싯은 상기 조명 동공의 상기 서브-동공 구역(30)을 사전 결정하는 것을 특징으로 하는 조명 광학 유닛.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 오브젝트 필드(8)의 상기 사전 결정된 조명은,

- 상기 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 조명가능한 에지 형태 및
- 상기 조명 사전결정 패싯(25)의 개별 텔트 각도에 의한

상기 오브젝트 필드(8)의 사전결정된 조명의 필드 형태 및 조명 각도 분포로서 사전 결정되는 것을 특징으로 하는 조명 광학 유닛.

청구항 4

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서, 상기 배열의 열(S_i) 중 하나의 서브-동공 구역(30)은 하나의 열 안에서 서로 인접한 서브-동공 구역(30)의 간격(b_{ij})의 절반만큼 상기 배열의 인접한 열(S_j)의 서브-동공 구역(30)에 대하여 서로로부터 오프셋되어 배열되는 것을 특징으로 하는 조명 광학 유닛.

청구항 5

청구항 4에 있어서, 상기 서브-동공 구역(30)의 배열은, 상기 서브-동공 구역(30)의 6각형 배열이 생성되도록 되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 유닛.

청구항 6

청구항 4에 있어서, 상기 서브-동공 구역(30)의 배열은, 상기 서브-동공 구역(30)의 회전 카테시안 배열이 생성되도록 되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 유닛.

청구항 7

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조명 광학 유닛(11)의 배열은, 상기 조명 광학 유닛(11)의 조명 동공의 상기 엔벨로프(33)가 타원형의 형태를 갖도록 되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 유닛.

청구항 8

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조명 동공의 상기 서브-동공 구역(30)은 제 1 서브-동공 치수(x)의 최대 크기 및 제 2 서브-동공 치수(y)의 최소 크기를 갖고, 상기 최대 크기와 상기 최소 크기의 비는 적어도 1.1인 것을 특징으로 하는 조명 광학 유닛.

청구항 9

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제 1 전송 광학 유닛은 복수의 전송 패싯(21)을 갖는 전송 패싯 미러(6)를 포함하는 것을 특징으로 하는 조명 광학 유닛.

청구항 10

청구항 9에 있어서, 상기 전송 패싯 미러의 엔벨로프는 제 1 필드 치수(y)의 최대 크기 및 제 2 필드 치수(x)의 최소 크기를 갖고, 상기 최대 크기와 상기 최소 크기 간의 비는 적어도 1.1인 것을 특징으로 하는 조명 광학 유닛.

청구항 11

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전송 광학 유닛(4)은 상기 조명 광학 유닛(11)의 상기 조명 동공에 상기 광원(2)의 왜상(anamorphic) 이미지를 생성하는 콜렉터(34)를 포함하는 것을 특징으로 하는 조명 광학 유닛.

청구항 12

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조명 동공을 생성하기 위한, 상기 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 다운스트림에 배치되는 추가 전송 광학 유닛(42; 47; 48)을 특징으로 하는 조명 광학 유닛.

청구항 13

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 기재된 조명 광학 유닛(11)의 일부로서의 동공 패싯 미러(7)로서, 상기 동공 패싯 미러(7)의 엔벨로프(33)의 배열은 타원형의 형태를 가지며 상기 조명 사전결정 패싯(25)은 육각형 배열을 갖는, 동공 패싯 미러(7).

청구항 14

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 기재된 조명 광학 유닛 및 이미지 필드(17)에 상기 오브젝트 필드(8)를 이미징하기 위한 투영 광학 유닛(10)을 포함하는 광학 시스템.

청구항 15

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 기재된 조명 광학 유닛 및 광원(2)을 포함하는 조명 시스템.

청구항 16

청구항 14에 기재된 광학 시스템 및 광원(2)을 포함하는 투영 노광 장치.

청구항 17

마이크로구조화된 구성요소를 생산하는 방법으로서,

- 레티클(8)을 제공하는 단계,
- 조명 광(3)에 감응하는 코팅을 웨이퍼(19)에 제공하는 단계,
- 청구항 16에 기재된 상기 투영 노광 장치(1)의 도움으로 상기 웨이퍼(19) 상으로 상기 레티클(8)의 적어도 일

부를 투영하는 단계,

- 상기 웨이퍼(19) 상의, 상기 조명 광(3)에 노광된 감광성 층을 현상하는 단계를 포함하는, 생산 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 우선권 출원 DE 10 2014 203 187.7의 내용은 참조로 통합된다.

[0002] 본 발명은 마이크로리소그래픽 조명 광학 유닛에 관한 것이다. 더욱이, 본 발명은 이러한 조명 광학 유닛을 포함하는 광학 시스템, 이러한 조명 광학 유닛을 포함하는 조명 시스템, 이러한 광학 시스템을 포함하는 투영 노광 장치, 마이크로구조화된 또는 나노구조화된 구성요소를 생산하기 위한 방법 및 이러한 방법에 의해 생성된 구성요소에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 전송 광학 유닛 및 그의 다운스트림에 배치되는 조명 사전결정 패싯 미러를 포함하는 조명 광학 유닛은, WO 2010/099807 A1 및 US 2006/0132747 A1으로부터 알려져 있다. 조명 사전결정 패싯 미러 또는 상응하는 굴절 구성요소가 동공 평면에 배열되는 조명 광학 유닛은 WO 2005/015314 A2, US 5,963,305 및 US 7,095,560으로부터 알려져 있다. US 2013/0128251 A1은 왜상 투영 광학 유닛을 갖는 투영 노광 장치를 개시한다. DE 10 2011 113 521 A1은 마이크로리소그래픽 투영 노광 장치를 개시한다. DE 10 2008 009 600 A1은 마이크로리소그래픽 투영 노광 장치에서 사용하기 위한 패싯 미러 및 그에 탑재되는 투영 노광 장치를 개시한다. DE 199 31 848 A1은 EUV 조명 시스템의 허니콤(honeycomb) 종횡비를 줄이기 위한 비점수차(astigmatic) 구성요소를 개시한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명의 목적은, 가능한 한 완전하게 충전되는 이미지 필드에 오브젝트 필드를 이미징하기 위하여 다운스트림 투영 광학 유닛의 출사 동공을 야기하는 방식으로 서두에서 상술된 조명 광학 유닛을 발달시키는 것이다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명에 있어서, 본 목적은 청구항 1에 명시된 특징을 포함하는 조명 광학 유닛에 의해 성취된다.

발명의 효과

[0006] 확인된 것은, 조명 동공의 서브-동공 구역의 라인 바이 라인 및/또는 칼럼 바이 칼럼 배열이 사전 결정된 동공 구역 내에서, 원형으로부터 벗어나는 엔벨로프를 갖는 조명 동공뿐만 아니라 오브젝트 필드를 이미징하기 위한 다운스트림 투명 광학 유닛의 출사 동공을 타이트하게 충전하는 가능성을 이끌어 내는 것이다. 오브젝트 변위에 대하여 통합되어, 특히 완전히 충전된 동공 그리고 사전 결정된 공차 내에서 심지어 균질하게 완전히 충전된 동공을 성취하는 것이 가능하다.

[0007] 조명 광학 유닛의 조명 동공의 엔벨로프는 최대 크기를 갖는 조명 광학 유닛의 조명 동공이 새겨질 수 있는 윤곽선이다. 최대 크기를 갖는 조명 광학 유닛의 조명 동공은 오브젝트 필드의 조명 각도 분포의 최대 조명 각도 대역폭이 조명 광학 유닛을 사용하여 생성되는 조명 동공이다. 상이한 조명 각도 분포를 갖는 상이한 조명 세팅이 조명 광학 유닛에 의해 생성될 수 있으므로, 최대 생성가능한 지역을 갖는 조명 동공은 최대 크기를 갖는 조명 동공이다. 균일한 동공 충전의 경우에, 최대 지역을 갖는 이러한 동공은 종래의 조명 세팅으로도 또한 칭된다.

[0008] 조명 광학 유닛이 동공 패싯 미러를 가져서, 동공 패싯 미러의 최대 충돌 구역의 엔벨로프는 조명 동공의 엔벨로프에 상응한다. 서브-동공 구역은 래스터 배열에서 라인 바이 라인 및 칼럼 바이 칼럼 방식으로 존재할 수 있다. 이러한 래스터 배열의 라인은 조명 동공에 걸쳐지는 2개의 치수 중 하나를 따라 연장할 수 있으며 래스터 배열의 칼럼은 조명 동공에 걸쳐지는 이러한 동공 치수 중 다른 하나를 따라 연장할 수 있다. 이러한 래스터 배열의 라인 및 칼럼은 또한 조명 동공에 걸쳐지는 치수에 관하여 예컨대 45° 만큼 회전될 수 있다. 조명 동공에 걸쳐지는 이러한 치수들 중 하나는 오브젝트 변위 방향에 평행하게 연장하고, 이를 따라, 투영 리소그래피 동안 조명될 오브젝트는 투영 노광 동안 변위된다. 조명 광학 유닛이 스캐너-조명-투영 노광 장치에서 사용

된 결과, 오브젝트 변위 방향은 스캐닝 방향이다. 제 1 전송 광학 유닛 및 조명 사전결정 패싯 미러의 배열은 오브젝트 필드의 조명 분포를 사전 결정하는 조명 광학 유닛의 조명 동공의 조명이 원형으로부터 일탈하는 엔벨로프를 갖고 생성되도록 될 수 있다. 대안적으로 또는 추가로, 원형으로부터 일탈하는 조명 동공의 엔벨로프는 또한 조명 사전결정 패싯 미러의 다운스트림에 배치된 추가 전송 광학 유닛에 의해 생성될 수 있다.

[0009] 조명될 오브젝트는 조명 광학 유닛에 의해 조명되는 오브젝트 필드에 배열가능하다. 투영 노광 동안, 이러한 오브젝트는 오브젝트 변위 방향을 따라 변위가능하다. 오브젝트 필드는 오브젝트 필드 좌표(x 및 y)에 걸쳐지며, y-좌표는 오브젝트 변위 방향에 평행하게 연장한다. 최대 크기를 갖는 조명 동공의 엔벨로프의 x/y-종횡비는 1보다 클 수 있으며 특히 1.1보다 클 수 있고, 1.2보다 클 수 있고, 1.25보다 클 수 있고, 1.5보다 클 수 있고, 1.75보다 클 수 있으며 예컨대 2일 수 있다.

[0010] 청구항 2에 따른 동공 패싯 미러를 포함하는 조명 광학 유닛의 실시예가 그 가치를 입증했다. 조명 광학 유닛의 필드 평면에 배열되는 필드 패싯 미러는 제 1 전송 광학 유닛의 부분이 될 수 있다. 이러한 필드 패싯 미러의 필드 패싯은 복수의 개별 미러, 특히 복수의 MEMS 미러로 세분될 수 있다. 조명 광학 유닛의 동공 패싯 미러 실시예의 경우에, 동공 패싯의 배열은 서브-동공 구역의 배열에 상응한다. 따라서, 동공 패싯의 배열은 상응하는 라인 바이 라인 및/또는 칼럼 바이 칼럼 방식으로 존재한다. 그 부분에서, 이러한 동공 패싯은 결국 복수의 개별 미러, 예컨대 복수의 MEMS 미러로 구성될 수 있다. 결과적으로, 다운스트림 투영 광학 유닛에 대하여 전체적으로 이용가능한 에텐류가 최적화될 수 있다.

[0011] 청구항 3에 기재된 조명 광학 유닛은 동공 패싯 미러를 갖는 실시예에 대한 대안이 된다. 이러한 대안적인 실시예 - 조명 사전결정 패싯 미러가 조명 광학 유닛의 동공 평면으로부터의 거리에 배열됨 - 는 또한 경면 반사경(specular reflector)으로도 알려져 있다.

[0012] 청구항 4에 따른 조명 동공의 구성은 다운스트림 투영 광학 유닛의 외상 효과의 보상을 허용한다. 최대 크기와 최소 크기 사이의 비 - 상기 기재된 엔벨로프의 x/y-종횡비에 상응함 - 는 적어도 1.2, 적어도 1.4, 적어도 1.5, 적어도 1.7, 적어도 2, 적어도 2.5, 적어도 3, 적어도 3.5, 적어도 4가 될 수 있으며 더 클 수 있다. 조명 광학 유닛의 조명 사전결정 패싯 미러 및 전송 광학 유닛은 2개의 동공 치수의 서브-동공 구역이 서로 동일한 간격을 갖는 방식으로 배열될 수 있다. 대안적으로, 조명 광학 유닛의 조명 사전결정 패싯 미러 및 전송 광학 유닛은 서브-동공 구역이 최소 크기를 갖는 동공 치수보다 최대 크기를 갖는 동공 치수에서 서로 더 멀게 간격을 갖는 방식으로 배열될 수 있다.

[0013] 청구항 5에 따른 서브-동공 구역의 오프셋 배열은 조명 동공의 서브-동공 구역의 추가 컴팩팅(compacting)을 가능하게 한다. 배열의 라인 중 하나의 서브-동공 구역은 라인 내에서 서로에 인접한 서브-동공 구역의 간격 절반만큼 배열의 인접한 라인의 서브-동공 구역에 대하여 서로로부터 오프셋되게 배열될 수 있다. 예시로서, 서브-동공 구역의 회전된 카테시안 배열 또는 서브-동공 구역의 육각형 배열은 이로써 칼럼 내의 그리고 라인 내의 서브-동공 구역의 간격에 따라, 즉, 이러한 라인 바이 라인 및 칼럼 바이 칼럼 배열의 그리드 상수에 따라 드러날 수 있다.

[0014] 인접 라인의 서브-동공 구역은 라인의 길이에 수직인 방향으로 서로 부분적으로 중첩할 수 있으며, 이것은 또한 조명 동공의 서브-동공 구역의 배열의 컴팩트니스(compactness)를 증가시킨다. 상응하는 서술은 칼럼의 가능한 중첩에 적용된다.

[0015] 심지어 청구항 9에 따른 조명 동공에서 서브-동공 구역의 1로부터 벗어나는 종횡비는 투영 광학 유닛의 외상 효과의 사전 보상을 위하여 사용될 수 있으며, 이것은 조명 광학 유닛으로부터의 다운스트림에 배열된다. 서브-동공 구역의 종횡비는 예컨대 원형 서브-동공 구역이 이러한 투영 광학 유닛의 후속하는 외상 효과의 결과로서 투영 광학 유닛의 출사 동공에서 드러나는 방식으로 사전 설정될 수 있다. 서브-동공 구역의 최대 크기와 최소 크기의 비는 적어도 1.2, 적어도 1.4, 적어도 1.5, 적어도 1.7, 적어도 2, 적어도 2.5, 적어도 3, 적어도 3.5, 적어도 4가 될 수 있으며 더 클 수 있다. 특히, 서브-동공 구역은 타원형 실시예를 가질 수 있다. 종횡비는 광원으로 인한 것일 수 있거나 예컨대 조명 광학 유닛 내의 외상 이미징을 통하여 전송 광학 유닛에 의하여 유발될 수 있다. 서브-동공 구역의 최대 크기를 갖는 서브-동공 치수는 조명 동공의 엔벨로프의 최대 크기를 갖는 동공 치수에 평행하게 연장할 수 있다.

[0016] 청구항 10에 따른 전송 패싯은 모놀리식으로 또는 개별 MEMS 미러의 그룹으로서 구현될 수 있다. 전송 패싯 또는 전송 패싯 그룹은 원통형 광학 유닛으로서 구현될 수 있다. 이것은 조명 광학 유닛의 원하는 외상 이미지에 대해 기여할 수 있다.

[0018] *청구항 11에 따른 전송 패싯 미러의 엔벨로프의 종횡비는, 전송 패싯 미러가 조명 광학 유닛의 왜상 이미지의 부분일 때 유리할 수 있다. 최대 필드 치수는 최소 동공 치수에 평행하게 연장할 수 있다. 최소 필드 치수는 최대 동공 치수에 평행하게 연장할 수 있다.

[0019] 청구항 12에 따른 콜렉터는 조명 광학 유닛의 왜상 이미징 효과의 사전 결정에 특히 적절한 것이 발견되었다. 이것은 조명 광학 유닛의 추가 구성요소를 절약한다. 이러한 콜렉터의 왜상 이미징은 회전 대칭으로부터 일탈하는 서브-동공 구역, 특히 타원형 서브-동공 구역을 생성할 수 있다. 콜렉터는 조명 광의 빔 경로의 광원의 제 2 중간 이미지를 생성하는 콜렉터 서브 유닛을 포함할 수 있다. 콜렉터는 조명 동공의 동공 평면의 추가 중간 이미지를 생성하는 적어도 하나의 추가 콜렉터 서브 유닛을 포함할 수 있다. 제 2 중간 이미지는 회전 대칭일 수 있다. 콜렉터는 NI 미러 및/또는 GI 미러에 의해 실현되는 콜렉터 구성요소 또는 콜렉터 서브 유닛을 포함할 수 있다. 콜렉터 서브 유닛 중 적어도 하나는 볼터(Wolter) 콜렉터 유닛으로서 구성될 수 있다. 예시로서, 볼터 광학 유닛은 US 2003/0043455 A1에 그리고 그에 명시된 언급에서 기재된다. 콜렉터는 또한 제 1 중간 이미지로서 회전 대칭으로부터 일탈하는 광원의 중간 이미지를 또한 생성할 수 있다. 이러한 중간 이미지는 전송 광학 유닛의 추가 구성요소에 의해 조명 동공의 동공 평면에 이미징될 수 있다.

[0020] 청구항 13에 따른 추가 전송 광학 유닛은 조명 광학 유닛의 광학 구성요소를 설계할 때 자유도의 수를 증가시킨다. 추가 전송 광학 유닛은 왜상 광학 유닛으로 구성될 수 있다. 대안적으로, 광원의 이미 비회전 대칭인 이미지는 추가 전송 광학 유닛에 의해 이미징될 수 있다. 추가 전송 광학 유닛은 회전 대칭 텔레스코프 광학 유닛에 의해 구현될 수 있다. 대안적으로, 전송 광학 유닛은 적어도 하나의 실린더 구성요소를 포함할 수 있다.

[0021] 청구항 15에 따른 광학 시스템, 청구항 16에 따른 조명 시스템, 청구항 17에 따른 투영 노광 장치, 청구항 18에 따른 생산 방법 및 청구항 19에 따른 마이크로구조화된 또는 나노 구조화된 구성요소의 장점은 조명 광학 유닛을 참조하여 상기 이미 기재된 장점에 상응한다.

도면의 간단한 설명

[0022] 본 발명의 예시적인 실시예는 도면을 기초로 이하에서 상세히 기재된다.

도 1은 광원, 조명 광학 유닛 및 투영 광학 유닛을 포함하는, EUV 마이크로리소그래피용 투영 노광 장치를 매우 개략적으로 자오 단면으로 도시한다.

도 2는 중간 초점에서 투영 광학 유닛의 오브젝트 평면에 배열되는 레티클로 나아가는, 도 1에 따른 조명 광학 유닛 내의 조명 광의 선택된 개별 광선을 위한 빔 경로를 개략적으로 그리고 마찬가지로 자오 단면으로 도시한다.

도 3은 투영 광학 유닛의 출사 측 동공 평면의 출사 동공에서 조명 광학 유닛에 의해 생성된 서브-동공 구역의 배열을 도시한다.

도 4는 조명 광학 유닛의 조명 동공의 동공 평면에 도 3에 따른 서브-동공 구역의 배열에 속하는 서브-동공 구역의 배열을 도시한다.

도 5 및 도 6은 투영 노광 장치의 추가 조명 세팅에 있어서, 도 3 및 도 4에 상응하는 서브-동공 배열을 도시하고, 서브-동공 구역의 대안적인 패킹이 도시된다.

도 7 및 도 8은 투영 노광 장치의 추가 조명 세팅에 있어서, 도 3 및 도 4에 상응하는 서브-동공 배열을 도시하고, 도 3 내지 도 6에 따른 조명 세팅과 다르게, 조명 광학 유닛의 조명 사전결정 패싯 미러는 도 7 및 도 8에 따른 배열을 생성하도록 조명 광학 유닛의 동공 평면에 배열되지 않는다.

도 9 및 도 10은 투영 노광 장치의 추가 조명 세팅에 있어서, 도 3 및 도 4에 상응하는 서브-동공 배열을 도시하고, 서브-동공 배열의 대안적인 패킹이 도시된다.

도 11 및 도 12는 투영 노광 장치의 추가 조명 세팅에 있어서, 도 3 및 도 4에 상응하는 서브-동공 배열을 도시하고, 라인 바이 라인 오프셋을 갖는 서브-동공 배열의 대안적인 패킹이 도시된다.

도 13 및 도 14는 투영 노광 장치의 추가 조명 세팅에 있어서, 도 3 및 도 4에 상응하는 서브-동공 배열을 도시하고, 서브-동공 배열의 대안적인 패킹이 도시된다.

도 14a 및 도 14b는 투영 노광 장치의 추가 조명 세팅에 있어서, 도 3 및 도 4에 상응하는 서브-동공 배열을 도시하고, 45° 만큼 조명 동공의 서브-동공 구역의 카테시안 xy-그리드를 회전시킴으로써 생성되는 서브-동공 구

역의 대안적인 패킹이 도시된다.

도 15 및 도 16은 투영 노광 장치의 추가 조명 세팅에 있어서, 도 3 및 도 4에 상응하는 서브-동공 배열을 도시하고, 서브-동공 구역의 대안적인 패킹이 도시되며, 여기서 도 3 내지 도 14와 다르게, 서브-동공 구역은 원형을 벗어나고, 즉, 이것은 조명 광학 유닛의 조명 동공에서 회전 대칭 아니며 투영 광학 유닛의 출사 동공에서 원형이고, 즉 이들은 거기서 회전 대칭이다.

도 17은 조명 광학 유닛의 조명 사전결정 패싯 미러로, 제 1 패싯 미러를 통해 조명광을 가이드하기 위한 전송 광학 유닛의 부분으로서의 콜렉터의 실시예를 도시한다.

도 18은 도 1과 유사한 도시로, 조명 광학 유닛의 제 1 패싯 미러의 업스트림의 광원의 타원형 중간 이미지를 생성하기 위한 제 1 전송 광학 유닛을 포함하는 투영 광학 유닛 및 조명 광학 유닛을 포함하는 EUV 마이크로리 소그래피용 투영 노광 장치의 추가 실시예를 도시한다.

도 19는 조명 광학 유닛의 일 실시예의 동공 패싯 미러의 동공 패싯의 초점 길이에 대한 조명 광학 유닛에 의한 먼저 동공 이미징 그리고 다음으로 필드 이미징의 이미징 스케일의 종속성을 다이어그램으로 도시한다.

도 20은 도 18과 유사한 도시로, 오브젝트 필드의 조명 각도 분포를 사전 결정하고 원형으로부터 일탈하는 엔벨로프를 갖는 조명 광학 유닛의 조명 동공을 생성하기 위하여, 조명 사전결정 패싯 미러의 다운스트림에 배치되는 추가 전송 광학 유닛을 포함하는 조명 광학 유닛의 추가 실시예를 포함하는 투영 노광 장치를 도시하고, 여기서 추가 전송 광학 유닛은 회전 대칭 이미징 효과를 갖는 텔레스코픽 광학 유닛으로서 구현된다.

도 21 및 도 22는 도 20과 유사한 도시로, 조명 광학 유닛의 추가 실시예를 포함하는 투영 노광 장치를 도시하고, 여기서 추가 전송 광학 유닛은 왜상 광학 유닛으로 구현된다.

도 23a 및 도 23b는 원통형 광학 유닛의 형태인 다운스트림 전송 광학 유닛 및 조명 광학 유닛의, 조명 동공에 배열되지 않은, 조명 사전결정 패싯 미러를 포함하는 조명 광학 유닛의 추가 실시예의 렌즈 부분을 매우 개략적으로 도시하고, 여기서:

도 23a는 조명 사전결정 패싯 미러의 부분과 조명될 레티클의 다운스트림의 빈 경로에 배치되는 조명 동공 사이의 조명 광학 유닛의 부분을 통한 오브젝트 변위방향을 포함하는 길이방향 섹션(yz-섹션)을 도시하며;

도 23b는 그에 수직으로 형성되는 상응하는 길이방향 섹션(xz-섹션)을 도시한다.

도 24는 도 18과 유사한 도시로, 도 23에 따른 광학 효과를 갖는 조명 광학 유닛의 추가 실시예를 포함하는 투영 노광 장치를 도시한다.

도 25 및 도 26은 도 3 및 도 4와 유사한 도시로, 투영 광학 유닛의 출사 동공의 타원형 서브-동공 구역 및 조명 광학 유닛의 조명 동공의 원형 서브-동공 구역을 갖는 추가 조명 세팅(최대 동공 충전)의 조명 서브-동공의 배열을 도시한다.

도 27 및 도 28은 도 25 및 도 26과 유사한 도시로, 투영 광학 유닛의 출사 동공의 타원형 서브-동공 구역 및 조명 광학 유닛의 조명 동공의 원형 서브-동공 구역을 갖는 추가 패킹 배열을 도시한다.

도 29 및 도 30은 도 7 및 도 28과 유사한 도시로, 서브-동공 구역의 추가 래스터 배열을 도시한다.

도 31 및 도 32는 도 29 및 도 30과 유사한 도시로, 서브-동공 구역의 추가 배열을 도시하고, 여기서, 도 25 내지 도 29에 따른 배열에서와 다르게, 조명 광학 유닛은 도 31 및 도 32에 따른 배열을 생성하도록 조명 광학 유닛의 동공 평면에 배열되지 않는 조명 사전결정 패싯 미러를 포함한다.

도 33 및 도 34는 도 31 및 도 32와 유사한 도면으로, 라인 바이 라인 오프셋을 갖는 서브-동공 구역의 추가 배열을 도시한다.

도 35 및 도 36은 도 27 및 도 28과 유사한 도시로, 투영 광학 유닛의 출사 동공에서 원형이 되고 조명 광학 유닛의 조명 동공에서 타원형이 되도록 구현되는 서브-동공 구역의 배열을 도시한다.

도 37은 도 1에 따른 투영 노광 장치의 투영 렌즈로서 사용될 수 있으며 오브젝트 즉 왜상 광학 유닛으로 구현되는 이미징 광학 유닛의 실시예를 자오 단면으로 도시하고, 여기서 주광선에 대한 그리고 2개의 선택된 필드 지점의 상위 그리고 하위 코마 광선에 대한 이미징 빔 경로가 도시된다.

도 38은 도 37의 시야 방향(XXXVIII)으로부터 보여지는 도 37에 따른 이미징 광학 유닛의 도면을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023]

도 1에서 상당히 개략적으로 그리고 자오 단면으로 도시되는 마이크로리소그래픽 투영 노광 장치(1)는, 조명 광(3)을 위한 광원(2)을 포함한다. 광원은 5nm와 30nm 사이의 파장 범위로 광을 생성하는 EUV 광원이다. 여기서, 이것은 LPP(레이저 생산 플라즈마) 광원, DPP(방전 생산 플라즈마) 광원 또는 싱크로트론 방사선 기반 광원, 예컨대 자유 전자 레이저(FEL)가 될 수 있다.

[0024]

전송 광학 유닛(4)은 광원(2)으로부터 나오는 조명 광(3)을 가이드하는 역할을 한다. 상기 전송 광학 유닛은 그 반사 효과에 관하여 도 1에 단순하게 도시되는 콜렉터(5) 및 제 1 패싯 미러로도 지칭되며 이하에서 더욱 상세히 기재되는 전송 패싯 미러(6)를 포함한다. 조명 광(3)의 중간 초점(5a)은 콜렉터(5)와 전송 패싯 미러(6) 사이에 배열된다. 중간 초점(5a)의 구역의 조명 광(3)의 개구수는 예컨대 NA = 0.182이다. 마찬가지로 이하에서 더욱 자세히 기재되는 조명 사전결정 패싯 미러(7)는 전송 패싯 미러(6)의 다운스트림에 그리고 따라서 전송 광학 유닛(4)의 다운스트림에 배치된다. 마찬가지로 이하에서 더욱 자세히 기재되는 바와 같이, 조명 사전결정 패싯 미러(7)는 조명 광학 유닛(11)의 일 실시예의 조명 광학 유닛(11)의 동공 평면에 또는 그것의 구역에 배열되며 또한 조명 광학 유닛(11)의 추가 실시예의 조명 광학 유닛(11)의 동공 평면들 또는 동공 평면으로부터 멀리 배열될 수 있다.

[0025]

투영 노광 장치(1)의 다운스트림 투영 광학 유닛(10)의 오브젝트 평면(9)에 배열되는 레티클(12)은 조명 광(3)의 빔 경로의 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 다운스트림에 배치된다. 투영 광학 유닛(10) 및 이하에 개별적으로 개시되는 추가 실시예의 투영 광학 유닛은 투영 렌즈다.

[0026]

카테시안 xyz-좌표계는 위치 관계의 도시를 간략화하기 위하여 이하에서 사용된다. 도 1에서, x-방향은 도면의 평면에 수직으로 그리고 그 내로 연장한다. 도 1에서, y-방향은 우측으로 연장한다. 도 1에서, z-방향은 아래로 연장한다. 도면에서 사용된 좌표 시스템은 개별적으로 서로 평행하게 연장하는 x-축을 갖는다. 이러한 좌표 시스템의 z-축의 길이는 개별적으로 고려되는 도면 내에서 조명 광(3)의 개별 주요 방향을 따른다.

[0027]

광학 구성요소(5 내지 7)는 투영 노광 장치(1)의 조명 광학 유닛(11)이 된다. 조명 광학 유닛(11)은 한정된 방식으로 오브젝트 평면(9)의 레티클(12) 상의 오브젝트 필드(8)를 조명하도록 사용된다. 오브젝트 필드(8)는 아치형 또는 부분 원 형상을 가지며 서로 평행하는 2개의 원형 호 및 길이(y_0)를 갖는 y-방향으로 연장하며 x-방향 방향에서 x_0 의 간격을 갖는 2개의 직선 측 예지로 범위가 한정된다. 종횡비(x_0/y_0)는 13 대 1이다. 도 1에서의 인서트는 오브젝트 필드(8)의 평면도(실 측적 아님)를 도시한다. 예지 형태(8a)는 아치형이다. 대안적인 그리고 마찬가지로 가능한 오브젝트 필드(8)의 경우에, 그의 예지 형태는 직사각형이다.

[0028]

투영 광학 유닛(10)은 도 1에서 부분적으로 그리고 상당히 개략적으로 단순하게 표시된다. 도시된 것은 오브젝트-필드 측 개구수(13) 및 투영 광학 유닛(10)의 이미지-필드 측 개구수(14)이다. 광학 구성요소(15, 16) 사이의 조명 광(3)을 가이드하기 위한 투영 광학 유닛(10)의 추가 광학 구성요소(도 1에 미도시)는 예컨대, EUV 조명 광(3)을 반사하는 미러로서 구현될 수 있는 투영 광학 유닛(10)의 이러한 표시된 광학 구성요소(15, 16) 사이에 위치된다.

[0029]

투영 광학 유닛(10)은 웨이퍼(19) 상의 이미지 평면(18)의 이미지 필드(17)에 오브젝트 필드(8)를 이미징하고, 이것은 레티클(12)과 마찬가지로, 더 상세하게 도시되지 않는 홀더에 의해 운반된다. 레티클 홀더와 웨이퍼 홀더 모두 적절한 변위 드라이브에 의해 x-방향 그리고 y-방향 양쪽으로 변위 가능하다. 도 1에서, 웨이퍼 홀더의 설치 공간 요건은 직사각형 박스로 20에서 도시된다. 설치 공간 요건(20)은 그 안에 하우징될 구성요소에 따라 x-방향, y-방향 및 z-방향의 크기를 갖는 직사각형이다. 예시로서, 이미지 필드(17)의 중심으로부터 나아가서, 설치 공간 요건(20)은 x-방향 그리고 y-방향으로 1m의 크기를 갖는다. 이미지 평면(18)으로부터 나아가서, 설치 공간 요건(20)은 또한 예컨대 z-방향으로 1m의 크기를 갖는다. 조명 광(3)은, 각각의 경우에 설치 공간 요건(20)을 통과하여 가이드되는 방식으로 조명 광학 유닛(11) 및 투영 광학 유닛(10)에서 가이드되어야 한다.

[0030]

전송 패싯 미러(6)는 복수의 전송 패싯(21)을 갖는다. 전송 패싯 미러(6)는 MEMS 미러로서 구성될 수 있다. 이러한 전송 패싯(21)의, 도 2에 따른 자오 단면은 총 9개의 전송 패싯(21)을 갖는 라인을 개략적으로 도시하며, 이것은 좌측에서 우측으로, 도 2에서 21₁ 내지 21₉로 표시된다. 실제로, 전송 패싯 미러(6)는 실질적으로 더 많은 복수의 전송 패싯(21)을 갖는다. 전송 패싯(21)은 더욱 상세하게 도시되지 않는 복수의 전송 패싯 그룹으로 그룹화된다(grouped).

- [0031] 전체적으로, 전송 패싯 미러(6)는 조명 광(3)에 의해 충돌되고 1보다 작은 x/y-종횡비를 가질 수 있는 구역을 갖는다. 이러한 종횡비의 값(y/x)은 적어도 1.1 또는 더 클 수 있다.
- [0032] 동공 평면에 배열되는 조명 사전결정 패싯 미러(7)를 갖는 조명 광학 유닛의 일 실시예에서, 전송 패싯 그룹의 x/y-종횡비는 적어도 오브젝트 필드(8)의 x/y-종횡비와 동일한 크기를 갖는다. 도시된 실시예에서, 전송 패싯 그룹의 x/y-종횡비는 오브젝트 필드(8)의 x/y-종횡비보다 더 크다. 전송 패싯 그룹은 오브젝트 필드(8)의 에지 형태와 유사한 부분 원형상 벤딩된 그룹 에지 형태를 갖는다. 전송 패싯 미러(6)의 설계에 관한 추가 상세에 있어서, WO 2010/099 807 A가 참조된다.
- [0033] 이러한 패싯 그룹에 상응하는 모놀리식 패싯 또는 전송 패싯(21)을 그룹화함으로써 형성되는 전송 패싯 그룹은 x-방향으로 70mm의 그리고 y-방향으로 대략 4mm의 크기를 가질 수 있다.
- [0034] 예시로서, 각각의 전송 패싯 그룹은 x-방향으로 서로 오프셋되게 배열되며 y-방향으로 인접하게 배열되는 전송 패싯(21)의 7개의 라인으로 각각 구성되는 16개의 칼럼에 배열된다.
- [0035] 전송 패싯 그룹의 각각은 오브젝트 필드(8)의 부분적인 또는 완전한 조명을 위한 조명 광(3)의 일부를 가이드한다.
- [0036] 전송 패싯(21)은 적어도 2개의 틸팅 위치 사이에서 스위칭가능한 마이크로 미러이다. 전송 패싯(21)은 회전의 2개의 상호 수직인 축에 대하여 틸팅가능한 마이크로 미러로서 구현될 수 있다. 전송 패싯(21)은, 조명 사전결정 패싯 미러(7)가 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 전송 패싯(21)과 조명 사전결정 패싯(25) 사이의 사전 결정된 관련성(association) 및 사전 결정된 에지 형태를 갖고 조명되는 방식으로 정렬된다. 조명 사전결정 패싯 미러(7) 및 투영 광학 유닛(10)의 실시예에 관한 추가 상세에 있어서, WO 2010/099 807 A가 참조된다. 조명 사전결정 패싯(25)은 적어도 2개의 틸팅 위치 사이에서 스위칭가능한 마이크로미러다. 조명 사전결정 패싯(25)은 2개의 상호 수직인 틸팅 축(tilt axis)에 대하여 연속하여 그리고 독립적으로 틸팅가능하고, 즉, 특히, 조명 사전결정 패싯 미러(7)가 조명 광학 유닛의 동공 평면에 멀리 배열될 경우, 복수의 상이한 틸팅 위치에 위치될 수 있는 마이크로미러로서 구현될 수 있다.
- [0037] 전송 패싯(21)과 조명 사전결정 패싯(25) 사이의 사전 결정된 관련성에 대한 예시는 도 2에 도시된다. 전송 패싯(21₁ 내지 21₉)과 개별적으로 관련되는 조명 사전결정 패싯(25)은 이러한 관련성에 상응하는 인덱스를 갖는다. 관련성의 결과로, 조명 패싯(25)은 시퀀스(5₆, 25₈, 25₃, 25₄, 25₁, 25₇, 25₅, 25₂ 및 25₉)로 좌측에서 우측으로 조명된다.
- [0038] 패싯(21), 25의 인덱스(6, 8 및 3)는 3개의 조명 채널(VI, VIII 및 III)과 관련되고, 이것은 3개의 오브젝트 필드 지점(26, 27, 28)을 조명하고, 이것은 제 1 조명 방향으로부터, 도 2에서 좌측에서 우측으로 넘버링되는 3개의 오브젝트 필드 지점(26, 27, 28)을 조명한다.
- [0039] 패싯(21, 25)의 인덱스(4, 1 및 7)는 3개의 추가 조명 채널(IV, I, VII)과 관련되고, 이것은 제 2 조명 방향으로부터 3개의 오브젝트 필드 지점(26 내지 28)을 조명한다. 패싯(21, 25)의 인덱스(5, 2 및 9)는 3개의 추가 조명 채널(V, II, IX)과 관련되고, 이것은 제 3 조명 방향으로부터 3개의 오브젝트 필드 지점(26 내지 28)을 조명한다.
- [0040] 조명 채널(VI, VIII, III),
- [0041] 조명 채널(IV, I, VII) 및
- [0042] 조명 채널(V, II, IX)에 할당되는 조명 방향은 각각의 경우에 동일하다. 그러므로, 전송 패싯(21)은 오브젝트 필드(8)의 텔레센트릭(telecentric) 조명이 도면에 도시된 조명 예시를 이끌어 내는 방식으로 조명 사전결정 패싯(25)에 할당된다.
- [0043] 오브젝트 필드(8)는 경면 반사경의 방식으로 조명 사전결정 패싯 미러(7) 및 전송 패싯 미러(6)에 의해 조명된다. 경면 반사경의 원리는 US 2006/0132747 A1로부터 알려져 있다.
- [0044] 투영 광학 유닛(10)은 930mm의 오브젝트/이미지 오프셋(d_{0IS})을 갖는다. 후자는, 오브젝트 평면(9)을 통한 이미지 필드(17)의 중심점 상의 법선의 교차점으로부터 오브젝트 필드(8)의 중심점의 거리로 한정된다. 투영 광학 유닛(10)을 갖는 투영 노광 장치(1)는 1280mm의 중간 초점/이미지 오프셋(D)을 갖는다. 중간 초점/이미지 오프셋(D)은 이미지 평면(18) 상의 중간 초점(5a)의 법선의 교차점으로부터 이미지 필드(17)의 중심점의 거리로 한

정된다. 투영 광학 유닛(10)을 갖는 투영 노광 장치(1)는 1250mm의 조명 광 범/이미지 오프셋을 갖는다. 조명 광 범/이미지 오프셋(E)은 이미지 평면(18)으로부터 조명 광 범(3)의 교차 구역으로부터 이미지 필드(17)의 중심점의 거리로 한정된다.

[0045] 투영 광학 유닛(10)은 원형으로부터 일탈하는 엔벨로프를 갖는 입사 동공을 갖는다. 동시에, 투영 광학 유닛(10)은 왜상 광학 유닛으로 구현되어서, 이러한 입사 동공은 이미지 필드-측 출사 동공으로 전달되고, 이것의 엔벨로프는 회전 대칭이다. 투영 광학 유닛(10)의 출사 동공이 놓이는 동공 평면은 도 1에서 개략적으로 29a에서 표시된다.

[0046] 투영 광학 유닛(10)의 출사 동공의 이러한 회전적으로 대칭인, 즉, 특히 원형인 엔벨로프(29)에 대한 예시는, 도 3에 도시된다. 이러한 엔벨로프(29) 내에서, 조명 광(3)은 투영 광학 유닛(10)의 이미징 광으로서 가이드될 수 있다. 조명 광(3)이 가이드되는 서브-동공 구역(30)이 도시된다. 즉, 서브-동공 구역(30)은 조명 광학 유닛(11)의 조명 채널을 나타낸다. 서브-동공 구역(30)은 웨이퍼(19)를 노광하기 위한 4중극 조명 세팅의 방식으로 극(31)을 형성하기 위하여 그룹화된다. 도 3에 따른 극(31)은 대략 45° 의 둘레방향 각도를 개별적으로 커버하고 대략적으로 원형의 섹터-형상 형태를 갖는다. 이러한 4중극 조명 세팅의 개별 극(31)은 서브-동공 구역(30)의 래스터와 같이 배열되는 그룹의 엔벨로프로 나타난다. 이러한 그룹 내에서, 서브-동공 구역(30)은 라인 바이 라인 및 칼럼 바이 칼럼 식으로 배열된다.

[0047] 도 4는 도 3에 따른 서브-동공 구역(30)의 배열을 이끄는, 조명 광(3)의 범 경로를 따라 아래에 있는, 조명 광학 유닛(11)의 조명 동공의 서브-동공 구역(30)의 배열을 도시한다.

[0048] 조명 광학 유닛의 조명 동공이 놓이는 동공 평면은 도 1에서 개략적으로 32로 표시된다. 이러한 조명 동공 평면(32)은 도 1에 따른 실시예의 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 배열 평면으로부터 멀리 있다.

[0049] 대안적인 조명 광학 유닛에서, 조명 동공 평면(32)은 조명 사전결정 패싯 미러의 배열 평면과 일치한다. 이러한 경우에, 조명 사전결정 패싯 미러(7)는 동공 패싯 미러이다. 이러한 경우에, 조명 사전결정 패싯(25)은 동공 패싯으로 구현된다. 여기서, 이것은 복수의 마이크로미러로 세분되는 미러 그룹 또는 모놀리식 동공 패싯에 관련될 수 있다. 조명 광학 유닛의 부분으로서의 이러한 동공 패싯 미러는 예컨대, US 6,452,661, US 6,195,201 및 DE 10 2009 047 316 A1로부터 알려져 있다.

[0050] 도 4에 따른 조명 동공은 조명 광학 유닛(10)의 변형에 의해 생성되고, 조명 사전결정 패싯 미러(7)는 동공 패싯 미러로 구현된다.

[0051] 도 4에 따른 조명 광학 유닛(11)의 조명 동공은 투영 광학 유닛(10)의 입사 동공에 적응되며, 이러한 적응에 따라, 원형으로부터 벗어나는 엔벨로프(33)를 갖는다.

[0052] 조명 광학 유닛(11)의 조명 동공의 엔벨로프(33)는 최대 크기를 갖는 조명 광학 유닛(11)의 조명 동공이 새겨질 수 있는 윤곽선이다. 최대 크기를 갖는 조명 광학 유닛(11)의 조명 동공은 오브젝트 필드(8)의 조명 각도 분포의 최대 조명 각도 대역폭이 조명 광학 유닛(11)을 사용하여 생성되는 조명 동공이다. 상이한 조명 각도 분포를 갖는 상이한 조명 세팅이 조명 광학 유닛(11)에 의해 생성될 수 있으므로, 최대 생성가능한 지역을 갖는 조명 동공은 최대 크기를 갖는 조명 동공이다. 균일한 동공 충전의 경우에, 최대 지역을 갖는 이러한 동공은 종래의 조명 세팅으로도 또한 지칭된다.

[0053] 도 4에 따른 실시예에서, 엔벨로프(33)는 타원형 형태를 갖는다. 이러한 적응에 따라, 극(31)은 또한 도 3에 따른 출사 동공에서의 형태에 비해 y-방향으로 컴프레스된다(compressed). 도 4에 따른 조명 동공에서, 서브-동공 구역(30)은 원형이며 광원(2)의 이미지로 나타난다. 회전 대칭인 사용된 광의 방출 표면 내의 광원(2)의 경우에, 이것은 따라서 비왜상 이미징의 경우의 조명 광학 유닛(11)의 조명 동공의 서브-동공 구역(30)의 원형을 이끌어 낸다.

[0054] 왜상 투영 광학 유닛(10)은 서브-동공 구역(30)이 투영 광학 유닛의 출사 동공에서 타원형으로 왜곡되고 도 3에 도시된 바와 같이 x-방향보다 y-방향에서 더 큰 크기를 갖는 것을 야기한다.

[0055] 조명 동공의 엔벨로프(33)는 제 1 동공 치수의, 즉, x-방향의 최대 크기 A를 가지며 제 2 동공 치수, 즉 y-방향의 최소 크기(B)를 갖는다. 엔벨로프(33)의 크기의 비(A/B), 즉 x/y-종횡비는 투영 광학 유닛의 왜상 이미징 스케일의 비에 상응한다. 투영 광학 유닛(10)에서, 이러한 이미징 스케일은 yz-평면에서 1/8의 감소된 이미징 스케일 (β_y)이며 xz-평면에서 1/4의 감소된 이미징 스케일(β_x)이다. 드러나는 것은 $\beta_x / \beta_y = A/B = 2$ 이다. 1.05와 5 사이의 범위의, 특히 1.2와 3 사이의 범위의 기타 비가 또한 가능하다.

- [0056] 도 4에 따른 조명 동공 내의 서브-동공 구역(30)의 배열은, 서브-동공 구역(30)이 최소 크기(B)를 갖는 동공 치수에서보다 최대 크기(A)를 갖는 동공 치수에서 서로 더욱 이격되게 된다. 이러한 거리비는 투영 광학 유닛(10)의 출사 동공 내에서 대략 1:1의 비(도 3 참조)에 적응된다.
- [0057] 조명 동공의 서브-동공 구역(30)의 배열은 라인(Z) 및 칼럼(S)을 갖는 래스터 배열이다. 이러한 경우, 인접한 라인들(Z_i, Z_j) 간의 거리는 서브-동공 구역(30)의 크기에 대략 상응한다. 인접한 칼럼들 간의 거리는 개별 서브-동공 구역(30)의 크기의 배수이다.
- [0058] 인접한 라인(Z_i, Z_j)의 서브-동공 구역(30)은 인접한 서브-동공 구역(30)의 라인 간격(a_{ij})의 절반 만큼 서로 오프셋되어 배열된다.
- [0059] 도 5 및 도 6은 투영 광학 유닛(10)(도 5 참조)의 출사 동공에서 먼저 그리고 다음으로 투영 광학 유닛(10)의 입사 동공에 적응되는 조명 광학 유닛(11)(도 6 참조)의 조명 동공에서 서브-동공 구역(30)의 대안적인 배열을 도시한다. 도 3 및 도 4에 관하여 상기 기재된 것에 상응하는 구성요소 및 구조 소자 또는 기능은 동일한 참조 부호에 의해 적절하게 표시되며 다시 상세히 논의되지 않는다. 이것은 또한 도면의 후속하는 쌍에 적용되며, 이것은 투영 광학 유닛(10)의 출사 동공에서 먼저 그리고 투영 광학 유닛(10)의 입사 동공에 적응되는 조명 광학 유닛(11)의 조명 동공에서 다음으로 서브-동공 구역(30)의 배열을 개별적으로 도시한다.
- [0060] 도 5 및 도 6에 따른 서브-동공 구역(30)의 배열은 또한 동공 패싯 미러로서 구현되는 조명 사전결정 패싯 미러를 갖는 조명 광학 유닛에 의해 또한 생성된다. 도 6에 따른 동공 패싯은 직사각형이다. 에지 길이의 종횡비는 투영 렌즈의 이미징 스케일의 비에 상응한다.
- [0061] 극(31)의 엔벨로프의 형태로 도 3에 따른 세팅과 상이한 4중극 조명 세팅의 변형은 투영 광학 유닛(10)의 출사 동공에 존재한다. 도 5에 따른 극(31)은 대략적으로 정사각형 형태를 갖고, 극(31)의 방사상 외부 경계는 엔벨로프(29)의 형태를 따른다.
- [0062] 도 5 및 도 6에 따른 배열에서, 서브-동공 구역(30)은 직사각형 래스터의 형태로 배열된다. 이러한 서브-동공 구역 배열의 라인 간격은 도 6에 따른 조명 동공의 서브-동공 구역(30)의 크기에 대략적으로 상응한다. 칼럼 간격은 그의 배수이다.
- [0063] 도 7 및 도 8은 도 5 및 도 6에 따른 것과 원칙적으로 상응하는 4중극 조명 세팅의 경우에 먼저 투영 광학 유닛(10)(도 7)의 출사 동공에서 그리고 다음으로 조명 광학 유닛(11)(도 8)의 조명 동공에서의 서브-동공 구역(30)의 배열을 도시한다. 도 7 및 도 8에 따른 서브-동공 구역(30)의 이러한 배열은 동공 평면에 배열되지 않는 조명 사전결정 패싯 미러(7)에 의해 생성된다. 조명 채널의 중첩은 동공 평면에서 드러나므로 서브-동공 구역(30)은 y-방향으로 서로 합쳐진다(merge). 이로써, y-방향의 서브-동공 구역(30)의 라인 간격은 개별 서브-동공 구역(30)의 크기보다 작다. 서브-동공 구역의 칼럼 간격은 x-방향의 서브-동공 구역의 크기와 대략적으로 동일한 크기이다. 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 패싯(25)은 도 6의 동공 패싯과 마찬가지로 도 8에서 직사각형이다. 에지 길이의 종횡비는 투영 렌즈의 이미징 스케일의 비에 상응한다.
- [0064] 도 9 및 도 10은 추가 4중극 조명 세팅의 경우에 서브-동공 구역(30)의 추가 배열 변형을 도시한다. 도 3에 따른 세팅과 대조적으로, 도 9에 따른 세팅에서의 극(31)은 컷-오프 원형 섹터의 형태로 범위가 한정되므로 4중극 조명은 도 3에 비해 더 큰 최소 조명 각도를 갖고 나타난다.
- [0065] 조명 동공(도 10 참조)에서, 서브-동공 구역(30)은 인접한 칼럼(S_i, S_j)의 간격에 상응하는 인접한 라인(Z_i, Z_j)의 간격을 갖고 배열된다. 다시 한번, 인접한 라인(Z_i, Z_j)의 서브-동공 구역(30)은 하나의 라인 내의 인접한 서브-동공 구역(30)의 간격(a_{ij})의 절반 만큼 서로로부터 개별적으로 오프셋되어 배열된다. 서브-동공 구역(30)은 육각형 그리드에 배열될 수 있다. 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 패싯(25)은 이러한 경우에 플라즈마의 형태에, 즉 광원(2)의 형태에 적응되는 원형 또는 육각형이다.
- [0066] 도 11 및 도 12는 도 5 및 도 6에 따른 것과 상응하는 서브-동공 구역(30)의 추가 배열을 도시하며, 여기서, 서브-동공 구역의 배열의 인접한 칼럼 간의 거리가 감소된다. 극(31)은 투영 광학 유닛(10)의 출사 동공의 대략 정사각형인 에지 윤곽선을 갖는다.
- [0067] 도 13 및 도 14는 서브-동공 구역(30)의, 그렇지 않으면 도 11 및 도 12에 따른 배열에 상응하는 배열을 도시하고, 여기서, 이러한 경우에, 래스터 배열의 라인들 중 하나의 서브-동공 구역(30)은 라인 내에서 서로 인접한

서브-동공 구역(30)의 간격(a_{ij}) 절반만큼 래스터 배열의 인접한 라인의 서브-동공 구역에 대하여 서로로부터 오프셋되어 배열된다. 이것은 투영 광학 유닛(10)(도 13 참조)의 왜상 이미징 효과의 결과로서 y-방향의 컴프레션 후에 심지어 출사 동공에서의 서브-동공 구역의 매우 밀집한 패킹을 야기한다.

[0068] 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 패싯(25)은 모놀리식 또는 매크로스코픽(macroscopic) 패싯으로 구현되지 않으며 마이크로미러의 그룹에 의해 근사될 수 있다. 이러한 경우에, 이러한 가상의 패싯의 라인 바이 라인 또는 칼럼 바이 칼럼 변위는 마이크로미러가 서브 유닛 상에서 개별적으로 결합될 경우 불가능하다. 이로써, 상기 기재된 변위는 서브 유닛 간의 전환의 결과로 존재하는 갭으로 인하여 실패하는데, 이는 가상의 패싯이 서브 유닛 너머로 연장할 수 없기 때문이다. 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 패싯(25)의 이러한 기계적인 구현에 있어서, 특히, 이러한 서브 유닛 및 또한 가상의 패싯(25)의 배열이 회전 대칭 에지를 갖지 않는 조명 동공, 예컨대 타원형 조명 동공의 주축에 관하여 회전되는 카테시안 그리드 상에서 착수되는 것이 유리하다. 스캐닝 방향에 수직이며 평행하는 동공의 좌표(x 및 y)에 관하여, 이것은 칼럼 내에서 서로 인접한 서브-동공 구역(30)의 절반 간격(b_{ij}) 만큼 배열의 인접한 칼럼(S_j)의 서브-동공 구역(30)에 대한 배열의 칼럼(S_i)들 중 하나의 서브-동공 구역의 다른 하나로부터의 오프셋에 상응한다. 결과적으로, 상기 기재된 변위와 가상으로 일치하는 효과는 출사 동공에서 생성될 수 있다. 이것은 도 14a 및 도 14b에 도시된다.

[0069] 이러한 도면은, 먼저 투영 광학 유닛(10)(도 14a)의 출사 동공의 그리고 다음으로 조명 광학 유닛(11)(도 14b)의 관련된 조명 동공의 조명의 변형을, 가능한 가장 보완적인 방식으로 충전되는 동공을 갖는 조명 세팅에 대하여 개별적으로 도시한다. 도 14a 및 도 14b의 도시는 원칙적으로 예컨대 도 3 및 도 4의 동공의 도시에 상응한다.

[0070] 도 14b는 조명 동공에 배열되는 조명 사전결정 패싯 미러(7)를 갖는 조명 광학 유닛(11)에 대한 배열을 기초로 하므로, 서브-동공 구역(30)의 배열에 따라 가상의 조명 사전결정 패싯(25)의 배열을 도시한다. 조명 사전결정 패싯(25)은 카테시안 xy-그리드에 관하여 45° 만큼 회전된다.

[0071] 도 14a는 투영 광학 유닛(10)의 출사 동공의 서브-동공 구역(30)의 배열 내로의 왜상 이미징 이후 드러나는 효과를 도시한다. 조명 동공의 등근 서브-동공 구역(30)의 카테시안-회전된 배열은 출사 동공의 타원형 서브-동공 구역(30)의 대략적으로 육각형의 배열이 된다.

[0072] 도 15 및 도 16은 조명 동공(도 16 참조)의 서브-동공 구역(30)이 원형에서 일탈하는 형태를 개별적으로 갖는 차이점을 갖는 도 13 및 도 14에 상응하는, 즉, 제 1 서브-동공 치수의 최대 크기 - 도 16에서 x-방향 - 및 제 2 서브-동공 치수의 최소 크기 - 도 16에서 y-방향 -를 갖는 서브-동공 구역(30)의 배열을 도시한다.

[0073] 서브-동공 구역(30)은 2의 축비를 갖는 타원형이고, 여기서, 타원의 주축은 x-방향에 평행하게 연장하며 부축은 y-방향에 평행하게 연장한다. 도 16에 따른 조명 동공의 타원형의 서브-동공 구역(30)은 예컨대 상응하는 타원형의 광원(2)의 이미지로서 나타난다. 조명 동공에서 타원형인 서브-동공 구역(30)의 배향은, 등근 브-동공 구역(30)이 투영 광학 유닛(10)의 왜상 효과의 결과로 투영 광학 유닛(10)의 출사 동공으로 나타나는 방식으로 선택된다.

[0074] 대안적으로, 도 16의 방식으로 타원형인 서브-동공 구역은 또한 예컨대, 회전 대칭 광원(2)의 왜상 이미징을 통해 드러날 수 있다.

[0075] 도 17은 콜렉터(34)에 대한 예시를 도시하며, 이것은 도 1에 따른 콜렉터(5)를 대신하여 사용될 수 있으며 제 1 패싯 미러(6)와 함께 조명 광을 동공 평면(32)으로 가이드하기 위한 전송 광학 유닛(4)을 형성한다. 도 1 내지 도 16에 관하여, 특히 도 1 및 도 2에 관하여 상기 이미 언급된 것에 상응하는 구성요소는 동일한 참조 부호로 표시되며 다시 상세히 논의되지 않는다.

[0076] 콜렉터(34)를 포함하는 전송 광학 유닛(4)이 왜상 효과를 가져서 도 16의 방식의 타원형의 서브-동공 구역(30)은 동공 평면(32)의 조명 동공에서 생성된다. 제 1 패싯 미러(6)는 도 17에서의 전송에 있어서 개략적으로 도시된다. 제 1 패싯 미러(6)의 광학 효과는 반사에 있어서 상응하게 성취되는 것이 명백하다.

[0077] 콜렉터(34)는 조명 광(3)의 빔 경로의 제 1 타원형 미러(35)를 포함하고, 타원형 미러는 콜렉터(34)의 중심 광학 축(OA)에 관하여 회전 대칭이다.

[0078] 타원형 미러(35)는 광원(2)으로부터 중간 초점(5a)으로 사용된 광의 방출을 전달한다. 결과적으로 타원형 미러(35)는 제 1 콜렉터 서브 유닛이며, 이것은 조명 광(3)의 빔 경로의 광원(2)의 제 2 중간 이미지를 생성한다. 도 17에 따른 실시예에서, 중간 이미지(5a)는 광원(2)의 대칭을 갖는다. 광원(2)이 회전 대칭이므로, 이것은

또한 중간 이미지(5a)에 적용된다.

[0079] 조명 광(3)의 빔 경로에서, 타원형 미러(35)에는 다른 콜렉터 서브 유닛(36)이 뒤따르고, 이것은 내재 콜렉터로 구현되며 그 기능에 있어서 그 주 평면에 관하여 임의의 경우에 발터 콜렉터에 상응한다. 도 17은 파선을 사용하여 yz-섹션의, 즉, 도 1에 따른 자오 단면에 상응하는 평면의 빔 경로를 도시한다. 그에 수직인 xz-섹션의 조명 광(3)의 빔 경로는 파선-점선을 사용하여 도 17에 도시된다.

[0080] 콜렉터 서브 유닛(36)은 광학 축 OA에 관하여 회전 대칭인 반사 표면 프로파일을 갖는 쌍곡선 웰(37) 그리고 타원형 웰(38)로 세분된다.

[0081] 이러한 타원형 웰은 yz-섹션(도 17의 웰 섹션(38_y) 참조)에 그리고 xz-섹션(도 17의 웰 섹션(38_x)을 참조)에 개별적으로 도시된다. 따라서, yz-섹션은 웰 섹션(38_y)만을 컷팅하며 xz-섹션은 웰 섹션(38_x)만을 컷팅한다. 광학 축에 대한 그 연속하는 크기로 서로 연결되는 개개의 타원형의 웰(38)에는 도 17에서 동일한 첨자 인덱스, 예컨대 인덱스 "1"가 제공된다. 웰 섹션(38_x^1 및 38_y^1)은 상이한 곡률 반경 및 상이한 원뿔 상수(conical constant)를 갖는 원뿔 섹션이며, 이것은 광학 축에 대한 원주방향을 따라 서로 내로 연속하여 합쳐진다. 이런 식으로, 콜렉터 서브 유닛(36)의 서로에 내재되게 배열되는 총 8개의 타원형의 웰(38)이 나타난다.

[0082] 편향 반사 효과, 즉, 추상적으로 타원형의 웰(38_x^1)의 굴절력을 개별적으로 관련된(38_y^1)의 편향 반사 효과보다 더 크다. 나타나는 것은, 도 17에 도시된 바와 같이, 콜렉터 서브 유닛(36)과 제 1 패싯 미러(6) 사이의 조명 광(3)의 빔 경로이며, 타원형의 웰(38_x)에 의해 반사되는 조명 광(3)의 광선은 서로 집중적으로 전파하며 타원형의 웰(38_y)에 의해 반사되는 조명 광(3)의 광선은 서로 평행하게 전파한다.

[0083] yz-평면에서, 제 1 패싯 미러(6)의 전송 패싯(21)은 이미징 효과를 가지며 타원형의 웰(38_y)과 함께 yz-평면의 광원(2)의 추가 이미지를 생성한다. 이러한 이미지는 동공 평면(32)에 생성된다. 이로써, 서브-동공 범위(30)는 채널 또는 조명 채널을 각각 조명하기 위하여 동공 평면(32)에 생성된다. xz-평면에서, 제 1 패싯 미러(6)의 전송 패싯은 이미징 효과를 갖지 않으므로, 조명 광(3)은 평면 미러에 의한 것과 마찬가지로 전송 패싯(21)에 의해 xz-평면에서 반사되며; 도 17에 다른 개략적인 전송 도시에서, 이것은 조명 광(3)의 xz-방향으로 전파하는, 파선-점선 광선의 방향으로의 변화를 야기하지 않는다. 결과적으로, 이것은 타원형의 웰(38_x)의 이미징 효과의 경우에 남게 되며, 마찬가지로 동공 평면(32)의 중간 이미지(5a)를 이미징한다.

[0084] 전체적으로, 도 17에 따른 배열의 제 1 패싯 미러(6)의 전송 패싯(21)은 yz-평면의 오목 곡률을 갖는 원통형 미러로 구현된다. 제 1 패싯 미러(6)는 조명 구역 위에서 조명되므로, 이것의 y-크기는 그의 x-크기보다 더 크고, 광원의 이미지는 동공 평면(32), 즉 서브-동공 구역에 생성되고, 이것의 y-크기는 예컨대 도 16에 도시된 바와 같이 그의 x-크기보다 더 작다.

[0085] 도 18은 투영 노광 장치(1)의 추가 실시예를 도시한다. 그 내에서 6개의 미러(M1 내지 M6)를 갖는, 자오 단면으로 도시되는 투영 광학 유닛(10)을 대신하여, 예컨대 US 2013/0128251 A1에 기재되는 바와 같이, 왜상 투영 광학 유닛의 실시예가 사용될 수 있다.

[0086] 광원(2)의 다운스트림의 빔 경로에서, 도 18에 따른 투영 노광 장치(1)의 조명 광학 유닛(11)은 콜렉터(39) 및 다운스트림 전송 미러(40)를 포함하고, 이들은 왜상 광학 유닛을 형성하고, 이것은 본 실시예에서 회전 대칭인 광원(2)으로부터 중간 초점(5a)의 타원형의 중간 이미지를 생성한다. 여기서, yz-평면의 콜렉터(39)로부터 제 1 패싯 미러(6)로의 빔 경로는 완전한 선으로 도시되며 xz-평면의 콜렉터(39)로부터 제 1 패싯 미러(6)로의 빔 경로는 파선으로 도시된다.

[0087] 전송-광학 구성요소(39, 40)의 광학 효과는, 중간 초점(5a)의 중간 이미지가 회전 대칭이 아니며 y-방향보다 x-방향의 더 큰 크기를 갖게 된다. 중간 초점(5a)의 중간 이미지는 타원형이 될 수 있다. 이로써, 이러한 중간 이미지에 상응하는 x/y-종횡비를 갖는 서브-동공 구역(30)을 갖는 조명 동공은 제 1 패싯 미러(6) 및 조명 사전 결정 패싯 미러(7)에 의해 생성된다. 이것은 또한 예컨대 도 16에 따른 배열에 따른 조명 동공의 서브-동공 구역(30)의 배열을 생성하도록 사용될 수 있다. 도 18에 따른 조명 광학 유닛(11)에서, 제 1 패싯 미러(6)의 전송 패싯(21)은 회전 대칭으로부터 실질적으로 벗어나는 임의의 굴절력 또는 회전 비대칭 굴절력을 요하지 않는다. 제 1 패싯 미러(6)의 전송 패싯(21)이 조명 광(3)에 의해 수직으로 충돌하지 않으므로, 토릭 또는 타원형 방식으로 이러한 패싯(21)을 구현하기에 유리할 수 있다.

- [0088] 도 18에 따른 예시적인 실시예에서, 전송 미러(40)는 NI 미러 즉, 0° 에서 30° 사이의 입사각을 갖는 조명 광(3)에 의해 충돌되는 미러로서 도시된다. 대안적으로, 전송 미러(40)는 또한 그레이징 입사 미러(GI 미러)로서, 즉, 60° 에서 90° 사이의 범위의 입사각을 갖는 조명 광(3)에 의해 충돌되는 미러로서 구현될 수 있다.
- [0089] 반대로, 도 17의 맥락으로 상기 기재되는 콜렉터 서브 유닛(36)의 미러, 특히 타원형의 웰(38)은 NI 미러로 구현될 수 있다.
- [0090] 도 18에 따른 조명 광학 유닛(11)은 콜렉터(39)의 다운스트림의 총 3개의 NI 미러 구성요소, 즉, 전송 미러(40), 제 1 패싯 미러(6) 및 조명 사전결정 패싯 미러(7)를 포함한다. 이것이 요하는 것은, 상기 기재된 조명 광학 유닛과 다르게, 도 18에 따른 조명 광학 유닛(11)의 광원(2)은 투영 광학 유닛(10)과 이미지 평면(18)의 동일한 측 상에 배열되는 것이다.
- [0091] 투영 노광 장치(1)의 조명 광학 유닛(11)의 추가 실시예는 도 19 및 도 20을 기초로 기재된다. 도 1 내지 도 18에 관련하여 그리고 특히 도 18에 관련하여 상기 기재된 것에 상응하는 구성요소는 동일한 참조 부호로 표시되며 다시 상세히 논의되지 않는다.
- [0092] 광원(2)으로부터 나아가서, 도 20에 따른 조명 광학 유닛(11)은 회전 대칭 콜렉터(41) - 이것의 기능은 도 1에 따른 실시예의 콜렉터(5)의 기능에 상응함 - 그리고 그의 다운스트림에서, 제 1 패싯 미러(6) 및 조명 사전결정 패싯 미러(7)를 포함한다. 중간 초점(5a)의 광원(2)의 이미지는 회전 대칭이다. 전송 패싯 미러(6) 및 조명 사전결정 패싯 미러(7)를 사용하여, 상기 기재된 실시예에 따른 원형으로부터 벗어나는 엔벨로프를 갖는 조명 동공이 생성된다. 도 20에 따른 조명 광학 유닛(11)에서, 조명 사전결정 패싯 미러(7)는 동공 평면(32)에 컬레인 동공 평면에 배열된다. 동공 패싯 미러의 역할을 하는 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 크기는 y-방향에서와 마찬가지로 x-방향에서 두배로 크다.
- [0093] 2개의 전송 미러(43, 44)를 갖는 추가 전송 광학 유닛(42)은 조명 사전결정 패싯 미러(7)와 오브젝트 필드(8) 사이에 배열된다. 전송 광학 유닛(42)은 먼저 조명 사전결정 패싯 미러(7)와 함께 오브젝트 필드(8) 상의 전송 패싯 미러(6)의 전송 패싯 그룹을 먼저 이미징하고 다음으로 동공 평면(32)에 배열되는 투영 광학 유닛(10)의 입사 동공 상의 동공 평면(32a)을 다음으로 이미징한다. 이러한 동공 평면(32)은 오브젝트 필드(8)의 업스트림, 즉, 조명 광(3)의 빔 경로의 제 2 전송 미러(44)와 오브젝트 필드(8) 사이에 또는 레티클(12)에 의해 반사되는 이미징 광의 빔 경로의 오브젝트 필드(8)의 다운스트림에 배치될 수 있다. 양쪽 변형은 도 20에 개략적으로 표시된다. 따라서, 전송 광학 유닛(42)은 투영 광학 유닛(10)의 입사 동공 평면(32) 상의 동공 평면(32a)을 이미징하고, 여기서, 조명 동공 중 하나는 이로써, 서브-동공 구역(30)의 다양한 배열 변형에 관한 논의에서 상기 이미 논의된 바와 같이 서브-동공 구역(30)의 중첩으로서 생성된다.
- [0094] 도 19의 다이어그램에서 설명된 이미징 스케일의 특정 쌍은 이러한 결합된 필드 및 동공 이미징에 대하여 구현될 수 있고, 여기서, 전송 광학 유닛(42)이 포함된다. 각각의 경우에 플로팅된 것은 동공 패싯 미러(7)의 동공 패싯의 초점 길이 f의 함수로서 이미징 스케일(β)이다. 2개의 상위 브랜치(β_{ZP} 및 β_{ZF})는 전송 광학 유닛(42)이 중간 이미지를 생성하는 경우의 필드 이미징(β_{ZP}) 및 동공 이미징(β_{ZF})의 이미징 스케일의 종속성을 표시한다. 2개의 하위 브랜치(β_P 및 β_F)는 이하에서 더욱 상세히 논의되고 도 20에 따른 투영 광학 유닛(11)에서 실현되는 경우를 표시하며, 여기서, 전송 광학 유닛(42)는 중간 이미지를 생성하지 않는다. 여기서, β_P 는 동공 이미징의 이미징 스케일을 표시하며 β_F 는 필드 이미징의 이미징 스케일을 표시한다.
- [0095] 도 20에 따른 조명 광학 유닛(11)은 770 mm의 구역의 동공 패싯의 초점 길이와 결합하여, 동공 이미징에 대한 -1의 그리고 필드 이미징에 대한 대략 -1.75의 이미징 스케일 β_P 이 실현되는 방식으로 치수가 정해진다. 제 1 전송 미러 43은 대략 -1100mm의 초점 길이를 갖고 제 2 전송 미러(44)는 대략 1000mm의 다소 더 작은 초점 길이를 절대 항으로 갖는다. 조명 광(3)이 충돌하는 동공 패싯 미러(7)의 사용된 구역은 x-방향의 대략 500mm의 크기 및 y-방향의 대략 250mm의 크기를 갖는다.
- [0096] 도 21은 투영 노광 장치(1)에서의 사용을 위한, 조명 광학 유닛(11)의 추가 실시예를 도시한다. 도 1 내지 도 20에 관련하여 상기 기재된 것과 상응하는 구성요소 및 구조 소자 및 또한 기능은 동일한 참조 부호로 적절히 표시되며 상세하게 다시 논의되지 않는다.
- [0097] 도 21에 따른 조명 광학 유닛(11)에서, 동공 패싯 미러(7)로서 결국 구현되는 조명 사전결정 패싯 미러(7)는 원형이며, 즉, 이것은 1의 xy-종횡비를 갖는다. 동공 패싯 미러(7)의 다운스트림의 전송 광학 유닛(42)은 왜상 광학 유닛으로 구현되며, 다양한 서브-동공 구역 배열의 맥락으로 상기 이미 논의되는 동공 평면(32a)의 회전

대칭 엔벨로프와 함께 여전히 존재하는 동공으로부터 원형에서 벗어나는 엔벨로프(33)를 갖는 조명 광학 유닛(11)의 조명 동공을 생성한다.

[0098] 도 21에 따른 왜상 전송 광학 유닛(42)은 결국 2개의 전송 미러와 함께 구현되고, 이것은, 조명 광(3)에 의해 그의 충돌의 시퀀스에서, 참조 번호 45 및 46으로 표시된다. 대략 1010 mm 및 670 mm의 동공 패싯 미러(7)의 동공 패싯의 초점 길이와 함께, 전송 광학 유닛(42)은 xy-평면으로 대략 -1.2의 그리고 yz-평면의 2.4의 이미징 스케일(βF)을 생성한다. 동시에, 전송 광학 유닛(42)은 개별적으로 -1.5 및 -0.75의 이미징 스케일을 갖는 xz-평면의 및 yz-평면의 등근 동공 패싯 미러를 이미징하여 원하는 타원형의 입사 동공을 제공한다.

[0099] 전송 미러(45, 46)의 초점 길이(f)는 xz-평면으로 -12.6 mm 및 1214 mm이며 yz-평면으로 -461 mm 및 889 mm이다.

[0100] 도 21에 따른 조명 광학 유닛(11)에서, 동공 패싯 미러(7) 상의 충돌 직후 구역은 184 mm의 전체 반경을 갖는다. 동공 패싯 미러(7)의 충돌 직후 구역의 직경은 그러므로 도 20에 따른 동공 패싯 미러(7)의 충돌 직후 구역의 최대 크기보다 훨씬 더 작다. 이것은 전송 패싯(21)에 대한 더 작은 스위칭 각도를 야기한다. 이것은 이러한 패싯(21)의 기술적인 구현을 간소화한다.

[0101] 전송 패싯(21)이 그룹화되는 전송 패싯 그룹 또는 이러한 패싯 그룹에 상응하는 모놀리식 패싯은 도 21에 따른 조명 광학 유닛(11)에서 x-방향으로 100 mm의 크기 그리고 y-방향으로 3mm의 크기를 갖는다.

[0102] 도 22는 조명 광학 유닛(11)의 추가 실시예를 도시하며, 이것은, 달리, 도 21에 상응하며, 도 21에 따른 전송 광학 유닛(42)에 달리 상응하는 전송 광학 유닛(47)의 상이한 설계를 포함한다. 전송 광학 유닛(47)의 전송 미러(45, 46)는 대략 2010 mm 및 1020 mm의 동공 패싯 미러(7)의 동공 패싯의 초점 길이에 매치되며 다시 한번 중간 이미지를 갖지 않는 동공 및 이미지 필드에 매칭된다. 이것은 각각 -1.3 및 -0.65의 동공 이미징의 이미징 스케일(βP) 그리고 각각 -1.0 및 -2.0의 필드 이미징에 대한 이미징 스케일(βF)을 야기한다.

[0103] 동공 패싯 미러(7)는 또한 도 22에 따른 조명 광학 유닛(11)에서 원형이며, 여기서 동공 패싯 미러(7)의 충돌 직후 구역은 211 mm의 반경을 갖는다.

[0104] 전송 패싯(21) 또는 이에 상응하는 모놀리식 필드 패싯을 그룹화함으로써 형성되는 전송 패싯 그룹은 x-방향으로 120 mm의 그리고 y-방향으로 4 mm보다 다소 작은 치수를 갖는다.

[0105] 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 다운스트림에 배치되는 전송 광학 유닛은 특히 상기 조명 사전결정 패싯 미러가 동공 평면에 배열되지 않을 경우, 즉, 이것이 경면 반사경으로서 구현될 경우, 전송 패싯(21)에 대한 필수 스위칭 각도를 감소시키기 위하여 사용될 수 있다.

[0106] 도 23a는, 조명 동공이 생성되는, 조명 광(3)의 빔 경로에서 본 경우에 레티클(12)의 다운스트림에 배치되는, 조명 사전결정 패싯 미러(7)와 동공 평면(32) 사이의 조명 광학 유닛(11)의 부분을 통한 yz-섹션을 도시한다.

[0107] 도 23b 상응하는 xz-섹션을 도시한다.

[0108] 도시된 것은, 다시 한번, 상기 기재된 도 17에 비교가능한, 개략적인 투과 렌즈(transmission lens) 섹션에서, 조명 광(3)의 빔 경로의 구조이다.

[0109] 조명 동공 내의 서브-동공 범위(30)의 크기는 이하의 관계로부터 나타난다:

$$\Delta k = 1(1/z_{EP} - 1/z_{SR})$$

[0111] Δk 은 조명 각도의 변형에 대한 측정이며 그러므로 개별적으로 고려되는 조명 채널에 속한 개별적인 서브-동공 구역(30)의 크기에 대한 측정이다. 여기서, 1은 개별적으로 고려되는 치수(x 또는 y)의 오브젝트 필드(8)의 크기를 표시한다. z_{EP} 는 z-방향의, 즉, 조명 광(3)의 빔 경로를 따라 조명 동공과 오브젝트 평면(9) 사이의 거리를 기재한다. yz-평면의 이러한 거리는 xz-평면의 거리와 상이할 수 있다. z_{SR} 는 z-방향의 오브젝트 평면(9)으로부터 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 거리를 기재한다.

[0112] 상기 식이 yz-평면에서, 즉 오브젝트 범위 방향 y을 포함하는 평면에서 고려될 경우, 1은 스캐닝 길이(스캐닝 방향의 오브젝트 필드 치수)를 표시한다. 이로써, Δk 는 서브-동공 구역(30)의 길이를 수량화하고, 이것은 y-방향으로의 스캐닝 공정 동안 통합된 방식으로 드러난다. 스캐닝 공정의 결과, 개별 서브-동공 범위(30)는 그러므로 스캐닝 방향을 따라 로드(rod) 형상 방식으로 변형되며, 이것은 서브-동공 구역(30)이 로드로도 지칭되는 이유이다.

- [0113] 스캔 통합 방식으로 왜상 투영 광학 유닛(10)의 경우에 성취될 수 있는 것은, 전체적으로 또는 사전 결정된 조명 극(예컨대 도 4의 극(31) 참조) 내에서 서브-동공 구역(30)에 의해 완전히 충전되고, 즉, 스캔 통합 방식으로, 레티클(12) 상의 지점은 조명 동공 또는 사전 결정된 극 내의 모든 조명 방향으로부터 조명 광에 의해 충돌된다. 균질히 완벽하게 충전되는 동공은 투영 노광 장치의 스캐닝 기하학적 형상을 갖는 zSR 및 zEP에 대한 거리 조건의 적절한 매칭에 의해 사전 결정된 공차내의 스캔 접적 방식으로 얻어질 수 있다.
- [0114] 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 다운스트림에 배치된 전송 광학 유닛을 표시하는 원통형 미러(48)는 조명 사전결정 패싯 미러(7)와 레티클(8) 사이에 배열된다. 원통형 미러(48)는 xz-평면에서 이미징 효과만을 갖고, 그 결과, 도 23b에 도시된 바와 같이, 이것은 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 가상의 확장을 야기한다. 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 가상의, 확대된 이미지가 도 23b에서 49에 도시된다. 따라서, 원통형 미러(48)의 결과로, 양방향 화살(49)에 의해 도 23b에 표시되는 바와 같이 그 x-크기에 있어서 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 사이즈 감소가 존재한다. 결과적으로, 전송 패싯(21)의 필수 스위칭 각도가 감소된다. 다시 한번, 타원형 서브-동공 구역(30)은 먼저 yz-평면에서 그리고 다음으로 xz-평면으로 도 23에 따른 조명 광학 유닛의 상이한 이미징 효과로 인하여 조명 동공 평면에서 나타난다. 이것은 예컨대 도 15 및 도 16의 맥락에서 상기 이미 기재된 바와 같이, 투영 광학 유닛(10)의 출사 동공의 원형 서브-동공 구역(30)으로 전환된다.
- [0115] 동공 평면(32)은 yz-평면에서와 마찬가지로 xz-평면의 동일한 z-좌표를 가질 필요가 없다. 이것은 또한, 레티클(12)과 동공 평면(32) 사이의 거리가 도 23b에서보다 도 23a에서 더 큰 도 23에 표시된다.
- [0116] 도 23에 기재된 전송 패싯(21)의 틸트 각도 요건에서의 감소에 대한 대안으로서, 패싯(21)의 더 큰 스위칭 각도를 요하는 조명 사전결정 패싯 미러(7)의 종횡비는 상이하게 큰 스위칭 각도 및 정확도로 설계되는 2개의 틸팅 축을 포함하는 전송 패싯(21)에 의해 설명될 수 있다. 예시로서, 이러한 이방성 틸트 각도의 특성은, 상이한 스티프니스(stiffness)를 갖는 스프링 헌지에 의해 구현되어서 상이한 포지셔닝 포스 또는 이방성 댐핑(anisotropic damping)을 갖는 모터를 포지셔닝한다.
- [0117] 도 24는 이러한 원통형 미러(48)를 포함하는 투영 광학 유닛(11)의 예시적인 실시예를 포함하는 투영 노광 장치(1)의 변형을 도시한다. 콜렉터(41)로부터 나아가서, 도 24에 따른 투영 광학 유닛(11)은 다시 한번, 홀수의 반사 구성요소, 즉, 전송 패싯 미러(6), 조명 사전결정 패싯 미러(7) 및 원통형 미러(48)를 포함한다. 그러므로, 도 18에 따른 조명 광학 유닛에 비교가능한 방식으로, 광원은 도 24에 따른 조명 광학 유닛의 투영 광학 유닛(10)과 이미지 평면(18)의 동일한 측 상에 배열된다.
- [0118] 도 25 내지 도 36은 가능한 완전하게 충전되는 동공을 갖는 조명 세팅에 대하여 개별적으로, 먼저, 조명 광학 유닛(11)의 조명 동공 그리고 다음으로 투영 광학 유닛(10)의 출사 동공의 조명의 추가 변형을 도시한다. 도 25 내지 도 36의 도시는 원칙적으로 도 3 내지 도 16의 동공 도시에 상응한다.
- [0119] 도 25는 원형 엔벨로프(29)를 갖는 투영 광학 유닛(10)의 출사 동공의 타원형 서브-동공 구역(30)의 실시예를 도시한다. 서브-동공 구역(30)은 대략 1/2의 x/y-종횡비를 갖는 타원형이다. 관련된 조명 동공(도 26 참조)은 2의 x/y-종횡비 및 원형 서브-동공 구역(30)을 갖는 엔벨로프를 갖는다. 조명 동공에서 전체적으로 충돌되는 구역은 타원형이다.
- [0120] 출사 동공(도 25)에서, 서브-동공 구역(30)의 래스터 배열은 x- 방향 및 y-방향으로 일정한 동일한 그리드가 존재한다.
- [0121] 도 27 및 도 28은 먼저 투영 광학 유닛(10)의 출사 동공에서, 그리고 다음으로 조명 광학 유닛(11)의 조명 동공에서의 서브-동공 구역(30)의 패킹 밀도가 증가된다는 차이점을 갖고, 도 25 및 도 26에 상응한다.
- [0122] 도 29 및 도 30은 서브-동공 구역(30)의 배열을 도시하고, 여기서, 결국, 래스터 배열의 칼럼들 중 하나의 서브-동공 구역(30)은 칼럼 내에서 서로 인접한 서브-동공 구역(30)의 간격의 절반만큼 래스터 배열의 인접한 칼럼의 서브-동공 구역에 대하여 서로로부터 오프셋되게 배열된다. 추가로, 인접한 라인의 서브-동공 구역(30)은 인접한 라인 간의 간격이 서브-동공 구역(30)의 y-크기보다 더 작으므로 중첩한다. 이것은 렌즈의 출사 동공의 조명 서브-동공의 배열의 대칭의 감소된 브레이킹(breaking) 및 그 결과로서 투영 노광 장치(도 29 참조)의 이미징 특성의 더 작은 방향 의존성을 야기한다.
- [0123] 도 31 및 도 32는 도 27, 도 28에 상응하는 서브-동공 구역 배열을 도시하고, 여기서, 도 25 내지 도 29와는 다르게, 조명 사전결정 패싯 미러(7)는 동공 평면에 배열되지 않되, 그로부터 멀리 배열된다. 이것은 다시 한번 y-치수의 서브-동공 구역(30)의 합류를 야기한다.

- [0124] 도 33 및 도 34는 동공 평면으로부터 면 거리에 배열되는 조명 사전결정 세팅 미러를 사용할 때 서브-동공 구역의 배열의 상황을 도시하며, 여기서, 서브-동공 구역(30)은 도 29 및 도 30에 비교가능하게, 처음에는 오프셋 방식으로 그리고 다음으로는 조밀하게 패킹되는 방식으로 배열된다. 이것은 충돌되지 않는 구역 없이 투영 광학 유닛(10)의 출사 동공의 실제로 완전한 충전을 야기한다.
- [0125] 도 35 및 도 36은, 한번 더, 도 15 및 도 16에 비교가능하게, 투영 광학 유닛(10)의 왜상 효과의 결과로, 투영 광학 유닛(10)의 출사 동공의 원형의 생성된 서브-동공 구역(30) 및 조명 동공(도 36 참조)의 타원형 서브-동공 구역을 갖는 위치를 도시한다.
- [0126] 도 37 및 도 38은 투영 광학 유닛(10) 대신 투영 노광 장치(1)에서 사용될 수 있는 투영 광학 유닛(50)의 추가 실시예의 광학적 설계를 도시한다. 도 37 및 도 38에 도시된 것은, 각각의 경우에, 도 37 및 도 38의 y-방향으로 이격된 오브젝트 필드 지점으로부터 나오는 3개의 개별 광선의 빔 경로이다. 도시된 것은, 주 광선(51), 즉, 투영 광학 유닛(50)의 동공 평면의 동공의 중심을 통과하는 개별 광선이며, 각각의 경우에 이러한 오브젝트 필드 지점의 상위 그리고 하위 코마 광선(52)이다. 도 37은 투영 광학 유닛(50)의 자오 단면을 도시한다. 도 38은 투영 광학 유닛(50)의 구결적 도면(sagittal view)을 도시한다. 오브젝트 필드(8)로부터 나아가서, 주 광선(51)은 오브젝트 평면(9)의 법선을 갖는 5.1° 의 각도(CRAO)를 포함한다.
- [0127] 오브젝트 평면(9)은 이미지 평면(18)에 평행하게 놓인다.
- [0128] 투영 광학 유닛(50)은 0.55의 이미지 측 개구수를 갖는다.
- [0129] 도 2에 따른 투영 광학 유닛(50)은 총 8개의 미러를 갖고, 이것은, 오브젝트 필드(8)로부터 나오는 개별 광선(15)의 빔 경로의 시퀀스에서, 순서대로 넘버링된다(M1 내지 M8). 이러한 이미징 광학 유닛은 또한 상이한 수의 미러, 예컨대 4개 또는 6개의 미러를 가질 수 있다.
- [0130] 오브젝트 측에서, 투영 광학 유닛(50)은 왜상 광학 유닛으로 구현된다.
- [0131] 도 37에 따른 yz-섹션에서, 투영 광학 유닛(50)은 1/8의 감소하는 이미징 스케일(β_y)을 갖는다. 그에 수직인 xz-평면에서(도 38 참조), 투영 광학 유닛(50)은 1/4의 감소하는 이미징 스케일(β_x)을 갖는다.
- [0132] 회전 대칭인 출사 동공과 결합하여, 이러한 상이한 이미징 스케일 β_x , β_y 은, 도 37에서 도 38 사이의 비교로부터 바로 나타나는 바와 같이, xz-평면에 비해 yz-평면에서의 크기의 절반이 되는 것을 야기한다. 이것의 결과로, 5.1° 의 유리하게 작은 주광선 각도(CRAO)는 yz-평면에 얻어진다.
- [0133] 여기서 연결되는 왜상 투영 렌즈의 장점은 또한 US 2013/0128251 A1에 논의되며, 이것은 참조에 의해 본 출원에서 그 전체가 통합된다.
- [0134] 투영 광학 유닛(50)의 왜상 효과는 미러(M1 내지 M8)의 모든 광학 표면에 분포된다.
- [0135] 도 37 및 도 38는 미러(M1 내지 M8)의 계산된 반사 표면을 도시한다. 도 37 및 도 38에 따른 도면으로부터 볼 수 있다. 이러한 계산된 반사 표면의 일부만이 사용된다. 반사 표면의 이러한 실제로 사용된 구역만이 실제 미러(M1 내지 M8)에 실제로 존재한다. 이러한 사용된 반사 표면은 알려진 방식으로 미러 바디에 의해 운반된다.
- [0136] 투영 광학 유닛(50)에서, 미러(M1, M4, M7 및 M8)는 법선 입사를 위한 미러로서, 즉, 45° 보다 더 작은 입사 각으로 이미징 광(3)이 입사하는 미러로서 구현된다. 따라서, 투영 광학 유닛(50)은 법선 입사를 위한 총 4개의 미러(M1, M4, M7 및 M8)를 갖는다.
- [0137] 미러(M2, M3, M5 및 M6)는 조명 광(3)의 그레이징 입사를 위한 미러, 즉, 조명 광(3)이 60° 보다 더 큰 입사각으로 입사하는 미러이다. 그레이징 입사를 위한 미러(M2, M3 및 M5, M6)상의 이미징 광(3)의 개별 광선(15)의 입사의 통상적인 각도는 80° 의 구역에 놓인다. 전체적으로, 투영 광학 유닛(50)은 그레이징 입사를 위한 4개의 미러(M2, M3, M5 및 M6)를 포함한다.
- [0138] 미러(M2 및 M3)는 이미징 광(3)의 빔 경로에서 연속하여 직접적으로 배열되는 미러 쌍을 형성한다. 또한, 미러(M5 및 M6)는 이미징 광(3)의 빔 경로에서 연속하여 직접적으로 배열되는 미러 쌍을 형성한다.
- [0139] 한 측에서의 미러 쌍(M2, M3) 및 다른 한 측에서의 미러 쌍(M5, M6)은 이러한 2개의 미러 쌍의 개별적인 미러(M2, M3 또는 M5, M6) 상의 개별 광선의 반사의 각도가 추가되는 방식으로 이미징 광(3)을 반사한다. 따라서, 개별적인 미러 쌍(M2, M3 및 M5, M6)의 개별적인 제 2 미러(M3 및 M6)는 편향 효과를 증폭시키며, 이것의 개별

적인 제 1 미러(M2, M5)는 개별적인 개별 광선 상에 작용한다. 미러 쌍(M2, M3 및 M5, M6)의 미러의 이러한 배열은 개별적으로 조명 광학 유닛에 대하여 DE 10 2009 045 096 A1에서 기재되는 배열에 상응한다.

[0140] 그레이징 입사를 위한 미러(M2, M3, M5 및 M6)는 각각의 경우에 반경에 대한 매우 큰 절대값을 갖고, 즉, 평면 표면으로부터 비교적 작은 편차를 갖는다. 이러한 그레이징 입사를 위한 미러(M2, M3, M5 및 M6)는 그러므로 실질적으로 굴절력을 갖지 않으며, 즉, 실질적으로 오목한 또는 볼록한 미러와 같은 전체적으로 빔 형성 효과를 갖되, 특정 그리고 특히 국지적 수차 교정에 기여한다.

[0141] 미러(M1 내지 M8)는 이미징 광(3)을 위한 미러(M1 내지 M8)의 반사율을 최적화하는 코팅을 갖는다. 이것은, 루테늄 코팅, 몰리브덴 코팅 또는 루테늄으로 구성된 최상위 층을 갖는 몰리브덴 코팅이 될 수 있다. 사용은 그레이징 입사를 위한 미러(M2, M3, M5 및 M6)에서, 예컨대, 몰리브덴 또는 루테늄으로 구성된 폴라이(ply)를 갖는 코팅으로 구성될 수 있다. 특히, 빔선 입사를 위한 미러(M1, M4, M7 및 M8)의 상당히 반사적인 층은 다중 폴라이 층으로 구현될 수 있으며, 여기서, 연속하는 층은 상이한 물질로부터 제조될 수 있다. 교변하는 물질 층이 또한 사용될 수 있다. 종래의 다중 폴라이 층은 각각의 경우에 몰리브덴 층과 실리콘 층으로 구성되는 50 개의 바이 폴라이(bi-ply)를 포함할 수 있다.

[0142] 미러(M8), 즉 이미지 필드(8)의 정면의 이미징 빔 경로의 마지막 미러는 이미징 광(3)을 위한 관통 개구(54)를 갖고, 이것은, 뒤에서 세번째의 미러(M6)로부터 뒤에서 두번째의 미러(M7)로 관통을 위하여 반사된다. 미러(M8)는 관통 개구(54) 주변에서 반사 방식으로 사용된다. 모든 다른 미러(M1 내지 M7)는 관통 개구를 포함하지 않으며 갑 없이 연속하는 구역에서 반사 방식으로 사용된다.

[0143] 미러(M1 내지 M8)는 회전 대칭 함수에 의해 기재될 수 없는 자유 곡면(free-form surface)으로 구현된다. 미러(M1 내지 M8) 중 적어도 하나가 회전 대칭 비구면으로 구현되는 투영 광학 유닛(50)의 기타 실시예가 또한 가능하다. 모든 미러(M1 내지 M8)가 이러한 비구면으로 구현되는 것 또한 가능하다.

[0144] 자유 곡면은 이하의 자유 곡면 방정식(방정식 1)에 의해 기재될 수 있다:

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

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

(1).

[0145] 이하는, 본 방정식(1)의 파라미터에 적용된다:

[0147] Z_{PH} 는 지점(x, y)에서의 자유 곡면의 새그(sag)이며, 여기서 $x^2 + y^2 = r^2$ 이다. 여기서, r은 자유 곡면 방정식의 기본 축($x = 0; y = 0$)으로부터의 거리이다.

[0148] 자유 곡면 방정식(1)에서, $C_1, C_2, C_3\dots$ 은 x 및 y의 힘에 의해 자유 곡면 시리즈 팽창의 계수를 표시한다.

[0149] 원뿔 기본 지역의 경우에, c_x, c_y 는 상응하는 비구면의 정점 곡률에 상응하는 상수이다. 따라서, $c_x = 1/R_x$ 및 $c_y = 1/R_y$ 가 적용된다. k_x 및 k_y 은 각각 상응하는 비구면의 원뿔 상수에 상응한다. 따라서, 방정식(1)은 양원뿔(bi-conical) 자유 곡면이다.

[0150] 대안적인 가능 자유 곡면은 회전 대칭인 기준 표면으로부터 생성될 수 있다. 마이크로리소그래피 투영 노광 장치의 투영 광학 유닛의 미러의 반사 표면의 이러한 자유 곡면은 US 2007-0058269 A1으로부터 알려져 있다.

[0151] 대안적으로, 자유 곡면은 2차원 스플라인(spline) 표면의 도움으로 또한 기재될 수 있다. 이것에 대한 예시는, 베지에(Bezier) 곡선 또는 NURBS(Non-Uniform Rational Basis Splines)이다. 예시로서, 2차원 스플라인 표면은 xy-평면의 그리고 관련된 z-값의 지점의 그리드에 의해 또는 그와 관련된 지점 및 그라디언트(gradients)에

의해 설명될 수 있다. 스플라인 표면의 개별적인 형태에 따라, 완전한 표면은 예컨대 연속성 및 차별 가능성(differentiability)에 관해 특정한 속성을 갖는 다항식이나 함수를 사용한 그리드 지점 간의 보간에 의해 얻어진다.

[0152] 투영 광학 유닛(50)의 미러(M1 내지 M8)의 반사 표면의 광학 설계 데이터는 이하의 표로부터 알 수 있다. 이러한 광학 설계 데이터는 각각의 경우에 이미지 평면(18)으로부터 나아가고, 즉, 이미지 평면(18)과 오브젝트 평면(9) 사이의 이미징 광(3)의 역 전파 방향으로 개별적인 투영 광학 유닛을 기재한다.

[0153] 이러한 표 중 제 1 표는 광학 구성요소의 광학 표면에 대한 정점 반경(반경= $R = R_y$)을 지정한다.

[0154] 제 2 표는 미러(M1 내지 M8)에 대해서 mm단위로, 원뿔 상수(k_x 및 k_y), 값($R (= R_y)$)으로부터 벗어나는 정점 반경(R_x), 자유 곡면 계수(C_n)를 지정한다.

[0155] 제 3 표는 각각의 미러가 기준면으로부터 나아가서, y-방향으로 편심(DCY)되고, z-방향으로 변위 (DCZ) 및 틸팅 (TLA, TLC)된 크기(magnitude)를 또한 지정한다. 이것은 자유 곡면 설계 방법을 수행할 때의 평행 변위 및 틸팅에 상응한다. 여기서, 변위는 y-방향 및 z-방향으로 mm 단위로 수행되고, 틸팅은 x-축 및 z-축을 중심으로 수행된다. 여기서, 틸트 각도는 "°"로 지정된다. 편심이 먼저 수행되고 틸팅이 이어진다. 편심시 기준면은 각각의 경우에 특정 광학 설계 데이터의 제1 표면이다. y-방향 및 z-방향으로의 편심도 오브젝트 필드(8)에 대해서 지정되어 있다.

[0156] 제 4 표는 미러(M8 내지 M1)의 투과율 데이터, 즉, 각각의 미러에 대해서 중심적으로 입사하는 조명 광의 입사각에 대한 반사율을 또한 지정한다. 전체 투과율은 투영 광학 유닛의 모든 미러에서 반사한 뒤의 입사 강도로부터 남은 비례 인자로서 지정된다.

표면	반경 = R_y	두께	동작 모드
이미지 평면	0	0	
M8	-1023.649	0	REFL
M7	690.912	0	REFL
M6	10074.889	0	REFL
M5	72950.754	0	REFL
M4	-4292.992	0	REFL
M3	-21913.738	0	REFL
M2	7573.476	0	REFL
Stop	0	0	
M1	-1898.455	0	REFL
오브젝트 평면	0	0	

도 37/도 38에 대한 표 1

[0157]

자유 곡면	계수	M8	M7	M6
KY		0	0	0
KX		0	0	0
RX		-1133.327	4406.388	4739.62
C1		---	---	---
C2		---	---	---
C3		---	---	---
C4		---	---	---
C5		---	---	---
C6		---	---	---
C7		-1.37046E-08	7.46796E-08	-2.88085E-08
C8		---	---	---
C9		-7.61542E-09	-1.45727E-07	-1.79062E-08
C10		-7.69204E-12	2.92797E-10	4.42007E-11
C11		---	---	---
C12		-2.20924E-11	1.13531E-09	-8.60192E-12
C13		---	---	---
C14		-1.03739E-11	1.40909E-09	-4.58761E-11
C15		---	---	---
C16		-7.31775E-15	-1.31555E-13	-1.45618E-13
C17		---	---	---
C18		-1.17172E-14	-6.54063E-13	4.24616E-15
C19		---	---	---
C20		-3.39836E-15	-3.50696E-13	-8.53811E-14
C21		-9.15895E-18	2.09018E-16	-9.75509E-17
C22		---	---	---
C23		-3.59919E-17	2.50711E-15	3.58425E-16
C24		---	---	---
C25		-3.77288E-17	9.96925E-15	-1.56598E-19
C26		---	---	---
C27		-1.19641E-17	7.56227E-15	-2.28738E-16
C28		---	---	---
C29		-5.7505E-21	8.60467E-19	-9.7608E-19
C30		---	---	---
C31		-1.25791E-20	4.3679E-18	-8.89549E-19
C32		---	---	---
C33		-1.03116E-20	-9.69396E-18	-3.40251E-19
C34		---	---	---
C35		-2.20183E-21	-3.27752E-18	-6.53545E-19
C36		-8.33158E-24	4.55265E-22	4.12908E-21
C37		---	---	---
C38		-4.25998E-23	7.24917E-21	1.05887E-20
C39		---	---	---
C40		-6.98306E-23	1.4359E-20	3.05154E-21
C41		---	---	---

[0158]

C42	-4.83368E-23	8.43034E-20	2.41518E-23
C43	---	---	---
C44	-1.40394E-23	1.97591E-19	-1.62504E-21
C45	---	---	---
C46	-2.98149E-27	-4.16141E-25	6.47813E-23
C47	---	---	---
C48	-1.122E-26	-9.85706E-24	2.803E-23
C49	---	---	---
C50	-1.69711E-26	4.0986E-23	1.52688E-23
C51	---	---	---
C52	-8.57563E-27	1.47028E-22	7.02363E-24
C53	---	---	---
C54	1.76715E-28	-6.99745E-23	-2.14952E-24
C55	-6.6289E-30	1.4211E-27	-2.82086E-25
C56	---	---	---
C57	-4.1087E-29	-4.51003E-27	-7.63378E-25
C58	---	---	---
C59	-9.17862E-29	7.25468E-26	-2.77481E-25
C60	---	---	---
C61	-9.90356E-29	3.9633E-25	-3.52163E-26
C62	---	---	---
C63	-5.59488E-29	9.9557E-25	-8.0433E-28
C64	---	---	---
C65	-7.22003E-30	-4.21378E-24	-2.7441E-27
C66	---	---	---
C67	-5.2462E-33	-8.35762E-30	-9.15485E-28
C68	---	---	---
C69	-2.01841E-32	5.45404E-29	-5.39668E-28
C70	---	---	---
C71	-3.79283E-32	-2.97201E-28	-1.38363E-27
C72	---	---	---
C73	-2.44971E-32	3.25228E-28	-3.68929E-28
C74	---	---	---
C75	-7.62728E-33	-8.72124E-27	-1.16531E-28
C76	---	---	---
C77	-5.73596E-33	4.80554E-27	-4.1739E-29
C78	-8.04718E-36	-8.23504E-33	7.06018E-30
C79	---	---	---
C80	-5.44037E-35	2.3497E-31	1.8604E-29
C81	---	---	---
C82	-1.67551E-34	1.33047E-30	1.34215E-29
C83	---	---	---
C84	-2.69006E-34	5.04719E-30	4.72484E-30
C85	---	---	---
C86	-2.38084E-34	-7.8081E-30	4.75456E-31
C87	---	---	---
C88	-9.66546E-35	1.17081E-29	-1.51989E-31

[0159]

C89	---	---	---
C90	-2.31042E-35	9.71583E-29	-2.31509E-31
C91	---	---	---
C92	3.72879E-39	1.17935E-34	3.77091E-34
C93	---	---	---
C94	1.51419E-38	-8.62572E-36	-7.82263E-33
C95	---	---	---
C96	3.40542E-38	3.38357E-33	3.57456E-32
C97	---	---	---
C98	3.58688E-38	-2.30441E-34	1.60062E-32
C99	---	---	---
C100	-4.37696E-39	-7.67778E-33	1.17808E-33
C101	---	---	---
C102	-9.00259E-39	1.15561E-31	4.06368E-34
C103	---	---	---
C104	9.73218E-39	-1.33023E-31	-5.19168E-34
C105	-3.15681E-43	8.50011E-38	-6.16414E-35
C106	---	---	---
C107	-6.71085E-42	-3.50192E-37	-1.25785E-34
C108	---	---	---
C109	1.81014E-41	-3.77113E-36	-1.73593E-34
C110	---	---	---
C111	1.21189E-40	-1.794E-35	-1.92853E-34
C112	---	---	---
C113	2.123E-40	4.42096E-35	-1.73175E-35
C114	---	---	---
C115	1.96802E-40	3.78746E-34	-5.80389E-36
C116	---	---	---
C117	6.74688E-41	-4.5593E-35	7.2231E-37
C118	---	---	---
C119	1.51521E-41	-4.50735E-34	-4.27492E-37
C120	---	---	---
C121	-3.77954E-45	---	---
C122	---	---	---
C123	-5.73507E-44	---	---
C124	---	---	---
C125	-1.67582E-43	---	---
C126	---	---	---
C127	-2.67358E-43	---	---
C128	---	---	---
C129	-2.40297E-43	---	---
C130	---	---	---
C131	-8.92457E-44	---	---
C132	---	---	---
C133	-1.44216E-44	---	---
C134	---	---	---
C135	-1.25305E-44	---	---

C136	-1.34457E-47	---	---
C137	---	---	---
C138	-1.15918E-46	---	---
C139	---	---	---
C140	-4.92021E-46	---	---
C141	---	---	---
C142	-1.26164E-45	---	---
C143	---	---	---
C144	-1.92457E-45	---	---
C145	---	---	---
C146	-1.81299E-45	---	---
C147	---	---	---
C148	-1.06311E-45	---	---
C149	---	---	---
C150	-3.31314E-46	---	---
C151	---	---	---
C152	-4.79752E-47	---	---

도 37/도 380에 대한 표 2a

[0161]

자유 곡면	계수	M5	M4	M3
KY		0	0	0
KX		0	0	0
RX		21144.94	-2867.384	-10853.57
C1		---	---	---
C2		---	---	---
C3		---	---	---
C4		---	---	---
C5		---	---	---
C6		---	---	---
C7		-8,13272E-08	-3.58842E-08	5.29877E-10
C8		---	---	---
C9		-5.82176E-08	-7.04519E-07	2.10519E-09
C10		9.37453E-12	1.30052E-12	-6.304E-12
C11		---	---	---
C12		3.0068E-11	1.85556E-10	-5.20862E-12
C13		---	---	---
C14		8.83038E-11	3.58735E-09	-3.58046E-12
C15		---	---	---
C16		4.50889E-14	-8.90737E-15	1.13558E-14
C17		---	---	---
C18		-8.85587E-15	-1.37507E-12	-1.13089E-16
C19		---	---	---
C20		-2.84536E-13	-2.40161E-11	1.26937E-15
C21		-4.026E-17	9.8411E-19	-1.07754E-17
C22		---	---	---
C23		-1.60628E-16	1.18787E-16	-4.13075E-18
C24		---	---	---
C25		-2.12462E-16	1.07306E-14	-2.61988E-18
C26		---	---	---
C27		7.88492E-16	1.62876E-13	-1.51826E-18
C28		---	---	---
C29		8.29817E-20	-1.42316E-21	8.37815E-21
C30		---	---	---
C31		4.09821E-19	-1.5316E-18	2.70593E-21
C32		---	---	---
C33		1.04061E-18	-1.00777E-16	9.75607E-22
C34		---	---	---
C35		-2.28977E-18	-1.25475E-15	1.00242E-21
C36		-1.07019E-22	1.36622E-24	-3.00882E-23
C37		---	---	---
C38		-4.94074E-23	2.88428E-23	2.10003E-24
C39		---	---	---
C40		-1.34527E-21	1.98697E-20	8.31511E-24
C41		---	---	---

[0162]

C42	-4.60973E-21	1.12696E-18	3.79722E-24
C43	---	---	---
C44	4.81654E-21	1.64452E-17	-1.75074E-25
C45	---	---	---
C46	1.01636E-24	-5.39059E-27	2.00076E-26
C47	---	---	---
C48	-9.38769E-25	6.02028E-25	1.15957E-26
C49	---	---	---
C50	-7.09697E-24	1.64761E-22	-5.38273E-27
C51	---	---	---
C52	-2.38403E-24	3.42328E-21	-2.97502E-27
C53	---	---	---
C54	-2.2624E-23	-3.23207E-19	-5.02184E-28
C55	1.26386E-28	1.71521E-30	9.81733E-30
C56	---	---	---
C57	-2.83068E-27	8.4656E-29	-3.36675E-29
C58	---	---	---
C59	2.46205E-26	-1.62711E-26	-9.5445E-29
C60	---	---	---
C61	9.95586E-26	-8.1993E-24	-8.78075E-29
C62	---	---	---
C63	1.01879E-25	1.62251E-22	-3.16475E-29
C64	---	---	---
C65	1.91562E-25	-5.94818E-21	-4.32421E-30
C66	---	---	---
C67	-3.0812E-30	-1.7543E-33	-6.87806E-32
C68	---	---	---
C69	4.41107E-30	-4.3076E-30	-8.63344E-32
C70	---	---	---
C71	-2.84725E-29	-2.73981E-27	6.96849E-32
C72	---	---	---
C73	4.49515E-30	-1.83905E-25	8.79586E-32
C74	---	---	---
C75	8.74288E-29	-8.91906E-24	2.23941E-32
C76	---	---	---
C77	-6.92551E-28	2.64874E-22	4.81132E-33
C78	2.23688E-34	-1.85559E-36	-5.94735E-35
C79	---	---	---
C80	-7.09239E-33	-8.8033E-35	1.42958E-34
C81	---	---	---
C82	-2.40355E-31	1.32753E-31	3.76355E-34
C83	---	---	---
C84	-1.33477E-30	6.70625E-29	4.22629E-34
C85	---	---	---
C86	-3.52927E-30	4.70367E-27	2.6854E-34
C87	---	---	---
C88	-4.04945E-30	-1.60136E-25	9.37755E-35

C89	---	---	---
C90	-2.28582E-32	3.37935E-24	1.01872E-35
C91	---	---	---
C92	1.53054E-35	1.03182E-38	4.49578E-37
C93	---	---	---
C94	1.90636E-34	7.96148E-37	4.15344E-37
C95	---	---	---
C96	1.77216E-33	5.60447E-33	-1.332E-37
C97	---	---	---
C98	7.04888E-33	5.29126E-31	-4.53303E-37
C99	---	---	---
C100	1.53325E-32	6.99281E-29	-2.18759E-37
C101	---	---	---
C102	1.55848E-32	---	-2.6401E-38
C103	---	---	---
C104	5.50738E-33	---	-5.86276E-39
C105	-3.29474E-39	2.07879E-42	-7.97362E-43
C106	---	---	---
C107	-6.0305E-38	8.43169E-40	-9.19642E-40
C108	---	---	---
C109	-5.38471E-37	-2.34624E-37	-7.68527E-40
C110	---	---	---
C111	-3.36031E-36	-1.09111E-34	-5.25252E-40
C112	---	---	---
C113	-1.05801E-35	-2.66123E-32	-3.43775E-40
C114	---	---	---
C115	-2.05318E-35	---	-3.04774E-40
C116	---	---	---
C117	-1.88192E-35	---	-1.37941E-40
C118	---	---	---
C119	-9.04484E-36	---	-1.23379E-41
C120	---	---	
C121	---	---	
C122	---	---	
C123	---	---	
C124	---	---	
C125	---	---	
C126	---	---	
C127	---	---	
C128	---	---	
C129	---	---	
C130	---	---	
C131	---	---	
C132	---	---	
C133	---	---	
C134	---	---	
C135	---	---	

C136	---	---
C137	---	---
C138	---	---
C139	---	---
C140	---	---
C141	---	---
C142	---	---
C143	---	---
C144	---	---
C145	---	---
C146	---	---
C147	---	---
C148	---	---
C149	---	---
C150	---	---
C151	---	---
C152	---	---

도 37/도 38에 대한 표 2b

[0165]

자유 곡면	계수	M2	Stop	M1
KY		0	0	0
KX		0	0	0
RX		-5190.311	0	-5923.957
C1		---	---	---
C2		---	---	---
C3		---	---	---
C4		---	---	---
C5		---	---	---
C6		---	---	---
C7		-5.28973E-09	---	-9.34107E-08
C8		---	---	---
C9		3.16118E-08	---	-3.08171E-08
C10		-3.51132E-11	---	2.15749E-11
C11		---	---	---
C12		-5.9484E-11	---	-4.16147E-11
C13		---	---	---
C14		4.15397E-11	---	-9.60233E-12
C15		---	---	---
C16		8.87193E-14	---	-1.3871E-13
C17		---	---	---
C18		2.11911E-14	---	-4.21724E-13
C19		---	---	---
C20		5.83626E-14	---	1.56832E-13
C21		-7.52771E-17	---	2.28833E-17
C22		---	---	---
C23		2.86727E-17	---	-7.98916E-17
C24		---	---	---
C25		-6.0786E-17	---	-6.15893E-16
C26		---	---	---
C27		9.82617E-17	---	6.98314E-16
C28		---	---	---
C29		-1.4409E-21	---	-1.67085E-20
C30		---	---	---
C31		1.0419E-19	---	1.2491E-19
C32		---	---	---
C33		1.81953E-20	---	-5.55657E-19
C34		---	---	---
C35		2.04228E-19	---	-3.23337E-18
C36		-1.68994E-23	---	-3.08541E-25
C37		---	---	---
C38		-5.92116E-23	---	-6.92334E-22
C39		---	---	---
C40		3.83068E-23	---	-1.17222E-21

[0166]

C41	---	---	---
C42	-9.3194E-23	---	1.57625E-21
C43	---	---	---
C44	3.54806E-22	---	-4.85283E-20
C45	---	---	---
C46	1.64543E-25	---	7.61057E-26
C47	---	---	---
C48	-2.94839E-25	---	1.52897E-24
C49	---	---	---
C50	-1.09554E-24	---	8.66858E-24
C51	---	---	---
C52	-1.81473E-24	---	2.18885E-23
C53	---	---	---
C54	-1.10156E-25	---	2.98501E-22
C55	-3.91687E-28	---	-3.84029E-29
C56	---	---	---
C57	-9.77389E-28	---	8.12605E-27
C58	---	---	---
C59	-6.1463E-28	---	4.79733E-26
C60	---	---	---
C61	-1.2791E-27	---	3.31526E-26
C62	---	---	---
C63	-4.46201E-27	---	-2.96899E-25
C64	---	---	---
C65	-2.14425E-28	---	2.24301E-24
C66	---	---	---
C67	3.17154E-32	---	-3.989E-30
C68	---	---	---
C69	6.31254E-30	---	-4.30684E-29
C70	---	---	---
C71	1.77074E-29	---	-3.09346E-28
C72	---	---	---
C73	2.94127E-29	---	-3.27636E-28
C74	---	---	---
C75	1.73718E-29	---	1.84376E-28
C76	---	---	---
C77	9.59406E-30	---	-9.29243E-27
C78	2.26428E-33	---	6.44291E-34
C79	---	---	---
C80	6.98016E-33	---	-7.26103E-32
C81	---	---	---
C82	3.90295E-33	---	-8.26037E-31
C83	---	---	---
C84	1.00564E-32	---	-2.47229E-30
C85	---	---	---
C86	5.31207E-32	---	1.36268E-30
C87	---	---	---

C88	4.68167E-32	---	1.15589E-29
C89	---	---	---
C90	2.22751E-32	---	-6.48766E-29
C91	---	---	---
C92	4.94909E-36	---	2.12374E-35
C93	---	---	---
C94	-2.40459E-35	---	2.73288E-34
C95	---	---	---
C96	-6.9107E-35	---	2.28463E-33
C97	---	---	---
C98	-1.61919E-34	---	6.85275E-33
C99	---	---	---
C100	-1.443E-34	---	-4.32046E-33
C101	---	---	---
C102	-7.93406E-35	---	-1.07655E-32
C103	---	---	---
C104	-1.6653E-35	---	1.27235E-31
C105	5.86499E-40	---	-4.29231E-39
C106	---	---	---
C107	-1.54194E-38	---	2.35882E-37
C108	---	---	---
C109	-7.13318E-39	---	4.70203E-36
C110	---	---	---
C111	-1.43456E-38	---	2.37591E-35
C112	---	---	---
C113	-1.90287E-37	---	3.22171E-35
C114	---	---	---
C115	-2.94354E-37	---	-8.87391E-35
C116	---	---	---
C117	-2.19039E-37	---	-1.98534E-34
C118	---	---	---
C119	-6.06928E-38	---	8.31104E-34

도 37/도 38에 대한 표 2c

편심 표면	및		틸팅	
		DCX	DCY	DCZ
M8	0	0.357	928.412	
M7	0	-194.006	123.625	
M6	0	110.738	1485.211	
M5	0	410.249	1906.051	
M4	0	989.832	2227.669	
M3	0	-480.768	1725.544	
M2	0	-1586.007	983.729	
Stop	0	-1833.301	630.897	
M1	0	-2256.97	48.209	
오브젝트 평면	0	-2433.049	1809.336	

도 37/도 38에 대한 표 3a

편심

표면

	TLA[deg]	TLB[deg]	TLC[deg]
M8	-6.812	0	0
M7	166.853	0	0
M6	65.471	0	0
M5	41.134	0	0
M4	-66.253	0	0
M3	26.326	0	0
M2	43.988	0	0
Stop	17.853	0	0
M1	165.032	0	0
오브젝트 평면	0.842	0	0

도 37/도 38에 대한 표 3b

[0168]

투과율

표면

	입사각[deg]	반사율
M8	6.791	0.661
M7	0.473	0.666
M6	78.111	0.852
M5	77.566	0.845
M4	4.904	0.663
M3	82.655	0.912
M2	79.497	0.872
M1	20.679	0.609

전체 투과율=0.10167

도 37/도 38에 대한 표 4

[0169]

투영 광학 유닛(50)의 전체 반사율은 10.17%이다.

[0170]

비구면 미러의 회전 대칭의 축은 상기 표에서의 틸팅 값에 의해 명백해지듯이, 이미지 평면(9)의 법선에 관하여 일반적으로 틸팅된다.

[0171]

오브젝트 필드(8)는 13 mm의 두 배의 x-크기와 1.20 mm의 y-크기를 갖는다. 투영 광학 유닛(50)은 13.5 nm의 조명 광(3)의 동작 파장에 대해서 최적화되어 있다.

[0172]

투영 광학 유닛(50)은 정확히 8개의 미러(M1 내지 M8)를 갖는다. 한편으로는 미러(M2, M3) 그리고 다른 한편으로 미러(M5, M6)는 그레이징 입사용 미러로서 구현되고 이미징 빔 경로에서 서로 바로 뒤이어 각각의 경우에 배치된다. 투영 광학 유닛(50)은 정확히 4개의 그레이징 입사용 미러, 즉, 미러(M2, M3, M5 및 M6)를 갖는다. 미러(M1, M4, M7 및 M8)는 법선 입사용 미러로 구현된다.

[0173]

투영 광학 유닛(50)에서, 스탑(53)은 미러(M2) 상에서의 그레이징 입사에 가깝게 미러(M1 및 M2)사이의 빔 경로에 배열된다. 스탑(53)은 조명 또는 이미징 광(3)의 빔 경로에서의 제 1 동공 평면의 구역의 미러(M1 및 M2) 사이에 배열된다. 이러한 제 1 동공 평면(53)은 중앙 필드 지점의 주 광선(51)에 대하여 틸팅되고, 즉, 이것은 이러한 주 광선에 의해 각도 $\neq 90^\circ$ 를 포함한다. 이미징 광(3)의 전체 빔은 이러한 제 1 동공 평면의 구역의 미러(M1 및 M2) 사이의 모든 측으로부터 접근가능하고, 그러므로, 어퍼처 스탑으로 구현되는 스탑(53)은 여기에 배치된다. 대안적으로 또는 추가로, 스탑은 미러(M2)의 표면상에 직접적으로 배치될 수 있다.

[0174]

xz-평면에서(도 38 참조), 투영 광학 유닛(50)의 입사 동공은 조명 광의 빔 경로에서 오브젝트 필드(8) 앞의 2740 mm에 놓여 있다. yz-면에서, 입사 동공은 투영 광학 유닛(50)의 이미징 빔 경로에서 오브젝트 필드(8)의 다운스트림의 5430 mm에 놓여 있다. 그러므로, 오브젝트 필드(8)로부터 나오는 주 광선(51)의 범위(extent)는 도 37에 따른 자오 단면과 도 38에 따른 뷰에서 모두 수렴한다.

[0175]

xz-섹션에서(도 38 참조), 스탑(53)은, 그 자신의 yz-섹션의 위치와 비교하여, z-방향으로 변위된 위치에 존재할 수 있다.

[0176]

오브젝트 필드(8)와 이미지 필드(17) 사이의 z 거리는, 즉 투영 광학 유닛(50)의 구조적 길이는 대략 1850 mm이

다.

[0178] 오브젝트/이미지 오프셋(d_{OIS}), 즉, 중심 오브젝트 필드 지점과 중심 이미지 필드 사이의 y-간격은 대략 2400 mm 이다.

[0179] 미러(M7)와 이미지 필드(17) 사이의 자유 작동 거리는 83 mm이다.

[0180] 투영 광학 유닛(34)에서, 파면 수차의 RMS 값은 최대 7.22 $\text{m}\lambda$, 평균 6.65 $\text{m}\lambda$ 이다.

[0181] 최대 왜곡값은 x-방향에서 최대 0.10 nm이고, y-방향에서 최대 0.10 nm이다. x-방향의 텔레센트릭 값은 이미지 필드측에서 최대 1.58 mrad이고, y-방향의 텔레센트릭 값은 이미지 필드측에서 최대 0.15 mrad이다.

[0182] 투영 광학 유닛(50)의 또 다른 미러 데이터는 다음 표에 기재되어 있다.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
최대 입사각[deg]	20.9	81.9	83.8	7.0	79.8	81.2	17.2	8.3
미러 치수 (x) [mm]	525.7	662.4	847.1	984.1	675.6	325.0	482.9	1074.4
미러 치수 (y) [mm]	268.1	512.7	856.1	66.4	336.1	466.1	277.4	1053.4
최대 미러 직경 [mm]	525.8	662.5	926.3	984.1	675.6	470.0	483.0	1076.0

도 37/도 38에 대한 표 5

[0183]

[0184] yz-면(도 37)의 미러(M5)의 반사 구역 및 xz-면(도 38)에 평행한 미러(M6, M7) 사이의 이미징 빔 경로 구역에서 빔 경로 상에 중간 이미지(53a)가 존재한다.

[0185]

투영 광학 유닛(50)의 추가 동공 평면은 미러(M7 및 M8) 상의 이미징 광(3)의 반사의 구역에 배열된다.

[0186]

미러(M7, M8)의 영역에서 어퍼쳐 스탑은 이미징 빔 경로에서 2개의 위치, 한편으로 x-치수 및 다른 한편으로 y-치수로 배열 및 분산되며, 예를 들면, 미러(M8)에 대해서 y-치수에 제한을 주로 주는 어퍼쳐 스탑, 및 미러(M7)에 대해서 x-치수에 제한을 주로 주는 어퍼쳐 스탑일 수 있다.

[0187]

미러(M8)는 차폐되며, 미러(M6 및 M7) 사이의 이미징 빔 경로의 조명 광(3)의 관통을 위한 관통 개구(54)를 포함한다. 투영 광학 유닛(50)의 개구수의 20% 미만은, 관통 개구(54)의 결과로서 차폐된다. 따라서, 투영 광학 유닛(50)의 시스템 동공에서, 차폐로 인하여 조명되지 않는 표면은, 전체 시스템 동공의 표면의 0.20² 미만이다. 시스템 동공 내의 조명되지 않은 표면은 y-방향 보다 x-방향에서 상이한 크기를 가질 수 있다. 더욱이, 조명될 수 없는 시스템 동공의 이러한 표면은, 시스템 동공의 중심에 관하여 x-방향 및/또는 y-방향으로 편심될 수 있다.

[0188]

이미징 빔 경로의 마지막 미러(M8) 만이 이미징 광(3)에 대한 관통 개구(54)를 포함한다. 모든 기타 미러(M1 내지 M7)는 연속하는 반사 표면을 갖는다. 미러(M8)의 반사 표면은 그의 관통 개구(54) 주변에서 사용될 수 있다.

[0189]

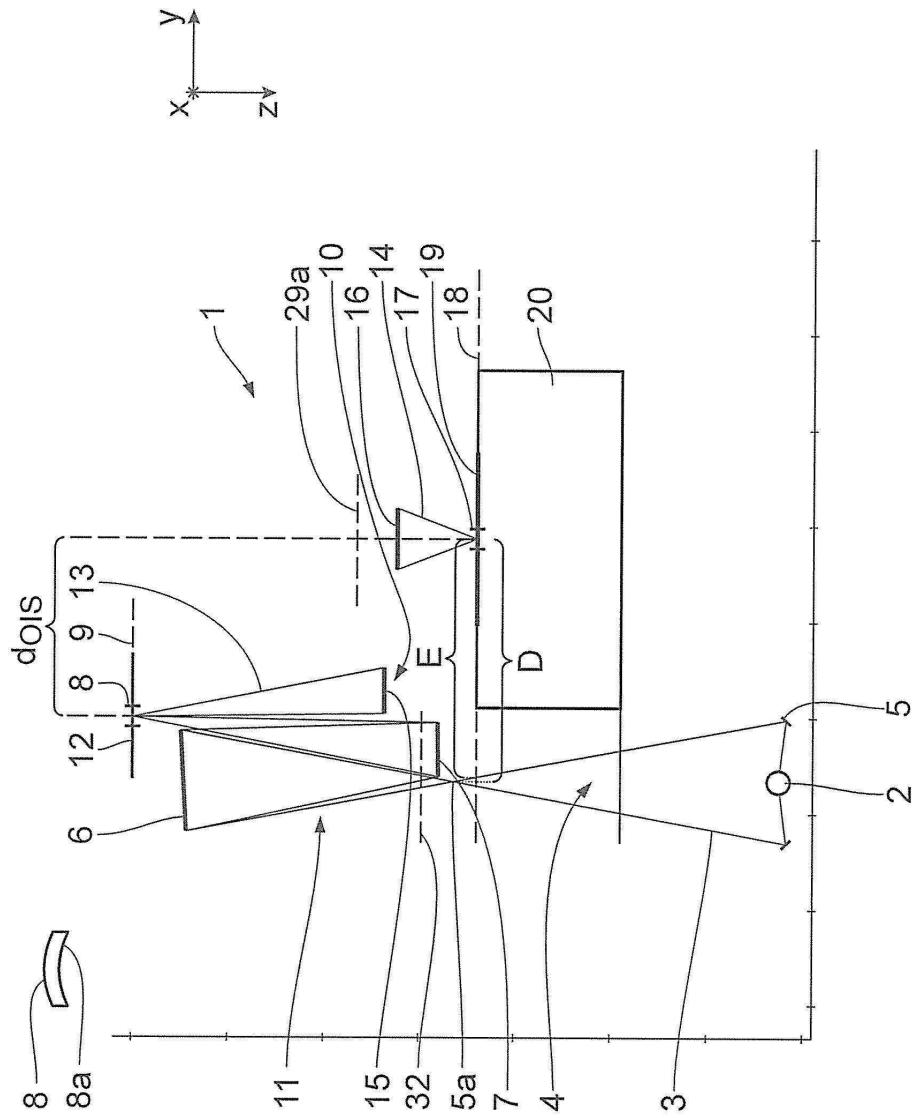
미러(M1, M3, M4, M6 및 M8)는 반경에 있어서 음의 값을 갖고, 즉, 원칙적으로 오목한 미러이다. 나머지 미러(M2, M5 및 M7)는 반경에 있어서 음의 값을 갖고, 즉 원칙적으로 볼록한 미러이다. 그레이징 입사를 위한 미러(M2, M3, M5 및 M6)는 상당히 큰 반경을 갖고 평평한 반사 표면으로부터의 아주 작은 편차가 된다.

[0190]

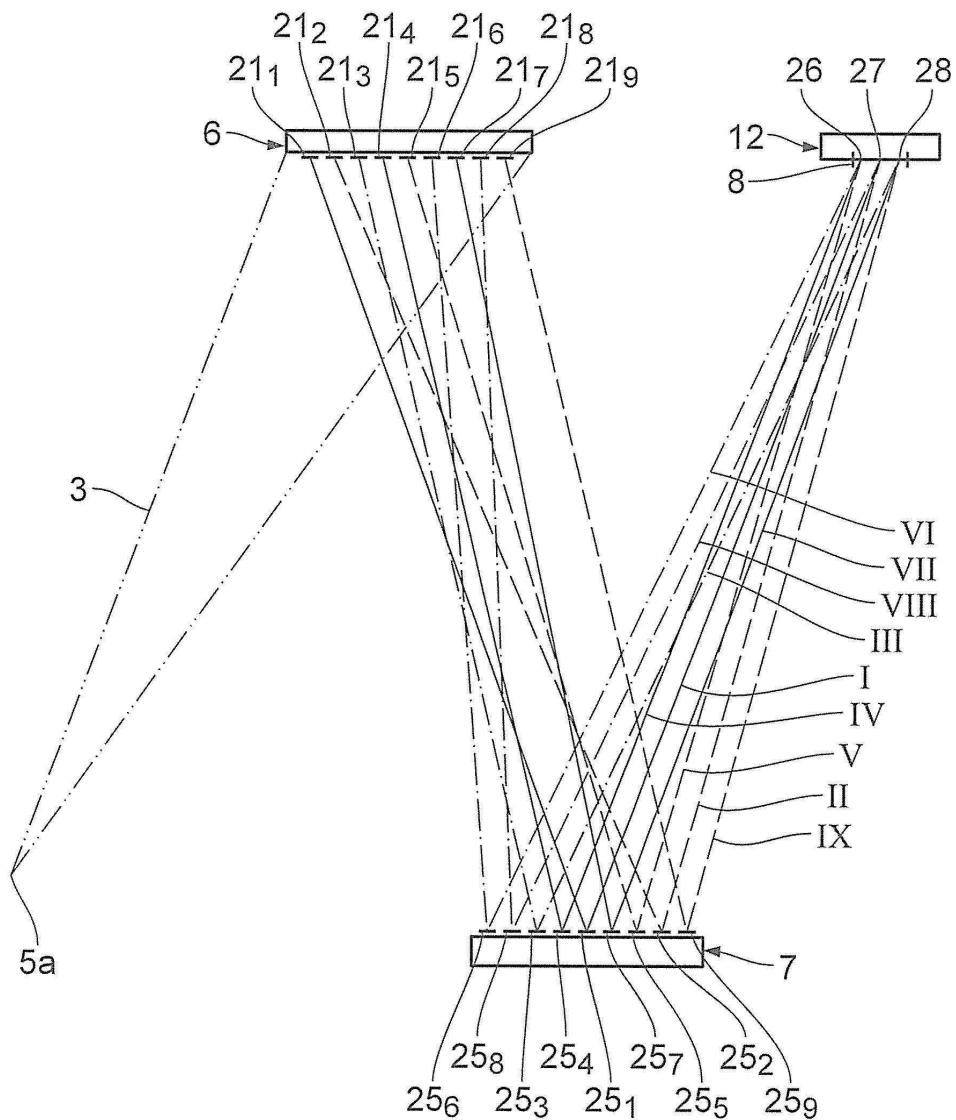
마이크로구조화된 구성요소, 특히 고집적 반도체 구성요소, 예컨대 메모리칩을 투영 노광 장치(1)의 도움으로 제조하기 위해, 레터클(12) 및 웨이퍼(19)가 먼저 제공된다. 이어서, 레터클(8) 상의 구조는 투영 노광 장치(1)의 투영 광학 유닛에 의해 웨이퍼(19) 상의 감광성 층 상으로 투영된다. 감광성 층을 현상함으로써, 마이크로구조는 이로써 웨이퍼(19) 상에서 생성되며 마이크로구조화된 또는 나노구조화된 구성요소가 그로부터 생성된다.

도면

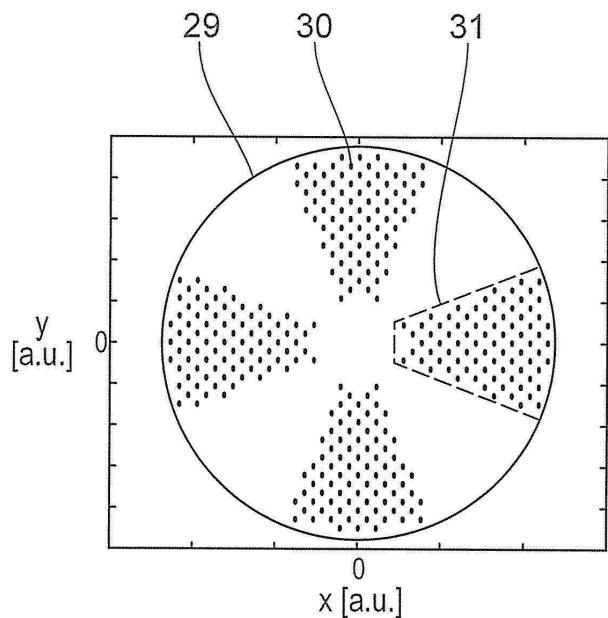
도면1



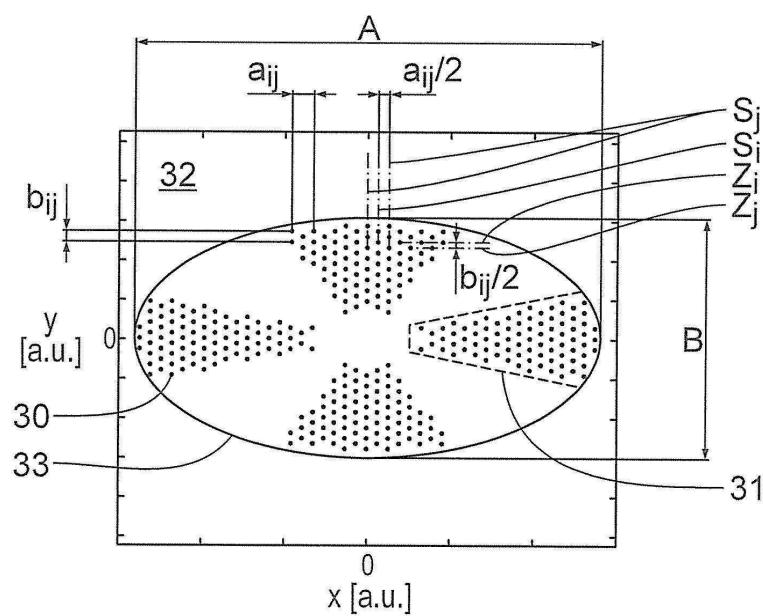
도면2



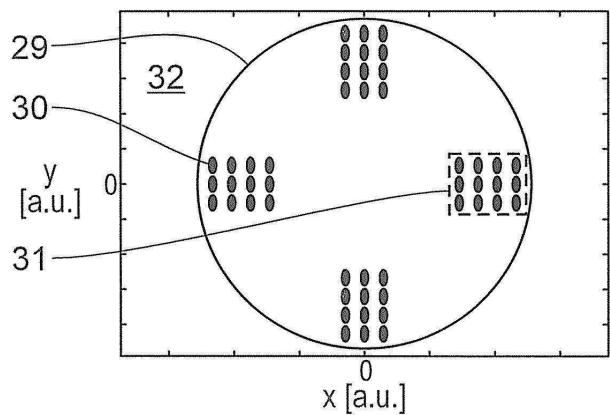
도면3



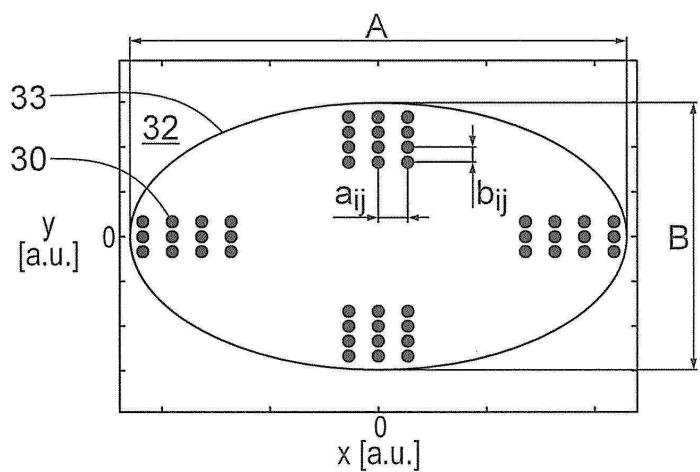
도면4



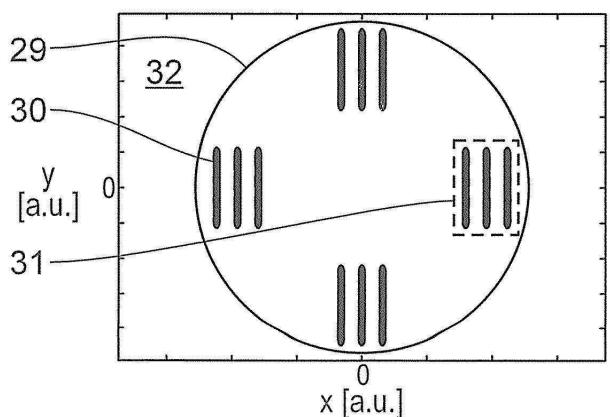
도면5



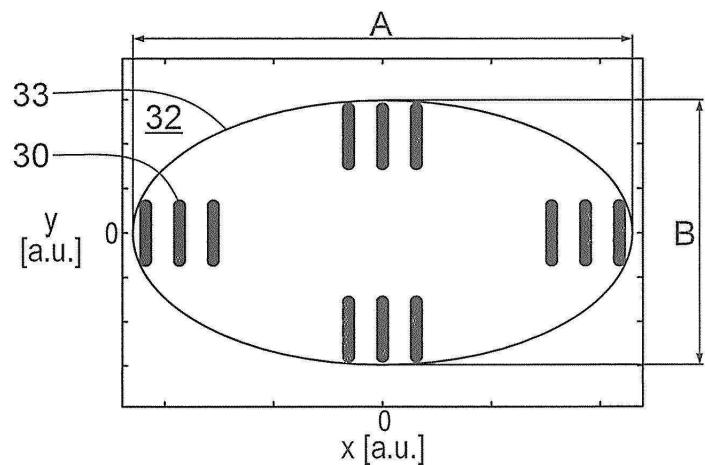
도면6



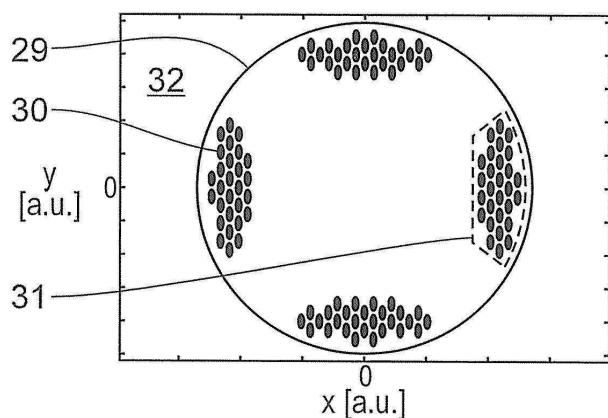
도면7



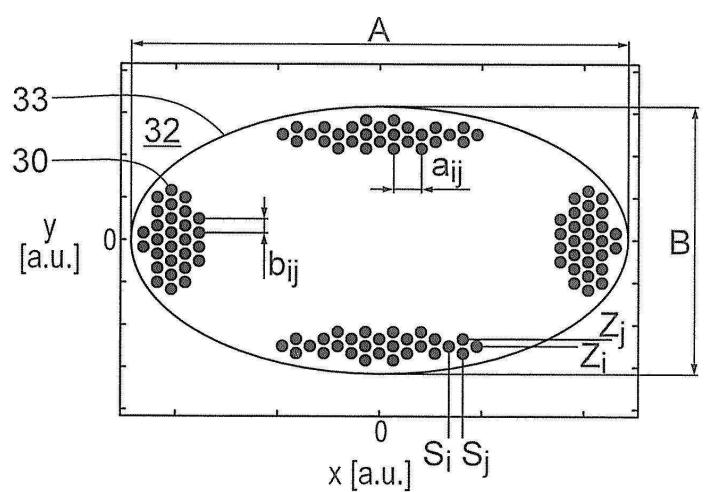
도면8



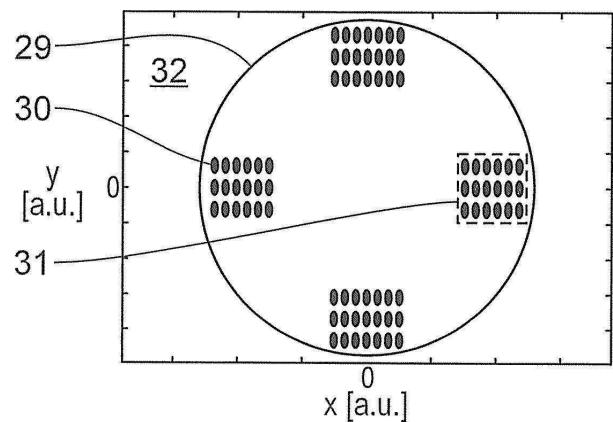
도면9



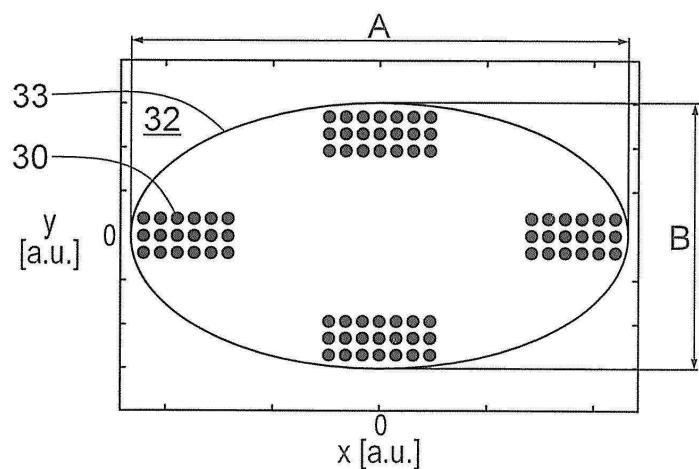
도면10



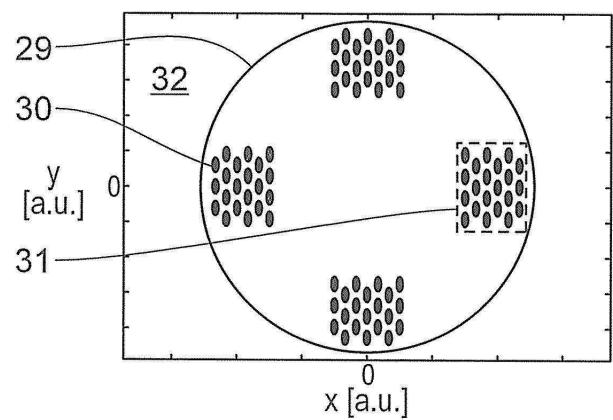
도면11



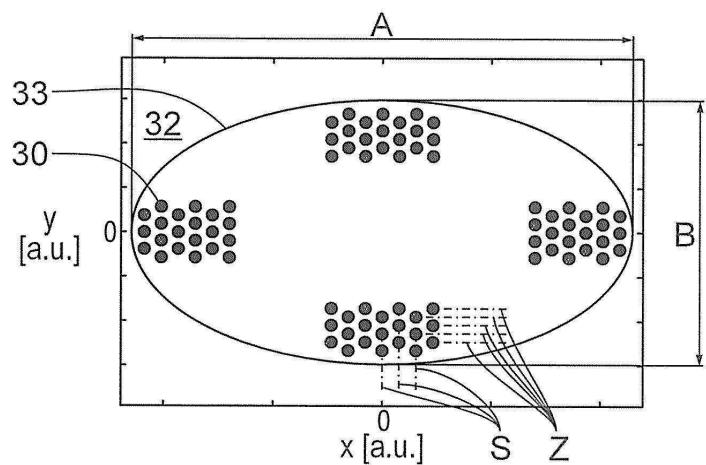
도면12



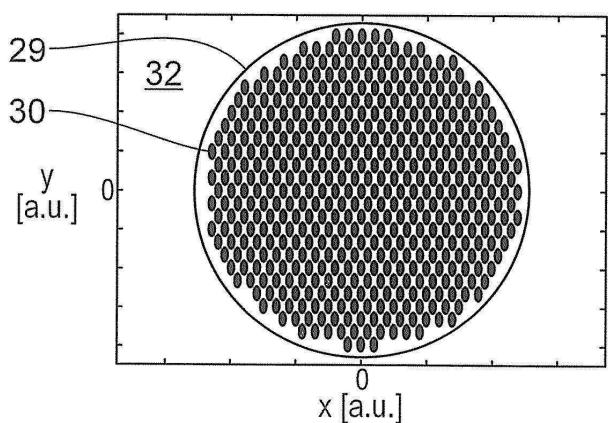
도면13



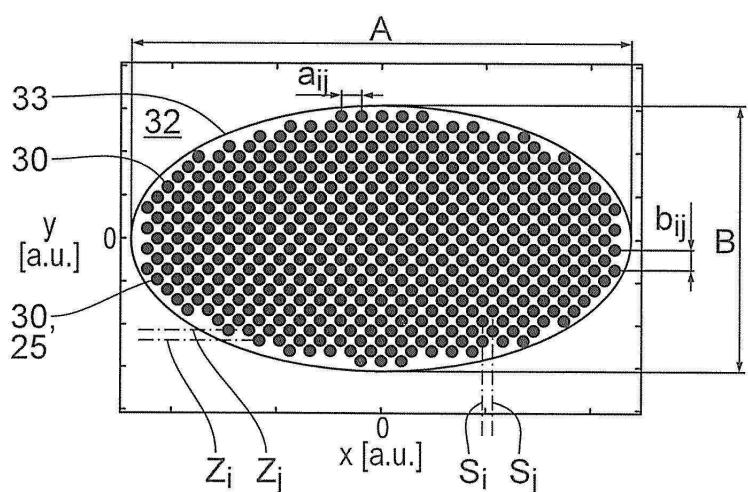
도면14



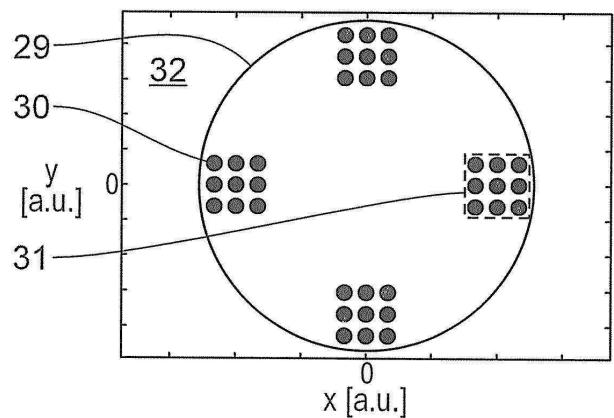
도면14a



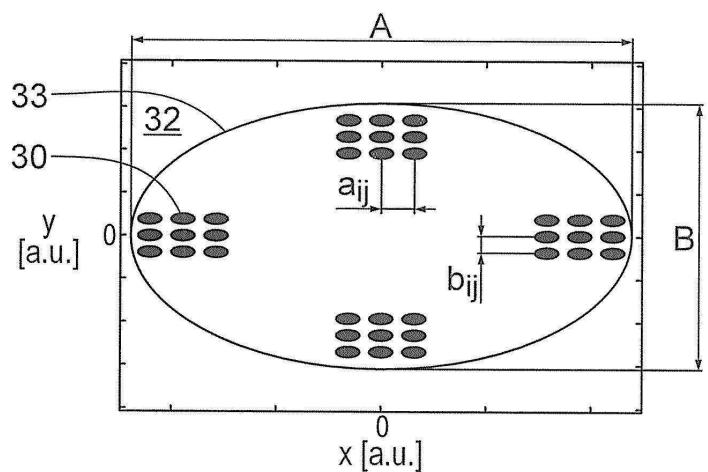
도면14b



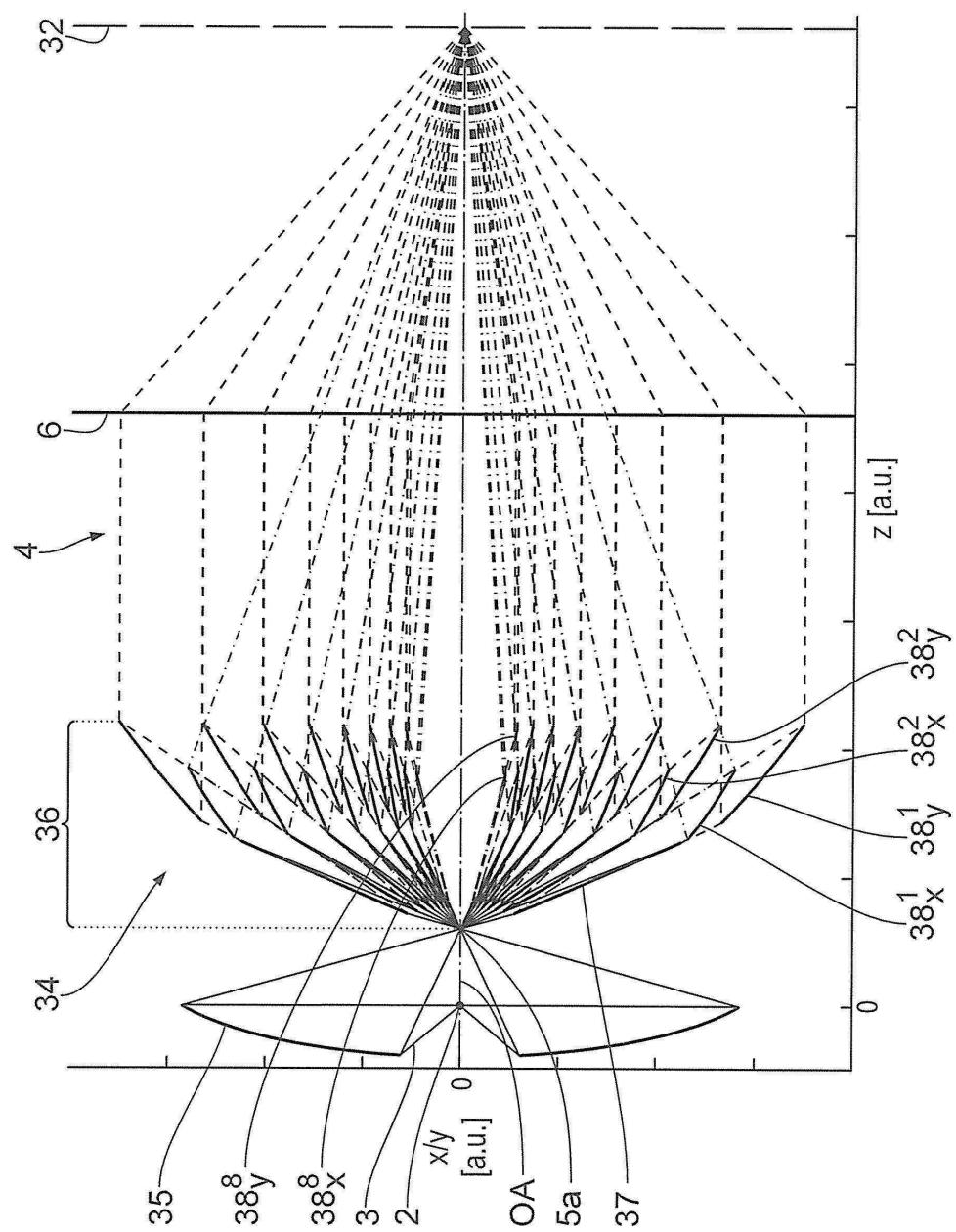
도면15



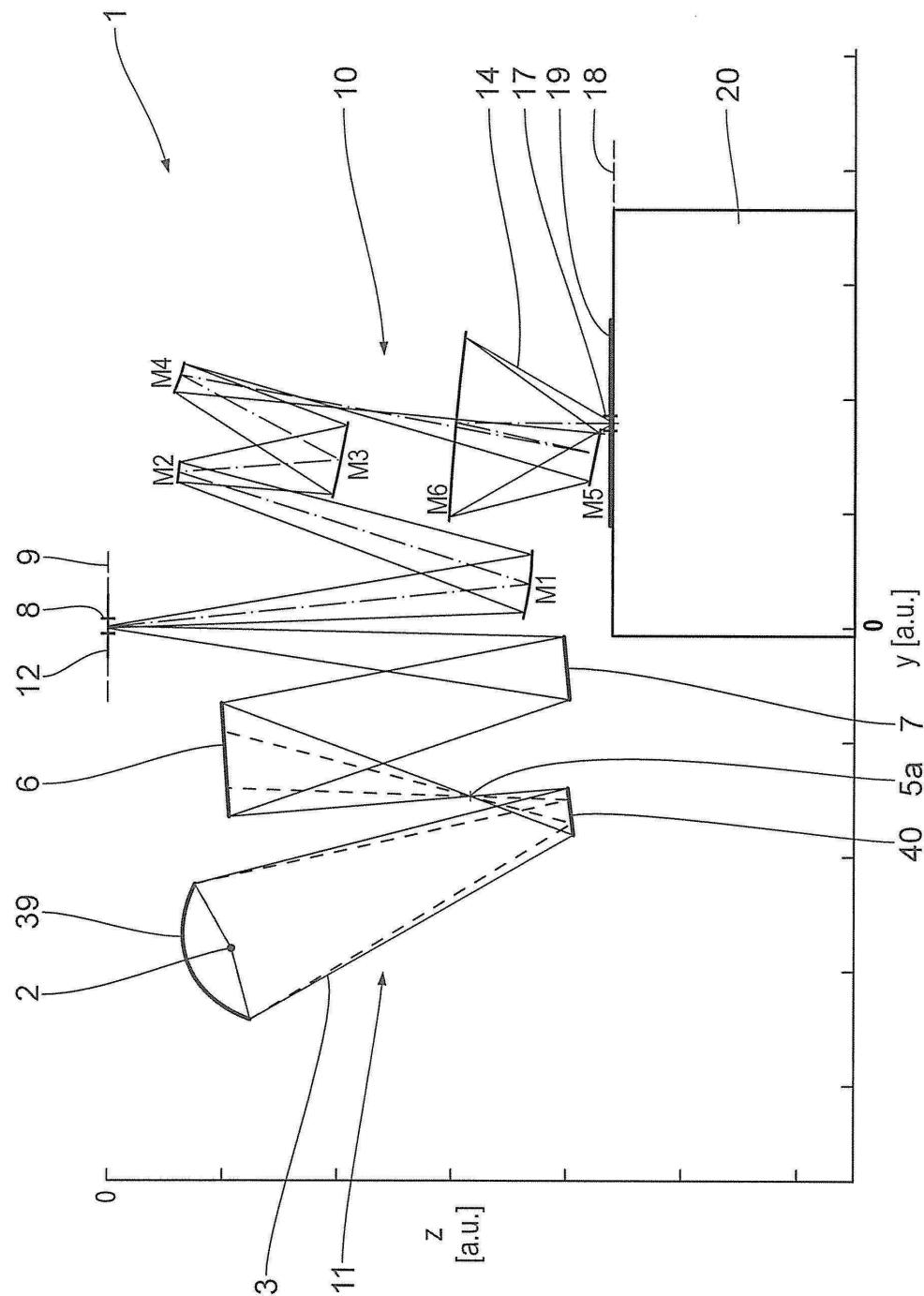
도면16



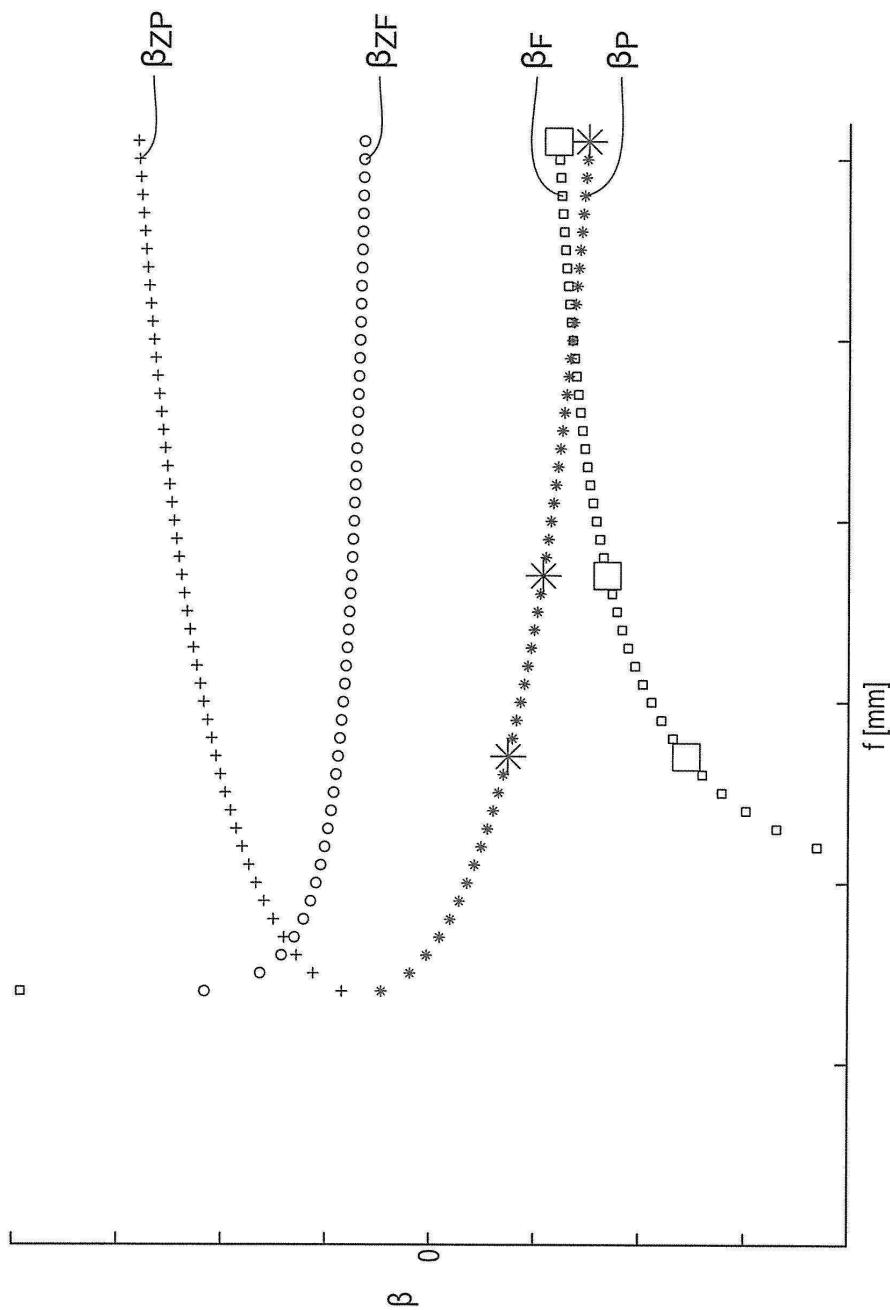
도면 17



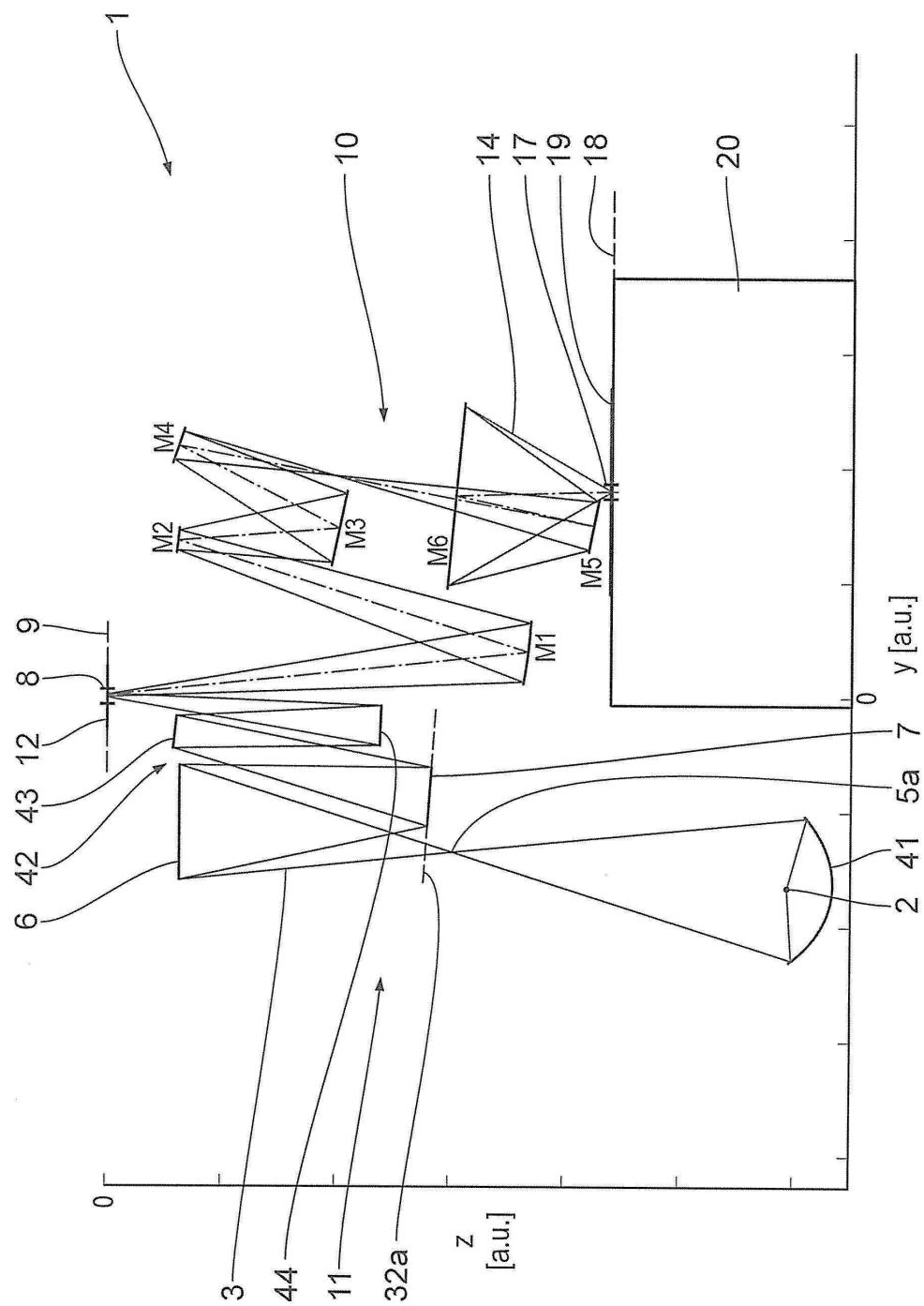
도면 18



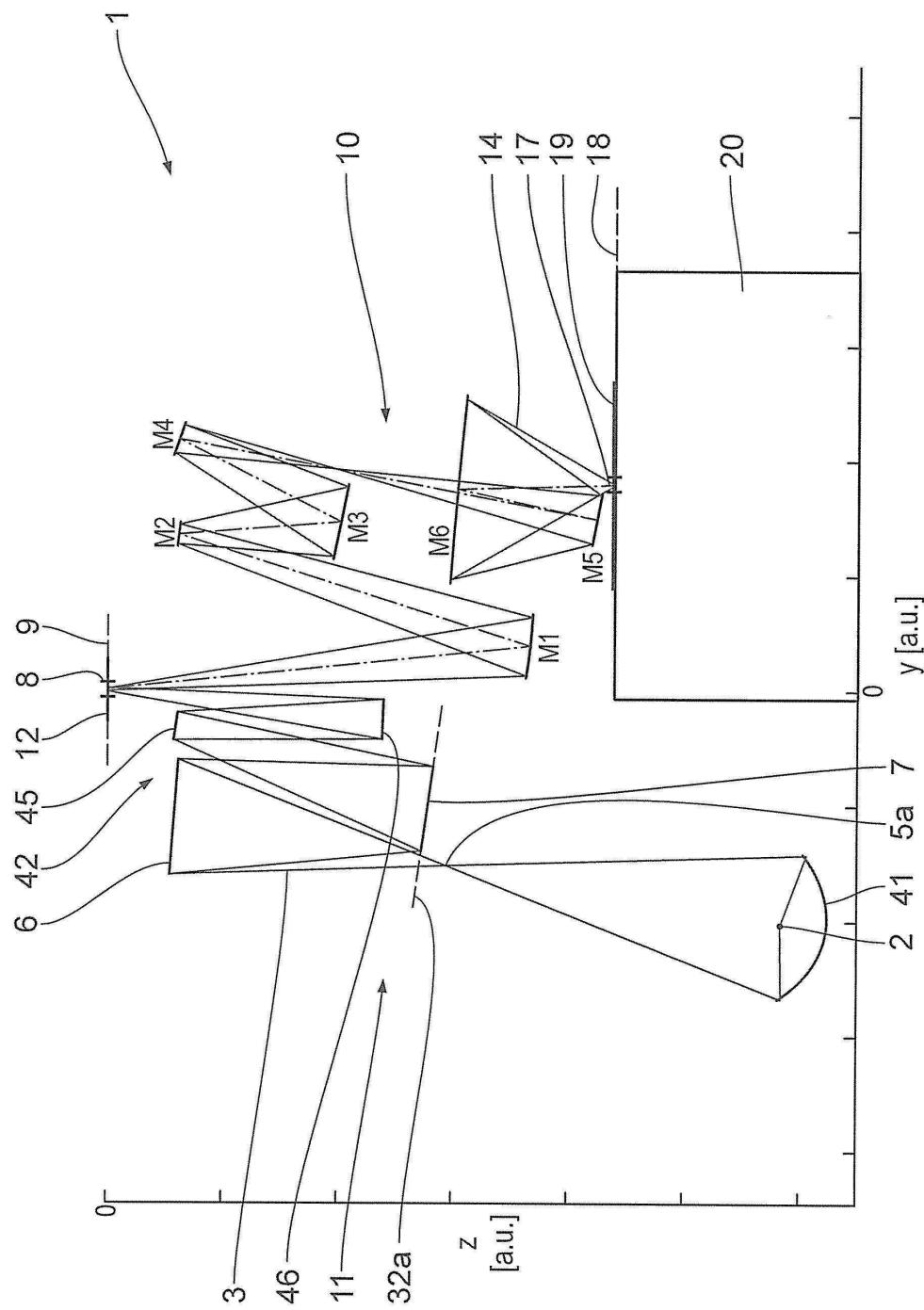
도면 19



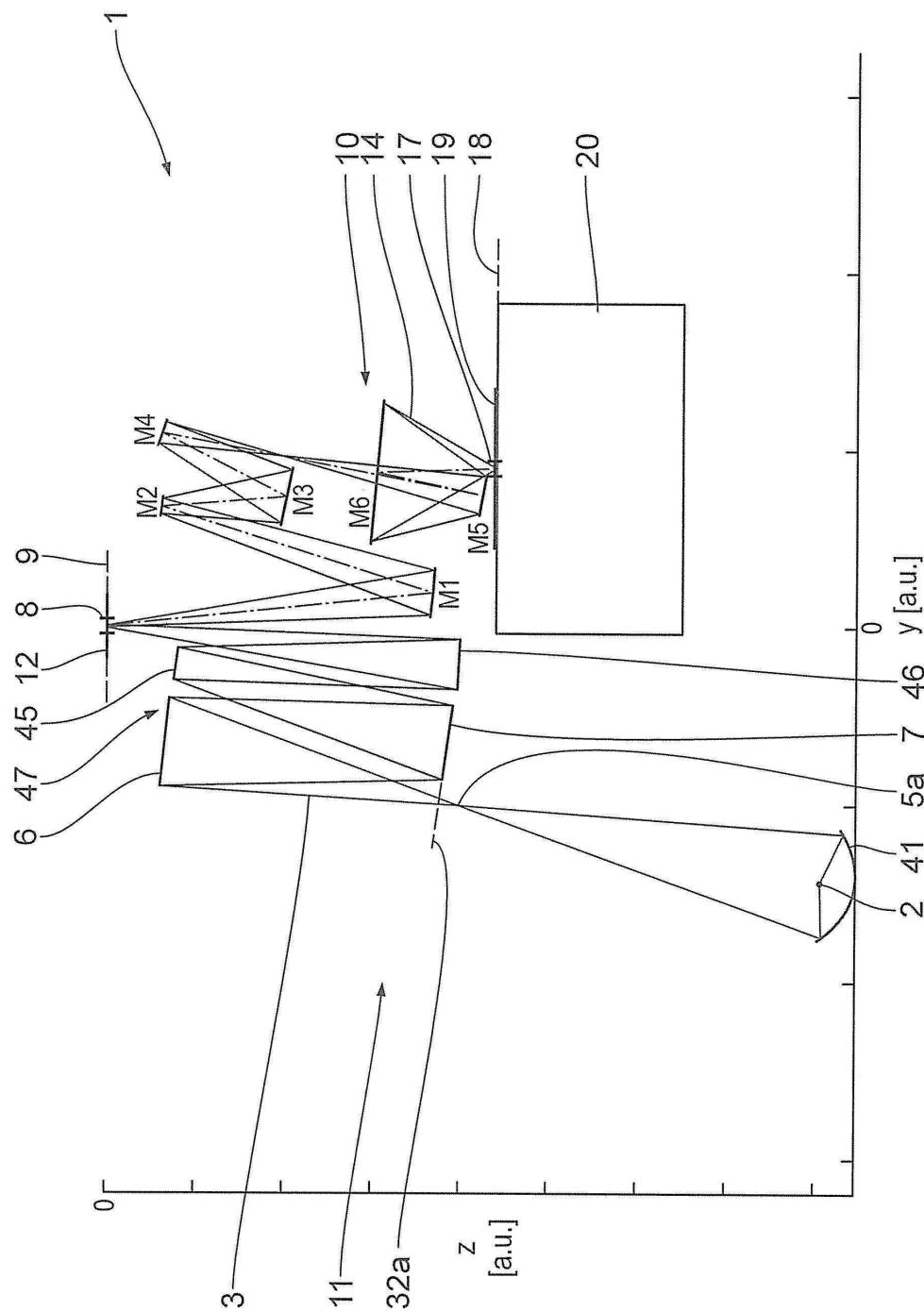
도면 20



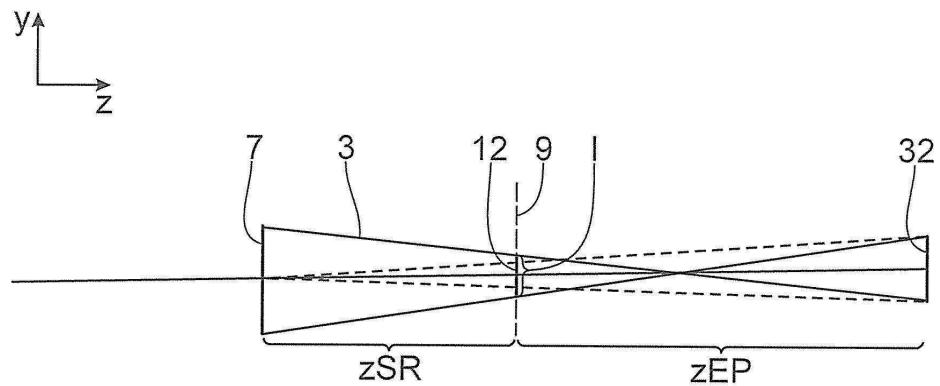
도면21



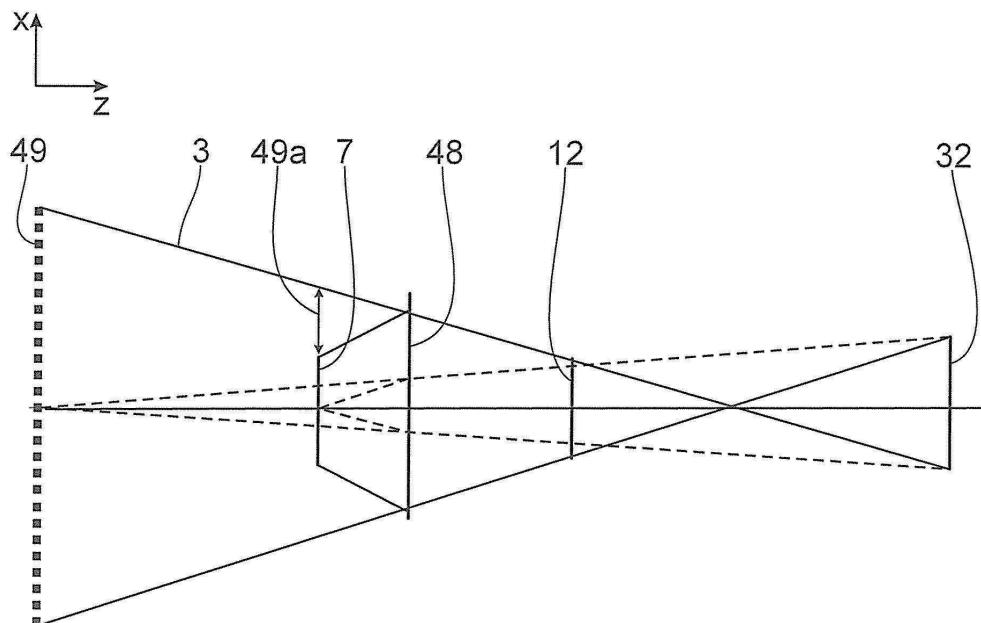
도면22



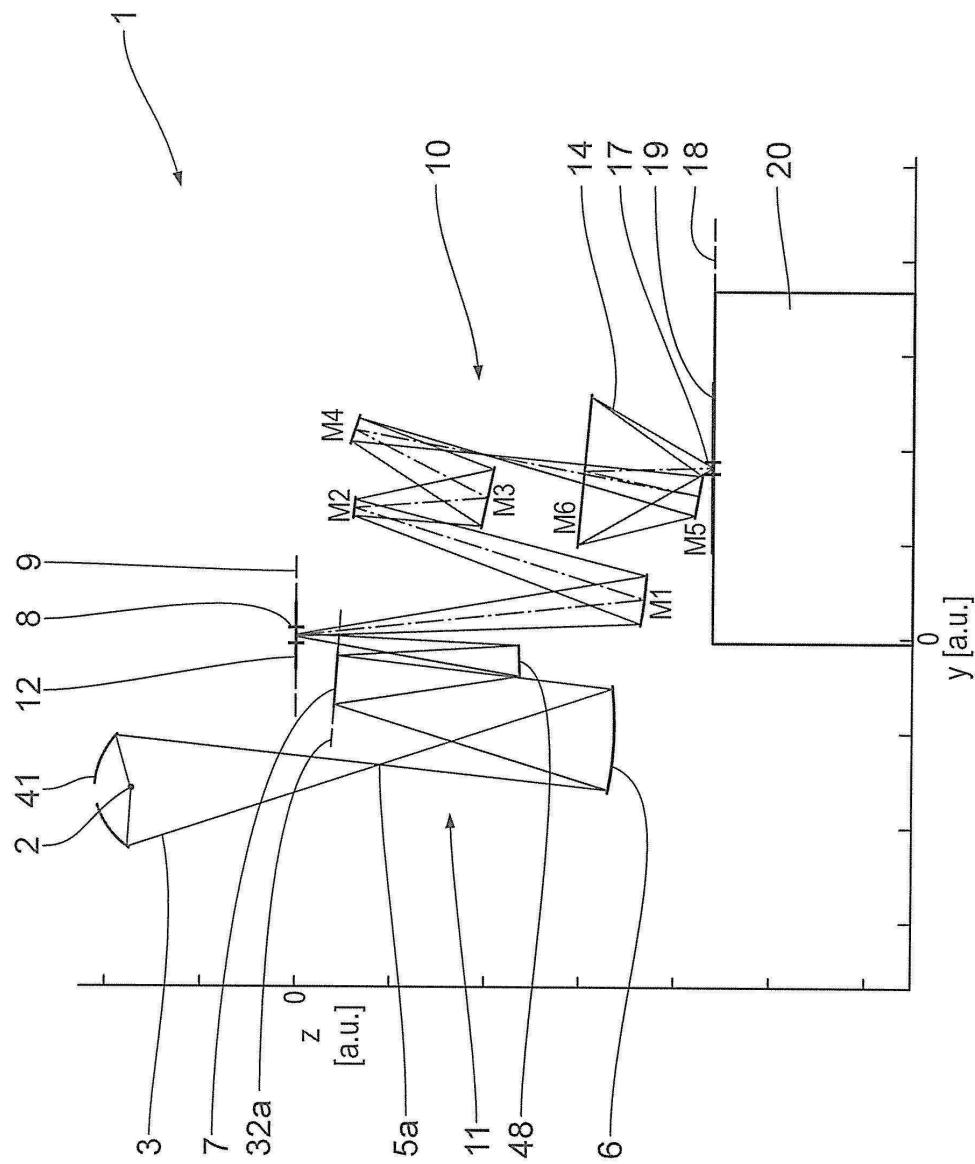
도면23a



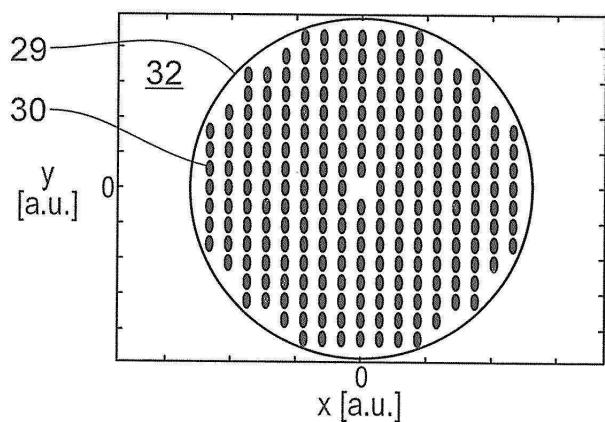
도면23b



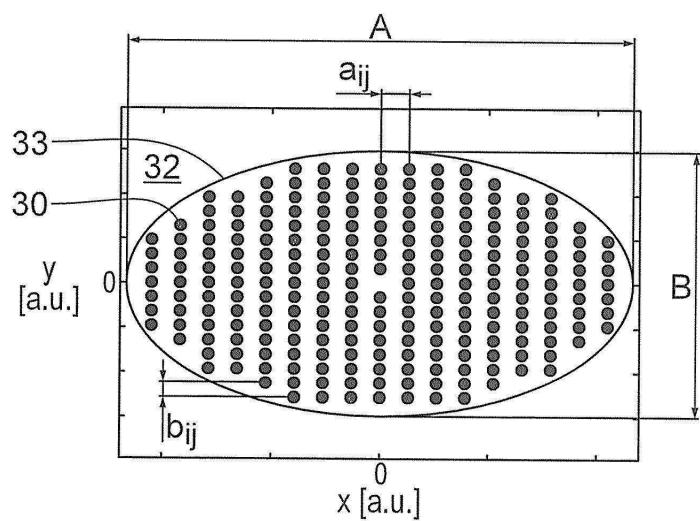
도면24



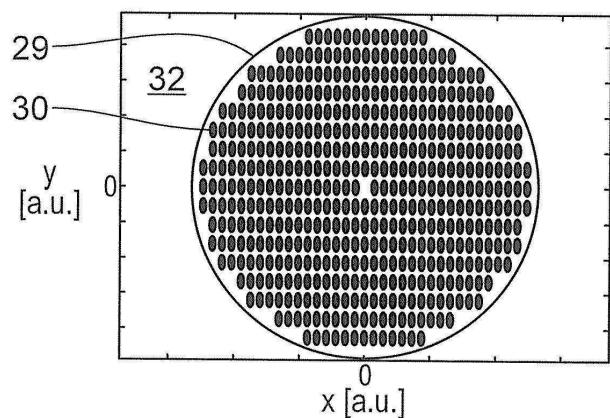
도면25



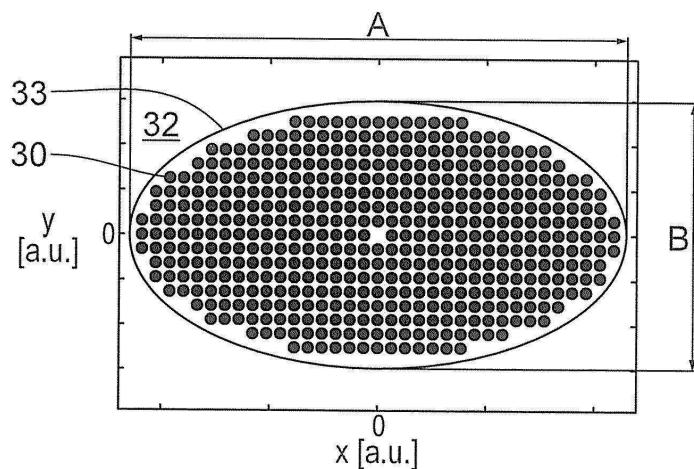
도면26



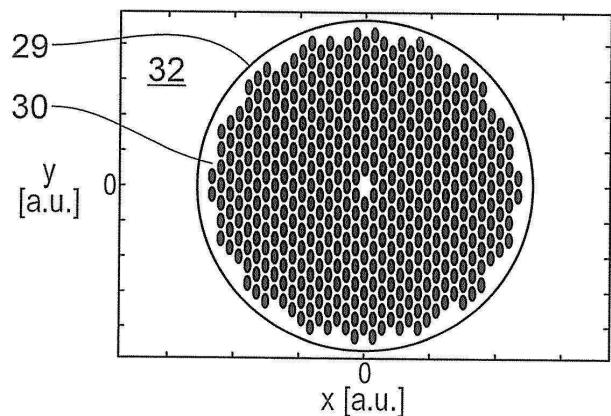
도면27



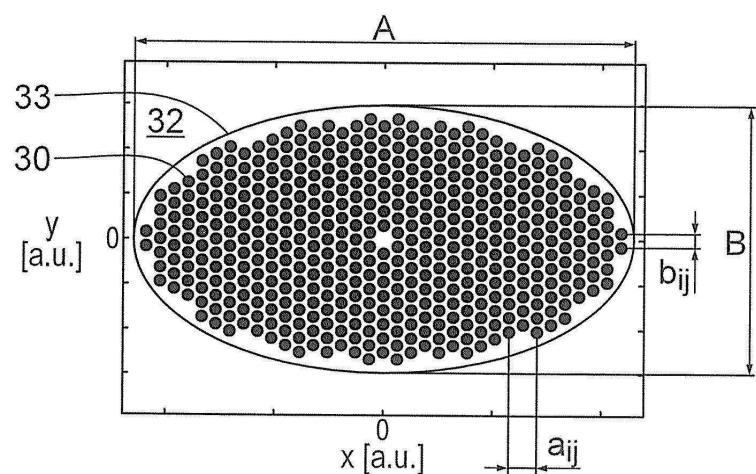
도면28



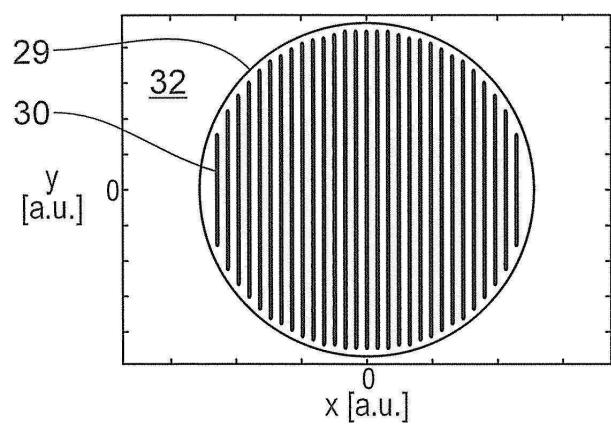
도면29



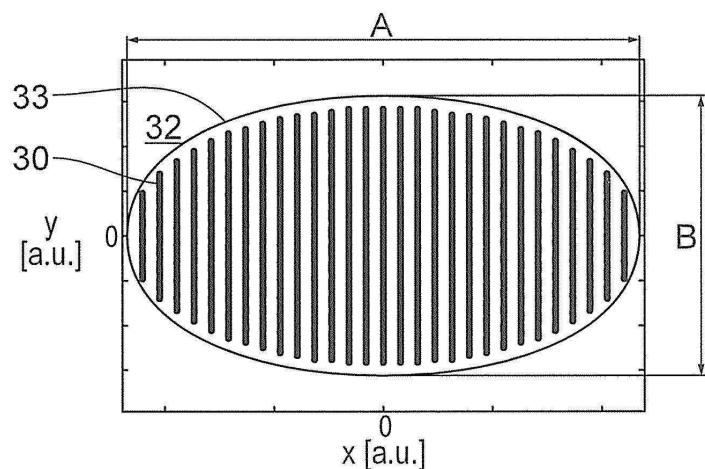
도면30



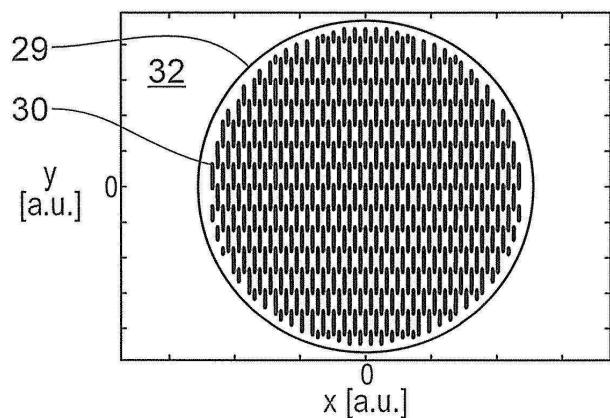
도면31



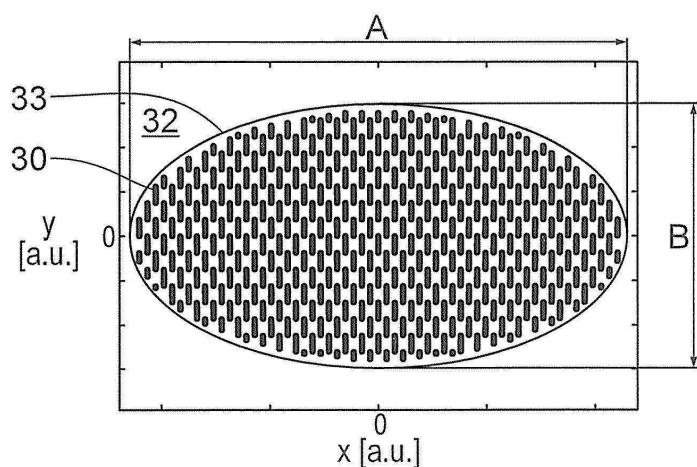
도면32



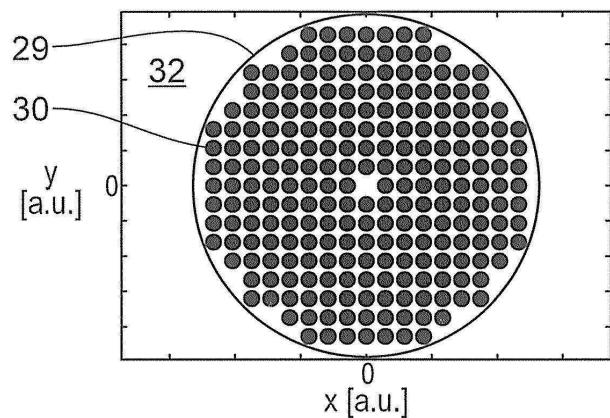
도면33



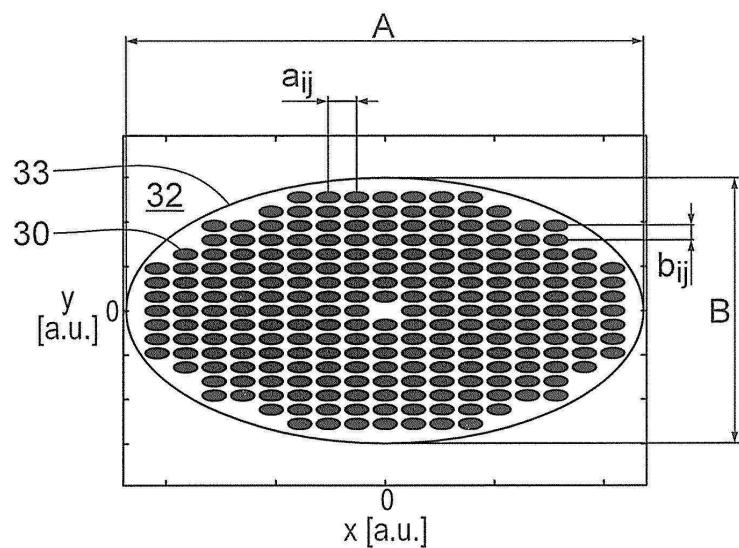
도면34



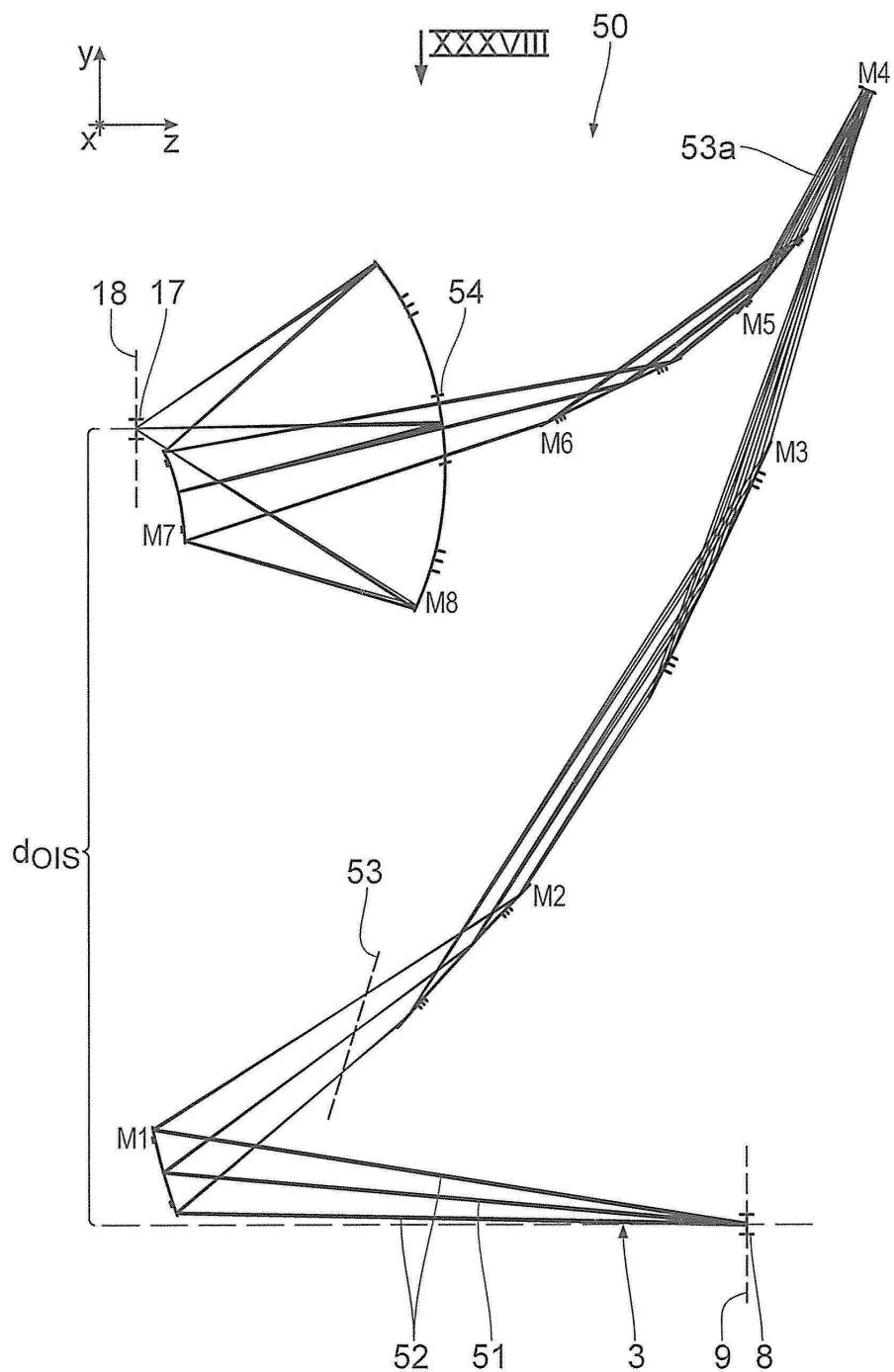
도면35



도면36



도면37



도면38

