



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년02월02일

(11) 등록번호 10-1591155

(24) 등록일자 2016년01월27일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 21/027 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2013-7026834
- (22) 출원일자(국제) 2012년10월08일  
심사청구일자 2013년10월11일
- (85) 번역문제출일자 2013년10월11일
- (65) 공개번호 10-2014-0080457
- (43) 공개일자 2014년06월30일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2012/004212
- (87) 국제공개번호 WO 2014/056513  
국제공개일자 2014년04월17일
- (56) 선행기술조사문헌  
KR1020080089198 A  
KR1020110021705 A  
KR1020100081972 A

- (73) 특허권자  
칼 짜이스 에스엠티 게엠베하  
독일 오버코헨 73447 루돌프-에버-슈트라세 2
- (72) 발명자  
파트라, 미카엘  
독일연방공화국, 73447 오버코헨, 슈베르트베그 41
- (74) 대리인  
한양특허법인

전체 청구항 수 : 총 9 항

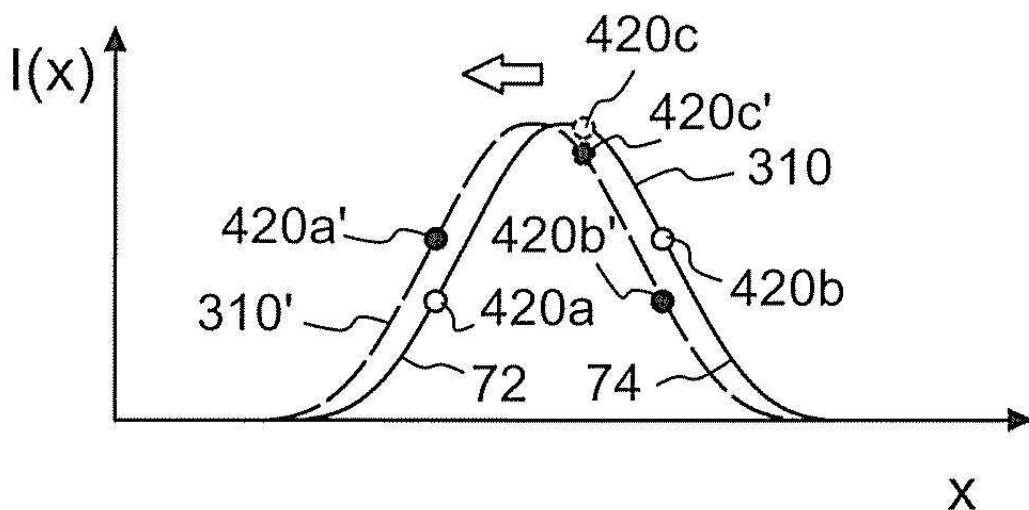
심사관 : 박성호

(54) 발명의 명칭 마이크로리소그래픽 투영 노광 장치의 조명 시스템

(57) 요약

마이크로리소그래픽 투영 노광 장치(10)의 조명 시스템은 광원(30)과 동공 평면(56) 사이에 배치된 공간 광 변조기를 포함한다. 공간 광 변조기(38)는 각각이 충돌 투영을 다양한 방향으로 개별적으로 편향할 수 있는 마이크로미러의 어레이(40) 또는 다른 광 편향 소자(42)를 포함한다. 미러 어레이(40) 상의 방사 조도 분포(310; 310M) 또는 그 엔벨로프(310E)는 방향 X를 따라 증가 기울기(72) 및 감소 기울기(74)를 갖는다. 제어 유닛(43)은 증가 기울기(72)에 위치한 제1 미러(42a)와 감소 기울기(74)에 위치한 제2 미러(42b)가 충돌 투영광을 동공 평면(56)내에서 적어도 부분적으로 중첩하도록 편향시키는 방식으로 미러를 제어한다. 이는 마스크 레벨에서의 각 방사 조도 분포가 빔 포인팅 변동으로부터 실질적으로 독립적임을 보장한다.

대표도 - 도10a



**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

마이크로리소그래픽 투영 노광 장치(10)의 조명 시스템으로서,

a) 투영광 빔(31)을 생성하도록 구성된 광원(30),

b) 동공 평면(56),

c) 제어 유닛(43) 및

d) 공간 광 변조기(38)를 포함하며, 상기 공간 광 변조기(38)는

- 상기 광원(30)과 상기 동공 평면(56) 사이에 배치되며,

- 각각이 상기 제어 유닛(43)으로부터 수신된 커맨드 신호에 의존하는 방향으로 충돌 투영광을 개별적으로 편향할 수 있는 광 편향 소자(42)의 어레이(40)를 포함하며,

상기 투영광은 광 편향 소자(42)의 어레이(40) 상에 방사 조도 분포(310; 310M)를 생성하고, 상기 방사 조도 분포(310) 또는 그 엔벨로프(310E)는 적어도 하나의 방향(X)을 따라 증가 기울기(72) 및 감소 기울기(74)를 가지며,

상기 제어 유닛(43)은 상기 증가 기울기(72)에 위치한 제1 광 편향 소자(42a) 및 상기 감소 기울기(74)에 위치한 제2 광 편향 소자(42b)가 충돌 투영광을 상기 동공 평면(56)내에서 적어도 부분적으로 중첩하도록 편향시키는 방식으로 상기 광 편향 소자(42)를 제어하도록 구성되는, 조명 시스템.

**청구항 2**

청구항 1에 있어서, 상기 투영광 빔(31)의 방출 방향이 상기 조명 시스템(12)의 동작 동안 광 편향 소자(42)의 어레이(40) 상의 상기 방사 조도 분포(310; 310M)가 적어도 하나의 방향(X)을 따라 쉬프트 하도록 가변하는, 조명 시스템.

**청구항 3**

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 증가 기울기(72)에 위치한 N개의 제1 광 편향 소자(D<sub>i</sub>)(여기서 i=1, 2, 3, 4, ..., N) 및 상기 감소 기울기(74)에 위치한 M개의 제2 광 편향 소자(D<sub>j</sub>)(여기서 j=1, 2, 3, 4, ..., M)는 충돌 투영광을 상기 동공 평면(56)내의 스팟에서 적어도 부분적으로 중첩하도록 편향시키며,

$$(S_1 + S_2) < 0.1 \cdot (|S_1| + |S_2|)$$

여기서,  $S_1 = (I_1 \cdot d_1) + (I_2 \cdot d_2) + (I_3 \cdot d_3) + \dots + (I_N \cdot d_N)$ , 여기서, I<sub>i</sub>는 제1 빔 편향 소자(D<sub>i</sub>) 상의 방사 조도이고, d<sub>i</sub>는 상기 제1 빔 편향 소자(D<sub>i</sub>)의 위치에서의 적어도 하나의 방향을 따른 상기 방사 조도 분포의 방향 도함수(directional derivative)이며,

여기서,  $S_2 = (I_1 \cdot d_1) + (I_2 \cdot d_2) + (I_3 \cdot d_3) + \dots + (I_M \cdot d_M)$ , 여기서, I<sub>j</sub>는 제2 빔 편향 소자(D<sub>j</sub>) 상의 방사 조도이고, d<sub>j</sub>는 상기 제2 빔 편향 소자(D<sub>j</sub>)의 위치에서의 적어도 하나의 방향을 따른 상기 방사 조도 분포의 방향 도함수인, 조명 시스템.

**청구항 4**

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 투영광을 상기 광 편향 소자(42)의 어레이(40)로 향하도록 배치된 제1 반사 표면(48a) 및 상기 광 편향 소자(42)의 어레이(40)에 의해 편향된 투영광을 상기 동공 평면(56)으로 향하도록 배치된 제2 반사 표면(48b)을

포함하는, 조명 시스템.

**청구항 5**

청구항 4에 있어서, 상기 제1 반사 표면(48a) 및 상기 제2 반사 표면(48b)은 프리즘(46)내에 포함되는, 조명 시스템.

**청구항 6**

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 공간 광 변조기(38)와 상기 동공 평면(56) 사이에 배치되는 줌 광학 시스템(50)을 포함하는, 조명 시스템.

**청구항 7**

마이크로리소그래픽 투영 노광 장치의 조명 시스템을 동작시키는 방법으로서, 상기 방법은:

- a) 광 편향 소자(42)의 어레이(40)를 포함하는 공간 광 변조기(38)를 제공하는 단계 - 동공 평면내의 광 스팟(70; 70a, 70b)은 각각의 광 편향 소자(42)와 관련됨 - ;
- b) 광 편향 소자(42)의 어레이(40) 상에 방사 조도 분포(310; 310M)를 생성하는 단계 - 상기 방사 조도 분포(310) 또는 그 엔벨로프(310E)는 적어도 하나의 방향(X)을 따라 증가 기울기(72) 및 감소 기울기(74)를 가짐 - ; 및
- c) 상기 증가 기울기(72)에 위치된 제1 광 편향 소자(42a)에 의해 생성된 제1 광 스팟(70a) 및 상기 감소 기울기(74)에 위치된 제2 광 편향 소자(42b)에 의해 생성된 제2 광 스팟(70b)이 상기 동공 평면(56)내에서 적어도 부분적으로 중첩하는 방식으로 상기 광 편향 소자(42)를 제어하는 단계

를 포함하는, 방법.

**청구항 8**

청구항 7에 있어서, 투영광 빔(31)의 방출 방향이 상기 조명 시스템(12)의 동작 동안 광 편향 소자(42)의 어레이(40) 상의 상기 방사 조도 분포(310; 310M)가 적어도 하나의 방향(X)을 따라 쉬프트 하도록 가변하는, 방법.

**청구항 9**

청구항 7 또는 청구항 8에 있어서, 상기 증가 기울기(72)에 위치된 N개의 제1 광 편향 소자(D<sub>i</sub>)(여기서 i=1, 2, 3, 4, ..., N) 및 상기 감소 기울기(74)에 위치된 M개의 제2 광 편향 소자(D<sub>j</sub>)(여기서 j=1, 2, 3, 4, ..., M)는 상기 제1 및 제2 광 편향 소자에 의해 생성된 스팟이 상기 동공 평면(56)내에서 적어도 부분적으로 중첩하도록 충돌 투영광을 편향시키며,

$$(S_1 + S_2) < 0.1 \cdot (|S_1| + |S_2|)$$

여기서,  $S_1 = (I_1 \cdot d_1) + (I_2 \cdot d_2) + (I_3 \cdot d_3) + \dots + (I_N \cdot d_N)$ , 여기서, I<sub>i</sub>는 제1 빔 편향 소자(D<sub>i</sub>) 상의 방사 조도이고, d<sub>i</sub>는 상기 제1 빔 편향 소자(D<sub>i</sub>)의 위치에서의 적어도 하나의 방향을 따른 상기 방사 조도 분포의 방향 도함수(directional derivative)이며,

여기서,  $S_2 = (I_1 \cdot d_1) + (I_2 \cdot d_2) + (I_3 \cdot d_3) + \dots + (I_M \cdot d_M)$ , 여기서, I<sub>j</sub>는 제2 빔 편향 소자(D<sub>j</sub>) 상의 방사 조도이고, d<sub>j</sub>는 상기 제2 빔 편향 소자(D<sub>j</sub>)의 위치에서의 적어도 하나의 방향을 따른 상기 방사 조도 분포의 방향 도함수인, 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

본 발명은 일반적으로 마이크로리소그래픽 투영 노광 장치의 조명 시스템에 관한 것이고, 특히 조명 시스템의 동공 평면을 가변적으로 조명하기 위하여 개별적으로 제어될 수 있는 마이크로미터 또는 다른 광 편향 소자의

[0001]

어레이를 포함하는 조명 시스템 등에 관한 것이다.

**배경 기술**

- [0002] 마이크로리소그래피(또한, 포토리소그래피 또는 간략히 리소그래피로도 칭함)는 집적 회로, 액정 디스플레이 및 다른 미세구조 장치의 제조를 위한 기술이다. 에칭 공정과 결부된 마이크로리소그래피 공정은 예를 들면 실리콘 웨이퍼와 같은 기판 상에 형성된 박막 스택에 피처를 패터닝하는데 이용된다. 제조의 각 층에서, 웨이퍼는 특정 파장의 광에 재료인 포토레지스트로 먼저 코팅된다. 다음으로, 상부에 포토레지스트를 갖는 웨이퍼는 투영 노광 장치내의 마스크를 통해 투영광을 노광된다. 마스크는 포토레지스트 상에 이미지화될 회로 패턴을 포함한다. 노광 이후에, 포토레지스트는 마스크내에 포함된 회로 패턴에 대응하는 이미지를 생성하도록 현상된다. 다음으로, 에칭 공정은 회로 패턴을 웨이퍼 상의 박막 스택으로 전사한다. 마지막으로, 포토레지스트가 제거된다. 상이한 마스크를 이용한 이러한 공정의 반복으로 다중층 미세구조 부품이 완성된다.
- [0003] 투영 노광 장치는 일반적으로 예를 들면 직사각형 형상 또는 곡선의 슬릿을 가질 수 있는 마스크 상의 필드를 조명하는 조명 시스템을 포함한다. 장치는 마스크를 정렬하기 위한 마스크 스테이지, 상기 마스크 상의 조명된 필드를 포토레지스트 상에 이미지화하는 투영 오브젝티브(중중, "렌즈"로 칭함)를 및 포토레지스트로 코팅된 웨이퍼를 정렬하기 위한 웨이퍼 정렬 스테이지를 포함한다.
- [0004] 투영 노광 장치의 현상에 있어서의 필수적 목표는 웨이퍼 상에 점점 더 작은 체적을 갖는 구조로 리소그래픽적으로 한정할 수 있도록 하는 것이다. 작은 구조는 높은 집적 밀도를 초래하고, 이는 일반적으로 그러한 장치의 도움으로 생산되는 미세구조 부품의 성능에 유리한 영향을 준다.
- [0005] 이러한 목표를 달성하기 위하여 과거에는 다양한 접근법이 모색되었다. 한 방법으로는 마스크의 조명을 개선하는 것이다. 이상적으로는, 투영 노광 장치의 조명 시스템은 잘 정의된 전체 에너지 및 각 방사 조도 분포를 갖는 투영광으로 마스크 상에 조명된 필드의 각각의 포인트를 조명한다. 각 방사 조도 분포라는 용어는 어떻게 마스크 상의 특정 포인트로 수렴하는 광속의 전체 광 에너지가 광속을 구성하는 광선의 다양한 방향 중에서 분포되는지를 설명한다.
- [0006] 마스크에 충돌하는 투영광의 각 방사 조도 분포는 일반적으로 포토레지스트에 이미지화될 패턴의 종류에 적응된다. 예를 들면, 상대적으로 큰 크기의 피처는 작은 크기의 피처와는 상이한 각 조도 분포를 필요로 할 수 있다. 가장 일반적으로 이용되는 각 조도 분포는 종래의, 환형, 이중극 및 사중극 조명 세팅으로 칭한다. 이 용어는 조명 시스템의 동공 평면내의 방사 조도 분포에 관련된다. 환형 조명 세팅으로, 예를 들면, 동공 평면내에 환형 영역만이 조명된다. 그러므로, 투영광의 각 방사 조도 분포내에 작은 범위의 각도만이 존재하며, 전체 광선은 마스크에 대해 유사한 각도로 경사지게 충돌한다.
- [0007] 소망된 조명 세팅을 달성하기 위하여 마스크 평면내의 투영광의 각 방사 조도 분포를 개조하기 위한 상이한 수단들이 당업계에 공지된다. 마스크 평면내에서 상이한 각 방사 조도 분포를 생성하는데 있어서 최대 유연성을 달성하기 위하여, 동공 평면내에 소망된 방사 조도 분포를 생성하는 미리 어레이를 포함하는 공간 광 변조기를 이용하는 것이 제안되었다.
- [0008] EP 1 262 836 A1에서, 미리 어레이는 1000개 보다 많은 미세 미러를 포함하는 멤스(micro-electromechanical system; MEMS)로서 구현된다. 각 미러는 서로에 대해 직교하는 두개의 틸트축 둘레로 틸트될 수 있어서, 입사 투영광은 각 미러의 틸트 각도에 의해 결정되는 방향을 따라 반사된다. 미리 어레이와 동공 평면 사이에 배치된 집광 렌즈는 미러에 의해 생성된 반사 각도를 동공 평면내의 위치로 변환한다. 그러므로, 동공 평면내에 또는 인접하여 배치된 광학 적분기 상에서, 각 미러는 그 위치가 미러를 틸팅함에 의해 가변될 수 있는 광 스폿을 생성한다. 각 미러 스폿은 각 미러를 틸팅함에 의해 광학 적분기의 동공 평면 또는 광 입사 표면을 가로질러 자유롭게 이동 가능하다.
- [0009] US 2006/0087634 A1, US 7,061,582 B2 및 WO 2005/026843 A2로부터 미리 어레이를 공간 광 변조기로서 이용하는 유사한 조명 시스템이 공지된다.
- [0010] VUV 투영 노광 장치의 조명 시스템에서 광원으로서 일반적으로 이용되는 엑시머 레이저에서, 빔 포인팅 변동이 발생한다. 이는 레이저로부터 방출되는 광 빔의 방향이 장기 및/또는 단기로 어느 정도 가변한다. 광원이 종종 미리 어레이로부터 수 미터 떨어져서 배치되므로, 광 빔 방향의 미세한 변화도 미리 어레이 상의 투영 광에 의해 생성되는 방사 조도 분포의 현저한 변위를 초래한다. 이는 궁극적으로는 허용할 수 없는 마스크 평면내의 각 방사 조도 분포의 변화를 유도할 수 있다.

[0011] WO 2009/080279 A1은 광원과 미러 어레이 사이에 복수개의 마이크로 렌즈를 포함하는 광학 적분기를 배치하는 것을 제안한다. 그러므로, 마스크 레벨에서의 각 방사 조도 분포의 안정성에 대한 빔 포인팅 변동의 악영향이 방지된다. 그러나, 광학 적분기의 제공은 조명 시스템의 비용에 현저히 기여하고, 그 복잡성을 증가시킨다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0012] 본 발명의 목적은 미러 어레이 전단에 배치된 광학 적분기가 없더라도 마스크 레벨에서 투영광의 안정적 각 분포를 생성할 수 있는 마이크로리소그래픽 투영 노광 장치의 조명 시스템을 제공하는 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0013] 본 발명에 따르면, 이 목적은 투영광 빔을 생성하도록 구성된 광원, 동공 평면, 제어 유닛 및 공간 광 변조기를 포함하는 마이크로리소그래픽 투영 노광 장치의 조명 시스템에 의해 달성된다. 공간 광 변조기는 상기 광원과 상기 동공 평면 사이에 배치되며, 광 편향 소자의 어레이를 포함한다. 그러한 소자의 각각은 상기 제어 유닛으로부터 수신된 커맨드 신호에 의존하는 방향으로 충돌 투영광을 개별적으로 편향할 수 있다. 상기 투영광은 광 편향 소자의 어레이 상에 방사 조도 분포를 생성한다. 상기 방사 조도 분포 또는 그 엔벨로프는 적어도 하나의 방향을 따라 증가 기울기 및 감소 기울기를 갖는다. 본 발명에 따르면, 상기 제어 유닛은 상기 증가 기울기에 위치한 제1 광 편향 소자 및 상기 감소 기울기에 위치한 제2 광 편향 소자가 충돌 투영광을 상기 동공 평면내에서 적어도 부분적으로 중첩하도록 편향시키는 방식으로 상기 광 편향 소자를 제어하도록 구성된다.

[0014] 본 발명은 그러한 제어 스킴으로 광 편향 소자의 어레이 상의 투영광 빔에 의해 생성된 방사 조도 분포의 변위가 제1 및 제2 광 편향 소자로부터 편향되는 투영광이 적어도 부분적으로 중첩하는 동공 평면내의 위치에서의 전체 방사 조도에 현저한 영향을 주지는 않을 것이라는 인식에 기초한다. 이는 방사 조도 분포의 변위의 결과로서 제1 광 편향 소자 상의 방사 조도의 증가는 제2 광 편향 소자 상의 방사 조도의 유사한 또는 심지어 동일한 감소가 항상 수반되기 때문이다. 이러한 부분적 또는 심지어 완전한 상호 보상(mutual compensation)으로 인하여, 총 방사 조도는 제1 및 제2 광 편향 소자로부터 편향된 투영광이 적어도 부분적으로 중첩하는 동공 위치에서 적어도 실질적으로 상수이다.

[0015] 이러한 제어 스킴이 광 편향 소자의 전체 또는 적어도 중요 부분들, 예를 들면 80% 보다 큼, 에 적용되는 경우, 빔 포인팅 변동의 결과로서 적어도 한 방향을 따른 방사 조도 분포의 변위가 마스크 레벨에서의 각 광 분포의 안정성을 현저히 손상할 수 없다; 마스크 레벨에서의 각 광 분포의 적어도 잔류 변동은 이들이 용인될 수 있을 만큼 작게 될 수 있다.

[0016] 당연히, 광 편향 소자는 2개 만이 아니라 3개 이상의 광 편향 소자가 동공 평면내의 동일한 스팟을 조명하는 방식으로 제어될 수 있다. 예를 들면, 상기 증가 기울기에 위치한  $N = 1, 2, 3, \dots$  개의 제1 광 편향 소자 및 상기 감소 기울기에 위치한  $M = 1, 2, 3, 4, \dots$  개의 제2 광 편향 소자가 존재한다. 다음으로, 전체 광 편향 소자는 적어도 부분적으로 동공 평면내에 중첩하도록 충돌 투영광을 편향한다. 단일 동공 평면 위치에서의 방사 조도에 기여하는 3개 이상의 광 편향 소자가 존재하는 경우, 광 편향 소자가 위치하는 곳에서의 기울기의 경사도(steeptness)의 절대값은 큰 범위로 상이할 수 있다.

[0017] 특히, 상기 증가 기울기( $\theta_1$ )에 위치한  $N$ 개의 제1 광 편향 소자( $D_i$ )( $i=1, 2, 3, 4, \dots, N$ ) 및 상기 감소 기울기에 위치한  $M$ 개의 제2 광 편향 소자( $D_j$ )( $j=1, 2, 3, 4, \dots, M$ )가 상기 동공 평면내의 스팟에서 적어도 부분적으로 중첩하도록 충돌 투영광을 편향시키는 경우, 조건부등식

[0018] 
$$(S_1 + S_2) < 0.1 \cdot (|S_1| + |S_2|)$$

[0019] 이 유지될 것이다. 여기서,  $S_1 = (I_1 \cdot d_1) + (I_2 \cdot d_2) + (I_3 \cdot d_3) + \dots + (I_N \cdot d_N)$ , 여기서,  $I_i$ 은 제1 빔 편향 소자( $D_i$ ) 상의 방사 조도이고,  $d_i$ 은 상기 제1 빔 편향 소자( $D_i$ )의 위치에서의 적어도 하나의 방향을 따른 상기 방사 조도 분포의 방향 도함수(directional derivative)이며,  $S_2 = (I_1 \cdot d_1) + (I_2 \cdot d_2) + (I_3 \cdot d_3) + \dots + (I_M \cdot d_M)$ , 여기서,  $I_j$ 은 제2 빔 편향 소자( $D_j$ ) 상의 방사 조도이고,  $d_j$ 은 상기 제2 빔 편향 소자( $D_j$ )의 위치에서의 적어도 하나의 방향을 따른 상기 방사 조도 분포의 방향 도함수(directional derivative)이다.

[0020] 도식적으로 하면, 방사 조도에 의해 가중되고 전체 광 편향 소자에 걸쳐 취해진 방향 도함수의 합은 단일 스팟

의 방향 도함수에 비해 작아야 한다. 이상적으로는, 상기 값은 0이다.

- [0021] 방사 조도 분포가 하나의 방향만을 따라서가 아니라 두개의 직교하는 방향을 따라서 쉬프트하는 경우, 4쌍의 광 편향 소자가 상술한 방식으로 제어되는 적어도 4개의 광 편향 소자의 그룹을 형성할 필요가 있을 수 있다. 당연하게, 이는 다시 4개의 광 편향 소자 모두가 투영광을 동공 평면내의 동일한 위치로 향하도록 하는 것을 암시한다.
- [0022] 조명 시스템을 제조하는 경우, 반도체 플랜트에 전체 장치가 설치된 후에 미리 어레이로부터 얼마나 멀리 광원이 궁극적으로 배치될 것인지는 종종 공지되지 않는다. 결과적으로, 빔 포인팅 변동은 문제가 되거나 되지 않을 수 있다. 광원과 어레이 사이의 거리와 무관하게 안정한 각 광 분포를 마스크 레벨에서 생성할 수 있도록 하기 위해서, 상술한 제어 스킴이 여하간 조명 시스템내에서 이행될 수 있다 즉, 조명 시스템의 추후 동작 동안이라도 광 편향 소자의 어레이 상의 방사 조도 분포가 적어도 하나의 방향을 따라 비현저한 거리만큼만 쉬프트한다. 제어 스킴이 어떠한 실질적 단점과도 관련되지 않으므로, 일종의 안전 조치로서 제어 스킴을 제공하는 것이 가능하며, 따라서 투영 노광 장치의 특정 설치에 그 이점이 필요하지 않은 경우라도 적용될 수 있다. 일 실시예에서, 조명 시스템은 투영광을 광 편향 소자의 어레이로 향하도록 배치되는 제1 반사 표면을 포함한다. 제2 반사 표면은 광 편향 소자의 어레이에 의해 편향되는 투영광을 동공 평면으로 향하도록 배치된다. 제1 및 제2 반사 표면은 평면일 수 있으며, 특히 프리즘의 표면에 의해 형성될 수 있다. 다음으로, 프리즘(또는 반사 표면의 배치) 및 미리 어레이가 조명 시스템을 완전히 재설계할 필요없이 동공 평면내에서 상이한 방사 조도 분포를 생성하기 위하여 종래의 조명 시스템에 이용되는 교환 가능한 회절 광학 소자를 간단히 대체할 수 있다.
- [0023] 다른 실시예에서, 조명 시스템은 공간 광 변조기와 동공 평면 사이에 배치되는 줌 광학 시스템을 포함한다. 이는 광 편향 소자에 의해 생성되는 편향 각도를 변경하지 않고 방사 조도 분포의 체적을 변경하는 것이 가능하도록 한다.
- [0024] 일부 실시예에서, 제1 및 제2 광 편향 소자와 관련된 투영광은 제1 광 편향 소자에 의해 동공 평면에서 생성된 방사 조도가 제1 최대 방사 조도의 50%까지 떨어지는 제1 라인 및 제2 광 편향 소자에 의해 동공 평면에서 생성된 방사 조도가 제2 최대 방사 조도의 50%까지 떨어지는 제2 라인이 맞닿거나 중첩하는 정도까지 동공 평면에서 중첩한다.
- [0025] 예를 들면, 광 편향 소자는 적어도 하나의 틸트축 둘레로 틸트될 수 있는 마이크로미러로 또는 충돌광을 다양한 방향으로 편향시키기 위하여 전자- 또는 음향-광학 효과를 이용하는 투명 소자로 구현될 수 있다.
- [0026] 본 발명의 요지는 또한 마이크로리소그래픽 투영 노광 장치의 조명 시스템을 동작시키는 방법이다. 이 방법은 이하 단계들을 포함한다:
- [0027] a) 광 편향 소자의 어레이를 포함하는 공간 광 변조기를 제공하는 단계 - 동공 평면내의 광 스팟은 각각의 광 편향 소자와 관련됨 - ;
- [0028] b) 광 편향 소자의 어레이 상에 방사 조도 분포를 생성하는 단계 - 상기 방사 조도 분포 또는 그 엔벨로프는 적어도 하나의 방향을 따라 증가 기울기 및 감소 기울기를 가짐 - ; 및
- [0029] c) 상기 증가 기울기에 위치한 제1 광 편향 소자에 의해 생성된 제1 광 스팟 및 상기 감소 기울기에 위치한 제2 광 편향 소자에 의해 생성된 제2 광 스팟이 적어도 부분적으로 상기 동공 평면내에서 중첩하는 방식으로 상기 광 편향 소자를 제어하는 단계.
- [0030] 상술한 언급은 본 발명에 따른 조명 시스템과 결부하여 여기에 적용된다.
- [0031] 정의
- [0032] 용어 "광(light)" 은 임의의 전자기적 방사, 특히 가시광, UV, DUV 및 VUV 광을 의미한다.
- [0033] 용어 "광선(light ray)"은 본 명세서에서 전파 경로가 라인으로 묘사될 수 있는 광을 의미하도록 사용된다.
- [0034] 용어 "광속(light bundle)"은 본 명세서에서 단일 포인트로부터 출현 및/또는 단일 포인트로 수렴하는 복수개의 광선을 의미하도록 이용된다.
- [0035] 용어 "광빔(light beam)"은 특정 렌즈 또는 다른 광학 소자를 통과하는 전체 광을 의미하도록 사용된다.
- [0036] 용어 "표면(surface)"은 3차원 공간내의 임의의 평면 또는 곡선 표면을 의미하도록 사용된다.
- [0037] 용어 "광학적 공액(optically conjugate)"은 두 포인트 또는 두 표면 사이의 이미징 관계를 의미하도록 사용된다.

다. 따라서, 한 포인트로부터 출현하는 광속은 광학적 공액 포인트에서 수립한다.

- [0038] 용어 "필드 평면"은 본 명세서에서 마스크 평면에 광학적으로 공액인 평면을 의미하도록 사용된다.
- [0039] 용어 "동공 평면(pupil plane)"은 본 명세서에서 마스크 평면 또는 다른 필드 평면내의 상이한 포인트들을 통과하는 주변 광선(marginal rays)이 교차하는 평면을 의미하도록 사용된다. 당해 분야에서 일반적인 것처럼, 용어 "동공 평면"은 또한 실제로 수학적 개념에서는 평면이 아니고 약간 곡선인 경우에도 사용되지만, 엄격하게는 동공 표면(pupil surface)으로 칭해야 한다.
- [0040] 용어 "집광체(condenser)"는 본 명세서에서 두 평면 예를 들면 필드 평면과 동공 평면 사이의 퓨리에 관계를 (적어도 대략적으로) 수립하는 광학 소자 또는 광학 시스템을 의미하도록 사용된다.
- [0041] 용어 "균일(uniform)"은 본 명세서에서 위치에 의존하지 않는 특성을 의미하도록 사용된다.
- [0042] 용어 "공간 방사 조도 분포(spatial irradiance distribution)"는 본 명세서에서 어떻게 전체 방사 조도가 광이 충돌하는 표면 위에서 변하는지를 의미하도록 사용된다. 일반적으로, 공간 방사 조도 분포는 함수  $I_s(x, y)$ 로 묘사될 수 있으며, 여기서  $x, y$ 는 표면내의 포인트의 공간 좌표이다.
- [0043] 용어 "각 방사 조도 분포(angular irradiance distribution)"는 본 명세서에서 어떻게 광속의 방사 조도가 광속을 구성하는 광선의 각도에 의존하여 변하는지를 의미하도록 사용된다. 일반적으로, 각 방사 조도 분포는 함수  $I_a(a, \beta)$ , 여기서  $a, \beta$ 는 광선의 방향을 설명하는 각 좌표이다. 각 방사 조도 분포가 필드 의존성을 갖는 경우,  $I_a$ 는 또한 필드 좌표  $x, y$ 의 함수일 것이다, 즉  $I_a = I_a(a, \beta, x, y)$ .
- [0044] 용어 "광학 적분기(optical integrator)"는 본 명세서에서 곱( $NA \cdot a$ )를 증가시키는 광학 시스템을 의미하도록 사용되며, 여기서  $NA$ 는 개구수이며,  $a$ 는 조명된 필드 영역이다.
- [0045] 용어 "광학 래스터 소자(optical raster element)"는 본 명세서에서 공통으로 광학 래스터 플레이트를 형성하도록 공통 지지체 상에 다른 동일한 또는 유사한 광학 래스터 소자와 함께 배치된 예를 들면, 렌즈, 프리즘 또는 회절 광학 소자와 같은 임의의 광학 소자를 의미하도록 이용된다.

**도면의 간단한 설명**

- [0046] 본 발명의 다양한 특징 및 이점들이 첨부된 도면과 결부하여 취해진 이하의 상세한 설명을 참조로 하면 보다 용이하게 이해될 것이다;
  - 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 투영 노광 장치의 개략적 투시도이다;
  - 도 2는 도 1에 도시된 장치에 포함된 조명 시스템을 통과하는 자오 단면도이다;
  - 도 3은 도 2에 도시된 조명 시스템에 포함된 마이크로미러 어레이의 투시도이다;
  - 도 4는 도 2에 도시된 조명 시스템에 포함된 광학 적분기의 투시도이다;
  - 도 5는 도 2에 도시된 조명 시스템의 마이크로미러 어레이, 제1 집광체 및 제1 광학 래스터 플레이트를 통과하는 개략적 자오 단면도이다;
  - 도 6은 도 2 및 도 3에 도시된 마이크로미러 어레이 상의 투영광에 의해 생성된 X 방향을 따르는 방사 조도 분포를 도시하는 그래프도이다;
  - 도 7은 도 6에 도시된 방사 조도 분포가 또한 표시된 마이크로미러 어레이에 대한 상면도이다;
  - 도 8은 마이크로미러 어레이 상의 방사 조도 분포가 X 방향을 따라 변위되는 경우 어떻게 두 임의의 마이크로미러 상의 방사 조도가 일반적으로 변하는지를 도시하는 도 6과 유사한 그래프도이다;
  - 도 9는 어떻게 방사 조도 분포의 대향 측면에 배치된 두개의 마이크로미러에 의해 생성된 스팟이 중첩하는지를 설명하는 도 5와 유사한 개략적 자오 단면도이다;
  - 도 10a 및 도 10b는 어떻게 +X 및 -X 방향을 따른 마이크로미러 상의 방사 조도 분포의 변위 각각이 본 발명에 따른 두 마이크로미러 상의 방사 조도에 영향을 주는지를 설명하는 도 8과 유사한 그래프도이다;
  - 도 11은 다른 실시예에 따른 도 2와 유사한 조명 시스템을 통과하는 자오 단면도로서, 여기서 마이크로렌즈 어

레이는 투영광 빔을 마이크로미터 어레이로 향하는 복수개의 개별 광 빔으로 분할하는데 이용된다;  
 도 12는 도 11에 도시된 조명 시스템의 마이크로렌즈 어레이에 대한 상면도이다;  
 도 13은 도 12에 도시된 마이크로렌즈 어레이를 통과하는 선 XIII-XIII을 따른 단면도를 도시한다;  
 도 14는 도 12와 유사하나 마이크로렌즈 어레이의 후면측 상의 방사 조도 분포를 도시하는 상면도이다;  
 도 15는 어떻게 +X 방향을 따른 마이크로미터 어레이 상의 방사 조도 분포의 변위가 가 두 마이크로미터 상의 방사 조도에 영향을 주는지를 도시하는 도 10a와 유사한 그래프도이다;  
 도 16은 본 발명의 중요한 방법의 단계를 설명하는 흐름도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0047]

I. 투영 노광 장치의 일반적 구조

[0048]

도 1은 본 발명에 따른 투영 노광 장치(10)의 고도로 개략적인 투시도이다. 장치(10)는 투영광 빔을 생성하는 조명 시스템(12)을 포함한다. 투영광 빔은 미세 피쳐(19)의 패턴(18)을 포함하는 마스크(16) 상의 필드(14)를 조명한다. 이 실시예에서, 조명된 필드(14)는 직사각형 형상을 갖는다. 그러나, 조명 필드(14)의 다른 형상, 예를 들면 링 세그먼트도 가능하다.

[0049]

광학축(OA)를 갖고 복수개의 렌즈(21)를 포함하는 투영 오브젝티브(20)가 조명된 필드(14)내의 패턴(18)을 예를 들면, 기관(24)에 의해 지지되는 포토레지스트와 같은 감광층(22) 상에 이미지화한다. 실리콘 웨이퍼에 의해 형성될 수 있는 기관(24)은 감광층(22)의 상부 표면이 투영 오브젝티브(20)의 이미지 평면내에 정확하게 위치하도록 웨이퍼 스테이지(도시 없음) 상에 배치된다. 마스크(16)는 투영 오브젝티브(20)의 오브젝트 평면내의 마스크 스테이지(도시 없음)를 이용하여 위치지정된다. 투영 오브젝티브가  $|\beta| < 1$ 인 배율  $\beta$ 을 가지므로, 조명된 필드(14)내의 패턴(18)의 축소된 이미지(18')가 감광층(22) 상에 투영된다.

[0050]

투영 동안, 마스크(16) 및 기관(24)은 도 1에 표시된 Y 방향에 대응하는 스캔 방향을 따라 이동한다. 다음으로, 조명된 필드(14)는 마스크(16) 위로 스캔하여, 조명된 필드(14) 보다 큰 패턴화된 영역이 계속적으로 이미지화될 수 있다. 기관(24)과 마스크(16) 사이의 속도의 비는 투영 오브젝티브(20)의 배율( $\beta$ )과 동일하다. 투영 오브젝티브(20)가 이미지를 반전(invert)하는 경우( $\beta < 0$ ), 마스크(16) 및 기관(24)은 반대 방향으로 이동하며, 이는 도 1에서 화살표 A1 및 A2로 표시된다. 그러나, 본 발명은 마스크(16) 및 기관(24)이 마스크의 투영 동안 이동하지 않는 스텝퍼 툴(stepper tools)에도 이용될 수 있다.

[0051]

II. 조명 시스템의 일반적 구조

[0052]

도 2는 도 1에 도시된 조명 시스템을 통과하는 자오 단면도이다. 명확을 기하기 위하여, 도 2의 도시는 상당히 간략화한 것으로 스케일에 맞지 않는다. 특히 이는 상이한 광학 유닛이 하나 또는 매우 적은 광학 소자만에 의해 표시된다는 점을 암시한다. 실제에서는, 이들 유닛은 현저하게 많은 렌즈 및 다른 광학 소자를 포함할 수 있다.

[0053]

조명 시스템(12)은 하우징(29) 및 실시예에서 도시된 엑시머 레이저로서 구현되는 광원(30)을 포함한다. 광원(30)은 약 193nm의 파장을 갖는 투영광의 빔(31)을 방출한다. 다른 유형의 광원(30) 및 다른 파장, 예를 들면 248nm 또는 157nm이 고려될 수 있다.

[0054]

광원(30)으로부터 방출된 투영광 빔(31)은 일반적으로 빔 딜리버리(40)로 칭하는 채널을 통과한다. 빔 딜리버리(40)내에, 제1 평면 빔 경로 폴딩 미러(42)가 이 실시예에서 배치된다. 빔 딜리버리(40)의 전체 길이는 일반적으로 2m와 25m 사이의 범위에 있다. 빔 딜리버리(40)의 체적 및 형상 및 그 내부에 포함되는 빔 경로 폴딩 미러의 수는 투영 노광 장치(10)가 설치되는 곳이 점유하는 로컬 조건에 의존한다.

[0055]

빔 딜리버리(40)를 나온 이후에, 투영광 빔(31)은 제2 빔 경로 폴딩 미러(44)에 의해 이탈(deviated)되고, 투영 광 빔(31)이 확장되는 32로 표시되는 빔 확장 유닛으로 진입한다. 이러한 목적을 위하여, 빔 확장 유닛(32)은 수개의 렌즈, 예를 들면 도 2에 도시된 네가티브 및 포지티브 렌즈 및/또는 수개의 평면 미러를 포함할 수 있다. 확장 이후에, 광빔(31)은 여전히 낮은 발산(a low divergence)을 가져서 즉, 거의 평행(collimated)하다.

[0056]

확장된 광빔(31)은 차후의 동공 평면내의 다양한 공간 방사 조도 분포를 생성하는데 이용되는 공간 광 변조기(38) 상에 충돌한다. 이 실시예에서, 공간 광 변조기(38)는 전극(41)을 포함하는 액츄에이터의 도움으로 두개

의 직교축 둘레로 개별적으로 틸팅될 수 있는 마이크로미러(42)의 어레이(40)를 포함한다(확대된 단면도 C 참조). 공간 광 변조기(38), 및 특히 마이크로미러(42)를 위한 액츄에이터(41)는 전체 시스템 제어(45)에 연결된 제어 유닛(43)에 의해 제어된다.

[0057] 도 3은 광선(R1, R2)이 충돌하는 마이크로미러(42)의 틸팅 각도에 의존하여 어떻게 광선(R1, R2)이 상이한 방향으로 반사되는지를 도시하는 어레이(40)의 투시도이다. 도 2 및 도 3에서, 어레이(40)는 단지 6 x 6 마이크로미러(42)만을 포함하며, 실제로는 어레이(40)는 수백 또는 수천개의 마이크로미러(42)를 포함할 수 있다.

[0058] 도 2를 다시 참조하면, 공간 광 변조기(38)는 조명 시스템(12)의 광학축(47)에 대해 둘다 경사진 제1 평면 표면(48a) 및 제2 평면 표면(48b)을 갖는 프리즘(46)을 더 포함한다. 이들 경사진 표면(48a, 48b)에서, 투영광 빔(31)은 내부 전반사에 의해 반사된다. 제1 표면(48a)은 충돌 투영광 빔(31)을 어레이(40)의 마이크로미러(42)로 향하여 반사하고, 제2 표면(48b)은 마이크로미러(42)로부터 반사된 광빔을 프리즘(46)의 평면 출사 표면(49)으로 향하도록 한다. 당연히, 프리즘(46)은 평면 미러의 배치에 의해 대체될 수 있다.

[0059] 반사된 광빔의 방향 및 이에 따라 프리즘(46)의 출사 표면(49)으로부터 나타나는 투영광의 각 방사 조도 분포는 이들 틸트축 둘레로 어레이(40)의 마이크로미러(42)를 개별적으로 틸팅함에 의해 가변될 수 있다. 공간 광 변조기(38)에 대한 보다 상세한 것은 예를 들면 US 2009/0115990 A1으로부터 얻을 수 있다.

[0060] 공간 광 변조기(38)에 의해 생성되는 각 방사 조도 분포는 충돌 투영광을 광학 적분기(52)쪽으로 향하도록 하는 제1 집광체(50)의 도움으로 공간 방사 조도 분포로 변환된다. 이 실시예에서, 제1 집광체(50)는 가변 초점 길이를 갖는 줌 광학 시스템에 의해 형성된다. 이러한 목적을 위하여, 제1 집광체는 둘 이상이 액츄에이터(도시 없음)의 도움으로 광학축(47)을 따라 변위될 수 있는 복수개의 렌즈를 포함할 수 있다. 공간 광 변조기(38)에 의해 생성되는 방사 조도 분포의 직경은 따라서 제1 집광체(50)의 초점 길이를 변경함에 의해 가변될 수 있다.

[0061] 광학 적분기(52)는 도시된 실시예에서 제1 광학 래스터 플레이트(54a) 및 제2 광학 래스터 플레이트(54b)를 포함한다. 제1 광학 래스터 플레이트(54a)의 광 입사 표면(55)은 제1 집광체(50)의 후면 초점 평면내에 배치되고, 마이크로미러(42)는 전면 초점 평면내에 대략적으로 배치되어, 한편에 마이크로미러(42)와 다른 한편에 제1 광학 래스터 플레이트(54a)의 광 입사 표면(55) 사이에 퓨리에 관계가 수립된다.

[0062] 도 4에 도시된 광학 적분기의 투시도에 도시된 것처럼, 각각의 광학 래스터 플레이트(54a, 54b)는 광학 래스터 플레이트(54a, 54b)의 반대측 상에 배치된 제1 및 제2 원통형 마이크로렌즈(53, 57)의 두 직교 어레이를 포함한다. Y 축을 따라 연장하는 제2 원통형 마이크로렌즈(57)는 X 방향을 따라 연장하는 제1 원통형 마이크로렌즈(53) 보다 더 강하게 곡선이다. 두 교차 직교 원통형 마이크로렌즈(53, 57)에 의해 제한된 볼륨은 X 및 Y 방향을 따른 굴절력을 갖는 광학 래스터 소자(59)를 정의한다. 그러나, 제1 및 제2 원통형 마이크로렌즈(53, 57)의 상이한 곡률로 인하여, 광학 래스터 소자(59)는 Y 방향을 따르는 것 보다 X 방향을 따라 더 강한 굴절력을 갖는다.

[0063] 도 2를 다시 참조하면, 광학 적분기(52)는 조명 시스템(12)의 추후 동공 평면(56)에 복수개의 2차 광원을 생성한다. 제2 집광체(58)는 동공 평면(56)과 조절 가능한 필드 조리개(62)가 배치되는 필드 조리개 평면(60) 사이에 퓨리에 관계를 수립한다. 따라서, 제2 집광체(58)는 2차 광원으로부터 출현하는 광빔을 필드 조리개 평면(60)내에 중첩(superimpose)하여, 필드 조리개 평면은 매우 균질하게 조명된다.

[0064] 필드 조리개 평면(60)은 필드 조리개 오브젝티브(64)에 의해 마스크 스테이지(도시 없음) 상에 지지되는 마스크(16)가 배치되는 마스크 평면(66) 상에 이미지화된다. 또한, 조절 가능한 필드 조리개(62)가 이에 따라 마스크 평면(66) 상에 이미지화되고, 스캔 방향 Y를 따라 연장하는 조명된 필드(14)의 적어도 측면측을 한정한다.

[0065] 제1 광학 래스터 플레이트(54a)의 광 입사 표면(55) 공간 방사 조도 분포는 동공 평면(56)내의 공간 방사 조도 분포를 결정하고, 따라서 필드 조리개 평면(60) 및 마스크 평면(66)내의 각 방사 조도 분포를 결정한다. 도 5의 개략적 및 간략화된 자오 단면에서 알 수 있듯이, 광 입사 표면(55) 상의 공간 방사 조도 분포는 차례로 마이크로미러(42)의 틸팅 각도에 의해 결정된다. 투영광에 의해 조명되는 각각의 마이크로미러(42)는 제1 광학 래스터 플레이트(54a)의 광 입사 표면(55) 상의 단일 광 스팟(70)을 생성한다. 이러한 광 스팟(70)의 위치는 관련 마이크로미러(42)를 틸팅함에 의해 자유롭게 가변될 수 있다. 제어 유닛(43)의 제어에 의해 제어되는 액츄에이터의 도움으로 마이크로미러(42)의 틸팅 각도를 신중하게 설정함에 의해, 마스크 평면(66)내의 거의 모든 임의의 각 방사 조도 분포를 신속하게 생성하는 것이 가능하다. 이는 마스크 평면(66)내의 각 방사 조도 분포를 마스크(16)내에 포함된 패턴(18)에 신속히 적응하는 것을 가능하도록 한다. 패턴(18)에 명확하게 맞춘 각 방사 조도 분포를 이용함에 의해, 패턴은 감광층(22)에 보다 정확하게 이미지화될 수 있다.

- [0066] III. 레이저 빔 포인팅 변동
- [0067] 광원(30)에 의해 방출된 투영광 빔(31)의 방향은 일반적으로 빔 포인팅 변동을 겪는다. 이는 투영광 빔(31)의 방향이 시간면에서 완벽하게 안정하지 않고, 어느 정도 가변한다는 것을 의미한다.
- [0068] 빔 포인팅 변동의 원인은 예를 들면 그라운드로부터 포착된 진동 또는 엑시머 레이저에서의 가스의 고속 교환으로 인한 것과 같은 기계적 진동일 수 있다. 그러한 빔 포인팅 변동은 종종 수 10 Hz에서 수 10 kHz 사이의 주파수를 갖는다. 빔 포인팅 변동에 대한 다른 원인은 종종 열 효과(thermal effect)에 의해 유도되는 드리프트 효과(drift effect)이다. 드리프트 효과는 종종 장기간 발생하고, 따라서 빔 포인팅 변동은 예를 들면 수분, 수일 또는 수개월과 같은 더 긴 기간 동안만 명백해질 수 있다.
- [0069] 일반적으로 광원(30)으로 이용되는 엑시머 레이저에서, 최대 각 변동은 0.1 mrad 훨씬 아래 값으로 연속적으로 감소되었다. 그러나, 이러한 극미한 값에도 불구하고, 마이크로미러(42)의 어레이(40) 상의 투영광에 의해 생성되는 방사 조도 분포의 변위는 광원(30)과 어레이(40) 사이의 종종 매우 긴 간격으로 인해 중요할 수 있다.
- [0070] 비방해(undisturbed) 투영광 빔(31)의 방향으로부터 약간 이탈하는 전파 방향을 갖는 투영광 빔(31')에 대해 도 2에 도시된다. 긴 빔 딜리버리(40)를 통과한 이후에, 약간 틸팅된 투영광 빔(31')은 x 방향을 따른 변위( $\Delta x$ )를 가지며 공간 광 변조기(38) 상에 충돌한다.
- [0071] 도 6은 공간 광 변조기(38)의 입사측에서 X 방향을 따라 투영광 빔(31)의 직경을 횡단하는 방사 조도 분포(310)를 실선으로 도시하는 그래프도이다. 반사 조도 분포(310)는 실제로는 도시된 것보다 납작한 중앙부를 갖지만, 대략 가우시안 형상을 갖는다. 빔 포인팅 변동의 결과로서 광원(30)에 의해 생성된 투영광 빔(31')에 대한 방사 조도 분포(310')가 파선으로 도시된다. X 방향을 따른 최대 변위가 다시  $\Delta x$ 로 표시된다.
- [0072] 도 7은 어떻게 빔 포인팅 변동이 마이크로미러(42)의 조명에 영향을 주는지를 도시하는 마이크로미러(42)의 어레이(40)에 대한 상면도이다. 비방해 투영광 빔(31)에 의해 생성된 어레이(40) 상의 방사 조도 분포(310)는 투영광 빔(31)의 중앙에서 발생하는 최대 세기가 10%로 떨어지는 위치들을 나타내는 원형 실선에 의해 및 도 6에 도시된 가우시안 곡선에 의해 표시된다. 광 손실이 감소되려면, 마이크로미러(42)의 정사각형 배치로부터 이탈하고 투영광 빔(31)의 실질적으로 원형인 횡단면 보다 우수한 마이크로미러(42)의 배치를 채용하는 것이 가능하다. 정확한 세기 프로파일은 광원(30)으로 이용되는 엑시머 레이저의 출사 어퍼쉴더의 형상 및 그 발산을 컨볼루트함(convoluting)에 의해 얻어진다. 그러므로, 대안으로, 광원(30)으로서 이용되는 엑시머 레이저의 출사 어퍼쉴더는 이하의 도 14에서 도시된 실시예의 경우에서와 같이 투영광 빔(31)의 단면이 정사각형에 근사화되도록 개조될 수 있다.
- [0073] 약간 틸트된 투영광 빔(31')에 의해 생성되는 변위된 방사 조도 분포(310')가 파선으로 도시된다. 방사 조도 분포가 빔 포인팅 변동의 결과로서 단기 또는 장기로 변위되는 경우, 각 개별 마이크로미러(42) 상의 방사 조도가 변하는 것을 알 수 있다. 단일 광 스팟(70)이 제1 광학 레스터 플레이트(54a)의 광 입사 표면(55) 상의 및 이에 따라 조명 시스템(12)의 차후의 동공 평면(56)내의 각각의 마이크로미러(42)에 의해 생성되므로, 빔 포인팅 변동은 동공 평면에서 생성된 스팟의 방사 조도를 변경한다. 그러나, 마이크로미러(42)에 의해 생성된 전체 스팟(70)의 중첩인 동공 평면(56)내의 방사 조도 분포는 마스크(14) 상의 구조(19)가 감광층(22) 상의 품질을 가변하면서 이미지화되는 것을 방지하기 위해서 일정하게 유지되어야 한다.
- [0074] 도 8은 어떻게 빔 포인팅 변동이 X 방향을 따른 간격만큼 이격되는 두개의 상이한 마이크로미러 상의 방사 조도를 일반적으로 개조하는지를 도시한다. 단순성을 기하기 위하여, 다시 방사 조도 분포(310')는 X 방향만을 따라 변위되는 것으로 간주된다. 방사 조도 분포는 당연하게도 Y 방향만을 따라 배타적으로 또는 함께 변위될 수 있다.
- [0075] 도 6에 도시된 투영광 빔(31)의 가우시안 방사 조도 분포(310)의 결과로서, 상이한 x 좌표를 갖는 두개의 마이크로미러(42) 상의 방사 조도(420a, 420b)는 도 8에 도시된 것처럼 일반적으로 상이하다. 결과적으로, 이러한 마이크로미러(42)에 의해 생성되는 광 스팟(70) 또한 동공 평면(56)내의 방사 조도 분포가 변형하도록 밝을 것이다. 차례로, 이는 투영광의 각 반사 조도의 마스크 레벨에서의 변화를 초래하고, 따라서 빔 포인팅 변동은 결국 이미징 품질의 변동을 초래한다.
- [0076] IV. 마이크로미러 제어
- [0077] 이하에서, 제어 유닛(43)에 의해 적용되는 고급 제어 스킴에 의해 어떻게 그러한 역효과가 방지될 수 있는지도 도 7, 도 9, 도 10a 및 도 10b를 참조로 설명될 것이다.

- [0078] 이 실시예에서, 마이크로미러(42)는 항상 쌍인 광 스폿(70a, 70b)이 완벽하게 또는 적어도 부분적으로 동공 평면(56)에 중첩하도록 제어 유닛(43)에 의해 제어된다. 광학 적분기(52)는 이를 통과하는 광의 발산만을 개조하므로, 도 2에 도시되고 도 9의 간략화된 오려낸 부분에 도시된 것처럼, 제1 광학 레스터 플레이트(54a)의 이전 광 입사 표면(55) 상에 중첩하는 광 스폿과 등가이다. 일반적으로, 스폿(70a, 70b)의 중첩은 제1 광 편향 소자(42a)에 의해 동공 평면(56)내에서 생성된 방사 조도가 제1 최대 방사 조도( $I_{1, \max}$ )의 50%로 떨어지는 제1 라인(71a) 및 제2 광 편향 소자(42b)에 의해 동공 평면(56)에서 생성된 방사 조도가 제2 최대 방사 조도( $I_{2, \max}$ )의 50%로 떨어지는 제2 라인(71b)이 맞닿거나 중첩할 만큼 클 수 있다.
- [0079] 도 7 및 도 9에 도시된 것처럼, 중첩 광 스폿(70a, 70b)을 생성하는 마이크로미러(42)는 제1 광 스폿(70a)이 마이크로미러(42)의 어레이(40) 상의 투영광 빔(31)에 의해 생성되는 방사 조도 분포(310)의 증가 기울기(72)에 위치한 제1 마이크로미러(42a)에 의해 생성되도록 선택된다. 제2 광 스폿(70b)은 방사 조도 분포(310)의 감소 기울기(74) 상에 위치한 마이크로미러(42b)에 의해 생성된다.
- [0080] 마이크로미러(42a, 42b)에 의해 생성된 두개의 광 스폿(70a, 70b)이 완벽하게 또는 적어도 부분적으로 중첩하는 위치에서의 동공 평면(56)(또는 이전 광 입사 표면(55))에서의 전체 방사 조도는 실질적으로(즉, 광손실이 무시된다면) 두개의 마이크로미러(42a, 42b) 상의 방사 조도의 합이다. 광 스폿(70a, 70b)의 완벽한 중첩이 달성 어렵고, 각 광 스폿(70a, 70b)내의 방사 조도가 일반적으로 균일하지 않으므로, 방사 조도의 합은 두개의 광 스폿(70a, 70b)에 의해 동공 평면(56)내에 조명되는 중첩 영역 위의 방사 조도에 걸친 적분으로서 고려되어야 한다.
- [0081] 도 10a에 도시된 그래프는 두 마이크로미러(42a, 42b) 상의 방사 조도(420a, 420b)를 각각 백색원으로 표시한다. 방사 조도 분포가 빔 포인팅 변동의 결과로서 -X 방향을 따라 변위되는 경우, 도 10a에 파선(310')으로 도시된 것처럼, 이는 도 8을 참조로 전술한 것처럼, 마이크로미러(42a, 42b) 상의 상이한 방사 조도(420a', 420b')를 초래할 것이다. 그러나, 동공 평면(56)내의 동일 위치에서의 방사 조도에 기여하는 마이크로미러(42a, 42b)가 방사 조도 분포(310)의 반대 기울기(72, 74)에 위치하므로, -X 방향을 따른 후자의 변위는 제1 마이크로미러(42a) 상의 방사 조도가 420a에서 420a'으로 증가하며, 제2 마이크로미러(42b) 상의 방사 조도는 420b에서 420b'으로 감소하는 결과를 갖는다. 다시 말하면, 제1 마이크로미러(42a) 상의 방사 조도(420a)의 증가는 제2 마이크로미러(42b) 상의 방사 조도(420b)의 감소에 의해 부분적으로 또는 심지어 완벽히 보상된다. 그러므로, 빔 포인팅 변동에 의해 초래된 어레이(40) 상의 방사 조도 분포(310)의 변위는 광 입사 표면(55) 상의 및 추후의 동공 평면(56)내의 방사 조도 분포에 대해 단지 매우 약간의 영향만을 또는 심지어 전혀 영향을 주지 않는다.
- [0082] 도 10b는 틸트된 투영광 빔(31')에 의해 생성된 방사 조도 분포(310')가 비방해 방사 조도 분포(310)에 대해 +X 방향을 따라 변위되는 경우의 상황을 도시한다. 마이크로미러(42a, 42b) 상의 방사 조도의 합은 그러한 변위에 의해 크게 영향을 받지 않는다는 것을 다시 알 수 있다.
- [0083] 도 10a 및 도 10b로부터, 제1 및 제2 마이크로미러(42a, 42b)의 위치에서의 기울기(72, 74)의 경사도가 절대값으로 더욱 유사할수록, 마이크로미러(42a, 42b) 상의 방사 조도(420a, 420b)의 변화의 상호 보상이 더 우수해진다는 점이 명백해진다. 예를 들면, 마이크로미러가 방사 조도 분포(310)의 중앙에 인접하게 위치한 제2 마이크로미러로서 선택되는 경우, 도 10a에서 점원(420c)으로 표시된 방사 조도는 단지 방사 조도(420c')로만 감소될 것이다. 이러한 감소는 제1 마이크로미러(42a) 상의 방사 조도의 420a에서 420a'로의 증가보다 훨씬 적고, 결과적으로 상호 보상 또한 적을 것이다.
- [0084] 동공 표면(56)내의 동일 위치에서의 방사 조도에 기여하는 하나 이상의 제1 및 제2 마이크로미러가 존재한다면, 이는 "복구"될 것이다. 예를 들면, 제1 마이크로미러(42a)가 이전과 같이 위치하고, 투영광을 동공 평면(56)내의 동일한 위치로 향하도록 하는 두개의 제2 마이크로미러가 도 10a에서의 방사 조도(420c)로 표시된 방사 조도 분포의 중앙에 인접하게 위치하는 경우, 거의 완벽한 상호 보상이 가능하다.
- [0085] V. 대체 실시예
- [0086] 도 11은 대체 실시예에 따른 조명 시스템(12)을 통한 자오 단면이다. 이 실시예에서, 제1 집광체(50)는 고정된 초점 길이를 갖는다. 더욱이, 복수개의 마이크로렌즈(37)를 포함하는 마이크로렌즈 어레이(36)는 빔 확장 유닛(32)과 공간 광 변조기(38) 사이에 배치된다.
- [0087] 도 12는 마이크로렌즈 어레이(36)에 대한 상면도이고, 도 13은 선 XIII-XIII을 따라 마이크로렌즈 어레이(36)을

통과하는 단면을 도시한다. 각각의 마이크로렌즈(37)는 정사각형 경계선을 갖는다. 도 13의 단면에서 볼 수 있듯이, 마이크로렌즈(37)는 포지티브 굴절력을 갖는 평면형-볼록 렌즈이다. 그러므로, 마이크로렌즈 어레이(36)에 충돌하는 실질적으로 평행한 투영광(31)이 복수개의 개별 수렴광빔으로 분할되는데, 여기서는 LB1, LB2으로 표시된 단지 두개만이 도 11에 도시된다. 프리즘(46)에 진입한 이후에, 각각의 광빔(LB1, LB2)은 어레이(40)의 마이크로미러(42) 중 하나에 충돌한다. 마이크로렌즈(37)의 초점 길이는 마이크로미러(42)에서의 광빔(LB1, LB2)의 직경이 그들의 미러 표면의 최대 직경보다는 작도록 결정된다. 다음으로, 인접 마이크로미러(42) 사이의 갭 상에는 투영광이 입사되지 않는다. 이는 광손실을 감소하는 이점을 가질 뿐만 아니라, 투영광이 갭의 하부에 배치된 전자 부품을 가열하는 것을 방지한다.

[0088] 도 14는 도 7과 유사한 상면도로 마이크로렌즈 어레이(36) 및 후면 평면 표면 상의 투영광 빔(31)에 의해 생성되는 방사 조도 분포(310)를 도시한다. 도 7과 유사하게, 방사 조도 분포(310)는 최대 세기가 10%로 떨어지는 위치를 나타내는 라인과 가우시안 방사 조도 프로파일을 나타내는 커브로 표현된다. 빔 포인팅 변동의 결과로서 X 방향을 따라 변위되는 방사 조도 분포(310')가 파선으로 표시된다.

[0089] 도 15는 어떻게 그러한 변위가 X 방향을 따른 제1 및 제2 마이크로미러(42a, 42b) 상의 방사 조도에 영향을 주는지를 도 10a와 유사한 그래프로 도시한다. 마이크로렌즈(37)에 의해 생성된 초점 효과의 결과로서, 어레이(40) 상의 방사 조도 분포(310M)는 마이크로미러(42)의 피치와 동일한 공간 주파수를 갖는 주기 함수로 마이크로렌즈 어레이(36)의 후면측 상의 방사 조도 분포(310)를 변조함에 의해 얻어진다. 어레이(40) 상의 방사 조도 분포(310M)의 엔벨로프(310E)는 따라서 도 14에 도시된 마이크로렌즈 어레이(36)의 후면측 상의 방사 조도 분포(310)에 대략적으로 비례한다. 빔 포인팅 변동의 결과인 변위된 방사 조도 분포(310M') 및 그 엔벨로프(310E')에도 동일하게 적용된다.

[0090] 마이크로미러(42)는 도 7, 9, 10a, 10b를 참조로 전술한 것과 동일한 방식으로 제어 유닛(43)에 의해 제어된다. 유일한 개조는 동공 평면내의 동일한 위치에서의 방사 조도에 기여하는 2개의 마이크로미러(42a, 42b)가 어레이(40) 상의 변조된 방사 조도 분포(310M)의 대향측이 아니라 그 엔벨로프(310E)의 대향측에 위치한다는 점이다.

[0091] VI. 중요 방법 단계

[0092] 도 16은 본 발명에 따른 마이크로리소그래픽 투영 노광 장치를 동작하는 중요 단계들을 도시하는 흐름도이다.

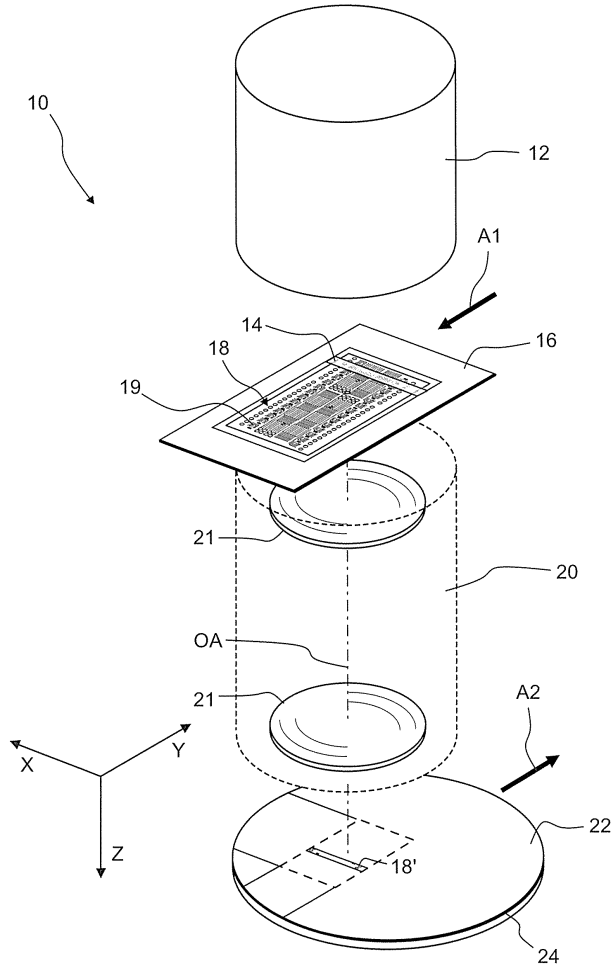
[0093] 제1 단계 S1에서, 광 편향 소자의 어레이를 포함하는 공간 광 변조기가 제공된다.

[0094] 제2 단계 S2에서, 증가 기울기 및 감소 기울기를 갖는 방사 조도 분포가 어레이 상에서 생성된다.

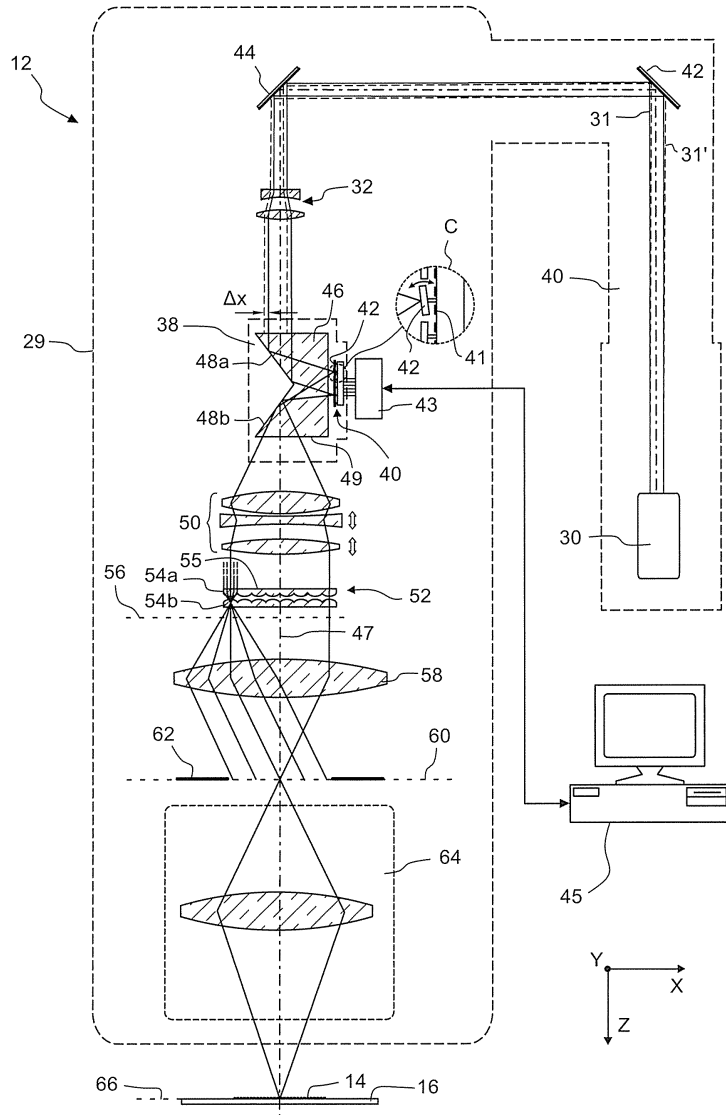
[0095] 제3 단계 S3에서, 광 편향 소자는 증가 기울기에 위치한 제1 광 편향 소자에 의해 생성되는 제1 광 스팟과 감소 기울기에 위치한 제2 광 편향 소자에 의해 생성되는 제2 광 스팟이 동공 평면내에서 적어도 부분적으로 중첩하도록 제어된다.

도면

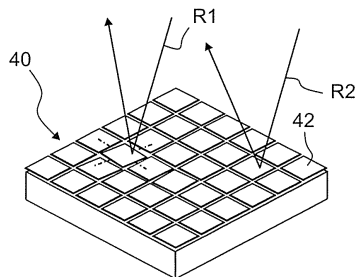
도면1



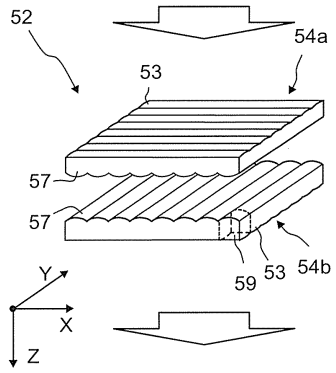
도면2



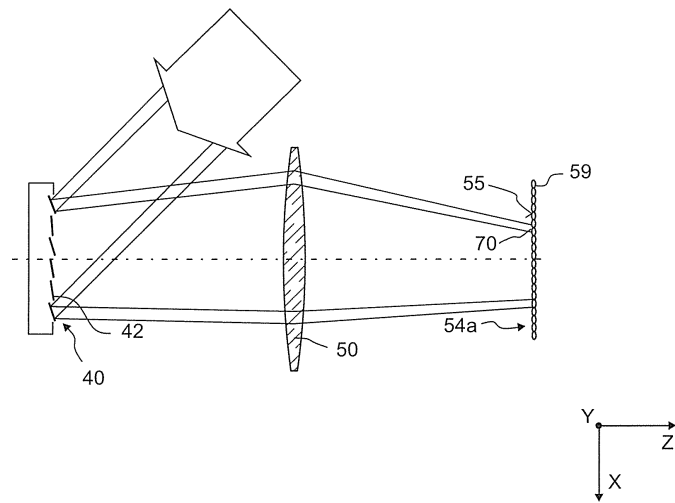
도면3



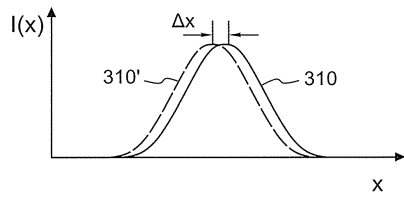
도면4



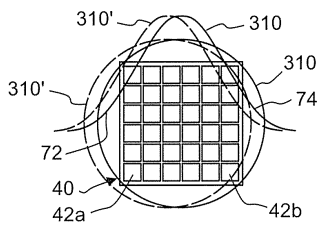
도면5



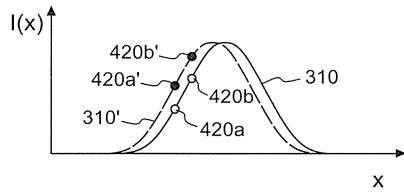
도면6



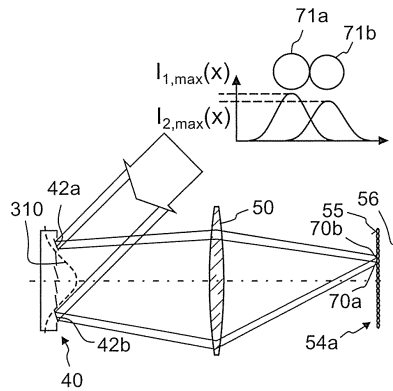
도면7



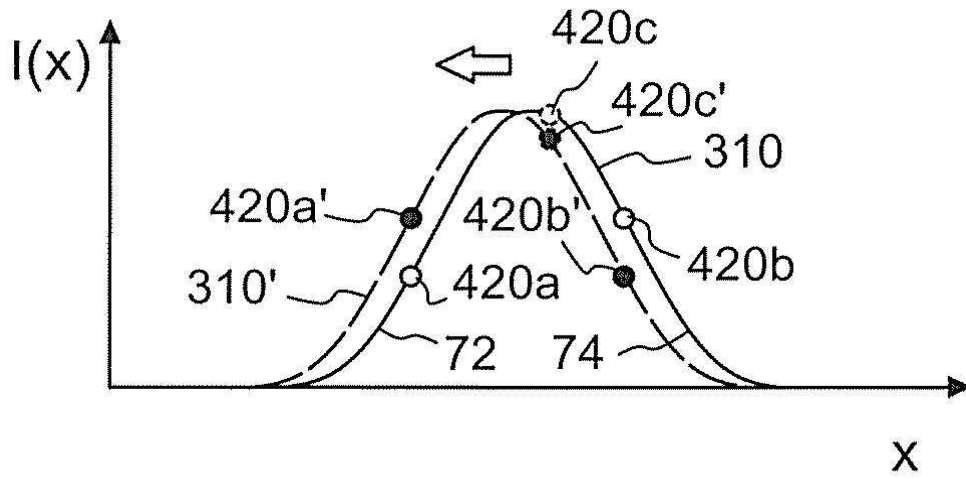
도면8



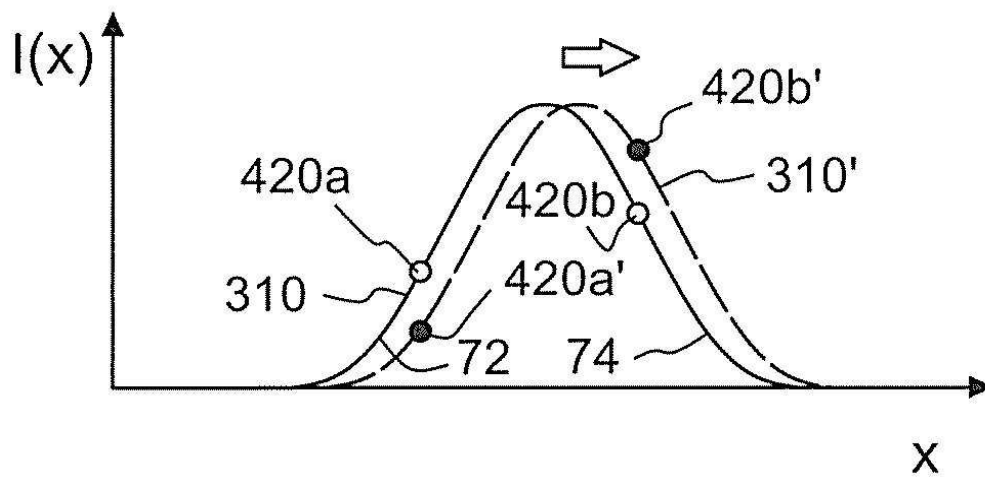
도면9



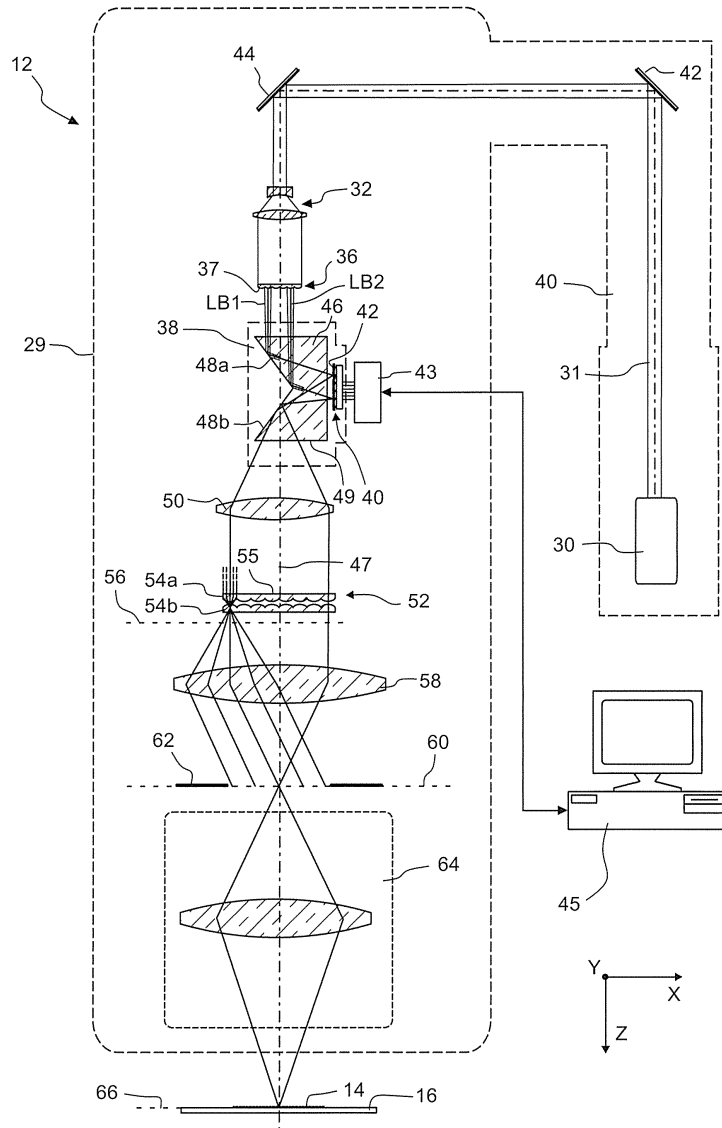
도면10a



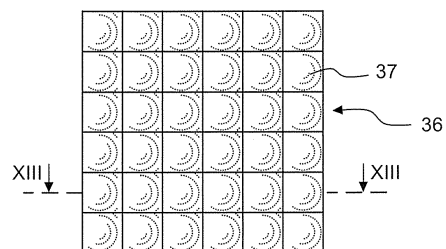
도면10b



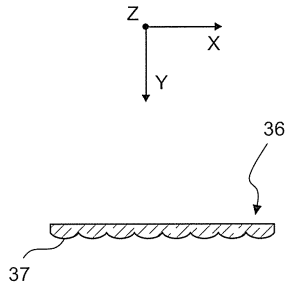
도면11



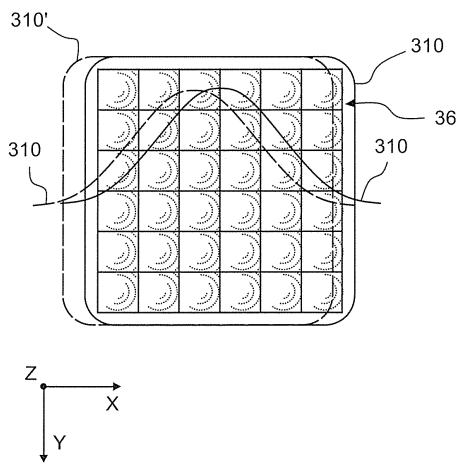
도면12



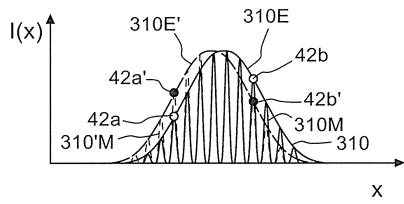
도면13



도면14



도면15



도면16

