



(19) 대한민국특허청(KR)  
 (12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년02월13일  
 (11) 등록번호 10-1922314  
 (24) 등록일자 2018년11월20일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*G03F 7/20* (2006.01)  
 (52) CPC특허분류  
*G03F 7/70058* (2013.01)  
*G02B 26/0833* (2013.01)  
 (21) 출원번호 10-2016-7016113  
 (22) 출원일자(국제) 2014년11월13일  
 심사청구일자 2016년06월16일  
 (85) 번역문제출일자 2016년06월16일  
 (65) 공개번호 10-2016-0088365  
 (43) 공개일자 2016년07월25일  
 (86) 국제출원번호 PCT/EP2014/003049  
 (87) 국제공개번호 WO 2015/074746  
 국제공개일자 2015년05월28일  
 (30) 우선권주장  
 13194135.3 2013년11월22일  
 유럽특허청(EPO)(EP)

- (56) 선행기술조사문헌  
 JP2009124139 A\*  
 JP2002222757 A\*  
 JP2009527112 A\*  
 WO2012100791 A1\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 20 항

심사관 : 박종민

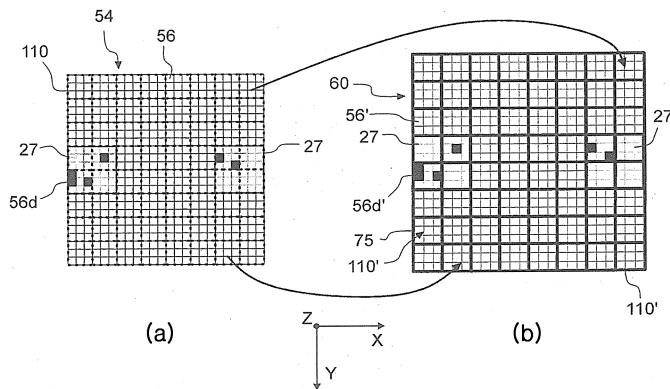
(54) 발명의 명칭 마이크로리소그래피 투영 노광 장치의 조명 시스템

**(57) 요 약**

마이크로리소그래피 투영 노광 장치(10)의 조명 시스템은 공간적으로 분해되는 방식으로 충돌하는 광을 전달하거나 반사하는 공간 광 변조기(52) 상으로 광을 보내는 동공 형성 유닛(36)을 포함한다. 오브젝티브(58)는 광학적분기(60)의 광 입사 패싯(75) 상에 공간 광 변조기(52)의 광 출사 표면(57)을 이미징하므로 광 출사 표면(57)

(뒷면에 계속)

**대 표 도** - 도11



상의 오브젝트 영역(110)의 이미지(110')는 광 입사 패싯 중 하나와 완전히 일치한다. 동공 형성 유닛(36) 및 공간 광 변조기(52)가 제어되어서, 오브젝트 영역(110)은 동공 형성 유닛(36)에 의해 완전히 조명되며 오브젝트 영역(110)의 지점과 관련된 투영 광은 광 입사 패싯(75)들 중 하나 상에 충돌하는 것으로부터 적어도 부분적으로 그리고 변화가능하게 방지된다.

(52) CPC특허분류

*G03F 7/70066* (2013.01)

*G03F 7/70075* (2013.01)

*G03F 7/70116* (2013.01)

*G03F 7/70191* (2013.01)

*G03F 7/70425* (2013.01)

(72) 발명자

**코르보, 토마스**

독일, 슈바비쉬 그뮌트 73525, 조세프스트라쎄 17

**슐레세너, 프랑크**

독일, 오버코헨 73447, 닐켄베그 2

**힐트, 스텔파니**

독일, 아알렌 73433, 스페스사르트스트라쎄 15

**회겔레, 불프강**

독일, 아알렌 73430, 쿠르페스스트라쎄 11

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

마이크로리소그래피 투영 노광 장치(10)의 조명 시스템으로서,

- a) 동공 평면(76),
- b) 투영 광에 의해 조명될 마스크(16)가 배열될 수 있는 마스크 평면(88),
- c) 상기 동공 평면(76)에 자리한 복수의 제 2 광원(106)을 생성하도록 구성되는 광학 적분기(60) - 상기 광학 적분기(60)는 복수의 광 입사 패싯(75)을 포함하고, 상기 복수의 광 입사 패싯의 각각은 상기 제 2 광원(106) 중 하나와 관련되며, 상기 광 입사 패싯의 이미지는 상기 마스크 평면에서 적어도 중첩함 -,
- d) 광 출사 표면(57)을 가지며 충돌하는 투영 광을 공간적으로 분해되는 방식으로 전달하거나 반사하도록 구성되는 공간 광 변조기(52),
- e) 상기 공간 광 변조기 상으로 투영 광을 보내도록 구성되는 동공 형성 유닛(36),
- f) 상기 광학 적분기(60)의 상기 광 입사 패싯(75)상으로 상기 공간 광 변조기(52)의 상기 광 출사 표면(57)을 이미징하여 상기 광 출사 표면(57) 상의 오브젝트 영역(110)의 이미지(110')가 상기 광 입사 패싯(75) 중 하나와 완전히 일치하게 하는 오브젝티브(58),
- g) 상기 오브젝트 영역(110)이 상기 동공 형성 유닛(36)에 의해 완전히 조명되고 상기 오브젝트 영역(110)의 하나의 지점과 관련된 투영 광이 상기 광 입사 패싯(75) 중 하나의 광 입사 패싯 상으로 충돌하는 것이 적어도 부분적으로 그리고 변화 가능하게 방지되도록 상기 동공 형성 유닛(36) 및 상기 공간 광 변조기(52)를 제어하도록 구성되는 제어 유닛(90)을 포함하는, 조명 시스템.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 동공 형성 유닛(36)은 제 1 반사성의 또는 투과성의 빔 편향 소자(40)의 제 1 빔 편향 어레이(38)를 포함하고, 각각의 빔 편향 소자(40)는 상기 빔 편향 소자(40)에 의해 생성된 편향각을 변경함으로써 변화 가능한 위치에서 상기 공간 광 변조기(52) 상의 스포트(94)을 조명하도록 구성되는, 조명 시스템.

#### 청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 공간 광 변조기(52)는 제 2 반사성의 또는 투과성의 빔 편향 소자(56)의 제 2 빔 편향 어레이(54)를 포함하고, 각각의 제 2 빔 편향 소자(56)는 충돌하는 광을 상기 제 2 빔 편향 소자가 상기 광학 적분기(60)를 향해 보내는 "온" 상태와, 충돌하는 광을 상기 제 2 빔 편향 소자가 다른 곳으로 보내는 "오프" 상태에 있을 수 있는, 조명 시스템.

#### 청구항 4

청구항 3에 있어서, 상기 제 2 빔 편향 어레이(54)는 디지털 미러 장치인, 조명 시스템.

#### 청구항 5

청구항 3에 있어서, 적어도 10개의 제 2 빔 편향 소자(56)가 상기 오브젝트 영역(110)에 배열되는, 조명 시스템.

#### 청구항 6

청구항 3에 있어서, 상기 오브젝트 영역(110)에 배열된 인접한 제 2 빔 편향 소자(56)들의 중심들은 직선을 따라 정렬되고, 상기 직선의 이미지(116)는 상기 광 입사 패싯(75) 중 상기 하나의 광 입사 패싯의 경계선에 대하여 각도( $\alpha$ )를 형성하며,  $\alpha$ 는  $m \cdot 45^\circ$  와 다르며,  $m$ 은 0, 1, 2, 3, ... 인, 조명 시스템.

**청구항 7**

청구항 6에 있어서, 상기 제 2 빔 편향 소자(56)들의 경계들은 제 1 직사각형 그리드로 배열되고, 상기 광 입사 패싯(75)들의 경계들은 제 2 직사각형 그리드로 배열되며, 상기 광 입사 패싯(75)들 상에 형성된 상기 제 1 직사각형 그리드의 이미지(114)는 상기 제 2 직사각형 그리드에 대한 각도( $\alpha$ )를 형성하는, 조명 시스템.

**청구항 8**

청구항 3에 있어서, 제 1 방향(X)을 따른 상기 오브젝트 영역(110)의 길이는 상기 제 1 방향에 직각인 제 2 방향(Y)을 따른 상기 오브젝트 영역의 길이보다 길고, 상기 오브젝티브(58)는 배율(M)을 갖는 왜상(anamorphotic) 오브젝티브이고, |M|은 상기 제 2 방향(Y)을 따르는 것보다 상기 제 1 방향(X)을 따라 더 작은, 조명 시스템.

**청구항 9**

청구항 8에 있어서, 상기 제 2 방향은 스캔 방향(Y)에 상응하고, 상기 마스크(16)는 상기 조명 시스템(12)에 의해 조명되는 동안 상기 스캔 방향을 따라 이동하는, 조명 시스템.

**청구항 10**

청구항 3에 있어서, 상기 제 2 빔 편향 소자(56)는, 상기 광 입사 패싯(75)이 배열되는 평면에 평행한 상기 오브젝티브(58)의 오브젝트 평면에 배열되며, 상기 제 2 빔 편향 소자(56)는 상기 "온" 상태에서, 0과 다른 각도로, 충돌하는 광의 편향을 생성하는, 조명 시스템.

**청구항 11**

청구항 3에 있어서, 상기 제 2 빔 편향 소자(56)는, 상기 광 입사 패싯이 배열되는 평면에 평행한 상기 오브젝티브의 오브젝트 평면에 배열되고, 오브젝티브(도 25에서 58)는 오브젝트 측 상에서 텔레센트릭이 아니라(non-telecentric) 이미지 측 상에서 텔레센트릭인, 조명 시스템.

**청구항 12**

청구항 3에 있어서, 상기 공간 광 변조기(52)와 상기 마스크 평면(88) 사이의 광 경로에 배열되는 산란판(122)을 포함하는, 조명 시스템.

**청구항 13**

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 공간 광 변조기(52)의 상기 광 출사 표면(57) 상의 모든 오브젝트 영역(110)의 적어도 절반은 상기 동공 형성 유닛(36)에 의해 완전히 조명되는, 조명 시스템.

**청구항 14**

청구항 2에 있어서, 상기 오브젝트 영역(110) 상에서 상기 제 1 빔 편향 소자(40)에 의해 생성되는 상기 광 스풋(94)은 상기 오브젝트 영역보다 큰, 조명 시스템.

**청구항 15**

청구항 1, 청구항 2 또는 청구항 14 중 어느 한 항에 있어서, 상기 공간 광 변조기(52)의 상기 광 출사 표면(57) 상의 상기 오브젝트 영역(110)은 능동형 오브젝트 영역이므로, 상기 능동형 오브젝트 영역(110)의 하나의 지점과 관련된 투영 광이 상기 광 입사 패싯(75) 중 하나의 광 입사 패싯 상에 충돌하는 것은 방지될 수 있으며, 상기 공간 광 변조기(52)는 수동형 오브젝트 영역인 다른 오브젝트 영역(140)을 포함하므로, 상기 수동형 오브젝트 영역의 하나의 지점과 관련된 투영 광이 상기 광 입사 패싯(75) 중 하나의 광 입사 패싯 상에 충돌하는 것은 방지될 수 없는, 조명 시스템.

**청구항 16**

청구항 15에 있어서, 상기 동공 형성 유닛(36)에 의해 상기 공간 광 변조기(52) 상에 생성된 조도는 상기 수동형 오브젝트 영역 상에서보다 상기 능동형 오브젝트 영역(110) 상에서 더 높은, 조명 시스템.

**청구항 17**

청구항 15에 있어서, 상기 수동형 오브젝트 영역 및 상기 능동형 오브젝트 영역은 상기 조명 시스템(12)의 광학축(OA)에 대하여 서로 점 대칭으로 배열되는, 조명 시스템.

### 청구항 18

청구항 17에 있어서, 상기 공간 광 변조기(52)는 복수의 능동형 오브젝트 영역(110) 및 복수의 수동형 오브젝트 영역을 포함하고, 각각의 수동형 오브젝트 영역은 상기 능동형 오브젝트 영역 중 하나에 점 대칭으로 배열되는, 조명 시스템.

### 청구항 19

청구항 1, 청구항 2 또는 청구항 14 중 어느 한 항에 있어서, 공간 광 변조기(52)의 상기 광 출사 표면(57)은 상기 광 입사 패싯(75) 상에 이미징되지 않는 영역(130)에 의해 분리되는 오브젝트 영역(110)의 그룹(54-1, 54-2)을 포함하며, 상기 오브젝티브(58)는 상기 오브젝트 영역(110)들의 이미지(110')들을 결합하여, 상기 오브젝트 영역들의 상기 이미지(110')들이 상기 광학 적분기(60)에 접하도록 구성되는, 조명 시스템.

### 청구항 20

청구항 18에 있어서, 상기 오브젝티브(58)는

- a) 제 1 광학 소자(134)의 제 1 어레이 - 각각의 제 1 광학 소자는 중간 이미지 평면(132)에서 그룹(54-1, 54-2) 중 하나의 확대된 이미지를 형성함 - 및
- b) 상기 광 입사 패싯(75) 상에 상기 중간 이미지 평면(132)을 이미징하는 이미징 홉틱스(138)를 포함하는, 조명 시스템.

### 청구항 21

삭제

### 청구항 22

삭제

### 청구항 23

삭제

### 청구항 24

삭제

### 청구항 25

삭제

### 청구항 26

삭제

### 청구항 27

삭제

### 청구항 28

삭제

### 청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

## 청구항 46

삭제

**발명의 설명****기술 분야**

[0001] 본 발명은 통상적으로 마이크로리소그래피 노광 장치에서 마스크를 조명하기 위한 조명 시스템, 그리고 구체적으로 동공 평면에 복수의 제 2 광원을 생성하도록 구성되는 광학 적분기를 포함하는 이러한 시스템에 관한 것이다. 본 발명은 또한 이러한 조명 시스템의 동작 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 마이크로리소그래피(또한, 포토리소그래피 또는 간략히 리소그래피로도 지칭됨)는 집적 회로, 액정 디스플레이 및 다른 마이크로구조화된 장치의 제조를 위한 기술이다. 예침 공정과 함께 마이크로리소그래피 공정은 예를 들면 실리콘 웨이퍼와 같은 기판상에 형성된 박막 스택 내에 피처를 패터닝하는데 이용된다. 제조의 각 단계에서, 웨이퍼는 심자외선(DUV) 광과 같은 방사선에 민감한 재료인 포토레지스트로 먼저 코팅된다. 다음으로, 상부에 포토레지스트를 갖는 웨이퍼가 투영 노광 장치 내의 마스크를 통해 투영 광에 노광된다. 장치는 포토레지스트상에 패턴을 포함하는 마스크를 투영하고 후자는 마스크 패턴에 의해 결정되는 특정 위치에서만 노광된다. 노광 이후에, 포토레지스트는 마스크 패턴에 상응하는 이미지를 생성하도록 현상된다(developed). 다음으로 예침 공정이 패턴을 웨이퍼 상의 박막 스택으로 전사한다. 마지막으로, 포토레지스트가 제거된다. 상이한 마스크를 이용한 이 공정의 반복으로 다층의 마이크로구조화된 구성요소가 생성된다.

[0003] 투영 노광 장치는 통상 광원, 광원에 의해 생성된 투영 광으로 마스크를 조명하는 조명 시스템, 마스크를 정렬하기 위한 마스크 스테이지, 투영 오브젝티브 및 포토레지스트로 코팅된 웨이퍼를 정렬하기 위한 웨이퍼 정렬 스테이지를 포함한다. 조명 시스템은, 예컨대 직사각형 또는 곡선 슬릿 형상을 가질 수 있는 마스크 상의 필드를 조명한다.

[0004] 현재의 투영 노광 장치에서, 두 개의 상이한 타입의 장치를 구별할 수 있다. 한 타입에서는, 웨이퍼 상의 각 타겟 부분은 전체 마스크 패턴을 1회차에 타겟 부분 상에 노광시킴으로써 조사된다. 그러한 장치는 보통 웨이퍼 스텝페라고 칭한다. 보통 스텝-앤-스캔 장치 또는 스캐너로 지칭되는 다른 타입의 장치에서, 각 타겟 부분은, 스캔 방향에 평행하거나 역(anti)-평행하게 기판을 동시에 이동시키면서, 이 스캔 방향을 따라 투영 빔 아래에서 마스크 패턴을 순차적으로 스캐닝함으로써 조사된다. 웨이퍼의 속도와 마스크의 속도의 비는 투영 오브젝티브의 배율과 같고, 배율은 통상적으로 1보다 작고, 예컨대 1:4이다.

[0005] 용어, "마스크"(또는 레티클)는 넓은 의미로는 패터닝 수단으로서 해석될 것임을 이해해야 한다. 일반적으로 사용되는 마스크는 불투과성 또는 반사성 패턴을 포함하며, 예컨대 바이너리(binary), 교호하는 상-시프트, 감쇄하는 상-시프트 또는 여러 하이브리드 마스크 타입일 수 있다. 그러나, 능동형 마스크, 예컨대 프로그래밍 가능한 미러 어레이로서 구현되는 마스크가 존재한다. 또한, 프로그래밍 가능한 LCD 어레이는 능동형 마스크로서 사용될 수 있다.

[0006] 마이크로구조의 장치를 제조하는 기술이 진보함에 따라, 조명 시스템에 관한 요구도 더 커지고 있다. 이상적으로, 조명 시스템은 마스크 상의 조명 필드의 각 지점을, 잘 한정된 공간 및 각도 조도 분포를 갖는 투영 광으로 조명한다. 용어, 각도 조도 분포는 마스크 평면의 특정 지점을 향해 수렴하는 광 선속의 총 광 에너지가 광 선속을 구성하는 광선의 여러 방향 중에서 어떻게 분포하는지를 기재한다.

[0007] 마스크 상에 충돌하고 있는 투영 광의 각도 조도 분포는 보통 포토레지스트 상에 투영되는 패턴의 종류에 맞춰진다. 종종, 각도 조도 분포는 패턴에 포함된 특성부의 크기, 배향 및 피치에 의존한다. 투영 광의 가장 흔하게 사용되는 각도 조도 분포는 종래의 환형(annular), 2중극(dipole) 및 4중극(quadrupole) 조명 세팅이라고 지칭한다. 이를 용어는 조명 시스템의 동공 평면의 조도 분포를 지칭한다. 환형 조명 세팅을 통해, 예컨대, 단지 환형 구역이 동공 평면에서 조명된다. 따라서, 투영 광의 각도 조도 분포에서는 단지 적은 범위의 각도가 존재하며, 모든 광선은 마스크 상으로 유사한 각도로 경사지게 충돌한다.

[0008] 원하는 조명 세팅을 달성하기 위해 마스크 평면의 투영 광의 각도 조도 분포를 변경하기 위한 상이한 수단이 종래 기술에서 알려져 있다. 가장 간단한 경우에서, 하나 이상의 개구를 포함하는 스탑(다이아프램(diaphragm))

은 조명 시스템의 동공 평면에 위치한다. 동공 평면의 위치는 마스크 평면과 같은 푸리에 관련 필드 평면에서 각도로 변환되므로, 동공 평면에서 개구(들)의 크기, 형상 및 위치가 마스크 평면에서의 각도 조도 분포를 결정한다. 그러나 조명 세팅의 임의의 변화는 스탑의 교체를 필요로 한다. 이점은 조명 세팅을 미세하게 조정하는 것을 어렵게 하며, 이는 이러한 조정은 약간씩 상이한 크기, 형상 또는 위치의 개구(들)를 갖는 매우 많은 수의 스탑을 필요로 할 것이기 때문이다. 더 나아가, 스탑의 사용은 필수불가결하게 광순실을 초래하며, 그에 따라 장치의 처리량의 감소를 초래한다.

[0009] 많은 일반적인 조명 시스템은 그러므로, 동공 평면의 조명을 적어도 특정한 정도로는 연속하여 변경할 수 있게 하는 조정 가능한 요소를 포함한다. 많은 조명 시스템은 동공 평면에서 원하는 공간 조사 분포를 생성하기 위해 교환 가능한 회절 광학 요소를 사용한다. 만약 줌 옵틱스 및 한 쌍의 액시콘 요소(axicon element)가 회절 광학 요소와 동공 평면 사이에 제공된다면, 이러한 공간 조도 분포를 조정하는 것이 가능하다.

[0010] 최근에, 동공 평면을 조명하는 미러 어레이를 사용하는 것이 제안되고 있다. EP 1 262 836 A1에서, 미러 어레이는, 1000보다 많은 마이크로스코픽 미러를 포함하는 마이크로-일렉트로미케니컬 시스템(MEMS: Micro-ElectroMechanical System)으로서 실현된다. 미러 각각은 서로 수직인 두 개의 상이한 평면에서 틸팅될 수 있다. 따라서, 그러한 미러 장치에 입사된 방사선은 (실질적으로) 반구의 임의의 원하는 방향 대로 반사될 수 있다. 미러 어레이와 동공 평면 사이에 배치된 집광기 렌즈는 미러에 의해 생성된 반사 각도를 동공 평면에서의 위치로 변환한다. 이러한 알려진 조명 시스템으로 인해, 복수의 스폿으로 동공 평면을 조명할 수 있으며, 각 스폿은 하나의 특정한 마이크로스코픽 미러와 관련되며, 이 미러를 틸팅함으로써 동공 평면에 걸쳐서 자유롭게 이동할 수 있다.

[0011] 유사한 조명 시스템이 US 2006/0087634 A1, US 7,061,582 B2, WO 2005/026843 A2 및 WO 2010/006687 A1에서 알려져 있다. US 2010/0157269 A1은, 마이크로미러의 어레이가 마스크 상에 직접 이미징되는 조명 시스템을 개시한다.

[0012] 앞서 언급한 바와 같이, 적어도 스캔 적분 후, 동일한 조도 및 각도 조도 분포로 마스크 상의 모든 지점을 조명하는 것이 보통 바람직하다. 마스크 상의 지점들이 상이한 조도로 조명된다면, 이로 인해 보통 웨이퍼 레벨 상에 원치 않는 임계 치수(CD: Critical Dimension)의 변경을 얻게 된다. 예컨대, 조도 변경이 존재하는 경우, 감광성 표면 상에 균일한 폭을 갖는 라인의 이미지는 또한 그 길이를 따라서 조도 변경을 가질 수 있다. 레지스트의 정해진 노광 임계치로 인해서, 그러한 조도 변경은, 라인의 이미지에 의해 한정되어야 하는 구조의 폭 변경으로 직접 변환된다.

[0013] 각도 조도 분포가 마스크 상의 조명 필드 위에서 변한다면, 이점은 또한 감광성 표면상에 생성되는 이미지의 품질에 악영향을 미친다. 예컨대, 각도 조도 분포가 완벽하게 균형을 갖추지 않는다면, 즉 더 많은 광이 마스크 지점 상의 한 측으로부터 그 반대 측으로부터보다 충돌한다면, 감광성 표면 상의 결례 이미지 지점은, 감광성 표면이 투영 오브젝티브의 초점면에 완벽하게 배치되지 않는다면, 측면 방향으로 시프트될 것이다.

[0014] 조명 필드에서 공간 조도 분포를 변경하기 위해, US 6,404,499 A 및 US 2006/0244941 A1은, 스캔 방향에 평행하게 나란히 배치된 불투과성 핑거형 스탑 요소의 두 개의 대향하는 어레이를 포함하는 기계식 장치를 제안한다. 각 쌍의 상호 대향하는 스탑 요소는 스캔 방향을 따라서 변위할 수 있어서, 스탑 요소의 대향 단부 사이의 거리는 변한다. 이 장치가, 오브젝티브에 의해 마스크 상에 이미징되는 조명 시스템의 필드 평면에 배치된다면, 교차-스캔 방향을 따라 변할 수 있는 스캔 방향을 따른 폭을 갖는 슬릿-형상의 조명 필드를 생성할 수 있다. 조도는 각 스캔 사이클 동안 적분되므로, 적분된 조도(종종 조명 도우즈(dose)로도 지칭됨))는 조명 필드에서 복수의 교차-스캔 위치에 미세하게 조정할 수 있다.

[0015] 그러나 이를 장치는 기계적으로 매우 복잡하며 고가이다. 이점은 또한, 이를 장치가, 이동 가능한 필드 스탑의 블레이드가 보통 배치되는 필드 평면에 배치되거나 그에 매우 가까이에 배치되어야 한다는 점 때문이다.

[0016] 필드 의존적 방식으로 각도 조도 분포를 조정하는 것은 더욱 어렵다. 이점은 주로 공간 조도 분포가 단지 공간 좌표(x, y)의 함수인 반면, 각도 조도 분포는 또한 한 쌍의 각도( $\alpha$ ,  $\beta$ )로 주어지는 입사 방향에 의존하기 때문이다.

[0017] WO 2012/100791 A1은, 제 1 미러 어레이가 조명 시스템의 동공 평면에 원하는 조도 분포를 생성하는데 사용되는 조명 시스템을 개시한다. 동공 평면에 가까이 근접하여, 복수의 광 입사 패싯을 갖는 광학 적분기가 배치된다. 따라서 광 입사 패싯의 이미지는 마스크 상에서 중첩된다. 미러 어레이가 생성한 광 스폿은 광 입사 패싯의 총 면적보다 적어도 5배 더 작은 면적을 갖는다. 따라서 광 입사 패싯 상에 가변적인 광 패턴을 생성할 수 있다.

이러한 방식으로 상이한 각도 조도 분포를 조명 필드의 상이한 부분 상에 생성할 수 있다. 따라서 예컨대 조명 필드에 주어진 시간에 X 2중극 및 Y 2중극의 조명 세팅을 생성할 수 있다.

[0018] 상이한 조명 세팅을 갖는 부분이 선명하게 경계가 정해짐을 보장하기 위해, 디지털 미러 장치(DMD: Digital Mirror Device)로서 구성되는 제 2 미러 어레이를 사용할 것을 제안한다. 이 제 2 미러 어레이에는 제 1 미러 어레이에 의해 조명되어 오브젝티브에 의해 광 입사 패싯 상에 이미징된다. 제 2 미러 어레이의 마이크로미러의 더 큰 그룹을 "오프"-상태가 되게 함으로써, 선명한 경계를 갖는 광 입사 패싯 상에 조도 분포를 생성할 수 있다.

[0019] 그러나 제1 미러 어레이로 상당히 많이 그리고 상당히 작은 자유롭게 이동 가능한 광 스폿을 생성하는 것은 어렵다. 더 나아가, 이 종래 기술의 조명 시스템은 주로 조명 필드에서의 상이한 부분에 완전히 상이한 조명 세팅을 생성하는 것과 관련된다. 그런 이유로, 광 입사 패싯은 보통 완전하기보다는 단지 부분적으로 조명된다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0020] 본 발명의 목적은 필드 의존적인 방식으로 공간 조도 분포와 각도 조도 분포 모두를 조절할 수 있는 마이크로리 소그래피 투영 노광 장치의 조명 시스템을 제공하는 것이다. 이는, 이 시스템이 조명 필드의 상이한 지점에서 조도 및 각도 조도 분포를 상이하게 조절하는 것을 가능하게 만드는 것을 의미한다.

### 과제의 해결 수단

[0021] 본 발명에 있어서, 이러한 목적은 동공 평면, 투영 광에 의해 조명될 마스크가 배열될 수 있는 마스크 평면 및 광학 적분기를 포함하는 조명 시스템에 의해 성취된다. 후자는 동공 평면에 위치된 복수의 제 2 광원을 생성하도록 구성된다. 광학 적분기는 제 2 광원 중 하나와 각각 관련된 복수의 광 입사 패싯을 포함한다. 광 입사 패싯의 이미지는 마스크 평면에서 적어도 실질적으로 중첩한다. 조명 시스템은 광 출사 표면을 가지며 충돌하는 투영 광을 공간적으로 분해되는 방식으로 전달하거나 반사하도록 구성되는 공간 광 변조기, 공간 광 변조기 상으로 투영 광을 보내도록 구성되는 동공 형성 유닛, 광학 적분기의 광 입사 패싯 상으로 공간 광 변조기의 광 출사 표면을 이미징하여 광 출사 표면상의 오브젝트 영역의 이미지가 광 입사 패싯 중 하나와 완전히 일치하게 하는 오브젝티브를 더 포함한다. 제어 유닛은 오브젝트 영역이 동공 형성 유닛에 의해 완전히 조명되고 오브젝트 영역의 지점과 관련된 투영 광이 광 입사 패싯 중 하나 상으로 충돌하는 것을 적어도 부분적으로 그리고 변화가능하게 방지하도록 동공 형성 유닛 및 공간 광 변조기를 제어하도록 구성된다.

[0022] 본 발명은, 광 입사 패싯 상의 조도 분포의 선명한 에지를 생성하는 것 만을 위한 공간 광 변조기를 사용하는 것 대신에, 광 입사 패싯 상에 이미징된 오브젝트 영역이 완전히 조명되어서 선명한 에지가 필요하지 않을 경우 조도 분포를 변경하기 위하여 사용될 수 있는 것의 인지를 기초로 한다.

[0023] 상기 기재된 방식으로 제어되는 공간 광 변조기에 의해, 크로스 스캔 방향을 따라 공간 조도 분포를 조절하기 위하여 선행 기술의 조명 시스템에서 사용되는 기계적으로 복잡한 장치가 생략되고 동시에 필드 의존적인 방식으로 마스크 레벨에서 각도 조도 분포를 유연하게 조절하는 것이 가능하다. 기하학적 광 플럭스(geometrical optical flux)는 광학 적분기 앞에서 작기 때문에, 광 입사 패싯 상의 공간 광 변조기의 광 출사 표면을 이미징하는 오브젝티브는 아주 작은 바람직하게는 구면의 렌즈를 갖고 구현될 수 있다.

[0024] 조명 시스템의 모든 부품이 순수하게 반사성이므로, 본 발명은 원칙적으로 EUV 조명 시스템에서 또한 사용될 수 있다.

[0025] 동공 형성 유닛은 광학 적분기의 광 입사 패싯 상에 이미징되는 공간 광 변조기 상의 조도 분포를 한정하기 위한 회절 광학 소자를 포함할 수 있다. 이러한 조도 분포의 정교한 조절을 위하여, 줌 옵틱스 및/또는 한 쌍의 엑시콘 소자는 회절 광학 소자와 공간 광 변조기 사이의 광 경로에 배열될 수 있다.

[0026] 공간 광 변조기 상의 조도 분포의 더욱 플렉서블한 설정은, 동공 형성 유닛이 제 1 반사성의 또는 투과성의 빔 편향 소자의 제 1 빔 편향 어레이를 포함할 경우 가능하다. 각각의 빔 편향 소자는 빔 편향 소자에 의해 생성되는 편향 각도를 변경함으로써 변화 가능한 위치에서의 공간 광 변조기 상의 스폿을 조명하도록 구성된다.

[0027] 공간 광 변조기는 투과성 또는 반사성이 될 수 있고 충돌하는 광을 감쇄시키고, 완전히 블록하거나 편향하도록 사용될 수 있는 소자의 어레이를 포함할 수 있다. 예컨대, 공간 광 변조기는 LCD 셀의 제 2원 어레이를 포함하

는 LCD 패널로서 구성될 수 있고, 이것의 광학적 활동은 제어 유닛에 의해 개별적으로 제어될 수 있다. 투과성의 변조기에서, 오브젝트 영역은 통상적으로 그 뒷편으로부터 조명된다.

[0028] 일 실시예에서, 공간 광 변조기는 제 2 반사성의 또는 투과성의 빔 편향 소자의 제 2 빔 편향 어레이를 포함한다. 각각의 제 2 빔 편향 소자는 이것이 광학 적분기를 향해 충돌하는 광을 보내는 "온"-상태에 그리고 이것이 충돌 광을 다른 곳, 예컨대 광 흡수 표면에 보내는 "오프"-상태에 있을 수 있다. 이러한 제 2 빔 편향 어레이에는 수백 만개의 개별 마이크로미러를 포함할 수 있는 디지털 미러 장치로서 구성될 수 있다.

[0029] 통상적으로, 오브젝트 영역에 배열된 제 2 빔 편향 소자의 수가 더 클수록 조도 및 공간 조도 분포의 필드 의존적 조절의 공간 해상도가 더 나아진다. 바람직하게, 적어도 10개의 그리고 더욱 바람직하게 적어도 50개의 제 2 빔 편향 소자가 오브젝트 평면에 배열된다.

[0030] 일 실시예에서, 오브젝트 영역에 배열된 인접한 제 2 빔편향 소자는 직선을 따라 정렬된다. 직선의 이미지는 광 입사 패싯들 중 상기 패싯의 경계선에 대한 각도( $\alpha$ )를 형성하고, 여기서  $\alpha$ 가  $m \cdot 45^\circ$  와 다르며  $m$ 은 0, 1, 2, 3이다. 광 입사 패싯에 관한 제 2 빔 편향 어레이의 이러한 비스듬한 배열에 의해, 거리는 어테뉴에이션이 상이한 조명 필드에서 크로스 스캔 위치 사이에서 감소된다.

[0031] 예컨대, 제 2 빔 편향 소자의 경계는 제 1 직사각형 그리드에서 배열될 수 있으며 광 입사 패싯의 경계는 제 2 직사각형 그리드에 배열될 수 있다. 이어서, 제 1 입사 패싯 상에 형성된 제 1 직사각형 그리드의 이미지는 제 2 직사각형 그리드에 대한 각도( $\alpha$ )를 형성한다.

[0032] 마스크가 조명 시스템에 의해 조명되는 동안 스캔 방향을 따라 이동할 경우, 마스크 상의 지점에서의 조도 및 각도 조도 분포는 스캔 공정 동안, 즉, 마스크 상의 지점이 조명 필드를 통해 이동하는 동안 조도 및 각도 조도 분포를 적분함으로써 얻어진다. 이러한 이유로, 스캔 방향을 따라 몇몇의 제 2 빔 편향 소자만을 제공하는 것이 충분하되 조도 및 각도 조도 분포의 필드 의존성을 미세하게 조절할 수 있는 것을 보장하기 위하여 크로스 스캔 방향을 따라 다수의 제 2 빔 편향 소자를 제공하는 것이 충분할 수 있다. 이것은 통상적으로 제 1 방향을 따르는 오브젝트 영역의 길이는 제 1 방향에 수직인 제 2 방향을 따르는 오브젝트 영역의 길이보다 더 커야하는 것을 의미한다. 이로써, 오브젝티브는 배율( $M$ )을 갖는 왜상 오브젝티브가 되어야 하며,  $|M|$ 은 제 2 방향보다 제 1 방향을 따라 더 짧아진다. 왜상 오브젝티브는 연장된 오브젝트 영역의 이미지가 연장되지 않되 광 입사 패싯의 (일반적으로 정사각형인) 형상과 일치하는 것을 보장한다.

[0033] 왜상 오브젝티브를 사용하는 것 대신 또는 그에 더하여, 동공 평면과 일치하는 정면 초점 평면을 갖고 제 2 방향 보다는 제 1 방향을 따라 짧아지는 초점 길이( $f$ )를 갖는 왜상 집광기를 사용하는 것이 가능하다.

[0034] 일반적으로, 제 2 빔 편향 소자는 광 입사 패싯이 배열되는 평면에 평행하는 오브젝티브의 오브젝트 평면에 배열될 경우 선호된다. 이러한 구성은, 제 2 빔 편향 요소가, "온"-상태에서 0과 다른 각도만큼 충돌하는 광의 편향을 생성하도록 구성된다면, 달성할 수 있다. 추가로 또는 대안적으로 오브젝티브는 오브젝트 측 상에서는 텔레센트릭이 아니라, 이미지 측 상에서는 텔레센트릭인 것이 가능하다.

[0035] 일반적으로, 오브젝트 영역 상의 제 1 빔 편향 어레이에 의해 생성된 광 스포트은 오브젝트 영역보다 더 클 것이다. 그러나, 본 발명은 스포트이 오브젝트 영역보다 더 작을 경우에 또한 사용될 수 있다.

[0036] 제 2 빔 편향 요소 사이의 간격이, 광학 적분기의 광 입사 패싯을 통해서 결국 조명 필드 상에 이미징되므로, 이점이 조명 필드에서 공간 및 각도 조도 분포의 균일성을 저하시키지 않도록 조치를 취해야 한다. 이를 위해, 산란판을 공간 광 변조기와, 바람직하게는 필드 평면에 가까운 마스크 평면 사이의 광 경로에 배치할 수 있다. 산란판은 광 입사 패싯 상의 조도 분포를 흐릿하게 하며, 그에 따라 조명 필드에 어두운 선은 나타나지 않음을 보장한다.

[0037] 공간 광 변조기의 광 출사 표면 상의 오브젝트 영역이 능동형 오브젝트 영역으로 고려되어서 능동형 오브젝트 영역의 지점과 관련된 투영 광이 광 입사 패싯 중 하나 상에 충돌하는 것을 방지할 수 있을 경우, 공간 광 변조기는 수동형 오브젝트 영역인 또 다른 오브젝트 영역을 포함할 수 있어서 수동형 오브젝트 영역의 지점과 관련된 투영 광은 광 입사 패싯 중 하나 상에 충돌하는 것으로부터 방지될 수 없다. 능동형 및 수동형 오브젝트 영역의 이러한 결합은 능동형 오브젝트 영역의 공간 광 변조기에 의해 생성된 공간적 해상도가 상당히 높은 경우에 특히 편리할 수 있다. 공간 광 변조기가 디지털 미러 장치로 구성될 경우, 예컨대 이것은, 광 입사 패싯의 숫자 또한 통상적으로 커지므로 상당한 수의 마이크로미러를 요할 것이다. 이러한 상당한 수의 마이크로미러를 갖는 디지털 미러 장치는 아직 쉽게 이용가능하지 않을 수 있다. 이러한 이유로, 예컨대 종래의 디지털 미러 장치에 의해 형성된 더 작은 능동형 오브젝트 영역 및 예컨대 평면 미러로서 구현되는 수동형 오브젝트 영역으

로부터, 그 사이에 공간 광 변조기를 조립하는 것이 유리할 수 있다. 이러한 배열은, 모든 광 입사 패싯 상의 조도 분포를 변경할 필요 없이 이를 중 일부만 변경 해야하므로 유용할 수 있다.

[0038] 극 균형을 유지하기 위하여, 동공 형성 유닛에 의해 공간 광 변조기 상에 생성된 조도는 수동형 오브젝트 영역 보다 능동형 오브젝트 영역 상에서 더 높을 수 있다. 이러한 더 높은 조도는 광이 광 입사 패싯에 도달하는 것을 방지함으로써 유발되는 광 손실을 보상한다.

[0039] 바람직하게, 수동형 오브젝티브 영역 및 능동형 오브젝티브 영역은 조명 시스템의 광학축에 관하여 서로에 대해 점 대칭으로 배열된다. 이것은 마스크 상의 지점으로 수렴하는 광 선속의 에너지 벨런스(텔레센트리시티)가 항상 조절될 수 있는 것을 보장한다. 이로써, 광 출사 표면의 전체 영역의 대략 절반은 능동형 오브젝트 영역에 의해 그리고 다른 절반은 수동형 오브젝트 영역에 의해 커버될 수 있다.

[0040] 공간 광 변조기의 광 출사 표면이 광 입사 패싯 상에 이미징되지 않는 영역에 의해 분리되는 오브젝트 영역의 그룹을 포함할 경우, 오브젝티브는 능동형 오브젝트 영역의 이미지를 결합하도록 구성되어서 오브젝트 영역의 이미지는 광 입사 패싯상에 접할 수 있다.

[0041] 특히, 오브젝티브는 제 1 광학 소자의 제 1 어레이를 포함할 수 있고, 각각의 제 1 광학 소자는 중간 이미지 평면의 오브젝트 영역들 중 하나의 확대된 이미지 및 광 입사 패싯 상의 중간 이미지 평면을 이미징하는 이미지 옵티كس를 형성한다.

[0042] 본 발명의 요지는 또한 마이크로리소그래피 투영 노광 장치의 조명 시스템의 동작 방법이며, 이 방법은:

a) 광 출사 표면을 가지며 충돌하는 투영 광을 공간적으로 분해되는 방식으로 전달하거나 반사하도록 구성되는 공간 광 변조기 상에 투영 광의 조도 분포를 생성하는 단계 - 광 출사 표면은 조명 광에 의해 완전히 조명되는 오브젝트 영역을 포함함 - ;

b) 오브젝트 영역의 이미지가 광 입사 패싯과 완전히 일치하도록 광학 적분기의 광 입사 패싯상으로 광 출사 표면 상의 오브젝트 영역을 이미징하는 단계;

c) 오브젝트 영역(110)의 지점과 관련된 투영 광이 광 입사 패싯 상에 충돌하는 것을 적어도 부분적으로 방지하도록 공간 광 변조기를 제어하는 단계를 포함한다.

[0046] 본 발명의 요지는 또한, 마이크로리소그래피 투영 노광 장치의 조명 시스템의 동작 방법이며, 이 방법은:

[0047] a) 공간 광 변조기(52) 상에 오브젝트 영역(110)을 완전히 조명하는 단계;

[0048] b) 광학 적분기(60)의 광 입사 패싯(75) 상에 오브젝트 영역(110)을 이미징하는 단계;

[0049] c) 오브젝트 영역의 하나의 지점과 관련된 모든 광이 광 입사 패싯 상에 충돌하는 것을 방지하는 단계를 포함한다.

[0050] [정의]

[0051] 용어, "광"은 본 명세서에서 임의의 전자기 방사선, 특히 가시 광, UV, DUV, VUV 및 EUV 광 및 X-광선을 나타내는데 사용한다.

[0052] 용어, "광선"은 본 명세서에서 선으로 기재할 수 있는 전파 경로를 갖는 광을 나타내는데 사용한다.

[0053] 용어, "광 선속"은 본 명세서에서 필드 평면에서 공통 시점(origin)을 갖는 복수의 광선을 나타내는데 사용한다.

[0054] 용어, "광 빔"은 본 명세서에서 특정한 렌즈나 다른 광학 요소를 통과하는 모든 광을 나타내는데 사용한다.

[0055] 용어, "위치"는 본 명세서에서 3-차원 공간의 바디의 기준점의 위치를 나타내는데 사용한다. 위치는 보통 세 개의 직교 좌표 세트로 나타낸다. 배향 및 위치는 그러므로 3-차원 공간의 바디의 배치를 충분히 기재한다.

[0056] 용어, "표면"은 본 명세서에서 3-차원 공간에서 임의의 평면 또는 곡면을 나타내는데 사용한다. 표면은 바디의 일부분일 수 있거나 보통 필드나 동공 평면의 케이스처럼 바디로부터 완전히 분리될 수 있다.

[0057] 용어, "필드 평면"은 본 명세서에서 마스크 평면 또는 마스크 평면과 광학적으로 결례 관계인 임의의 다른 평면을 나타내는데 사용된다.

[0058] 용어, "동공 평면"은, (적어도 대략적으로) 푸리에 관계가 필드 평면에 대해 구축되는 평면이다. 일반적으로,

마스크 평면의 상이한 지점을 통과하는 주변 광선은 동공 평면에서 교차하며, 주 광선은 광학 축과 교차한다. 대체로, 종래기술에서, 용어, "동공 평면"은, 사실 수학적인 의미에서 평면이기보다는 약간 곡면이어서 엄격한 의미에서 동공 표면으로서 지칭되는 경우에, 또한 사용한다.

[0059] 용어, "균일한"은 본 명세서에서 위치에 의존하지 않는 속성을 나타내는데 사용한다.

[0060] 용어, "광학 레스터 요소"는 본 명세서에서 임의의 광학 요소, 예컨대 렌즈, 프리즘 또는 회절 광학 요소를 나타내는데 사용하며, 이러한 요소는 다른 동일하거나 유사한 광학 레스터 요소와 함께 배치되어 각 광학 레스터 요소는 복수의 인접한 광학 채널 중 하나와 관련되게 된다.

[0061] 용어, "광학 적분기"는 본 명세서에서 적( $NA \cdot a$ )을 증가시키는 광학 시스템을 나타내는데 사용하며, 여기서  $NA$ 는 개구수이며,  $a$ 는 조명 필드 면적이다.

[0062] 용어, "집광기"는, 본 명세서에서 두 개의 평면, 예컨대 필드 평면과 동공 평면 사이에 푸리에 관계를 (적어도 대략적으로) 구축하는 광학 요소 또는 광학 시스템을 나타내는데 사용한다.

[0063] 용어, "켤레 평면"은 본 명세서에서 그 사이에 이미징 관계가 구축되는 평면을 나타내는데 사용한다. 켤레 평면의 개념에 관한 더 많은 정보는 에세이에 기재하고 있다. 딜라노 명칭(Delano entitled): "1차 설계 및  $y, \bar{y}$  다이아그램", 응용 광학기기, 1963, 볼륨 2, 넘버 12, 페이지 1251-1256.

[0064] 용어, "필드 의존성"은 본 명세서에서 필드 평면에서의 위치로부터의 물리적인 양의 임의의 기능적 의존성을 나타내는데 사용한다.

[0065] 용어, "공간 조도 분포"는 본 명세서에서 광이 충돌하는 실제 또는 가상 표면 위에서 총 조도가 어떻게 변하는지를 나타내는데 사용한다. 보통, 공간 조도 분포는 함수  $I_s(x, y)$ 로 기재할 수 있으며, 여기서  $x, y$ 는 표면상의 지점의 공간 좌표이다.

[0066] 용어, "각도 조도 분포"는 본 명세서에서 광 선속을 구성하는 광선의 각도에 따라 광 선속의 조도가 어떻게 변하는지를 나타내는데 사용한다. 보통, 각도 조도 분포는 함수  $I_a(a, \beta)$ 로 기재할 수 있으며,  $a, \beta$ 는 광선의 방향을 기재하는 각도좌표이다. 만약 각도 조도 분포가 필드 의존성을 갖는다면,  $I_a$ 는 또한 필드 좌표의 함수, 즉  $I_a = I_a(a, \beta, x, y)$ 일 것이다. 각도 조도 분포의 필드 의존성은  $x, y$ 로 이루어진  $I_a(a, \beta, x, y)$ 의 테일러 (또는 다른 적절한) 확장의 확장 계수( $a_{ij}$ ) 세트로 기재할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0067] 본 발명의 여러 특성 및 장점은, 수반하는 도면과 연계하여 다음의 상세한 설명을 참조하면 더 쉽게 이해하게 될 수 있다.

도 1은, 본 발명의 일 실시예에 따른 투영 노광 장치의 개략적인 사시도이다.

도 2는, 각도 조도 분포의 여러 결함을 예시하는, 도 1에 도시한 투영 노광 장치에 의해 투영되는 마스크의 확대된 사시도이다.

도 3은, 도 1에 도시한 장치의 일부인 조명 시스템을 통한 자오 단면이다.

도 4는, 도 3에 도시한 조명 시스템에 포함된 제1 미러 어레이의 사시도이다.

도 5는, 도 3에 도시한 조명 시스템에 포함된 제 2 미러 어레이의 사시도이다.

도 6은, 도 3에 도시한 조명 시스템에 포함된 광학 적분기의 사시도이다.

도 7은, 도 4 및 도 5에 도시한 제 1 및 제 2 미러 어레이를 통한 개략적인 자오 단면이다.

도 8은, 도 5에 도시된, 그러나 두 개의 극으로 조명되는 제 2 미러 어레이에 관한 사시도이다.

도 9는, 도 6에 도시된, 그러나 두 개의 극으로 조명되는 광학 적분기의 사시도이다.

도 10은, 미러 어레이, 집광기 및 광학 레스터 요소 어레이만이 도시된 조명 시스템의 부분을 통한 개략적인 자오 단면이다.

도 11a 및 도 11b는, 도 3에 도시한 제 2 미러 어레이와 광학 적분기의 평면도이다.

도 12는, 광학 적분기의 광 입사 패싯 상의 조도 분포를 예시한다.

도 13은, 도 12에 도시한 광 입사 패싯에 의해 생성된 X 방향을 따라서의 스캔 적분된 조도 분포를 도시하는 그래프이다.

도 14는, 광학 적분기의 광 입사 패싯 상의 다른 조도 분포를 예시한다.

도 15는, 도 14에 도시한 광 입사 패싯에 의해 생성된 X 방향을 따라서의 스캔 적분된 조도 분포를 도시하는 그래프이다.

도 16은, 복수의 광 스폿이 조도 분포를 생성하는 제 2 미러 어레이의 평면도이다.

도 17은, 몇몇 마이크로미러가 "오프"-상태인 도 16의 제 2 미러 어레이를 도시한다.

도 18은, 대안적인 실시예를 위한 단일 광 입사 패싯 상의 조도 분포의 평면도이다.

도 19는, 도 18에 도시한 광 입사 패싯에 의해 생성된 X 방향을 따라서의 스캔 적분된 조도 분포를 도시하는 그래프이다.

도 20a 내지 도 20c는, 광 입사 패싯 상의 마이크로미러의 이미지와 마스크 상의 대응하는 조도 분포를 예시한다.

도 21은, 도 20a 내지 도 20c에 도시한 조도 분포를 중첩하여 얻은 총 조도 분포를 도시하는 그래프이다.

도 22는, 도 3에 도시한 조명 시스템에 포함된 오브젝티브와 추가 산란판을 통한 개략적인 자오 단면이다.

도 23은, 제 2 미러 어레이 상의 오브젝트 영역, 왜상 오브젝티브 및 광학 적분기의 광학 레스터 요소의 개략적인 사시도이다.

도 24는, 제 2 미러 어레이, 오브젝티브 및 광 입사 패싯을 도시하는 개략적인 자오 단면이다.

도 25는, 마이크로미러와 광 입사 패싯이 오프-축 배치된 도 24에서와 유사한 배치를 도시한다.

도 26은, 오브젝트 영역의 그룹이 광 입사 패싯 상에 이미징되지 않는 간격에 의해 분리되는 실시예를 통한 자오 단면이다.

도 27은, 제 2 미러 어레이가 수동형 부분을 포함하는 다른 실시예에 따른 제 2 미러 어레이의 평면도이다.

도 28은, 회절 광학 요소가 공간 광 변조기로서 사용되는 LCD 패널 상의 조도 분포를 한정하는데 사용되는 다른 실시예에 따른 조명 시스템을 통한 자오 단면이다.

도 29는, 중요한 방법 단계를 예시하는 흐름도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0068]

I.

투영 노광 장치의 일반적인 구성

[0069]

도 1은, 본 발명에 따른 투영 노광 장치(10)의 매우 간략화한 사시도이다. 장치(10)는 예컨대 엑시머 레이저로서 실현할 수 있는 광원(11)을 포함한다. 이 실시예에서 광원(11)은 193nm의 중심 파장을 갖는 투영 광을 생성한다. 다른 파장, 예컨대 257nm 또는 248nm도 생각해 볼 수 있다.

[0070]

장치(10)는, 상세하게 이하에서 설명될 방식으로 광원(11)에 의해 제공되는 투영 광을 조정하는 조명 시스템(12)을 더 포함한다. 조명 시스템(12)으로부터 유래한 투영 광은 마스크(16) 상의 조명 필드(14)를 조명한다. 마스크(16)는, 실선으로서 도 1에 개략적으로 나타낸 복수의 작은 특성부(19)에 의해 형성된 패턴(18)을 포함한다. 이 실시예에서, 조명 필드(14)는 직사각형 형상을 갖는다. 그러나 조명 필드(14)의 다른 형상, 예컨대 링 세그먼트도 생각해 볼 수 있다.

[0071]

렌즈(L1 내지 L6)를 포함하는 투영 오브젝티브(20)는 조명 필드(14) 내의 패턴(18)을 기판(24)에 의해 지지되는 감광성 층(22), 예컨대 포토레지스트에 이미징한다. 실리콘 웨이퍼로 형성할 수 있는 기판(24)은 웨이퍼 스텝 이지(미도시) 상에 배치되어, 감광성 층(22)의 상부 표면은 투영 오브젝티브(20)의 이미지 평면에 정확하게 위

치한다. 마스크(16)는 투영 오브젝티브(20)의 오브젝트 평면에서 마스크 스테이지(미도시)에 의해 위치한다. 투영 오브젝티브는 배율( $\beta$ ) ( $| \beta | < 1$ )을 가지므로, 조명 필드(14) 내의 패턴(18)의 축소된 이미지(18')가 감광성 층(22) 상에 투영된다.

[0073] 투영 동안, 마스크(16)와 기판(24)은, 도 1에서 나타낸 Y 방향에 대응하는 스캔 방향을 따라 이동한다. 조명 필드(14)는 그 후 마스크(16) 위에서 스캔하여, 조명 필드(14)보다 더 큰 패턴화된 영역이 연속해서 이미징될 수 있다. 기판(24)과 마스크(16)의 속도 사이의 비는 투영 오브젝티브(20)의 배율( $\beta$ )과 같다. 투영 오브젝티브(20)가 이미지를 반전시키지 않는다면 ( $\beta > 0$ ), 마스크(16)와 기판(24)은 동일한 방향을 따라 이동하며, 이러한 구성을 도 1에서 화살표(A1 및 A2)로 나타낸다. 그러나 본 발명은 또한, 마스크(16)와 기판(24)이 마스크의 투영 동안 이동하지 않는 스텝퍼 툴에서 사용할 수 있다.

[0074] II.

#### 필드 의존적 각도 조도 분포

[0075] 도 2는, 다른 예시적인 패턴(18)을 포함하는 마스크(16)의 확대한 사시도이다. 간략화를 위해, 패턴(18)은 Y 방향을 따라 연장하는 특성부(19)만을 포함한다고 가정한다. 또한, Y 방향을 따라 연장하는 특성부(19)가 X 2 중극 조명 세팅으로 감광성 층(22) 상에 가장 잘 이미징된다고 가정한다.

[0076] 도 2에서, 광 선속과 관련된 출사 동공(26a)은 원으로 예시한다. 광 선속은, 스캔 사이클 동안 처음으로 조명 필드(14)의 특정한 X 위치에 위치한 필드 지점을 향해 수렴한다. 이 출사 동공(26a)에서, X 방향을 따라 이격된 두 개의 극(27a)이 투영 광이 이 필드 지점을 향해 전파하게 되는 방향을 나타낸다. 각각의 극(27a)에 집중된 광 에너지는 같은 것으로 가정한다. 따라서 +X 방향으로부터 충돌하는 투영 광은 -X 방향으로부터 충돌하는 투영 광과 동일한 에너지를 갖는다. 특성부(19)는 패턴(18) 위에서 균일하게 분포되는 것으로 가정되므로, 이 X 2 중극 조명 세팅은 마스크(16) 상의 각각의 필드 지점에서 생성되어야 한다.

[0077] 26b로 나타낸 다른 출사 동공은, 이후의 스캔 사이클 시간에 조명 필드(14)의 다른 X 위치에 위치한 필드 지점을 향하여 수렴하는 광선속과 관련된다. 각각의 극(27b)에 집중되는 광 에너지는 다시 같다. 그러나 극(27b)과 관련된 광은, 이상적인 극(27a)과 관련되는 광의 광 콘(light cones)과 비교하여 틸팅되어 있다. 이점이 의미하는 것은, 필드 지점이 동일한 양의 투영 광을 수광하지만, 투영 광이 필드 지점에 충돌하는 방향은 감광성 층(22) 상에 특성부(19)를 이미징하기에는 이상적이지 않다는 것이다.

[0078] 26c로 나타낸 추가 출사 동공은, 또 다른 X 위치에 위치한 조명 필드(14)의 지점과 관련된다. 여기서, 투영 광이 필드 지점 상에 충돌하는 방향은 다시 특성부(19)를 이미징하는데 이상적이라고 가정한다. 그러므로 극(27c)과 관련된 광 콘은 또한 이상적인 출사 동공(26a)과 관련된 콘과 동일한 콘 각도 및 배향을 갖는다. 그러나 극(27c)은 균형이 맞춰져 있지 않고, 즉 극(27c)에 집중되는 광 에너지는 서로 상이하다. 따라서 +X 방향으로부터 충돌하는 투영 광은 -X 방향으로부터 충돌하는 투영 광보다 적은 에너지를 갖는다.

[0079] 전술한 내용으로부터, 출사 동공(26a)에 의해 나타낸 이상적인 각도 조도 분포는 조명 필드(14)의 각각의 X 위치에서는 얻지 못함은 분명하다. 그러므로 각도 조도 분포는 필드 의존적이다, 즉 상이한 필드 지점에서 각도 조도 분포는 상이하다.

[0080] 필드 의존성은 조명 필드(14) 내에서 X 방향을 따라서 발생할 수 있을 뿐만 아니라 Y 방향을 따라서 발생할 수 있다. 이때, 마스크(16) 상의 한 지점은 스캔 사이클 동안 조명 필드(14)를 통과하면서 상이한 각도 조도 분포를 경험한다. 만약 Y 방향(즉, 스캔 방향)을 따른 필드 의존성이 발생한다면, 특정한 필드 지점에 대한 총 효과는 상이한 각도 조도 분포를 적분하여 얻게 됨을 고려해야 한다.

[0081] 이상적인 것으로부터 실제 각도 조도 분포의 추가적인 필드-의존적 이탈은 광범위하다. 예컨대, 일부 필드 지점과 관련된 출사 동공의 극들은 변형될 수 있거나, 흐려질 수 있거나, 원하는 비-균일 조도 분포를 갖지 않을 수 있다.

[0082] 이상적인 각도 조도 분포로부터의 필드 의존적 이탈이 발생한다면, 이점은 일반적으로, 감광성 층(22) 상에 형성되는 패턴 이미지의 품질에 부정적인 영향을 미친다. 특히, 장치(10)를 사용하여 생성되는 구조의 치수가 부주의하게 변할 수 있으며, 이점은 이를 구조를 포함하는 장치의 기능을 저하시킬 수 있다. 그러므로 일반적으로 조명 필드(14)에서 조명 세팅의 임의의 필드 의존성을 제거하는 것이 바람직하다.

[0083] 종종, 그러나 각도 조도 분포의 필드 의존성을 고의적으로 삽입하는 것이 바람직할 수 있다. 예컨대 투영 오브젝티브(20)나 마스크(16)가 감광성 층(22) 상에서 패턴(18)의 이미지에 영향을 미치는 필드 의존적 속성을 갖는

다면, 이 점은 편리할 수 있다. 투영 오브젝티브(20)의 이미징 속성의 변경은, 예컨대 제조 공차, 노화 현상 또는 비-균일한 온도 분포의 결과로서 발생할 수 있다. 마스크(16)의 필드 의존성은 종종 예컨대 상이한 배향 또는 치수를 갖는 특성부의 결과로서 발생한다. 필드 의존성의 악영향은 종종 각도 조도 분포의 필드 의존성을 선택적으로 삽입함으로써 성공적으로 감소할 수 있다. 이들 영향 중 일부는 매우 신속하게 변하므로, 단일 스캔 사이클 동안 각도 조도 분포의 필드 의존성을 변화시키는 것이 종종 바람직하다.

[0085] III.

[0086] 조명 시스템의 일반적인 구성

도 3은, 도 1에 도시한 조명 시스템(12)을 통한 자오 단면이다. 명확성을 위해, 도 3의 예시는 상당히 간소한 것이며 실제 축적대로 되어 있지 않다. 이점은 특히, 상이한 광학 유닛이 하나 또는 매우 소수의 광학 요소만으로 나타낸 것임을 암시한다. 실제로, 이들 유닛은 상당히 많은 렌즈 및 다른 광학 요소를 포함할 수 있다.

도시한 실시예에서, 광원(11)에 의해 방출된 투영 광은, 확장되어 거의 시준된 광 범(34)을 출력하는 범 확장 유닛(32)에 입사한다. 이를 위해, 범 확장 유닛(32)은 여러 렌즈를 포함할 수 있거나 예컨대 미러 배치로서 실현할 수 있다.

투영 광 범(34)은 그 후, 후속한 평면에 가변적인 공간 조도 분포를 생성하는데 사용되는 동공 형성 유닛(36)에 입사한다. 이를 위해, 동공 형성 유닛(36)은, 액추에이터를 사용하여 두 개의 직교 축 주위에 개별적으로 틸팅 될 수 있는 초소형 미러(40)의 제1 미러 어레이(38)를 포함한다. 도 4는, 두 개의 평행한 광빔(42 및 44)이 광 범(42 및 44)이 충돌하는 미러(40)의 틸팅 각도에 따라 상이한 방향으로 어떻게 반사되는지를 예시하는 제 1 미러 어레이(38)의 사시도이다. 도 3 및 도 4에서, 제 1 미러 어레이(38)는 단지 6×6개의 미러(40)를 포함하며, 실제로, 제 1 미러 어레이(38)는 수백 개 또는 수천 개의 미러(40)를 포함할 수 있다.

동공 형성 유닛(36)은, 조명 시스템(12)의 광학 축(OA)에 대해 모두 경사진 제 1 평면 표면(48a) 및 제 2 평면 표면(48b)을 갖는 프리즘(46)을 더 포함한다. 이를 경사진 표면(48a 및 48b)에서, 충돌 광은 전반사에 의해 반사된다. 제 1 표면(48a)은 제 1 미러 어레이(38)의 미러(40)를 향해 충돌 광을 반사하며, 제 2 표면(48b)은 미러(40)로부터 반사된 광을 프리즘(46)의 출사 표면(49)을 향해 보낸다. 출사 표면(49)으로부터 유래한 광의 각도 조도 분포는 그에 따라 제1 미러 어레이(38)의 미러(40)를 개별적으로 틸팅함으로써 변할 수 있다. 동공 형성 유닛(36)에 관한 더 상세한 내용은 US 2009/0116093 A1으로부터 얻을 수 있다.

동공 형성 유닛(36)에 의해 생성된 각도 조도 분포는 제1 집광기(50)에 의해 공간 조도 분포로 변환된다. 다른 실시예에서는 없을 수 있는 집광기(50)는 충돌 광을, 충돌 광을 공간적으로 분해되는 방식으로 반사하도록 구성되는 디지털 공간 광 변조기(52)를 향해 보낸다. 이를 위해, 디지털 공간 광 변조기(52)는, 미러 평면(57)에 배치되고 도 3의 확대된 컷-아웃(C)과 도 5의 확대된 컷-아웃(C')에서 가장 잘 볼 수 있는 마이크로미러(56)의 제2 미러 어레이(54)를 포함한다. 제1 미러 어레이(38)의 미러(40)와 대조적으로, 그러나 제2 미러 어레이(54)의 각각의 마이크로미러(56)는 단지 두 개의 안정적인 동작 상태, 즉 충돌하는 광을 제 1 오브젝티브(58)를 통해 광학 적분기(60)를 향해 보내는 "온" 상태와, 충돌하는 광을 광 흡수 표면(62)을 향해 보내는 "오프" 상태를 갖는다.

제 2 미러 어레이(54)는, 이들이 예컨대 흔히 비머(beamer)에 사용되기 때문에, 디지털 미러 장치(DMD)로서 실현할 수 있다. 그러한 장치는, 두 개의 동작 상태 사이를 초당 수천 번씩 스위칭할 수 있는 최대 수백만 개의 마이크로미러를 포함할 수 있다.

동공 형성 유닛(36)과 유사하게, 공간 광 변조기(52)는, 광학 축(OA)에 수직으로 배치되는 입사 표면(65)과 조명 시스템(12)의 광학 축(OA)에 대해 모두 경사진 제1 평면 표면(66a)과 제2 평면 표면(66b)을 갖는 프리즘(65)을 더 포함한다. 이를 경사진 표면(66a 및 66b)에서, 충돌 광은 전반사에 의해 반사된다. 제1 표면(66a)은 충돌하는 광을 제 2 미러 어레이(54)의 마이크로미러(56)를 향해 반사하며, 제 2 표면(66b)은 마이크로미러(56)로부터 반사된 광을 프리즘(64)의 표면(68)을 향해 보낸다.

제 2 미러 어레이(54)의 모든 마이크로미러(56)가 그 "온" 상태에 있다면, 제 2 미러 어레이(54)는 평면 범 풀 딩 미러의 효과를 실질적으로 갖는다. 그러나 하나 이상의 마이크로미러(56)가 그 "오프" 상태로 스위칭된다면, 미러 평면(57)으로부터 유래한 광의 공간 조도 분포는 변경된다. 이것은, 더 상세하게 이후에 설명될 방식으로 마스크(16) 상에 각도 광 분포의 필드 의존적 변경을 생성하는데 사용될 수 있다.

앞서 이미 언급한 바와 같이, 프리즘(64)으로부터 유래한 광은 제 1 오브젝티브(58)를 통과하여 광학 적분기

(60) 상에 충돌한다. 제1 오브젝티브(58)를 통과하는 광은 거의 시준되므로, 제 1 오브젝티브(58)는 매우 작은 개구수(예컨대, 0.01 또는 그 이하)를 가질 수 있으며, 따라서 소수의 소형 구형 렌즈로 실현할 수 있다. 제 1 오브젝티브(58)는 공간 광 변조기(52)의 미러 평면(57)을 광학 적분기(60) 상에 이미징한다.

[0096] 광학 적분기(60)는 도시한 실시예에서 광학 레스터 요소(74)의 제 1 어레이(70)와 제 2 어레이(72)를 포함한다. 도 6은 두 개의 어레이(70 및 72)의 사시도이다. 각각의 어레이(70 및 72)는 지지판의 각각의 측 상에서 각각 X 및 Y 방향을 따라 연장하는 원통형 렌즈의 평행 어레이를 포함한다. 두 개의 원통형 렌즈가 교차하는 볼륨이 광학 레스터 요소(74)를 형성한다. 따라서 각각의 광학 레스터 요소(74)는 원통형 곡면을 갖는 마이크로렌즈로서 간주될 수 있다. 원통형 렌즈의 사용은, 광학 레스터 요소(74)의 굴절력이 X 및 Y 방향을 따라 상이해야 하는 경우에 특히 유리하다. 상이한 굴절력은, 보통의 경우처럼 광학 적분기(60) 상의 정사각형 조도 분포가 슬릿형 조도 분포(14)로 변환되어야 하는 경우에, 필요하다. 공간 광 변조기(52)를 가리키는 광학 레스터 요소의 표면은 이하에서 광 입사 패싯(75)으로서 지칭할 것이다.

[0097] 제 1 및 제2 어레이(70 및 72) 각각의 광학 레스터 요소(74)는 앞뒤로 배치되어, 제 1 어레이(70)의 하나의 광학 레스터 요소(74)는 제 2 어레이(72)의 하나의 광학 레스터 요소(74)와 일대일 대응으로 관련된다. 서로 관련되는 두 개의 광학 레스터 요소(74)는 공통 축을 따라 정렬되어 광학 채널을 한정한다. 광학 적분기(60) 내에서, 하나의 광학 채널에서 전파하는 광 빔은 다른 광학 채널에서 전파하는 광 빔과 교차 또는 중첩하지 않는다. 따라서 광학 레스터 요소(74)와 관련된 광학 채널은 광학적으로 서로로부터 격리된다.

[0098] 이 실시예에서, 조명 시스템(12)의 동공 평면(76)은 제 2 어레이(72) 뒤에 위치하지만, 마찬가지로 그 앞에 위치할 수 있다. 제 2 집광기(78)는, 조절가능한 필드 스탑(82)이 배열되는 필드 스탑 평면(80)과 동공 평면(76) 사이에 푸리에 관계를 구축한다.

[0099] 필드 스탑 평면(80)은 따라서, 광학 적분기(60)의 광 입사 패싯(75) 내에 또는 그에 가까이 근접하여 위치하는 레스터 필드 평면(84)에 광학적으로 결례 관계에 있다. 이점이 의미하는 것은, 레스터 필드 평면(84)의 각 광 입사 패싯(75) 상의 조도 분포가 제2 집광기(78)와 제2 어레이(72)의 관련된 광학 레스터 요소(74)에 의해 전체 필드 스탑 평면(80) 상에 이미징된다는 것이다. 모든 광학 채널 내에서 광 입사 패싯(75) 상의 조도 분포의 이미지는 필드 스탑 평면(80)에서 중첩하며, 결국 마스크(16)의 매우 균일한 조명을 초래한다. 마스크(16)의 균일한 조명을 기재하는 다른 방식은 동공 평면(76)에서 각각의 광학 채널에 의해 생성되는 조도 분포를 기초로 한다. 이 조도 분포는 종종 제 2 광원으로 지칭한다. 모든 제 2 광원은 공통적으로 상이한 방향으로부터의 투영 광으로 필드 스탑 평면(80)을 조명한다. 제 2 광원이 "어둡다"면, 광은, 이 특정한 광원과 관련되는 (작은) 범위의 방향으로부터 마스크(16) 상에 충돌하지 않는다. 따라서, 동공 평면(76)에 형성된 제 2 광원을 간단히 온 및 오프 스위칭함으로써 마스크(16) 상에 원하는 각도 광 분포를 세팅할 수 있다. 이러한 구성은, 동공 형성 유닛(36)에 의해 광학 적분기(60) 상의 조도 분포를 변화시킴으로써 달성된다.

[0100] 필드 스탑 평면(80)은 제 2 오브젝티브(86)에 의해 마스크(16)가 마스크 스테이지(미도시)의 도움으로 배열되는 마스크 평면(88)상에 이미징된다. 조절가능한 필드 스탑(82)은 마스크 평면(88)상에 또한 이미징되어 스캔 방향(Y)을 따라 연장하는 조명 필드(14)의 적어도 짧은 측면을 한정한다.

[0101] 동공 형성 유닛(36)과 공간 광 변조기(52)는 제어 유닛(90)에 연결되며, 이 유닛(90)은 이제 개인용 컴퓨터로서 예시한 전체 시스템 제어(92)에 연결된다. 제어 유닛(90)은, 마스크 평면(88)의 각도 조도 분포가 균일하거나 원하는 필드 의존적 각도 조도 분포가 얻어지는 방식으로, 동공 형성 유닛(36)의 미러(40)와 공간 광 변조기(52)의 마이크로미러(56)를 제어하도록 구성된다.

[0102] 다음에서, 이러한 구성이 어떻게 달성되는지를 기재할 것이다.

[0103] IV.

[0104] 조명 시스템의 기능과 제어

[0105] 1. 동공 형성

[0106] 도 7은, 동공 형성 유닛(36)이 공간 광 변조기(52)의 마이크로미러(56) 상에 조도 분포를 어떻게 생성하는지를 개략적으로 예시한다. 간략화를 위해, 프리즘(46 및 64)은 도시하지 않는다.

[0107] 제 1 미러 어레이(38)의 각각의 미러(40)는, 각각의 미러(40)에 의해 생성된 편향 각도를 변화시킴으로써 가변적인 위치에서 공간 광 변조기(52)의 미러 평면(57) 상의 스포트(94)을 조명하도록 구성된다. 따라서, 스포트(94)은, 그 틸팅 축을 중심으로 미러(40)를 틸팅함으로써 미러 평면(57) 위에서 자유롭게 이동할 수 있다. 이런 식

으로, 미러 평면(57) 상에 광범위하게 다양한 상이한 조도 분포를 생성할 수 있다. 스폷(94)은 또한 95로 도시한 바와 같이 부분적으로 또는 완전히 겹칠 수 있다. 그리하여 또한 그레이딩된(graded) 조도 분포를 생성할 수 있다.

[0108] 도 8은, 공간 광 변조기(52)에 포함된 제2 미러 어레이(54)에 관한 도 5와 유사한 사시도이다. 여기서, 동공 형성 유닛(36)이, 정확히 6×6개의 마이크로미러(56) 위에서 각각 연장하는 두 개의 정사각형 극(27)으로 구성된 제 2 미러 어레이(54) 상의 조도 분포를 생성하였다고 가정한다. 극(27)은 X 방향을 따라 점-대칭적으로 배치된다.

[0109] 오브젝티브(58)는, 도 9에 도시한 바와 같이, 광학 적분기(60)의 광 입사 패싯(75) 상의 이러한 조도 분포의 이미지를 형성한다. 여기서, 모든 마이크로미러(56)는 "온"-상태에 있어서, 제 2 미러 어레이(54) 상에 형성된 조도 분포가 광학 적분기(60)의 광 입사 패싯(75) 상에서 (오브젝티브(58)의 배율로 인한 가능한 스케일링과는 별도로) 동일하게 재생성된다고 가정한다. 간략화를 위해, 제 2 미러 어레이(54)의 인접한 마이크로미러(56)를 분리하는 간격의 이미지는 무시한다. 광 입사 패싯(75) 상에 도시한 정상적인 그리드는 마이크로미러(56)의 경계선의 이미지를 나타내지만, 이 이미지는 극(27) 외부에 나타나지 않으며, 예시를 이유로 도 9에만 도시한다.

## 2. 필드 의존성

[0111] 광 입사 패싯(75)이 래스터 필드 평면(84)에 위치하므로, 광 입사 패싯(75) 상의 조도 분포가, 제 2 집광기(78)와 제 2 어레이(72)의 광학 래스터 요소(74)를 통해서 필드 스탑 평면(80) 상에 이미징된다.

[0112] 이러한 구성은 이제, 확대되지만 실제 축적대로 되어 있지 않은 도 3으로부터의 컷-아웃인 도 10을 참조하여 설명할 것이다. 여기서 광학 적분기(60)의 광학 래스터 요소(74)의 단지 두 개의 쌍과, 제2 집광기(78) 및 필드 스탑 평면(80)이 개략적으로 도시된다.

[0113] 단일 광학 채널과 관련된 두 개의 광학 래스터 요소(74)는 다음에서 각각 제1 마이크로렌즈(101)와 제2 마이크로렌즈(102)로서 지칭한다. 마이크로렌즈(101 및 102)는 종종 필드 및 동공 허니콤 렌즈로서 지칭한다. 특정한 광학 채널과 관련된 마이크로렌즈(101 및 102)의 각 쌍은 동공 평면(76)에 제 2 광원(106)을 생성한다. 도 10의 상반부에서, 실선, 점선 및 파선으로 각각 예시한 수렴하는 광선속(L1a, L2a 및 L3a)이 제1 마이크로렌즈(101)의 광 입사 패싯(75)의 상이한 지점 상에 충돌한다고 가정한다. 두 개의 마이크로렌즈(101 및 102)와 집광기(78)를 통과한 후, 각각의 광선속(L1a, L2a 및 L3a)은 각각 초점(F1, F2 및 F3)에 수렴한다. 도 10의 상반부로부터, 광선이 광 입사 패싯(75) 상에 충돌하는 지점과, 이를 광선이 필드 스탑 평면(80)(또는 임의의 기타 컬레인 필드 평면)을 통과하는 지점이 광학적으로 결례 관계인 점은 분명하다.

[0114] 도 10의 하반부는, 시준된 광선속(L1b, L2b 및 L3b)이 제 1 마이크로렌즈(101)의 광 입사 패싯(75)의 상이한 구역 상에 충돌할 경우를 예시한다. 이러한 구성은, 광학 적분기(60) 상을 충돌 광이 보통 실질적으로 시준되기 때문에, 더욱 실제적인 경우이다. 광선속(L1b, L2b 및 L3b)은 제 2 마이크로렌즈(102)에 위치한 공통 초점(F)에 집속된 후, 이제 다시 시준되어 마스크 평면(88)을 통과한다. 다시, 광학적 결례 관계의 결과로서, 광 선속(L1b, L2b 및 L3b)이 광 입사 패싯(75) 상에 충돌하는 구역이 필드 스탑 평면(80)에서 조명된 구역에 대응함을 볼 수 있다. 당연히, 마이크로렌즈(101 및 102)가 X 및 Y 방향을 따라 모두 굴절력을 갖는다면, 이를 고려사항은 X 및 Y 방향에 별도로 적용된다.

[0115] 그러므로 광 입사 패싯(75) 상의 각 지점은 중간 필드 스탑 평면(80)의 (그리고 마스크(16) 상의 조명 필드의) 결례 지점에 바로 대응한다. 광 입사 패싯(75) 상의 지점 상의 조도에 선택적으로 영향을 미치는 것이 가능하다면, 조명 시스템의 광학 축(OA)에 대한 광 입사 패싯(75)의 위치에 의존하는 방향으로부터 조명 필드(14)의 결례 관계 지점 상에 충돌하는 광선의 조도에 영향을 미치는 것이 가능하다. 광학 축(OA)으로부터 특정한 광 입사 패싯(75) 사이의 거리가 클수록, 그러한 광선이 마스크(16) 상의 지점에 충돌하는 각도는 커진다.

## 3. 광 입사 패싯 상의 조도 변경

[0117] 조명 시스템(12)에서, 공간 광 변조기(52)가 광 입사 패싯(75) 상의 지점 상의 조도를 변경하는데 사용된다. 도 9에서, 각각의 극(27)은 마이크로미러(56)의 이미지인 복수의 작은 영역 위에서 연장함을 볼 수 있다. 마이크로미러가 "오프" 상태가 된다면, 광 입사 패싯(75) 상의 결례 관계 영역은 조명되지 않을 것이며, 결과적으로 투영 광은, 이 특정한 광 입사 패싯(75)과 관련된 (작은) 범위의 방향으로부터 마스크 상의 결례 관계 영역에 충돌하지 않을 것이다.

[0118] 이 점은, 각각 공간 광 변조기(52)의 마이크로미러(56)와, 광학 적분기(60)의 광 입사 패싯(75)의 평면도인 도

11a 및 도 11b를 참조하여 더 상세하게 설명될 것이다.

[0119] 제 2 미러 어레이(54) 상의 굵은 점선은 그 미러 평면(57)을  $3\times 3$ 개의 마이크로미러(56)를 각각 포함하는 복수의 오브젝트 영역(110)으로 나눈다. 오브젝티브(58)는 광학 적분기(60) 상에 각각의 오브젝트 영역(110)의 이미지를 형성한다. 이러한 이미지는 다음에서 이미지 영역(110')으로서 지칭할 것이다. 각각의 이미지 영역(110')은 완전히 광 입사 패싯(75)과 일치하며, 즉 이미지 영역(110')은 광 입사 패싯(75)과 동일한 형상, 크기 및 배향을 가지며, 패싯 상에 완전히 중첩된다. 각각의 오브젝트 영역(110)이  $3\times 3$ 개의 마이크로미러(56)를 포함하므로, 이미지 영역(110')은 마이크로미러(56)의  $3\times 3$ 개의 이미지(56')를 또한 포함한다.

[0120] 도 11a에서, 투영 광으로 동공 형성 유닛(36)에 의해 완전히 조명되는 8개의 오브젝트 영역(110)이 있다. 이들 8개의 오브젝트 영역(110)은 두 개의 극(27)을 형성한다. 오브젝트 영역(110) 중 일부에서 검은색 정사각형으로 나타낸 하나, 둘 또는 이상의 마이크로미러(56d)가 제어 유닛(90)에 의해 제어되어, 이들은 충돌하는 투영 광이 오브젝티브(58)를 향해 보내지기보다는 흡수재(62)를 향해 보내지는 "오프"-상태에 있음을 알 수 있다. 마이크로미러를 "온" 상태와 "오프" 상태 사이에서 스위칭함으로써, 도 11b에 도시한 바와 같이, 투영 광이 광 입사 패싯(75) 상의 이미지 영역(110') 내의 대응하는 구역 상에 충돌하는 것을 가변적으로 방지할 수 있다. 이를 구역은 다음에서 어두운 스폿(56d')으로서 지칭할 것이다.

[0121] 도 10을 참조하여 앞서 설명한 바와 같이, 광 입사 패싯(75) 상의 조도 분포는 필드 스탑 평면(80) 상에 이미징된다. 도 12의 상반부에 예시한 바와 같이, 광 입사 패싯(75)이 하나 이상의 어두운 스폿(56d')을 포함한다면, 관련된 광학 채널에 의해 마스크 평면(88)에 생성된 조도 분포는 또한 특정한 X 위치에 어두운 스폿을 가질 것이다. 마스크 상의 지점이 조명 필드(14)를 통과한다면, 총 스캔 적분된 조도가 그에 따라 도 13의 그래프에서 도시한 바와 같이 조명 필드(14)의 지점의 X 지점에 의존한다. 조명 필드(14)의 중간의 지점은 최고 스캔 적분된 조도를 경험할 것이며, 이는 이들 지점이 어두운 스폿을 통과하지 않기 때문이며, 조명 필드(14)의 종방향 단부에서의 지점은 상이한 범위로 감소되는 총 조도를 수광할 것이다. 따라서, 마스크(16) 상의 각도 광 분포의 필드 의존성은, 공간 광 변조기(52)의 하나 이상의 마이크로미러(56)를 "온"-상태로부터 "오프"-상태가 선택적으로 되게 함으로써 변경될 수 있다.

[0122] 상기 내용에서, 광 입사 패싯(75) 중 하나 상에 이미징되는 각각의 오브젝트 영역(110)은 단지  $3\times 3$ 개의 마이크로미러(56)를 포함한다고 가정해야 한다. 따라서, 각도 광 분포의 필드 의존성을 변경하는데 사용될 수 있는 교차-스캔 방향(X)을 따른 해상도는 상대적으로 거칠다. 각각의 오브젝트 영역(110) 내의 마이크로미러(56)의 개수가 증가한다면, 이 해상도는 개선될 수 있다.

[0123] 도 14는,  $20\times 20$ 개의 마이크로미러(56)가 각 오브젝트 영역(110)에 포함되는 실시예에 대한 광 입사 패싯(75) 중 하나의 평면도를 예시한다. 그 후 X 방향을 따른 더 복잡한 스캔 적분된 조도 분포는 도 15에 도시한 그래프에서 조명한 바와 같이 마스크(16) 상에서 달성할 수 있다.

#### 4. 클리핑

[0125] 상기 내용에서, 동공 형성 유닛(36)은 네 개의 인접한 오브젝트 영역(110) 위에서 정확히 연장하는 제 2 미러 어레이(54) 상의 극(27)을 조명한다고 가정하였다. 일반적으로, 그러나 선명한 애지를 갖는 그러한 조도 분포를 생성하는 것이 어려울 것이다.

[0126] 공간 광 변조기(52)는 또한, 이들 마이크로미러(56)를 예시되어야 하는 오브젝트 영역(110) 외부에 있는 "오프"-상태가 되게 함으로써, 미러 평면(57)의 흐려진 조도 분포를 클리핑하는데 사용될 수 있다.

[0127] 이러한 구성은, 제 2 미러 어레이(54) 상의 조도 분포(96)가 도시된 도 16 및 도 17에 예시된다. 여기서, 동공 형성 유닛(36)의 미러(40)에 의해 생성된 이동 가능한 광 스폿(94)이 네 개의 극을 형성하도록 중첩된다고 가정한다. 공간 광 변조기(52)의 모든 마이크로미러(56)가 도 16에 도시한 바와 같이 "온" 상태에 있다면, 흐려진 조도 분포(96)는 광 입사 패싯(75) 상에 이미징될 것이다. 원하는 오브젝트 영역(110)을 에워싸는 이들 마이크로미러(56)가 도 17에 도시된 바와 같이 "오프"-상태가 되게 된다면, 이들 마이크로미러는, 극의 경계를 정하며 그에 따라 광 입사 패싯 상의 세기 분포의 선명한 애지를 생성하는 프레임을 형성한다.

#### 5. 상대적인 회전

[0129] 지금까지 기재한 실시예에서, 마이크로미러(56)가 오브젝트 영역(110)의 경계선에 평행하게 정렬된다고 가정하였다. 마이크로미러(56)에 의해 형성된 직사각형 그리드는 이때, 광 입사 패싯(75)에 의해 형성되는 직사각형 그리드에 평행하다. 이점은 결국, 마이크로미러(56)의 한 "열"을 따른 조도가 항상 균일한 도 13 및 도 15에

도시된 것과 같은 조도 분포를 초래한다. 따라서 단지 계단식의 조도 분포를 광 입사 패싯(75) 상에서 생성할 수 있다.

[0130] 종종 계단식이기보다는 경사진 부분을 포함하는 조도 분포를 생성하는 것이 바람직할 수 있다. 이점은, 도 18에 도시된 바와 같이, 두 개의 직사각형 그리드가 서로 평행하게 배치되며 각도( $\alpha$ )로 배치된다면, 달성될 수 있다. 여기서, 마이크로미러(56)의 이미지(56')는, 광 입사 패싯(75)의 측면 측과 각도( $\alpha$ )를 형성하는 그리드(114)를 형성한다. 그 후, 인접한 마이크로미러(56)의 중심은, 광 입사 패싯(75)의 경계선에 동일한 각도( $\alpha$ )를 형성하는 이미지(116)를 갖는 직선을 따라 정렬된다. 이 각도( $\alpha$ )가  $m \cdot 45^\circ$  ( $m=0, 1, 2, 3, \dots$ )와 다를 경우, 조도 분포는 도 13 및 도 15에 도시된 바와 같은 계단식 프로파일의 형상을 갖지 않을 것이다.

[0131] 도 19는, 도 18에 도시한 회전 배치에 대한 X 방향을 따른 스캔 접적된 조도 분포를 예시한 그래프이다. 일부 특정한 X 위치가 점선으로 도 18에 나타내져 있다. 각도( $\alpha$ )가  $m \cdot 45^\circ$  ( $m=0, 1, 2, 3, \dots$ )와 차별화된다면, 악화는 감소되어, 원하는 감쇄를 더 많은 상이한 X 위치에서 달성할 수 있다. 다시 말해, 각도 조도 분포의 필드의 존성을 변경하는데 이용될 수 있는 X 방향을 따라 해상도를 효과적으로 증가시키는 것이 가능하다.

#### 6. 간격 - 측방향 변위

[0133] 앞서 더 언급한 바와 같이, 작은 간격이, 제2 미러 어레이(38)의 인접한 마이크로미러(56) 사이에 형성되는 것은 보통 불가피하다. 이들 간격의 이미지는 광 입사 패싯(75)과 또한 마스크(16) 상에 형성된다. 이들 이미지가 교차-스캔 방향(X)에 평행하게 연장한다면, 이점은 스캔 동작으로부터 초래된 적분된 효과로 인해 거의 염려 사항이 아니다. 그러나 스캔 방향(Y)에 평행하게 연장하는 어두운 선은 적분 효과에 의해 보상되지 않을 수 있었다.

[0134] 도 20a는, 간격의 이미지가 118'에 의해 나타낸 광 입사 패싯(75) 중 하나에 대한 평면도를 상반부에서 도시한다. 도 20a의 하반부의 그래프는, 마스크 평면(88)에서 이 특정한 광 입사 패싯(75)에 의해 생성되는 획단-교차 방향(X)을 따른 조도 분포를 예시한다. 모든 광 입사 패싯(75)이 동일한 X 위치에서 어두운 선(120)을 생성할 것이라면, 투영 광은 이들 지점에서 마스크(16) 상의 지점에 도달하지 않을 것이다.

[0135] 도 20b 및 도 20c는, 간격 이미지(118')가 교차-스캔 방향(X)을 따라 상이한 정도로 측면 방향으로 변위하는 다른 광 입사 패싯(75)을 도시한다. 결국, 또한 이들 도면의 하반부에 도시한 조도 분포의 어두운 선(120)은 측면 방향으로 변위된다. 각각의 광학 채널에 의해 생성된 조도 분포가 마스크 평면(88)에 중첩되므로, 어두운 선(120)은 도 21에 도시된 바와 같이 평균화된다. 광 입사 패싯(75)의 수가 커지고 어두운 선(120)이 작아질수록, 마스크 평면(88)의 조도 분포(I(x))는 균일한 분포로 더 근사화된다.

#### 6. 간격 - 산란판

[0137] 대안적으로 또는 추가적으로, 산란판(122)은, 간격 이미지(118')에 의해 유도된 마스크 평면(88) 상의 어두운 선을 회피하기 위하여 공간 광 변조기(52)와 마스크 평면(88) 사이의 광학 경로에 배열될 수 있다. 산란판(122)의 적절한 위치는 공간 광 변조기(52)와 오브젝티브(58) 사이에서, 오브젝티브(58)와 광학 적분기(60) 사이에서 또는 필드 스탠드 평면(80)의 인근에 있는 것이다.

[0138] 도 22는 공간 광 변조기(52)의 몇 개의 마이크로미러(56), 오브젝티브(58) 및 그 사이에 배열된 산란판(22)을 도시하는 개략적인 자오 단면이다. 2개의 인접한 마이크로미러(56) 사이의 간격(118)은 폭(d)을 갖는 것으로 가정되고 산란판(112)과 공간 광 변조기(52)의 광 출사 표면(57) 사이의 측방향 거리는 b로 표시된다. 산란판(122)의 특징적인 산란 각도( $\beta$ )가 대략 d/b일 경우, 광 입사 패싯(75) 상에서 형성된 간격(118)의 이미지는 충분히 흐려진다. 산란 각도( $\beta$ )가 d/b보다 훨씬 클 경우, 조도의 필드의 존성 및 각도 조도 분포에 대한 바람직한 공간 해상도가 감소된다. 산란 각도( $\beta$ )가 아주 작을 경우, 간격의 이미지는 광 입사 패싯(75) 상에서 여전히 눈에 띌 것이다.

#### 7. 직사각형 오브젝트 영역

[0140] 상기 기재된 실시예에서, 스캔 방향(Y)과 교차-스캔 방향(X)을 따른 마이크로미러(56)의 수가 동일한 것으로 가정된다. 이로써, 정사각형 마이크로미러(56)의 직사각형 그리드는 광학 적분기(60)의 정사각형 광 입사 패싯(75)에 정확하게 맞다.

[0141] 교차-스캔 방향(X)을 따른 마이크로미러(56)의 수( $N_x$ )는 조도의 필드의 존성 및 각도 조도 분포를 조정하는데 이용가능한 해상도를 결정한다. 이러한 수는 가능한 높아야 한다.

- [0142] 스캔 방향(Y)을 따른 마이크로미러(56)의 수( $N_Y$ )는 스캔 동작에 의해 유도된 적분 효과로 인해 훨씬 더 작아질 수 있다. 설명적으로 말하자면, 스캔 방향(Y)을 따라 인접한 복수의 광학 채널은 스캔 사이클 동안 마스크(16) 상의 지점에 대한 조도의 감소에 기여할 수 있다. 이것은 교차-스캔 방향(X)을 따라 인접한 광학 채널에 적용하지 않는다.
- [0143] 이러한 요건은 오브젝트 영역(110)이 또한 직사각형이 될 수 있으며, 교차-스캔 방향(X)을 따른 길이는 스캔 방향(Y)을 따른 오브젝트 영역의 길이보다 큰(예컨대, 2배 바람직하게는 적어도 5배 큰) 것을 제안한다. 방향(X 및 Y)을 따라 동일한 치수를 갖는 마이크로미러(56)를 가정했을 때, 이것은 교차-스캔 방향(X)을 따른 마이크로미러(56)의 개수( $N_X$ )가 스캔 방향(Y)을 따른 개수( $N_Y$ )보다 큰 것을 의미한다.
- [0144] 직사각형 오브젝트 영역(110)이 정사각형 광 입사 패싯(75) 상에 이미징되는 경우에, 오브젝티브(58)는 왜상이 되어야 한다. 더욱 구체적으로, 배율(M)의 절대값은 스캔 방향(Y)을 따른 것보다 교차-스캔 방향(X)을 따라 더욱 작아져야 하며, 즉,  $|M_X| < |M_Y|$ 이다. 이것은 도 23에 도시되고, 여기서, 오브젝티브(58)의 2개의 실린더 렌즈(124, 126)는 단일 직사각형 오브젝트 영역(110)과 광학 렌즈 소자(74)의 광 입사 패싯(75) 사이에서 배열된다. 교차-스캔 방향(X)을 따른 오브젝트 영역(110)의 길이가  $L_X$ 이고 스캔 방향(Y)을 따른 길이가  $L_Y$ 일 경우,  $|M_X/M_Y|$ 는  $L_Y/L_X$ 와 동일해야 한다.
- [0145] 오브젝티브(58)가 아닌 후속 집광기(78)가 왜상이므로 그 초점 거리(f)가 X 및 Y 방향에 있어서 상이할 경우 유사한 결과가 성취된다. 오브젝티브(58)가 회전 대칭이므로  $M_X=M_Y$ 일 경우, 광 입사 패싯(75) 상의 조도 분포는 오브젝트 영역(110)과 동일한 종횡비( $L_X/L_Y$ )를 갖는 직사각형이 될 것이다. 이러한 직사각형 조도 분포는 왜상 집광기(78)에 의해 확장되므로 정사각형 조도 분포가 필드 스탑 평면(80)과 후속하는 마스크 평면(88)에서 얻어진다. 방향(X, Y)을 따른 집광기의 상이한 초점 거리가 광학 렌즈 소자(74)의 굴절력에 의해 보상되어야 하므로, 이러한 접근법은 광학 적분기(60)의 재설계를 요할 수 있다.
- [0146] 8. 미러 평면의 배치
- [0147] 보통 투영 광의 주 광선이 광학 적분기(60) 상에 수직으로 충돌할 경우가 선호된다. 광 입사 패싯(75) 상의 오브젝티브(58)에 의해 이미징된 미러 평면(57)은 또한 도 24에 도시된 바와 같이 광학 축(OA)에 수직으로 배치되어야 한다. 마이크로미러(56)와 광 입사 패싯(75)의 이러한 평행 배치에서, 마이크로미러(56)는 "온"-상태일 경우 0이 아닌 편향 각을 생성해야 한다. 이것은 모든 미러 표면이 "온"-상태일 경우 단일 평면에서 배치되는 종래의 디지털 미러 장치(DMD)와 상이하다.
- [0148] 추가적으로 또는 대안적으로, 제2 미러 어레이(54) 및 광 입사 패싯(75)은 오브젝티브(58)의 오브젝트 필드와 이미지 필드의 오프-축 구역에 개별적으로 배치될 수 있다. 도 25에 도시된 바와 같이, 오브젝티브(58)를 사용하여 오브젝트 축 상에서 텔레센트릭이 아니라 이미지 축 상에서 텔레센트릭인 것이 가능하다. 이는, 오브젝트 축 상의 광학 축(OA)과 각도를 형성하는 주 광선이 그럼에도 불구하고 이미지 축 상의 광학 축(OA)에 평행하다는 것을 의미한다.
- [0149] 9. 오브젝트 영역의 그룹핑
- [0150] 각각의 오브젝트 영역(110)의 마이크로미러(56)의 개수 및 또한 광학 채널( 및 그러므로 광 입사 패싯(75))의 수가 커질 경우, 제 2 미러 어레이(54)의 마이크로미러(56)의 총 수는 막대해질 수 있다. 이러한 막대한 수의 마이크로미러(56)를 포함하는 단일 제2의 미러 어레이(54)를 제공하는 것이 어려울 수 있으므로, 제 2 미러 장치를 다수의 서브 유닛으로 분할하는 것이 예상된다. 더욱 구체적으로, 제2 미러 어레이(54)는 몇 개의 오브젝트 영역의 그룹으로부터 결합될 수 있고, 여기서 이 그룹은 광 입사 패싯 상에 이미징되지 않는 것과 같은 어두운 영역(즉, 투영 광이 발생하지 않는 영역)에 의해 서로로부터 분리된다. 각각의 그룹은 단일 장치, 예컨대, 디지털 미러 장치(DMD)로서 실현될 수 있다.
- [0151] 도 26은 이러한 실시예에 따라 제 2 미러 어레이(54)와 오브젝티브(58)를 통한 개략적인 자오 단면이다. 제 2 미러 어레이(54)는 각각 디지털 미러 장치(DMD)로 실현되는 2개의 그룹(54-1, 54-2)을 포함한다고 가정된다. 각각의 그룹(54-1, 54-2)은 복수의 마이크로미러(56) 위에 연장하는 3개의 오브젝트 영역(110)을 포함한다. 2 개의 그룹(54-1, 54-2)은 어두운 영역(130)에 의해 분리되고, 이 어두운 영역은 흡수성이며 이 영역 상에 투영 광은 동공 형성 유닛(36)에 의해 보내질 수 없다.

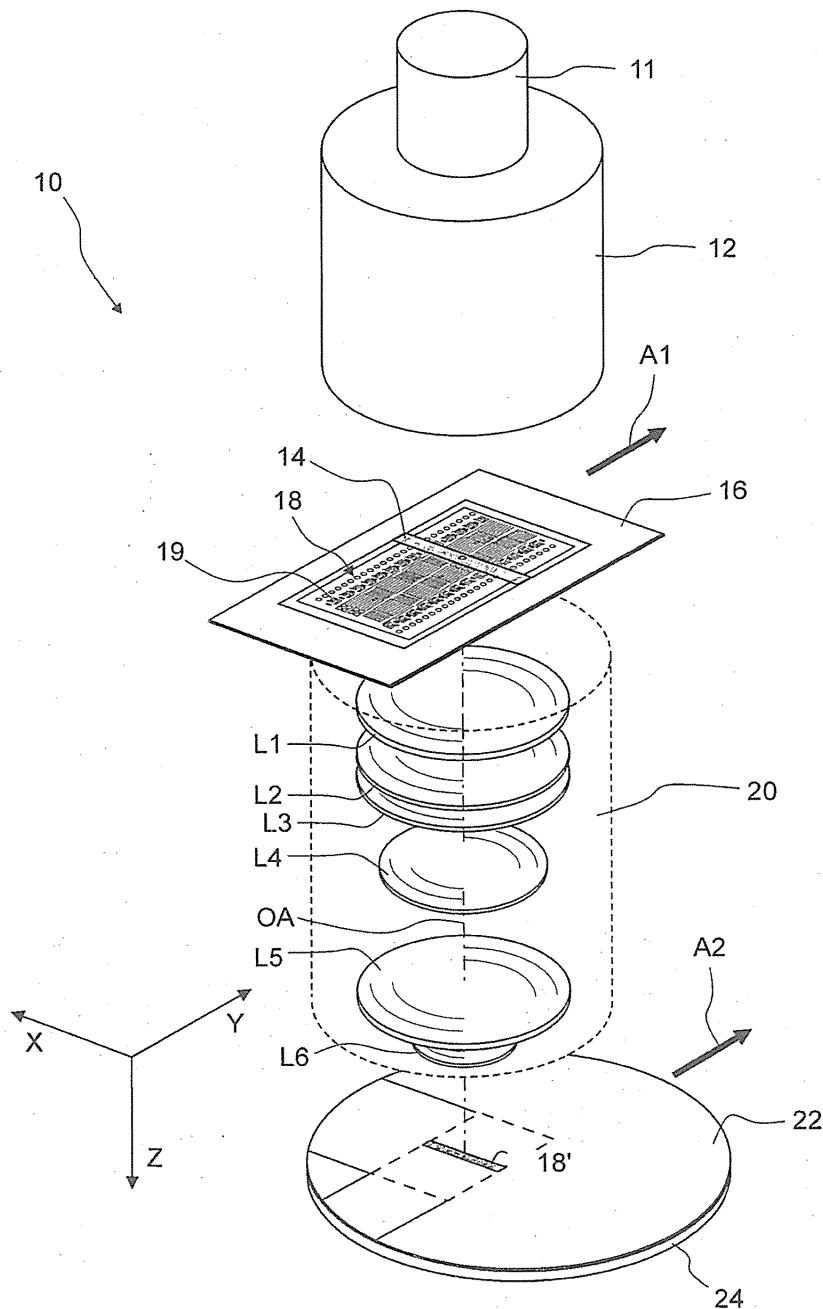
- [0152] 오브젝티브(58)는 오브젝트 영역(110)의 이미지(110')를 결합하여 이들이 광학 적분기(60) 상에서 적어도 실질적으로 끊김 없이(seamlessly) 이웃하도록 구성된다. 각각의 이미지 영역(110')은 광 입사 패싯(75)들 중 하나와 완전히 일치한다. 이를 위하여, 오브젝티브(58)는 렌즈(134)의 제1 어레이의 도움으로 중간 이미지 평면(132)에 오브젝트 영역(110)의 확대된 이미지를 생산한다. 오브젝티브(58)는 중간 이미지 평면(132)에 배치된 제 2 렌즈(136)의 어레이를 더 포함한다. 이로써 공통 이미징 광학기기(138)는 이로써 중간 이미지 평면(134)을 이미징하고, 여기서, 그룹의 확대된 이미지는 광학 적분기(60)의 광 입사 패싯(75) 상에서 먼저 이웃한다. 이런 식으로, 그룹들(54-1, 54-2) 사이의 어두운 영역(130)은 광학 적분기(60) 상에서 오브젝티브(58)에 의해 이미징되지 않는다.
- [0153] 10. 능동형 및 수동형 영역
- [0154] 모든 광 입사 패싯(75) 상의 광 조도 분포가 변경되도록 상당한 수의 마이크로미러(56)를 제공하는 대신에, 전체가 아닌 특정 광 입사 패싯(75) 상의 광 조도 분포를 변경하는 것이 구상될 수 있다.
- [0155] 이러한 접근법은 제 2 미러(54)에 대한 평면도인 도 27에 도시된다. 복수의 마이크로미러(56)를 각각 갖는 적어도 하나의 그리고 바람직하게는 다수의 오브젝트 영역(110)을 포함하는 그룹(54-1 내지 54-6)은 미러 평면(57)내에 배열된다. 또한, 이러한 실시예에서, 각각의 그룹은 디지털 미러 장치(DMD)로서 실현될 수 있다. 오브젝트 영역(110)은 이하에서 능동형 오브젝트 영역으로 지칭된다.
- [0156] 그룹(54-1 내지 54-6)의 외부의 전체 영역은 그룹(54-1 내지 54-6)이 수용되는 개구(142)가 제공되는 평면 반사 표면(140)으로서 구성된다. 반사 표면(140)은 수동형 오브젝트 영역의 결합으로서 형성되는 것으로 고려될 수 있으며, 수동형 오브젝트 영역의 결합은 광 입사 패싯(75) 상에 또한 이미징되어 여기서 공간 광 변조는 불가능하다. 전체 제 2 미러 어레이(54)는 따라서 평면 미러의 효과를 가지고, 여기서 특정 부분(즉, 그룹(54-1 내지 54-6)이 배열되는 부분)의 편향 각은 개별적으로 제어될 수 있다.
- [0157] 이러한 접근법은, 교정 목적으로 모든 광 입사 패싯(75) 상의 조도 분포를 변경하는 것은 통상적으로 필수적인 것이 아니라는 점을 활용한다. 2중극 조명 세팅의 경우의 극 균형의 교정은 예컨대 하나의 극의 조도가 감소되고 다른 하나의 극의 조도 분포는 그대로 남을 수 있는 것을 요한다. 이러한 이유로, 그룹(54-1 내지 54-6)은 광학축(OA)에 관하여 점 대칭으로 배열된다. 극의 임의 배열에 있어서, 극들 중 하나에 의해 조명되는 그룹에 포함된 능동형 오브젝트 영역(110)을 사용하여 필드 의존 방식으로 조도를 감소시키는 것이 가능하다.
- [0158] 이러한 맥락에서, 능동형 오브젝트 영역을 갖는 그룹을 조명하는 극에 더 많은 조명광을 집중시키는 것이 유리할 수 있다. 이러한 극은 조도 및/또는 각도 조도 분포의 원하는 필드 의존 교정을 수행하기 위하여 사용된다. 이러한 교정에 불가피하게 포함된 (비록 작은) 광 손실은 극의 기준의 불균형한 조명을 보상한다.
- [0159] 도 27에서, 이것은 2개의 극(27a, 27b)에 대하여 도시된다. 제 3 그룹(54-3)에 위치된 극(27a)은 수동형 영역(140)의 기타 극(27b)보다 더 밝다.
- [0160] 11. 회절 광학 요소 및 LCD
- [0161] 도 28은 조명 시스템(12)의 대안적인 실시예의 도 3과 유사한 자오 단면이다. 이러한 조명 시스템에서, 동공 형성 유닛(36)은 회절 광학 요소(142), 줌 광학기기(144) 및 한 쌍의 액시콘 요소(146, 148)에 의해 교체된다.
- [0162] 이러한 실시예의 공간 광 변조기(52)는, 광학 동작이 제어 유닛(90)에 의해 개별적으로 제어될 수 있는 극미한 LCD 셀의 제 2원 어레이를 포함하는 LCD 패널에 의해 형성될 수 있다. 광원(11)에 의해 생성된 투영 광이 충분히 편광되지 않을 경우, 추가적인 편광기는 공간인 광 변조기(52)의 앞의 광 경로에 삽입될 수 있다.
- [0163] 물론, 도 3 및 도 28에 도시된 실시예는 또한 상이한 방식으로 결합될 수 있으므로, 예컨대 회절 광학 요소(142)는 공간 광 변조기(52)로서 제 2 미러 어레이(54)와 함께 사용된다.
- [0164] V.
- [0165] 중요한 방법 단계
- [0166] 본 발명의 중요한 방법 단계는 이제 도 29에 도시된 흐름도를 참조하여 요약될 것이다.
- [0167] 제 1 단계(S1)에서, 공간 광 변조기 상의 오브젝트 영역이 완전히 조명된다.
- [0168] 제 2 단계(S2)에서, 오브젝트 영역은 광학 적분기의 광 입사 패싯 상에 이미징된다.

[0169]

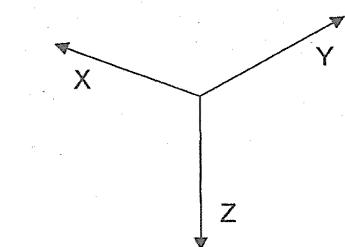
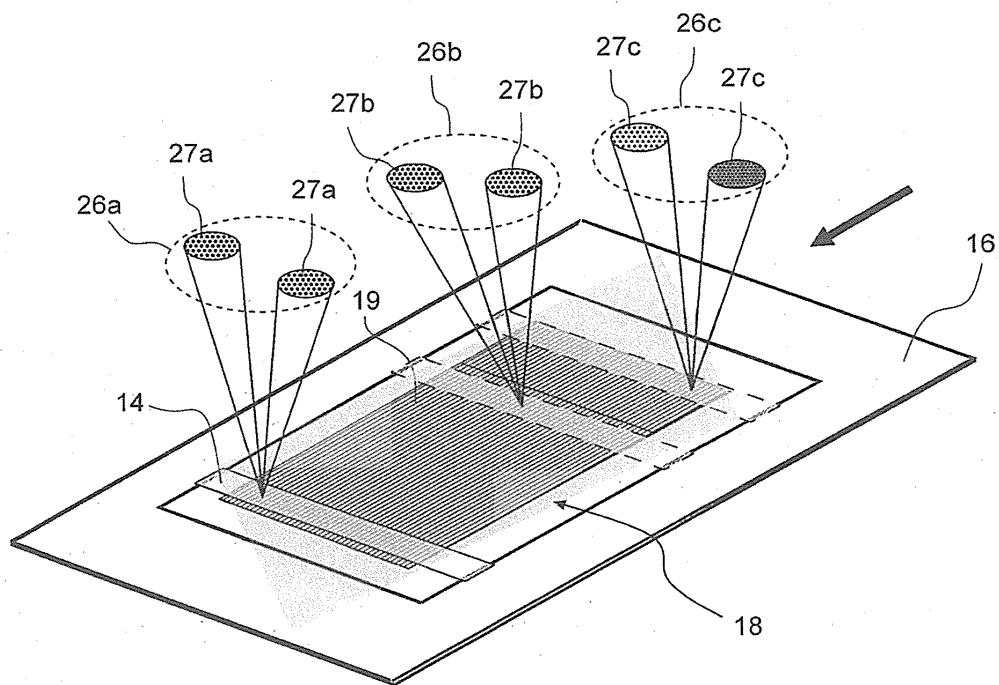
제 3 단계(S3)에서, 오브젝트 영역의 지점과 관련된 모든 광이 광 입사 패킷 상에 충돌하는 것이 방지된다.

## 도면

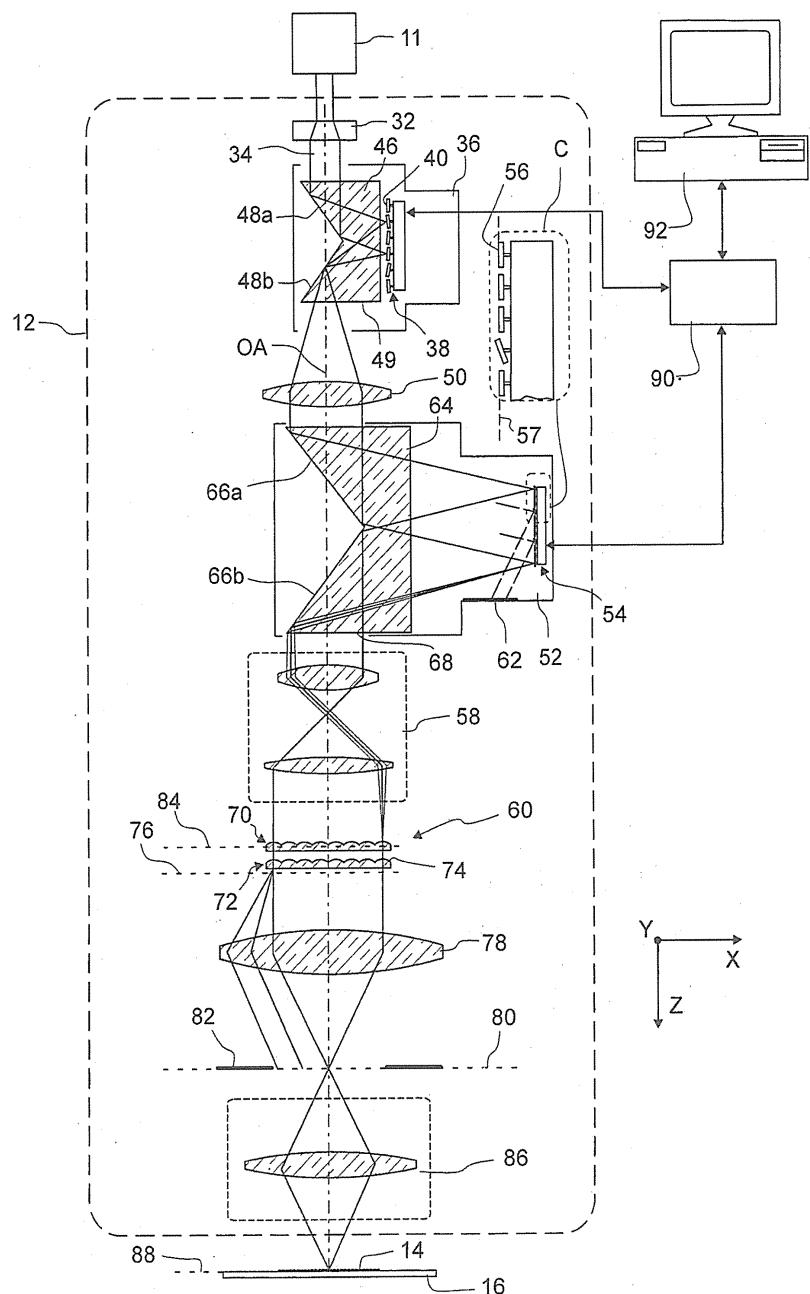
### 도면1



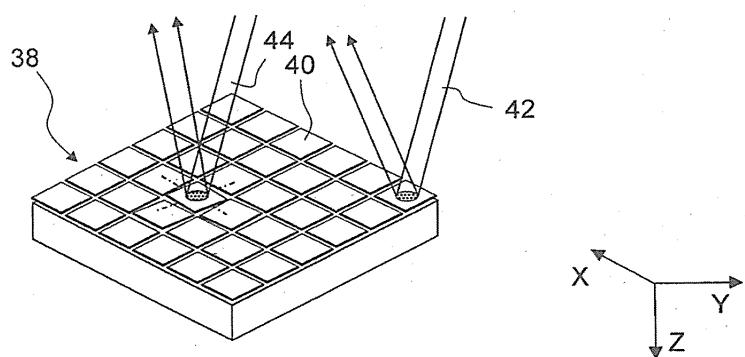
도면2



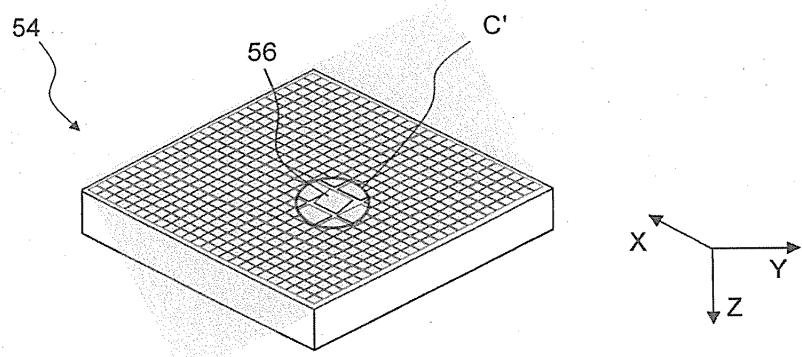
## 도면3



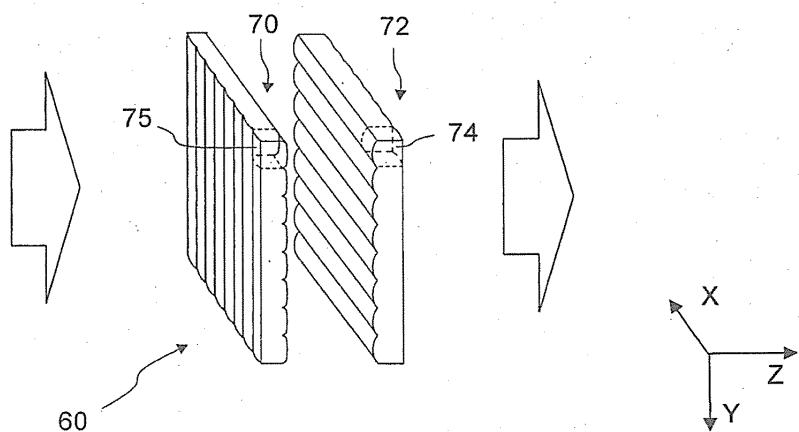
## 도면4



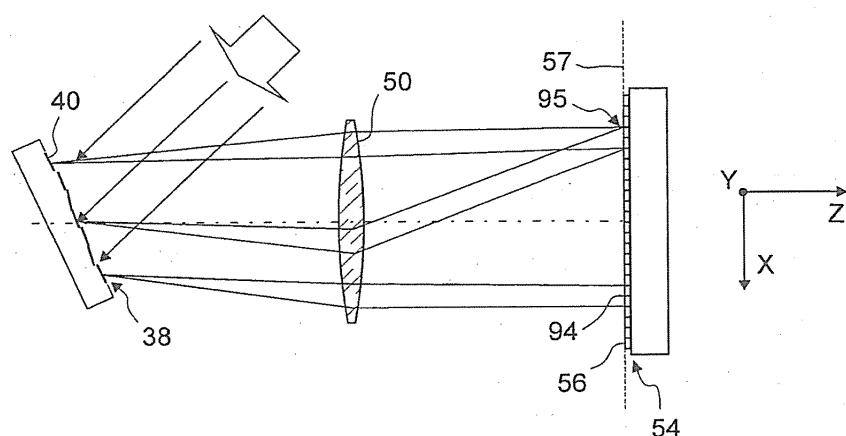
## 도면5



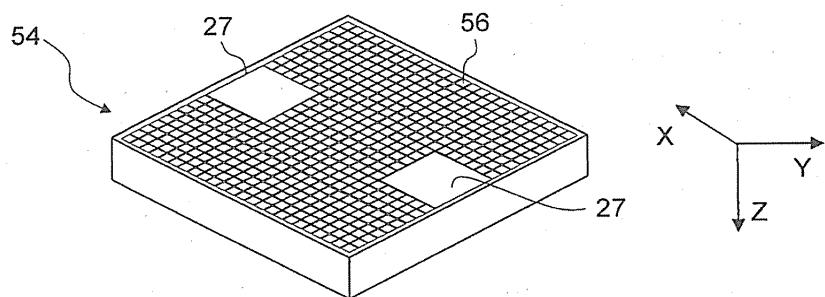
## 도면6



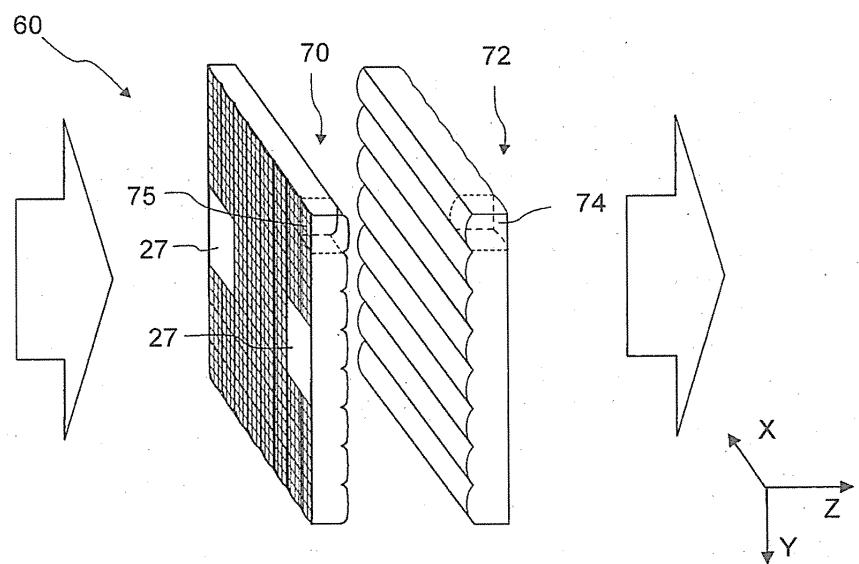
## 도면7



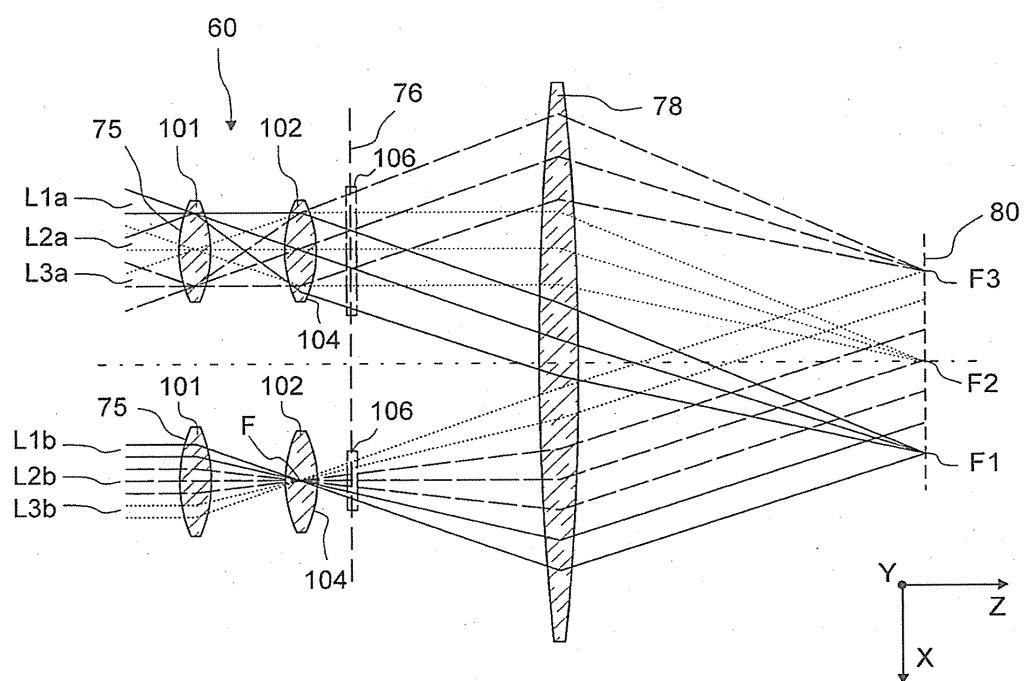
도면8



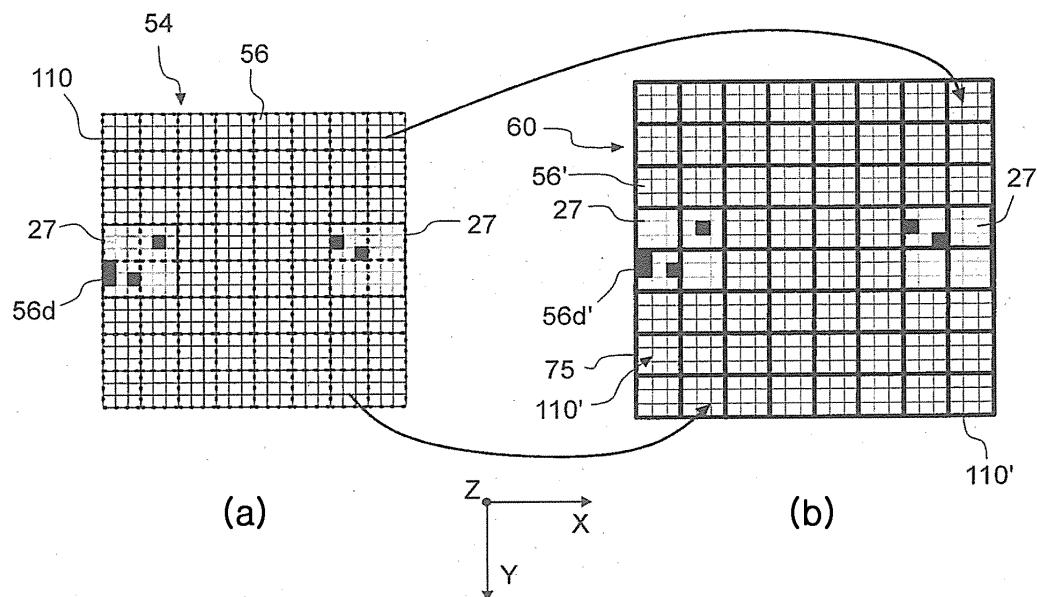
도면9



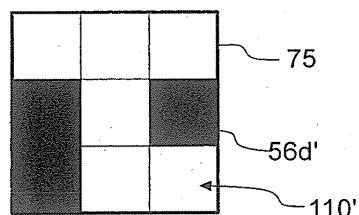
도면10



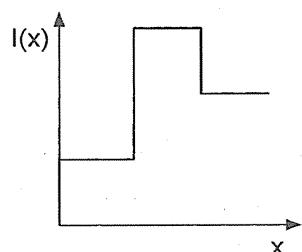
도면11



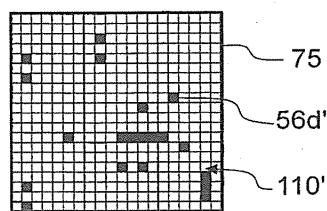
도면12



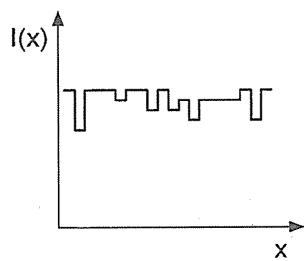
도면13



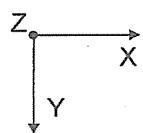
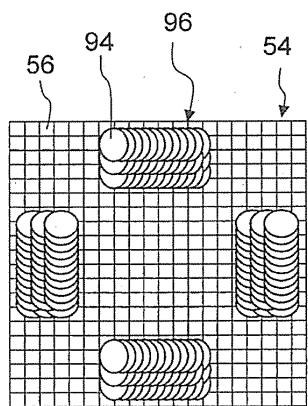
도면14



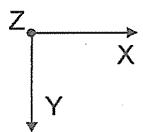
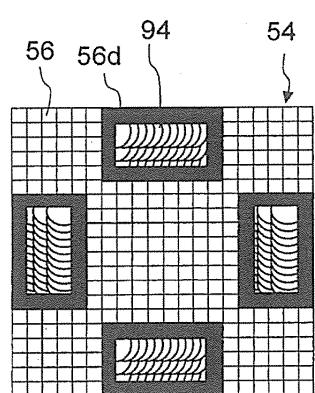
도면15



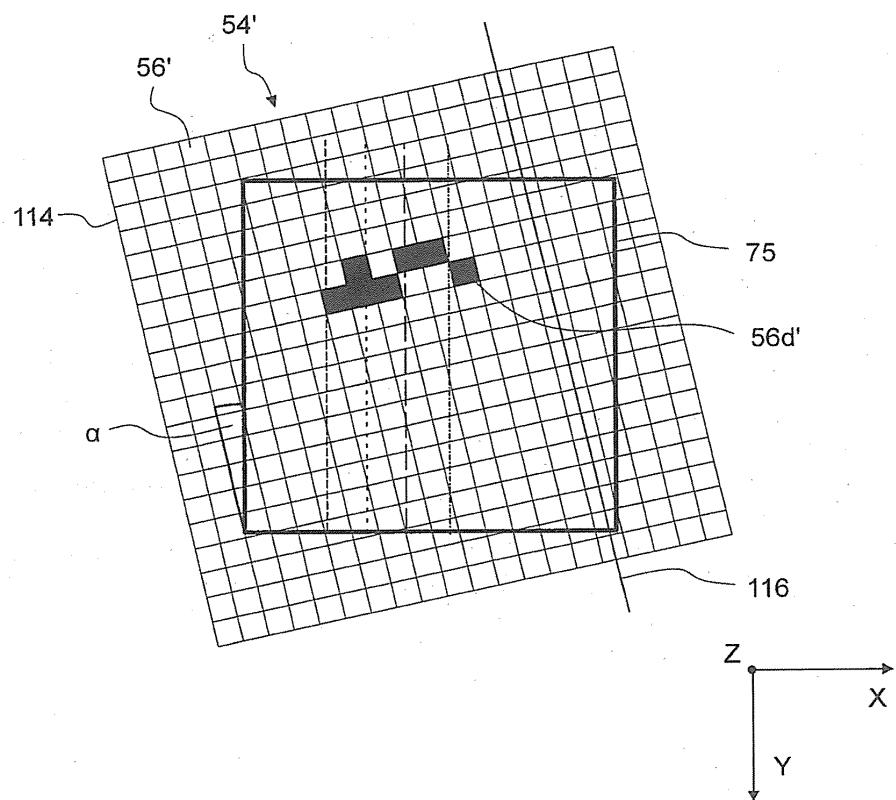
도면16



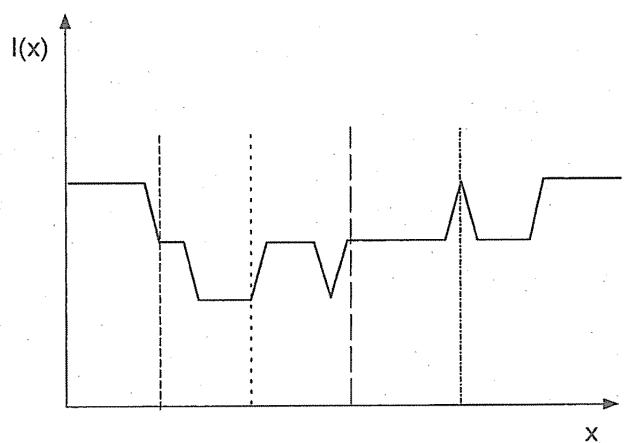
도면17



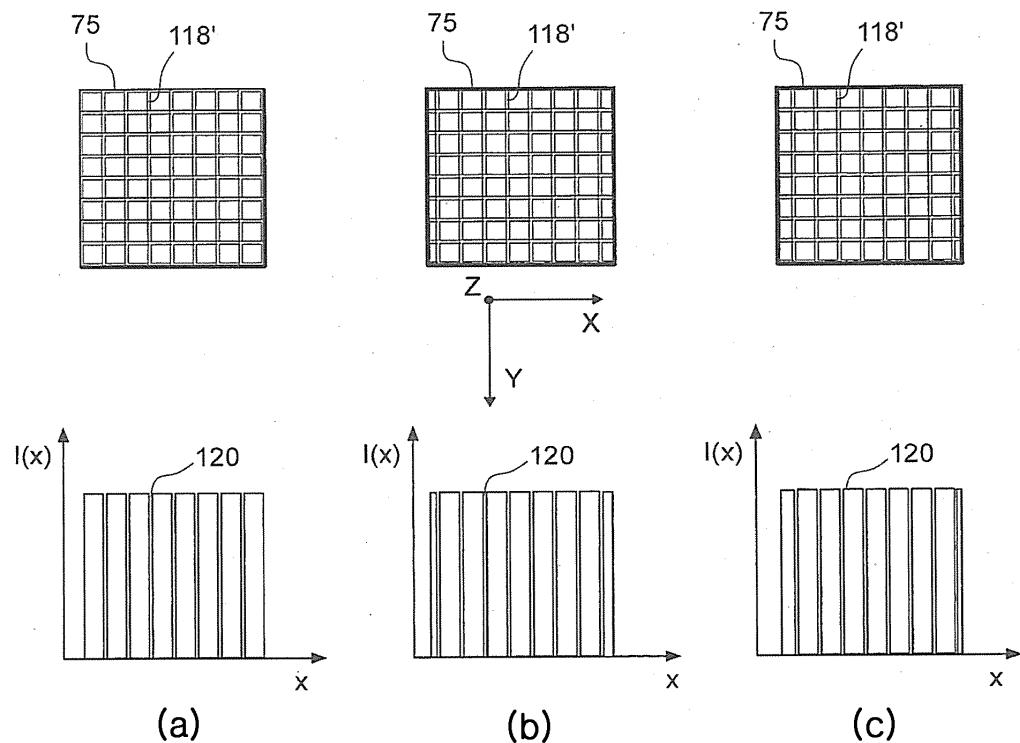
도면18



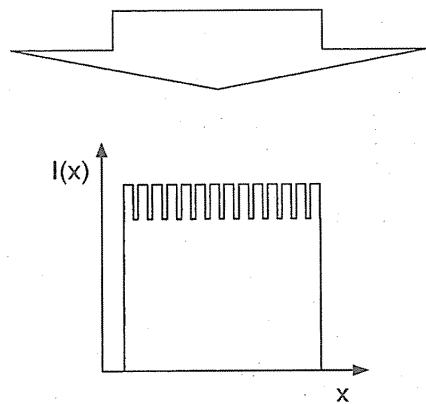
도면19



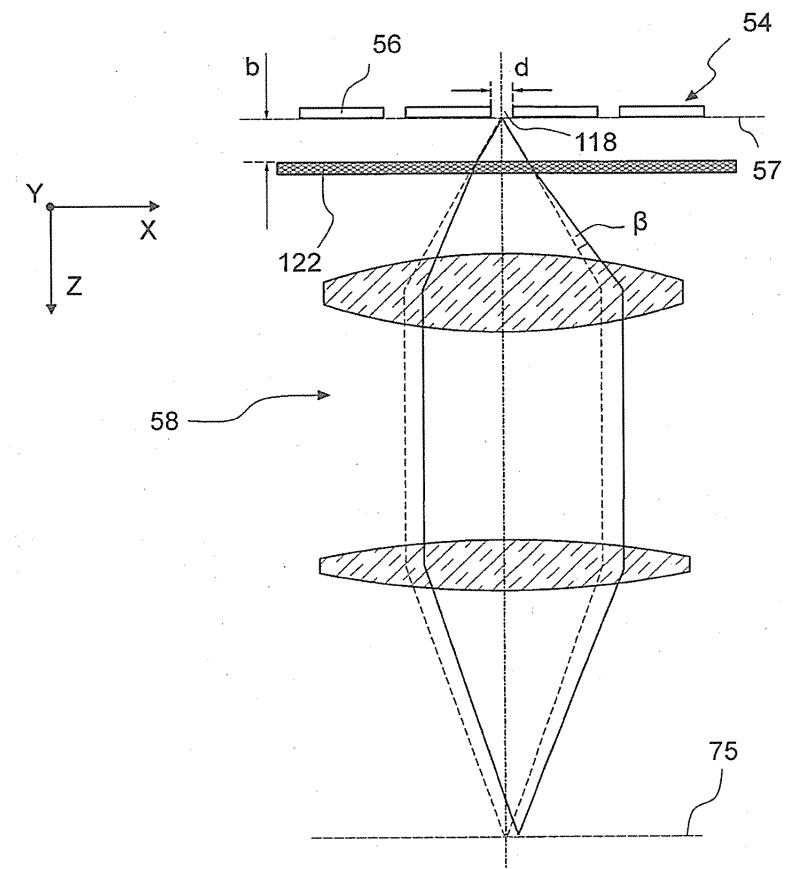
도면20



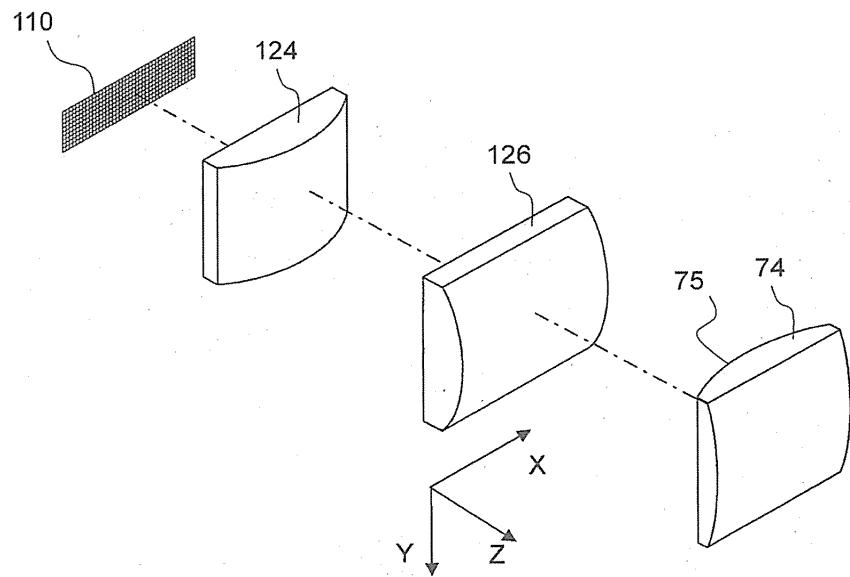
도면21



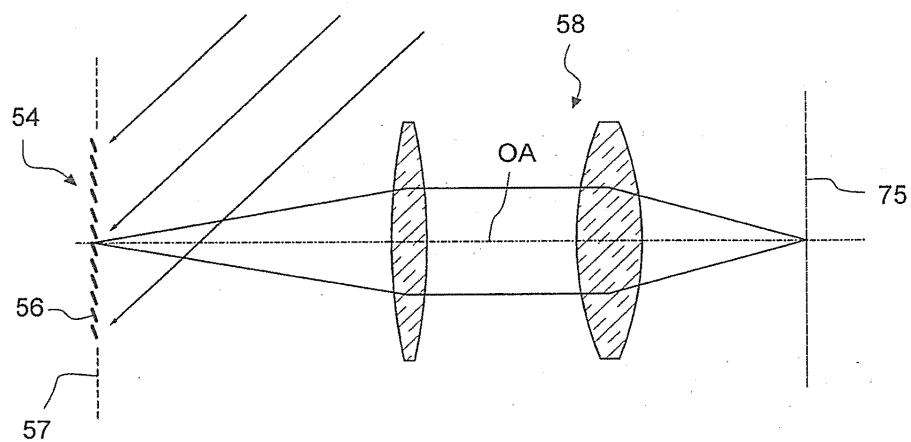
도면22



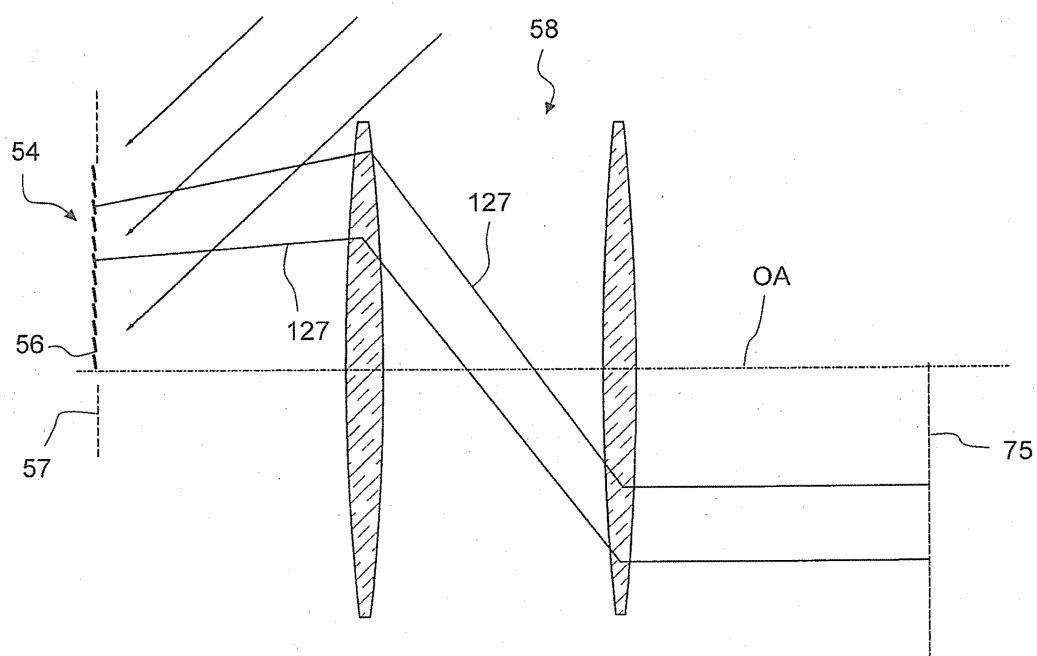
도면23



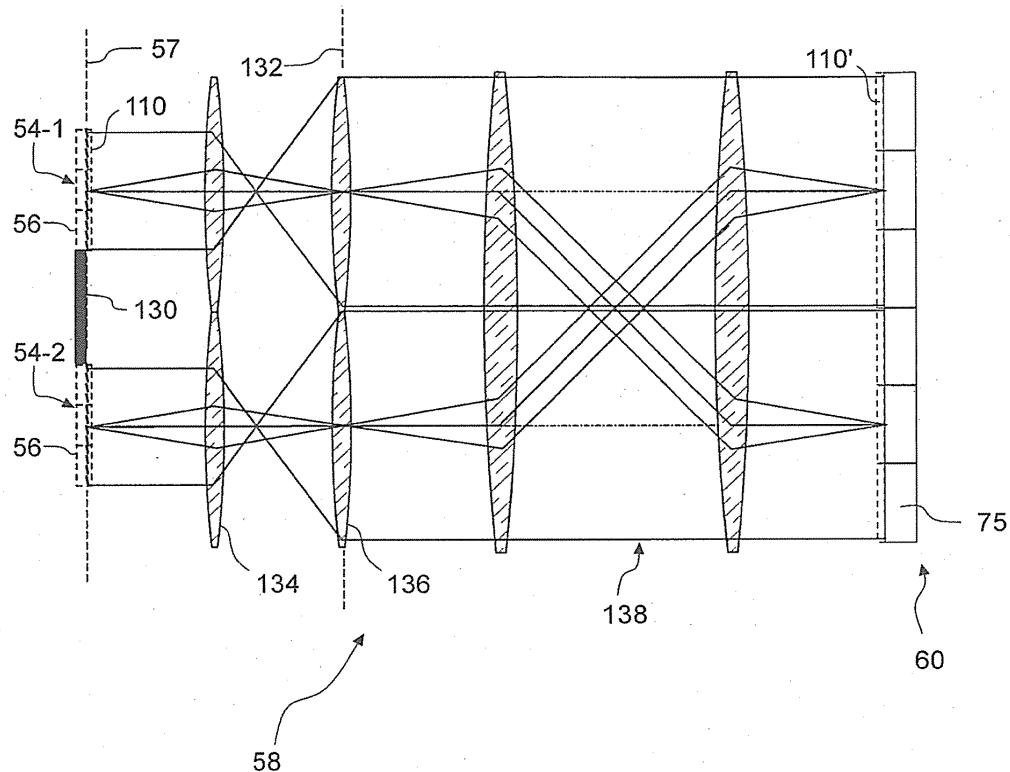
도면24



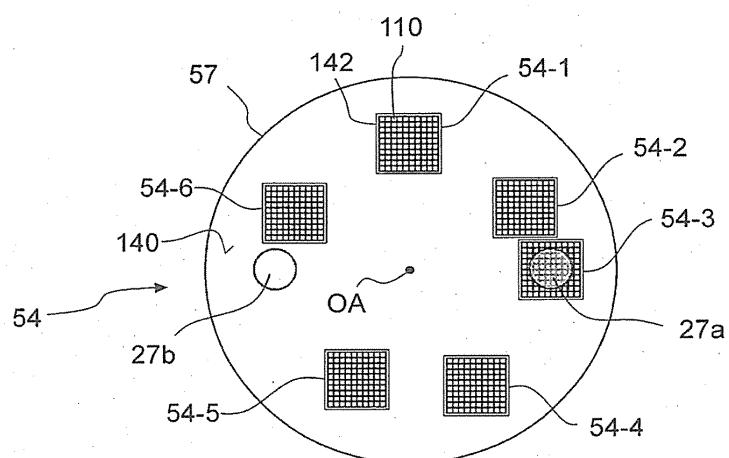
도면25



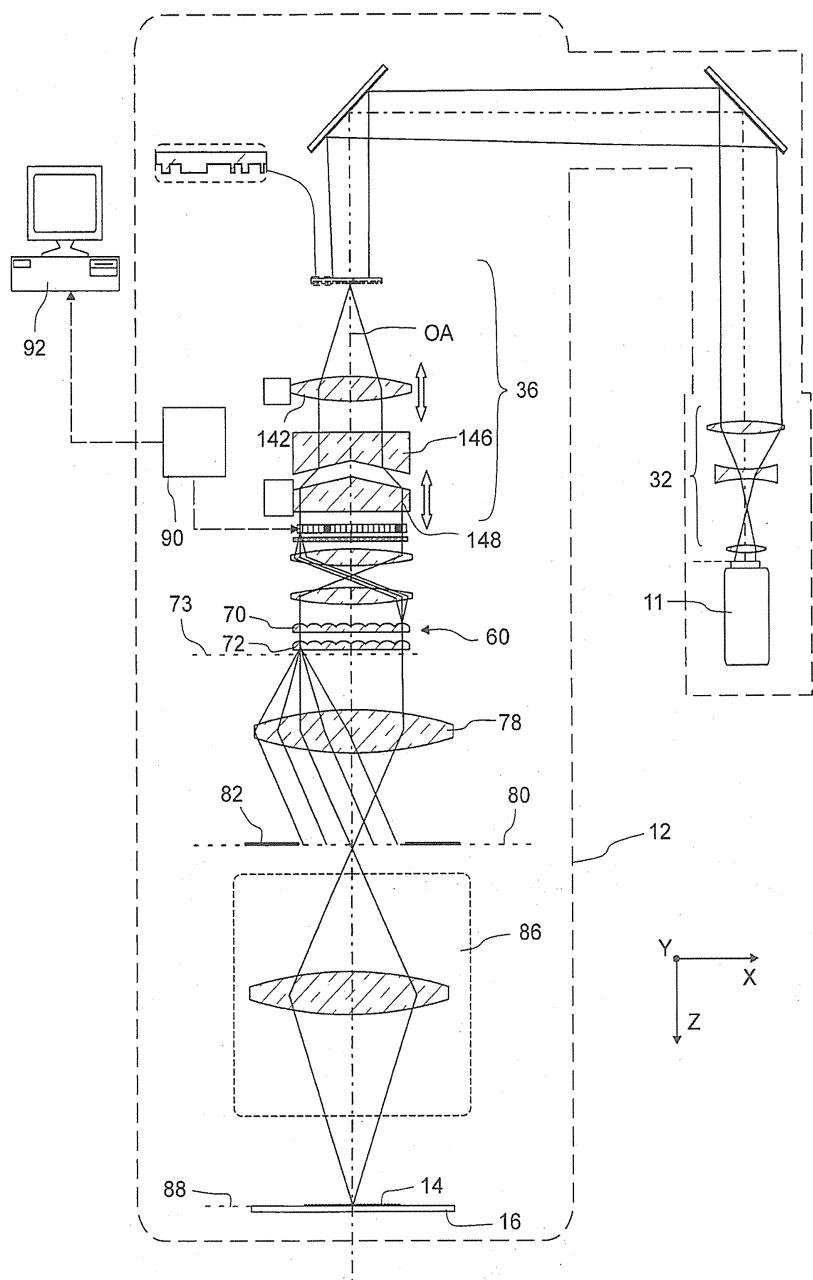
도면26



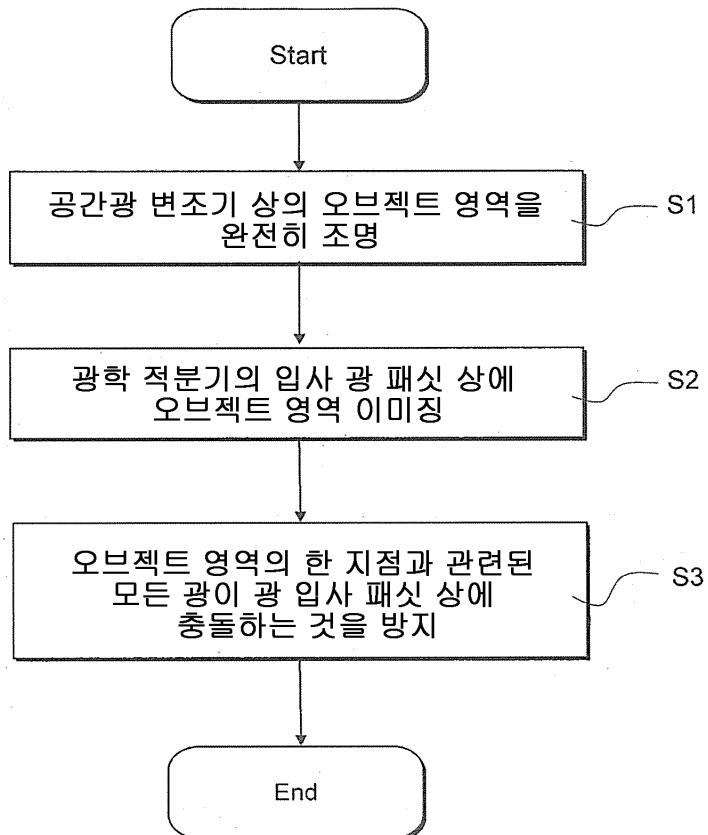
도면27



도면28



## 도면29



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 제1항

【변경전】

광 출사 패싯(75)

【변경후】

광 입사 패싯(75)