

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2022-0170754  
(43) 공개일자 2022년12월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*G03F 7/20* (2006.01) *G01M 11/02* (2019.01)  
*G02B 7/00* (2021.01)  
 (52) CPC특허분류  
*G03F 7/70308* (2013.01)  
*G01M 11/0221* (2013.01)  
 (21) 출원번호 10-2022-0072669  
 (22) 출원일자 2022년06월15일  
 심사청구일자 없음  
 (30) 우선권주장  
 JP-P-2021-104157 2021년06월23일 일본(JP)

(71) 출원인  
 캐논 가부시끼가이샤  
 일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고  
 (72) 발명자  
 스미요시 유헤이  
 일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방  
 2고 캐논 가부시끼가이샤 나이  
 (74) 대리인  
 권태복

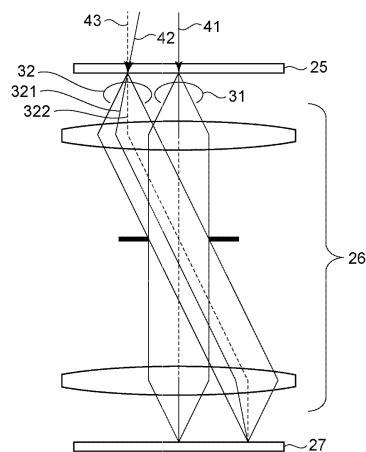
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 노광 장치, 노광 방법 및 물품의 제조 방법

## (57) 요약

패턴이 형성된 원판을 사용해서 기판을 노광하는 노광 장치는, 제1의 파장의 제1조명 광과 상기 제1의 파장과는 다른 제2의 파장의 제2조명 광을 포함하는 조명 광을 상기 원판에 인도하는 조명 광학계와, 상기 조명 광을 사용해서 상기 원판의 패턴 상을 광축방향에 있어서의 복수의 위치에 결상시키는 투영 광학계를 구비한다. 상기 조명 광학계는, 상기 원판에 입사되는 상기 조명 광의 입사각을 변화시킴으로써, 상기 제1조명 광에 의해 결상되는 패턴 상과 상기 제2조명 광에 의해 결상되는 패턴 상 사이의 상기 광축방향에 수직한 방향에 있어서의 위치 편차를 조정하도록 구성된다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

*G01M 11/0264* (2013.01)

*G02B 7/003* (2013.01)

*G03F 7/70466* (2013.01)

*H01L 27/1463* (2013.01)

*H01L 27/14687* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

패턴이 형성된 원판을 사용해서 기판을 노광하는 노광 장치로서,

제1의 파장의 제1조명 광과 상기 제1의 파장과는 다른 제2의 파장의 제2조명 광을 포함하는 조명 광을 상기 원판에 인도하는 조명 광학계; 및

상기 조명 광을 사용해서 상기 원판의 패턴 상을 투영 광학계의 광축방향에 있어서의 복수의 위치에 결상시키는 상기 투영 광학계를 포함하고,

상기 조명 광학계는, 상기 원판에 입사되는 상기 조명 광의 입사각을 변화시킴으로써, 상기 제1조명 광에 의해 결상되는 패턴 상과 상기 제2조명 광에 의해 결상되는 패턴 상 사이의 상기 광축방향에 수직한 방향에 있어서의 위치 편차를 조정하도록 구성되는, 노광 장치.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 조명 광학계는, 상기 투영 광학계의 광학특성에 따라 상기 입사각을 변화시키도록 구성되는, 노광 장치.

#### 청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 광학특성은 배율 색수차인, 노광 장치.

#### 청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 광학특성은 코마 수차인, 노광 장치.

#### 청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 입사각은, 상기 투영 광학계의 배율 색수차에 기인한 위치 편차를 저감시키도록 변화되는, 노광 장치.

#### 청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 입사각은, 상기 투영 광학계의 코마 수차에 기인한 위치 편차를 저감시키도록 변화되는, 노광 장치.

#### 청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 패턴은 라인 앤드 스페이스 패턴이고, 상기 위치 편차는 상기 패턴의 배열 방향으로 생기는 위치 편차인, 노광 장치.

#### 청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 입사각은, 상기 조명 광학계에 구비된 광학소자의 위치를 변화시킴으로써 제어되는, 노광 장치.

#### 청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 투영 광학계에는 개구조리개가 구비되고, 해당 개구조리개의 위치와 개구지름의 크기의 적어도 한쪽을 변화시킴으로써, 상기 기관에 조사되는 광의 입사각이 변화되는, 노광 장치.

#### 청구항 10

제 1 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1조명 광 및 상기 제2조명 광은 각각, 광원으로부터 발진되는 기준파장의 광으로부터 파장을 어긋나게 한 광인, 노광 장치.

#### 청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 패턴의 형상에 따라, 상기 제1조명 광의 파장 및 상기 제2조명 광의 파장이 결정되는, 노광 장치.

#### 청구항 12

패턴이 형성된 원판을 사용해서 기관을 노광하는 노광 장치이며, 기준파장의 조명 광을 사용해서 노광을 행하는 제1모드와, 상기 기준파장과는 다른 제1의 파장의 제1조명 광과, 상기 기준파장 또는 상기 제1의 파장과는 다른 제2의 파장의 제2조명 광을 포함하는 조명 광을 사용해서 노광을 행하는 제2모드를 전환가능한 노광 장치로서,

상기 제1모드에 있어서 상기 원판에 입사하는 상기 기준 파장을 가지는 상기 조명 광의 입사각과, 상기 제2모드에 있어서 상기 원판에 입사하는 상기 제2조명 광의 입사각을, 다르게 하도록 구성되는, 노광 장치.

#### 청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 제2모드에 있어서 상기 제2조명 광의 입사각을 변화시킴으로써, 상기 제1모드에 있어서 상기 원판에 입사하는 상기 기준 파장을 가지는 상기 조명 광의 상기 입사각과, 상기 제2모드에 있어서 상기 원판에 입사하는 상기 제2조명 광의 상기 입사각을, 다르게 하는, 노광 장치.

#### 청구항 14

패턴이 형성된 원판을 사용해서 기관을 노광하는 노광 방법으로서,

제1의 파장의 제1조명 광과 상기 제1의 파장과는 다른 제2의 파장의 제2조명 광을 포함하는 조명 광을 상기 원

판에 조명하는 단계;

상기 조명 광을 사용해서 상기 원판의 패턴 상을 투영 광학계의 광축방향에 있어서의 복수의 위치에 결상시키는 단계; 및

상기 제1조명 광에 의해 결상되는 패턴 상과 상기 제2조명 광에 의해 결상되는 패턴 상 사이의 상기 광축방향에 수직한 방향에 있어서의 위치 편차를 저감하도록, 상기 원판에 입사되는 조명 광의 입사각을 조정하는 단계를 포함하는, 노광 방법.

## 청구항 15

반도체 장치의 제조 방법으로서,

청구항 14에 따른 노광 방법을 사용하여, 기판에 홈을 형성하는 제1형성 단계; 및 상기 홈내에 화소분리부를 형성하는 제2형성 단계를, 포함하는 제조 방법.

## 청구항 16

컴퓨터상에서 동작할 때, 상기 컴퓨터로 하여금 노광 장치를 제어하여 청구항 14의 노광 방법을 실시하게 하는, 매체에 저장된, 컴퓨터 프로그램.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은, 노광 장치, 노광 방법 및 물품의 제조 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 반도체 디바이스 등의 물품의 제조에 노광 장치가 사용된다. 이 노광 장치는, 원판(레티클 또는 마스크)을 조명 광학계로 조명하고, 투영 광학계를 통해 원판의 패턴을 기판에 투영해서 기판을 노광한다. 노광 장치에 있어서, 기판 위에 배치된 레지스트에 원판의 패턴 상(image)이 형성되고, 그 후 에칭 처리 등이 실시되고, 그 결과로 기판 위에 원하는 패턴이 형성된다.

[0003] 기판 위에 형성되는 패턴에 따라서 사용된 레지스트의 두께가 다르고, 사용된 레지스트 막의 두께가 두꺼운 프로세스를 후막 프로세스라고 하기도 한다. 이 후막 프로세스에 있어서는, 레지스트에 패턴 상을 고정밀도로 형성하기 위해서, 노광 장치에 포함된 투영 광학계의 초점심도를 확대하는 것이 요청된다.

[0004] 일본특허공개 소 64-077123호 공보에는, 엑시머 레이저 등의 광원을 상이한 2개의 파장으로 발진시킴으로써, 광원의 파장을 시간적으로 2개로 분할해서 노광을 행하는 다파장 노광에 관한 내용이 개시되어 있다. 투영 광학계의 축상 색수차의 영향에 의해 투영 광학계의 광축방향의 다른 위치에 패턴을 결상시킬 수 있다.

[0005] 일본특허공개 소 64-077123호 공보에 있어서의 투영 광학계에는 축상 색수차뿐만 아니라 배율 색수차도 잔존하고 있다. 축외 영역에서는, 2개의 상이한 파장의 광선에 의해 광축방향과 수직한 방향으로 어긋난 위치에 패턴 상이 결상될 수 있다. 이에 따라, 레지스트에 형성된 패턴 상에 기울기가 생기고, 결과로서 패턴 형성 정밀도의 저하를 초래할 우려가 있다.

### 발명의 내용

[0006] 본 발명의 일 실시 형태에 따른 노광 장치는, 패턴이 형성된 원판을 사용해서 기판을 노광한다. 이 노광 장치는, 제1의 파장의 제1조명 광과 상기 제1의 파장과는 다른 제2의 파장의 제2조명 광을 포함하는 조명 광을 상기 원판에 인도하는 조명 광학계와, 투영 광학계이며, 상기 조명 광을 사용해서 상기 원판의 패턴 상을 상기 투영 광학계의 광축방향에 있어서의 복수의 위치에 결상시키는 투영 광학계를 구비한다. 상기 조명 광학계는, 상기 원판에 입사되는 상기 조명 광의 입사각을 변화시킴으로써, 상기 제1조명 광에 의해 결상되는 패턴 상과 상기 제2조명 광에 의해 결상되는 패턴 상 사이의 상기 광축방향에 수직한 방향에 있어서의 위치 편차를 조정하

도록 구성된다.

- [0007] 본 발명의 다른 실시 형태에서는, 패턴이 형성된 원판을 사용해서 기판을 노광하는 노광 방법을 제공하되, 이 방법은, 제1의 파장의 제1조명 광과 상기 제1의 파장과는 다른 제2의 파장의 제2조명 광을 포함하는 조명 광을 상기 원판에 조명하는 단계; 상기 조명 광을 사용해서 상기 원판의 패턴 상을 투영 광학계의 광축방향에 있어서의 복수의 위치에 결상시키는 단계; 및 상기 제1조명 광에 의해 결상되는 패턴 상과 상기 제2조명 광에 의해 결상되는 패턴 상 사이의 상기 광축방향에 수직한 방향에 있어서의 위치 편차를 저감하도록, 상기 원판에 입사되는 조명 광의 입사각을 조정하는 단계를 포함한다.
- [0008] 본 발명의 다른 실시 형태에서는, 컴퓨터상에서 동작할 때, 상기 컴퓨터로 하여금 노광 장치를 제어하여 상기 노광 방법을 실시하게 하는, 매체에 저장된, 컴퓨터 프로그램을 제공한다.
- [0009] 본 발명의 추가의 특징들은, 첨부도면을 참조하여 이하의 실시 형태들의 설명으로부터 명백해질 것이다.

## 도면의 간단한 설명

- [0010] 도1a 및 1b는 노광 장치의 구성을 도시한 도면이다.
- 도2는 투영 광학계의 단면을 모식적으로 도시한 도면이다.
- 도3은 패턴 상 사이의 위치 편차를 도시한 도면이다.
- 도4는 텔레센트리시티 조정 전후의 주 광선의 광로를 도시한 도면이다.
- 도5a 내지 5c는 패턴 상의 기울기를 각기 도시한 도면이다.
- 도6은 조명 광속의 기울기와 패턴 상의 기울기와의 관계를 도시한 그래프다.
- 도7a 내지 7c는 투영 광학계의 동공면에 있어서의 광강도 분포를 각기 도시한 도면이다.
- 도8a 내지 8c는 조명 광속의 텔레센트리시티 조정의 방법을 각기 도시한 도면이다.
- 도9는 개구 조리개의 조정 전후의 주 광선의 광로를 도시한 도면이다.
- 도10a 내지 10d는 패턴 상의 기울기를 각기 도시한 도면이다.
- 도11은 조명 광속의 기울기와 패턴 상의 기울기와의 관계를 도시한 그래프다.
- 도12는 반도체장치의 제조 공정을 도시한 도면이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 이하, 첨부 도면을 참조해서 실시 형태를 상세하게 설명한다. 또한, 이하의 실시 형태는 청구항에 따른 발명을 한정하려는 것이 아니다. 각 실시 형태에는 복수의 특징이 기재되어 있지만, 이것들의 복수의 특징의 모두가 발명에 필수적인 것은 아니고, 그 복수의 특징은 임의의 조합에 사용되어도 좋다. 첨부 도면에 있어서는, 동일 혹은 유사한 구성요소에 동일한 참조 번호를 첨부하고, 반복된 설명은 생략한다.
- [0012] 도1a는, 본 발명의 일 측면인 노광 장치(100)의 구성을 도시한 도면이다. 도1b는, 노광 장치(100)의 개략 단면도다. 노광 장치(100)는, 반도체장치등의 제조 공정에 사용되고, 기판 위에 패턴을 형성하는 리소그래피 장치다. 노광 장치(100)는, 본 실시 형태에서는, 원판(25)과 기판(27)을 주사 방향으로 이동시키면서 기판(27)을 노광(주사 노광)하여서, 원판(25)의 패턴을 기판(27) 위에 전사하는 스텝 앤드 스캔 방식의 노광 장치(스캐너)이다. 단, 노광 장치(100)는, 스텝 앤드 리프트 방식이나 그 밖의 노광 방식을 채용하는 것도 가능하다.
- [0013] 노광 장치(100)는, 도1a 및 1b에 도시된 바와 같이, 광원(1)으로부터의 광으로 원판(25)(레티클 또는 마스크)을 조명하는 조명 광학계(110)와, 원판(25)의 패턴을 기판(27)(웨이퍼나 유리 플레이트등)에 투영하는 투영 광학계(26)를 구비한다. 노광 장치(100)는, 원판 스테이지(29)와, 기판 스테이지(28)와, 제어부(50)를 구비한다. 기판 스테이지(28)는, 기판면내에서 서로 직교하는 제1방향 및 제2방향으로 이동하는 기능을 가진다. 본 실시 형태에서는, 기판 스테이지(28)를 기준으로, 도1a 및 1b에 도시된 바와 같이, 제1방향을 y방향(y축), 제2방향을 x방향(X축), 제1방향 및 제2방향에 직교하는 방향을 z방향(z축)이라고 하는 좌표계를 정의한다. z방향은, 투영 광학계(26)의 광축방향에 해당하는 방향이다.
- [0014] 광원(1)은, 파장 약 365 nm의 수은 램프나, 파장 약 248 nm의 KrF 엑시머 레이저, 파장 약 193 nm의 Ar

F 엑시머 레이저등의 엑시머 레이저등을 구비한다. 광원(1)은, 원판(25)을 조명하기 위한 광(노광 광)을 사출한다.

[0015] 조명 광학계(110)는, 릴레이 광학계(2)와, 사출각도 보존 광학소자(5)와, 회절광학 소자(6)와, 콘덴서 렌즈(7)와, 차광 부재(8)와, 프리즘 유닛(10)과, 줌렌즈 유닛(11)을 구비한다. 조명 광학계(110)는, 옵티컬 인티그레이터(12)와, 조리개(13)와, 콘덴서 렌즈 15와, 차광 유닛(19)과, 마스크 유닛(20)과, 콘덴서 렌즈 21과, 콜리메이터 렌즈(23)를 더 구비한다.

[0016] 릴레이 광학계(2)는, 광원(1)과 사출각도 보존 광학소자(5)와의 사이에 설치되어 있다. 릴레이 광학계(2)는, 광원(1)으로부터의 광을 사출각도 보존 광학소자(5)에 이끈다. 사출각도 보존 광학소자(5)는, 회절광학 소자(6)의 광원측에 설치되어 있다. 사출각도 보존 광학소자(5)는, 플라이 아이 렌즈, 마이크로렌즈 어레이, 파이버 다발 등의 옵티컬 인티그레이터를 구비한다. 사출각도 보존 광학소자(5)는, 광원(1)으로부터의 광을, 그 발산 각도를 일정하게 유지하면서 회절광학 소자(6)에 이끈다. 사출각도 보존 광학소자(5)는, 광원(1)의 출력 변동이 회절광학 소자(6)에 의해 형성되는 광강도 분포(패턴 분포)에 끼치는 영향을 저감한다.

[0017] 회절광학 소자(6)는, 조명 광학계(110)의 동공면(14)과 푸리에 변환의 관계에 있는 면에 배치되어 있다. 회절광학 소자(6)는, 투영 광학계(26)의 동공면과 공역한 면인 조명 광학계(110)의 동공면(14)이나, 조명 광학계(110)의 동공면(14)과 공역한 면에, 광원(1)으로부터의 광의 광강도 분포를 회절 작용에 의해 변환해서 원하는 광강도 분포를 형성한다. 회절광학 소자(6)는, 회절 패턴면에 원하는 회절 패턴이 얻어지도록 계산기로 설계된 계산기 홀로그램(CGH: Computer Generated Hologram)으로 구성되어 있어도 좋다. 본 실시 형태에서는, 투영 광학계(26)의 동공면에 형성되는 광원형상을 유효광원형상이라고 칭한다. 「유효광원」이란, 피조명면 및 피조명면의 공역면에 있어서의 광강도 분포 또는 광각도 분포를 의미한다. 회절광학 소자(6)는, 사출각도 보존 광학소자(5)와 콘덴서 렌즈(7)와의 사이에 설치되어 있다.

[0018] 조명 광학계(110)에는, 복수의 회절광학 소자(6)가 설치되어도 좋다. 예를 들면, 복수의 회절광학 소자(6)의 각각은 터릿(미도시됨)의 복수의 슬롯 중 하나에 부착되어 있다. 이 복수의 회절광학 소자(6)는, 각각, 상이한 유효광원형상을 형성한다. 이것들의 유효광원형상은, 소원형 형상(비교적 작은 원형형상), 대원형 형상(비교적 큰 원형형상), 윤대(annular) 형상, 2중극 형상, 4중극 형상, 그 밖의 형상을 구비한다. 윤대 형상, 2중극 형상 또는 4중극 형상의 유효광원형상으로 피조명면을 조명하는 방법은, 변형 조명이라고 불린다.

[0019] 사출각도 보존 광학소자(5)로부터의 광은, 회절광학 소자(6)에 의해 회절되어, 콘덴서 렌즈(7)에 인도된다. 콘덴서 렌즈(7)는, 회절광학 소자(6)와 프리즘 유닛(10)과의 사이에 설치되고, 회절광학 소자(6)에 의해 회절된 광을 집광하고, 푸리에 변환면(9)에 분포 패턴(광강도 분포)을 형성한다.

[0020] 푸리에 변환면(9)은, 옵티컬 인티그레이터(12)와 회절광학 소자(6)와의 사이에 있고, 회절광학 소자(6)와 광학적으로 푸리에 변환의 관계에 있는 면이다. 조명 광학계(110)의 광로에 배치되는 회절광학 소자(6)를 교환함으로써, 푸리에 변환면(9)에 형성되는 상기 분포 패턴의 형상을 변경할 수 있다.

[0021] 차광 부재(8)는, 조명 광학계(110)의 광축(1b)과 수직한 방향으로 이동가능하게 구성되고, 푸리에 변환면(9)의 상류측(광원측)에 배치되어 있다. 차광 부재(8)는, 푸리에 변환면(9)의 위치로부터 약간 이격된(디포커스된) 위치에 배치되어 있다.

[0022] 프리즘 유닛(10) 및 줌렌즈 유닛(11)은, 푸리에 변환면(9)과 옵티컬 인티그레이터(12)와의 사이에 설치되어 있다. 프리즘 유닛(10) 및 줌렌즈 유닛(11)은, 푸리에 변환면(9)에 형성된 광강도 분포를 확대하는 줌 광학계로서 기능한다. 프리즘 유닛(10)은, 푸리에 변환면(9)에 형성된 광강도 분포를, 윤대울 등을 조정하여 줌렌즈 유닛(11)에 이끈다. 줌렌즈 유닛(11)은, 프리즘 유닛(10)과 옵티컬 인티그레이터(12)와의 사이에 설치되어 있다. 줌렌즈 유닛(11)은, 예를 들면, 복수의 줌렌즈를 구비한다. 줌렌즈 유닛(11)은, 푸리에 변환면(9)에 형성된 광강도 분포를, 조명 광학계(110)의 개구수(NA)와 투영 광학계(26)의 NA와의 비를 기준으로 하여 얻어진  $\sigma$  값을 조정하여 옵티컬 인티그레이터(12)에 이끈다.

[0023] 옵티컬 인티그레이터(12)는, 줌렌즈 유닛(11)과 콘덴서 렌즈(15)와의 사이에 설치되어 있다. 옵티컬 인티그레이터(12)는, 윤대울, 개구각 및  $\sigma$  값이 조정된 광강도 분포에 따라, 다수의 2차 광원을 형성하여 콘덴서 렌즈(15)에 이끄는 플라이 아이 렌즈를 구비한다. 단, 옵티컬 인티그레이터(12)는, 플라이 아이 렌즈 대신에, 옵티컬 파이프, 회절광학 소자, 마이크로렌즈 어레이 등의 다른 광학소자를 구비하여도 좋다. 옵티컬 인티그레이터(12)는, 회절광학 소자(6)를 경과한 광으로 피조명면(24)에 배치된 원판(25)을 균일하게 조명한다. 옵티컬 인티그레이터(12)와 콘덴서 렌즈(15)와의 사이에 있어서, 조명 광학계(110)의 동공면(14)의 근방에는, 조리개(13)가



설치되어 있다.

- [0024] 콘텐츠 렌즈(15)는, 옵티컬 인티그레이터(12)와 원판(25)과의 사이에 설치되어 있다. 이에 따라, 콘텐츠 렌즈(15)는, 옵티컬 인티그레이터(12)로부터 이끌어인 다수의 광선을 집광하여 원판(25)을 중첩적으로 조명할 수 있다. 광선을 옵티컬 인티그레이터(12)에 입사하여 콘텐츠 렌즈(15)에 의해 집광하면, 콘텐츠 렌즈(15)의 초점면인 공역면(20a)은, 거의 직사각형 형상으로 조명된다.
- [0025] 콘텐츠 렌즈(15)의 후방에는, 하프 미러(16)가 배치되어 있다. 하프 미러(16)에서 반사된 노광 광의 일부는, 광량측정 광학계(17)에 입사한다. 광량측정 광학계(17)의 후방에는, 광량을 측정하는 센서(18)가 배치되어 있다. 센서(18)로 측정된 광량에 따라, 노광 실행시의 광 노광이 적절히 제어된다.
- [0026] 피조명면(24)과 공역면 면인 공역면(20a)에는, X블레이드와 Y블레이드를 구비하는 마스크 유닛(20)이 배치되고, 거의 직사각형 광강도 분포로 조명된다. 마스크 유닛(20)은, 원판(25)(피조명면 24)의 조명 범위를 확장하기 위해서 배치되고, 원판 스테이지(29) 및 기판 스테이지(28)에 동기하여 주사된다. 원판 스테이지(29)는, 원판(25)을 보유하면서 이동하는 스테이지다. 기판 스테이지(28)는, 기판(27)을 보유하면서 이동하는 스테이지다.
- [0027] 차광 유닛(19)은, 마스크 유닛(20)(피조명면 24의 공역면 20a)으로부터 이격된(디포커스된) 위치에 설치되어 있다. 콘텐츠 렌즈(21)로부터의 광속에 대하여 소정의 기울기를 가지는 미러(22)에서 반사된 광은, 콜리메이터 렌즈(23)를 통하여 원판(25)을 조명한다.
- [0028] 투영 광학계(26)는, 원판(25)의 패턴을 기판(27)에 투영한다. 도2는, 투영 광학계(26)의 단면을 모식적으로 도시한 도면이다. 투영 광학계(26)는, 도2에 도시한 바와 같이, 복수의 광학부재(렌즈나 미러등의 광학소자)를 구비한다. 투영 광학계(26)의 동공면(26a) 또는 그 동공면(26a) 근방에는, 개구지름을 가변으로 하는 개구조리개(261)가 설치되어 있다. 개구조리개(261)의 개구지름을 조정함으로써, 투영 광학계(26)의 NA를 원하는 값으로 설정할 수 있다. 원판(25)의 패턴 상의 해상성은, 투영 광학계(26)의 NA 및 유효광원형상에 의존하고 있다. 따라서, 투영 광학계(26)의 NA 및 유효광원형상을 적절하게 설정(선택)함으로써, 원판(25)의 패턴의 해상성을 향상시킬 수 있다.
- [0029] 투영 광학계(26)를 구성하는 광학부재의 재질에 관해서는, 광원으로부터 사출되는 노광 광의 파장에 따라서 사용가능한 재료가 한정된다. 광원으로서, 파장 약 365nm의 수은 램프를 사용하는 경우에는, 10종류정도의 재료로 만들어진 광학부재를 조합하는 것으로, 측상 색수차나 배울 색수차등을 양호하게 보정할 수 있다. 한편, 광원으로서, 파장 약 248nm의 KrF 엑시머 레이저나 파장 약 193nm의 ArF 엑시머 레이저 등의 엑시머 레이저를 사용할 경우에는, 이것들의 엑시머 레이저로부터의 노광 광을 투과하는 재료가 한정된다. 상기 엑시머 레이저의 투과성이나 가격을 고려하여, 현재의 상태에서는 석영만으로 투영 광학계를 구성하는 것이 일반적이다. 이 경우, 투영 광학계의 광학설계에 의해 색수차를 양호하게 보정하는 것은 곤란하기 때문에, 레이저의 파장 스펙트럼을 협대역화함으로써 투영 광학계의 색수차의 영향을 감소시키고 있다.
- [0030] 도1a 및 1b의 설명으로 되돌아간다. 제어부(50)는, CPU나 메모리등을 구비하는 컴퓨터(정보처리 장치)로 구성된다. 제어부(50)는, 상기 메모리에 기억된 프로그램에 따라, 노광 장치(100)의 각 부를 총괄적으로 제어함으로써 노광 장치(100)를 동작시킨다. 제어부(50)는, 기판(27)을 노광하는 노광 공정과 그 노광 공정에 관련된 각종의 공정을 제어한다. 예를 들면, 제어부(50)는, 본 실시 형태에서는, 원판(25)의 패턴을 조명하는 조명 형상(조명 광속)을 결정하는 공정을 행한다.
- [0031] 최근, 3차원 메모리나 활상 소자의 제조 공정에 있어서, 수  $\mu\text{m}$  내지 수십  $\mu\text{m}$ 의 두께의 관통 패턴을 형성하는 것이 요청되어 있다. 이러한 두꺼운 관통 패턴을 노광 장치에 의해 형성하기 위해서는, 투영 광학계의 초점심도를 확장하는 것이 요청된다. 실질적으로 초점심도를 확장하는 기술로서, 투영 광학계의 광축방향으로 초점위치를 어긋나게 하면서 다중 노광을 행하는 방법이 알려져 있다. 다중 노광의 일례로서, Focus Latitude Enhancement Exposure(FLEX)법이 알려져 있다. FLEX법에서는, 기판상의 영역의 각 점이 2이상의 디포커스 상태로 노광되도록, 예를 들면, 투영 광학계의 광축에 대하여 기판을 기울이면서 주사 노광이 행해진다. 다중 노광의 다른 예로서, Resolution Enhancement by Laser-spectrum Adjusted Exposure(RELAX)법이 알려져 있다. RELAX법에서는, 복수의 파장에서 광량 피크를 가지도록 레이저 광원의 파장 스펙트럼을 조정한다.
- [0032] 상이한 파장의 광선은, 투영 광학계에 잔존하는 측상 색수차나 코마 색수차 등의 광학특성의 영향을 받아, 투영 광학계의 광축방향의 상이한 위치에 각각 결상한다. 레이저 광원의 파장 스펙트럼을 조정함으로써, 광축방향의 결상위치를 변화시킬 수 있고, 그 결과로 초점심도를 확장하는 효과가 얻어진다.



- [0033] 이렇게, R E L A X 법에서는, 투영 광학계에 잔존하는 축상 색수차를 활용함으로써 초점심도를 확장하는 효과를 얻고 있지만, 투영 광학계에는 축상 색수차 이외에도 배울 색수차나 코마 수차 등의 수차가 잔존하고 있고, 이것들의 수차에 의해 결상성능의 저하를 초래할 수도 있다.
- [0034] 도3은, 투영 광학계의 배울 색수차가 결상성능에 주는 영향을 도시하는 모식도다. 도3은 원판(25)을 투과한 조명 광속이 투영 광학계(26)를 통과해서 기관(27)에 도달하는 상태를 도시하고 있다. 도3에는, 원판(25)의 축상 물점으로부터의 광속 31과, 원판(25)의 축외물점으로부터의 광속 32가, 그려져 있다. 축상물점으로부터의 광속 31은, 축상 상점에 집광하는 광속 33이 되고, 축외물점으로부터의 광속 32는, 축외 상점에 집광하는 광속 35가 된다.
- [0035] 여기에서, 원판(25)으로부터의 광속의 파장 스펙트럼에 복수의 피크가 포함되어 있을 경우, 같은 물점으로부터 출사한 광속이어도, 파장에 따라서 결상위치가 다르다. 여기에서는, 파장 스펙트럼에 있어서, 제1파장 및 제1파장과는 다른 제2파장에 피크를 가지는 것이라고 한다.
- [0036] 축상물점으로부터의 광속 31에 관해서, 제1파장의 광속(제1조명 광)은, 투영 광학계(26)를 통과하여 광속 33이 되어서 집광하고, 제2파장의 광속(제2조명 광)은, 투영 광학계(26)의 축상 색수차의 영향으로 광속 34가 되어서 집광한다. 광속 33의 광축방향의 결상위치와 광속 34의 광축방향의 결상위치는 서로 다르다. 축상 광속에 관해서는, 배울 색수차의 영향은 거의 없기 때문에, 양쪽의 결상위치는 광축방향으로만 다르다.
- [0037] 한편, 축외물점으로부터의 광속 32에 관해서, 제1파장의 광속은, 투영 광학계(26)를 통과하여 광속 35가 되어서 집광하고, 제2파장의 광속은, 투영 광학계(26)의 축상 색수차 및 배울 색수차의 영향으로 광속 36이 되어서 집광한다. 광속 35와 광속 36의 결상위치는, 투영 광학계(26)의 광축방향뿐만 아니라, 광축방향과 수직한 방향에 대하여도 서로 다르다. 즉, 광속 35(제1조명 광)에 의해 결상되는 패턴 상과, 광속 36(제2조명 광)에 의해 결상되는 패턴 상과의 사이에는, 투영 광학계(26)의 광축방향과 그 광축방향에 수직한 방향과의 쌍방에 있어서 위치 편차가 생긴다.
- [0038] 이상과 같이, 축외 광속에 관해서, 제1조명 광의 집광 위치와 제2조명 광의 집광 위치를 이은 직선은, 기관(27)에 대하여 수직하지 않는다. 그 때문에, 레지스트에 대하여 패턴 상이 비스듬히 형성되어, 그 결과로, 기관(27)위의 판통 패턴에 기울기가 생길 수 있다. 이 패턴 상의 기울기는, 주로 배울 색수차T와 축상 색수차L의 비율 T/L에 비례하여 생긴다.
- [0039] 배울 색수차에 기인한 패턴 상의 위치 편차가 상점과 광축 사이의 거리에 비례하므로, 패턴 상의 기울기는 광축으로부터 상점의 거리로 증가한다.
- [0040] 배울 색수차에 기인한 패턴의 기울기는, 배울 색수차에 의해 상이 어긋나는 방향으로 생긴다. 환언하면, 패턴의 기울기는, 투영 광학계(26)의 광축과 상면의 교점에 대하여, 방사 방향으로 생긴다. 스텝 앤드 스캔 방식의 노광 장치(스캐너)에서는, 슬릿형의 노광 영역을 주사함으로써 노광을 행한다. 즉, 투영 광학계(26)의 상면에 있어서 노광에 사용되는 영역은, 가늘고 긴 슬릿형이 된다. 그 때문에, 배울 색수차의 영향이 어떻게 나오는지, 다시 말해, 패턴의 기울기가 어떻게 나오는지, 패턴의 방향에 따라 달라진다. 구체적으로는, 슬릿형의 노광 영역에 대하여 횡방향으로 연장된 패턴에는 기울기가 발생하고, 길이 방향으로 연장된 패턴에는 기울기가 발생하지 않는다. 패턴의 상기 방향에 따라 생기는 기울기가 다른 점에는 주의가 필요하다. 패턴의 기울기가 허용 값이상이 되면, 디바이스 불량률의 원인이 되고, 수율이 저하할 수 있다.
- [0041] 본 실시 형태에서는, 제1파장의 광속의 집광 위치와 제2파장의 광속의 집광 위치 사이의 위치 편차에 기인한 패턴 상의 기울기를 보정하기 위해서, 조명 광속의 기울기를 조정한다. 이후, 조명 광속의 기울기를 조정하는 동작을 텔레센트리시티 조정이라고 한다. 도4는, 원판(25)으로부터의 광속이 투영 광학계(26)를 통과하여 기관(27)에 도달하는 상태를 도시하고 있다. 도4에 있어서, 광선 41, 42, 43은, 각각 원판(25)을 조명하는 조명 광속의 주 광선을 나타낸다. 주 광선 41은, 축상물점을 조명한다. 주 광선 42 및 43은, 축외물점을 조명한다. 주 광선 43은, 투영 광학계(26)의 내부를 광선 322로 나타낸 바와 같이 나아가고, 기관(27)에 대하여 대략 수직한 광선이 되어서, 상점에 도달한다. 주 광선 42는, 투영 광학계(26)의 내부를 광선 321로 나타낸 바와 같이 나아가고, 기관(27)에 대하여 수직한 방향으로부터 기온 광선이 되어서, 그 상점에 도달한다. 이렇게, 원판(25)에 입사하는 주 광선의 기울기를 변화시키는 것으로, 기관(27)에 집광되는 광속의 기울기를 조정할 수 있고, 그 결과로 패턴 상을 기울게 하는 효과가 얻어진다. 즉, R E L A X 법에 의한 패턴 상의 기울기량과, 텔레센트리시티 조정에 의한 패턴 상의 기울기량을 적절히 제어함에 의해, 패턴의 기울기를 감소시키는 것이 가능하다.
- [0042] 도5a 내지 5c는, 텔레센트리시티 조정에 의해 패턴의 기울기가 감소되는 것을 도시한 도면이다. 도5a 내지

5c는, 축외 광속에 의해 형성되는 패턴 상의 형상을 각각 도시하고 있다. 이 패턴 상들은 시뮬레이션에 의해 얻어진다. 조명 조건은,  $NA=0.55$ ,  $\sigma=0.50$ , 패턴은 구경 200 nm의 트렌치, 레지스트의 두께는 4  $\mu m$ 로서 시뮬레이션을 행한 결과다. 여기에서,  $\sigma$ 는, 조명 광학계(110)의 개구수( $NA$ )와 투영 광학계(26)의  $NA$ 와의 비율을 기준으로 한 값이다.

[0043] 도5a는, 텔레센트리시티 조정을 행하지 않은 경우의 결과를 도시하고 있다. 도5b는, 텔레센트리시티를 0.05만큼 조정했을 경우의 결과를 도시하고 있다. 도5c는, 텔레센트리시티를 0.10만큼 조정했을 경우의 결과를 도시하고 있다.

[0044] 여기에서, 텔레센트리시티를 0.05만큼 조정한다고 하는 의미는, 투영 광학계(26)의 광축방향으로부터의 기울기 각이  $\theta$ 인 경우,  $\theta=\arctan 0.05$ 만큼 조명 광속의 기울기를 조정한다고 하는 의미다. 도5a 내지 5c에 도시된 바와 같이, 조명 광속의 기울기를 증가시킴에 따라 상기 패턴의 기울기가 감소되는 것처럼 보인다.

[0045] 도6은, 조명 광속의 기울기와 패턴 상의 기울기와의 관계를 도시한 그래프다. 패턴 상의 기울기는, 패턴 상의 좌우의 벽의 중점 위의 선형 회귀를 행하여 얻어진 직선의 기울기로서 표기하고 있다. 조명 광속의 기울기가 증가함에 따라서, 상기 직선의 기울기가 감소되어, 패턴 상의 기울기를 감소시킨다. 여기에서는, 시뮬레이션에 의해, 조명 광속의 기울기와 패턴 상의 기울기와의 관계를 구한다. 또는, 실제의 패턴 형성의 결과에 따라 이러한 관계를 구해도 좋다.

[0046] 조명 광속의 기울기와 패턴 상의 기울기와의 관계는, 패턴 형상에 따라 변화된다. 이것은, 도7a 내지 7c를 참조하여 설명한다. 도7a 내지 7c는, 원판(25)에 있어서의 축외물점으로부터의 광속에 의해 형성되는 광강도 분포를 각기 도시하고, 투영 광학계(26)의 동공면에 있어서의 광강도 분포를 각기 도시하고 있다. 도7a는, 파장 스펙트럼에 1개의 피크를 가지는 광속을 사용해서 노광을 행했을 때의 광강도 분포를 도시하고 있다. 참조 부호 54는, 투영 광학계(26)의 개구조리개에 의해 결정되는 동공을 나타낸다. 참조 부호 51은, 축외물점으로부터의 0차 회절광속을 나타낸다. 참조 부호 52, 53은 각각, 조명 광속이 원판(25)의 패턴으로 회절된 양 및 음의 1차 회절광속을 나타낸다.

[0047] 도7a에 있어서는, 0차 회절광속의 광강도 분포는 동공 중심으로 위치하고 있고, 양 및 음의 1차 회절광속의 동공 주변영역에 있어서의 이클립스(eclipse)도 좌우 대칭이기 때문에, 투영 광학계(26)에 디포커스가 생길 때에도 상면에는 패턴 상의 위치 편차가 대부분 생기지 않는다. 즉, 패턴 상은 대부분 기울지 않는다.

[0048] 도7b는, 도7a의 상태에서 조명 광속의 기울기를 조정했을 때의 광강도 분포를 도시하고 있다. 주 광선을 비스듬히 입사시키므로, 동공면에 있어서의 0차 회절광속의 광강도 분포(55)는 동공중심으로부터 어긋나 있다. 양 및 음의 1차 회절광속 56, 57의 동공 주변영역에 있어서의 이클립스가 좌우 비대칭이기 때문에, 동공면에 있어서의 광강도 분포의 대칭성이 저하하고 있다. 그 때문에, 투영 광학계(26)에 디포커스가 생겼을 때, 상면에 있어서 패턴 상의 위치 편차가 생기고, 패턴 상이 기울다.

[0049] 원판(25)의 패턴의 형상(예를 들면, 라인 앤드 스페이스 패턴에 있어서의 패턴 피치, 라인과 스페이스와의 비, 패턴의 배열 방향 등)에 따라서 회절광속의 발생의 방법이 변화되고, 동공 주변영역에 있어서의 이클립스도 변화된다. 이에 따라, 동공면에 있어서의 광강도 분포의 비대칭성도 변화되어, 광량중심도 마찬가지로 변화된다. 이것은, 투영 광학계(26)에 디포커스가 생기는 경우의 상면에 있어서의 패턴 상의 위치 편차량에 차이가 생기는 것을 의미한다. 따라서, 원판(25)의 패턴 형상에 따라 패턴의 기울기의 조정의 쉬움이 달라지는 것처럼 보인다.

[0050] 그 다음에, 조명 광속의 텔레센트리시티 조정의 방법에 대해서, 도8a 내지 8c를 참조하여 설명한다. 도8a 내지 8c는, 조명 광학계(110)의 일부를 각각 도시한 간단한 도면이다. 도8a 내지 8c에서는, 옵티컬 인티그레이터(12)로부터, 원판(25)과 공역한 면인 공역면(20a)까지의 광로가 추출되어 도시되어 있다. 옵티컬 인티그레이터(12)의 출사면과 공역면(20a)은, 콘텐서 렌즈(15)를 통해 상과 동공의 관계(Fourier 변환의 관계)로 되어 있다.

[0051] 도8a는, 옵티컬 인티그레이터(12)의 1점으로부터 출사한 광이, 공역면(20a)에 대략 수직으로 입사하는 기준 상태를 도시하고 있다. 도8a 내지 8c에서는, 콘텐서 렌즈(15)를 1매의 렌즈로서 그리고 있지만, 실제로는 복수의 렌즈로 구성되어 있다. 콘텐서 렌즈(15)를 구성하는 그 렌즈들의 일부를 줌 배율을 위해 이동시킴으로써, 콘텐서 렌즈(15) 전체의 초점거리를 변화시킬 수 있다. 콘텐서 렌즈(15)의 초점거리를 기준상태보다도 짧게 했을 경우에는, 도8b에 도시한 바와 같이, 축외의 광속은 광축에 가까이 가도록 공역면(20a)에 입사한다. 한편, 콘텐서 렌즈(15)의 초점거리를 기준상태보다도 길게 했을 경우에는, 도8c에 도시한 바와 같이, 축외의 광속은 광축으로

부터 멀어지도록 영역면(20a)에 입사한다.

- [0052] 영역면(20a)은 피조명면(24)(원판 25)과 공역한 면이기 때문에, 이 면에 있어서의 광강도 분포는, 피조명면(24)(원판 25)에 있어서의 광강도 분포와 동일하다.
- [0053] 이상 설명한 바와 같이, 조명 광학계(110)에 구비된 상기 렌즈들의 줌 배율 상태를 변화시킴으로써, 피조명면(24)(원판 25)에 있어서의 광강도 분포를 조정할 수 있다. 즉, 원판(25)에 조사되는 주 광선의 기울기도 조정하는 것이 가능하다. 이렇게, 콘덴서 렌즈(15)의 초점거리를 줌 기구에 의해 연속적으로 변화시키는 것으로, 주 광선의 기울기량도 연속적으로 조정하는 것이 가능하다.
- [0054] 도8a 내지 8c에 도시한 바와 같이, 광축으로부터의 거리에 따라서 광선의 기울기의 변화가 증가하고, 투영 광학계(26)의 배율 색수차로 인해 생기는 패턴 상의 기울기도 광축으로부터의 거리에 따라서 증가한다. 그 때문에, 배율 색수차에 기인한 패턴 상의 기울기 조정에는, 도8a 내지 8c에 도시된 것처럼 줌 배율 상태를 변화시키는 방법이 적합하다.
- [0055] 그 다음에, 투영 광학계(26)의 개구조리개(261)를 제어함으로써 패턴 상의 기울기를 조정하는 방법에 대해서, 도9를 참조하여 설명한다. 도9는, 원판(25)으로부터의 광속이 투영 광학계(26)를 통해서 기관(27)에 도달하는 상태를 도시하고 있다. 참조 번호 811은, 축상물점을 조명하는 광속(81)의 주 광선을 나타낸다. 참조 번호 82는 축외물점을 출사해서 축외상점에 도달하는 광속을 나타낸다.
- [0056] 축상물점을 조명하는 광속 81의 주 광선 811과 축외물점을 조명하는 광속 82의 주 광선 821은, 원판(25)에 대하여 대략 수직으로 입사하고, 기관(27)에 대하여도 대략 수직으로 입사한다. 개구조리개(261)의 단부를 통과하는 주변 광선에 관해서는, 플러스측의 주변 광선 822와 마이너스측의 주변 광선 823이 기관(27)에 대하여 대략 동일한 입사각도로 입사한다. 그 때문에, 레지스트에 형성되는 패턴 상은 대부분 기울지 않는다.
- [0057] 여기에서, 도4에 도시한 바와 같이, 패턴의 기울기를 보정하기 위해서 텔레센트리시티가 조정되면, 축외물점을 조명하는 광속(82)의 주 광선 831은, 광축에 대하여 비스듬한 방향으로 상기 원판(25)에 입사하고, 광축에 대하여 비스듬한 방향으로 기관(27)에도 입사한다. 개구조리개(261)의 위치를 A로부터 B에 이동시키고, 추가로 개구조리개(261)의 개구지름을 변화시킴으로써, 주변 광선의 광로가 결정된다. 도9에 도시한 바와 같이, 플러스측의 주변 광선 832와 마이너스측의 주변 광선 833은 서로 다른 각도로 기관(27)에 입사하게 된다. 개구조리개(261)의 위치 및 개구지름을 적절히 설정함으로써, 주 광선 831과 플러스측의 주변 광선 832 사이에 형성된 각도와, 주 광선 831과 마이너스측의 주변 광선 833 사이에 형성된 각도를 대략 동일하게 할 수 있다. 이렇게 주변 광선의 광로를 적절히 설정함으로써, 패턴 상의 균일성을 유지하면서, 패턴 상의 기울기를 제어하는 것이 가능하다.
- [0058] 투영 광학계(26)의 개구조리개(261)의 위치 및 개구지름을 제어했을 때의 투영 광학계(26)의 동공면에 있어서의 광강도 분포는, 도7c를 참조하여 설명한다. 도7b의 경우와 같이, 주 광선을 비스듬히 입사시키므로, 동공면에 있어서의 0차 회절광속의 광강도 분포(58)는 동공중심으로부터 어긋나 있다. 개구조리개(261)의 위치를 변화시키므로, 동공영역이 영역 54로부터 영역 61에 시프트 하고 있다. 이 결과, 양 및 음의 1차 회절광속 59, 60의 동공 주변영역에 있어서의 이클립스는, 0차 회절광속의 광강도 분포의 중심에 대하여 좌우 대칭이 된다. 도7a와 도7c를 서로 비교하면, 동공면에 있어서의 광강도의 전체가 시프트 하고 있고, 레지스트에 형성되는 패턴이 투영 광학계(26)의 광축방향과 수직한 방향으로 시프트 하게 된다.
- [0059] 도10a 내지 10d는, 텔레센트리시티 조정과 개구조리개(261) 조정을 행하는 것에 의해 패턴 상의 기울기가 감소되는 것을 도시한 도면이다. 도10a 내지 10d는, 축외 광속에 의해 형성되는 패턴 상의 형상을 각기 도시하고 있다. 이 패턴 상들은 시뮬레이션에 의해 얻어진다. 조명 조건은,  $NA=0.55$ ,  $\sigma=0.50$ , 패턴은 구경 200nm의 트렌치, 레지스트의 두께는 4 $\mu m$ 로서 시뮬레이션을 행한 결과다. 도10a는, 텔레센트리시티 조정 및 개구조리개(261) 조정을 행하지 않은 경우의 결과를 도시하고 있다. 도10b는, 텔레센트리시티를 0.05만큼 조정하고, 개구조리개(261)를 그것에 따라서 조정했을 경우의 결과를 도시하고 있다. 도10c는, 텔레센트리시티를 0.10만큼 조정하고, 개구조리개(261)를 그것에 따라서 조정했을 경우의 결과를 도시하고 있다. 도10d는, 텔레센트리시티를 0.15만큼 조정하고, 개구조리개(261)를 그것에 따라서 조정했을 경우의 결과를 도시하고 있다.
- [0060] 조명 광속의 기울기를 증가시킴에 따라 패턴의 기울기가 감소하는 것처럼 보인다.
- [0061] 도11은, 조명 광속의 기울기와 패턴 상의 기울기와의 관계를 도시한 그래프다. 패턴 상의 기울기는, 패턴 상의 좌우의 벽의 중점 위의 선형 회귀를 행하여서 얻어진 직선의 기울기로서 표기하고 있다. 조명 광속의 기울기가 증가함에 따라서, 상기 직선의 기울기가 감소하여서, 패턴 상의 기울기를 감소시킨다. 여기에서는, 시뮬레이션에 의해, 조명 광속의 기울기와 패턴 상의 기울기와의 관계를 구하고 있다. 또는, 실제의 패턴 형성의 결과에

따라서 이러한 관계를 구해도 좋다.

[0062] 이상 설명한 바와 같이, 본 실시 형태의 노광 장치로는, 패턴을 조명하는 조명 광속의 기울기를 적절히 설정함으로써, 레지스트 막에 형성되는 패턴 상의 기울기를 효과적으로 저감시킬 수 있다.

[0063] 변형 예

[0064] 도9에서는, 개구조리개(261)의 위치를 변화시키고 있다. 또는, 복수의 개구조리개를 준비하고, 위치A와 위치B의 쌍방에 개구지름이 가변하는 개구조리개를 배치해도 좋다. 원판(25)에 대하여 대략 수직으로 광속을 입사시킬 경우에는, 위치B에 배치된 개구조리개의 지름을 증가시켜 광선에 이클립스를 방지하도록 하고, 위치A에 배치된 개구조리개의 지름을 적절히 설정한다. 원판(25)에 대하여 비스듬히 광속을 입사시킬 경우에는, 위치A에 배치된 개구조리개의 지름을 증가시켜 광선에 이클립스를 방지하도록 하고, 위치B에 배치된 개구조리개의 지름을 적절히 설정한다.

[0065] 노광 장치에 있어서의 노광 모드

[0066] 메모리나 촬상 소자등의 반도체장치의 제조 공정에는, 기판 위에 패턴층을 형성하는 공정이 포함된다. 해당 공정에 있어서 노광 장치를 사용해서 레지스트에 패턴 상이 형성되고, 에칭 처리 등을 거쳐서 트랜치를 구비하는 패턴층이 형성된다. 형성하는 패턴층에 따라 사용된 레지스트의 두께가 다를 수 있고, 레지스트의 두께에 따라서 노광 장치의 투영 광학계에 사용된 초점심도도 다르다. 레지스트의 두께가 두꺼울 경우에는, R E L A X법의 다중노광에 의해 패턴 형성이 행해질 수 있다. R E L A X법에서는, 복수의 파장으로 광량 피크를 가지도록 레이저 광원의 발진 상태를 제어할 필요가 있다. 한편으로, 레지스트의 두께가 얇을 경우에는, 단일의 파장으로 광량 피크를 가지도록 레이저 광원의 발진 상태가 제어된다.

[0067] 이렇게, 기판 위에 형성하는 층마다 투영 광학계의 초점심도 등을 변화시킬 필요가 있기 때문에, 노광 장치에 있어서의 노광 모드를 적절히 전환 가능할 수 있다. 예를 들면, 노광 모드에 따라, 레이저 광원의 발진 상태를 전환하는 것이 생각될 수 있다. 레이저 광원의 발진 상태를 전환시키기 위해서, 광원에는 발진 상태를 전환가능한 기구가 설치되어 있다. 노광 장치는, 노광시의 각종 파라미터가 설정된 레시피에 따라서 레이저 광원의 발진 상태를 전환할 수 있다.

[0068] 예를 들면, 제1모드와 제2모드와의 사이에서 노광 모드를 전환 가능할 수 있다. 제1모드는, 단일의 파장(기준파장)으로 광량 피크를 가지도록 레이저 광원의 발진 상태를 제어해서 노광을 행하는 모드다. 제2모드는, 기준파장과는 다른 제1의 파장의 제1조명 광과, 그 기준파장 또는 제1의 파장과는 다른 제2의 파장의 제2조명 광을 포함하는, 조명 광으로 노광을 행하는 모드다. 제2모드에 있어서의 축외 광속의 원판에의 입사각과, 제1모드에 있어서의 축외 광속의 원판에의 입사각을 다르게 하는 것에 의해, 제2모드에 있어서, 패턴 상의 기울기의 발생을 감소시킬 수 있다.

[0069] 제2모드로, R E L A X법에 근거하는 노광을 행할 경우에는, 광량 피크에 대응하는 복수의 파장의 값이나 파장 차이를 지정할 필요가 있기 때문에, 이 파라미터들을 레시피의 설정 항목의 1개라고 하면 좋다. R E L A X법에 근거하는 노광을 위해 조명 광속의 기울기 조정과 개구조리개의 조정을 행하기 위해, 레시피에 의해 노광 장치가 자동으로 행하도록 구성되어도 좋고, 유저에게 조정을 행할 것인가 아닌가의 판단을 요구하여도 좋다. 노광 장치가 상기 조정을 자동으로 행할 경우에는, 패턴의 특징이나 조명 광속의 텔레센트리시티 등을 고려하여 조정량이 결정된다. 이때, 노광 장치는, 원판의 패턴의 특징에 관한 정보를 취득할 수 있도록 구성될 수 있다.

[0070] 물품의 제조 방법

[0071] 본 실시 형태에 대표되는 노광 장치를 이용해서 반도체장치(메모리나 촬상 소자 등의 광전변환 장치)를 제조하는 방법에 대해서 설명한다. 본 실시 형태의 노광 장치는, 후막 공정을 포함하는 반도체장치의 제조 방법에 적합하게 사용된다. 촬상 소자(광원 변환장치)에 있어서의 화소분리부의 형성 공정은, 상기 후막 공정의 일례다.

[0072] 이하, 도12를 참조하여 촬상 소자의 제조 공정에 있어서의 화소분리부의 형성 공정에 대해서 설명한다. 단계 S101에 있어서, 서로 반대측의 면인 제1면S1 및 제2면S2를 가지는 반도체 기판(101)을 준비한다. 반도체 기판(101)은, 전형적으로는, 실리콘 기판 혹은 실리콘층이다. 그 다음에, 단계 S102에 있어서, 반도체 기판(101)의 제1면S1 위에 절연막(예를 들면, 실리콘 산화막)(102)을 형성한다.

[0073] 그 다음에, 단계 S103에 있어서, 반도체 기판(101)의 제1면S1 위, 보다 구체적으로는, 반도체 기판(101)의 제1면S1 위의 절연막(102) 위에, 레지스트(103)를 도포한다. 게다가, 단계 S104에 있어서, 상술한 실시 형태에서 설명한 바와 같이, 조명 광속의 기울기를 조정한 상태로 노광 동작을 행하는 것에 의해, 레지스트(103)에 패턴 상



을 형성하고, 에칭 처리 등을 통해 홈(트렌치)(104)을 형성한다. 레지스트(103)에 형성되는 패턴 상의 기울기를 감소시키는 것으로, 기울기가 감소된 홈(104)을 형성할 수 있다.

[0074] 그 다음에, 단계 S105에 있어서, 반도체 기판(101)을 드라이 에칭법 등에 의해 에칭함에 의해, 반도체 기판(101)의 제1면S1 위에 홈(105)을 형성한다. 이 에칭에 있어서 반도체 기판(101)의 제1면S1을 보호하기 위해서, 레지스트(103)를 두껍게 도포하는 것이 요청된다.

[0075] 그 다음에, 단계 S106에서는, 그 레지스트(103)를 제거한 후에, 홈(105)을 통해 반도체 기판(101)에 이온을 주입함으로써 게터링 영역(106)을 형성한다. 다시 말해, 단계 S106에서는, 반도체 기판(101)의 제1면S1 중 홈(105)이 존재하는 영역이외의 영역이 절연막(102)으로 마스크 된 상태에서 상기 홈(105)을 통해 반도체 기판(101)에 이온을 주입한다. 각 게터링 영역(106)은, 홈(105)의 바닥 아래에 위치한 제1부분과, 홈(105)의 측방에 위치한 제2부분을 구비할 수 있다. 일례에 있어서, 해당 제1부분에 있어서의 제14족원소의 농도가, 해당 제2부분에 있어서의 제14족원소의 농도보다도 높다. 이온은, 반도체 기판(101)이 실리콘 기판일 경우, 실리콘이외의 제14족원소의 이온일 수 있다. 이온의 주입에는, 이온 주입 장치가 사용된다. 이온을 주입하기 위한 가속 에너지는, 하드 마스크로서의 절연막(102)을 이온이 관통하고서 반도체 기판(101)에 도달하지 않도록 결정될 수 있다. 예를 들면, 이온 주입시에 절연막(102)의 두께가 300 nm일 때, 가속 에너지가 20 keV 정도이면 이온이 절연막(102)을 대부분 관통하지 않는다.

[0076] 반도체 기판(101)이 실리콘 기판일 경우, 단계 S106에 있어서 반도체 기판(101)에 주입되는 이온을 구성하는 재료는, 탄소가 적합하다. 또는, 탄소를 포함하는 분자인 탄화수소가 채용되어도 좋다. 반도체 기판(101)이 실리콘 기판일 경우, 단계 S106에 있어서 반도체 기판(101)에 주입되는 이온을 구성하는 재료는, 게르마늄, 주석 또는 납이어도 좋다. 반도체 기판(101)으로서의 실리콘 기판에 탄소, 게르마늄, 주석 또는 납의 이온을 주입함으로써, 실리콘 기판에 국소적 변형을 주고, 그 실리콘 기판을 게터링 사이트로서 기능시킬 수 있다. 홈(105)을 통해 반도체 기판(101)에 이온을 주입함으로써, 비교적 낮은 가속 에너지로도, 반도체 기판(101)의 깊은 위치에 게터링 영역(106)을 형성할 수 있다.

[0077] 그 다음에, 단계 S107에 있어서, 절연막(102)이 제거된다. 단계 S108에 있어서, 홈(105)내에 절연체가 배치 혹은 충전되도록, 예를 들면, 감압 CVD법 등의 막형성 방법에 의해, 홈(105)내 및 반도체 기판(101)의 제1면S1 위에, 절연막(예를 들면, 실리콘 질화막)(107)을 형성한다. 그 다음에, 단계 S109에 있어서, 절연막(107) 중, 반도체 기판(101)의 제1면S1 위에 존재하는 부분을 CMP법 등에 의해 제거한다. 이에 따라, 절연막(107) 중, 홈(105)내에 존재하는 부분이, 홈(105)에 배치 혹은 충전된 화소분리부(108)로서 남는다.

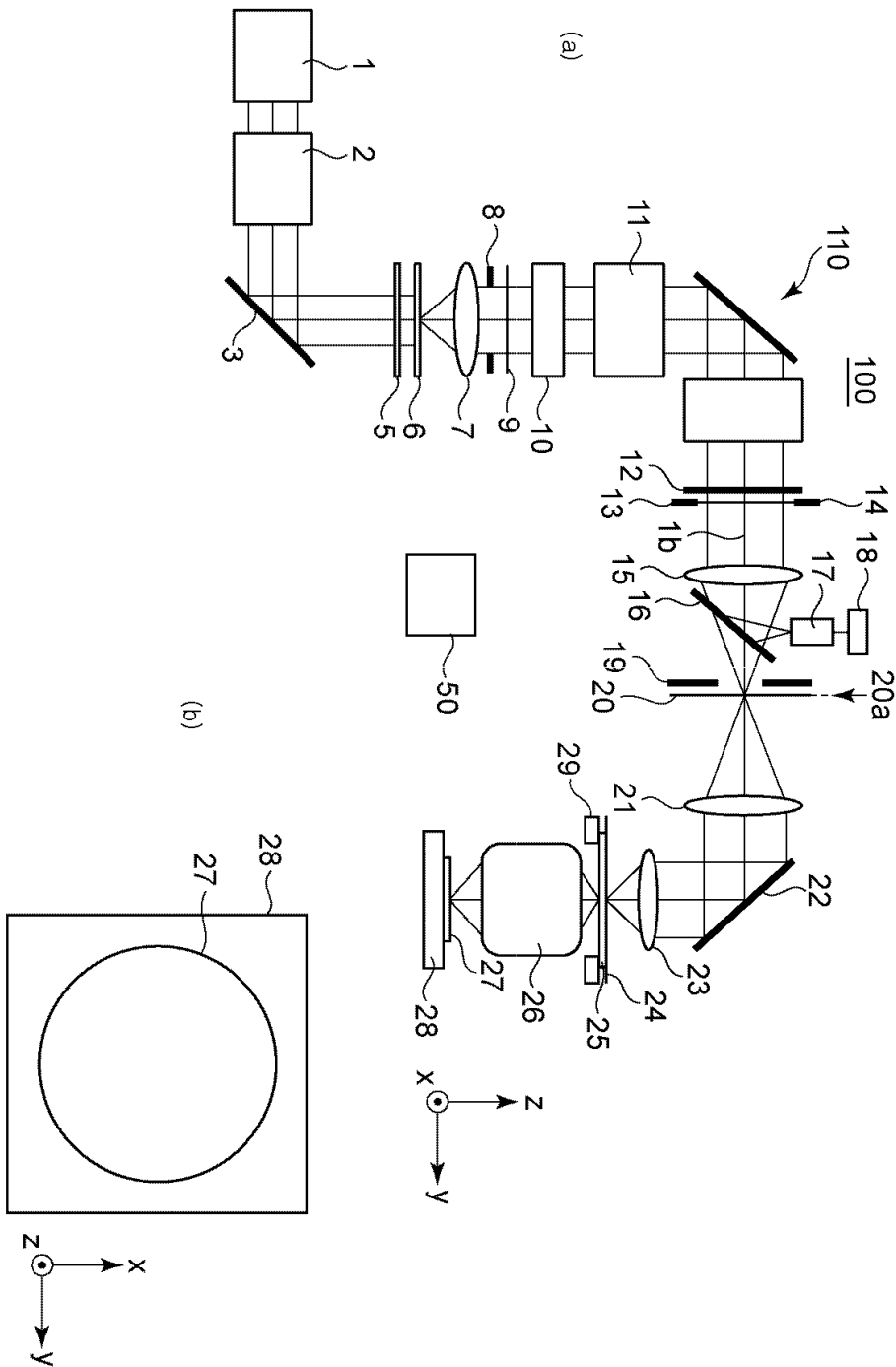
[0078] 단계 S108 및 단계 S109는, 반드시 실시되지 않는다. 단계 S108 및 단계 S109가 실시되지 않은 경우에는, 홈(105)이 공극으로서 남고, 이 공극이 화소분리부로서 기능할 수 있다. 각 홈(105)내에 배치되는 화소분리부(108)는 홈(105)을 완전히 충전할 필요는 없고, 홈(105)내에 공극이 존재되어도 좋다. 화소분리부(108)는 절연체만으로 만들어져도 좋지만, 절연체와 비절연체(반도체 혹은 도전체)를 조합한 구조이어도 좋다. 이 경우, 비절연체와 반도체 기판(101)과의 접촉을 피하기 위해서, 절연체가 비절연체와 반도체 기판(101)과의 사이에 배치될 수 있다.

[0079] 이상 설명한 바와 같이, 반도체 기판(101)에 홈(105)을 형성하는 제1형성 단계와, 홈(105)내에 화소분리부(108)를 형성하는 제2형성 단계를 경과하여, 화소분리부(108)가 형성된다. 그 후, 복수의 화소분리부의 사이의 영역에 전하축적 영역, 게이트 전극등이 형성되고, 그 결과로 촬상 소자가 만들어진다.

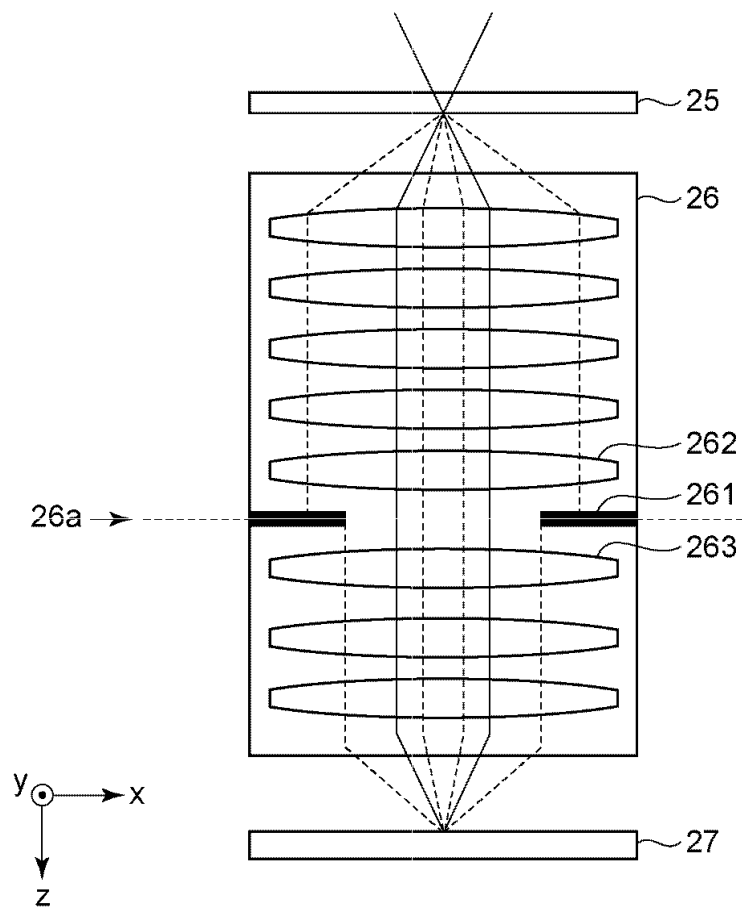
[0080] 본 발명을 실시 형태들을 참조하여 기재하였지만, 본 발명은 상기 개시된 실시 형태들에 한정되지 않고 아래의 청구항의 범위에 의해 정의된다는 것을 알 것이다.

도면

도면1

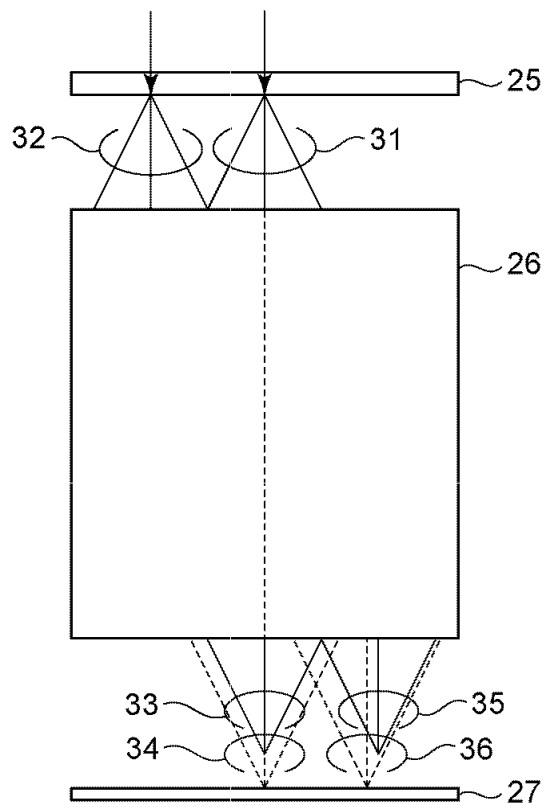


도면2

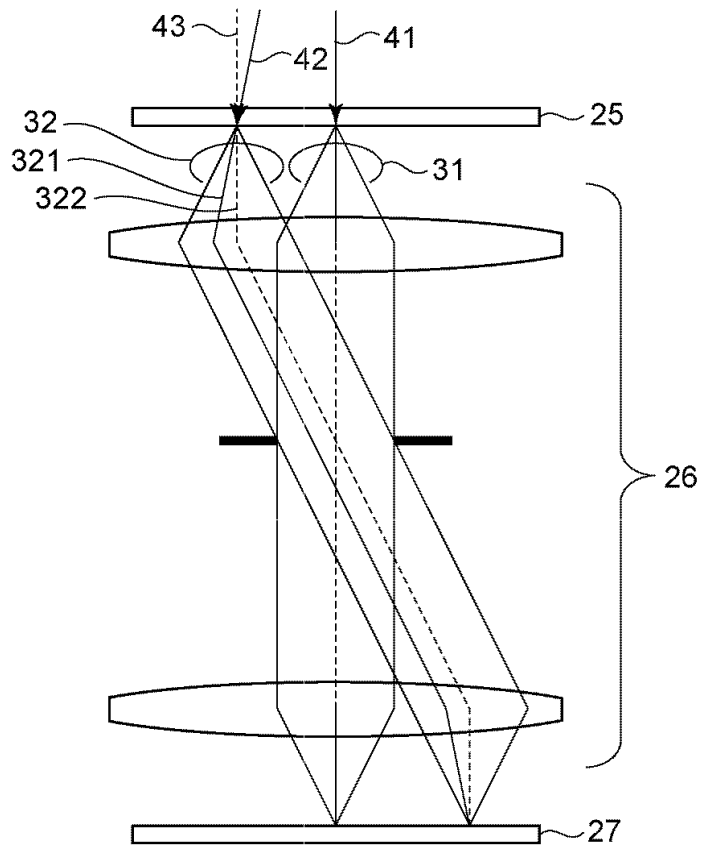




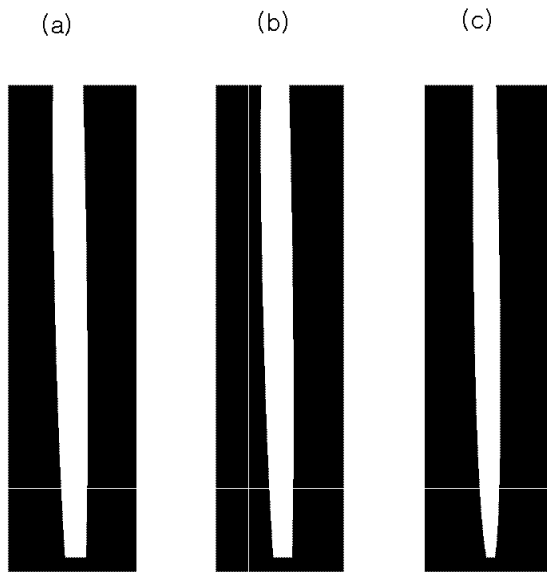
도면3



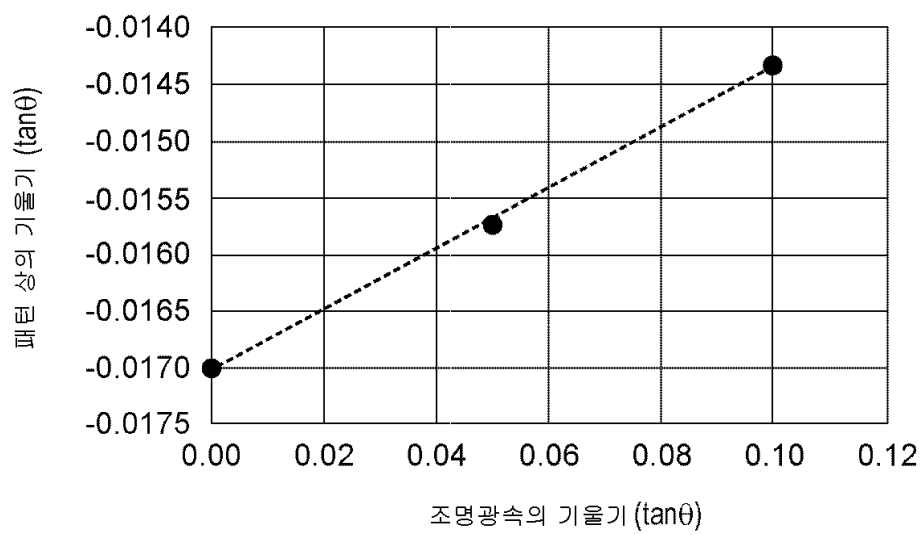
도면4



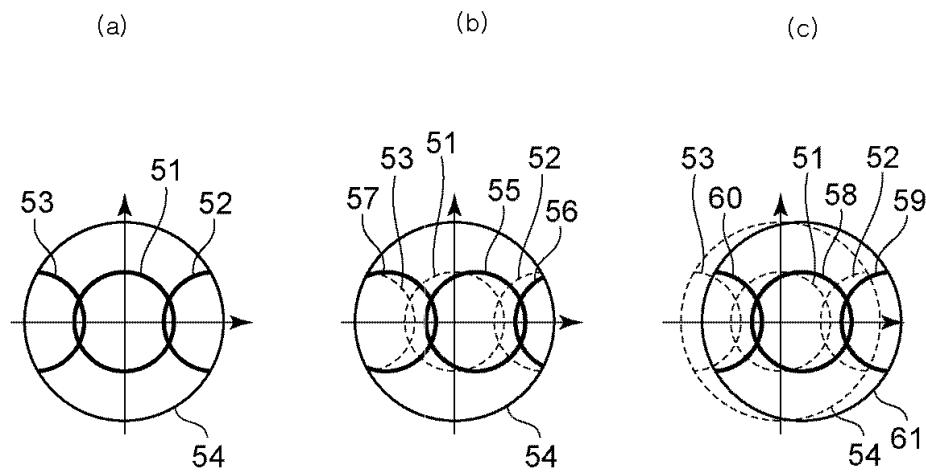
도면5



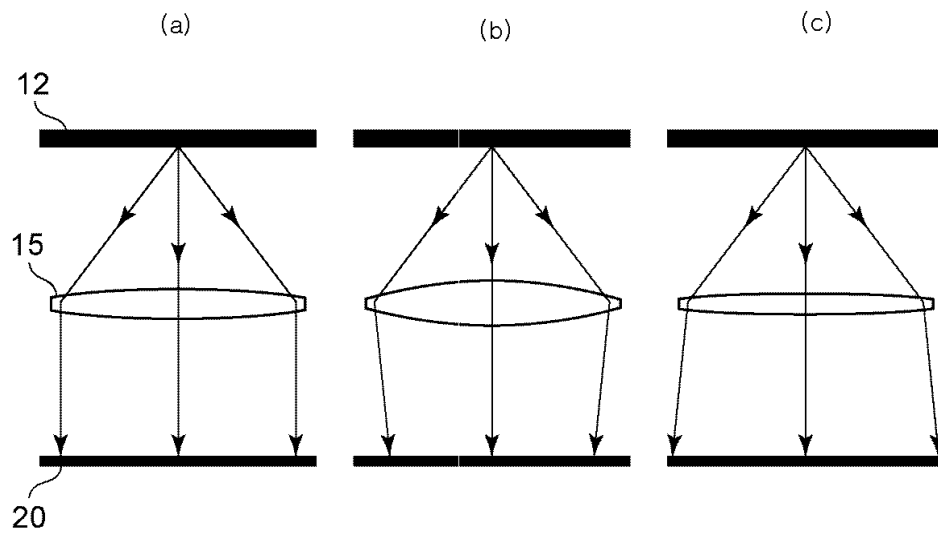
도면6



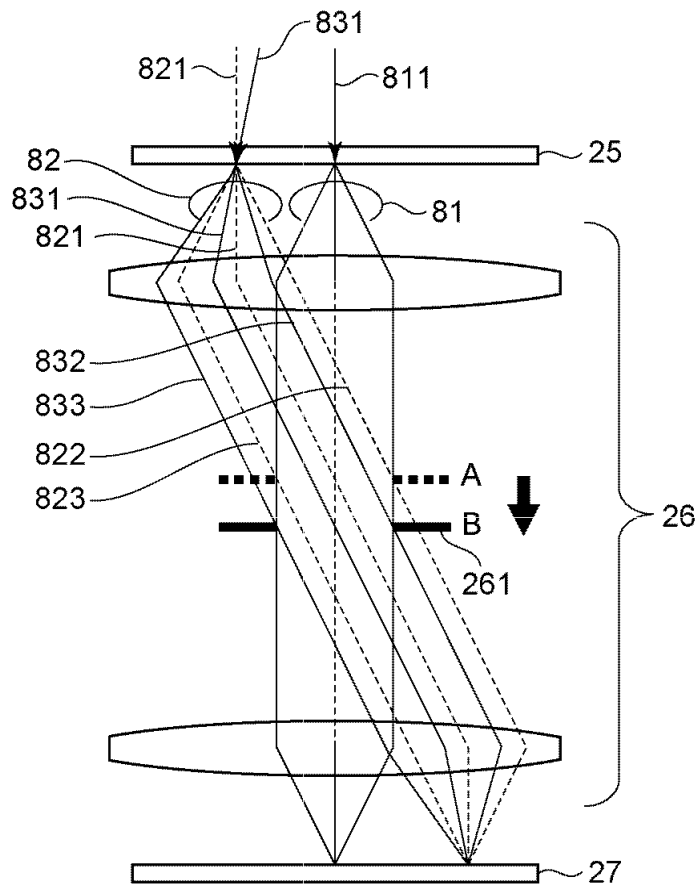
도면7



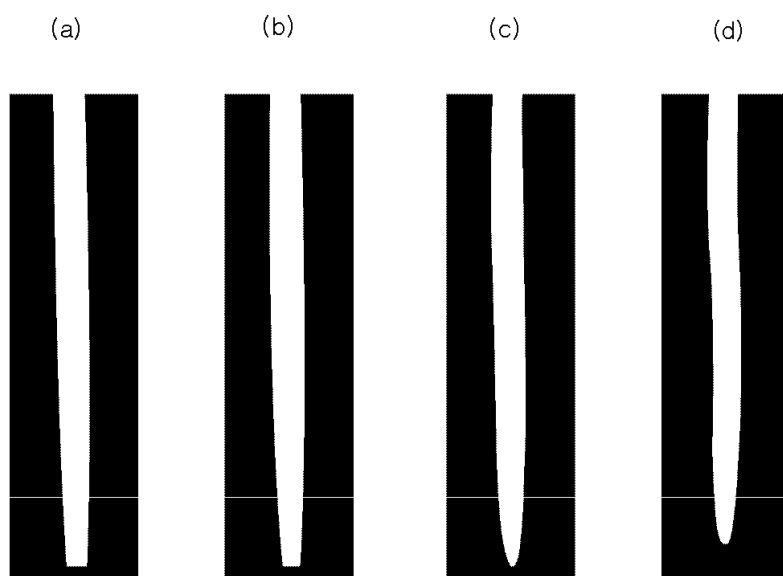
도면8



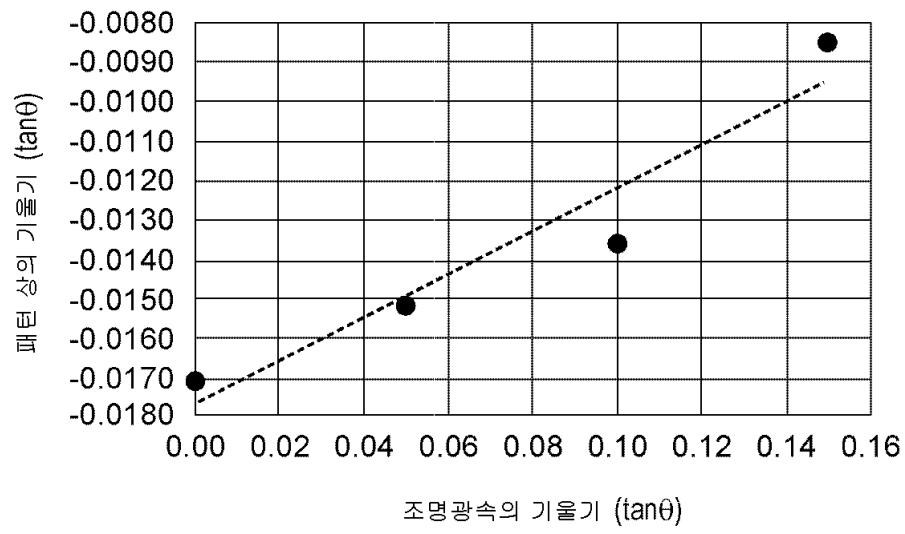
도면9



도면 10



도면11



도면12

