



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년10월21일  
(11) 등록번호 10-2315115  
(24) 등록일자 2021년10월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G03F 7/20 (2006.01) G02B 19/00 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G03F 7/70141 (2013.01)  
G02B 19/00 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2019-7026788  
(22) 출원일자(국제) 2018년03월15일  
심사청구일자 2019년09월11일  
(85) 번역문제출일자 2019년09월11일  
(65) 공개번호 10-2019-0117642  
(43) 공개일자 2019년10월16일  
(86) 국제출원번호 PCT/JP2018/010204  
(87) 국제공개번호 WO 2018/168993  
국제공개일자 2018년09월20일  
(30) 우선권주장  
JP-P-2017-052365 2017년03월17일 일본(JP)  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2000182933 A\*  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
가부시키가이샤 니콘  
일본국 도쿄도 미나토쿠 고난 2쵸메 15반 3고  
(72) 발명자  
가토 마사키  
일본국 도쿄도 미나토쿠 고난 2쵸메 15반 3고 가  
부시키가이샤 니콘 내  
(74) 대리인  
특허법인태평양

전체 청구항 수 : 총 27 항

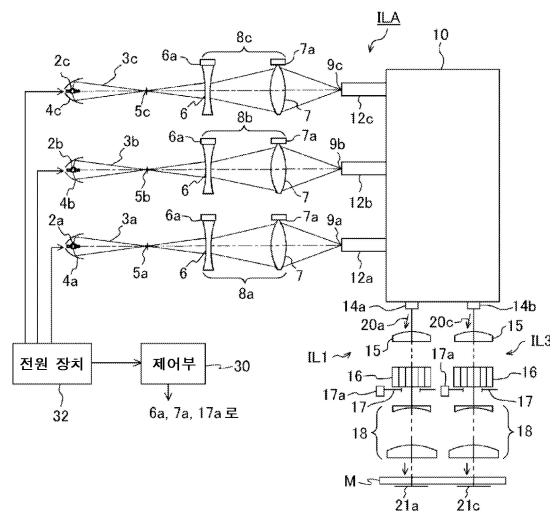
심사관 : 정성용

(54) 발명의 명칭 조명 장치 및 방법, 노광 장치 및 방법, 및 디바이스 제조 방법

(57) 요약

마스크를 조명하는 조명 장치로서, 조명광을 발생시키는 광원과, 조명광의 최대의 경사각을 조정하는 변배 광학계와, 변배 광학계를 통한 조명광을 경사각을 유지하여 분기하는 라이트 가이드 파이버와, 라이트 가이드 파이버의 사출단으로부터 사출되는 조명광을 평행 광속으로 하는 인풋 렌즈와, 그 조명광의 개구수를 조정하는 개구 조리개와, 그 개구수가 조정된 조명광을 마스크로 안내하는 콘텐서 렌즈를 구비한다. 조명 조건에 따라 조명광의 이용 효율을 높게 할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

*G03F 7/20* (2013.01)

*G03F 7/701* (2013.01)

*G03F 7/7015* (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

JP2000208396 A\*

JP2001155993 A

US6392742 B1

JP04225214 A

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

마스크를 조명하는 조명 장치로서,  
조명광을 발생시키는 광원과,  
상기 조명광의 경사각을 조정하는 광학계와,  
상기 광학계를 통한 상기 조명광을 집광하는 제1 집광 광학계와,  
상기 광학계를 통한 상기 조명광을, 상기 조명광의 상기 경사각을 유지하여 상기 제1 집광 광학계로 사출하는 광학 부재와,  
상기 제1 집광 광학계로부터 사출된 상기 조명광의 개구수를 조정하는 개구 조리개와,  
개구수가 조정된 상기 조명광을 상기 마스크로 안내하는 제2 집광 광학계를 구비하고,  
상기 광학 부재는 상기 광학계를 통한 상기 조명광을, 상기 조명광의 상기 경사각을 유지하여 복수의 광속으로 분기하고,  
상기 제1 집광 광학계, 상기 개구 조리개, 및 상기 제2 집광 광학계를, 상기 광학 부재에서 분기되는 상기 복수의 광속에 대응하여 복수 세트 구비하고,  
상기 마스크의 복수의 조명 영역을 조명하는 조명 장치.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,  
상기 제1 집광 광학계는 상기 조명광의 조도 분포를 균일화하는 복수의 광학 요소를 포함한 광학 요소군을 가지고,  
상기 광학 부재를 통과한 상기 조명광은, 상기 제1 집광 광학계의 복수의 상기 광학 요소의 입사구의 크기보다도 넓은 영역에 분포하는 조명 장치.

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서,  
상기 개구 조리개의 개구수에 기초하여, 상기 광학계는 상기 조명광의 상기 경사각을 조정하는 조명 장치.

#### 청구항 4

청구항 3에 있어서,  
상기 개구 조리개로 개구수를 작게 할 때, 상기 광학계는 상기 조명광의 상기 경사각을 작게 하는 조명 장치.

#### 청구항 5

청구항 3에 있어서,  
상기 개구 조리개로 개구수를 크게 하던지, 또는 상기 개구 조리개의 개구를 윤대 형상으로 할 때, 상기 광학계는 상기 조명광의 상기 경사각을 크게 하는 조명 장치.

#### 청구항 6

청구항 1 내지 청구항 5 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 광학계는 상기 광원의 배율 가변의 상을 형성하는 변배 광학계인 조명 장치.

#### 청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 개구 조리개로 개구수를 작게 할 때, 상기 변배 광학계는 상기 광원의 상의 배율을 크게 하는 조명 장치.

#### 청구항 8

청구항 6에 있어서,

상기 개구 조리개로 개구수를 크게 하든지, 또는 상기 개구 조리개의 개구를 윤대 형상으로 할 때, 상기 변배 광학계는 상기 광원의 상의 배율을 작게 하는 조명 장치.

#### 청구항 9

삭제

#### 청구항 10

청구항 1에 있어서,

상기 광학 부재는 복수의 입사단을 가지고,

상기 광원 및 상기 광학계를, 상기 광학 부재의 상기 복수의 입사단에 대응하여 복수 세트 구비하는 조명 장치.

#### 청구항 11

청구항 1 내지 청구항 5 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광원의 상의 조도 분포는 정규 분포 모양인 조명 장치.

#### 청구항 12

청구항 2에 있어서,

상기 광학 부재는 복수의 광파이버 소선을 묶어 구성되고,

상기 광학 부재의 사출단을 구성하는 상기 광파이버 소선의 수와, 상기 광학 요소군의 복수의 상기 광학 요소의 각각의 사출단에 형성되는 광원상의 수가 거의 같은 범위에서, 상기 개구 조리개로 상기 조명광의 개구수를 조정하는 조명 장치.

#### 청구항 13

마스크의 패턴을 기관에 노광하는 노광 장치로서,

청구항 1 내지 청구항 5 중 어느 한 항에 기재된 조명 장치와,

상기 조명 장치로 조명된 상기 마스크의 패턴의 상을 기관에 형성하는 투영 광학계를 구비하는 노광 장치.

#### 청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 조명 장치는 상기 마스크의 복수의 조명 영역을 조명하고,

상기 투영 광학계를, 상기 복수의 조명 영역에 대응하여 복수 구비하고,

상기 복수의 조명 영역의 배열 방향에 교차하는 방향으로, 상기 마스크와 상기 기관을 상대적으로 주사하는 스테이지 장치를 구비하는 노광 장치.

#### 청구항 15

마스크를 조명하는 조명 방법으로서,

광원으로부터 발생된 조명광의 경사각을 조정하는 것과,

상기 경사각이 조정된 상기 조명광을, 상기 조명광의 상기 경사각을 유지하는 광학 부재를 통해서 사출하는 것과,  
 사출된 상기 조명광을 집광하는 것과,  
 상기 조명광의 개구수를 조정하는 것과,  
 개구수가 조정된 상기 조명광을 상기 마스크로 안내하는 것과,  
 상기 광학 부재를 이용하여, 상기 경사각이 조정된 상기 조명광을 복수의 광속으로 분기하는 것을 포함하고,  
 상기 복수의 광속을 이용하여, 상기 마스크의 복수의 조명 영역을 조명하는 조명 방법.

#### 청구항 16

청구항 15에 있어서,  
 상기 조명광을 집광하는 것은, 복수의 광학 요소를 포함한 광학 요소군을 이용하여 상기 조명광의 조도 분포를 균일화하는 것을 포함하고,  
 상기 광학 부재를 통과한 상기 조명광은, 복수의 상기 광학 요소의 입사구의 크기보다도 넓은 영역에 분포하는 조명 방법.

#### 청구항 17

청구항 15에 있어서,  
 상기 조명광의 상기 경사각을 조정하는 것은, 상기 조명광의 개구수에 기초하여 상기 조명광의 상기 경사각을 조정하는 것을 포함하는 조명 방법.

#### 청구항 18

청구항 17에 있어서,  
 상기 조명광의 개구수를 작게 할 때, 상기 조명광의 상기 경사각을 작게 하는 조명 방법.

#### 청구항 19

청구항 17에 있어서,  
 상기 조명광의 개구수를 조정하는 것은, 상기 조명광을 이용하여 윤대 조명을 행하는 것을 포함하고,  
 상기 조명광의 개구수를 크게 하든지, 또는 상기 조명광을 이용하여 윤대 조명을 행할 때, 상기 조명광의 상기 경사각을 크게 하는 조명 방법.

#### 청구항 20

청구항 15 내지 청구항 19 중 어느 한 항에 있어서,  
 상기 조명광의 상기 경사각을 조정하는 것은, 상기 광원의 배율 가변의 상을 형성하는 것을 포함하는 조명 방법.

#### 청구항 21

청구항 20에 있어서,  
 상기 조명광의 개구수를 작게 할 때, 상기 광원의 상의 배율을 크게 하는 조명 방법.

#### 청구항 22

청구항 20에 있어서,  
 상기 조명광의 개구수를 조정하는 것은, 상기 조명광을 이용하여 윤대 조명을 행하는 것을 포함하고,  
 상기 조명광의 개구수를 크게 하든지, 또는 상기 조명광을 이용하여 윤대 조명을 행할 때, 상기 광원의 상의 배

을을 작게 하는 조명 방법.

#### 청구항 23

삭제

#### 청구항 24

청구항 15에 있어서,

상기 광학 부재는 복수의 입사단을 가지고,

복수의 상기 광원으로부터의 상기 조명광을 각각 상기 경사각을 조정하여 상기 복수의 입사단에 입사시키는 것을 포함하는 조명 방법.

#### 청구항 25

청구항 16에 있어서,

상기 광학 부재는 복수의 광파이버 소선을 묶어 구성되고,

상기 광학 부재의 사출단을 구성하는 상기 광파이버 소선의 수와, 상기 광학 요소군의 복수의 상기 광학 요소의 각각의 사출단에 형성되는 광원상의 수가 거의 같은 범위에서, 상기 조명광의 개구수를 조정하는 조명 방법.

#### 청구항 26

마스크의 패턴을 기판에 노광하는 노광 방법으로서,

청구항 15 내지 청구항 19 중 어느 한 항에 기재된 조명 방법을 이용하여 상기 마스크를 조명하는 것과,

조명된 상기 마스크의 패턴의 상을 기판에 형성하는 것을 포함하는 노광 방법.

#### 청구항 27

청구항 26에 있어서,

상기 조명 방법은 상기 마스크의 복수의 조명 영역을 조명하는 것을 포함하고,

상기 복수의 조명 영역의 상기 마스크의 패턴의 상을 각각 상기 기판에 형성하는 것과,

상기 복수의 조명 영역의 배열 방향에 교차하는 방향으로, 상기 마스크와 상기 기판을 상대적으로 주사하는 것을 포함하는 노광 방법.

#### 청구항 28

청구항 13에 기재된 노광 장치를 이용하여, 소정의 패턴을 기판에 형성하는 것과,

상기 소정의 패턴을 통해서 상기 기판을 가공하는 것을 포함하는 디바이스 제조 방법.

#### 청구항 29

청구항 26에 기재된 노광 방법을 이용하여, 소정의 패턴을 기판에 형성하는 것과,

상기 소정의 패턴을 통해서 상기 기판을 가공하는 것을 포함하는 디바이스 제조 방법.

### 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 조명광으로 물체를 조명하는 조명 기술, 조명 기술을 이용하는 노광 기술, 및 노광 기술을 이용하는 디바이스 제조 기술에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 종래, 액정 표시 소자, 반도체 소자, 박막 자기 헤드 등의 전자 디바이스를 제조하기 위한 포토리소그래피 공정

으로, 조명 장치에 의해 조명된 마스크의 패턴을, 투영 광학계를 통해서 포토레지스트 등의 감광제가 도포된 플레이트 등의 기판에 전사(轉寫)하기 위해서 노광 장치가 이용되고 있다.

[0003] 종래의 조명 장치로서, 수은 램프로부터의 조명광속의 단면 형상을 제어하기 위한 복수의 원추(圓錐) 또는 각추(角錐) 모양의 광학 부재로 이루어지는 광학계를 구비하고, 윤대(輪帶, 고리띠) 조명을 행하는 경우에 조명광의 이용 효율을 높이기 위해서, 윤대 모양의 조명광원의 형상에 따라서, 그 광학계를 이용하여 조명광속의 단면 형상을 제어하는 조명 장치가 사용되고 있다(예를 들면 특허 문헌 1 참조).

[0004] 노광 장치에서는 윤대 조명 이외의 조명 방법도 사용된다. 이러한 경우에도, 조명광의 이용 효율을 높이는 것을 고려하는 것이 요구되고 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 특허 문헌 1 : 미국 특허 제5,719,704호 명세서

## 발명의 내용

[0006] 제1 양태에 의하면, 마스크를 조명하는 조명 장치로서, 조명광을 발생시키는 광원과, 그 조명광의 경사각을 조정하는 광학계와, 그 광학계를 통한 그 조명광을 집광하는 제1 집광 광학계와, 그 광학계를 통한 그 조명광을, 그 조명광의 그 경사각을 유지하여 그 제1 집광 광학계로 사출(射出)하는 광학 부재와, 그 제1 집광 광학계로부터 사출된 그 조명광의 개구수를 조정하는 개구 조리개와, 개구수가 조정된 그 조명광을 그 마스크로 안내하는 제2 집광 광학계를 구비하는 조명 장치가 제공된다.

[0007] 제2 양태에 의하면, 마스크의 패턴을 기판에 노광하는 노광 장치로서, 제1 양태의 조명 장치와, 그 조명 장치로 조명된 그 마스크의 패턴의 상(像)을 기판에 형성하는 투영 광학계를 구비하는 노광 장치가 제공된다.

[0008] 제3 양태에 의하면, 마스크를 조명하는 조명 방법으로서, 광원으로부터 발생된 조명광의 경사각을 조정하는 것과, 그 경사각이 조정된 그 조명광을, 그 조명광의 그 경사각을 유지하는 광학 부재를 통해서 사출하는 것과, 사출된 그 조명광을 집광하는 것과, 그 조명광의 개구수를 조정하는 것과, 개구수가 조정된 그 조명광을 그 마스크로 안내하는 것을 포함하는 조명 방법이 제공된다.

[0009] 제4 양태에 의하면, 마스크의 패턴을 기판에 노광하는 노광 방법으로서, 제3 양태의 조명 방법을 이용하여 그 마스크를 조명하는 것과, 조명된 그 마스크의 패턴의 상을 기판에 형성하는 것을 포함하는 노광 방법이 제공된다.

## 도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 일 실시 형태에 따른 노광 장치의 개략 구성을 나타내는 사시도이다.

도 2는 일 실시 형태에 따른 조명 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

도 3은 일 실시 형태에 따른 부분 투영 광학계 및 스테이지계의 구성을 나타내는 도면이다.

도 4는 조명 방법 및 노광 방법의 일례를 나타내는 순서도이다.

도 5의 (A)는 조명광의  $\sigma$  값이 클 때의 조명 장치의 주요부를 나타내는 도면이고, (B)는 조명광의  $\sigma$  값이 작을 때의 조명 장치의 주요부를 나타내는 도면이다.

도 6의 (A)는 비교예의 조명 장치의 주요부를 나타내는 도면이고, (B)는 라이트 가이드 파이버의 입사단에 있어서의 광 강도 분포를 나타내는 도면이고, (C)는 플라이아이 렌즈(fly-eye lens)의 입사단에 있어서의 광 강도 분포를 나타내는 도면이다.

도 7의 (A)는 부분 조명 광학계를 나타내는 도면이고, (B)는 도 7의 (A)의 라이트 가이드 파이버의 사출단을 나타내는 확대도이다.

도 8의 (A)는 윤대 조명시의 개구 조리개의 개구의 일례를 나타내는 도면이고, (B)는 대(大)  $\sigma$  조명시의 개구 조리개의 개구의 일례를 나타내는 도면이고, (C)는 소(小)  $\sigma$  조명시의 개구 조리개의 개구의 일례를 나타내는

도면이다.

도 9의 (A) 및 (B)는 플라이아이 렌즈의 사출면을 나타내는 개념도이다.

도 10의 (A)는 변배(變倍) 광학계의 구성예를 나타내는 도면이고, (B)는 전환식 광학계의 구성예를 나타내는 도면이고, (C)는 레이저 빔의 경사각을 제어하는 광학 부재의 일례를 나타내는 도면이다.

도 11은 전자 디바이스 제조 방법의 일례를 나타내는 순서도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 일 실시 형태에 대해서, 도 1~도 9의 (B)를 참조하여 설명한다. 도 1은 본 실시 형태에 따른 노광 장치(EX)를 나타내는 사시도이다. 본 실시 형태에서는, 노광 장치(EX)가 복수의 반사 굴절형의 부분 투영 광학계를 가지는 투영 광학계(PL)에 대해서 마스크(M)와 감광제가 도포된 기판으로서의 평판 모양의 플레이트(P)를 동기 이동시키면서, 마스크(M)에 형성된 패턴의 상을 플레이트(P)에 전사하는 스텝·앤드·스캔 방식의 노광 장치인 것으로서 설명한다.
- [0012] 이하에서는, 도 1에 있어서, 플레이트(P)에 평행한 평면 내에서 직교하도록 X축, Y축을 취하고, 그 평면(XY 평면)에 수직으로 Z축을 취하여 설명한다. 일례로서, XY 평면이 수평면에 평행한 면으로 설정되고, Z축이 연직선(鉛直線)에 평행하게 설정된다. 또, 이 실시 형태에서는 마스크(M) 및 플레이트(P)를 동기 이동시키는 방향인 주사 방향을 X축과 평행한 방향(X방향)으로 설정하고 있다. 이 때, 주사 방향과 직교하는 비주사 방향은 Y축과 평행한 방향(Y방향)이다.
- [0013] 노광 장치(EX)는 마스크 스테이지(MST)(도 3 참조)에 지지된 마스크(M)의 패턴면(이하, 마스크면이라고도 함)을 균일한 조도 분포의 조명광으로 조명하기 위한 조명 장치(ILA)와, 투영 광학계(PL)와, 장치 전체의 동작을 제어하는 컴퓨터로 이루어지는 제어부(30)를 구비하고 있다. 조명 장치(ILA)는 마스크면에 Y방향(비주사 방향)을 따라서 배치된 제1열의 복수(여기에서는 4개)의 조명 영역(21a, 21c, 21e, 21g)과, 제1열의 조명 영역(21a~21g)에 대해서 주사 방향(X방향)과 어긋난 상태로, 조명 영역(21a~21g)의 사이에 위치하는 제2열의 복수(여기에서는 3개)의 조명 영역(도시하지 않음)을 조명한다. 이와 같이 조명 장치(ILA)는 마스크면의 7개의 조명 영역을 조명하지만, 조명 영역의 배치 및 개수는 임의이다.
- [0014] 본 실시 형태에서는, 후술과 같이 투영 광학계(PL) 내에 시야 조리개가 배치되어 있기 때문에, 조명 영역(21a~21g)은 그 시야 조리개의 마스크면에 있어서의 상 보다도 조금 큰 형상이면 된다. 조명 장치(ILA)는, 도 2에 나타내는 것처럼, 초고압 수은 램프로 이루어지는 3개의 광원(2a, 2b, 2c)을 구비하고 있다. 광원(2a, 2b, 2c)으로부터 사출된 조명광(3a, 3b, 3c)은, 각각 타원경(4a, 4b, 4c)에 의해 집광된다. 광원(2a~2c)은 타원경(4a~4c)의 제1 초점 위치에 배치되어 있고, 타원경(4a, 4b, 4c)의 제2 초점 위치에는 광원(2a, 2b, 2c)의 광원상(5a, 5b, 5c)이 형성된다. 마스크(M)를 조명하지 않는 기간에서는, 타원경(4a, 4b, 4c)의 제2 초점의 근처에 배치된 셔터(도시하지 않음)에 의해서 조명광(3a, 3b, 3c)은 차광된다. 덧붙여, 광원(2a, 2b, 2c)의 개수는 임의이며, 광원은 하나(예를 들면 광원(2a)만)여도 된다.
- [0015] 광원상(5a, 5b, 5c)으로부터 발산광으로서 사출되는 조명광(3a, 3b, 3c)은, 각각 변배 광학계(8a, 8b, 8c)에 의해 라이트 가이드 파이버(10)의 입사단(12a, 12b, 12c)에 집광된다. 변배 광학계(8a, 8b, 8c)는 각각 광원상(5a, 5b, 5c)의 배율이 가변(可變)인 상(이하, 광원상이라고 함)(9a, 9b, 9c)을 입사단(12a, 12b, 12c)의 입사면에 형성한다. 변배 광학계(8a~8c)는, 일례로서 구동부(6a)에 의해서 광축을 따라 이동 가능한 전군(前群) 렌즈계(6), 및 구동부(7a)에 의해서 광축을 따라 이동 가능한 후군(後群) 렌즈계(7)를 가지는 줌 렌즈(줌 광학계)이다. 제어부(30)가 구동부(6a, 7a)를 통해서 전군 렌즈계(6) 및 후군 렌즈계(7)의 위치를 제어함으로써, 변배 광학계(8a~8c)의 배율을 제어할 수 있다.
- [0016] 여기서, 변배 광학계(8a)가 최소 배율일 때의 광원상(9a)의 높이(상고(像高))를  $y_1$ , 이 때의 광원상(9a)을 형성하는 조명광(3a)의 광축에 대한 최대의 경사각을  $\alpha_1$ 이라고 한다. 또, 변배 광학계(8a)의 배율이 그 배율보다도 높은 최대 배율일 때의 광원상(9a)의 높이를  $y_2$ , 이 때의 조명광(3a)의 광축에 대한 최대의 경사각을  $\alpha_2$ 이라고 한다. 최대의 경사각이란, 이른바 추각의  $1/2$ 이기도 하다. 덧붙여, 광원상(9a)의 광 강도 분포가 정규 분포(Gauss 분포) 모양인 경우, 광원상(9a)의 높이란, 그 광 강도 분포 중에서 광 강도가 최대 강도의 예를 들면 10%~50% 정도가 되는 위치, 또는 예를 들면 30% 정도가 되는 위치의 간격으로 간주하는 것도 가능하다. 변배 광학계(8a)가 정현 조건을 만족하는 것으로 하면, 다음의 관계가 성립한다.
- [0017]  $y_1 \cdot \sin \alpha_1 = y_2 \cdot \sin \alpha_2 \cdots (1)$



- [0018] 여기에서는 높이  $y_2$ 가 높이  $y_1$ 보다 높기 때문에, 식 (1)로부터, 경사각  $\alpha_2$ 는 경사각  $\alpha_1$ 보다도 작아진다. 이것으로부터, 변배 광학계(8a~8c)는 배율 가변의 광원상(9a~9c)을 형성함으로써, 입사단(12a~12c)에 입사되는 조명광의 최대의 경사각을 제어 또는 조정할 수 있는 광학계이기도 하다. 본 실시 형태에서는, 변배 광학계(8a~8c)는 서로 같은 배율이 되도록 제어된다.
- [0019] 광 전송 부재로서의 라이트 가이드 파이버(10)는, 다수의 광 파이버 소선(11)(도 5의 (A) 참조)을 랜덤하게 묶어 구성된 파이버 번들로서, 3개의 입사단(12a, 12b, 12c)과, 복수(여기에서는 7개)의 조명 영역에 대응한 복수(여기에서는 7개)의 사출단(도 2에 있어서는, 사출단(14a, 14B)만을 나타냄.)을 가지고, 입사단(12a~12c)으로부터 수광한 조명광(3a~3c)을 그 복수의 사출단으로 분배한다. 이것에 의해서, 각 조명광(3a~3c)의 적어도 일부는, 각각 그 복수의 사출단으로부터 사출되고, 조명 장치(1A)는 복수의 광원(2a~2c)으로부터 각각 발사되는 조명광을 혼합하여 사출할 수 있다. 여기에서는, 라이트 가이드 파이버(10)는 입사단(12a~12c)으로부터 수광한 각 조명광을 복수의 사출단으로 거의 같은 광량비로 분배하여 사출시키도록 구성되어 있는 것으로 한다.
- [0020] 또, 광 파이버 소선(11)은 각각 입사하는 광속의 최대의 경사각과, 사출되는 광속의 최대의 경사각이 거의 같아지도록, 입사되는 광속의 경사각을 유지하여 사출시키는 것이다. 이 때문에, 라이트 가이드 파이버(10)의 입사단(12a~12c)에 입사되는 조명광(3a~3c)의 최대의 경사각과, 그 복수의 사출단으로부터 사출되는 조명광의 최대의 경사각은 거의 같다. 또, 일례로서, 변배 광학계(8a~8c)로부터 사출되는 조명광은, 각각 주광선이 광축과 평행하게 되는 상태로, 즉 이른바 텔레센트릭한 상태로, 대응하는 입사단(12a~12c)에 입사된다. 이것에 의해서, 라이트 가이드 파이버(10)의 각 광 파이버 소선(11)의 전송 가능한 입사각의 범위 내에 조명광을 균일하게 입사시킬 수 있다. 또, 변배 광학계(8a~8c)로부터 사출되는 조명광의 최대의 경사각은, 광 파이버 소선(11)의 전송 가능한 최대의 입사각(경사각)보다도 작은 범위로 제어된다.
- [0021] 라이트 가이드 파이버(10)의 복수의 사출단(14a, 14B) 등으로부터 사출된 조명광(20a, 20c) 등의 각각은, 마스크(M)의 부분적인 조명 영역(21a, 21c) 등을 조명하는 복수(여기에서는 7개)의 서로 같은 구성의 부분 조명 광학계(IL1~IL7)(다만, 부분 조명 광학계(IL2, IL4~IL7)는 도시 생략)에 입사된다. 부분 조명 광학계(IL1~IL7)는 후술하는 부분 투영 광학계(PL1~PL7)에 각각 대응지어져, 주사 방향과 직교하는 비주사 방향(Y방향)을 따라서 지그재그 격자무늬 모양으로 배치되어 있다.
- [0022] 부분 조명 광학계(IL1, IL3)에서는, 라이트 가이드 파이버(10)의 사출단(14a, 14B)으로부터 사출된 조명광(20a, 20c)은, 각각 콜리메이트 렌즈인 인풋 렌즈(15)에 의해서 집광되어 평행 광속으로 변환된 후, 옵티컬 인터그레이터(integrator)인 플라이아이 렌즈(16)에 입사된다. 플라이아이 렌즈(16)에 입사된 조명광(20a, 20c)은, 플라이아이 렌즈(16)를 구성하는 다수의 렌즈 엘리먼트에 의해서 파면 분할되어, 그 사출면 근방의 후측 초점면(조명 광학계의 사출 동면(瞳面))에 복수의 광원상으로 이루어지는 2차 광원(면광원)을 형성한다. 그 후측 초점면에 개구 조리개(17)가 배치되어 있다. 제어부(30)는 구동부(17a)를 통해서 개구 조리개(17)의 개구의 크기 및 형상을 제어한다. 이것에 의해서, 부분 조명 광학계(IL1, IL3)에 의해서 마스크(M)를 조명하는 조명광의 개구수 NA를 제어할 수 있다. 이하에서는, 조명광의 개구수 NA는 코히런스 팩터(coherence factor)인  $\sigma$  값(마스크를 조명하는 조명광의 개구수를, 투영 광학계의 마스크측의 개구수로 나눈 값)을 이용하여 나타내는 것으로 한다. 이 때문에, 개구 조리개(17)는  $\sigma$  조리개라고 부를 수도 있다. 덧붙여, 운대 조명을 행하는 경우에는, 개구 조리개(17)를 운대 모양의 크기 가변의 개구를 가지는 운대 조명용의 개구 조리개(도시하지 않음)와 교환해도 된다.
- [0023] 개구 조리개(17)의 개구로부터 사출된 조명광(20a, 20c)은, 콘덴서 렌즈(18)를 통해서, 마스크(M)상의 대응하는 조명 영역(21a, 21c)을 거의 균일한 조도 분포로 조명한다. 덧붙여, 도시하지 않은 부분 조명 광학계(IL2, IL4~IL7)의 구성은 부분 조명 광학계(IL1)와 동일하고, 부분 조명 광학계(IL2, IL4~IL7)도 부분 조명 광학계(IL1)와 마찬가지로, 마스크(M)상의 각각 대응하는 조명 영역을 거의 균일한 조도 분포로 조명한다.
- [0024] 부분 조명 광학계(IL1~IL7)의 각각에 대응하는 마스크(M)상의 조명 영역(21a~21g)으로부터의 조명광은, 각각 부분 투영 광학계(PL1~PL7)에 입사된다. 도 3은 부분 투영 광학계(PL1)의 구성을 나타내는 도면이다. 도 3에 나타내는 것처럼, 부분 투영 광학계(PL1)는, 마스크면의 대응하는 조명 영역(21a) 내에 마련된 패턴의 중간상을 시야 조리개(22)의 개구부에 형성하는 제1 반사 굴절형 광학계(PL11)와, 이 제1 반사 굴절형 광학계(PL11)와 협동하여, 플레이트 스테이지(PST)에 지지된 플레이트(P)의 노광 영역(23a)에 마스크(M)의 패턴의 상을 등배 정립상(正立像)으로서 결상하는 제2 반사 굴절 광학계(PL12)를 구비하고 있다. 또, 부분 투영 광학계(PL2~PL7)는 부분 투영 광학계(PL1)와 동일한 구성을 가지고 있고, 마스크면의 각각 대응하는 조명 영역 내에 형성된 패턴의 상을 플레이트(P)상에 결상한다. 덧붙여, 부분 투영 광학계(PL1~PL7)는 비주사 방향을 따라서 지그재그 격자무늬 모양으로 배치되어 있다.

- [0025] 도 2에 있어서, 제어부(30)에는, 광원(2a~2c)에 대해서 전력의 공급을 행하는 전원 장치(32)가 접속되어 있다. 제어부(30)는 플레이트(P)의 노광 또는 조명 장치(ILA)의 캘리브레이션을 행하는 경우 등에, 전원 장치(32)를 통해서 광원(2a~2c)을 점등시킨다. 덧붙여, 필요 노광량이 작은 경우에는, 광원(2a~2c) 중 적어도 하나의 광원만을 점등시키는 것도 가능하다.
- [0026] 노광시의 기본적인 동작으로서 제어부(30)는, 조명광의  $\sigma$  값 등 및 변배 광학계(8a~8c)의 배율을 포함하는 조명 조건을 설정하고(상세 후술), 광원(2a~2c)을 점등시킨다. 그리고 조명 장치(ILA)에 의해서 마스크(M)를 조명하고, 마스크(M)를 지지하는 마스크 스테이지(MST) 및 플레이트(P)를 지지하는 플레이트 스테이지(PST)를 구동하고, 마스크(M) 및 플레이트(P)를 부분 투영 광학계(PL1~PL7)에 대해서 주사 방향으로 동기 이동시키는 것(주사 노광)과, 플레이트(P)를 비주사 방향 또는 주사 방향으로 이동시키는 것(스텝 이동)을 반복함으로써, 스텝·앤드·스캔 방식으로 마스크(M)에 형성된 패턴의 상을 플레이트(P)의 복수의 피노광 영역에 노광한다.
- [0027] 또, 조명 장치(ILA)의 캘리브레이션을 행하는 경우에는, 일례로서, 조명 영역(21a~21g)의 각각의 복수의 위치에 조도 센서(도시하지 않음)를 배치한다. 그리고 광원(2a~2c)을 점등시키고,  $\sigma$  값을 변화시켰을 경우, 및 변배 광학계(8a~8c)의 배율을 변화시켰을 경우에 있어서, 그러한 조도 센서로 측정되는 조도 분포가 목표로 하는 분포에 대해서 소정의 허용 범위 내에 들어가도록, 변배 광학계(8a~8c) 및 부분 조명 광학계(IL1~IL7)의 조정을 행함으로써, 조도 분포가 균일하게 된다.
- [0028] 이하, 본 실시 형태의 조명 장치(ILA)의 조명 조건의 설정을 포함하는 조명 방법 및 노광 장치(EX)를 이용하는 노광 방법의 동작의 일례에 대해 도 4의 순서도를 참조하여 설명한다. 그 동작은 제어부(30)에 의해서 제어된다.
- [0029] 우선, 광원(2a~2c)을 점등시키고 있지 않은 상태에서, 도 4의 스텝 102에 있어서, 노광 대상의 마스크(M)의 패턴의 종류 및 미세도 등에 따라서, 조명 장치(ILA)의 부분 조명 광학계(IL1~IL7)의 개구 조리개(17)를 이용하여, 조명광의  $\sigma$  값을 제어한다. 덧붙여, 윤대 조명을 행하는 경우에는, 개구 조리개(17)를 윤대 조명용의 개구 조리개(도시하지 않음)와 교환해도 된다. 여기에서는, 도 5의 (A)에 나타내는 것처럼, 개구 조리개(17)의 예를 들면 원형의 개구의 직경을 최대치로 하고,  $\sigma$  값을 최대치 NA1(예를 들면 0.8~0.9 정도)로 설정하고, 대  $\sigma$  조명을 행하는 것으로 한다. 대  $\sigma$  조명을 행하는 경우에는, 라이트 가이드 파이버(10)의 사출단(14a)으로부터 사출되는 조명광이 인풋 렌즈(15)를 통해서 평행 광속이 되어 플라이아이 렌즈(16)의 입사면의 가장 넓은 범위(개구 조리개(17)의 최대의 개구에 대향하는 영역보다도 조금 넓은 범위)를 조명할 필요가 있다. 이 때문에, 사출단(14a)으로부터 사출되는 조명광의 최대의 경사각을 조정 가능한 범위 내의 최대치로 설정할 필요가 있다.
- [0030] 그리고 스텝 104에 있어서, 개구 조리개(17)에 의해서 설정되는  $\sigma$  값에 따라서, 변배 광학계(8a~8c)의 배율, 나아가서는 라이트 가이드 파이버(10)의 입사단(12a~12c)에 형성되는 광원상(9a~9c)을 형성하는 조명광(3a~3c)의 최대의 경사각을 조정한다. 개구 조리개(17)로서 윤대 조명용의 개구 조리개를 사용하는 경우, 그  $\sigma$  값으로서는, 윤대 모양의 개구의 외경으로 정해지는  $\sigma$  값을 사용해도 된다. 여기에서는,  $\sigma$  값이 최대치 NA1로 설정되어 있기 때문에, 변배 광학계(8a~8c)의 배율은 변배 가능한 범위에서 최소치로 설정되고, 조명광(3a~3c)의 최대의 경사각은 조정 가능한 범위 내에서 최대치  $\alpha 1$ 로 설정된다. 도 5의 (A)에 있어서, 변배 광학계(8a)의 초점 거리는  $f1$ 로 설정되고, 광원상(9a)의 높이는 조정 가능한 범위 내의 최소치  $y1$ 로 설정되어 있다.
- [0031] 라이트 가이드 파이버(10)를 구성하는 각 광 파이버 소선(11)에서는, 입사광속의 최대의 경사각과, 사출 광속의 최대의 경사각은 거의 같다. 이 때문에, 개구 조리개(17)의 개구 지름을 최대로 했을 경우에, 라이트 가이드 파이버(10)의 사출단(14a)으로부터 사출되는 조명광(20a)은 인풋 렌즈(15)를 통해서 그 최대의 개구를 조명 가능한 플라이아이 렌즈(16)의 입사면의 영역에 입사된다. 또, 입사단(12a)에 형성되는 광원상(9a)의 광 강도 분포(조도 분포) D1은, 거의 축대칭의 정규 분포 모양이고, 중앙 부분이 강하고, 주변 부분을 향해 급격하게 약해지고 있다. 광원상(9a)의 높이가 최소치  $y1$ 인 경우, 광 강도 분포 D1은 최대치에 대해서 10% 정도 이하의 부분이 입사단(12a)의 입사면의 외측으로 넓어지지만, 입사되는 조명광(3a)의 대부분(보다 정확하게는 입사되는 조명광(3a~3c)을 랜덤하게 합성한 광속)이 사출단(14a) 등으로부터 사출된다.
- [0032] 사출단(14a)으로부터 사출되는 조명광(20a)의 플라이아이 렌즈(16)의 입사면에서의 광 강도 분포 C31은, 광축으로부터 멀어짐에 따라 조금 강해지고, 그 외측에서 급격하게 약해지는 거의 축대칭의 분포이다. 광 강도 분포 C31은 개구 조리개(17)의 개구에 대향하는 영역에서 거의 균일한 값으로 간주할 수 있고, 개구 조리개(17)의 개구에는, 사출단(14a)으로부터 최대의 경사각이 거의  $\alpha 1$ 로 사출되는 조명광(20a)의 대부분이 입사된다. 이 때문에, 개구 조리개(17)의 개구를 통과하여 콘덴서 렌즈(18)를 통해서 마스크(M)에 입사되는 조명광(20a)의, 라이트 가이드 파이버(10)에 입사되는 조명광(3a)에 대한 비율인 조명광의 이용 효율(이하, 조명 효율이라고도 함)

은 높아져 있다.

[0033] 그리고 스텝 106에 있어서, 광원(2a~2c)을 점등시켜, 조명 장치(ILA)에 의해서 광원(2a~2c)으로부터의 조명광(3a~3c)으로, 변배 광학계(8a~8c), 라이트 가이드 파이버(10), 부분 조명 광학계(IL1~IL8)의 인풋 렌즈(15), 플라이아이 렌즈(16), 개구 조리개(17), 및 콘덴서 렌즈(18)를 통해서 마스크(M)를 조명한다. 그리고 스텝 108에 있어서, 투영 광학계(PL)에 의해서 마스크(M)의 패턴의 상으로 플레이트(P)를 노광하면서, 마스크(M) 및 플레이트(P)를 투영 광학계(PL)에 대해서 동기 이동함으로써, 플레이트(P)가 노광된다. 이 때에, 최대의  $\sigma$  값의 조명광을 이용하여 높은 조명 효율로 마스크(M)를 조명할 수 있기 때문에, 마스크(M)에 형성된 패턴을 높은 스루풋(throughput, 생산성)으로 고정밀도로 플레이트(P)에 노광할 수 있다.

[0034] 다음에, 예를 들면 노광 대상의 마스크(M)의 패턴이 컨택트홀의 패턴과 같이 미세한 고립(孤立) 패턴을 포함하는 경우에는, 이른바 소  $\sigma$  조명을 행하기 위하여, 스텝 102에 있어서, 도 5의 (B)에 나타내는 것처럼, 개구 조리개(17)의 예를 들면 원형의 개구의 직경을 최소치로 하여,  $\sigma$  값을 최소치 NA2(예를 들면 0.05~0.1 정도)로 설정한다. 이 경우, 사출단(14a)으로부터 사출되는 조명광은 인풋 렌즈(15)를 통해서 평행 광속이 되어, 플라이아이 렌즈(16)의 입사면의 가장 작은 영역(개구 조리개(17)의 최소의 개구에 대향하는 영역보다도 조금 넓은 영역)을 조명 하면 되기 때문에, 사출단(14a)으로부터 사출되는 조명광의 최대의 경사각은 조정 가능한 범위 내의 최소치  $\alpha_2$ 로 설정하면 된다. 이에, 스텝 104에 있어서는, 변배 광학계(8a~8c)의 배율은 변배 가능한 범위에서 최대치로 설정되고, 조명광(3a~3c)의 최대의 경사각은 최소치  $\alpha_2$ 로 설정된다. 도 5의 (B)에 있어서, 변배 광학계(8a)의 초점 거리는 f2로 설정되고, 광원상(9a)의 높이는 최대치 y2로 설정된다.

[0035] 이 때에 입사단(12a)에 형성되는 광원상(9a)의 광 강도 분포 D2는, 도 5의 (A)의 광 강도 분포 D1을 배율비 y2/y1로 확대한 거의 축대칭의 정규 분포 모양이다. 그 광 강도 분포 D2는, 최대치에 대해서 35% 정도 이하의 부분이, 입사단(12a)의 입사면의 외측으로 넓어져, 입사하는 조명광(3a~3c) 중 예를 들면 60% 정도가 사출단(14a) 등으로부터 사출된다. 광원상(9a)의 높이 y2를 광 강도가 최대치의 거의 30%의 부분의 간격으로 하면, 높이 y2의 광원상(9a)은 입사단(12a)의 폭보다도 조금 커진다.

[0036] 그렇지만, 이 경우에, 사출단(14a)으로부터 사출되는 조명광(20a)의 최대의 경사각은 거의 최소치  $\alpha_2$ 이고, 조명광(20a)의 대부분은, 인풋 렌즈(15)를 통해서, 플라이아이 렌즈(16)의 입사면에 있어서, 개구 조리개(17)의 최소의 개구에 대향하는 영역에 입사된다. 이 경우, 사출단(14a)으로부터 사출되는 조명광(20a)의 플라이아이 렌즈(16)의 입사면에서의 광 강도 분포 C11은, 도 5의 (A)의 광 강도 분포 C31을 반경 방향으로 압축한 것 같은 거의 축대칭의 분포이다. 광 강도 분포 C11은 개구 조리개(17)의 최소의 개구에 대향하는 영역에서 거의 균일한 값으로 간주할 수 있고, 개구 조리개(17)의 개구에는, 사출단(14a)으로부터 최대의 경사각이 거의  $\alpha_2$ 로 사출되는 조명광(20a)의 대부분이 입사된다. 이 때문에, 입사단(12a)에 입사되는 조명광(3a)의 광량 손실이 어느 정도 생겨도, 개구 조리개(17)의 최소의 개구를 통과하여 콘덴서 렌즈(18)를 통해서 마스크(M)에 입사되는 조명광(20a)의 조명광(3a)에 대한 이용 효율은 높아져 있다. 그 후, 스텝 106 및 108을 행함으로써, 예를 들면 고립적인 패턴을 포함하는 패턴을 높은 스루풋으로 고정밀도로 플레이트(P)에 노광할 수 있다.

[0037] 여기서, 비교예로서, 도 6의 (A)에 나타내는 것처럼, 변배 광학계(8a)의 배율을 도 5의 (A)의 경우와 같이 최소로 설정하고(조명광(3a)의 최대의 경사각을 최대치  $\alpha_1$ 로 설정하고), 개구 조리개(17)에서  $\sigma$  값을 최소치 NA2로 설정했을 경우를 상정한다. 이 비교예에 있어서는, 사출단(14a)으로부터 사출되는 조명광(20a)의 플라이아이 렌즈(16)의 입사면에서의 광 강도 분포 C31은, 개구 조리개(17)의 최소의 개구에 대향하는 영역의 외측의 영역(16Aa)에서도 상당히 강해져 있다. 이 때문에, 사출단(14a)으로부터 사출되는 조명광(20a) 중에서 개구 조리개(17)의 개구를 통과할 수 있는 것은 예를 들면 45% 정도가 된다.

[0038] 이 때문에, 본 실시 형태의 도 5의 (B)와 같이 변배 광학계(8a)의 배율을 높게 했을 경우의 마스크(M)에 입사되는 조명광(20a)의 조명 효율은, 도 6의 (A)의 비교예에 대해서 거의 30%(=(60/45-1)·100) 정도 개선되게 된다. 본 실시 형태에서는, 3개의 광원(2a~2c)이 사용되고 있지만, 조명 효율이 예를 들면 30% 개선되는 경우에는, 2개의 광원(2a, 2b)만을 점등시켜 노광을 행하는 것도 가능하게 되기 때문에, 광원(2a~2c)의 수명을 늘리는 것도 가능하게 된다.

[0039] 또, 도 6의 (B)는, 도 5의 (A), (B)의 입사단(12a)에서의 조명광(3a)의 광 강도 분포 D1, D2를 상대 광 강도로 나타낸 것이고, 도 6의 (B)의 가로축은 입사단(12a)의 중심 위치를 0으로 하여 중심으로부터의 거리를 상대치로 나타낸 것이다. 가로축의 값이 50인 위치가, 일례로서 입사단(12a)의 엣지부의 위치이다. 또, 도 6의 (B)의 광 강도 분포 D3은, 도 6의 (A)의 비교예인 경우에, 개구 조리개(17)의 개구를 통과한 조명광과, 플라이아이 렌즈(16)에 입사되는 조명광의 광량비로 광 강도 분포 D1을 압축한 분포이다. 위치  $\pm 50$ 의 내측에서 광 강도 분포



D2를 적분하여 얻어지는 광량이 본 실시 형태에서 얻어지는 광량이고, 광 강도 분포 D3을 적분하여 얻어지는 광량이 비교예에서 얻어지는 광량이며, 이 결과로부터 본 실시 형태에 의해서 조명 효율이 개선되는 것을 알 수 있다.

[0040] 또, 도 6의 (C)는 도 5의 (A), (B)의 플라이아이 렌즈(16)의 입사면에서의 조명광(20a)의 광 강도 분포 C31, C11을 상대 광 강도로 나타낸 것이고, 도 6의 (C)의 가로축은 그 입사면의 중심 위치를 0으로 하여 중심으로부터의 거리를  $\sigma$  값으로 나타낸 것이다. 광 강도 분포 C31, C11은  $\sigma$  값이 0.88과 0.65에서의 값이 동일해지도록 상대 강도가 조정되어 있다. 이 경우,  $\sigma$  값이 0.5의 위치에서의 광 강도 분포 C31, C11의 값을 평균 광 강도 또는 평균 조도라고 하면, 광 강도 분포 C31, C11의 평균 조도는 거의 같아져 있다.

[0041] 다음에, 스텝 102에 있어서, 개구 조리개(17)를 이용하여  $\sigma$  값을 최대치 NA1과 최소치 NA2 사이의 임의의 값 NA3으로 설정하는 경우에는, 스텝 104에 있어서, 변배 광학계(8a~8c)의 배율을 도 5의 (A)의 경우의 최소치( $\beta 1$ 이라고 함)와, 도 5의 (B)의 경우의 최대치( $\beta 2$ 라고 함) 사이의 값  $\beta 3$ 으로 설정해도 된다. 일례로서  $\beta 3$ 은 다음 식으로 나타내지는 것처럼,  $\sigma$  값 NA3이 점차 점차 작아짐에 따라서, 점차 크게 설정되고, 라이트 가이드 파이버(10)에 입사되는 조명광의 최대의 경사각은 점차 작게 설정된다.

[0042] 
$$\beta 3 = \beta 1 + (NA1 - NA3)(\beta 2 - \beta 1)/(NA1 - NA2) \cdots (2)$$

[0043] 이것에 의해서, 어떠한  $\sigma$  값으로 조명을 행하는 경우에도,  $\sigma$  값(조명 조건)에 따라 높은 조명 효율로 마스크(M)를 조명할 수 있어, 마스크(M)의 패턴을 높은 스루풋으로 고정밀도로 플레이트(P)에 노광할 수 있다.

[0044] 또, 도 7의 (A)는 도 5의 (A)의 부분 조명 광학계(IL1)를 나타내는 확대도이고, 도 7의 (B)는 도 7의 (A)의 라이트 가이드 파이버(10)의 사출단(14a)을 정면에서 본 확대도이며, 도 7의 (A)에 있어서는, 플라이아이 렌즈(16)를 구성하는 일부의 서로 같은 형상의 렌즈 엘리먼트(16a)가 확대되어 나타내져 있다. 도 7의 (B)에 나타내는 것처럼, 사출단(14a)은 다수의 광 파이버 소선(11)을 규칙적으로 묶어 구성되어 있다. 도 7의 (A)에 있어서, 사출단(14a)은 인풋 렌즈(15) 및 렌즈 엘리먼트(16a)에 의해서, 렌즈 엘리먼트(16a)의 사출면(개구 조리개(17)의 배치면인 이른바 동면)에 결상된다. 또, 렌즈 엘리먼트(16a)의 입사면은, 렌즈 엘리먼트(16a) 및 콘덴서 렌즈(18)에 의해서 마스크(M)의 조명 영역(21a)에 결상되기 때문에, 조명 영역(21a)이 노광 시야(도 3의 시야 조리개(22)의 개구와 공역(共役)인 영역)보다도 조금 커지도록, 플라이아이 렌즈(16)의 각 렌즈 엘리먼트(16a)의 형상이 결정된다.

[0045] 라이트 가이드 파이버(10)의 입사단(12a)의 광 강도 분포는 변배 광학계(8a)에 의해서 변경된다. 여기에서는, 일례로서, 대  $\sigma$  조명시의 최대 광 강도의 10% 정도까지의 광 강도의 광이 입사되는 광 파이버 소선(11)으로부터 사출되는 광에 의해서, 인풋 렌즈(15) 및 플라이아이 렌즈(16)를 통해서 개구 조리개(17)의 배치면에 형성되는 광원상을 조명에 기여하는 유효한 광원상으로 간주한다. 또, 사출단(14a)의 전부의 광 파이버 소선(11)으로부터 사출되는 광이 각각 유효한 광원상을 형성하는 경우, 그 광이 입사되는 범위에 있는 플라이아이 렌즈(16)의 렌즈 엘리먼트(16a)의 사출면에 형성되는 유효한 광원상의 수  $n1$ 은, 사출단(14a)을 구성하는 광 파이버 소선(11)의 수  $n2$ 와 같다.

[0046] 이하에서는, 렌즈 엘리먼트(16a)의 사출면에 형성되는 유효한 광원상의 수  $n1$ 의, 사출단(14a)을 구성하는 광 파이버 소선(11)의 수  $n2$ 에 대한 비율( $=n1/n2$ )을, 렌즈 엘리먼트(16a)에 있어서의 광 파이버 소선(11)으로부터의 조명광의 충전율  $\gamma$ 로 칭한다. 본 실시 형태에서는, 일례로서, 충전율  $\gamma$ 이 1(100%)을 유지하도록, 변배 광학계(8a)의 배율(입사단(12a)에 입사되는 조명광의 최대의 경사각)이 조정된다.

[0047] 이 때, 윤대 조명, 대  $\sigma$  조명, 또는 소  $\sigma$  조명을 행하는 경우에, 개구 조리개(17)의 개구 내에 있는 플라이아이 렌즈(16)의 렌즈 엘리먼트(16a)의 사출면에는, 각각 도 8의 (A), 도 8의 (B), 또는 도 8의 (C)에 나타내는 것처럼, 서로 같은 최대의 밀도 분포(도 7의 (B)의 광 파이버 소선(11)의 밀도 분포에 대응하는 분포)로 유효한 광원상(24)이 형성된다. 덧붙여, 도 8의 (A)에서는, 개구 조리개(17)의 개구가 윤대 모양의 개구(17c)로 설정되어 있다. 윤대 조명 또는 대  $\sigma$  조명을 행하는 경우, 변배 광학계(8a~8c)로부터 라이트 가이드 파이버(10)의 입사단(12a~12c)에 입사되는 조명광의 최대의 경사각은, 소  $\sigma$  조명을 행하는 경우에 비해 크게 설정된다.

[0048] 또, 설명의 편의상, 도 8의 (A)~(C), 및 후술하는 도 9의 (A), (B)에 있어서, 플라이아이 렌즈(16)의 각 렌즈 엘리먼트(16a)는, 개구(17b, 17c)에 대해서 실제 보다도 크게 나타내져 있다.

[0049] 이와 같이, 본 실시 형태에서는, 윤대 조명, 대  $\sigma$  조명, 또는 소  $\sigma$  조명을 행하는 경우의 광 파이버 소선(11)으로부터의 조명광의 충전율  $\gamma$ 는 공통으로 1이 되는 범위에서, 변배 광학계(8a)의 배율이 조정되어 있다. 이 경우, 개구 조리개(17)의 개구 내의 유효한 광원상(14)의 수가 최대이기 때문에, 마스크(M)에 있어서의 조도 분

포의 균일성이 양호하다. 덧붙여, 충전율  $\gamma$ 는 거의 1(예를 들면 0.9~1)이어도 된다.

- [0050] 다만, 라이트 가이드 파이버(10)의 입사단(12a~12c)에 입사되는 조명광의 광 강도는 중심 부분이 최대이고, 주변으로 향할수록 작아지고 있다. 그 때문에, 입사단(12a)을 구성하는 다수의 광 파이버 소선(11) 중에서, 예를 들면 대  $\sigma$  조명시의 최대치에 대해서 70% 정도 이상, 70~40%, 및 40~10% 정도의 광 강도의 조명광(3a)이 입사되는 광 파이버 소선(11)으로부터의 조명광으로 형성되는 광원상을 각각 광원상(24A, 24B, 24C)으로 한다. 이때, 도 5의 (A)에 나타내는 것처럼,  $\sigma$  값을 크게 설정하는 경우에는, 플라이아이 렌즈(16)의 사출면에 있어서, 개구 조리개(17)의 개구(17b) 내의 렌즈 엘리먼트(16a)의 사출면에는, 도 9의 (A)에 나타내는 것처럼, 광원상(24A, 24B, 24C)이 랜덤한 배치로 형성된다.
- [0051] 또, 라이트 가이드 파이버(10)의 사출단(14a)으로부터 사출되는 조명광은, 플라이아이 렌즈(16)의 복수의 렌즈 엘리먼트(16a)(광학 요소)의 입사구(큰 개구(17b) 내에 있는 부분의 복수의 렌즈 엘리먼트(16a)의 입사면)의 크기보다도 넓은 영역에 분포하고 있다.
- [0052] 이것에 대해서, 도 5의 (B)에 나타내는 것처럼,  $\sigma$  값을 작게 설정하는 경우에는, 플라이아이 렌즈(16)의 사출면에 있어서, 개구 조리개(17)의 개구(17b) 내의 렌즈 엘리먼트(16a)의 사출면에는, 도 9의 (B)에 나타내는 것처럼, 거의 중간 정도의 광 강도의 광원상(24B)이 규칙적인 배치로 형성된다. 또, 라이트 가이드 파이버(10)의 사출단(14a)으로부터 사출되는 조명광은, 작은 개구(17b) 내에 있는 부분의 플라이아이 렌즈(16)의 복수의 렌즈 엘리먼트(16a)의 입사구의 크기보다도 넓은 영역에 분포하고 있다. 이 때문에, 소  $\sigma$  조명에서는 플라이아이 렌즈(16)의 각 렌즈 엘리먼트(16a)의 사출면에 형성되는 광원상(24B)의 광 강도가 도 9의 (A)의 경우보다 균일하기 때문에, 조도 분포가 보다 균일화되게 된다.
- [0053] 또, 비교예와 같이, 개구수 NA2의 소  $\sigma$  조명을 행할 때, 도 9의 (A)에 점선으로 나타내는 것처럼, 단순히 개구 조리개(17)의 개구(17b)를 작게 하는 경우에는, 라이트 가이드 파이버(10)로부터 개구(17b)의 외측으로 입사되는 조명광의 대부분이 차광되기 때문에, 조명광의 이용 효율은 저하하게 된다.
- [0054] 상술한 바와 같이, 본 실시 형태의 마스크(M)를 조명하는 조명 장치(ILA)는, 조명광을 발생시키는 광원(2a)과, 스텝 104에 있어서 조명광의 최대의 경사각을 조정하는 변배 광학계(8a)와, 스텝 106에 있어서 변배 광학계(8a)를 통한 조명광을 집광하여 평행 광속으로 하는 인풋 렌즈(15)(이하, 제1 집광 광학계라고도 함)와, 스텝 106에 있어서, 변배 광학계(8a)를 통한 조명광을, 그 조명광의 최대의 경사각을 유지하여 인풋 렌즈(15)로 사출하는 라이트 가이드 파이버(10)(이하, 광학 부재라고도 함)와, 스텝 102에 있어서, 그 조명광의 개구수( $\sigma$  값)를 조정하는 개구 조리개(17)와, 스텝 106에 있어서, 그 개구수가 제어된 조명광을 마스크(M)로 안내하는 콘덴서 렌즈(18)(이하, 제2 집광 광학계라고도 함)를 구비하고 있다.
- [0055] 본 실시 형태의 조명 장치(ILA)에 의하면, 조명광의 개구수를 작게 한 소  $\sigma$  조명을 행하는 경우에, 변배 광학계(8a)에 의해서 그 조명광의 최대의 경사각을 작게 함으로써, 개구 조리개(17)의 개구에 입사되는 조명광의 비율을 크게 할 수 있어, 조명광의 이용 효율을 높일 수 있다. 이 때문에, 마스크(M)를 보다 큰 조도로 조명할 수 있다. 또, 같은 조도로 마스크(M)를 조명하는 경우에는, 광원(2a)의 수명을 길게 할 수 있음과 아울러, 복수의 광원(2a~2c)을 사용하는 경우에, 사용하는 광원의 수를 줄여 조명 장치(ILA)의 소형화 및 저비용화를 도모할 수 있다. 또, 라이트 가이드 파이버(10)를 이용하고 있기 때문에, 광원(2a)과 마스크(M)를 분리시킬 수 있어, 마스크(M)의 열팽창을 억제할 수 있다.
- [0056] 또, 본 실시 형태의 마스크(M)의 패턴을 플레이트(P)에 노광하는 노광 장치(EX)는, 스텝 102~106에 있어서, 마스크(M)를 조명하는 조명 장치(ILA)와, 스텝 108에 있어서, 조명 장치(ILA)로 조명된 마스크(M)의 패턴의 상을 플레이트(P)에 형성하는 투영 광학계(PL)를 구비하고 있다. 노광 장치(EX)에 의하면, 조명 장치(ILA)에 있어서의 조명광의 이용 효율이 높기 때문에, 조명광의 조도를 높임으로써, 높은 스루풋으로 고정밀도로 마스크(M)의 패턴을 플레이트(P)에 노광할 수 있다. 또, 조명광의 조도가 종래와 같은 경우에는, 조명 장치(ILA)를 소형화 및 저비용화할 수 있기 때문에, 노광 장치(EX)를 보다 소형화 및 저비용화할 수 있다.
- [0057] 또, 라이트 가이드 파이버(10)는 복수의 입사단(12a~12c) 및 복수의 사출단(14a, 14B) 등을 구비하고 있기 때문에, 복수의 광원(2a~2c)으로부터의 조명광을 랜덤하게 혼합하여, 복수의 부분 조명 광학계(IL1~IL7)용의 광속으로 용이하게 분기할 수 있다.
- [0058] 또, 복수의 렌즈 엘리먼트(16a)를 포함하는 플라이아이 렌즈(16)를 구비하고 있기 때문에, 마스크(M)의 조명 영역에 있어서의 조명광의 조도 분포를 보다 균일하게 할 수 있다.

- [0059] 덧붙여, 상술한 실시 형태에서는, 다음과 같은 변형이 가능하다.
- [0060] 상술한 실시 형태의 변배 광학계(8a)로서는, 도 10의 (A)에 나타내는 것처럼, 3매의 렌즈로 이루어지는 전군 렌즈계(6A)와, 3매의 렌즈로 이루어지는 후군 렌즈계(7A)를 가지고, 배율 조정시에는, 예를 들면 후군 렌즈계(7A)의 위치를 조정하는 변배 광학계(8Aa)를 사용할 수 있다.
- [0061] 추가로, 변배 광학계(8a)로서는, 광원상(5a)과 광원상(9a) 사이의 광로상에서, 광원상의 중간상을 형성하는 타입의 광학계를 사용할 수도 있다.
- [0062] 또, 상술한 실시 형태에서는, 조명광의 최대의 경사각을 제어하기 위해서 변배 광학계(8a)가 사용되고 있지만, 변배 광학계(8a) 대신에, 도 10의 (B)에 나타내는 것처럼, 광학계를 부분적으로 교환하여 배율을 전환하는 방식의 릴레이 광학계(8Ba)를 사용해도 된다. 릴레이 광학계(8Ba)는 전군 렌즈계(6A)와, 렌즈(7Ba) 및 2매의 렌즈를 가지는 렌즈군(7Bb)로 이루어지는 제1 후군 렌즈계(7B)와, 렌즈(7Ca 및 7Cb)로 이루어지는 제2 후군 렌즈계(7C)를 가진다. 그리고 배율이 낮을 때에는, 전군 렌즈계(6A)와 제1 후군 렌즈계(7B)를 이용하여, 광원상(9a)을 형성하고, 배율이 높을 때에는, 제1 후군 렌즈계(7B) 대신에 제2 후군 렌즈계(7C)를 이용하여 광원상(9a)을 형성한다. 이와 같이 교환식의 릴레이 광학계(8Ba)를 사용하는 경우에는, 경사각을 제어하기 위한 광학계를 염가로 제조할 수 있다.
- [0063] 또, 상술한 실시 형태의 변배 광학계(8a)의 예를 들면 전군 렌즈계(6)와 후군 렌즈계(7)의 사이에, 미국 특허 제5,719,704호 명세서에 개시되어 있는 것처럼, 또, 도 10의 (A)에 점선으로 나타내는 것처럼, 2개의 원추형의 프리즘 모양의 광학 부재(7B1, 7B2)로 이루어지는 광학계(엑시콘(axicon)계)를 마련해도 된다. 이 때, 통상 조명을 행하는 경우에는, 그 2개의 광학 부재(7B1, 7B2)를 밀착시키고, 윤대 조명을 행하는 경우에는, 그 2개의 광학 부재(7B1, 7B2)의 간격을 조정하여, 전군 렌즈계(6)으로 후군 렌즈계(7)의 사이를 통과하는 조명광(3a)의 단면 형상을 크기가 가변인 윤대 모양으로 해도 된다. 이 경우, 라이트 가이드 파이버(10)의 사출단(14a)으로부터 사출되는 조명광(20a)은 인풋 렌즈(15)를 통해서 플라이아이 렌즈(16)의 입사면의 윤대 모양의 영역에 입사된다. 그리고 윤대 조명을 행하는 경우에, 개구 조리개의 윤대 모양의 개구의 크기에 따라 그 2개의 광학 부재(7B1, 7B2)의 간격을 조정함으로써, 윤대 조명을 행하는 경우의 조명광의 이용 효율을 추가로 개선할 수 있다.
- [0064] 또, 상술한 실시 형태에서는, 옵티컬 인터그레이터로서 플라이아이 렌즈(16)가 사용되고 있지만, 플라이아이 렌즈(16) 대신에 마이크로렌즈 어레이, 또는 로드 인터그레이터 등을 사용해도 된다.
- [0065] 상술한 실시 형태에서는, 광원(2a~2c)으로서 초고압 수은 램프가 사용되고 있지만, 광원(2a~2c)으로서, 다른 임의의 방전 램프 등의 램프를 사용할 수 있다. 또, 광원(2a~2c)으로서, 발광 다이오드(LED) 등을 사용하는 것도 가능하다. 또, 광원(2a~2c)으로서, 고체 레이저, 기체 레이저, 또는 반도체 레이저 등의 레이저 광원을 사용해도 된다. 또, 조명광으로서 레이저광의 고조파 등을 사용하는 것도 가능하다.
- [0066] 그리고 광원으로서 레이저 광원을 사용하고, 조명광의 최대의 경사각을 크게 설정하는 경우에는, 일례로서, 도 10의 (C)에 나타내는 것처럼, 레이저 광원(도시하지 않음)으로부터 발생하는 평행 광속으로 이루어지는 레이저 빔 LB의 광로상에, 미세한 점차 피치가 작아지는 동심원 모양(존플레이트 모양)의 위상형(位相型)의 요철이 형성된 회절 격자(8C)를 배치한다. 회절 격자(8C)의 최소의 피치는, 최대의 경사각에 따라 규정된다.
- [0067] 그리고 레이저 광원을 사용하여 조명광의 최대의 경사각을 작게 설정하는 경우에는, 레이저 빔 LB의 광로상에, 회절 격자(8C)와 같은 동심원 모양의 위상형의 요철이 형성됨과 아울러, 그 최소의 피치는 회절 격자(8C)보다도 큰 회절 격자(8D)를 배치한다. 이 변형예에서는, 회절 격자(8C)를 사용하는 경우에는, 최대의 경사각이 큰 조명광을 생성할 수 있고, 회절 격자(8D)를 사용하는 경우에는, 최대의 경사각이 작은 조명광을 생성할 수 있기 때문에, 상술한 실시 형태와 마찬가지로 효과를 얻을 수 있다.
- [0068] 또, 상술한 실시 형태에 있어서는, 멀티 렌즈식의 주사형 노광 장치를 예로서 설명했지만, 주사형 노광 장치 외에, 마스크(M)와 플레이트(P)를 정지시킨 상태에서 마스크(M)의 패턴을 노광하고, 플레이트(P)를 차례로 스텝 이동시키는 스텝·앤드·리프트형의 노광 장치에 상술한 실시 형태를 적용할 수도 있다. 또, 조명 장치의 광원으로서 3개의 광원을 이용하고 있지만, 조명 장치가 1개, 2개, 또는 4개 이상의 광원을 구비하고 있어도 된다. 또, 상술한 실시 형태에 있어서는, 라이트 가이드 파이버가 7개의 사출단을 가지고 있지만, 라이트 가이드 파이버의 사출단은 1개 이상이면 그 수는 몇 개여도 된다.
- [0069] 또, 상술한 실시 형태에서는, 복수의 광원(2a~2c)으로부터의 조명광을 복수의 부분 조명 광학계(IL1~IL7)용의 광속으로 분기하고 있지만, 하나의 광원(2a)으로부터의 조명광으로 하나의 부분 조명 광학계(IL1)를 통해서 마

스크(M)를 조명하여, 마스크(M)의 패턴을 하나의 결상 광학계(예를 들면 부분 투영 광학계(PL1)와 같은 광학계)를 통해서 플레이트(P)에 전사해도 된다. 이 경우에는, 라이트 가이드 파이버(10)를 마련하지 않고, 변배 광학계(8a)로부터의 조명광(3a)을, 직접 인풋 렌즈(15)를 통해서 플라이아이 렌즈(16)에 입사시켜도 된다.

[0070] 다음에, 상술한 실시 형태에 따른 노광 장치 또는 노광 방법을 이용한 디바이스 제조 방법에 대해 설명한다. 도 11은 액정 표시 소자 등의 액정 디바이스의 제조 공정을 나타내는 순서도이다. 도 11에 나타내는 것처럼, 액정 디바이스의 제조 공정에서는, 패턴 형성 공정(스텝 200), 칼라 필터 형성 공정(스텝 202), 셀 조립 공정(스텝 204), 및 모듈 조립 공정(스텝 206)을 차례로 행한다.

[0071] 스텝 200의 패턴 형성 공정에서는, 플레이트로서 포토레지스트가 도포된 유리 기판상에, 상술한 노광 장치 또는 노광 방법을 이용하여 회로 패턴 및 전극 패턴 등의 소정의 패턴을 형성한다. 이 패턴 형성 공정에는, 상술한 실시 형태의 노광 장치 또는 노광 방법을 이용하여 포토레지스트층에 패턴을 전사하는 노광 공정과, 패턴이 전사된 플레이트의 현상을 행하고, 패턴에 대응하는 형상의 포토레지스트층을 마스크층으로서 생성하는 현상 공정과, 이 현상된 포토레지스트층을 통해서 유리 기판의 표면을 가공하는 가공 공정이 포함되어 있다.

[0072] 스텝 202의 칼라 필터 형성 공정에서는, R(빨강), G(초록), B(파랑)에 대응하는 3개의 도트의 세트를 매트릭스 모양으로 다수 배열하던지, 또는 R, G, B의 3개의 스트라이프의 필터의 세트를 수평 주사 방향으로 복수 배열한 칼라 필터를 형성한다.

[0073] 스텝 204의 셀 조립 공정에서는, 스텝 200에 의해서 소정 패턴이 형성된 유리 기판과, 스텝 202에 의해서 형성된 칼라 필터를 이용하여 액정 패널(액정 셀)을 조립한다. 구체적으로는, 예를 들면 유리 기판과 칼라 필터의 사이에 액정을 주입 함으로써 액정 패널을 형성한다.

[0074] 스텝 206의 모듈 조립 공정에서는, 스텝 204에 의해서 조립된 액정 패널에 대해, 이 액정 패널의 표시 동작을 행하게 하는 전기 회로 및 백 라이트 등의 각종 부품을 장착한다. 이와 같이 본 실시 형태의 디바이스 제조 방법에서는, 상술한 실시 형태의 노광 장치(EX), 또는 노광 방법을 이용하여, 소정의 패턴을 유리 기판에 형성하는 것과, 그 소정의 패턴을 통해서 그 유리 기판을 가공하는 것을 포함하고 있다. 본 실시 형태의 노광 장치(EX) 또는 노광 방법에 의하면, 높은 조명 효율로 노광을 행할 수 있기 때문에, 전자 디바이스를 높은 스루풋으로 고정밀도로 제조할 수 있다.

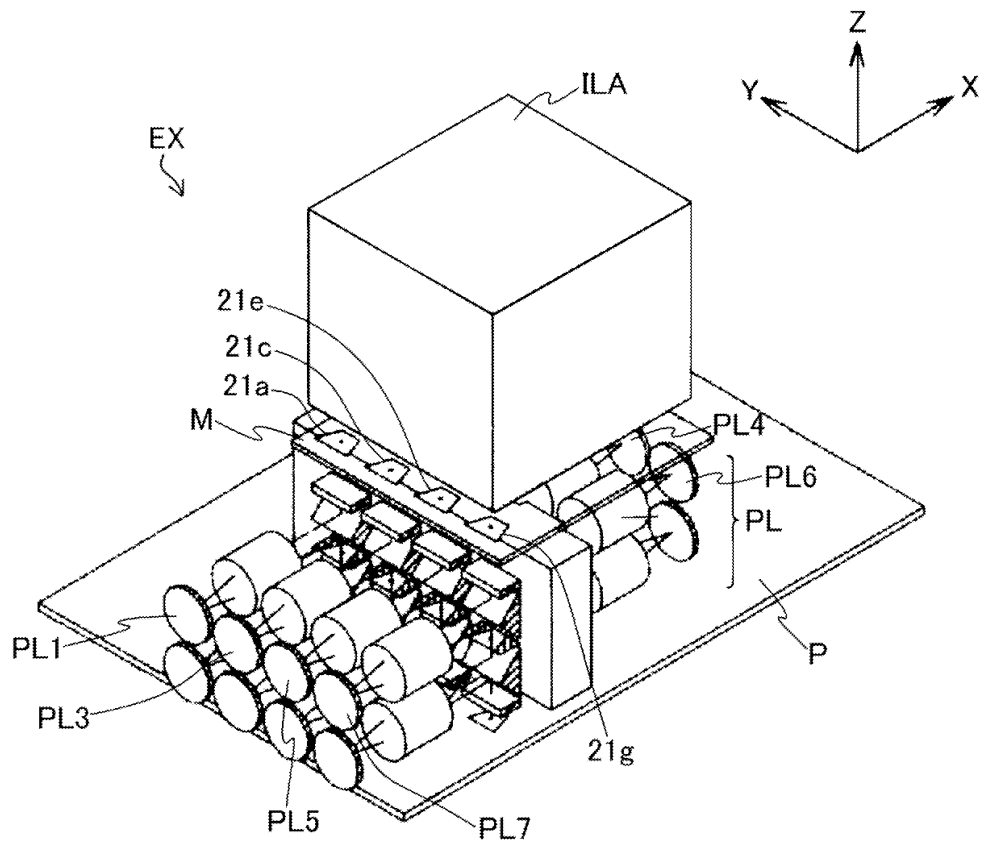
[0075] 또, 상술한 실시 형태의 노광 장치(EX) 또는 노광 방법은, 반도체 디바이스를 제조할 때에도 적용할 수 있다. 또, 상술한 실시 형태는, 반도체 디바이스 제조용 또는 액정 디바이스 제조용의 노광 장치로의 적용으로 한정되는 일 없이, 예를 들면, 플라즈마 디스플레이 등의 디스플레이 장치용의 노광 장치나, 촬상 소자(CCD 등), 마이크로 머신, 박막 자기 헤드, 및 DNA 칩 등의 각종 디바이스를 제조하기 위한 노광 장치에도 넓게 적용할 수 있다. 또한, 상술한 실시 형태는, 각종 디바이스의 제조에 이용하는 마스크(포토마스크, 레티클 등)를 포토리소그래피 공정을 이용하여 제조할 때의 노광 장치에도 적용할 수 있다.

## 부호의 설명

[0076]	2a, 2b, 2c ... 광원	4a, 4b, 4c ... 타원경,
	8a~8c ... 변배 광학계	10 ... 라이트 가이드 파이버
	12a, 12b, 12c ... 입사단	14a, 14b ... 사출단
	15 ... 인풋 렌즈	16 ... 플라이아이 렌즈
	17 ... 개구 조리개	18 ... 콘텐서 렌즈
	30 ... 제어부	32 ... 전원 장치
	EX ... 노광 장치	ILA ... 조명 장치
	IL1, IL3 ... 부분 조명 광학계	PL ... 투영 광학계
	PL1~PL7 ... 부분 투영 광학계	M ... 마스크
	P ... 플레이트	

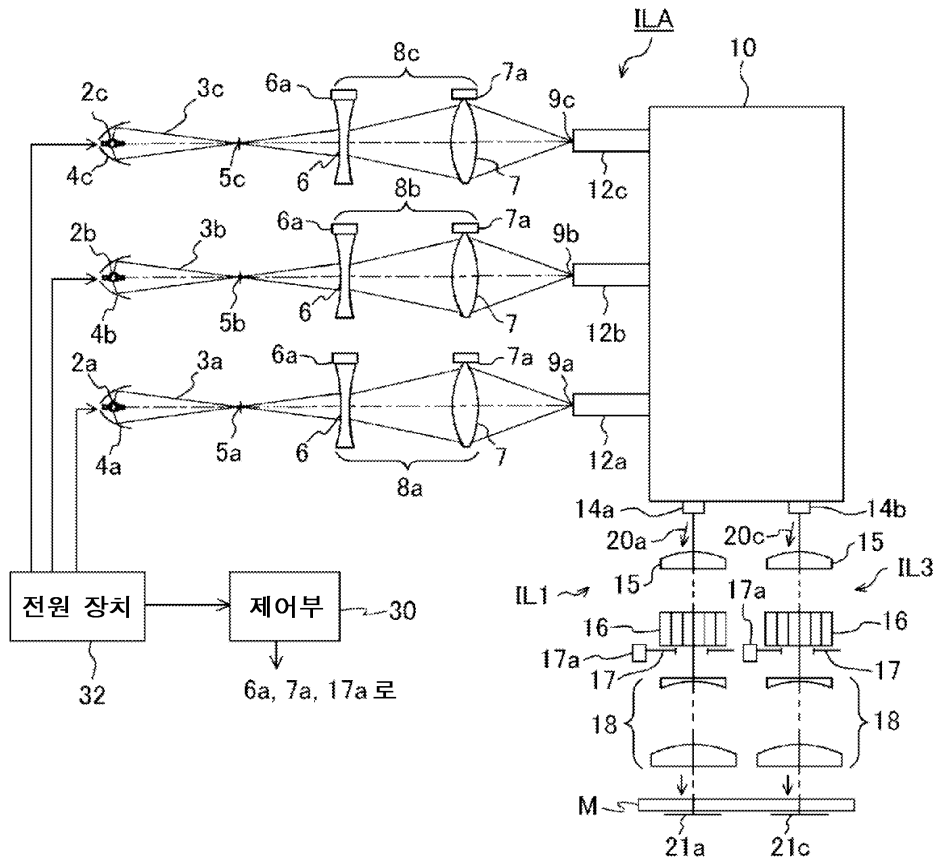
도면

도면1

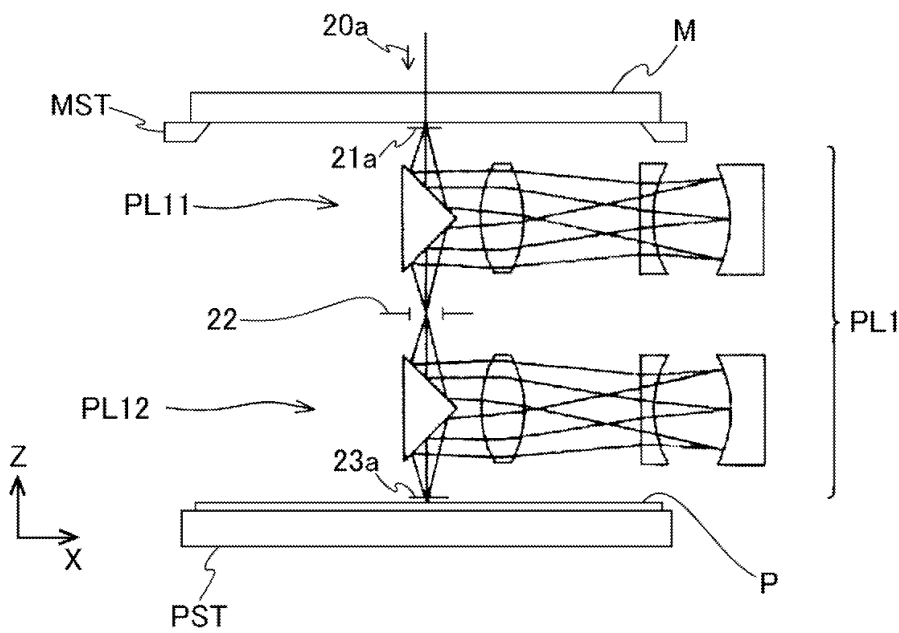




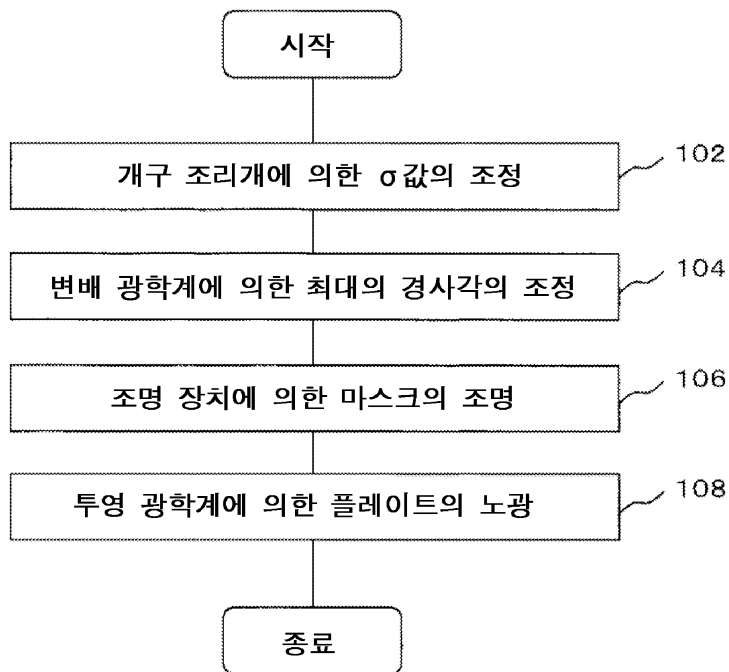
도면2



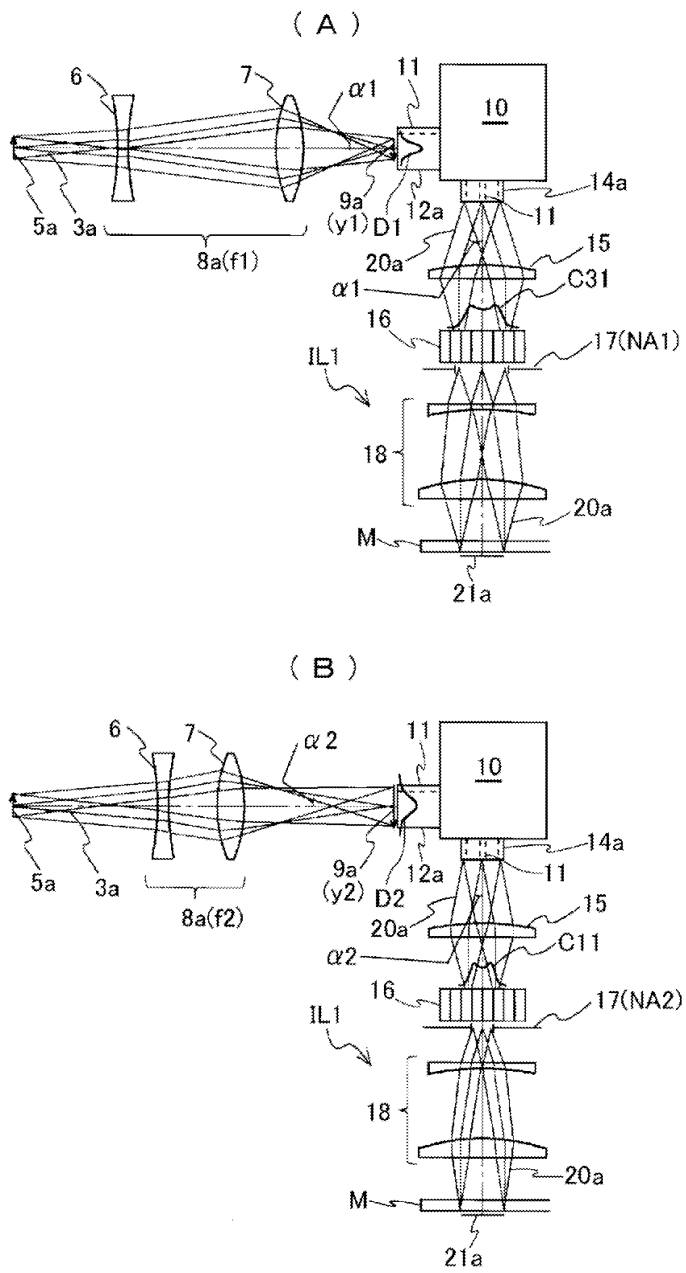
도면3



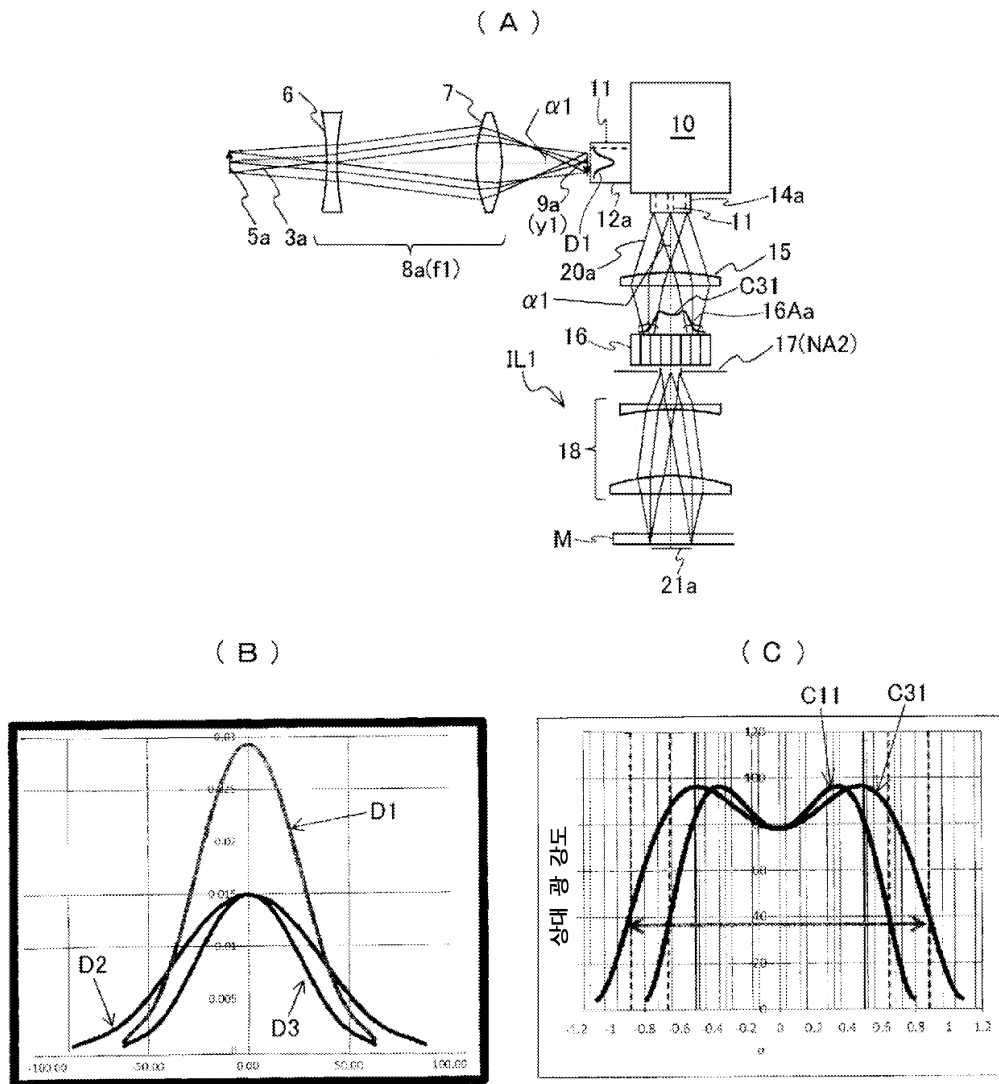
도면4



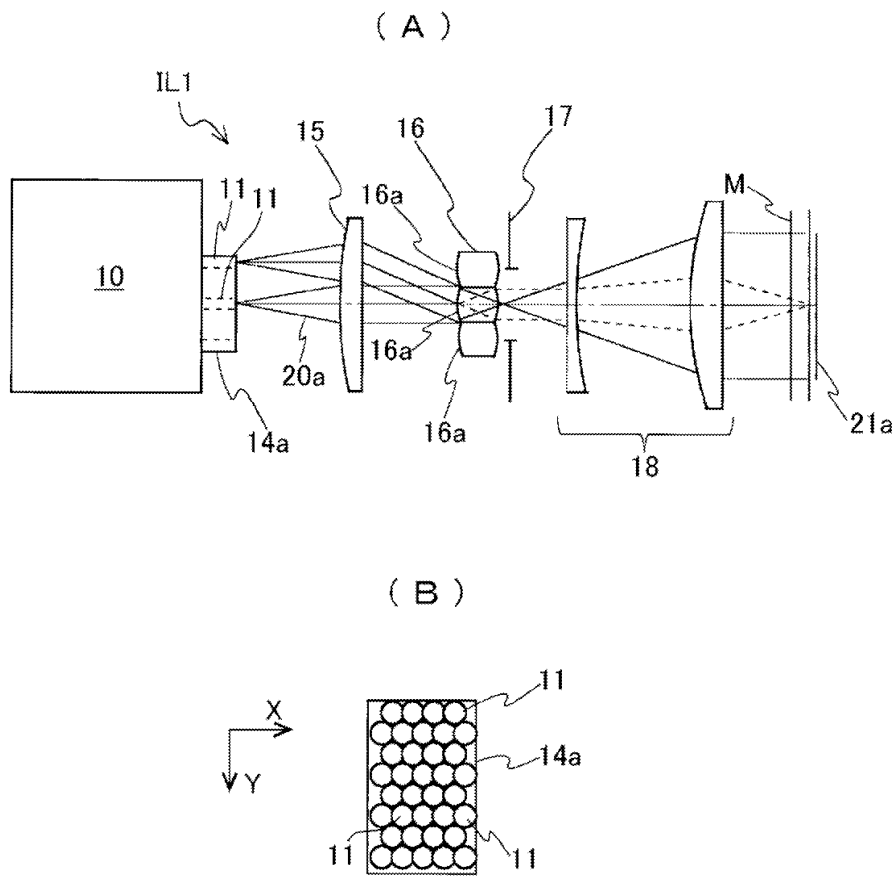
도면5



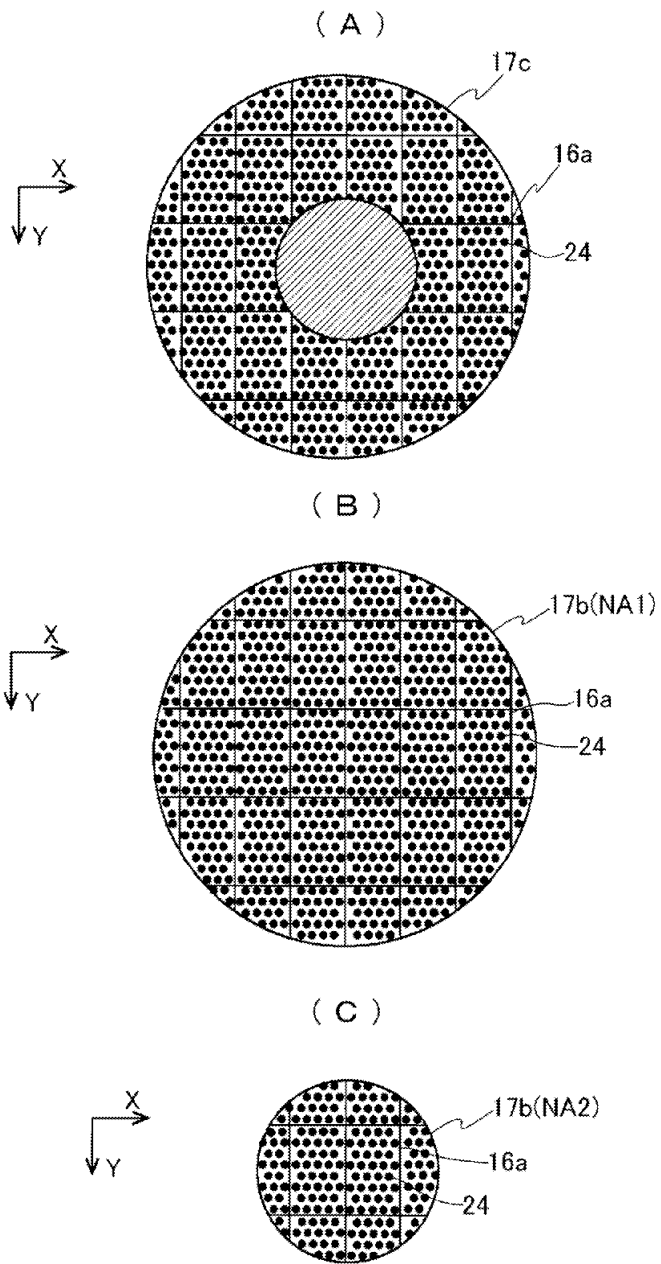
도면6



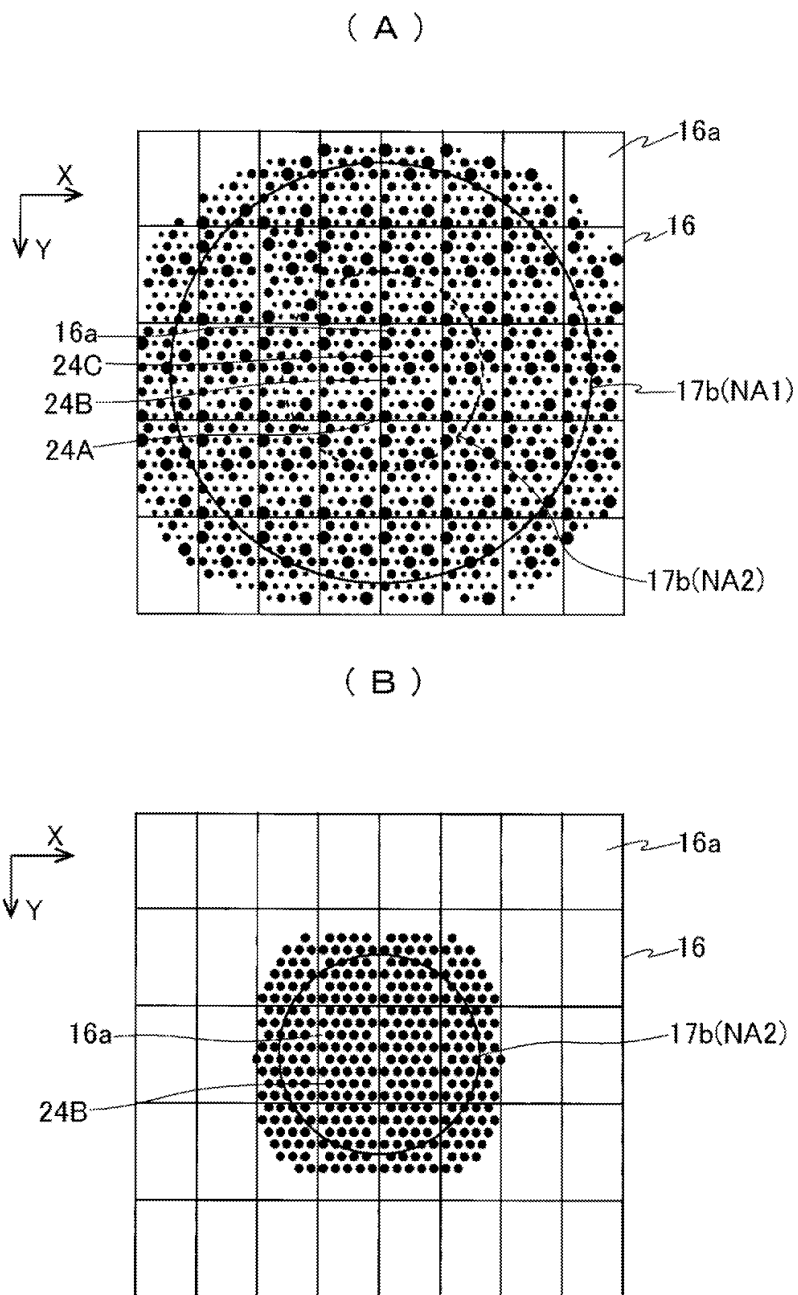
도면7



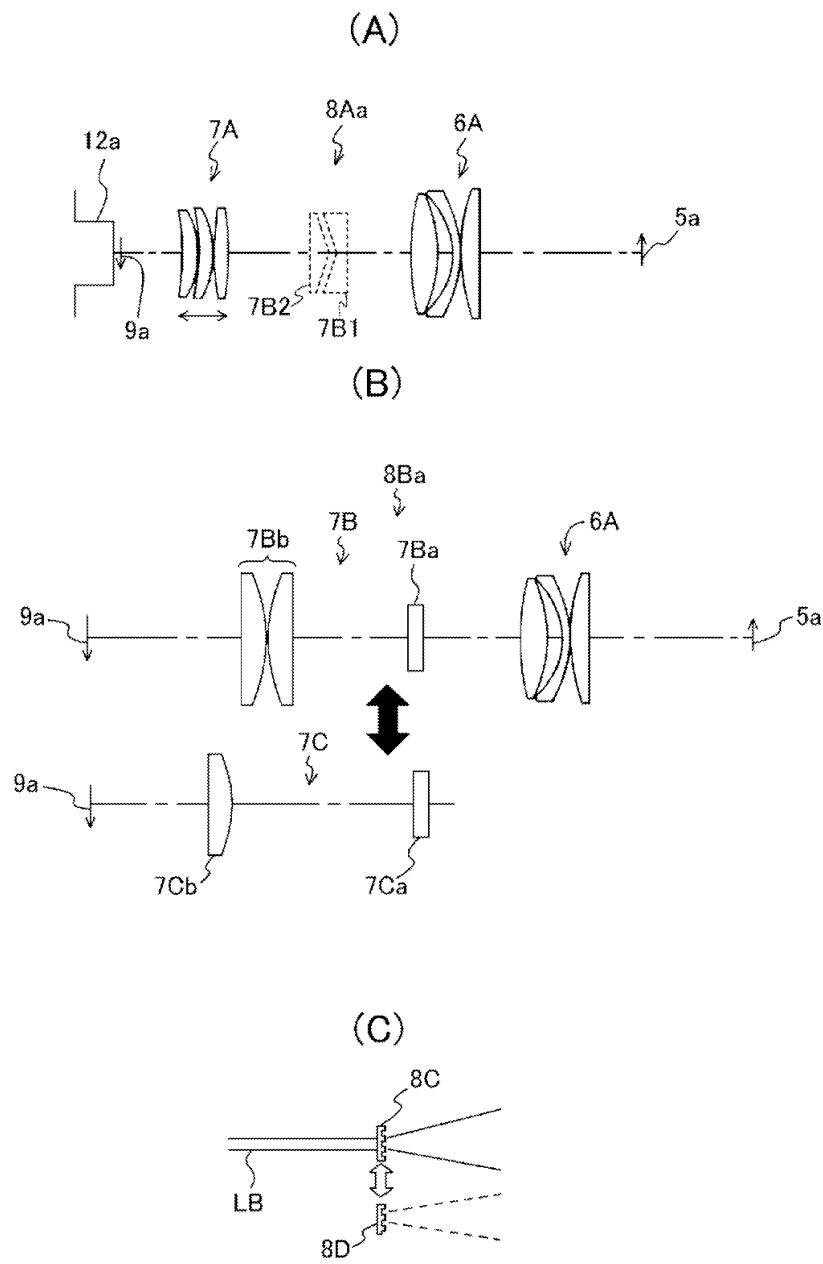
도면8



도면9



도면10





도면11

