



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0145658
(43) 공개일자 2021년12월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 7/20 (2006.01) H01L 21/027 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G03F 7/70091 (2013.01)
G03F 7/2004 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0044373
(22) 출원일자 2021년04월06일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
JP-P-2020-090174 2020년05월25일 일본(JP)

(71) 출원인
캐논 가부시끼가이샤
일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루코 3조메 30방 2고
(72) 발명자
하코 마나부
일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루코 3조메 30방
2고 캐논 가부시끼가이샤 나이
(74) 대리인
권태복

전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 노광장치, 노광방법, 및 물품의 제조방법

(57) 요약

브로드밴드 조명광에 있어서, 기판에 패턴을 전사하는 전사 성능의 저하를 억제하는 것을 과제로 한다. 제1 파장 영역과 제2 파장 영역을 포함하는 파장 영역의 빛을 사용해서 기판을 노광하는 노광장치로서, 빛으로 마스크를 조명하는 조명 광학계와, 마스크의 패턴의 상을 기판에 투영하는 투영 광학계를 갖고, 조명 광학계는, 적어도 상(뒷면에 계속)

대표도

	비교예1	비교예2	비교예3	비교예4	실시예1
조명 형상					
규격화 조도	1.00	0.86	0.75	0.57	0.86
콘트라스트	0.68	0.68	0.69	0.70	0.71
MEEF	2.74	2.72	2.65	2.72	2.59
DOF [μ m]	34.5	33.8	44.9	28.2	39.2
측벽 각도 [$^{\circ}$]	72.8	72.8	73.4	72.5	73.6

기 제1 파장 영역의 빛을 포함하는 광강도 분포인 제1 광강도 분포와, 적어도 상기 제2 파장 영역의 빛을 포함하는 광강도 분포인 제2 광강도 분포를 포함하는 광강도 분포를, 조명 광학계의 동공면에 상기 제1 광강도 분포의 적어도 일부가 제2 광강도 분포보다도 조명 광학계의 광축을 중심으로 해서 내측이 되도록 형성하고, 제1 파장 영역은 상기 제2 파장 영역의 가장 짧은 조명 파장보다도 짧은 파장을 포함할 것, 또는 상기 제2 파장 영역은 상기 제1 파장 영역의 가장 긴 조명 파장보다도 긴 파장을 포함할 것 중 적어도 한쪽을 만족하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

G03F 7/70125 (2013.01)

H01L 21/027 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

제1 파장 영역과 제2 파장 영역을 포함하는 파장 영역의 빛을 사용해서 기판을 노광하는 노광장치로서,
상기 빛으로 마스크를 조명하는 조명 광학계와,
상기 마스크의 패턴의 상을 상기 기판에 투영하는 투영 광학계를 갖고,

상기 조명 광학계는, 적어도 상기 제1 파장 영역의 빛을 포함하는 광강도 분포인 제1 광강도 분포와, 적어도 상기 제2 파장 영역의 빛을 포함하는 광강도 분포인 제2 광강도 분포를 포함하는 광강도 분포를, 상기 조명 광학계의 동공면에 상기 제1 광강도 분포의 적어도 일부가 상기 제2 광강도 분포보다도 상기 조명 광학계의 광축을 중심으로 해서 내측이 되도록 형성하고,

상기 제1 파장 영역은 상기 제2 파장 영역의 가장 짧은 조명 파장보다도 짧은 파장을 포함할 것, 또는 상기 제2 파장 영역은 상기 제1 파장 영역의 가장 긴 조명 파장보다도 긴 파장을 포함할 것 중 적어도 한쪽을 만족하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,
상기 제2 광강도 분포는 윤대 형상의 광강도 분포인 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 3

제 1항에 있어서,
상기 제1 광강도 분포는 원형 형상의 광강도 분포인 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 4

제 1항에 있어서,
상기 동공면에 형성되는 광강도 분포는 회전 대칭인 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 5

제 1항에 있어서,
상기 투영 광학계의 개구수를 NA, 상기 마스크의 패턴의 주기를 P, 조명 파장을 λ , 발광 영역을 규정하는 조명 각도를 σ 로 했을 때에, 상기 빛의 적어도 1개의 λ 및 σ 의 조합이,
$$\sigma = \lambda / (2NA \cdot P)$$

를 만족하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 제1 파장 영역의 빛의 적어도 1개의 λ 및 σ 의 조합, 및 상기 제2 파장 영역의 빛의 적어도 1개의 λ 및 σ 의 조합이,

$$\sigma = \lambda / (2NA \cdot P)$$

를 만족하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 제1 파장 영역 및 상기 제2 파장 영역의 적어도 한쪽은, 수은 램프의 휘선에 대응하는 파장을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 제1 파장 영역 및 상기 제2 파장 영역의 적어도 한쪽은, 파장폭이 20nm 이상인 광대역 광을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 9

제 1항에 있어서,

상기 제1 파장 영역 및 상기 제2 파장 영역의 적어도 한쪽은, 수은 램프의 복수의 휘선을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 10

제 1항에 있어서,

상기 제1 파장 영역은, 수은 램프의 휘선의 g선 및 h선에 대응하고,

상기 제2 파장 영역은, 수은 램프의 휘선의 i선에 대응하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 11

제 1항에 있어서,

상기 제1 파장 영역 및 상기 제2 파장 영역의 적어도 한쪽은, 350nm 이하의 파장을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 12

제 1항에 있어서,

상기 조명 광학계는, 상기 복수의 파장 영역 중 특정한 파장 영역의 빛의 투과율을 제어해서 상기 광강도 분포를 형성하는 파장 필터를 포함하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 13

제 1항에 있어서,

상기 제1 파장 영역의 가장 긴 파장은, 상기 제2 파장 영역의 가장 짧은 파장보다도 짧은 파장인 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 14

제 1항에 있어서,

상기 제1 파장 영역과 상기 제2 파장 영역은, 서로 다른 수의 램프의 휘선에 대응하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 15

제1 파장 영역과 제2 파장 영역을 포함하는 파장 영역의 빛을 사용해서 기판을 노광하는 노광방법으로서,

상기 빛으로 마스크를 조명하는 제1공정과,

상기 마스크의 패턴의 상을 상기 기판에 투영하는 제2공정을 갖고,

상기 제1공정은, 적어도 상기 제1 파장 영역의 빛을 포함하는 광강도 분포인 제1 광강도 분포와, 적어도 상기 제2 파장 영역의 빛을 포함하는 광강도 분포인 제2 광강도 분포를 포함하는 광강도 분포를, 조명 광학계의 동공면에 상기 제1 광강도 분포의 적어도 일부가 상기 제2 광강도 분포보다도 내측이 되도록 형성하고,

상기 제1 파장 영역은 상기 제2 파장 영역의 조명 파장보다도 짧은 파장을 포함할 것, 또는 상기 제2 파장 영역은 상기 제1 파장 영역의 조명 파장보다도 긴 파장을 포함할 것 중 적어도 한쪽을 만족하는 것을 특징으로 하는 노광방법.

청구항 16

청구항 1 내지 14 중 어느 한 항에 기재된 노광장치를 사용해서 기판을 노광하는 노광공정과,

상기 노광공정에서 노광된 기판을 현상하는 현상공정과,

상기 현상공정에서 현상된 기판에 대해, 산화, 성막, 증착, 도핑, 평탄화, 에칭, 레지스트 박리, 다이싱, 본딩, 패키징 중 적어도 1개의 처리를 행하는 처리공정을 포함하고,

상기 처리공정에서 처리된 기판으로부터 물품을 제조하는 것을 특징으로 하는 물품의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 노광장치, 노광방법, 및 물품의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 노광장치는, 마스크(원판)에 형성되어 있는 패턴을 플레이트(기판)에 전사하는 장치로서, 조명 광학계를 거쳐 피조사면인 마스크에 빛을 조명하고, 투영 광학계를 거쳐 마스크의 패턴의 상을 플레이트 위에 투영한다.

[0003] 조명 광학계는, 광원으로부터의 빛으로 옵티컬 인테그레이터를 조명하여, 조명 광학계의 동공면에 해당하는 옵티컬 인테그레이터의 출사면에 있어서 2차 광원을 생성한다. 2차 광원은, 소정의 형상 및 소정의 크기를 갖는 발광 영역으로 형성된다. 또한, 2차 광원을 형성하는 발광 영역은, 마스크의 각 점을 조명하는 빛의 각도 분포에 대응한다.

[0004] 노광장치에 있어서는, 미세한 패턴에 대한 전사 성능을 향상시키는 기술로서, 초해상 기술(RET: Resolution Enhancement Techniques)이 알려져 있다. RET의 1개로서, 마스크의 각 점을 조명하는 빛의 각도 분포를 최적화

하는 변형 조명이 알려져 있다.

[0005] 특허문헌 1에는, 감도가 낮은 레지스트가 도포되어 있는 플레이트에 패턴을 전사할 때에 생산성이 저하해 버린다고 하는 과제에 대하여, 조명 광학계 내의 동공면에 파장이 다른 광강도 분포를 중첩해서 형성시킴으로써, 조도를 향상시키는 기술이 기재되어 있다. 또한, 변형 조명인 윤대 조명을 형성하는 경우, 예를 들면, 동공 외측에서는 중심 파장이 약 365nm인 i선, 동공 내측에서는 중심 파장이 약 405nm인 h선을 사용하는 예가 기재되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 국제공개 제 2019/146448호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 특허문헌 1에 기재된 기술에서는, RET의 1개인 변형 조명을 사용하여, 조명 광학계 내의 동공면에 파장이 다른 광원 상을 중첩해서 형성함으로써, 조도를 향상시킬 수 있다. 그렇지만, 광학계나 패턴의 성능의 지표가 되는 초점심도나 콘트라스트 등에 대해서는, 변형 조명에 의한 일반적인 효과에 그치고 있다. 즉, 광대역의 조명광(브로드밴드 조명광)에 있어서, 전사 성능을 충분히 발휘하도록 하는 변형 조명의 구성으로는 되어 있지 않다.

[0008] 따라서, 본 발명은, 브로드밴드 조명광에 있어서, 플레이트에 패턴을 전사하는 전사 성능 저하의 억제에 유리한 노광장치를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 일측면으로서의 노광장치는, 제1 파장 영역과 제2 파장 영역을 포함하는 파장 영역의 빛을 사용해서 기판을 노광하는 노광장치로서, 상기 빛으로 마스크를 조명하는 조명 광학계와, 상기 마스크의 패턴의 상을 상기 기판에 투영하는 투영 광학계를 갖고, 상기 조명 광학계는, 적어도 상기 제1 파장 영역의 빛을 포함하는 광강도 분포인 제1 광강도 분포와, 적어도 상기 제2 파장 영역의 빛을 포함하는 광강도 분포인 제2 광강도 분포를 포함하는 광강도 분포를, 상기 조명 광학계의 동공면에 상기 제1 광강도 분포의 적어도 일부가 상기 제2 광강도 분포보다도 상기 조명 광학계의 광축을 중심으로 해서 내측이 되도록 형성하고, 상기 제1 파장 영역은 상기 제2 파장 영역의 가장 짧은 조명 파장보다도 짧은 파장을 포함할 것, 또는 상기 제2 파장 영역은 상기 제1 파장 영역의 가장 긴 조명 파장보다도 긴 파장을 포함할 것 중 적어도 한쪽을 만족하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0010] 본 발명에 따르면, 예를 들면, 브로드밴드 조명광에 있어서, 기판에 패턴을 전사하는 전사 성능 저하의 억제에 유리한 노광장치를 제공할 수 있다.

[0011] 본 발명의 또 다른 특징은 (첨부도면을 참조하는) 이하의 실시형태의 설명으로부터 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도1은 노광장치의 구성을 도시한 개략도다.

도2는 조명 광학계의 구성을 도시한 개략도다.

도3은 단일의 파장에 대한 윤대 조명의 최적의 조명 조건을 도시한 도면이다.

도4는 복수의 파장에 대한 윤대 조명의 최적의 조명 조건을 도시한 도면이다.

도5는 조명 조건에 따른 콘트라스트 변화를 도시한 도면이다.

도6은 실시예 1에 있어서의 변형 조명의 효과를 도시한 도면이다.

도7은 실시예 2에 있어서의 변형 조명의 효과를 도시한 도면이다.

도8은 실시예 3에 있어서의 변형 조명의 효과를 도시한 도면이다.

도9는 제1실시형태에 있어서의 변형 조명의 예를 나타낸 도면이다.

도10은 변형 조명에 있어서의 조명 광학계의 구성 예를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 이하에서, 본 발명의 바람직한 실시형태를 첨부도면에 근거하여 상세하게 설명한다.

[0014] <제1실시형태>

[0015] 도1은, 본 발명의 일측면으로서의 노광장치의 구성을 도시한 개략도다. 노광장치(100)는, 복수의 파장 영역을 포함하는 빛으로 마스크(원판)(9)를 조명하여, 플레이트(기판)(12)에 마스크(9)의 패턴을 전사하는 리소그래피 장치다. 노광장치(100)는, 플랫폼 패널 디스플레이, 반도체 소자, MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 등을 제조하기 위한 장치이며, 특히, 플랫폼 패널 디스플레이의 제조에 적합하다.

[0016] 노광장치(100)는, 광원으로부터의 빛에 의해, 피조면인 마스크(9)를 조명하는 조명 광학계(10)와, 마스크(9)에 형성된 패턴의 상을 플레이트(12)에 투영하는 투영 광학계(11)를 갖는다. 또한, 노광장치(100)는, 마스크(9)를 유지하고, 구동 또는 위치결정하는 마스크 스테이지(13)와, 플레이트(12)를 유지하고, 구동 또는 위치결정하는 플레이트 스테이지(38)와, 플레이트 스테이지(38)에 설치된 계측부(14)와, 제어부(15)를 갖는다. 마스크(9)는, 투영 광학계(11)의 물체면에 배치되고, 플레이트(12)는, 물체면과 광학적으로 공역의 위치인 투영 광학계(11)의 상면에 배치된다.

[0017] 투영 광학계(11)는, 예를 들면, 반사 광학계이며, 미러 32, 34 및 36을 포함한다. 투영 광학계(11)는, 마스크(9)로부터의 빛을 미러 32, 34, 36, 34, 32의 순서로 반사하여, 마스크(9)의 투영 상을 플레이트(12)에 형성한다. 투영 광학계(11)가 반사 광학계로 구성되는 경우, 광원으로부터의 빛의 색수차가 굴절 광학계보다도 작다. 이러한 구성은, 복수의 파장 영역을 포함하는 광대역 광(브로드밴드 조명광)을 사용하는 경우에 적합하다.

[0018] 제어부(15)는, 노광장치(100)의 각 부, 즉, 조명 광학계(10), 투영 광학계(11), 마스크 스테이지(13), 플레이트 스테이지(38) 등을 총괄적으로 제어해서 노광장치(100)를 동작시킨다. 제어부(15)는, 예를 들면, FPGA(Field Programmable Gate Array의 약자) 등의 PLD(Programmable Logic Device의 약자), 또는, ASIC(Application Specific Integrated Circuit의 약자), 또는, 프로그램이 내장된 범용 또는 전용의 컴퓨터, 또는, 이들의 전부 또는 일부의 조합으로 구성된다.

[0019] 도2는, 노광장치(100)에 있어서의 조명 광학계(10)의 구성 예를 도시한 개략도다. 조명 광학계(10)는, 예를 들면, 광원(1)과, 집광 미러(2)와, 콘덴서 렌즈 5와, 플라이아이 렌즈(7)와, 콘덴서 렌즈 8과, 개구 조리개(61)를 포함한다. 도2에 도시되어 있지 않지만, 콘덴서 렌즈 5와 마스크(9) 사이의 광로에는, 마스크(9)를 조명하는 빛의 단면이 소정의 형상 및 소정의 크기가 되도록, 광원(1)으로부터의 빛을 정형하는 광학계가 배치되어도 된다. 광원(1)은, 예를 들면, 수은 램프이며, 파장이 270nm 내지 450nm의 광대역 광을 출사한다. 집광 미러(2)는, 광원(1)의 출사 광을 빛을 집광시키기 위해 배치되어 있다. 광원(1)은, 집광 미러(2)의 제1 초점(3) 부근에 배치되어 있고, 집광 미러(2)는, 광원(1)의 출사 광을 제2 초점(4)에 집광한다.

[0020] 콘덴서 렌즈 5는, 제2 초점(4)에 집광된 빛을 평행 광으로 변환한다. 콘덴서 렌즈 5에서 변환된 빛은, 플라이아이 렌즈(7)의 입사면(7a)에 입사한다. 플라이아이 렌즈(7)는, 복수의 광학소자, 구체적으로는, 복수의 미소한 렌즈로 구성된 유티컬 인테그레이터이다. 플라이아이 렌즈(7)는, 입사면(7a)에 입사한 빛으로부터 2차 광원을 출사면(7b)에 형성한다. 플라이아이 렌즈(7)로부터 출사된 빛은, 복수의 콘덴서 렌즈 8을 거쳐, 마스크(9)를 중첩적으로 조명한다. 플레이트 스테이지(38)에는, 플라이아이 렌즈(7)의 출사면(7b)에 형성되는 2차 광원의 형상이나 광강도를 계측가능한 이미지 센서(예를 들면, CCD 센서)인 계측부(14)가 설치되어 있다.

[0021] 다음에, 초해상 기술(RET: Resolution Enhancement Techniques)에 대해 설명한다. RET의 1개인 윤대 조명이나 사중극 조명 등의 변형 조명(사입사 조명)은, 투영 광학계(11)의 초점심도(DOF: Depth of focus)나 투영 광학계(11)에 의해 형성되는 투영 상의 콘트라스트의 향상에 유효하다. 윤대 조명은, 조명 광학계(10)의 광축을 중심으로 하는 조명 광학계의 동공 좌표에 있어서 윤대 형상의 광강도 분포를 갖는 변형 조명이며, 윤대 조명의 발광 영역은, 조명 각도 σ 에 의해 규정된다. 이하의 설명에서는, 윤대 형상의 발광 영역의 내측의 반경을 내부 σ , 윤대 형상의 발광 영역의 외측의 반경을 외부 σ 로 부른다. 또한, 조명 각도 σ 은, 동공 좌표로 표시한 경

우, 원점으로부터의 거리(반경)에 해당하고, 조명 각도 σ 이 크면 큰 반경이 되고, 조명 각도 σ 이 작으면 작은 반경이 된다.

[0022] 또한, 전술한 것과 같은 변형 조명은, 예를 들면, 조명 광학계(10)의 동공면에 해당하는 플라이아이 렌즈(7)(옵티컬 인테그레이터)의 출사면(7b)에 개구 조리개(61)를 배치함으로써 실현가능하다. 개구 조리개(61)에 의해 변형 조명의 비발광 영역의 빛을 차폐함으로써, 원하는 변형 조명을 얻을 수 있다.

[0023] 일반적으로 변형 조명에서는, 변형 조명이 아닌 경우와 비교해서 전사 성능의 저하를 억제하도록, 발광 영역의 조명 각도 σ 이 최적화된다. 예를 들면, 운대 조명에 대해서는, 전술한 내부 σ 과 외부 σ 이 최적화된다. 한편, 본 실시형태에서는, 제1 발광 영역 I1 및 제2 발광 영역 I2를 포함하는 복수의 영역으로 구성되는 발광 영역이 조명 광학계(10)의 동공면에 형성될 수 있다. 제1 발광 영역 I1 및 제2 발광 영역 I2는, 서로 중첩하지 않는 영역일 수 있지만, 서로 중첩하는 영역이어도 된다. 또한, 본 실시형태에서는, 제1 발광 영역 I1로부터의 제1 파장 영역의 제1빛에 의해 플레이트(12)에 형성되는 제1상과, 제2 발광 영역 I2로부터의 제2 파장 영역의 제2빛에 의해 플레이트(12)에 형성되는 제2상이 합성된다.

[0024] 변형 조명은, 반도체 소자를 제조하기 위한 노광장치에 있어서 발달해 온 기술이다. 반도체 소자를 제조하기 위한 노광장치에서는, 광원으로부터 출사되는 빛의 스펙트럼의 반치전폭이 20nm 미만이기 때문에, 조명 파장 λ 은 단일의 조명 파장 λ (예를 들면, 광강도가 가장 큰 파장이나 광강도의 가중을 한 무게중심 파장)으로서 취급된다. 한편, 플랫 패널 디스플레이를 제조하기 위한 노광장치에서는, 광원으로부터 출사되는 빛의 스펙트럼의 반치전폭이 20nm 이상인 광대역 광(브로드밴드 조명광)이 사용될 수 있다. 여기에서, 반치전폭은, FWHM(Full Width at Half Maximum)으로 불리는 양이며, 스펙트럼의 파장폭에 해당한다. 또한, 브로드밴드 조명광이라고 하는 표현에는, 단일의 휘선의 대역 뿐만 아니라, 복수의 휘선의 대역을 갖는 빛의 의미도 포함된다.

[0025] 광대역(브로드밴드)이라고 하는 표현은, KrF 레이저광 또는 ArF 레이저광 등과 같이 반치전폭이 작은 협대역(나로우 밴드)라고 하는 표현과 구별하는 의미로 사용된다. 구체적으로는, 본 실시형태에 있어서, 광대역 광이라고 하는 표현은, 반치전폭이 20nm 이상인 것을 의미한다.

[0026] 플랫 패널 디스플레이를 제조하기 위한 노광장치에 있어서, 예를 들면, 광원으로서 수은 램프를 사용하고, 수은 램프로부터의 빛에 있어서의 단일의 휘선인 i선을 사용하는 경우에는, 반치전폭은 약 6nm이 된다. 한편, 수은 램프로부터의 빛에 있어서의 복수의 휘선인 g선(중심 파장 약 436nm), h선(중심 파장 약 405nm), i선(중심 파장 약 365nm)을 사용하는 경우에는, 반치전폭은 80nm 이상이 된다. 보다 넓은 반치전폭의 노광 광을 사용함으로써, 조도를 증가시키는 것이 가능해 지고, 그것에 따른 생산성을 향상시킬 수 있다.

[0027] 본 실시형태에서는, 변형 조명에 있어서의 발광 영역의 조명 각도 σ 이외에, 조명 파장 λ 도 최적화될 수 있다. 조명 파장 λ 을 최적화함으로써, 콘트라스트나 초점심도(DOF)를 포함하는 전사 성능을 향상시키는 효과가 얻어진다. 본 실시형태에 있어서의 DOF는, 디포커스에 따른 선폭 변화가 목표 선폭 CD(Critical Dimension)에 대해 10% 이하의 변화인 포커스 범위로서 정의한다.

[0028] 일반적으로, 디포커스에 따른 콘트라스트의 저하를 억제함으로써, DOF의 저하도 억제하는 것이 가능하다. 도3을 사용하여, 디포커스에 따른 콘트라스트의 저하를 억제하는 조건을 설명한다. 도3은, 조명광의 조명 파장이 290nm, 투영 광학계의 개구수 NA가 0.12, 선폭 $1\mu\text{m}$ 의 라인 앤드 스페이스 패턴(주기 $2\mu\text{m}$)인 경우의 마스크(9)의 투과 광 D_{290}^0 및 1차의 회절광 D_{290}^1 을 나타내고 있다. 도3의 설명에서 나타난 조명 파장, NA, 선폭, 및 주기는, 설명을 위한 한 개의 예에 지나지 않고, 실제로는 임의로 설정된다. 여기에서, 회절의 식은, 마스크 패턴의 주기 P와 조명 파장 λ 에 대하여, 입사각 θ_{in} , 회절각 θ_{out} 로서,

[0029]
$$P \cdot \sin\theta_{in} + P \cdot \sin\theta_{out} = \lambda \quad \cdots(1)$$

[0030] 이 된다. 여기에서, 조명 조건으로서 입사각 θ_{in} 과 회절각 θ_{out} 가 같은 경우를 생각한다. 도3은 입사각 θ_{in} 과 회절각 θ_{out} 가 같은 경우를 도시한 것이며, 도3에 나타난 마스크의 투과 광 D_{290}^0 과, 1차의 회절광 D_{290}^1 은, 광축에 대해 대칭으로 전파한다. 이 조명 조건은, 디포커스에 따른 콘트라스트의 저하를 억제하고, DOF를 증대하는 조건에 해당하고,

[0031]
$$2P \cdot \sin\theta_{in} = \lambda$$

- [0032] $\sin\theta_{in} = \lambda / 2P \cdots (2)$
- [0033] 가 된다. 또한, 조명 각도 σ 을 동공 좌표로 기재하면, $\sin\theta_{in}$ 을 개구수 NA로 규격화한 값이 되므로, DOF의 저하를 억제하는 변형 조명의 조명 각도를 σ_c 로 했을 때, σ_c 는 투영 광학계의 개구수 NA에 대하여,
- [0034] $\sigma_c = \sin\theta_{in} / NA = \lambda / (2NA \cdot P) \cdots (3)$ 을 만족하는 것이 바람직하다. 조명 조건 $\sigma = \lambda / (2NA \cdot P)$ 을 만족하는 경우에는, DOF의 저하의 억제와 함께, 베스트 포커스에 있어서 콘트라스트를 향상시키는 효과도 기대할 수 있다.
- [0035] 도4는, 조명광의 조명 파장이 290nm과 365nm의 2개의 파장을 포함하는 빛인 경우의 마스크(9)의 투과 광 D_{290}^0 , D_{365}^0 , 및 1차의 회절광 D_{290}^1 , D_{365}^1 를 나타내고 있다. 또한, 그 밖의 조건에 대해서는, 도3의 조건과 같으며, 투영 광학계의 개구수 NA가 0.12, 선폭 $1\mu m$ 의 라인 앤드 스페이스 패턴(주기 $2\mu m$)이다.
- [0036] 도4a에 나타난 조명에서는, 도3에 나타난 것과 같이 파장 290nm에 대해서는, 식 (3)을 만족하는 조명 조건으로 되고 있다. 식 (1)에서, 파장의 변화에 따라 회절 각도는 변화하기 때문에, 식 (3)의 최적의 σ 도 파장에 따라 변화한다. 따라서, 도4a에서는, 조명 파장이 365nm인 경우, 식 (3)의 조명 조건을 만족시키지 않기 때문에, 투과 광과 회절광은 광축에 대해 대칭으로 전파하지 않고 DOF는 저하해 버린다.
- [0037] DOF의 저하를 억제하기 위해서는, 식 (3)에서, 장파장의 경우에는, 조명 각도 σ 이 큰 조명광이 바람직하고, 단파장의 경우에는, 조명 각도 σ 이 작은 조명광이 바람직한 것을 알 수 있다. 도4b에 나타난 조명에서는, 식 (3)을 따르도록, 파장별로 다른 조명 각도 σ 로 조명하고 있다. 그 때문에, 파장 290nm과 365nm의 양쪽의 파장에 대하여, 투과 광과 회절광은 광축에 대해 대칭으로 전파하여, DOF의 저하를 억제하는 효과가 얻어진다.
- [0038] 도5를 사용하여, 식 (3)을 만족하는 조명 조건이, 디포커스에 따른 콘트라스트의 저하를 억제하는 것을 설명한다. 도5는, 공중 상강도의 콘트라스트를 나타낸다. 투영 광학계의 개구수 NA를 0.10으로 하고 있다. 도5a~도5c의 그래프는, 노광 패턴이 선폭 $1.5\mu m$ (주기 $3.0\mu m$)인 7개 라인 앤드 스페이스 패턴의 중앙 라인에 있어서의 콘트라스트를 도시한 도면이다. 도5d~도5f의 그래프는, 노광 패턴이 선폭 $1.8\mu m$ (주기 $3.6\mu m$)인 7개 라인 앤드 스페이스 패턴의 중앙 라인에 있어서의 콘트라스트이다. 도5a, 도5d의 그래프는, 디포커스가 $0\mu m$, 도5b, 도5e의 그래프는, 디포커스 $15\mu m$, 도5c, 도5f의 그래프는, 디포커스 $15\mu m$ 로부터 디포커스 $0\mu m$ 을 뺀 콘트라스트이다.
- [0039] 도5c, 도5f의 그래프는, 디포커스에 따른 콘트라스트의 악화를 나타내고 있고, 질은 회색으로 될수록 콘트라스트의 악화가 크다. 여기에서 디포커스 $15\mu m$ 에 있어서 콘트라스트가 0.3 미만인 되는 조건은, 전사 성능의 관점에서 실용화되지 않는 조건으로서 흑색으로 하고 있다. 도5의 가로축의 파장은 수은 스펙트럼의 g선, h선, i선을 포함하는 340~460nm로 하고 있다. 도5의 세로축은, 윤대 조명에 있어서의 내부 σ 을 나타내고 있고, 외부 σ 은 내부 σ 보다 0.05 큰 값으로 가정하고 있다. 이것은, 실제상 내부 σ 과 외부 σ 을 동일시킬 수 있을수록 미세한 윤대 조명에 해당한다. 그래프 중의 흑색의 실선은 식 (3)을 만족하는 최적의 조명 조건인 조명 파장 λ 과 조명 각도 σ 의 관계를 나타낸다. 도5로부터 식 (3)을 만족하는 흑색의 실선으로 표시된 조건은 디포커스에 따른 콘트라스트의 저하가 작은 것을 알 수 있다. 이상에서, 식 (3)을 만족하는 조명 조건에 의해, 디포커스에 따른 콘트라스트의 저하를 억제할 수 있다는 것을 알 수 있다.
- [0040] 식 (3)을 만족하는 최적의 조명 조건인 흑색의 실선으로부터 크게 괴리한 조건(특히, 조명 파장 λ 이 장파장측에서 조명 각도 σ 이 작은 경우)에서는, 콘트라스트가 낮고, 디포커스에 따른 콘트라스트의 악화도 크다. 따라서, 식 (3)을 만족하는 최적의 조명 조건으로부터 크게 괴리한 조건에 해당하는 조명 파장 λ 과 조명 각도 σ 의 조합은, 예를 들면, 파장 필터를 사용함으로써 차광하는 것이 바람직하다. 또한, 도5d~도5f에서 나타내고 있는 선폭 $1.8\mu m$ (주기 $3.6\mu m$)의 패턴의 쪽이, 도5a~도5c에서 나타내고 있는 선폭 $1.5\mu m$ (주기 $3.0\mu m$)보다도 콘트라스트가 크다. 이것은, 일반적으로, 선폭이 짧은 고미세한 패턴의 쪽이, 콘트라스트가 나빠지는 경향이 있기 때문이다.
- [0041] 또한, 도5는, 식 (3)을 만족하는 최적의 조명 조건인 흑색의 실선으로부터 약간 벗어난 조건에 있어서도, 높은 콘트라스트를 나타내는 것도 있다. 도5d에 나타난 것과 같이, 선폭 $1.8\mu m$ 의 패턴, 디포커스 $0\mu m$ 에서는, 흑색의 실선으로부터 크게 괴리한 조명 조건, 예를 들면, 조명 파장 365nm, 조명 각도 $\sigma=0$ 에 있어서 높은 콘트라스트를 나타내, 조명 조건으로서 채용할 수 있는 가능성이 있다. 조도를 크게 하고 싶은 경우에는, 가능한 한 넓은 파장폭으로 설정하고, 또한 윤대폭을 크게 하는 것이 바람직하다. 이 때문에, 성능면에서 실용가능한 콘트라스트를 나타내는 범위이면, 최적의 조명 조건인 흑색의 실선으로부터 크게 괴리한 조명 조건이었다고 하여도

되고, 충분한 전사 성능을 얻은 채 조도를 크게 하는 것이 가능해진다.

[0042] 일반적인 원형 형상의 조명(즉, 내부 σ 이 제로인 조명)에 대해서는, 본 실시형태의 변형 조명은, 사업사 조명의 효과로 DOF가 향상된다. 변형 조명의 1개의 수법으로서 알려지는 협 윤대에 대해서는, 본 실시형태의 변형 조명은, 조도의 저하를 억제하고, 생산성의 저하를 억제하는 효과가 있다. 또한, 본 실시형태의 변형 조명은, 협 윤대에 비해 넓은 윤대폭을 사용하기 때문에, 플라이아이 렌즈로 형성되는 조명 강도의 불균일성에 따른 조도 불균일이 저감된다. 본 실시형태의 변형 조명은, 윤대폭이 좁은 협 윤대 조명과 비교하여, 특정한 주기의 패턴 P 이외의 주기의 패턴에 대하여도 전사 성능의 저하를 억제할 수 있다.

[0043] 또한, 조명 파장을 단파장화하는 것에 의해 해상력을 향상시키는 수법도 있지만, 본 실시형태의 변형 조명은, 장파장의 조명광을 완전히 차광하지 않고, 해상력을 향상시키고 있다. 그 때문에, 장파장의 조명광의 광량도 낭비 없이 사용할 수 있기 때문에, 조도 저하(즉, 생산성의 저하)를 억제할 수 있다. 그 밖에도, 본 실시형태의 변형 조명은, 위상 시프트 마스크의 제조 오차에 따른 해상력 저하의 억제, 레지스트 패턴의 측벽 각도의 제어 등의 효과가 얻어지는 경우가 있다.

[0044] 본 실시형태의 변형 조명은, 편광 조명에 대해 적용하는 것도 가능하다. 광원은 수는 램프에 한정되지 않고, LED 광원이나 복수의 반도체 광원으로 브로드밴드 조명을 형성하는 경우도 포함된다. 조명 광학계 내의 파장 필터의 투과율을 조정해서 수는 램프의 스펙트럼 강도 분포와 다른 강도 분포로 조정해도 된다. 조명 광학계에 파이버 번들을 사용해도 된다. 각 파장 영역에 적합한, 다른 σ 을 갖는 제1 발광 영역 I1과 제2 발광 영역 I2를 사용함으로써, 전사 성능의 저하를 억제할 수 있다. 또한, 단일 파장에 의한 변형 조명과 비교하여, 조명 조도를 향상시키는 효과도 기대할 수 있다.

[0045] 본 실시형태의 변형 조명은, 식 (3)을 만족하는 조명 조건인 것을 서술했지만, 제1 발광 영역 I1에 있어서의 제1 파장 영역 $\lambda 1$ 의 모든 조명 파장에 대해, 완전히 식 (3)을 만족하는 조명 각도 σ 을 갖는 구성이어도 되지만, 이것에 한정되지 않는다. 또한, 제2 발광 영역 I2에 있어서의 제2 파장 영역 $\lambda 2$ 의 모든 조명 파장에 대해, 완전히 식 (3)을 만족하는 조명 각도 σ 을 갖는 구성이어도 되지만, 이것에 한정되지 않는다. 식 (3)을 일부 만족하는 조명 조건이면 되고, 예를 들면, 제1 발광 영역 I1의 일부의 조명 파장과, 제2 발광 영역 I2의 일부의 조명 파장에 대해, 식 (3)을 만족하는 것 같은 조명 각도 σ 을 포함하는 변형 조명이면 된다.

[0046] <실시예1>

[0047] 도6을 사용하여, 4종류의 비교예와 비교해서 본 실시형태의 실시예 1에 있어서의 조명광의 전사 성능이 높은 것을 나타낸다. 도6은, 비교예와 실시예 1의 조명의 시뮬레이션 결과를 도시한 도면이다. 개구수 NA는 0.10으로 하였다. 마스크 패턴은 선폭 $1.8\mu\text{m}$ (주기 $3.6\mu\text{m}$)의 7개 라인 앤드 스페이스 패턴의 중앙 라인을 평가하였다. 도6에 나타난 조명 형상의 격자 무늬의 영역의 파장은 $340\sim 460\text{nm}$ 의 브로드밴드 광이며, 이것은 수는 램프의 3개의 휘선 g선, h선, i선을 포함한다. 조명 형상의 사선 무늬의 영역의 파장은 $340\sim 390\text{nm}$ 의 브로드밴드 광이며, 이것은 수는 램프의 1개의 휘선 i선을 포함한다.

[0048] 도6의 좌측으로부터 순서대로 설명한다. 비교예 1은, 내부 $\sigma=0.00$, 외부 $\sigma=0.90$ 의 g선, h선, i선의 조명이다. 즉, 원형의 광강도 분포를 나타내는 조명이다. 비교예 2는, 내부 $\sigma=0.00$, 외부 $\sigma=0.83$ 의 g선, h선, i선의 조명이다. 외부 σ 을 0.83으로 설정하고 있는 이유는, 후술하는 본 실시형태의 조명과 같은 조도로 하기 위해서이다. 비교예 3은, 내부 $\sigma=0.45$, 외부 $\sigma=0.90$ 의 g선, h선, i선의 윤대 조명이다. 비교예 4는, 내부 $\sigma=0.00$, 외부 $\sigma=0.45$ 의 영역은 g선, h선, i선이고, 내부 $\sigma=0.45$, 외부 $\sigma=0.90$ 의 영역은 i선의 조명이다. 비교예 4에서는, 내부 $\sigma=0.00$, 외부 $\sigma=0.45$ 의 영역에 있어서, 내부 $\sigma=0.45$, 외부 $\sigma=0.90$ 의 영역보다도 긴 파장이 포함되어 있다. 이것은, 후술하는 본 실시형태와는 조명 각도 σ 과 조명 파장 λ 의 관계가 반대로 되어 있고, 식 (3)에서 나타내는 최적의 조명 조건을 만족시키지 않는 구성으로 되어 있다.

[0049] 실시예 1은, 내부 $\sigma=0.00$, 외부 $\sigma=0.45$ 의 영역은 i선이고, 내부 $\sigma=0.45$, 외부 $\sigma=0.90$ 의 영역은 g선, h선, i선의 조명이다. 실시예 1에서는, 내부 $\sigma=0.45$, 외부 $\sigma=0.90$ 의 영역에 있어서, 내부 $\sigma=0.00$, 외부 $\sigma=0.45$ 의 영역보다도 긴 파장이 포함되어 있다. 이것은, 식 (3)에서 나타내는 최적의 조명 조건을 만족하는 구성으로 되어 있다.

[0050] 비교예 1~4와 실시예 1의 조명의 각 성능을 비교한다. 우선, 규격화 조도에 대해 비교한다. 규격화 조도는, 비교예 1의 조도를 1로 하여 다른 조도를 규격화한 것이며, 조명 형상의 면적과 수는 램프의 스펙트럼 강도 분포를 고려한 것이다. 규격화 조도는, 비교예 1이 가장 크다. 본 실시예의 조명은, 비교예 3, 4보다도 커서 조도의 면에서 성능을 상회하고 있다. 이때, 비교예 2는, 상기한 것과 같이 실시예 1과 같은 조도가 되도록 외부 σ 을

정하고 있기 때문에, 같은 규격화 조도이다.

- [0051] 다음에, 콘트라스트에 대해 비교한다. 본 실시형태에 있어서의 콘트라스트는, 중앙 라인의 공중 상강도의 콘트라스트다. 실시예 1에 있어서의 콘트라스트는, 비교예 1~4와 비교해서 큰 것을 알 수 있다. 즉, 성능이 향상되고 있는 것을 나타내고 있다.
- [0052] 다음에, MEEF(Mask Error Enhancement Factor)에 대해 비교한다. MEEF는, 마스크 선폭 오차(제조 오차) ΔCD_{mask} 에 대한 플레이트에 노광한 레지스트 패턴의 선폭 오차 ΔCD_{resist} 의 비이며, $MEEF = \Delta CD_{resist} / \Delta CD_{mask} \cdots (4)$ 로 정의된다. MEEF는 작은 값일수록 성능이 좋은 것을 나타낸다. 실시예 1에 있어서 MEEF는, 비교예 1~4와 비해 작은 것을 알 수 있다. 즉, 성능이 향상되고 있는 것을 나타내고 있다.
- [0053] 다음에, DOF에 대해 비교한다. DOF는, 디포커스에 따른 선폭 변화가, 목표 선폭 CD에 대해 10% 이하의 변화인 포커스 범위이며, 베스트 포커스에서 1800nm의 중앙 라인이 1980nm 이하가 되는 포커스 범위다. DOF는, 큰 값일수록 성능이 좋은 것을 나타낸다. 실시예 1에 있어서의 DOF는, 비교예 1, 2, 4와 비해 큰 것을 알 수 있다. 즉, 성능이 향상되고 있는 것을 나타내고 있다. 단, 실시예 1과 비교예 3을 비교한 경우에는, 윤대 형상의 조명인 비교예 3의 쪽이, DOF는 크다.
- [0054] 다음에, 측벽 각도에 대해 비교한다. 측벽 각도는, 중앙 라인의 레지스트 패턴의 보텀부의 각도이다. 측벽 각도는, 큰 값일(즉, 90°에 가까울)수록 성능이 좋은 것을 나타낸다. 실시예 1에 있어서의 측벽 각도는, 비교예 1~4와 비해 큰 것을 알 수 있다. 즉, 성능이 향상되고 있는 것을 나타내고 있다.
- [0055] 전술한 비교에 대해 정리한다. 실시예 1의 조명은, 비교예 1과 비교예 2에서 나타낸 원형 형상의 조명과 비교하여, 콘트라스트, MEEF, DOF, 측벽 각도에 관한 전사 성능에 있어서 성능이 향상되어 있다. 실시예 1의 조명은, 비교예 3에서 나타내는 윤대 조명과 비교하여, 보다 높은 조도를 갖고, 또한 콘트라스트, MEEF, 측벽 각도에 관한 전사 성능에 있어서 높은 성능을 나타내고 있다. 또한, 실시예 1의 조명은, 비교예 4에 대하여, 규격화 조도, 콘트라스트, MEEF, DOF, 측벽 각도의 모두에 있어서 높은 성능을 나타내고 있다. 이 결과로부터, 조명 영역마다 파장을 변화시키는 것만으로는 해상력 향상의 효과는 충분히 얻어지지 않고, 식 (3)을 고려해서 각각의 파장에 대해 적절한 조명 영역을 사용할 필요가 있다는 것을 나타내고 있다. 본 실시형태의 실시예 1에 있어서의 조명에서는, 식 (3)을 고려해서 각각의 파장에 대해 적절한 조명 영역을 사용하고 있기 때문에, 비교예 1~4와 비교해서 높은 성능을 나타내고 있다.
- [0056] 따라서, 본 실시형태의 실시예 1에 있어서의 조명은, 식 (3)에서 나타내는 조명 조건을 만족하는 조명 파장 λ 과 조명 각도 σ 를 포함함으로써, 전사 성능의 저하의 억제와 큰 조도를 양립하는 것이 가능해진다.
- [0057] <실시예2>
- [0058] 실시예 2에서는, 실시예 1과는 다른 마스크 패턴으로 본 실시형태의 조명을 평가한 결과에 대해 설명한다. 도7을 사용하여, 3종류의 비교예와 비교해서 본 실시형태의 실시예 2에 있어서의 조명광의 전사 성능이 높은 것을 나타낸다.
- [0059] 도7은, 3종류의 비교예와 실시예 2의 조명의 시뮬레이션 결과를 도시한 도면이다. 개구수 NA는 0.10으로 하고 있다. 마스크 패턴은 선폭 1.2 μm (주기3.6 μm)의 스페이스 선폭이 라인 선폭의 2배인 1차원 라인 앤드 스페이스 패턴으로 하고 있다. 도7에 나타낸 조명 형상의 격자무늬의 영역의 파장은 340~460nm의 브로드밴드 광이며, 이것은 수은 램프의 3개의 휘선 g선, h선, i선을 포함한다. 조명 형상의 사선무늬의 영역의 파장은 340~390nm의 브로드밴드 광이며, 이것은 수은 램프의 1개의 휘선 i선을 포함한다. 여기에서, 실시예 2의 조명 형상에 대해서는 실시예 1과 같으며, 비교예 1~3의 조명 형상에 대해서도 실시예 1에서 설명한 비교예 1~3과 같다.
- [0060] 실시예 2는, 실시예 1과 마찬가지로, 비교예 1, 2에 비해 규격화 조도는 떨어지지만, 콘트라스트, MEEF, DOF, 측벽 각도에 있어서 높은 성능을 나타낸다. 비교예 3에 대해서는, DOF는 떨어지지만, 규격화 조도, 콘트라스트, MEEF, 측벽 각도에 있어서 높은 성능을 나타낸다.
- [0061] 따라서, 본 실시예의 실시예 2에 있어서의 조명은, 식 (3)에서 나타내는 조명 조건을 만족하는 조명 파장 λ 과 조명 각도 σ 를 포함함으로써, 전사 성능의 저하의 억제와 큰 조도를 양립하는 것이 가능해진다.
- [0062] <실시예3>
- [0063] 실시예 3에서는, 실시예 1이나 실시예 2에서는 행하지 않고 있었던, 파장 필터의 투과율을 제어한 경우에 있어서의 본 실시형태의 조명을 평가한 결과에 대해 설명한다. 또한, 실시예 3은, 실시예 1이나 실시예 2와는 다른

개구수 NA, 마스크 패턴, 조명 파장이다. 도8을 사용하여, 다양한 비교예와 비교해서 본 실시형태의 실시예 3에 있어서의 조명광의 전사 성능이 높은 것을 나타낸다.

- [0064] 도8은, 비교예와 실시예 3의 조명의 시뮬레이션 결과를 도시한 도면이다. 개구수 NA는 0.12로 하고 있다. 마스크 패턴은 선폭 $1.2\mu\text{m}$ (주기 $2.4\mu\text{m}$)의 9개 라인 앤드 스페이스 패턴의 중앙 라인을 평가하고 있다. 도8에 나타난 조명 형상의 가로 줄무늬의 영역의 파장은 $270\sim 390\text{nm}$ 의 브로드밴드 광이며, 이것은 수은 램프의 휘선 i선과 i선보다도 짧은 파장을 포함한다. 조명 형상의 세로 줄무늬와 격자무늬의 영역의 파장은 $270\sim 350\text{nm}$ 의 브로드밴드 광이며, 350nm 이하의 파장은 수은 램프의 i선보다도 짧은 파장이며, i선은 포함하지 않는다. 격자무늬의 영역은, 세로 줄무늬에 비해 투과율을 25%로 하고, 조도를 작게 하고 있다. 후술하는 것과 같이, 투과율을 작게 설정함으로써 DOF를 증가시키는 효과가 있다.
- [0065] 가로 줄무늬의 영역과 세로 줄무늬의 영역은, 수은 램프로부터의 조명 광강도를 그대로 사용해도 되고, 파장 필터를 거침으로써 빛을 제어해도 된다. 조도는 규격화 조도로서 평가하고, 동공 전역에서 일률적인 투과율 저하는 임의로 한다. 수은 램프의 스펙트럼 강도 분포는, 일반적인 분포로 했지만, 이 분포에 대한 제약은 없다.
- [0066] 비교예 5는, 내부 $\sigma=0.00$, 외부 $\sigma=0.90$ 의 원형 영역에 있어서 조명 파장이 $270\sim 390\text{nm}$ 인 조명이다. 비교예 6은, 내부 $\sigma=0.45$, 외부 $\sigma=0.90$ 의 윤대 영역에 있어서, 조명 파장이 $270\sim 390\text{nm}$ 인 조명의 윤대 조명이다. 비교예 7은, 내부 $\sigma=0.00$, 외부 $\sigma=0.55$ 의 원형 영역에 있어서, 조명 파장이 $270\sim 350\text{nm}$ 이고, 내부 $\sigma=0.55$, 외부 $\sigma=0.90$ 의 윤대 영역에 있어서, 조명 파장이 $270\sim 390\text{nm}$ 인 조명이다. 비교예 7은, 식 (3)과 정합하도록 내부 $\sigma=0.55$, 외부 $\sigma=0.90$ 의 영역에, 내부 $\sigma=0.00$, 외부 $\sigma=0.55$ 의 영역보다도 긴 파장이 포함되는 구성으로 되어 있다.
- [0067] 실시예 3은, 내부 $\sigma=0.00$, 외부 $\sigma=0.45$ 의 원형 영역에 있어서, 조명 파장 $270\sim 350\text{nm}$ 이고, 내부 $\sigma=0.45$, 외부 $\sigma=0.90$ 의 윤대 영역에 있어서, 조명 파장 $270\sim 390\text{nm}$ 인 조명이다. 전술한 것과 같이, 격자 줄무늬로 나타난 내부 $\sigma=0.00$, 외부 $\sigma=0.45$ 의 영역은, 투과율을 25%로 함으로써 조도를 떨어뜨리고 있다.
- [0068] 비교예 7은, 비교예 6과 비교한 경우, 규격화 조도, 콘트라스트, MEEF, 측벽 각도에 있어서 높은 성능을 나타내고 있지만, DOF가 크게 저하해 버리고 있는 것을 알 수 있다. 따라서, 실시예 3의 조명 형상을 사용함으로써, 후술하는 것과 같이 DOF의 저하를 비교적 억제할 수 있다.
- [0069] 실시예 3은, 비교예 5에 비해 규격화 조도는 떨어지지만, 콘트라스트, MEEF, DOF, 측벽 각도에 있어서 높은 성능을 나타내었다. 비교예 6에 대해서는, DOF는 조금 떨어지지만, 규격화 조도, 콘트라스트, MEEF, 측벽 각도에 있어서 높은 성능을 나타내었다. 비교예 7에 대해서는, DOF의 증대가 현저하다. 비교예 7도 본 발명의 실시예의 1개이지만, 실시예 3에서는, 파장 필터의 투과율을 제어함으로써, DOF 등의 전사 성능을 조정할 수 있다.
- [0070] 따라서, 본 실시형태의 실시예 3에 있어서의 조명은, 식 (3)을 고려하는 것 이외에, 사용하는 파장 필터의 투과율을 제어함으로써, 전사 성능의 저하의 억제와 큰 조도를 양립하는 것이 가능해진다.
- [0071] <실시예4>
- [0072] 실시예 4에서는, 실시예 1~3에서 설명한 조명 형상과는 다른 조명 형상인 본 실시형태의 조명에 대해 설명한다.
- [0073] 도9는, 본 실시예에 있어서의 6종류의 조명을 도시한 도면이다. 도9a는, 동공 내측의 영역으로부터 동공 외측의 영역으로 진행함에 따라서, i선, h선, g선으로 파장이 길어지는 조명 형상이다. 이것은, 식 (3)에 나타내는 조명 파장 λ 과 조명 각도 σ 의 관계를 만족하는 조명 형상이다. 도9b는, 동공 내측의 영역에서는 h선을 사용하고 있고, 동공 외측의 영역에서는 g선, i선을 사용하고 있는 경우다. 이것은, 내측에서 사용하는 파장보다도 장파장의 g선을 외측에서 사용하기 때문에, 식 (3)에 나타내는 조명 파장 λ 과 조명 각도 σ 의 관계를 만족하는 조명 형상이다. 도9c는, 동공 내측의 영역이 g선과 h선과 i선이고, 동공 외측의 영역이 g선과 h선을 사용하는 경우다. 동공 외측의 영역의 단파장(i선)을 컷트하는 것은, 식 (3)에 나타내는 조명 파장 λ 과 조명 각도 σ 의 관계를 만족시킨다. 또한, 내측의 영역에서 사용하는 파장의 무게중심 파장과, 외측에서 사용하는 파장의 무게중심 파장을 비교하면, 외측에서 사용하는 무게중심 파장 쪽이 길다. 무게중심 파장은, 조명광의 스펙트럼 분포를 가중으로서 고려했을 때의 무게중심에 해당하는 파장이다. 원형 조명에 사용되는 제1 파장 영역에, 윤대 조명에 사용되는 제2 파장 영역보다도 단파장이 포함되는 실시예에 해당한다.
- [0074] 또한, 지금까지의 설명에서는 제1 광강도 분포가 원형 형상이고 제2 광강도 분포가 윤대 형상인 것과 같은 회전 대칭이 되는 광강도 분포에 대해 서술해 왔지만, 이것에 한정되지 않는다. 예를 들면, 제1 광강도 분포가 원형

형상이 아니고 윤대 형상이어도 되고, 제2 광강도 분포가 회전 대칭이 아닌 형상이어도 된다.

[0075] 도9d는, 동공 내측의 윤대 형상의 영역에서는 g선과 i선을 사용하고 있고, 동공 외측의 윤대 형상의 영역에서는 h선을 사용하고 있는 경우다. 이것은, g선의 강도가 작고 내측에 있어서의 무게중심 파장이 외측에 있어서의 파장 h선보다도 짧아지는 경우, 식 (3)에 나타내는 조명 파장 λ 과 조명 각도 σ 의 관계를 만족하는 조명 형상이다. 도9e는, 동공 내측의 원형 형상의 영역에서는 i선을 사용하고 있고, 동공 외측의 윤대 형상이 일부 빠져 있는 것 같은 구성의 영역에서는 h선을 사용하고 있는 경우다. 이것은, 식 (3)에 나타내는 조명 파장 λ 과 조명 각도 σ 의 관계를 만족하는 조명 형상이다. 도9f는, 동공 내측의 원형 형상의 영역과 십자 형상으로 되어 있는 영역에서는 h선을 사용하고 있고, 동공 외측의 윤대 형상이 일부 빠져 있는 것 같은 구성의 영역에서는 g선을 사용하고 있는 경우다. 이것은, 식 (3)에 나타내는 조명 파장 λ 과 조명 각도 σ 의 관계를 만족하는 조명 형상이다.

[0076] 본 실시형태의 변형 조명에서는, 제1 파장 영역을 포함하는 빛을 포함하는 제1 광강도 분포의 적어도 일부가 제2 파장 영역을 포함하는 빛을 포함하는 제2 광강도 분포보다도 내측이 되도록, 조명 광학계의 동공면에 광강도 분포가 형성되어 있다. 또한, 제1 파장 영역은 제2 파장 영역의 가장 짧은 조명 파장보다도 짧은 파장을 포함할 것, 또는 제2 파장 영역은 제1 파장 영역의 가장 긴 조명 파장보다도 긴 파장을 포함할 것 중 적어도 한쪽을 만족시킨다.

[0077] 여기에서, 실시예 4에서 사용한 g선, h선, i선은 상대적인 파장의 대소를 나타내기 위해 사용한 예이며, 파장을 한정하는 것은 아니다. 실시예 4에서는, 실시예 1~3에서 설명한 조명 형상과는 다른 조명 형상인 경우에 있어서도, 식 (3)에서 나타내는 조명 조건을 만족하는 조명 파장 λ 과 조명 각도 σ 를 포함함으로써, 전사 성능의 저하의 억제와 큰 조도를 양립하는 것이 가능해진다.

[0078] <제2실시형태>

[0079] 본 실시형태에서는, 제1실시형태에서 설명한 조명을 실현가능한 조명 광학계(10)의 구성에 대해 설명한다.

[0080] 도10a는, 광원(1)을 제1광원(1a) 및 제2광원(1b)으로 구성한 경우를 나타내고 있다. 제1광원(1a)과 제2광원(1b)은, 서로 파장이 다른 빛을 출사한다. 또한 제1광원(1a)과 제2광원(1b)의 파장은 단일 파장이나 좁은 파장 영역의 빛이어도 되고, 브로드밴드 광이어도 된다. 단일 파장이나 좁은 파장 영역의 광원이라도, 복수의 광원을 사용하고, 서로 다른 파장 영역을 갖는 조명광을 갖는 경우에는, 브로드밴드 조명으로서 취급한다.

[0081] 제1실시형태에서 설명한 변형 조명의 발광 부는, 제1 발광 영역 I1과 제2 발광 영역 I2를 포함하고, 제1 발광 영역 I1에 있어서의 제1 파장 영역 λ_1 과, 제2 발광 영역 I2에 있어서의 제2 파장 영역 λ_2 는 다르다. 이 변형 조명은, 제1광원(1a)의 조명광과, 제2광원(1b)의 조명광을 합성함으로써 형성된다. 또한, 제1광원(1a)과 제2광원(1b)에서 서로 다른 발광 영역을 형성한 후에 합성해도 된다. 또한, 제1 파장 영역 λ_1 과 제2 파장 영역 λ_2 에서 동일한 발광 영역을 형성하고, 파장 필터로 제1 발광 영역 I1과 제2 발광 영역 I2의 파장 영역을 바꾸어도 된다. 또한, 제1실시형태의 실시예 3에서 설명한 것과 같이, 필터의 임의의 영역에 있어서 투과율을 바꾸어도 된다. 또한, 광원(1)에는 LED 광원을 사용해도 되고, 광원(1)의 수는 2개가 아니고 3개 이상이어도 된다.

[0082] 도10b는, 광원(1)을 3개의 브로드밴드 광원(1c)으로 구성한 경우를 나타내고 있다. 브로드밴드 광원(1c)은 파장 영역이 넓은 빛을 출사한다. 3개의 브로드밴드 광원(1c)으로부터 출사되는 빛은, 같은 파장 영역으로 한다. 도 10b에 나타내는 파장 필터 63a, 63b, 63c를 사용함으로써 광원별로 다른 파장 영역을 갖는 다른 발광 영역을 형성해도 된다. 또한, 파장 필터 63a, 63b, 63c를 사용하지 않고, 도10b에 나타내는 파장 필터 63d를 사용함으로써, 3개의 브로드밴드 광원(1c)으로부터의 조명광을 합성후에 다른 파장 영역을 갖는 발광 영역을 형성해도 된다. 또한, 파장 필터 63a, 63b, 63c와, 파장 필터 63d는, 조합해서 사용해도 된다. 파장 필터 63a, 63b, 63c, 63d는, 회전하는 터렛에 장착되어도 되고, 시프트 구동하는 래스터 타입의 기구에 장착되어도 된다. 이에 따라, 파장 필터를 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우의 전환이 용이해진다. 도10b에는, 광원(1)을 구성하는 광원 1c가 3개인 경우를 나타내고 있지만, 이것에 한정되는 것은 아니고, 예를 들면, 광원 1c는 1개이어도 되고, 광원 1c의 수는 한정되지 않는다. 본 실시형태는, 파장 영역의 분할과 발광 영역의 형성에 관한 방법을 한정하는 것은 아니다.

[0083] 파장 필터는 원하는 파장의 투과율을 작게 하면 되고, 원하는 파장에 대해 완전히 투과율을 제로로 차광하지 않아도 된다. 또한, 발광 영역의 경계부에서 파장 영역이 완전히 분할될 필요는 없다. 또한, 파장 필터에 의한 파장 선택에 한정되지 않고, 홀로그램 소자나 회절 광학 소자나 프리즘을 사용함으로써, 조도의 저하를 억제해도 된다.

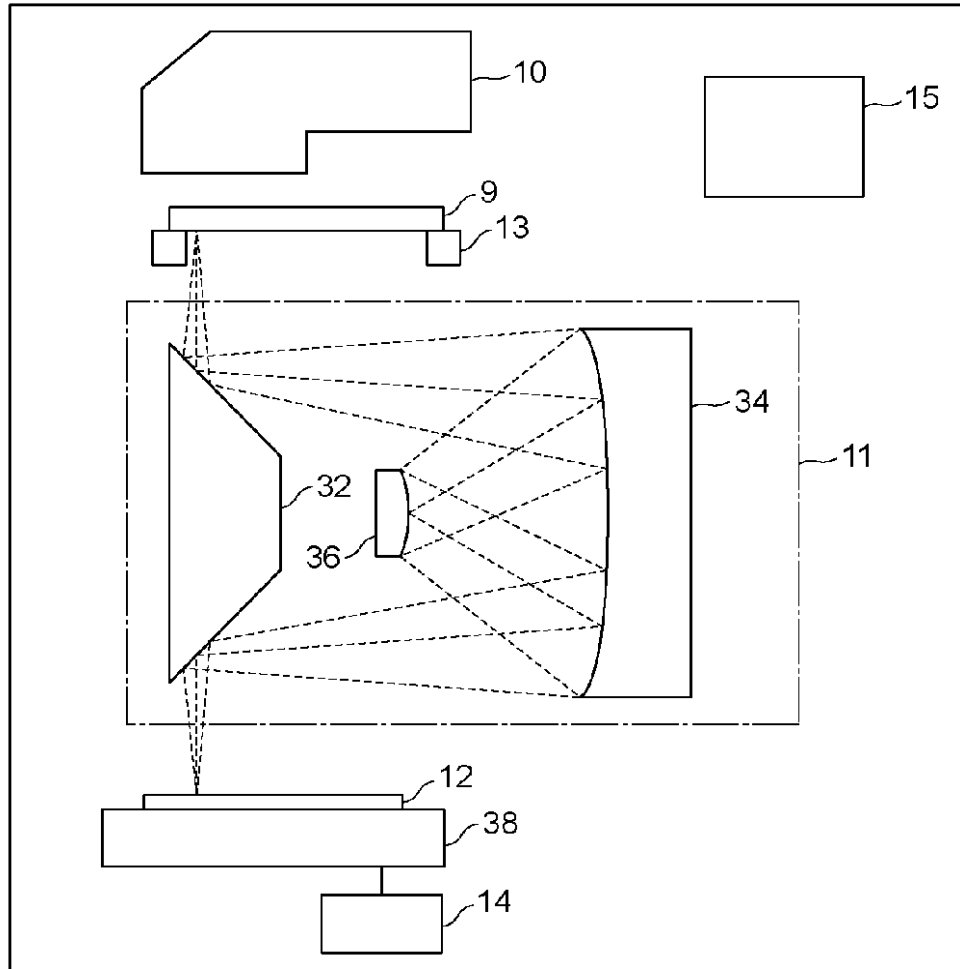
- [0084] <물품의 제조방법>
- [0085] 다음에, 전술한 노광장치를 이용한 물품(플랫 패널 디스플레이, 액정 표시 소자, 반도체 IC 소자, MEMS 등)의 제조방법을 설명한다. 물품의 제조방법은, 플레이트 위에 도포된 감광제에 상기한 노광장치를 사용해서 잠상 패턴을 형성하는 공정(플레이트를 노광하는 공정)과, 이러한 공정에서 잠상 패턴이 형성된 플레이트를 현상하는 공정을 포함한다. 또한, 이러한 제조방법은, 다른 주지의 처리(산화, 성막, 증착, 도핑, 평탄화, 에칭, 레지스트 박리, 다이싱, 본딩, 패키징 등)을 행하는 공정을 포함한다. 본 실시형태의 물품의 제조방법은, 종래의 방법에 비해, 물품의 성능·품질·생산성·생산 코스트의 적어도 1개에 있어서 유리하다.
- [0086] 이상, 본 발명의 바람직한 실시형태에 대해 설명했지만, 본 발명은, 이들 실시형태에 한정되지 않고, 그 요지의 범위내에서 다양한 변형 및 변경이 가능하다. 예를 들면, 본 발명은 다중노광에 적용하는 것도 가능하다. 또한, 변형 조명의 효과를 증대시키기 위해, NA를 최적화해도 된다. 본 발명의 변형 조명을 마스크리스 노광장치에 적용해도 된다.

부호의 설명

- [0087] 9 마스크
- 10 조명 광학계
- 11 투영 광학계
- 12 플레이트
- 100 노광장치

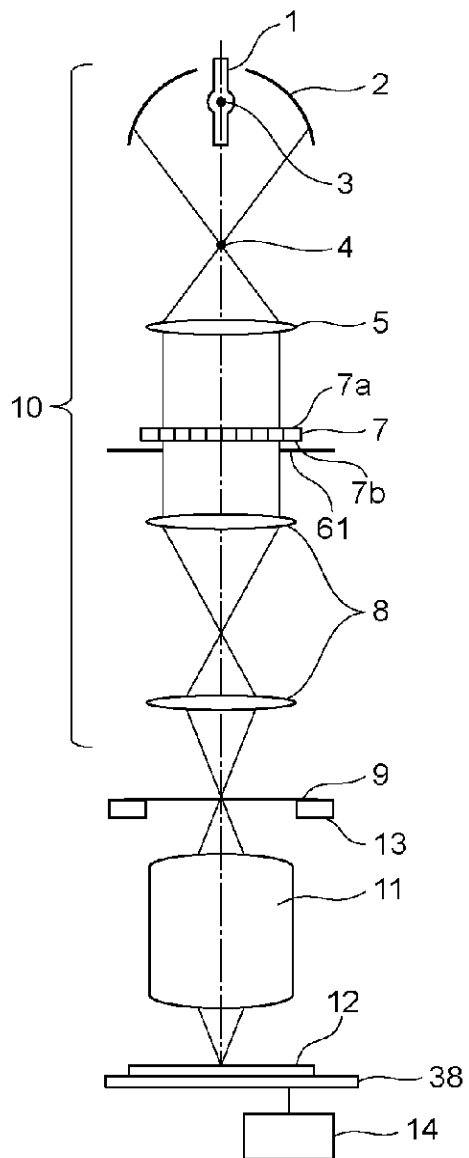
도면

도면1

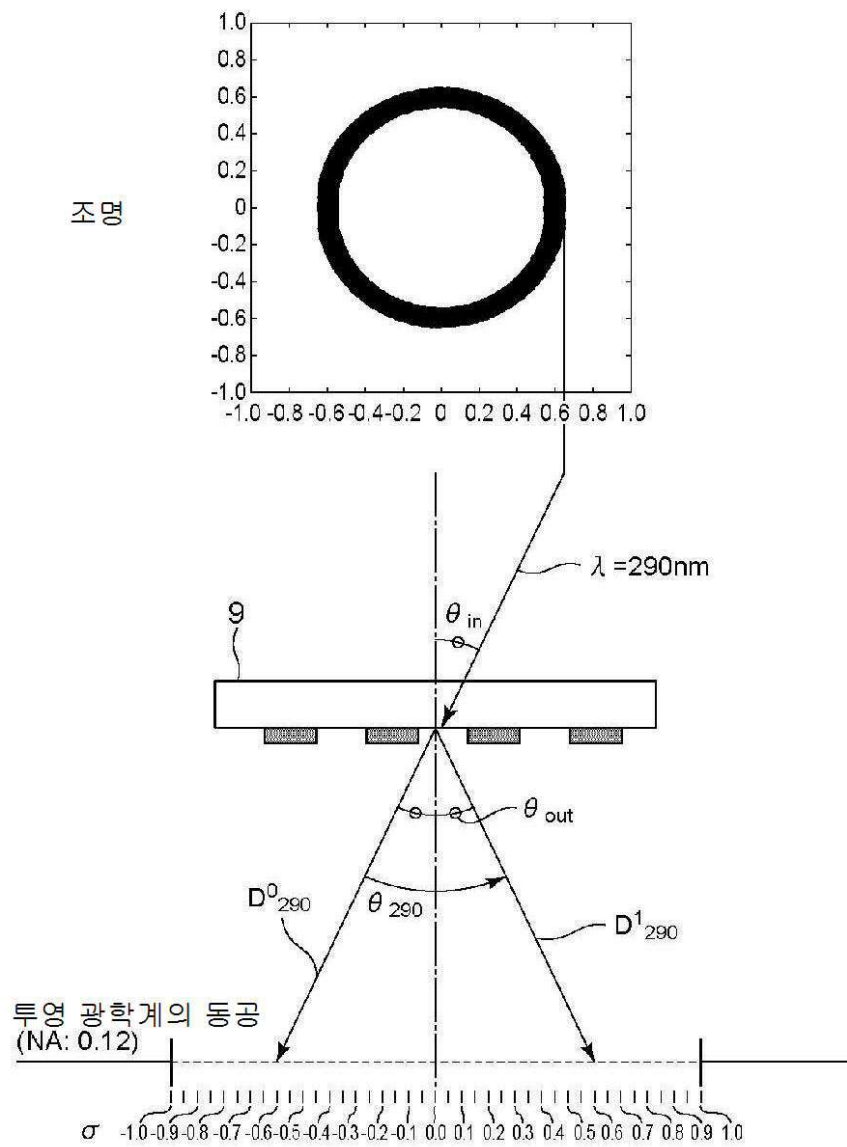


100

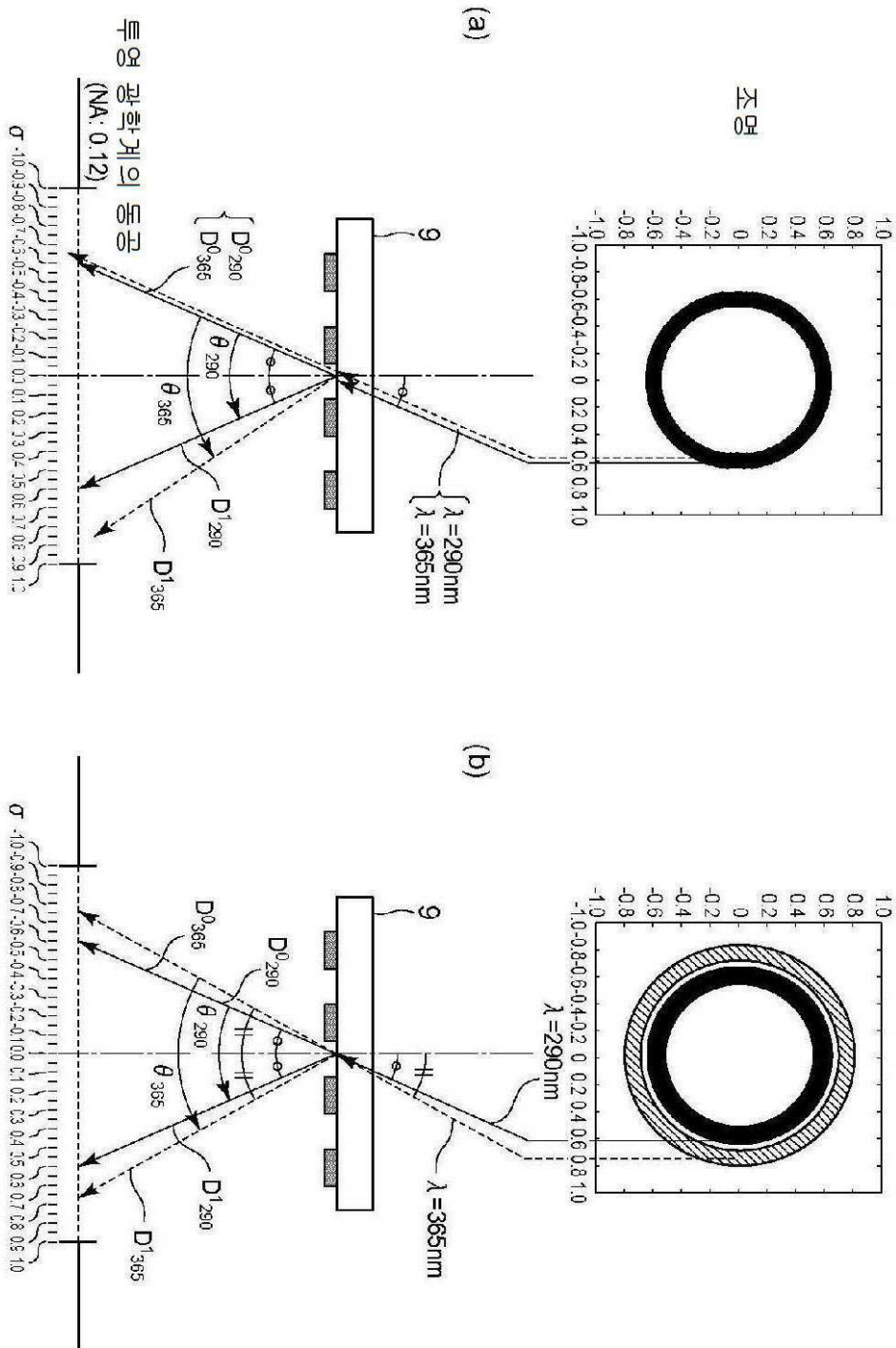
도면2



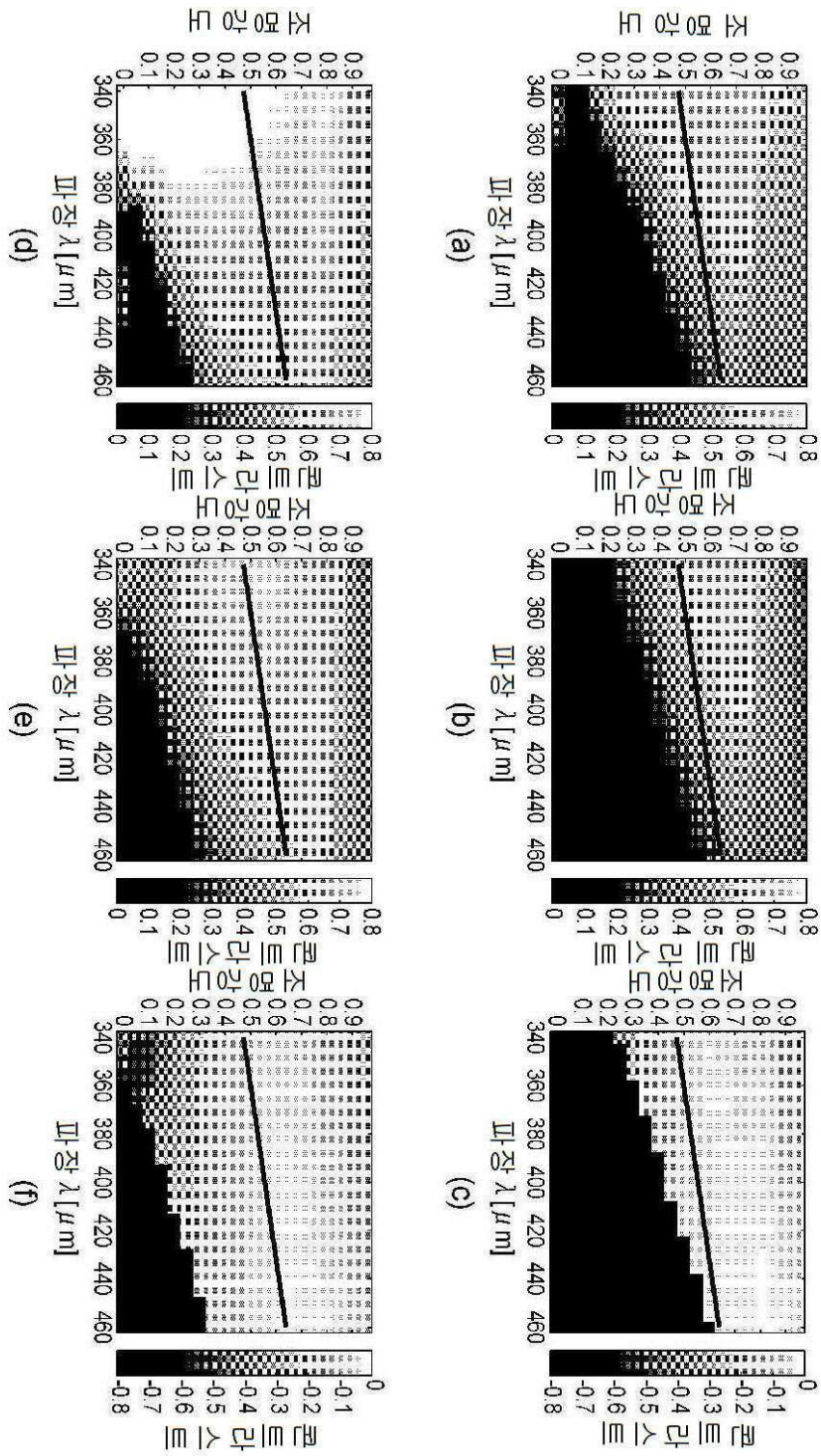
도면3



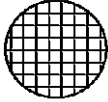
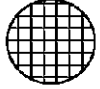
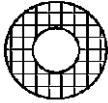


도면4



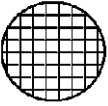

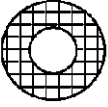

도면5



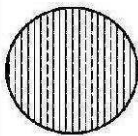
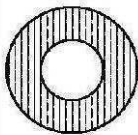
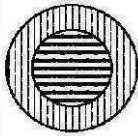
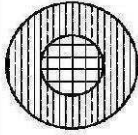
도면6

	비교예 1	비교예 2	비교예 3	비교예 4	실시예 1
조명 형상					
규격화 조도	1.00	0.86	0.75	0.57	0.86
콘트라스트	0.68	0.68	0.69	0.70	0.71
MEEF	2.74	2.72	2.65	2.72	2.59
DOF [μm]	34.5	33.8	44.9	28.2	39.2
측면 각도 [$^{\circ}$]	72.8	72.8	73.4	72.5	73.6

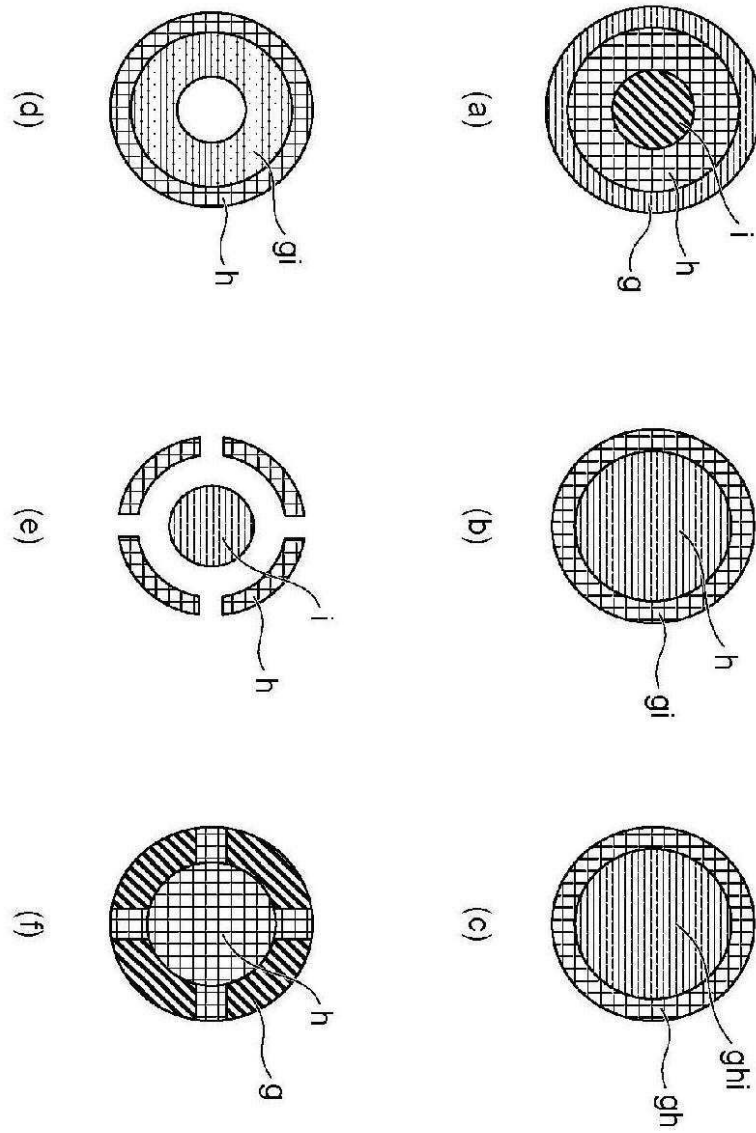
도면7

	비교예 1	비교예 2	비교예 3	실시예 2
조명 형상				
규격화 조도	1.00	0.86	0.75	0.86
콘트라스트	0.50	0.50	0.51	0.52
MEEF	1.80	1.81	1.71	1.68
DOF [μm]	50.6	50.9	64.3	57.7
출력 각도 [$^{\circ}$]	71.5	71.4	72.6	73.0

도면8

	비교예5	비교예6	비교예7	실시예3
조명 형상				
규격화 조도	1.00	0.75	0.86	0.79
콘트라스트	0.63	0.66	0.67	0.66
MEEF	2.24	2.10	2.06	2.10
DOF [μm]	21.1	32.8	25.7	30.9
측면 각도 [$^{\circ}$]	71.4	72.4	72.7	72.5

도면9



도면10

