



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년01월25일

(11) 등록번호 10-1699827

(24) 등록일자 2017년01월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 7/20 (2006.01) G02B 27/28 (2006.01)(52) CPC특허분류
G03F 7/70191 (2013.01)
G02B 27/28 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-7002576(분할)

(22) 출원일자(국제) 2004년10월26일

심사청구일자 2015년02월27일

(85) 번역문제출일자 2015년01월29일

(65) 공개번호 10-2015-0031454

(43) 공개일자 2015년03월24일

(62) 원출원 특허 10-2011-7001502

원출원일자(국제) 2004년10월26일

심사청구일자 2011년02월16일

(86) 국제출원번호 PCT/JP2004/015853

(87) 국제공개번호 WO 2005/041277

국제공개일자 2005년05월06일

(30) 우선권주장

JP-P-2003-367963 2003년10월28일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

JP09184918 A

JP05283317 A

JP2003035822 A

W001035451 A1

전체 청구항 수 : 총 21 항

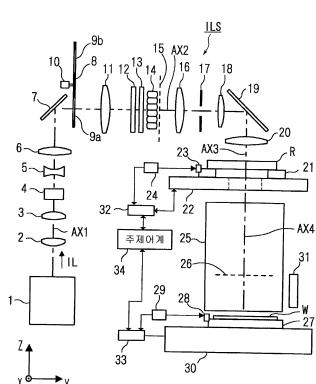
심사관 : 오순영

(54) 발명의 명칭 투영 노광 장치

(57) 요 약

본 발명은 마스크를 소정의 편광 상태의 조명광으로 조사할 때의 광량 손실을 적게 할 수 있는 조명 광학 장치 및 투영 노광 장치이다. 레티클(R)을 조명광(IL)로 조명하는 조명 광학계(ILS)와, 레티클(R)의 패턴의 이미지를 웨이퍼(W) 상에 투영하는 투영 광학계(PL)를 갖는다. 조명 광학계(ILS)에서, 노광 광원(1)으로부터 직선 편광

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1

상태로 사출된 조명광(IL)은, 진상축(進相軸)의 방향이 상이한 제 1 및 제 2 복굴절 부재(12, 13)를 통과하여, 거의 특정의 윤대(輪帶) 형상의 영역에서 광축을 중심으로 하는 원주 방향에 실질적으로 직선 편광으로 되는 편광 상태로 변환된 후, 플라이아이 렌즈(14) 등을 거쳐서 레티클(R)을 윤대 조건으로 조명한다.

(52) CPC특허분류

G03F 7/70108 (2013.01)

G03F 7/70566 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

패턴을 갖는 물체를 조명광에 의해 조명하는 조명 광학 장치로서,

복굴절 재료를 포함하고, 상기 조명광의 광로에 배치되어 상기 조명광의 편광 상태를 변환하는 복굴절 부재와,

상기 복굴절 부재로부터의 상기 조명광의 광로 중 해당 조명 광학 장치의 동공면의 입사측에 배치된 광학 인테그레이터

를 구비하고,

상기 조명광 중 제 1 광속은, 상기 동공면에 있어서 해당 조명 광학 장치의 광축으로부터 떨어진 제 1 위치를 통과하고, 상기 조명광 중 상기 제 1 광속과 상이한 제 2 광속은, 상기 동공면에 있어서 상기 제 1 위치와 상이한 제 2 위치를 통과하고,

상기 복굴절 부재는, 상기 제 1 위치에 있어서의 상기 제 1 광속의 편광 상태와 상기 제 2 위치에 있어서의 상기 제 2 광속의 편광 상태가 서로 상이하도록, 상기 제 1 광속의 광로 중의 상기 복굴절 재료의 두께와 상기 제 2 광속의 광로 중의 상기 복굴절 재료의 두께가 서로 상이한 두께로 설정되고,

상기 복굴절 재료의 두께는, 상기 제 1 광속의 광로 중의 두께와 상기 제 2 광속의 광로 중의 두께의 사이에서 단계적으로 변화하고 있는

것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 및 제 2 광속의 광로 중의 상기 복굴절 재료의 두께는, 소정의 한 방향으로 편향한 직선 편광 상태로 상기 복굴절 부재에 입사하는 상기 제 1 광속 및 상기 제 2 광속이 각각 상기 물체에 대하여 S편광이 되는 직선 편광 상태로 상기 물체에 조사되도록 설정되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 및 제 2 광속의 광로 중의 상기 복굴절 재료의 두께는, 소정의 한 방향으로 편향한 직선 편광 상태로 상기 복굴절 부재에 입사하는 상기 제 1 광속 및 상기 제 2 광속이 각각 상기 동공면에 있어서 상기 광축 주위의 원주 방향을 편광 방향으로 하는 직선 편광 상태가 되도록 설정되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 및 제 2 광속의 광로 중의 상기 복굴절 재료의 두께는, 소정의 한 방향을 편광 방향으로 하는 직선 편광 상태로 상기 복굴절 부재에 입사하는 상기 제 1 광속 및 상기 제 2 광속이 각각 상기 동공면에 있어서 직선 편광 상태가 됨과 아울러, 상기 동공면에 있어서의 상기 제 1 광속의 편광 방향과 상기 동공면에 있어서의 상기 제 2 광속의 편광 방향이 서로 상이한 방향이 되도록 설정되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 동공면에 있어서의 상기 제 1 광속의 편광 방향과 상기 제 2 광속의 편광 방향은, 서로 직교하고 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 동공면의 상기 제 1 위치 및 상기 제 2 위치는, 상기 광축 주위의 원주 방향에 관하여 서로 상이한 위치인 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 위치 및 상기 제 2 위치는, 상기 동공면에 있어서의 상기 광축 주위의 고리 형상의 영역에 포함되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 광학 인테그레이터의 입사측에 있어서의 상기 조명광의 광로에 배치되고, 상기 동공면 내의 상기 조명광의 분포를 변화시키기 위한 분포 가변 부재를 구비하는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 복굴절 부재의 입사측에 있어서의 상기 조명광의 광로에 배치되고, 그 조명광의 편광 상태를, 단일 편광으로 이루어지는 제 1 편광 상태로부터 상기 제 1 편광 상태와 상이한 제 2 편광 상태로 변환하는 편광 변환 부재를 구비한 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 제 2 편광 상태는, 단일 방향으로 편광한 직선 편광으로 이루어지는 편광 상태인 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

상기 제 2 편광 상태는, 원 편광으로 이루어지는 편광 상태인 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 12

제 9 항에 있어서,

상기 제 1 편광 상태는, 직선 편광, 원 편광 또는 타원 편광으로 이루어지는 편광 상태인 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 13

제 9 항에 있어서,

상기 편광 변환 부재는, 1/2 파장판 및 1/4 파장판의 적어도 한쪽을 포함하는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 14

제 1 항에 있어서,

상기 복굴절 부재를 상기 조명광의 광로에 대하여 퇴피 가능한 퇴피 기구를 구비한 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 복굴절 부재를 교환 가능한 교환 기구를 구비한 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 복굴절 부재를 상기 광축을 중심으로 하여 회전 가능한 회전 기구를 구비한 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 17

제 1 항에 있어서,

상기 광학 인테그레이터는, 플라이아이 렌즈(fly-eye lens)를 포함하는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 플라이아이 렌즈의 사출면은, 상기 동공면과 일치하도록 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 19

제 17 항에 있어서,

상기 플라이아이 렌즈의 사출면은, 상기 패턴이 배치되는 면에 대한 푸리에 변환면과 일치하도록 배치되어 있는

것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

청구항 20

물체에 마련된 패턴으로부터의 광에 의해 기판을 노광하는 노광 장치로서,

상기 기판을 유지하는 스테이지와,

상기 패턴을 조명하는 청구항 1 내지 청구항 19 중 어느 한 항에 기재된 조명 광학 장치와,

상기 조명 광학 장치에 의해 조명된 상기 패턴의상을, 상기 스테이지에 유지된 상기 기판에 투영하는 투영 광학계

를 구비한 것을 특징으로 하는 노광 장치.

청구항 21

제 20 항에 있어서,

상기 기판은, 액침 노광되는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 예컨대 반도체 집적 회로(LSI 등), 활상 소자, 또는 액정 디스플레이 등의 각종 디바이스를 제조하기 위한 리소그래피 공정에서 사용되는 조명 기술 및 노광 기술에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 마스크 패턴을 소정의 편광 상태의 광으로 조명하는 조명 기술 및 노광 기술에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 그 노광 기술을 이용하는 디바이스 제조 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 반도체 집적 회로 또는 액정 디스플레이 등의 전자 디바이스의 미세 패턴의 형성에 있어서는, 형성해야 할 패턴을 4~5배 정도로 비례 확대해서 묘화한 마스크로서의 레티클(또는 포토 마스크 등)의 패턴을, 투영 광학계를 거쳐서 광 노광 기판(감광체)으로서의 웨이퍼(또는 유리 플레이트 등) 상에 축소해서 노광 전사하는 방법이 이용되고 있다. 그 노광 전사에 있어서, 스텝페(stepper) 등의 정지 노광형 및 스캐닝·스텝페 등의 주사 노광형의 투영 노광 장치가 이용되고 있다. 투영 광학계의 해상도는 노광 파장을 투영 광학계의 개구수(NA)로 나눈 값에 비례한다. 투영 광학계의 개구수(NA)란, 노광용 조명광의 웨이퍼로의 최대 입사각의 정현(sin)에, 그 광속이 통과하는 매질의 굴절률을 곱한 것이다.

[0003] 따라서, 반도체 집적 회로 등의 미세화에 대응하기 위해서, 투영 노광 장치의 노광 파장은 보다 단파장화되어 왔다. 현재, 노광 파장은 KrF 엑시머 레이저의 248nm가 주류이지만, 보다 단파장의 ArF 엑시머 레이저의 193nm도 실용화 단계에 들어가고 있다. 그리고, 더욱 단파장의 파장 157nm의 F₂ 레이저나, 파장 126nm의 Ar₂ 레이저 등의, 이른바 진공 자외역의 노광 광원을 사용하는 투영 노광 장치의 제안도 행해지고 있다. 또한, 단파장화만이 아니라, 투영 광학계의 큰 개구수화(큰 NA화)에 의해서도 고해상도화는 가능하기 때문에, 투영 광학계를 보다 한층 큰 NA화하기 위한 개발도 이루어지고 있어, 현재 최선단의 투영 광학계의 NA는 0.8 정도이다.

[0004] 한편, 동일한 노광 파장, 동일 NA의 투영 광학계를 사용하더라도, 전사되는 패턴의 해상도를 향상시키는 기술로서, 이른바 위상 시프트 레티클을 이용하는 방법이나, 조명광의 레티클로의 입사 각도 분포를 소정 분포로 제어하는 유태(輪帶) 조명, 2극 조명, 및 4극 조명 등의 이른바 초해상 기술도 실용화되고 있다.

[0005] 그 중에서, 유태 조명은 조명광의 레티클로의 입사 각도 범위를 소정 각도로 제한하는, 즉 조명 광학계의 동공면에서의 조명광의 분포를, 조명 광학계의 광축을 중심으로 하는 소정의 유태 영역내로 한정함으로써, 해상도 및 초점 심도의 향상에 효과를 발휘하는 것이다(예컨대, 일본 특허 공개 소화 제61-91662호 공보 참조). 한편, 2극 조명, 4극 조명은 입사 각도 범위만이 아니라, 레티클 상의 패턴이 특정한 방향성을 갖는 패턴인 경우에, 조명광의 입사 방향에 대해서도 그 패턴의 방향성을 대응한 방향으로 한정함으로써, 해상도 및 초점 심도를 대폭 향상하는 것이다(예컨대, 일본 특허 공개 평성 제4-101148호 공보 또는 그와 동등한 미국 특허 제6233041호 명세서, 일본 특허 공개 평성 제4-225357호 공보 또는 그와 동등한 미국 특허 제6211944호 명세서 참조).

[0006] 또한, 레티클 상의 패턴의 방향에 대해서 조명광의 편광 상태를 최적화하여, 해상도 및 초점 심도를 향상시키는 시도도 제안되고 있다. 이 방법은 조명광을 패턴의 주기 방향에 직교하는 방향으로, 즉 패턴의 길이 방향에 평행한 방향으로 편광 방향(전장 방향)을 갖는 직선 편광광으로 함으로써, 전사 이미지의 콘트라스트 등을 향상시키는 것이다(예컨대, 특허 문헌 1, 비특허 문헌 1 참조).

[0007] 또한, 유태 조명에 있어서도, 조명광의 편광 방향을, 조명 광학계의 동공면에 있어서 조명광이 분포하는 유태 영역에서 그 원주 방향과 합치시켜, 투영 이미지의 해상도나 콘트라스트 등을 향상시키고자 하는 시도도 제안되고 있다.

[0008] 특허 문헌 1: 일본 특허 공개 평성 제5-109601호 공보

[0009] 비특허 문헌 1: Timothy A. Brunner, et al.: "High NA Lithographic imagery at Brewster's angle", SPIE(미국) Vol.4691, pp.1-24(2002)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 상기와 같은 종래의 기술에 있어서, 유태 조명을 실행하는 경우에 조명 광학계의 동공면에서, 조명광의 편광 상태를 유태 영역의 원주 방향에 실질적으로 일치하는 직선 편광으로 하고자 하면, 조명 광량의 손실이 많아져, 조명 효율이 저하한다는 문제가 있었다.

[0011] 이에 관해서 상술하면, 최근 주류인 협대화(狹帶化) KrF 엑시머 레이저 광원으로부터 사출되는 조명광은 균일한 직선 편광이다. 이것을 그대로의 편광 상태를 유지해서 레티클로 유도하면, 레티클은 균일한 직선 편광광으로 조명되기 때문에, 상기한 바와 같은 조명 광학계의 동공면의 유태 영역이 원주 방향으로 일치하는 직선 편광광을 실현할 수 없는 것은 말할 필요도 없다.

[0012] 따라서, 상기의 편광 상태를 실현하기 위해서는, 광원으로부터 사출되는 직선 편광광을 한번 랜덤 편광의 광으로 변환한 후에, 그 유태 영역의 각 부에서, 편광 필터나 편광빔 스플리터 등의 편광 선택 소자를 사용하여, 랜덤 편광으로 이루어지는 조명광으로부터 소망하는 편광 성분을 선택하는 방법 등을 채용할 필요가 있었다. 이 방법에서는, 랜덤 편광의 조명광 에너지 중 소정의 직선 편광 성분에 포함되는 에너지밖에, 즉 거의 절반의 에너지밖에 레티클로의 조명광으로서 사용할 수 없기 때문에, 조명광량의 손실이 크고, 나아가서는 웨이퍼로의 노광 파워의 손실이 커서, 노광 장치의 처리 능력(스루풋)이 저하해 버린다는 문제가 있었다.

[0013] 마찬가지로, 2극 조명 또는 4극 조명 등의 복수극 조명을 사용하는 경우에도, 조명 광학계의 동공면에서, 2극 또는 4극의 영역에서의 조명광의 편광 상태를 소정 상태로 설정하고자 하면, 조명 효율이 저하한다는 문제가 있

었다.

과제의 해결 수단

- [0014] 본 발명은 이러한 과제를 감안하여 이루어진 것으로서, 레티클 등의 마스크를 소정의 편광 상태의 조명광으로 조명할 때의 광량 손실을 적게 할 수 있는 노광 기술을 제공하는 것을 제 1 목적으로 한다.
- [0015] 또한, 본 발명은, 조명 광학계의 동공면 상의 유태, 2극, 또는 4극 등의 영역에서의 조명광의 편광 상태를 소정의 상태로 설정함에 있어서, 조명광의 저하를 적게 할 수 있고, 그 결과로서 처리 능력을 거의 저하시키지 않고 해상도 등을 향상시킬 수 있는 조명 기술 및 노광 기술을 제공하는 것을 제 2 목적으로 한다.
- [0016] 또한, 본 발명은, 상기 노광 기술을 이용하여 고성능의 디바이스를 높은 처리 능력으로 제조할 수 있는 디바이스 제조 기술을 제공하는 것도 목적으로 한다.
- [0017] 이하의 본 발명의 각 요소에 부여한 괄호 첨부 부호는 후술하는 본 발명의 실시예의 구성에 대응하는 것이다. 그러나, 각 부호는 그 요소의 예시에 불과하며, 각 요소를 그 실시예의 구성에 한정하는 것은 아니다.
- [0018] 본 발명에 따른 제 1 투영 노광 장치는, 광원(1)으로부터의 조명광을 제 1 물체(R)에 조사하는 조명 광학계(ILS)와, 그 제 1 물체 상의 패턴의 이미지를 제 2 물체(W) 상에 투영하는 투영 광학계(25)를 갖는 투영 노광 장치로서, 그 광원은 그 조명광을 실질적으로 단일의 편광 상태로 생성하고, 그 조명 광학계는 그 조명광의 진행 방향을 따라 배치되는 복수의 복굴절 부재(12, 13)를 갖고, 또한 그 복수의 복굴절 부재 중 적어도 하나의 복굴절 부재의 진상축(進相軸) 방향은 다른 복굴절 부재의 진상축 방향과 상이한 것이며, 그 조명광 중, 특정한 입사 각도 범위에서 그 제 1 물체에 조사되는 특정 조명광을, S편광을 주성분으로 하는 편광 상태의 광으로 하는 것이다.
- [0019] 또한, 본 발명에 따른 제 1 조명 광학 장치는, 광원(1)으로부터의 조명광을 제 1 물체(R)에 조사하는 조명 광학 장치로서, 그 조명광의 진행 방향을 따라 배치되는 복수의 복굴절 부재(12, 13)를 갖고, 또한 그 복수의 복굴절 부재 중 적어도 하나의 복굴절 부재의 진상축 방향은 다른 복굴절 부재의 진상축 방향과 상이한 것이며, 그 광원으로부터 공급되는 실질적으로 단일의 편광 상태인 조명광 중, 그 제 1 물체에 특정한 입사 각도 범위에서 조사되는 특정 조명광을, S편광을 주성분으로 하는 편광 상태의 광으로 하는 것이다.
- [0020] 이러한 본 발명에 의하면, 예컨대 그 복수의 복굴절 부재의 두께 분포를 각각 소정 분포로 설정해 놓음으로써, 그 광원으로부터 사출된 조명광이, 그 복수의 복굴절 부재를 통과한 후의 편광 상태를, 예를 들어 광축을 중심으로 하는 유태 형상의 영역에서 그 광축을 중심으로 하는 원주 방향으로 편광한 상태를 주성분으로 하도록 할 수 있다. 그래서, 그 복수의 복굴절 부재의 사출면을 예를 들어 조명 광학계의 동공면에 가까운 위치에 배치해 놓음으로써, 그 유태 형상의 영역을 통과한 조명광(특정 조명광)은 광량 손실의 거의 없는 상태에서, 그 제 1 물체를 S편광을 주성분으로 하는 소정의 편광 상태로 조명한다.
- [0021] 이 경우, 그 제 1 물체에 조사되는 그 조명광을 그 특정 조명광으로 제한하는 광속 제한 부재(9a, 9b)를 갖더라도 무방하다. 이에 따라서, 그 제 1 물체는 거의 유태 조명의 조건으로 조명된다. 이 유태 조명으로 그 제 1 물체 상에서 그 조명광을 거의 S편광으로 함으로써, 그 제 1 물체 상에서 임의의 방향으로 미세 피치로 배열된 라인·앤드·스페이스 패턴의 투영 이미지는, 주로 편광 방향이 라인 패턴의 길이 방향에 평행한 조명광에 의해서 결상되기 때문에, 콘트라스트, 해상도, 초점 심도 등의 결상 특성이 개선된다.
- [0022] 또한, 그 광속 제한 부재는, 그 제 1 물체에 조사되는 그 조명광의 입사 방향을 특정한 실질적으로 이산적인 복수의 방향으로 더욱 제한해도 된다. 이에 따라서, 2극 조명이나 4극 조명 등으로 조명이 행해지기 때문에, 소정 방향에 미세 피치로 배열된 라인·앤드·스페이스 패턴의 결상 특성이 개선된다.
- [0023] 다음에, 본 발명에 따른 제 2 투영 노광 장치는, 광원(1)으로부터의 조명광을 제 1 물체(R)에 조사하는 조명 광학계(ILS)와, 그 제 1 물체 상의 패턴 이미지를 제 2 물체(W) 상에 투영하는 투영 광학계(25)를 갖는 투영 노광 장치로서, 그 광원은 그 조명광을 실질적으로 단일의 편광 상태로 생성하고, 그 조명 광학계는 그 조명광의 진행 방향을 따라 배치되는 복수의 복굴절 부재(12, 13)를 갖고, 또한 그 복수의 복굴절 부재 중 적어도 하나의 복굴절 부재의 진상축 방향은 다른 복굴절 부재의 진상축 방향과 상이한 것이며, 그 조명 광학계 중의 동공면 또는 그 근방의 면내에서의, 그 조명 광학계의 광축을 중심으로 하는 소정의 유태 영역인 특정 유태 영역(36) 내의 적어도 일부의 영역을 통과하는 그 조명광이, 그 특정 유태 영역의 원주 방향을 편광 방향으로 하는 직선

편광을 주성분으로 하는 편광 상태인 것이다.

[0024] 이러한 본 발명에 의하면, 예컨대 그 복수의 복굴절 부재의 두께 분포를 각각 소정 분포로 설정해 놓음으로써, 그 광원으로부터 사출된 조명광 중에서 그 특정 윤대 영역을 통과하는 조명광의 적어도 일부의 편광 상태가 광량 손실이 거의 없는 상태에서, 그 특정 윤대 영역의 원주 방향을 편광 방향으로 하는 직선 편광을 주성분으로 하는 상태(소정의 편광 상태)로 된다.

[0025] 이 경우, 그 제 1 물체에 조사되는 그 조명광을, 실질적으로 그 특정 윤대 영역내에 분포하는 광속으로 제한하는 광속 제한 부재(9a, 9b)를 갖더라도 무방하다. 또한, 그 광속 제한 부재는, 그 광속을 그 특정 윤대 영역내의 실질적으로 이산적인 복수의 영역 내로 제한해도 더욱 된다. 이를 경우, 조명광량을 거의 저하시키지 않고, 윤대 조명, 2극 조명, 또는 4극 조명 등을 실현할 수 있다.

[0026] 또한, 그 광속 제한 부재는 일례로서 그 광원(1)과 그 복수의 복굴절 부재(12, 13) 사이에 배치되는 회절 광학소자를 포함하는 것이다. 회절 광학 소자를 이용함으로써, 광량 손실을 더욱 감소시킬 수 있다.

[0027] 또한, 일례로서, 그 복수의 복굴절 부재 중 적어도 하나의 부재는, 투과광 중 진상축에 평행한 직선 편광 성분과 지상축(遲相軸)에 평행한 직선 편광 성분 사이에 부여하는 위상차인 편광간 위상차가, 그 부재의 위치에 대하여 비선형으로 변화되는 불균일 파장판(12, 13)이다. 이에 따라서, 그 복수의 복굴절 부재를 통과한 후의 조명광의 편광 상태를 고정밀도로 소정의 상태로 제어할 수 있다.

[0028] 이 경우, 그 불균일 파장판은 그 특정 조명광 또는 그 특정 윤대 영역에 분포하는 조명광에 대하여, 그 조명 광학계의 광축을 중심으로 하여 2회 회전 대칭성을 갖는 편광간 위상차를 부여하는 제 1 불균일 파장판(12)을 포함해도 된다.

[0029] 또한, 그 불균일 파장판은 그 특정 조명광 또는 그 특정 윤대 영역에 분포하는 조명광에 대하여, 그 조명 광학계의 광축을 중심으로 하여 1회 회전 대칭성을 갖는 편광간 위상차를 부여하는 제 2 불균일 파장판(13)을 더 포함해도 된다.

[0030] 또한, 일례로서, 그 제 1 및 제 2 불균일 파장판은 그 진상축 방향이 그 조명 광학계의 광축을 회전 중심으로 하여 서로 45° 어긋난 것이다. 이에 따라서, 2개의 불균일 파장판을 통과한 후의 조명광의 편광 상태의 제어가 용이해진다.

[0031] 또한, 그 복수의 복굴절 부재와 그 제 1 물체 사이에 배치된 광학 인테그레이터(optical integrator)(14)를 더 포함하고 있어도 된다. 이에 따라서, 제 1 물체 상에서의 조도 분포의 균일성이 향상된다.

[0032] 또한, 그 복수의 복굴절 부재와 그 광학 인테그레이터 사이에 배치된 줌 광학계, 간격 가변의 원추 프리즘군(41, 42), 또는 다면체 프리즘군을 더 포함할 수 있다. 그 제 1 물체 상의 패턴의 피치 등에 따라서 그 줌 광학계 등을 이용하여 그 특정 윤대 영역(또는, 윤대 형상의 영역 혹은 그 중의 실질적으로 이산적인 부분 영역)의 크기나 위치를 제어함으로써, 여러 가지의 피치의 패턴을 노광할 때의 결상 특성을 향상시킬 수 있다.

[0033] 또한, 그 광학 인테그레이터는 일례로서 플라이아이 렌즈(fly-eye lens)이다.

[0034] 또한, 그 광원과 그 복수의 복굴절 부재 사이에 배치되고 그 광원으로부터의 그 조명광의 편광 상태를 변환하는 편광 제어 기구(4)를 갖더라도 무방하다. 이에 따라서, 그 광원으로부터의 조명광의 편광 상태를 광량 손실이 없는 상태에서, 복수의 복굴절 부재에 적합한 편광 상태로 변환할 수 있다.

[0035] 또한, 그 복수의 복굴절 부재의 일부 또는 전부를 그 조명 광학계의 광축을 중심으로 하여 회전 가능하게 하는 회전 기구를 갖더라도 무방하다. 이에 따라서, 그 광원으로부터의 조명광을 그 복굴절 부재에 적합한 편광 상태로 그 복굴절 부재에 공급할 수 있다.

[0036] 또한, 그 복수의 복굴절 부재를 복수 세트 구비하고, 그 복수 세트의 그 복수의 복굴절 부재를 그 조명 광학계 내에 교환 가능하게 배치하는 복굴절 부재 교환 기구를 가질 수 있다. 이에 의해 전사 대상의 여러 가지의 패턴에 대응할 수 있다.

[0037] 다음에, 본 발명에 따른 제 3 투영 노광 장치는, 광원(1)으로부터의 조명광을 제 1 물체(R)에 조사하는 조명 광학계(ILS)와, 그 제 1 물체 상의 패턴의 이미지를 제 2 물체(W) 상에 투영하는 투영 광학계(25)를 갖는 투영 노광 장치로서, 그 광원은 그 조명광을 실질적으로 단일의 편광 상태로 생성하고, 그 조명 광학계는 그 조명광의 진행 방향을 따라 순서대로 배치되는, 회절 광학 소자(9a, 9b)와 복굴절 부재(12, 13)를 갖는 것이다.

- [0038] 또한, 본 발명에 따른 제 2 조명 광학 장치는, 광원으로부터의 조명광을 제 1 물체에 조사하는 조명 광학 장치로서, 그 조명광의 진행 방향을 따라 순서대로 배치되는, 회절 광학 소자와 복굴절 부재를 갖는 것이다.
- [0039] 본 발명에 의하면, 그 복굴절 부재를 이용함으로써, 그 제 1 물체를 예를 들면 S편광을 주성분으로 하는 소정의 편광 상태로 효율적으로 조명할 수 있다. 또한, 그 회절 광학 소자를 이용하여 그 복굴절 부재에 입사하는 조명광의 광량 분포를 윤대 형상 등으로 제한함으로써, 광량 손실을 극히 작게 할 수 있다.
- [0040] 본 발명에 있어서, 일례로서, 그 회절 광학 소자는 그 제 1 물체에 조사되는 그 조명광을, 특정한 입사 각도 범위에서 그 제 1 물체에 조사되는 특정 조명광으로 실질적으로 제한하고, 또한, 그 복굴절 부재는 그 특정 조명광을 S편광을 주성분으로 하는 편광 상태의 광으로 한다.
- [0041] 또한, 그 회절 광학 소자는, 그 제 1 물체에 조사되는 그 조명광의 입사 방향을 특정한 실질적으로 이산적인 복수의 방향으로 더욱 제한해도 된다.
- [0042] 또한, 그 회절 광학 소자는, 그 조명광을 그 조명 광학계 중의 동공면 내의, 그 조명 광학계의 광축을 중심으로 하는 소정의 윤대 영역인 특정 윤대 영역 내에 분포하는 광속으로 실질적으로 제한하고, 또한, 그 복굴절 부재는, 그 광속을, 원주 방향을 편향 방향으로 하는 직선 편광을 주성분으로 하는 편광 상태로 해도 된다.
- [0043] 또한, 그 회절 광학 소자는, 그 광속을 그 특정 윤대 영역 내의 실질적으로 이산적인 복수의 영역 내로 더욱 제한해도 된다.
- [0044] 다음에, 본 발명에 따른 노광 방법은, 본 발명의 투영 노광 장치를 이용하여, 그 제 1 물체로서의 마스크(R)의 패턴의 이미지로 그 제 2 물체로서의 감광체(W)를 노광하는 것이다. 본 발명에 의해서, 그 제 1 물체를 윤대 조명, 2극 조명, 또는 4극 조명등으로 조명할 수 있고, 또한, 그 제 1 물체에 입사하는 조명광의 편광 상태를 거의 S편광을 주성분으로 할 수 있다. 따라서, 광량 손실이 거의 없는 상태에서, 마스크 상에 소정 방향으로 미세 피치로 형성된 패턴을 양호한 결상 특성으로 전사할 수 있다.
- [0045] 또한, 본 발명에 따른 디바이스 제조 방법은, 리소그래피 공정을 포함하는 디바이스 제조 방법으로서, 그 리소그래피 공정에서 본 발명의 노광 방법을 이용하여 패턴을 감광체에 전사하는 것이다. 본 발명에 의하면, 높은 처리 능력으로, 또한 높은 결상 특성으로 패턴을 전사할 수 있다.
- [0046] 본 발명에 의하면, 복수의 복굴절 부재를 이용하여 조명광의 편광 상태를 제어하거나, 또는 조명광의 진행 방향을 따라 순서대로 배치되는 회절 광학 소자와 복굴절 부재를 이용하여 조명광의 편광 상태를 제어하고 있기 때문에, 제 1 물체(마스크)를 소정의 편광 상태의 조명광으로 조명할 때의 광량 손실을 적게 할 수 있다.
- [0047] 또한, 광속 제한 부재를 더욱 이용함으로써, 제 1 물체를 윤대 조명, 2극 조명, 또는 4극 조명 등으로 조명할 때에, 조명광량을 거의 저하시키지 않고, 특정 윤대 영역의 적어도 일부의 영역을 통과하는 조명광의 편광 상태를, 그 특정 윤대 영역의 원주 방향에 평행한 직선 편광을 주성분으로 하는 상태로 설정할 수 있다.
- [0048] 이 경우, 그 제 1 물체 상의 그 직선 편광의 방향을 따라 길이 방향을 갖는 라인 패턴을 미세 피치로 배치한 패턴을 노광할 때의 결상 특성이 향상된다. 따라서, 결상 특성의 향상을 처리 능력(스루풋)의 저하 없이 실현할 수 있는 조명 광학 장치, 투영 노광 장치, 및 노광 방법을 제공할 수 있다.

발명의 효과

- [0049] 본 발명의 디바이스 제조 방법에 의하면, 노광 빔(조명광)의 이용 효율을 높일 수 있고, 또한, 소정 패턴을 고정밀도로 형성할 수 있다. 따라서, 반도체 집적 회로 등의 각종 디바이스를 고정밀도로, 또한 높은 처리 능력(스루풋)으로 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0050] 도 1은 본 발명의 일실시예의 투영 노광 장치의 개략적인 구성을 나타내는 일부를 절결한 도면, 도 2(a)는 도 1 중의 복굴절 부재(12)를 +Y방향으로 본 도면, 도 2(b)는 도 2(a)의 AA'선을 따른 단면도, 도 3(a)는 도 1 중의 복굴절 부재(13)를 +Y방향으로 본 도면, 도 3(b)는 도 3(a)의 BB'선을 따른 단면도,

도 4(a)는 제 1 복굴절 부재(12)에서의 편광간 위상차 ΔP_1 과 위치 X의 관계의 일례를 나타내는 도면, 도 4(b)는 제 2 복굴절 부재(13)에서의 편광간 위상차 ΔP_2 와 위치 XZ의 관계의 일례를 나타내는 도면, 도 4(c)는 제 2 복굴절 부재(13)로부터 사출되는 조명광의 편광 상태의 일례를 나타내는 도면,

도 5는 제 1 복굴절 부재(12)로부터 사출되는 조명광의 편광 상태의 일례를 나타내는 도면,

도 6(a)는 제 1 복굴절 부재(12)에서의 편광간 위상차 ΔP_1 과 위치 X의 관계의 다른 예를 나타내는 도면, 도 6(b)는 제 2 복굴절 부재(13)에서의 편광간 위상차 ΔP_2 와 위치 XZ의 관계의 다른 예를 나타내는 도면, 도 6(c)는 제 2 복굴절 부재(13)로부터 사출되는 조명광의 편광 상태의 다른 예를 나타내는 도면,

도 7(a)는 도 1의 레티클 R 상에 형성된 미세한 주기 패턴 PX의 일례를 나타내는 평면도, 도 7(b)는 도 7(a)의 패턴을 소정 조건으로 조명한 경우에 투영 광학계의 동공면(26) 내에 형성되는 회절광의 분포를 나타내는 도면, 도 7(c)는 도 7(a)의 패턴 PX를 조명하기 위한 윤대 조명의 조건을 나타내는 도면,

도 8(a)는 도 1의 조명 광학계 ILS의 동공면(15)과 레티클 R의 관계를 간이적으로 나타내는 사시도, 도 8(b)는 도 8(a)의 일부를 +Y방향으로 본 도면, 도 8(c)는 도 8(a)의 일부를 -X방향으로 본 도면,

도 9는 본 발명의 일실시예에 있어서, 특정 윤대 영역의 반경을 가변으로 하기 위해서, 도 1의 복굴절 부재(12, 13)와 플라이아이 렌즈(14) 사이에 배치할 수 있는 복수의 원추 프리즘을 나타내는 도면,

도 10은 도 1의 편광 제어 부재(4)의 위치에 배치할 수 있는 편광 제어 광학계의 일례를 나타내는 도면,

도 11은 본 발명의 실시예의 투영 노광 장치를 이용하여 반도체 디바이스를 제조하기 위한 리소그래피 공정의 일례를 나타내는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0051]

이하, 본 발명의 바람직한 일실시예에 대해서 도면을 참조하여 설명한다. 본 예는, 스텝·엔드·스캔 방식으로 이루어지는 주사 노광형의 투영 노광 장치(스캐닝·스테퍼)로 노광을 실행하는 경우에 본 발명을 적용한 것이다.

[0052]

도 1은 본 예의 투영 노광 장치의 개략적인 구성을 나타내는 일부를 절결한 도면으로서, 이 도 1에서, 본 예의 투영 노광 장치는 조명 광학계 ILS와 투영 광학계(25)를 구비하고 있다. 전자의 조명 광학계 ILS는 노광 광원(1)(광원)으로부터 콘덴서 렌즈(20)까지의 광축(조명계 광축) AX1, AX2, AX3을 따라 배치되는 복수의 광학 부재를 구비하고(상세 후술), 노광 광원(1)으로부터의 노광 빔으로서의 노광용 조명광(노광광) IL로, 마스크로서의 레티클 R의 패턴면(레티클면)의 조명 시야를 균일한 조도 분포로 조명한다. 후자의 투영 광학계(25)는 그 조명 광을 기초로, 레티클 R의 조명 시야 내의 패턴을 투영 배율 M(M은 예를 들면 1/4, 1/5 등의 축소 배율)으로 축소한 이미지를, 피 노광 기판(기판) 또는 감광체로서의 포토레지스트가 도포된 웨이퍼 W 상의 하나의 샷(shot) 영역 상의 노광 영역에 투영한다. 레티클 R 및 웨이퍼 W는 각각 제 1 물체 및 제 2 물체라고도 간주할 수 있다. 웨이퍼 W는, 예컨대 반도체(실리콘 등) 또는 SOI(silicon on insulator) 등의 직경이 200~300mm 정도의 원판 형상의 기판이다. 본 예의 투영 광학계(25)는, 예를 들면 굴절 광학계이지만, 반사 굴절계 등도 사용할 수 있다.

[0053]

이하, 도 1에서, 투영 광학계(25), 레티클 R, 및 웨이퍼 W에 관해서는, 투영 광학계(25)의 광축 AX4에 평행하게 Z축을 잡고, Z축에 수직한 평면(XY 평면) 내에서 주사 노광시의 레티클 R 및 웨이퍼 W의 주사 방향(도 1의 지면에 평행한 방향)을 따라 Y축을 잡으며, 비주사 방향(도 1의 지면에 수직한 방향)을 따라 X축을 잡아서 설명한다. 이 경우, 레티클 R의 조명 시야는 비주사 방향인 X 방향으로 가늘고 긴 영역이고, 웨이퍼 W 상의 노광 영역은 그 조명 시야와 공역인 가늘고 긴 영역이다. 또한, 투영 광학계(25)의 광축 AX4는 레티클 R 상에서 조명계 광축 AX3과 합치하고 있다.

[0054]

먼저, 노광 전사해야 할 패턴이 형성된 레티클 R은 레티클 스테이지(21) 상에 흡착 유지되며, 레티클 스테이지(21)는 레티클 베이스(22) 상에서 Y방향으로 일정 속도로 이동하고, 또한, 동기 오차를 보정하도록 X방향, Y방향, Z축 둘레의 회전 방향으로 미동하여, 레티클 R의 주사를 실행한다. 레티클 스테이지(21)의 X방향, Y방향의 위치, 및 회전각은 이 위에 마련된 이동 거울(23) 및 레이저 간섭계(24)에 의해서 계측되고 있다. 이 계측값 및 주제어계(34)로부터의 제어 정보에 근거하여, 레티클 스테이지 구동계(32)는 리니어 모터 등의 구동 장치(도시하지 않음)를 거쳐서 레티클 스테이지(21)의 위치 및 속도를 제어한다. 레티클 R의 주변부의 위쪽에는, 레티클 정렬용의 레티클 정렬 현미경(도시하지 않음)이 배치되어 있다.

[0055] 한편, 웨이퍼 W는 웨이퍼 홀더(도시하지 않음)를 거쳐서 웨이퍼 스테이지(27) 상에 흡착 유지되며, 웨이퍼 스테이지(27)는 웨이퍼 베이스(30) 상에 Y방향으로 일정 속도로 이동할 수 있고, 또한, X방향, Y방향으로 스텝 이동 할 수 있도록 재치되어 있다. 또한, 웨이퍼 스테이지(27)에는, 도시하지 않은 오토 포커스 센서의 계측값에 근거하여, 웨이퍼 W의 표면을 투영 광학계(25)의 이미지면에 맞춰 넣기 위한 Z레벨링 기구도 내장되어 있다. 웨이퍼 스테이지(27)의 X방향, Y방향의 위치, 및 회전각은, 이 위에 마련된 이동 거울(28) 및 레이저 간섭계(29)에 의해서 계측되고 있다. 이 계측값 및 주제어계(34)로부터의 제어 정보에 근거하여, 웨이퍼 스테이지 구동계(33)는 리니어 모터 등의 구동 장치(도시하지 않음)를 거쳐서 웨이퍼 스테이지(27)의 위치 및 속도를 제어한다. 또한, 투영 광학계(25)의 근방에는, 웨이퍼 정렬을 위해서, 웨이퍼 W 상의 위치 맞춤용 마크의 위치를 검출하는 오프·액시스 방식으로 예를 들면 FIA(Field Image Alignment) 방식의 정렬 센서(31)가 배치되어 있다.

[0056] 본 예의 투영 노광 장치에 의한 노광에 앞서서, 상기 레티를 정렬 현미경에 의해서 레티를 R의 정렬이 실행되어, 웨이퍼 W 상에 이전의 노광 공정에서 회로 패턴과 함께 형성된 위치 맞춤용 마크의 위치를 정렬 센서(31)로 검출함으로써, 웨이퍼 W의 정렬이 실행된다. 그 후, 레티를 R 상의 조명 시야에 조명광 IL을 조사한 상태에서, 레티를 스테이지(21) 및 웨이퍼 스테이지(27)를 구동하고, 레티를 R과 웨이퍼 W 상의 하나의 쟁 영역을 Y방향으로 동기 주사하는 동작과, 조명광 IL의 발광을 정지하고, 웨이퍼 스테이지(27)를 구동하여 웨이퍼 W를 X방향, Y방향으로 스텝 이동하는 동작이 반복된다. 그 동기 주사시의 레티를 스테이지(21)와 웨이퍼 스테이지(27)의 주사 속도의 비는, 투영 광학계(25)를 거친 레티를 R과 웨이퍼 W의 결상 관계를 유지하기 위해서, 투영 광학계(25)의 투영 배율 M과 동등하다. 이를 동작에 의해서, 스텝·앤드·스캔 방식으로 웨이퍼 W 상의 전부의 쟁 영역에 레티를 R의 패턴 이미지가 노광 전사된다.

[0057] 다음에, 본 예의 조명 광학계 ILS의 구성에 대해서 상세하게 설명한다. 도 1에서, 본 예의 노광 광원(1)으로서는, ArF(아르곤 불소) 엑시머 레이저(파장 193nm)가 사용되고 있다. 또한, 노광 광원(1)으로서는, 그 외에 KrF(크립톤 불소) 엑시머 레이저(파장 248nm), F₂(불소 분자) 레이저(파장 157nm), 또는 Kr₂(크립톤 분자) 레이저(파장 146nm) 등의 레이저 광원 등도 사용할 수 있다. 이를 레이저 광원(노광 광원(1)을 포함)은 협대화된 레이저 또는 파장 선택된 레이저이며, 노광 광원(1)으로부터 사출되는 조명광 IL은 상기 협대화 또는 파장 선택에 의해 직선 편광을 주성분으로 하는 편광 상태로 되어 있다. 이하, 도 1에서, 노광 광원(1)으로부터 사출된 직후의 조명광 IL은, 편광 방향(전장의 방향)이 도 1 중의 X방향과 일치하는 직선 편광광을 주성분으로 하는 것으로서 설명한다.

[0058] 노광 광원(1)을 나온 조명광 IL은 조명계 광축 AX1을 따라 릴레이 렌즈(2, 3)를 거쳐서 편광 제어 기구로서의 편광 제어 부재(4)(상세 후술)에 입사한다. 편광 제어 부재(4)를 나온 조명광 IL은 오목 렌즈(5)와 볼록 렌즈(6)의 조합으로 이루어지는 줌 광학계(5, 6)를 지나서, 광로 벤딩용 미러(7)에서 반사되어, 조명계 광축 AX2를 따라 회절 광학 소자(DOE: Diffractive Optical Element)(9a)에 입사한다. 회절 광학 소자(9a)는 위상형의 회절 격자로 이루어져, 입사한 조명광 IL은 소정 방향으로 회절되어 진행한다.

[0059] 후술하는 바와 같이, 광속 제한 부재로서의 회절 광학 소자(9a)로부터의 각 회절광의 회절각 및 방향은, 조명 광학계 ILS의 동공면(15) 상에서의 조명광 IL의 위치나, 조명광 IL의 레티를 R로의 입사 각도 및 방향에 대응한다. 또한, 회절 광학 소자(9a) 및 그와 상이한 회절 작용을 갖는 다른 회절 광학 소자(9b) 등이 터렛(turret) 형상의 부재(8) 상에 복수개 배열되어 있다. 그리고, 예를 들어 주제어계(34)의 제어를 기초로 교환 기구(10)에 의해 부재(8)를 구동하여, 부재(8) 상의 임의의 위치의 회절 광학 소자(9a) 등을 조명계 광축 AX2 상의 위치에 장전함으로써, 레티를 R의 패턴에 따라서, 레티를 R로의 조명광의 입사 각도 범위 및 방향(또는 동공면(15)에서의 조명광의 위치)을 소망하는 범위로 설정할 수 있도록 구성되어 있다. 또한, 그 입사 각도 범위는 상술한 줌 광학계(5, 6)를 구성하는 오목 렌즈(5) 및 볼록 렌즈(6)를, 조명계 광축 AX1의 방향으로 각각 이동함으로써 보조적으로 미세 조정할 수 있다.

[0060] 회절 광학 소자(9a)를 사출한 조명광(회절광) IL은 조명계 광축 AX2를 따라 릴레이 렌즈(11)를 지나서, 본 발명의 복수의 복굴절 부재로서의 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)에 순차적으로 입사한다. 이를 복굴절 부재의 상세에 대해서는 후술한다. 본 실시예에 있어서는, 복굴절 부재(13)의 뒤에, 광학 인테그레이터(조도 균일화 부재)인 플라이아이 렌즈(14)가 배치되어 있다. 플라이아이 렌즈(14)를 사출한 조명광 IL은 릴레이 렌즈(16), 시야 조리개(17), 및 콘덴서 렌즈(18)를 지나서 광로 벤딩용 미러(19)에 이르고, 여기서 반사된 조명광 IL은 조명계 광축 AX3을 따라 콘덴서 렌즈(20)를 지나서 레티를 R을 조명한다. 이와 같이 조명된 레티를 R 상의 패턴은, 상술한 바와 같이 투영 광학계(25)에 의해 웨이퍼 W 상에 투영되어 전사된다.

[0061] 또한, 필요에 따라서 시야 조리개(17)를 주사형으로 하여, 레티를 스테이지(21) 및 웨이퍼 스테이지(27)의 주사

에 동기하여 주사할 수도 있다. 이 경우, 그 시야 조리개를 고정 시야 조리개와 가동 시야 조리개로 나누어서 구성해도 무방하다.

[0062] 이 구성에 있어서, 플라이아이 렌즈(14)의 사출측 면은 조명 광학계 ILS의 동공면(15) 근방에 위치하고 있다. 동공면(15)은, 동공면(15)으로부터 레티클 R에 이를 때까지의 조명 광학계 ILS 중의 광학 부재(릴레이 렌즈(16), 시야 조리개(17), 콘덴서 렌즈(18, 20), 및 미러(19))를 거쳐서, 레티클 R의 패턴면(레티클면)에 대한 광학적 퓨리에 변환면으로서 작용한다. 즉, 동공면(15) 상의 한 점을 사출한 조명광은 대략 평행 광속으로 되어 소정의 입사 각도 및 입사 방향으로 레티클 R을 조사한다. 그 입사 각도 및 입사 방향은 그 광속의 동공면(15) 상에서의 위치에 따라서 정해진다.

[0063] 또한, 광로 벤딩용 미러(7, 19)는 광학 성능적으로 필수적인 것은 아니지만, 조명 광학계 ILS를 일직선 상에 배치하면 노광 장치의 전체 높이(Z방향의 높이)가 증대하기 때문에, 공간 절약화를 목적으로 하여 조명 광학계 ILS 내의 적소에 배치한 것이다. 조명계 광축 AX1은 미러(7)의 반사에 의해 조명계 광축 AX2와 일치하고, 또한 조명계 광축 AX2는 미러(19)의 반사에 의해 조명계 광축 AX3과 일치한다.

[0064] 이하, 도 2~도 5를 참조하여, 도 1 중의 제 1 및 제 2 복굴절 부재(12, 13)의 실시예 1에 대해서 설명한다.

[0065] 제 1 복굴절 부재(12)는 일축 결정 등의 복굴절 재료로 이루어지는 원판 형상의 부재이며, 그 광학축은 그 면내 방향(조명계 광축 AX2에 수직한 평면에 평행한 방향)에 있다. 그리고, 그 제 1 복굴절 부재(12)의 그 면내 방향의 크기(직경)는 당해 복굴절 부재(12)가 배치되는 위치에서의 조명광 IL의 광속 직경 보다 크다.

[0066] 도 2(a)는 도 1의 복굴절 부재(12)를 조명계 광축 AX2를 따라 +Y방향으로 본 도면으로서, 도 2(a)에 나타내는 바와 같이, 복굴절 부재(12)에 있어서, 이에 평행한 편광 방향을 가지는 직선 편광광에 대하여 굴절률을 최저로 하는 축방향인 진상축 nf가, 도 1과 동일한 좌표축인 XZ좌표에서 각 좌표축(X축 및 Z축)으로부터 45° 회전한 방향을 향하고 있다. 또한, 이에 평행한 편광 방향을 가지는 직선 편광광에 대하여 굴절률을 최고로 하는 축방향인 지상축 ns는, 당연히 상기 진상축 nf와 직교하고, 마찬가지로 X축 및 Z축의 양쪽으로부터 45° 회전한 방향을 향하고 있다.

[0067] 제 1 복굴절 부재(12)의 두께는 도 2(a)의 지면에 평행한 면내에서 균일하지 않고, X좌표(X방향의 위치)에 따라 변화된다. 도 2(b)는 도 2(a)의 AA'선을 따른 복굴절 부재(12)의 단면도로서, 도 2(B)에 나타내는 바와 같이, 복굴절 부재(12)는 X방향에서 중심(조명계 광축)에서 얇고 주변에서 두꺼운 형상이다. 한편, 제 1 복굴절 부재(12)의 두께는 도 2(a)의 Z방향으로는 균일하고, 복굴절 부재(12)는 전체적으로 부(負)의 실린더 렌즈와 같은 형상을 하고 있다.

[0068] 이러한 복굴절 부재를 투과한 광속에는, 일반적으로는 그 편광 방향(즉, 「광의 전장의 진동 방향」이며, 이하 동일함)이 진상축 nf의 방향에 일치하는 직선 편광 성분과, 지상축 ns의 방향에 일치하는 직선 편광 성분 사이에 광로차(편광간 위상차)가 발생한다. 진상축 nf에 평행한 직선 편광광에 대해서는 복굴절 부재의 굴절률이 낮고, 따라서 상기 편광광의 진행 속도는 빠르고, 한편, 지상축 ns에 평행한 직선 편광광에 대해서는 복굴절 부재의 굴절률이 높고, 따라서 상기 편광광의 진행 속도는 느려지기 때문에, 양쪽 편광광 사이에 광로차(편광간 위상차)가 발생하는 것이다. 따라서, 제 1 복굴절 부재(12)는 투과광에 부여하는 편광간 위상차가 장소에 따라서 상이한 제 1 불균일 과장판으로서 기능한다.

[0069] 그런데, 제 1 복굴절 부재(12)의 두께를 최적화함으로써, 복굴절 부재(12)에 대해서 발생하는 상기 광로차를 과장의 정수배로 하면, 양쪽 광속의 위상은 실질적으로 구별할 수 없어, 실질적으로 광로차가 없는 상태를 형성할 수 있다. 본 예에서는, 복굴절 부재(12)의 중심부의 두께 T1을 그러한 두께로 설정한다. 이하에서는, 도 2(b)에 나타내는 바와 같이, X축의 원점(X=0)을 복굴절 부재(12)의 중심(조명계 광축)으로 한다.

[0070] 한편, 제 1 복굴절 부재(12)의 중심에 대하여 X방향으로 ±1 떨어진 위치(1은 기준 길이로서, 제 1 복굴절 부재(12)의 외경보다 내측에 있음)에서는, 편광간 위상차가 0.5(단위는 조명광의 과장)만큼 발생하도록, 그 복굴절 부재(12)의 형상을 설정한다. 그러한 형상으로서, 본 예에서는 복굴절 부재(12)의 두께 TA를, X방향의 위치 X에 대해서 다음 함수로 나타내어지는 두께로 하고 있다.

$$TA = T1 + \alpha \times (1.7 \times X^4 - 0.7 \times X^2) \quad (1)$$

[0072] 여기서, α 는 비례 계수이고, α 의 값은 중심부의 두께 T1과 마찬가지로, 사용하는 복굴절 재료의 상술한 진상축과 지상축의 굴절률차 등에 따라 상이하다.

[0073] 제 1 복굴절 부재(12)를 구성하는 복굴절 재료로서 일축 결정인 수정을 사용하면, 수정의 굴절률은 파장 193nm의 ArF 엑시머 레이저광에 있어서 상광선(常光線)의 굴절률은 1.6638, 이상광선(異常光線)의 굴절률은 1.6774이다. 이로부터 진상축은 상광선의 편광 방향이고, 지상축은 이상광선의 편광 방향으로 된다.

[0074] 수정 중에서의 상광선, 이상광선의 파장은 진공 중의 파장(193nm)을 각각의 굴절률로 나눈 것이므로, 각각 116.001nm, 115.056nm이고, 수정 중을 1파장분 진행할 때마다, 양쪽 광속간에 0.945nm의 광로차가 형성된다. 따라서, 122.7($=116.001/0.945$) 파장분 진행하면, 양쪽 광속간에는 약 1파장분의 광로차가 형성된다. 다만 광로차가 정확히 1파장분 또는 정수 파장분이면, 양쪽 광속에는 실질적으로 광로차가 없는 것과 동가이다. 122.7 파장분의 수정의 두께는 $122.7 \times 193 / 1.6638$ 의 계산으로부터 14239nm, 즉 $14.239\mu\text{m}$ 에 상당한다. 마찬가지로, 상광선과 이상광선에 반파장의 광로차를 형성하기 위해서는, 수정의 두께를 상기의 절반인 $7.12\mu\text{m}$ 로 하면 좋게 된다.

[0075] 이로부터, 제 1 불균일 파장판인 제 1 복굴절 부재(12)를 수정으로 형성하기 위해서는, 상기 (1)식에서의 중심부의 두께 T1을 $14.239\mu\text{m}$ 의 정수배로 설정하고, 주변 근방의 기준 위치($X=1$)에서의 두께를 그보다 $7.12\mu\text{m}$ 두껍게 하면 되어, 즉 상기 비례 계수 a를 $7.12\mu\text{m}$ 로 설정하면 된다.

[0076] 이 때, 제 1 복굴절 부재(12)에 의해 형성되는 편광간 위상차 $\Delta P1$ 은, X방향의 위치 X의 함수로서 다음과 같이 나타내어진다.

$$\Delta P1 = 0.5 \times (1.7 \times X^4 - 0.7 \times X^2) \quad (2)$$

[0077] 또한, 제 1 복굴절 부재(12)의 두께란, 그 입사면(12a)과 사출면(12b)의 간격이며, 상기 위상차를 형성하기 위한 상기 두께와 X방향의 위치의 관계를 만족하는 것이면, 입사면(12a)과 사출면(12b)의 각 형상은 임의이더라도 상관없다. 단, 면형상의 가공 상은 어느 한쪽의 면을 평면으로 하는 편이 가공이 용이해지기 때문에, 실제로는 도 2(b)에 나타낸 바와 같이, 예를 들면 사출면(12b)을 평면으로 하는 것이 바람직하다. 이 경우에는 사출면(12b)에서의 두께 TA의 값을 0으로 했을 때의 입사면(12a)의 두께 TA의 값은, (1)식으로 구하는 TA와 같아진다. 물론, 입사면(12a)을 평면으로 해도 무방하다.

[0078] [0079] 도 4(A)는 (2)식으로 나타내어지는 편광간 위상차 $\Delta P1$ (단위는 조명광의 파장)과 위치 X의 관계를 나타내는 도면이다. 또한, 도 5는 본 예의 제 1 복굴절 부재(12)로부터 사출되는 조명광의 편광 상태를 나타내는 도면으로서, 도 5에서, XZ좌표 상의 각 위치에 분포하는 조명광의 편광 상태가, 각 위치를 중심으로 하는 선분, 원, 또는 타원으로 표시되어 있다. 또한, 도 5의 X축 및 Z축의 원점($X=0, Z=0$)은 복굴절 부재(12)의 중심에 설정되어 있고, X방향 및 Z방향의 스케일은 $X=\pm 1, Z=\pm 1$ 의 위치(모두 원점 $X=0, Z=0$ 으로부터 기준 길이 떨어진 위치)가 도 5 중의 4개의 모서리에 위치하도록 설정되어 있다.

[0080] 도 5의 각 XZ좌표에서 식별되는 위치에서, 선분이 표시된 위치에서는 조명광은 직선 편광을 주성분으로 하는 편광 상태로 되어 있고, 선분의 방향이 그 편광 방향을 나타낸다. 또한, 타원이 표시된 위치에서는 조명광은 타원 편광을 주성분으로 하는 편광 상태로 되어 있고, 타원의 긴 변 방향은, 그 타원 편광에 포함되는 직선 편광 성분이 최대로 되는 방향을 나타내고 있다. 또한, 원이 표시된 위치에서는 조명광은 원편광을 주성분으로 하는 편광 상태로 되어 있다.

[0081] 도 4(a)에 나타낸 바와 같이, 중심으로부터 X방향으로 ± 1 떨어진 위치에서는, 제 1 복굴절 부재(12)는 소위 1/2파장판으로서 작용한다. 여기서, 도 1의 노광 광원(1)을 나온 조명광 IL은 전술한 바와 같이 X방향으로 편광한 직선 편광광을 주성분으로 하고 있으며, 이 1/2파장판은 그 진상축 nf 및 지상축 ns가 입사광의(조명광의) 편광 방향인 X방향에 대하여 45° 회전한 것이다. 따라서, 도 5에 나타낸 바와 같이, 제 1 복굴절 부재(12) 중 중심으로부터 X방향으로 ± 1 (기준 길이) 떨어진 위치 부근을 투과하는 조명광의 편광 상태는, 이 1/2파장판의 작용에 의해, Z방향의 직선 편광을 주성분으로 하는 편광 상태로 변환된다.

[0082] 또한, 도 4(a)로부터, 제 1 복굴절 부재(12) 중 중심으로부터 X방향으로 ± 0.6 떨어진 위치 부근을 투과하는 조명광에 대해서는, 편광간 위상차 $\Delta P1$ 은 0.25이며, 제 1 복굴절 부재(12)는 소위 1/4파장판으로서 작용한다. 이 때문에, 이 부분을 투과하는 조명광은 원편광을 주성분으로 하는 편광 상태로 변환되게 된다.

[0083] 한편, X방향에 대한 중심을 투과하는 광속에는, 진상축 nf 방향 및 지상축 ns 방향의 각 직선 편광간에서 광로차가 발생하지 않기 때문에, 투과광의 편광 상태가 변환되는 일은 없다. 따라서, X방향에 대한 중심에서 복굴절 부재(12)에 입사하는 광속은, X방향의 직선 편광 상태를 주성분으로 하는 상태를 유지한 채로 복굴절 부재(12)를 사출한다. 그리고, 상기 $X=0, \pm 0.6, \pm 1$ 의 각 위치 이외의 위치를 투과하는 광속은, 위치에 따라서 형

상이 상이한 타원 편광을 주성분으로 하는 편광 상태로 되어, 제 1 복굴절 부재(12)를 투과한다. 이 편광 상태는 도 5에 나타낸 바와 같다.

[0084] 도 1에서, 제 1 복굴절 부재(12)를 투과한 장소에 따라서 편광 상태가 상이한 조명광 IL은, 제 2 복굴절 부재(13)에 입사한다. 제 2 복굴절 부재(13)도 복굴절 재료로 이루어지는 원판 형상의 부재이다.

[0085] 도 3(a)는 도 1의 제 2 복굴절 부재(13)를 조명계 광축 AX2를 따라 +Y방향으로 본 도면으로서, 상술한 제 1 복굴절 부재(12)와 상이하여, 도 3(a)에 나타내는 바와 같이, 제 2 복굴절 부재(13)의 진상축 nf는 도 1과 동일한 좌표축인 XZ좌표의 Z축과 평행하게 설정되고, 지상축 ns는 X축과 평행하게 설정된다. 제 2 복굴절 부재(13)에 대해서도, 그 면내 방향의 크기(직경)는 당해 제 2 복굴절 부재(13)가 배치되는 위치에서의 조명광 IL의 광속 직경보다 크다.

[0086] 또한, 제 2 복굴절 부재(13)도 그 두께는 균일하지 않고, 그 두께는 도 3(A) 중의 XZ좌표계의 함수 $Z=X$ 의 방향, 즉 도 3(a) 중의 BB'선의 방향(이하, 이를 「XZ 방향」이라고 부름)의 위치에 따라서 변화된다. 도 3(b)는 도 3(a)의 BB'선을 따른 제 2 복굴절 부재(13)의 단면도로서, 도 3(b)에 나타내는 바와 같이, 복굴절 부재(13)는 좌단부(B의 근방)에서 얇고 우단부(B'의 근방)에서 두꺼운 형상이다. 한편, 제 2 복굴절 부재(13)의 두께는 XZ 방향에 직교하는 방향으로는 균일하다. 따라서, 제 2 복굴절 부재(13)도 투과광에 부여하는 편광간 위상차가, 장소에 따라서 상이한 제 2 불균일 과장판으로서 기능한다.

[0087] 본 예에서는 제 2 복굴절 부재(13)의 두께 TB를 XZ방향의 위치 XZ에 대해서 다음의 함수로 나타내어지는 것으로 하고 있다. 또한, 도 3(b)에 나타내는 바와 같이, XZ방향의 원점($XZ=0$)을 복굴절 부재(13)의 중심(조명계 광축)으로 하고, 그 중심에서 두께를 T2로 하고 있다.

$$TB = T2 + \beta \times (2.5 \times XZ^5 - 1.5 \times XZ^3) \quad (3)$$

[0089] 여기서, β 는 비례 계수이고, 중심부의 두께 T2와 마찬가지로, β 의 값은 사용하는 복굴절 재료의 상술한 진상 축과 지상축의 굴절률차 등에 의해 상이하다. 여기서, 중심부의 두께 T2는 제 2 복굴절 부재(13)의 편광간 위상차 $\Delta P2$ 가 0.25(단위는 조명광의 과장)로 되도록, 즉 중심부가 1/4과장판으로서 기능하도록 설정한다.

[0090] 또한, 복굴절 부재(13)에 있어서, XZ방향으로 +1(기준 길이) 및 -1 떨어진 위치에서는, 편광간 위상차 $\Delta P2$ 가 각각 +0.75 및 -0.25로 되도록 설정한다. 이는, 중심과의 사이에 각각 +0.5 및 -0.5의 편광간 위상차의 차를 형성하는 것을 의미한다.

[0091] 즉, 본 예의 제 2 복굴절 부재(13)에 있어서는, 편광간 위상차 $\Delta P2$ 가 다음식으로 나타내어지도록 그 두께를 설정한다.

$$\Delta P2 = 0.25 + 0.5 \times (2.5 \times XZ^5 - 1.5 \times XZ^3) \quad (4)$$

[0093] 또한, 제 2 복굴절 부재(13)에 대해서도 상술한 예와 마찬가지로 수정으로 형성하는 경우에는, 중심부의 두께 T2는 $14.239\mu\text{m}$ (정수+1/4)배로 하고, 비례 계수 β 를 $7.12\mu\text{m}$ 로 하면 된다. 도 4(b)는 (4)식의 편광간 위상차 $\Delta P2$ 와 위치 XZ의 관계를 나타내는 도면이다.

[0094] 도 1에서, 제 1 복굴절 부재(12)를 투과한 장소에 따라서 편광 상태가 상이한 조명광은, 제 2 복굴절 부재(13)에 의해, 재차 그 편광 상태가 장소에 따라서 변환된다. 제 2 복굴절 부재(13)를 사출한 조명광 IL의 편광 상태를 도 4(c)에 나타낸다.

[0095] 도 4(c)의 표시 방법은 전술한 도 5에서의 표시 방법과 마찬가지이고, 도 4(c)에서, XZ좌표 상의 각 위치에 분포하는 조명광의 편광 상태가, 각 위치를 중심으로 하는 선분(직선 편광), 또는 타원(타원 편광)으로 표시되어 있다. 또한, 도 4(c)의 X축 및 Z축의 원점($X=0, Z=0$)도, 복굴절 부재(13)의 중심에 설정되어 있다.

[0096] 또한, 도 1에 나타내는 바와 같이, 본 실시예에서는, 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)가 플라이아이 렌즈(14)의 직전에 배치되어 있고, 또한 플라이아이 렌즈(14)의 사출측 면은 조명 광학계 ILS 중의 동공면(15)의 근방에 배치되어 있다. 그 때문에, 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)는, 실질적으로 조명 광학계 ILS 중의 동공면(15)과 거의 등가의 장소에 배치되어 있다.

[0097] 따라서, 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)를 투과한 조명광 IL은, 그 위치에 따라서 결정되는 입사 각도 및 입사 방향으로 레티클 R에 입사하게 된다. 즉, 도 4(c) 중에서 원점($X=0, Z=0$ 의 위치) 상에 분포하는 광속은 레티클 R에 수직하게 입사하고, 원점으로부터 소정 거리 떨어진 위치에 분포하는 광속은, 이 거리에

거의 비례하는 입사 각도로 레티를 R에 경사해서 입사한다. 또한, 그 입사 방향은 그 점의 원점으로부터의 방위각과 동등한 방향으로 된다.

[0098] 도 4(c) 및 도 5에 나타낸 외원 C1 및 내원 C2는 레티를 R에 대하여 소정의 윤대 조명을 구성하기 위한 조명광의 분포의 경계이다. 각 원 C1, C2의 반경은, 상기 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)의 두께 형상(두께 분포)의 결정에서 사용한 기준 길이를 단위로 하여, 외원 C1의 반경을 1.15, 내원 C2의 반경을 0.85로 하고 있다. 즉, 윤대 조명의 윤대비(내원의 반경/외원의 반경)로서는, 0.74를 상정하고 있다. 이는 일반적으로 사용되는 소위 「3/4 윤대 조명(내반경:외반경=3:4)」를 상정한 것이지만, 당연히 본 발명이 적용되어야 할 윤대 조명의 조건은 이에 한정되는 것은 아니다.

[0099] 도 4(c)로부터 명백한 바와 같이, 제 2 복굴절 부재(13)를 사출한 조명광은, 외원 C1 및 내원 C2로 둘러싸인 윤대 영역인 특정 윤대 영역(36)내에서, 그 특정 윤대 영역(36)의 원주 방향을 편광 방향으로 하는 직선 편광을 주성분으로 하는 편광 상태로 되어 있다.

[0100] 도 4(c) 및 도 5를 비교하면, X축 상 및 Z축 상의 조명광의 편광 상태는 거의 동등하다. 그러나, 원점을 중심으로 각 축으로부터 45° 정도 떨어진 위치(도 4(c) 및 도 5 중에서, 오른쪽 위, 왼쪽 위, 왼쪽 아래, 오른쪽 아래의 위치)에서의 편광 상태는 도 5에서는 대략 원편광인 데 반하여, 도 4(c)에서는 특정 윤대 영역의 원주 방향의 직선 편광으로 변환되어 있다. 이는, 제 2 복굴절 부재(13)의 작용에 의한 것으로서, 제 2 복굴절 부재(13)가 도 4(c) 중의 왼쪽 위 및 오른쪽 아래의 영역에서는 1/4파장판으로서 기능하고, 왼쪽 아래 및 오른쪽 위의 영역에서는 각각 -1/4파장판 및 그와 등가인 3/4파장판으로서 기능하게 된다.

[0101] 또한, 실제의 노광 장치에서는, 그 특정 윤대 영역(36)의 외원 C1의 실제 반경은, 도 1의 투영 광학계(25)의 레티를 R측의 개구수(NA), 조명 광학계 ILS 중의 릴레이 렌즈(16) 및 콘덴서 렌즈(18, 20)로 이루어지는 광학계의 초점 거리, 및 설정해야 할 코히런스 인자(coherence factor)(조명 σ)의 값으로부터 정하고, 내원 C2의 반경은 더 설정해야 할 윤대비에 의해 정하는 것이다. 그리고, 이 윤대 조명의 조건에 대하여, 그 특정 윤대 영역(36)에 분포하는 조명광의 편광 방향이 각 위치에서의 윤대 영역의 원주 방향과 일치하도록, 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)의 두께 형상을 결정하게 되는 것은 말할 필요도 없다.

[0102] 여기서, 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)의 두께 형상을 결정하는 것은, 그 형상을 XZ면내에서 비례 확대 또는 비례 축소하여, Y방향(광의 진행 방향)에 대해서는 그 요철량을 변화시키지 않는 것을 의미한다.

[0103] 이상, 제 1 및 제 2 복굴절 부재(12, 13)의 실시예 1에 있어서는, 광속을 감광시키지 않는 제 1 및 제 2 불균일 파장판에 의해, 조명 광속의 광량 손실이 없는 상태에서, 특정 윤대 영역에 분포하는 조명광의 편광 방향을 각 위치에서의 윤대 영역의 원주 방향과 일치시킬 수 있다. 이 경우에는, 그 조명광 중, 그 특정 윤대 영역(36)을 통하여 레티를 R에 조사되는 조명광, 즉 특정한 입사 각도 범위에서 레티를 R에 조사되는 특정 조명광은 편광 방향이 입사면에 대하여 수직인 방향의 S편광을 주성분으로 하는 편광 상태의 광으로 된다. 이에 따라서, 전사 대상의 패턴의 주기성 등에 의해서, 전사 이미지의 콘트라스트, 해상도, 및 초점 심도 등이 향상하는 경우가 있다(상세 후술).

[0104] 다음에, 도 6을 참조하여, 도 1의 조명 광학계 ILS 중의 제 1 및 제 2 복굴절 부재(12, 13)의 실시예 2에 대해서 설명한다.

[0105] 본 예에서도, 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)의 구성은 기본적으로는 상술한 실시예 1에 나타낸 것과 마찬가지이다. 즉, 제 1 복굴절 부재(12)는 도 2(a), 및 도 2(b)에 나타낸 것과 같은 진상축 방향 및 두께 형상을 갖고, 제 2 복굴절 부재(13)는 도 3(a), 및 도 3(b)에 나타낸 것과 같은 진상축 방향 및 두께 형상을 갖는다. 단, 본 예에서는 양쪽 복굴절 부재(12, 13)의 두께에 관한 함수의 형식을 변경한다.

[0106] 도 6(a)는 도 4(a)에 대응시켜서, 이 실시예 2에 있어서 제 1 복굴절 부재(12)가 형성하는 편광간 위상차 ΔP1의 X방향의 위치에 대한 특성을 나타낸다. 도 6(a)의 편광간 위상차 ΔP1은 다음과 같은 위치 X에 관한 삼각함수를 포함하는 함수이다.

$$\Delta P1 = 0.265 \times \{1 - \cos(\pi \times X^2)\} \quad (5)$$

[0108] 이러한 편광간 위상차 ΔP1은 제 1 복굴절 부재(12)의 두께 TA를 X방향의 위치 X에 대해서 다음의 함수로 나타냄으로써 실현할 수 있다.

[0109] $TA = T1 + \gamma \times \{1 - \cos(\pi \times X^2)\}$ (6)

[0110] 여기서, γ 는 비례 계수이다. 실시예 1과 마찬가지로, 제 1 복굴절 부재(12)를 수정으로 형성하는 경우, 중심의 두께 $T1$ 을 $14.239\mu m$ 의 정수배로 설정하고, 비례 계수 γ 를 $3.77\mu m$ 로 설정하면 된다. $3.77\mu m$ 이란, 1과장분의 편광간 위상차를 부여하는 수정의 두께 $14.239\mu m$ 을, 상기 (5)식의 계수배인 0.265배한 값이다.

[0111] 도 6(b)는 본 실시예 2에 있어서의 제 2 복굴절 부재(13)가 형성하는 편광간 위상차 $\Delta P2$ 의 XZ방향의 위치에 대한 특성을 나타낸다. 도 6(b)의 편광간 위상차 $\Delta P2$ 는 다음과 같은 위치 XZ에 관한 삼각 함수를 포함하는 함수로 나타낼 수 있다.

[0112] $\Delta P2 = 0.25 + 0.5 \times \sin(0.5 \times \pi \times XZ^3)$ (7)

[0113] 이러한 편광간 위상차 $\Delta P2$ 는 제 2 복굴절 부재(13)의 두께 TB 를 XZ방향의 위치 XZ에 대해서 다음의 함수로 나타냄으로써 실현할 수 있다.

[0114] $TB = T2 + \delta \times \sin(0.5 \times \pi \times XZ^3)$ (8)

[0115] 여기서, δ 는 비례 계수이다. 제 2 복굴절 부재(13)를 수정으로 하면, 중심의 두께 $T2$ 를 $14.239\mu m$ 의 (정수 $+1/4$)배로 설정하고, 비례 계수 δ 를 $7.12\mu m$ 로 설정하면 된다.

[0116] 본 예에서도, 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)는, 투과광에 부여하는 편광간 위상차가 각각 장소에 따라서 상이한 제 1 및 제 2 불균일 광장판으로서 기능한다. 그리고, 제 1 복굴절 부재(12)에 입사하는 X방향으로 편광한 직선 편광광을 도 6(c)에 나타내는 편광 분포로 변환하여, 제 2 복굴절 부재(13)로부터 사출한다.

[0117] 도 6(c)와 도 4(c)를 비교해서 알 수 있는 바와 같이, 본 실시예 2의 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)인 쪽이, 상기 실시예 1에 나타낸 것보다도, 외원 C1 및 내원 C2로 둘러싸인 특정 윤대 영역(36) 내에 분포하는 조명광의 편광 상태를, 그 원주 방향으로 평행한 직선 편광에 보다 근접시킬 수 있다. 이는, 본 실시예 2의 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)는 삼각 함수라고 하는 고차의 함수에 의해 정해지는 두께 형상(즉, 면 형상)을 채용하고 있기 때문에, 보다 고정밀도의 편광 제어를 실행할 수 있는 것이다.

[0118] 그러나, 실시예 1에 나타낸 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)는 겨우 5차까지의 함수로 이루어지는 것이기 때문에, 편광 제어 특성에서는 다소 뒤떨어지지만, 가공이 용이하고 제조 비용이 저렴하게 낮아진다는 이점이 있다.

[0119] 또한, 제 1, 제 2 복굴절 부재(12, 13)의 제조 비용을 더욱 낮추기 위해서는, 예컨대 제 1 복굴절 부재(12)의 표면 형상을 실린드리컬 면(X방향에 대한 단면이 원형으로 되는 면)으로 하고, 제 2 복굴절 부재(13)의 표면 형상을 테이퍼 면(경사진 평면)으로 해도 된다. 이 경우의 편광 제어 특성은 실시예 1보다 열화하지만, 투영 노광 장치의 용도에 따라서는 충분히 효과를 얻을 수 있는 것으로서, 상기 제조 비용의 저렴화를 도모하면서, 고성능의 노광 장치를 실현할 수 있다.

[0120] 이와 같이 제 2 복굴절 부재(13)의 표면 형상을 테이퍼 면으로 하는 것은, 제 2 복굴절 부재(13)를 투과한 광속의 편광간 위상차가 제 2 복굴절 부재(13)의 면내의 위치에 따라서 선형(1차 함수)으로 정해지는 것을 의미한다.

[0121] 그런데, 도 1의 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)의 형상은 상기 실시예 1 및 2에 나타낸 형상으로 한정되는 것이 아니라, 그 투과광의 상기 특정 윤대 영역 내에서의 편광 상태를, 그 각 부에서, 그 원주 방향으로 일치시킬 수 있는 형상이면, 어떠한 형상이더라도 무방하다.

[0122] 예를 들면, 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)의 형상은 상술한 연속 또한 미분 연속인 함수로 나타내어지는 형상이 아니라, 소정의 위치에서 단계적으로 형상이 변화되는 계단 형상이더라도 상관없다. 또한, 이러한 계단 형상의 형성에는, 기계적 또는 기계 화학적인 연마 방법 대신에, 에칭에 의한 형성이 적합하게 된다.

[0123] 또한, 이러한 편광 상태를 실현하기 위해서는, 제 1 복굴절 부재(12)에 입사하는 광속의 편광 상태가 직선 편광을 주성분으로 하는 단일의 편광 상태로 이루어지는 조명광인 경우에는, 제 1 복굴절 부재(12)는 조명계 광축 AX2를 중심으로 하여 2회 회전 대칭성을 가지는 편광간 위상차를 부여하는 것이 바람직하다. 이는, 상술한 실시예 1 및 2에 나타낸 바와 같이, X방향에 대해서 우함수의 두께를 갖고, Y방향에 대해서는 일정한 두께를 갖는

불균일 파장판을 포함하는 것은 말할 필요도 없다.

[0124] 또한, 제 2 복굴절 부재(13)는 조명계 광축 AX2를 중심으로 하여 1회 회전 대칭성을 갖는 편광간 위상차를 부여하는 불균일 파장판인 것이 바람직하다. 1회 회전 대칭성이란, 편광간 위상차의 분포가 조명계 광축 AX2에서 직교하는 2개의 축 중 한쪽의 축에 대해서는 대략 대칭이고, 다른쪽의 축에 대해서는 대략 반대칭인 것을 말한다. 반대칭이란, 일반적으로는 좌표축의 반전에 대하여 절대값은 동등하지만 부호는 반전하는 함수를 말하지만, 여기서는, 일반적인 반대칭 함수에 정수 오프셋을 가한 함수도 포함한다. 이는 상술한 실시예 1 및 2에 나타낸 바와 같이, XZ방향에 대한 오프셋 부가의 기함수로 결정되는 두께를 갖고, 그와 직교하는 방향에 대해서는 일정한 두께를 갖는 불균일 파장판을 포함하는 것은 말할 필요도 없다.

[0125] 또한, 본 실시예에 있어서는, 특히, 상술한 특정 윤대 영역에 분포하는 조명광을 소정의 편광 상태로 설정하는 것이 중요하기 때문에, 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)의 형상에 대해서도, 상기 특정 윤대 영역에 대응하지 않는 개소에 대해서는, 그 형상이 상기의 조건을 만족하지 않더라도 특별히 문제가 없는 것은 말할 필요도 없다.

[0126] 또한, 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)의 매수나 진상축 방향에 대해서도, 상술한 실시예 1, 2에 나타낸 것에 한정되는 것은 아니다. 즉, 3장 이상의 복굴절 부재를 조명광의 진행 방향을 따라(조명계 광축 AX2를 따라) 직렬로 배열해도 되고, 그 진상축 방향의 광축 AX2를 중심으로 하는 회전 관계도 45° 로 한정되는 것은 아니다. 또한, 3장 이상의 복수의 복굴절 부재를 조명광의 진행 방향을 따라 직렬로 배치한 경우에, 상기 한 특정 윤대 영역의 적어도 일부 영역에서, 그리고 바람직하게는 거의 그 전체 주위의 영역에서 조명광의 편광 상태를 원주 방향에 거의 평행한 직선 편광으로 하기 위해서는, 그 복수의 복굴절 부재 중 적어도 하나의 복굴절 부재의 진상축 방향이, 다른 복굴절 부재의 진상축 방향과 상이한 것이면 된다.

[0127] 마찬가지로, 복굴절 부재(12, 13) 등의 재질도 상술한 수정에 한정되는 것은 아니고, 다른 복굴절 재료를 사용해도 무방하고, 형석의 진성 복굴절(Intrinsic Birefringence)을 이용해서 형성할 수도 있다. 또한, 본래 복굴절이 없는 합성 석영 등의 재료에 응력을 가하여 복굴절성을 갖게 한 것을, 복굴절 부재(12, 13) 등으로서 사용할 수도 있다.

[0128] 또한, 복굴절 부재(12, 13)로서는 복굴절성이 없는 투과성 기판상에 복굴절성을 갖는 재료를 접합한 것을 사용할 수도 있다. 이 경우, 상술한 두께란, 복굴절성을 갖는 재료의 두께를 가리키는 것은 말할 필요도 없다. 여기서 접합이란, 접착, 압착 등의 기계적인 접합만이 아니라, 투과성 기판상에 복굴절성을 갖는 박막을 증착 등의 수단으로 성막해서 형성하는 방법이더라도 상관없다. 상술한 바와 같이, 상기 실시예 1, 2에 나타낸 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)의 두께 형상 등을 사용하는 재료의 복굴절의 크기에 따라 변하는 것이지만, 수정 이외의 재료를 사용하는 경우이더라도, 상술한 형상 결정 방법을 적용할 수 있어, 그 형상이 정해지는 것은 말할 필요도 없다.

[0129] 여기서, 상기한 바와 같은 윤대 조명으로서, 윤대 영역내에 분포하는 조명광의 편광 상태가 그 윤대 영역의 원주 방향에 일치한 조명광의 이점에 대해서, 도 7 및 도 8을 참조하여 간단히 설명한다.

[0130] 도 7(a)는 도 1의 레티를 R 상에 형성된 미세한 주기 패턴 PX의 일례를 나타낸다. 주기 패턴 PX는 도 1과 동일한 XYZ좌표계에서의 X방향으로 주기성을 갖는 패턴이며, 그 피치 PT는 도 1의 투영 광학계(25)의 투영 배율을 고려하여 웨이퍼 W 상의 스케일로 환산한 값으로서 140nm 으로 한다. 도 7(b)는, 이 패턴을, 과장 193nm 의 조명광을 이용하여, 코히런스 인자($\text{조명 } \sigma$)가 0.9, 윤대비가 0.74인 윤대 조명으로 조명한 경우에, 웨이퍼측 개구수(NA)가 0.90의 투영 광학계(25)의 동공면(26)(도 1 참조) 내에 형성되는 회절광의 분포를 나타낸다.

[0131] 도 7(c)는 그 패턴 PX를 조명하기 위한 윤대 조명의 조건을 나타내는 도면으로서, 도 1의 조명 광학계 ILS의 동공면(15) 중에서, 상기 윤대 조명의 조건을 만족하는 윤대 영역 IL0로부터의 조명광이 그 패턴 PX를 조명한다. 주기 패턴 PX로부터의 도 7(b)의 0차 회절광 D0은 그 전부가 동공면(26) 내에 분포하고, 투영 광학계(25)를 투과하여 웨이퍼 W에 도달하지만, 1차 회절광 D1R 및 D1L은 부분적으로만 동공면(26) 및 투영 광학계(25)를 투과 가능하다. 레티를 R의 패턴 PX의 이미지는 0차 회절광 D0과 1차 회절광 D1R, D1L과의 간섭 줄무늬로서 웨이퍼 W 상에 형성되지만, 간섭 줄무늬가 형성되는 것은, 조명 광학계 ILS의 동공면(15)에서 동일 위치로부터 나온 조명광으로부터 생성된 0차 회절광과 1차 회절광의 쌍(pair)에 한정된다.

[0132] 도 7(b) 중에서 동공면(26)의 좌단부에 위치하는 1차 회절광 D1L은 0차 회절광 D0 중 우단부에 위치하는 부분과 쌍으로 되는 것으로서, 그들 회절광은 도 7(c) 중의 윤대 영역 IL0 중의 우단의 부분 영역 ILR로부터 조명된 조명광이다. 한편, 도 7(b) 중에서 동공면(26)의 우단부에 위치하는 1차 회절광 D1R은 0차 회절광 D0 중 좌단부

에 위치하는 부분과 쌍으로 되는 것으로서, 그들 회절광은 도 7(c) 중의 윤대 영역 ILO 중의 좌단의 부분 영역 ILL로부터 조명된 조명광이다.

[0133] 즉, 이러한 X방향으로 미세한 피치를 갖는 패턴 PX의 노광에 있어서는, 조명 광학계 ILS의 동공면(15) 상의 윤대 영역 ILO로부터 발생하는 조명광 중, 패턴 PX의 결상에 기여하는 광속은 부분 영역 ILR 및 부분 영역 ILL에 한정되고, 윤대 영역 ILO내의 다른 영역으로부터 나오는 조명광은 패턴 PX의 결상에는 기여하지 않는 조명광이다.

[0134] 그런데, 패턴 PX와 같이 X방향에 주기성을 갖고, Y방향에 길이 방향을 갖는 패턴의 노광에 있어서는, 레티클 R 상에서 Y방향의 편광 방향을 갖는 직선 편광으로 조명하면, 투영 이미지의 콘트라스가 향상하는 것이, 전술한 비특허 문헌 1(Thimothy A.Brunner, et al.: "High NA Lithographic imaging at Brewster's angel", SPIE Vol.4691, pp.1-24(2002)) 등에서 보고되어 있다.

[0135] 따라서, 도 7(c)의 부분 영역 ILR 및 부분 영역 ILL 내에 분포하는 조명광을, 각각 도 7(c) 중의 Z방향에 평행한 PR방향 및 PL방향(도 1 중의 미러(19)의 작용을 고려하면 레티클 R 상에서는 Y방향에 대응함)으로 편광한 직선 편광광으로 하면, 패턴 PX의 투영 이미지의 콘트라스의 향상, 나아가서는 해상도 및 초점 심도의 향상에 효과적이다.

[0136] 다음에, 레티클 패턴이 도 7(a)의 패턴 PX와는 90° 회전한, Y방향으로 미세 피치를 갖는 주기 패턴인 경우에는, 도 7(b)에 나타낸 회절광 분포도 90° 회전하게 된다. 이 결과, 주기 패턴의 상형성(像形性)에 기여하는 조명광이 통과하는 부분 영역도, 도 7(c)에 나타낸 부분 영역 ILR 및 부분 영역 ILL을 90° 회전한 위치(즉, 도 7(c) 중의 상단 및 하단)에 배치되고, 또한 바람직한 편광 상태는 편광 방향이 X방향에 일치하는 직선 편광으로 된다. 이상으로부터, X방향으로 미세한 주기성을 갖는 패턴 PX와, Y방향으로 미세한 주기성을 갖는 패턴 PY를 함께 포함하는 레티클 R을 노광할 때는, 도 8에 나타내는 바와 같은 편광 상태를 갖는 조명광의 사용이 효과적이다.

[0137] 도 8(a)는 도 1의 조명 광학계 ILS의 동공면(15)과 레티클 R의 관계를 간이적으로 나타낸 사시도로서, 도 1 중의 릴레이 렌즈(16), 콘덴서 렌즈(18, 20) 등은 생략하고 있다. 상술한 바와 같이, 도 8(a) 중의 윤대 영역 ILO 내에 분포하는 조명광은, X방향으로 주기성을 갖는 패턴 PX의 결상 성능 향상을 위해서는, 그 X방향의 단부 ILL, ILR에서는 Y방향(도 8(a)의 지면 깊이 방향)의 직선 편광인 것이 바람직하고, Y방향으로 주기성을 갖는 패턴 PY의 결상 성능 향상을 위해서는, 그 Y방향의 단부 ILU, ILD에서는 X방향의 직선 편광인 것이 바람직하다. 즉, 그 편광 방향이 윤대 영역 ILO의 원주 방향과 대략 일치한 직선 편광을 사용하는 것이 바람직하다.

[0138] 또한, 레티클 R에 X방향 및 Y방향만이 아니라 그 중간 방향(45° 및 135° 방향)의 패턴을 포함하는 경우에는, 이를 패턴의 방향성도 고려하여, 그 편광 방향이 윤대 영역의 원주 방향과 완전히 일치한 직선 편광을 사용하는 것이 바람직하다.

[0139] 그런데, 상기의 편광 상태는, 윤대 영역 ILO 내 각 부의 편광 상태에 적합한 방향성의 패턴과 직교하는 패턴에 대해서는, 반드시 효과적인 편광 상태를 실현하고 있지 않다. 예를 들면, 부분 영역 ILU로부터의 X방향으로 편광한 조명광은, X방향으로 주기성을 갖고 길이 방향이 Y방향으로 되는 패턴 PX의 결상에는 바람직하지 못한 편광 상태이다. 단, X방향으로 미세한 피치를 갖는 패턴의 결상에 기여하는 광원을 나타낸 도 7(c)로부터 명백한 바와 같이, 도 7(c)에서는 윤대 영역 ILO의 상단에 상당하는 부분 영역 ILU는, 처음부터 X방향으로 미세한 피치를 갖는 패턴의 결상에는 조금도 기여하지 않는 광원이므로, 부분 영역 ILU의 편광 상태가 어떠한 것더라도, 그 편광 상태에 기인해서 그 결상 특성을 악화시키는 일은 전혀 없다.

[0140] 또한, 도 8(a)에 나타낸 바와 같이, 조명 광학계 ILS의 동공면(15)에서 윤대 영역 ILO의 원주 방향과 거의 일치한 직선 편광은 레티클 R에 대하여 소위 S편광으로서 입사한다. S편광이란, 광속이 물체에 입사하는 입사면(물체의 법선과 광속을 포함하는 평면)에 대하여, 그 편광 방향이 직교하는 직선 편광을 의미한다. 즉, 윤대 영역 ILO의 원주 방향과 일치한 방향의 직선 편광광으로 이루어지는 부분 영역 ILL로부터의 조명광 ILL1은, 도 8(b)에 나타낸 바와 같이, 편광 방향 EF1이 입사면(도 8(b)의 지면)에 대하여 수직인 S편광으로서 레티클 R에 입사한다. 또한, 마찬가지의 부분 영역 ILD 상의 조명광 ILD1에 대해서도, 도 8(c)에 나타낸 바와 같이, 편광 방향 EF2가 입사면(도 8(c)의 지면)에 대하여 수직인 S편광으로서 레티클 R에 입사한다.

[0141] 당연히, 상기 부분 영역 ILL, ILD와 조명 광학계의 광축 AX41에 대하여 대칭인 위치에 있는 부분 영역 ILR, ILU로부터의 조명광도, 부분 영역 ILR, ILU 상에서 각 조명광이 윤대 영역 ILO의 원주 방향에 일치하는 편광 방향을 갖기 때문에, 대칭성으로부터 마찬가지로 S편광으로 되어 레티클 R에 입사한다. 윤대 조명의 일반적인 성질

로서, 윤대 영역 ILO 상에 분포하는 조명광의 레티클 R로의 입사 각도는, 조명 광학계의 광축 AX41(즉, 레티클 R에 대한 수직선)으로부터 각도 ϕ 를 중심으로 하는 소정의 각도 범위로 된다. 이 입사 각도로 레티클 R에 조사되는 광속을, 이하에서는 「특정 조명광」이라고 부른다. 이 각도 ϕ 및 각도 범위는 조명광의 파장이나 레티클 R 상의 전사해야 할 패턴의 피치 등에 근거하여 결정하면 된다.

[0142] 그런데, 상술한 제 1, 제 2 복굴절 부재(12, 13)는 그 부재에 고유의 형상으로부터 결정되는 소정의 외반경(외원 C1)과 내반경(내원 C2) 사이의 특정 윤대 영역 내에 분포하는 조명광의 편광 상태를, 당해 특정 윤대 영역의 원주 방향에 평행한 직선 편광을 주성분으로 하는 편광 상태로 변환하지만, 그 반경(C2, C1)은 용이한 변경이 곤란하다.

[0143] 그래서, 상기한 바와 같이, 소망하는 윤대 영역을 레티클 R 상의 전사해야 할 패턴의 피치 등에 근거하여 변경할 필요가 있는 경우에는, 도 1의 제 1, 제 2 복굴절 부재(12, 13)와 플라이아이 렌즈(14) 등의 광학 인테그레이터 사이에, 도 9에 나타내는 바와 같이, 줌형의 복수의 원추 프리즘(41, 42)을 마련하여, 상기 특정 윤대 영역의 반경을 가변으로 하는 것이 바람직하다. 도 9에서, 줌형의 복수의 원추 프리즘이란, 오목형의 원추면(41b)을 갖는 오목 원추 프리즘(41)과 볼록형의 원추면(42a)을 갖는 볼록 원추 프리즘(42)을, 그 간격 DD를 가변으로 하여 조명계 광축 AX2를 따라 배치한 것이다.

[0144] 이 경우, 제 1, 제 2 복굴절 부재(12, 13)를 투과하여, 평균 반경 RI를 중심으로 하는 특정 윤대 영역에 분포하는 조명광은, 줌형의 원추 프리즘(41, 42)에 의해 플라이아이 렌즈(14)의 입사면 및 그 사출면인 조명 광학계의 동공면(15)에서는 반경 RO로 확대된다. 이 반경 RO는 양쪽 원추 프리즘(41, 42)의 간격 DD를 확대함으로써 확대 가능하고, 그 간격 DD를 축소함으로써 축소 가능하다.

[0145] 이에 따라, 조명 광학계의 동공면(15)에 있어서, 그 원주 방향에 평행한 직선 편광으로 이루어지는 조명광이 분포하는 특정 윤대 영역을 임의의 반경으로 형성하는 것이 가능해지고, 윤대 조명의 조명 조건을 전사해야 할 레티클 R 상의 패턴에 따라서 변경하는 것이 가능해진다.

[0146] 또한, 상기 줌형 원추 프리즘(41, 42) 대신에, 줌 광학계를 사용해도 되는 것은 물론이다.

[0147] 그런데, 이상의 실시예에 있어서는, 도 1의 조명 광학계 ILS의 동공면(15)에 형성하는 조명 광량 분포가 윤대 영역인 것, 즉 윤대 조명으로 적용하는 것을 전제로 설명했지만, 도 1의 투영 노광 장치에 의해 실현할 수 있는 조명 조건은 반드시 윤대 조명에 한정되는 것은 아니다. 즉, 도 1의 복굴절 부재(12, 13)나 도 9의 줌형의 원추 프리즘(41, 42)은, 조명 광학계의 동공면(15) 내의 특정 윤대 영역 내에 분포하는 조명광의 편광 상태를 상기 소망하는 편광 상태로 설정하는 것이므로, 조명광의 분포를 그 특정 윤대 영역 내의 더욱 특정한 부분 영역내로 한정하는 경우이더라도, 즉 예를 들어 도 7(c) 중의 부분 영역 ILL, ILR에 한정하는 경우이더라도, 그 부분 영역 내에 분포하는 조명광을, 그 특정 윤대 영역의 원주 방향에 평행한 편광 방향을 갖는 직선 편광을 주성분으로 한 조명광으로 변환할 수 있는 것은 말할 필요도 없다.

[0148] 이와 같이, 조명광을 특정 윤대 영역 내의 더욱 특정한 영역 내에만 집광하기 위해서는, 도 1 중의 회절 광학 소자(9a)를 교환하고, 다른 회절 광학 소자로부터 나오는 회절광(조명광)을 제 1 복굴절 부재(12), 제 2 복굴절 부재(13) 상의 특정 윤대 영역 중의 더욱 특정한 이산적인 영역에 집중시키도록 하면 된다. 조명광을 집중시키는 개소는, 예를 들면 도 7(c) 중의 부분 영역 ILL, ILR의 2개소이지만, 이에 한하지 않고, 특정 윤대 영역 중의 임의의 개소에 집중시켜도 되고, 그 개수도 4개이더라도 상관없다. 그 선정은 레티클 R 상의 노광 대상으로 하는 패턴의 형상에 따라서 결정하면 된다.

[0149] 또한, 이와 같이 조명광을 특정 윤대 영역 내의 더욱 특정한 영역내에 집중시키는 경우에는, 상술한 줌형의 원추 프리즘(41, 42) 대신에, 피라미드형 등의 오목형의 다면체 프리즘과 오목형의 다면체 프리즘을, 동일하게 간격 가변으로 조합한 광학 부재군을 사용할 수도 있다.

[0150] 또한, 이들 특정 영역 이외에 분포하는 조명광은 상기의 노광 대상으로 하는 패턴의 노광에는 적합하지 않기 때문에, 그 광량 분포를 실질적으로 0으로 하는 편이 바람직한 경우도 있다. 한편, 회절 광학 소자(9a) 등의 제조 오차 등에 의해서는, 회절 광학 소자(9a) 등으로부터는 소망하는 방향 이외에도 회절광(이하, 「오차광」이라고 함)이 발생하여, 상기 부분 영역 이외에도 조명광이 분포해 버릴 가능성도 있다. 그래서, 예컨대 도 1의 플라이아이 렌즈(14)의 입사면측 또는 사출면측에 조리개를 마련하여, 이 오차광을 차광하는 구성으로 할 수도 있다. 이에 따라, 상기 복수의 특정 영역의 조명 광량 분포는 완전히 이산적인 것으로 된다. 단, 레티클 R 상에는 상기 노광 대상으로 하는 패턴 이외의 패턴도 존재하여, 상기 오차광이 이를 대상 외의 패턴의 결상에 유효한 경우도 있기 때문에, 반드시 특정 영역 이외의 조명 광량 분포를 0으로 할 필요가 없는 경우도 있다.

- [0151] 그런데, 조명광의 레티를 R로의 입사에 착안하면, 동공면(15) 상에서의 조명 광량의 분포를 특정 윤대 영역 내의 더욱 특정한 영역내로 한정하는 것은, 윤대 조명에 의한 입사 각도의 범위의 제한에 부가하여, 그 입사 방향에 대해서도 상기의 실질적으로 이산적인 복수의 방향으로만 제한되게 된다. 당연히, 본 발명을 윤대 조명에 적용하는 경우에도, 특정 윤대 영역 이외에 분포하는 오차광을 플라이아이 렌즈(14)의 입사면측 또는 사출면측에 조리개를 마련하여, 차광하는 구성으로 할 수 있다.
- [0152] 또한, 이상의 실시예에 있어서는, 광학 인테그레이터로서 플라이아이 렌즈(14)를 사용하는 것으로 했지만, 광학 인테그레이터로서 내면 반사형 인테그레이터(예를 들면, 유리 로드)를 사용할 수도 있다. 이 경우, 유리 로드의 사출면은 조명 광학계의 동공면(15)이 아니라, 레티를 R과의 공역면에 배치하게 된다.
- [0153] 또한, 이상의 실시예에 있어서는, 노광 광원(1)으로서의 레이저 광원은 X방향으로 편광한 직선 편광광을 사출하는 것으로 했지만, 레이저 광원의 형태에 따라서는, 도 1 중의 Z방향으로 편광한 직선 편광광이나 다른 편광 상태의 광속을 사출하는 경우도 있을 수 있다. 도 1 중의 노광 광원(1)이 Y방향으로 직선 편광한 광, 즉 복굴절 부재(12, 13)의 위치에서 Z방향으로 직선 편광한 광을 사출하는 경우에는, 상기의 실시예 1 및 2에 나타낸 복굴절 부재(12, 13)를 조명계 광축 AX2를 회전 중심으로 하여 90° 회전함으로써, 도 4(c) 및 도 6(c)에 나타낸 편광 상태와 거의 마찬가지의 편광 상태의 조명광(정확하게는 양쪽 도면에 나타낸 상태를 90° 회전한 상태의 조명광)을 얻을 수 있다.
- [0154] 혹은, 도 1 중의 편광 제어 부재(4)(편광 제어 기구)에 의해, 노광 광원(1)으로부터 사출된 Y방향의 직선 편광을 X방향의 직선 편광으로 변환해도 무방하다. 이러한 편광 제어 부재(4)는 소위 1/2파장판에 의해 용이하게 실현할 수 있다. 또한, 노광 광원(1)이 원 편광 또는 타원 편광을 사출하는 경우에도, 마찬가지로 1/2파장판이나 1/4파장판을 편광 제어 부재(4)로서 사용함으로써, 소망하는 Z방향으로의 직선 편광으로 변환할 수 있다.
- [0155] 단, 편광 제어 부재(4)는 노광 광원(1)으로부터 조사되는 임의의 편광 상태의 광속을 광량 손실 없이 Z방향의 편광으로 변환할 수 있는 것은 아니다. 따라서, 노광 광원(1)은 직선 편광, 원 편광, 타원 편광 등, 단일의 편광 상태를 갖는 광속(파장판 등에 의해 광량 손실 없이 직선 편광으로 변환할 수 있는 광속)을 발생할 필요가 있다. 단, 조명광의 전체 강도에 대하여, 상기 단일의 편광 상태 이외의 광속 강도가 그만큼 크지 않은 경우에는, 단일의 편광 상태 이외의 광속의 결상 특성에 대한 악영향은 경미해지기 때문에, 어느 정도(예를 들면 전체 광량의 20% 이하 정도)까지이면, 노광 광원(1)으로부터 조사되는 광속은 상기 단일의 편광 상태 이외의 광속을 포함하고 있더라도 상관없다.
- [0156] 또한, 상기 실시예의 투영 노광 장치의 사용 상태를 고려하면, 조명광의 편광 상태를 항상, 상기 특정 윤대 영역에 분포하는 조명광을 그 윤대 영역의 원주 방향에 대략 평행한 직선 편광으로 하거나, 또는 상기 특정 조명광이 레티를 R에 대하여 S편광으로서 입사하도록 설정하는 것이 최선이라고는 한정하지 않는다. 즉, 노광해야 할 레티를 R의 패턴에 따라서는, 윤대 조명이 아니라 통상 조명(조명 광학계의 동공면(15)에 있어서, 원형의 조명 광량 분포를 갖는 조명)을 채용하는 편이 바람직한 경우도 있으며, 이 경우에는 상기 실시예의 편광 상태를 갖는 조명광을 사용하지 않는 편이 바람직한 경우도 있기 때문이다.
- [0157] 그래서, 이러한 사용 상황에도 대응하기 위해서는, 도 1의 편광 제어 부재(4)로서, 레이저 등의 광원으로부터 사출되는 광속의 편광 상태를 필요에 따라서 랜덤 편광 등으로 변환할 수 있는 소자 또는 광학계를 채용하면 된다. 이는, 예를 들면 도 10에 나타내는 바와 같은 2개의 편광빔 스플리터(4b, 4c) 등에 의해 실현할 수 있다.
- [0158] 도 10은 도 1의 편광 제어 부재(4)의 위치에 설치할 수 있는 편광 제어 광학계를 나타내고, 이 도 10에서, 예를 들어 직선 편광광으로 이루어지는 조명 광속 IL0(도 1의 조명광 IL에 대응함)은 1/2파장판 또는 1/4파장판으로 이루어지는 회전 파장판(4a)에 입사한다. 이에 따라, 도 10의 지면으로부터 45° 경사한 방향의 직선 편광 또는 원편광으로 변환된 조명 광속 IL1은, 최초의 편광빔 스플리터(4b)에 의해 그 분할면에 대하여 P편광 성분으로 이루어지는 광속 IL2 및 S편광 성분으로 이루어지는 IL3으로 분할되어, 한쪽의 광속 IL2는 프리즘(4b)을 도 10 중 위쪽으로 직진하고, 다른쪽의 광속 IL3은 도 10 중 오른쪽으로 반사된다.
- [0159] 직진한 광속 IL2는 다음의 편광빔 스플리터(4c)에 입사하지만, 그 편광 특성 때문에, 그 광속 IL2는 편광빔 스플리터(4c) 내를 직진하여, 광속 IL4로 되어 도 10 중 위쪽으로 진행한다. 한편, 반사된 광속 IL3은 미러(4d, 4e)에 의해 반사되고 나서 편광빔 스플리터(4c)에 입사하고, 여기서 재차 반사된 광속 IL3은 상기 직진하는 광속 IL4와 재차 합류한다. 이 때, 편광빔 스플리터(4b 및 4c)와 미러(4d 및 4e)의 간격을 각각 DL이라고 하면, 합류한 양쪽 광속 IL3, IL4 사이에는, $2 \times DL$ 의 광로 길이차가 형성되어 있다. 그리고, 이 광로 길이차 $2 \times DL$ 을 조명 광속의 코히런트 길이보다 길게 설정하면, 양쪽 광속간의 가간섭성을 소실되기 때문에, 합류한 광속을 실

질적으로 랜덤 편광으로 할 수 있다.

[0160] 또한, 이러한 편광 제어 광학계를 도 1의 조명 광학계 ILS 중에 장전하면, 이를 투과하는 조명광 IL이 항상 랜덤 편광으로 되어, 상기 실시예의 편광 상태를 실현하기 위해서는 장해로 될지도 모른다. 단, 도 10에 나타낸 광학계에서는, 회전 과장판(4a)의 회전에 의해, 회전 과장판(4a)을 투과한 조명광 IL1의 편광 상태를, 그 전부가 최초의 빔 스플리터(4b)를 투과하는 직선 편광으로 변환할 수 있으므로, 상기의 장해는 원리적으로 발생하지 않는다. 단, 편광빔 스플리터(4b, 4c)에서의 흡수나, 미러(4d, 4e)에서의 반사 손실 등에 의한 어느 정도의 광량 손실이 발생하는 것은 회피할 수 있기 때문에, 조명광을 랜덤 편광화하지 않아도 되는 경우에는, 빔 스플리터(4b, 4c) 및 회전 과장판(4a)을 조명 광학계의 광로 밖으로 대피시키는 기구를 마련해도 무방하다.

[0161] 그런데, 이러한 편광빔 스플리터를 사용하지 않더라도, 이하의 간편한 방법에 의해 랜덤 편광 조명과 거의 마찬가지의 효과를 얻을 수도 있다. 이는, 도 1의 제 1 복굴절 부재(12)에 입사하는 조명광 IL의 편광 상태를, 도 1 중의 X방향 및 Z방향으로부터 45° 떨어진 방향으로 함으로써, 상기 특정 윤대 영역에 분포하는 조명광을 대략 원 편광으로 변환하는 것에 의해 실현할 수 있다. 따라서, 본 실시예의 투영 노광 장치를, 원 편광을 근사적으로 랜덤 편광이라고 간주할 수 있는 용도로 사용하는 경우에는, 즉 요구되는 결상 성능이 비교적 완만한 용도로 사용하는 경우에는, 도 1 중의 편광 제어 부재(4)를 예를 들어 1/2과장판으로 구성하고, 제 1 복굴절 부재(12)에 입사하는 조명광의 편광 상태를, 상기한 바와 같이 X축 및 Z축으로부터 45° 경사진 방향으로 함으로써, 랜덤 편광 조명과 거의 마찬가지의 효과를 얻을 수도 있다. 또한, 마찬가지로 편광 제어 부재(4)를 예를 들어 1/4과장판으로 구성하고, 제 1 복굴절 부재(12)에 입사하는 조명광의 편광 상태를 원 편광으로 함으로써도, 랜덤 편광 조명과 마찬가지의 효과를 얻을 수도 있다.

[0162] 혹은, 도 1 중의 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)를, 조명 광학계 ILS의 광축인 조명계 광축 AX2를 중심으로 하여 일괄적으로 회전 가능하게 하는 기구에 의해, 양쪽 복굴절 부재(12, 13)와 조명광의 직선 편광의 방향의 관계를, 예를 들어 45° 회전하는 것으로 하더라도, 랜덤 편광 조명과 마찬가지의 효과를 얻을 수도 있다.

[0163] 그런데, 상기 통상 조명에 있어서도, 그 편광 상태를 소정의 한 방향으로의 직선 편광으로 설정하는 편이 바람직한 경우도 있다. 상기 실시예의 투영 노광 장치에 있어서, 이러한 조명 조건에 대응하기 위해서는, 도 1의 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13) 등의 각 복굴절 부재를, 각각 독립적으로 조명계 광축 AX2를 중심으로 하여 일괄적으로 회전 가능하게 하는 기구를 마련하고, 각 복굴절 부재의 진상축(또는 지상축)이 조명광의 직선 편광의 방향과 평행하게 되도록 각 복굴절 부재의 회전 방향을 설정하면 된다. 이 경우, 조명광은 각 복굴절 부재를 진행하더라도 편광 상태의 변환 작용을 전혀 받지 않고, 입사시의 직선 편광을 유지한 채로 사출되게 된다.

[0164] 또한, 소정의 한 방향으로의 직선 편광 상태의 설정에 있어서는, 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13) 등을 일괄적으로 조명 광학계의 광로 밖으로 대피시킴으로써도 대응 가능하다. 즉, 교환 기구를 마련하여, 복굴절 부재 등을 일괄적으로 교환함으로써 소정의 한 방향으로의 직선 편광 상태의 설정에 대응해도 무방하다. 또한, 교환 기구를 마련하는 것이면, 교환 기구 중의 복수 세트의 복굴절 부재군을 설정 가능하게 하고, 그것들을 교환 가능하게 조명계 광축 AX2 상의 위치 상에 배치 가능한 구성으로 해도 무방하다. 이 경우, 각 복굴절 부재군은 각각 상이한 외반경, 내반경을 갖는 특정 윤대 영역에서, 조명광을 그 둘레 방향을 따른 직선 편광으로 변환하는 특성을 갖게 해 놓는 것이 바람직한 것은 말할 필요도 없다.

[0165] 그런데, 상기한 바와 같은 소정의 한 방향으로의 직선 편광의 조명광을 사용하여 바람직한 것은, 예를 들면, 패턴의 방향이 가지런한 공간 주파수 변조형의 위상 시프트 레티클을 노광하는 경우이다. 그리고, 이 경우에는, 노광 전사되는 패턴의 해상도 및 초점 심도를 한층 더 향상시키기 위해서, 조명광의 코히런스 인자(σ 값)는 0.4 정도 이하인 것이 바람직하다.

[0166] 여기서, 본 발명에 따른 복굴절 부재(제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13))의 작용에 대해서, 도 4(c) 및 도 6(c)를 참조하여 재고하면, 양쪽 도면에 각각 나타낸 바와 같이, 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)의 실시예 1(도 4(c))과 실시예 2(도 6(c))는 모두, 조명 광학계의 광축($X=0$, $Z=0$)을 중심으로 하고, 특정 윤대 영역의 외반경 C1의 반경의 절반 정도를 반경으로 하는 원(도시하지 않음)의 내측에 분포하는 조명광의 편광 상태에, 거의 영향을 미치고 있지 않는 것을 알 수 있다.

[0167] 외반경 C1의 반경이, 조명 σ (σ 값)으로서 예를 들어 0.9에 상당한다고 하면, 조명 $\sigma=0.45$ 의 조명 광속의 범위 내에서는, 제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13)는 입사하는 X방향의 직선 편광을 거의 그대로의 편광

상태를 유지해서 사출하고 있다. 또한, 제 1 복굴절 부재(12)에 Z방향의 직선 편광(Z편광)이 입사하면, 제 2 복굴절 부재(13)로부터 사출되는 광속 중, 상기의 조명 $\sigma=0.45$ 정도의 조명 광속의 편광 상태를 Z편광으로 할 수 있다.

[0168] 따라서, 상기 실시예 1 및 2와 같은 복굴절 부재(제 1 복굴절 부재(12) 및 제 2 복굴절 부재(13))를 사용하는 것으면, 이를 조명 광학계의 광로 밖으로 퇴피시키지 않고, 복굴절 부재로의 입사광의 편광 방향을 상술한 편광 제어 부재(4) 등에 의해 전환함으로써, 상술한 공간 주파수 변조형 위상 시프트 레티클로의 조명에 적합한, 조명 σ 가 0.4 정도 이하의 조명 광속이고, 또한 X방향 또는 Z방향의 편광(도 1의 레티클 R 상에서는 각각 X방향 또는 Y방향의 편광)의 조명광을 실현할 수 있다.

[0169] 물론, 이 경우에도, 조명 σ 를 0.4 정도로 제한하기 위해서는, 발생하는 회절광의 방향 특성이, 이에 대응하는 각도 분포로 되는 회절 광학 소자(9a)를 사용하면 좋은 것은 말할 필요도 없다. 이에 따라, 상기 일괄 교환 기구를 마련하지 않고서 각종 실용적인 편광 상태의 조명 광속을 형성할 수 있는 것도, 본 발명의 이점이다.

[0170] 다음에, 상기 실시예의 투영 노광 장치를 사용한 반도체 디바이스의 제조 공정의 일례에 대해서 도 11을 참조해서 설명한다.

[0171] 도 11은 반도체 디바이스의 제조 공정의 일례를 나타내고, 이 도 11에서, 먼저 실리콘 반도체 등으로 웨이퍼 W가 제조되어 있다. 그 후, 웨이퍼 W 상에 포토레지스트를 도포하고(단계 S10), 다음 단계 S12에서, 상기 실시예(도 1)의 투영 노광 장치의 레티클 스테이지 상에 레티클(가령 R1로 함)을 로드하고, 웨이퍼 스테이지 상에 웨이퍼 W를 로드하여, 주사 노광 방식으로 레티클 R1의 패턴(부호 A로 나타냄)을 웨이퍼 W 상의 전부의 샷 영역 SE에 전사(노광)한다. 이 때에 필요에 따라서 이중 노광이 실행된다. 또한, 웨이퍼 W는 예를 들면 직경 300mm의 웨이퍼(12인치 웨이퍼)이며, 샷 영역 SE의 크기는 일례로서 비주사 방향의 폭이 25mm이고 주사 방향의 폭이 33mm인 직사각형 영역이다. 다음에, 단계 S14에서, 현상 및 에칭이나 이온 주입 등을 실행함으로써, 웨이퍼 W의 각 샷 영역 SE에 소정의 패턴이 형성된다.

[0172] 다음에, 단계 S16에서, 웨이퍼 W 상에 포토레지스트를 도포하고, 그 후 단계 S18에서, 상기 실시예(도 1)의 투영 노광 장치의 레티클 스테이지 상에 레티클(가령 R2로 함)을 로드하고, 웨이퍼 스테이지 상에 웨이퍼 W를 로드하여, 주사 노광 방식으로 레티클 R2의 패턴(부호 B로 나타냄)을 웨이퍼 W 상의 각 샷 영역 SE에 전사(노광)한다. 그리고, 단계 S20에서, 웨이퍼 W의 현상 및 에칭이나 이온 주입 등을 실행함으로써, 웨이퍼 W의 각 샷 영역에 소정의 패턴이 형성된다.

[0173] 이상의 노광 공정~패턴 형성 공정(단계 S16~단계 S20)은 소망하는 반도체 디바이스를 제조하는 데 필요한 횟수 만큼 반복된다. 그리고, 웨이퍼 W 상의 각 칩 CP를 하나하나 분리하는 다이싱 공정(단계 S22)이나, 본딩 공정, 및 패키징 공정 등(단계 S24)을 거침으로써, 제품으로서의 반도체 디바이스 SP가 제조된다.

[0174] 본 예의 디바이스 제조 방법에 의하면, 상기 실시예의 투영 노광 장치로 노광을 행하고 있기 때문에, 노광 공정에서, 조명광(노광빔)의 이용 효율을 높인 상태에서 소정의 편광 상태로 레티클을 조명할 수 있다. 따라서, 미세 피치의 주기적인 패턴 등의 해상도 등이 향상하고 있기 때문에, 보다 고집적으로 고성능의 반도체 집적 회로를, 높은 스루풋으로 저렴하게 제조하는 것이 가능해진다.

[0175] 또한, 상기 실시예의 투영 노광 장치는 복수의 렌즈로 구성되는 조명 광학계, 투영 광학계를 노광 장치 본체에 내장하여 광학 조정을 하고, 다수의 기계 부품으로 이루어지는 레티클 스테이지나 웨이퍼 스테이지를 노광 장치 본체에 설치하여 배선이나 배관을 접속하며, 또한 종합 조정(전기 조정, 동작 확인 등)을 함으로써 제조할 수 있다. 또한, 그 투영 노광 장치의 제조는 온도 및 클린도 등이 관리된 클린 룸에서 행하는 것이 바람직하다.

[0176] 또한, 본 발명은 주사 노광형의 투영 노광 장치뿐만 아니라, 스템페 등의 일괄 노광형의 투영 노광 장치에도 적용할 수 있다. 또한, 사용되는 투영 광학계의 배율은 축소 배율뿐만 아니라, 등배나 확대 배율이더라도 무방하다. 또한, 본 발명은 예컨대 국제 공개(WO) 제99/49504호 등에 개시되는 액침형 노광 장치에도 적용할 수 있다.

[0177] 또한, 본 발명의 투영 노광 장치의 용도로서는 반도체 디바이스 제조용의 노광 장치에 한정되지 않고, 예를 들면, 각형의 유리 플레이트에 형성되는 액정 표시 소자, 혹은 플라즈마 디스플레이 등의 디스플레이 장치용의 노광 장치나, 활상 소자(CCD 등), 마이크로 머신, 박막 자기 헤드, 및 DNA칩 등의 각종 디바이스를 제조하기 위한 노광 장치에도 널리 적용할 수 있다. 또한, 본 발명은 각종 디바이스의 마스크 패턴이 형성된 마스크(X선 마스크를 포함하는 포토 마스크, 레티클 등)를 포토리소그래피 공정을 이용하여 제조할 때의, 노광 공정(노광 장

치)에도 적용할 수 있다.

[0178] 또한, 상술한 실시예에 나타낸 투영 노광 장치에 포함되는 조명 광학계(2~20)는 레티클 R 등의 제 1 물체를 조명하기 위한 조명 광학 장치로서도 적용 가능한 것은 말할 필요도 없다.

[0179] 또한, 본 발명은 상술한 실시예에 한정되지 않고, 본 발명의 요지를 일탈하지 않는 범위에서 여러 가지의 구성 을 취할 수 있는 것은 물론이다. 또한, 명세서, 특히청구의 범위, 도면, 및 요약을 포함하는 2003년 10월 28일 에 제출된 일본 특허 출원 제2003-367963호의 모든 개시 내용은 전부 그대로 인용하여 본원에 포함하고 있다.

부호의 설명

[0180]

R : 레티클

W : 웨이퍼

ILS : 조명 광학계

AX2 : 조명계 광축

nf : 진상축

ns : 지상축

1 : 노광 광원

4 : 편광 제어 부재

9a, 9b : 회절 광학 소자

12 : 제 1 복굴절 부재

13 : 제 2 복굴절 부재

14 : 플라이아이 렌즈

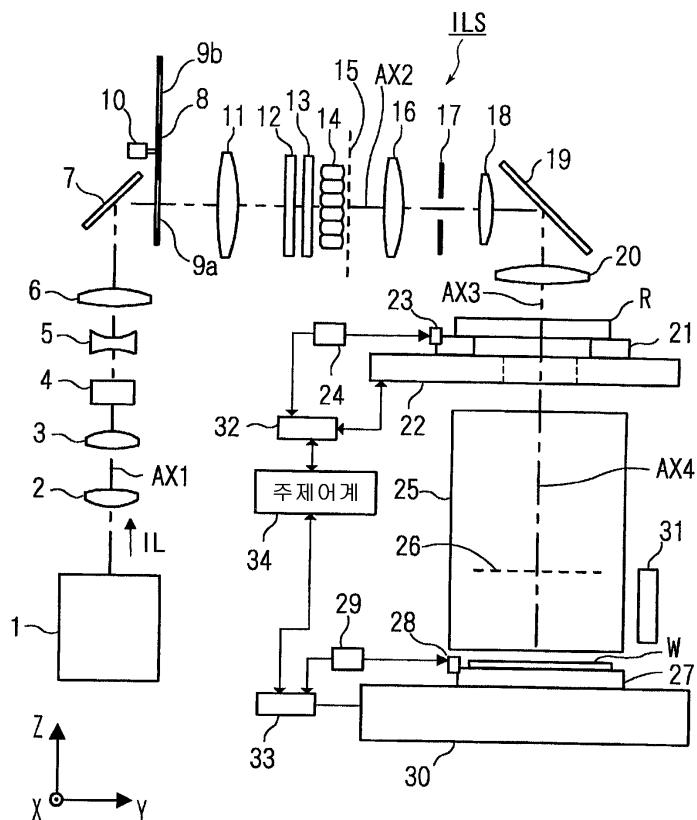
25 : 투영 광학계

36 : 특정 윤대 영역

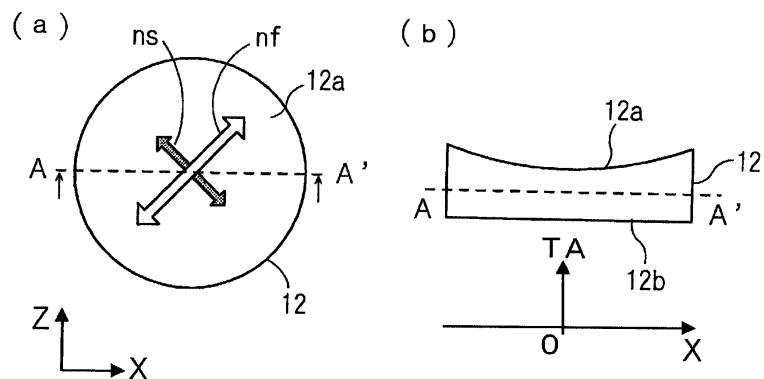
41, 42 : 원추 프리즘

도면

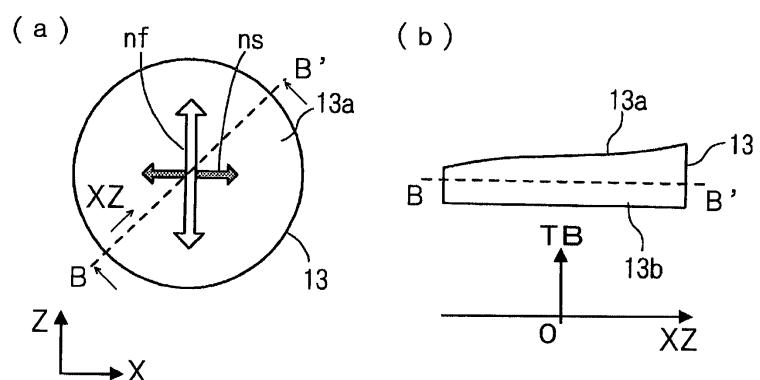
도면1



도면2

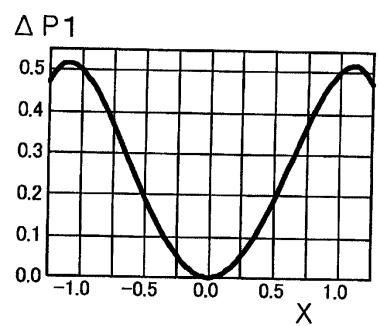


도면3

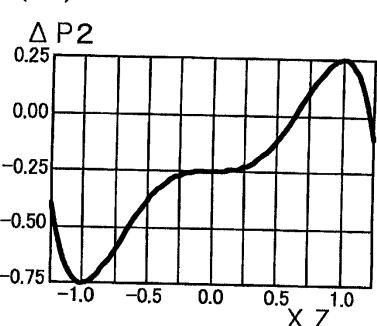


도면4

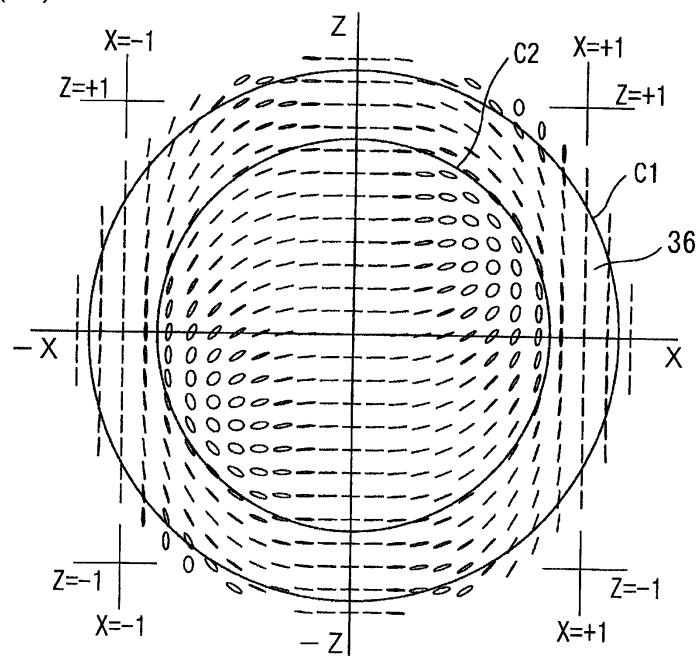
(a)



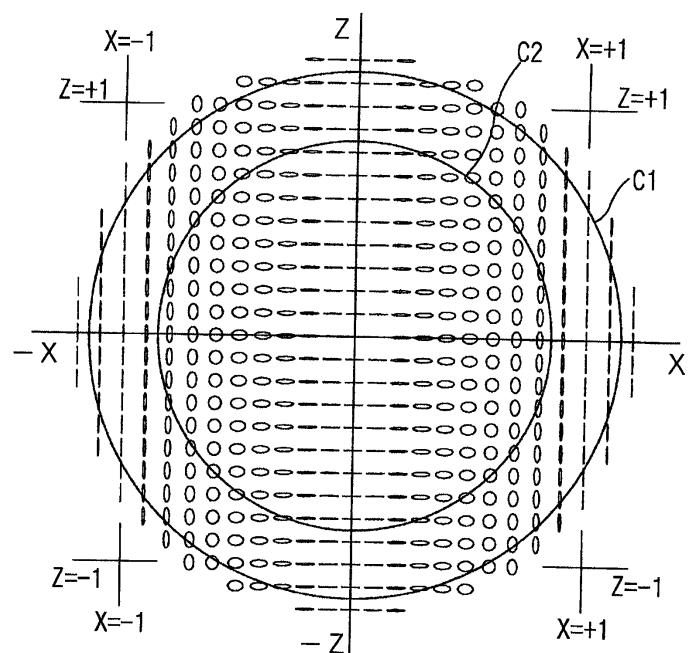
(b)



(c)

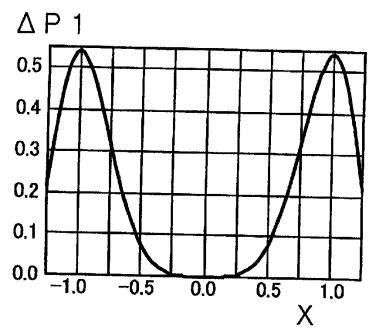


도면5

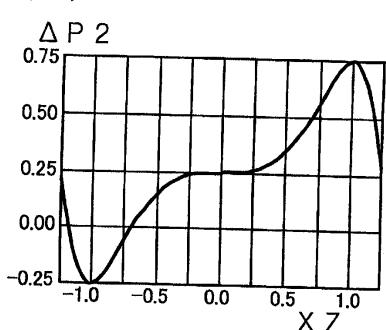


도면6

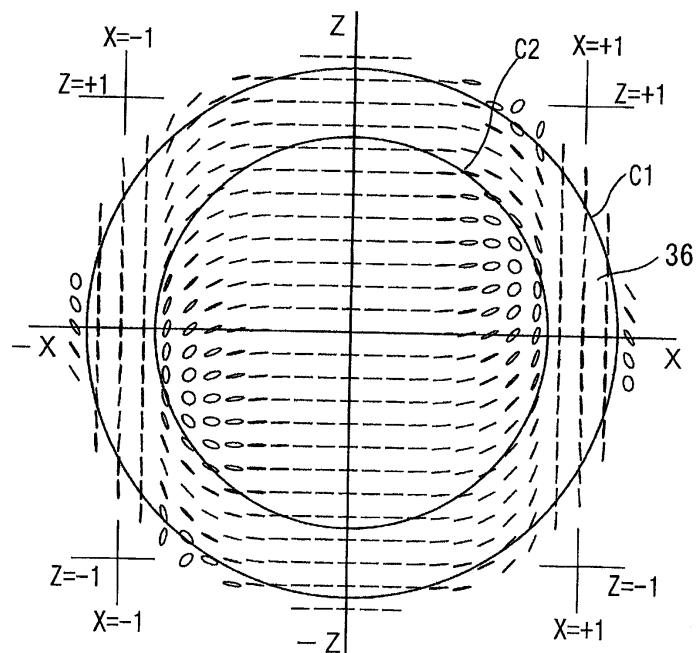
(a)



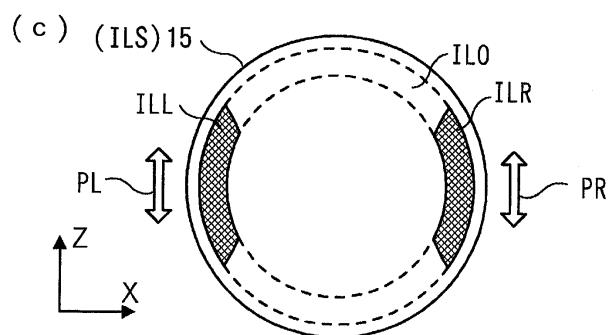
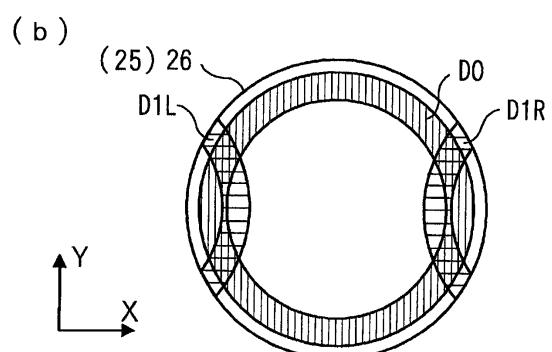
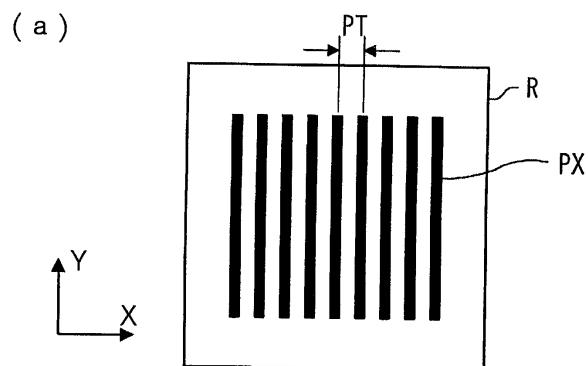
(b)



(c)

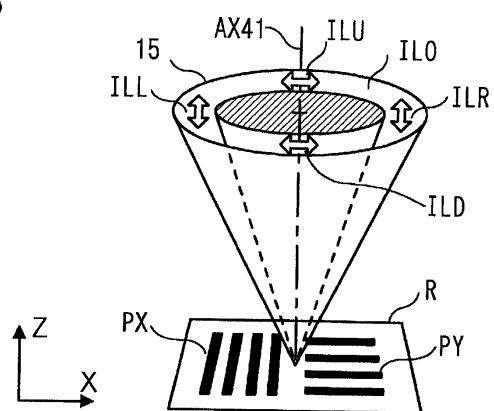


도면7

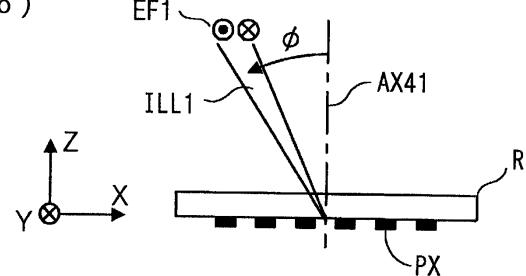


도면8

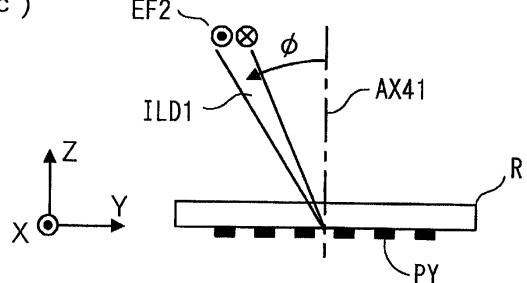
(a)



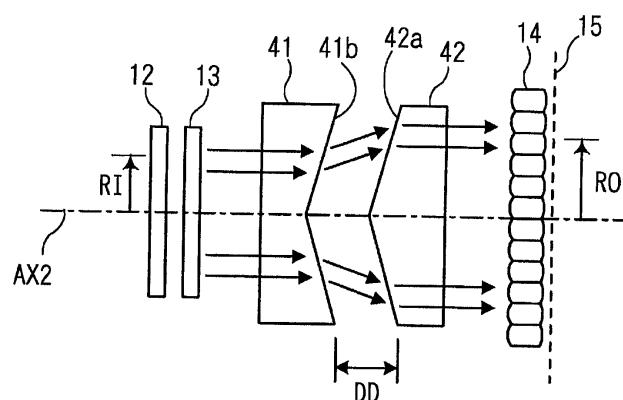
(b)



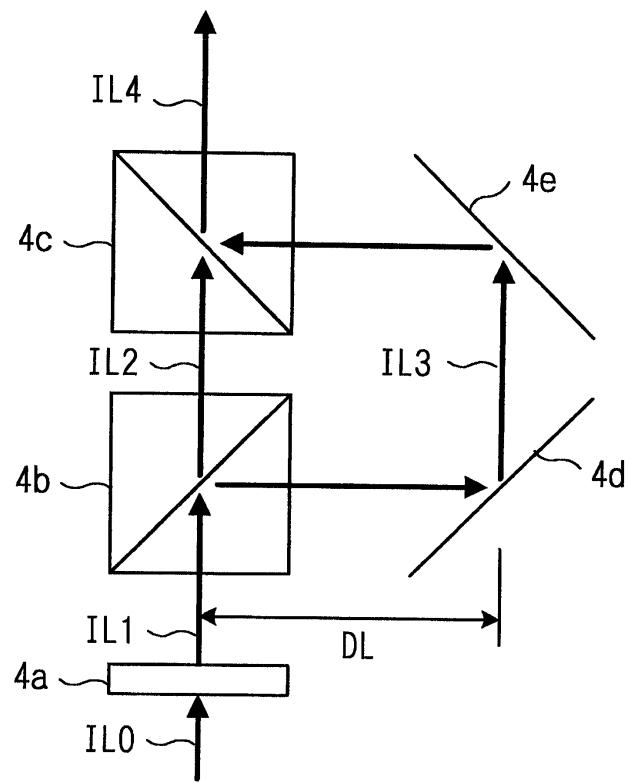
(c)



도면9



도면10



도면11

