



(19) 대한민국특허청(KR)
 (12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0103759
 (43) 공개일자 2015년09월11일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/027 (2006.01) *G03F 7/20* (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 21/0274 (2013.01)
G03F 7/70058 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7022796(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2004년11월02일
 심사청구일자 없음
- (62) 원출원 특허 10-2014-7036570
 원출원일자(국제) 2004년11월02일
 심사청구일자 2015년01월23일
- (85) 번역문제출일자 2015년08월21일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2004/016247
- (87) 국제공개번호 WO 2005/050718
 국제공개일자 2005년06월02일
- (30) 우선권주장
 JP-P-2003-390674 2003년11월20일 일본(JP)

(71) 출원인
가부시키가이샤 니콘
 일본국 도쿄도 미나토구 고난 2쵸메 15반 3고

(72) 발명자
도요다 미츠노리
 일본 도쿄도 지요다구 마루노우치 3쵸메 2반 3고
 가부시키가이샤 니콘 내

(74) 대리인
제일특허법인

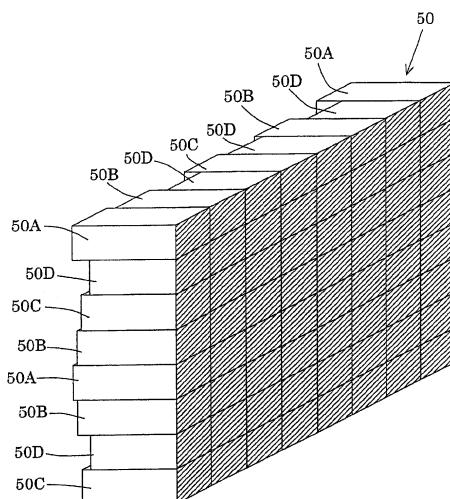
전체 청구항 수 : 총 1 항

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

(57) 요약

광량 손실을 양호하게 억제하면서 둘레 방향 편광 상태의 고리 형상의 조명 동공(照明 瞳孔) 분포를 형성할 수 있는 조명 광학 장치. 본 발명의 조명 광학 장치는 입사 광속에 균거해, 소정면에 고리 형상의 광강도 분포를 형성하기 위한 광속 변환 소자(50)를 구비하고 있다. 광속 변환 소자는 선광성(旋光性)을 갖는 광학 재료에 의해 형성되고, 입사 광속에 균거해, 고리 형상의 광강도 분포 중 제 1 원호 형상 영역 분포를 형성하기 위한 제 1 기본 소자(50A)와, 제 2 원호 형상 영역 분포를 형성하기 위한 제 2 기본 소자(50B)와, 제 3 원호 형상 영역 분포를 형성하기 위한 제 3 기본 소자(50C)와, 제 4 원호 형상 영역 분포를 형성하기 위한 제 4 기본 소자(50D)에 의해 구성되어 있다. 각 기본 소자는 광의 투과 방향에 따라 두께가 서로 다르다.

대 표 도 - 도11



명세서

청구범위

청구항 1

발명의 상세한 설명에 설명되어 있는 노광 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광속 변환 소자, 조명 광학 장치, 노광 장치 및 노광 방법에 관한 것이고, 특히 반도체 소자, 활성 소자, 액정 표시 소자 및 박막 자기 헤드 등의 마이크로 디바이스를 리소그래피(lithography) 공정으로 제조할 때에 사용되는 노광 장치에 적합한 조명 광학 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 이러한 종류의 전형적인 노광 장치에서는 광원으로부터 사출된 광속이 광학 인테그레이터(optical integrator)로서의 플라이 아이 렌즈(fly-eye lens)를 통해 다수의 광원으로 이루어지는 실질적인 면 광원으로서의 2차 광원을 형성한다. 2차 광원(일반적으로는 조명 광학 장치의 조명 동공(照明瞳) 또는 그 근방에 형성되는 조명 동공 분포)으로부터의 광속은 플라이 아이 렌즈의 뒤쪽 초점면의 근방에 배치된 개구 조리개를 통해 제한된 뒤, 콘덴서 렌즈에 입사된다.

[0003] 콘덴서 렌즈에 의해 집광된 광속은 소정 패턴이 형성된 마스크를 중첩적으로 조명한다. 마스크의 패턴을 투과 한 빛은 투영 광학계를 통해 웨이퍼(wafer) 상에 결상된다. 이렇게 해서, 웨이퍼 상에는 마스크 패턴이 투영 노광(전사)된다. 또, 마스크에 형성된 패턴은 고집적화되어있고, 이 미세 패턴을 웨이퍼 상에 정확히 전사하기 위해서는 웨이퍼 상에서 균일한 조도 분포를 얻는 것이 불가결하다.

[0004] 예를 들어, 본 출원인의 출원에 관계되는 특허 공보 제3246615호에는 임의 방향의 미세 패턴을 충실히 전사하는 데 적합한 조명 조건을 실현하기 위해, 플라이 아이 렌즈의 뒤쪽 초점면에 고리 형상의 2차 광원을 형성하고, 이 고리 형상의 2차 광원을 통과하는 광속이 그 둘레 방향을 편광 방향으로 하는 직선 편광 상태(이하, 생략하여 「둘레 방향 편광 상태」라 함)가 되도록 설정하는 기술이 개시되어 있다.

[0005] (특허 문헌 1) 특허 공보 제3246615호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 그러나, 상술한 공보에 개시된 종래 기술에서는 플라이 아이 렌즈를 통해 형성된 원 형상의 광속을 고리 형상의 개구부를 갖는 개구 조리개를 통해 제한함으로써, 고리 형상의 2차 광원을 형성하고 있다. 그 결과, 종래 기술에서는 개구 조리개에서 큰 광량 손실이 발생하고, 나아가서는 노광 장치의 스루풋(throughput)이 저하한다고 하는 문제가 있었다.

[0007] 본 발명은 광량 손실을 양호하게 억제하면서 둘레 방향 편광 상태의 고리 형상의 조명 동공 분포를 형성하는 것을 목적으로 한다. 또한, 본 발명은 광량 손실을 양호하게 억제하면서 둘레 방향 편광 상태의 고리 형상의 조명 동공 분포를 형성함으로써, 적절한 조명 조건하에 임의 방향의 미세 패턴을 충실히, 또한 높은 처리량으로 전사하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 제 1 형태에서는, 입사 광속에 근거해 소정면에 소정 광강도 분포를 형성하기 위한 광속 변환 소자에서, 선광성(旋光性)을 갖는 광학 재료에 의해 형성되어 상기 입사 광속에 근거해 상기 소정 광강도 분포 중 제 1 영역 분포를 형성하기 위한 제 1 기본 소자와, 선광성을 갖는 광학 재료에 의해 형성되어 상기 입사 광속에 근거해 상기 소정 광강도 분포 중 제 2 영역 분포를 형성하기 위한 제 2 기본 소자를 구비하고, 상기 제 1 기본 소자와 상기 제 2 기본 소자는 빛의 투과 방향에 따른 두께가 서로 다른 것을 특징으로 하는 광속 변환 소자를 제공한다.

[0009] 본 발명의 제 2 형태에서는, 입사 광속에 근거해, 해당 입사 광속의 단면 형상과는 다른 형상의 소정 광강도 분포를 소정면 상에 형성하기 위한 광속 변환 소자에서, 상기 소정면 상에 상기 소정 광강도 분포를 형성하기 위한 회절면 또는 굴절면을 구비하고, 상기 소정 광강도 분포는 상기 소정면에서의 소정 점을 중심으로 하는 소정 고리 형상 영역인 소정 고리 형상 영역의 적어도 일부에 분포하며, 상기 소정 고리 형상 영역을 통과하는 상기 광속 변환 소자로부터의 광속은 상기 소정 고리 형상 영역의 원주 방향을 편광 방향으로 하는 직선 편광을 주성분으로 하는 편광 상태를 갖는 것을 특징으로 하는 광속 변환 소자를 제공한다.

[0010] 본 발명의 제 3 형태에서는, 광원으로부터의 광속에 근거해 피조사면을 조명하는 조명 광학 장치에서, 상기 조명 광학 장치의 조명 동공 또는 그 근방에 조명 동공 분포를 형성하기 위해 상기 광원으로부터의 광속을 변환하기 위한 제 1 형태 또는 제 2 형태의 광속 변환 소자를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치를 제공한다.

[0011] 본 발명의 제 4 형태에서는, 마스크를 조명하기 위한 제 3 형태의 조명 광학 장치를 구비하고, 상기 마스크의 패턴을 감광성 기판 상에 노광하는 것을 특징으로 하는 노광 장치를 제공한다.

[0012] 본 발명의 제 5 형태에서는, 제 3 형태의 조명 광학 장치를 이용하여 마스크를 조명하는 조명 공정과, 상기 마스크의 패턴을 감광성 기판 상에 노광하는 노광 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법을 제공한다.

발명의 효과

[0013] 본 발명의 조명 광학 장치에서, 개구 조리개에서 큰 광량 손실이 발생하는 종래 기술과는 달리, 광속 변환 소자로서의 회절 광학 소자의 회절 작용과 선광 작용에 의해, 광량 손실을 실질적으로 발생시키지 않고, 둘레 방향 편광 상태의 고리 형상의 조명 동공 분포를 형성할 수 있다. 즉, 본 발명의 조명 광학 장치에서, 광량 손실을 양호하게 억제하면서 둘레 방향 편광 상태의 고리 형상의 조명 동공 분포를 형성할 수 있다.

[0014] 또, 본 발명의 조명 광학 장치를 이용하는 노광 장치 및 노광 방법에서, 광량 손실을 양호하게 억제하면서 둘레 방향 편광 상태의 고리 형상의 조명 동공 분포를 형성할 수 있는 조명 광학 장치를 이용하고 있으므로, 적절한 조명 조건하에서 임의 방향의 미세 패턴을 충실히, 또한 높은 스루풋으로 전사할 수 있어, 나아가서는 높은 스루풋으로 양호한 디바이스를 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치의 구성을 개략적으로 나타내는 도면,

도 2는 고리 형상 조명에서 형성되는 고리 형상의 2차 광원을 나타내는 도면,

도 3은 도 1에서 아포칼 렌즈(afocal lens)의 앞쪽 렌즈군과 뒤쪽 렌즈군사이의 광로 중에 배치된 원추 액시콘(axicon)계의 구성을 개략적으로 나타내는 도면,

도 4는 고리 형상의 2차 광원에 대한 원추 액시콘계의 작용을 설명하는 도면,

도 5는 고리 형상의 2차 광원에 대한 줌 렌즈의 작용을 설명하는 도면,

도 6은 도 1에서 아포칼 렌즈의 앞쪽 렌즈군과 뒤쪽 렌즈군사이의 광로 중에 배치된 제 1 실린드리컬(cylindrical) 렌즈쌍 및 제 2 실린드리컬 렌즈쌍의 구성을 개략적으로 나타내는 도면,

도 7은 고리 형상의 2차 광원에 대한 제 1 실린드리컬 렌즈쌍 및 제 2 실린드리컬 렌즈쌍의 작용을 설명하는 제 1 도면,

도 8은 고리 형상의 2차 광원에 대한 제 1 실린드리컬 렌즈쌍 및 제 2 실린드리컬 렌즈쌍의 작용을 설명하는 제 2 도면,

도 9는 고리 형상의 2차 광원에 대한 제 1 실린드리컬 렌즈쌍 및 제 2 실린드리컬 렌즈쌍의 작용을 설명하는 제 3 도면,

도 10은 도 1의 편광 모니터의 내부 구성을 개략적으로 나타내는 사시도,

도 11은 본 실시예에 관계되는 둘레 방향 편광 고리 형상 조명용 회절 광학 소자의 구성을 개략적으로 나타내는 도면,

도 12는 둘레 방향 편광 상태로 설정된 고리 형상의 2차 광원을 개략적으로 나타내는 도면,

도 13은 제 1 기본 소자의 작용을 설명하는 도면,

도 14는 제 2 기본 소자의 작용을 설명하는 도면,

도 15는 제 3 기본 소자의 작용을 설명하는 도면,

도 16은 제 4 기본 소자의 작용을 설명하는 도면,

도 17은 수정의 선광성에 대하여 설명하는 도면,

도 18은 둘레 방향에 따라서 서로 간격을 띤 8개의 원호상 영역으로 이루어지는 둘레 방향 편광 상태의 8극상의 2차 광원 및 둘레 방향에 따라서 서로 이격한 4개의 원호상 영역에 관계되는 둘레 방향 편광 상태의 4극상의 2차 광원을 나타내는 도면,

도 19는 둘레 방향에 따라서 서로 중복하는 8개의 원호상 영역으로 이루어지는 둘레 방향 편광 상태의 고리 형상의 2차 광원을 나타내는 도면,

도 20은 둘레 방향에 따라서 서로 이격한 6개의 원호상 영역으로 이루어지는 둘레 방향 편광 상태의 6극상의 2차 광원 및 둘레 방향에 따라서 서로 간격을 띤 복수 영역과 광축상의 영역을 가지는 둘레 방향 편광 상태의 2차 광원을 나타내는 도면,

도 21은 둘레 방향 편광 고리 형상 조명용 회절 광학 소자의 입사측의 면을 평면상으로 나타낸 도면,

도 22는 마이크로 디바이스로서의 반도체 디바이스를 얻을 때의 수법의 흐름도,

도 23은 마이크로 디바이스로서의 액정 표시 장치를 얻을 때의 수법의 흐름도이다

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 본 발명의 실시예를 첨부 도면에 근거해 설명한다.

도 1은 본 발명의 실시예에 따른 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치의 구성을 개략적으로 나타내는 도면이다. 도 1에서, 감광성 기판인 웨이퍼(W)의 법선 방향을 따라서 Z축을, 웨이퍼(W)의 면 내에서 도 1의 지면에 평행인 방향으로 Y축을, 웨이퍼(W)의 면 내에서 도 1의 지면에 수직인 방향으로 X축을 각각 설정하고 있다. 본 실시예의 노광 장치는 노광광(조명광)을 공급하기 위한 광원(1)을 구비하고 있다.

광원(1)으로서, 예컨대, 248nm의 파장의 빛을 공급하는 KrF 엑시머 레이저 광원이나 193nm의 파장의 빛을 공급 하는 ArF 엑시머 레이저 광원 등을 이용할 수 있다. 광원(1)으로부터 Z 방향을 따라 사출된 거의 평행한 광속은 X 방향을 따라 가늘고 길게 연장된 직사각형 형상의 단면을 갖고, 한 쌍의 렌즈(2a, 2b)로 이루어지는 빔 익스팬더(beam expander)(2)에 입사된다. 각 렌즈(2a, 2b)는 도 1의 지면 내(YZ 평면 내)에서 부(負)의 굴절력 및 정(正)의 굴절력을 각각 갖는다. 따라서, 빔 익스팬더(2)에 입사된 광속은 도 1의 지면 내에서 확대되어 소정 직사각형 형상의 단면을 갖는 광속으로 정형된다.

[0019] 정형 광학계로서의 빔 익스팬더(2)를 통과한 거의 평행한 광속은 절곡(折曲) 미러(3)에서 Y 방향으로 편향된다, 1/4 파장판(4a), 1/2 파장판(4b), 디폴라라이저(비편광화 소자)(4c) 및 고리 형상 조명용 회절 광학 소자(5)를 통해 아포칼 렌즈(6)에 입사된다. 여기서, 1/4 파장판(4a), 1/2 파장판(4b) 및 디폴라라이저(4c)는 후술하는 바와 같이, 편광 상태 전환 수단(4)을 구성하고 있다. 아포칼 렌즈(6)는 그 앞쪽 초점 위치와 회절 광학 소자(5)의 위치가 거의 일치하고, 또한 그 뒤쪽 초점 위치와 도면 중 파선으로 나타내는 소정면(7)의 위치가 거의 일치하도록 설정된 아포칼계(무초점 광학계)이다.

[0020]

일반적으로, 회절 광학 소자는 기판에 노광광(조명광)의 파장 정도의 피치를 갖는 단자를 형성함으로써, 구성되어, 입사빔을 소망 각도로 회절하는 작용을 갖는다. 구체적으로는 고리 형상 조명용 회절 광학 소자(5)는 직사각형 형상의 단면을 갖는 평행 광속이 입사했을 경우, 그 파 필드(far-field)(또는 프라운호퍼(Fraunhofer) 회절 영역)에 고리 형상의 광강도 분포를 형성하는 기능을 갖는다. 따라서, 광속 변환 소자로서의 회절 광학 소자(5)에 입사된 대부분의 평행 광속은 아포칼 렌즈(6)의 동공면에 고리 형상의 광강도 분포를 형성한 뒤, 거의 평행 광속이 되어 아포칼 렌즈(6)로부터 사출된다.

[0021]

또, 아포칼 렌즈(6)의 앞쪽 렌즈군(6a)과 뒤쪽 렌즈군(6b)사이의 광로 중에서, 그 동면 또는 그 근방에는 광원 쪽으로부터 순서대로 원추 액시콘계(8), 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9) 및 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)이 배치되어 있지만, 그 상세한 구성 및 작용에 대해서는 후술한다. 이하, 설명을 간단하게 하기 위해 원추 액시콘계(8), 제 1 실린드리컬 렌즈계(9) 및 제 2 실린드리컬 렌즈계(10)의 작용을 무시하고 기본적인 구성 및 작용을 설명한다.

[0022]

아포칼 렌즈(6)를 통한 광속은 σ 값 가변용 줌 렌즈(11)를 통해 광학 인테그레이터로서의 마이크로 플라이 아이 렌즈(또는 플라이 아이 렌즈)(12)에 입사된다. 마이크로 플라이 아이 렌즈(12)는 종횡으로, 또한 조밀하게 배열된 다수의 정 굴절력을 갖는 미소 렌즈로 이루어지는 광학 소자이다. 일반적으로, 마이크로 플라이 아이 렌즈는, 예컨대, 평행 평면판에 에칭 처리를 실시하여 미소 렌즈군을 형성함으로써, 구성된다.

[0023]

여기서, 마이크로 플라이 아이 렌즈를 구성하는 각 미소 렌즈는 플라이 아이 렌즈를 구성하는 렌즈 요소보다 미소하다. 또, 마이크로 플라이 아이 렌즈는 서로 격절(隔絕)된 렌즈 요소로 이루어지는 플라이 아이 렌즈와는 달리, 다수의 미소 렌즈(미소 굴절면)가 서로 격절되지 않고 일체적으로 형성되어 있다. 그러나, 정 굴절력을 갖는 렌즈 요소가 종횡으로 배치되어 있는 점에서 마이크로 플라이 아이 렌즈는 플라이 아이 렌즈와 같은 과면 분할형 광학 인테그레이터이다.

[0024]

소정면(7)의 위치는 줌 렌즈(11)의 앞쪽 초점 위치의 근방에 배치되고, 마이크로 플라이 아이 렌즈(12)의 입사면은 줌 렌즈(11)의 뒤쪽 초점 위치의 근방에 배치되어 있다. 환연하면, 줌 렌즈(11)는 소정면(7)과 마이크로 플라이 아이 렌즈(12)의 입사면을 실질적으로 푸리에(Fourier) 변환의 관계로 배치하고, 나아가서는 아포칼 렌즈(6)의 동면과 마이크로 플라이 아이 렌즈(12)의 입사면을 광학적으로 거의 공역으로 배치하고 있다.

[0025]

따라서, 마이크로 플라이 아이 렌즈(12)의 입사면 상에는 아포칼 렌즈(6)의 동면과 마찬가지로, 예컨대, 광축(AX)을 중심으로 한 고리 형상의 조야(照野)가 형성된다. 이 고리 형상의 조야의 전체 형상은 줌 렌즈(11)의 초점거리에 의존하여 서로 유사하게 변화한다. 마이크로 플라이 아이 렌즈(12)를 구성하는 각 미소 렌즈는 마스크(M) 상에 있어 형성해야 할 조야의 형상(나아가서는 웨이퍼(W) 상에 있어 형성해야 할 노광 영역의 형상)과 서로 유사한 직사각형 형상의 단면을 갖는다.

[0026]

마이크로 플라이 아이 렌즈(12)에 입사된 광속은 다수의 미소 렌즈에 의해 2차원적으로 분할되고, 그 뒤쪽 초점면(나아가서는 조명 동공)에는 도 2에 나타내는 바와 같이, 입사 광속에 의해 형성되는 조야와 거의 같은 광강도 분포를 갖는 2차 광원, 즉, 광축(AX)을 중심으로 한 고리 형상의 실질적인 면 광원으로 이루어지는 2차 광원이 형성된다. 마이크로 플라이 아이 렌즈(12)의 뒤쪽 초점면에 형성된 2차 광원(일반적으로는, 조명 광학 장치의 동면 또는 그 근방에 형성된 조명 동공 분포)으로부터의 광속은 빔 스플리터(beam splitter)(13a) 및 콘덴서 광학계(14)를 통과한 뒤, 마스크 블라인드(15)를 중첩적으로 조명한다.

[0027]

이렇게 해서, 조명 시야 조리개로서의 마스크 블라인드(15)에는 마이크로 플라이 아이 렌즈(12)를 구성하는 각 미소 렌즈의 형상과 초점거리에 따른 직사각형 형상의 조야가 형성된다. 또, 빔 스플리터(13a)를 내장하는 편광 모니터(13)의 내부 구성 및 작용에 대해서는 후술한다. 마스크 블라인드(15)의 직사각형 형상의 개구부(광투과부)를 통과한 광속은 결상 광학계(16)의 집광 작용을 받은 뒤, 소정 패턴이 형성된 마스크(M)를 중첩적으로 조명한다.

[0028]

즉, 결상 광학계(16)는 마스크 블라인드(15)의 직사각형 형상 개구부의 이미지를 마스크(M) 상에 형성하게 된다. 마스크(M)의 패턴을 투과한 광속은 투영 광학계(PL)를 통하여 감광성 기판인 웨이퍼(W) 상에 마스크 패턴의 이미지를 형성한다. 이렇게 해서, 투영 광학계(PL)의 광축(AX)과 직교하는 평면(XY 평면) 내에서 웨이퍼(W)를 2차원적으로 구동 제어하면서 일괄 노광 또는 스캔 노광을 하는 것에 의해, 웨이퍼(W)의 각 노광 영역에 마스크(M)의 패턴이 순서대로 노광된다.

[0029]

또, 편광 상태 전환 수단(4)에서 1/4 파장판(4a)은 광축(AX)을 중심으로 결정 광학축이 회전이 자유롭게 구성되어, 입사되는 타원 편광의 빛을 직선 편광의 빛으로 변환한다. 또한, 1/2 파장판(4b)은 광축(AX)을 중심으로

결정 광학축이 회전이 자유롭게 구성되어, 입사되는 직선 편광의 편광면을 변화시킨다. 또한, 디폴라라이저(4c)는 상보적인 형상을 갖는 쇄기 형상의 수정 프리즘(도시하지 않음)과 쇄기 형상의 석영 프리즘(도시하지 않음)에 의해 구성되어 있다. 수정 프리즘과 석영 프리즘은 일체적인 프리즘 조립체로서 조명 광로에 대하여 착탈이 자유롭게 구성되어 있다.

[0030] 광원(1)으로서 KrF 엑시머 레이저 광원이나 ArF 엑시머 레이저 광원을 이용하는 경우, 이를 광원으로부터 사출되는 빛은 전형적으로는 95% 이상의 편광도를 갖고, 1/4 파장판(4a)에는 거의 직선 편광의 빛이 입사된다. 그러나, 광원(1)과 편광 상태 전환 수단(4) 사이의 광로 중에 이면 반사경으로서의 직각 프리즘이 개재되는 경우, 입사되는 직선 편광의 편광면이 P 편광면 또는 S 편광면에 일치하지 않으면 직각 프리즘에서의 전반사에 의해 직선 편광이 타원 편광으로 변한다.

[0031] 편광 상태 전환 수단(4)에서는, 예컨대, 직각 프리즘에서의 전반사에 기인하여 타원 편광의 빛이 입사해도, 1/4 파장판(4a)의 작용에 의해 변환된 직선 편광의 빛이 1/2 파장판(4b)에 입사된다. 1/2 파장판(4b)의 결정 광학축이 입사되는 직선 편광의 편광면에 0도 또는 90도의 각도를 이루도록 설정된 경우, 1/2 파장판(4b)에 입사된 직선 편광의 빛은 편광면이 변화하지 않고 그대로 통과한다.

[0032] 또, 1/2 파장판(4b)의 결정 광학축이 입사되는 직선 편광의 편광면에 대하여 45도의 각도를 이루도록 설정된 경우, 1/2 파장판(4b)에 입사된 직선 편광의 빛은 편광면이 90도만큼 변화된 직선 편광의 빛으로 변환된다. 또한, 디폴라라이저(4c)의 수정 프리즘의 결정 광학축이 입사되는 직선 편광의 편광면에 대하여 45도의 각도를 이루도록 설정된 경우, 수정 프리즘에 입사된 직선 편광의 빛은 비편광 상태의 빛으로 변환(비편광화)된다.

[0033] 편광 상태 전환 수단(4)에서는 디폴라라이저(4c)가 조명 광로 중에 위치 결정되었을 때, 수정 프리즘의 결정 광학축이 입사되는 직선 편광의 편광면에 대하여 45도의 각도를 이루도록 구성되어 있다. 덧붙여서 말하면, 수정 프리즘의 결정 광학축이 입사되는 직선 편광의 편광면에 대하여 0도 또는 90도의 각도를 이루도록 설정된 경우, 수정 프리즘에 입사된 입사 편광의 빛은 편광면이 변화하지 않고 그대로 통과한다. 또, 1/2 파장판(4b)의 결정 광학축이 입사되는 직선 편광의 편광면에 대하여 22.5도의 각도를 이루도록 설정된 경우, 1/2 파장판(4b)에 입사된 직선 편광의 빛은 편광면이 변화하지 않고 그대로 통과하는 직선 편광 성분과 편광면이 90도만큼 변화한 직선 편광 성분을 포함하는 비편광 상태의 빛으로 변환된다.

[0034] 편광 상태 전환 수단(4)에서는, 상술한 바와 같이, 직선 편광의 빛이 1/2 파장판(4b)에 입사되지만, 이하의 설명을 간단히 하기 위해, 도 1에서 Z 방향으로 편광 방향(전기장의 방향)을 갖는 직선 편광(이하, 「Z 방향 편광」이라 칭함)의 빛이 1/2 파장판(4b)에 입사되는 것으로 한다. 디폴라라이저(4c)를 조명 광로 중에 위치 결정한 경우, 1/2 파장판(4b)의 결정 광학축을 입사되는 Z 방향 편광의 편광면(편광 방향)에 대하여 0도 또는 90도의 각도를 이루도록 설정하면, 1/2 파장판(4b)에 입사된 Z 방향 편광의 빛은 편광면이 변화하지 않고 Z 방향 편광 그대로 통과하여 디폴라라이저(4c)의 수정 프리즘에 입사된다. 수정 프리즘의 결정 광학축은 입사되는 Z 방향 편광의 편광면에 대하여 45도의 각도를 이루도록 설정되어 있으므로 수정 프리즘에 입사된 Z 방향 편광의 빛은 비편광 상태의 빛으로 변환된다.

[0035] 수정 프리즘을 통해 비편광화된 빛은 빛의 진행 방향을 보상하기 위한 보상기로서의 석영 프리즘을 통해 비편광 상태로 회절 광학 소자(5)에 입사된다. 한편, 1/2 파장판(4b)의 결정 광학축을 입사되는 Z 방향 편광면에 대하여 45도의 각도를 이루도록 설정하면, 1/2 파장판(4b)에 입사된 Z 방향 편광의 빛은 편광면이 90도만큼 변화하고, 도 1에서 X 방향으로 편광 방향(전기장의 방향)을 갖는 직선 편광(이하, 「X 방향 편광」이라 칭함)의 빛으로 되어 디폴라라이저(4c)의 수정 프리즘에 입사된다. 수정 프리즘의 결정 광학축은 입사되는 X 방향 편광의 편광면에 대하여 45도의 각도를 이루도록 설정되어 있으므로 수정 프리즘에 입사된 X 방향 편광의 빛은 비편광 상태의 빛으로 변환되고, 석영 프리즘을 통해, 비편광 상태로 회절 광학 소자(5)에 입사된다.

[0036] 이에 대하여, 디폴라라이저(4c)를 조명 광로로부터 후퇴시킨 경우, 1/2 파장판(4b)의 결정 광학축을 입사되는 Z 방향 편광의 편광면에 대하여 0도 또는 90도의 각도를 이루도록 설정하면, 1/2 파장판(4b)에 입사된 Z 방향 편광의 빛은 편광면이 변화하지 않고 Z 방향 편광 그대로 통과하고, Z 방향 편광 상태로 회절 광학 소자(5)에 입사된다. 한편, 1/2 파장판(4b)의 결정 광학축을 입사되는 Z 방향 편광의 편광면에 대하여 45도의 각도를 이루도록 설정하면, 1/2 파장판(4b)에 입사된 Z 방향 편광의 빛은 편광면이 90도만큼 변화되어 X 방향 편광의 빛으로 되고, X 방향 편광 상태로 회절 광학 소자(5)에 입사된다.

[0037] 이상과 같이, 편광 상태 전환 수단(4)에서는 디폴라라이저(4c)를 조명 광로 중에 삽입하여 위치 결정함으로써, 비편광 상태의 빛을 회절 광학 소자(5)에 입사시킬 수 있다. 또한, 디폴라라이저(4c)를 조명 광로로부터 후퇴

시키고, 또한 1/2 과장판(4b)의 결정 광학축을 입사되는 Z 방향 편광의 편광면에 대하여 0도 또는 90도의 각도를 이루도록 설정함으로써, Z 방향 편광 상태의 빛을 회절 광학 소자(5)에 입사시킬 수 있다. 또한, 디폴라라이저(4c)를 조명 광로로부터 후퇴시키고, 또한 1/2 과장판(4b)의 결정 광학축을 입사되는 Z 방향 편광의 편광면에 대하여 45도를 이루도록 설정함으로써, X 방향 편광 상태의 빛을 회절 광학 소자(5)에 입사시킬 수 있다.

[0038] 환언하면, 편광 상태 전환 수단(4)에서는 1/4 과장판(4a)과 1/2 과장판(4b)과 디폴라라이저(4c)로 이루어지는 편광 상태 전환 수단의 작용에 의해, 회절 광학 소자(5)에의 입사광의 편광 상태(후술하는 본 발명에 따른 둘레 방향 편광 고리 형상 조명용 회절 광학 소자 이외의 통상의 회절 광학 소자를 이용하는 경우에는 마스크(M) 및 웨이퍼(W)를 조명하는 빛의 편광 상태)를 직선 편광 상태와 비편광 상태 사이에서 전환할 수 있고, 직선 편광 상태의 경우에는 서로 직교하는 편광 상태 사이(Z 방향 편광과 X 방향 편광 사이)에서 전환할 수 있다.

[0039] 도 3은 도 1에서 아포칼 렌즈의 앞쪽 렌즈군과 뒤쪽 렌즈군 사이의 광로 중에 배치된 원추 액시콘계의 구성을 개략적으로 나타내는 도면이다. 원추 액시콘계(8)는 광원쪽으로부터 순서대로, 광원쪽에 평면을 향하고, 또한 마스크쪽에 오목 원추형 굴절면을 향한 제 1 프리즘 부재(8a)와, 마스크쪽의 평면을 향하고, 또한 광원쪽의 볼록 원추형 굴절면을 향한 제 2 프리즘 부재(8b)로 구성되어 있다.

[0040] 그리고, 제 1 프리즘 부재(8a)의 오목 원추형 굴절면과 제 2 프리즘 부재(8b)의 볼록 원추형 굴절면은 서로 접촉 가능하도록 상보적(相補的)으로 형성되어 있다. 또한, 제 1 프리즘 부재(8a) 및 제 2 프리즘 부재(8b) 중 적어도 한쪽의 부재가 광축(AX)을 따라 이동 가능하게 구성되고, 제 1 프리즘 부재(8a)의 오목 원추형 굴절면과 제 2 프리즘 부재(8b)의 볼록 원추형 굴절면의 간격이 가변적으로 구성되어 있다.

[0041] 여기서, 제 1 프리즘 부재(8a)의 오목 원추형 굴절면 및 제 2 프리즘 부재(8b)의 볼록 원추형 굴절면이 서로 접촉하고 있는 상태에서는, 원추 액시콘계(8)는 평행 평면판으로서 기능하고, 형성되는 고리 형상의 2차 광원에 미치는 영향은 없다. 그러나, 제 1 프리즘 부재(8a)의 오목 원추형 굴절면과 제 2 프리즘 부재(8b)의 볼록 원추형 굴절면을 이격시키면, 원추 액시콘계(8)는 이른바 빔 익스팬더로서 기능한다. 따라서, 원추 액시콘계(8)의 간격 변화에 따라 소정면(7)으로의 입사 광속의 각도는 변화된다.

[0042] 도 4는 고리 형상의 2차 광원에 대한 원추 액시콘계의 작용을 설명하는 도면이다. 도 4를 참조하면, 원추 액시콘계(8)의 간격이 0이고, 또한 줌 렌즈(11)의 초점거리가 최소값으로 설정된 상태(이하, 「표준 상태」라 함)로 형성된 가장 작은 고리 형상의 2차 광원(30a)이 원추 액시콘계(8)의 간격을 0으로부터 소정 값까지 확대시킴으로써, 그 폭(외경과 내경의 차의 1/2 : 도면 중 화살표로 나타냄)이 변화하지 않고 그 외경 및 내경이 함께 확대된 고리 형상의 2차 광원(30b)으로 변화한다. 환언하면, 원추 액시콘계(8)의 작용에 의해 고리 형상의 2차 광원의 폭이 변화하지 않고 그 고리 형상 비(내경/외경) 및 크기(외경)가 함께 변화한다.

[0043] 도 5는 고리 형상의 2차 광원에 대한 줌 렌즈의 작용을 설명하는 도면이다. 도 5를 참조하면, 표준 상태로 형성된 고리 형상의 2차 광원(30a)이 줌 렌즈(11)의 초점거리를 최소값으로부터 소정 값으로 확대시킴으로써, 그 전체 형상이 서로 유사하게 확대된 고리 형상의 2차 광원(30c)으로 변화한다. 환언하면, 줌 렌즈(11)의 작용에 의해 고리 형상의 2차 광원의 고리 형상 비(比)가 변화하지 않고 그 폭 및 크기(외경)가 함께 변화한다.

[0044] 도 6은 도 1에서 아포칼 렌즈의 앞쪽 렌즈군과 뒤쪽 렌즈군 사이의 광로 중에 배치된 제 1 실린드리컬 렌즈쌍 및 제 2 실린드리컬 렌즈쌍의 구성을 개략적으로 나타내는 도면이다. 도 6에서 광원쪽으로부터 순서대로, 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9) 및 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)이 배치되어 있다. 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9)은 광원쪽으로부터 순서대로, 예컨대, YZ 평면 내에 부 굴절력을 갖고 XY 평면 내에 무(無) 굴절력의 제 1 실린드리컬 렌즈(9a)와, 마찬가지로 YZ 평면 내에 정 굴절력을 갖고 XY 평면 내에 무 굴절력의 제 1 실린드리컬 정렌즈(9b)에 의해 구성되어 있다.

[0045] 한편, 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)은 광원쪽으로부터 순서대로, 예컨대, XY 평면 내에 부 굴절력을 갖고 YZ 평면 내에 무 굴절력의 제 2 실린드리컬 부렌즈(10a)와, 마찬가지로 XY 평면 내에 정 굴절력을 갖고 YZ 평면 내에 무 굴절력의 제 2 실린드리컬 정렌즈(10b)에 의해 구성되어 있다. 제 1 실린드리컬 부렌즈(9a)와 제 1 실린드리컬 정렌즈(9b)는 광축(AX)을 중심으로 일체적으로 회전하도록 구성되어 있다. 마찬가지로, 제 2 실린드리컬 부렌즈(10a)와 제 2 실린드리컬 정렌즈(10b)는 광축(AX)을 중심으로 일체적으로 회전하도록 구성되어 있다.

[0046] 이렇게 해서, 도 6에 나타내는 상태에서, 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9)은 Z 방향으로 파워를 갖는 빔 익스팬더로서 기능하고, 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)은 X 방향으로 파워를 갖는 빔 익스팬더로서 기능한다. 또, 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9)의 파워와 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)의 파워는 서로 같게 설정되어 있다.

[0047] 도 7 내지 도 9는 고리 형상의 2차 광원에 대한 제 1 실린드리컬 렌즈쌍 및 제 2 실린드리컬 렌즈쌍의 작용을

설명하는 도면이다. 도 7에서는 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9)의 파워 방향이 Z 축에 대하여 광축(AX) 방향으로 +45도의 각도를 이루고, 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)의 파워 방향이 Z 축에 대하여 광축(AX) 방향으로 -45도의 각도를 이루도록 설정되어 있다.

[0048] 따라서, 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9)의 파워 방향과 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)의 파워 방향이 서로 직교하고, 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9)과 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)의 합성계에서 Z 방향의 파워와 X 방향의 파워가 서로 같게 된다. 그 결과, 도 7에 나타내는 진원(眞圓) 상태에서는 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9)과 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)의 합성계를 통과하는 광속은 Z 방향 및 X 방향으로 같은 파워로 확대 작용을 받게 되고, 조명 동공에는 진원 고리 형상의 2차 광원이 형성되게 된다.

[0049] 이에 대하여, 도 8에서는 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9)의 파워 방향이 Z축에 대하여 광축(AX) 방향으로, 예컨대, +80도의 각도를 이루고, 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)의 파워 방향이 Z축에 대하여 광축(AX) 방향으로, 예컨대, -80도의 각도를 이루도록 설정되어 있다. 따라서, 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9)과 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)의 합성계에서 Z 방향의 파워보다 X 방향의 파워가 커진다. 그 결과, 도 8에 나타내는 횡타원(橫橢圓) 상태에서는 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9)과 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)의 합성계를 통과하는 광속은 Z 방향보다 X 방향이 큰 파워로 확대 작용을 받게 되고, 조명 동공에는 X 방향으로 가늘고 긴, 가로 방향으로 긴 고리 형상의 2차 광원이 형성되게 된다.

[0050] 한편 도 9에서는 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9)의 파워 방향이 Z축에 대하여 광축(AX) 방향으로, 예컨대, +10도의 각도를 이루고, 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)의 파워 방향이 Z 축에 대하여 광축(AX) 방향으로, 예컨대, -10도의 이루도록 설정되어 있다. 따라서, 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9)과 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)의 합성계에서 X 방향의 파워보다 Z 방향의 파워가 커진다. 그 결과, 도 9에 나타내는 종타원(縱橢圓) 상태에서는 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9)과 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)의 합성계를 통과하는 광속은 X 방향보다 Z 방향이 큰 파워로 확대 작용을 받게 되고, 조명 동공에는 Z 방향으로 가늘고 긴, 세로 방향으로 긴 고리 형상의 2차 광원이 형성되게 된다.

[0051] 또한, 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9) 및 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)을 도 7에 나타내는 진원 상태와 도 8에 나타내는 횡타원 상태 사이의 임의 상태로 설정함으로써, 여러 가지 종횡비에 따른 가로 방향으로 긴 고리 형상의 2차 광원을 형성할 수 있다. 또한, 제 1 실린드리컬 렌즈쌍(9) 및 제 2 실린드리컬 렌즈쌍(10)을 도 7에 나타내는 진원 상태와 도 9에 나타내는 종타원 상태 사이의 임의 상태로 설정함으로써, 여러 가지 종횡비에 따른 세로 방향으로 긴 고리 형상의 2차 광원을 형성할 수 있다.

[0052] 도 10은 도 1의 편광 모니터의 내부 구성을 개략적으로 나타내는 사시도이다. 도 10을 참조하면, 편광 모니터(13)는 마이크로 플레이어 아이 렌즈(12)와 콘덴서 광학계(14) 사이 광로 중에 배치된 제 1 빔 스플리터(13a)를 구비하고 있다. 제 1 빔 스플리터(13a)는, 예컨대, 석영 유리에 의해 형성된 논코트(non-coat)의 평행 평면판(즉, 소유리)의 형태를 갖고, 입사광의 편광 상태와는 다른 편광 상태의 반사광을 발생시키는 기능을 갖는다. 그리고, 제 1 빔 스플리터(13a)에 대한 P 편광이 제 2 빔 스플리터(13b)에 대한 S 편광으로 되고, 제 1 빔 스플리터(13a)에 대한 S 편광이 제 2 빔 스플리터(13b)에 대한 P 편광으로 되도록 설정되어 있다.

[0053] 제 1 빔 스플리터(13a)에 의해 광로로부터 츄출된 빛은 제 2 빔 스플리터(13b)에 입사된다. 제 2 빔 스플리터(13b)는 제 1 빔 스플리터(13a)와 마찬가지로, 예컨대, 석영 유리에 의해 형성된 논코트의 평행 평면판의 형태를 갖고, 입사광의 편광 상태와는 다른 편광 상태의 반사광을 발생시키는 기능을 갖는다. 그리고, 제 1 빔 스플리터(13a)에 대한 P 편광이 제 2 빔 스플리터(13b)에 대한 S 편광으로 되고, 제 1 빔 스플리터(13a)에 대한 S 편광이 제 2 빔 스플리터(13b)에 대한 P 편광으로 되도록 설정되어 있다.

[0054] 또, 제 2 빔 스플리터(13b)를 투과한 빛은 제 1 광강도 검출기(13c)에 의해 검출되고, 제 2 빔 스플리터(13b)에서 반사된 빛은 제 2 광강도 검출기(13d)에 의해 검출된다. 제 1 광강도 검출기(13c) 및 제 2 광강도 검출기(13d)의 출력은 각각 제어부(도시하지 않음)에 공급된다. 제어부는 편광 상태 전환 수단(4)을 구성하는 1/4 파장판(4a), 1/2 파장판(4b) 및 디폴라라이저(4c)를 필요에 따라 구동한다.

[0055] 상술한 바와 같이, 제 1 빔 스플리터(13a) 및 제 2 빔 스플리터(13b)에서 P 편광에 대한 반사율과 S 편광에 대한 반사율이 실질적으로 다르다. 따라서, 편광 모니터(13)에서는, 제 1 빔 스플리터(13a)로부터의 반사광이, 예컨대, 제 1 빔 스플리터(13a)에의 입사광의 10% 정도의 S 편광 성분(제 1 빔 스플리터(13a)에 대한 S 편광 성분으로서, 제 2 빔 스플리터(13b)에 대한 P 편광 성분)과, 예컨대, 제 1 빔 스플리터(13a)에의 입사광의 1% 정도의 P 편광 성분(제 1 빔 스플리터(13a)에 대한 P 편광 성분으로서, 제 2 빔 스플리터(13b)에 대한 S 편광 성분)을 포함하게 된다.

[0056] 또한, 제 2 빔 스플리터(13b)로부터의 반사광은, 예컨대, 제 1 빔 스플리터(13a)에의 입사광의 $10\% \times 1\% = 0.1\%$ 정도의 P 편광 성분(제 1 빔 스플리터(13a)에 대한 P 편광 성분으로서, 제 2 빔 스플리터(13b)에 대한 S 편광 성분)과, 예컨대, 제 1 빔 스플리터(13a)에의 입사광의 $1\% \times 10\% = 0.1\%$ 정도의 S 편광 성분(제 1 빔 스플리터(13a)에 대한 S 편광 성분으로서, 제 2 빔 스플리터(13b)에 대한 P 편광 성분)을 포함하게 된다.

[0057] 이렇게 해서, 편광 모니터(13)에서는, 제 1 빔 스플리터(13a)가 그 반사 특성에 따라, 입사광의 편광 상태와는 다른 편광 상태의 반사광을 광로로부터 출력하는 기능을 갖는다. 그 결과, 제 2 빔 스플리터(13b)의 편광 특성에 의한 편광 변동의 영향을 약간 받지만, 제 1 광강도 검출기(13c)의 출력(제 2 빔 스플리터(13b)의 투과광의 강도에 관한 정보, 즉, 제 1 빔 스플리터(13a)로부터의 반사광과 거의 같은 편광 상태의 빛의 강도에 관한 정보)에 근거해, 제 1 빔 스플리터(13a)에의 입사광의 편광 상태(편광도)를, 나아가서는 마스크(M)에의 조명광의 편광 상태를 검지할 수 있다.

[0058] 또한, 편광 모니터(13)에서는, 제 1 빔 스플리터(13a)에 대한 P 편광이 제 2 빔 스플리터(13b)에 대한 S 편광으로 되고, 또한, 제 1 빔 스플리터(13a)에 대한 S 편광이 제 2 빔 스플리터(13b)에 대한 P 편광으로 되도록 설정되어 있다. 그 결과, 제 2 광강도 검출기(13d)의 출력(제 1 빔 스플리터(13a) 및 제 2 빔 스플리터(13b)에서 순차적으로 반사된 빛의 강도에 관한 정보)에 근거해, 제 1 빔 스플리터(13a)에의 입사광의 편광 상태의 변화의 영향을 실질적으로 받지 않고, 제 1 빔 스플리터(13a)에의 입사광의 광량(강도)을, 나아가서는 마스크(M)에의 조명광의 광량을 검지할 수 있다.

[0059] 이렇게 해서, 편광 모니터(13)를 이용하여 제 1 빔 스플리터(13a)에의 입사광의 편광 상태를 검지하고, 나아가서는 마스크(M)에의 조명광이 소망 비편광 상태 또는 직선 편광 상태가 되어 있는지 여부를 판정할 수 있다. 그리고, 제어부가 편광 모니터(13)의 검지 결과에 근거해, 마스크(M)(나아가서는 웨이퍼(W))에의 조명광이 소망 비편광 상태 또는 직선 편광 상태로 되지 않은 것을 확인한 경우, 편광 상태 전환 수단(4)을 구성하는 1/4 광장판(4a), 1/2 광장판(4b) 및 디폴라라이저(4c)를 구동 조정하여, 마스크(M)에의 조명광의 상태를 소망 비편광 상태 또는 직선 편광 상태로 조정할 수 있다.

[0060] 또, 고리 형상 조명용 회절 광학 소자(5) 대신, 4극 조명용 회절 광학 소자(도시하지 않음)를 조명 광로 중에 설정함으로써, 4극 조명을 할 수 있다. 4극 조명용 회절 광학 소자는 직사각형 형상의 단면을 갖는 평행 광속이 입사된 경우에, 그 패널드에 4극 형상의 광강도 분포를 형성하는 기능을 갖는다. 따라서, 4극 조명용 회절 광학 소자를 통과한 광속은 마이크로 플라이 아이 렌즈(12)의 입사면에, 예컨대, 광축(AX)을 중심으로 한 4개의 원 형상의 조야로 이루어지는 4극 형상의 조야를 형성한다. 그 결과, 마이크로 플라이 아이 렌즈(12)의 뒤쪽 초점면에도 그 입사면에 형성된 조야와 같은 4극 형상의 2차 광원이 형성된다.

[0061] 또한, 고리 형상 조명용 회절 광학 소자(5) 대신, 원형 조명용 회절 광학 소자(도시하지 않음)를 조명 광로 중에 설정함으로써, 통상의 원형 조명을 행할 수 있다. 원형 조명용 회절 광학 소자는 직사각형 형상의 단면을 갖는 평행 광속이 입사된 경우에, 패널드에 원 형상의 광강도 분포를 형성하는 기능을 갖는다. 따라서, 원형 조명용 회절 광학 소자를 통과한 광속은 마이크로 플라이 아이 렌즈(12)의 입사면에, 예컨대, 광축(AX)을 중심으로 한 원 형상의 조야로 이루어지는 4극 형상의 조야를 형성한다. 그 결과, 마이크로 플라이 아이 렌즈(12)의 뒤쪽 초점면에도 그 입사면에 형성된 조야와 같은 원 형상의 2차 광원이 형성된다.

[0062] 또한, 고리 형상 조명용 회절 광학 소자(5) 대신, 다른 복수극 조명용 회절 광학 소자(도시하지 않음)를 조명 광로 중에 설정함으로써, 여러 가지 복수극 조명(2극 조명, 8극 조명 등)을 행할 수 있다. 마찬가지로, 고리 형상 조명용 회절 광학 소자(5) 대신, 적당한 특성을 갖는 회절 광학 소자(도시하지 않음)를 조명 광로 중에 설정함으로써, 여러 가지 형태의 변형 조명을 행할 수 있다.

[0063] 본 실시예에서, 고리 형상의 회절 광학 소자(5) 대신, 이른바, 둘레 방향 편광 고리 형상 조명용 회절 광학 소자(50)를 조명 광로 중에 설정함으로써, 고리 형상의 2차 광원을 통과하는 광속이 둘레 방향 편광 상태로 설정된 변형 조명, 즉, 둘레 방향 편광 고리 형상 조명을 행할 수 있다. 도 11은 본 실시예에 따른 둘레 방향 편광 고리 형상 조명용 회절 광학 소자의 구성을 개략적으로 나타내는 도면이다. 또한, 도 12는 둘레 방향 편광 상태로 설정된 고리 형상의 2차 광원을 개략적으로 나타내는 도면이다.

[0064] 도 11 및 도 12를 참조하면, 본 실시예에 따른 둘레 방향 편광 고리 형상 조명용 회절 광학 소자(50)는 서로 같은 직사각형 형상의 단면을 갖고, 또한, 빛의 투과 방향(Y 방향)에 따른 두께(광축 방향의 길이)가 서로 다른 4 종류의 기본 소자(50A ~ 50D)를 종횡으로, 또한 조밀하게 배치함으로써 구성되어 있다. 여기서, 제 1 기본 소자(50A)의 두께가 가장 크고, 제 4 기본 소자(50D)의 두께가 가장 작으며, 제 2 기본 소자(50B)의 두께는 제 3

기본 소자(50C)의 두께보다 크게 설정되어 있다.

[0065] 또한, 회절 광학 소자(50)는 제 1 기본 소자(50A)와, 제 2 기본 소자(50B)와, 제 3 기본 소자(50C)와, 제 4 기본 소자(50D)를 거의 동수(同數) 포함하고, 4종류의 기본 소자(50A ~ 50D)는 거의 랜덤 배치되어 있다. 또한, 각 기본 소자(50A ~ 50D)의 마스크쪽에는 회절면(도면 중 사선부로 나타냄)이 형성되고, 각 기본 소자(50A ~ 50D)의 회절면이 광축(AX)(도 11에는 도시하지 않음)과 직교하는 하나의 평면에 따르도록 정렬되어 있다. 그 결과, 회절 광학 소자(50)의 마스크쪽의 면은 평면 형상이지만, 회절 광학 소자(50)의 광원쪽의 면은 각 기본 소자(50A ~ 50D)의 두께의 차이에 의해 요철 형상으로 되어있다.

[0066] 그리고, 제 1 기본 소자(50A)의 회절면은 도 12에 나타내는 고리 형상의 2차 광원(31) 중, 광축(AX)을 지나는 Z 방향의 축선에 대해 대칭적인 한 쌍의 원호 형상 영역(31A)을 형성하도록 구성되어 있다. 즉, 도 13에 나타내는 바와 같이, 제 1 기본 소자(50A)는 회절 광학 소자(50)의 파 필드(나아가서는 각 기본 소자(50A ~ 50D)의 파 필드)(50E)에 광축(AX)을 지나는 Z 방향의 축선에 대해 대칭적인 한 쌍의 원호 형상의 광강도 분포(32A)(한 쌍의 원호 형상 영역(31A)에 대응)를 형성하는 기능을 갖는다.

[0067] 제 2 기본 소자(50B)의 회절면은 광축(AX)을 지나는 Z 방향의 축선을 Y축 기준으로 -45도 회전시킨(도 12 중 반 시계 방향으로 45도 회전시킨) 축선에 대해 대칭적인 한 쌍의 원호 형상 영역(31B)을 형성하도록 구성되어 있다. 즉, 도 14에 나타내는 바와 같이, 제 2 기본 소자(50B)는 파 필드(50E)에 광축(AX)을 지나는 Z 방향의 축선을 Y축 기준으로 -45도 회전시킨 축선에 대해 대칭적인 한 쌍의 원호 형상의 광강도 분포(32B)(한 쌍의 원호 형상 영역(31B)에 대응)를 형성하는 기능을 갖는다.

[0068] 제 3 기본 소자(50C)의 회절면은 광축(AX)을 지나는 X 방향의 축선에 대해 대칭적인 한 쌍의 원호 형상 영역(31C)을 형성하도록 구성되어 있다. 즉, 도 15에 나타내는 바와 같이, 제 3 기본 소자(50C)는 파 필드(50E)에 광축(AX)을 지나는 X 방향의 축선에 대해 대칭적인 한 쌍의 원호 형상의 광강도 분포(32C)(한 쌍의 원호 형상 영역(31C)에 대응)를 형성하는 기능을 갖는다.

[0069] 제 4 기본 소자(50D)의 회절면은 광축(AX)을 지나는 Z 방향의 축선을 Y축 기준으로 +45도 회전시킨(도 12 중 시계 방향으로 45도 회전시킨) 축선에 대해 대칭적인 한 쌍의 원호 형상 영역(31D)을 형성하도록 구성되어 있다. 즉, 도 16에 나타내는 바와 같이, 제 4 기본 소자(50D)는 파 필드(50E)에 광축(AX)을 지나는 Z 방향의 축선을 Y축 기준으로 +45도 회전시킨 축선에 대해 대칭적인 한 쌍의 원호 형상의 광강도 분포(32D)(한 쌍의 원호 형상 영역(31D)에 대응)를 형성하는 기능을 갖는다. 또, 각 원호 형상 영역(31A ~ 31D)의 크기는 서로 거의 같고, 8 개의 원호 형상 영역(31A ~ 31D)이 서로 중복되거나 서로 겹쳐지지 않게 광축(AX)을 중심으로 한 고리 형상의 2차 광원(31)을 구성하고 있다.

[0070] 또한, 본 실시예에서는, 각 기본 소자(50A ~ 50D)가 선광성을 갖는 광학 재료인 수정에 의해 구성되고, 각 기본 소자(50A ~ 50D)의 결정 광학축이 광축(AX)과 거의 일치하도록 설정되어 있다. 이하, 도 17을 참조하여 수정의 선광성에 대하여 간단히 설명하는다. 도 17을 참조하면 두께 d의 수정으로 이루어지는 평행 평면판 형상의 광학 부재(35)가 그 결정 광학축과 광축(AX)이 일치하도록 배치되어 있다. 이 경우, 광학 부재(35)의 선광성에 의해 입사된 직선 편광의 편광 방향이 광축(AX) 기준으로 Θ만큼 회전한 상태로 사출된다.

[0071] 이 때, 광학 부재(35)의 선광성에 의한 편광 방향의 회전각 Θ는 광학 부재(35)의 두께 d와 수정의 선광능(旋光能) ρ에 의해 다음 식 (1)로 나타내어진다.

$$\Theta = d \cdot \rho \quad (1)$$

[0073] 일반적으로, 수정의 선광능 ρ는 사용광의 파장이 짧아지면 커지는 경향이 있지만, 「응용 광학 II」의 제 167 페이지의 기술에 의하면 250.3nm의 파장을 갖는 빛에 대한 수정의 선광능 ρ는 153.9도/mm이다.

[0074] 본 실시예에서, 제 1 기본 소자(50A)는 도 13에 나타내는 바와 같이, Z 방향으로 편광 방향을 갖는 직선 편광의 빛이 입사된 경우, Z 방향을 Y축 기준으로 +180도 회전시킨 방향, 즉, Z 방향으로 편광 방향을 갖는 직선 편광의 빛을 사출하도록 두께 dA가 설정되어 있다. 그 결과, 파 필드(50E)에 형성되는 한 쌍의 원호 형상의 광강도 분포(32A)를 통과하는 광속의 편광 방향도 Z 방향으로 되고, 도 12에 나타내는 한 쌍의 원호 형상 영역(31A)을 통과하는 광속의 편광 방향도 Z 방향으로 된다.

[0075] 제 2 기본 소자(50B)는, 도 14에 나타내는 바와 같이, Z 방향으로 편광 방향을 갖는 직선 편광의 빛이 입사된 경우, Z 방향을 Y축 기준으로 +135도 회전시킨 방향, 즉, Z 방향을 Y축 기준으로 -45도 회전시킨 방향으로 편광 방향을 갖는 직선 편광의 빛을 사출하도록 두께 dB가 설정되어 있다. 그 결과, 파 필드(50E)에 형성되는 한 쌍

의 원호 형상의 광강도 분포(32B)를 통과하는 광속의 편광 방향도 Z 방향을 Y축 기준으로 -45도 회전시킨 방향으로 되고, 도 12에 나타내는 한 쌍의 원호 형상 영역(31A)을 통과하는 광속의 편광 방향도 Z 방향을 Y축 기준으로 -45도 회전시킨 방향으로 된다.

[0076] 제 3 기본 소자(50C)는, 도 15에 나타내는 바와 같이, Z 방향으로 편광 방향을 갖는 직선 편광의 빛이 입사된 경우, Z 방향을 Y축 기준으로 +90도 회전시킨 방향, 즉, X 방향으로 편광 방향을 갖는 직선 편광의 빛을 사출하도록 두께 dC가 설정되어 있다. 그 결과, 파 필드(50E)에 형성되는 한 쌍의 원호 형상의 광강도 분포(32C)를 통과하는 광속의 편광 방향도 X 방향으로 되고, 도 12에 나타내는 한 쌍의 원호 형상 영역(31C)을 통과하는 광속의 편광 방향도 X 방향으로 된다.

[0077] 제 4 기본 소자(50D)는 도 16에 나타내는 바와 같이, Z 방향으로 편광 방향을 갖는 직선 편광의 빛이 입사된 경우, Z 방향을 Y축 기준으로 +45도 회전시킨 방향으로 편광 방향을 갖는 직선 편광의 빛을 사출하도록 두께 dD가 설정되어 있다. 그 결과, 파 필드(50E)에 형성되는 한 쌍의 원호 형상의 광강도 분포(32D)를 통과하는 광속의 편광 방향도 Z 방향을 Y축 기준으로 +45도 회전시킨 방향이 되고, 도 12에 나타내는 한 쌍의 원호 형상 영역(31D)을 통과하는 광속의 편광 방향도 Z 방향을 Y축 기준으로 +45도 회전시킨 방향으로 된다.

[0078] 본 실시예에서는, 둘레 방향 편광 고리 형상 조명시에, 둘레 방향 편광 고리 형상 조명 회절 광학 소자(5)를 조명 광로 중에 설정하고, Z 방향으로 편광 방향을 갖는 직선 편광의 빛을 회절 광학 소자(5)에 입사시킨다. 그 결과, 마이크로 플라이 아이 렌즈(12)의 뒤쪽 초점면(즉, 조명 동공 또는 그 근방)에는, 도 12에 나타내는 바와 같이, 고리 형상의 2차 광원(고리 형상의 조명 동공 분포)(31)이 형성되고, 이 고리 형상의 2차 광원(31)을 통과하는 광속이 둘레 방향 편광 상태로 설정된다.

[0079] 둘레 방향 편광 상태에서는, 고리 형상의 2차 광원(31)을 구성하는 원호 형상 영역(31A ~ 31D)을 각각 통과하는 광속은 각 원호 형상 영역(31A ~ 31D)의 원주 방향에 따른 중심 위치에서의 광축(AX)을 중심으로 하는 원의 접선과 거의 일치한 편광 방향을 갖는 직선 편광 상태로 된다.

[0080] 이와 같이 본 실시예에서, 입사 광속에 근거해, 소정면에 소정 광강도 분포를 형성하기 위한 광속 변환 소자(50)가 선광성을 갖는 광학 재료에 의해 형성되어, 상기 입사 광속에 근거해, 상기 소정 광속도 분포 중 제 1 영역 분포(32A)를 형성하기 위한 제 1 기본 소자(50A)와, 선광성을 갖는 광학 재료에 의해 형성되어 상기 입사 광속에 근거해, 상기 소정 광강도 분포 중 제 2 영역 분포(32B)를 형성하기 위한 제 2 기본 소자(50B)를 구비하고, 제 1 기본 소자(50A)와 제 2 기본 소자(50B)의 빛의 투과 방향에 따른 두께가 서로 다르다.

[0081] 이러한 구성에 의해, 본 실시예에서, 개구 조리개에 대하여 큰 광량 손실이 발생하는 종래 기술과는 달리, 광속 변환 소자로서의 회절 광학 소자(50)의 회절 작용과 선광 작용에 의해 광량 손실을 실질적으로 발생시키지 않고, 둘레 방향 편광 상태의 고리 형상의 2차 광원(31)을 형성할 수 있다.

[0082] 여기서, 본 실시예의 바람직한 형태에 의하면, 제 1 기본 소자(50A)의 두께 및 제 2 기본 소자(50B)의 두께는 직선 편광이 입사되었을 때에 제 1 영역 분포(32A)를 형성하는 직선 편광의 편광 방향과 제 2 영역 분포(32B)를 형성하는 직선 편광의 편광 방향이 다르도록 설정되어 있다. 또한 제 1 영역 분포(32A) 및 제 2 영역 분포(32B)는 소정면에서의 소정점을 중심으로 하는 소정 고리 형상 영역인 소정 고리 형상 영역의 적어도 일부에 위치 결정되고, 제 1 영역 분포(32A) 및 제 2 영역 분포(32B)를 통과하는 광속은 소정 고리 형상 영역의 원주 방향을 편광 방향으로 하는 직선 편광을 주성분으로 하는 편광 상태를 갖는 것이 바람직하다.

[0083] 이 경우, 소정 광강도 분포는 소정 고리 형상 영역과 거의 동일 형상의 외형을 갖고, 제 1 영역 분포(32A)를 통과하는 광속의 편광 상태는 제 1 영역 분포(32A)의 원주 방향에 따른 중심 위치에서의 소정점을 중심으로 하는 원의 접선 방향과 거의 일치한 직선 편광 성분을 갖고, 제 2 영역 분포(32B)를 통과하는 광속의 편광 상태는 제 2 영역 분포(32B)의 원주 방향에 따른 중심 위치에서의 소정점을 중심으로 하는 원의 접선 방향과 거의 일치한 직선 편광 성분을 갖는 것이 바람직하다. 또는, 소정 광강도 분포는 소정 고리 형상 영역 내에 분포하는 다각 형상이며, 제 1 영역 분포를 통과하는 광속의 편광 상태는 제 1 영역 분포의 원주 방향에 따른 중심 위치에서의 소정점을 중심으로 하는 원의 접선 방향과 거의 일치한 직선 편광 성분을 갖고, 제 2 영역 분포를 통과하는 광속의 편광 상태는 제 2 영역 분포의 원주 방향에 따른 중심 위치에서의 소정점을 중심으로 하는 원의 접선 방향과 거의 일치한 직선 편광 성분을 갖는 것이 바람직하다.

[0084] 또한, 본 실시예의 바람직한 형태에 의하면, 제 1 기본 소자 및 제 2 기본 소자는 사용 파장의 빛에 대하여 100 도/mm 이상의 선광능을 갖는 광학 재료에 의해 형성되어 있다. 또한, 제 1 기본 소자 및 제 2 기본 소자는 수정에 의해 형성되어 있는 것이 바람직하다. 또한, 광속 변환 소자는 제 1 기본 소자와 제 2 기본 소자를 거의

동수 포함하는 것이 바람직하다. 또한, 제 1 기본 소자 및 제 2 기본 소자는 회절 작용 또는 굴절 작용을 갖는 것이 바람직하다.

[0085] 또한, 본 실시예의 바람직한 형태에 의하면, 제 1 기본 소자는 입사 광속에 근거해, 적어도 2개의 제 1 영역 분포를 소정면 상에 형성하고, 제 2 기본 소자는 입사 광속에 근거해, 적어도 2개의 제 2 영역 분포를 소정면 상에 형성하는 것이 바람직하다. 또한, 선광성을 갖는 광학 재료에 의해 형성되어, 입사 광속에 근거해, 소정 광강도 분포 중 제 3 영역 분포(32C)를 형성하기 위한 제 3 기본 소자(50C)와, 선광성을 갖는 광학 재료에 의해 형성되어 입사 광속에 근거해 소정 광강도 분포 중 제 4 영역 분포(32D)를 형성하기 위한 제 4 기본 소자(50D)를 구비하는 것이 바람직하다.

[0086] 또한, 본 실시예에서, 입사 광속에 근거해, 해당 입사 광속의 단면 형상과는 다른 형상의 소정 광강도 분포를 소정면 상에 형성하기 위한 광속 변환 소자(50)가 소정면 상에 소정 광강도 분포를 형성하기 위한 회절면 또는 굴절면을 구비하고, 소정 광강도 분포는 소정면에서의 소정점을 중심으로 하는 소정 고리 형상 영역인 소정 고리 형상 영역의 적어도 일부에 분포하고 소정 고리 형상 영역을 통과하는 광속 변환 소자로부터의 광속은 소정 고리 형상 영역의 원주 방향을 편광 방향으로 하는 직선 편광을 주성분으로 하는 편광 상태를 갖고 있다.

[0087] 이러한 구성에 의해, 본 실시예에서, 개구 조리개에서 큰 광량 손실이 발생하는 종래 기술과는 달리, 광속 변환 소자로서의 회절 광학 소자(50)의 회절 작용과 선광 작용에 의해 광량 손실을 실질적으로 발생시키지 않고, 둘레 방향 편광 상태의 고리 형상의 2차 광원(31)을 형성할 수 있다.

[0088] 본 실시예의 바람직한 형태에 의하면, 소정 광강도 분포는 다극 형상 또는 고리 형상의 외형을 갖는다. 또한 광속 변환 소자는 선광성을 갖는 광학 재료에 의해 형성되는 것이 바람직하다.

[0089] 또한, 본 실시예의 조명 광학 장치는 광원으로부터의 광속에 근거해, 피조사면을 조명하는 조명 광학 장치로서, 조명 광학 장치의 조명 동공 또는 그 근방에 조명 동공 분포를 형성하여 광원으로부터의 광속을 변환하기 위해 상술한 광속 변환 소자를 구비하고 있다. 이러한 구성에 의해, 본 실시예의 조명 광학 장치에서는, 광량 손실을 양호하게 억제하면서, 둘레 방향 편광 상태의 고리 형상의 조명 동공 분포를 형성할 수 있다.

[0090] 여기서, 광속 변환 소자는 특성이 상이한 다른 광속 변환 소자와 교환 가능하게 구성되어 있는 것이 바람직하다. 또한, 광속 변환 소자와 피조사면 사이 광로 중에 배치된 과면 분할형(波面分割型)의 광학 인테그레이터를 더 구비하고, 광속 변환 소자는 입사 광속에 근거해, 광학 인테그레이터의 입사면에 소정 광강도 분포를 형성하는 것이 바람직하다.

[0091] 또한, 본 실시예의 조명 광학 장치의 바람직한 형태에 의하면, 소정면 상의 광강도 분포와, 소정 고리 형상 영역을 통과하는 광속 변환 소자로부터의 광속의 편광 상태 중 적어도 어느 한쪽은 광원과 피조사면 사이 광로 중에 배치되는 광학 부재에 의한 영향을 고려하여 설정된다. 또한, 광속 변환 소자로부터의 광속의 편광 상태를, 피조사면에 조사되는 빛이 S 편광을 주성분으로 하는 편광 상태가 되도록, 설정하는 것이 바람직하다.

[0092] 또한, 본 실시예의 노광 장치는 마스크를 조명하기 위한 상술한 조명 광학 장치를 구비하고, 마스크의 패턴을 감광성 기판 상에 노광한다. 여기서, 소정면 상의 광강도 분포와 소정 고리 형상 영역을 통과하는 광속 변환 소자로부터의 광속의 편광 상태 중 적어도 어느 한쪽은 광원과 감광성 기판 사이 광로 중에 배치되는 광학 부재에 의한 영향을 고려하여 설정되는 것이 바람직하다. 또한, 광속 변환 소자로부터의 광속의 편광 상태를, 감광성 기판에 조사되는 빛이 S 편광을 주성분으로 하는 편광 상태가 되도록, 설정하는 것이 바람직하다.

[0093] 또한, 본 실시예의 노광 방법에서는, 상술한 조명 광학 장치를 이용하여 마스크를 조명하는 조명 공정과, 마스크 패턴을 감광성 기판 상에 노광하는 노광 공정을 포함하고 있다. 여기서, 소정면 상의 광강도 분포와 소정 고리 형상 영역을 통과하는 광속 변환 소자로부터의 광속의 편광 상태 중 적어도 어느 한쪽은 광원과 감광성 기판 사이의 광로 중에 배치되는 광학 부재에 의한 영향을 고려하여 설정되는 것이 바람직하다. 또한, 광속 변환 소자로부터의 광속의 편광 상태를, 감광성 기판에 조사되는 빛이 S 편광을 주성분으로 하는 편광 상태가 되도록, 설정하는 것이 바람직하다.

[0094] 환언하면, 본 실시예의 조명 광학 장치에서는, 광량 손실을 양호하게 억제하면서, 둘레 방향 편광 상태의 고리 형상의 조명 동공 분포를 형성할 수 있다. 그 결과, 본 실시예의 노광 장치에서는, 광량 손실을 양호하게 억제하면서 둘레 방향 편광 상태의 고리 형상의 조명 동공 분포를 형성할 수 있는 조명 광학 장치를 이용하기 때문에, 적절한 조명 조건하에 임의 방향의 미세 패턴을 충실히, 또한 높은 스루풋으로 전사할 수 있다.

[0095] 또, 둘레 방향 편광 상태의 고리 형상의 조명 동공 분포에 근거하는 둘레 방향 편광 고리 형상 조명에서는, 피

조사면으로서의 웨이퍼(W)에 조사되는 빛이 S 편광을 주성분으로 하는 편광 상태로 된다. 여기서, S 편광이란 입사면에 대하여 수직인 방향으로 편광 방향을 갖는 직선 편광(입사면에 수직인 방향으로 전기 벡터가 진동하고 있는 편광)이다. 다만, 입사면이란, 빛이 매질의 경계면(피조사면 : 웨이퍼(W)의 표면)에 도달했을 때에 그 점에서의 경계면의 법선과 빛의 입사 방향을 포함하는 면으로서 정의된다.

[0096] 또, 상술한 실시예에서는, 서로 같은 직사각형 형상의 단면을 갖는 4종류의 기본 소자(50A ~ 50D)를 거의 동수 만큼 종횡으로, 또한 조밀하게 랜덤 배치함으로써, 둘레 방향 편광 고리 형상 조명용 회절 광학 소자(50)를 구성하고 있다. 그러나, 이것에 한정되는 것이 아니라, 각 기본 소자의 수, 단면 형상, 종류 수, 배치 등에 대하여 여러 가지 변형예가 가능하다.

[0097] 또한, 상술한 실시예에서, 4종류의 기본 소자(50A ~ 50D)로 이루어지는 회절 광학 소자(50)를 이용하여 서로 중복하거나 서로 이격하지 않게 배열된 8개의 원호 형상 영역(31A ~ 31D)에 의해, 광축(AX)을 중심으로 한 고리 형상의 2차 광원(31)을 구성하고 있다. 그러나 이것에 한정되는 것은 아니고, 고리 형상의 2차 광원을 구성하는 영역의 수, 형상, 배치 등에 대하여 여러 가지 변형예가 가능하다.

[0098] 구체적으로는, 도 18(a)에 나타내는 바와 같이, 예컨대, 4종류의 기본 소자로 이루어지는 회절 광학 소자를 이용하여, 둘레 방향에 따라 서로 이격된 8개의 원호 형상 영역으로 이루어지는 둘레 방향 편광 상태의 8극 형상의 2차 광원(33a)을 형성할 수도 있다. 또한, 도 18(b)에 나타내는 바와 같이, 예컨대, 4종류의 기본 소자로 이루어지는 회절 광학 소자를 이용하여, 둘레 방향에 따라 서로 이격시킨 4개의 원호 형상 영역으로 이루어지는 둘레 방향 편광 상태의 4극 형상의 2차 광원(33b)을 형성할 수도 있다. 또, 이들 8극 형상의 2차 광원 또는 4극 형상의 2차 광원에서, 각 영역의 형상은 원호 형상에 한정되는 것이 아니라, 예컨대, 원 형상이나 타원 형상이나 부채꼴 형상이더라도 좋다. 또한, 도 19에 나타내는 바와 같이, 예컨대, 4종류의 기본 소자로 이루어지는 회절 광학 소자를 이용하여, 둘레 방향을 따라 서로 중복한 8개의 원호 형상 영역으로 이루어지는 둘레 방향 편광 상태의 고리 형상의 2차 광원(33c)을 형성할 수도 있다.

[0099] 또한, 둘레 방향을 따라 서로 이격한 4개 또는 8개의 영역으로 이루어지는 둘레 방향 편광 상태의 4극 형상 또는 8극 형상의 2차 광원 외에, 도 20(a)에 나타내는 바와 같이, 둘레 방향을 따라 서로 이격한 6개의 영역으로 이루어지는 둘레 방향 편광 상태의 6극 형상의 2차 광원을 형성하여도 좋다. 또한, 도 20(b)에 나타내는 바와 같이, 둘레 방향에 따라 서로 이격한 복수의 영역으로 이루어지는 둘레 방향 편광 상태의 다극 형상의 2차 광원과, 광축 상의 영역으로 이루어지는 비편광 상태 또는 직선 편광 상태의 중심극 상에 2차 광원을 갖는 2차 광원을 형성하더라도 좋다. 또한, 둘레 방향을 따라 서로 이격된 2개의 영역으로 이루어지는 둘레 방향 편광 상태의 2극 형상의 2차 광원을 형성하더라도 좋다.

[0100] 또한, 상술한 실시예에서, 도 11에 나타내는 바와 같이, 4종류의 기본 소자(50A ~ 50D)를 개별적으로 형성하고, 이를 소자를 조합시키는 것에 의해, 회절 광학 소자(50)를 구성하고 있다. 그러나, 이것에 한정되는 것이 아니라, 하나의 수정 기판에 대하여, 예컨대, 예칭 가공을 함으로써, 각 기본 소자(50A ~ 50D)의 사출쪽의 회절면 및 입사쪽의 요철면을 형성하여, 회절 광학 소자(50)를 일체적으로 구성할 수도 있다.

[0101] 또한, 상술한 실시예에서, 수정을 이용하여 각 기본 소자(50A ~ 50D)(나아가서는 회절 광학 소자(50))를 형성하고 있다. 그러나 이것에 한정되는 것이 아니라, 선광성을 갖는 다른 적당한 광학 재료를 이용하여, 각 기본 소자를 형성할 수도 있다. 이 경우, 사용 과장의 빛에 대하여 100도/mm 이상의 선광능을 갖는 광학 재료를 이용하는 것이 바람직하다. 즉, 선광능이 작은 광학 재료를 이용하면, 편광 방향의 소요 회전각을 얻기 위해 필요 한 두께가 너무 커져서, 광량 손실의 원인이 되므로 바람직하지 않다.

[0102] 또한, 상술한 실시예에서, 고리 형상의 조명 동공 분포(2차 광원)를 형성하고 있지만, 이것에 한정되는 것이 아니라, 조명 동공 또는 그 근방에 원 형상의 조명 동공 분포를 형성할 수도 있다. 또한, 고리 형상의 조명 동공 분포나 다극 형상의 조명 동공 분포에 더하여, 예컨대, 광축을 포함하는 중심 영역 분포를 형성함으로써, 이른바, 중심극을 수반하는 고리 형상 조명이나 중심극을 수반하는 복수극 조명을 실시할 수도 있다.

[0103] 또한, 상술한 실시예에서, 조명 동공 또는 그 근방에서 둘레 방향 편광 상태의 조명 동공 분포를 형성하고 있다. 그러나, 광속 변환 소자로서의 회절 광학 소자보다 웨이퍼쪽의 광학계(조명 광학계나 투영 광학계)의 편광 수차(리타레이션)에 기인하여 편광 방향이 변하는 경우가 있다. 이 경우에는, 이들 광학계의 편광 수차의 영향을 고려한 후에, 조명 동공 또는 그 근방에 형성되는 조명 동공 분포를 통과하는 광속의 편광 상태를 적절히 설정할 필요가 있다.

[0104] 또한, 상기한 편광 수차에 관련하고, 광속 변환 소자보다 웨이퍼쪽의 광학계(조명 광학계나 투영 광학계) 중에

배치된 반사 부재의 편광 특성에 기인하여 반사광이 편광 방향마다 위상차를 갖는 경우가 있다. 이 경우에도, 반사 부재의 편광 특성에 기인하는 위상차의 영향을 고려한 후에, 조명 동공 또는 그 근방에 형성되는 조명 동공 분포를 통과하는 광속의 편광 상태를 적절히 설정할 필요가 있다.

[0105] 또한, 광속 변환 소자보다 웨이퍼쪽의 광학계(조명 광학계나 투영 광학계) 중에 배치된 반사 부재의 편광 특성에 기인하여, 반사 부재의 반사율이 편광 방향에 의해 변화하는 경우가 있다. 이 경우, 편광 방향마다의 반사율을 고려하여, 조명 동공 또는 그 근방에 형성되는 광강도 분포에 오프셋을 맞추는 것, 즉, 각 기본 소자의 수로 분포를 마련하는 것이 바람직하다. 또한, 광속 변환 소자보다 웨이퍼쪽의 광학계의 투과율이 편광 방향에 의해 변화되는 경우에도 상기 수법을 마찬가지로 적용할 수 있다.

[0106] 또한, 상술한 실시예에서는, 회절 광학 소자(50)의 광원쪽의 면은 각 기본 소자(50A ~ 50D)의 두께의 차이에 의해 단차를 갖는 요철 형상으로 되어있다. 그래서, 도 21에 나타내는 바와 같이, 두께가 가장 큰 제 1 기본 소자(50A) 이외의 기본 소자, 즉, 제 2 기본 소자(50B), 제 3 기본 소자(50C) 및 제 4 기본 소자(50D)의 입사쪽에 보정 부재(36)를 부설하여, 회절 광학 소자(50)의 광원쪽(입사쪽)의 면도 평면 형상으로 구성할 수 있다. 이 경우, 선광성을 갖지 않는 광학 재료를 이용해 보정 부재(36)를 형성하게 된다.

[0107] 또한, 상술한 실시예에서는, 조명 동공 또는 그 근방에 형성되는 조명 동공 분포를 통과하는 광속이 원주 방향에 따른 직선 편광 성분만을 갖는 예를 나타내고 있다. 그러나 이것에 한정되는 것이 아니라, 조명 동공 분포를 통과하는 광속의 편광 상태가 원주 방향을 편광 방향으로 하는 직선 편광을 주성분으로 하는 상태이면, 본 발명의 소요(所要)의 효과를 얻을 수 있다.

[0108] 또한, 상술한 실시예에서는, 입사 광속에 근거해, 그 단면 형상과는 다른 형상의 광강도 분포를 소정면 상에 형성하기 위한 광속 변환 소자로서, 회절 작용을 갖는 복수 종류의 기본 소자로 이루어지는 회절 광학 소자를 이용하고 있다. 그러나, 이것에 한정되는 것이 아니라, 예컨대, 각 기본 소자의 회절면과 광학적으로 거의 등가인 굴절면을 갖는 복수 종류의 기본 소자, 즉, 굴절 작용을 갖는 복수 종류의 기본 소자로 이루어지는 굴절 광학 소자를 광속 변환 소자로서 이용할 수도 있다.

[0109] 상술한 실시예에 따른 노광 장치에서는 조명 광학 장치에 의해 마스크(레티클)를 조명하고(조명 공정), 투영 광학계를 이용하여 마스크에 형성된 전사용 패턴을 감광성 기판에 노광하는(노광 공정) 것에 의해, 마이크로 디바이스(반도체 소자, 활상 소자, 액정 표시 소자, 박막 자기 헤드 등)를 제조할 수 있다. 이하, 상술한 실시예의 노광 장치를 이용하여 감광성 기판으로서의 웨이퍼 등에 소정 회로 패턴을 형성함으로써, 마이크로 디바이스로서의 반도체 디바이스를 얻을 때의 수법의 일례에 대하여 도 22의 흐름도를 참조하여 설명하는다.

[0110] 우선, 도 22의 단계 301에서, 1로트의 웨이퍼 상에 금속막이 증착된다. 다음 단계 302에서, 그 1로트의 웨이퍼 상의 금속막 상에 포토 레지스트가 도포된다. 그 후, 단계 303에서, 상술한 실시예의 노광 장치를 이용하여, 마스크 상의 패턴 이미지가 그 투영 광학계를 통하여 그 1로트의 웨이퍼 상의 각 쇼트 영역에 순차적으로 노광 전사된다. 그 후, 단계 304에서, 그 1로트의 웨이퍼 상의 포토 레지스트의 현상이 행해진 후, 단계 305에서, 그 1로트의 웨이퍼 상에서 레지스트 패턴을 마스크로서 에칭하는 것에 의해, 마스크 상의 패턴에 대응하는 회로 패턴이 각 웨이퍼 상의 각 쇼트 영역에 형성된다. 그 후, 상부 레이어의 회로 패턴의 형성 등을 실시하는 것에 따라, 반도체 소자 등의 디바이스가 제조된다. 상술한 반도체 디바이스 제조 방법에 의하면, 자극 히 미세한 회로 패턴을 갖는 반도체 디바이스를 스루풋 좋게 얻을 수 있다.

[0111] 또한, 상술한 실시예의 노광 장치에서는, 플레이트(유리 기판) 상에 소정 패턴(회로 패턴, 전극 패턴 등)을 형성함으로써, 마이크로 디바이스로서의 액정 표시 소자를 얻을 수도 있다. 이하, 도 23의 흐름도를 참조하여 이 때의 수법의 일례에 대해 설명한다. 도 23에서, 패턴 형성 공정(401)에서는 상술한 실시예의 노광 장치를 이용하여, 마스크의 패턴을 감광성 기판(레지스트가 도포된 유리 기판 등)에 전사 노광하는 소위 광 리소그래피 공정이 실행된다. 이 광 리소그래피 공정에 의해, 감광성 기판 상에는 다수의 전극 등을 포함하는 소정 패턴이 형성된다. 그 후, 노광된 기판은 현상 공정, 에칭 공정, 레지스트 박리 공정 등의 각 공정을 경유함에 따라, 기판 상에 소정 패턴이 형성되어, 다음의 컬러 필터 형성 공정(402)으로 이행한다.

[0112] 다음에, 컬러 필터 형성 공정(402)에서는, R(Red), G(Green), B(Blue)에 대응한 3개의 도트의 조가 매트릭스 형상으로 다수 배열되거나, 또는, R, G, B의 3개의 스트라이프 필터의 조를 복수 수평 주사선 방향으로 배열한 컬러 필터를 형성한다. 그리고, 컬러 필터 형성 공정(402) 후에 셀 조립 공정(403)이 실행된다. 셀 조립 공정(403)에서는 패턴 형성 공정(401)에서 얻어진 소정 패턴을 갖는 기판 및 컬러 필터 형성 공정(402)에서 얻어진 컬러 필터 등을 이용하여 액정 패널(액정 셀)을 조립한다.

[0113] 셀 조립 공정(403)에서는, 예컨대, 패턴 형성 공정(401)에서 얻어진 소정 패턴을 갖는 기판과 컬러 필터 형성 공정(402)에서 얻어진 컬러 필터 사이에 액정을 주입하여, 액정 패널(액정 셀)을 제조한다. 그 후, 모듈 조립 공정(404)에서 조립된 액정 패널(액정 셀)의 표시 동작을 실시하는 전기 회로, 백 라이트 등의 각 부품을 부착 하여 액정 표시 소자로서 완성시킨다. 상술한 액정 표시 소자의 제조 방법에 의하면, 지극히 미세한 회로 패턴을 갖는 액정 표시 소자를 스루풋 좋게 얻을 수 있다.

[0114] 또, 상술한 실시예에서는, 노광광으로서 KrF 엑시머 레이저광(파장 : 248nm)이나 ArF 엑시머 레이저광(파장 : 193nm)을 이용하고 있지만, 이것에 한정되는 것이 아니라, 다른 적당한 레이저 광원, 예컨대, 파장 157nm의 레이저 광을 공급하는 F₂ 레이저 광원 등에 대하여 본 발명을 적용할 수도 있다. 또한, 상술한 실시예에서는, 조명 광학 장치를 구비한 노광 장치를 예로 들어 본 발명을 설명했지만, 마스크나 웨이퍼 이외의 피조사면을 조명 하기 위한 일반적인 조명 광학 장치에 본 발명을 적용할 수 있는 것은 명백하다.

[0115] 또한, 상술한 실시예에 있어서, 투영 광학계와 감광성 기판 사이 광로 중을 1.1보다 큰 굴절률을 갖는 액체(전형적으로는 액체)로 채우는 수법, 소위, 액침법(液浸法)을 적용하더라도 좋다. 이 경우, 투영 광학계와 감광성 기판 사이의 광로 중에 액체를 채우는 수법으로는 국제 공개 특허 공보 W099/49504에 개시되어 있는 것과 같은 국소적으로 액체를 채우는 수법이나, 일본 공개 특허 공보 평 6-124873호에 개시되어 있는 것과 같은 노광 대상 기판을 유지한 스테이지를 액조 내에서 이동시키는 수법이나, 일본 공개 특허 공보 평 10-303114호에 개시되어 있는 것과 같은 스테이지 상에 소정 깊이의 액조를 형성하고, 그 속에 기판을 유지하는 수법 등을 채용할 수 있다. 여기에서는, 국제 공개 특허 공보 W099/49504, 일본 공개 특허 공보 평 6-124873호 및 일본 공개 특허 공보 평 10-303114호를 참조로 하여 원용한다.

[0116] 또, 액체로는, 노광광에 대한 투과성이 있어 될 수 있는 한 굴절율이 높고, 투영 광학계나 기판 표면에 도포되어 있는 포토 레지스트에 대하여 안정적인 것을 이용하는 것이 바람직하고, 예컨대, KrF 엑시머 레이저광이나 ArF 엑시머 레이저광을 노광광으로 이용하는 경우에는, 액체로서 순수한 물, 탈이온수를 이용할 수 있다. 또한, 노광광으로서 F₂ 레이저광을 이용하는 경우는, 액체로서 F₂ 레이저광을 투과 가능한, 예컨대, 불소계 오일이나 과불화 폴리에테르(PFPE) 등의 불소계의 액체를 이용하면 좋다.

부호의 설명

도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명

1 : 광원 4 : 편광 상태 전환 수단

4a : 1/4 파장판 4b : 1/2 파장판

4c : 디폴라라이저(depolarizer)

5, 50 : 회절 광학 소자(광속 변환 소자)

6 : 아포칼 렌즈 8 : 원추 액시콘계

9, 10 : 실린드리컬 렌즈쌍 11 : 줌 렌즈

12 : 마이크로 플라이 아이 렌즈(micro fly-eye lens)

13 : 편광 모니터 13a : 빔 스플리터(beam splitter)

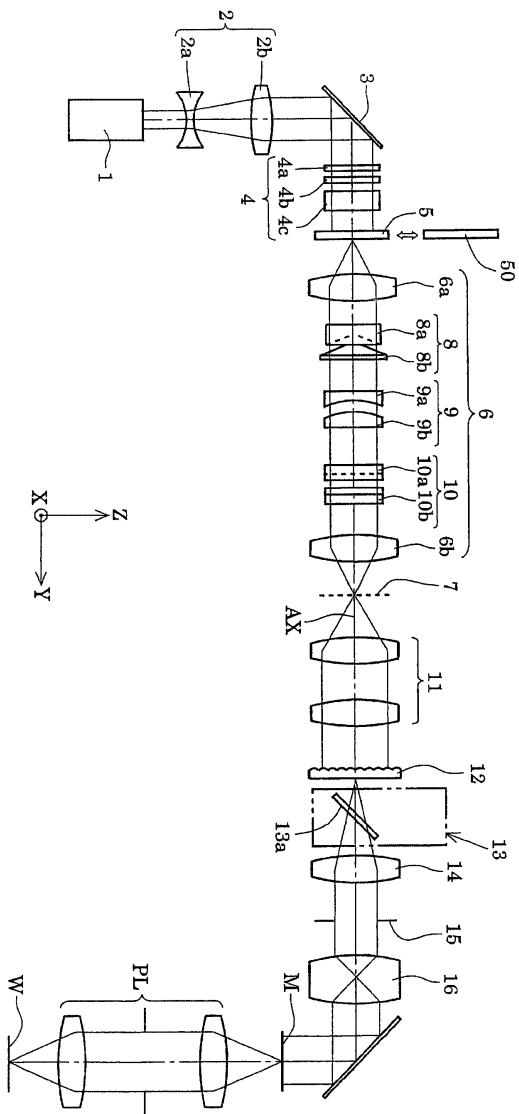
14 : 콘덴서 광학계 15 : 마스크 블라인드

16 : 결상 광학계 M : 마스크

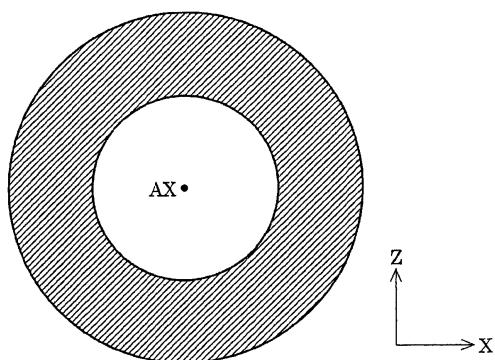
PL : 투영 광학계 W: 웨이퍼

도면

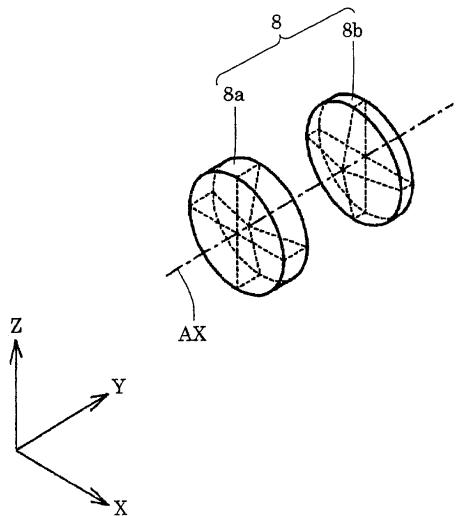
도면1



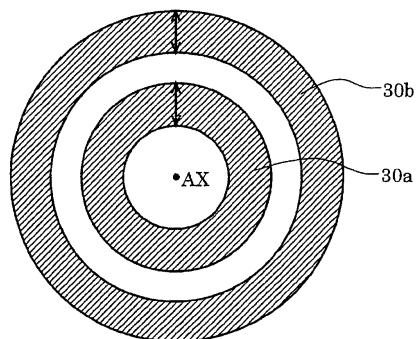
도면2



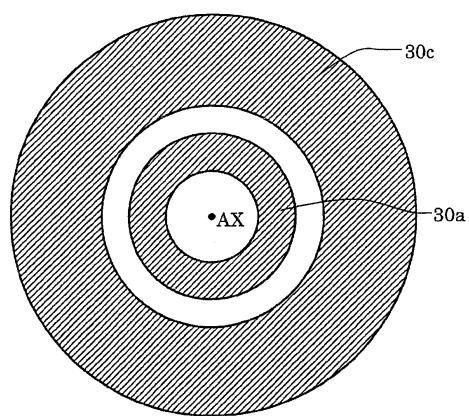
도면3



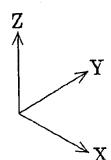
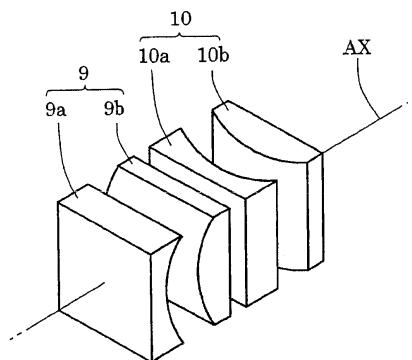
도면4



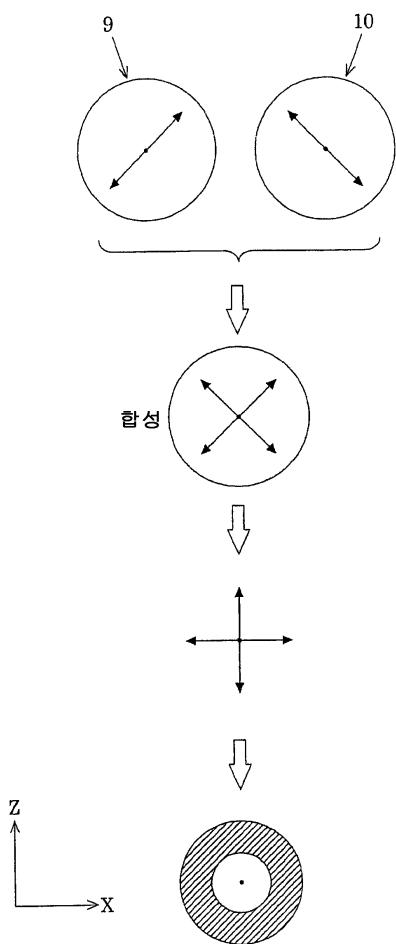
도면5



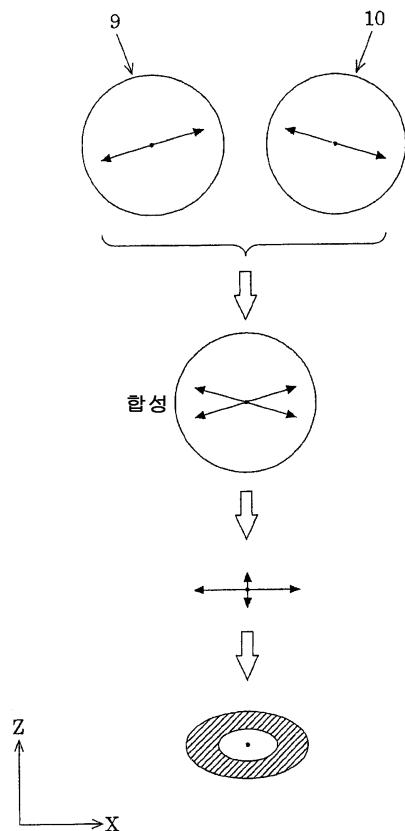
도면6



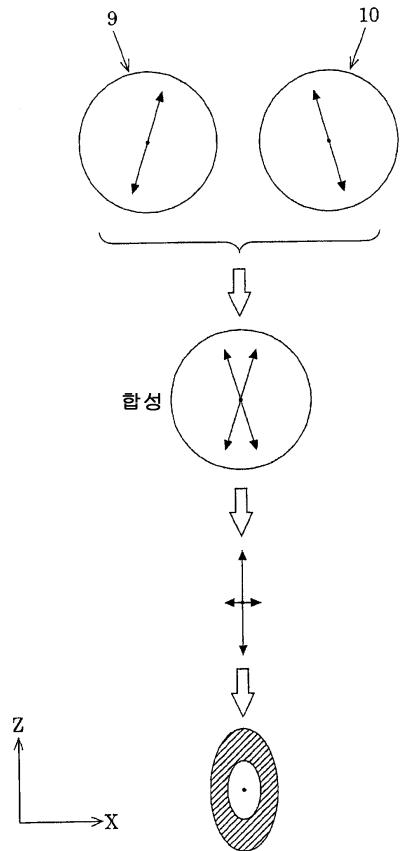
도면7



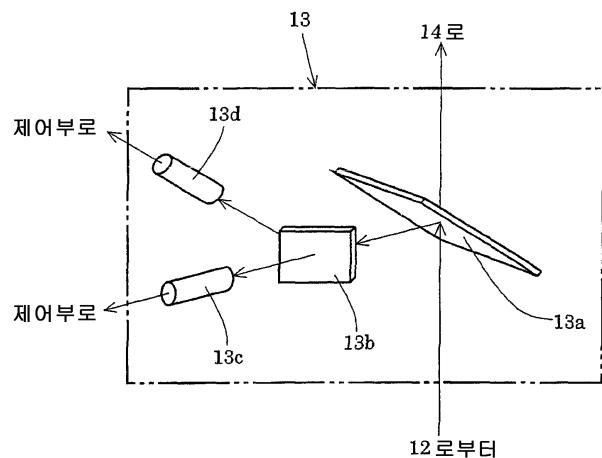
도면8



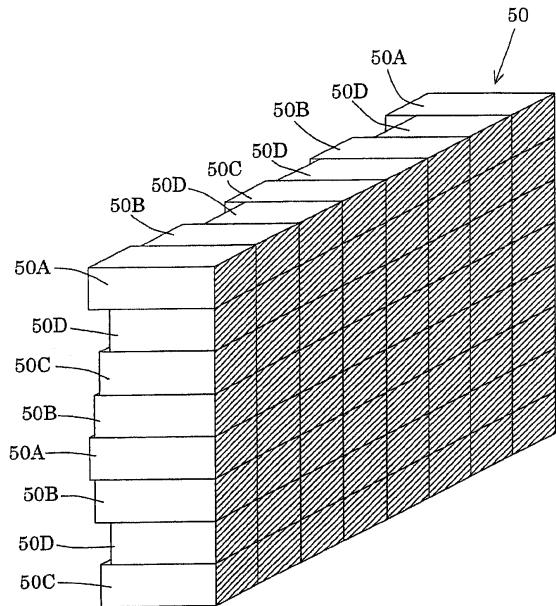
도면9



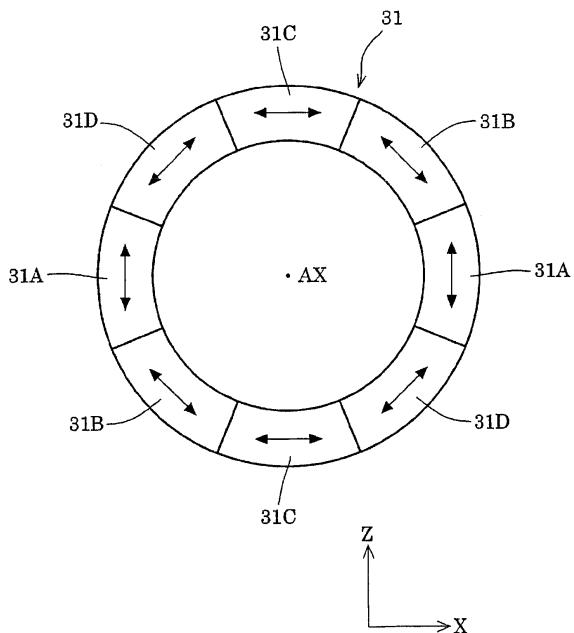
도면10



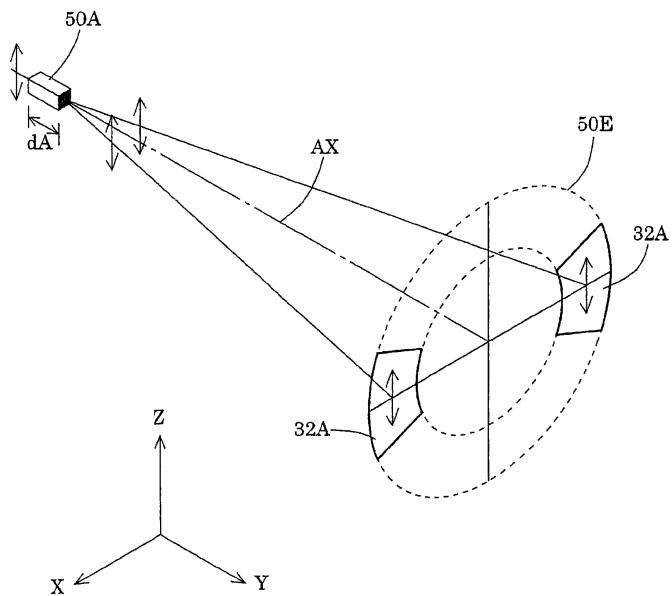
도면11



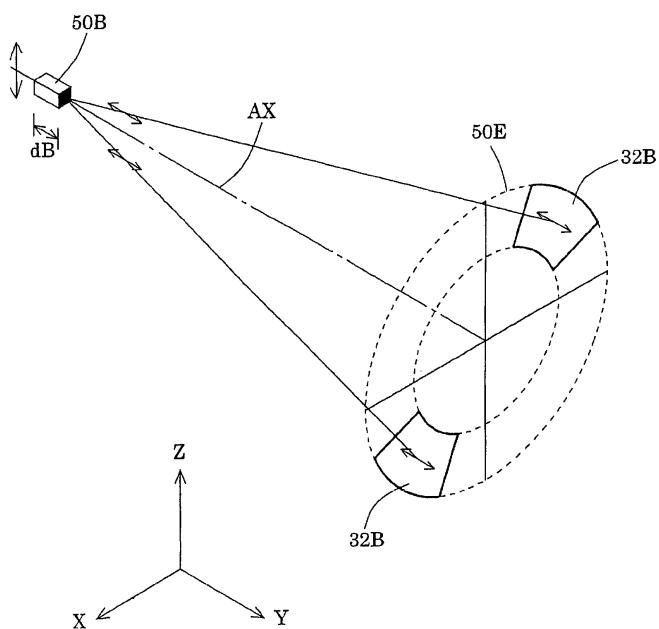
도면12



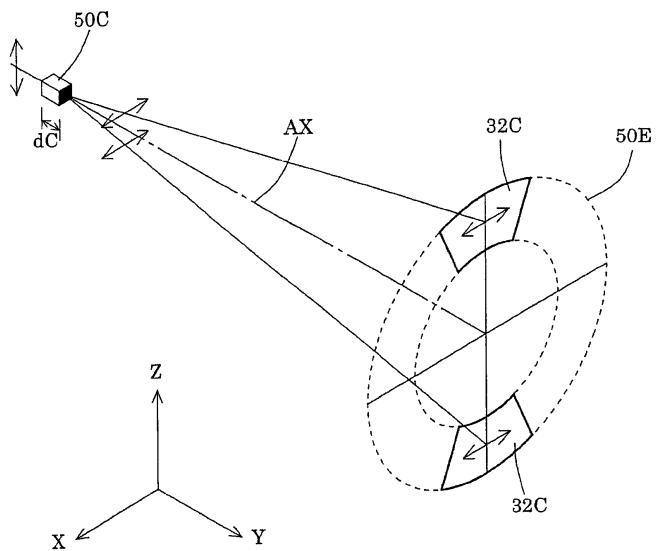
도면13



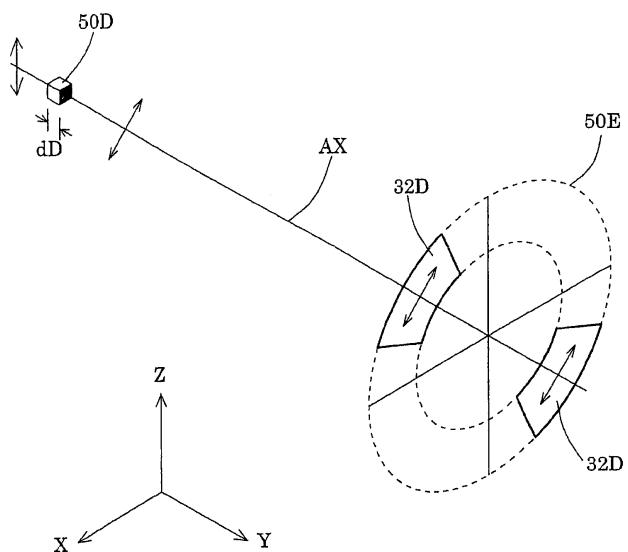
도면14



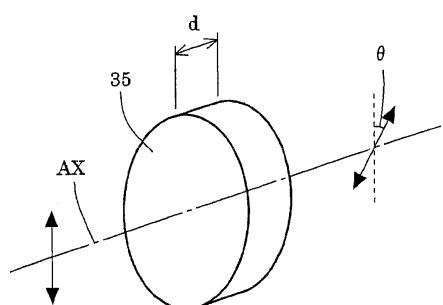
도면15



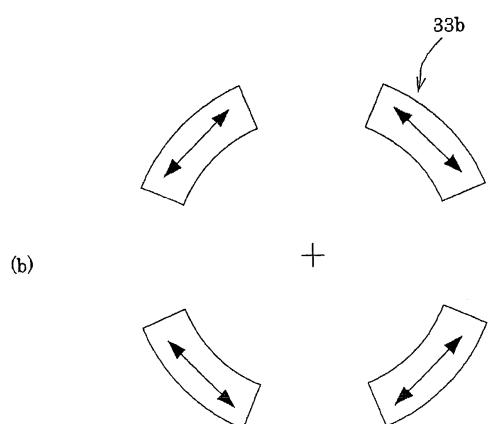
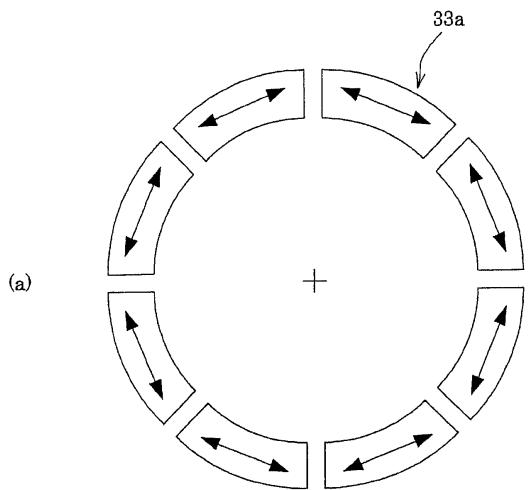
도면16



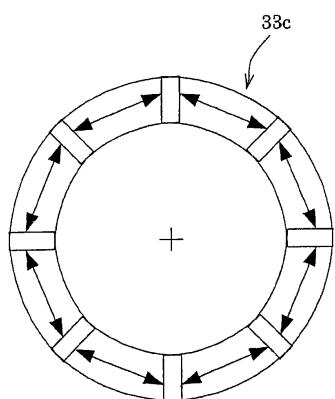
도면17



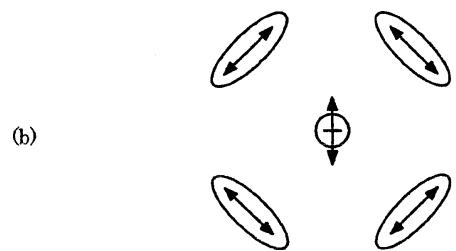
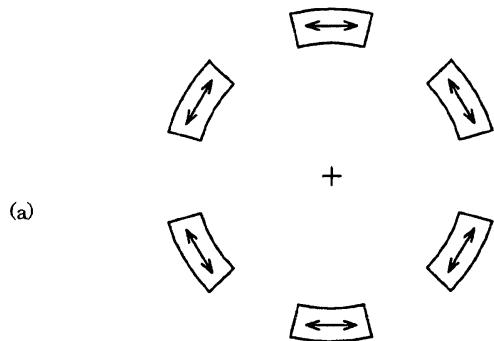
도면18



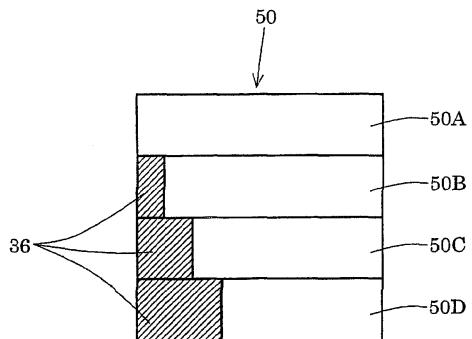
도면19



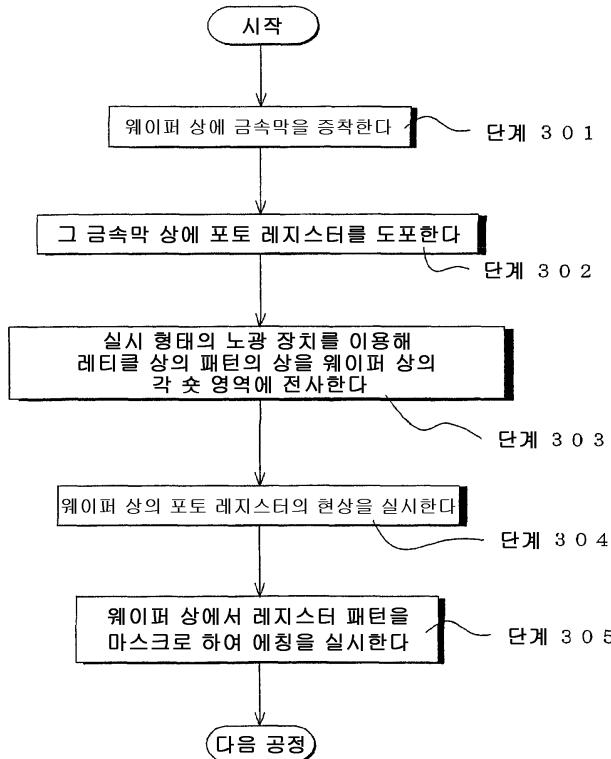
도면20



도면21



도면22



도면23

