



(19) 대한민국특허청(KR)
 (12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년09월04일
 (11) 등록번호 10-1774607
 (24) 등록일자 2017년08월29일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/027 (2006.01) *G02B 26/08* (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2012-7014159
- (22) 출원일자(국제) 2011년02월02일
 심사청구일자 2016년02월01일
- (85) 번역문제출일자 2012년05월31일
- (65) 공개번호 10-2012-0121878
- (43) 공개일자 2012년11월06일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2011/052184
- (87) 국제공개번호 WO 2011/096453
 국제공개일자 2011년08월11일
- (30) 우선권주장
 JP-P-2010-021853 2010년02월03일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문현

JP2009105396 A*

US20090268583 A1*

US20030030781 A1

KR1020060044393 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문현

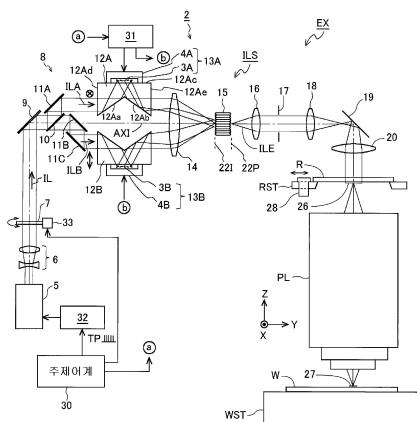
전체 청구항 수 : 총 19 항

심사관 : 계원호

(54) 발명의 명칭 조명 광학 장치, 조명 방법, 및 노광 방법 및 장치

(57) 요 약

광속을 이용하여 피조사면을 조명하는 조명 광학 장치는, 그 광속을 서로 다른 편광 상태를 갖는 복수의 광속으로 분할하는 광분할기와, 그 복수의 광속 중 제 1 광속이 진행하는 제 1 광로와, 그 복수의 광속 중 제 2 광속이 진행하는 제 2 광로 중 적어도 한쪽에 배치되고, 또한 2차원적으로 배열되며 개별적으로 구동되는 복수의 광학 요소를 갖는 공간 광변조 장치와, 그 공간 변조 장치를 제어하고, 그 제 1 광속과 그 제 2 광속의 적어도 일부를 합성하는 제어 장치를 구비한다. 장치 구성은 너무 복잡화 또는 대형화하는 일 없이, 여러 가지 편광 상태의 분포의 광속으로 피조사면을 조명할 수 있다.

대 표 도 - 도1

명세서

청구범위

청구항 1

동공면에서의 조명광의 광량 분포를 변경 가능한 동시에, 옵티컬 인터그레이터를 거쳐 상기 조명광으로 피조사면을 조명하는 조명 광학 장치에 있어서,

상기 조명광을 복수의 광속으로 분할하고, 상기 복수의 광속을 서로 다른 편광 상태로 사출하는 광분할계와,

상기 복수의 광속 중 제 1 광속이 진행하는 제 1 광로와, 상기 복수의 광속 중 제 2 광속이 진행하는 제 2 광로의 적어도 한쪽에 배치되고, 복수의 미러 요소를 포함하는 공간 광변조 장치와,

상기 옵티컬 인터그레이터의 입사면에서 상기 제 1, 제 2 광속의 적어도 일부가 겹치도록, 적어도 한쪽이 상기 공간 광변조 장치를 거쳐 진행하는 상기 제 1, 제 2의 광속을 상기 옵티컬 인터그레이터로 안내하는 광학계를 구비하고

상기 동공면에서의 상기 조명광의 편광 상태를 가변으로 하기 위해, 상기 제 1 광속과 상기 제 2 광속의 위상차를 조정하도록 상기 공간 광변조 장치가 구동되는

조명 광학 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 옵티컬 인터그레이터는 후방측 초점면이 상기 동공면 또는 그 근방에 배치되는 플라이 아이 렌즈를 갖는 조명 광학 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 공간 광변조 장치는, 상기 미러 요소의 높이와 경사각의 적어도 한쪽이 변화하도록, 상기 복수의 미러 요소의 적어도 하나가 구동되는

조명 광학 장치.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 옵티컬 인터그레이터의 입사면에서 겹치는 상기 제 1, 제 2 광속의 적어도 일부의 편광 상태가 상기 제 1, 제 2 광속의 편광 상태와 상이하도록 상기 위상차가 조정되는

조명 광학 장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 공간 광변조 장치는 상기 제 1, 제 2 광로에 각각 배치되는

조명 광학 장치.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 옵티컬 인터그레이터의 입사면에서의, 상기 제 1, 제 2 광속의 광량비를 조정하기 위해, 상기 제 1, 제 2

광로에 배치되는 상기 공간 광변조 장치의 적어도 한쪽이 제어되는 조명 광학 장치.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 제 1, 제 2 광로에 배치되는 상기 공간 광변조 장치의 적어도 한쪽의 제어에 의해, 상기 편광 상태가 변경되도록 상기 제 1, 제 2 광속의 광로 길이 차이를 조정하는 조명 광학 장치.

청구항 8

제 5 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 공간 광 변조 장치는 상기 복수의 광속 중 상기 제 1, 제 2 광속과 상이한 제 3 및 제 4 광속이 진행하는 제 3, 제 4 광로에 각각 배치되고,

상기 광분할계는 상기 제 1, 제 2, 제 3 및 제 4 광속을 편광 방향이 0° , 90° , 45° 및 135° 방향인 직선 편광으로 설정하며,

상기 제 1, 제 2, 제 3 및 제 4 광속은 그 적어도 일부가 상기 옵티컬 인터그레이터의 입사면에서 겹치는 조명 광학 장치.

청구항 9

제 1 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 조명광의 편광 상태를 계측하는 편광 상태 계측 장치를 더 구비하고,

상기 계측된 편광 상태에 기초하여 상기 공간 광변조 장치가 구동되는

조명 광학 장치.

청구항 10

조명광으로 기판을 노광하는 노광 장치에 있어서,

상기 조명광으로 패턴을 조명하는 제 1 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 기재된 조명 광학 장치와,

상기 조명된 패턴의 상(像)을 상기 기판 위에 형성하는 투영 광학계를 구비하는

노광 장치.

청구항 11

동공면에서의 조명광의 광량 분포를 변경 가능한 조명 광학 장치에 의해, 옵티컬 인터그레이터를 거쳐 상기 조명광으로 피조사면을 조명하는 조명 방법에 있어서,

상기 조명광을 서로 다른 편광 상태의 복수의 광속으로 변환하는 것과,

상기 옵티컬 인터그레이터의 입사면에서 상기 복수의 광속 중 제 1, 제 2 광속의 적어도 일부가 겹치도록, 적어도 한쪽이 공간 광변조 장치를 거쳐 진행하는 상기 제 1, 제 2 광속을 상기 옵티컬 인터그레이터로 안내하는 것과,

상기 동공면에서의 상기 조명광의 편광 상태를 가변으로 하기 위해, 상기 제 1 광속과 상기 제 2 광속의 위상차를 조정하도록 상기 공간 광변조 장치의 미러 요소를 구동하는 것을 포함하는

조명 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 옵티컬 인터그레이터는 후방측 초점면이 상기 동공면 또는 그 근방에 배치되는 플라이 아이 렌즈를 갖는 조명 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 공간 광변조 장치는, 상기 미리 요소의 경사각 및 높이의 적어도 한쪽이 제어되는 조명 방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 옵티컬 인터그레이터의 입사면에서 겹치는 상기 제 1, 제 2 광속의 적어도 일부의 편광 상태가 상기 제 1, 제 2 광속의 편광 상태와 상이하도록 상기 위상차가 조정되는 조명 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 공간 광변조 장치는 상기 제 1, 제 2 광로에 각각 배치되고,

상기 옵티컬 인터그레이터의 입사면에서의, 상기 제 1, 제 2 광속의 광량비를 조정하기 위해, 상기 제 1, 제 2 광로에 배치되는 상기 공간 광변조 장치 중 적어도 한쪽이 제어되는 조명 방법.

청구항 16

제 14 항에 있어서,

상기 공간 광변조 장치는 상기 제 1, 제 2 광로에 각각 배치되고,

상기 제 1, 제 2 광로에 배치되는 상기 공간 광변조 장치의 적어도 한쪽의 제어에 의해, 상기 편광 상태가 변경되도록 상기 제 1, 제 2 광속의 광로 길이 차이를 조정하는 조명 방법.

청구항 17

제 11 항 내지 제 16 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 조명광의 편광 상태를 계측하는 것을 더 포함하고,

상기 계측된 편광 상태에 따라 상기 공간 광변조 장치가 구동되는 조명 방법.

청구항 18

조명광으로 기판을 노광하는 노광 방법에 있어서,

제 11 항 내지 제 16 항 중 어느 한 항에 기재된 조명 방법에 의해, 상기 조명광으로 패턴을 조명하는 것과,

상기 조명된 패턴의 상(像)을 상기 기판 위에 형성하는 것을 포함하는 노광 방법.

청구항 19

디바이스 제조 방법에 있어서,

제 18 항에 기재된 노광 방법을 이용하여, 기판을 노광하는 것과,
노광된 상기 기판을 현상하는 것을 포함하는
디바이스 제조 방법.

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 개별적으로 제어 가능한 복수의 광학 요소를 갖는 공간 광변조 장치를 이용하여 피조사면을 조명하는 조명 기술, 이 조명 기술을 이용하는 노광 기술, 및 이 노광 기술을 이용하는 디바이스 제조 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 예컨대 반도체 소자 등의 전자 디바이스(마이크로 디바이스)를 제조하기 위한 리소그래피 공정에서 사용되는 스텝퍼(stripper) 또는 스캐닝 스텝퍼 등의 노광 장치는 레티클(마스크)을 여러 가지 조명 조건에서 또한 균일한 조도 분포로 조명하는 조명 광학 장치를 구비하고 있다. 종래의 조명 광학 장치로서, 조명 조건에 따라, 조명 광학계의 동공면 상에서의 광량 분포를 원형 영역, 윤대(輪帶) 형상의 영역, 또는 복수의 극의 영역 등에서 광량이 커지는 분포로 설정하기 위해, 어레이 형상으로 배열되고, 또한 경사각이 가변인 다수의 미리 요소를 갖는 가동 멀티 미러 방식의 공간 광변조기와, 복수의 미러 요소로부터의 반사광이 집광되는 플라이 아이 렌즈를 구비한 조명 광학 장치가 제안되어 있다(예컨대, 특허문현 1 참조).

[0003] 또한, 조명 조건으로서의 동공면에 있어서의 복수의 2차 광원 또는 소정 형상의 2차 광원의 편광 상태의 분포를 제어하기 위해서, 서로 다른 편광 상태의 광속이 조사되는 2개의 공간 광변조기를 구비하고, 이 2개의 공간 광변조기로부터의 광속의 동공면에 있어서의 광량 분포를 서로 독립적으로 제어하도록 한 조명 광학 장치도 제안되어 있다(예컨대, 특허문현 2 참조).

선행기술문헌

특허문현

[0004] (특허문현 0001) 일본 공개 특허 제 2002-353105 호 공보

(특허문현 0002) 일본 공개 특허 제 2009-105396 호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 종래의 2개의 공간 광변조기를 구비한 조명 광학 장치에 의하면, 2차 광원의 각 부분의 편광 상태를 2개의 편광 상태 중 하나, 또는 2개의 편광 상태의 광속이 인코히어런트(incoherent)하게 혼합된 상태로 설정 가능하다. 그러나, 최근에는, 동공면에 있어서의 2차 광원의 각 부분의 편광 상태를, 예컨대 전체로서 대략 원주방향으로 설정하는 등, 보다 복잡한 분포로 설정하는 것이 요구되는 경우가 있다. 이 때문에, 필요한 편광 상태의 수에 따라 단순히 공간 광변조기의 수를 증가시키면, 조명 광학 장치의 구성이 복잡화하고, 또한 대형화한다는 문제

가 있다.

[0006] 본 발명은, 이와 같은 사정을 감안하여, 장치 구성을 너무 복잡화 또는 대형화하는 일 없이, 여러 가지 편광 상태의 광속으로 피조사면을 조명하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 제 1 형태에 의하면, 광속을 이용하여 피조사면을 조명하는 조명 광학 장치가 제공된다. 이 조명 광학 장치는, 그 광속을 서로 다른 편광 상태의 복수의 광속으로 분할하는 광분할기와, 그 복수의 광속 중 제 1 광속이 진행하는 제 1 광로와, 그 복수의 광속 중 제 2 광속이 진행하는 제 2 광로 중 적어도 한쪽에 배치되고, 또한 2차원적으로 배열되며 개별적으로 구동되는 복수의 광학 요소를 갖는 공간 광변조 장치와, 그 공간 변조 장치를 제어하고, 그 제 1 광속과 그 제 2 광속의 적어도 일부를 합성하며, 합성된 광속의 편광 상태를, 그 광분할기에서 분할된 복수의 광속이 갖는 각각의 편광 상태와는 다른 편광 상태로 조정하는 제어 장치를 구비하는 것이다.

[0008] 또한, 본 발명의 제 2 형태에 의하면, 소정의 패턴을 조명하기 위한 본 발명의 조명 광학 장치를 구비하며, 그 소정의 패턴을 기판에 노광하는 노광 장치가 제공된다.

[0009] 또한, 본 발명의 제 3 형태에 의하면, 광속을 이용하여 피조사면을 조명하는 조명 방법이 제공된다. 이 조명 방법은, 2차원적으로 배열되며 개별적으로 구동되는 복수의 광학 요소를 갖는 공간 광변조 장치와 그 피조사면의 사이에서, 그 광속의 편광 상태의 목표 분포를 설정하고, 그 광속을 서로 다른 편광 상태의 복수의 광속으로 분할하고, 그 복수의 광속 중 제 1 및 제 2 광속 중 적어도 한쪽을 그 공간 광변조 장치에 공급하고, 그 편광 상태의 목표 분포에 따라, 그 공간 광변조 장치를 제어하고, 그 제 1 광속과 그 제 2 광속의 적어도 일부를 합성하며, 또한 합성된 광속의 편광 상태를, 분할된 그 복수의 광속이 갖는 편광 상태와 다르도록 조정하는 것이다.

[0010] 또한, 본 발명의 제 4 형태에 의하면, 본 발명의 조명 방법으로 그 피조사면의 패턴을 조명하고, 그 패턴을 기판에 노광하는 노광 방법이 제공된다.

[0011] 또한, 본 발명의 제 5 형태에 의하면, 본 발명의 노광 장치 또는 노광 방법을 이용하여 그 소정의 패턴을 그 기판에 노광하는 것과, 노광된 그 기판을 처리하는 것을 포함하는 디바이스 제조 방법이 제공된다.

발명의 효과

[0012] 본 발명에 의하면, 제 1 광속 및 제 2 광속의 적어도 일부를 합성하고, 합성한 광속의 편광 상태를, 합성하기 전의 제 1 광속 및 제 2 광속의 편광 상태와는 다른 편광 상태로 하고 있다. 따라서, 장치 구성을 너무 복잡화 또는 대형화하는 일 없이, 여러 가지 편광 상태의 광속으로 피조사면을 조명할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 실시형태의 일 예의 노광 장치의 개략 구성을 도시하는 도면,

도 2의 (A)는 도 1 중의 공간 광변조기(13)의 일부를 도시하는 확대 사시도, (B)는 도 2의 (A) 중 1개의 미러 요소(3A)의 구동부를 도시하는 확대 사시도, (C)는 미러 요소(3A)를 Z방향으로 구동한 상태를 도시하는 도면,

도 3의 (A)는 4극 조명시의 2개의 공간 광변조기(13A, 13B)의 복수의 미러 요소의 일부의 경사각을 도시하는 도면, (B)는 4극 조명의 2차 광원을 도시하는 도면, (C)는 대략 원주방향으로 편광된 2차 광원을 형성할 때의 2개의 공간 광변조기(13A, 13B)로부터의 일부의 조명광의 광로를 도시하는 도면, (D)는 대략 원주방향으로 편광된 2차 광원을 도시하는 도면,

도 4의 (A)는 도 3의 (C)의 공간 광변조기(13A, 13B) 중의 일부의 미러 요소를 확대하여 도시하는 도면, (B)는 도 4의 (A)의 입사면(22I)에 입사하는 빛의 편광 상태를 도시하는 도면, (C)는 2개의 공간 광변조기(13A, 13B)로부터의 광속을 합성한 빛의 여러 가지의 가능한 편광 상태를 도시하는 도면,

도 5의 (A)는 도 3의 (C)의 공간 광변조기(13A, 13B) 중의 다른 일부의 미러 요소를 확대하여 도시하는 도면, (B)는 도 5의 (A)의 입사면(22I)에 입사하는 빛의 편광 상태를 도시하는 도면, (C)는 2개의 공간 광변조기(13A, 13B) 중의 각각 1쌍의 미러 요소를 확대하여 도시하는 도면, (D)는 경사방향으로 편광된 2차 광원을 도시하는 도면,

도 6은 조명 방법을 포함하는 노광 방법의 일 예를 도시하는 흐름도,

도 7의 (A)는 실시형태의 다른 예의 조명 광학 장치의 요부를 도시하는 도면, (B)는 도 7의 (A)의 BB선을 따르는 화살표에서 본 도면, (C)는 도 7의 (A)의 조명 동공면(22P)의 2차 광원의 편광 상태의 분포를 도시하는 도면,

도 8은 전자 디바이스의 제조 공정의 일 예를 나타내는 흐름도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014]

본 발명의 실시형태의 일 예에 대하여 도 1 내지 도 6을 참조하여 설명한다.

[0015]

도 1은 본 실시형태의 스캐닝 스템퍼로 이루어지는 주사 노광형의 노광 장치(투영 노광 장치)(EX)의 개략 구성을 도시한다. 도 1에 있어서, 노광 장치(EX)는, 노광용의 조명광(노광광)(IL)으로 레티클(R)(마스크)의 패턴면인 레티클면(피조사면)을 조명하는 조명 장치(2)를 구비하고 있다. 조명 장치(2)는, 조명광(IL)을 펄스 발광하는 광원(5)과, 광원(5)으로부터의 조명광(IL)으로 레티클면의 조명 영역(26)을 조명하는 조명 광학계(ILS)를 구비하고 있다. 또한, 노광 장치(EX)는 레티클(R)을 이동하는 레티클 스테이지(RST)와, 레티클(R)의 패턴의 이미지를 웨이퍼(W)(기판)의 표면에 투영하는 투영 광학계(PL)와, 웨이퍼(W)를 이동하는 웨이퍼 스테이지(WST)와, 장치 전체의 동작을 통괄적으로 제어하는 컴퓨터로 이루어지는 주제어계(30)와, 각종 제어계 등을 구비하고 있다.

[0016]

이하, 투영 광학계(PL)의 광축에 평행하게 Z축을 설정하고, Z축에 수직인 평면(본 실시형태에서는 대략 수평면임) 내에서 도 1의 지면에 평행한 방향으로 Y축을, 도 1의 지면에 수직인 방향으로 X축을 각각 설정하여 설명한다. 본 실시형태에서는, 노광시의 레티클(R) 및 웨이퍼(W)의 주사방향은 Y축에 평행한 방향(Y방향)이며, 조명 영역(26)은 X방향(비주사방향)으로 기다란 직사각형이다. 또한, X축, Y축 및 Z축에 평행한 축의 주위의 회전방향(경사방향)을 Θ_x 방향, Θ_y 방향 및 Θ_z 방향으로 하여 설명한다.

[0017]

광원(5)으로서는, 파장 193nm로 직선 편광의 레이저광을 4 ~ 6kHz 정도의 주파수로 펄스 발광하는 ArF 액시머 레이저 광원이 사용되고 있다. 그 레이저광은 어느 정도의 시간적 및 공간적인 코히어런시(coherency)를 갖는다. 또한, 광원(5)으로서, 파장 248nm의 레이저광을 공급하는 KrF 액시머 레이저 광원, 또는 고체 레이저 광원(YAG 레이저, 반도체 레이저 등)으로부터 출력되는 레이저광의 고조파를 발생하는 고조파 발생 장치 등도 사용할 수 있다. 광원(5)에는 전원부(32)가 연결되어 있다. 주제어계(30)가, 펄스 발광의 타이밍 및 광량(펄스 에너지)을 지시하는 발광 트리거 펄스(TP)를 전원부(32)에 공급한다. 전원부(32)는 그 발광 트리거 펄스(TP)에 동기하여 광원(5)에 펄스 발광을 실행시킨다.

[0018]

광원(5)으로부터 사출된 거의 평행 광속이며 직선 편광의 레이저광으로 이루어지는 조명광(IL)은 비임 익스팬더(6)에 입사하여, 그 단면 형상이 소정 형상으로 확대된다. 비임 익스팬더(6)로부터 사출된 조명광(IL)은, 광축(AXI)을 갖는 조명 광학계(ILS)에서, 조명광(IL)의 편광 방향을 임의의 각도만큼 회전하기 위한 1/2 파장판(7)과, 주제어계(30)의 제어 하에서 1/2 파장판(7)을 회전하는 구동부(33)를 갖는 편광 광학계를 통과한다. 또한, 편광 광학계 중에, 국제 공개 제 2004/051717 호 팜플렛에 개시되어 있는 바와 같이, 조명광(IL)의 편광 상태를 랜덤 편광(비편광)으로 하는 디폴라라이저(depolarizer)를 마련해도 좋다.

[0019]

1/2 파장판(7)을 통과한 조명광(IL)은, 미러(9)에 의해 +Y방향으로 반사된 후, 광분할계(8), 제 1 프리즘(12A), 제 2 프리즘(12B), 후술하는 공간 광변조 장치, 릴레이 광학계(14)를 거쳐서 플라이 아이 렌즈(15)(옵티컬 인티그레이터)의 입사면(22I)에 입사한다. 여기서, 공간 변조 장치는 제 1 공간 광변조기(13A), 제 2 공간 광변조기(13B)를 구비한다.

[0020]

미러(9)에 의해 +Y방향으로 반사된 조명광(IL)은 광축(AXI)을 따라 광분할계(8)에 입사한다. 광분할계(8)는, 조명광(IL)을 반사광으로서의 S편광의 제 1 조명광(ILA)과, 투과광으로서의 P편광의 제 2 조명광(ILB)으로 분할하는 편광 비임 스플리터(10)와, 조명광(ILA)을 +Y방향으로 반사하는 미러(11A)와, 조명광(ILB)을 -Z방향으로 시프트시킨 후 +Y방향으로 반사하는 2장의 미러(11B, 11C)를 갖는다. 광분할계(8)로부터 사출되는 X방향으로 직선 편광한 조명광(ILA)은 제 1 프리즘(12A), 제 1 공간 광변조기(13A), 제 1 프리즘(12A), 및 소정의 초점거리를 갖는 릴레이 광학계(14)를 거쳐서 플라이 아이 렌즈(15)(옵티컬 인티그레이터)의 입사면(22I)에 입사한다. 한편, 광분할계(8)로부터 사출되는 Z방향(레티클면의 Y방향에 대응하는 방향)으로 직선 편광한 조명광(ILB)은, 제 2 프리즘(12B), 제 2 공간 광변조기(13B), 제 2 프리즘(12B) 및 릴레이 광학계(14)를 거쳐서 플라이 아이 렌즈(15)의 입사면(22I)에 입사한다. 조명광(IL)을 투과하는 형석(CaF₂) 또는 석영 등의 광학 재료로 형성되어

있는 프리즘(12A, 12B)은 서로 동일 구성이며, 가동 멀티 미러 방식의 공간 광변조기(13A, 13B)도 서로 동일 구성이다. 또한, 프리즘(12A, 12B) 및 공간 광변조기(13A, 13B)는 각각 광축(AXI)에 관하여 대칭으로 배치되어 있다. 이하에서는, 대표적으로 주로 제 1 프리즘(12A) 및 제 1 공간 광변조기(13A)의 구성에 대하여 설명한다.

[0021] 제 1 프리즘(12A)은 광축(AXI)에 평행한 축에 수직인 입사면(12Ad) 및 사출면(12Ae)과, 입사면(12Ad)에 대하여 X축에 평행한 축을 중심으로 해서 시계방향으로 대략 60° 에서 교차하는 제 1 반사면(12Aa)과, 제 1 반사면(12Aa)과 XZ 평면에 평행한 면에 대하여 대략 대칭인 제 2 반사면(12Ab)과, XY 평면에 평행이며 입사면(12Ad) [사출면(12Ae)]에 대하여 직교하는 투파면(12Ac)을 갖고 있다.

[0022] 또한, 제 1 공간 광변조기(13A)는, 2차원의 어레이 형상으로 배열된 각각 Θ_x 방향 및 Θ_y 방향의 경사각과 Z위치가 가변인 미소 미러로 이루어지는 다수의 미러 요소(3A)와, 이를 미러 요소(3A)를 개별적으로 구동하는 구동부(4A)를 갖는다. 공간 광변조기(13A)의 다수의 미러 요소(3A)는 전체로서 투파면(12Ac)에 대략 평행하게 또한 근접해서 배치되어 있다. 일 예로서, 각 미러 요소(3A)의 반사면은 가변 범위 내의 중앙에 있어서는 투파면(12Ac)에 대략 평행이다.

[0023] 제 2 공간 광변조기(13B)도 2차원의 어레이 형상으로 배열된 각각 Θ_x 방향 및 Θ_y 방향의 경사각과 Z위치가 가변인 미소 미러로 이루어지는 다수의 미러 요소(3B)와, 이를 미러 요소(3B)를 개별적으로 구동하는 구동부(4B)를 갖는다. 그리고, 공간 광변조기(13B)의 다수의 미러 요소(3B)가 제 2 프리즘(12B)의 투파면에 근접하여 배치되어 있다. 조명 장치(2)는 공간 광변조기(13A, 13B)와, 공간 광변조기(13A, 13B)의 구동부(4A, 4B)의 동작을 제어하는 변조 제어부(31)를 구비하고 있다. 주제어계(30)가 변조 제어부(31)에 조명 조건[후술의 조명 동공면(22P) 상의 광량 분포 및 편광 상태의 분포] 및 조명광(IL)의 발광 타이밍의 정보를 공급한다. 변조 제어부(31)는, 조명광(IL)이 웨일스 발광되고 있는 기간 내에, 다수의 미러 요소(3A, 3B)의 2축의 주위의 경사각 및 Z위치가 그 조명 조건에 따른 값으로 유지되도록 구동부(4A, 4B)를 제어한다.

[0024] 이 경우, 제 1 조명광(ILA)은 광축(AXI)에 평행하게 제 1 프리즘(12A)의 입사면(12Ad)에 입사한다. 입사한 조명광(ILA)은 제 1 반사면(12Aa)에서 전반사된 후, 투파면(12Ac)을 투파하여 공간 광변조기(13A)의 다수의 미러 요소(3A)에 입사한다. 그리고, 다수의 미러 요소(3A)에서 반사되어 폐면 분할된 조명광(ILA)은 다시 투파면(12Ac)에 입사한 후, 제 2 반사면(12Ab)에서 전반사되어 사출면(12Ae)으로부터 사출된다. 따라서, 제 1 반사면(12Aa)의 입사면(12Ad)에 대한 각도는, 입사면(12Ad)에 수직으로 입사한 광속이 제 1 반사면(12Aa)에서 전반사하는 동시에, 제 1 반사면(12Aa)에서 전반사된 광속이 투파면(12Ac)을 투파하는 범위이면 좋다. 이때에는, 어느 미러 요소(3A)의 반사면이 투파면(12Ac)에 대략 평행이면, 그 미러 요소(3A)에서 반사된 조명광(ILA)은 투파면(12Ac)을 투파하여 제 2 반사면(12Ab)에서 전반사된 후, 사출면(12Ae)을 거쳐 광축(AXI)에 대략 평행하게 사출된다. 따라서, 각 미러 요소(3A)의 2축의 주위의 경사각을 제어하는 것에 의해, 그 미러 요소(3A)에서 반사되어 프리즘(12A)으로부터 사출되는 조명광(ILA)의 광축(AXI)에 평행한 축에 직교하는 2방향(Θ_x 방향 및 Θ_z 방향)의 각도를 제어할 수 있다. 또한, 각 미러 요소(3A)의 Z위치(Z방향의 위치)도 개별적으로 제어 가능하며, 이 Z위치의 제어에 의해 각 미러 요소(3A)에서 반사되는 조명광의 광로 길이를 제어할 수 있다. 이와 같이 조명광(ILA)의 광축(AXI)에 평행한 축에 대한 각도(광로의 방향) 및 광로 길이를 제어하는 것이 본 실시형태의 각 미러 요소(3A)에 의한 공간적인 변조이다.

[0025] 마찬가지로, 제 2 프리즘(12B)에 입사한 제 2 조명광(ILB)은 제 2 공간 광변조기(13B)의 다수의 미러 요소(3B)에 의해 폐면 분할되고, 폐면 분할된 각 광속은 미러 요소(3B)에 의해 개별적으로 공간적인 변조를 받아 각각 Θ_x 방향 및 Θ_y 방향의 각도와 Z위치가 제어되어, 프리즘(12B)의 사출면으로부터 사출된다. 또한, 프리즘(12A, 12B)의 반사면(12Aa, 12Ab) 등은 전반사를 이용하고 있지만, 그 반사면(12Aa, 12Ab) 등에 반사막을 형성하고, 이 반사막으로 조명광(ILA, ILB)을 반사해도 좋다. 또한, 프리즘(12A, 12B) 대신에, 반사면(12Aa, 12Ab) 등에 반사면이 배치되는 1쌍씩의 평면 미러 등을 사용해도 좋다.

[0026] 그리고, 프리즘(12A, 12B)으로부터 사출된 조명광(ILA, ILB)은 릴레이 광학계(14)를 거치고, 필요에 따라 적어도 일부가 합성되어 플라이 아이 렌즈(15)의 입사면(22I)에 입사한다. 플라이 아이 렌즈(15)는 다수의 양 볼록 렌즈 엘리멘트를 Z방향 및 X방향으로 대략 밀착하도록 배치한 것이다. 입사면(22I)은, 레티클면과 광학적으로 대략 공역이며, 플라이 아이 렌즈(15)의 각 렌즈 엘리멘트의 단면 형상은 레티클면의 조명 영역(26)과 대략 서로 유사한 직사각형이다.

[0027] 여기서, 대표적으로 제 1 공간 광변조기(13A)의 구성예에 대하여 설명한다. 도 2의 (A)는 공간 광변조기(13A)의 일부를 도시하는 확대 사시도이다. 도 2의 (A)에서, 공간 광변조기(13A)는 X방향, Y방향으로 일정 피치로 대략 밀착하도록 배열된 다수의 미러 요소(3A)와, 구동부(4A)를 포함하고 있다. X방향, Y방향의 미러 요소(3A)

A)의 배열수는 예컨대 수백이다.

[0028] 일 예로서, 도 2의 (B)에 도시하는 바와 같이, 하나의 이침체선으로 나타내는 미러 요소(3A)의 구동 기구[구동부(4A)]는, 지지 부재(41)에 대하여 미러 요소(3A)를 지지하는 스프링 부재(44)와, 지지 부재(41)의 표면에 형성된 4개의 전극(42A, 42B, 42C, 42D)과, 미러 요소(3A)의 이면에 형성된 전극(도시 생략)을 포함하고 있다. 스프링 부재(44)는 탄성 변형하는 미소한 힌지 기구라도 좋다. 미러 요소(3A) 및 구동부(4A)는 예컨대 소위 MEMS(Microelectromechanical Systems) 기술에 의해 제조할 수가 있다.

[0029] 도 2의 (B)에서, 전극(42A, 42B)에 인가하는 전압의 벨런스에 의해 미러 요소(3A)의 Θ_y 방향의 경사각을 제어할 수 있으며, 전극(42C, 42D)에 인가하는 전압의 벨런스에 의해 미러 요소(3A)의 Θ_x 방향의 경사각을 제어할 수 있다. 또한, 4개의 전극(42A ~ 42D)의 전압을 동일하게 증감시킴으로써, 도 2의 (B)의 구동 기구의 측면도인 도 2의 (C)에 도시하는 바와 같이, 미러 요소(3A)의 반사면의 법선방향(대략 Z방향)의 위치(Z위치)를 제어할 수 있다. 현재 상태에서는, 미러 요소(3A)는 예컨대 $10\mu\text{m}$ 각 내지 수십 μm 각 정도[예컨대 $48\mu\text{m}$ 각]의 미소한 평면 미러이며, 미러 요소(3A)의 Θ_x 방향, Θ_y 방향의 경사각은 $\pm 10\text{deg}$ 내지 $\pm 10\text{deg}$ 정도이다. 조명 조건의 섬세한 변경을 가능하게 하기 위해서는, 미러 요소(3)는 가능한 한 작은 것이 바람직하다.

[0030] 또한, 미러 요소(3A)의 Z위치의 제어량(δZ)의 가능한 범위는 예컨대 수백 nm 정도이다. 본 실시형태에서는, 미러 요소(3A)에서 반사되는 조명광(ILA)의 광장은 193nm 이며, 미러 요소(3A)의 Z위치의 제어량(δZ)에 대한 조명광(ILA)의 광로 길이의 변화량은 대략 $2 \times \delta Z$ 이다. 이 때문에, 조명광(ILA)의 광로 길이를 위상으로 360° 변화시키기 위해서는, 미러 요소(3A)의 Z위치는 대략 100nm 정도 변화시키는 것만으로 좋다. 따라서, 본 실시형태의 공간 광변조기(13A)[공간 광변조기(13B)도 마찬가지]에 의하면, 각 미러 요소(3A; 3B)의 Z위치를 제어하는 것에 의해, 각 미러 요소(3A; 3B)에서 반사되는 조명광(ILA; ILB)의 위상으로 환산한 광로 길이를 0° 내지 360° 의 범위 내에서 제어할 수 있다. 또한, 공간 광변조기(13A, 13B)에는, 온도를 안정화하기 위한, 예컨대 소정온도로 제어된 냉매를 배관에 흘리는 방식의 온도 안정화 기구(도시 생략)가 마련되어 있다.

[0031] 또한, 미러 요소(3A)의 구동 기구로서는 다른 임의의 기구를 사용할 수 있다. 또한, 미러 요소(3A)는 대략 정방형의 평면 미러이지만, 그 형상은 직사각형 등의 임의의 형상이어도 좋다. 다만, 빛의 이용 효율의 관점에서는 간극 없이 배열 가능한 형상이 바람직하다. 또한, 인접하는 미러 요소(3A)의 간격은 필요 최소한으로 하는 것이 바람직하다. 또한, 공간 광변조기(13A, 13B)로서는, 예컨대 일본 특허 공표 제 1998-503300 호 공보 및 이에 대응하는 유럽 특허 공개 제 779530 호 명세서, 일본 특허 공개 제 2004-78136 호 공보 및 이에 대응하는 미국 특허 제 6,900,915 호 명세서, 일본 특허 공표 제 2006-524349 호 공보 및 이에 대응하는 미국 특허 제 7,095,546 호 명세서에 개시되는 공간 광변조기를 이용할 수도 있다.

[0032] 도 3의 (A) 및 도 3의 (C)는 각각 도 1의 광분할계(8)로부터 플라이 아이 렌즈(15)까지의 광학계를 도시한다. 도 3의 (A) 및 도 3의 (C)에서, 공간 광변조기(13A, 13B)의 다수의 미러 요소(3A, 3B)를 대표적으로 복수의 미러 요소(3A1 ~ 3A7, 3B1 ~ 3B7)로 도시하고 있다. 도 3의 (A)에서, 본 실시형태에서는 릴레이 광학계(14)의 대략 전방측 초점면에 공간 광변조기(13A, 13B)의 각 미러 요소(3A1, 3B1) 등의 반사면이 배치되고, 릴레이 광학계(14)의 후방측 초점면에 플라이 아이 렌즈(15)의 입사면(22I)이 배치되어 있다. 이 구성에 있어서, 광축(AXI)을 포함하고 ZY 평면에 평행한 면을 따라 릴레이 광학계(14)에 입사하는 광선의 광축(AXI)에 평행한 축에 대한 Θ_x 방향의 경사각을 ΘA 로 하고, 릴레이 광학계(14)의 초점거리를 f로 하면, 플라이 아이 렌즈(15)의 입사면(22I)에 있어서 그 광선이 집광되는 위치의 광축(AXI)으로부터의 높이(hA)(Z방향의 위치)는 대략 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$hA = f \cdot \tan \Theta A \quad \dots (1)$$

[0034] 식(1)에 있어서, 경사각(ΘA)은 각 미러 요소(3A1) 등의 반사면의 Θ_x 방향의 경사각[변조 제어부(31)에서 설정되는 값]에 따라 계산되는 값이며, 그 경사각은 미러 요소(3A1)의 Z위치에는 영향을 받지 않는다. 마찬가지로, 미러 요소(3A1) 등의 Θ_y 방향의 경사각으로부터 입사면(22I)에 있어서의 광선의 X방향의 위치를 계산할 수 있다. 또한, 공간 광변조기(13B)에 있어서도, 각 미러 요소(3B1) 등의 Θ_x 방향, Θ_y 방향의 경사각으로부터, 각 미러 요소(3B1) 등에서 반사되는 광선의 입사면(22I)에 있어서의 X방향, Y방향의 조사 위치를 계산할 수 있다.

[0035] 이 경우, 플라이 아이 렌즈(15)의 각 렌즈 엘리멘트의 후방측 초점면(사출면의 근방의 면)이 있는 조명 광학계(ILS)의 동공면(이하, "조명 동공면"이라 함) (22P)에는, 각 렌즈 엘리멘트에 의한 광원(2차 광원)이 형성된다. 바꿔 말하면, 플라이 아이 렌즈(15)의 입사면(22I)에 있어서의 조명광(ILA, ILB)의 광량 분포는, 플라이 아이 렌즈(15)의 사출면측에 있는 조명 동공면(22P)에 있어서의 광량 분포와 실질적으로 동일하다. 따라서, 공간 광

변조기(13A, 13B)의 전부의 미러 요소(3A1, 3B1) 등의 2축의 주위의 경사각을 개별적으로 제어하는 것에 의해, 조명 동공면(22P)에 있어서의 조명광(ILA, ILB)의 광량 분포(2차 광원의 형상)를 임의의 분포로 제어 가능하다. 실제로는, 주제어계(30)로부터 변조 제어부(31)에 대하여 조명 동공면(22P)[나아가서는 입사면(22I)]에서 목표로 하는 광량 분포의 정보가 공급된다. 변조 제어부(31)는, 입사면(22I)에서 그 목표로 하는 광량 분포가 얻어지도록, 식(1) 등으로부터 각 미러 요소(3A1) 등의 반사면의 Θ_x 방향, Θ_y 방향의 경사각의 목표값을 계산하여, 이를 경사각을 공간 광변조기(13A, 13B)의 구동부(4A, 4B)에 설정한다.

[0036] 또한, 본 실시형태에 있어서, 공간 광변조기(13A)의 하나 또는 복수의 미러 요소(3A)로부터의 광속과, 공간 광변조기(13B)의 하나 또는 복수의 미러 요소(3B)로부터의 광속을 플라이 아이 렌즈(15)의 입사면(22I)의 동일한 점에 조사하여, 공간 광변조기(13A)로부터의 광속과 공간 광변조기(13B)로부터의 광속의 광로 길이 차이(위상차)를 제어하는 것에 의해, 그 점에 있어서의 조명광의 편광 상태, 나아가서는 그 점에 대응하는 조명 동공면(22P)에 있어서의 조명광의 편광 상태를 대략 임의 상태로 제어할 수 있다(상세 후술).

[0037] 도 3의 (A)의 예에서는, 플라이 아이 렌즈(15)의 입사면(22I)의 Z방향으로 이격된 2개소의 조명 영역(25A, 25B) 및 X방향으로 이격된 2개소의 조명 영역(25C, 25D)에 각각 공간 광변조기(13A) 및 공간 광변조기(13B)로부터의 반사광이 조사되어 있다. 그리고, 조명 동공면(22P)에는, 도 3의 (B)에 도시하는 바와 같이, 조명 영역(25A 내지 25D)에 대응하는 위치에 조명 영역(25A 내지 25D)과 대략 동일한 강도 분포를 갖는 4극의 2차 광원(24A, 24B, 24C, 24D)이 형성된다.

[0038] 예컨대 도 1의 레티클(R)의 패턴면(레티클면)에 있어서, X방향 및 Y방향으로 각각 해상한계에 가까운 피치로 배열된 2개의 라인 앤드 스페이스 패턴을 주로 노광하는 경우에는, 조명 동공면(22P)에 있어서의 2차 광원은 도 3의 (B)의 4극 조명으로 설정된다. 마찬가지로, 공간 광변조기(13A, 13B)에 의해, 조명 동공면(22P) 상의 2차 광원(광량 분포)을 통상 조명용의 원형의 2차 광원, 윤대 조명용의 2차 광원, X방향의 2극의 2차 광원, Y방향의 2극의 2차 광원 등의 임의의 형상으로 설정 가능하다. 또한, 공간 광변조기(13A, 13B)에 의해, 예컨대 도 3의 (B)에 있어서, 2차 광원[24A, 24B(24C, 24D)]의 간격 및/또는 2차 광원(24A 내지 24D)의 각각의 크기를 임의의 값으로 변경하는 것도 가능하다.

[0039] 다음으로, 도 1에 있어서, 조명 동공면(22P)에 형성된 2차 광원으로부터의 조명광(IL)은 제 1 렐레이 렌즈(16), 레티클 블라인드(시야 조리개)(17), 제 2 렐레이 렌즈(18), 광로 절곡용의 미러(19) 및 콘덴서 광학계(20)를 거쳐서, 레티클면의 조명 영역(26)을 균일한 조도 분포가 얻어지도록 중첩하여 조명한다. 비임 익스팬더(7)로부터 콘덴서 광학계(20)까지의 광학 부재를 포함하여 조명 광학계(ILS)가 구성되어 있다. 조명 광학계(ILS)의 공간 광변조기(13A, 13B) 및 플라이 아이 렌즈(15)를 포함하는 각 광학 부재는 도시하지 않은 프레임에 지지되어 있다.

[0040] 레티클(R)의 조명 영역(26) 내의 패턴은, 양측(또는 웨이퍼 측에 편측) 텔레센트릭(telecentric)의 투영 광학계(PL)를 거쳐서, 레지스트(감광 재료)가 도포된 웨이퍼(W) 중 1개의 쇼트 영역 상의 노광 영역(27)에 소정의 투영 배율(예컨대 1/4, 1/5 등)로 투영된다.

[0041] 또한, 레티클(R)은 레티클 스테이지(RST)의 상면에 흡착 보지되고, 레티클 스테이지(RST)는 도시하지 않은 레티클 베이스의 상면(XY 평면에 평행한 면)에, Y방향으로 일정 속도로 이동 가능하게 또한 적어도 X방향, Y방향 및 Θ_z 방향으로 이동 가능하게 탑재되어 있다. 레티클 스테이지(RST)의 2차원적인 위치는 도시하지 않은 레이저 간섭계에 의해 계측되고, 이 계측 정보에 근거하여 주제어계(30)가 리니어 모터 등의 구동계(도시 생략)를 거쳐서 레티클 스테이지(RST)의 위치 및 속도를 제어한다.

[0042] 또한, 레티클 스테이지(RST)의 레티클(R)에 Y방향으로 근접한 위치에, 편광 계측 장치(28)가 마련되어 있다. 레티클 스테이지(RST)를 구동하고 편광 계측 장치(28)의 수광부를 조명 영역(26) 내에 설정함으로써, 편광 계측 장치(28)는, 조명 동공면(22P)과 공역인 수광면에서, 조명광(IL)의 스토크스 파라미터(Stokes parameter)로 나타내는 편광도에 의해 편광 상태의 분포를 계측하고, 계측 결과를 주제어계(30)에 공급한다. 편광 계측 장치(28)로서는, 예컨대 일본 특허 공개 제 2006-179660 호 공보에 개시되어 있는 편광 계측 장치를 사용할 수 있다. 또한, 편광 계측 장치(28)의 수광부는 조명 영역(26)의 일부의 광속을 수광하는 것만으로 좋다.

[0043] 한편, 웨이퍼(W)는 웨이퍼 홀더(도시 생략)를 거쳐서 웨이퍼 스테이지(WST)의 상면에 흡착 보지되고, 웨이퍼 스테이지(WST)는 도시하지 않은 웨이퍼 베이스의 상면(XY 평면에 평행한 면)에서 X방향, Y방향으로 이동 가능한 동시에, Y방향으로 일정 속도로 이동 가능하다. 웨이퍼 스테이지(WST)의 2차원적인 위치는 도시하지 않은 레이저 간섭계에 의해 계측되고, 이 계측 정보에 근거하여 주제어계(30)가 리니어 모터 등의 구동계(도시 생략)를

거쳐서 웨이퍼 스테이지(WST)의 위치 및 속도를 제어한다. 또한, 레티클(R) 및 웨이퍼(W)의 얼라인먼트를 실행하기 위해서, 웨이퍼 스테이지(WST)에는 레티클(R)의 얼라인먼트 마크의 이미지의 위치를 계측하는 공간 이미지 계측계(도시 생략)가 설치되며, 투영 광학계(PL)의 측면에 웨이퍼(W)의 얼라인먼트 마크의 위치를 검출하는 웨이퍼 얼라인먼트계(도시 생략)가 구비되어 있다.

[0044] 노광 장치(EX)에 의한 웨이퍼(W)의 노광 시에, 주제어계(30)는 레티클(R)의 패턴에 따라 조명 조건[조명 동공면(22P) 상의 2차 광원의 형상 및 편광 상태의 분포]을 선택하고, 선택한 조명 조건을 변조 제어부(31)에 설정한다. 이에 따라 변조 제어부(31)는 공간 광변조기(13A, 13B)의 각 미러 요소(3A, 3B)의 경사각을 개별적으로 제어하고, 조명 동공면(22P) 상의 2차 광원의 형상을 설정하며, 필요에 따라서 공간 광변조기(13B)의 소정의 미리 요소(3B)의 Z위치를 제어하여, 편광 상태의 분포를 조정한다. 이어서, 웨이퍼 스테이지(WST)의 스텝 이동에 의해 웨이퍼(W)가 주사 개시 위치로 이동한다. 그 후, 광원(5)의 펄스 발광을 개시하고, 조명광(IL) 하에서, 레티클(R)의 패턴의 일부의 투영 광학계(PL)에 의한 이미지로 웨이퍼(W)의 쇼트 영역의 일부를 노광하면서, 레티클 스테이지(RST) 및 웨이퍼 스테이지(WST)를 거쳐서 레티클(R) 및 웨이퍼(W)를 Y방향으로 투영 배율을 속도비로서 동기하여 이동함으로써, 웨이퍼(W)의 해당 쇼트 영역이 주사 노광된다. 이와 같이 웨이퍼(W)의 스텝 이동과 주사 노광을 반복하는 스텝 앤드 스캔 동작에 의해, 웨이퍼(W) 상의 전부의 쇼트 영역에 레티클(R)의 패턴의 이미지가 노광된다.

[0045] 다음으로, 도 1의 조명 장치(2)에 의해 설정되는 조명 조건에 따라, 조명 동공면(22P)에 있어서의 편광 상태의 분포를 제어하는 방법의 예에 대하여 설명한다. 우선, 조명 동공면(22P)의 임의의 형상의 2차 광원으로부터의 조명광(IL)의 편광 상태를 X방향의 직선 편광으로 하는 경우에는, 광분할계(8)의 편광 비임 스플리터(10)에 입사하는 조명광(IL)의 편광 방향이 X방향이 되도록 1/2 파장판(7)의 회전각을 조정한다. 이에 의해, 공간 광변조기(13B)에 입사하는 조명광(ILB)의 광량은 0이 되기 때문에, 공간 광변조기(13A)만으로 2차 광원의 형상을 설정함으로써, 그 편광 방향은 X방향이 된다. 한편, 조명 동공면(22P)의 임의의 형상의 2차 광원으로부터의 조명광(IL)의 편광 방향이 Z방향이 되도록 1/2 파장판(7)의 회전각을 조정한다. 이에 의해, 공간 광변조기(13A)에 입사하는 조명광(ILA)의 광량은 0이 되기 때문에, 공간 광변조기(13B)만으로 2차 광원의 형상을 설정함으로써, 그 편광 방향은 Z방향이 된다.

[0046] 이하에서는, 조명 동공면(22P)의 임의의 형상의 2차 광원의 편광 상태가 X방향의 직선 편광 및 Y방향의 직선 편광을 포함하는 것으로 해서, 1/2 파장판(7)의 회전각을 조정하고, 광분할계(8)의 편광 비임 스플리터(10)에 입사하는 조명광(IL)의 편광 방향을 X축(또는 Z축)에 대하여 45°에서 교차하는 방향으로 한다. 이때, 편광 비임 스플리터(10)에서 분할되는 편광 방향이 서로 직교하는 2개의 조명광(ILA, ILB)의 광량이 동일해진다.

[0047] 그리고, 도 3의 (B)의 4극 조명을 설정할 때에, 조명 동공면(22P)에 있어서 광축(AXI)을 Z방향으로 사이에 두는 2차 광원(24A, 24B)에 있어서의 조명광의 편광 상태를 X방향의 직선 편광으로 설정하고, 광축(AXI)을 X방향으로 사이에 두는 2차 광원(24C, 24D)에 있어서의 조명광의 편광 상태를 Z방향의 직선 편광으로 설정하는 것으로 한다. 이를 위해서는, 도 3의 (A)의 공간 광변조기(13A)의 복수의 미러 요소(3A1) 등으로부터의 조명광(ILA)에 의해, 2차 광원(24A, 24B)에 대응하는 입사면(22I) 상의 조명 영역(25A, 25B)을 조명하고, 공간 광변조기(13B)의 복수의 미러 요소(3B1) 등으로부터의 조명광(ILB)에 의해, 2차 광원(24C, 24D)에 대응하는 입사면(22I) 상의 조명 영역(25C, 25D)을 조명하면 좋다. 이 경우와 같이, 복수의 2차 광원의 편광 상태가 각각 X방향 또는 Z방향의 직선 편광인 경우에는 각 2차 광원에 대응하는 조명 영역을 공간 광변조기(13A 또는 13B)로부터의 조명광으로 조명하면 좋다.

[0048] 다음으로, 조명 장치(2)에 의해, 조명 동공면(22P) 상의 조명광의 광량 분포를, 도 3의 (D)에 도시하는 바와 같이, 예컨대 광축(AXI)의 주위로 45° 간격으로 배치되는 8개의 대략 원형인 2차 광원(24A 내지 24H)에서 광량이 커지는 분포로 설정하는 경우를 상정한다. 또한, 조명 동공면(22P)에 있어서의 2차 광원(24A 내지 24H)의 편광 상태의 분포를, 대략 광축(AXI)의 주위의 원주방향을 편광 방향으로 하는 직선 편광으로 설정하는 것으로 한다. 이때에, 근사적으로, 광축(AXI)을 Z방향 및 X방향으로 사이에 두는 2차 광원(24A, 24B) 및 2차 광원(24C, 24D)의 편광 방향을 각각 X방향 및 Z방향으로 설정하고, X축에 시계방향으로 45° 및 -45°로 교차하는 방향으로 광축(AXI)을 사이에 두는 2차 광원(24E, 24F) 및 2차 광원(24G, 24H)의 편광 방향을 각각 X축에 대하여 반시계방향으로 45° 및 -45°로 교차하는 방향(DE) 및 방향(DG)으로 설정하는 것으로 한다.

[0049] 이 경우, 2차 광원(24A, 24B) 및 2차 광원(24C, 24D)에 대응하는 조명 영역에는, 각각 공간 광변조기(13A) 및 공간 광변조기(13B)로부터만 조명광(ILA) 및 조명광(ILB)을 조사하면 좋다. 또한, 2차 광원(24E, 24F)에 있어

서의 편광 방향을 방향(DE)으로 설정하기 위해서, 2차 광원(24E, 24F)에 대응하는 입사면(22I) 상의 조명 영역(25E) 등에는 공간 광변조기(13A, 13B)의 양쪽으로부터의 조명광(ILA, ILB)을 동일한 광량으로 코히어런트하게 합성한 빛을 조사한다.

[0050] 이와 같이 공간 광변조기(13A, 13B)로부터의 조명광을 코히어런트하게 합성하기 위해서는, 우선, 도 3의 (A)에 도시하는 바와 같이, 입사하는 조명광(IL) 중 일부의 광속[예컨대(IL1)]이 편광 비임 스플리터(10)에 의해 분할되었을 경우에, 그 광속(IL1) 등을 분할한 한쪽의 광속이 입사하는 공간 광변조기(13A)의 미러 요소를 미러 요소(3A7)로 하고, 그 광속(IL1) 등을 분할한 다른 쪽의 광속이 입사하는 공간 광변조기(13B)의 미러 요소를 미러 요소(3B7)로 한다. 즉, 대응하는 미러 요소(3A7) 및 미러 요소(3B7)에는 코히어런트한 빛이 입사한다. 마찬가지로, 공간 광변조기(13A)의 다른 미러 요소(3A1) 등 및 공간 광변조기(13B)의 다른 미러 요소(3B1) 등에도 각각 동일한 광속으로부터 분기된 코히어런트한 빛이 입사하는 것으로 한다.

[0051] 이때, 공간 광변조기(13A) 중 어느 하나의 미러 요소(3A1 내지 3A7)[예컨대(3A7)]로부터의 반사광 및 공간 광변조기(13B)의 대응하는 어느 하나의 미러 요소(3B1 내지 3B7)[예컨대(3B7)]로부터의 반사광이 입사면(22I)의 동일한 점에 조사되면, 그 점에서, 그 2개의 반사광[조명광(ILA, ILB)]이 코히어런트하게 합성된다. 그래서, 일 예로서 도 3의 (C)에 도시하는 바와 같이, 공간 광변조기(13A)의 미러 요소(3A7)로부터의 반사광과 공간 광변조기(13B)의 미러 요소(3B7)로부터의 반사광이 2차 광원(24E)에 대응하는 조명 영역(25E)에 입사하는 것으로 한다.

[0052] 도 4의 (A)는 도 3의 (C)의 공간 광변조기(13A, 13B)의 미러 요소(3A7, 3B7)를 확대하여 도면이다. 도 4의 (A)에 있어서, 광속(IL1)을 편광 비임 스플리터(10)로 분할하여 얻어지는 광속(L1A) 및 광속(L1C)이 미러 요소(3A7) 및 미러 요소(3B7)에서 반사되어 조명 영역(25E) 내의 동일한 점에서 코히어런트하게 합성되고, 합성된 광속(L1E)이 플라이 아이 렌즈(15)로부터 사출된다. 또한, 조명 영역(25E)에 있어서의 광속(L1A)의 전기 벡터(EVA) 및 광속(L1C)의 전기 벡터(EVB)의 방향은 도 4의 (B)에 도시하는 바와 같이 각각 X방향 및 Z방향이다.

[0053] 또한, 예컨대 공간 광변조기(13B)측의 미러 요소(3B7)의 Z위치를 $\delta Z7$ 만큼 조정하고, 광속(L1C)을 점선으로 나타내는 광속(L1D)으로 하는 것에 의해, 광속(L1D)은 광속(L1A)과 동일한 위치에 입사하는 동시에, 광속(L1A) 및 광속(L1D) 사이의 위상차($\delta \Theta AC$)를 임의의 값으로 설정할 수 있다. 그리고, 위상차($\delta \Theta AC$)가 0° , 90° 및 180° 인 경우에는, 광속(L1A, L1D)을 코히어런트하게 합성하여 얻어지는 광속(L1E)은, 각각 도 4의 (C)의 X축에 대하여 반시계방향으로 45° 에서 교차하는 방향의 전기 벡터(E1)를 갖는 직선 편광, 회전하는 전기 벡터(E4)를 갖는 원편광, 및 X축에 대하여 시계방향으로 45° 에서 교차하는 방향의 전기 벡터(E7)를 갖는 직선 편광이 된다. 또한, 위상차($\delta \Theta AC$)가 0° 내지 90° 의 사이 또는 90° 내지 180° 의 사이에서는, 광속(L1E)의 전기 벡터는 각각 도 4의 (C)의 전기 벡터(E2, E3) 또는 전기 벡터(E5, E6)가 된다. 따라서, 공간 광변조기(13B)의 미러 요소(3B7)의 Z위치를 제어하고, 광속[L1A, L1C(L1D)] 사이의 위상차를 조정하는 것에 의해, 플라이 아이 렌즈(15)에서 합성되어 사출되는 광속(L1E)의 편광 상태를 도 4의 (C)의 각종 편광 상태로 설정할 수 있다.

[0054] 본 실시형태에서는, 위상차($\delta \Theta AC$)를 0° 로 설정하는 것에 의해, 광속(L1A, L1C)을 합성한 광속(L1E)의 편광 상태는 전기 벡터(E1)를 갖는 편광광, 즉 도 3의 (D)의 2차 광원(24E)의 방향(DE)의 직선 편광이 된다. 마찬가지로, 2차 광원(24F)의 편광 방향도 방향(DE)으로 설정할 수 있다.

[0055] 또한, 도 5의 (A)에 도시하는 바와 같이, 동일한 광속(IL3)으로부터 편광 비임 스플리터(10)에 의해 분할된 광속(L3A) 및 광속(L3C)이 각각 공간 광변조기(13A) 및 공간 광변조기(13B)의 미러 요소(3A3) 및 미러 요소(3B3)에서 반사되고, 반사된 광속(L3A, L3C)이 입사면(22I)의 2차 광원(24G)에 대응하는 조명 영역(25G)에 입사하고 있는 것으로 한다. 이때, 광속(L3A, L3C)을 코히어런트하게 합성하여 플라이 아이 렌즈(15)로부터 사출되는 광속(L3E)의 편광 상태는 공간 광변조기(13B)의 미러 요소(3B3)의 Z위치의 제어량($\delta Z3$)을 조정하는 것에 의해 임의의 상태로 제어 가능하다. 미러 요소(3B3)의 Z위치 조정 후의 광속을 점선의 광속(L3D)으로 한다. 이 경우, 도 5의 (B)에 도시하는 바와 같이, 광속(L3A)의 전기 벡터(EVA) 및 광속[L3C(L3D)]의 전기 벡터(EVB)는 X방향 및 Z방향이기 때문에, 광속[L3A, L3C(L3D)] 사이의 위상차를 도 4의 (C)에 도시하는 180° 로 설정하는 것에 의해, 합성된 광속(L3E)의 편광 방향을 도 3의 (D)의 2차 광원(24G)의 방향(DG)으로 설정할 수 있다. 마찬가지로, 2차 광원(24H)에 있어서의 편광 방향도 방향(DG)으로 설정할 수 있다.

[0056] 이와 같이, 공간 광변조기(13B)의 소정의 미러 요소(3B7, 3B3) 등의 Z위치를 제어하는 것에 의해, 도 3의 (D)의 2차 광원(24E, 24F) 및 2차 광원(24G, 24H)의 편광 방향을 X축에 45° 에서 교차하는 방향(DE) 및 방향(DG)으로 설정할 수 있다. 또한, 공간 광변조기(13B)측의 미러 요소(3B)의 Z위치를 조정하는 대신에, 또는 미러 요소

(3B)의 Z위치의 조정과 병행하여, 공간 광변조기(13A)측의 미러 요소(3A)의 Z위치를 조정해도 좋다.

[0057] 다음으로, 도 5의 (D)에 도시하는 바와 같이, 조명 동공면(22P)에 있어서의 2차 광원을 X축에 대하여 시계방향으로 대략 22.5° 에서 교차하는 방향으로 광축(AXI)을 사이에 두는 2개의 2차 광원(24I, 24J)으로서 2차 광원(24I, 24J)을 통과하는 조명광의 편광 방향을 Z축에 대하여 시계방향으로 대략 22.5° 에서 교차하는 방향(DI)으로 설정하는 것으로 한다. 이 경우, 도 5의 (C)에 도시하는 바와 같이, 광속(IL1)을 편광 비임 스플리터(10)로 분기한 광속(L1A, L1C)을 공간 광변조기(13A, 13B)의 미러 요소(3A7, 3B7)를 거쳐서 2차 광원(24I)에 대응하는 입사면(22I)의 조명 영역(25I) 내의 동일한 점에 조사한다. 또한, 광속(IL1)에 근접한(공간 코히어런시가 높음) 광속(IL2)을 편광 비임 스플리터(10)로 분기한 광속(L3A, L3C) 중 광속(L3C)만을 공간 광변조기(13B)의 다른 미러 요소(3B6)를 거쳐서 조명 영역(25I) 내의 광속(L1C)이 조사되는 점에 조사한다. 이때, 분기된 한 쪽의 광속(L3A)은 공간 광변조기(13A)의 미러 요소(3A6)를 거쳐서 예컨대 입사면(22I)의 외부에 조사된다.

[0058] 또한, 공간 광변조기(13B)의 미러 요소(3B7, 3B6)의 Z위치를 위치(P1, P2)로 조정하여, 광속(L1C, L3C)의 전기 백터(EVC1, EVC2)[도 5의 (D) 참조]의 위상을 광속(L1A)의 전기 백터(EVA)의 위상과 동일하게 한다. 이에 의해, 공간 광변조기(13A)로부터의 광속(L1A) 및 공간 광변조기(13B)로부터의 광속(L1C, L3C)을 조명 영역(25I)에서 합성하여 얻어지는 광속(L1E)의 편광 상태는 대략 방향(DI)에 평행한 직선 편광이 된다.

[0059] 이 동작을 일반화하여, 변조 제어부(31)가 공간 광변조기(13A)의 n1개(n1은 1 이상의 정수)의 미러 요소(3A) 및 공간 광변조기(13B)의 n2개(n2는 1 이상의 정수)의 미러 요소(3B)를 제어하고, 그 n1개의 미러 요소(3A)로부터의 반사광 및 그 n2개의 미러 요소(3B)로부터의 반사광을 입사면(22I)의 동일한 점에 조사하는 경우를 상정한다. 이때, 그 동일한 점에 있어서의 공간 광변조기(13A) 및 공간 광변조기(13B)로부터의 반사광(조명 광)의 광량비는 미러 요소의 수의 비인 n1:n2로 제어된다.

[0060] 이 경우, 만일 공간 광변조기(13A)의 n1개의 미러 요소(3A)로부터의 반사광과, 공간 광변조기(13B)의 n2개의 미러 요소(3B)로부터의 반사광의 위상차가 0° 이면, 합성된 광속의 조명 동공면(22P)에 있어서의 편광 상태는 전기 백터의 X성분과 Z성분의 비가 n1:n2인 직선 편광이 된다. 한편, n1개의 미러 요소(3A)로부터의 반사광과 n2개의 미러 요소(3B)로부터의 반사광의 위상차가 180° 이면, 합성된 광속의 조명 동공면(22P)에 있어서의 편광 상태는 전기 백터의 X성분과 Z성분의 비가 n1:-n2인 직선 편광이 된다. 따라서, 합성되는 반사광을 생성하는 미러 요소(3A)의 개수(n1)와 미러 요소(3B)의 개수(n2)의 비를 제어하는 것에 의해, 조명 동공면(22P)에 있어서의 조명광의 편광 상태를 대략 임의의 방향의 직선 편광으로 설정할 수 있다.

[0061] 다음으로, 본 실시형태의 노광 장치(EX)에 의한 조명 방법을 포함하는 노광 방법의 일 예에 대하여 도 6의 흐름도를 참조해서 설명한다. 이 동작은 주제어계(30)에 의해 제어된다.

[0062] 우선, 도 6의 단계(102)에 있어서, 주제어계(30)는, 노광 대상의 레티클(R)의 패턴에 따라, 예컨대 노광 데이터 파일로부터 조명 동공면(22P)에 있어서의 광량 분포의 목표 분포 및 편광 상태의 목표 분포의 정보를 판독하고, 그 광량 분포 및 편광 상태의 목표 분포를 변조 제어부(31)에 설정한다. 그 편광 상태의 목표 분포에는 X축 및 Z축에 평행한 방향의 직선 편광 이외의 편광 상태가 포함되어 있는 것으로 한다. 이에 따라, 변조 제어부(31)는, 그 광량 분포 및 편광 상태의 목표 분포가 얻어지도록, 공간 광변조기(13A, 13B)의 각 미러 요소(3A, 3B)의 2축의 주위의 경사각을 제어하고, 공간 광변조기(13B)의 편광 상태를 제어하기 위해서 사용되는 미러 요소(3B)의 Z위치를 제어한다. 다음의 단계(104)에서, 레티클 스테이지(RST)를 구동하여, 편광 계측 장치(28)의 수광부를 조명 영역(26)내로 이동한다. 다음 단계(106)에서, 광원(5)의 발광을 개시시켜서, 광분할계(8)에서 분할된 제 1 조명광(ILA) 및 제 2 조명광(ILB)을 각각 공간 광변조기(13A, 13B)에 공급한다. 다음 단계(108)에서, 공간 광변조기(13A, 13B)의 각 미러 요소(3A, 3B)로부터의 반사광[조명광(ILA, ILB)]을 플라이 아이 렌즈(15)의 입사면(22I)에 조사하고, 일부의 반사광을 입사면(22I)에서 합성한다.

[0063] 다음 단계(110)에서, 편광 상태의 목표 분포에 따라, 합성되는 반사광을 공급하는 공간 광변조기(13B)의 미러 요소(3B)[도 3의 (B)의 경우에는 예컨대 미러 요소(3B7)]의 Z위치를 제어한다. 이에, Z위치를 제어하지 않은 상태에서, 공간 광변조기(13A, 13B)의 대응하는 미러 요소(3A, 3B)로부터의 반사광의 위상차는 0인 것으로 한다. 이에 의해, 조명 동공면(22P)에 있어서의 2차 광원의 편광 상태가 목표 분포에 가까운 분포로 설정된다.

[0064] 다음 단계(112)에서, 편광 계측 장치(28)에서 조명 동공면(22P)과 공역인 면, 나아가서는 조명 동공면(22P)에 있어서의 광량 분포의 편광 상태의 분포를 계측하고, 광원(5)의 발광을 정지시킨다. 이 계측 결과는 주제어계(30)에 공급된다. 다음 단계(114)에서, 주제어계(30)는 편광 상태의 분포의 계측 결과와 편광 상태의 목표 분포를 비교하여, 조명 동공면(22P)의 각 2차 광원마다 편광 상태의 설정 오차를 구한다. 이 설정 오차는, 예컨

대 도 4의 (C)의 전기 벡터(E1 내지 E7) 등의 X성분과 Y성분의 크기 및 위상차로 나타난다. 그래서, 각 2차 광원마다의 편광 상태의 설정 오차의 정보를 변조 제어부(31)에 공급하고, 변조 제어부(31)에서는 그 설정 오차를 보정하도록 공간 광변조기(13B)의 대응하는 미러 요소(3B)의 Z위치를 조정하여, 조정 후의 미러 요소(3B)의 Z위치를 변조 제어부(31)의 내부의 기억 장치에 기억한다. 그 결과, 조명 동공면(22P)에 있어서의 편광 상태의 분포는 목표 분포로 설정된다. 또한, 그 이후에, 동일한 조명 조건이 사용되는 경우에는, 변조 제어부(31)의 각 미러 요소(3B)의 Z위치로서는 기억 장치에 기억되어 있는 값이 사용된다.

[0065] 다음 단계(116)에서, 레티클 스테이지(RST)를 구동하고, 편광 계측 장치(28)를 퇴피시켜서, 레티클(R)을 조명 영역(26)의 바로 앞의 주사 개시 위치로 이동한다. 다음 단계(118)에서, 웨이퍼 스테이지(WST)에 의한 웨이퍼(W)의 X방향, Y방향으로의 스텝 이동과, 조명 광학계(ILS)로부터의 조명광으로 레티클(R)을 조명하고 레티클(R)의 패턴의 이미지로 웨이퍼(W)의 하나의 쇼트 영역을 주사 노광하는 동작을 반복함으로써, 웨이퍼(W)의 각 쇼트 영역이 주사 노광된다. 다음 단계(120)에서, 다음 웨이퍼를 노광하는 경우에는, 단계(118)에서 다음의 웨이퍼에의 주사 노광이 반복된다. 이와 같이 본 실시형태에 의하면, 레티클(R)에 대응하여 설정된 편광 상태의 분포를 포함하는 조명 조건 하에서, 레티클(R)의 패턴의 이미지가 웨이퍼(W)의 각 쇼트 영역에 노광된다.

[0066] 본 실시형태의 효과 등은 이하와 같다.

[0067] (1) 본 실시형태의 도 1의 노광 장치(EX)에 구비된 조명 장치(2)(조명 광학 장치)는 광원(5)으로부터의 조명광(IL)(광속)을 이용하여 레티클면(파조사면)을 조명한다. 그리고, 조명 장치(2)는 조명광(IL)을 서로 직교한 편광 방향의 2개의 조명광(ILA, ILB)으로 분할하는 광분할계(8)와, 조명광(ILA)의 광로 상에 2차원적으로 배열되며, 개별적으로 구동되는 복수의 미러 요소(3A)를 갖는 공간 광변조기(13A)와, 조명광(ILB)의 광로 상에 2차원적으로 배열되며, 개별적으로 구동되는 복수의 미러 요소(3B)를 갖는 공간 광변조기(13B)를 갖는다. 또한, 조명 장치(2)는, 조명 동공면(22P)에 있어서, 조명광(ILA, ILB)과는 다른 편광 상태의 2차 광원을 생성하는 경우에, 공간 광변조기(13A, 13B)로부터의 조명광(ILA, ILB)의 적어도 일부를 플라이 아이 렌즈(15)의 입사면(22I) (합성면)에서 합성하고, 합성된 광속의 편광 상태를 공간 광변조기(13A, 13B)에 입사하는 조명광(ILA, ILB)의 편광 상태와는 다른 편광 상태로 하는 변조 제어부(31)(제어 장치)를 구비하고 있다.

[0068] 또한, 조명 장치(2)를 이용하는 조명 방법은, 복수의 미러 요소(3A, 3B)를 갖는 공간 광변조기(13A, 13B)와 레티클면 사이의 조명 동공면(22P)에서, 조명광(IL)의 편광 상태의 목표 분포를 설정하는 단계(102)와, 조명광(IL)을 서로 직교한 편광 방향의 조명광(ILA, ILB)으로 분할하고, 조명광(ILA, ILB)을 각각 공간 광변조기(13A, 13B)에 공급하는 단계(106)와, 그 편광 상태의 목표 분포에 따라서, 공간 광변조기(13A, 13B)로부터의 광속의 적어도 일부를 합성하고, 합성된 광속의 편광 상태를 공간 광변조기(13A, 13B)에 입사하는 조명광의 편광 상태와는 다른 편광 상태로 제어하는 단계(108, 110)를 갖는다.

[0069] 본 실시형태에 의하면, 2개의 공간 광변조기(13A, 13B)로부터의 광속의 적어도 일부를 코히어런트하게 합성하고, 합성 후의 광속의 편광 상태를 공간 광변조기(13A, 13B)에 입사하는 조명광의 편광 상태와는 다른 편광 상태로 하고 있다. 따라서, 사용하는 공간 광변조기(13A, 13B)의 개수를 큰 폭으로 초과하는 수의 여러 가지 편광 상태를 생성할 수 있다. 이 때문에, 장치 구성은 너무 복잡화 또는 대형화하는 일 없이, 여러 가지 편광 상태의 분포의 광속으로 레티클면을 조명할 수 있다.

[0070] (2) 또한, 플라이 아이 렌즈(15)의 입사면(22I)(합성면)에서, 공간 광변조기(13A, 13B)로부터의 광속 중 합성되는 광속의 광량비를 제어하는 것에 의해, 합성 후의 광속의 편광 방향을 X방향, Z방향 또는 X축에 45°에서 교차하는 방향 이외의 여러 가지 방향으로 설정 가능하다.

[0071] (3) 또한, 공간 광변조기(13A, 13B)로부터의 광속 중 합성되는 광속의 광로 길이 차이(위상차)를 제어하는 것에 의해, 합성된 광속의 편광 상태를 직선 편광 이외의 원 편광 등으로도 제어할 수 있다. 이 원 편광은 예컨대 비편광 대신에 사용하는 것도 가능하다.

[0072] 또한, 공간 광변조기(13A, 13B)는 조명광을 반사하는 복수의 미러 요소(3A, 3B)를 갖는 가동 멀티 미러 방식이기 때문에, 미러 요소(3A, 3B)의 반사면의 법선방향의 위치(Z위치)를 제어하는 것만으로도 광로 길이 차이를 제어할 수 있다. 이때에, 공간 광변조기(13A, 13B)와 플라이 아이 렌즈(15) 사이에 렐레이 광학계(14)가 마련되어 있기 때문에, 미러 요소(3A, 3B)의 Z위치를 변화시켜도, 플라이 아이 렌즈(15)의 입사면(22I)에 있어서의 반사광의 조사 위치가 변화하지 않는다.

[0073] 또한, 그 합성되는 광속에 관하여, 광량비와 광로 길이 차이의 양쪽을 제어해도 좋다.

[0074] (4) 또한, 공간 광변조기(13A, 13B)의 미러 요소(3A, 3B)는 프리즘(12A, 12B)의 투과면에 근접하여 배치되어 있

기 때문에, 조명 광학계(ILS)를 컴팩트하게 배치할 수 있다. 또한, 예컨대 도 5의 (A)에 2점쇄선으로 도시하는 바와 같이, 2개의 프리즘(12A, 12B) 대신에, 프리즘(12A, 12B)의 교차하는 2개의 반사면(내면 반사면)을 외면의 반사면으로 하는 단면 형상이 대략 마름모꼴인 미러 부재(52)를 사용해도 좋다.

[0075] (5) 또한, 본 실시형태의 노광 장치(EX)는 레티클(R)의 패턴(소정의 패턴)을 조명하기 위한 조명 장치(2)를 구비하고, 그 패턴을 투영 광학계(PL)를 거쳐서 웨이퍼(W)에 노광하고 있다.

[0076] 또한, 노광 장치(EX)의 노광 방법은 본 실시형태의 조명 방법으로 레티클면의 패턴을 조명하고, 그 패턴을 투영 광학계(PL)를 거쳐서 웨이퍼(W)에 노광하고 있다.

[0077] 이때에, 조명 장치(2) 또는 그 조명 방법에 의하면, 간단한 구성으로 여러 가지 편광 상태의 조명광을 생성할 수 있기 때문에, 그 패턴에 적합한 편광 상태의 조명광으로 그 패턴을 조명할 수 있다. 따라서, 그 패턴의 이미지를 고정밀도로 웨이퍼(W)에 노광할 수 있다.

[0078] 다음으로, 본 발명의 실시형태의 다른 예에 대하여 도 7의 (A) 내지 도 7의 (C)를 참조하여 설명한다. 본 실시 형태의 조명 장치는 도 1의 조명 장치(2)에 대하여 미러(9)와 릴레이 광학계(14) 사이의 광학계의 구성이 다르다. 또한, 본 실시형태에 있어서는, 제 1 및 제 2 프리즘(12A, 12B) 및 제 1 및 제 2 공간 광변조기(13A, 13B)의 배열 방향에 직교하도록, 제 3 및 제 4 프리즘(12C, 12D) 및 제 3 및 제 4 공간 광변조기(13C, 13D)가 마련되어 있다. 이하, 도 7의 (A) 내지 도 7의 (C)에 있어서, 도 3의 (A) 및 도 3의 (D)에 대응하는 부분에는 동일한 부호를 부여하고 그 상세한 설명을 생략한다.

[0079] 도 7의 (A)는 본 실시형태의 조명 장치의 광분할계(8A)로부터 플라이 아이 렌즈(15)까지의 광학계를 도시하는 도면이며, 도 7의 (B)는 도 7의 (A)의 BB선을 따르는 화살표에서 본 도면이며, 도 7의 (C)는 도 7의 (A)의 조명 동공면(22P)에 있어서의 2차 광원의 형상 및 편광 상태의 분포의 일 예를 도시하는 도면이다. 도 7의 (A)에 있어서, 도 1의 1/2 파장판(7) 및 미러(9)를 통과해 온 직선 편광의 조명광(IL)은 편광 비임 스플리터(10)에 의해 S편광의 제 1 조명광(ILA)과 P편광의 다른 조명광으로 분할되고, 조명광(ILA)은 미러(11A) 및 프리즘(12A)을 거쳐서 공간 광변조기(13A)의 다수의 미러 요소(3A)에 입사한다. 또한, 편광 비임 스플리터(10)를 투과한 P편광의 조명광은, 반사광과 투과광의 광량비가 1:2인 비임 스플리터(10A)에 의해 P편광의 제 2 조명광(ILB)과, 다른 조명광으로 분할되고, 제 2 조명광(ILB)은 미러(11B) 및 프리즘(12B)을 거쳐서 공간 광변조기(13B)의 다수의 미러 요소(3B)에 입사한다.

[0080] 한편, 비임 스플리터(10A)를 투과한 조명광은, 도 7의 (B)에 도시하는 바와 같이, 반사광과 투과광의 광량비가 1:1인 비임 스플리터(10B)에 의해 +X방향을 향하는 제 3 조명광(ILC)과 +Y방향을 향하는 제 4 조명광(ILD)으로 분할된다. 제 3 조명광(ILC)은 미러(11C)에서 +Y방향으로 반사되며, 1/2 파장판(21A) 및 프리즘(12C)을 거쳐서 공간 광변조기(13C)의 다수의 미러 요소에 입사한다. 또한, 제 4 조명광(ILD)은 미러(11D, 11E)에 의해 -X방향으로 시프트한 후 +Y방향을 향하며, 1/2 파장판(21B) 및 프리즘(12D)을 거쳐서 공간 광변조기(13D)의 다수의 미러 요소에 입사한다. 프리즘(12A, 12B) 및 공간 광변조기(13A, 13B)는 Z방향으로 광축(AXI)을 사이에 두도록 배치되고, 프리즘(12C, 12D) 및 공간 광변조기(13C, 13D)는 X방향으로 광축(AXI)을 사이에 두도록 배치되어 있다.

[0081] 본 실시형태에 있어서, 프리즘(12A) 및 프리즘(12B)에 입사하는 조명광(ILA, ILB)의 편광 방향은 X방향 및 Z방향이다. 또한, 프리즘(12A) 및 프리즘(12B)에 입사하는 조명광(ILC) 및 조명광(ILD)의 편광 방향이 각각 X축에 시계방향으로 $\pm 45^\circ$ 에서 교차하도록, 1/2 파장판(21A, 21B)의 회전각이 설정되어 있다. 따라서, 조명광(ILA)의 편광 방향의 Z축에 대한 각도를 0° 로 하면, 다른 조명광(ILB, ILC, ILD)의 편광 방향의 Z축에 대한 각도는 90° , 45° , 135° 가 된다. 또한, 비임 스플리터(10A)는 필요에 따라서 미러(11F)와 교환 가능하다.

[0082] 그리고, 공간 광변조기(13A 내지 13D)의 다수의 미러 요소에서 반사된 조명광(ILA 내지 ILD)은 각각 프리즘(12A 내지 12D)의 반사면 및 릴레이 광학계(14)를 거쳐서 플라이 아이 렌즈(15)의 입사면(22I)에 입사한다. 편광 비임 스플리터(10), 비임 스플리터(10A, 10B) 및 미러(11A 내지 11F)로 광분할계(8A)가 구성되어 있다. 본 실시 형태의 조명 장치는 광분할계(8A)와, 프리즘(12A 내지 12D)과, 공간 광변조기(13A 내지 13D)와, 공간 광변조기(13A 내지 13D)의 변조 제어부(도시 생략)와, 릴레이 광학계(14)와, 플라이 아이 렌즈(15)를 구비하고, 조명광에 의해 도시하지 않은 레티클면을 조명한다.

[0083] 이 실시형태에서도, 조명 동공면(22P)에 있어서의 2차 광원의 일부의 편광 상태를 공간 광변조기(13A 내지 13D)에 입사하는 조명광(ILA 내지 ILD)의 편광 상태와 다른 편광 상태로 하는 경우에는, 도시하지 않은 변조 제어부에 의해, 공간 광변조기(13A 내지 13D)의 대응하는 소정의 미러 요소로부터의 반사광이 광량비 및 광로 길이

차이의 적어도 한쪽이 조정되어 입사면(22I)에서 합성된다.

[0084] 본 실시형태에 있어서, 조명 동공면(22P)의 편광 상태를 일률적으로 X방향 또는 Z방향의 직선 편광으로 하려면, 편광 비임 스플리터(10)에 입사하는 조명광(IL)의 편광 방향을 X방향 또는 Z방향으로 하고, 편광 방향이 Z방향일 때는 또한 비임 스플리터(10A)를 미러(11F)와 교환하면 좋다. 이러한 경우에는 공간 광변조기(13A) 또는 공간 광변조기(13B)의 미러 요소로부터의 반사광만이 입사면(22I)에 조사된다.

[0085] 또한, 도 7의 (C)에 도시하는 바와 같이, 본 실시형태에서, 조명 동공면(22P)에 있어서, 광축(AXI)을 등각도 간격으로 윤대 형상으로 둘러싸는 16개의 2차 광원(24A 내지 24P) 및 광축(AXI) 상의 원형의 2차 광원(24Q)에서 광량이 크고, 2차 광원(24A 내지 24P)의 편광 상태가 대략 원주방향을 향하는 직선 편광이며, 중앙의 2차 광원(24Q)의 편광 상태가 실질적으로 비편광인 조명 조건을 설정하는 경우에 대하여 설명한다. 이 조명 조건을 실현하기 위해서는, 일 예로서 도 7의 (A)의 편광 비임 스플리터(10)에 입사하는 조명광(IL)의 편광 방향을, 편광 비임 스플리터(10)에 있어서의 S편광의 반사광과 P편광의 투과광의 광량비가 1:3이 되는 방향으로 설정한다. 그 결과, 프리즘(12A 내지 12D)에 입사하는 조명광(ILA 내지 ILD)의 광량은 서로 대략 동일해진다.

[0086] 그리고, 공간 광변조기(13A, 13B, 13C, 13D)로부터의 반사광으로, 각각 2차 광원(24A, 24B), 2차 광원(24C, 24D), 2차 광원(24G, 24H) 및 2차 광원(24E, 24F)에 대응하는 입사면(22I)의 조명 영역을 조명한다. 또한, Z 축에 시계방향으로 $\pm 22.5^\circ$ 에서 교차하는 방향으로 배열된 2차 광원(24I, 24J) 및 2차 광원(24O, 24P)에 대응하는 조명 영역은 각각 공간 광변조기(13A, 13C)로부터의 위상차가 0인 합성광 및 공간 광변조기(13A, 13D)로부터의 위상차가 0인 합성광으로 조명한다. 또한, X축에 시계방향으로 $\pm 22.5^\circ$ 에서 교차하는 방향으로 배열된 2차 광원(24M, 24N) 및 2차 광원(24K, 24L)에 대응하는 조명 영역은 각각 공간 광변조기(13B, 13D)로부터의 위상차가 0인 합성광 및 공간 광변조기(13B, 13C)로부터의 위상차가 0인 합성광으로 조명한다. 또한, 중앙의 2차 광원(24Q)에 대응하는 조명 영역에는 예컨대 공간 광변조기(13A 내지 13D)로부터의 공간적 코히어런시가 낮은 광속을 중첩하여 조사한다. 이에 의해, 간단한 제어로, 도 7의 (C)의 2차 광원 및 편광 상태의 분포를 얻을 수 있다. 마찬가지로, 공간 광변조기(13A 내지 13D)로부터의 광속을 조합하는 것에 의해, 조명 동공면(22P)의 여러 가지 편광 상태의 분포를 용이하게 얻을 수 있다.

[0087] 다음으로, 상기의 실시형태에서는 다음과 같은 변형이 가능하다.

[0088] (1) 상기의 실시형태에서는, 옵티컬 인터그레이터로서 플라이 아이 렌즈(15)가 사용되고 있지만, 옵티컬 인터그레이터로서 마이크로 렌즈 어레이(마이크로 플라이 아이 렌즈)를 사용해도 좋다.

[0089] (2) 또한, 도 1의 실시형태에 있어서, 공간 광변조기(13A, 13B) 중 한쪽의 공간 광변조기는 다수의 미러 요소의 2축의 주위의 경사각을 제어하는 기능만을 구비하고, 미러 요소의 Z위치를 제어하는 기능을 갖지 않아도 좋다.

[0090] 마찬가지로, 도 7의 (A)의 실시형태에 있어서, 공간 광변조기(13A 내지 13D) 중 적어도 1개의 공간 광변조기는 다수의 미러 요소의 2축의 주위의 경사각을 제어하는 기능만을 구비하고, 미러 요소의 Z위치를 제어하는 기능을 가지지 않아도 좋다.

[0091] (3) 예컨대 도 1 또는 도 7의 (A)의 과면 분할형의 인터그레이터인 플라이 아이 렌즈(15)를 대신하여, 내면 반사형의 옵티컬 인터그레이터로서의 로드형 인터그레이터를 이용할 수도 있다.

[0092] (4) 또한, 도 1의 실시형태에 있어서, 공간 광변조기(13A) 대신에, 미리 다수의 반사면이 형성된 반사 광학 부재를 이용해도 좋다. 이 경우, 반사광학 부재에 형성되는 다수의 미러면의 경사 각도는, 전술한 바와 같은 조명 조건[예컨대, 조명 동공면(22P)에 있어서, 통상 조명용의 원형의 2차 광원, 윤대 조명용의 2차 광원, X방향 또는 Y방향의 2극의 2차 광원 등의 어느 하나를 형성함]에 대응할 수 있도록 설정되어 있다. 또한, 조명 조건 [조명 동공면(22P)에 있어서의 2차 광원의 형상]을 변경하는 경우에는, 미리 복수의 2차 광원의 형상을 따라 형성된 다수의 미러면을 갖는 반사 광학 부재를 준비해 두고, 임의의 반사광학 부재로 교환하면 좋다.

[0093] 또한, 광분할계(8)와 반사 광학 부재 사이에, 상기 조명 조건을 설정하기 위한 조리개를 배치했을 경우, 반사 광학 부재로서 평면 미러를 이용하는 것도 가능하다. 이 조리개는 반사 광학 부재의 근방에 배치해도 좋다.

[0094] 또한, 상기의 실시형태의 노광 장치(EX) 또는 노광 방법을 이용하여 반도체 디바이스 등의 전자 디바이스(마이크로 디바이스)를 제조하는 경우, 이 전자 디바이스는, 도 8에 도시하는 바와 같이, 디바이스의 기능·성능 설계를 실행하는 단계(221), 이 설계 단계에 근거한 마스크(레티클)를 제작하는 단계(222), 디바이스의 기재인 기판(웨이퍼)을 제조하는 단계(223), 전술한 실시형태의 노광 장치(EX) 또는 노광 방법에 의해 마스크의 패턴을 기판에 노광하는 공정, 노광한 기판을 현상하는 공정, 현상한 기판의 가열(큐어) 및 에칭 공정 등을 포함한 기

판 처리 단계(224), 디바이스 조립 단계(다이싱 공정, 본딩 공정, 패키지 공정 등의 가공 프로세스를 포함함)(225) 및 검사 단계(226) 등을 거쳐 제조된다.

[0095] 환연하면, 상기의 디바이스의 제조 방법은, 상기의 실시형태의 노광 장치(EX) 또는 노광 방법을 이용하여, 마스크의 패턴을 거쳐서 기판[웨이퍼(W)]을 노광하는 공정과, 그 노광된 기판을 처리하는 공정[즉, 기판의 레지스트를 현상하고, 그 마스크의 패턴에 대응하는 마스크층을 그 기판의 표면에 형성하는 현상 공정, 및 그 마스크층을 거쳐서 그 기판의 표면을 가공(가열 및 애칭 등)하는 가공 공정]을 포함하고 있다.

[0096] 이 디바이스 제조 방법에 의하면, 마스크에 패턴에 따라 조명광(노광광)의 편광 상태를 용이하게 최적화할 수 있기 때문에, 전자 디바이스를 고정밀도로 제조할 수 있다.

[0097] 또한, 본 발명은 예컨대 미국 특허 출원 공개 제 2007/242247 호 명세서 또는 유럽 특허 출원 공개 제 1420298 호 명세서 등에 개시되어 있는 액침형 노광 장치에도 적용할 수 있다. 또한, 본 발명은 투영 광학계를 이용하지 않는 프록시미티(proximity) 방식 등의 노광 장치 및 이 노광 장치의 조명 장치(조명 광학 장치)에도 적용할 수 있다.

[0098] 또한, 본 발명은 반도체 디바이스의 제조 프로세스에의 적용으로 한정되는 일 없이, 예컨대, 액정 표시 소자, 플라스마 디스플레이 등의 제조 프로세스나, 활상 소자(CMOS형, CCD 등), 마이크로 머신, MEMS(Microelectromechanical Systems; 미소 전기 기계 시스템), 박막 자기 헤드 및 DNA칩 등의 각종 디바이스(전자 디바이스)의 제조 프로세스에도 광범위하게 적용할 수 있다.

[0099] 이와 같이 본 발명은 상술의 실시형태에 한정되지 않고, 본 발명의 요지를 일탈하지 않는 범위에서 여러 가지 구성을 취할 수 있다.

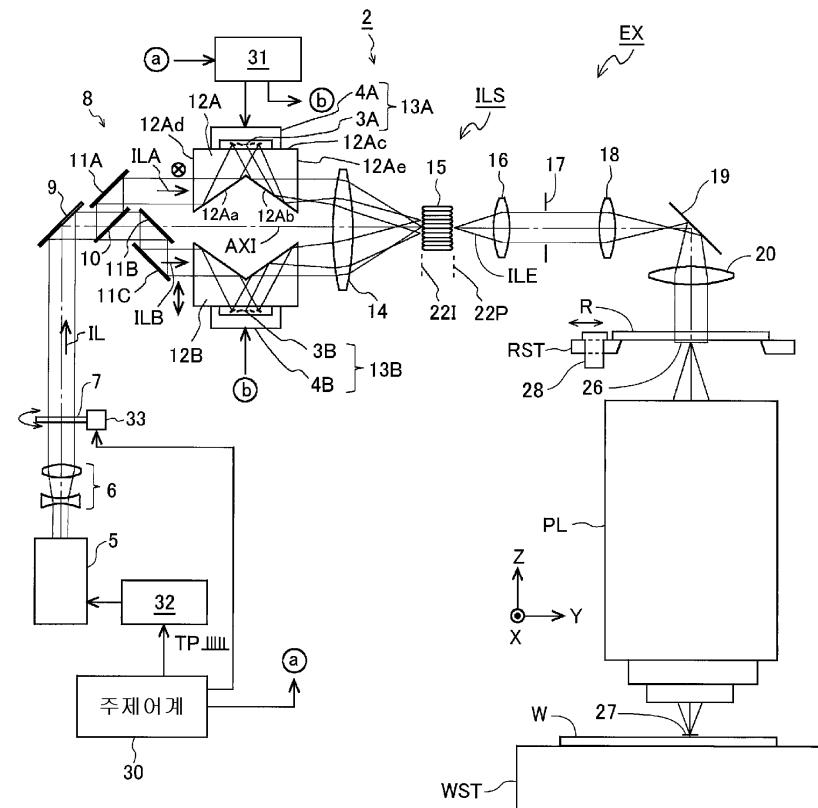
[0100] 또한, 본원에 기재한 상기 공보, 각 국제 공개 팜플렛, 미국 특허 또는 미국 특허 출원 공개 명세서에 있어서의 개시를 원용하여 본 명세서의 기재의 일부로 한다. 또한, 명세서, 특허청구범위, 도면 및 요약을 포함한 2010년 2월 3일 제출의 일본 특허 출원 제 2010-21853 호의 모든 개시 내용은 그대로 인용하며 본원에 도입되어 있다.

부호의 설명

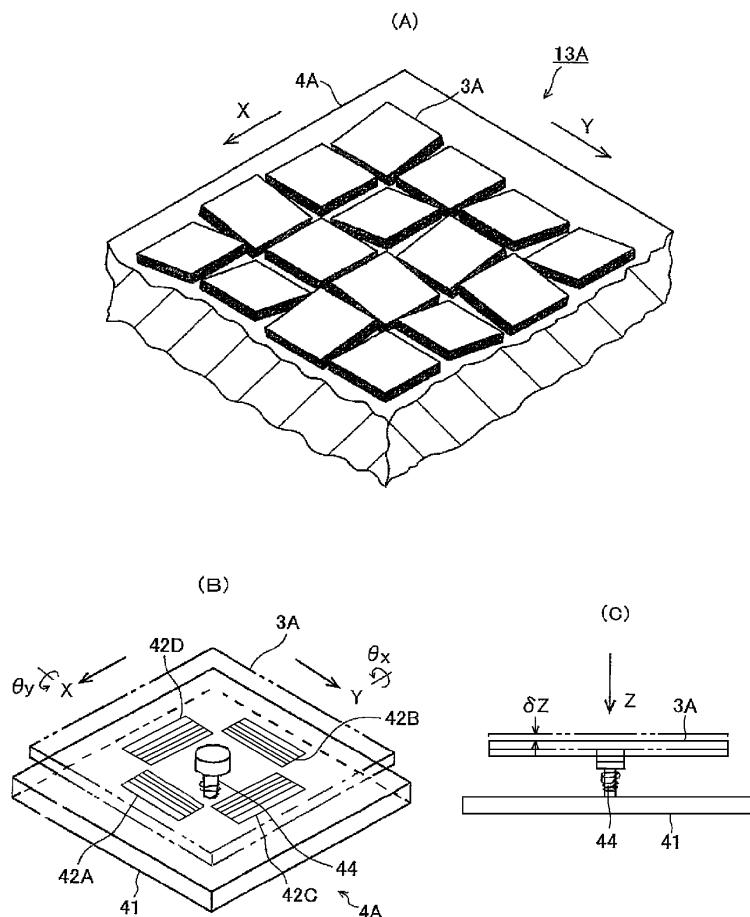
[0101]	EX : 노광 장치	ILS : 조명 광학계
	R : 레터클	PL : 투영 광학계
	W : 웨이퍼	2 : 조명 장치
	3A, 3B : 미러 요소	4A, 4B : 구동부
	8 : 광분할계	12A, 12B : 프리즘
	13A, 13B : 공간 광변조기	14 : 텔레이 광학계
	15 : 플라이 아이 렌즈	30 : 주제어계
	31 : 변조 제어부	

도면

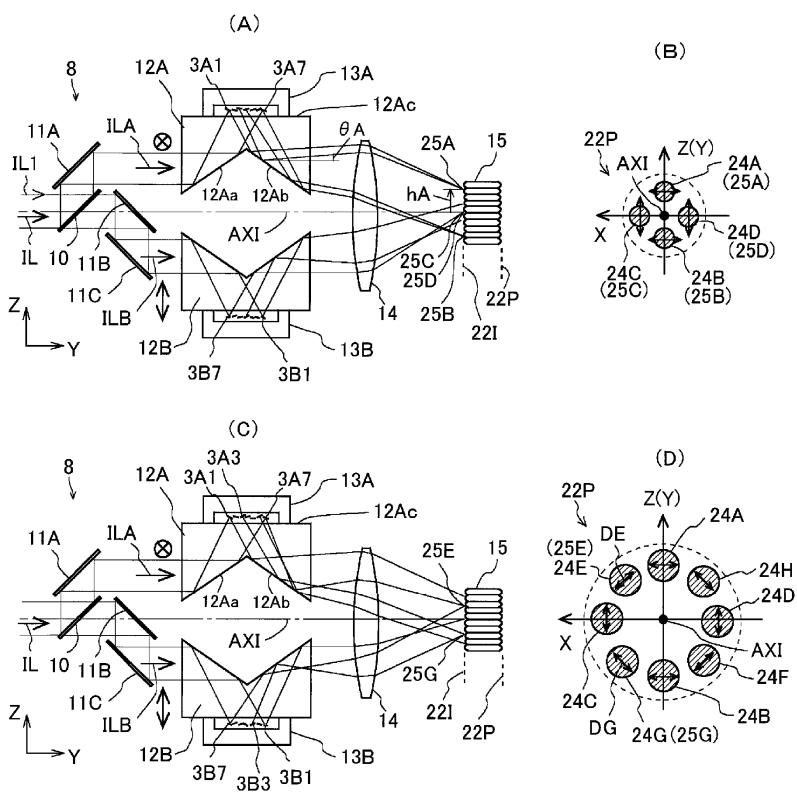
도면1



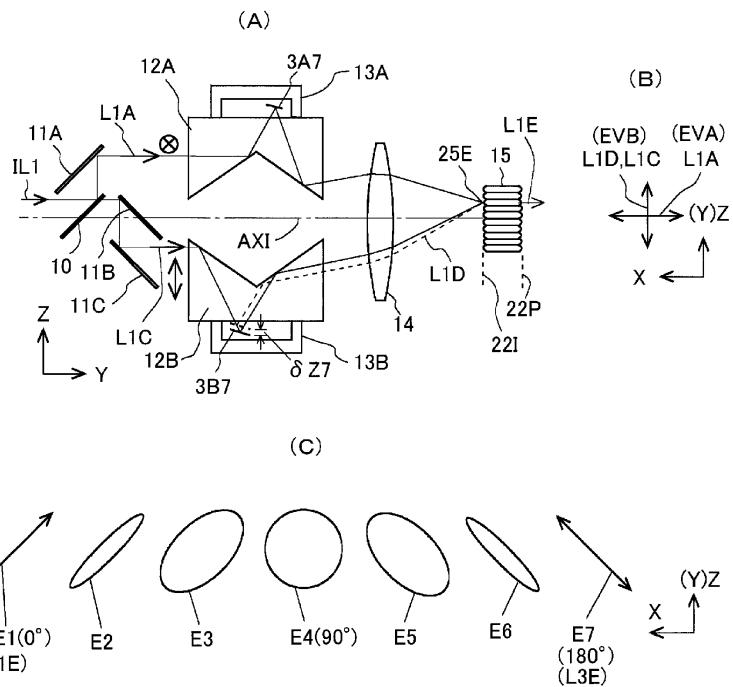
도면2



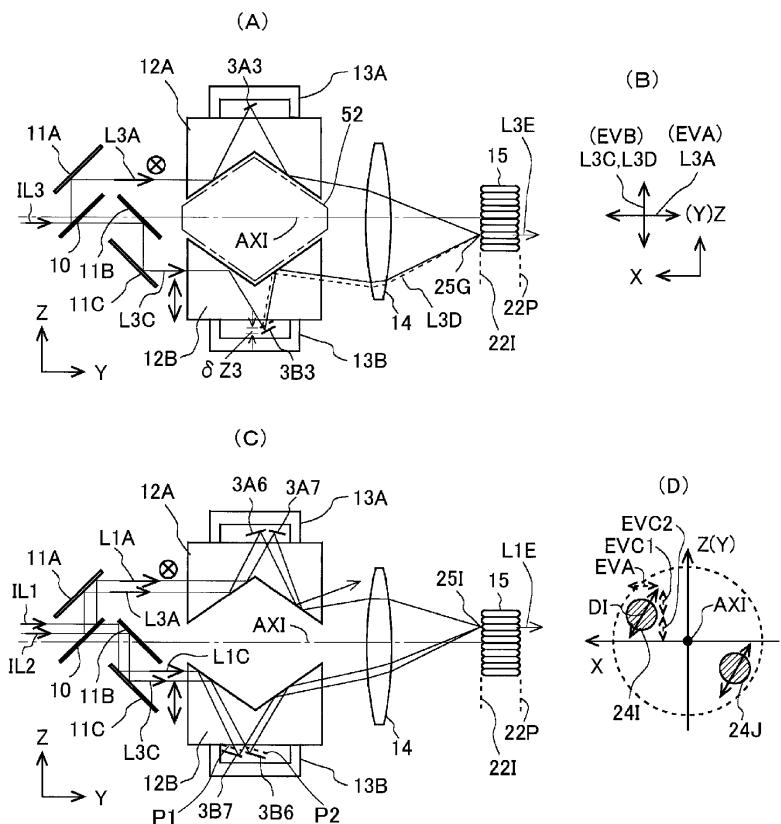
도면3



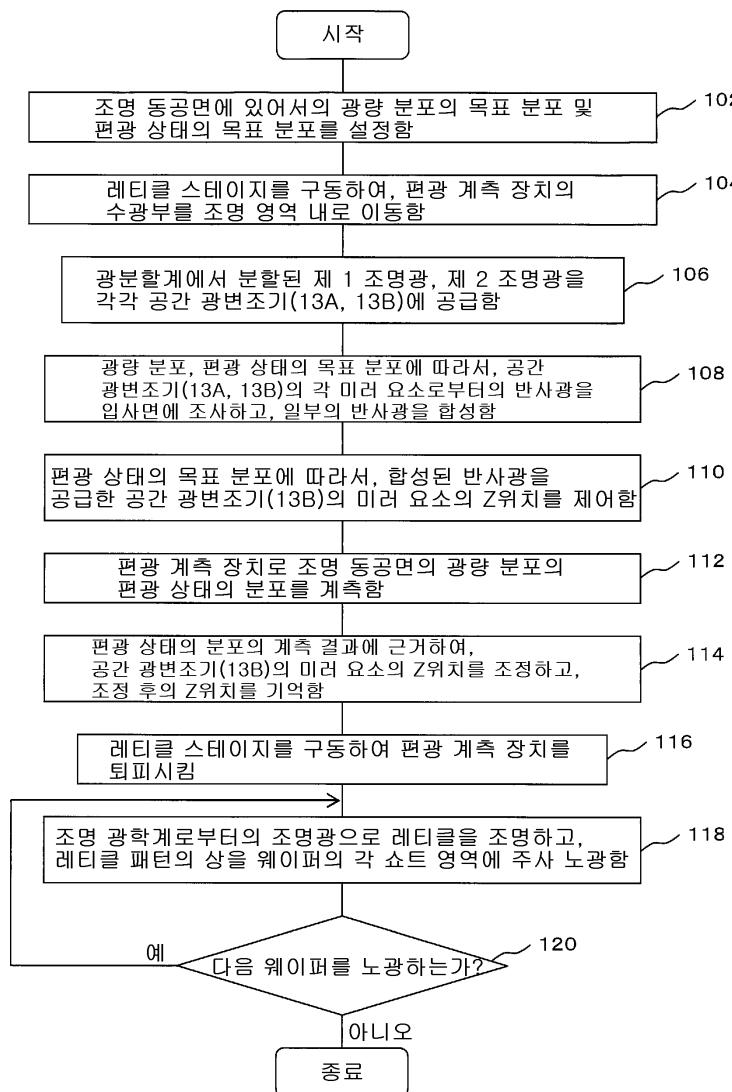
도면4



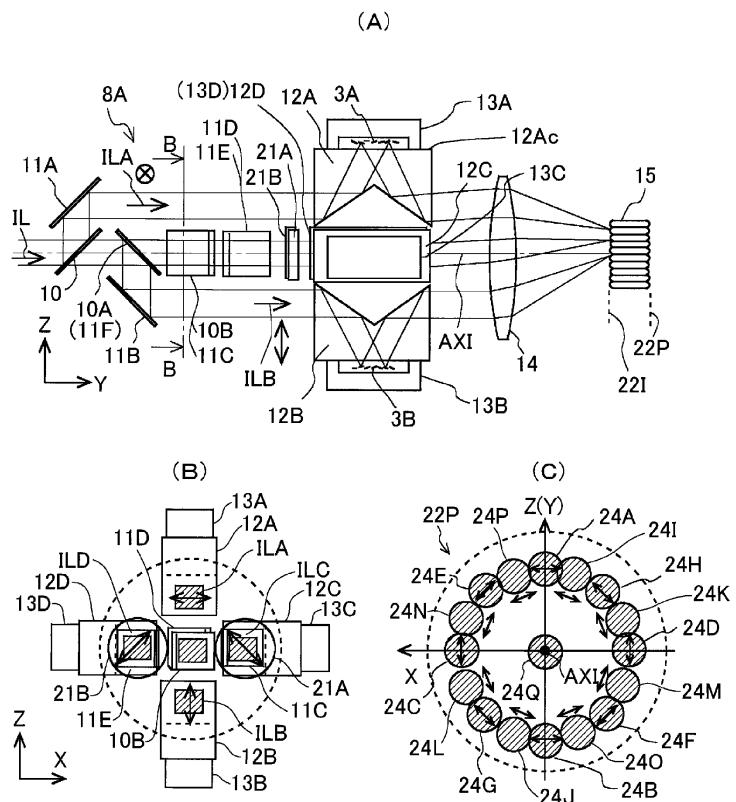
도면5



도면6



도면7



도면8

