



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년07월21일  
(11) 등록번호 10-0847634  
(24) 등록일자 2008년07월15일

(51) Int. Cl.

*H01L 21/027* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0066342  
(22) 출원일자 2007년07월03일  
심사청구일자 2007년07월03일  
(65) 공개번호 10-2008-0003727  
(43) 공개일자 2008년01월08일

(30) 우선권주장

JP-P-2006-00183851 2006년07월03일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

KR100360551 B1

KR1020010038947 A

KR1020060052182 A

JP2003297729 A

전체 청구항 수 : 총 10 항

(73) 특허권자

캐논 가부시끼가이샤

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루꼬 3조메 30방 2고

(72) 발명자

모리 켄이치로

일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루꼬 3조메 30방  
2고 캐논가부시끼가이샤나이

야마다 아키히로

일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루꼬 3조메 30방  
2고 캐논가부시끼가이샤나이

오사카 노보루

일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루꼬 3조메 30방  
2고 캐논가부시끼가이샤나이

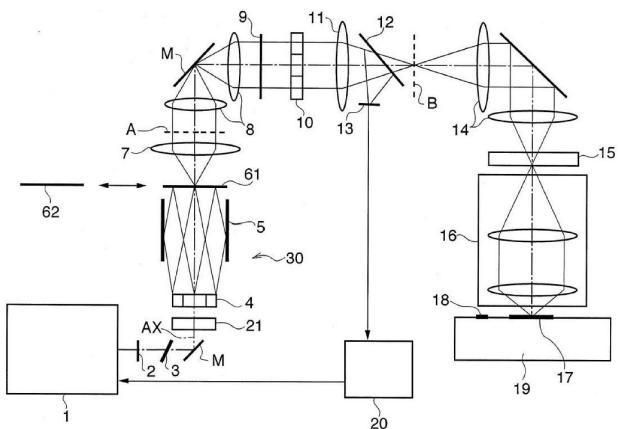
(74) 대리인

신중훈, 임옥순

심사관 : 최정식

**(54) 노광장치****(57) 요약**

기판을 노광하는 노광장치는 조명광으로 마스크를 조명하는 조명광학계와 마스크의 패턴을 기판 위에 투영하는 투영광학계를 구비한다. 조명광은 서로 직교하는 주편광성분 및 부편광성분을 포함한다. 조명광학계는 주편광성분의 방향을 변경하지 않고 주편광성분과 부편광성분 사이의 위상차를 연속적으로 조정하는 기능을 구비한 위상차조정유닛을 포함한다.

**대표도**

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

기판을 노광하는 노광장치로서,  
조명광으로 마스크를 조명하는 조명광학계; 및  
상기 마스크의 패턴을 기판 위에 투영하는 투영광학계  
를 구비하고,  
상기 조명광은 서로 직교하는 주편광성분 및 부편광성분을 포함하고,  
상기 조명광학계는 상기 주편광성분의 방향을 변경하지 않고 상기 주편광성분과 상기 부편광성분 사이의 위상 차를 연속적으로 조정하도록 구성된 위상차조정유닛을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

### 청구항 2

제1 항에 있어서,  
상기 위상차조정유닛은 일축성의 결정으로 구성된 위상차조정판을 포함하고. 상기 위상차조정판의 입사면과 상기 조명광학계의 광축 사이의 각을 조정하는 것이 가능한 것을 특징으로 하는 노광장치.

### 청구항 3

제2 항에 있어서,  
상기 위상차조정유닛은 상기 위상차조정판을 상기 조명광학계의 광축에 직교하는 축을 중심으로 회전시키는 액츄에이터를 부가하여 포함하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

### 청구항 4

제1 항에 있어서,  
상기 위상차조정유닛은 소레일 보정기를 포함하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

### 청구항 5

제4 항에 있어서,  
상기 소레일 보정기는 2개의 웨지를 포함하고, 상기 위상차조정유닛은 상기 조명광학계의 광축방향에 있어서의 상기 2개의 웨지의 합계의 두께를 변경하는 액츄에이터를 부가하여 포함하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

### 청구항 6

제1 항에 있어서,  
상기 조명광의 주편광성분의 광량을  $I_m$ , 상기 조명광의 부편광성분의 광량을  $I_s$ , 상기 투영광학계의 물체면 상의 상기 주편광성분과 상기 부편광성분 사이의 위상차를  $\phi$ , 상기 투영광학계의 리타데이션을  $\Theta$ 로 놓고,  $(I_m/(I_m+I_s))$ 를 RoP로 놓으면,

$$|\sin \phi| \leq \frac{0.02}{\left| \sin \Theta \sqrt{RoP - RoP^2} \right|}$$

의 식을 만족시키는 것을 특징으로 하는 노광장치.

### 청구항 7

제1 항에 있어서,

상기 투영광학계의 물체면 상에 있어서의 광의 편광상태를 계측하는 계측유닛; 및  
상기 계측유닛에 의한 계측결과에 의거하여 상기 위상차조정유닛을 제어하는 위상차제어유닛을 부가하여 구비하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

### 청구항 8

조명광으로 마스크를 조명하는 조명광학계; 및  
상기 마스크의 패턴을 기판 위에 투영하는 투영광학계  
를 구비하고,  
상기 조명광은 서로 직교하는 주편광성분 및 부편광성분을 포함하고,  
상기 조명광학계는 상기 주편광성분의 방향을 변경하지 않고 상기 주편광성분과 상기 부편광성분 사이의 위상차를 조정하도록 구성된 위상차조정유닛을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

### 청구항 9

제1 항에 기재된 노광장치를 사용하여 기판을 노광하는 공정; 및  
상기 기판을 현상하는 공정  
을 포함하는 것을 특징으로 하는 디바이스의 제조방법.

### 청구항 10

제8 항에 기재된 노광장치를 사용하여 기판을 노광하는 공정; 및  
상기 기판을 현상하는 공정  
을 포함하는 것을 특징으로 하는 디바이스의 제조방법.

## 명세서

### 발명의 상세한 설명

#### 기술 분야

&lt;1&gt;

본 발명은 기판을 노광하는 노광장치에 관한 것이다.

#### 배경 기술

&lt;2&gt;

반도체디바이스 등의 디바이스는 리소그래피공정을 개재하여 제조될 수 있다. 이 리소그래피공정에는 투영노광장치를 사용하고, 회로패턴을 감광제에 의해 도포된 기판(예를 들면, 실리콘기판, 유리기판) 상에 투영하여 상기 감광제 상에 전사하는 공정을 포함한다.

&lt;3&gt;

최근, 반도체소자의 미세화는  $0.15\mu\text{m}$  이하의 선폭을 가지는 패턴이 기판에 전사되는 데까지 진행되고 있다. 이 진전에 의해 집적도가 향상하여 저전력 소모의 고성능 반도체 디바이스를 제조할 수 있다. 이 상황에서, 한층 더 반도체소자의 미세화에의 요구가 높아지고 있다. 이에 의해, 투영노광장치에서의 해상력의 향상에 대한 또 다른 강한 요구가 유발되고 있다.

&lt;4&gt;

투영노광장치의 해상력을 향상시키기 위해서는 투영광학계의 NA를 증가시키는 방법과 노광광의 파장을 단파장화하는 방법이 유용하다. 양자의 방법 모두 근년 더욱더 정교해지고 있다.

&lt;5&gt;

투영광학계의 고NA화에 대해서는, 1990년대에는 NA가 0.6 정도의 투영광학계가 주류였다. 근래에는, NA가 0.9를 초과하는 투영광학계가 개발중에 있다. 더 나아가서는, 기판을 물 등의 고굴절 액체에 침지하는 액침노광 기술을 사용하여 NA 1.0을 초과하는 투영광학계도 설계가 진행되고 있다.

&lt;6&gt;

노광파장의 단파장화도 진행되고 있다. 종래는 광원으로서 KrF 엑시머레이저를 사용하여 파장 248nm의 광에 의해 노광을 하였다. 그러나, 근래에는, ArF 엑시머레이저를 광원으로 한 파장 193nm의 광, 게다가 F<sub>2</sub>레이저를 광

원으로 한 파장 157nm의 광도 노광에 사용하고 있다.

<7> 고-NA 리소그래피는 감광제 내에서 P편광의 광이 간섭무늬의 콘트라스트를 감소시키는 현상의 고려가 필요하다. P편광의 광은 기판의 표면에 입사하는 광의 전기장 벡터가 광선을 포함한 평면에 있으며 기판에 법선인 TM편광의 광이라고도 부른다. 감광제는 광의 전기장강도에 따라서 감광한다. P편광의 광의 전기장 벡터는 간섭무늬를 발생시키지 않고 장소에 관계없이 균일한 강도를 가지는 강도분포를 기판 상에 형성한다. 따라서, P편광의 광은 간섭무늬의 콘트라스트를 저하시킨다.

<8> S편광의 광은 고콘트라스트의 간섭무늬를 발생시킨다. S편광은 기판 상에 입사하는 광의 전기장 벡터가 기판에 평행한 평면에 있는 TE편광이라고도 부른다. 마스크를 S편광의 광만으로 조명함으로써 양호한 결상성능을 얻을 수 있다.

<9> 도 2에 도시된 좌표계에 있어서, 2개의 회절광  $E_+$ 와  $E_-$ 가 서로 간섭하여 간섭무늬를 형성한다. 본 명세서에서는, z방향이 광축방향이며, z축이 x, y평면에 법선인 것으로 상정한다. 광축이 미러에 의해 구부러지는 경우에는, z방향도 구부러진다. 즉, 본 명세서에서는, x, y, z방향은 광축방향을 기준으로 사용하는 상대적인 좌표에서 정의된다.

<10> 도 2를 참조하면, 회절광  $E_+$ 와  $E_-$ 의 각각은 전기장 벡터가 기판(W)과 평행한 S편광의 광(진폭  $E_S$ )과 해당 S편광의 광에 직교하는 P편광의 광(진폭  $E_P$ )을 포함한다.

<11> 회절광  $E_+$ 와  $E_-$ 는 진동수를  $v$ , 파장을  $\lambda$ 로 놓으면

$$E_+ = \begin{pmatrix} -E_P \cos \theta \\ E_S \\ -E_P \sin \theta \end{pmatrix} e^{2\pi i \left( vt - \frac{x \cos \theta}{\lambda} + \frac{y \sin \theta}{\lambda} \right)} \quad (1)$$

$$E_- = \begin{pmatrix} -E_P \cos \theta \\ E_S \\ E_P \sin \theta \end{pmatrix} e^{2\pi i \left( vt - \frac{x \cos \theta}{\lambda} - \frac{y \sin \theta}{\lambda} \right)} \quad (2)$$

<14> 의 식과 같이 표현될 수 있다. 간단화하기 위해, 이하의 설명에서는 S편광과 P편광의 광의 위상이 일치하는 45도 방향의 직선편광을 선택한다.

<15>  $E_+$ 와  $E_-$ 의 합이 간섭무늬의 진폭이며

$$E_+ + E_- = \begin{pmatrix} -2E_P \cos \theta \cos \left( 2\pi \frac{y \sin \theta}{\lambda} \right) \\ 2E_S \cos \left( 2\pi \frac{y \sin \theta}{\lambda} \right) \\ -2iE_P \sin \theta \sin \left( 2\pi \frac{y \sin \theta}{\lambda} \right) \end{pmatrix} e^{2\pi i \left( vt - \frac{x \cos \theta}{\lambda} \right)} \quad (3)$$

<17> 의 식으로 표현된다.

<18> 진폭의 절대치의 제곱이 간섭무늬의 강도이며

$$\begin{aligned}
 |E_+ + E_-|^2 &= 4Ep^2 \cos^2 \theta \cos^2 \left( 2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda} \right) + \\
 &\quad 4Es^2 \cos^2 \left( 2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda} \right) + 4Ep^2 \sin^2 \theta \sin^2 \left( 2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda} \right) \\
 &= 4(Es^2 + Ep^2 \cos 2\theta) \cos^2 \left( 2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda} \right) + 4Ep^2 \sin^2 \theta
 \end{aligned} \tag{4}$$

&lt;19&gt;

의 식으로 표현된다.

&lt;20&gt;

(4) 식에서, (5) 식을 포함하는 항은 간섭무늬의 진동의 폭을 나타내고, x방향의 주기  $\lambda/\sin\theta$ 를 가지는 라인-앤드-스페이스의 강도분포가 된다.

&lt;22&gt;

$$\cos^2 \left( 2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda} \right) \tag{5}$$

&lt;23&gt;

고NA의 투영광학계를 사용하여 미세한 패턴의 투영을 실시하면, 회절광에 의해 형성되는 각도( $\theta$ )가 커진다. 도 3은, 예를 들면, 투영광학계가  $\lambda=193nm$ 의 ArF 광장을 사용하여  $L nm$ 의 주기를 가진 라인-앤드-스페이스 패턴을 투영한 때에 감광제 내 (레지스트 내: 굴절률 1.7)에서 회절광에 의해 형성되는 각도( $\theta$ )를 나타낸다. 바이너리 마스크(마스크 상에 Cr에 의해 차광만을 한 마스크)를 사용하면, 약 160nm 보다 다소 작은 사이클에서의 회절광에 의해 형성된 각도( $\theta$ )가 45도에 이르게 할 수 있다. 레벤손 위상 시프트마스크(마스크상에서 차광뿐만 아니라 위상의 변조도 실시하는 마스크, Alt-PSM로도 부름)를 사용하면, 80nm 보다 다소 작은 사이클에서의 회절광에 의해 형성된 각도( $\theta$ )가 45도에 이른다.

&lt;24&gt;

각도( $\theta$ )가 45도가 됨으로써, (5)식을 포함하는 항의 계수의  $\cos 2\theta$ 의 값이 0이 되므로, (5)식을 포함하는 항이 0이 된다. 이 때문에, P편광의 광의 진폭(Ep)은 간섭무늬의 진동폭의 항에는 전혀 반영되지 않고, x방향으로 진동하지 않는  $\sin^2 \theta$ 에만 반영된다. 따라서, P편광의 광은 단지 간섭무늬의 콘트라스트를 감소시킨다.

&lt;25&gt;

회절광이 P편광의 광을 포함하는지 S편광의 광을 포함하는지는, 회절광과 기판의 관계에 의해 결정된다. 즉, 상술의 설명은, 패턴이 y방향으로 연장되고 x방향으로 주기성을 가질 때의 S편광의 광 및 P편광의 광에 적용한다. 이것은 S편광의 광은 전기장벡터가 y축방향인 Y편광성분이고, P편광의 광은 전기장 벡터가 x축방향인 X편광성분인 것을 의미한다. 반대로, x방향으로 연장되고 y방향으로 주기성을 가지는 패턴은 회절광을 y방향으로 발생시킨다. 이것은 S편광의 광은 전기장 벡터가 x축방향인 X편광성분이고, P편광의 광은 S편광의 광성분과 직교하는 Y편광의 광인 것을 의미한다. 즉, x방향으로 주기를 가지는 패턴에 대해서 S편광인 광은, y방향으로 주기를 가지는 패턴에 대해서는 P편광이 된다. 편광상태에 대해서는 기준이 되는 면과 광선의 입사 방향에 의해 변경되는 것에 유의한다.

&lt;26&gt;

이상 설명한 바와 같이, 고NA의 투영광학계를 구비한 노광장치에서는 P편광의 광은 상의 콘트라스트를 저감시킬 수 있다. 높은 콘트라스트의 상을 얻기 위해서는, 저강도의 P편광의 광 및 고강도의 S편광의 광을 가진 노광광에 의해 노광을 행하는 것이 유효하다. 이 목적 때문에, 마스크를 소정의 편광상태에서 조명하는 편광조명계가 향후의 고NA 리소그래피에서는 필수적으로 된다.

&lt;27&gt;

편광조명계가 실현하는 조명계의 동공면에서의 편광상태를 도 4에 나타낸다. Y편광 저- $\sigma$ 조명은 Alt-PSM을 사용하여 x방향의 반복패턴을 전사할 때에 유효하다( $\sigma$ 는 코히렌스 팩터). X편광 저- $\sigma$ 조명은 Alt-PSM을 사용하여 y방향의 반복패턴을 전사할 때에 유효하다. 바이너리 마스크나 하프톤 마스크(Alt-PSM이라고도 부른다)를 사용한 Y편광 X-다이폴조명은 x방향의 반복패턴을 전사하는데 유효하다. 바이너리 마스크나 Att-PSM을 사용한 X편광 Y-다이폴조명은 y방향의 반복패턴을 전사할 때에 유효하다. 바이너리 마스크나 Att-PSM을 사용한 탄젠셜-편광 크로스폴조명은 x방향, y방향의 양쪽 모두의 반복패턴이 혼재하는 패턴을 전사할 때에 유효하다. 바이너리 마스크나 Att-PSM을 사용하는 탄젠셜 윤대조명은 여러가지 방향의 반복패턴이 혼재하는 패턴을 전사할 때에 유효하다. 탄젠셜-편광은 조명계의 동공내의 각 점에 있어서 광축의 중심방향과 대략 직교하는 방향으로 전기장 벡터가 있는 편광이다. Cr-레스 PSM을 사용하는 래디얼-편광 45도 사중극조명은 컨택트홀패턴을 전사할 때에 유효하다. 래디얼 편광은 조명계의 동공 내의 각 점에 있어서 광축의 중심방향으로 전기장 벡터가 있는 편광이다.

- <28> 도 5는 편광조명광학계를 구비한 투영노광장치의 구성예를 나타내는 도면이다. 이러한 투영노광장치의 예는, 예를 들면 PCT(WO)2004/051717호 명세서에 기재되어 있다.
- <29> 광원(1)은, 예를 들면, 액시머레이저를 사용한다. 액시머레이저는, 예를 들면, KrF 액시머레이저(파장 248nm), ArF 액시머레이저(파장 193nm), 또는 F<sub>2</sub>레이저(파장 157nm)를 포함할 수 있다.
- <30> 평면판(2)은 광원(1)과 노광장치를 공간적으로 분리한다. 광원(1)과 노광장치는 공간 내의 청결도가 서로 다를 것이 요구되고 있다. 평면판(2)은 그들을 공간적으로 분리해서 개별적으로 퍼지(purge)한다.
- <31> 감광(減光)필터(3)는 피조명면의 조도를 조정하기 위해, 다단의 감광필터가 전환가능하게 배치되어 있다.
- <32> 광원(1)과 투영노광장치는 분리되어 다른 층에 배치되는 경우가 있다. 이 때문에, 광원(1)과 투영노광장치에 마루진동이 비동기적으로 작용하여, 광원(1)과 투영노광장치 사이에 광축의 어긋남이나 경사가 항상 발생하게 된다. 마이크로 렌즈 어레이(또는 마이크로 실린드리칼 렌즈 어레이; 이하 MLA라고 칭함)(4)는 소위 필드타입의 파리의 눈렌즈로서 기능하고, MLA(4)에 입사하는 광의 광축이 경사진 경우에도, MLA(4)의 광축을 중심으로 한 소정의 각도분포로 광을 안내한다. 따라서, 마루진동 등에 의해 광축의 경사가 발생했을 경우에도, 투영노광장치에는 일정한 각도분포의 광이 인가된다.
- <33> MLA(4)로부터 사출된 광은 내면반사부재(5) 내에서 반사되어 내면반사부재(5)의 출구에서 대략 균일한 분포를 얻을 수 있다. 내면반사부재(5)는 내면반사형 인티그레이터이며, 옵티컬로드(optical rod)라고도 부른다. 내면반사부재(5)는 분포를 균일화하므로, 내면반사부재(5)로부터 사출하는 광은 광원과 투영노광장치사이에 광로차가 발생하는 때에도 균일하게 된다. 상술의 MLA와 내면반사부재를 조합함으로써, 광원과 투영노광장치 사이에 광축의 어긋남이나 경사가 발생하여도, 내면반사부재의 사출면에는 투영노광장치의 광축에 대해서 균일하고 일정한 각도분포를 가진 광이 얻어진다.
- <34> 광학소자(61) 및 (62)는 계산기 홀로그램(Computer Generated Hologram, 이하 CGH라고 칭함) 등의 회절광학소자 또는 MLA 등의 굴절광학소자이다. 광학소자(61) 및 (62)는 선택적으로 광로에 삽입될 수 있다.
- <35> 제1 콘텐서렌즈(7)는 광학소자(CGH 또는 MLA)(61, 62)의 푸리에상을 A의 위치에 형성한다. 광학소자(61) 및 (62)에 사용될 수 있는 MLA는, 예를 들면, 육각 형상의 마이크로 렌즈가 나란히 내장된 육각 MLA 또는 원형의 마이크로 렌즈가 나란히 내장된 원형 MLA이다. 육각 MLA의 경우에는, A의 위치에 대략 균일한 육각형의 조도 분포가 형성된다. 원형 MLA의 경우에는, A의 위치에 대략 균일한 원형의 조도 분포가 형성된다. CGH는 임의의 형상의 푸리에변환상을 형성하는 것이 가능하다. 광학소자(61) 및 (62)로서 CGH를 사용하면, 운대형상이나 사중극형상, 다이폴형상 등이 형성 가능하다.
- <36> 변배 릴레이광학계(8)는 A의 위치에 있어서 광강도의 분포(CGH의 푸리에상)를 파리의 눈렌즈(10)의 입사면에 각종 배율로 투영한다.
- <37> 위상판(9)은 광원(1)으로부터 제공되는 광의 편광상태를 변경한다. 예를 들면, 광원(1)으로부터의 광이 지면에 수직인 방향으로 전기장벡터를 가지는 편광인 경우에 대해 설명한다. 마스크(15)의 표면을 지면에 수직인 방향으로 전기장 벡터를 가지는 편광의 광으로 조명하기 위해서는, 위상판(9)은 광로로부터 떨어져서 광원에 있어서의 편광도를 유지한다. 한편, 마스크(15)를 지면에 평행한 방향으로 전기장 벡터를 가지는 편광의 광으로 조명하기 위해서는, 지면에 수직인 방향과 45도의 방향인 진상축을 가지는  $\lambda/2$ -위상판(9)이 광로중에 삽입된다. 이에 의해, 광원(1)으로부터의 광의 전기장벡터 방향을 90도 회전시켜, 지면에 평행인 방향의 전기장벡터를 가지는 편광의 광으로 마스크면을 조명한다.
- <38> 파리의 눈렌즈(10)는 조명광학계의 동공위치에 복수의 2차광원을 형성한다. 파리의 눈렌즈(10) 대신에, 마이크로 렌즈어레이이나 마이크로 실린드리칼 렌즈어레이 등을 이용해도 된다.
- <39> 제2 콘텐서렌즈(11)는 B의 위치에 2차광원으로부터의 광빔을 중첩함으로써, 대략 균일한 광분포를 형성한다. B의 위치에는, 피조명면의 조명영역을 제어하는 가변조리개(도시하지 않음)가 배치된다. 릴레이광학계(14)는 B의 위치에 있어서의 광분포를 패턴이 묘화된 마스크(15)에 투영한다.
- <40> 투영광학계(16)는 감광제가 도포된 기판(웨이퍼)(17) 상에 마스크(15)에 묘화된 패턴을 투영한다. 통상의 투영광학계(16)는 마스크(15)의 패턴을 기판(17) 상에 1/4배로 축소하여 투영한다. 기판스테이지(웨이퍼스테이지)(19)는 기판(17) 상에 패턴을 복수회 전사하도록 기판(17)을 스텝 이동시킨다. 주사노광형의 투영노광장치에 있어서, 기판스테이지(19)는 마스크(15)와 동기하여 기판(17)을 주사한다.

- <41> 2가지의 노광방식, 예를 들면, 일괄노광방식과 주사노광방식이 있다. 일괄노광방식은 마스크의 패턴과 기판을 공역인 위치에 고정하고, 감광제의 노광량이 최적량에 도달할 때까지 감광제를 노광한다. 주사노광방식은 마스크의 패턴의 일부를 조명하고, 매순간마다 노광에 의해 마스크의 일부패턴을 기판 상에 투영하고, 마스크와 기판을 동기주사하여 패턴의 전체영역을 노광에 의해 기판 상에 전사한다. 이 경우에, 각 패턴의 개소가 노광에 의해 전사되는 동안 감광제에 대한 노광량이 최적량에 도달하도록 동기주사를 해야한다.
- <42> 일괄노광방식의 노광량 제어방법은 기판상의 노광량을 모니터하여, 기판상의 노광량이 소망한 노광량에 도달한 때에 광원(1)의 발광을 종료하거나, 또는 셔터에 의해 노광을 종료하는 방법 등이 채택된다.
- <43> 주사노광방식의 노광량 제어방법은 휙도를 일정하게 제어하기 위한 정조도 제어를 채택한다. 이 방법에서는 기판과 마스크의 주사속도를 일정하게 유지하면서, 조명영역의 통과 시간에 노광량이 소망한 노광량에 도달하는 조도로 조명영역을 노광한다. 이 방법은 조도의 변동에 동기하여 주사속도를 변경하는 방법을 채택하여도 된다. 정조도 제어의 예는 광원(1)의 발진주파수를 제어하는 방법 및 광원에 인가되는 전압을 제어하는 방법이 있다. 예를 들면, 일본국 특개 2003-133216호 공보에는 주사노광방식의 노광량 제어방법을 개시하고 있다.
- <44> 어느 방법에 있어서도, 기판의 노광중에 노광량을 모니터하여 노광량 제어를 하는 것이 필요하다. 이 때문에 투영노광장치에는 노광광을 분할하여 노광중에 노광량을 모니터하는 노광량센서가 내장되어 있다.
- <45> 하프미러(12)는 노광광을 분할하고, 분할된 광을 위치 B와 대략 공역인 노광량센서(13)의 위치를 향하게 한다. 노광량센서(13)는 기판의 노광과 병행하여 노광량을 모니터한다. 조도계(18)는 기판(17)의 표면의 조도를 계측한다.
- <46> 노광량센서(13)의 출력과 기판(17) 상의 조도 간의 관계는, 예를 들면, 투영광학계(16)의 투과율의 변화에 의해 변화할 수 있다. 이 문제에 대처하기 위해서, 정기적으로 조도계(18)를 광로 내에 삽입하여 조도계(18)로부터의 출력과 노광량모니터(13)로부터의 출력 간의 관계를 나타내는 정보를 얻는다. 노광량제어장치(20)에 의해 이 정보를 저장한다. 노광시에 노광량센서(13)의 출력이 노광량제어장치(20)에 제공되어 상기 정보에 의거하여 기판의 노광량을 산출한다. 상술의 노광량 제어방법에 따라 상기 산출된 정보에 의거하여 노광량 제어를 행한다.
- <47> 상술의 종래예는 위상판을 사용하여 레이저광의 소망하는 편광상태를 설정한다. 직선편광기를 사용하여 직선편광을 달성하는 제안이 있다. 직선편광기는 소정의 직선편광만을 투과한다. 직선편광기의 예는 옵트로닉스사의 "증보 개정판 옵트로닉스 기술 활용을 위한 광학부품의 사용법과 유의점" (스에다 테츠오저)의 76 페이지에 시트 폴라라이저(sheet polarizer)로서 소개되어 있다.
- <48> 투영광학계의 렌즈는 복굴절을 나타내고, 이것은 결상성능을 열화시킨다. 투영광학계의 렌즈는 석영 등의 본질적으로 복굴절을 가지지 않는 유리재로 이루어진다. 그러나, 이러한 유리재는 용융된 유리재를 고체화할 때의 온도 불균일성에 기인하는 응력왜곡, 또는 렌즈의 가공시의 가공변형에 의해 약간의 복굴절량을 가지게 된다. 도 6은 렌즈 내의 복굴절의 분포를 모식적으로 나타낸 것이다. 색농도는 복굴절량을 나타내고, 화살표는 진상축의 방향을 각각 나타낸다. 복굴절은 2개의 직교하는 편광의 광에 대해서 서로 다른 굴절률이 작용하는 현상이다. 렌즈를 투과한 후에 2개의 직교하는 편광의 광의 과면이 진행된 거리의 차이를 복굴절량으로 부른다(단위 nm). 편광의 과면이 진행된 방향을 진상축이라고 부른다. 도 6에 도시된 바와 같이, 복굴절 분포는 렌즈의 주변을 향하여 복굴절량이 증가하는 경향을 갖고, 진상축은 방사방향으로 경사지는 경향을 가진다.
- <49> 투영광학계에서는, 상기 팩터 이외에도, 반사 방지막이나 반사막의 영향에 의해 복굴절이 발생한다.
- <50> 이상과 같이, 투영광학계는 제조상 무시할 수 없는 양의 동공 내 복굴절분포가 발생한다. 이러한 동공 내 복굴절분포는 각 상높이에 대해 특이한 분포를 가진다. 도 7은 투영광학계를 모식적으로 나타낸 것이다. 마스크와 기판이 결상 관계에 있으며, 실선이 축상 상높이에 결상하는 광선(축상광선), 점선이 축외 상높이에 결상하는 광선(축외광선)을 나타낸다. 단순화하기 위해, 투영광학계(16)의 렌즈군은 제1 렌즈(16a) 및 제2 렌즈(16b)로 나타내고 있다. 축상광선은 제1 렌즈(16a)의 영역(1a) 및 제2 렌즈(16b)의 영역(2a)을 통과한다. 축외광선은 제1 렌즈(16a)의 영역(1b) 및 제2 렌즈(16b)의 영역(2b)을 통과한다. 렌즈의 복굴절 분포는 상술의 도 6에 도시된 바와 같이, 불균일한 분포이므로, 축상광선과 축외광선에서는 서로 다른 복굴절양의 영향을 받게 된다. 또한, 동일한 축상광선에서도 렌즈 상의 광선의 통과위치에 따라 복굴절량이 다르게 작용한다. 이에 의해, 상기 굴절분포는 동공에서도 불균일하게 된다.
- <51> 투영광학계(16)의 복굴절은 2개의 효과에 의해 상성능의 열화를 발생시킨다. 제1 효과는, 편광의 성분마다 광로 길이가 변화하기 때문에, 기판상에서 위상차가 발생하는 것이다. 이에 의해 편광의 성분 간에 파면수차가 발생

되어 상성능의 열화를 발생시킨다. 제2 효과는, 마스크 상의 편광도를 높여도 투영광학계 내의 복굴절에 의해 기판 상에서의 편광도가 저하해서, 상성능의 열화를 초래하는 것이다. 전자에 대해서는, 도 4의 상단에 나타낸 바와 같이 특정의 편광성분만을 사용하는 편광조명시에는 특정 편광의 파면수차를 보정하기 위해 수차보정기구를 구동함으로써 억제할 수 있다. 그러나, 무편광 조명시나, 도 4의 하단에 도시된 바와 같이 여러가지 방향의 편광성분이 존재하는 경우에는, 수차보정기구를 구동하여도 편광의 성분 간의 수차가 완전히 보정되지 않은 채로 잔류한다. 본 발명의 발명자가 무편광 조명하 또는 여러 방향의 편광성분인 경우의 상성능의 저하는, 기판 상에서 편광도가 저하하는 제1 효과에 의한 상성능의 저하보다 작은 것을 발견하였다는 것에 유의한다.

<52> 편광도 변화에 의한 전사선폭변화(CD(Critical Demension) 변화)에 대해서, 도 8을 참조하면서 설명한다. 편광도를 전체광량에 대한 주편광성분의 광량의 비율, 즉 RoP(Ratio of Polarized light intensity; 편광강도의 비율)로서 정의한다. 주편광성분은 도 4에서 화살표로 나타낸 바와 같이 필요한 편광의 성분이다. 주편광성분과 직교하는 불필요한 편광성분이 부편광성분이다. RoP가 1이면, 편광은 주편광성분만을 포함한다. RoP가 0.5이면, 주편광성분과 부편광성분의 비가 1:1이 된다. 도 8은 기판 상의 RoP 변화의 함수로서 전사패턴의 선폭을 나타낸다. 노광조건은, 투영광학계의 NA가 1.35, 코히렌스팩터가 0.20, 마스크는 레벤손형 위상 시프트 마스크이다. 이경우에, 전사선폭은 45nm이며, 복수의 라인은 라인 간의 스페이스를 변화시킴으로써 얻는다. 노광량은 RoP가 1인 때에 소망한 선폭에 도달하도록 설정한다. 도 8을 참조하면, "45/45"로 표시된, 예를 들면, 라인: 스페이스가 1:1인 전사패턴의 선폭은, RoP를 변화시켜도 45nm로부터 변화하지 않는다. 그러나, 라인:스페이스가 1:1로부터 어긋난 경우에는, RoP 변화에 의해 전사패턴의 선폭이 변화한다. 특히, "45/180" (스페이스: 180nm)으로 표시된, 즉 라인:스페이스가 1:4인 전사패턴이 편광도 변화에 대한 선폭변화 민감도가 크고, RoP가 0.2 만큼 감소되면 선폭이 2nm정도 변화된다.

<53> 전사패턴의 선폭변화에 의해 투영노광장치를 사용하여 제조한 반도체 디바이스에 있어서의 트랜지스터의 전기특성이 변화한다. 특히 칩 내에서 트랜지스터의 전기특성의 변동이 있으면, 예를 들면, 신호의 동기를 금지시킨다. 이에 의해 불량칩을 제조하는 경우도 있다. 이 문제를 방지하기 위해서, 전사영역 내에 있어서의 선폭변동의 최소화를 위해 특히 엄격한 요구가 발생되고 있다. 선폭 45nm의 패턴을 전사할 때에 허용되는 선폭변동(CD균일성)은 1 nm정도이다. CD균일성은 상높이 간의 수차의 차이나, 상높이 간의 노광량의 차이 등, 다른 요인에 의해서도 악화된다. 이 관점에서, 상높이 간의 편광도의 차이에 기인하는 선폭오차의 허용량은 약 0.2nm 정도이다. 따라서, 상높이 간의 RoP의 차이는 0.02(즉 2%) 정도로 해야한다. 종래 기술에 있어서는, 투영광학계의 복굴절량이 상높이 간에서 변화되면, 상높이 간의 RoP가 변화되기 때문에, CD균일성의 열화가 발생된다.

<54> 일본국 특개 2003-297729호 공보에는, 투영광학계 내에서 발생하는 위상차를 보정하는 위상보정부재를 투영광학계 내에 준비함으로써 투영광학계의 복굴절을 보정하는 방법이 개시되어 있다. 일본국 특개 2003-297729호 공보에 기재된 구성에서는 상높이 사이에서 및 동공 내에서 양쪽 모두 균일한 성분을 보정할 수 있다.

## 발명의 내용

### 해결 하고자하는 과제

<55> 그러나, 상기 설명한 바와 같이, 분포가 불균일한, 즉, 렌즈내의 상높이마다 변화하는 복굴절은 보정할 수 없다. 이 구성으로는 상높이 사이의 편광도의 차이를 보정하지 못하므로, CD균일성의 열화에 대한 대책으로서는 적합하지 않다. 이 구성은 투영광학계 내에 일축성의 복굴절 결정을 배치하는 것에 의한 결상성능의 열화에 대해서도 염려되기 때문에 실용적이지 않다.

### 과제 해결수단

<56> 본 발명은, 예를 들면, 투영광학계의 복굴절에 기인하여 기판 상에서 발생하는 상높이 사이의 편광도의 차이를 저감하는 것을 목적으로 한다.

<57> 본 발명에 의하면, 기판을 노광하는 노광장치를 제공한다. 상기 노광장치는 조명광으로 마스크를 조명하는 조명광학계 및 상기 마스크의 패턴을 기판 위에 투영하는 투영광학계를 구비한다. 상기 조명광은 서로 직교하는 주편광성분 및 부편광성분을 포함한다. 상기 조명광학계는 상기 주편광성분의 방향을 변경하지 않고 상기 주편광성분과 상기 부편광성분 사이의 위상차를 조정하도록 구성된 위상차조정유닛을 포함한다.

### 효과

<58> 본 발명에 의하면, 예를 들면, 투영광학계의 복굴절에 기인하여 기판 상에서 발생하는 상높이 사이의 편광도의

차를 저감할 수 있다.

<59> 본 발명의 다른 특징은 첨부된 도면을 참조한 다음의 전형적인 실시형태의 설명으로부터 명백해질 것이다.

### 발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<60> 본 발명에 의한 노광장치는, 예를 들면, 반도체 디바이스, 액정표시 디바이스, 활상디바이스(예를 들면, CCD), 또는 박막자기헤드 등의 디바이스를 제조하기 위한 리소그래피공정에서 사용될 수 있다.

<61> 노광장치는 광원으로부터 인가되는 광에 의해 패턴이 형성된 마스크(레터클)를 조명하는 조명광학계와 마스크의 패턴을 감광제(레이저스트)가 도포된 기판 상에 전사하는 투영광학계를 구비한다.

<62> 본 발명은, 특히, NA가 0.9 이상인 투영광학계를 가지고, 조명광학계가 마스크를 특정의 편광상태로 조명하는 노광장치에는 매우 적합하지만, 이것에 한정되지 않는다.

<63> 본 발명의 발명자 등은 투영광학계에 입사하는 광의 2개의 서로 직교하는 편광성분 간의 위상차에 따라 투영광학계의 복굴절로 인한 기판 상의 편광도의 감소량이 변화하는 사실에 주목했다. 이하에 설명하는 본 발명의 바람직한 실시형태는 투영광학계에 입사하는 광의 2개의 서로 직교하는 편광성분 간의 위상차를 제어한다. 이에 의해, 기판 상의 편광도의 상높이 간의 차를 저감하여 기판 상의 CD균일성을 향상시킨다.

<64> 도 9를 참조하면, 어떤 광빔이 동일한 RoP를 나타내면, 그 광빔은 편광의 주편광성분(도 9에서는 지면 수직방향의 편광성분)과 부편광성분(도 9에서는 지면 수평방향의 편광성분)의 강도비가 동일하다. 상기한 바와 같이, RoP는 전체광량에 대한 주편광성분의 비율이다. 주편광성분의 광량을  $I_m$ , 부편광성분의 광량을  $I_s$ 로 했을 때, RoP는  $I_m/(I_m+I_s)$ 이다. 도 9에 도시된 바와 같이, 어떤 광빔이 동일한 RoP를 나타내는 경우에도, 그 광빔은 주편광성분과 부편광성분 사이의 위상차에 따라 편광상태가 다르다. 예를 들면, 주편광성분과 부편광성분 사이의 위상차가 0도이면, 도 9의 좌측단부에서 나타내는 바와 같이 해당 광은 직선편광이다. 위상차가 90도이면, 도 9의 중앙에서 나타내는 바와 같이, 해당 광은 원형 편광이다.

<65> 본 발명의 발명자 등은, 동일한 투영광학계의 복굴절에 대해서도, 투영광학계에 입사하는 광의 2개의 서로 직교하는 편광 간의 위상차에 따라서 기판 상에 있어서 편광도가 다른 것을 발견하였다. 즉, 어떤 광빔이 투영광학계의 물체면에서 동일한 RoP를 나타내는 경우에도, 위상차에 따라 그 광빔은 기판 상의 RoP가 다르다.

<66> 이 현상에 대해서는 이하에서 상술한다. 주편광성분을 X편광성분으로 하고, 부편광성분을 Y편광성분으로 가정한다. 투영광학계의 물체면 상의 RoP를 사용하여, 광의 스토크스(stokes) 파라미터는, X편광과 Y편광 사이의 위상차를  $\Phi$ 라고 할 때,

$$S_{in} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \times RoP - 1 \\ 2 \cos \Phi \sqrt{RoP - RoP^2} \\ 2 \sin \Phi \sqrt{RoP - RoP^2} \end{pmatrix} \quad (6)$$

<68> 의 식으로 표현된다. X방향에 대한 각도  $\gamma$ 의 방향으로 진상축이 있는 투영광학계의 뮤러행렬은, 리타데이션 양을  $\Theta$ 라고 할 때,

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos^2 2\gamma + \sin^2 2\gamma \cos\theta & \cos 2\gamma \sin 2\gamma (1 - \cos\theta) & -\sin 2\gamma \sin\theta \\ 0 & \cos 2\gamma \sin 2\gamma (1 - \cos\theta) & \sin^2 2\gamma + \cos^2 2\gamma \cos\theta & \cos 2\gamma \sin\theta \\ 0 & \sin 2\gamma \sin\theta & -\cos 2\gamma \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \quad (7)$$

<70> 의 식으로 표현된다.

<71> 단순화하기 위해서, X방향에 대해서 45도 방향으로 진상축이 있다고 가정하면, 뮤러행렬은,

$$<72> \quad M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (8)$$

<73> 의 식이 된다.

<74> 투영광학계를 투과한 후의 편광상태는  $M \times S$ 로 계산할 수 있고,

$$<75> \quad S_{out} = \begin{pmatrix} 1 \\ (2RoP - 1) \cos \theta - 2 \sin \theta \sin \phi \sqrt{RoP - RoP^2} \\ 2 \cos \phi \sqrt{RoP - RoP^2} \\ (2RoP - 1) \sin \theta + 2 \cos \theta \sin \phi \sqrt{RoP - RoP^2} \end{pmatrix} \quad (9)$$

<76> 의 식으로 주어진다.

<77> RoP는 스토크스 파라미터를 사용하여  $(S_o + S_1) / (2xS_o)$ 에 의해 계산가능하다. (9)식으로부터, X방향에 대해서 45도의 방향으로 진상축이 있는 투영광학계를 투과한 후의 기판 상의 RoP(이것을 RoP<sub>w</sub>로 함)는, 리타데이션률을 Θ, 마스크 상의 RoP를 RoP, 위상차를 Φ라 할 때,

$$<78> \quad RoP_w = \frac{1 + (2RoP - 1) \cos \theta - 2 \sin \theta \sin \phi \sqrt{RoP - RoP^2}}{2} \quad (10)$$

<79> 의 식으로 주어진다.

<80> 도 10은 투영광학계의 물체면 상의 RoP를 0.92, 투영광학계의 복굴절을 10 nm, 노광파장을 193nm로서 (10)식을 계산해서, 투영광학계의 물체면 상의 위상차에 대한 기판 상의 RoP의 의존성을 표시한 것이다. 물체면에 대한 입사광은 부편광성분이 없는 RoP가 1인 광이 바람직하다. 그러나, 조명광학계에 사용되는 유리재의 복굴절 및 편광제어오차로 인해 물체면에서는 RoP가 0.92 정도까지 감소될 수 있다(일반적으로, 비용의 관점에서 조명광학계에는 투영광학계보다 큰 복굴절을 가지는 유리재가 사용된다. 당연히, 물체면에서도 상높이 사이의 편광도의 차이가 존재한다.).

<81> 투영광학계의 복굴절의 진상축방향으로 전기장 벡터를 가지는 평면과 지상축방향으로 전기장 벡터를 가지는 평면이 투영광학계에 입사하는 것으로 상정한다. 투영광학계의 복굴절이 10nm이면, 투영광학계를 투과한 후의 2개의 평면에 10nm의 차이가 생긴다. 광장이 193nm이므로, 이 차이는  $10/193 \times 360 = 18.7^\circ$ 의 위상차에 달한다. 이 위상차를 리타데이션으로 부른다. 즉, 도 10의 결과는, (10)식에서  $\Theta=18.7^\circ$  일 때의 계산한 결과를 나타낸다.

<82> 도 10의 횡축은 투영광학계에 입사하는 광의 X편광과 Y편광의 위상차다. 도 10의 종축은 기판 상의 RoP(즉, RoP<sub>w</sub>)이다. 실선은 투영광학계의 복굴절의 진상축방향이 X축에 대해서  $45^\circ$  방향에 있는 경우를 나타낸다. 점선은 진상축방향이  $-45^\circ$  방향에 있는 경우를 나타낸다.

<83> 도 10으로부터 명확한 바와 같이, 투영광학계의 물체면 상의 RoP는 X편광과 Y편광간의 위상차와 관계없이 0.92인 경우에도, 해당 위상차에 의해 기판 상의 RoP(RoP<sub>w</sub>)가 0.98에서 0.81까지 변경될 수 있다. 또, 기판 상의 RoP(RoP<sub>w</sub>)는 위상차의 함수로서 복굴절의 진상축방향에 의존하는 것이 분명하다. 유리재의 진상축은 상술한 바와 같이 방사방향을 향하는 경향이 있다. 이것은 투영광학계의 복굴절의 진상축이 상높이/동공의 각각에 대해 유일한 방향을 향하는 것을 의미한다. 예를 들면, 상기 위상차가  $90^\circ$ 인 경우, 주어진 경로를 통과한 광빔은 0.81의 RoP<sub>w</sub>를 나타내고, 다른 경로를 통과한 광선은 0.98의 RoP<sub>w</sub>를 나타낸다. 즉, 투영광학계의 물체면에서는 상높이 사이에 있어서의 RoP가 변화하지 않는 경우에도, 투영광학계의 복굴절의 진상축의 방향은 상높이에 따라서 변화한다. 이에 의해, 기판 상에서는 상높이 사이에 있어서의 RoP차이가 크게 발생할 수 있다.

<84> 투영광학계의 복굴절은 여러 방향으로 진상축을 가질 수 있다. 기판 상에서 상높이 사이의 RoP가 변경되는 것을

방지하기 위해서, 도 10에서 진상축 방향이 변경되는 경우에도 기판 상의 RoP가 변화하지 않는 위상차(즉, 0도 또는 그 부근)에, 마스크에 입사하는 광의 위상차를 조정하는 것이 바람직하다.

<85> 마스크에 입사하는 광의 위상차에 의해 기판 상의 편광도가 영향을 받는 이유를 설명한다. 편광상태는 스토크스 파라미터를 사용하여 표기하는 것이 가능하다. 프왕카레의 구(Poincare sphere)에 의해 스토크스 파라미터의 이해가 용이하다. 스토크스 파라미터와 프왕카레의 구에 대해서는, 문헌 "Max Born and Emil Wolf, Principles of Optics 7<sup>th</sup> (expanded) edition(CAMBRIDGE), P31-33"에 의해 설명되어 있다.

<86> 도 11은 동일한 RoP를 프왕카레의 구를 사용하여 표현한 도면이다. X편광성분이 소망의 편광성분이므로, RoP는 스토크스 파라미터를 사용하여  $RoP = (S_o + S_1) / (2S_o)$ 로서 표현되고, 편광 위상차  $\phi$ 는  $\tan \phi = S_3 / S_2$ 로 표현된다.

도 11에 도시된 프왕카레의 구에 있어서의 굽은선은 동일한 RoP의 편광상태를 나타낸다. 위상차가  $0^\circ$  및  $180^\circ$  이면, 굽은선이 면( $S_1 - S_2$ )을 횡단한다. 위상차가  $90^\circ$  및  $270^\circ$  이면, 굽은선이 면( $S_1 - S_3$ )을 횡단한다. 도 12는  $S_2$  축으로부터 본 프왕카레의 구를 나타낸 도면이다. 도 12를 참조하면, 실선은 위상차가  $0^\circ$ 인 경우의 편광상태를 나타내고, 점선은 위상차가  $90^\circ$ 인 경우의 편광상태를 나타낸다.

<87>  $45^\circ$  방향으로 진상축을 가지는 복굴절 부재를 통과하면, 프왕카레의 구 위의 편광상태는  $S_2$ 축을 중심으로 회전하게 된다. 예를 들면, 상기한 바와 같이 복굴절이 10nm이라고 상정하면, 상기 편광상태는  $S_2$ 축을 중심으로  $10 / 193 \times 360 = 18.7^\circ$  회전하게 된다. 이 상태에서 프왕카레의 구를 도 12와 마찬가지로  $S_2$ 축으로부터 보았을 때, 위상차가  $0^\circ$ 이면, 가는 실선이 복굴절부재를 통과하기 전의 편광상태를 나타내고, 굽은 실선이 복굴절부재를 통과한 후의 편광상태를 나타낸다. 마찬가지로, 위상차가  $90^\circ$ 이면, 가는 파선이 복굴절부재를 통과하기 전의 편광상태를 나타내고, 굽은 점선이 복굴절부재를 통과한 후의 편광상태를 나타낸다.

<88> 상술 바와 같이, RoP는  $RoP = (S_o + S_1) / (2S_o)$ 로 계산할 수 있으므로,  $S_1$ 축 상에의 투영의 길이에 비례한다. 도 13으로부터 분명한 바와 같이, 위상차가  $90^\circ$  일 때의 편광도의 감소량이 더 커진다. 반대로, 복굴절이 -10nm(진상축 방향이  $-45^\circ$  방향을 향하고 있는 상태)인 때에, 위상차가  $90^\circ$ 이면 편광도가 향상된다. 그러나, 상술한 바와 같이, 투영광학계의 복굴절의 진상축 및 복굴절량은 상높이 사이에서 불균일하므로, 여러 방향 및 양을 가지고 있다. 따라서, 기판 상에서 편광도의 불균일성을 감소시키기 위해서, 투영광학계의 복굴절에 의한 영향을 최소화하는 것이 유효하다.

<89> 이 때문에, 본 발명의 바람직한 실시형태에 의하면, 위상차조정유닛이 조명광학계에 내장된다. 위상차조정유닛은 마스크를 조명하는 조명광으로서 주편광성분과 부편광성분 사이의 위상차를 상기 주편광성분의 방향을 변경하지 않고 연속적으로 조정하는 기능을 가진다. 위상차조정유닛에 의해 마스크를 조명하는 조명광의 주편광성분과 부편광성분 사이의 위상차를 상기 주편광성분의 방향을 변경하지 않고, 예를 들면  $0^\circ$  또는 그 부근에까지, 저감할 수 있다. 주편광성분과 부편광성분사이의 위상차를 상기 주편광성분의 방향을 변경하지 않고 저감한 상태에서 마스크를 조명함으로써, 상높이 사이에 있어서의 기판 상의 편광도의 차를 감소시킬 수 있다. 이에 의해, CD균일성을 향상시킬 수 있다.

<90> 상술한 바와 같이, 상높이 사이의 기판 상의 RoP의 차는 0.02 이하로 조정하는 것이 바람직하다. 투영광학계의 진상축의 방향이 x방향 또는 y방향을 향하고 있을 때, 기판 상의 RoP는 투영광학계의 물체면에 있어서의 RoP와 동일하게 된다. 이에 비해서, 진상축의 방향이 x방향으로부터  $\pm 45^\circ$  방향을 향하고 있을 때, RoP의 변화가 최대가 된다. 상높이 사이의 진상축의 방향의 변동에 의한 RoP차이를 0.02 이하로 조정하기 위해서는,

$$\left| \frac{1 + (2RoP - 1)\cos\theta - 2\sin\theta\sin\phi\sqrt{RoP^2 - RoP}}{2} - RoP \right| \leq 0.02 \quad (11)$$

&lt;91&gt;

의 식을 만족시키면 충분하다.

&lt;92&gt;

투영광학계는 복굴절이 작은 유리재로 구성되므로, 투영광학계 리타레이션은 작은 값을 가진다.  $\cos\theta \approx 1$ 이면, 부등식(11)은

$$\left| \sin \theta \sin \phi \sqrt{RoP - RoP^2} \right| \leq 0.02 \quad (12)$$

&lt;94&gt;

<95> 의 식과 같이 간단화된다.

&lt;96&gt;

부등식(12)으로부터, 상높이 사이의 RoP차를 0.02 이하로 조정하기 위해서, 투영광학계의 물체면에 직교하는 2개의 편광성분의 위상차( $\Phi$ )는

$$|\sin \phi| \leq \frac{0.02}{\left| \sin \theta \sqrt{RoP - RoP^2} \right|} \quad (13)$$

&lt;97&gt;

<98> 의 식을 만족시키면 충분하다.

&lt;99&gt;

도 14A 및 도 14B는 부등식(13)에 따라 대응하는 조건하에서 투영광학계의 물체면에 있어서의 위상차의 허용범위를 산출한 결과를 각각 나타낸 그래프이다. 도 14A는 투영광학계의 복굴절이 10nm일 때에, 물체면에 있어서의 RoP와 상기 물체면에 있어서의 위상차의 허용량을 나타낸다. 예를 들면, 물체면에 있어서 RoP가 0.95이면, 상기 물체면에서의 위상차는  $\pm 18^\circ$  이내로 조정하면 충분하다. 그러나, 물체면에 있어서 RoP가 0.90까지 감소될 때에는,  $\pm 11^\circ$  이내로 조정해야 한다. 도 14 B는 물체면에 있어서의 RoP가 0.92일 때에, 투영광학계의 복굴절량과 물체면에 있어서의 위상차의 허용값을 나타낸다. 투영광학계의 복굴절이 10nm이면, 물체면에 있어서의 위상차를  $\pm 12^\circ$  의 범위 내로 억제해야 한다. 그러나, 투영광학계의 복굴절을 5nm까지 감소시킬 수 있으면, 물체면에 있어서의 위상차는  $\pm 28^\circ$  의 범위 내로 억제하면 충분하다.

&lt;100&gt;

<100> 도 1은 본 발명의 바람직한 실시 형태에 의한 노광장치의 개략구성을 나타내는 도면이다. 도 5에서와 같이 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 부여하고 설명을 생략한다.

&lt;101&gt;

<101> 광원(1)으로부터 인가되는 광에 의해 마스크(15)를 조명하는 조명광학계(30)는 위상차조정유닛(21)을 구비한다. 위상차조정유닛(21)은 마스크를 조명하는 조명광의 주편광성분과 부편광성분 사이의 위상차를 상기 주편광성분의 방향을 변경하지 않고 연속적으로 조정하는 기능을 가진다.

&lt;102&gt;

<102> 광원(레이저)(1)으로부터 사출되는 광은 그 편광방향이 특정방향을 향하기 때문에 높은 편광도를 가진다. 그러나, 광원(1)에 의해 사출되는 광은, 광원(1) 내부의 광학계의 오차에 의해, 본래 사출되어야 할 주편광성분의 편광방향과 직교하는 방향을 편광방향이 향한 부편광성분을 미소하게 포함한다. 이 주편광성분과 부편광성분 사이의 위상차는 어떤 값을 취하여도 된다. 이것은 편광도가 높은 광이 대략 상기 프왕카레의 구상의  $S_1$ 축을 향한 광이기 때문이다. 대략  $S_1$ 축을 향한 광은 미소한 복굴절이 존재하면, 미소한 복굴절의 진상축방향에 따라서  $S_2$ 축 방향 및  $S_3$ 축방향의 양쪽 모두를 향하여 경사질 수 있다. 이 때문에,  $\arctan(S_3/S_2)$ 로 나타내지는 위상차는 복굴절이 계측할 수 없는 미소한 양인 경우에도, 진상축방향에 따라 어떤 값으로도 발생할 수 있다.

&lt;103&gt;

<103> 작은 공간에 접혀서 수용되는 조명광학계(30)에 대해서는, 반사미러가 필요하다. 반사미러는 P편광과 S편광 사이의 반사위상차를 발생하므로, 조명광학계(30) 내에서 2개의 서로 직교하는 편광성분(주편광성분 및 부편광성분) 사이에 위상차가 발생한다.

&lt;104&gt;

<104> 이와 같이, 광원(1) 및 조명광학계(30) 내에서 2개의 직교하는 편광성분(주편광 성분 및 부편광성분) 간에 위상차가 발생한다. 이 문제에 대처하기 위해서, 위상차조정유닛(21)에 의해 마스크(15)의 위치(투영광학계의 물체면)에 있어서의 2개의 직교하는 편광성분 간의 위상차를 허용값 이내에 들어가도록 조정한다.

&lt;105&gt;

<105> 이후의 설명에서는, 지면에 평행한 방향으로 전기장 벡터를 가지는 편광성분과 지면에 수직인 방향으로 전기장 벡터를 가지는 편광성분 사이의 위상차를 조정한다.

&lt;106&gt;

<106> 도 15는 본 발명의 제1 실시형태에 의한 위상차조정유닛(21)의 구성을 모식적으로 나타낸 도면이다. 위상차조정유닛(21)은 위상차조정판(21a)과 위상차조정판(21a)을 광축(AX)에 직교하는 회전축(RA)(예를 들면, 도 1의 지면에 수직 또는 평행한 축)을 중심으로 회전시키는 액츄에이터(회전구동기구)(21b)를 포함할 수 있다. 위상차조정판(21a)은 평판이다. 환연하면, 위상차조정판(21a)은 서로 대략 평행한 제1 면(21a1)과 제2 면(21a2)을 가진다. 제1 면(21a1)과 제2 면(21a2) 중의 한 쪽은 광이 입사하는 면이고, 다른 쪽은 광이 출사하는 면이다. 바람

직하게는, 제1 면(21a1)에 대한 제2 면(21a2)의 기울기는 2분 이내이다. 위상차조정판(21a)은, 예를 들면, 디스크형상 또는 직사각형형상을 가질 수 있다. 위상차조정판(21a)은, 예를 들면, 수정 또는 불화 마그네슘 등의 일축성 결정을 포함한다. 일축성 결정의 광학축은 제1 면(21a1) 또는 제2 면(21a2)의 법선방향을 향하고 있다.

<107> 도 16은 불화마그네슘으로 구성된 두께 2 mm의 평판형상의 위상차조정판(21a)을 사용했을 때의 위상차의 발생량을 나타내는 그래프이다. 도 16의 횡축은 위상차조정판(위상차조정소자)(21a)의 경사각도(광축 AX에 수직인 면에 대한 제1면(21a1)의 각도)를 나타낸다. 도 16의 종축은 지면에 평행한 방향으로 전기장 벡터를 가지는 편광성분과 지면에 수직인 방향으로 전기장 벡터를 가지는 편광성분 사이에 발생하는 위상차를 나타낸다. 위상차는  $360^\circ$  의 주기를 가지고,  $\pm 180^\circ$  의 범위에서의 각에 의해 표현된다. 위상차조정판(21a)을 경사지게 함으로써, 직교하는 2개의 편광성분 간의 위상차가 서서히 증가한다. 상기 판(21a)을 약  $5^\circ$  만큼 경사지게 함으로써, 위상차는  $180^\circ$  에 이른다. 상기 판(21a)을 약  $8^\circ$  만큼 경사지게 함으로써, 위상차는  $\pm 180^\circ$  의 범위에서 임의의 각도를 취할 수 있다.

<108> 일축성 결정으로 구성된 위상차조정판(21a)이 두꺼우면, 미소한 경사각도에 의해  $\pm 180^\circ$  의 위상차를 발생시킬 수 있다. 그러나, 상기 판(21a)이 너무 두꺼우면 액츄에이터(21b)의 분해능을 올려야 한다. 위상차조정판(21a)이 얇으면, 액츄에이터(21b)에 의한 구동정밀도는 거칠어도 되지만, 큰 경사각도가 필요하다. 따라서, 위상차조정판(21a)의 두께로서는 상기한 2 mm가 실장성을 용이하게 하기 위해서 적합하다.

<109> 위상차조정판(21a)을 경사지게 함으로써, 약간 광축이 시프트한다. 통상은, 이 시프트량은 무시할 수 있지만, 문제가 되는 경우에는, 다른 한 장의 평행평판을 광로 중에 삽입하여 광축 시프트를 보정하도록 동기하여 경사지게 하는 것으로 충분하다.

<110> 이와 같이, 일축성 결정으로 구성된 위상차조정판(21a)의 경사의 양을 조정함으로써, 투영광학계의 물체면 상의 직교하는 2개의 편광성분 간의 위상차를 조정할 수 있다.

<111> 도 17은 본 발명의 제2 실시형태에 의한 위상차조정유닛(21)의 구성을 모식적으로 나타내는 도면이다. 제2 실시 형태의 위상차조정유닛(21)은 소레일 보정기(Soleil compensator)에 의해 위상차를 조정한다. 소레일 보정기는 상기한 문헌 "증보 개정판: 옵트로닉스 기술활용을 위한 광학부품의 사용법과 유의점"의 84 페이지의 도 1.118에 소개되어 있다.

<112> 도 17은 소레일 보정기(바비넷-소레일 보정기(Babinet-Soleil compensator))를 측면으로부터 볼 때의 도면이다. 소레일 보정기는 일축성 결정으로 구성된 2매의 웨지(위상차조정소자)((21c) 및 (21d))와, 웨지(21d)를 구동하는 액츄에이터를 포함하고 있다. 2개의 일축성 결정의 광축방향이 대략 서로 평행이다. 한쪽의 웨지를 다른쪽의 웨지에 대해서 상대적으로 다른 쪽의 웨지의 정점의 방향(광축에 직교하는 방향)으로 구동하여 2개의 웨지 간의 상대적인 위치관계를 변경하면, 2개의 웨지의 합계의 광축방향의 일축성 결정두께가 변경된다. 이에 의해, 소레일 보정기 전체의 복굴절량을 연속적으로 변화시키는 것이 가능하다.

<113> 소레일 보정기에 입사하는 광의 편광방향을 일축성 결정의 광축방향 또는 일축성 결정의 광축과 수직인 방향으로 설정한다. 웨지가 상대적으로 움직임으로써, 소레일 보정기의 복굴절량을 변화시킨다. 이에 의해, 2개의 직교하는 방향의 위상차를 연속적으로 발생시킬 수 있다.

<114> 소레일 보정기를 제작하기 위해서, 2개의 웨지(21c) 및 (21d) 간의 높은 평행도를 염밀하게 확보해야 하는 것에 유의한다. 즉, 2개의 웨지 간의 평행도가 낮으면 광축방향의 일축성 결정의 두께가 소레일 보정기의 장소에 따라서 변경된다. 이에 의해, 소레일 보정기의 유효 직경 내에서 위상차의 변동을 초래한다. 따라서, 가공성을 포함한 작동성을 고려하여, 제1 실시형태에서와 마찬가지로 일축성 결정으로 구성되는 위상차조정판을 경사지게 하는 방식이 유리하다.

<115> 위상차조정유닛(21)은, 상술한 바와 같이, 위상차조정소자(위상차조정판 또는 웨지)를 구동하는 액츄에이터를 구비하는 것이 바람직하다. 또한, 위상차조정소자는 조명모드 및 편광상태마다, 노광해야 할 패턴의 CD균일성의 허용량에 따라서 액츄에이터에 의해 구동되는 것이 바람직하다. 예를 들면, 임의의 타이밍에서, 정기적으로, 주기적으로, 또는 미리 정해진 스케줄에 따라 액츄에이터에 의한 위상차조정소자를 구동, 즉 위상차조정소자의 위상차를 조정할 수 있다.

<116> 도 18에 도시된 바와 같이, 상기 액츄에이터에 의해 위상차조정유닛(21)의 위상차조정소자는 투영광학계의 물체면 상의 편광상태를 계측하는 계측유닛(22)에 의해 얻어진 계측결과에 따라서 위상차가 목표범위에 들어가도록 구동되어도 된다.

<117> 위상차제어유닛(23)은 계측유닛(22)에 의해 얻어진 계측결과에 따라서 마스크(15)의 위치(투영광학계의 물체면)에 있어서의 위상차가 목표범위 내에 들어가도록 액츄에이터(21b) 또는 (21e)를 구동한다. 이를 구성에 의해, 투영광학계의 물체면상의 위상차의 계측결과에 의거하여 위상차가 미리 정해진 허용치 내에 들어가도록 위상차조정유닛(21)을 구동할 수 있다. 이에 의해, 투영광학계의 복굴절에 의한 편광도의 상높이 간의 변동을 감소시킬 수 있으며, 더욱이 CD균일성을 향상시킬 수 있다.

<118> 다음에 상기의 노광장치를 사용한 디바이스의 제조방법을 설명한다. 도 19는 반도체 디바이스의 전체적인 제조방법의 순서를 나타내는 흐름도이다. 스텝 1(회로설계)에서는 반도체 디바이스의 회로를 설계한다. 스텝 2(레티클 제작)에서는 설계한 회로 패턴에 의거하여 레티클(마스크라고도 함)을 제작한다. 스텝 3(웨이퍼 제조)에서는 실리콘 등의 재료를 사용하여 웨이퍼(기판이라고도 함)를 제조한다. 스텝 4(웨이퍼 프로세스)는 전공정으로 부르며, 상기의 레티클과 웨이퍼를 사용하여 리소그래피 기술에 의해 웨이퍼 상에 실제의 회로를 형성한다. 스텝 5(조립)은 후공정으로 부르며, 스텝 4에서 제작된 웨이퍼를 사용하여 반도체칩을 형성한다. 이 스텝은 조립(다이싱, 본딩), 패키징(칩 밀봉) 등의 공정을 포함한다. 스텝 6(검사)에서는 스텝 5에서 제작된 반도체 디바이스의 동작확인 테스트, 내구성 테스트를 포함한 검사를 실시한다. 이들 공정을 거쳐서 반도체 디바이스가 완성되어 출하(스텝 7)된다.

<119> 도 20은 상기 웨이퍼 프로세스의 상세한 순서를 설명하는 흐름도이다. 스텝 11(산화)에서는 웨이퍼의 표면을 산화시킨다. 스텝 12(CVD)에서는 웨이퍼 표면에 절연막을 형성한다. 스텝 13(전극 형성)에서는 웨이퍼 상에 전극을 증착에 의해 형성한다. 스텝 14(이온 주입)에서는 웨이퍼에 이온을 주입한다. 스텝 15(레지스트 처리)에서는 웨이퍼에 감광제를 도포한다. 스텝 16(노광)에서는 상기의 노광장치를 사용하여 회로패턴이 형성된 마스크를 통하여 감광제가 도포된 웨이퍼를 노광해서 레지스트에 잠상패턴을 형성한다. 스텝 17(현상)에서는 웨이퍼에 전사된 레지스트를 현상하여 레지스트 패턴을 형성한다. 스텝 18(에칭)에서는 레지스트 패턴이 개방한 부분을 통해 레지스트 패턴 아래에 있는 층 또는 기판을 에칭한다. 스텝 19(레지스트 박리)에서는 에칭이 끝나 불필요해진 레지스트를 제거한다. 이들 스텝을 반복함으로써, 웨이퍼 상에 회로패턴의 다중구조를 형성한다.

<120> 본 발명을 전형적인 실시형태에 관련하여 설명하였지만, 본 발명은 상기 개시된 전형적인 실시형태에 한정되지 않는 것으로 이해되어야 한다. 다음의 청구범위는 이러한 변경과 등가의 구성 및 기능을 모두 포함하도록 가장 넓게 해석되어야한다.

### 도면의 간단한 설명

<121> 도 1은 본 발명의 바람직한 실시형태의 노광장치의 개략구성도;

<122> 도 2는 높은 NA시의 상의 콘트라스트를 설명하기 위한 도면;

<123> 도 3은 라인-엔드-스페이스의 주기와 레지스트 내의 회절광에 의해 형성된 각도를 나타내는 그래프;

<124> 도 4는 편광조명의 조명광학계 동공에서의 편광상태를 설명하기 위한 도면;

<125> 도 5는 노광장치의 구성예를 나타내는 도면;

<126> 도 6은 유리재의 복굴절의 예를 나타내는 도면;

<127> 도 7은 투영광학계의 복굴절량이 상높이 사이에서 변화하는 것을 설명하는 도면;

<128> 도 8은 RoP와 CD의 변화에 대한 그래프;

<129> 도 9는 위상차와 편광상태 사이의 관계를 나타내는 도면;

<130> 도 10은 투영광학계의 물체면 상의 위상차에 따라 기판 상의 편광도가 변화하는 것을 설명하기 위한 그래프;

<131> 도 11은 프왕카레구 위에서의 등-RoP선을 나타내는 도면;

<132> 도 12는 도 11의 프왕카레구를 S2방향으로부터 본 투영도;

<133> 도 13은 프왕카레구를 사용하여 투영광학계의 물체면에 있어서의 위상차가 기판 상의 편광도에 영향을 주는 것을 설명하기 위한 도면;

<134> 도 14A 및 도 14B는 특정조건하에서 허용할 수 있는 위상차를 예시하는 그래프;

<135> 도 15는 본 발명의 제1 실시형태의 위상차조정유닛의 개략구성도;

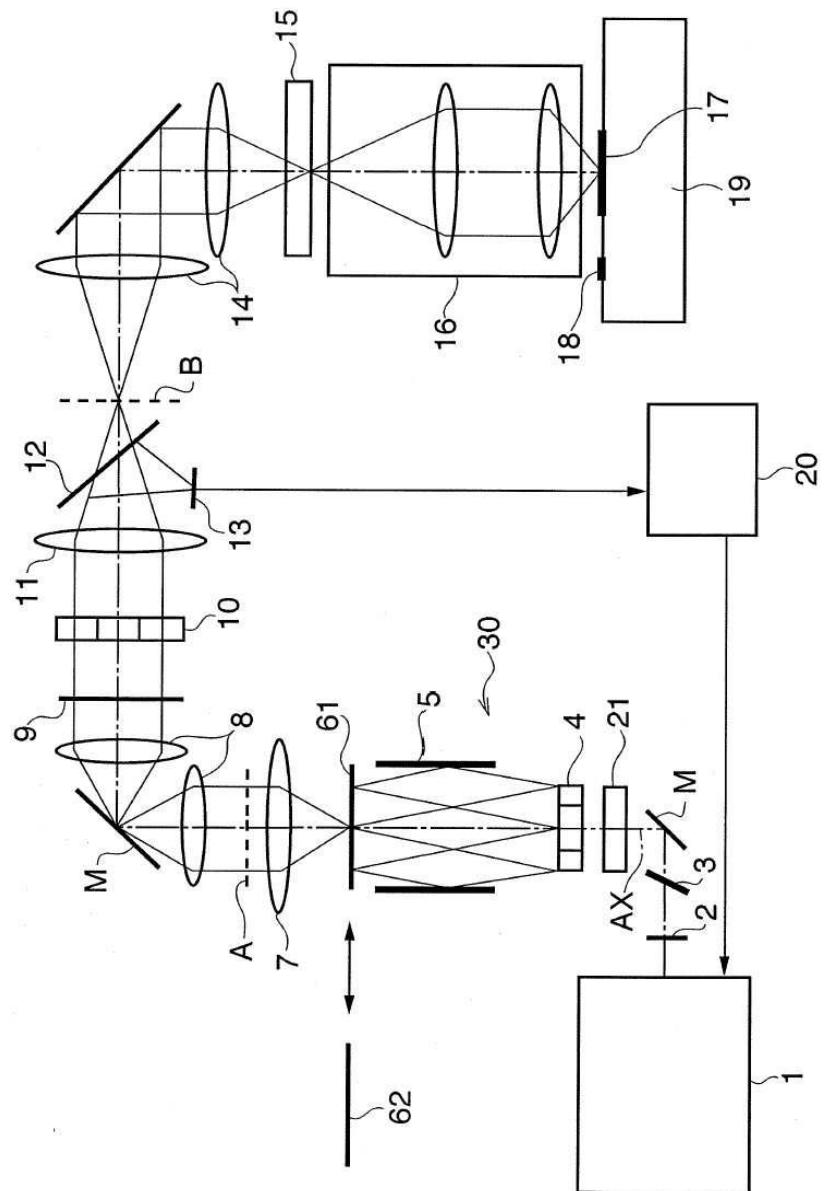
<136> 도 16은 본 발명의 제1 실시형태의 위상차조정유닛의 효과를 설명하기 위한 그래프;  
 <137> 도 17은 본 발명의 제2 실시형태의 위상차조정유닛의 개략구성도;  
 <138> 도 18은 본 발명의 다른 바람직한 실시 형태의 노광장치의 개략구성도;  
 <139> 도 19는 반도체디바이스의 전체적인 제조방법의 흐름도;  
 <140> 도 20은 웨이퍼프로세스의 상세한 순서를 나타낸 흐름도.

<141> [도면의 주요부분에 대한 부호의 설명]

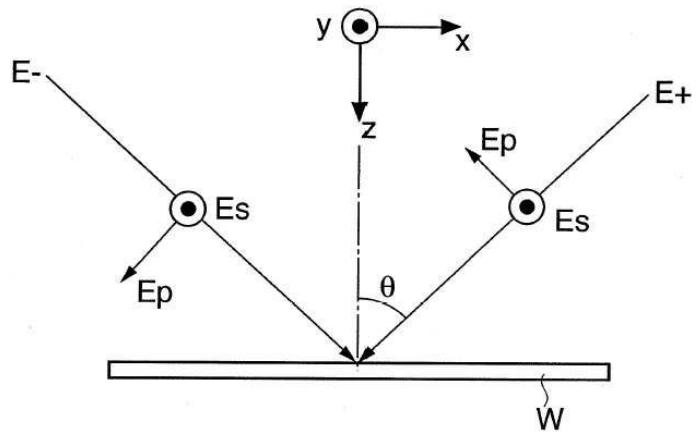
<142> 1: 광원	2: 평면판
<143> 3: 감광필터	4: 마이크로렌즈어레이
<144> 5: 내면반사부재	12: 하프미러
<145> 13: 노광량센서	14: 텔레이광학계
<146> 15: 마스크	16: 투영광학계
<147> 17: 기판	18: 조도계
<148> 19: 기판스테이지(웨이퍼스테이지)	21: 위상차조정유닛
<149> 21a: 위상차조정판	21b: 액츄에이터(회전구동기구)
<150> 21c, 21d: 웨지	30: 조명광학계

도면

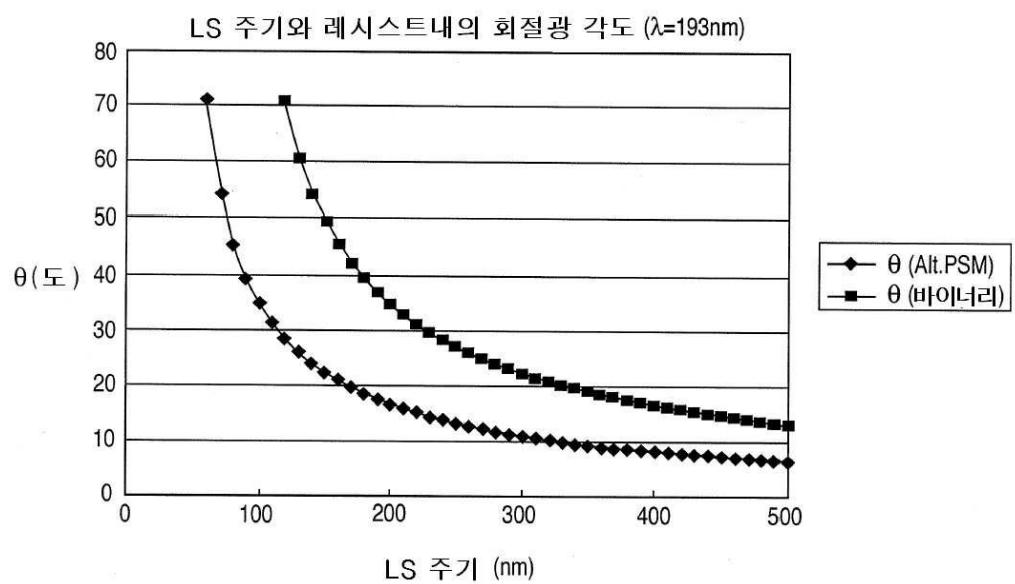
도면1



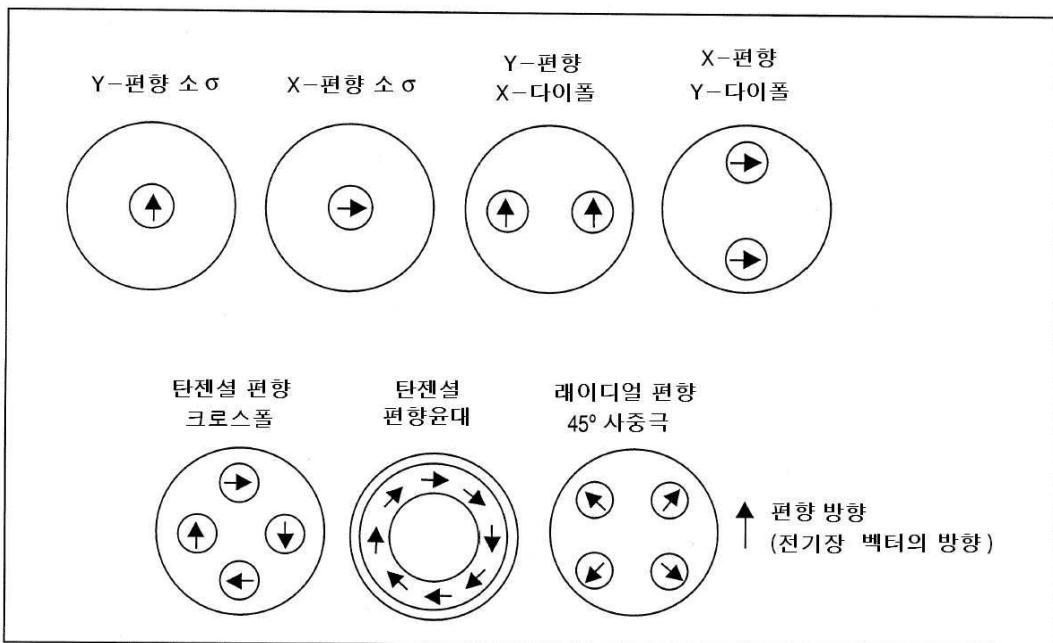
## 도면2



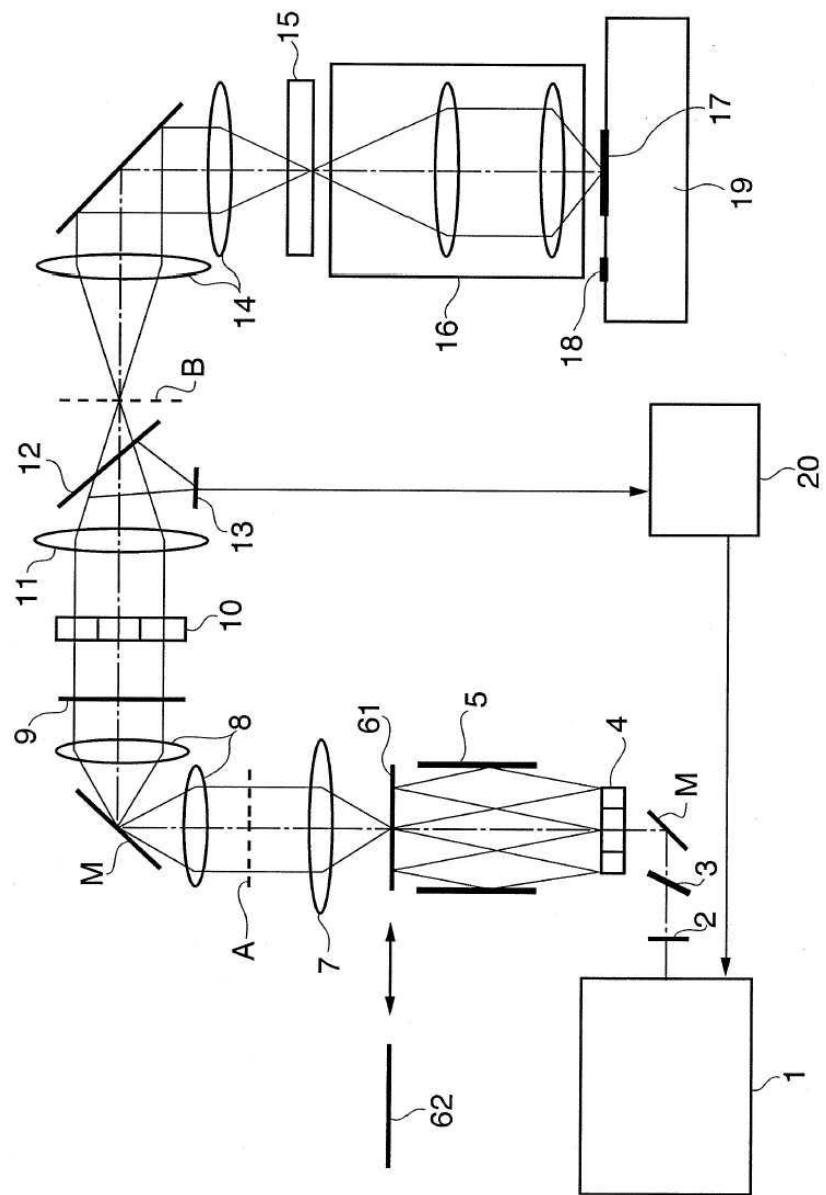
## 도면3



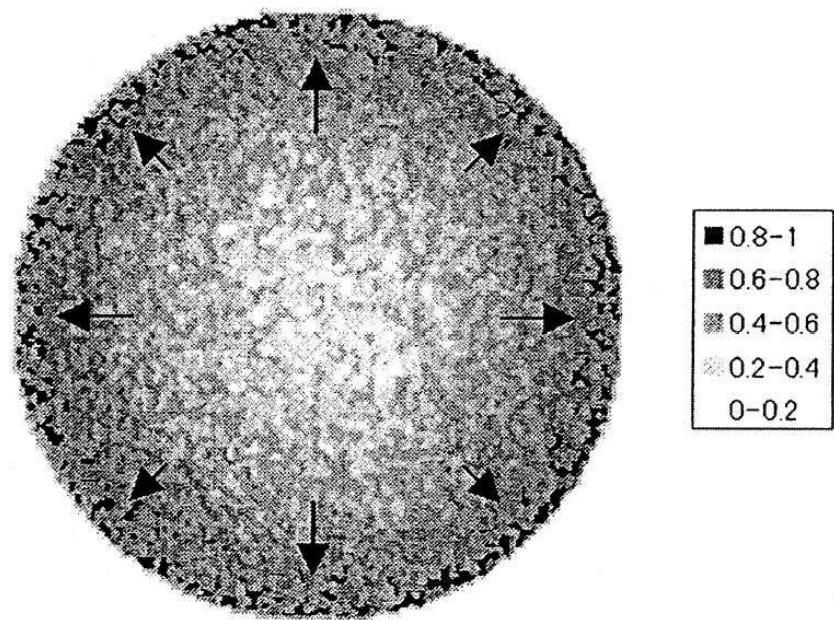
도면4



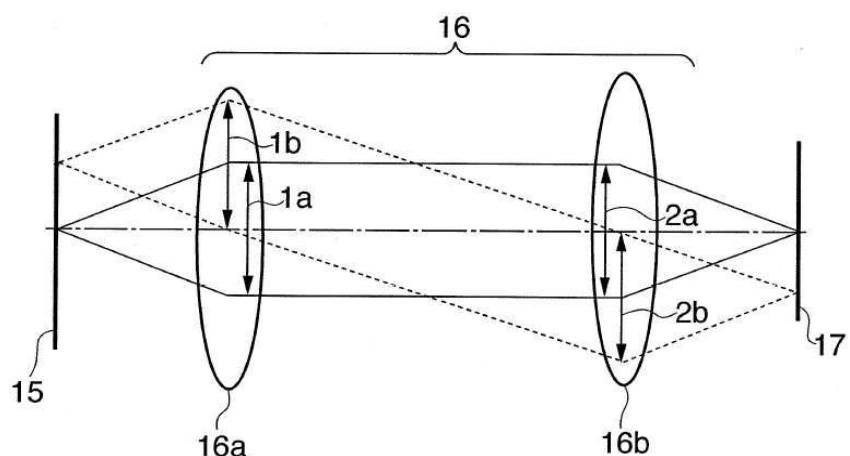
도면5



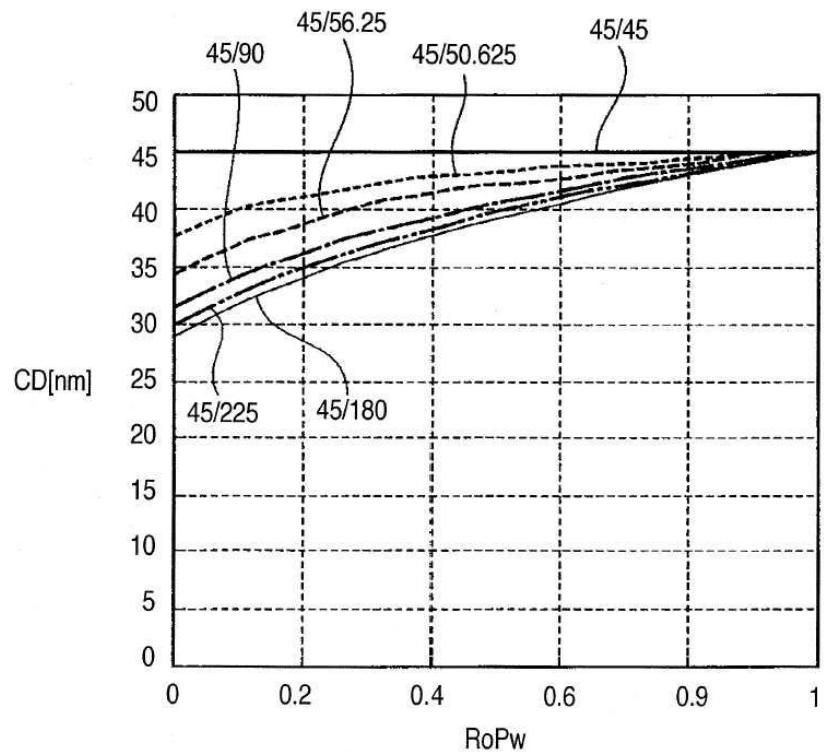
도면6



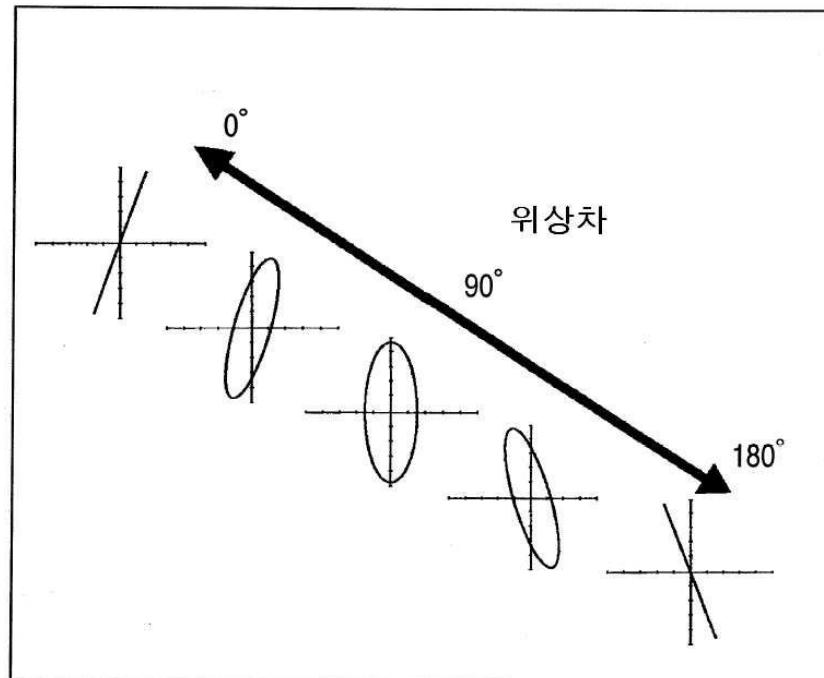
도면7



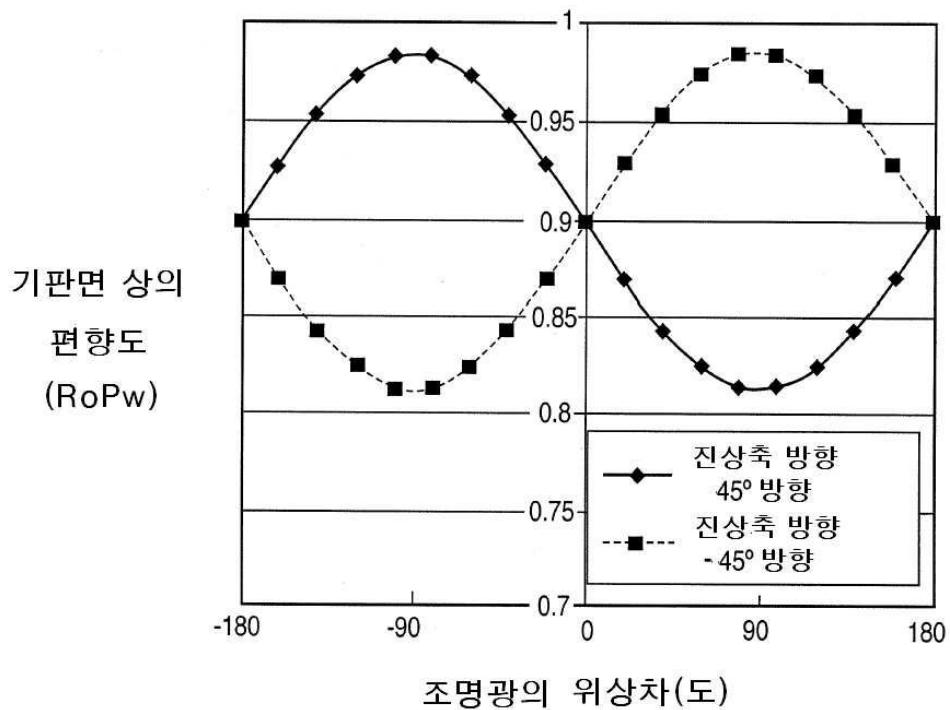
도면8



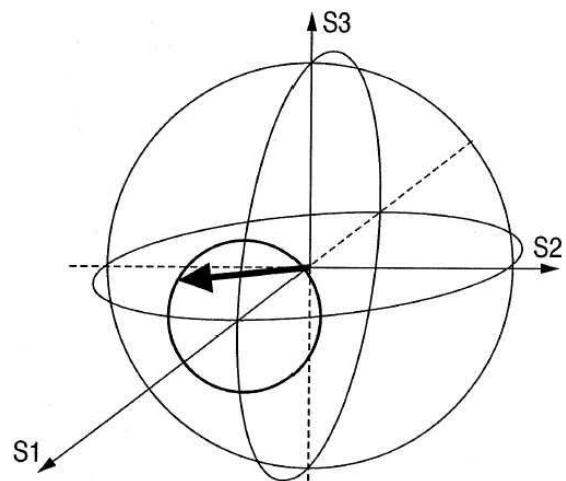
도면9



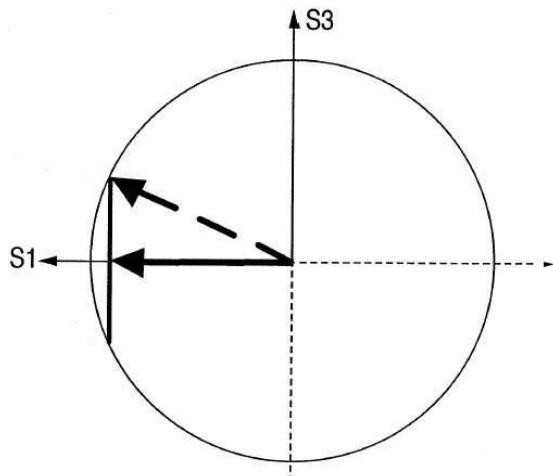
도면10



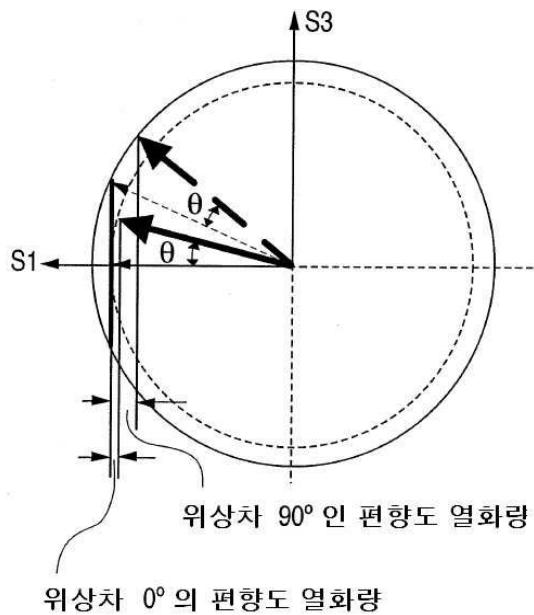
도면11



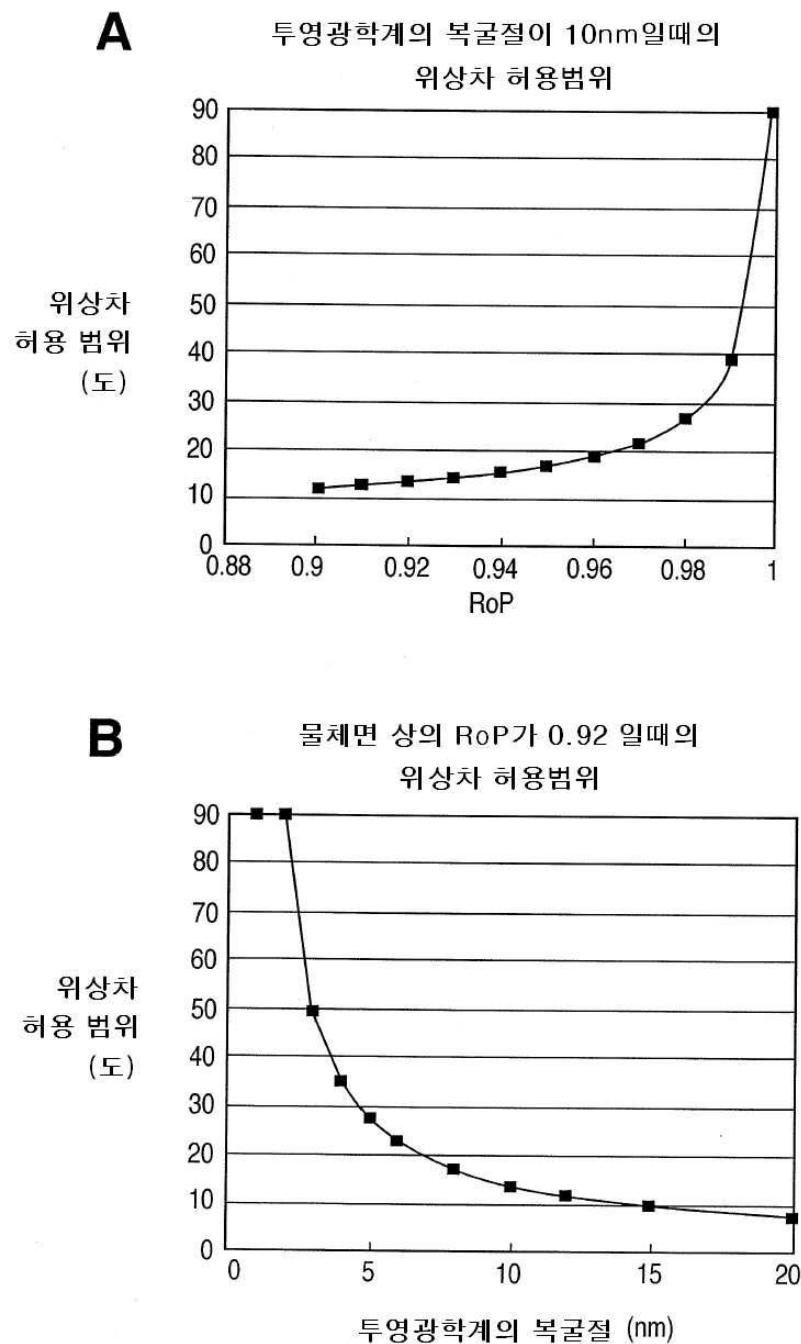
도면12



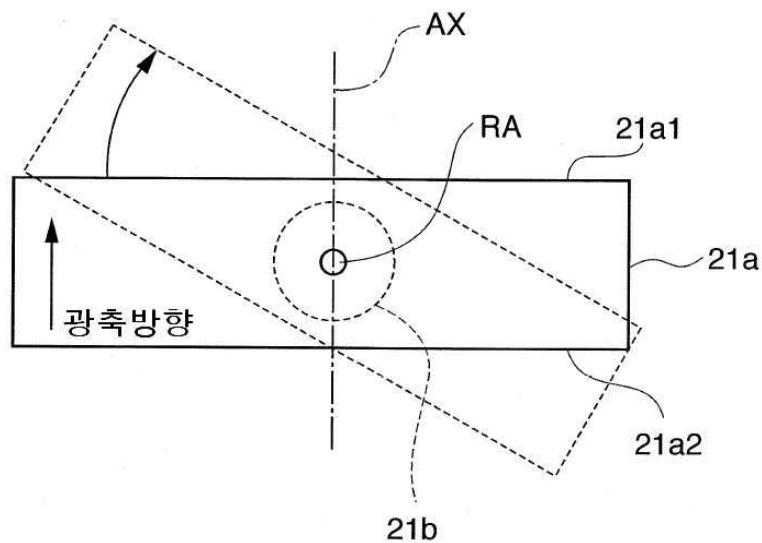
도면13



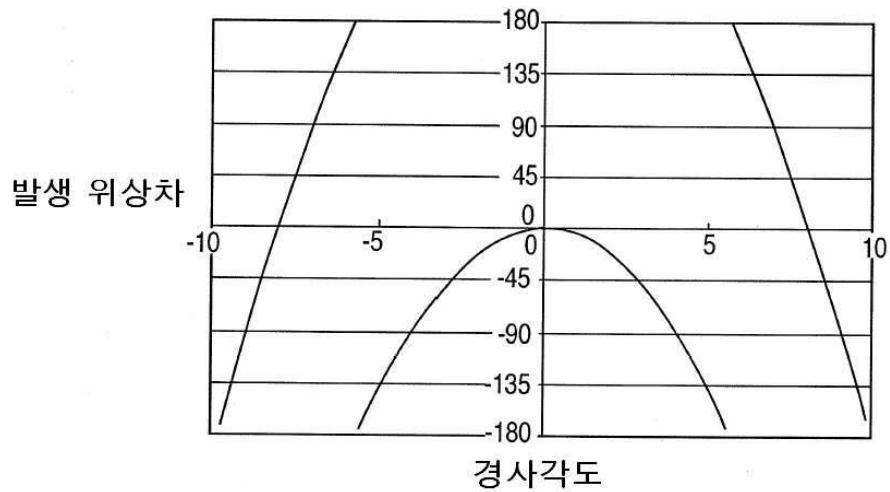
도면14



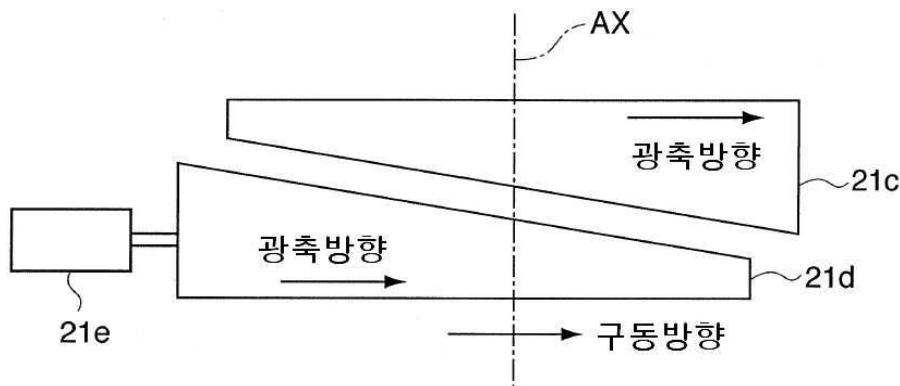
도면15



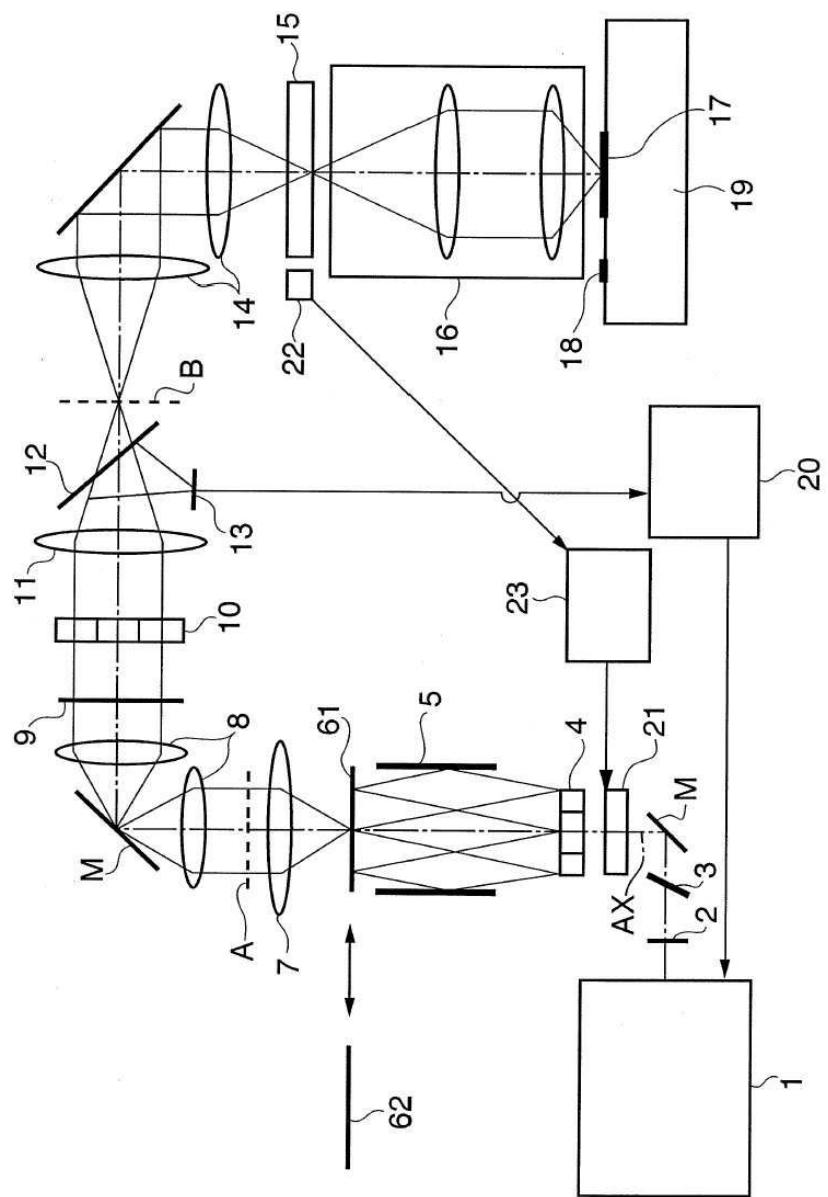
도면16



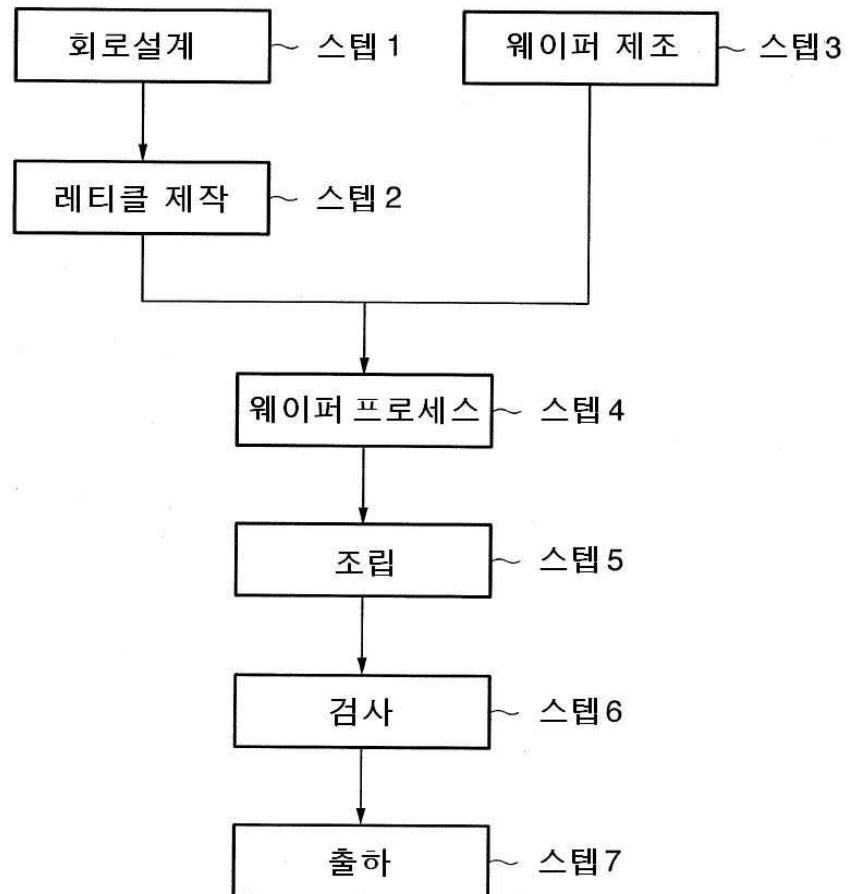
도면17



도면18



도면19



## 도면20

