



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년12월05일
(11) 등록번호 10-0871505
(24) 등록일자 2008년11월25일

(51) Int. Cl.

H01L 21/027 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-0068255

(22) 출원일자 2006년07월21일

심사청구일자 2006년07월21일

(65) 공개번호 10-2007-0012248

(43) 공개일자 2007년01월25일

(30) 우선권주장

JP-P-2005-00212254 2005년07월22일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020040050884 A*

KR1020010023314A

KR1020030017431A

KR1020050003392A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

캐논 가부시끼가이샤

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루코 3조메 30방 2고

(72) 발명자

타카하시 카즈히로

일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루코 3조메 30방 2고 캐논가부시끼가이샤나이

미카미 코지

일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루코 3조메 30방 2고 캐논가부시끼가이샤나이

코노 미치오

일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루코 3조메 30방 2고 캐논가부시끼가이샤나이

(74) 대리인

신중훈, 임옥순

전체 청구항 수 : 총 10 항

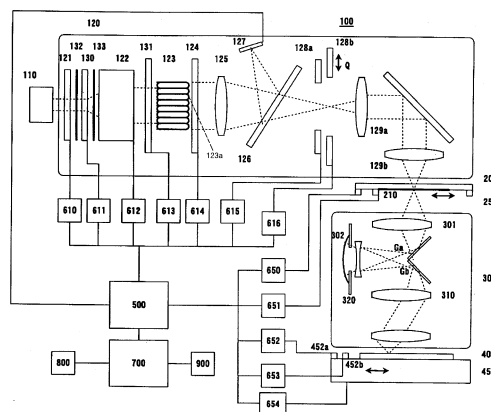
심사관 : 송현정

(54) 노광장치 및 방법

(57) 요약

해상 성능이 양호한 노광방법 및 장치를 제공한다. 광원으로부터의 광과 광학계를 이용해서 레티클의 패턴을 피노광체에 노광하는 노광장치에 있어서, 상기 광학계를 통과한 상기 광의 편광 정보를 계측하는 계측부와, 상기 계측부의 계측 결과에 의거해서, 상기 광원 및 상기 광학계의 적어도 하나의 노광 파라미터를 제어하는 제어부를 구비하고, 상기 편광 정보는 광축에 평행한 서로 직교하는 두 방향의 편광 강도, 편광 강도비, 편광도 및 위상차의 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 노광장치를 제공한다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

광원으로부터의 광과 광학계를 이용해서 레티클의 패턴을 피노광체에 노광하는 노광장치에 있어서,
상기 광학계를 통과한 상기 광의 편광 정보를 측정하는 측정부와,
상기 측정부에 의해 측정된 편광정보에 의거해서, 상기 광원 및 상기 광학계의 적어도 하나의 노광 파라미터를 제어하는 제어부를 구비하고,
상기 편광 정보는 상기 광학계의 광축에 모두 수직인 서로 직교하는 두 방향의 편광 강도, 편광 강도비, 편광도 및 위상차 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 제어부는, 다른 노광장치가 상기 레티클의 상기 패턴을 해상 하도록 상기 패턴의 크기 또는 형상, 또는 크기 및 형상이 부분적으로 변경되고 있는 경우에, 상기 패턴의 변경 정보에 의거해서 상기 노광 파라미터를 제어하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 광학계는 상기 패턴을 상기 피노광체에 투영하고, 개구수 0.8 이상을 가지는 것을 특징으로 하는 노광장치.

청구항 4

광원으로부터의 광과 광학계를 이용해서 레티클의 패턴을 피노광체에 노광하는데 있어서 노광파라미터 또는 레티클의 패턴, 또는 노광파라미터 및 레티클의 패턴을 설정하는 방법에 있어서,
상기 광학계를 통과한 상기 광의 편광 정보를 취득하는 단계; 및
상기 편광 정보에 의거해서, 상기 광원의 노광파라미터, 상기 광학계의 노광 파라미터, 상기 패턴의 크기 및 상기 패턴의 현상중 적어도 하나를 설정하는 단계를 구비하고,
상기 편광 정보는 상기 광학계의 광축에 모두 수직인 서로 직교하는 두 방향의 편광 강도, 편광 강도비, 편광도 및 위상차 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 노광파라미터 또는 레티클의 패턴, 또는 노광파라미터 및 레티클의 패턴을 설정하는 노광방법.

청구항 5

제 4항에 있어서, 상기 광학계는 상기 레티클을 조명하는 조명 광학계와 상기 패턴을 상기 피노광체에 투영하는 투영 광학계를 구비하고,
상기 설정하는 단계는 실제의 편광도와 소정의 편광도 사이의 차이가 허용 범위가 아닌 경우에, 상기 광의 파장폭, 상기 광의 편광각의 회전, 편광도, 유효 광원 형상 및 해당 유효 광원의 휘도 분포, 상기 조명 광학계로부터 사출되는 상기 광의 기울기, 상기 투영 광학계의 개구수, 동공 투과율 분포 및 수차의 적어도 하나를 포함하는 노광 파라미터를 변경하는 단계를 구비한 것을 특징으로 하는 설정방법.

청구항 6

제 4항에 있어서, 상기 광학계는 상기 레티클을 조명하는 조명 광학계를 구비하고,
상기 설정하는 단계는 실제의 편광도의 상 높이 간의 차이가 허용범위가 아닌 경우에, 적산 노광량 및 상 높이 마다의 상기 조명 광학계로부터 사출되는 상기 광의 기울기의 적어도 하나를 포함한 노광 파라미터를 변경하는 단계를 가지는 것을 특징으로 하는 설정방법.

청구항 7

제 4항에 있어서, 상기 광학계는 상기 패턴을 상기 피노광체에 투영하는 투영 광학계를 구비하고,
상기 설정하는 단계는 상기 투영 광학계의 복굴절 및 동공 투과율의 적어도 하나가 허용 범위가 아닌 경우에,

상기 투영 광학계의 수차 및 동공 투과율의 적어도 하나를 포함한 노광 파라미터를 변경하는 단계를 가지는 것을 특징으로 하는 설정방법.

청구항 8

제 4항에 있어서, 상기 취득 단계는,

상기 광학계의 조명 분포, 수차 분포, 편광 분포 및 동공 투과율 분포에 관한 정보를 포함하는 특성 정보를 취득하는 단계와, 상기 레티클의 상기 패턴의 정보를 취득하는 단계를 구비하고,

상기 설정하는 방법은 상기 특성 정보와 상기 패턴의 정보에 의거해서 상기 패턴의 결상 상태의 시뮬레이션을 실시하는 단계를 더 포함하고,

상기 설정하는 단계는 상기 시뮬레이션 결과에 의거해서, 상기 광원의 노광파라미터, 상기 광학계의 노광 파라미터, 상기 패턴의 크기 및 상기 패턴의 형상중 적어도 하나를 설정하는 것을 특징으로 하는 설정방법.

청구항 9

제 4항 내지 제 8항 중 어느 한 항 기재의 설정방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터 판독가능한 기록매체.

청구항 10

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 기재된 노광장치를 이용해서 피노광체를 노광하는 단계와,

상기 노광된 피노광체를 현상하는 단계를 구비한 것을 특징으로 하는 디바이스 제조방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <42> 본 발명은 일반적으로는 노광장치 및 방법에 관한 것으로, 특히, 노광장치의 노광 조건 및 레티클(마스크) 패턴의 최적화에 관한 것이다. 본 발명은, 예를 들면, 투영 광학계의 개구수가 0.8 이상인 노광장치에 있어서의 노광 조건 및 레티클 패턴의 최적화에 매우 적합하다.
- <43> 레티클 패턴을 투영 광학계에 의해 웨이퍼 등에 노광하는 투영 노광장치는 종래부터 사용되고 있고, 노광장치에는 해상성의 향상이 더욱더 요구되고 있다. 고해상도를 얻기 위해서는 투영 광학계의 개구수(NA)를 증가하는 것은 유효하지만, 노광 조건이나 레티클 패턴의 최적화도 중요하다. 레티클 패턴의 최적화는 예를 들어 광학 근접 보정(Optical Proximity Correction: OPC)에 의해 행해진다. 또, 효율적인 최적화를 위해서 현실적으로 노광하지 않고 시뮬레이션 또는 시뮬레이터를 이용하는 것은 알려져 있다(예를 들면, 일본국 특개 제 2002-319539호 공보, 일본국 특개 제 2002-324752호 공보, 일본국 특개평 06-120119호 공보, 일본국 특개평 08-335552호 공보, 일본국 특개 2002-184688호 공보 참조).
- <44> 고해상도화를 위해서 고 NA화가 진행됨에 따라, 결상 성능에의 편광의 영향을 무시할 수 없게 된다. 특히, 근년 제안되고 있는 액침노광에 있어서는 광의 편광 방향에 의해 결상하지 않는 조건도 존재한다. 이 때문에, 노광광의 편광 제어를 실시하는 시도도 되어 있다(예를 들면, Proceedings of SPIE, Volume 5377 (2004) pp. 68 참조).

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- <45> 그러나, 종래의 노광 조건이나 레티클 패턴의 최적화 수법에서는 특히 고 NA에 있어서 소정의 전사 성능을 얻을 수 없게 되었다. 본 발명자들은 이러한 문제의 원인을 열심히 검토한 결과, 종래의 최적화 수법은 광학계가 편광에 의해서 영향을 받는 특성(이하, 「편광 특성」이라고 한다. 또, 편광 특성에 관한 정보를 「편광 정보」라고 하는 경우도 있다)을 고려하고 있지 않은 것을 발견하였다.
- <46> 즉, 실제의 광학계의 편광 특성은 유리 복굴절이나 동공내 분포에 의해서 설정된 편광 특성으로부터 어긋나 버

린다. 그리고, 고 NA에 있어서는 이러한 어긋남의 영향을 무시할 수 없게 되었다. 이러한 특성으로서는 예를 들면, 광학계를 통과하는 광의 편광 상태나 투영 광학계의 동공 투과율 분포가 있다. 후자는 고 NA에 의해 광학 소자나 그 표면에 도포되어 있는 반사 방지막의 투과율이 다른 것에 의존한다. 또, 소망의 편광 특성으로부터의 차이가 있었을 경우에 그것을 어떻게 보정하면 좋을지에 대해서도 알려져 있지 않다. 이 결과, 소기의 해상 성능을 얻을 수 없다고 하는 문제가 발생한다.

<47> 본 발명은 해상 성능이 양호한 노광방법 및 장치를 제공한다.

발명의 구성 및 작용

<48> 본 발명의 일측면으로서의 노광장치는 광원으로부터의 광과 광학계를 이용해서 레티클의 패턴을 피노광체에 노광하는 노광장치에 있어서, 상기 광학계를 통과한 상기 광의 편광 정보를 계측하는 계측부와, 상기 계측부에 의해 계측된 편광정보에 의거해서, 상기 광원 및 상기 광학계의 적어도 하나의 노광 파라미터를 제어하는 제어부를 구비하고, 상기 편광 정보는 상기 광학계의 광축에 수직인 서로 직교하는 두 방향의 편광 강도, 편광 강도비, 편광도 및 위상차 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<49> 본 발명의 일측면으로서의 설정방법은, 광원으로부터의 광과 광학계를 이용해서 레티클의 패턴을 피노광체에 노광하는 노광하는 경우, 노광파라미터 또는 레티클의 패턴, 또는 노광파라미터 및 레티클의 패턴을 설정하는 방법으로서, 상기 광학계를 통과한 상기 광의 편광 정보를 취득하는 단계와, 상기 편광 정보에 근거해서, 상기 광원 및 상기 광학계의 적어도 하나의 노광 파라미터, 혹은, 상기 패턴의 크기 또는 형상을 설정하는 단계를 구비하고, 상기 편광 정보는 광학계의 광축에 수직인 서로 직교하는 두 방향의 편광 강도, 편광 강도비, 편광도 및 위상차 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 한다. 상기 방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터 판독가능한 기록매체도 본 발명의 일측면을 구성한다.

<50> 상술한 노광장치를 이용해서 피노광체를 노광하는 단계와, 상기 노광된 상기 피노광체를 현상하는 단계를 구비한 디바이스 제조 방법도 본 발명의 다른 측면을 구성한다. 디바이스 제조 방법의 청구항은, 중간 및 최종 결과물인 디바이스 자체에도 그 효력이 미친다. 또, 이러한 디바이스는 LSI나 VLSI 등의 반도체 칩, CCD, LCD, 자기센서, 박막 자기 헤드 등을 포함한다.

<51> 본 발명의 또 다른 목적 또는 그 외의 특징은 이하 첨부 도면을 참조해 설명하는 바람직한 실시예에 의해 명백하게 될 것이다.

<52> 이하, 첨부 도면을 참조해서 본 발명의 몇 개의 실시예에 대해 설명한다.

<53> [실시예 1]

<54> 이하, 본 발명의 일측면으로서의 노광장치(100)에 대해 설명한다. 여기서, 도 1은 노광장치(100)의 개략 블록도이다. 노광장치(100)는 스텝 앤드 스캔 방식에 의해 레티클(200)에 형성된 패턴을 플레이트(400)에 노광하는 투영 노광장치이며, 서브 미크론이나 쿼터 미크론 이하의 해상도에 있어서의 리소그래피 공정에 매우 적합하다. 노광장치(100)는 도 1에 나타난 바와 같이 조명 장치와, 투영 광학계(300)와, 제어부(500)와, 시뮬레이터(700)와, 메모리(800) 및 (900)를 가진다.

<55> 조명 장치는 전사용의 회로 패턴이 형성된 레티클(200)을 조명하고, 광원(110)과 조명 광학계(120)를 가진다.

<56> 광원(110)은 예를 들면 레이저를 사용한다. 레이저는 파장 약 193 nm의 ArF 엑시머 레이저, 파장 약 248 nm의 KrF 엑시머 레이저, 파장 약 157 nm의 F₂엑시머 레이저 등의 펄스 레이저를 사용할 수가 있다. 레이저의 종류, 개수는 한정되지 않고, 광원부의 종류도 한정되지 않는다. 또, 광원(110)에 사용가능한 것은 레이저로 한정되는 것은 아니고, 1개 또는 복수의 수은 램프나 크세논램프 등의 램프도 사용할 수가 있다.

<57> 조명 광학계(120)는 레티클(200)을 조명하는 광학계이며, 각종 광학 부재(121) 내지 (129B)를 갖는다. 감광 부재(121)는 예를 들면 투과율이 다른 복수의 광량 조제 필터(ND필터)로 구성된다. 플레이트(400) 면상에서 최적인 노광량으로 되도록 복수의 ND필터는 구동 수단(610)에 의해 구동되므로, 협동해서 미세한 감광율을 조정할 수가 있다.

<58> 빔 정형 광학계(122)는 복수의 광학 소자나 줌 렌즈로 구성되어, 구동 수단(612)에 의해 구동된다. 빔 정형 광학계(122)는 후단의 광 적분기(optical integrator)(123)에 입사하는 광속의 강도 분포 및 각도 분포를 소망의 분포로 제어한다.

- <59> 편광 회전판(131)은 광 적분기(123)에 들어가는 광의 편광 방향을 규정한다. 편광 회전판(131)은 구동 수단(613)에 의해 구동된다. 후술하는 바와 같이, (130)은 회절 소자, (611)은 그 회절 격자가 복수 탑재되어 있는 터릿의 구동 수단, (132)는 편광자, (133)은 레티클 면에서의 유효 광원의 편광 상태를 변경하는 조정 기구이다.
- <60> 광 적분기(123)는 복수의 미소 렌즈가 2차원적으로 배치되어 그 사출면(123a) 근방에 2차 광원을 형성한다. 조리개(124)는 광 적분기(123)의 사출면(123a) 근방에 배치되고, 그 크기 및 형상이 가변으로 되어 있다. 조리개(124)는 그 조리개가 복수 탑재되어 있는 터릿의 구동 수단(614)에 의해 구동되어, 그 크기와 형상은 조정된다.
- <61> 집광렌즈(125)는 광 적분기(123)의 사출면(123a) 근방에서 형성된 복수의 2차 광원으로부터 사출된 광속을 집광해서, 주행 시야 조리개(128b)면에 중첩 조사한다. 이것에 의해서, 플레이트(400)와 공액인 주행 시야 조리개(128b)면이 균일하게 조명된다.
- <62> 반투명거울(half mirror)(126)은 광 적분기(123)로부터 사출된 광속의 일부(예를 들면, 수%)를 반사해서, 적산 노광량 검출기(127)에 도광한다. 적산 노광량 검출기(127)는 노광시의 광량을 상시 검출하는 조도계이며, 레티클(200) 및 플레이트(400)와 광학적으로 공액인 위치에 배치되어, 그 출력에 응한 신호를 제어부(500)에 송신한다.
- <63> 주행 시야 조리개(시야 조리개)(128b)는 복수의 가동 차광판으로 이루어지고, 구동 수단(616)에 의해 구동되어 임의의 개구 형상을 형성할 수가 있다. 시야 조리개(128b)는 레티클(200) 면상의 조명 범위, 플레이트(400)면 위의 노광 범위를 규제한다. 시야 조리개(128b)는 플레이트(400)와 공액인 위치에 배치되어, 레티클 스테이지(250) 및 플레이트 스테이지(450)와 동기해서 도면 중 화살표 Q방향으로 이동한다. 시야 조리개(128b) 근방에는 주사 노광 후의 노광면에 있어서의 조도 균일성을 향상하기 위한 가변 조리개(128a)가 배치된다.
- <64> 가변 조리개(128a)는 플레이트(400)와 공액인 위치 근방에서, 공액인 위치보다 광원(110)쪽, 즉, 광로에 있어서의 상류쪽에 배치되어 있다. 가변 조리개(128a)는 도 2에 나타낸 바와 같이 조명광의 광축에 직교하는 면내에 있어 주사 방향 Y와 직교하는 방향 X를 따라서 노광 영역(조명 영역)을 형성하는 개구부(128c)가 광축으로부터 멀어짐에 따라 서서히 길어지도록 형성되어 있다. 장변 형상이 n차 함수에 의거하는 형상으로 해서 조정하는 것이 가능해지고 있다. 여기서, n은 1 내지 8까지의 정수이다. 가변 조리개(128a)는 개구부(128c)의 개구 형상 및 위치도 구동 수단(615)에 의해 가변이며, 광축 방향을 따라 전후로 조정 가능하다. 위치의 조정은 가변 조리개(128a)가 플레이트(400)와 공액인 위치보다 광원쪽에 있는 상태인 채 실행된다.
- <65> 결상 렌즈(129a) 및 (129b)는 시야 조리개(128b)의 개구 형상을 레티클 면상에 투영해서, 레티클 면상의 필요한 영역을 균일하게 조명한다.
- <66> 레티클(200)은 예를 들면, 석영제로, 그 표면에는 전사되어야 할 회로 패턴이나 상이 형성되어 있고, 레티클 스테이지(250)에 지지되어 구동 수단(650)에 의해 구동된다. 레티클(200)로부터 나온 회절광은 투영 광학계(300)를 통해 플레이트(400)에 투영된다. 레티클(200)과 플레이트(400)는 광학적으로 공액의 관계에 배치된다. 노광장치(100)는 스캐너이기 때문에, 레티클(200)과 플레이트(400)를 동기 주사함으로써 레티클 패턴을 플레이트(400)상에 전사한다. 또한, 스텝 앤드 리피트 방식의 노광장치(즉, 「축소투영형 노광장치」(stepper))이면, 레티클(200)과 플레이트(400)를 정지시킨 상태에서 노광을 실시한다.
- <67> 2차원 광검출기(210)는 레티클(200)의 조금 아래 쪽에 배치된다. 레티클 면에 핀홀을 구비함으로써, 광검출기(210)는 조명 광학계(120)를 통과한 광의 플레이트(400)의 프리에 변환면의 광량 분포를 계측한다. 광검출기(210)의 바로 윗쪽에 편광 필터를 구비함으로써, 각 편광 방향의 광량 분포를 계측할 수가 있다. 광검출기(210)는 구동 수단(651)에 의해 제어된다.
- <68> 투영 광학계(300)는 조명된 레티클 패턴으로부터 생기는 회절광을 기관으로서의 플레이트(400)에 투영한다. 본 실시예의 투영 광학계(300)는 복수의 렌즈(301)와 복수의 미러(mirror)(302)를 구비해서 구성되는 카타디옵트릭계(반사굴절계)이지만, 굴절계나 반사계이어도 된다. 도 1에서는 레티클 패턴은 중간 결상 위치 Ga 및 Gb에서 1회 이상 결상되고 나서 플레이트(400)면 위에 축소 투영된다. 투영 광학계(300)는 장치 상태나 레티클에 응해 복수의 수차나 왜곡 성분을 제어 가능한 구동 렌즈군(310)과 패턴의 선폭에 맞추어 미세하게 조정 가능한 NA조리개(320)를 포함한다.
- <69> 플레이트(400)는 웨이퍼나 액정 기관 등의 피처리체(기관)이며, 표면에 포토레지스트(photoresist)가 도포되어

있다. 포토레지스트 도포 공정은, 전처리와, 밀착성 향상제 도포 처리와, 포토레지스트 도포 처리와, 예비 소성 처리를 가진다. 전처리는 세정, 건조 등의 공정을 가진다. 밀착성 향상제 도포처리는 포토레지스트와 밑에 있는 기재와의 밀착성을 높이기 위한 표면개질(즉, 계면활성제 도포에 의한 소수성화) 처리이며, HMDS(Hexamethyl-disilazane) 등의 유기막을 코트 또는 증기 처리한다. 예비 소성은 베이킹(소성) 공정이지만 현상 후의 소성공정보다도 조건이 완화되어 있으며, 용제를 제거하기 위한 공정이다.

<70> 플레이트 스테이지(450)는 플레이트(400)를 지지하며, 공지의 구성을 사용할 수 있다. 예를 들면, 플레이트 스테이지(450)는 광축 방향에 따라, 그리고 광축과 직교하는 평면 내에 있어서 플레이트(400)를 이동할 수 있다. 플레이트 스테이지(450)는 구동 수단(654)에 의해 구동 제어된다. 플레이트 스테이지(450)는 예를 들어 댐퍼를 개재하여 마루 바닥 등의 위에 지지되는 도시하지 않는 스테이지 정반 상에 설치되어 있다. 레티클 스테이지(250) 및 투영 광학계(300)는 예를 들면 마루 바닥 등에 놓여 있는 베이스 프레임 상에 댐퍼 등을 개입시켜 지지되는 도시하지 않은 경통정반 상에 설치되어 있다.

<71> 레티클(200)과 플레이트(400)는 동기주사된다. 플레이트 스테이지(450)와 레티클 스테이지(250)는, 예를 들면, 레이저 간섭계에 의해 이들 위치가 감시되고, 양자는 일정한 속도 비율로 구동된다. 투영 광학계(300)의 축소 배율이 1/A이고 플레이트 스테이지(450)의 주사 속도가 B(mm/sec)인 경우, 레티클 스테이지(250)의 주사 속도는 AB(mm/sec)가 된다. 레티클 스테이지(250)의 주사 방향과 플레이트 스테이지(450)의 주사 방향은 투영계의 결상 렌즈의 집광점이나 미러의 수에 의해 서로 역방향이거나 동일 방향이거나 해도 된다.

<72> 광검출기(452a)는 플레이트 면에 입사하는 조명광의 광량(조도)을 검출한다. 광검출기(452a)는 플레이트(400)의 근방에 배치되고, 그 수광부가 플레이트면과 대략 대응하는 위치에 배치된다. 광검출기(452a)는 플레이트(400)의 조명 영역내에 있어서의 조명광을 플레이트 스테이지(450)의 구동과 함께 이동하면서 수광해서, 그 검출 조도에 응한 신호를 제어부(500)에 송신한다.

<73> 2차원 광검출기(452b)는 투영 광학계(300)를 통과한 광의 2차원 휘도 분포를 검출한다. 광검출기(452b)는 플레이트면으로부터 조금 내려간 위치에 배치된다. 플레이트 면 위에는 핀홀이 설치되고, 광검출기(452b)가 투과광을 계측함으로써, 투영 광학계(300)의 사출동공면에서의 광량 분포를 계측한다. 광검출기(452b)의 바로 위쪽에 도시하지 않은 편광 필터를 배치함으로써, 각 편광 방향의 광량 분포를 계측할 수가 있다. 편광 정보는 후술하는 바와 같이 광학계의 광축에 수직인 서로 직교하는 두 방향의 편광 강도, 편광 강도비, 편광도 및 위상차의 적어도 하나를 포함한다.

<74> 레티클 면 근방 및 플레이트면 근방의 어느 쪽이나, 편광 필터 앞에 도시하지 않은 $\lambda/4$ 판을 삽입해도 된다. $\lambda/4$ 판을 회전시키면서 동공 전면의 진폭 분포를 계측함으로써, 동공 전면의 편광 정보를 계측할 수 있다.

<75> 도 14는 레티클 면 근방의 검출기의 확대 단면도이다. 레티클(200) 상에 핀홀을 배치해서, 집광광을 콜리메이터(214)를 이용해서 대략 평행광으로 한다. 또, 평행광을 편광 필터(212)를 통해 그 광강도 분포를 2차원 광검출기(211)에서 계측한다. 편광 필터(212) 앞에 $\lambda/4$ 판(213)을 삽입해서, 이것을 회전시키면서 광속의 동공 전면의 진폭 분포를 계측함으로써, 동공 전면의 편광 정보를 계측한다. 플레이트면 근방의 편광계측기구(452b)도 이것과 같은 기구를 갖는 것으로 한다. 이 편광 정보를, 스토크스 파라미터로 표현하면 다음과 같이 된다. 여기서, (u, v) 는 유효 광원의 규격화된 좌표를 나타낸다.

<76> [수식 1]

$$\begin{aligned} S_1(u, v) &= S_0(u, v) \cos 2\chi \cos 2\phi \\ S_2(u, v) &= S_0(u, v) \cos 2\chi \sin 2\phi \\ S_3(u, v) &= S_0(u, v) \sin 2\chi \\ S_0^2 &= S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 \end{aligned}$$

<77>
<78> 여기서, χ , ϕ 는 프앙카레 구면(Poincare sphere)와 연관되어 있어, 특히

<79> χ : 우회전 편광과 좌회전 편광을 표현하고

<80> ϕ : 광축 단면의 $0, 90^\circ [S_1(u, v)]$ 나 $45, 135^\circ [S_2(u, v)]$ 의 편광 성분의 진폭을 표현한다.

<81> 또, 편광 정보는 존스(Jones) 벡터로 이하의 수식 2와 같이 표현해도 된다.

<82> [수식 2]

$$\begin{pmatrix} J_1(u, v) e^{i \phi_1(u, v)} \\ J_2(u, v) e^{i \phi_2(u, v)} \end{pmatrix}$$

<83>

<84> 수식 2는 직교하는 편광면 상의 광강도와 그 위상을 나타낸 것이다. 수식 2로부터 간단하게 직교면 상의 편광 강도비 $\{|J_2(u, v)| / |J_1(u, v)|\}$ 나 위상차 $\{\phi_1(u, v) - \phi_2(u, v)\}$ 를 유도할 수 있다.

<85> 편광 정보를 더욱 단순하게 표현하는 일도 가능하다. 레티클(200)에 입사할 때에 지면에 수직인 편광광의 진폭 I_p 와 지면에 수평(좌우 방향) 방향의 진폭 I_s 의 동공 전면의 분포를 광검출기(210)를 이용해서 얻을 수 있다. 어느 방향으로 편광된 광의 강도의 비율을 전체의 강도에 대해서 표현한 다음 수식 3의 ROP(rotated degree of polarization)를 편광도로 정의하면, 동공 전면에 대해서 편광도를 계산할 수 있다.

<86> [수식 3]

$$ROP(u, v) = \frac{|J_1(u, v)|^2}{|J_1(u, v)|^2 + |J_2(u, v)|^2}$$

<87>

<88> 또, $1/ROP = 1 + \{|J_2(u, v)| / |J_1(u, v)|\}^2$ 과 편광 강도비가 관련하고 있는 것을 알 수 있다. 마찬가지로, 어느 편광 방향의 강도 I_s 와 그것에 수직인 편광 방향의 강도 I_p 를 이용해서, 다음 수식 4와 같이 나타내는 일도 있다.

<89> [수식 4]

$$ROP(u, v) = \frac{I_s(u, v)}{(I_p(u, v) + I_s(u, v))}$$

<90>

<91> 투영 광학계(300)의 사출동공면의 편광 정보에 관하여, 상기에서는 플레이트면(400) 상에서의 계측 예를 나타냈지만, 플레이트 면 쪽에서 한 번 반사시키거나 플레이트 면으로부터 조명하거나 함으로써, 레티클 면 쪽에서 편광 정보를 계측하는 일도 가능하다.

<92> 제어부(500)는 적산 광량 검출기(127)의 검출 결과를 취득함과 동시에, 광검출기(452a) 및 (452b)의 검출 결과를 변환기(652) 및 (653)를 통하여 취득한다. 이들 검출 결과에 의거해서, 제어부(500)는 구동 수단(610) 내지 (616), (650), (654)을 구동해서, 플레이트(400) 면상의 노광량, 즉, 조도 분포를 제어한다. 시뮬레이터(700)는 노광 조건의 최적화를 실시한다. 메모리(800)는 OPC 데이터를 포함한 레티클(200)의 패턴 데이터(실제 데이터)를 격납한다. 메모리(900)는 실제로 노광된 플레이트(400)의 평가 결과를 격납한다. 따라서, 제어부(500)는 레티클(200)의 패턴 데이터와 실제로 노광된 플레이트(400)의 평가 데이터도 취득한다.

<93> 이하, 도 3 내지 도 5를 참조해서, 편광 정보가 결상성능에 부여하는 영향에 대해 설명한다. 도 3은 광원(110)의 사출 직후(감광 부재(121)의 위치)에는 광속의 광량 분포가 대략 원형상이었던 조명광(도 3a)을 조명 광학계(120)가 유효 광원 형상을 운대(광검출기(210)의 위치)의 조명광(도 3b)으로 했을 경우를 나타내고 있다. 그러나, 조명 광학계(120)의 유리 복굴절 등의 영향으로 편광도는 직선 편광(도 3c)으로부터 타원 편광(도 3d)으로 열화하고 있다. 도 4a는 직선 편광(왼쪽)이 타원 편광(오른쪽)으로 열화하는 모양을 나타낸 개략도이다. 도 4b는 라인 앤드 스페이스(L&S) 패턴을 P편광(점선)과 S편광(실선)으로 조명했을 경우의 콘트라스트를 나타낸 개략도이다. 도 5a는 운대 조명의 개략도, 도 5b는 L&S 패턴의 예를 나타낸 평면도이다. 도 5c는 편광도와 선폭(CD)/노광량(Dose) 민감도와와의 관계를 나타낸 그래프이다. 도 5d는 S편광과 P편광의 방향을 나타낸 개략도이다.

- <94> NA 1.2로 축소 배율이 1/A배인 투영 광학계(300)를 이용해서 $A \times B$ nm L&S패턴을 갖는 레티클(200)을 도 5a에 나타낸 바와 같이 윤대 조명한다. 이상적인 직선 편광의 윤대 조명을 고려해서, 편광 방향이 S편광 방향인 경우와 P편광 방향인 경우, 도 4b에 표시한 광강도 분포의 차이를 볼 수 있다. 도 5c는 편광도가 변화했을 경우의 중심 패턴의 노광량에 대한 선폭의 민감도를 나타낸다. 도 5c로부터 알 수 있는 바와 같이, S편광인 경우에는, 편광도가 증가함에 따라 선폭/노광량의 민감도가 증가하고, P편광인 경우에는, 편광도가 증가함에 따라 선폭/노광량의 민감도가 감소한다. 구체적으로는, L&S패턴의 방향이 편광 방향과 일치하면 민감도가 작으며 노광량에 대해서 선폭이 로바스트(robust)하게 된다. 그 편광 방향이 회전해 가면 민감도가 높아져, 로바스트성이 없어진다. 반대로, 패턴과 수직인 편광 방향에서는 민감도가 높고 로바스트성이 가장 낮지만, 그곳으로부터 편광 방향이 회전함에 따라 로바스트성이 높아진다.
- <95> 이와 같이, 편광 방향과 패턴 방향이 쌍으로 되어 결상 상태를 결정한다. 상성능의 안정화를 위해서는 레티클(200)과 조명광의 편광 방향의 회전을 관리할 필요가 있고, 노광장치(100)는 편광자(132) 또는 그 유지 부재에 마킹함으로써, 편광 방향을 제어할 수가 있다. 레티클 패턴에 관해서는 레티클 묘화 장치의 묘화 정밀도와 노광장치(100)의 레티클 얼라인먼트 시스템에 의해서 회전 각도는 고정밀도로 관리되고 있다.
- <96> 이하, 편광 정보 중에서 가장 알기 쉬운 스칼라량인 편광도를 예로 해상 성능에 부여하는 영향에 대해 설명한다. 도 4a에 나타낸 바와 같이, 편광이 지면에 평행한 직선 편광이 타원 편광으로 되었을 경우도 결상 성능에 영향을 준다. 예를 들면, 렌즈에 복굴절이 존재하면 편광도를 악화시킨다. 편광자(132)의 하류에 배치되는 렌즈의 복굴절은 낮게(예를 들면, 2 nm/cm 이하) 유지될 필요가 있다. 무엇보다 가령 복굴절이 작은 유리를 선택해도, 해당 잔존하는 진성 복굴절의 영향, 렌즈 보유에 의한 응력 복굴절, 성막(成膜)의 특성 등에 의해 편광도는 변화해 버린다. 다른 노광장치의 편광도는 이러한 이유로 반드시 동일하지 않게 특성이 변화한다.
- <97> 편광도의 악화를 보정하는 방법은, 1 쇼트 노광중에 발생하는 평균적인 선폭 변화량을, 평균적인 적산 노광량을 조정함으로써 보정하는 방법이 있다. 구체적으로는 레이저 펄스수나 개개의 펄스 에너지를 가변으로 해서, 이러한 가산치로서의 적산 에너지를 제어한다.
- <98> 편광도의 악화를 보정하는 다른 방법은, 레티클 면에서의 유효 광원의 편광 상태를 변경하는 조정기구(133)를 이용한다. 광검출기(210)가 측정한 편광도에 의거해서, 예를 들면, 슬릿 중심점에서의 유효 광원 내의 평균의 편광도를 노광장치(100)의 기준 편광도로 해서, 장치 간의 기준 편광도의 차이를 조정 기구(133)를 이동해서 상쇄한다. 기준 편광도는 동공 내의 임의의 영역의 평균치를 취해도 되고, 슬릿 중심뿐만 아니라 축위를 포함한 몇몇 점의 평균이어도 상관없다. 장치 간의 기준 편광도의 차이를 조정하는 구체적 수단으로서 예를 들면, 편광 특성을 바꾼 몇 단계인가의 편광자(132)를 바꾸거나 일부의 렌즈에 응력을 부여해서 응력 복굴절을 발생시키거나 한다. 혹은, 광축이 발산집광하고 있지 않은 개소에서 평행 평판 유리를 경사지게 하거나, 편광자와 $\lambda/4$ 위상판을 회전시키거나, 상술한 수단을 조합해도 된다.
- <99> 편광 이외의 광학 특성, 예를 들면, 광원의 파장폭을 변경함으로써 투영 광학계(300)의 색수차의 영향으로 결상 콘트라스트가 변화한다. 그 이외에도 유효 광원의 σ 형상, 내부 σ 외부 σ 의 값의 변화, 투영 광학계(300)의 NA변화, 동공 필터 등에 의해서도 결상 콘트라스트가 변화한다. 이들 파라미터를 이용해서, 편광에 기인하는 콘트라스트의 영향을 반대로 보정하는 것이 가능하다.
- <100> 파장폭은 레이저의 반값폭(Full Width Half Maximum: FWHM)이나 스펙트럼중의 에너지의 95%가 집중하고 있는 스펙트럼폭(E95)을 지표로 한다. 스펙트럼을 가변으로 하기 위해서는, 예를 들면, 레이저의 반값폭을 변경하는 기구 등의 스펙트럼 분포를 가변하는 기구를 이용하거나 광원을 사출한 후에 파장 선택 필터를 이용할 수가 있다.
- <101> 다음에, 도 8을 참조하면서, 편광도의 동공면 내의 비대칭성에 대해 설명한다. 여기서, 도 8c는 레티클 패턴의 일례의 평면도이다. 도 8b는 레티클 패턴을 2중극 조명하는 유효 광원 형상의 평면도이다. 도 8a는 2중극 조명에 있어서의 편광도를 나타낸 개략도이다. 도 8d는 포커스 위치에 응한 플레이트 면의 공중상이다. 도 8e는 포커스 위치에 응한 레지스트 상이다.
- <102> 레티클(200)상의 도 8c에 표시한 패턴을 도 8b에 표시한 유효 광원에서 조명하는 경우를 고려한다. 유효 광원 내의 점광원에 대응하는 각각의 평균의 편광도가 도 8a에 나타낸 바와 같이 좌우 영역에서 비대칭성을 이루고 있는 것으로 한다. 도 8a에서는 유효 광원의 왼쪽 영역의 편광도의 직선성이 양호하고 광량차는 없기 때문에 왼쪽의 유효 광원의 결상의 영향이 강해진다. 이것에 의해서, 플레이트면에서의 공중상은 포커스면에 의해 도

8d에 표시한 바와 같이 된다. 따라서, 플레이트(400)의 결상점을 지면과 평행하게 상하 방향으로 어긋나게 했을 때의 레지스트 상은, 도 8e에 나타난 바와 같이, L&S패턴의 좌단과 우단의 선의 좌우 선평차(좌측의 선평 - 우측의 선평)가 베스트 포커스(best focus) 위치를 경계로 극성이 역전된다. 어느 한 방향을 향한 패턴을 나타냈지만, 이것과 수직인 패턴의 경우는 지면 상하의 유효 광원의 편광도의 차에 관해서 마찬가지로 일어난다.

<103> 한편, 도 8f는 레티클을 조명하는 광의 주광선이 광축과 평행에 입사하는 경우(텔레센트리시티(telecentricity))와 좌우로 경사져서 입사하는 경우의 플레이트 면상에서의 공중상을 나타낸 도면이다. 도 8g는 조명광의 주광선은 텔레센트릭 상태이지만 유효 광원의 강도가 좌우로 동일한 경우로 변화했을 경우에서의 플레이트 면상에서의 공중상을 나타낸 도면이다. 어느 쪽이나 플레이트(400)의 결상점을 지면과 평행하게 상하 방향으로 어긋나게 했을 때에 비대칭성의 방향이 변화해서, L&S패턴의 좌우 선평차가 베스트 포커스 위치를 경계로 해서 극성이 역전한다. 따라서, 조명 광학계(120)의 텔레센트리시티나 유효 광원의 강도 분포를 이용해서, 동공면의 편광도의 비대칭성에 의해 레지스트 패턴 위에서 일어나는 패턴의 비대칭성을 조정하는 것이 가능하다. 화면 전체의 텔레센트리시티를 일률적으로 움직이는 방법으로서 예를 들면, 빔 정형 광학계(122)의 광학 소자군을 광축과 수직 방향으로 이동 또는 경사지게 해도 된다.

<104> 다음에, 또 하나의 별개의 편광에 의한 패턴에의 영향에 대해 설명한다. 유효 광원을 중심각으로 0° , 90° , 180° , 270° 방향으로 4회 대칭인 영역으로 나누어 X방향의 대향하는 영역의 평균치와 Y방향의 대향하는 영역의 평균치로 새들(Saddle)형에 편광도의 높낮이가 존재하는 경우가 있다. 이 새들형의 편광도가 복수대의 노광장치 간에 일률적이지 않은 경우, X방향 패턴과 Y방향 패턴의 사이에 패턴 선평차가 생겨 버린다.

<105> 한편, 유효 광원의 선평 분포가 상기와 같은 4회 대칭인 영역에서 X방향의 평균 강도와 Y방향의 평균 강도에 차이가 있으면, 편광에 의한 영향과 같게 되도록 X방향과 Y방향의 패턴 사이에 선평차가 생긴다. 따라서, 장치의 유효 광원의 선평 분포의 차이를 X방향 영역과 Y방향 영역 사이에 갖게 함으로써, 노광장치간 등의 편광도의 차를 보정하는 것이 가능하다.

<106> 유효 광원의 X, Y방향에 강도 차를 부여하는 수단으로서 적분기(123) 부근에 ND필터를 삽입해서, 그 농도를 바꾸는 기구를 사용할 수가 있다. 또, 그 수단으로서 조명 광학계(120)의 동공면 부근에 세로 방향, 가로방향으로부터 차광판을 독립적으로 출입시킴으로써 조정하는 기구를 사용할 수도 있다.

<107> 이상, 조명 광학계(120)의 유효 광원 내의 편광도의 비대칭 성분(1 θ 성분), 새들 성분(2 θ 성분)을 예로 보정 방법을 나타냈지만, 이것은 동공면 내의 편광도 ROP(u, v)에 임의의 편차가 있는 경우에 확장할 수가 있다. 편광도의 표현 방법으로서 유효 광원 내의 편광도를 동공면에 관한 제르니케(Zernike) 표현을 하는 것도 가능하다. 이것에 의해, 각 성분의 분해가 가능해진다.

<108> 동공면 내의 편광도의 임의의 편차에 대해서, 유효 광원의 휘도 분포를 임의로 제어함으로써 보정이 가능하다. 조명 광학계(120)의 동공면의 형상 또는 휘도 분포는 예를 들면, 회절 광학 소자(130)에 의해 임의로 형성할 수가 있다.

<109> 회절 광학 소자를 이용하는 것 이외에 유효 광원의 휘도 분포를 변경하는 수단으로서 광학 프리즘이나 농도 필터를 이용하거나, 레티클(200)의 푸리에 변환면 근방에 차광판을 설치하거나 하는 것에 의해 보정할 수가 있다. 특히, 수평 방향과 수직 방향의 결상 패턴의 특성의 차이를 보정하기 위해서, 유효 광원의 수평 방향과 수직 방향의 ND필터를 변경하거나 세로 방향, 가로방향으로부터 차광판을 독립적으로 출입시킴으로써 조정할 수 있는 기구가 효과적이다.

<110> 이상과 같이, 슬릿 상의 각 점의 동공면에서 평균적으로 발생하고 있는 편광의 영향을, 노광장치(100)에서는 다른 노광 파라미터를 이용해서 보정한다. 이 결과, 높은 패턴 전사 성능을 얻을 수 있어, 수율을 향상할 수 있다. 편광도는 스테이지상에서 측정해도 된다.

<111> [실시예 2]

<112> 본 실시예는 상 높이마다 편광의 특성이 다른 경우의 보정 방법에 대해 설명한다. 노광장치(100)의 구성은 실시예 1과 같다. 편광 정보는 스토크스 파라미터나 존스 행렬(Jones Matrix)을 이용해도 괜찮지만, 가장 알기 쉬운 스칼라량인 편광도를 이용한다. 도 9의 실선은 레티클(200) 위의 노광 슬릿 영역(S)을 나타내고 있고, 점선은 투영 광학계(300)의 동공을 통과하는 것이 가능한 조명 범위이다. 도 9에 나타난 바와 같이, 슬릿(S) 내에서 장축 방향으로 복수의 측정점에 대해서 광검출기(210)로 측정했을 때, 상 높이마다 편광도를 동공에 대한 2차원 맵 ROPi(u, v)로 나타낼 수가 있다. 슬릿 장축방향은 도 1에서 레티클위 지면 수직 방향으로 되어

있다.

<113> 실시예 1에서는 전체 상 높이가 일률적으로 나타나는 것 같은 편광에 관한 보정 방법을 기재했지만, 실제의 광선에서는 상 높이마다 통과하는 광속의 장소가 바뀌기 때문에, 편광 정보도 상 높이에 의해 고유의 성분을 가진다. 본 실시예에서는 이 점에 착안하고 있다.

<114> 각 상 높이마다의 편광 정보는 동공 면내의 2차원 맵으로 표현되지만, 도 10a는 그것을 간략화해서, 편광도 $ROP_i(u, v)$ 를 유효 광원의 σ 의 윤대의 평균치마다 표현하고 있다. 내측의 윤대로부터 외측의 윤대로 향함에 따라서 미세한 선폭의 해상이 가능하게 된다. 즉, 윤대 위치는 패턴과 밀접한 관계가 있다. 예를 들면, σ 0.8-1.0의 동공 위치에 대해서 상 높이마다 편광도의 차이가 있는 것을 알 수 있다. 상 높이가 편광도의 상 높이가 간의 차이는, 즉, 투영 광학계(300)의 투영상의 패턴 선폭 차이가 되어, 이것은 회로 특성을 악화시킨다.

<115> 본 실시예는 편광도의 변화와 적산 노광량의 변화가 모두 선폭에 영향을 주는 것을 이용해서, 편광도의 변화로 발생한 선폭의 변화를 적산 노광량의 변화에 의해 보정한다. 노광장치(100)의 주사 방향과 직교하는 방향으로 발생하는 선폭의 편차를 조도 불균일 가변 기구(조리개(128a) 및 (128b))에 의해 보정한다. 대체적으로, 농도 필터를 배치해서 투과광량을 가감해도 된다.

<116> 각 상 높이에 있어서의 유효 광원 내의 편광도의 불균일성이 결상에 영향을 주는 항목도 무시할 수 없다. 유효 광원의 편광도 분포는 상 높이마다 임의의 분포를 가지지만, 여기에서는 성분 분해에 의해 간략화함으로써 현상을 설명한다. 우선, 유효 광원을 σ 의 윤대의 영역으로 분해한다. 도 10b는 $0 \leq \sigma < 0.2$ 를 σ 0-0.2, $0.2 \leq \sigma < 0.4$ 를 σ 0.2-0.4, $0.4 \leq \sigma < 0.6$ 를 σ 0.4-0.6, $0.6 \leq \sigma < 0.8$ 를 σ 0.6-0.8, $0.8 \leq \sigma \leq 1.0$ 을 σ 0.8-1.0으로 5 영역으로 나누고 있다. 영역 수는 이것으로 한정되지 않는다.

<117> 레티클(200) 상의 선폭의 피치를 P라 하면, 1차 회절광과 0차 광이 이루는 각 θ 와 선폭 피치 P, 조명광의 파장 λ 는 레티클(200)이 바이너리 레티클 혹은 위상 쉬프트 마스크인 경우, $P \sin \theta = \lambda$ 의 관계가 있다. 따라서, 선폭 피치 P가 작아질수록 $\sin \theta$ 는 커진다. $k1(=R \cdot \lambda / NA)$: R은 해상도)이 0.5보다 작아지면, 광축 상으로부터의 조명광에 의한 회절광이 투영 광학계(300)의 개구의 범위를 벗어나, 결상 콘트라스트를 현저하게 저하시킨다. 그 때문에, ± 1 차 회절광의 1개를 버리고, 0차 광과 +1차 광만으로 결상한다(경사 입사 조명). 따라서, 경사 입사의 각도와 레티클 패턴의 피치 P와의 사이에는 상관성이 있다.

<118> 각 σ 의 윤대 영역은, 레티클(200)에 경사 입사하는 각도 범위에 대응하고 있어, 어느 피치의 패턴에 대해서 영향을 주기 쉬운 윤대 형상의 유효 광원 영역이 존재한다. 윤대 형상의 유효 광원의 편광도는 임의의 분포를 갖고 있다. 이것을 예를 들어 하기 수식 5와 같이 가정한다.

<119> [수식 5]

$$P_{even} = \frac{1}{S} \int ROP(u, v) \cdot I(u, v) ds$$

$$P_{odd} = \frac{1}{S/2} \int_{u>0} \{ROP(u, v) \cdot I(u, v) - ROP(-u, v) \cdot I(-u, v)\} ds$$

<120>

<121> 상기 수식 5에 있어서, P_{even} 은 동공의 대상 영역 전체의 평균의 편광도를 나타내고, P_{odd} 는 동공의 좌우의 영역에서의 편광도의 비대칭성을 나타낸다. 여기서 P_{even} 을 각 상 높이, 각 윤대 형상의 유효 광원에 대해서 플롯한 것이 도 10a이며, P_{odd} 를 마찬가지로 플롯한 것이 도 10b이다.

<122> 도 10a와 같이, 유효 광원의 윤대 개소마다 P_{even} 의 상 높이분포가 다른 경우, 어느 레티클에 대해서 상 높이마다 선폭이 일정하게 되도록 조정했다고 해도, 다른 레티클을 노광할 때에는 주목하는 패턴이 바뀌어 버린다. 따라서, 그곳에 응해 주목해야 할 σ 도 바뀌기 때문에, 상 높이에 대한 선폭의 영향도도 변화한다. 이와 같이 레티클마다 주목하는 패턴을 결정해서, 조도 불균일 양을 조절할 필요가 생긴다. 이와 같이 편광도의 평균 분포가 특징을 가지고 있으면, 레티클마다 조도 불균일 등의 보정량을 바꾸어 대처할 필요가 있다. 여기서의 주목 패턴은, 그 레티클 내에서 수율에 대해서 가장 여유도가 없는 패턴을 골라내서, 그 패턴으로 보정을 하는 일도 가능하다.

<123> 편광도의 동공 비대칭성 P_{odd} 도 상 높이마다, σ 마다 도 10b에 나타난 바와 같이 변화하는 것으로 가정한다.

여기에서는 슬릿 내의 좌단부와 우단부에서는 편광도의 비대칭성이 역전하고 있다. 도 8c에 나타낸 바와 같이, 편광도의 비대칭성은 디포커스했을 때에 선폭의 비대칭성을 일으키지만, 이 양이 슬릿의 각 점에서 다르다. P_{odd} 는 σ 가 커짐에 따라 증대하기 때문에, 대상이 되는 패턴 피치가 미세하게 되면 될수록, 도 10b의 편광도 분포에 있어서 선폭의 좌우차이의 영향이 커진다.

<124> 편광도는 유리의 복굴절량이나 막의 특성, 광로나 입사각도 등에 의해 결정되기 때문에, 상 높이의 편광도의 차이를 조정하는 것은 곤란하다. 패턴 피치의 특징은 레티클마다 달라, 좌우 선폭 차이의 영향도가 다르다.

<125> 한편, 동공 내의 광량 분포에 비대칭성을 갖게 하면, 도 8e에 표시한 거동을 나타내므로, 동공 내의 광량 분포의 비대칭성을 상 높이마다 조절하면 편광도의 동공 내 비대칭성을 보정할 수 있다. 구체적으로는, 집광렌즈(125)는 축외 텔레센트리시티 보정용의 줌 기구를 갖추고 있다. 이 때문에, 가변 조리개(128b)의 중심의 입사주광선은 변함없이 슬릿 단부의 입사주광선을 경사지게 할 수 있다. 이 줌에 의해 축상은 변함없고, 축외로 감에 따라 단조롭게 증가 또는 감소하도록 텔레센트리시티를 제어할 수가 있다. 이 결과, 수율에 영향을 주는 레티클 패턴에 대응해서 축외 텔레센트리시티를 조정함으로써, 편광도의 동공면 분포에 기인하는 디포커스에 의한 좌우의 선폭 차이를 보정할 수가 있다.

<126> 이상, 본 실시예는 상 높이간의 편광 성능의 차이에 의해 생기는 상 높이의 선폭차이를 보정할 수가 있어 수율을 향상시킬 수가 있다. 물론, 광검출기(210)로 계측을 실시하는 대신에 광검출기(452b)로 계측을 실시해도 된다. 이상, 간단하게 하기 위해서, σ 를 윤대 형상으로 구분하여 P_{even} 및 P_{odd} 라고 하는 개념을 도입했지만, 유효 광원의 편광도를 제르니케 급수에 의해 표현하는 등으로 하여도 상관없다.

<127> [실시예 3]

<128> 본 실시예는 편광 정보의 계측을 레티클 면 근방과 플레이트면 근방의 양쪽 모두에서 계측하는 점에서 실시예 1과 다르다. 2개의 편광 정보는 이하의 수식 6으로 표시된다.

<129> [수식 6]

$$\begin{pmatrix} J_{1\text{ol}}(u_{\text{ol}}, v_{\text{ol}}) e^{i\phi_{1\text{ol}}(u_{\text{ol}}, v_{\text{ol}})} \\ J_{2\text{ol}}(u_{\text{ol}}, v_{\text{ol}}) e^{i\phi_{2\text{ol}}(u_{\text{ol}}, v_{\text{ol}})} \end{pmatrix} = UL(u_{\text{ol}}, v_{\text{ol}}) \begin{pmatrix} J_{1\text{il}}(u_{\text{il}}, v_{\text{il}}) e^{i\phi_{1\text{il}}(u_{\text{il}}, v_{\text{il}})} \\ J_{2\text{il}}(u_{\text{il}}, v_{\text{il}}) e^{i\phi_{2\text{il}}(u_{\text{il}}, v_{\text{il}})} \end{pmatrix}$$

$J_{1\text{ol}}, J_{2\text{ol}}$ 는 웨이퍼면 근방의 편광정보

$J_{1\text{il}}, J_{2\text{il}}$ 는 레티클면 근방의 편광정보

$UL(u_{\text{ol}}, v_{\text{ol}})$ 는 투영렌즈의 편광정보성분

<130>

<131> 수식 6을 UL 에 관한 항을 전개하면 다음 수식 7과 같이 된다.

<132> [수식 7]

$$\begin{aligned} UL(u, v) &= \begin{pmatrix} J_{11}(u, v) e^{i\phi_{11}(u, v)} & J_{12}(u, v) e^{i\phi_{12}(u, v)} \\ J_{21}(u, v) e^{i\phi_{21}(u, v)} & J_{22}(u, v) e^{i\phi_{22}(u, v)} \end{pmatrix} \\ &= e^{i\phi(u, v)} \cdot T(u, v) \begin{pmatrix} J'_{11}(u, v) e^{i\phi'_{11}(u, v)} & J'_{12}(u, v) e^{i\phi'_{12}(u, v)} \\ J'_{21}(u, v) e^{i\phi'_{21}(u, v)} & J'_{22}(u, v) e^{i\phi'_{22}(u, v)} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$e^{i\phi(u, v)}$ 종래의 수차항

$T(u, v)$ 종래의 동공진폭투과율

<133>

<134> 수식 7에 나타낸 바와 같이, 동공 투과율 분포 및 파면 수차는 각각 편광에 의존하지 않는 종래의 고정적인 성분과 편광 방향에 의존해서 양이 변화하는 성분을 가진다. 레티클 패턴에 응해 편광 방향을 바꾸면, 투영 광학계(300)의 동공 투과율 분포나 파면 수차도 최적 위치로부터 어긋난다.

- <135> 편광에 의존하지 않는 고정적인 동공 투과율 분포는 투영 광학계(300)의 동공면(도 1에서는 미리(302)의 근방 혹은 Gb와 플레이트(400)와의 사이에 복수상 높이의 주광선이 교차하는 점)에 2차원 투과율 분포를 갖는 필터를 삽입함으로써 보정 가능하다.
- <136> 한편, 편광에 의존하는 동공 투과율 분포는 투과율 필터를 변경하거나, 다른 투과율 분포를 갖는 필터를 출입시켜서, 적절한 분포를 갖는 장소로 이동시키거나 함으로써 보정할 수도 있다. 그러나, 것처럼 투과율 자체를 직접 바꾸는 것이 아니라, 다른 파라미터로 동공 투과율의 결상에 미치는 영향을 완화할 수도 있다. 우선, 도 6을 참조하면서, 투영 광학계(300)의 동공의 투과율 분포가 결상 성능에 미치는 영향을 설명한다.
- <137> 각 상 높이 모두 투과율 분포는 다르지만, 그 평균적인 성분을 나타냈던 것이 도 6b이다. 이것에 대해서, 도 6a에 표시한 것 같은, 3종류의 피치를 가진 패턴을 레티클 위에 배치해서 노광하는 경우를 상정한다. 도 6a는 각 패턴으로부터 생기는 레티클을 경사 입사 조명했을 경우의 0차 광과 ± 1 차 회절광을 나타내고 있다. 도 6b는 레티클을 경사 입사 조명했을 경우의 투영 광학계(300)의 사출 동공 상에서의 동공 투과율과 패턴으로부터의 회절광의 위치를 동공면 위로부터 본 개략도이다. 도 6b에서는 동공의 주위의 투과율이 낮다고 하면, 피치의 가는 패턴의 회절광이 투과율이 낮은 부분에 위치한다. 같은 조명 부분을 가정하고 있기 때문에, 0차 광은 모든 패턴으로 같은 동공 좌표를 통과한다. 도 6b에 있어서, 0차 광은 오른쪽으로부터 4번째이며, 그 위치는 경사 입사 조명 때문에 동공의 중심으로부터 어긋나 있다.
- <138> 도 6b에서 제일 조악한 피치 패턴에서의 회절광 중에, 우측의 회절광은 미세한 피치 패턴의 회절광보다 중심에 가깝고, 투과율이 높은 위치를 통과하고 있다. 또, 좌측의 회절광은 미세한 피치 패턴이라면 결상에 기여하지 않지만, 조악한 피치 패턴의 회절광은 일부가 동공면에 들어가 있다. 무엇보다, 이것은 매우 투과율이 나쁜 위치를 통과하고 있다.
- <139> 도 6b에 나타난 바와 같이 동공면이 중심에서 투과율이 높고 주변에서 투과율이 낮은 분포를 가지는 경우 등 동공 투과율이 변화하면, 회절광이 간섭해서 형성된 광학상의 강도가 상대적으로 감소해서 결상성능이 열화한다(선폭차이가 발생함). 이것을 피치가 다른 패턴에 대해서 확장한다. 도 6c는 패턴 피치를 횡축으로 취하고, 어느 광강도로 슬라이스했을 때의 선폭을 세로축으로 취한 그래프이다. 도 6a에 나타난 바와 같이, 피치마다 동공 면의 회절광의 위치가 바뀌고, 한편 동공면 내에서 투과율 분포가 불균일하므로, 패턴의 결상에 기여하는 광량의 감쇠 정도가 피치마다 다르다.
- <140> 여기에서는 축상으로부터 입사한 광속의 회절광을 예를 들었다. 그러나, 실제의 유효 광원이 윤대 형상이면, 윤대에 상당하는 유효 광원의 회절광에 대해서 2 차원적으로 적산한 회절광 분포가 된다. 그리고, 그 회절광 분포 중, 투영 광학계(300)의 개구 동공 내 부분만이 결상에 기여한다. 이 경우, 동공 투과율이 일정한 분포가 아니면 피치가 다른 레티클 패턴은 결상에 기여하는 광량이 다르다. 따라서, 도 6c에 나타난 바와 같이, 이상적으로 균질인 동공 투과율 분포를 가지는 경우와 실제로 불균질인 동공 투과율 분포를 가지는 경우와의 선폭 차이는 패턴 피치마다 다르다.
- <141> 피치에 대해서 이상치로부터 선폭 차이가 일어나는 현상을 광근접 효과(Optical Proximity Effect: OPE)라고 부르지만, 이상치로부터의 어긋남은 콘트라스트에 기인하는 항목에서도 관측되고 있다. 이들 항목은, 예를 들면, 광원의 파장 중심치, 파장폭, 조명 광학계의 동공의 형상, 휘도 분포, 편광도, 동공 내 편광도 분포, 투영 광학계의 NA, 구면 수차 등이다. 따라서, 동공 투과율에 의해 변화한 OPE 특성은, 이러한 노광 파라미터의 조합에 의해 보정 가능하다. X/Y 등 패턴의 방향 차이에 관해서는 조명 광학계의 동공의 형상, 휘도 분포, 편광방향, 동공 내 편광도 분포, 투영 광학계의 비점수차 등이 있다. 도 7에 다른 NA에 대한 피치와 선폭과의 관계를 나타낸다. 동 도면으로부터, 피치마다 NA를 변경했을 때의 선폭 차이가 다른 것을 알 수 있다. 다른 항목에 대해서도 마찬가지로 선폭에의 영향을 예상해서, OPE 특성이 원하는 값으로 되도록 전술한 파라미터를 조정함으로써, 편광도나 동공 투과율의 영향을 경감할 수가 있다.
- <142> 이하, 상 높이의 패턴 특성의 차이에 대해서도, 자세한 것은 할애하지만, 파라미터를 적당히 조합함으로써 조정 가능하다. 특히, 레티클 패턴에 응해 편광 방향을 설정해서, 편광 방향에 따라서 발생한 동공 투과율을 보정하는 경우에는 레티클마다 최적치가 변화할 가능성이 있다. 이 때문에, 전술한 파라미터 중에서 비교적 단기간에 보정하기 쉬운 파라미터를 선택해서 실시함으로써, 레티클 교환에 맞추어 생산성을 떨어뜨리지 않고 조정할 수가 있다. 물론, 고정적으로 시프트하는 동공 투과율 분포의 보정에도 사용 가능하다.
- <143> 다음에, 수식 7에 표시한 수차의 보정 방법에 대해 설명한다. 투영 광학계에는 편광에 의하지 않는 파면 수차에 부가하여 편광 방향으로 의존하는 수차 성분이 존재한다. 즉, 레티클마다 행하는 편광 방향의 최적화에 응

해서 수차도 목표치가 변화한다.

- <144> 투영 광학계(300)의 사출 동공면이 도 13a에 나타난 바와 같이 탄젠트 방향으로 진상축을 지닌 복굴절을 가지고, 복굴절률이 도 13b에 나타난 바와 같이 반경과 함께 2차 함수적으로 증대하는 것으로 한다. 렌즈 1매의 합성 석영에는 이러한 특징을 볼 수 있는 것도 있다. 여기서, 직선 편광으로 조명하면, 도 13c 및 도 13d에 나타난 바와 같이, 편광 방향에 따라서 동공면에서의 위상 분포가 다르다. 동면에서의 위상 분포는 투영 광학계(300)의 파면 수차와 동일하다.
- <145> 투영 광학계(300)는 여러 가지 파면 수차의 조정 기구를 가져, 구면 수차, 코마 수차, 비점수차, 왜곡 수차 등을 현장에서 조절 가능하다. 통상은 편광에 의존하지 않는 고정적인 수차 성분을 차감하도록 보정하지만, 편광 방향에 의존하는 수차도 이 조정 기구로 보정할 수 있다. 수차 조정 기구로서는 예를 들면, 투영 광학계의 렌즈 중의 일부분을 광축 방향으로 이동해서 전체 상 높이에 일률적으로 나타나는 축대칭성의 수차를 조정하거나 광축으로부터 멀어짐에 따라 커져가는 상면, 비점, 코마, 구면, 왜곡 등의 성분 조정을 행할 수 있다. 광축에 수직인 방향으로 시프트시키거나 경사지게 함으로써, 전체 상 높이의 일률적인 코마 성분이나, 상 높이마다 선형으로 변화하는 비점성분, 비대칭인 왜곡 성분을 조정할 수가 있다.
- <146> 레티클(200)에는 패턴 결함으로 되는 미립자의 부착을 방지하는 펠리클이 설치되어 있다. 펠리클은 유전체 물질이기 때문에, 광선의 입사각도에 의해 투과광의 강도나 위상이 바뀌어, 고 NA로 되어서 입사각이 매우 커지면 동공 투과율 분포나 동공 면 내의 위상차이를 무시할 수 없을 정도로 생긴다. 또, 레티클 1개씩에 부착될 수 있는, 레티클간의 펠리클 막 두께 차이나, 동일 레티클내의 펠리클 면내 막 두께 분포 등이 있어, 이것이 레티클 간, 상 높이 간의, 동공 투과율 분포나 수차에 영향을 준다. 예를 들어, 기준 펠리클에 대해서는, 계측용의 핀홀 레티클에 펠리클을 부착한 형태로 편광 정보를 직접 계측함으로써, 투영 광학계와 펠리클의 편광 정보를 부가하여 맞춘 실제의 편광 정보를 계측할 수 있다.
- <147> 회로 패턴이 들어간 레티클에 부착되어 있는 펠리클의 막 두께는 레티클마다 엘립소미터 등의 계측기로 측정해서, 그 측정치와 펠리클의 물성치 데이터로부터 계산에 의해서, 동공 투과율 분포와 수차로 변환할 수 있다. 이것을 이용해서 레티클마다의 펠리클 오차가 결상에 주는 영향을 보정하는 것이 가능하다. 막 두께의 관리는 펠리클 막의 절대치라도 되고, 계측용의 핀홀 레티클에 붙일 수 있었던 기준 펠리클과의 막 두께 차이로 관리해도 된다.
- <148> 또, 엘립소미터는 외부의 계측기를 이용해도 되고, 예를 들면 레티클 스테이지(250)의 아래쪽으로부터 편광 상태를 바꿀 수 있는 광속을 펠리클 면에 경사 입사해서, 반사광을 모니터하는 엘립소미터 광학계를 장치 속에 두어, 현장원위치(In-situ)계측을 해도 된다.
- <149> [실시예 4]
- <150> 이하, 도 11a 및 도 11b를 참조하면서, 노광장치(100)를 이용한 디바이스 제조 방법의 실시예를 설명한다. 여기서, 도 11a는 반도체 디바이스(IC나 LSI 등의 반도체 칩 혹은 액정 패널이나 CCD 등)의 제조를 설명하기 위한 순서도이다. 스텝 1(회로설계)에서는 반도체 디바이스의 회로설계를 행한다. 스텝 2(레티클 제작)에서는 설계한 회로 패턴을 형성한 레티클을 제작한다. 한편, 스텝 3(웨이퍼 제조)에서는 실리콘 등의 재료를 이용해서 웨이퍼를 제조한다. 스텝 4(웨이퍼 프로세스)는 전공정이라 불리고, 상기 준비한 레티클과 웨이퍼를 이용해서, 리소그래피 기술에 의해서 웨이퍼 상에 실제의 회로를 형성한다. 다음의 스텝 5(조립)는 후속 공정이라 불리고, 스텝 4에 의해 제작된 웨이퍼를 이용해서 반도체 칩화하는 공정이며, 어셈블리 공정(다이싱, 본딩), 패키징 공정(칩 밀봉) 등의 공정을 포함한다. 스텝 6(검사)에서는 스텝 5에서 제작된 반도체 디바이스의 동작 확인 테스트, 내구성 테스트 등의 검사를 행한다. 이러한 공정을 거쳐 반도체 디바이스가 완성되어, 이것이 출하(스텝 7)된다.
- <151> 도 11b는 도 11a의 스텝 4의 웨이퍼 프로세스의 상세한 순서도이다. 스텝 11(산화)에서는 웨이퍼의 표면을 산화시킨다. 스텝 12(CVD)에서는 웨이퍼 표면에 절연막을 형성한다. 스텝 13(전극 형성)에서는 웨이퍼 위에 전극을 증착 등에 의해 형성한다. 스텝 14(이온 주입)에서는 웨이퍼에 이온을 주입한다. 스텝 15(레지스트 처리)에서는 웨이퍼에 감광재를 도포한다. 스텝 16(노광)에서는 노광장치(100)에 의해 레티클 패턴을 웨이퍼에 노광한다. 스텝 17(현상)에서는 노광한 웨이퍼를 현상한다. 스텝 18(에칭)에서는 현상한 레지스트 상 이외의 부분을 소거한다. 스텝 19(레지스트 박리)에서는 에칭이 끝나 불필요해진 레지스트를 제거한다. 이들 스텝을 반복해서 행함으로써, 웨이퍼 상에 다중으로 회로 패턴이 형성된다. 본 실시예의 제조 방법을 이용하면, 종래는 제조가 어려웠던 고해상도의 디바이스(반도체소자, LCD 소자, 촬상 소자(CCD 등), 박막 자기 헤드

등)를 편광을 이용해서 생산성 좋게 제조할 수가 있다. 또, 이와 같이 노광장치(100)를 사용하는 디바이스 제조 방법, 및 결과물(중간, 최종 생성물)로서의 디바이스도 본 발명의 일측면을 구성한다.

<실시예 5>

이하, 편광을 포함한 노광 조건 및 레티클 패턴의 최적화에 대해 설명한다. 본 실시예는 도 11a에 표시한 스텝 1로부터 스텝 4에 특히 관계한다. 도 12a는 노광 조건 및 레티클 패턴의 최적화의 상세를 표시한 블록도이다.

시뮬레이터(700)는 레티클 작성시의 패턴 데이터(예를 들면, GDSII나 MDP)를 메모리(800)로부터 취해서 패턴의 일부 또는 전부의 형상을 생성하여, 결상 시뮬레이터의 물체측의 정보로서 입력한다. 결상 시뮬레이터는 물체면의 패턴을 투영 광학계로 결상했을 때의 결상점의 광강도 분포를 계산한다. 또, 결상 시뮬레이터는 그 광강도 분포와 레지스트 프로세스 파라미터를 이용함으로써, 산의 확산, 후소성, 현상 등의 프로세스 처리를 거친 레지스트 패턴의 형상을 예측한다. 더욱이, 시뮬레이터(700)는, 광강도 시뮬레이터나 레지스트 시뮬레이터와 유저가 이용하는 OPC의 룰이나 모델을 이용해서, 레지스트 패턴의 형상을 원하는 값으로 되도록 기존의 레티클 패턴에 OPC를 행하여 이 레티클 패턴을 보정할 수 있다.

시뮬레이터(700)에 입력되는 파라미터로서는 전사 파장이나 파장폭, 유효 광원의 광강도 분포, 그 편광 분포, 그 크기 및 형상 등이 포함된다. 그 외에도, 그 파라미터로서는, 투영 광학계의 NA, 수차량, 동공의 편광 강도 분포, 축소율, 표준적인 펄리클의 수차량, 동공 투과율 분포, 투영 광학계와 결상면과의 사이의 액침 물체의 굴절률 등도 포함된다. 1개 이상의 파라미터로서 입력 가능하고, 편광을 분리해서 벡터 계산을 할 수 있게 되어 있다. 이들 항목은 노광장치 내부 또는 외부의 계측 장치에 의해 측정 가능하다.

결상 패턴의 평가 지표로서 광학상의 CD, ED 윈도우, 초점심도(DOF), NILS, 콘트라스트, 레지스트의 CD, SWA, 트랜지스터의 전기 특성 등의 적어도 1개를 계산할 수 있다.

레티클을 패턴닝하는 데 다음의 3 단계가 있다. 제1 단계는 노광장치의 특성이나 보정용의 민감도 정보를 측정해서, 그것과 레티클 기본 데이터로부터 노광 조건을 결정한다. 제2 단계는 레티클의 OPC 데이터를 작성하기 위해서, OPC 추출용의 테스트 패턴의 레티클(마스크 OPC 추출마스크)을 제1 단계에서 구한 노광 조건을 설정한 노광장치에서 노광한 결과를 해석해서, 시뮬레이터와의 차이를 파악해서, OPC 모델을 작성한다. 제3 단계는 노광장치의 특성이나 민감도, 레티클 기본 데이터, 모델 베이스 OPC 정보의 3개를 통합해서, 노광 조건이나 레티클 패턴의 최적화를 실시해서, 그 레티클을 최적인 노광 조건을 설정한 노광장치에서 노광한다.

이와 같이 레티클을 웨이퍼에 노광하는 데 많은 공정과 시간을 가진다. 제조 시간의 단축과 수율의 향상을 위해서 노광 조건의 최적화가 중요하다. 정밀도의 향상을 위해서 노광장치의 특성이나 보정 민감도를 측정해서, 시뮬레이터(700)에 입력한다.

본 실시예에서는 광학계(즉, 조명 광학계 및 투영 광학계)의 편광 정보를 가미해서 모델 베이스 OPC 작성 패턴의 결상평가를 한다. 이 때문에, 시뮬레이터의 출력이 정확하게 되어, 이것과 실제로 모델 베이스 OPC작성 패턴을 노광한 레지스트 상과의 상관을 취함으로써, 보정 정밀도가 양호한 모델 베이스 OPC 라이브러리를 작성할 수 있다. 더욱이, 레티클 패턴을 입력했을 때의 시뮬레이터의 결상 평가 정밀도도 향상하고 있기 때문에, 노광 조건 및 레티클 패턴의 최적화의 정밀도를 향상할 수가 있다. 레티클의 작성에, 가장 시간이 걸리는 것이 OPC이다. 레티클의 재제작에는 매우 긴 기간을 필요로 하는 점으로부터 OPC의 정밀도 향상이 중요하다.

구체적인 노광장치 파라미터의 최적화 플로우에 있어서, 우선, 슬릿 전체에 대한 성능을 개선하기 위한 최적화를 실시한다. 슬릿 전체의 상성능에의 영향을 조사하기 위해서, 예를 들면, 핫 스폿으로 불리고, 수율에 직결하는 중대한 레티클 패턴과 평가방법을 선택한다. 혹은, 성능을 평가하는 것 같은 기본 패턴을 미리 준비해서 그것을 사용한다.

적어도 2 종류 이상의 패턴으로 광학근접효과(OPE)특성을 평가한다. 결상의 평가방법은, 예를 들면, 어느 장소의 CD치나 콘트라스트나 ED-window, NILS의 값 등을 이용해도 된다. 이러한 값이 일정 이상을 채우는 것을 조건으로 하거나, 한가지 이상의 평가방법을 서로 가중치 붙인 것이 일정치 이상을 채우는 것을 조건으로 해도 된다. 특히, OPE 특성은 2 이상의 평가 기준으로 상대적인 CD치를 평가한다.

보정 파라미터는 NA의 값이나 유효 광원의 형상, 유효 광원의 휘도 분포, 유효 광원의 편광 방향이나 편광도, 레이저 파장폭, 구면 수차, 비점수차 등 중에서 적어도 1개를 선택한다. 보정 파라미터는 각 상 높이에 대해서 평균적 성분을 보정해서, 상 높이 차이는 가능한 한 줄이도록 한다. 레티클 패턴의 최적화에서는 OPC의 양

을 조정한다.

- <163> 다음에, 슬릿 전체에 관한 결상의 비대칭 성분을 보정한다. 예를 들면, 2개 라인의 좌우와 상하의 선폭 차이 등으로, 이것도 레티클 내부에 있는 패턴이라도 되지만, 그 이외의 표준 패턴을 정해 두어도 된다. 결상의 평가방법으로서는 한쪽의 선폭을 기준으로 했을 때의 반대쪽의 패턴의 선폭을 평가한다. 동공 투과율 분포의 비대칭성, 유효 광원의 휘도 분포의 비대칭성, 축상 텔레센트리시티, 비점수차, 전면의 코마 수차, 전면의 3 θ 수차 성분 등을 보정한다.
- <164> 게다가, 슬릿 내 각 점(필드의 중앙과 양단부 등)의 결상 특성의 차이를 CD치나 콘트라스트나 ED-window, NILS의 값 등의 장소 간의 차이에 의거해서 보정한다. 구체적으로는 각 점의 동공 투과율, 편광도의 상 높이차, 렌즈의 상면, 슬릿 내 조도 분포 등을 보정한다. 각 점의 비대칭 성분의 차이에 대해서도 유효 광원의 휘도 분포의 비대칭성, 축외 텔레센트리시티, 축외의 코마 수차, 축외의 3 θ 수차 성분 등으로 보정한다.
- <165> 최후로, 쇼트 간, 웨이퍼 간, 로트 간의 결상 성능의 차이에 대해서, 주로 CD를 평가해서, 적산 노광량 등 설정치로 보정한다. 최적화된 OPC 패턴에 대해서는 마스크상의 기본 데이터를 중첩해서, 제품용의 마스크가 된다. 이것에 의해, 수율이 좋은 레티클을 작성할 수 있다.
- <166> 최적화 플로우는 차례를 변경하거나, 어느 공정을 반복하거나 해도 된다. 또, 노광 조건의 최적화에 있어서는 최적화의 범위를 한정해서 효율을 올려도 된다. 예를 들면, 광원(110)이면, 스펙트럼폭을 변경할 때의 반값폭이나 E95 등의 지표, 실제의 광원의 스펙트럼 강도 분포와의 관계를 나타내는 식을 미리 구해 둔다. 유효 광원의 형상이나 윤대 비 등도, 예를 들면, 2/3 윤대를 설정했을 때의 휘도 분포를 비트 맵 데이터로서 읽어들이, σ 나 윤대 비를 변경했을 때의 휘도의 비트 맵과의 차이를 산출한다. 이 차이 값과 보정량과의 관계를 정식화해 둔다.
- <167> 유효 광원의 형상을 생성하는 회절 광학 소자를 교환할 때에는, 새롭게 작성한 회절 광학 소자에 의한 유효 광원의 휘도 분포를 예측할 수 있다. 즉, 회절 광학 소자와 레티클 면까지의 사이에 광학 소자의 절환이 있는 경우에는, 그 소자가 조합할 것에, 래디얼 방향과 탄젠트 방향의 유효 광원 에지 부분의 휘도의 슬로프를 미리 계측한다. 그때의 파라미터는 회절 광학 소자에 입사하는 광속의 입사각도, 유효 광원의 외부 σ , 내부 σ , NA, 회절 광학 소자의 형상 정보 등이 된다. 휘도 슬로프와 이들 파라미터의 관계를 미리 정식화해 둬으로써, 실제의 장치에서의 유효 광원 휘도 분포의 조정 범위를 가미해서 시뮬레이터로 노광 조건의 최적화 결정이 가능하다.
- <168> 편광 방향에 관한 한정은 예를 들면, X방향, Y방향, 래디얼 방향, 탄젠트 방향 중에서 최적화해도 된다.
- <169> 투영 광학계의 수차의 최적화는 투영 광학계마다 고유의 조정 범위의 정보를 이용해서 렌즈 등의 구동 조정 범위를 한정하거나, 다른 수차에 대한 허용치 내라고 하는 조건하에서 수행된다. 「조정 범위」란, 어느 렌즈 소자군의 구동이 $\pm 50 \mu\text{m}$ 이내라든지, 편심이 $\pm 10 \mu\text{m}$ 이내 혹은 0.01° 이내 등의 정보를 의미한다. 「다른 수차의 허용치」란, 예를 들면, 코마 수차를 최적화하는 경우에 왜곡이 2 nm 이내, 상면 및 비점수차가 5 nm 이내 등의 제한 조건을 의미한다.
- <170> 제1의 노광장치에 대해서 최적화된 레티클을 다른 제2의 노광장치로 노광하는 경우, 노광장치 간의 특성차이를 보정하기 위해서, 제2의 노광장치의 파라미터를 최적화한다.
- <171> 제2의 노광장치에서의 결상 패턴을 시뮬레이션하기 위해서, 우선은 제2의 노광장치의 파라미터의 초기치를 결정할 필요가 있다. 제1의 노광장치에 관해서 모든 계측 가능한 특성을 우선 계측한다. 그 후, 대응하는 제2의 노광장치의 보정 민감도 테이블과 제2의 노광장치의 계측치를 이용해서, 제1의 노광장치의 계측치에 가까워지도록, 각 파라미터를 보정한다. 제1의 노광장치의 미지의 파라미터에 관해서는 제2의 노광장치의 현재 상태의 계측치를 그대로 시뮬레이터의 조건에 입력한다.
- <172> 이것을 초기 상태로 해서, 레티클의 설계 데이터의 전부 또는 일부를 시뮬레이터의 물체면 정보로서 입력해서, 초기 데이터를 기본으로 계산한 결상 패턴을 평가한다. 결상 시뮬레이터는 직교하는 두 방향의 편광 방향마다 해석해서, 결상면의 광강도 분포를 부가한다. 계측하는 장치의 파라미터는 예를 들면, 광원 파장폭, NA, σ , 동공 투과율, 편광도, 슬릿내 조도 분포, 적산 노광량 분포, 축상 텔레센트리시티, 축외 텔레센트리시티, 렌즈 수차, 기존 레티클의 펠리클의 막 두께 등이다.
- <173> 편광마다 파라미터 모두에 관해서 결상 성능을 계산해서, 예를 들면 마스크 패턴의 수율에 영향을 주는 부분에 주목해서 평가 파라미터로 평가한다. 평가는 2개소 이상의 패턴을 포함해서, 1개소의 평가의 방향과 직교하는

방향의 패턴을 평가함으로써, 편광의 영향을 계측한다. 성능을 평가하는 기본 패턴을 미리 준비해서 그것을 사용해도 된다. 적어도 2 종류 이상의 패턴으로 OPE 특성을 평가하고, 다른 방향의 평가 패턴을 포함해서 패턴의 방향에 의한 영향도 평가한다.

- <174> 노광장치의 특성의 계측 데이터나, 1 대마다의 보정시의 변화율에 관한 데이터는 호스트로 관리하고, 기존 레티클을 이용할 때에, 제1의 노광장치의 특성 정보와 제2의 노광장치의 특성 정보를 비교해서 제2의 노광장치의 노광 조건을 최적화한다. 레티클 마다의 펠리클 막 두께나 그것에 의한 동공 투과율 특성, 수차 특성 등도 호스트로 관리하고, 최적화의 파라미터로서 이용해도 된다.
- <175> 최적화된 파라미터를 호스트로부터 제2의 노광장치에 송신하고, 제2의 노광장치는 그것을 Job의 파라미터 속에 자동적으로 설정한다.
- <176> 한편, 시뮬레이터(700)를 사용하지 않는 경우에 대해서는 이하 도 12b를 참조하면서 간략하게 설명한다.
- <177> 도 12b는 기존의 레티클에 대해서 노광 조건을 최적화하기 위한 블록도이다. 상기 도 12a와 관련해서 설명한 레티클의 패턴링의 상기 제1 단계(시뮬레이션단계를 생략하고, 상기 제2 단계에서는 전사에 의해 OPC모델을 작성하고, 상기 제3 단계에서는, 상기 작성된 OPC모델에 의거한 OPC패턴과 기본데이터 GDSII에 의거한 파라미터를 최적화하여, 상기 기존의 레티클을 최적인 노광장치에서 노광하는 점이 도 12a의 노광 조건과 상이하다. 본 실시예에서도, 광학계의 편광정보를 가미한 이후의 더욱 상세한 설명은 도 12a를 참조해서 설명한 것과 마찬가지로, 여기서는 생략한다.

발명의 효과

- <178> 이상 설명한 바와 같이, 본 발명에 의하면, 편광에 의한 결상 성능을 무시할 수 없는 고 NA의 광학계에 대해서도, 노광 조건과 마스크 패턴을 최적화할 수 있어 수율을 큰 폭으로 개선할 수 있다.
- <179> 이상, 본 발명의 바람직한 실시 형태에 대해 설명했지만, 본 발명은 이들 실시형태로 한정되지 않는 것은 말할 필요도 없고, 그 요지의 범위 내에서 여러 가지의 변형 및 변경이 가능하다.

도면의 간단한 설명

- <1> 도 1은 본 발명의 일실시예로서의 노광장치의 개략 블록도;
- <2> 도 2는 도 1에 표시한 노광장치에 사용되는 조리개(마스킹 블레이드)의 광축에 수직인 면으로부터 본 평면도;
- <3> 도 3a는 도 1에 표시한 노광장치의 감광 부재에 있어서의 원형 모양의 유효 광원의 평면도;
- <4> 도 3b는 도 1에 표시한 노광장치의 감광 부재에 있어서의 레티클 아래의 광검출기에 있어서의 윤대(輪帶) 형상의 유효 광원의 평면도;
- <5> 도 3c는 도 3a에 표시한 유효 광원의 편광도를 나타낸 개략도;
- <6> 도 3d는 도 3b에 표시한 유효 광원의 편광도를 나타낸 개략도;
- <7> 도 4a는 직선 편광이 타원 편광으로 변화하는 모양을 표시한 개략도;
- <8> 도 4b는 라인 앤드 스페이스(L&S) 패턴을 P편광(점선)과 S편광(실선)으로 조명했을 경우의 결상 콘트라스트를 표시한 개략도;
- <9> 도 5a는 도 1에 표시한 노광장치의 조명 광학계가 생성하는 윤대 조명의 개략도;
- <10> 도 5b는 도 1에 표시한 노광장치의 레티클에 형성되는 L&S패턴의 일례의 개략 평면도;
- <11> 도 5c는 편광도와 선폭/노광량 민감도와의 관계를 나타낸 그래프;
- <12> 도 5d는 S편광과 P편광의 방향을 표시한 개략도;
- <13> 도 6a는 3종류의 패턴과 그것들로부터 생기는 0차와 ± 1 차 회절광을 표시한 개략도;
- <14> 도 6b는 레티클을 경사 입사 조명했을 경우에, 투영 광학계의 사출동공 상에서의 동공 투과율과 패턴으로부터의 회절광의 위치를 동공면의 위에서부터 본 개략도;
- <15> 도 6c는 패턴 피치를 횡축으로 취하고, 임의의 광강도로 슬라이스했을 때의 선폭을 세로축으로 취한 그래프;

- <16> 도 7은 다른 NA에 대한 피치와 선폭과의 관계를 나타낸 그래프;

<17> 도 8a는 도 1에 표시한 레티클의 패턴 예의 평면도;

<18> 도 8b는 도 8a에 표시한 레티클 패턴을 2중극 조명하는 유효 광원 형상의 일례를 표시한 도면;

<19> 도 8c는 도 8b에 표시한 2중극 조명에 있어서의 편광도를 표시한 개략도;

<20> 도 8d는 도 8a에 표시한 레티클 패턴을 도 8b 및 도 8c에 표시한 유효 광원에 의해서 조명했을 경우의 플레이트 면 위의 공중상(空中像)을 포커스 위치마다 표시한 도면;

<21> 도 8e는 도 8a에 표시한 레티클 패턴을 도 8b 및 도 8c에 표시한 유효 광원으로 조명했을 경우의 레지스트 상을 포커스 위치마다 표시한 평면도;

<22> 도 8f는 도 1에 표시한 레티클을 조명하는 광의 주광선이 광축과 평행한 경우와 좌우로 경사졌을 경우의 플레이트 면의 공중상을 표시한 도면;

<23> 도 8g는 도 1에 표시한 레티클을 조명하는 광이 텔레센트릭 상태이지만, 좌우로 유효 광원 강도가 동일한 경우와 변화한 경우의 플레이트 면 위의 공중상을 표시한 도면;

<24> 도 9는 도 1에 표시한 레티클 위의 노광 슬릿 영역을 나타낸 개략 평면도;

<25> 도 10a는 편광도의 대칭성과 상 높이의 관계를 표시한 그래프;

<26> 도 10b는 편광도의 비대칭성과 상 높이의 관계를 표시한 그래프;

<27> 도 11a는 도 1에 표시한 노광장치를 이용하는 디바이스 제조 방법을 설명하기 위한 순서도;

<28> 도 11b는 도 11a에 표시한 스텝 4의 상세한 순서도;

<29> 도 12a는 노광 조건 및 레티클 패턴의 양쪽 모두를 최적화하기 위한 블록도;

<30> 도 12b는 기존의 레티클에 대해서 노광 조건을 최적화하기 위한 블록도;.

<31> 도 13a는 도 1에 표시한 노광장치의 투영 광학계의 복굴절의 예를 표시한 개략 평면도;

<32> 도 13b는 도 13a에 표시한 복굴절량이 반경과 함께 2차 함수적으로 증대하는 모양을 표시한 그래프;

<33> 도 13c는 도 13a에 표시한 투영 광학계가 직선 편광을 받았을 경우의 동공면에서의 위상 분포를 표시한 도면;

<34> 도 13d는 도 13a에 표시한 투영 광학계가 직선 편광을 받았을 경우의 동공면에서의 위상 분포를 표시한 도면;

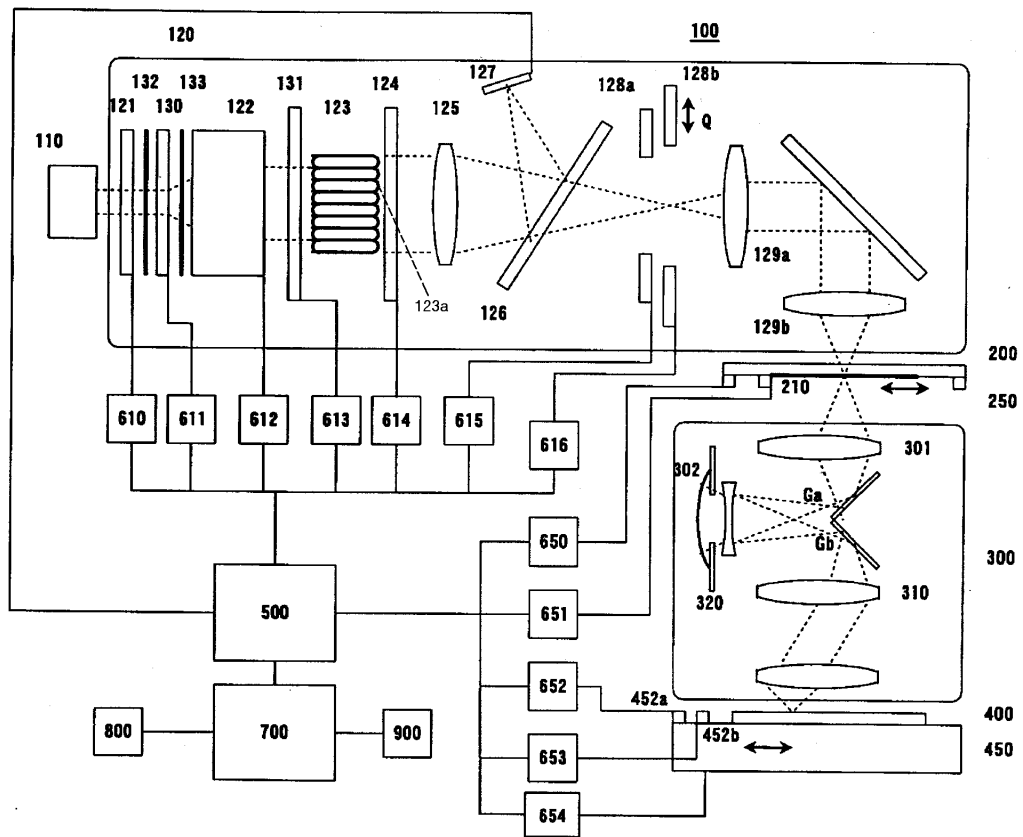
<35> 도 14는 도 1에 표시한 레티클 면 근방의 검출기의 확대 단면도.

<36> <도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

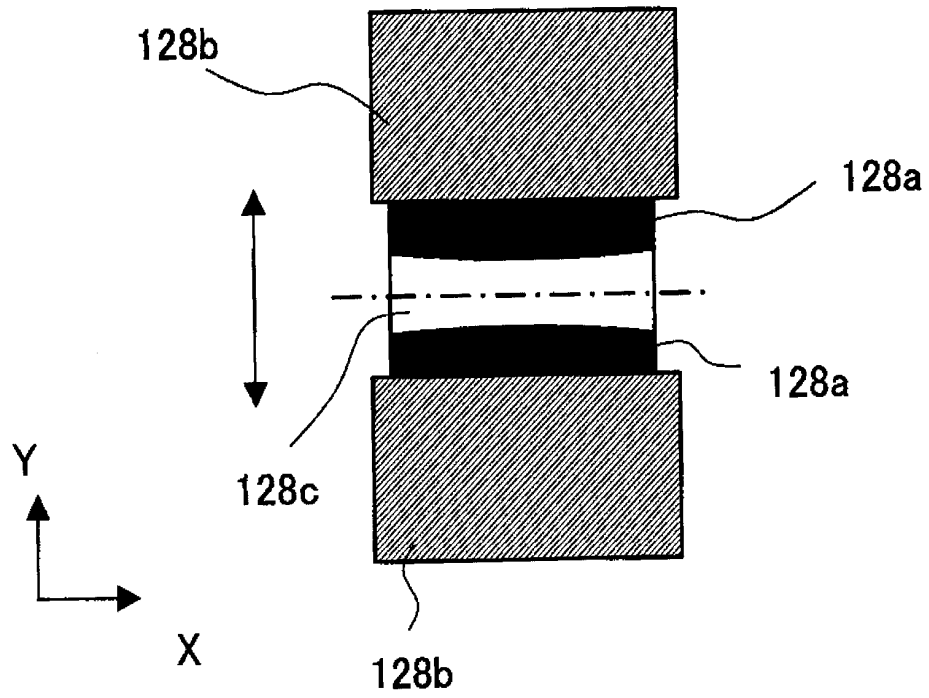
| | |
|--------------------|---------------|
| <37> 100: 노광장치 | 110: 광원 |
| <38> 120: 조명광학계 | 200: 레티클 |
| <39> 210: 2차원 광검출기 | 300: 투영 광학계 |
| <40> 400: 플레이트 | 500: 제어부 |
| <41> 700: 시뮬레이터 | 800, 900: 메모리 |

도면

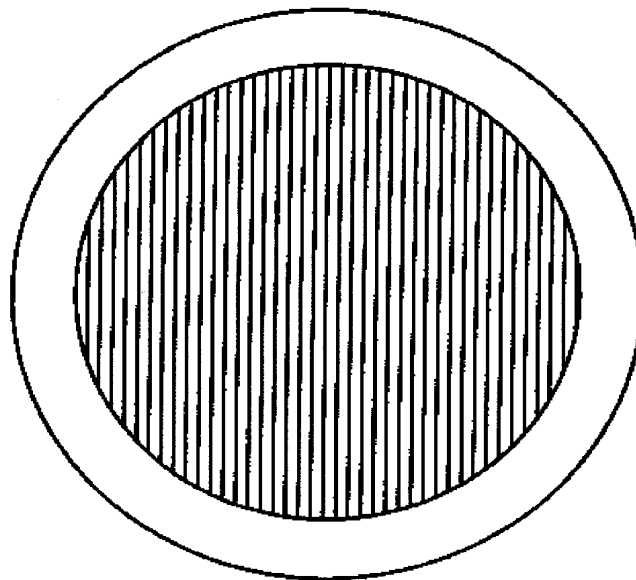
도면1



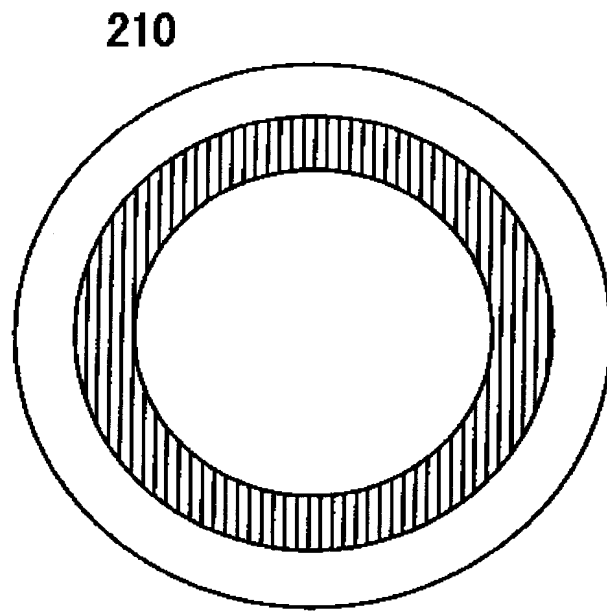
도면2



도면3a



도면3b



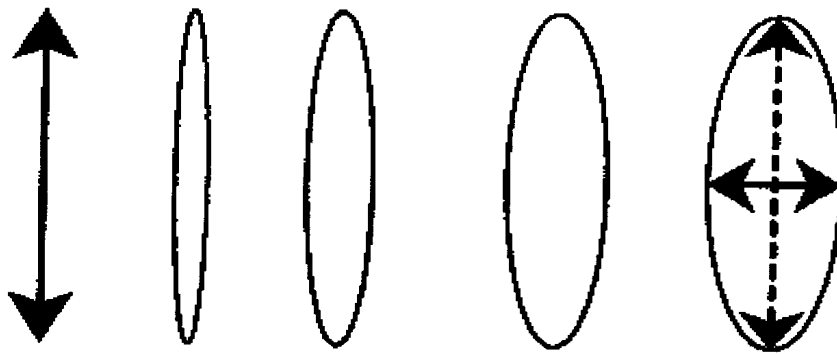
도면3c



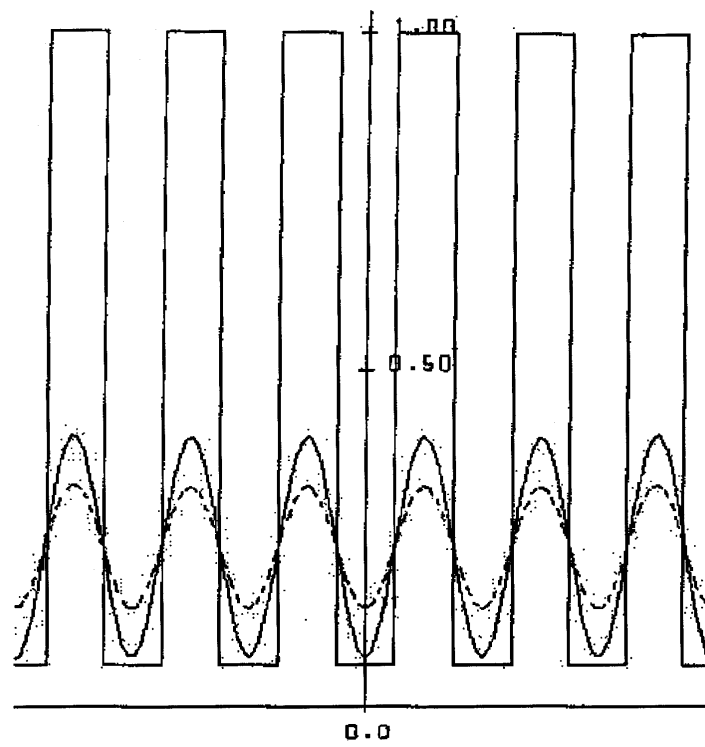
도면3d



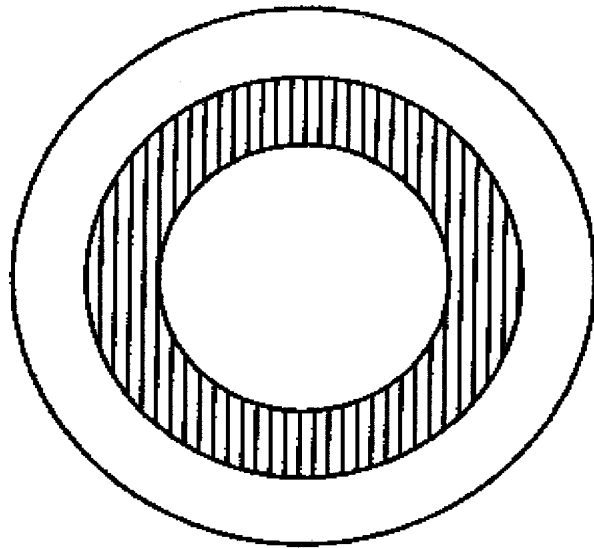
도면4a



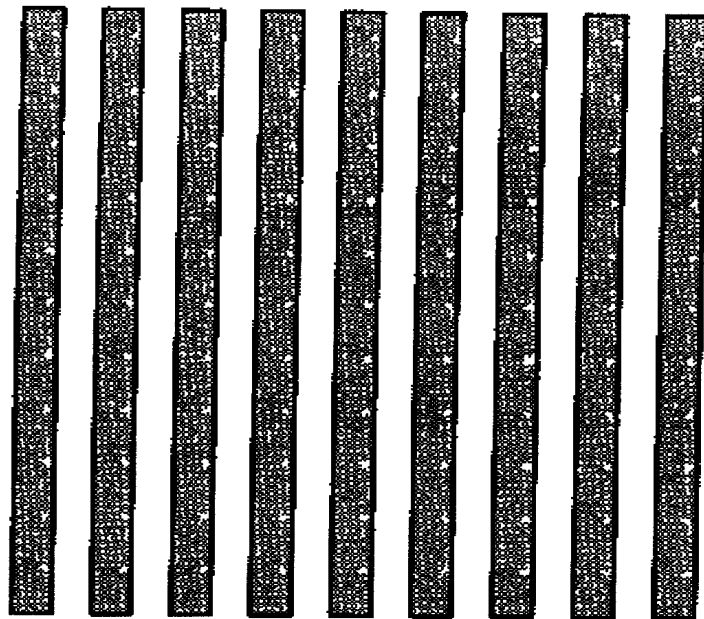
도면4b



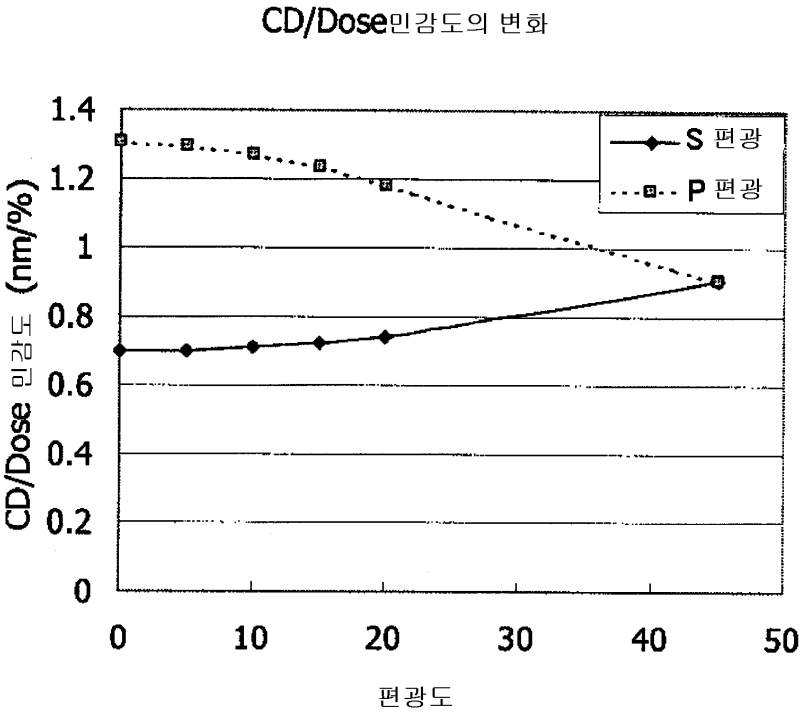
도면5a



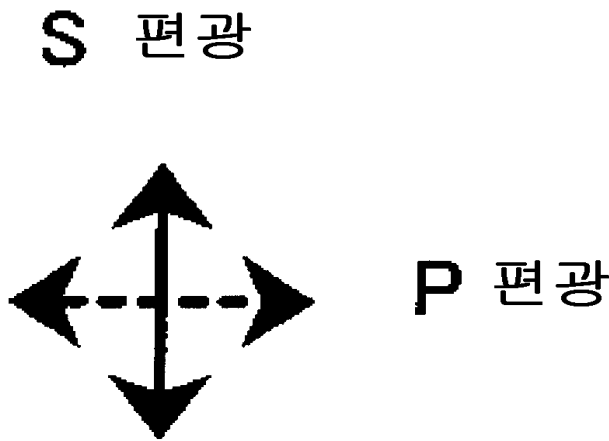
도면5b



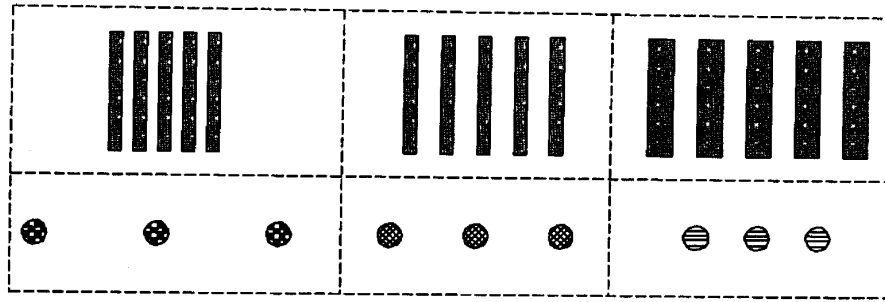
도면5c



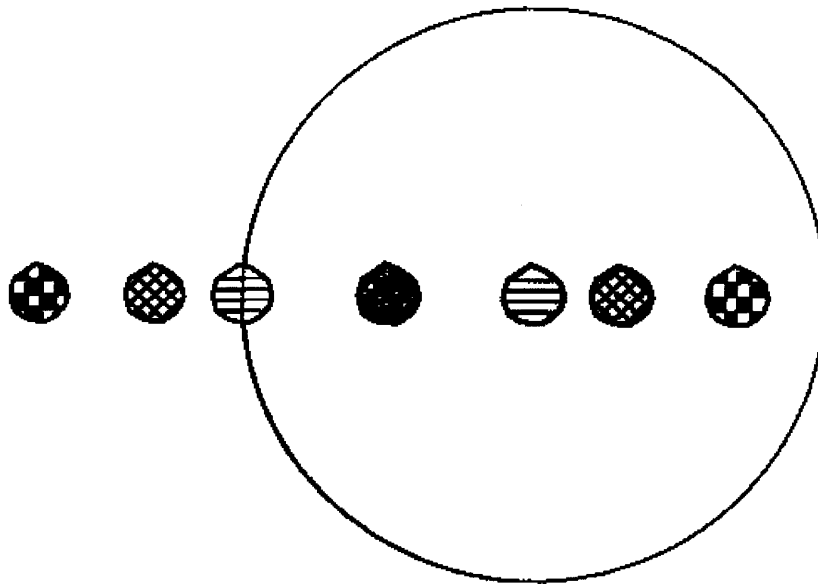
도면5d



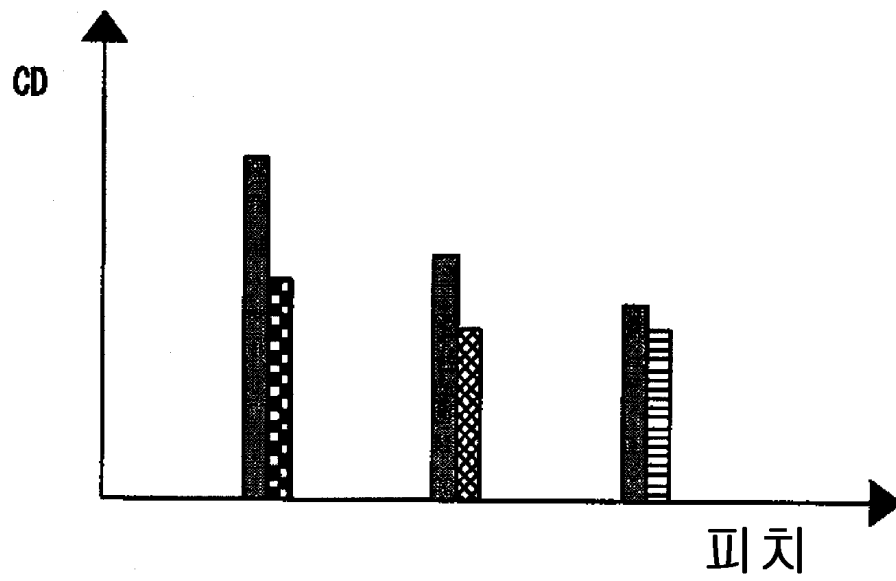
도면6a



도면6b

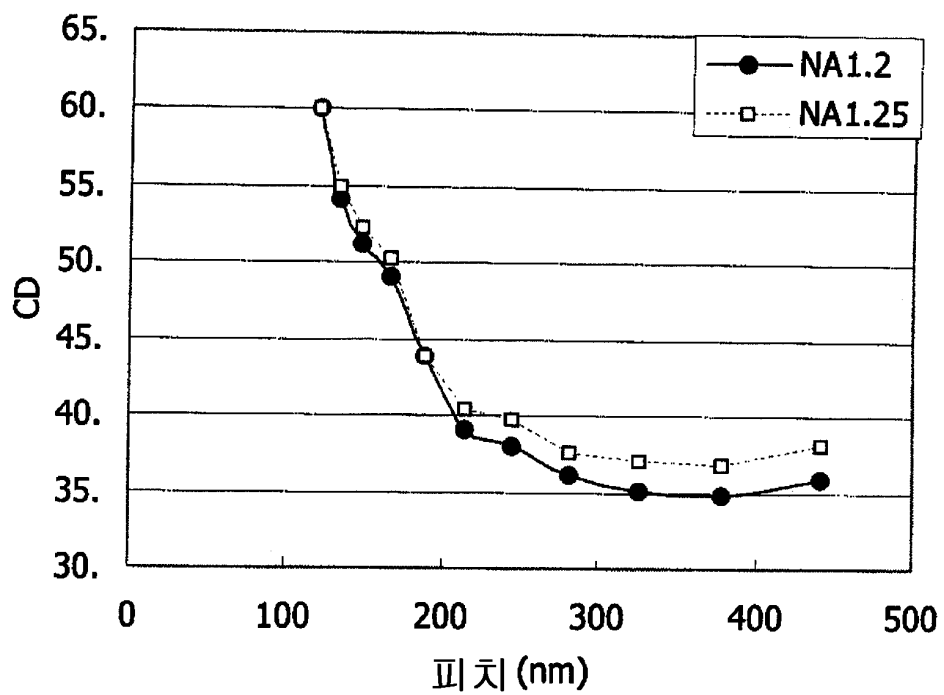


도면6c



도면7

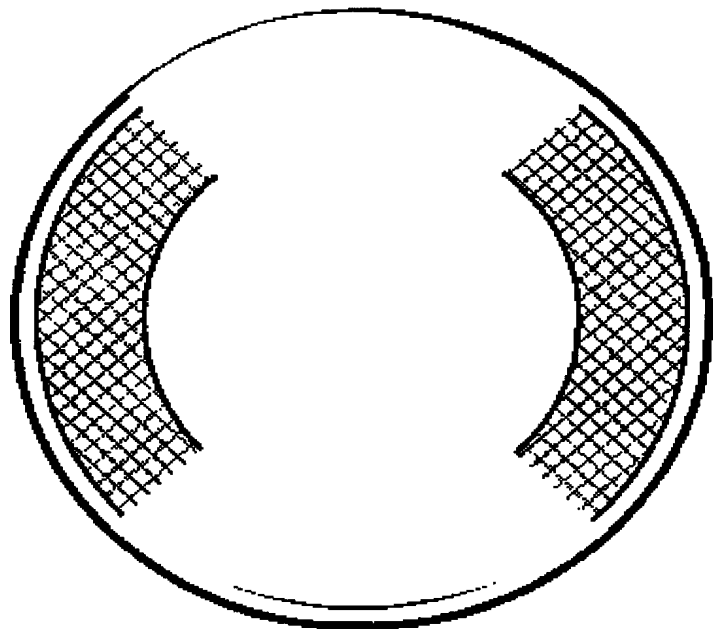
OPE특성



도면8a



도면8b

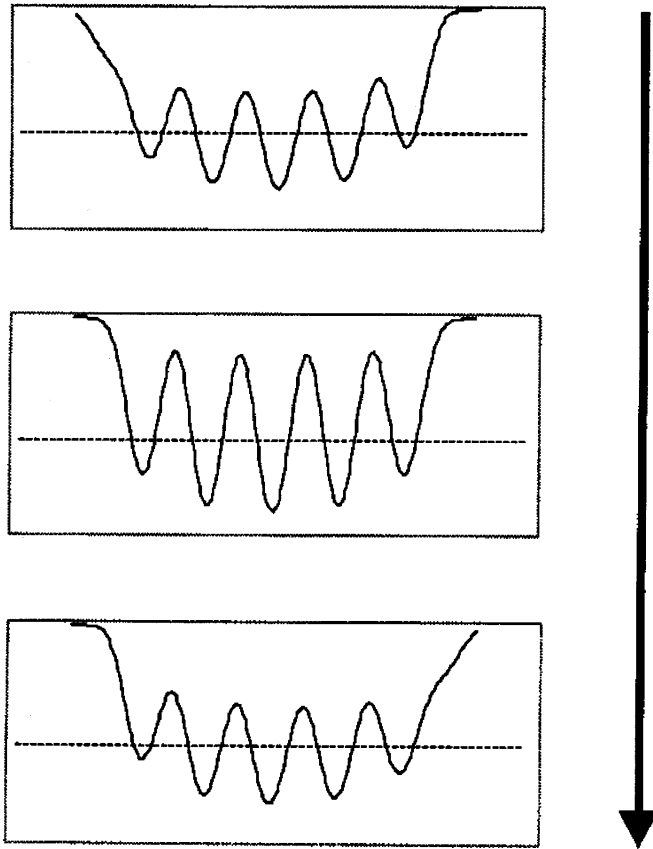


도면8c



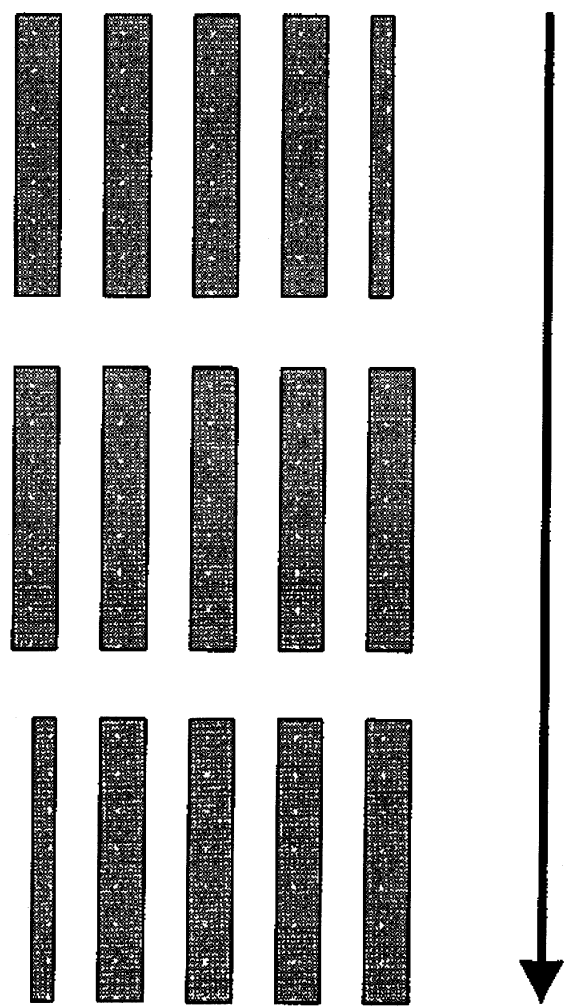
도면8d

포커스점의 이동

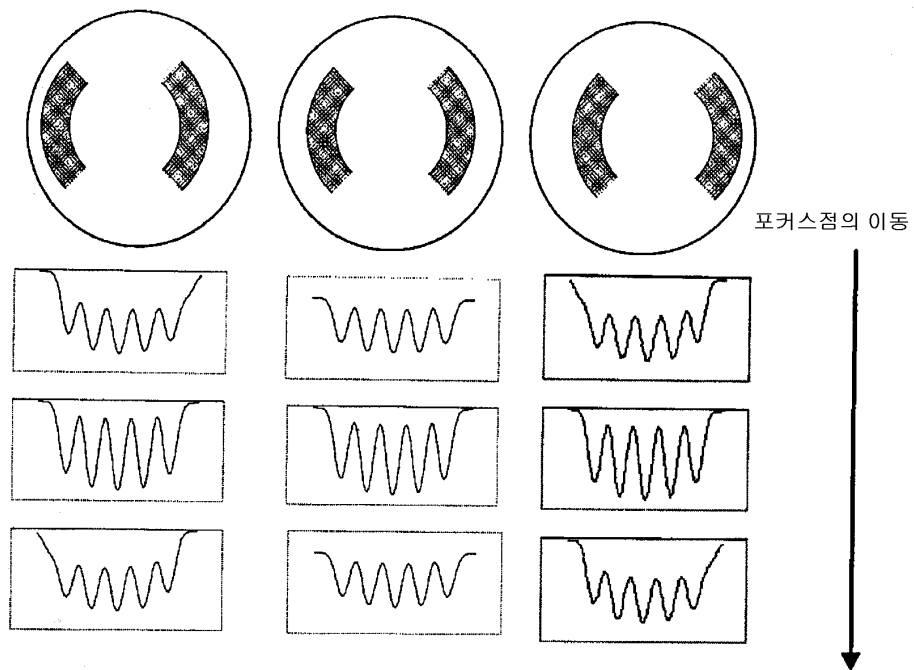


도면8e

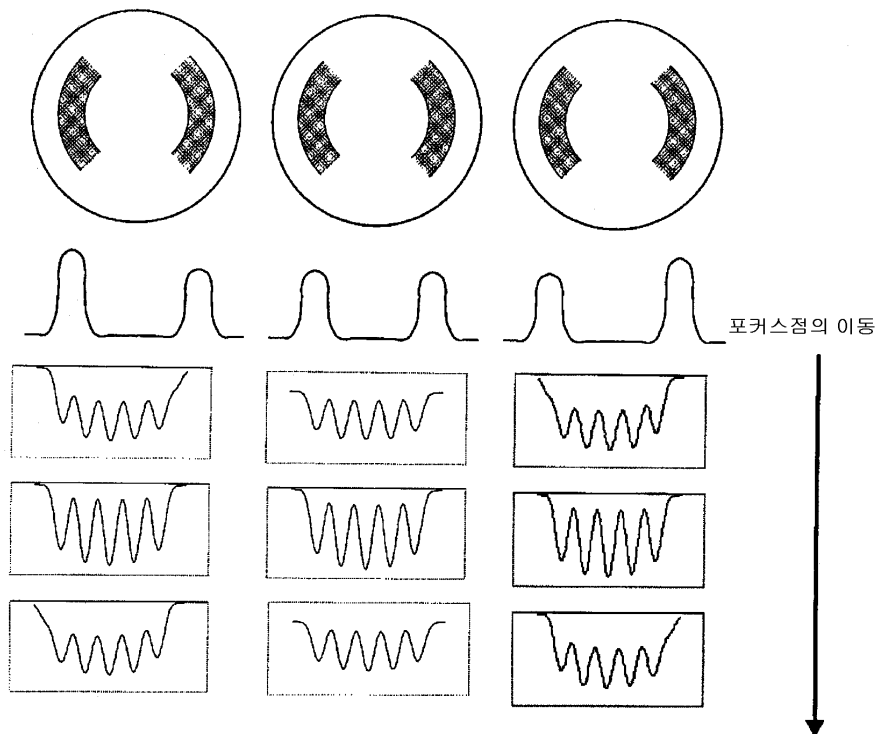
포커스점의 이동



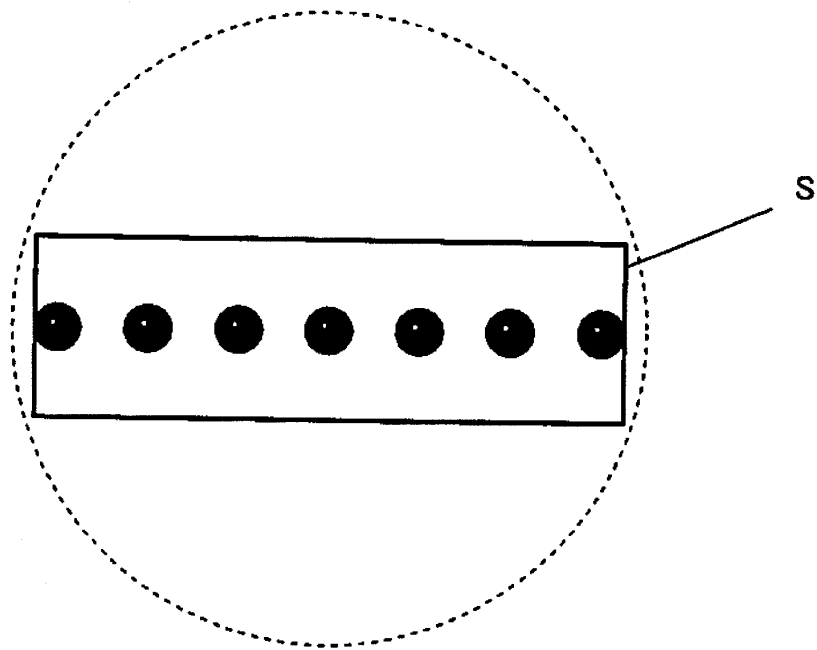
도면8f



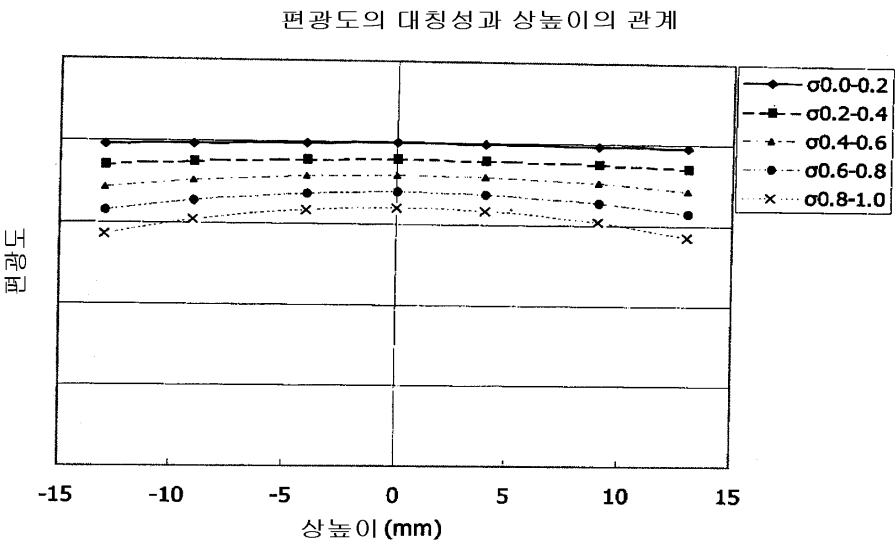
도면8g



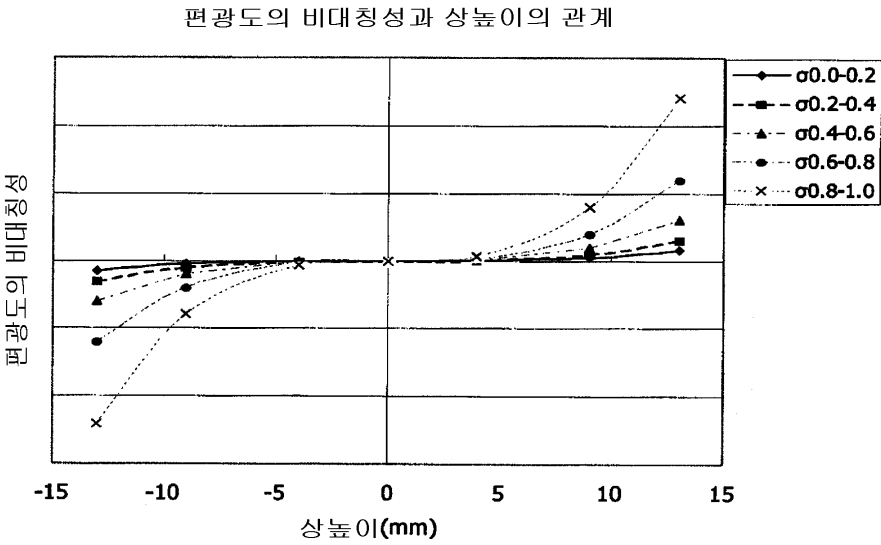
도면9



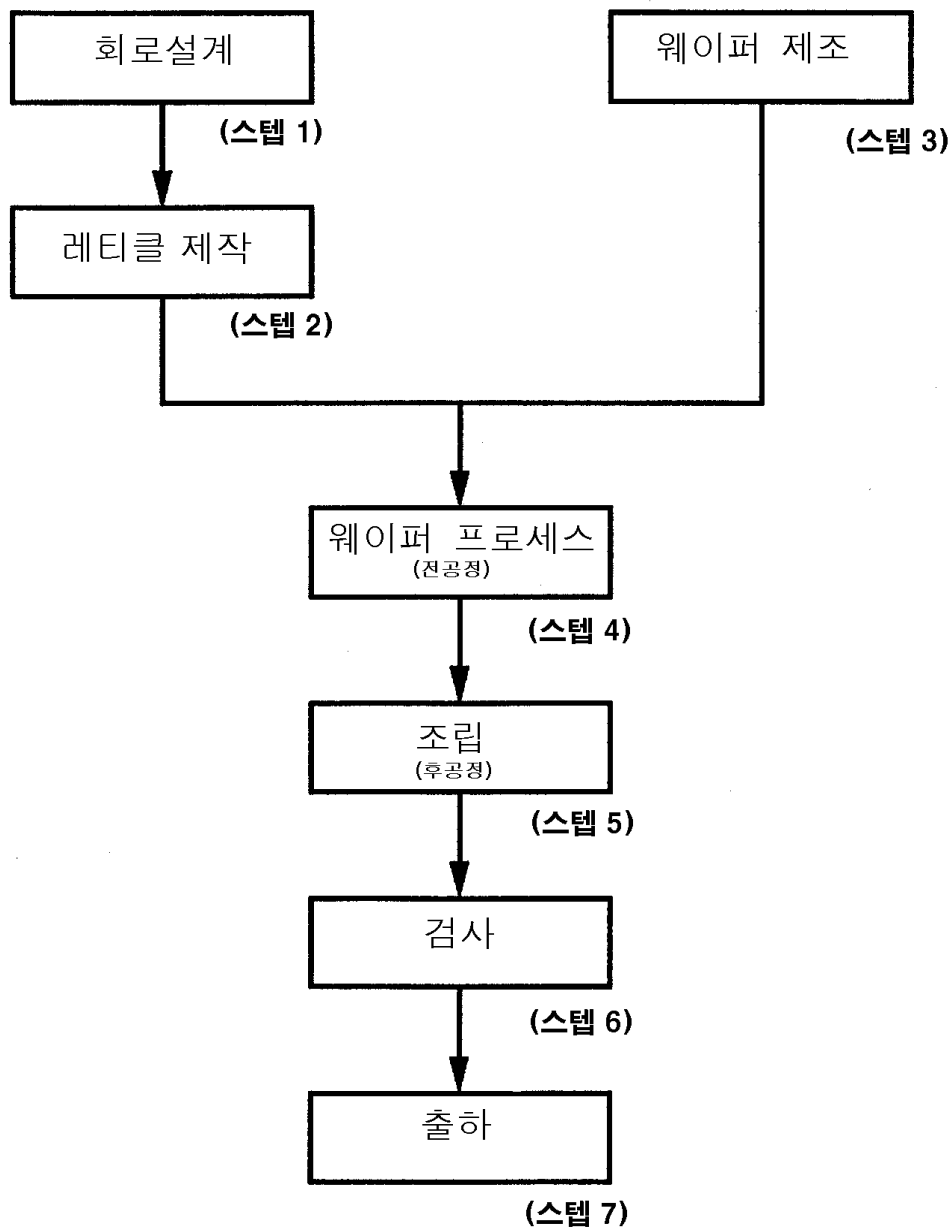
도면10a



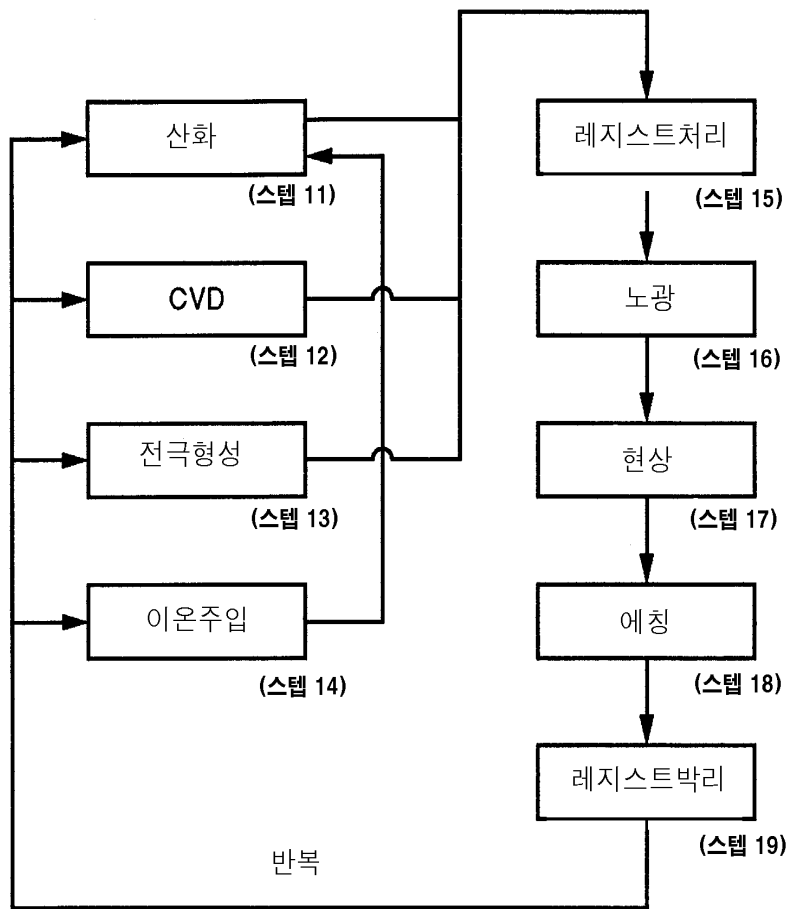
도면10b



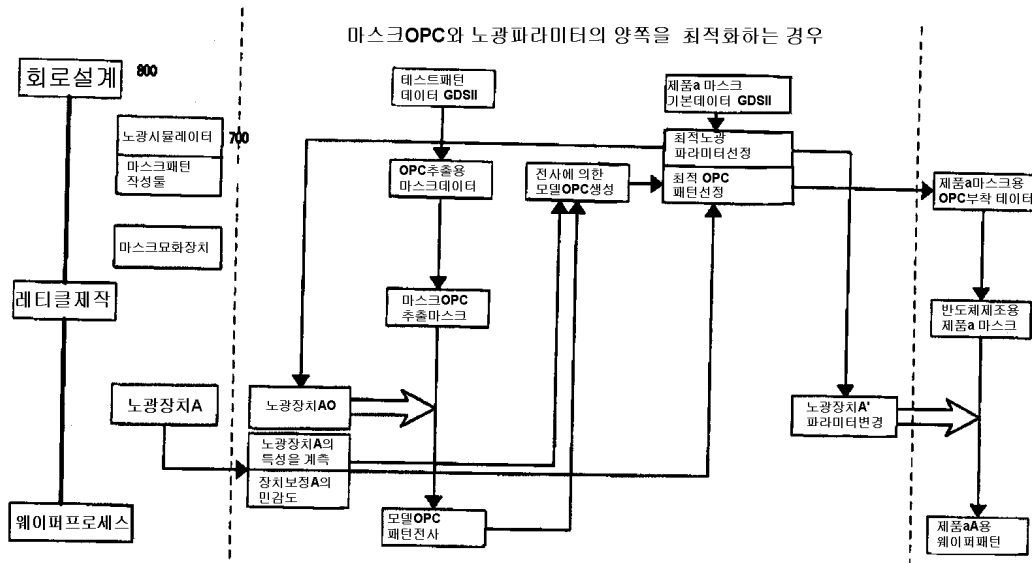
도면11a



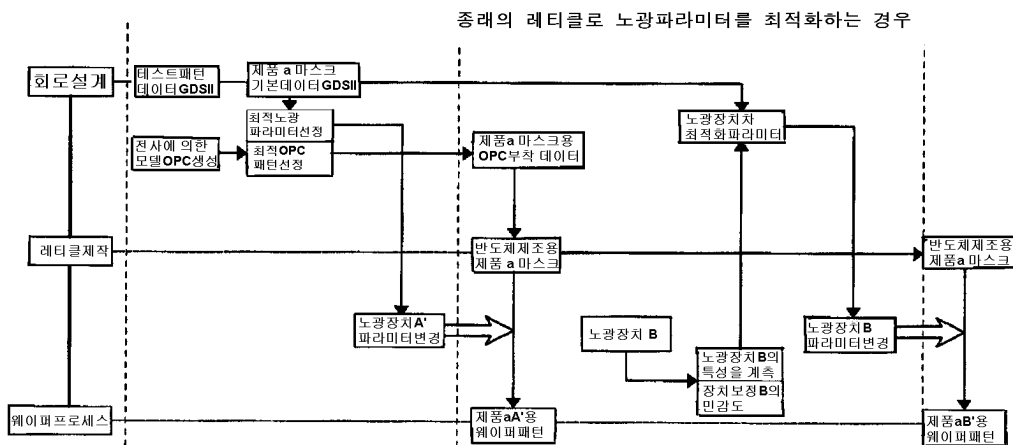
도면11b



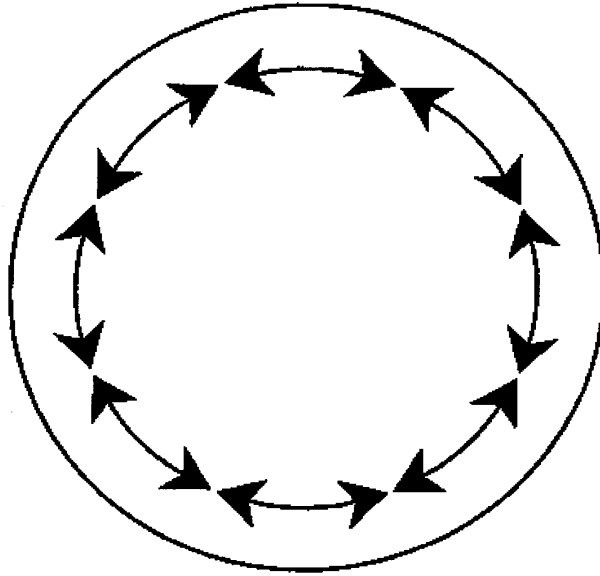
도면12a



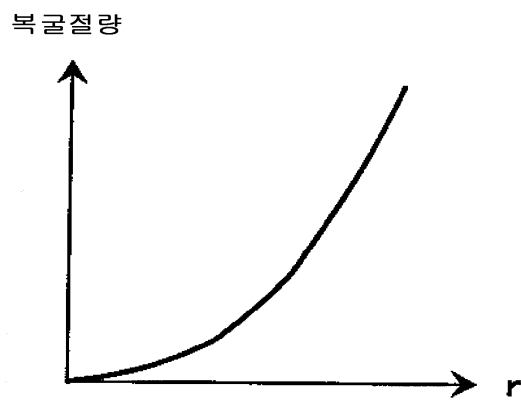
도면12b



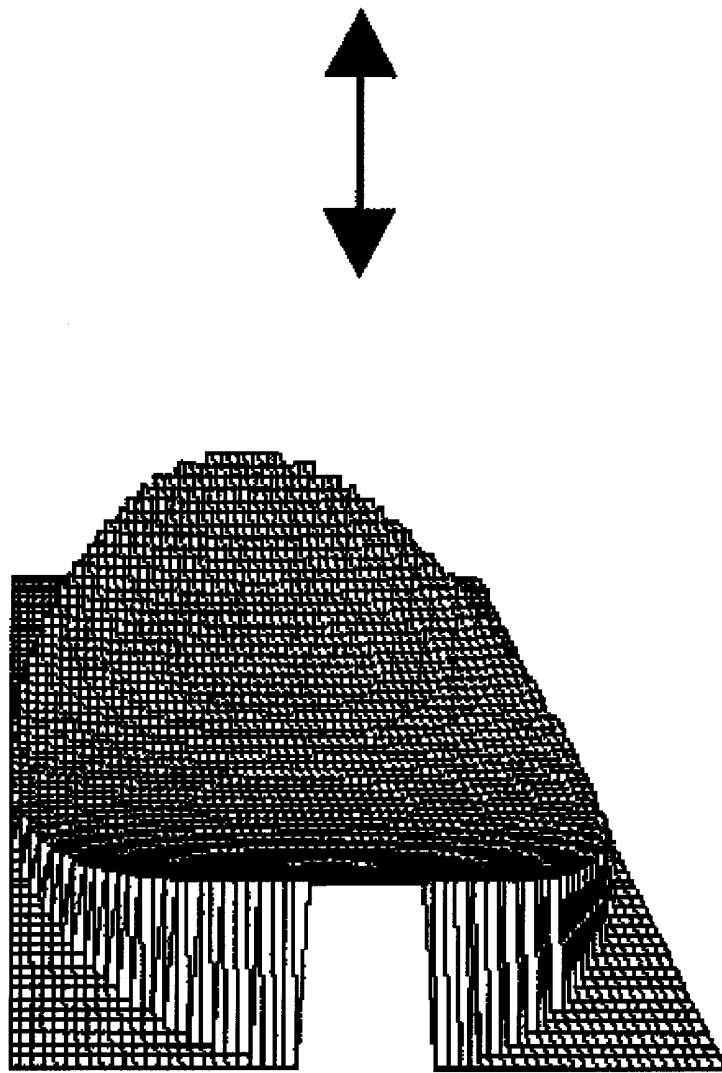
도면13a



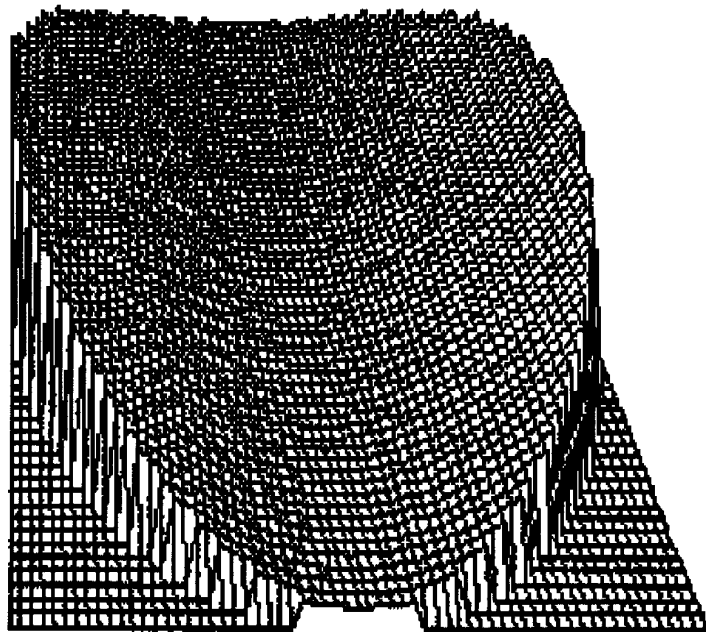
도면13b



도면13c



도면13d



도면14

