



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년01월19일  
(11) 등록번호 10-0879306  
(24) 등록일자 2009년01월12일

(51) Int. Cl.<sup>9</sup>

G01B 11/24 (2006.01) G01B 9/02 (2006.01)  
G01D 3/00 (2006.01) H01L 21/027 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0032764

(22) 출원일자 2007년04월03일

심사청구일자 2007년04월03일

(65) 공개번호 10-2007-0099470

(43) 공개일자 2007년10월09일

(30) 우선권주장

JP-P-2006-00101874 2006년04월03일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문현

JP평성08097666 A

JP2005244126 A

전체 청구항 수 : 총 9 항

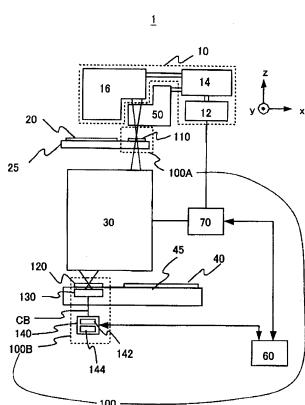
심사관 : 이택상

(54) 측정방법 및 장치와, 노광장치

### (57) 요약

간접 패턴을 검출함으로써 피검 광학계의 파면 수차를 측정하는 측정장치를 이용해 피검 광학계의 파면 수차를 측정하는 측정방법은, 피검 학계 및 측정장치의 구성을 규정하는 값의 설계 값으로부터의 차이를 시스템 파라미터로서 측정하는 스텝과, 시스템 파라미터를 이용해 피검 광학계의 파면 수차를 측정하는 스텝을 포함한다.

대 표 도 - 도1



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

피검 광학계를 통과한 빛에 의해 형성된 간섭 패턴을 검출함으로써 상기 피검 광학계의 파면 수차를 측정하는 측정방법으로서,

기억 매체로부터, 검출된 간섭 패턴으로부터 파면 수차를 산출하는데 사용되는 처리 파라미터를 검색하는 스텝과,

상기 처리 파라미터를 이용해, 상기 검출된 간섭 패턴으로부터 파면 수차를 산출하는 스텝과,

기억 매체로부터, 산출된 파면 수차를 조정하기 위해 사용되는 오프셋 파라미터를 검색하는 스텝과,

상기 오프셋 파라미터를 산출된 파면 수차에 반영시킴으로써, 상기 피검 광학계의 파면 수차를 취득하는 스텝을 포함한 것을 특징으로 하는 측정방법.

### 청구항 2

삭제

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 처리 파라미터는, 상기 간섭 패턴을 발생시키는 부재의 두께, 상기 부재와 상기 간섭 패턴을 활상하는 활상소자와의 사이의 거리, 상기 활상소자 상에 있어서의 상기 간섭 패턴의 중심 좌표, 및 상기 활상소자 상에 있어서의 상기 간섭 패턴의 반경 중 적어도 1개를 포함하는 것을 특징으로 하는 측정방법.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 오프셋 파라미터는, 상기 피검 광학계의 파면 수차의 변화량을 조정하기 위해 사용되는 선형성 개인과, 상기 피검 광학계의 파면 수차의 절대량을 조정하기 위해 사용되는 절대치 중 적어도 1개를 포함하는 것을 특징으로 하는 측정방법.

### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 간섭 패턴을 발생시키는 부재의 두께, 상기 부재와 상기 간섭 패턴을 활상하는 활상소자와의 사이의 거리, 상기 활상소자 상에 있어서의 상기 간섭 패턴의 중심 좌표, 상기 활상소자 상에 있어서의 상기 간섭 패턴의 반경, 상기 피검 광학계의 파면 수차의 변화량을 조정하기 위해 사용되는 선형성 개인, 및 상기 피검 광학계의 파면 수차의 절대량을 조정하기 위해 사용되는 절대치 중 적어도 1개를 취득하는 스텝과,

상기 간섭 패턴을 발생시키는 부재의 두께, 상기 부재와 상기 간섭 패턴을 활상하는 활상소자와의 사이의 거리, 상기 활상소자 상에 있어서의 상기 간섭 패턴의 중심 좌표, 상기 활상소자 상에 있어서의 상기 간섭 패턴의 반경, 상기 피검 광학계의 파면 수차의 변화량을 조정하기 위해 사용되는 선형성 개인, 및 상기 피검 광학계의 파면 수차의 절대량을 조정하기 위해 사용되는 절대치 중 적어도 1개를 상기 시스템 파라미터로서 기억하는 스텝을 포함한 것을 특징으로 하는 측정방법.

### 청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 활상소자 상에 있어서의 간섭 패턴의 중심좌표를 취득하는 스텝은,

상기 피검 광학계에 구면 성분의 수차를 발생시키는 스텝과,

상기 발생스텝에서 발생시킨 상기 수차의 양을 변화시킴으로써 복수의 간섭 패턴 데이터를 취득하는 스텝과,

상기 취득스텝에서 취득한 상기 복수의 간섭 패턴 데이터들 간의 구면 성분 이외의 수차의 변화량이 가장 작은 중심 위치를 상기 중심 좌표로서 결정하는 스텝을 포함한 것을 특징으로 하는 측정방법.

### 청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 활상소자 상에 있어서의 상기 간섭 패턴의 반경을 취득하는 스텝은,

상기 피검 광학계에 기준량의 구면 성분의 수차를 발생시키는 스텝과,

상기 발생스텝에서 발생시킨 상기 수차의 양을 변화시킴으로써 복수의 간섭 패턴 데이터를 취득하는 스텝과,

상기 취득스텝에서 취득한 복수의 간섭 패턴 데이터의 구면 성분의 수차의 변화량과, 상기 기준량의 구면 성분의 수차의 변화량이 일치하는 값을 반경으로서 결정하는 스텝을 포함한 것을 특징으로 하는 측정방법.

### 청구항 8

제 5 항에 있어서,

상기 선형성 개인을 취득하는 스텝은,

상기 피검 광학계에 기준량의 수차를 발생시키는 스텝과,

상기 발생스텝에서 발생시킨 상기 수차의 양을 변화시킴으로써 복수의 간섭 데이터를 취득하는 스텝과,

상기 취득스텝에서 취득한 복수의 간섭 데이터의 수차의 변화량과 기준량의 수차의 변화량과의 비를 산출하는 스텝을 포함한 것을 특징으로 하는 측정방법.

### 청구항 9

피검 광학계를 통과한 빛에 의해 형성된 간섭 패턴을 검출함으로써 피검 광학계의 파면 수차를 측정하는 측정장치로서,

검출된 간섭 패턴으로부터 파면 수차를 산출하는데 사용된 처리 파라미터와 산출된 파면 수차를 조정하는데 사용되는 오프셋 파라미터를 기억하도록 구성된 메모리와,

상기 처리 파라미터를 사용해서 상기 검출된 간섭 패턴으로부터 파면 수차를 산출하고, 상기 오프셋 파라미터를 상기 산출된 파면 수차에 반영시기도록 구성된 처리기를 구비한 것을 특징으로 하는 측정장치.

### 청구항 10

광원으로부터의 빛을 이용해 레티클의 패턴을 기판에 노광하도록 구성된 노광장치로서,

상기 패턴을 상기 기판에 투영하도록 구성된 투영 광학계와,

상기 광원으로부터의 빛을 이용해 상기 투영 광학계의 파면 수차를 측정하도록 구성된 청구항 9에 기재된 측정장치를 구비한 것을 특징으로 하는 노광장치.

## 명세서

### 발명의 상세한 설명

#### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<14>

본 발명은, 측정방법 및 장치에 관한 것이다.

<15>

포토리소그래피 기술을 이용해, 반도체 메모리 및 논리 회로 등의 미세한 반도체소자를 제조할 때에, 종래의 투영 노광장치는 투영 광학계를 통해서 웨이퍼 등의 감광 기판 위에 레티클의 회로 패턴을 투영한다.

<16>

투영 노광장치는, 레티클 패턴을 소정의 배율 또는 축소율로 정확히 웨이퍼에 전사하는 것이 요구되기 때문에, 수차를 극도로 억제하거나 또는 결상 성능이 뛰어난 투영 광학계를 이용하는 것이 중요하다. 특히, 반도체소자

의 급속한 미세화에 수반해, 전사 패턴은, 광학계의 수차에 대해서 민감하다. 이 때문에, 투영 광학계의 파면 수차 등, 광학 성능을 고정밀하게 측정하는 수요가 존재한다. 또, 생산성이나 경제성을 높이는 관점에서는, 측정의 간소화, 신속화, 비용 절감 등도 중요하다.

<17> 광학계의 파면 수차를 측정하는 측정장치로서, 이상 구면파를 형성하기 위한 핀홀을 갖는 점 회절 간섭계(PDI)와, 시아링(shearing) 간섭을 이용하는 시아링 간섭계가 종래부터 알려져 있다. 근래에는, 이상 원주파 또는 이상 타원파를 형성하기 위한 슬릿을 갖는 선 회절 간섭계(LDI)를 이용하는 측정장치가 제안되어 있다(일本国 공개특허공보 특개 2000-97666호 및 특개 2005-244126호 참조).

<18> LDI 방식의 측정장치를 노광장치에 탑재하는 경우, 투영 광학계의 상(像)면측에 측정 마크를 갖는 플레이트(plate)를 배치한다. 이 측정 마크는, 이상 파면을 형성하는 슬릿과, 투영 광학계의 수차 정보를 갖는 파면을 투과하는 창을 포함한다. 이러한 플레이트의 바로 아래에 2차원 수광 소자를 배치하고, 플레이트로부터 발생한 2개의 파면 간의 간섭을 2차원 수광 소자로 활성화한다. 활성화한 간섭 패턴(interferogram) 화상에 화상 처리를 행하여 투영 광학계의 파면 수차를 측정한다.

<19> 그렇지만, 종래의 측정장치는, 투영 광학계의 파면 수차를 고정밀하게 측정할 수가 없다.

<20> 상술한 화상 처리는, 간섭 패턴 화상을 수광면 좌표로부터 투영 광학계의 동공면 좌표로 변환하는 화상 변환 처리와, 화상 변환한 간섭 패턴 데이터로부터 파면 수차의 정보를 산출하는 파면 수차 정보 산출 처리를 포함하고 있다.

<21> 화상 변환 처리는, 광선 추적에 의해, 수광면 상의 각 좌표위치에 있어서의 간섭 패턴 데이터 값이 투영 광학계의 동공면 상의 어느 좌표 위치로부터 도달한 값인지를 산출한다. 따라서, 투영 광학계의 동공면과 수광면과의 사이에 존재하는 각 부재의 구성을 알아 둘 필요가 있다. 측정장치의 구성을 규정하는, 플레이트의 두께, 플레이트와 수광면과의 사이의 거리, 측정 마크와 수광면과의 위치 관계(수광면 상에서의 간섭 패턴의 중심 및 반경)를 화상 변환 처리의 입력 파라미터로서 사용한다. 이하, 본 출원에서는, 입력 파라미터를 총칭해, "처리 파라미터"라고 한다.

<22> 종래기술은, 처리 파라미터 중, 플레이트의 두께와, 플레이트와 수광면과의 사이의 거리에 대해서 설계 값을 이용하고 있었다. 또, 종래기술은, 간섭 패턴의 중심 및 반경에 대해서는, 설계 값을 이용하지만, 화상 처리에 의해 영역을 검출함으로써 그것을 결정하거나, 혹은, 간섭 패턴 화상의 패턴 영역을 시각적으로 검사함으로써 그것을 결정한다. 그러나, 설계 값과 실제의 값 사이에는, 장치의 제조오차, 예를 들면, 투영 광학계의 상고(像高)마다의 테레센트릭(telecentric) 차이, 플레이트의 제조 오차, 및 수광 소자의 배치 오차 등에 의해, 어긋남(shift)이 생긴다. 따라서, 설계 값을 처리 파라미터로서 이용하면, 고정밀한 화상 변환 처리를 수행할 수 없고, 산출된 파면 수차의 정보에는 측정 오차가 포함되어 버린다.

<23> 또한, 실제의 값과의 사이에 어긋남이 없는 설계 값을 처리 파라미터를 이용해 화상 변환 처리를 수행했다고 해도, 장치의 제조 오차, 예를 들면, 투영 광학계의 하부면, 플레이트면, 수광면의 기울기 등을 제거할 수 없기 때문에, 파면 수차의 정보에는 측정 오차가 포함되어 버린다.

<24> 이러한 문제는, LDI 방식의 측정장치에 한정되지 않고, PDI 방식의 측정장치 및 LSI 방식의 측정장치 등, 광학계의 광학 성능을 2차원 정보로서 측정하는 다른 측정장치에서도 마찬가지로 생겨 버린다.

### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<25> 본 발명은, 광학계의 광학 성능, 예를 들면 파면 수차 등을 고정밀하게 측정할 수가 있는 측정방법 및 장치를 제시한다.

### 발명의 구성 및 작용

<26> 삭제

<27> 본 발명에 의하면, 피검 광학계를 통과한 빛에 의해 형성된 간섭 패턴을 검출함으로써 상기 피검 광학계의 파면 수차를 측정하는 측정방법으로서, 기억 매체로부터, 검출된 간섭 패턴으로부터 파면 수차를 산출하는데 사용되는 처리 파라미터를 검색하는 스텝과, 상기 처리 파라미터를 이용해, 상기 검출된 간섭 패턴으로부터 파면 수차를 산출하는 스텝과, 기억 매체로부터, 산출된 파면 수차를 조정하기 위해 사용되는 오프셋 파라미터를 검색하

는 스텝파, 상기 오프셋 파라미터를 산출된 파면 수차에 반영시킴으로써, 상기 피검 광학계의 파면 수차를 취득하는 스텝을 포함한 것을 특징으로 하는 측정방법이 개시된다.

본 발명의 또 다른 목적 또는 그 외의 특징은, 이하, 첨부 도면을 참조해 설명되는 바람직한 실시 예에 의해 밝혀질 것이다.

<28> 본 발명자는, 파면 수차를 고정밀하게 측정하기 위해서, 설계 값보다는 오히려 처리 파라미터에 대한 실제의 값을 사용해 파면 수차를 산출 또는 측정하고, 이러한 파면 수차를 보정할 필요가 있는 것을 찾아냈다. 이러한 보정에는, 예를 들면, 측정장치가 측정한 파면 수차의 수차 변화량을 보정하기 위해 사용된 파라미터(선형성 계인)와, 피검 광학계 이외의 측정장치 내의 부재의 수차를 보정하기 위해 사용된 파라미터(절대치)를 이용할 필요가 있다. 이하, 본 출원에서는, 측정장치가 측정한 파면 수차에 반영시키는 파라미터를 "오프셋 파라미터"라고 한다. 또, "처리 파라미터"와 "오프셋 파라미터"를 총칭해, "시스템 파라미터"라고 한다.

<29> 이와 같이, 본 발명의 측정장치 및 측정방법의 기본적인 원리는, 제조 오차를 화상 처리의 입력 파라미터로서의 "처리 파라미터"에 반영시키고, 화상 처리의 출력으로서 산출된 파면 수차, 예를 들면, Zernike 다항식의 각 항의 수차량에 대해서 "오프셋 파라미터"를 반영시킨다.

<30> 이하, 첨부 도면을 참조해, 본 발명의 일 측면에 따른 노광장치에 대해 설명한다. 각 도면에 있어서, 동일한 부재에 대해서는 동일한 참조 번호를 교부해, 중복하는 설명을 생략한다.

<31> 도 1은, 본 발명의 일 실시 예에 다른 노광장치(1)의 구성을 나타내는 개략 블럭도이다. 노광장치(1)는, 레티클(20)의 회로 패턴을 기판(40)에 노광하는 투영 노광장치이다. 노광장치(1)는, 스텝·앤드·스캔(step-and-scan) 노광 방식을 이용해 웨이퍼(40)를 노광한다. 그러나, 이 노광장치는 스텝·앤드·리피트(step-and-repeat) 방식을 이용할 수도 있다.

<32> 노광장치(1)는, 도 1에 나타낸 바와 같이, 조명 장치(10)와, 레티클(20)을 탑재하는 레티클 스테이지(25)와, 투영 광학계(30)와, 웨이퍼(40)를 탑재하는 웨이퍼 스테이지(45)와, 얼라인먼트 광학계(50)와, 주 제어기(60)와, 투영 제어기(70)와, 측정장치(100)를 구비한다.

<33> 조명장치(10)는, 전사용의 회로 패턴이 형성된 레티클(20)을 조명하고, 광원(12)과, 편향 광학계(14)와, 조명 광학계(16)를 갖는다.

<34> 광원(12)은, 파장 약 193nm의 ArF 엑시머 레이저, 혹은 파장 약 243nm의 KrF 엑시머 레이저 등을 사용할 수가 있다. 그러나, 광원(12)의 종류는, 파장 약 157nm의 F<sub>2</sub> 레이저를 사용해도 괜찮다. 그 레이저의 개수도 한정되지 않는다.

<35> 편향 광학계(14)는, 광원(12)으로부터의 빛을 조명 광학계(16)와 얼라인먼트 광학계(50)에 도광한다.

<36> 조명 광학계(16)는, 레티클(20)을 조명하는 광학계이며, 렌즈, 미러, 옵티컬 인테그레이터(integrator), 조리개 등을 포함한다. 조명 광학계(16)는, 콘텐서 렌즈, 플라이(fly)의 눈 렌즈, 개구 조리개, 옵티컬 인테그레이터, 슬릿, 결상 광학계의 순으로 광학 소자를 정렬한다.

<37> 레티클(20)은, 석영으로 이루어져 있으며, 그 위에는 전사되어야 할 회로 패턴이 형성되어, 레티클 스테이지(25)에 의해 지지 및 구동된다.

<38> 레티클 스테이지(25)는, 레티클(20)을 지지하고, (도시하지 않은) 이동기구에 접속되어 있다. 레티클 스테이지(25)는, 측정장치(100)의 일부 또는 레티클측 측정부 100A를 지지한다. (도시하지 않은) 이동기구는 레티클 스테이지(25)를 이동시켜, 레티클(20) 및 측정장치(100)의 레티클측 측정부 100A를 이동시킬 수가 있다.

<39> 투영 광학계(30)는, 레티클(20)의 패턴을 웨이퍼(40) 상에 결상한다. 투영 광학계(30)는, 굴절계, 반사 굴절계, 또는 반사계를 사용할 수가 있다. 투영 광학계(30)의 광학 성능, 예를 들면, 파면 수차는, 측정장치(100)에 의해 측정된다.

<40> 본 실시 예는, 감광 기판으로서 웨이퍼(40)를 이용하고 있다. 그러나, 웨이퍼 대신에 글라스 플레이트 및 그 외의 기판을 사용해도 좋다. 웨이퍼(40)의 표면에는, 포토레지스트(photoresist)가 도포되어 있다.

<41> 웨이퍼 스테이지(45)는, (도시하지 않은) 웨이퍼 척을 통해서, 웨이퍼(40)를 지지한다. 웨이퍼 스테이지(45)는, 측정장치(100)의 일부 또는 웨이퍼측 측정부 100B를 지지한다. 웨이퍼 스테이지(45)는, 웨이퍼(40) 및 측정장치(100)의 웨이퍼측 측정부 100B를 이동할 수가 있다. 레티클 스테이지(25)와 웨이퍼 스테이지(45)와의 위치는,

얼라인먼트 광학계(50)로 캘리브레이션(calibration)되고, 양자는 일정한 속도 비율로 구동된다.

<42> 얼라인먼트 광학계(50)는, 얼라인먼트 스코프(alignment scope)로 구성되고, 통상의 노광시에는 광로 외부에 배치되어 있다. 도 1에서는, 얼라인먼트 광학계(50)를 구동하는 구동기구를 생략하고 있다. 얼라인먼트 광학계(50)는, 레터클(20) 상의 (도시하지 않은) 얼라인먼트 마크와 웨이퍼(40) 상의 얼라인먼트 마크를, 투영 광학계(30)를 통해서 결상함으로써, 레터클(20)과 웨이퍼(40)와의 위치를 맞춘다.

<43> 주 제어기(60)는, CPU와 메모리를 갖고, 노광장치(1)의 동작을 제어한다. 주 제어기(60)는, 측정장치(100)로부터 송신된 투영 광학계(30)의 파면 수차에 근거해, 파면 수차의 보정에 필요한 렌즈 구동량 및 파장 구동량을 산출하고, 그 결과를 투영 제어기(70)에 출력한다.

<44> 투영 제어기(70)는, 투영 광학계(30)를 구성하는 복수의 렌즈를 구동하는 렌즈 구동계 및 광원(12)으로부터의 노광 광의 파장을 제어한다. 투영 제어기(70)는, 투영 광학계(30)의 수차량을 소망의 수차량으로 조정한다. 투영 제어기(70)는, 주 제어기(80)로부터의 렌즈 구동량에 근거해, 투영 광학계(30)의 복수의 렌즈를 변위시킨다. 투영 광학계(70)는, 주 제어기(80)로부터의 파장 구동량에 근거해 광원(12)으로부터의 노광 광의 파장을 변경한다.

<45> 본 실시 예의 측정장치(100)는, 피검 광학계로서의 투영 광학계(30)의 광학 성능, 예를 들면 파면 수차 등을 검출함으로써 간접 패턴을 검출하는 LDI 방식을 포함한다. 측정장치(100)는, 도 1에 나타낸 바와 같이, 레터클 측정부 100A와, 웨이퍼 측정부 100B를 갖는다.

<46> 레터클 측정부 100A는, 레터클 스테이지(25) 상에 형성되고, 제1 마스크(110)를 갖는다. 웨이퍼 측정부 100B는, 웨이퍼 스테이지(45) 상에 형성되고, 제2 마스크(120)와, 활상소자(130)와, 측정 제어기(140)를 갖는다.

<47> 본 실시 예의 제1 마스크(110)는, 레터클 스테이지(25) 상에 배치된다. 제1 마스크(110)는, 예를 들면, 석영 및 형석 등의 투명 기판과, 이러한 투명 기판 상에 마스크 패턴을 형성하는 크롬 등으로 구성된다. 조명 광학계(16)로부터의 빛은, 레터클 스테이지(25) 상에 배치된 제1 마스크(110)에 집광한다. 제1 마스크(110)에 집광하는 빛은, 투영 광학계(30)의 레터클 측, 혹은 물체측의 NAo와 같은  $\sigma=1$ 의 조명을 제공한다.

<48> 도 2는, 제1 마스크(110)의 구성을 나타낸 개략 평면도이다. 제1 마스크(110)는,  $0^\circ$  방위(Y방향)에 배치된 슬릿 112a 및 창 112b로 구성되는 마크 112와,  $90^\circ$  방위(X방향)에 배치된 슬릿 114a 및 창 114b로 구성되는 마크 114를 포함한다. 마크 112와 마크 114는, 같은 폭과 간격을 갖고, 배치 방위만 서로 다르다. 슬릿 112a 및 114a의 폭  $\Delta r$ 은, 투영 광학계(30)의 레터클 측, 또는, 물체측의 개구수를 NAo, 제1 마스크(110)를 조명하는 빛의 파장을  $\lambda$ 로 하면, 이하에 나타낸 수식 1을 만족한다.

<49> [수 1]

$$\Delta r < 0.5 \times \lambda / NAo$$

<51> 슬릿 112a 및 114a의 폭이 수식 1을 만족하면, 슬릿 112a 및 114a로부터 회절한 빛은, NAo의 범위에 있어서 등위상(equiphas)으로서 간주할 수가 있다.

<52> 한편, 창 112b 및 112b의 폭  $\Delta r'$ 는,  $\lambda / NAo$  이하의 크기이지만, 수식 1과 같게 설정되어도 좋다. 창 112b 및 114b를 통과한 빛은, 후술하는 바와 같이, 웨이퍼 측에서 수식 1을 만족하는 폭의 슬릿을 통과하기 때문에, 레터클 측에서 등위상이 필요하지 않다. 따라서, 광량의 관점에서, 창 112b 및 112b의 폭  $\Delta r'$ 는,  $\lambda / NAo$  이하의 크기의 범위에 있어서, 넓게 하는 것이 바람직하다.

<53> 또, 제1 마스크(110)는, 마크 112와 같은 형상의 마크 116과, 마크 114와 같은 형상의 마크 118도 포함한다. 이 것에 의해, 마크 112 및 114가 열화했을 경우에, 마크 116 및 118을 대용 마크로서 사용하거나, 레터클 스테이지(25)를 구동하는 일없이, 다른 상고에 있어서의 파면 수차를 측정하거나 하는 것이 가능하다.

<54> 제2 마스크(120)는, 도 3에 나타낸 바와 같이,  $0^\circ$  방위(Y방향)에 배치된 슬릿 121a 및 창 121b로 구성되는 마크 121과,  $90^\circ$  방위(X방향)에 배치된 슬릿 122a 및 창 122b로 구성되는 마크 122를 포함한다. 도 3은, 제2 마스크(120)의 구성을 나타내는 개략 평면도이다. 마크 121과 마크 122는, 같은 폭 및 간격을 갖고, 배치 방위만 서로 다르다. 슬릿 121a 및 122a의 폭  $\Delta w$ 는, 투영 광학계(30)의 웨이퍼 측, 또는 상(image) 측의 개구 수를 NAi로 하고, 제1 마스크(110)를 조명하는 빛의 파장을  $\lambda$ 로 하는, 이하의 수식 2를 만족한다.

&lt;55&gt;

[수 2]

$$\Delta w < 0. 5 \times \lambda / NA i$$

&lt;56&gt;

<57> 슬릿 121a 및 122a의 폭이, 수식 2를 만족하면, 슬릿 121a 및 122a로부터 회절한 빛은, NAI의 범위에 있어서 등 위상으로 간주할 수가 있다.

&lt;58&gt;

창 121b 및 122b의 폭  $\Delta w'$ 는, 측정하는 투영 광학계(30)의 공간 주파수에 의해 설정한다. 예를 들면, 고주파를 측정하고 싶은 경우에는 넓게 설정하고, 저주파를 측정하고 싶은 경우에는 좁게 설정한다. 투영 광학계(30)의 동공의 공간 주파수를 f라고 하면, 창 121b 및 122b의  $\Delta w'$ 는, 이하에 나타낸 수식 3을 만족한다.

&lt;59&gt;

[수 3]

$$\Delta w' = 2 \times f \times \lambda / NA i$$

&lt;60&gt;

<61> 광량의 관점에서, 슬릿과 창의 길이  $L_w$ 는 긴 것이 좋지만, 투영 광학계(30)의 수차를 동일하다고 간주할 수가 있는, 소위, 아이소프라나틱(isoplanatic) 영역 내에 있는 것이 필요하다.

&lt;62&gt;

또, 제2 마스크(120)는, 마크 121 및 마크 122와 같은 형상의 마크 123 내지 125와, 마크 126 내지 128도 포함한다. 마크 123 내지 125 및 마크 126 내지 128은, 마크 121 및 마크 122의 각각의 예비 마크이며, 예를 들면, 마크 121 및 마크 122가 열화하거나 먼지의 부착 등에 의해 사용할 수 없게 되었을 경우에 이용된다. 덧붙여, 이하의 설명에서는, 마크 112, 116, 121, 123 내지 125를 X 마크라고 칭하고, 마크 114, 118, 122, 126 내지 128을 Y 마크라고 칭한다.

&lt;63&gt;

촬상소자(130)는, CCD 등의 광전 변환소자로 구성된다. 촬상소자(130)는, 케이블 CB를 통해서, 측정 제어기(140)와 통신 가능하게 측정 제어기(140)에 접속된다.

&lt;64&gt;

측정 제어기(140)는, 처리부(142)와 메모리(144)를 갖는다. 처리기(142)는, 촬상소자(130)로부터 입력되는 간섭 패턴 데이터에 근거해, 투영 광학계(30)의 수차 정보를 취득하는데 필요한 처리를 실행한다. 메모리(144)는, 처리기(142)의 처리에 필요한 정보, 예를 들면, 오프셋 파라미터와, 처리 결과에 관한 데이터 그룹, 예를 들면 과면 수차 데이터 및 Zernike 각 항을 저장한다.

&lt;65&gt;

처리기(142)는, 위상 정보를 산출할 때에, 예를 들면, 푸리에(Fourier) 변환법이나 전자 무아레(moire) 등을 이용한다. 푸리에 변환법은, 1개의 간섭 패턴 화상으로부터 2차원 푸리에 변환에 의해 분리된 피점 광학계의 파면 정보를 포함한 공간 주파수 영역을 추출하고, 그것을 원점에 대하여 시프트한 후, 역푸리에 변환을 통해서 위상 정보를 취득하는 방법이다. 전자 무아레법은, 우선, 1개의 간섭 패턴 화상과 같은 캐리어 주파수를 이용하고, 위상 시프트시킨 적어도 3개 이상의 참조 격자 화상을 작성한다. 간섭 패턴 화상 및 상술한 참조 격자 화상으로부터 작성한 적어도 3개 이상의 무아레 패턴은, 로우패스 필터 및 위상 시프트법의 처리를 행함으로써 위상 정보를 추출한다. 전자 무아레법은, 활상한 간섭 패턴 또는 미리 메모리(144)에 저장한 참조 격자 화상을 곱해 처리하는 것이 가능하다. 측정 제어기(140)의 메모리(144)에 저장된 투영 광학계(30)의 파면 수차 정보는, 주 제어기(60)에 송신된다.

&lt;66&gt;

이하, 도 4를 참조해, 측정장치(100)의 동작 또는 투영 광학계(30)의 파면 수차를 측정하는 측정방법 1000에 대해 설명한다. 도 4는, 본 발명의 일 측면에 따른 측정방법 1000을 설명하기 위한 플로차트이다.

&lt;67&gt;

측정방법 1000은, 우선, 투영 광학계(30) 및 측정장치(100)의 구성을 규정하는 값의 설계 값으로부터의 차이를 나타내는 시스템 파라미터를 측정 및 기억한다(스텝 1100). 시스템 파라미터는, 화상 처리시에 입력(간섭 패턴으로부터 투영 광학계(30)의 파면 수차를 산출하기 위해 사용되는)하기 위한 처리 파라미터와, 이러한 처리 파라미터를 이용해 산출된 파면 수차를 보정 또는 조정하기 위한 오프셋 파라미터를 포함한다.

&lt;68&gt;

그 다음에, 스텝 1100에서 측정 및 기억한 시스템 파라미터 중, 처리 파라미터를 호출하고(스텝 1200), 호출한 처리 파라미터를 이용해 투영 광학계(30)의 파면 수차를 산출한다(스텝 1300). 마지막으로, 스텝 1300에서 산출한 투영 광학계(30)의 파면에, 오프셋 파라미터를 반영시킨다(스텝 1400).

&lt;69&gt;

처리 파라미터는, 투영 광학계(30)의 파면 수차를 산출하기 위해 사용된 화상 처리를 실행할 때에 필요한 파라미터이다. 처리 파라미터는, 예를 들면, 제2 마스크(120)의 두께(상세하게는, 제2 마스크(120)를 구성하는 투명 기판의 두께), 제2 마스크(120)와 촬상소자(130) 간의 거리, 처리 중심 및 반경 등을 포함한다. 여기서, 처리

중심 및 반경이란, 제2 마스크(120)의 각 마크로부터 사출되는 빛에 의해, 활상소자(130) 상에 형성된 간섭 패턴의 처리영역이다.

- <70> 오프셋 파라미터는, 상술한 것처럼, 처리 파라미터를 이용해 산출된 과면 수차를 보정하기 위해 사용된 파라미터이다. 오프셋 파라미터는, 예를 들면, 절대치 보정량, 예를 들면 투영 광학계(30) 이외의 측정장치(100) 또는 노광장치(1)를 구성하는 부재의 수차량과, 선형성 계인(Zernike 다항식 각 항의 수차 변화량 보정값) 등이다.
- <71> 이하, 도 4에 나타낸 각 스텝의 상세한 내용에 대해 설명한다.
- <72> 도 5는, 스텝 1100의 시스템 파라미터의 측정 및 기억의 상세한 플로차트이다.
- <73> 우선, 측정 위치 이동공정(스텝 1110)은, 조명 광학계(16)와, 제1 마스크(110)와, 제2 마스크(120)와의 위치를 맞춘다.
- <74> 광원(12)으로부터 사출한 빛은, 편향 광학계(14)를 통해서, 조명 광학계(16)에 입사하고, 조명 광학계(16)의 σ 조리개는, 제1 마스크(110)의 마크 112만을 조사하도록 조정된다. 슬릿 112a는 수식 1을 만족하는 폭을 갖기 때문에, 슬릿 112a로부터 사출한 빛은, X방향으로 등위상의 과면을 갖는 회절광이 된다. 이것에 의해, 투영 광학계(30)의 동공 전면에 빛이 조사된다. 한편, 제1 마스크(110)의 창 112b를 통과한 빛은, 조명 광학계(16)의 수차를 포함한다.
- <75> 제2 마스크(120)는, 제1 마스크(110)의 마크 112로부터 사출한 빛이, 투영 광학계(30)에 의해 제2 마스크(120)의 마크 121에 결상하도록, 웨이퍼 스테이지(45)를 통해서 조정된다. 이것에 의해, 제1 마스크(110)의 슬릿 112a는 제2 마스크(120)의 창 121b에 결상하고, 제1 마스크(110)의 창 112b는 제2 마스크(120)의 슬릿 121a에 결상한다.
- <76> 제2 마스크(120)의 슬릿 121a에서 회절된 빛은, X방향으로 등위상 과면을 갖는다. 한편, 제2 마스크(120)의 창 121b를 통과하는 빛은, 슬릿 112a에 의해 X방향으로 등위상 과면에 정형된 후, 투영 광학계(30)를 통과하기 때문에, 투영 광학계(30)의 과면 수차 정보를 갖고 있다.
- <77> 제2 마스크(120)의 슬릿 121a 및 121b로부터 사출한 빛을 도 6에 나타낸다. 도 6을 참조하면, 슬릿 121a를 통과한 빛은, X방향의 이상 과면 WSa이며, 창 121b를 통과한 빛은, 피검 과면 WSb이다.
- <78> 활상소자(130)가 검출하는 슬릿 121a로부터 사출한 빛과 창 121b로부터 사출한 빛과의 간섭 패턴의 일례를 도 7에 나타낸다. 도 7을 참조하면, 슬릿 121a와 창 121b와의 간격만큼 중심이 어긋난 투영 광학계(30)의 동공의 상이 2개 활상되고, 이러한 중복 영역에 간섭 패턴이 발생하고 있다.
- <79> 도 5로 돌아와, 처리 파라미터 산출공정(스텝 1120)은, 활상소자(130)가 검출하는 간섭 영역의 중심의 좌표 및 반경을 산출한다. 구체적으로는, 투영 제어기(70)가 발생시키는 기준의 구면 성분의 수차량을 올바르게 측정하기 위해 사용된 중심 및 반경 위치를 취득함으로써, 간섭 패턴의 중심 좌표 및 반경을 산출한다. 덧붙여, 본 실시 예에서는, 처리 파라미터 중, 제2 마스크(120)의 두께와, 제2 마스크(120)와 활상소자(130)과의 사이의 거리는, 노광장치(1) 이외의 공지의 측정장치로 미리 측정되고, 이를 값은 측정 제어기(140)의 메모리(144)에 기억되어 있다.
- <80> 처리 파라미터 산출공정(스텝 1120)은, XY 위치 이동공정 1122과, 수차량 설정공정 1124과, 처리 파라미터 결정 공정 112를 갖는다.
- <81> XY 위치 이동공정 1122는, X 마크로부터 Y 마크로 위치를 이동하지만, 본 실시 예에서는, 측정 위치 이동공정 1110에 있어서 X 마크 위치로의 이동을 종료하고 있다. 따라서, X 마크의 처리 파라미터를 산출할 때에는, 아무 것도 실시하지 않고 다음의 스텝으로 이행한다.
- <82> 수차량 설정공정 1124에서는, 미리, 투영 광학계(30)의 수차량, 렌즈 구동량 및 파장 변화량과의 관계가 조정되어 있는 투영 제어기(70)를 통해서, 투영 광학계(30)의 렌즈 군을 구동한다. 이 구성에 의해, 투영 광학계(30)에 구면 수차를 발생시키고, 그 수차량을 바꾸면서, 활상소자(130)가 간섭 패턴 데이터를 활상한다. 활상소자(130)는, 예를 들면, 구면 수차에  $100\text{m}\lambda$ ,  $200\text{m}\lambda$ ,  $300\text{m}\lambda$ 의 수차가 발생하고 있는 3개의 간섭 패턴 데이터를 활상한다. 활상한 복수의 간섭 패턴 데이터는, 측정 제어기(140)에 출력된다.
- <83> 스텝 1126에서는, X 마크 및 Y 마크의 간섭 패턴 데이터가, 측정 제어기(140)에 출력되었는지 아닌지를 판단한다. 본 실시 예에서는, Y 마크의 간섭 패턴 데이터가 측정 제어기(140)에 출력되어 있지 않기 때문에, 스텝 1122로 돌아와, X 마크 위치로부터 Y 마크 위치로 이동한다. 구체적으로는, 조명 광학계(16)로부터의 빛이, 제1

마스크(110)의 마크 114를 조명하도록, 레터를 스테이지(25)(제1 마스크(110))가 이동한다. 더욱, 마크 114로부터 사출하는 빛이, 투영 광학계(30)를 통해서, 제2 마스크(120)의 마크 122에 결상하도록, 웨이퍼 스테이지(45)(제2 마스크(120))를 조정한다. 이것에 의해, 제1 마스크(110)의 슬릿 110a는 제2 마스크(120)의 창 120b에 결상한다. 제1 마스크(110)의 창 110b는, 제2 마스크(120)의 슬릿 120a에 결상한다. 그리고, X 마크의 경우와 같이, 투영 광학계(30)에 구면 수차를 발생시키고, 그 수차량을 바꾸면서, 활상소자(130)가 간접 패턴 데이터를 활상한다.

<84> X 마크 및 Y 마크의 간접 패턴 데이터가 측정 제어기(140)에 출력되면, 처리 파라미터 결정공정 1128에 있어서, 측정 제어기(140)에 입력된 복수의 간접 패턴 데이터에 근거해, 처리 파라미터(간접 패턴의 중심 좌표 및 반경)를 결정한다.

<85> 상세하게는, 우선, 간접 패턴의 중심 좌표를 산출한다. 활상한 X 마크의 간접 패턴 데이터로부터 취득되는 파면 수차에 있어서, 스텝 1124에서, 투영 광학계(30)에 있어서는 X 방향으로만 구면 수차가 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서, 간접 패턴의 중심 근방에 있어서, 중심 좌표를 XY 방향으로 하면서 수차량이 다른 복수의 간접 패턴의 처리를 수행한다. 그리고, 파면 수차를 Zernike 다항식에 전개했을 때의 코마(coma) 성분의 수차 변화량이 가장 작은 중심 위치를, 간접 패턴의 중심 좌표로서 결정하면 된다.

<86> 또, X 마크와 같이, Y 마크의 간접 패턴 데이터로부터 취득되는 파면 수차에 있어서, 투영 광학계(30)에 있어서는 Y방향으로만 구면 수차가 발생하고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서, 간접 패턴의 중심 근방에 있어서, 파면 수차를 Zernike 다항식에 전개했을 때 중심 좌표를 XY 방향으로 하여 복수의 간접 패턴의 처리를 수행한다. 코마 성분의 수차 변화량이 가장 작은 중심 위치를, 간접 패턴의 중심 좌표로서 결정한다.

<87> 상술한 간접 패턴의 중심 좌표의 결정방법은, 간접 패턴의 반경의 크기에 의존하지 않고, 반경에는 일시적으로 고정값, 예를 들면, 설계 값을 이용하면 좋다. 간접 패턴의 중심 좌표를 결정하기 위해서는, 활상한 복수의 간접 패턴 데이터 중 적어도 2개의 수차량의 데이터를 사용하면 된다. 또한, 3개 이상의 수차량의 데이터를 사용해도 되고, 그러한 변화량의 평균값을 이용해도 괜찮다.

<88> 그 다음에, 결정한 간접 패턴의 중심 좌표를 이용해 간접 패턴의 반경을 결정한다. 활상한 복수의 간접 패턴 데이터를 같은 반경으로 처리하여, 구면 수차량, 예를 들면, Zernike 다항식의 9항의 수차량을 산출한다. 이러한 구면 수차량은, XY 파면을 합성한 후의 파면 수차를 이용해 산출된다. XY 파면의 합성에 대해서는, 다음에 상세히 설명한다. 이러한 처리를, 서로 다른 반경으로 반복하고, 스텝 1124에 의해 미리 알려져 있는 복수의 간접 패턴 데이터들 간의 수차 변화량과 일치하는 변화량이 산출되는 반경 위치를, 간접 패턴의 반경으로서 결정한다.

<89> 이상의 스텝에 의해, X 및 Y 마크의 1세트의 측정 위치에 있어서의 처리 파라미터, 예를 들면, 제2 마스크(120)의 두께, 제2 마스크(120)와 활상소자(130)와의 거리, 및 간접 패턴의 중심 좌표 및 반경이 모두 결정된다.

<90> 오프셋 파라미터 산출공정 1130에서는, 오프셋 파라미터를 산출한다. 여기에서는, 선형성 계인, 예를 들면, Zernike 다항식의 각 항의 수차 변화량의 보정값을 예로서, 오프셋 파라미터 산출 공정을 설명한다. 예를 들면, 투영 제어기(70)에 의해 발생된 기준의 구면 수차의 변화량과, 측정한 투영 광학계(30)의 수차의 변화량이 일치하도록 선형성 계인을 결정한다.

<91> 오프셋 파라미터 산출공정 1130은, 수차량 설정 공정 1132)과, 파면 수차 측정공정 1134과, 오프셋 파라미터 결정공정 1138을 갖는다.

<92> 수차량 설정공정 1132은, 투영 제어기(70)에 의해 투영 광학계(30)의 렌즈를 구동하고, 투영 광학계(30)의 수차량을 소망의 수차량으로 억제한다. 예를 들면, Zernike 다항식의 제5항의 선형성 계인을 산출하기 위해서는, Zernike 다항식의 제5항에  $10m\lambda$ 를 발생시킨다.

<93> 파면 수차 측정공정 1134에서는, 투영 광학계(30)에 상술한 수차량이 발생하고 있는 상태에서, 투영 광학계(30)의 파면 수차를 측정한다. 도 8은, 스텝 1134의 파면 수차 측정공정의 상세한 플로차트이다. 파면 수차 측정 공정 1134는, 도 8에 나타낸 바와 같이, X방향 파면 수차 산출공정 1134A와, Y 방향 파면 수차 산출공정 1134B와, XY 파면 합성공정 1134C를 갖는다.

<94> X 방향 파면 수차 산출공정 1134A는, XY 위치 이동공정 1122와 같이, 조명 광학계(16)와, 제1 마스크(110)(마크 112)와, 제2 마스크(120)(마크 121)와의 위치를 맞춘다. 다음에, 활상소자(130)는, 마크 121로부터 발생한 간접 패턴 데이터를 활상한다. 활상한 간접 패턴 데이터를, 측정 제어기(140)가 처리하여, X 방향으로 투영 광학계

(30)의 수차 정보를 갖는 X방향 파면 수차를 산출한다.

- <95> Y 방향 파면 수차 산출공정 1134B에서는, 조명 광학계(16)와, 제1 마스크(110)(마크 114)와, 제2 마스크(120)(마크 122)와의 위치를 맞춘다. 다음에, 활상소자(130)는, 마크 122로부터 발생하는 간섭 패턴 데이터를 활상한다. 활상한 간섭 패턴 데이터를, 측정 제어기(140)가 처리하여, Y 방향으로 투영 광학계(30)의 수차 정보를 갖는 Y 방향 파면 수차를 산출한다.
- <96> XY 파면 합성공정 1134C에서는, 스텝 1134A에서 산출한 X 방향 파면 수차와, 스텝 1134B에서 산출한 Y 방향 파면 수차를 합성하고, 2차원 방향으로 투영 광학계(30)의 수차 정보를 갖는 투영 광학계(30)의 파면 수차를 산출한다. 이러한 파면 수차로부터 Zernike 다항식의 각 항(예를 들면, Zernike 다항식의 제5항 내지 제 36항)을 산출하고, 측정 제어기(140)의 메모리(144)에 기억한다. 메모리(144)에 기억한 Zernike 다항식의 각 항에는, 투영 광학계(30)의 수차 정보 외에, 측정장치(100) 및 노광장치(1)의 제조 및 설치 오차가 포함되어 있다.
- <97> 파면 수차 측정공정 1134 후에, 스텝 1136은, 모든 수차량에 대해서, 투영 광학계(30)의 파면 수차의 측정이 종료했는지 아닌지를 판단한다. 투영 광학계(30)의 모든 파면 수차의 측정이 종료하지 않았으면, 이 순서는 스텝 1132로 돌아와 수차량을 변화시켜, 투영 광학계(30)의 파면 수차를 측정한다(스텝 1134).
- <98> Zernike 다항식의 제5항의 선형성 계인을 산출하기 위해서는, 예를 들면, 스텝 1132와 스텝 1134를, Zernike 다항식의 제5항에  $10m\lambda$ 마다( $10m\lambda$ ,  $20m\lambda$ , ...) 수차량을 변화시키면서 10회 반복한다.
- <99> 오프셋 파라미터 결정공정 1138에서는, 오프셋 파라미터, 예를 들면, 본 실시 예에서는, Zernike 다항식의 제5항의 선형성 계인을 결정한다. 구체적으로는, 상술한 10개의 Zernike 다항식의 제5항의 상대 변화량은, 투영 제어기(70)를 통해서 투영 광학계(30)에 발생시킨 수차 변화량( $10m\lambda$ 마다)과는 다르다. 따라서, 측정장치(100)가 측정한 파면 수차의 변화량과 투영 제어기(70)에서 발생시킨 투영 광학계(30)의 수차 변화량의 비를, 변화량의 보정값(선형성 계인)으로서 결정한다.
- <100> 이와 같이 해서, Zernike 다항식의 제5항의 선형성 계인이 결정된다. Zernike 다항식의 제6항 이상의 각 항의 선형성 계인을 결정할 때에, 스텝 1132는, 수차를 발생시키는 항의 수를 변경해서, 제5항의 선형성 계인을 결정하기 위해 사용된 경우와 같은 동작을 반복한다.
- <101> 시스템 파라미터 기억공정 1140은, 스텝 1120과 1130에서 산출한 시스템 파라미터, 예를 들면 처리 파라미터 및 오프셋 파라미터를, 측정 제어기(140)의 메모리(144)에 기억시킨다. 상세하게는, 제1 마스크(110)의 마크 112 및 114와 제2 마스크(120)의 마크 121 및 122를 투영 광학계(30)의 파면 수차의 측정에 이용했을 경우, 처리 파라미터 및 오프셋 파라미터를, 측정 제어기(140)의 메모리(144)에 기억시킨다. 여기서, 처리 파라미터는, 예를 들면, 제2 마스크(120)의 두께, 제2 마스크(120)와 활상소자(130)과의 사이의 거리, 및 간섭 패턴의 중심 좌표 및 반경이다. 오프셋 파라미터는, 예를 들면, Zernike 다항식의 제5항 내지 제36항의 각 항의 선형성 계인이다.
- <102> 절대치를 시스템 파라미터에 포함하는 경우에는, 최선의 노광 결과를 제공하는 투영 광학계(30)의 파면 상태를, 미리 전용 측정장치가 측정하고, 그것을 측정 제어기(140)의 메모리(144)에 기억해 둔다.
- <103> 스텝 1142에서는, 모든 측정 위치에서, 시스템 파라미터의 기억이 종료했는지 어떠했는지 판단한다. 측정 위치란, 예를 들면, 예비 마크를 이용할 때의 측정 위치와, 다른 상고를 측정할 때의 측정 위치를 나타낸다. 모든 측정 위치에 있어서, 시스템 파라미터의 기억이 아직 종료하지 않은 경우에는, 이 순서는 스텝 1110으로 돌아와, 측정 위치를 이동하고(예를 들면, 제1 마스크(110)의 마크 116 및 118과 제2 마스크(120)의 마크 121 및 122), 그 후, 마찬가지로, 스텝 1120으로부터 스텝 1140을 실시한다. 모든 측정 위치에 있어서, 시스템 파라미터의 기억이 종료한 경우는, 도 4에 나타낸 스텝 1100의 시스템 파라미터의 측정 및 기억을 종료한다.
- <104> 스텝 1100은, 측정장치(100)의 제조 후에 한 번만 실행되면 된다. 투영 광학계(30)의 파면 수차를 측정할 때에는, 스텝 1100에서 기억한 시스템 파라미터를 이용해, 이하에 설명하는 스텝 1200으로부터 스텝 1400까지의 동작을 수행하면 된다.
- <105> 처리 파라미터 호출공정 1200에서는, 투영 광학계(30)의 파면 수차의 측정에 사용하는 제1 마스크(110)의 마크 및 제2 마스크(120)의 마크에 대응하는 처리 파라미터를 측정 제어기(140)의 메모리(144)로부터 호출한다.
- <106> 투영 광학계(30)의 파면 수차의 호출공정 1300에서는, 스텝 1200에서 호출한 파라미터를 이용해, 상술한 파면 수차 측정공정 1134과 같은 투영 광학계(30)의 파면 수차의 Zernike 다항식의 각 항을 산출한다. 여기서, Zernike 다항식의 각 항이란, 예를 들면, Zernike 다항식의 제5항 내지 제36항이다.

- <107> 오프셋 파라미터의 반영공정 1400에서는, 측정 제어기(140)의 메모리(144)로부터 오프셋 파라미터를 호출한다. 오프셋 파라미터는 투영 광학계(30)의 파면 수차의 측정에 사용하는 제1 마스크(110)의 마크 및 제2 마스크(120)의 마크에 대응한다. 호출한 오프셋 파라미터는, 스텝 1300에서 산출한 투영 광학계(30)의 파면 수차에 반영시킨다. 예를 들면, Zernike 다향식의 제5항 내지 제36항의 각 항의 선형성 계인을 스텝 1300에서 산출한 투영 광학계(30)의 파면 수차에 곱셈함으로써, 스텝 1300에서 산출한 제5항 내지 제36항의 각 항의 수차 변화량을 보정한다. 더욱, 측정 제어기(140)의 메모리(144)에 기억해 둔 절대치 보정량에 의해, 스텝 1300에서 산출한 투영 광학계(30)의 파면 수차의 절대치를 보정한다.
- <108> 이와 같이, 측정장치(1) 및 측정방법 1000(스텝 1100 내지 스텝 1400)에 의하면, 측정위치(다른 마크 위치 및 상고위치)에 있어서, 측정장치(100) 및 노광장치(1)의 제조 및 설치 오차에 기인해 발생하는 수차 성분을 제거할 수가 있다. 따라서, 측정장치(1) 및 측정방법 1000은, 투영 광학계(30)의 파면 수차만을 고정밀하고 신속하게 측정할 수가 있다.
- <109> 측정장치(1)는, LDI 외에도, PDI를 이용해도 괜찮다. PDI의 측정장치(1)가, 상술한 LDI와 같은 순서를 이용하지만, 제1 마스크(110)의 구성 및 제2 마스크(120)의 구성은 서로 다르다. 여기에서, 도 9는 제1 마스크(110')의 구성을 나타내는 개략 평면도이고, 도 10은, 제2 마스크(120')의 구성을 나타내는 개략 평면도이다.
- <110> 제1 마스크(110')는, 도 9에 나타낸 바와 같이, 핀홀 112'a 및 창 112'b로 구성되는 마크 112'를 포함한다. 제1 마스크(110')는, 마크 112'와 같은 형상의 마크 114'를 포함한다. 핀홀 112'a의 지름  $\Delta r$ 는, 투영 광학계(30)의 레터클측, 또는 물체측의 개구수를  $NAo$ 로 하면, 상술한 수식 1을 만족한다.
- <111> 핀홀 112'a의 지름이, 수식 1을 만족하면, 핀홀 112'a로부터 회절되는 빛은,  $NAo$ 의 범위에 있어서 등위상으로서 간주할 수가 있다.
- <112> 한편, 창 112'b의 폭  $\Delta r'$ 는,  $\lambda/NAo$  이하의 크기를 갖지만, 수식 1과 동일하게 설정되어도 좋다. 그러나, 창 112'b를 통과한 빛은, 후술한 바와 같이, 웨이퍼측에서 수식 1을 만족하는 폭의 핀홀을 통과하기 때문에, 레터클측에서 등위상을 필요로 하지 않는다. 따라서, 광량의 관점에서, 창 112'b의 폭  $\Delta r'$ 는,  $\lambda/NAo$  이하의 크기 범위에 있어서, 넓게 유지하는 것이 바람직하다.
- <113> 제2 마스크(120')는, 도 10에 나타낸 바와 같이, 핀홀 121'a 및 창 121'b로 구성되는 마크 121'와, 마크 121'와 같은 형상의 마크 122' 내지 124'도 포함한다. 핀홀 121'a의 지름  $\Delta w$ 는, 투영 광학계(30)의 웨이퍼측 또는 상(image)측의 개구수를  $NAi$ 로 하고, 제1 마스크(110)를 조명하는 빛의 파장을  $\lambda$ 로 해서, 상술한 수식 2를 만족한다.
- <114> 창 121'b의 폭  $\Delta w'$ 는, 측정하는 투영 광학계(30)의 공간 주파수에 의해 설정된다. 예를 들면, 고주파를 측정할 경우에는 넓게 하고, 저주파를 측정할 경우에는 좁게 한다. 투영 광학계(30)의 동공의 공간 주파수를  $f$ 로 하면, 창 121'b의 폭  $\Delta w'$ 는, 상술한 수식 3을 만족한다. 여기서, 동공 반경에서 일주기의 파면 수차의 주파수  $f$ 를 1로 설정한다.
- <115> 이하, PDI를 이용하는 측정장치(100)의 동작 또는 투영 광학계(30)의 파면 수차를 측정하는 측정방법에 대해 설명한다. 이러한 측정방법은, 도 4에 나타낸 플로차트와 같다. 그러나, 도 5에 나타낸 시스템 파라미터의 측정 및 기억(스텝 1100)의 플로우가, 도 11에 나타낸 시스템 파라미터의 측정 및 기억(스텝 1100')의 플로우로 치환된다. 여기서, 도 11은, 스텝 1100'의 시스템 파라미터의 측정 및 기억의 상세한 플로차트이다.
- <116> 도 11을 참조하면, 우선, 측정 위치 이동공정 1110'에서는, 후술한 바와 같이, 조명 광학계(16)와, 제1 마스크(110')와, 제2 마스크(120')와의 위치를 맞춘다.
- <117> 광원(12)으로부터 사출한 빛은, 편향 광학계(14)를 통해서, 조명 광학계(16)에 입사하고, 조명 광학계(16)의  $\sigma$  조리개는, 제1 마스크(110')의 마크 112'만을 조사하도록 조정한다. 핀홀 112'a는 수식 1을 만족하는 폭을 갖기 때문에, 핀홀 112'a로부터 사출한 빛은, 구면 형상으로 등위상의 파면을 갖는 회절광이 된다. 이것에 의해, 투영 광학계(30)의 동공 전면에 빛이 조사된다. 한편, 제1 마스크(110')의 창 112'b를 통과한 빛은, 조명 광학계(16)의 수차를 포함한다.
- <118> 제2 마스크(120')는, 제1 마스크(110')의 마크 112'로부터 사출한 빛이, 투영 광학계(30)를 통해서 제2 마스크(120')의 마크 121'에 결상하도록, 웨이퍼 스테이지(45)를 통해서 조정된다. 이것에 의해, 제1 마스크(110')의 핀홀 112'a는 제2 마스크(120')의 창 121'b에 결상하고, 제1 마스크(110')의 창 112'b는 제2 마스크(120')의 슬릿 121'a에 결상한다.

- <119> 마스크 120'의 핀홀 121'a에서 회절된 빛은, 구면 형상으로 등위상의 파면을 갖는다. 한편, 제2 마스크(120')의 창 121'b를 통과하는 빛은, 핀홀 112'a에 의해 x방향으로 등위상의 파면으로 정형된 후, 투영 광학계(30)를 통과하여, 투영 광학계(30)의 파면 수차 정보를 가지고 있다.
- <120> 도 11로 돌아와, 처리 파라미터 산출공정 1120'에서는, 활상소자(130)에 의해 검출되는 간섭 영역의 중심 좌표 및 반경을 산출한다. 덧붙여, 처리 파라미터 산출공정 1120'은, 수차량 설정공정 1124'과 처리 파라미터 결정공정 1128'을 갖는다.
- <121> 수차량 설정공정 1124'에서는, 스텝 1124와 같이, 투영 광학계(30)의 수차량, 렌즈 구동량, 및 파장 변화량 간의 관계를 조정하는 투영 제어기(70)를 통해서, 투영 광학계(30)의 렌즈 군을 구동한다. 이 구성에 의해, 투영 광학계(30)에 구면 수차를 발생시키고, 그 수차량을 변경한다. 활상소자(130)는 간섭 패턴 데이터를 활상한다. 활상한 복수의 간섭 패턴 데이터는, 측정 제어기(140)에 출력된다.
- <122> 처리 파라미터 결정공정 1128'에서는, 측정 제어기(140)에 입력된 복수의 간섭 패턴 데이터에 근거해, 처리 파라미터(간섭 패턴의 중심 좌표 및 반경)를 결정한다.
- <123> 상세하게는, 우선, 간섭 패턴의 중심 좌표를 산출한다. 활상한 간섭 패턴 데이터로부터 취득된 파면 수차에 있어서, 스텝 1124'로부터, 구면 수차만이 발생하고 있다는 것을 알고 있다. 따라서, 간섭 패턴의 중심 근방에 있어서, 중심 좌표를 XY 방향으로 대응시킴으로써 복수의 간섭 패턴의 처리를 수행한다. 그 다음, 파면 수차를 Zernike 다항식에 전개했을 때의 코마 성분의 수차 변화량이 가장 작은 중심 위치를, 간섭 패턴의 중심 좌표로서 결정하면 된다.
- <124> 스텝 1128과 같이, 간섭 패턴의 중심 좌표를 결정할 때에는, 간섭 패턴의 반경에 대해서는 잠정적으로 고정값, 예를 들면, 설계값을 이용해도 된다.
- <125> 결정한 간섭 패턴의 중심 좌표를 이용해 간섭 패턴의 반경을 결정한다. 활상한 복수의 간섭 패턴 데이터를 같은 반경을 이용해서 처리함으로써, 구면 수차량을 산출한다. 스텝 1128에서는, XY 파면 합성 후의 파면 수차를 이용했지만, 스텝 1128'에 있어서의 측정장치(1)는 PDI를 이용하고, 파면 합성을 수행할 필요는 없다. 이러한 처리를, 반경을 변경하면서 수행하고, 스텝 1124'로부터 미리 결정되어 있는 복수의 간섭 패턴 데이터들 간의 수차 변화량에 대응하는 변화량이 산출되는 반경 위치를, 간섭 패턴의 반경으로서 결정한다.
- <126> 오프셋 파라미터 산출공정 1130'에서는, 오프셋 파라미터를 산출한다. 여기에서, 오프셋 파라미터는, 선형성 개인, 예를 들면 Zernike 다항식의 각 항의 수차 변화량 보정값)이다. 오프셋 파라미터 산출 공정 1130'은, 수차량 설정공정 1132'과, 파면 수차 측정공정 1134'과, 오프셋 파라미터 결정공정 1138'을 갖는다.
- <127> 스텝 1132', 스텝 1136' 및 스텝 1138'의 동작은, 스텝 1132, 스텝 1136 및 스텝 1138의 동작과 같다. 따라서, 여기에서는, 스텝 1134와 스텝 1134'와의 차이점에 대해서만 설명한다.
- <128> 파면 수차 측정공정 1134'에서는, 스텝 1134에서 실시한 3개의 스텝을 실행할 필요는 없다. 스텝 1134에서 이용한 제1 마스크(110)의 마크 112 내지 118과 제2 마스크(120)의 마크 121 내지 128에 의해 발생하는 간섭 패턴 데이터로부터 취득되는 파면은, 투영 광학계(30)의 단일 방향으로만 수차 정보를 가지고 있다. 따라서, 다른 2개의 단일 방향으로의 파면 수차를 합성해, 2차원 파면 수차를 산출할 필요가 있다.
- <129> 한편, 스텝 1134'에서 이용하는 제1 마스크(110')의 마크 112' 내지 114' 및 제2 마스크(120')의 마크 121' 내지 124'에 의해 발생하는 간섭 패턴 데이터로부터 취득되는 파면은, 투영 광학계(30)의 2차원 수차 정보를 가지고 있다. 따라서, 스텝 1134에 있어서의 X 방향 파면 수차 산출공정 1134A만을 수행하면 된다.
- <130> 시스템 파라미터 기억공정 1140'에서는, 스텝 1120'와 스텝 1130'에서 산출한 처리 파라미터 및 오프셋 파라미터 등의 시스템 파라미터를, 측정 제어기(140)의 메모리(144)에 기억시킨다.
- <131> 스텝 1142'에서는, 모든 측정 위치에서 시스템 파라미터의 기억이 종료했는지 어떠했는지 판단한다. 모든 측정 위치에서 시스템 파라미터의 기억이 아직 종료하지 않은 경우에는, 스텝 1110'로 돌아와, 측정 위치를 이동하고, 그 후, 마찬가지로, 스텝 1120'에서 스텝 1140'을 실시한다. 모든 계측 위치에서, 시스템 파라미터의 기억이 종료한 경우에는, 시스템 파라미터의 측정 및 기억(스텝 1100')을 종료한다. 스텝 1100'은, 스텝 1100과 같이, 측정장치(100)의 제조 후에 한 번만 수행되면 된다.
- <132> 처리 파라미터의 호출공정 1200'에서는, 스텝 1200과 같이, 투영 광학계(30)의 파면 수차의 측정에 사용하는 제1 마스크(110')의 마크 및 제2 마스크(120')의 마크에 대응하는 처리 파라미터를 메모리(144)로부터 호출(검

색)한다.

<133> 투영 광학계(30)의 파면 수차의 산출공정 1300'에서는, 스텝 1200'에서 호출한 파라미터를 이용해, 상술한 파면 수차 측정공정 1134'과 같은 투영 광학계(30)의 파면 수차의 Zernike 다항식의 각 항을 산출한다. 여기서, Zernike 다항식의 각 항이란, 예를 들면, Zernike 다항식의 제5항 내지 제36항이다.

<134> 오프셋 파라미터의 반영공정 1400'에서는, 스텝 1400과 같이, 투영 광학계(30)의 파면 수차의 측정에 사용하는 제1 마스크(110')의 마크 및 제2 마스크(120')의 마크에 대응하는 오프셋 파라미터를 호출(검색)한다. 호출한 오프셋 파라미터는, 스텝 1300'에서 산출한 투영 광학계(30)의 파면 수차에 반영시킨다.

<135> 이와 같이, 측정장치(1) 및 측정방법 1000(스텝 1100' 내지 1400')에 의하면, 측정 위치(다른 마크 위치 및 상고 위치)에서, 측정장치(100) 및 노광장치(1)의 제조 및 설치 오차에 기인해 발생하는 수차 성분을 제거한다. 따라서, 측정장치(1) 및 측정방법 1000은, 투영 광학계(30)의 파면 수차만을 고정밀하고 신속하게 측정할 수가 있다.

<136> 도 4에 나타낸 시스템 파라미터의 측정 및 기억(스텝 1100 또는 1100')은, 측정장치(100)를 노광장치(1)에 탑재한 상태로 실시했지만, 반드시 측정장치(100)를 노광장치(1)에 탑재한 상태로 그 스텝을 실시하지 않아도 되다. 예를 들면, 제1 마스크(110 또는 110') 및 제2 마스크(120 또는 120')의 구동 제어를 제공하는 기능을 갖고 또 투영 제어기(70)로서 기능을 하는 전용의 측정장치가 파면 수차를 측정해도 괜찮다.

<137> 또, 도 5에 나타낸 플로차트의 각 스텝은, 그 순서대로에 실행할 필요는 없다. 예를 들면, 상술의 설명에서는, 스텝 1132와 스텝 1134를 반복해 복수의 수차량을 측정한다. 그럼에도, 먼저 복수의 수차량에 있어서의 간접 패턴 데이터를 취득하고, 이러한 간접 패턴 데이터를 일제히 처리해도 괜찮다.

<138> 측정장치(1)는, LDI 또는 PDI를 이용하고 있지만, 피검 광학계의 광학 성능을 2차원 정보로서 측정할 수 있는 LSI 등의 다른 간접계를 이용해도 괜찮다.

<139> 노광에 있어서, 광원(12)으로부터 발광하는 빛은, 조명 광학계(16)를 통해서 레티클(20)을 조명한다. 레티클(20)을 통과해 레티클 패턴을 반영하는 빛은, 투영 광학계(30)를 통해서, 기판(40)에 결상된다. 노광장치(1)가 사용하는 투영 광학계(30)의 파면 수차는, 측정결과에 근거해서 고정밀하게 측정되고 고정밀하게 보정된다. 그 것에 의해, 노광장치(1)는, 뛰어난 노광 성능(고해상도)을 실현할 수가 있어, 종래보다 고품위의 디바이스, 예를 들면 반도체 디바이스 및 액정 표시 디바이스를 제공할 수가 있다.

<140> 다음에, 도 12 및 도 13을 참조해, 노광장치(1)를 이용한 디바이스 제조 방법의 실시 예를 설명한다. 도 12는, 디바이스, 예를 들면, 반도체 디바이스 및 액정 표시 디바이스의 제조를 설명하기 위한 플로차트이다. 여기에서는, 반도체 디바이스의 제조를 예로 들어서 설명한다. 스텝 1(회로설계)에서는, 반도체 디바이스 회로를 설계한다. 스텝 2(레티클 제작)에서는, 설계한 회로 패턴을 갖는 레티클을 제작한다. 스텝 3(웨이퍼 제조)에서는, 실리콘 등의 재료를 이용해 웨이퍼를 제조한다. 스텝 4(웨이퍼 프로세스)는, 전공정이라고 불리고, 마스크와 웨이퍼를 이용해 리소그래피 기술에 의해 웨이퍼 상에 실제의 회로를 형성한다. 스텝 5(조립)는, 후공정이라고 불리고, 스텝 4에서 형성된 웨이퍼를 반도체 칩으로 형성하며, 어셈블리 공정(예를 들면, 다이싱, 본딩), 패키징 공정(팁 봉입) 등을 포함한다. 스텝 6(검사)에서는, 스텝 5에서 작성된 반도체 디바이스에 대한 각종 테스트, 예를 들면, 유효성 테스트 및 내구성 테스트를 수행한다. 이러한 공정을 거쳐 반도체 디바이스가 완성되고, 이것이 출하(스텝 7)된다.

<141> 도 13은, 스텝 4의 웨이퍼 프로세스의 상세한 플로차트이다. 스텝 11(산화)에서는, 웨이퍼의 표면을 산화시킨다. 스텝 12(CVD)에서는, 웨이퍼의 표면에 절연층을 형성한다. 스텝 13(전극 형성)에서는, 웨이퍼 상에 전극을 증기 증착 등에 의해 형성한다. 스텝 14(이온 주입)에서는, 웨이퍼에 이온을 주입한다. 스텝 15(레지스트 처리)에서는, 웨이퍼에 감광제를 도포한다. 스텝 16(노광)에서는, 노광장치(1)를 이용해 레티클의 회로 패턴을 웨이퍼에 노광한다. 스텝 17(현상)에서는, 노광한 웨이퍼를 현상한다. 스텝 18(에칭)에서는, 현상한 레지스트 상 이외의 부분을 에칭한다. 스텝 19(레지스트 박리)에서는, 에칭한 후에 불필요한 레지스트를 제거한다. 이러한 스텝을 반복해 웨이퍼 상에 다중 회로 패턴을 형성한다. 본 실시 예의 디바이스 제조 방법은, 종래보다 고품위의 디바이스를 제조할 수가 있다. 이와 같이, 노광장치(1)를 사용하는 디바이스 제조 방법, 및 결과물로서의 디바이스도 본 발명의 일 측면을 구성한다.

<142> 이상, 본 발명의 바람직한 실시 예에 대해 설명했지만, 본 발명은 이러한 실시 예로 한정되지 않는다는 것은 말할 필요도 없고, 그 요지의 범위 내에서 여러 가지의 변형 및 변경이 가능하다.

### 발명의 효과

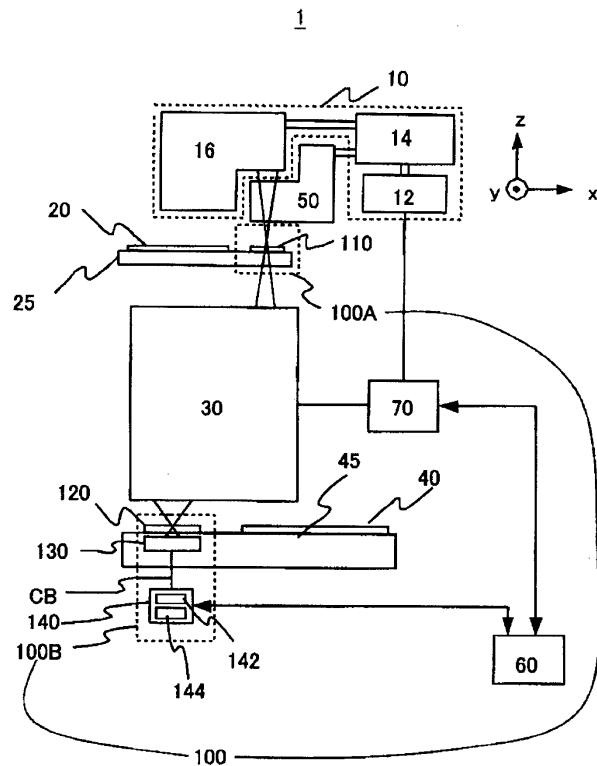
<143> 본 발명에 의하면, 광학계의 광학 성능(파면 수차 등)을 고정밀하게 측정할 수가 있는 측정방법 및 장치를 제공할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

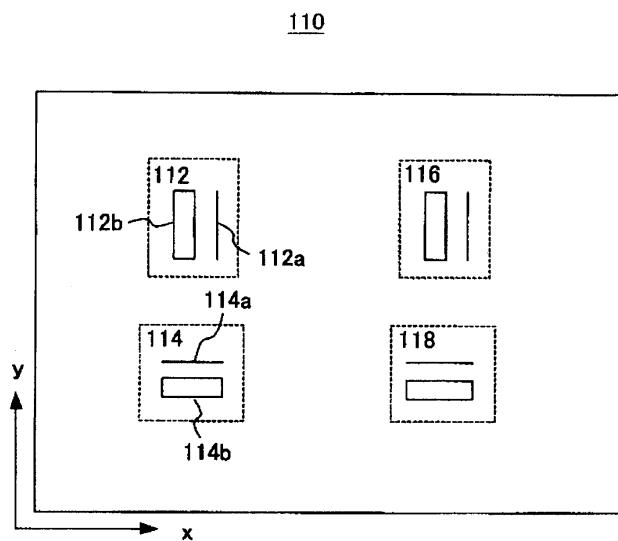
- <1> 도 1은, 본 발명의 일 측면에 따른 노광장치의 구성을 나타내는 개략 블럭도이다.
- <2> 도 2는, 도 1에 나타낸 측정장치의 제1 마스크를 나타내는 개략 평면도이다.
- <3> 도 3은, 도 1에 나타낸 측정장치의 제2 마스크를 나타내는 개략 평면도이다.
- <4> 도 4는, 본 발명의 일 측면에 따른 측정방법을 설명하기 위한 플로차트이다.
- <5> 도 5는, 도 4에 나타낸 시스템 파라미터의 측정 및 기억 스텝 1100의 상세한 플로차트이다.
- <6> 도 6은, 도 3에 나타낸 제2 마스크의 슬릿 및 창으로부터 사출된 빛을 나타내는 개략 사시도이다.
- <7> 도 7은, 도 1에 나타낸 측정장치의 활상소자가 검출한 제2 마스크의 슬릿으로부터 사출한 빛과 창으로부터 사출한 빛과의 간섭 패턴의 일례를 나타내는 개략 평면도이다.
- <8> 도 8은, 도 5에 나타낸 파면 수차 측정 스텝 1134의 상세한 플로차트이다.
- <9> 도 9는, 도 2에 나타낸 제1 마스크의 다른 구성을 나타내는 개략 평면도이다.
- <10> 도 10은, 도 3에 나타낸 제2 마스크의 다른 구성을 나타내는 개략 평면도이다.
- <11> 도 11은, 도 5에 나타낸 스텝 1100의 변형예로서 스텝 1100'의 시스템 파라미터의 측정 및 기억의 상세한 플로차트이다.
- <12> 도 12는, 디바이스의 제조를 설명하기 위한 플로차트이다.
- <13> 도 13은, 도 12에 나타낸 스텝 4의 웨이퍼 프로세스의 상세한 플로차트다.

## 도면

## 도면1

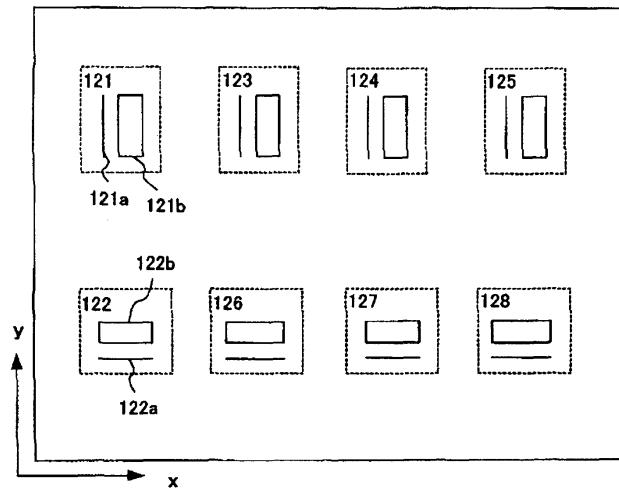


## 도면2



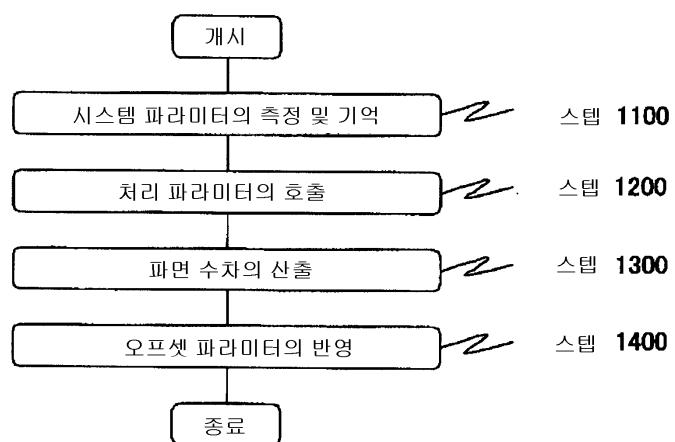
도면3

120

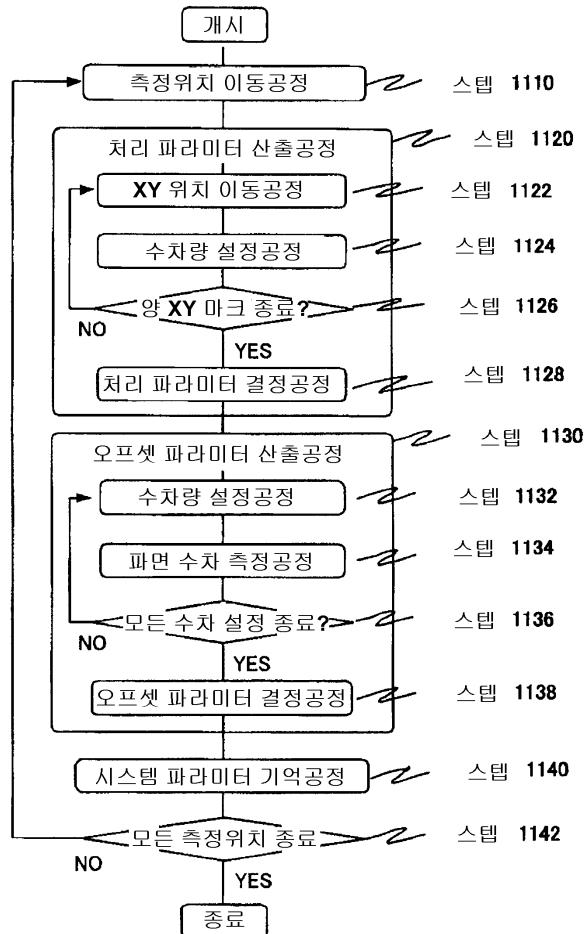


도면4

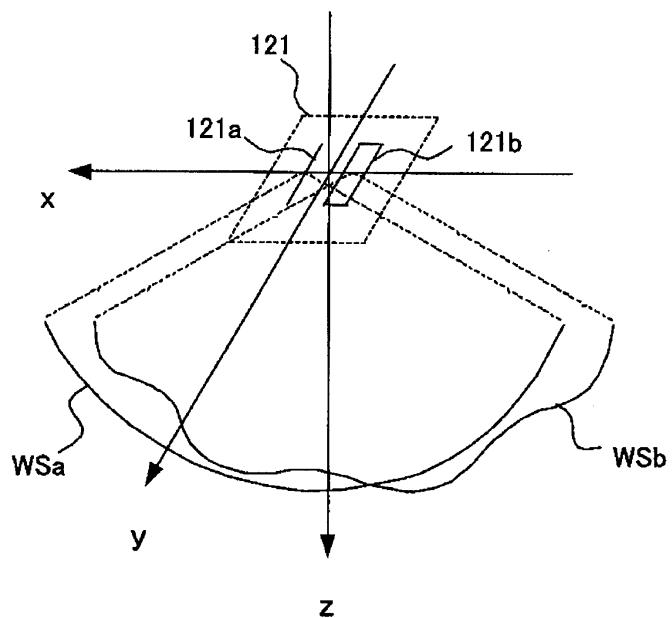
1000



## 도면5

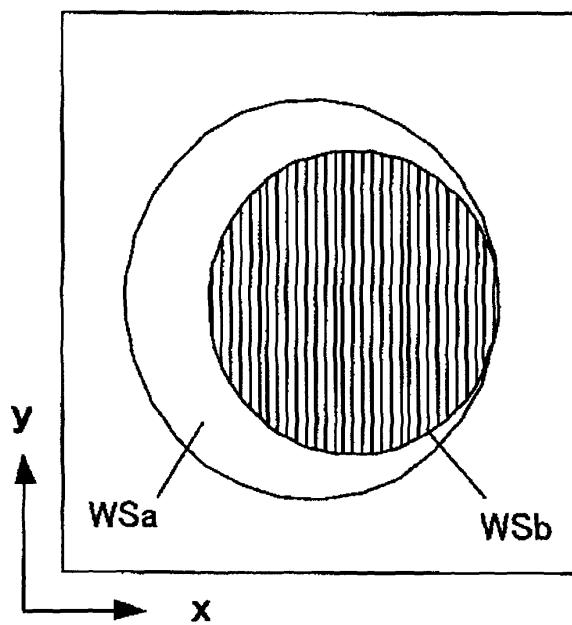
1100

도면6



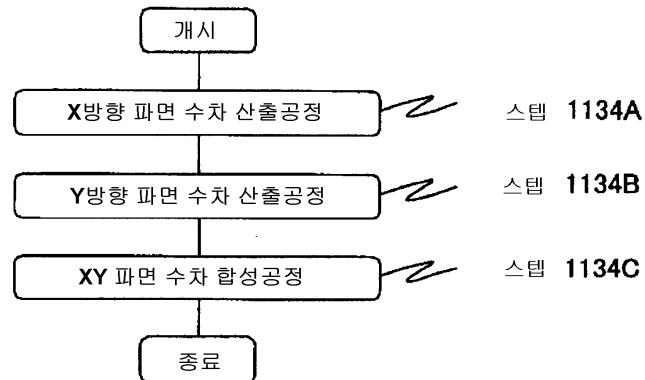
도면7

130



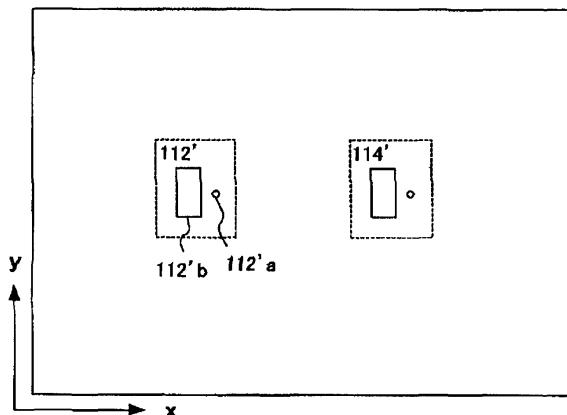
도면8

1134 (1300)

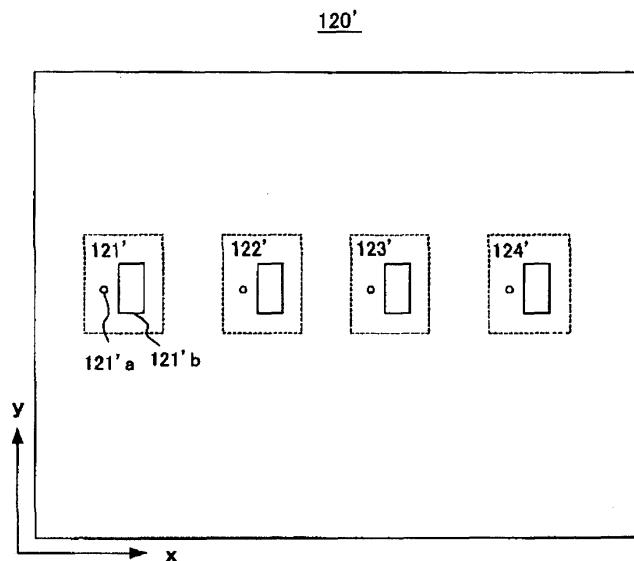


도면9

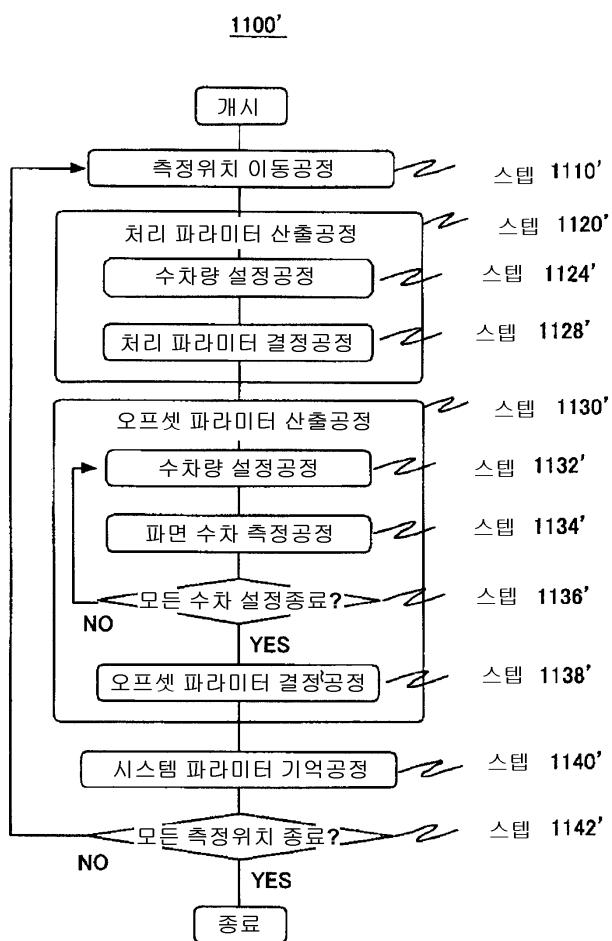
110'



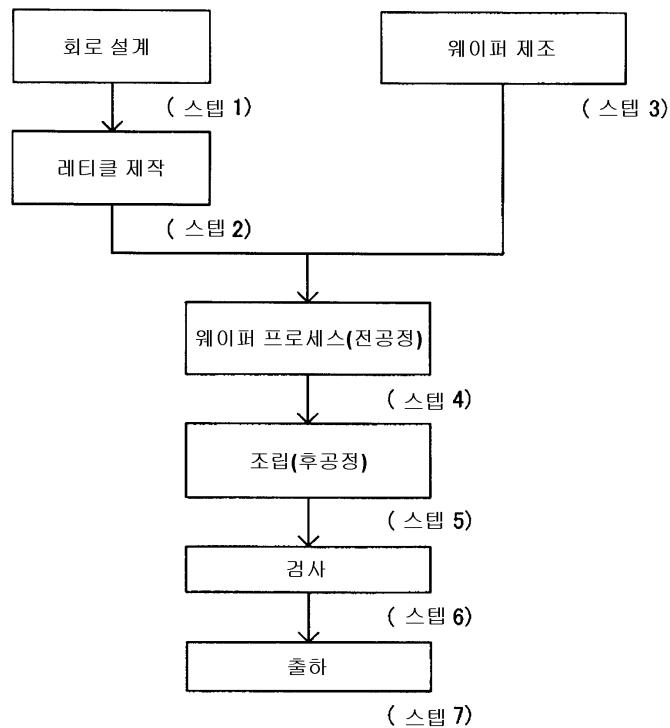
## 도면10



## 도면11



## 도면12



## 도면13

