



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년03월27일  
(11) 등록번호 10-0817655  
(24) 등록일자 2008년03월21일

(51) Int. Cl.

G01J 1/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-0043736

(22) 출원일자 2006년05월16일

심사청구일자 2006년05월16일

(65) 공개번호 10-2006-0119775

(43) 공개일자 2006년11월24일

(30) 우선권주장

JP-P-2005-00143922 2005년05월17일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

JP2000097666A\*

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 14 항

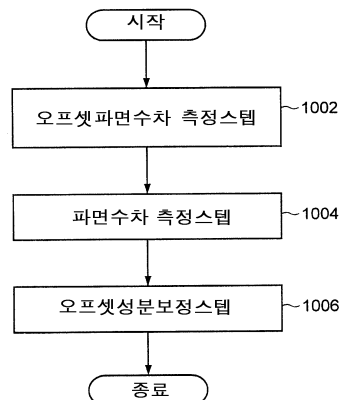
심사관 : 우귀애

(54) 파면수차를 측정하는 측정장치 및 그것을 가지는 노광장치

(57) 요약

본 발명의 피검광학계의 파면수차를 측정하는 파면수차 측정장치는, 상기 피검광학계에 입사하는 광을 규정하는 제 1 마스크와, 제 1 내지 제 4 개구를 가진 제 2 마스크를 포함하고 있다. 상기 제 1 개구는 상기 피검광학계의 파면수차에 관한 정보를 제거하지 않고 상기 피검광학계를 통과하는 광의 성분을 투과시키고, 상기 제 2 내지 제 4 개구는 상기 피검광학계의 파면수차에 관한 정보를 제거하고 상기 피검광학계를 통과하는 광의 성분을 투과시키는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도4



(56) 선행기술조사문헌

KR1020040111530A\*

JP05283317 A

KR1019950030216 A

KR1020010034412 A

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

피검광학계의 파면수차를 측정하는 파면수차 측정장치로서,

상기 피검광학계에 입사하는 광을 규정하는 제 1 마스크와;

상기 피검광학계를 통과한 광의 성분에서 상기 피검광학계의 파면수차에 관한 정보를 제거하지 않은 광성분을 투과시키는 제 1 개구와, 상기 피검광학계를 통과한 광의 성분에서 상기 피검광학계의 파면수차에 관한 정보를 제거한 광성분을 투과시키는 복수의 개구를 포함하는 제 2 마스크와;

상기 복수의 개구 중 두 개구를 통과한 광의 성분 간의 간섭에 의해 형성되는 간섭패턴을 검출하는 검출수단과 ;

상기 제 1 개구를 통과한 광성분과 상기 복수의 개구 중 한 개구를 통과한 광성분 사이의 간섭에 의해 형성된 간섭패턴을, 복수의 개구 중 두 개구를 통과한 광성분 사이의 간섭에 의해 형성되고 검출수단에 의해 검출된 간섭패턴에 의거하여 보정하는 제어부

를 포함하는 것을 특징으로 하는 파면수차 측정장치.

### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 제 2 마스크는, 제 1, 제 2, 제 3 및 제 4 개구를 포함하고,

상기 제어부는, 제 3 개구를 통과한 광성분과 제 4 개구부를 통과한 광성분 사이의 간섭에 의해 형성되고 상기 검출수단에 의해 검출된 간섭패턴에 의거하여, 제 1 개구를 통과한 광성분과 제 2 개구부를 통과한 광성분 사이의 간섭에 의해 형성되고 상기 검출수단에 의해 검출된 간섭패턴을 보정하는 것을 특징으로 하는 파면수차 측정장치.

### 청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 제 2 마스크는, 상기 피검광학계를 통과한 광의 성분에서 상기 피검광학계의 파면수차에 관한 정보를 제거하지 않은 광성분을 투과시키는 제 1 개구와, 상기 피검광학계를 통과한 광의 성분에서 상기 피검광학계의 파면수차에 관한 정보를 제거한 광성분을 투과시키는 제 2 및 제 3 개구를 포함하고,

상기 검출수단은, 제 1 내지 제 3 개구 중의 2개의 개구를 통과한 광의 성분 사이의 간섭에 의해 형성된 간섭패턴을 검출하고,

상기 제어부는, 제 2 개구를 통과한 광성분과 제 3 개구를 통과한 광성분 사이의 간섭에 의해 형성되고 상기 검출수단에 의해 검출된 간섭패턴에 의거하여, 제 1 개구를 통과한 광성분과 제 2 개구부를 통과한 광성분 사이의 간섭에 의해 형성되고 상기 검출수단에 의해 검출된 간섭패턴을 보정하는 것을 특징으로 하는 파면수차 측정장치.

### 청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 제 2, 제 3 및 제 4 개구는 편홀이고,

상기 제 1 개구는, 상기 편홀 보다 큰 것을 특징으로 하는 파면수차 측정장치.

### 청구항 5

제 2항에 있어서,

상기 제 2, 제 3 및 제 4 개구는 슬릿이고,

상기 제 1 개구는, 상기 슬릿 보다 큰 것을 특징으로 하는 파면수차 측정장치.

#### 청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 제 2 마스크는,

상기 피검광학계를 통과한 광의 성분에서 상기 피검광학계의 파면수차에 관한 정보를 제거하지 않은 광성분을 투과시키는 제 5 개구와;

상기 피검광학계를 통과한 광의 성분에서 상기 피검광학계의 파면수차에 관한 정보를 제거한 광성분을 투과시키는 제 6, 제 7 및 제 8 개구

를 부가하여 포함하고,

상기 제어부는, 상기 제 7 개구를 통과한 광성분과 상기 제 8 개구를 통과한 광성분 사이의 간섭에 의해 형성되고 상기 검출수단에 의해 검출된 간섭패턴에 의거하여, 상기 제 5 개구를 통과한 광성분과 상기 제 6 개구를 통과한 광성분 사이의 간섭에 의해 형성되고 상기 검출수단에 의해 검출된 간섭패턴을 보정하고,

상기 제 6 내지 제 8 개구는 슬릿이고, 상기 제 5 개구는 상기 슬릿보다 크고,

상기 제 5 내지 제 8 개구의 긴쪽 방향은, 상기 제 1 내지 제 4 개구의 긴쪽 방향에 수직인 것을 특징으로 하는 파면수차 측정장치.

#### 청구항 7

레티클의 패턴의 상을 기관상에 투영하는 투영 광학계와;

제 1항 내지 제 6항 중 어느 한 항에 기재된 파면수차 측정장치

를 포함하는 것을 특징으로 하는 노광장치.

#### 청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 제 2 마스크와 상기 검출수단은, 상기 기관이 설치되는 스테이지에 배치되는 것을 특징으로 하는 노광장치.

#### 청구항 9

제 7항에 있어서,

상기 레티클을 재치(載置)하는 레티클스테이지를 부가하여 포함하고,

상기 레티클스테이지에는 제 1 마스크를 포함한 측정용 레티클이 구비되는 것을 특징으로 하는 노광장치.

#### 청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 제 1 마스크는, 상기 레티클과는 별도로 상기 레티클스테이지 상에 배치되는 것을 특징으로 하는 노광장치.

#### 청구항 11

피검광학계의 파면수차를 측정하는 파면수차의 측정방법으로서,

상기 피검광학계에 입사하는 광을 규정하는 제 1 마스크를 세팅하는 제 1 마스크 세팅스텝과;

상기 피검광학계를 통과한 광의 성분에서 상기 피검광학계의 파면수차에 관한 정보를 제거하지 않은 광성분을 투과시키는 제 1 개구와, 상기 피검광학계를 통과한 광의 성분에서 상기 피검광학계의 파면수차에 관한 정보를 제거한 광성분을 투과시키는 제 2 개구, 제 3 개구 및 제 4 개구를 포함하는 제 2마스크를, 상기 피검광학계를

통과한 광이 상기 제1개구와 상기 제2개구를 투과하도록 세팅하는 제 2 마스크 세팅스텝과;

상기 제 1 개구를 통과한 광성분과 상기 제 2 개구를 통과한 광성분 사이의 간섭에 의해 형성된 간섭패턴을 검출하는 제 1 검출스텝과;

상기 제2마스크를, 상기 피검광학계를 통과한 광이 상기 제 3 개구와 상기 제 4 개구를 투과하도록 세팅하는 제 3 마스크 세팅스텝과;

상기 제 3 개구를 통과한 광성분과 상기 제 4 개구를 통과한 광성분 사이의 간섭에 의해 형성된 간섭패턴을 검출하는 제 2 검출스텝과;

상기 제2검출스텝에서 검출된 간섭패턴에 의거해서 상기 제1검출스텝에서 검출된 간섭패턴을 보정하는 보정스텝을 포함하는 것을 특징으로 하는 파면수차의 측정방법.

## 청구항 12

삭제

## 청구항 13

제 11항에 있어서,

상기 제1검출스텝에서 검출된 간섭패턴으로부터 상기 피검광학계의 파면수차와 계측오차를 포함한 피검 파면수차를 구하고,

상기 제2검출스텝에서 검출된 간섭패턴으로부터 상기 계측오차를 포함한 오프셋 파면수차를 구하고,

상기 보정스텝에서는, 상기 피검파면수차를, 상기 오프셋 파면수차에 의거하여 보정하는 것을 특징으로 하는 파면수차의 측정방법.

## 청구항 14

제 13항에 있어서,

상기 보정스텝에서는, 상기 피검파면수차에서, 상기 오프셋 파면수차를 감산하는 것을 특징으로 하는 파면수차의 측정방법.

## 청구항 15

제 13항에 있어서,

상기 피검파면수차를 나타내는 제르니케 다항식(Zernike polynomial)의 각 항의 값에서, 상기 오프셋 파면수차를 나타내는 제르니케 다항식의 각 항의 값을 감산하는 것을 특징으로 하는 파면수차의 측정방법.

## 명세서

### 발명의 상세한 설명

#### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<21>

본 발명은, 광학 부재의 성능을 측정하는 장치에 관한 것으로, 특히, 레티클의 패턴의 상을 피노광체 기관에 투영하는 투영 광학계의 파면수차를 측정하는 측정장치에 관한 것이다.

<22>

반도체 디바이스나 액정 표시소자 등의 디바이스를 포토리소그래피 공정에 의해 제조할 때에 레티클(포토마스크)에 형성된 패턴으로 감광기관을 노광하는 투영노광장치가 사용되고 있다. 상기 투영노광장치는, 레티클상의 패턴을 소정의 축소배율비로 정밀하게 감광기관 피노광체에 전사하는 것이 요구되기 때문에, 결상 성능이 좋고, 수차가 거의 형성되지 않는 투영광학계를 이용하는 것이 중요하다. 특히 최근, 반도체 디바이스의 한층 더 미세화 요구에 대처하기 위하여, 전사 패턴은, 광학계의 수차에 대해서 민감하게 되고 있다. 이 이유 때문에, 투영광학계의 광학성능(예를 들면, 파면수차)을 정밀하게 측정할 필요가 있다. 또, 생산성이나 경제성을 높이는 관

점으로부터는 측정의 간소화, 신속화 및 코스트 삭감이 중요하다.

- <23> 공지된 방법에서는, 레티클의 패턴을 웨이퍼상에 실제로 전사하고 그 패턴의 레지스트상을 주사형 전자현미경(SEM)에 의해 관찰하여 검사한다. 그러나, 레지스트 도포나 현상에 기인하는 오차 때문에 측정시간이 길고 검사의 재현성이 낮다. 이들 문제점을 해결하기 위해서, 이상(理想) 구면파면을 형성하기 위한 핀홀을 가지는 PDI(점회절 간섭계: Point Diffraction Interferometer)나 셰어링 간섭을 이용하는 셰어링 간섭계(Shearing Interferometer) (또는 타르보 간섭계(Talbot Interferometer))를 이용하는 것이 제안되고 있다. 또, 최근에는, 일차원 방향으로만 이상 구면파면을 형성하기 위한 슬릿을 가지는 LDI(선회절 간섭계: Line Diffraction Interferometer)를 이용한 측정장치가 제안되고 있다(예를 들면, 일본국 특개 2000-146705호 공보 및 특개 2000-097666호 공보 참조).

### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- <24> PDI에 의해 파면수차를 측정하는 측정장치에서는, 기준 파면으로서 이상 구면파면을 형성하기 위한 핀홀과 피검광학계에 관한 수차정보를 포함한 파면을 가진 광을 투과시키기 위한 창을 가진 마스크를, 피검광학계의 후방에 배치한다. 핀홀을 통과한 광의 파면과 창을 투과한 광의 파면 사이에 생성된 간섭패턴(간섭 프린지)의 화상을 촬상소자에 의해 촬상하고, 처리하여 피검광학계의 파면수차를 산출한다. LDI를 이용한 파면수차를 측정하는 측정장치에서는, 기준파면으로서 일차원 방향으로만 이상 구면파면을 가진 광을 형성하기 위한 슬릿과, 피검광학계에 관한 수차정보를 포함한 파면을 투과시키는 창을 가진 마스크를, 피검광학계의 후방에 배치한다. 핀홀을 통과한 광의 파면과 창을 투과한 광의 파면 사이의 간섭패턴(간섭 프린지)의 화상을 촬상소자에 의해 촬상하고, 처리하여 피검광학계의 파면수차를 산출한다.
- <25> 파면수차를 측정하는 이들 측정장치에서는, 일반적으로, 이상(理想)파면은 구면형상 또는 일차원 방향으로만 구면형상이며, 또한, 그것을 검출하는 촬상 소자의 수광면은 평면이다. 따라서, 해석에 의해 얻은 파면수차는, 피검광학계의 수차 뿐만 아니라 구면파면을 상기 촬상소자로 검출한 것에 기인한 수차성분도 포함한다. 상기 구면파에 기인한 수차성분을 제거하기 위해서는, 예를 들면, 푸리에 변환렌즈를 촬상소자의 수광면 직전에 배치하여, 수광면에 대략 평행한 광을 입사시키는 방법이나, 간섭패턴에 (구면파에 기인한 수차성분을 제거하는 것 같은) 특정처리를 가할 방법이 생각된다.
- <26> 그러나, 이들 방법에서는, 푸리에 변환렌즈의 제조 오차 또는 화상처리의 정밀도 오차(예를 들면, 처리영역의 결정시 정밀도 오차)에 의해 부가적인 수차성분이 생성되는 일이 있다.
- <27> 핀홀(또는 슬릿)과 창을 가지는 마스크(핀홀창)는, 예를들면, 석영으로 이루어진 투명한 기관의 표면에 크롬막을 형성함으로써 얻는다. 그러나, 그 기관의 두께에 기인하는 수차성분, 촬상소자의 설치위치의 엇갈림(특히, 높이 방향)에 기인하는 수차성분 및 간섭계의 제조오차에 기인하는 수차성분을 제거하는 것은 곤란하다. 특히, 고 개구수(NA)의 투영 광학계의 파면수차를 고정밀도로 측정할 때에, 간섭계의 제조오차에 기인하는 수차성분은 커진다.

### 발명의 구성 및 작용

- <28> 본 발명의 일 측면에 의한 측정장치는, 피검광학계의 파면수차를 측정하는 파면수차 측정장치이다. 상기 측정장치는, 상기 피검광학계에 입사하는 광을 규정하는 제 1 마스크와; 상기 피검광학계를 통과한 광의 성분에서 상기 피검광학계의 파면수차에 관한 정보를 제거하지 않은 광성분을 투과시키는 제 1 개구와, 상기 피검광학계를 통과한 광의 성분에서 상기 피검광학계의 파면수차의 정보를 제거한 광성분을 투과시키는 복수의 개구를 포함하는 제 2 마스크와; 상기 복수의 개구 중 두 개구를 통과한 광의 성분 간의 간섭에 의해 형성되는 간섭패턴을 검출하는 검출수단과; 상기 제 1 개구를 통과한 광성분과 상기 복수의 개구 중 한 개구를 통과한 광성분 사이의 간섭에 의해 형성된 간섭패턴을, 복수의 개구중 두 개구를 통과한 광성분 사이의 간섭에 의해 형성되고 검출수단에 의해 검출된 간섭패턴에 의거하여, 보정하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- <29> 또, 본 발명의 다른 측면으로서의 노광장치는, 레티클의 패턴의 상을 기관상에 투영하는 투영 광학계와, 상기 투영광학계의 파면수차를 측정하는 파면수차 측정장치를 포함하고 있다. 상기 측정장치는, 상기 피검광학계에 입사하는 광을 규정하는 제 1 마스크와; 상기 투영 광학계를 통과한 광의 성분에서 상기 투영 광학계의 파면수차에 관한 정보를 제거하지 않은 광성분을 투과시키는 제 1 개구와, 상기 투영 광학계를 통과한 광의 성분에서 상기 투영 광학계에 관한 파면수차의 정보를 제거한 광성분을 투과시키는 복수의 개구를 포함하고 있는 제 2 마스크와; 상기 복수의 개구 중 두 개구를 통과한 광의 성분 사이의 간섭에 의해 형성된 간섭패턴을 검출하는 검

출수단과; 상기 제 1 개구를 통과한 광성분과 상기 복수의 개구중 한 개구를 통과한 광성분 사이의 간섭에 의해 형성되고 상기 검출수단에 의해 검출된 간섭패턴을, 복수의 개구중 두 개구를 통과한 광성분 사이의 간섭에 의해 형성되고 검출수단에 의해 검출된 간섭패턴에 의거하여, 보정하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

- <30> 본 발명의 한층 더 목적 또는 그 외의 특징은, 이하, 첨부 도면을 참조하여 설명되는 바람직한 실시예 등에 의해 자명해 질 것이다.
- <31> <실시예의 상세한 설명>
- <32> 명세서에 포함되어 그 일부를 구성하는 첨부도면은, 상세한 설명과 함께 본발명의 실시형태를 예시하며, 본 발명의 원리를 설명하는 기능을 한다.
- <33> 이하에, 본 발명의 실시의 형태를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- <34> <실시예 1>
- <35> 이하, 본 실시예 1에 의한, PDI 측정장치를 갖춘 노광장치(100)에 대해, 첨부 도면을 참조하면서 설명한다. 도 1은 노광장치(100)의 개략 블록도이다.
- <36> 노광장치(100)는, 예를 들면, 스텝·앤드·스캔 방식에서의 노광에 의해 레티클(14)에 형성된 회로패턴을 감광 기관으로서 역할을 하는 기관(17)에 전사하는 투영노광장치이다. 노광장치(100)은, 측정장치(50a, 50b), 조명장치, 얼라이먼트 광학계(13) 및 투영광학계(16)를 포함한다.
- <37> 조명장치는, 회로패턴이 형성된 레티클(14)를 조명해서, 광원(10)과 라우팅 광학계(routing optical system)(11)와 조명광학계(12)를 포함한다. 광원(10)으로서는, 예를 들면, 파장 약 193 nm의 ArF 엑시머 레이저, 파장 약 248 nm의 KrF 엑시머 레이저 등을 사용할 수 있다. 광원(10)이 레이저광을 방출하는 경우, 상기 광원으로부터의 평행광속을 소망한 비임 형상으로 정형하는 비임정형광학계 및 커히런트인 레이저비임을 인코히런트화 하는 인코히런트 광학계를 채택하는 것이 바람직하다.
- <38> 조명광학계(12)는, 레티클(14)을 조명하고, 렌즈, 미러, 옵티컬 인티그레이터,  $\sigma$ 조리개(개구 조리개) 등을 포함한다. 라우팅 광학계(11)는, 광원(10)으로부터의 광속을 편향하고 조명광학계(12) 및 얼라이먼트 광학계(13)로 도광한다.
- <39> 얼라이먼트 광학계(13)는, 얼라이먼트 스코프를 구성하고 있고, 통상의 노광작업시는 광로 외부에 배치되어 있다. 도 1에서는, 얼라이먼트 광학계(13)를 구동하기 위한 구동기구(도시되어 있지 않다). 얼라이먼트 스코프는, 레티클(14)상 또는 레티클스테이지(15)상의 도시하지 않는 얼라이먼트마크의 상과 스테이지(18)상의 얼라이먼트마크의 투영광학계(16)을 개재하여 형성된 상에 의거하여 레티클(14)과 스테이지(18)의 상대 위치의 파악을 실시한다.
- <40> 레티클(14)은, 예를 들면, 석영으로 이루어지고, 상기 레티클(14)의 표면에는 전사되어야 할 회로패턴이 형성되어 있다. 상기 레티클(14)은 레티클스테이지(15)에 의해 지지 및 구동된다. 상기 레티클(14)의 패턴으로부터 발광된 회절광은, 투영광학계(16)을 개재해서 기관(17)상에 투영된다. 레티클(14) 및 기관(17)은, 광학적으로 공역의 관계에 배치된다. 제 1 실시예의 노광장치(100)는 스텝·앤드·스캔 방식의 노광장치이기 때문에, 레티클(14)과 기관(17)을 축소배율비의 속도비로 스캔함으로써 레티클(14)의 패턴을 기관(17)상에 전사한다.
- <41> 투영광학계(16)는, 복수의 렌즈 소자만을 포함하는 굴절광학계, 복수의 렌즈 소자와 적어도 하나의 오목미러를 포함하는 반사 굴절광학 광학계, 또는 복수의 미러만을 포함하는 반사광학계를 채택할 수 있다. 상기 광학계에서, 상기 렌즈는 회절광학소자로 교체되어도 된다. 상기 투영광학계(16)의 광학성능(예를 들면, 파면수차)을 측정장치(50a, 50b)로 측정한다.
- <42> 기관(17)은, 웨이퍼나 유리 플레이트 등의 감광기관이며 포토레지스트가 도포되어 있다. 기관(17)은 도시하지 않는 척에 의해 스테이지(18)에 놓여진다. 스테이지(18)는, 기관(17)및 측정장치의 일부(50b)를 지지한다. 예를 들면, 스테이지(18)는, 도시하지 않은 리니어모터를 이용하여 x 및 y방향으로 기관(17) 및 측정장치(50b)의 일부를 이동할 수 있다. 예를 들면, 레티클(14)과 기관(17)은 동기주사된다. 스테이지(18)와 레티클스테이지(15)의 위치는, 얼라이먼트 광학계(13)로 교정된 후, 도시하지 않은 간섭계를 이용하여 상기 스테이지(18)와 레티클스테이지(15)는 일정한 속도 비율로 구동된다.
- <43> 도 1에 도시된 측정장치(50a, 50b)는, 조명광학계(12)(또는 얼라이먼트 광학계(13)), 제 1 마스크(60), 제 2 마스크(70), 검출수단으로서 역할하는 이미지 센서(53), 통신 케이블(54), 제어부(55) 및 메모리(56)를 포함한다.



제 1 실시예에서, 측정장치(50a, 50b)는, 피검광학계로서 역할하는 투영광학계(16)의 광학성능을 간섭패턴(간섭 프린지)을 검출함으로써 측정하는 간섭계(PDI)도 포함한다.

<44> 제 1 마스크(60)는, 레티클 스테이지(15)상에 배치된 기관에 설치되어 있다. 이 기관은, 예를 들면, 석영이나 형석 등의 투명 기관으로 형성되고, 상기 기관에 배치된 제 1 마스크(60)는 예를들면, 크롬으로 형성되어 있다. 이러한 방식으로, 레티클(14) 및 제 1 마스크(60)를 가진 기관이 레티클스테이지(15) 상에 반드시 배치(고정) 되는 것은 아니다. 즉, 파면수차를 측정할 동안만, 레티클(14) 대신에 제 1 마스크(60)가 형성된 기관(측정용 레티클)을 레티클 스테이지(15) 상에 배치하여도 된다.

<45> 조명광학계(12)로부터의 광속을 레티클 스테이지(15) 상에 배치된 제 1 마스크(60)에 집광한다. 상기 제 1 마스크(60)에 집광되는 광의 개구수(NA)는 투영광학계(16)의 레티클측, 즉, 물체측의 개구수(NAo)와 동일하고,  $\sigma=1$  관계의 조명을 하고 있다. 여기서,  $\sigma$  란, 투영광학계(16)에 입사하는 광의 NA와 투영광학계(16)의 NA의 비를 나타낸다.

<46> 도 2는 제 1 마스크(60)의 구조를 나타내는 개략도이다. 제 1 마스크(60)는 핀홀(63) 및 창(65)을 포함한다. 핀홀(63)의 직경( $\Delta r$ )은 이하의 조건식(1)을 만족시킨다.

$$\Delta r < 0.5 \times \lambda / NA_r \quad (1)$$

<47> 여기서,  $NA_r$ 은 투영광학계(16)의 레티클측, 즉, 물체측의 개구수이다.

<48> 핀홀(63)의 직경을 이 조건식(1)의 식을 만족시키도록 결정함으로써, 핀홀(63)로부터 회절되는 광은 상기 개구수( $NA_r$ )와 등위상(等位相)으로 간주될 수 있다. 한편, 창(65)의 폭( $\Delta r'$ )은 상기 핀홀(63)의 직경( $\Delta r$ )과 동일해도 되지만, 창(65)을 투과한 광은, 후술하는 바와 같이, 기관(17) 측에서 조건식(2)을 만족시키는 폭을 가진 핀홀을 통과하고, 따라서, 상기 광은 레티클 측에서 상기 개구수( $NA_r$ )와 등위상으로 할 필요는 없기 때문에, 광량의 관점으로부터 상기 창(65)을 투과한 광은 상기 핀홀(63)을 통과한 광보다 좀 더 넓게 설정된다.

<49> 도 3은, 제 2 마스크(70)의 개략 평면도이다. 제 2 마스크(70)는, 도 3에 도시된 바와 같이, 핀홀(71)과 창(73)의 조합, 핀홀(75)과 핀홀(77)의 페어를 포함한다. 핀홀(71)과 창(73)의 간격과 핀홀(75)과 핀홀(77)의 간격은 동일하다. 핀홀(71, 75 및 77)의 직경( $\Delta w$ )은 이하의 조건식(2)을 만족시킨다.

$$\Delta w < 0.5 \times \lambda / NA_s \quad (2)$$

<50> 여기서,  $NA_s$ 는 투영광학계(16)의 기관(17) 측, 즉, 상측의 개구수이다.

<51> 핀홀의 직경을 이 조건식(2)을 만족시키도록 설정함으로써, 핀홀(71, 75 및 77)로부터 회절되는 광은  $NA_s$ 의 상기 범위에 대해 등위상으로 간주될 수 있다.

<52> 창(73)의 폭( $\Delta w'$ )은 측정하고자 하는 투영광학계의 파면수차의 공간주파수에 따라서 결정한다. 고주파 및 저주파 양자 모두를 포함한 공간주파수를 측정하기 위해서는 상기 폭( $\Delta w'$ )을 넓게 설정하고, 저주파만을 측정하기 위해서는 좁게 설정한다. 투영광학계(16)의 동공에 있어서의 측정하고자 하는 파면수차의 공간주파수를  $f$ 로 두면 상기 폭( $\Delta w'$ )은 이하의 조건식(3)으로 주어진다.

$$\Delta w' = 2 \times f \times \lambda / NA_s \quad (3)$$

<53> 여기서, 동공 반경이 일주기가 될 때, 상기 공간주파수  $f$ 는 1이다.

<54> 이미지 센서(53)는 CCD 등의 광전변환 소자이고, 핀홀(71)과 창(73)을 통과한 2개의 광속의 간섭 프린지를 검출한다. 케이블(54)은, 이미지 센서(53)와 제어부(55)를 통신 가능하도록 접속한다. 제어부(55)는, 이미지 센서(53)의 출력으로부터 위상 정보를 취득한다. 메모리(56)는, 후술하는 도 4에 나타내는 측정방법, 제어부(55)가 이미지 센서(53)의 출력으로부터 위상정보를 취득하기 위한 처리방법, 제어부(55)가 취득한 위상정보, 제어부(55)가 이용하는 제어방법 및 그 외의 데이터를 저장한다. 제 1 실시예에서는, 제 2 마스크(70)에 3개의 핀홀(71, 75 및 77)이 형성되어 있지만, 핀홀(77)은 생략가능하다.



- <58> 이하, 흐름도인 도 4를 참조하면서, 측정장치(50a, 50b)의 동작에 대해 설명한다.
- <59> 우선, 스텝 1002의 오프셋 파면수차의 측정 공정에 대해 설명한다. 도 1을 참조하면, 광원(10)으로부터 출사한 광속은 라우팅 광학계(11)에 의해, 조명광학계(12)로 라우팅 된다. 라우팅 광학계(11)로부터의 광속은, 조명광학계(12) 내의 동공면에 배치된  $\sigma$ 조리개나 조명광학계(12) 내의 레티클과 공역인 면에 배치된 마스크 수단에 의해, 제 1 마스크(60)를 적절히 조명하도록 그 형상이 조정된다.
- <60> 스텝 1002에서, 도시하지 않은 구동기구는, 조명광학계(12)로부터의 광속이 핀홀(63) 및 창(65)에 조사되도록 레티클 스테이지(15)를 상대적으로 이동한다.
- <61> 핀홀(63)은 상기 조건식(1)을 만족시키는 직경을 가지기 때문에, 구면파의 등위상을 가진 회절광이 핀홀(63)로부터 나온다. 이것에 의해, 투영광학계(16)의 동공 전체면에 광이 조사되게 된다. 한편, 창(65)을 통과한 광속은 조명광학계(12)의 수차를 포함하고 있다. 제 1 마스크(60)의 핀홀(63)과 창(65)은 투영광학계(16)에 의해, 스테이지(18)상에 배치된 제 2 마스크(70)에 결상 된다. 제 1 마스크(60)의 핀홀(63)과 창(65)은 제 2 마스크(70)의 핀홀(77)과 핀홀(75)에 각각 결상하도록 스테이지(18)를 구동함으로써, 제 2 마스크(70)의 위치를 조정한다.
- <62> 핀홀(75) 및 (77)을 회절하는 각각의 광속은, 등위상의 구면파면을 가진다. 도 5는 핀홀(75) 및 (77)로부터 사출한 광속의 모식도이다. 도 5는 이상 구면파(76), (78)를 각각 가진 핀홀(75)을 통과한 광속과 핀홀(77)을 통과한 광속을 나타낸다.
- <63> 핀홀(75) 및 (77)로부터의 광속에 의해 생성된 간섭패턴은 이미지 센서(53)로부터 케이블(54)을 개재하여 제어부(55)에 보내지고, 상기 제어부(55)는 위상정보를 취득한다. 간섭 패턴으로부터의 위상정보는 예를 들면, 푸리에 변환법, 전자 무아레법 등에 의해 산출된다.
- <64> 푸리에 변환법에서는, 하나의 간섭패턴을 2차원 푸리에 변환시킴으로써 측정된 파면정보에 관한 정보를 포함한 공간주파수 영역을 얻고, 원점 쉬프트 한 후, 역 푸리에 변환하고, 이에 의해 위상정보를 취득하는 방법이다.
- <65> 전자 무아레법에서는, 1매의 피측정 간섭패턴과 같은 캐리어 주파수를 가지고, 또한 위상 쉬프트 시킨 적어도 3매 이상의 참조 무아레 패턴을 형성한다. 상기 피측정 간섭패턴과 상기 참조 무아레 패턴으로부터 적어도 3매 이상의 무아레 패턴이 생성되어, 저역필터를 통과하고 위상을 시프트 시켜서 위상정보를 취득한다.
- <66> 전자 무아레법을 사용하는 경우는, 피측정 간섭패턴과, 제어부(55)에 의해 생성되거나 또는 메모리(56)에 미리 저장된 참조 무아레 패턴을 승산하여 처리하는 것이 가능하다.
- <67> 스텝 1002에서 산출한 파면수차는, 예를 들면, 핀홀로부터 출사한 이상 구면파에 의해 발생하는 수차성분 및 제 2 마스크(70)와 이미지 센서(53)의 사이에 존재하는 매질에 의해 생성되는 수차성분들을 포함한다. 또, 상기 산출된 파면수차에는, 투영광학계(16)에 관한 수차정보가 반영되어 있지 않다. 이 파면수차가 오프셋파면수차이다.
- <68> 스텝 1004에서, 투영광학계(16)에 관한 수차정보를 포함한 피검 파면수차를 얻는다. 스텝 1002와 마찬가지로, 광원(10)으로부터 출사한 광속은 라우팅 광학계(11)에 의해, 조명광학계(12)로 라우팅 된다. 라우팅 광학계(11)로부터의 광속은 조명광학계(12)내의 마스크 수단에 의해, 제 1 마스크(60)의 핀홀(63) 및 창(65)에 조사되도록 조정된다.
- <69> 상기 핀홀(63)은 상기 조건식(1)을 만족시키는 직경을 가지므로, 등위상의 구면파면을 가진 회절광이 나온다. 이것에 의해, 투영광학계(16)의 광학동공 전체면에 광이 조사되게 된다. 한편, 창(65)을 통과한 광속은 조명광학계(12)의 수차를 포함하고 있다. 제 1 마스크(60)의 핀홀(63)과 창(65)은 투영광학계(16)에 의해, 스테이지(18)상에 배치된 제 2 마스크(70)에 결상된다. 제 1 마스크(60)의 핀홀(63)과 창(65)은 제 2 마스크(70)의 창(73)과 핀홀(71)에 결상하도록, 스테이지(18)를 구동함으로써, 제 2 마스크(70)의 위치를 조정한다.
- <70> 핀홀(71)을 회절하는 광은 등위상의 구면파면을 가진다. 한편, 핀홀(63)과 등위상인 파면에 정형된 후, 투영광학계(16)을 통과한 광이 창(73)을 투과한다. 따라서, 상기 투영광학계(16)에 관한 파면수차 정보를 포함하고 있다. 도 6은 핀홀(71)과 창(73)의 중심으로부터 사출한 광의 모식도를 나타낸다. 도 6은 핀홀(71)을 통과한 광이 이상 구면파(72)를 가지며, 창(73)을 거친 광은 측정된 파면(74)을 가지는 것을 나타낸다.
- <71> 이 이유 때문에, 이미지 센서(53)에 의해 촬상된 간섭패턴에 의거하여, 위상정보를 구함으로써, 투영광학계(16)에 관한 수차정보가 반영된 파면수차를 얻을 수 있다.

- <72> 도 7에는, 이미지 센서(53)가 검출하는 핀홀(71)과 창(73)의 중심을 통과한광속에 의해 생성된 간섭패턴의 일례를 나타낸다. 핀홀(71)과 창(73)의 간격에 대응하는 양 만큼 중심이 서로 오프셋된 투영광학계(16)의 동공에 대응하는 2개의 화상이 촬상되고 상기 화상에 공통인 영역에 간섭프린지의 패턴이 생성되어 있다.
- <73> 상기 촬상된 간섭패턴은 이미지 센서(53)로부터 케이블(54)를 개재하여 제어부(55)에 보내진다. 상기 제어부(55)는, 상술한 방법, 예를 들면, 푸리에 변환법이나 전자 무아레법에 의해, 간섭패턴으로부터 위상정보를 취득한다.
- <74> 스텝 1004에서 산출된 상기 파면수차(피검파면수차)는, 투영광학계(16)의 수차 뿐만 아니라, 상기 핀홀로부터 출사한 광의 이상 구면파에 의해 생성된 수차성분 및 제 2 마스크(70)와 이미지 센서(53)의 사이에 존재하는 매질에 의해 생성되는 수차성분을 포함하고 있다.
- <75> 스텝 1006에서는, 스텝 1004에서 산출된 상기 피검파면수차를, 스텝 1002에서 산출된 오프셋 파면수차에 의거하여 보정하고, 투영광학계에서 초래하지 않는 수차성분을 제거한다. 실제의 보정에서는, 예를 들면, 피검파면수차의 값에서 각 위치에서의 오프셋 파면수차의 값을 감산한다. 또는, 피검파면수차와 오프셋 파면수차를, 각각, 제르니케 다항식으로 표현하고, 제르니케 각 항의 값마다 감산을 행한다. 따라서, 투영광학계에 관한 수차정보만을 포함하는 파면수차를 정밀하게 구할 수 있다.
- <76> 이상, 스텝 1002 내지 스텝 1006에 대해 설명했지만, 복수회의 측정을 반복할 경우에, 예를 들면, 1 로트의 웨이퍼를 노광할 때마다 노광수차를 측정할 경우에, 측정시 마다 스텝 1002 내지 스텝 1006의 전체스텝을 실행할 필요는 없다.
- <77> 예를 들면, 측정장치의 상태가 시간에 따라 변경되지 않고, 핀홀로부터 출사하는 이상 구면파에 의해 발생하는 수차 및 마스크(70)와 이미지 센서(53)의 사이에 존재하는 매질에 의해 발생하는 수차가 변경되지 않는다고 생각될 수 있는 기간 이내에, 모든 스텝을 실행할 필요는 없다. 즉, 한 번만 스텝 1002를 실행하고, 오프셋 파면수차에 관한 데이터를 메모리(56)에 저장한다. 스텝 1006을 실행할 때에, 메모리로부터 오프셋 파면수차 데이터를 추출한다. 이 방법에서는, 스텝 1004를 생략할 수 있다.
- <78> 또는, 오프셋 수차정보를 포함한 참조 무아레 패턴을 이용한 전자 무아레 측정법에 의해, 더욱 측정시간을 단축하는 것이 가능하다. 상기 전자 무아레 측정법의 상세한 것에 대하여, 도 8에 나타난 흐름도를 참조하면서 설명한다.
- <79> 도 8을 참조하여, 오프셋파면 측정스텝(스텝 2002)에서, 촬상된 오프셋 간섭 패턴(101)으로부터 오프셋파면 수차정보를 산출한다.
- <80> 처리-테이블 작성스텝(스텝 2003)에서는, 스텝 2002에서 산출한 오프셋파면수차 정보에 의거하여, 초기위상이 다른 복수의 참조 무아레 패턴(102)과 화소중에서 공간 주파수가 변하는 공간 가변 저역통과필터에 상당하는 테이블(103)을 작성한다. 상기 테이블을 메모리(56) 등에 저장한다.
- <81> 공간주파수 가변 저역통과필터의 테이블(103)은, 화소 위치에 따라 다른 이동평균폭을 화소값으로서 포함하고 있다. 그 이동평균폭은, 오프셋 간섭패턴(101)으로부터 얻을 수 있는 오프셋 파면수차(위상정보)에서,  $2\pi$ 의 위상 차이가 발생하는 각 열의 화소의 간격을 검출하고, 검출된 화소수를 그 화소 위치에서의 이동평균폭(화소값)으로 간주하여 산출할 수 있다. 또는, 오프셋 간섭패턴(101)에서 에지 검출이나 선분 검출 등의 화상처리를 가함으로써 오프셋 간섭패턴(101)에서의 화소위치 마다의 프린지 간격에 대응하는 화소의 수를 검출하고, 검출된 화소의 수를 그 화소 위치에서의 이동평균폭으로 간주하여도 된다.
- <82> 전자 무아레 파면측정 스텝(스텝 2004)에서는, 촬상한 간섭패턴(104)에 메모리(56)로부터 추출한 참조 무아레 패턴(102)을 승산함으로써 무아레 패턴(105)을 구하고, 메모리(56)로부터 추출한 테이블(103)의 정보에 의거한 저역통과필터를 통과시킨다. 이에 의해 얻은 정보(데이터)(106)는, 초기 위상이 다른 복수의 오프셋 성분이 제거된 위상정보이다. 상기 데이터(106)를 처리함으로써 파면수차(107)를 얻는다. 따라서, 파면수차(107)는, 오프셋 성분을 포함하지 않는 투영광학계(16)만의 파면수차 정보를 포함한다.
- <83> 상기 전자 무아레 측정 방법에서는, 스텝 2002 및 스텝 2003을 미리 한 번만 실행하고, 매측정 작업에서는 스텝 2004만을 실행하여도 된다. 따라서, 이 측정 방법의 1회의 측정에 걸리는 시간은, 도 4에 도시된 스텝 1004의 측정시간과 동등하게 된다.
- <84> 이상 설명한 바와 같이, 제 1 실시예에서의 노광장치는, 피검광학계 후방에 핀홀, 창 및 2개의 핀홀을 설치한 PDI 파면수차 측정장치를 포함하고 있다. 이 측정장치에서는, 핀홀과 창을 통과한 광속에 의해 형성된 간섭프린

지를 해석하여 얻은 파면수차를, 2개 핀홀을 통과한 광속에 의해 형성된 간섭프린지를 해석하여 얻은 파면수차에 의해 보정한다. 따라서, 핀홀을 통과한 광의 이상 구면과 및 간섭계의 제조오차에 의해 발생하는 수차성분을 제거하여, 피검광학계의 파면수차를 정밀하게 측정할 수 있다.

<85> <실시예 2>

<86> 본 발명의 실시예 2에 의한 LDI 측정장치를 포함한 노광장치에 대해, 첨부 도면을 참조하면서 설명한다. 실시예 2의 노광장치는, 실시예 1의 노광장치(100)와대략 동일하지만, 도 1의 제 1 마스크(60) 및 제 2 마스크(70) 대신에 제 1 마스크(60') 및 제 2 마스크(70')가 사용되는 것이 다르다.

<87> 도 9는 제 2 실시예의 제 1 마스크(60')의 구조의 개략 평면도이다. 제 1 마스크(60')는, 0도 방위(y 방향)로 배치된 슬릿(63a)과 창(65a)의 조합과 90도 방위(x 방향)로 확장한 슬릿(63b)과 창(65b)의 조합을 포함한다. 상기 조합은 폭이나 간격 등은 동일하고, 방위만이 차이가 난다. 슬릿(63a) 및 (63b)의 폭( $\Delta r$ )은 투영광학계(16)의 레티클측, 즉, 물체측의 개구수를  $NAr$ 로 놓으면, 상기 조건식(1)을 만족시킨다.

<88> 슬릿(63a) 및 (63b)의 폭( $\Delta r$ )을 조건식(1)을 만족시키도록 설정하면, 상기 슬릿으로부터 회절된 광은 개구수  $NAr$ 에 대해 등위상으로 간주할 수 있다. 한편, 창(65a) 및 (65b)의 폭  $\Delta r'$ 은  $\Delta r$ 와 동일하여도 되지만, 창(65a) 및 (65b)를 투과한 광속은, 전술한 바와 같이, 기관 측에서 상기 조건식(2)을 만족시키는 폭을 가진 슬릿을 통과하고, 따라서, 레티클측에서 상기 개구수  $NAr$ 와 등위상으로 되어야 할 필요는 없기 때문에, 광량의 관점으로 부터 상기 창(65a) 및 (65b)을 투과한 광속은 상기 슬릿(63a) 및 (63b)를 통과한 광속보다 좀 더 크게 설정되어야 한다. 슬릿(63a) 및 (63b)의 길이는, 어느 정도의 광량을 얻을 수 있도록 상기 폭  $\Delta r$ 보다 길게 되어 있다.

<89> 도 10은 제 2 마스크(70')의 개략평면도이다. 도 10에 도시된 바와 같이, 제 2 마스크(70')는, 0도 방위(y방향)로 확장하는 슬릿(71a)과 창(73a)의 조합, 0도 방위(y방향)로 확장하는 슬릿(75a)와 슬릿(77a)의 페어, 90도 방위(x방향)로 확장하는 슬릿(71b)과 창(73b)의 조합, 90도 방위(x방향)로 확장하는 슬릿(75b)과 슬릿(77b)의 페어를 포함한다. 슬릿(71a)과 창(73a)의 조합과 슬릿(71b)과 창(73b)의 조합은 폭이나 간격 동일하고, 방위만이 다르다. 슬릿(75a)과 슬릿(77a)의 페어와 슬릿(75b)와 슬릿(77b)의 페어도 폭이나 간격 등은 동일하고, 방위만이 차이가 난다. 슬릿(71a)과 창(73a) 사이의 간격과 슬릿(75a)과 슬릿(77a) 사이의 간격은 동일하고, 슬릿(71b)과 창(73b) 사이의 간격과 슬릿(75b)과 슬릿(77b) 사이의 간격도 동일하다. 슬릿(71a, 71b, 75a, 75b, 77a 및 77b)의 폭  $\Delta w$ 는 투영광학계(16)의 기관측, 즉, 상측의 개구수를  $NAs$ 로 놓으면 상기 조건식(2)를 만족시킨다.

<90> 슬릿(71a, 71b, 75a, 75b, 77a, 77b)의 폭을 상기 조건식(2)을 만족시키도록 설정하면, 슬릿으로부터 회절된 광은 개구수  $NAs$ 에 대해 등위상으로 간주할 수 있다.

<91> 창(73a) 및 (73b)의 폭  $\Delta w'$ 는 측정하고자 하는 투영광학계의 공간주파수에 의해 결정한다. 상기 폭  $\Delta w'$ 는, 고주파 및 저주파 양자 모두를 포함한 공간주파수를 측정하기 위해서는 넓게 설정되어야 하고, 저주파만을 측정하기 위해서는 좁게 설정되어야 한다. 투영광학계(16)의 동공에서의 공간주파수를  $f$ 로 두면, 상기 폭  $\Delta w'$ 는 상기 조건식(3)으로 주어진다.

<92> 슬릿과 창의 길이  $Lw$ 는 광량의 관점으로부터 가능한 한 길게 설정되어야 하지만, 투영광학계(16)의 수차가 고정되도록, 즉, 이른바 아이소플래네틱 영역(isoplanatic region) 보다 작아지도록 설정하는 것이 필요하다.

<93> 제 2 실시예에서, 제 2 마스크(70')는 6개의 슬릿(71a, 71b, 75a, 75b, 77a 및 77b)를 포함하고 있다. 그러나, 슬릿(71a)의 부근에 슬릿(75a)를 형성하고, 슬릿(71b)의 부근에 슬릿(75b)를 형성하여도 된다. 이 경우에, 슬릿(77a) 및 (77b)를 생략할 수 있고, 슬릿(71a) 및 (75a), 또는 슬릿(71b) 및 (75b)로 더블슬릿 구성을 형성할 수 있다.

<94> 도 11은 측정장치(50a, 50b)의 동작을 설명하기 위한 흐름도이다. 상기 흐름도는, x방향과 y방향의 각각에 대해서도 4에서 도시된 동작을 실행하는 점과 파면수차 합성스텝이 부가된 점이, 실시예 1과 다르다. 이하, 도 11을 참조하면서, 제 2 실시예의 측정장치의 동작에 대해 설명한다.

<95> 우선, 스텝 1002a에서, x방향의 오프셋 파면수차를 측정한다. 도 1을 참조하면, 광원(10)으로부터 출사한 광속은 라우팅 광학계(11)에 의해, 조명광학계(12)에 라우팅 된다. 라우팅 광학계(11)로부터의 광속의 크기는 조명광학계(12)의  $\sigma$  조리개에 의해, 상기 광속이 제 1 마스크(60')를 조사하도록 조정된다.

<96> 스텝 1002a에서, 도시하지 않은 구동기구(레티클 스테이지(15))를 상대적으로 이동하여, 조명광학계(12)로부터

의 광속이 제 1 마스크(60')의 0도 방위로 확장한 슬릿(63a) 및 창(65a)에만 조사된다.

- <97> 슬릿(63a)의 폭은 상기 조건식(1)을 만족시키므로, x방향으로 등위상의 파면을 가진 회절된 광이 상기 슬릿(63a)으로부터 나온다. 한편, y방향 또는 긴쪽 방향으로 슬릿(63a)에 의해 광은 거의 회절되지 않는다. 따라서, 적어도, 도 9의 y방향으로는, 투영광학계(16)의 물체측, 즉, 레티클측의 개구수와 동등하거나 그 이상의 개구수를 가지는 광속을 슬릿(63a)에 조사한다. 이에 의해, 투영광학계(16)의 광학동공 전체면에 광이 조사되게 된다. 게다가, 상기 광속은, x방향으로 등위상인 파면을 가진다. 제 1 마스크(60')의 슬릿(63a)과 창(65a)은 투영광학계(16)에 의해, 스테이지(18)상에 배치된 제 2 마스크(70')에 결상된다. 제 1 마스크(60')의 슬릿(63a)과 창(65a)은, 제 2 마스크(70')의 슬릿(77a)과 슬릿(75a)에 각각 결상하도록, 스테이지(18)을 구동함으로써, 제 2 마스크(70')의 위치를 조정한다.
- <98> 슬릿(75a)과 슬릿(77a)을 통과한 회절된 광속은, 각각 x방향으로만 구면파의 등위상인 파면을 가진다. 상기 광속 사이의 간섭에 의해 생성된 간섭패턴은 이미지 센서(53)에 의해 촬상되고, 이미지 센서(53)로부터 케이블(54)을 개재하여 제어부(55)에 보내지고, 제어부(55)는 위상 정보를 취득한다. 예를 들면, 푸리에 변환법, 소위 전자 무아레법(일본국 특허 02538435호, 일본국 특개평 5-306916호 공보 및 특개평 11-14322호 공보 참조) 등에 의해 간섭패턴으로부터 위상정보를 산출한다.
- <99> 스텝 1002a에서 산출된 파면수차는, 슬릿을 통과한 광의 파면형상에 의존하여 발생하는 수차성분, 마스크(70')와 이미지 센서(53)의 사이에 존재하는 매질에 의해 발생하는 수차성분 등을 포함한다. 상기 파면수차는 상기 투영광학계에 관한 x방향의 수차정보를 포함하지 않는다(x방향 오프셋 파면수차).
- <100> 스텝 1004a에서는, 투영광학계(16)의 x방향의 피검파면수차를 얻는다. 스텝 1002a와 마찬가지로 조명광학계(12)로부터의 광속이 제 1 마스크(60')의 0도 방위에 형성된 슬릿(63a) 및 창(65a)에만 조사되도록 한다.
- <101> 슬릿(63a)의 폭은 상기 조건식(1)을 만족시키므로, x방향으로 등위상의 파면을 가진 회절된 광이 슬릿(63a)으로부터 나온다. 슬릿(63a)에 의해 y방향 또는 긴쪽 방향으로 광은 거의 회절되지 않는다. 따라서, y방향으로는, 투영광학계(16)의 물체측, 즉, 레티클측의 개구수와 동등하거나 그 이상의 개구수를 가지는 광속을 슬릿(63a)에 조사한다. 이에 의해, 투영광학계(16)의 광학동공 전체면에 광이 조사되게 된다. 게다가, 상기 광속은 x방향으로 등위상인 파면을 가진다. 제 1 마스크(60')의 슬릿(63a)과 창(65a)은 투영광학계(16)에 의해, 스테이지(18)상에 배치된 제 2 마스크(70')에 결상된다. 제 1 마스크(60')의 슬릿(63a)과 창(65a)은 제 2 마스크(70')의 창(73a)과 슬릿(71a)에 결상 하도록, 스테이지(18)을 구동함으로써, 제 2 마스크(70')의 위치를 조정한다.
- <102> 슬릿(71a)으로부터 회절된 광은 x방향으로만 등위상인 구면파면을 가진다. 한편, 상기 슬릿(63a)에 의해 x방향으로 등위상으로 정형되는 파면을 가지고, 투영광학계(16)를 투과하는 광이, 창(73a)을 투과한다. 따라서, 투영광학계(16)에 관한 x방향의 파면수차 정보를 포함하고 있다.
- <103> 따라서, 이미지 센서(53)에 의해 관찰되는 간섭패턴으로부터, 위상정보를 구함으로써, 투영광학계(16)에 관한 x방향의 수차정보가 반영된 파면수차를 얻을 수 있다. 위상정보는, 예를 들면, 푸리에 변환법, 전자 무아레법 등에 의해 간섭패턴으로부터 얻는다.
- <104> 촬상된 간섭패턴은 이미지 센서(53)로부터 케이블(54)을 개재하여 제어부(55)에 보내지고, 제어부(55)는 위상정보를 취득한다. 제 2 실시예에서는, 캐리어프린지를 가진 간섭패턴을 얻을 수 있으므로, 상기 간섭패턴에, 제어부(55)에 의해 생성되거나, 또는 메모리(56)에 미리 격납된 캐리어프린지를 승산할 수 있다.
- <105> 상기 스텝 1004a에서 산출된 x방향의 피검파면수차는, 상기 투영광학계의 x방향의 수차성분, 슬릿을 통과한 광의 파면형상에 의존해 발생하는 수차성분 및 제 2 마스크(70')와 이미지 센서(53)의 사이에 존재하는 매질에 의해 발생하는 수차성분들을 포함하고 있다.
- <106> 스텝 1006a에서는, 스텝 1004a에서 산출한 x방향의 피검파면수차를, 스텝 1002a에서 산출한 x방향 오프셋 파면수차에 의해 보정하고, 투영광학계로부터 기인하지 않는 수차성분은 제거된다. 따라서, x방향에서는, 투영광학계의 수차정보만을 가지는 파면수차를 구할 수 있다.
- <107> 스텝 1002b에서, y방향의 오프셋 파면수차를 측정한다. 도시하지 않은 구동기구인 레티클스테이지(15)를 상대적으로 이동하여, 조명광학계(12)로부터의 광속이 제 1 마스크(60')의 90도 방위의 슬릿(63b) 및 창(65b)에만 조사되도록 한다.
- <108> 슬릿(63b)의 폭은 상기 조건식(1)을 만족시키므로, y방향으로는 등위상의 파면을 가진 회절된광이 슬릿(63b)으로부터 나온다. 한편, 슬릿(63b)의 x방향 또는 긴쪽 방향으로 광이 거의 회절되지 않는다. 따라서, 적어도, 도



9의 x방향으로는, 투영광학계(16)의 물체측, 즉, 레티클측의 개구수와 동등하거나 그 이상의 개구수를 가지는 광속을 슬릿(63b)에 조사한다. 이에 의해, 투영광학계(16)의 광학동공 전체면에 광이 조사되게 된다. 게다가, 상기 광속은 y방향으로 등위상인 파면을 가진다. 제 1 마스크(60')의 슬릿(63b)과 창(65b)은 투영광학계(16)에 의해, 스테이지(18)상에 배치된 제 2 마스크(70')에 결상된다. 제 1 마스크(60')의 슬릿(63b)과 창(65b)은 제 2 마스크(70')의 슬릿(77b)과 슬릿(75b)에 각각 결상하도록, 스테이지(18)를 구동함으로써, 제 2 마스크(70')의 위치를 조정한다.

<109> 슬릿(75b)와 (77b)를 통과한 회절된 광속은, 각각 x방향으로만 등위상인 구면파면을 가진다. 촬상된 간섭패턴은 이미지 센서(53)로부터 케이블(54)을 개재하여 제어부(55)에 보내지고, 제어부(55)는 위상정보를 취득한다. 위상정보는, 예를 들면, 푸리에 변환법, 전자 무아레법 등에 의해 간섭패턴으로부터 산출된다.

<110> 스텝 1002b에서 산출한 파면수차는, 슬릿을 통과한 파면형상에 의존하여 발생하는 수차성분 및 마스크(70')와 이미지 센서(53)의 사이에 존재하는 매질에 의해 발생하는 수차성분 등을 포함한다. 상기 파면수차는, 투영광학계(16)에 관한 y방향의 수차정보를 포함하지 않는다(y방향 오프셋 파면수차).

<111> 스텝 1004b에서, 투영광학계(16)의 y방향의 피검파면수차를 얻는다. 스텝 1002b과 마찬가지로 광속이 조명광학계(12)로부터 제 1 마스크(60')의 90도 방위로 확장하는 슬릿(63b) 및 창(65b)으로만 조사된다.

<112> 슬릿(63b)의 폭은 상기 조건식(1)을 만족시키므로, y방향으로는 등위상의 파면을 가진 회절된 광이 슬릿(63b)으로부터 나온다. 한편, 슬릿(63b)에 의해 x방향 또는 긴쪽 방향으로 광은 거의 회절되지 않는다. 따라서, 적어도, 도 9의 x방향으로는, 투영광학계(16)의 물체측, 즉, 레티클 측의 개구수와 동등하거나 그 이상의 개구수를 가지는 광속을 슬릿(63b)에 조사한다. 이에 의해, 투영광학계(16)의 광학동공 전체면에 광이 조사되게 된다. 게다가, 상기 광속은 y방향으로 등위상인 파면을 가진다. 한편, 창(65b)을 투과한 광속은 조명광학계(12)의 수차가 포함되어 있다. 제 1 마스크(60')의 슬릿(63b)과 창(65b)은 투영광학계(16)에 의해, 스테이지(18)상에 배치된 제 2 마스크(70')에 결상된다. 제 1 마스크(60')의 슬릿(63b)과 창(65b)은 제 2 마스크(70')의 창(73b)과 슬릿(71b)에 각각 결상하도록, 스테이지(18)를 구동함으로써, 제 2 마스크(70')의 위치를 조정한다.

<113> 슬릿(71b)을 통과한 회절된 광은 y방향으로만 등위상인 구면파면을 가진다. 한편, 상기 슬릿(63b)에 의해 y방향으로 등위상에 정형된 파면을 가지고, 투영광학계(16)을 투과한 광속이 상기 창(73b)을 투과한다. 따라서, 상기 광속은, 투영광학계(16)에 관한 y방향의 파면수차 정보를 포함하고 있다.

<114> 이 이유 때문에, 이미지 센서(53)에 의해 관찰되는 간섭프린지로부터, 위상정보를 구하면, 투영광학계(16)에 관한 y방향의 수차정보가 반영된 파면수차를 얻는다. 위상정보는, 예를 들면, 푸리에 변환법, 전자 무아레법 등에 의해 간섭프린지로부터 산출된다.

<115> 촬상된 간섭 프린지의 패턴은, 이미지 센서(53)로부터 케이블(54)을 개재하여 제어부(55)에 보내지고, 제어부(55)는 그로부터 위상정보를 취득한다. 제 2 실예에서는, 캐리어프린지를 가지는 간섭패턴을 얻을 수 있으므로, 촬상된 간섭패턴에, 제어부(55)에 의해 생성되거나 또는 메모리(56)에 미리 격납된 캐리어프린지를 승산할 수 있다.

<116> 스텝 1004b에서 산출된 y방향의 피검파면수차는, 투영광학계(16)의 y방향의 수차성분과 슬릿을 통과한 광의 파면형상에 의존하여 발생하는 수차성분 및 마스크(70)와 이미지 센서(53)의 사이에 존재하는 매질에 의해 발생하는 수차성분 등을 포함하고 있다.

<117> 스텝 1006b에서는, 스텝 1004b에서 산출된 y방향의 피검파면수차를, 스텝 1002b에서 산출된 y방향 오프셋 파면수차에 의해 보정하고, 상기 투영광학계(16)에 기인하지 않는 수차성분은 제거된다. 따라서, y방향에서는, 상기 투영광학계의 수차정보만을 가지는 파면수차를 구할 수 있다.

<118> 스텝 1002a 내지 스텝 1006a에서 얻은 x방향의 파면수차와 스텝 1002b 내지 스텝 1006b에 의해 얻은 y방향의 파면수차는, 각각 x방향 또는 y방향으로 정확한 위상관계 만을 가진다.

<119> 따라서, 스텝 1008에서는, 상기 2개의 파면수차를 합성하여, x방향 및 y방향의 양 방향의 정확한 위상관계를 가진 투영광학계의 파면수차를 얻을 수 있다. 상기 파면수차 합성에 대해서는, 공지의 방법, 예를 들면, 본 발명자가 일본국 특허출원 2004-269731호에 기재한 합성방법을 이용해도 된다.

<120> 제 2실시예에서는, 실시예 1과 마찬가지로, 각 측정시 마다 상기 1002a로부터 1008까지의 전체스텝을 실행할 필요는 없다. 예를 들면, 미리 측정해 둔 스텝 1004a의 x방향 오프셋 파면수차와 스텝 1004b의 y방향 오프셋 파면수차를 메모리(56)에 저장하고, 스텝 1006a와 1006b를 실행할 때에 메모리로부터 추출해도 된다. 이경우에, 매

측정작업시에 스텝 1004a와 1004b를 생략할 수 있다.

- <121> 또는, 전자 무아레법을 이용하여 화상처리를 실시함으로써, 스텝 1002a와 1006a을 스텝 1004a에 포함하고, 스텝 1002b와 1006b를 스텝 1004b에 포함하는 일도 가능하다. 즉, 미리 측정해 둔 x방향(또는 y방향) 오프셋 파면수차에 관한 정보에 의거하여, 참조 무아레 패턴과 화소 중 공간주파수가 변하는 저역통과필터를 생성한다. x방향(또는 y방향)으로부터 얻은 무아레 패턴과 참조 무아레 패턴을 상기 저역통과필터에 통과시킴으로써, 오프셋 성분 보정을 실현할 수도 있다.
- <122> 제 2 실시예의 노광장치는, 피검광학계 후방에 슬릿, 창 및 더블슬릿을 배치하고, 파면수차를 측정하는 LDI 측정장치를 포함하고 있다. 이 측정장치에서는, 슬릿 및 창을 통과한 광속에 의해 생성되는 간섭프린지를 해석하여 얻을 수 있는 파면수차를, 더블슬릿을 통과한 광속에 의해 생성되는 간섭프린지를 해석하여 얻을 수 있는 파면수차에 의해 보정한다. 따라서, 슬릿을 통과한 광의 파면(일차원 방향만의 이상 구면파)이나 간섭계의 제조오차에 의해 발생하는 수차성분을 제거할 수 있고, 피검광학계의 파면수차를 정밀하게 측정 가능하다.
- <123> 이상, 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 설명했지만, 본 발명은 이러한 실시예로 한정되지 않고, 본 발명의 범위로부터 이탈함이 없이 각종의 변형 및 변경이 가능한 것으로 이해되어야 한다.
- <124> 예를 들면, 측정장치의 일부(50b)를 피검광학계의 상부측, 즉 레티클 측에 배치하고, 피검광학계를 왕복한 광과 이상 파면을 가진 광에 의해 생성된 간섭패턴을 촬상해도 된다. 이 경우에는, 레티클 대신에 배치된 제 1 마스크에 광이 재차 입사하지 않도록, 하프미러나 빔스플리터를 배치하여, 피검광학계를 왕복한 광을 제 2 마스크로 도광한다.
- <125> 광원(10)으로부터의 광을, 파이버 등을 개재하여 기관(17) 측에 배치된 제 1 마스크에 입사시킨 후, 피검광학계(투영 광학계 16) 및 레티클 측에 배치된 제 2 마스크를 통과시키도록 간섭계를 구성하여도 된다. 즉, 광속이, 제 1 마스크, 피검광학계 및 제 2 마스크의 순서로 통과하도록 간섭계를 구성하여도 된다.
- <126> 도 4 및 도 11의 흐름도에 나타난 각 스텝은, 그 순서 대로 실행할 필요는 없고, 스텝 1002보다 먼저 스텝 1004를 실행해도 되고, 상기한 바와 같이, 스텝 1002나 스텝 1006을 생략할 수도 있다.
- <127> 스텝 1006(또는 1006a, 1006b)에서, 피검파면의 수차는, 동공면의 각 점에서의 수차값의 감산에 의해 보정하여도 된다. 물론, 상기 파면을 제르니케 다항식으로 표현한 후, 제르니케 다항식의 각항에 대해 감산을 행하여도 된다.
- <128> 상기의 실시예에서는, 측정장치(50a, 50b)의 마스크(제 1 마스크(60) 및 제 2 마스크(70))를 조명광학계(12)에 의해 조명하였지만, 얼라이먼트 광학계(13)으로부터의 광에 의해 마스크 조명하여도 된다.
- <129> 상기의 실시예에서는, 노광장치에 설치한 측정장치에 대한 형태를 나타냈지만, 측정장치가 노광장치에 설치되어 있지 않아도 된다.
- <130> 또, 상기의 실시예에서는, 노광장치로서 스텝·앤드·스캔 방식의 노광장치를 나타냈지만, 본 발명은 스텝·앤드·리피트의 노광장치에 본 발명을 적용하는 것도 가능하다.

### 발명의 효과

- <131> 본 발명의 명백하고, 광범위하게 상이한 다수의 실시형태를 본 발명의 정신과 범위를 이탈함이 없이 이를 수 있으므로, 본 발명은 첨부된 클레임에서 정의된 것을 제외하고는 그 특정한 실시형태에 제한되지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- <132> 본 발명에 의한 파면수차 측정장치에 의하면, 정밀하게 피검광학계의 파면수차를 측정할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- <1> 도 1은, 본 발명의 실시예 1에 의한 노광장치의 개략 블록도;
- <2> 도 2는, 실시예 1의 제 1 마스크의 개략 평면도;
- <3> 도 3은, 실시예 1의 제 2 마스크의 개략 평면도;
- <4> 도 4는, 실시예 1의 측정장치의 동작을 설명하기 위한 흐름도;
- <5> 도 5는, 제 2 마스크의 2개의 핀홀로부터 사출된 광의 모식도;

- <6> 도 6은, 제 2 마스크의 핀홀과 창으로부터 사출된 광의 모식도;

<7> 도 7은, 제 2 마스크의 핀홀과 창으로부터 사출된 광에 의해 형성된 간섭패턴의 일례를 나타내는 개략 평면도;

<8> 도 8은, 참조 무아레 패턴에 오프셋 정보를 추가하는 전자 무아레 측정법의 개념도;

<9> 도 9는, 본 발명의 실시예 2의 제 1 마스크의 개략 평면도;

<10> 도 10은, 실시예 2의 제 2 마스크의 개략 평면도;

<11> 도 11은, 실시예 2의 측정장치의 동작을 설명하기 위한 흐름도.

<12> <도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

<13> 4: 케이블 10: 광원

<14> 11: 라우팅 광학계 12: 조명광학계

<15> 13: 얼라이먼트 광학계 14: 레티클(마스크)

<16> 16: 투영 광학계 17: 기판(웨이퍼, 유리 플레이트)

<17> 18: 스테이지 50a, 50b: 측정장치

<18> 53: 이미지 센서 55: 제어부

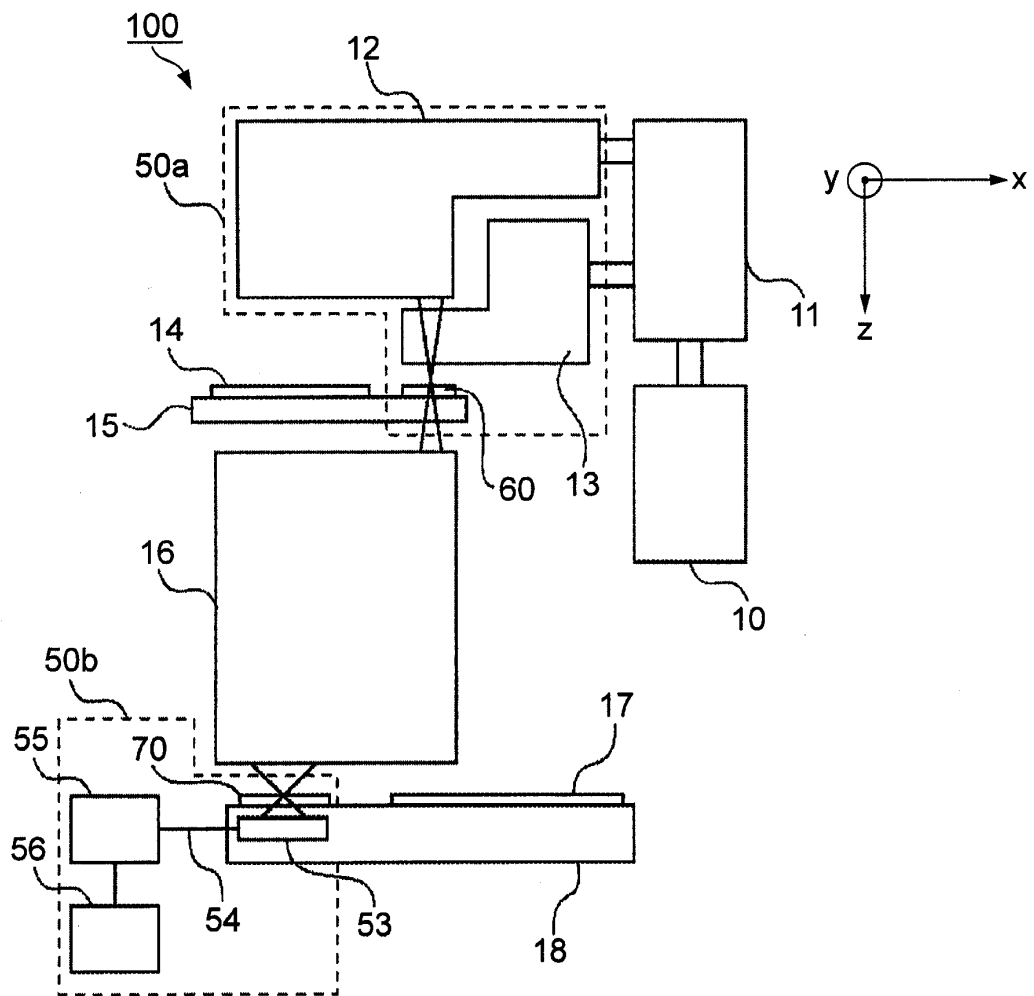
<19> 56: 메모리 60: 제 1 마스크

<20> 70: 제 2 마스크 100:노광장치

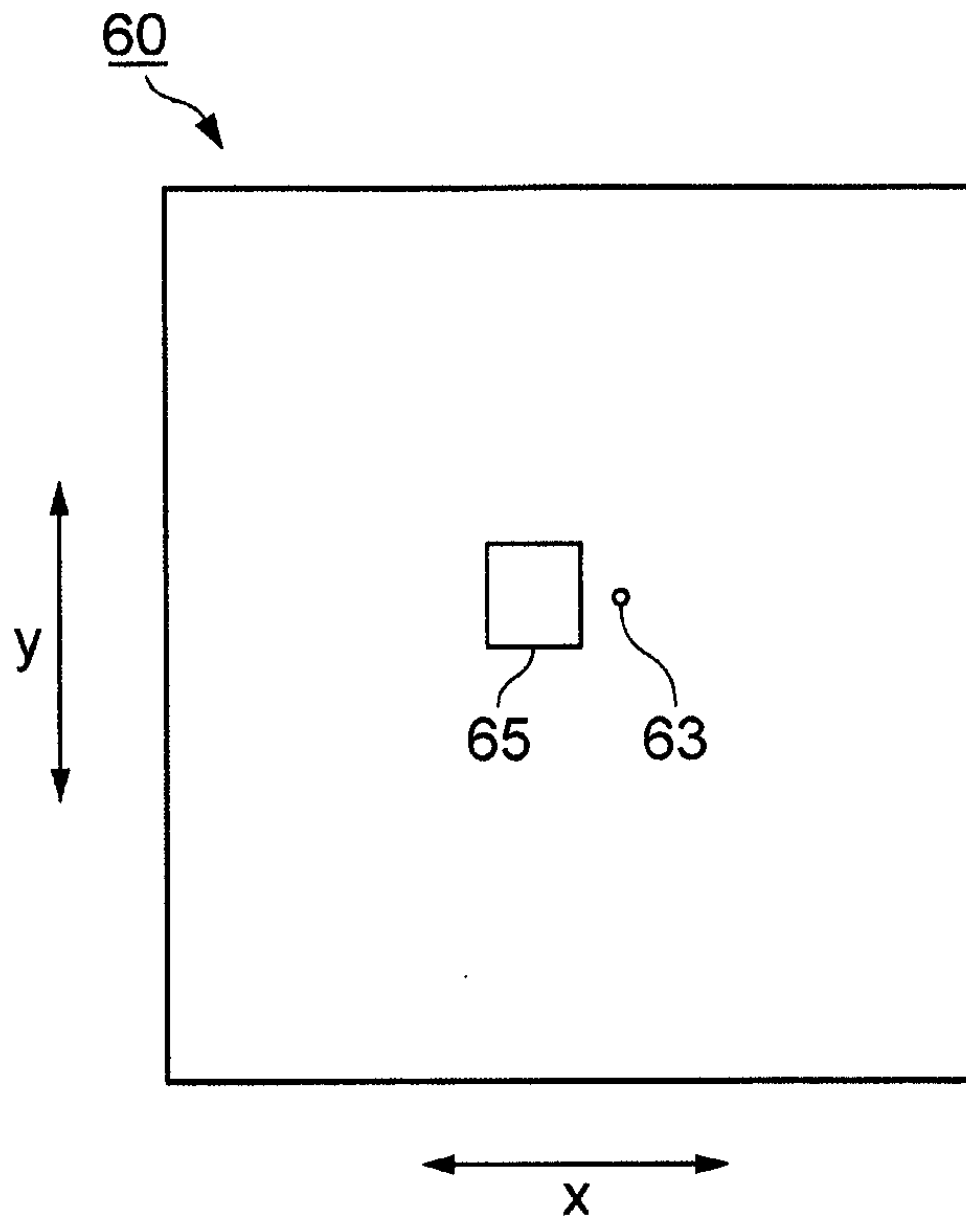


도면

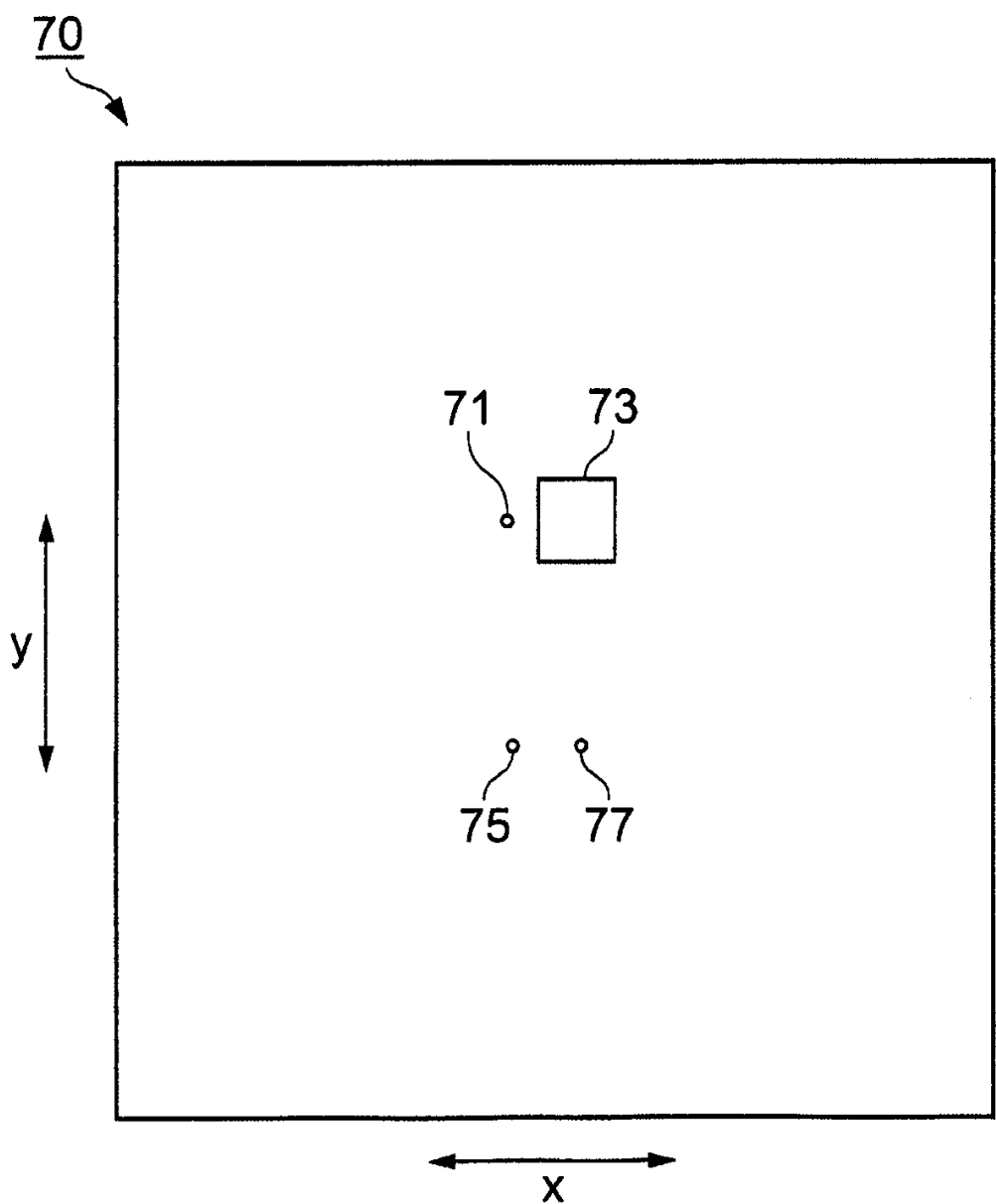
도면1



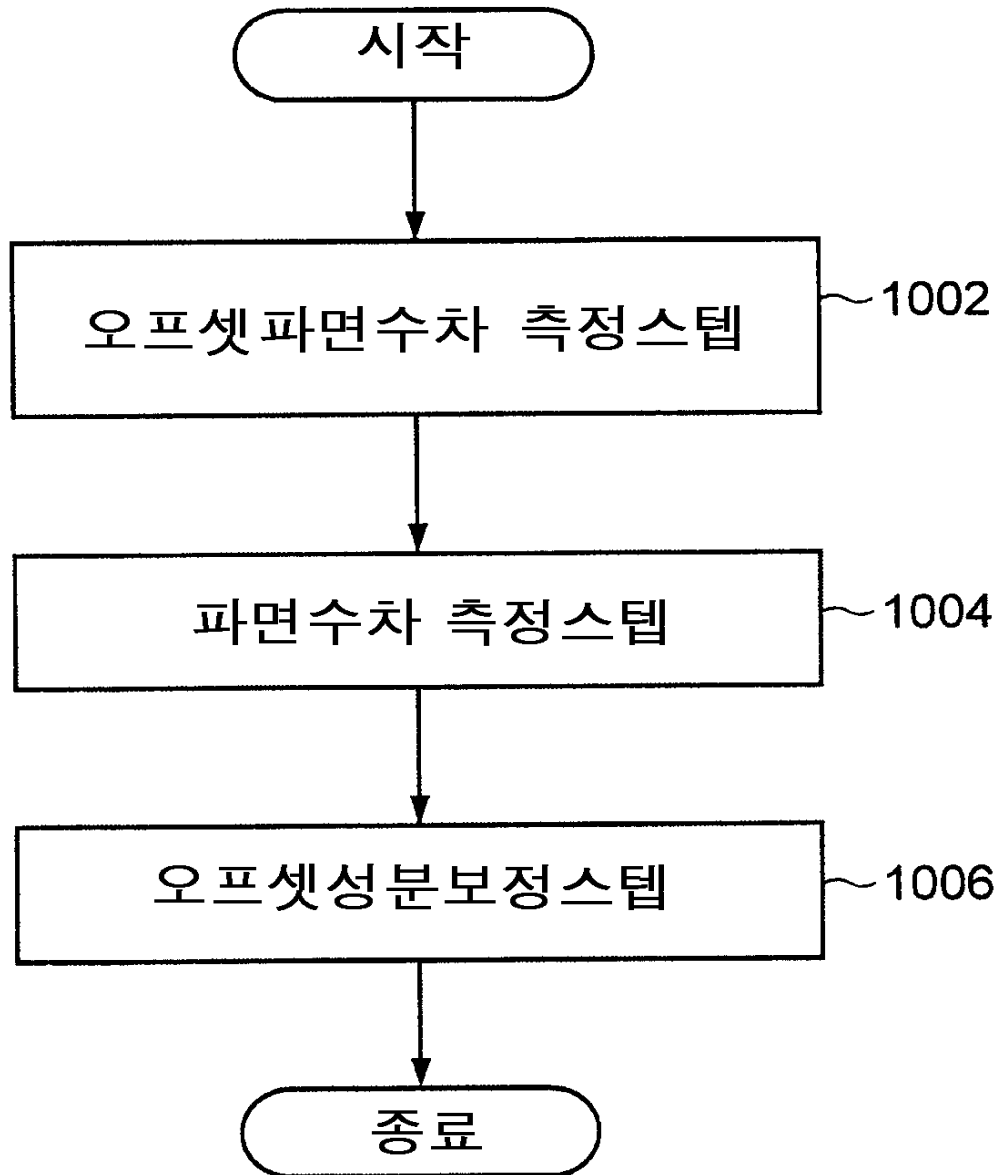
도면2



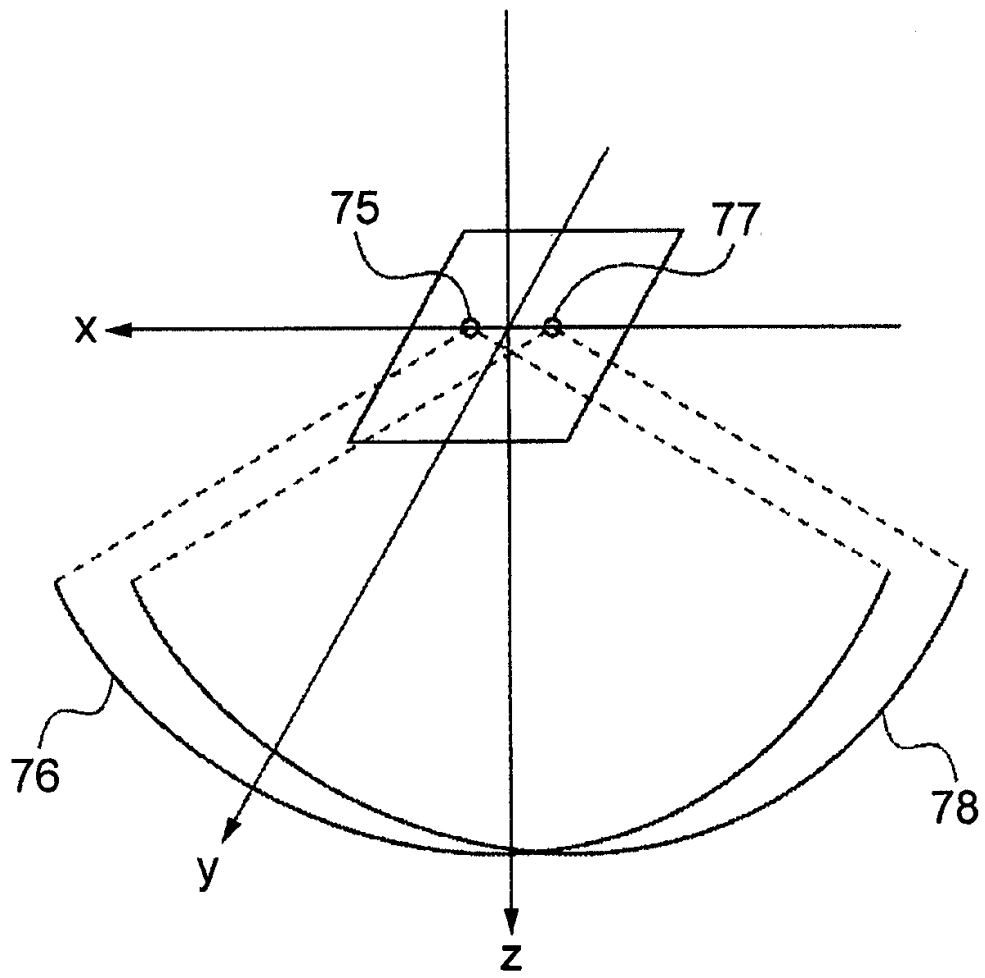
도면3



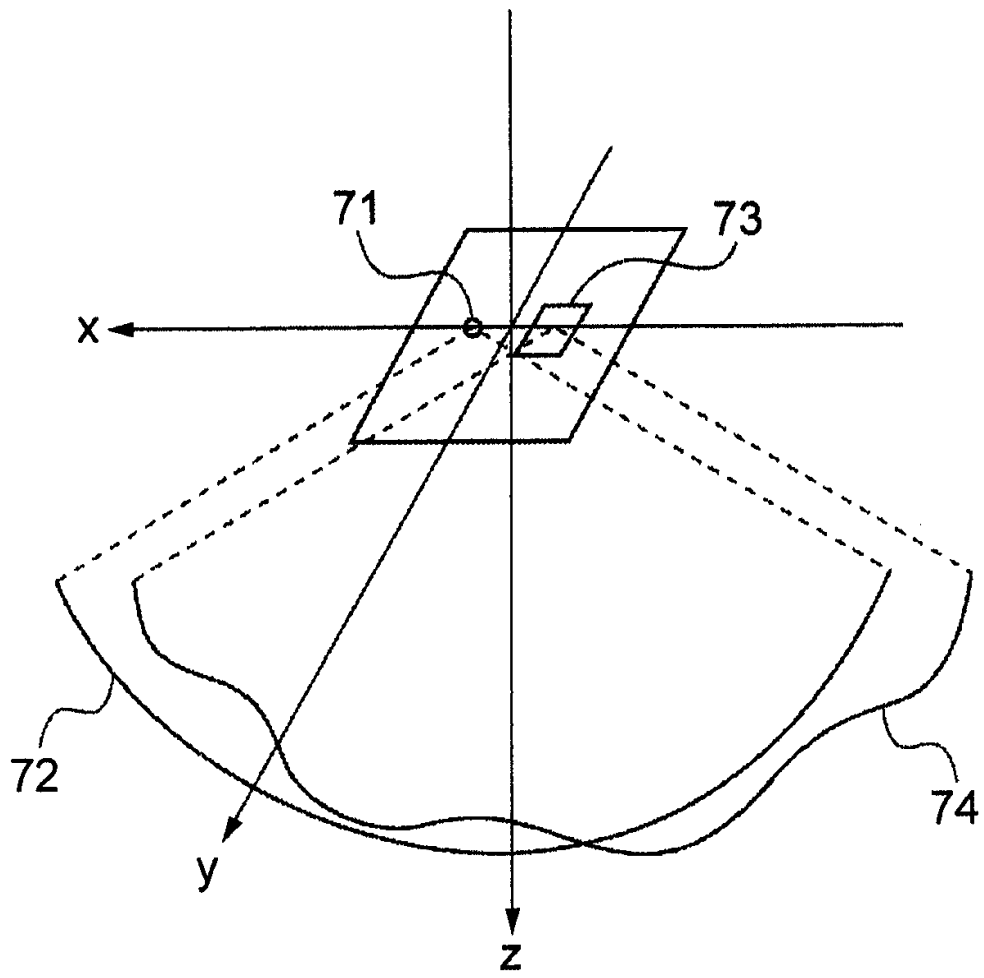
도면4



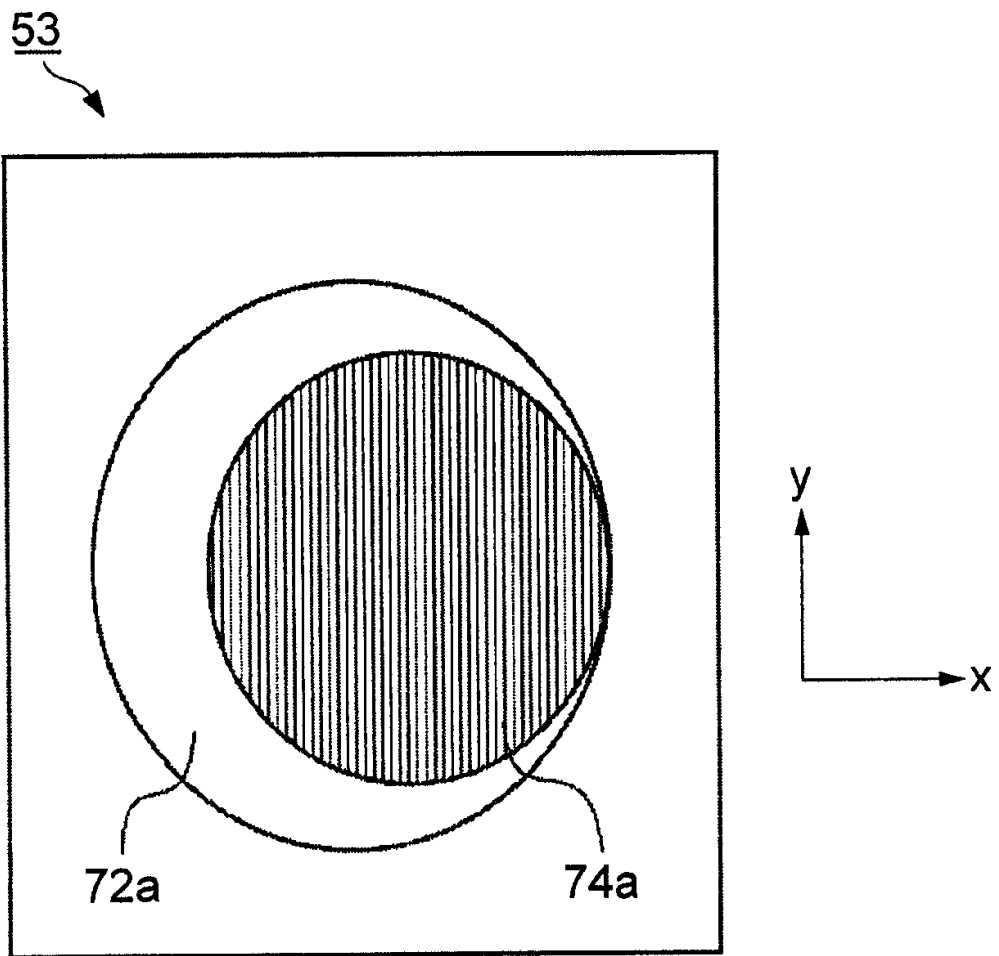
도면5



도면6

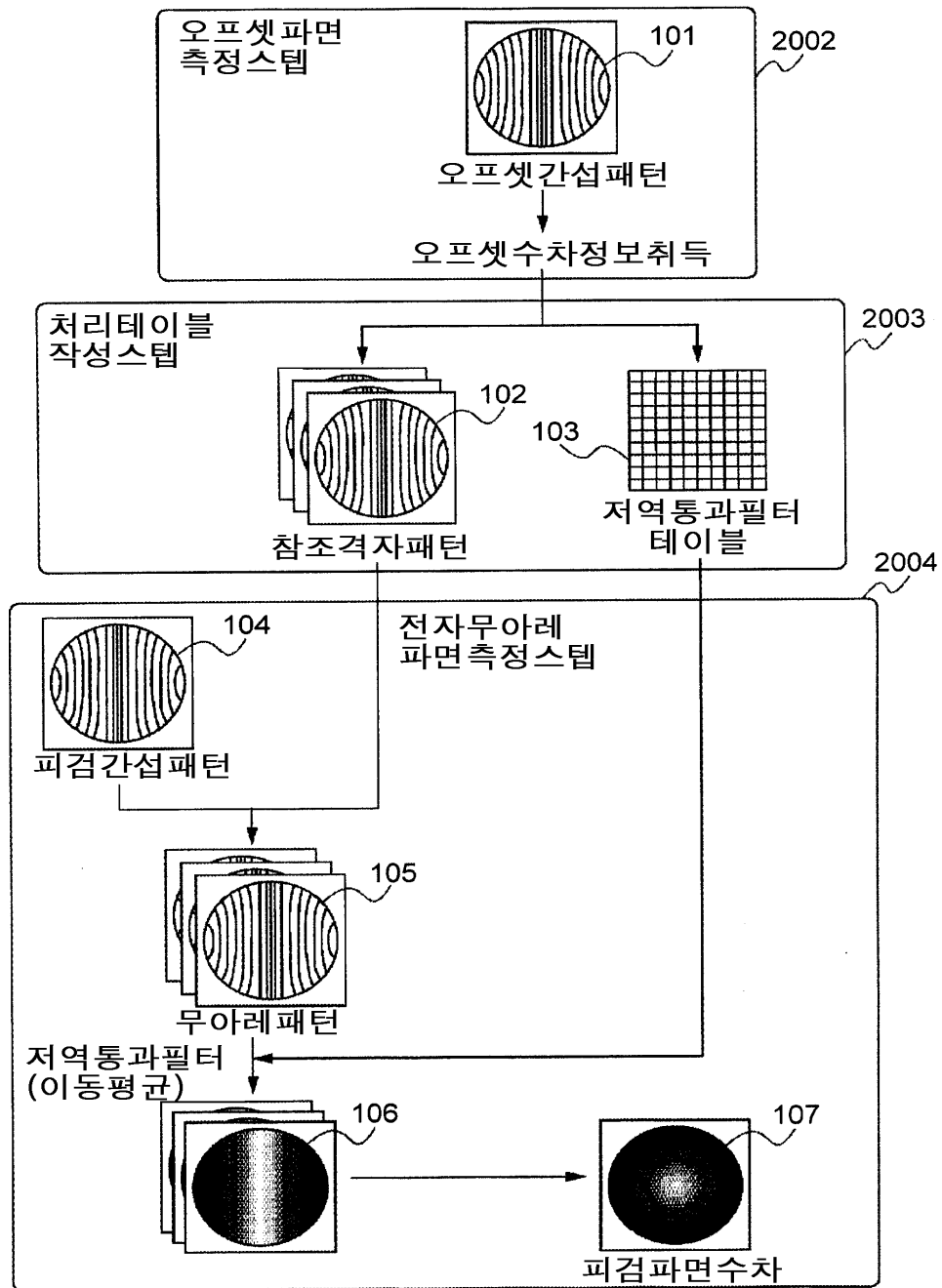


도면7

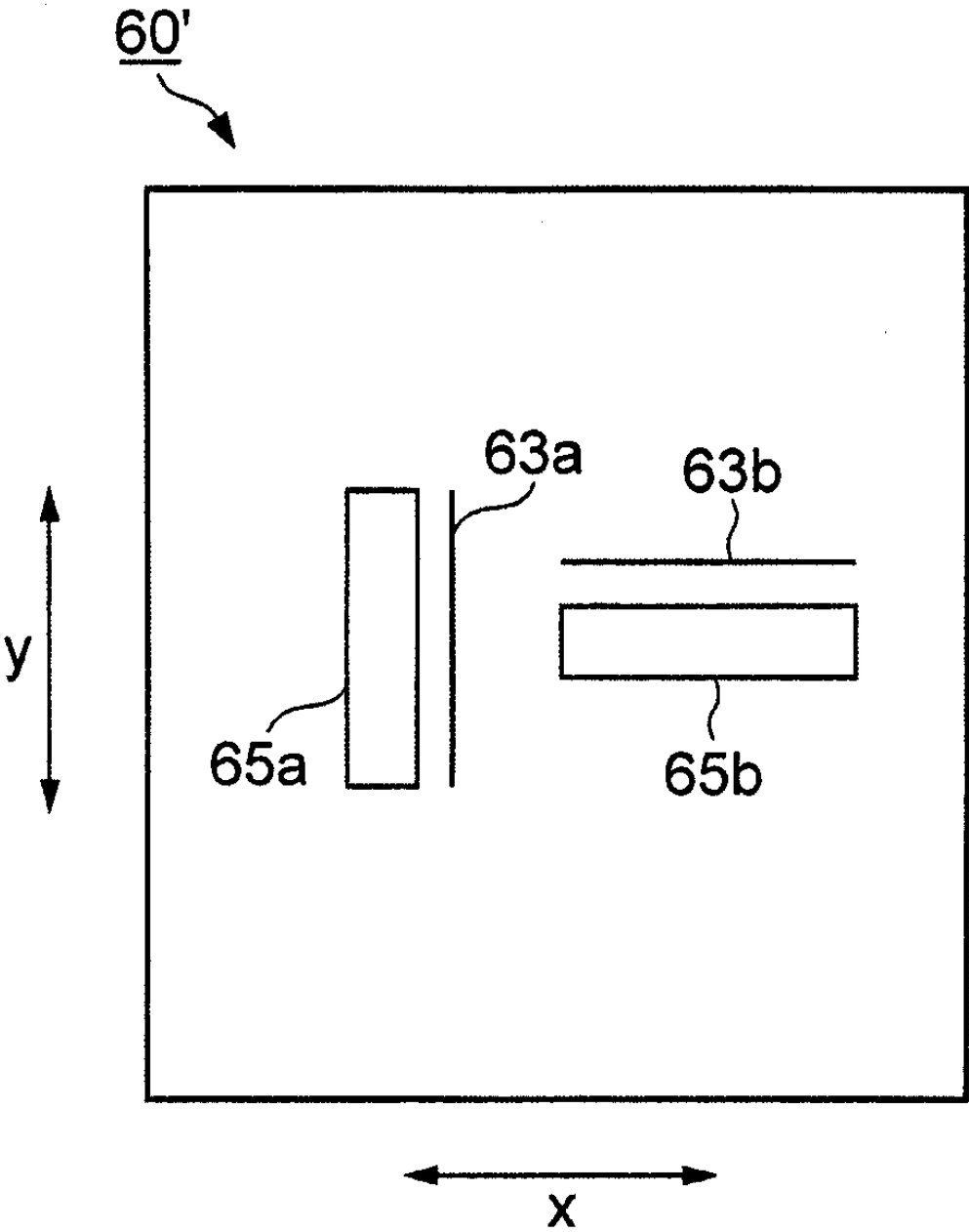




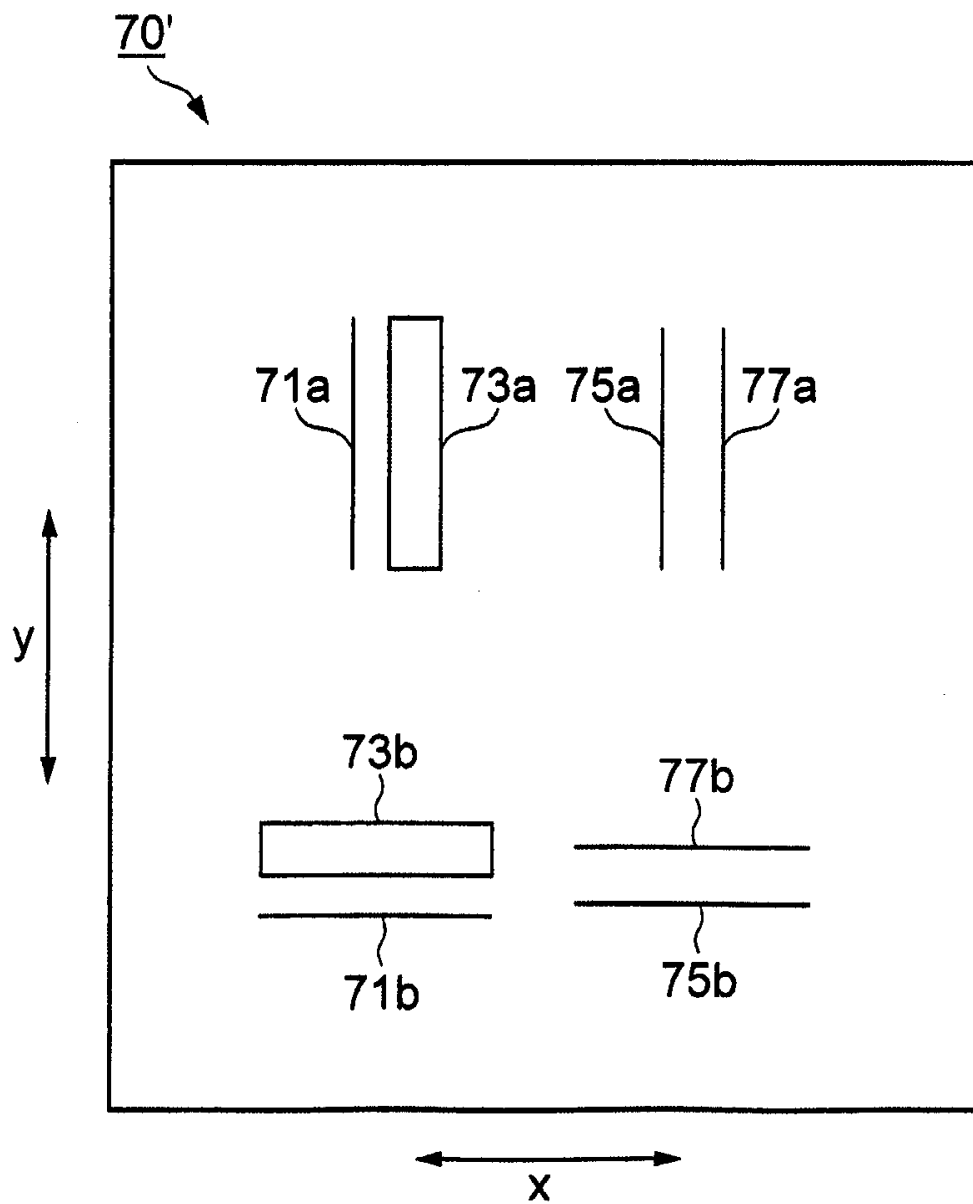
도면8



도면9



도면10



도면11

