



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년06월30일
(11) 등록번호 10-1045482
(24) 등록일자 2011년06월23일

(51) Int. Cl.

G01B 11/30 (2006.01) *G02B 5/00* (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01) *H01L 21/02* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0042578

(22) 출원일자 2009년05월15일

심사청구일자 2009년05월15일

(65) 공개번호 10-2009-0119738

(43) 공개일자 2009년11월19일

(30) 우선권주장

JP-P-2008-129231 2008년05월16일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문현

KR1020020077397 A

KR1020020092231 A

JP2003254887 A

KR1020070012674 A

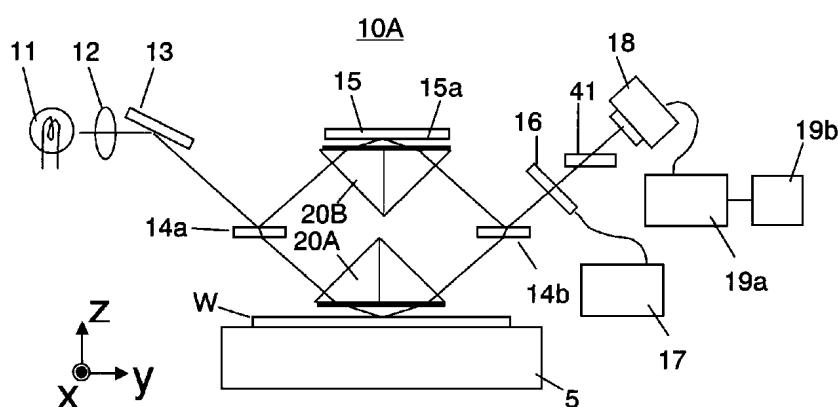
전체 청구항 수 : 총 8 항

심사관 : 정성용

(54) 표면 형상 측정 장치 및 노광 장치

(57) 요 약

표면 형상 측정 장치는, 피측정 물체의 표면 형상을 측정하도록 구성되고, 광원으로부터의 백색광을 2개의 광빔으로 분할하도록 구성된 빔 분할부와, 상기 빔 분할부에 의해 분할되어 상기 물체 또는 참조면에 향하게 된 각 광빔의 입사각을 증가시키도록 각각 구성된 한 쌍의 프리즘 - 각 프리즘은 상기 백색광의 파장 이하의 주기에서 형성되고 모스-아이 형상(moth-eye shape)을 갖는 반사 방지부를 가짐 - 과, 상기 물체로부터의 물체광과 제2프리즘을 거친, 상기 참조면으로부터의 참조광을 겹치게 해서 백색 간섭 광을 생성하도록 구성된 겹침부와, 상기 백색 간섭 광을 복수의 파장의 각각마다 이산적으로 분리하도록 구성된 리오 필터(Lyot filter)를 포함한다.

대 표 도 - 도2

(72) 발명자

오이시 사또루

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루꼬 3조메 30-2 캐논
가부시끼가이샤 내

이나 히데끼

일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루꼬 3조메 30-2 캐논
가부시끼가이샤 내

특허청구의 범위

청구항 1

피측정 물체의 표면 형상을 측정하도록 구성된 표면 형상 측정 장치로서,

백색광을 발하도록 구성된 광원;

상기 광원으로부터의 상기 백색광을 2개의 광빔으로 분할하도록 구성된 빔 분할부(beam splitter);

상기 빔 분할부에 의해 분할되어 상기 피측정 물체에 향하게 된 하나의 광빔의 입사각을 증가시키도록 구성된 제1 프리즘 — 상기 제1 프리즘은 상기 백색광의 파장 이하의 주기에서 형성되고 모스-아이 형상(moth-eye shape)을 갖는 제1 반사 방지부를 가짐 —;

상기 빔 분할부에 의해 분할되어 참조 광학 소자의 참조면에 향하게 된 다른 광빔의 입사각을 증가시키도록 구성된 제2 프리즘 — 상기 제2 프리즘은 상기 백색광의 파장 이하의 주기에서 형성되고 모스-아이 형상을 갖는 제2 반사 방지부를 가짐 —;

상기 제1 프리즘을 거친, 상기 피측정 물체의 표면 형상의 정보를 포함하는 반사광으로서의 물체광(object light)과 상기 제2 프리즘을 거친, 참조면의 표면 형상의 정보를 포함하는 반사광으로서의 참조광(reference light)을 겹치게 해서 백색 간섭 광을 생성하도록 구성된 겹침부(superimposition unit);

상기 백색 간섭 광을 복수의 파장의 각각마다 이산적으로 분리하도록 구성된 리오 필터(Lyot filter);

상기 리오 필터에 의해 분리된 상기 백색 간섭 광을 광전 변환하도록 구성된 광전 변환 소자; 및

상기 광전 변환 소자의 출력에 기초하여 파워 스펙트럼(power spectrum)의 분포를 산출하고, 상기 파워 스펙트럼의 피크 위치에 관한 정보를 이용해서 상기 피측정 물체의 표면 형상을 산출하도록 구성된 연산부(operating unit)

를 포함하는 표면 형상 측정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 피측정 물체의 표면에 수직인 방향으로 상기 피측정 물체를 이동시키도록 구성된 스테이지를 더 포함하고, 상기 스테이지가 상기 피측정 물체를 상기 방향으로 구동할 때, 상기 리오 필터는 상기 백색 간섭 광을 상기 복수의 파장의 각각마다 이산적으로 분리하는 표면 형상 측정 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 리오 필터는, 상기 겹침부와 상기 광전 변환 소자 사이에 배치되어 있는 표면 형상 측정 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 리오 필터는, 상기 광원과 상기 빔 분할부 사이에 배치되어 있는 표면 형상 측정 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제1 프리즘과 상기 피측정 물체 사이에 구비된 멀티-캔틸레버 유닛(multi-cantilever unit)을 더 포함하고,

상기 멀티-캔틸레버 유닛은,

상기 하나의 광빔의 광로에 대응하는 부분에 구멍을 갖는 유지부(holder); 및

상기 유지부에 캔틸레버된 기초부(base)와, 상기 기초부에 고정되어 상기 피측정 물체에 접촉 가능한 계측 프로

브를 각각 갖는 복수의 캔틸레버를 포함하고,
상기 물체광은 상기 캔틸레버의 상기 기초부로부터 반사된 광인 표면 형상 측정 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 리오 필터에 의해 분리된 각 파장의 최소값, 각 파장의 최대값, 및 각 파장의 변화 폭을 설정하도록 구성된 제어부(controller)를 더 포함하는 표면 형상 측정 장치.

청구항 7

원판(original)과 기판(substrate)을 동기 주사해서 상기 원판의 패턴을 상기 기판에 노광하도록 구성된 노광 장치로서,

피측정 물체로서의 상기 기판의 표면 형상을 측정하도록 구성된 제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 따른 표면 형상 측정 장치; 및

상기 표면 형상 측정 장치의 측정 결과에 기초하여, 상기 원판과 상기 기판을 동기 주사할 때에 상기 기판의 위치를 조절하도록 구성된 기판 스테이지

를 포함하는 노광 장치.

청구항 8

제7항에 따른 노광 장치를 사용해서 기판을 노광하는 단계; 및

노광된 상기 기판을 현상하는 단계

를 포함하는 디바이스 제조 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은, 표면 형상 측정 장치 및 노광 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

원판과 기판을 동기 주사하는 스텝-앤드-스캔(step-and-scan) 방식을 사용하여, 원판의 패턴을 투영 광학계를 통해서 기판에 노광하도록 구성된 주사형 노광 장치가 종래부터 알려져 있다. 예를 들면, 미국 특허 제4,861,162호를 참조한다. 주사형 노광 장치에서는, 기판 표면을 노광중에 투영 광학계의 상면(image surface) 위치에 실시간으로 포커싱할 필요가 있기 때문에, 피노광 위치가 주사 영역인 노광 슬릿에 도달하기 전에 기판의 표면 위치(높이)와 기울기를 사입사광(obliquely incident light)을 이용해서 계측한다. 예를 들면, 일본 특허 공개 06-260391호를 참조한다.

[0003]

기판의 표면 형상의 정보를 포함하는 백색 간섭 광을 각각이 단일 파장을 갖는 복수의 간섭 광빔으로 분리하여 그 간섭 광빔을 광전 변환하고, 얻어진 복수의 간섭 신호에 대하여 고속 푸리에 변환("FTF")을 행하여, 기판의 표면 형상을 구하는 방법을 기판의 표면 형상의 계측에 적용할 수 있다. 측정 원리는, Chie-Che KUO 외, "파장 주사 간섭계에 있어서의 신호 처리", 일본 정밀광학회지(Journal of the Japan Society for Precision Engineering), 2003년, 제69권 제6호 제831페이지에 개시되어 있다. 백색 간섭 광을 각각이 단일 파장을 갖는 복수의 간섭 광빔으로 분리하는 방법으로서, 서로 다른 파장 투과 특성을 갖는 복수의 글라스 필터를 준비하고, 그 조합을 바꾸는 방법, 혹은 광원인 레이저의 파장을 가변으로 하는 방법이 알려져 있다.

[0004]

최근의 고해상도의 요청으로 인해, 포커스(focus) 및 틸트(tilt)의 계측도 높은 정밀도를 요구하고 있고, 사입사광을 이용하는 종래의 계측 방법은, 기판의 주변 패턴의 영향이나 레지스트의 고르지 않은 두께로 인해 소기의 계측 정밀도가 얻을 수 없다. 기판의 세로 구조에 기인하는 문제는 기판에의 입사각을 80° 이상으로 설정함으로써 해결될 수 있지만, 광학계가 복잡해지고, 커지고, 광로 길이가 길어지기 때문에 외란(disturbance)을 받

기 쉬워진다.

[0005] 한편, 백색 간섭 광을 이용하고 광 분리를 위해 클래스 필터를 사용하는 표면 형상 측정 장치는 광학계의 일부에 가동부(movable part)를 필요로 하므로 복잡해진다. 또한, 레이저의 발진 파장을 가변으로 하는 방법도 표면 형상 측정 장치를 복잡화한다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0006] 본 발명은, 단순한 구성으로 정밀하게 물체의 표면 형상을 측정하도록 구성된 표면 형상 측정 장치 및 노광 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제 해결수단

[0007] 피측정 물체의 표면 형상을 측정하도록 구성된 표면 형상 측정 장치. 이 표면 형상 측정 장치는, 백색광을 발하도록 구성된 광원과, 상기 광원으로부터의 상기 백색광을 2개의 광빔으로 분할하도록 구성된 빔 분할부와, 상기 빔 분할부에 의해 분할되어 상기 피측정 물체에 향하게 된 하나의 광빔의 입사각을 증가시키도록 구성된 제1 프리즘 – 상기 제1 프리즘은 상기 백색광의 파장 이하의 주기에서 형성되고 모스-아이 형상(moth-eye shape)을 갖는 제1 반사 방지부를 가짐 – 과, 상기 빔 분할부에 의해 분할되어 참조 광학 소자의 참조면에 향하게 된 다른 광빔의 입사각을 증가시키도록 구성된 제2 프리즘 – 상기 제2 프리즘은 상기 백색광의 파장 이하의 주기에서 형성되고 모스-아이 형상을 갖는 제2 반사 방지부를 가짐 – 과, 상기 제1 프리즘을 거친, 상기 피측정 물체의 표면 형상의 정보를 포함하는 반사광으로서의 물체광과 상기 제2 프리즘을 거친, 참조면의 표면 형상의 정보를 포함하는 반사광으로서의 참조광을 겹치게 해서 백색 간섭 광을 생성하도록 구성된 겹침부와, 상기 백색 간섭 광을 복수의 파장의 각각마다 이산적으로 분리하도록 구성된 리오 필터(Lyot filter)와, 상기 리오 필터에 의해 분리된 상기 백색 간섭 광을 광전 변환하도록 구성된 광전 변환 소자와, 상기 광전 변환 소자의 출력에 기초하여 파워 스펙트럼(power spectrum)의 분포를 산출하고 상기 파워 스펙트럼의 피크 위치에 관한 정보를 이용해서 상기 피측정 물체의 표면 형상을 산출하도록 구성된 연산부를 포함한다. 이 표면 형상 측정 장치를 갖는 노광 장치도 본 발명의 일 측면을 구성한다.

[0008] 본 발명의 또 다른 특징들은 (첨부 도면을 참조한) 예시적인 실시예들에 대한 다음의 설명으로부터 명백해질 것이다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0009] 이하, 첨부 도면을 참조하여, 본 발명의 실시예를 설명한다.

[제1 실시예]

[0011] 이하, 도 1 내지 6을 참조하여, 제1 실시예에 따른 노광 장치(1)에 대해서 설명한다. 노광 장치(1)는, 원판(마스크 또는 레티클) R과 기판(웨이퍼 또는 액정 기판) W를 동기 주사하고, 원판의 패턴을 투영 광학계(3)를 통해서 기판 W에 노광하도록 구성된 주사형 노광 장치이다. 투영 광학계(3)는, 원판 패턴의 축소된상을 기판에 투영한다. 도 1은 원판을 조명하는 조명 장치(광원 및 조명 광학계 등)은 생략하고 있다.

[0012] 도 1에 있어서, 기판 W는, 계측용 스테이지(5)와 노광용 스테이지(기판 스테이지)(6) 사이에 척(chuck)(7)에 의해 흡착된 상태에서 반송된다. 노광용 스테이지(6)에서는, 투영 광학계(3)에 의해 유도된 원판 R로부터의 광이 기판 W 위로 투영된다. 척(7) 상에서는 기판 W의 위치를 계측하도록 구성된 척 마크(9)가 설치된다. 계측용 스테이지(5)에서는 척 마크(9)와 기판 W 간의 3차원적인 위치 관계가 얼라인먼트 검출계(8)에 의해 계측된다. 그 후, 기판 W를 흡착한 채 척(7)이 노광용 스테이지(6)로 이동된다. 노광용 스테이지(6)에서는, 척 마크(9)의 3차원적인 위치가 얼라인먼트 검출계(8)에 의해 계측되고, 그 계측 결과 및 기판 W와 척 마크(9) 간의 위치 관계 정보를 이용해서 노광용 스테이지(6)에 있어서의 기판 W의 3차원적인 위치(XYZ 방향의 위치)가 파악된다. 계측용 스테이지(5)의 주변에는 표면 형상 측정 장치(10A)가 배치되어 있다. 표면 형상 측정 장치(10A)는, 피측정 물체로서의 기판 W의 표면 형상을 측정한다. 노광 장치(1)는, 컨트롤러(도시되지 않음)를 포함하고, 표면 형상 측정 장치의 측정 결과에 기초하여 원판 R과 기판 W를 동기 주사할 때에 기판 W의 투영 광학계(3)의 광원 방향(Z 방향)의 위치를 스테이지(6)를 이용해서 조절한다.

[0013] 도 2는 표면 형상 측정 장치(10A)의 단면도이다. 표면 형상 측정 장치(10A)는, 광원(11), 투광 광학계(12), 미

러(13), 한 쌍의 하프 미러(14a 및 14b), 한 쌍의 프리즘(20A 및 20B), 광학 필터(16), 제어부(17), 촬상 소자(18), 기억부(19a), 및 연산부(19b)를 포함한다.

[0014] 광원(11)은 백색광을 발한다. 백색광은, 어떤 파장 대역을 갖는 광을 의미하고, 백색의 광을 의미하지 않는다. 광원(11)은 할로겐 램프, 메탈 할로겐 램프, 크세논 램프 등을 사용할 수 있다. 기판 W 상의 레지스트는 백색 광에 의해 분해되지 않는다. 본 실시예의 광원(11)은 파장 가변 레이저를 사용하지 않으므로, 표면 형상 측정 장치(10A)는 단순한 구성을 갖는다.

[0015] 투광 광학계(12)는 백색광을 소정의 형상으로 변환한다. 미러(13)는 백색광을 편향한다. 하프 미러(14a)는 광원(11)으로부터의 백색광을 2개의 광빔으로 분할하도록 구성된 빔 분할부로서 기능한다.

[0016] (제1) 프리즘(20A)은, 하프 미러(14a)에 의해 분할되어 기판 W에 향하게 된 하나의 광빔의 입사각을 증가시킨다. 프리즘(20A)은 백색광의 파장 이하의 주기에서 형성되고 모스-아이 형상을 갖는 (제1) 반사 방지부를 갖는다. 하프 미러(14a)를 투과한 광은, 프리즘(20A)에 입사하고, 프리즘(20A)의 출사면에서 굴절한 광은, 기판 W에 대하여 각도 Θ ($\Theta \geq 80^\circ$)의 각으로 경사 방향으로 입사한다. "프리즘(20A)의 출사면"은, 도 2에 도시된, 이동변 삼각형의 형상을 가진 프리즘(20A)의 저변부를 의미한다. 입사각 Θ 는, 기판 W의 표면에 수직인 높이 방향(Z 방향)으로부터의 광선의 각도이다.

[0017] 도 3은 도 2에 있어서의 기판 W와 입사광 간의 관계를 나타내는 사시도이며, 기판 W 상의 복수의 샷 영역을 커버할 수 있는 광범위의 영역 A이 있다. 도 2에 있어서, 기판 W에서 반사된 광은 다시 프리즘(20A)에 입사하고, 프리즘(20A)의 사변으로부터 프리즘(20A)의 밖으로 출사하여, 하프 미러(14b)에 도달한다.

[0018] (제2) 프리즘(20B)은, 하프 미러(14a)에 의해 분할되어 참조 광학 소자(참조 미러)(15)의 참조면(15a)에 향하게 된 다른 광빔의 입사각을 증가시킨다. 프리즘(20B)은 백색광의 파장 이하의 주기에서 형성되고 모스-아이 형상을 갖는 (제2) 반사 방지부를 갖는다. 프리즘(20B)은 프리즘(20A)과 동일 구조를 갖는다. 도 2에 있어서, 참조면(15a)에서 반사된 광은 다시 프리즘(20B)에 입사하고, 프리즘(20B)의 사변으로부터 프리즘(20B)의 밖으로 출사하여, 하프 미러(14b)에 도달한다.

[0019] 하프 미러(14b)는, 프리즘(20A)을 거친, 기판 W의 표면 형상의 정보를 포함하는 반사광으로서의 물체광(측정 광)과, 프리즘(20B)을 거친, 참조면(15a)의 표면 형상의 정보를 포함하는 반사광으로서의 참조광을 겹치게 해서 백색 간섭 광을 생성하도록 구성된 겹침부로서 기능한다.

[0020] 백색 간섭 광은 파장을 선택할 수 있는 광학 필터(16)를 투과하고 수광 광학계(41)를 통해서 촬상 소자(검출부)(18)에 입사한다.

[0021] 본 실시예의 광학 필터(16)는 백색 간섭 광을 복수의 파장의 각각마다 이산적으로 분리하는 리오 필터(Lyot filter)이다. 리오 필터는 특정 파장을 갖는 광만을 투과하도록 구성된 필터이다. 리오 필터는, 투과하는 직선 편광의 평행한 진동 방향을 갖는 복수의 편광자를 사이에 단부면에 평행한 광학축과 2nd($n=0, 1, 2, \dots$)의 두께를 갖는 결정판, 예를 들면, 수정판을 광학축이 편광자의 진동 방향에 대하여 45° 를 형성하도록 배치한 구성을 갖는다. 계측용 스테이지(5)가, 기판 W의 표면에 수직인 (Z) 방향으로 기판 W를 구동하면, 광학 필터(16)는 백색 간섭 광을 복수의 파장으로 이산적으로 분리한다. 이렇게 본 실시예는 백색 간섭 광을 각각이 단일 파장을 갖는 복수의 간섭 광빔으로 분리하기 위해 글라스 필터를 사용하지 않고, 원래 구비되어 있는 계측용 스테이지(5)를 가동부로서 이용하고 있다. 따라서, 광학계의 일부에 가동부를 설치할 필요는 없고, 표면 형상 측정 장치(10A)는 단순한 구성을 갖는다.

[0022] 촬상 소자(18)는 CCD를 포함하고, 광학 필터(16)에 의해 분리된 상기 백색 간섭 광을 광전 변환하도록 구성된 광전 변환 소자로서 기능한다.

[0023] 촬상 소자(18)로부터 출력된 광전 변환 신호는 기판 W의 표면 형상에 관한 정보를 갖는 간섭 신호이며, 기억부(19a)에 저장된다. 연산부(19b)는, 기억부(19a)에 저장된 데이터에 기초하여 파워 스펙트럼(power spectrum)을 산출하고, 그 파워 스펙트럼의 피크 위치에 관한 정보를 이용해서 기판 W의 표면 형상을 산출한다.

[0024] 프리즘(20A)에 대해서 설명한다. 전술한 바와 같이, 프리즘(20B)은 프리즘(20A)과 동일 구조를 갖기 때문에, 그 설명을 생략한다. 도 4의 (a)는 프리즘(20A)의 측면도이고, 도 4의 (b)는 도 4의 (a)의 확대도이다. 프리즘(20A)의 저변부에는, 프리즘(20A)을 구성하는 글라스의 굴절률 N과 같은 혹은 그에 상당하는 굴절률을 갖는 반사 방지부(22A)가 부가되어 있다. 반사 방지부(22A)의 입체 형상은 측정 광의 파장 이하의 오더(order)의 모스-아이 형상을 갖는다. 모스-아이 형상은 그 표면에 수백 나노미터의 오더로 규칙적인 돌기 배열을 갖는 구조

이며, 미세 요철 패턴(fine relief pattern)의 정점들의 주기 P 와 측정 광의 파장 λ 사이에 다음 수학식이 성립한다.

수학식 1

$$P \leq \lambda$$

[0025] 물품의 표면에 구비된 미세 요철 패턴은, 급격하고 불연속인 굴절률변화를, 도 4의 (c)에 도시된 바와 같이, 연속적이고 점차 변화하는 굴절률 변화로 변환할 수 있으므로, 프리즘(20A)의 저변부에 있어서 광반사가 감소한다. 특히, 반사 방지부(22A)는, 프리즘(20A)의 저변으로부터 80° 이상으로 출사하는 광, 혹은 프리즘(20A)의 저변에 80° 이상으로 입사하는 물체광에 대하여 최적화되어 있다. 반사 방지부(22A)는, 도 4의 (b)에 도시된 바와 같이, 원뿔 형상의 복수의 돌기(23A)가 XY 평면에서 틈이 없이 밀하게 배열되어 있는 형상을 갖는다. 다른 실시예에서는, 반사 방지부(22B)는, 도 4의 (d)에 도시된 바와 같이, XY 평면에서 간격 S 를 가지고 배열되어 있는 끝이 잘린 원뿔 형상의 복수의 돌기(23B)를 포함한다. 도 4의 (d)에 있어서, $P=500\text{nm}$, $S=330\text{nm}$, $h=430\text{nm}$, $t=100\text{nm}$ 인 경우, 약 780nm 의 λ 를 갖는 광에 대하여 투과율 60% 이상의 광량을 갖는 광을 얻을 수 있다고 가정한다.

[0027] 이제, 활상 소자(18)에 의해 검출되는 간섭 신호에 기초하여, 연산부(19b)를 통해서 기판 W 의 표면 형상을 산출하는 방법에 대해서 설명한다. 도 2에 있어서, 광원(11)으로부터 발하여진 백색광 중, 어느 특정한 파장을 갖는 광에 주목한다. 기판 W 를 통해서 그 특정한 파장을 갖는 광으로부터 파생된 물체광이 i_0 의 강도를 갖고, 참조면(15a)를 통해서 그 특정한 파장을 갖는 광으로부터 파생된 참조광이 i_R 의 강도를 갖고, 도 3에 도시된 측정 점 P 의 위치가 $P(x', y')$ 라고 가정한다. 그러면, 측정 점 P 에서의 간섭 신호의 강도는 수학식 2로 표현될 수 있다. 여기서, $H(x', y')$ 는, 기판 W 상의 점 $P(x', y')$ 의 기준면으로부터의 거리이며 $2\pi/\lambda$ 로 주어진다.

수학식 2

$$i(x', y', k) = i_R + i_0 + 2\sqrt{i_R \times i_0} \cos(2kH(x', y'))$$

[0028] [0029] 다시 도 2를 참조하여, 활상 소자(18)는 하프 미러(14b) 이후로 발생되는 백색 간섭 광으로부터 파생되고, 광학 필터(16)에 의해 분리된, 각각이 단일 파장을 갖는 복수의 간섭 광빔의 간섭 신호를 검출한다. 광전 검출되는 간섭 광의 파장이 이산적으로 변화되면, 측정 면 상이 있는 하나의 점, 예를 들면, 도 3의 측정 점 P 에서의 시계열의 간섭 신호 $i(n\Delta t)$ 는, H 의 역수의 주기를 갖는 주기 함수에 의해 표현된다. 이 시계열의 간섭 신호 $i(t)$ 가 FFT 변환되면, 그 결과인 파워 스펙트럼에 있어서의 피크 값은, 측정 점의 높이에 따라서 변화한다. f_{peak} 가 파워 스펙트럼에서 피크 값을 갖는 주파수를 나타낸다고 가정하면, 측정 점 P 에서의 절대 높이 H 는 수학식 3에 의해 산출될 수 있고, 여기서 최소 분해능 Δh 는 광학 필터(16)에 의한 파장 변화 폭에 의해 결정되는 수치이다.

수학식 3

$$H = \frac{\pi}{\Delta k} f_{peak} = \Delta h \cdot f_{peak}$$

[0030] [0031] 도 5 및 6은 상기 방법에 따라서 산출된 측정 점 P 에서의 높이 계측의 결과를 나타낸다. 도 5는, 수학식 4에 의해 표현된 파수 k 가 8.874 로부터 13.974 까지의 범위(λ 의 변화로 환산하면 $0.708\mu\text{m}$ 내지 $0.450\mu\text{m}$ 에 대응함)에서 0.02 스텝으로 변화될 때의 각 스텝마다 얻어지는 P 의 위치에서의 간섭 신호의 강도이다.

수학식 4

$$k = 2\pi / \lambda$$

[0032] [0033] k 의 값을 변화시키는 수단은 광학 필터(16)를 이용하고, 제어부(17)는 k 의 최대값, 최소값 및 스텝량(파장 변화 폭) 등을 임의로 설정할 수 있다.

[0034] 도 6은 점 P 의 위치에 있어서의 파수 변화에 대한 간섭 신호의 강도에 대하여 FFT를 통해서 얻어진 스펙트럼 분

포를 나타내는 그래프이다. 도 6에 있어서, 스펙트럼이 최대값이 될 때의 k 의 값은 가우스 곡선법으로부터 구해진다. 그 값을 $k_{Max}=16.900$ 이라고 가정한다. 그러면, k 의 스텝량 Δk , 기판 W 에의 물체광의 입사각 θ , 및 FFT의 샘플링 횟수 Sn 을 이용해서, 표면 형상의 높이 방향의 분해능 Δh 가 수학식 5로부터 산출된다.

수학식 5

$$\Delta h = 2\pi / (\Delta k \times Sn) / 2 / \cos \theta$$

[0035]

[0036] 다음 수학식은, $\Delta k=0.02$, $\theta=80^\circ$, $Sn=256$ 인 경우에, 도 3의 측정 점 P가 $58.72\mu m$ 의 높이 H_p 를 갖는 결과를 제공한다. 수학식 6에 있어서, k_{Max} 는 수학식 4에 있어서 피크를 제공하는 파장 λ 에 의해 결정되는 k 에 대응한다.

수학식 6

$$H_p = \Delta h \times k_{Max}$$

[0037]

[0038] 상기 높이 계측의 결과는 도 3에 도시된 측정 점 P로부터 파생된 것이지만, 측정 점 P 이외의 다른 임의의 점에서 높이가 계측되는 경우, 이차원 영역의 높이 계측이 가능하게 된다. 본 실시예는 광학 필터(16)를, 물체광이 반사면인 기판 W 에서 반사되고, 참조광이 반사면인 참조면(15a)에서 반사된 한 후의 광로 내에 배치했지만, 광학 필터(16)의 위치는 한정되지 않는다. 예를 들면, 광학 필터(16)는, 물체광 및 참조광이 대응하는 반사면에 도달하기 전의 광로 내에, 예를 들면, 미러(13)와 하프 미러(14a)의 사이의 광로 내에 설치될 수도 있다.

[0039]

[0039] 이렇게, 연산부(19b)는 파워 스펙트럼 분포를 산출하고, 특정 위치에서 피크를 부여하는 파장을 선택하고, 수학식 6을 이용해서 기판 W 의 표면 형상을 산출한다. 광학 필터(16)에 의해 부여되는 파장은 이산적이기 때문에, 본 실시예의 연산부(19b)는 이산적인 계측 점들의 사이를 보완하고 있다.

[0040]

[제2 실시예]

[0041]

[0041] 이하, 도 7 내지 11을 참조하여, 제2 실시예에 대해서 설명한다. 본 실시예도 도 1에 도시된 노광 장치(1)를 공통으로 사용할 수 있지만, 본 실시예는, 표면 형상 측정 장치(10A) 대신에 표면 형상 측정 장치(10B)를 사용한다. 표면 형상 측정 장치(10B)는 멀티-캔틸레버 유닛(multi-cantilever unit)(30)을 더 포함한다는 점에서 표면 형상 측정 장치(10A)와 상이하다.

[0042]

[0042] 멀티-캔틸레버 유닛(30)은 평판 형상의 유지부(holder)(31)와 복수의 캔틸레버(35)를 포함하고, 프리즘(20A)과 기판 W 사이에 설치되어 있다.

[0043]

[0043] 유지부(31)는 하프 미러(14a)에 의해 분할된 하나의 광빔의 광로에 대응하는 부분들에 점선으로 도시된 직육면체 형상의 구멍들(32)을 갖는다.

[0044]

[0044] 복수의 캔틸레버(35) 각각은 유지부(31)의 저면(31a)에 부착부(36a)에서 캔틸레버된 기초부(36)와, 기초부(36)에 고정되어 기판 W 의 표면에 접촉 가능한 계측 프로브(37)를 갖는다. 계측 프로브(37)는 부착부(36a)와는 반대의 단부인 기초부(36)의 선단에 부착되어 있다. 계측 프로브(37)는 본 실시예에서는 원뿔 형상을 갖고, 원뿔의 상단부가 아래로 향하도록 (그의 바닥 원에서) 기초부(36)에 부착되어 있다. 본 실시예에서는, 물체광은 캔틸레버(35)의 기초부(36)의 배면(36b)으로부터 반사된 광이다. 배면(36b)에 있어서의 반사 위치(36c)는 기초부(36)의 배면(36b)의 대략 중앙부이지만, 측정될 부분은, 배면(36b)에 있어서 헤드부로서 계측 프로브(37)가 부착되어 있는 부분의 뒤쪽에 있는 헤드 위치(36d)이다. 이 때문에, 본 실시예의 연산부(19b)는 실제의 반사 위치(36c)를 헤드 위치(36d)로 변환하기 위한 캘리브레이션(calibration)을 제공한다.

[0045]

[0045] 도 7은 멀티-캔틸레버(30)의 복수의 캔틸레버(35)의 배치 예를 나타내고 있다. 예를 들면, 한 변이 35mm인 정방형 영역 상에 36개의 캔틸레버(35)를 1mm의 간격으로 종횡으로 배치하고 있다(합계 1,296개 캔틸레버). 본 실시예는, 복수의 캔틸레버(35)를 배열한 부재를 멀티-캔틸레버라고 칭하고 있다. 도 7에서는, 복수의 캔틸레버(35)가 이차원적으로 배치되어 있지만, 일차원적으로 배치될 수도 있다.

[0046]

[0046] 캔틸레버(35)는 시판되는 원자간력 현미경 atomic force microscope("AFM")에 사용되고 있고, 피측정 물체와 캔틸레버(35) 사이에 작용하는 원자간력(반데르발스력(van der Waals force))을 이용해서, 물체의 Z 방향(지면에 수직인 방향)의 위치를 측정한다.

- [0047] 도 12의 (a)에 도시된 종래의 포커스/틸트 검출계(100)는, 사입사조명광(복수의 광빔) L로 멀티 마크들(102)을 조명하고, 그 멀티 마크들(102)로부터 파생된 광을 투광 광학계(104)가 기판 표면에 투사하고, 수광 광학계(106)가 그 반사광을 수광한다. 기판 표면(더 정확하게는 기판에 도포된 레지스트의 표면)에 고입사각도로 조명광 L이 입사되고, 반사광은 갈바노 미러(galvano mirror(108)에 의해 주사되고, 슬릿(110)을 투과한 광을 검출부(112)가 광전 변환한다. 검출부(112)의 출력의 신호를 처리하고, 도 12의 (b)에 도시된 바와 같이, 디포커스(defocus) 신호가 베스트 포커스(best focus) 신호가 될 수 있도록 기판 W를 화살표로 나타내어진 광축 방향으로 구동하여 포커스 제어를 행한다. 또한, 다른 위치들의 높이 계측 정보로부터 노광해야 할 기판 표면의 텔트를 산출한다.
- [0048] 도 13에 도시된 바와 같이, 주변 회로 패턴이나 스크라이브 라인 근방에서는, 레지스트 RS 표면의 단자는 초점 심도(depth of focus)("DOF")보다 작지만, 포커스 계측에 있어서는 너무 커서, 큰 오차를 갖는 계측 결과를 초래한다. 이 오차는 포커스 검출계에 이용되고 기판에서 반사한 측정 광의, 레지스트 내의 다중 반사에 의해 영향을 받거나 레지스트의 표면 형상에 의해 영향을 받은 굴절로 인해 정상 반사 각도로부터의 어긋남이 발생하는 것에 기인한다. 그 반사율은 IC 패턴의 밀도에 따라서 차이가 있다. 그 때문에, 포커스/틸트 검출계(100)는, 조명광 L의 각도를 80° 이상으로 설정하여 신호 왜곡을 경감함으로써 이 오프셋의 발생을 방지하고 있지만, 대신에 광학계 내의 광 편향 부분이 복잡해지고 커져서, 긴 광로 길이가 외란을 받기 쉬어진다.
- [0049] 본 실시예는 원자간력을 이용하여, 광학적인 오프셋을 방지하고, 기판 상에 도포된 레지스트의 표면 형상(표면 높이의 변화)을 정확하게 계측할 수 있다.
- [0050] 도 8은 복수의 캔틸레버(35)가 기판 표면을 계측하고 있는 것을 나타내는 측면도이다. 캔틸레버(35)의 계측 방식은 광 지레 방식(optical lever system)이라고 불리고, 캔틸레버(35)는 계측 프로브(37)와 기판 W 표면 사이에 작용하는 원자간력에 의해 기판 W 표면 상의 높이 위치에 따라서 상하 이동한다. 캔틸레버(35)의 기초부(36)의 배면(36b)에 사입사광 L1을 입사시키고, 캔틸레버(35)의 배면(36b)으로부터 반사된 광을 CCD 등의 광검출기(39)에 의해 검출함으로써, 캔틸레버(35)의 높이, 즉, 기판 W의 표면 형상을 계측한다.
- [0051] 도 9는 멀티-캔틸레버 유닛(30)을 갖는 표면 형상 측정 장치(10B)의 단면도이다. 광원(11)으로부터 발하여진 측정 광 L3는, 투광 광학계(12)에 의해 소정의 형상으로 변환되고, 미러(13)에 의해 편향되고, 멀티-스폿 발생부(40)에 의해 분할되고, 하프 미러(14a)에 의해 물체광과 참조광의 2개 방향으로의 2개의 광로로 분할된다. 하프 미러(14a)를 투과한 물체광은 프리즘(20A)를 투과하고, 멀티-캔틸레버(30)의 배면(36b)에 사입사광 L1으로서 입사된다. 프리즘(20A)는 반사 방지부(22A)를 갖고, 프리즘(20A)의 저변 부분을 광이 투과할 때에, 80° 이상의 높은 입사 또는 출사 각도의 경우에도, 광량을 손실하지 않고 각 캔틸레버(35)의 배면(36b)에 광을 조사할 수 있다.
- [0052] 캔틸레버(35)의 배면(36b)으로부터 반사된 광은 하프 미러(14b) 및 광학 필터(16)를 투과하고, 수광 광학계(41)에 의해 활상 소자(18)의 수광면에 유도된다. 한편, 하프 미러(14a)에 의해 분할한 다른 광빔은 프리즘(20B)을 투과하고, 80° 이상의 높은 사입사각도에서 참조면(15a)에 조사된다. 그 반사광은 하프 미러(14b)에서 반사되고, 광학 필터(16) 및 수광 광학계(41)를 거쳐서 활상 소자(18)의 수광면에 유도된다. 시판되는 AFM은 광검출기로서 4분할 센서(quadrisection sensor)를 이용하지만, 본 실시예는 이차원 활상 소자, 예를 들면, 에어리어형(area type) CCD 등을 이용한다.
- [0053] 기판 W의 높이에 따라서 캔틸레버(35)의 배면(36b)의 높이 위치(Z 방향)는 변화하므로, 각 캔틸레버(35)의 높이를, 제1 실시예에서 설명한 방법에 의해 측정함으로써 기판 W의 표면 형상을 측정할 수 있다. 예를 들면, 이제 하나의 캔틸레버(35)에 주목한다. 캔틸레버(35)의 배면(36b)에 80° 이상의 높은 사입사각도에서 조사된 물체광과, 참조면(15a)에 높은 사입사각도에서 입사된 참조광을 하프 미러(14b) 이후의 엘리먼트에서 겹치게 해서 백색 간섭 광을 생성한다. 그 백색 간섭 광은 광학 필터(16)를 이용해서 시계열적으로 각각이 단일 파장을 갖는 복수의 간섭 광빔들로 분리되어 광전 변환되고, 각 파장마다의 간섭 신호는 기억부(19a)에 저장된다. 연산부(19b)는 이 복수의 간섭 신호에 대하여 FFT를 행하고, 파워 스펙트럼의 피크 위치를 갖는 파수 $k_{\text{Max}} (=2\pi / \lambda n)$, 여기서 n은 샘플링 횟수)을 산출한다. 그 파수 k_{Max} 와 수학식 5 및 6에 기초하여 산출되는 높이 방향의 분해능의 값으로부터 캔틸레버(35)의 배면(36b)의 높이 변화를 산출할 수 있고, 즉, 기판 W의 표면 형상을 알 수 있다.
- [0054] 이제 도 10 및 11을 참조하여, 캔틸레버(35)를 이용한 기판 W의 표면 형상 측정의 원리를 설명한다. 도 10에 도시된 바와 같이, 어느 임의의 위치를 기준으로 한 Z 방향에 있어서의 캔틸레버(35)의 위치(예를 들면, 캔틸레

버(35)의 배면(36b)의 위치)을 위치 C, 기판 W의 계측 점의 표면 위치를 위치 d라고 가정하면, 그것들은 도 11에 도시된 바와 같은 관계를 갖는다. 도 11은 위치 C에 유지된 캔틸레버(35)에 기판 W를 서서히 근접시킬 경우의 캔틸레버(35)의 위치 C와 기판 W의 표면 위치 d 간의 관계를 나타내는 그래프(포스 커브(force curve))이다. 도 10에서, Z 방향(도 10에서의 상방향)이 정방향(positive direction)이다.

[0055] 캔틸레버(35)가 기판 W로부터 충분히 떨어져 있는 경우에는, 기판 W를 캔틸레버(35)에 근접시켜도 캔틸레버(35)의 위치 C는 변화하지 않는다. 어느 정도까지 근접해서 기판 W의 표면 위치가 위치 d1이 되면(여기서 캔틸레버(35)의 프로브(37)와 기판 W의 표면 사이의 거리는 소정의 거리이다), 그것들 사이에 원자간력이 작용하여 그것들이 서로에 끌어당겨진다. 그 후, 기판 W가 더욱 캔틸레버(35)에 근접하면, 캔틸레버(35)가 인력(attractive force)으로 인해 기판 표면에 끌어당겨지고, 캔틸레버(35)의 위치 C의 값이 서서히 감소한다(인력 영역에서). 기판 W가 캔틸레버(35)에 근접하고, 기판 W의 표면 위치가 위치 d2가 되면, 그것들은, 이번에는, 원자간력으로 인해 서로를 반발(repel)한다. 기판 W가 더욱 캔틸레버(35)에 근접하면, 캔틸레버(35)가 척력(repulsive force)으로 인해 기판 표면으로부터 떨어지고 캔틸레버(35)의 위치 C의 값이 급격에 증가한다(척력 영역에서). 본 실시예는 이 척력 영역에 있어서의 반발 특성을 이용하고, 캔틸레버(35)와 기판 W를, 그들 사이의 거리가 거리 d2 이내에 있을 수 있도록 배치한다. 물론, 인력 영역에 있어서의 인력 특성이 이용될 수도 있지만, 인력 영역에서는 하나의 캔틸레버(35)의 위치 C에 대하여 기판 W가 복수의 위치를 가질 수 있다. 따라서, 기판 W의 위치가 캔틸레버(35)의 위치로부터 항상 일의적으로 결정되지 않을 수 있다는 것을 인지할 필요가 있다. 캔틸레버(35)와 기판 W 사이의 거리를 설정할 시에는, 기판 W의 표면 형상의 높이 분산(height scattering)을 고려할 필요가 있다. 이는 캔틸레버(35)와 기판 W 사이의 거리가 기판 W의 표면 형상의 높이 분산의 값보다 작으면, 캔틸레버(35)의 프로브(37)가 기판 표면에 접촉할 우려가 있기 때문이다.

[0056] 제2 실시예는 멀티-캔틸레버(30)를 이용해서 비광학적인 계측과 광학적인 계측을 조합하고 있다. 이 때문에, 본 실시예는 기판 상에 도포된 레지스트의 표면 형상을 광학적인 방법에 의해서만 계측할 때에 생기는 오프셋을 발생시키지 않기 때문에 나노미터 오더에서의 고정밀도 계측을 제공할 수 있다.

[0057] 상기 표면 측정 장치(10A 및 10B) 각각은, 단순하고 작은 구성을 갖고, 높은 사입사광에 대해서도 광량의 손실이 적은 광학계를 제공할 수 있다. 광장을 선택하도록 구성된 광학계도 가동부의 간소화에 기여한다. 상기 효과들로 인해, 그것들은 기판 표면에 도포된 레지스트에 기인하는 계측 오차를 덜 겪고, 보다 작은 DOF에 대하여 높은 포커스 보정 정밀도를 달성하고, 하나의 기판당 수율을 향상시킬 수 있다.

[0058] 본 실시예의 디바이스 제조 방법은 다음과 같이 행해진다. 즉, 디바이스(반도체 집적 회로 소자 및 액정 표시 소자 등)은 상기 실시예들 중 하나의 노광 장치를 사용해서 감광제가 도포된 기판(웨이퍼 및 글라스 플레이트 등)을 노광하는 공정과, 그 기판을 현상하는 공정과, 다른 주지의 공정에 의해 제조될 수 있다.

[0059] 이상, 예시적인 실시예들을 참조하여 본 발명을 설명하였지만, 본 발명은 개시된 예시적인 실시예들에 한정되지 않는다는 것을 이해해야 한다. 다음의 청구항들의 범위는 모든 그러한 수정들 및 등가의 구조들 및 기능들을 포함하도록 최광의로 해석되어야 한다.

도면의 간단한 설명

[0060] 도 1은 제1 실시예에 따른 노광 장치의 단면도이다.

[0061] 도 2는 도 1에 도시된 노광 장치의 표면 형상 측정 장치의 단면도이다.

[0062] 도 3은 도 2에 도시된 표면 형상 측정 장치의 기판과 물체광 사이의 관계를 다른 각도로부터 본 사시도이다.

[0063] 도 4의 (a)는 도 3에 도시된 프리즘의 측면도이다. 도 4의 (b)는 도 4의 (a)의 부분 확대도이다. 도 4의 (c)는 굴절률의 변화를 나타내는 도면이다. 도 4의 (d)는 도 4의 (b)의 변형예의 측면도이다.

[0064] 도 5는 도 3에 도시된 측정 점의 높이 계측의 결과를 나타내는 도면이다.

[0065] 도 6은 도 3에 도시된 측정 점의 높이 계측의 결과를 나타내는 도면이다.

[0066] 도 7은 제1 실시예에 따른 표면 형상 측정 장치의 캔틸레버의 배치를 나타내는 도면이다.

[0067] 도 8은 복수의 캔틸레버가 기판의 표면을 계측하고 있는 것을 나타내는 측면도이다.

[0068] 도 9는 제2 실시예에 따른 표면 형상 측정 장치의 단면도이다.

[0069] 도 10은 도 9에 도시된 표면 형상 측정 장치의 캔틸레버의 단면도이다.

[0070] 도 11은 캔틸레버와 기판 사이의 거리와 캔틸레버의 위치 간의 관계를 나타내는 그래프이다.

[0071] 도 12는 종래의 포커스/틸트 검출계의 도면이다.

[0072] 도 13은 도 12에 도시된 포커스/틸트 검출계의 문제를 설명하기 위한 단면도이다.

[0073] <도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

[0074] 1 : 노광 장치

[0075] 3 : 투영 광학계

[0076] 5 : 계측용 스테이지

[0077] 6 : 노광용 스테이지(기판 스테이지)

[0078] 7 : 척

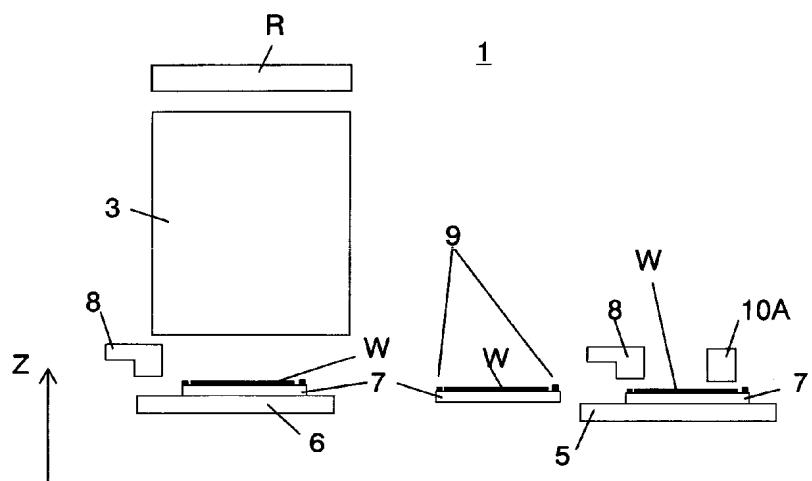
[0079] 8 : 얼라인먼트 검출계

[0080] 9 : 척 마크

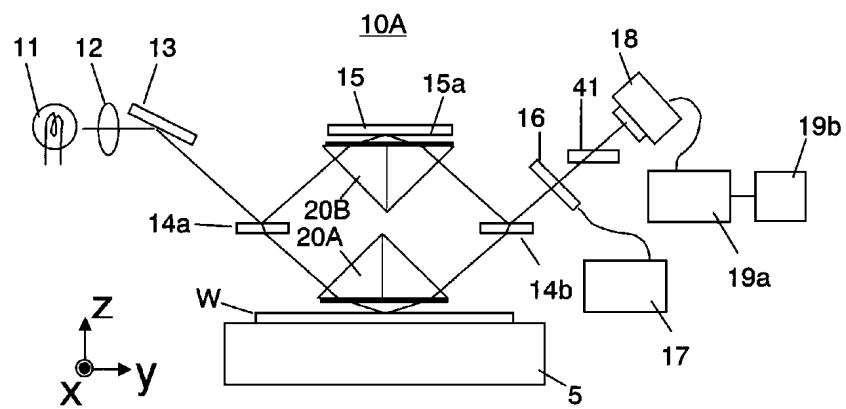
[0081] 10A : 표면 형상 측정 장치

도면

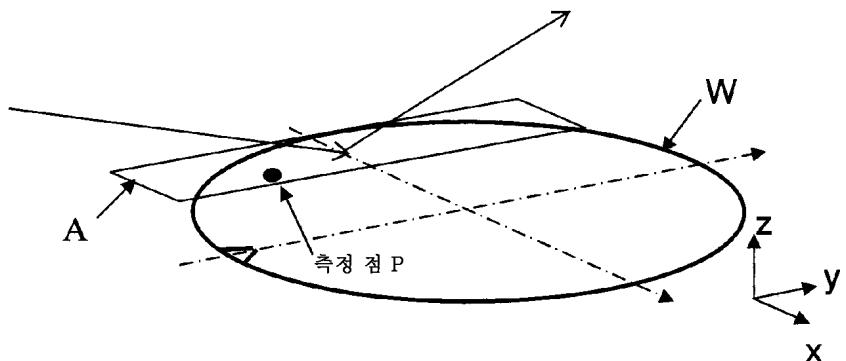
도면1



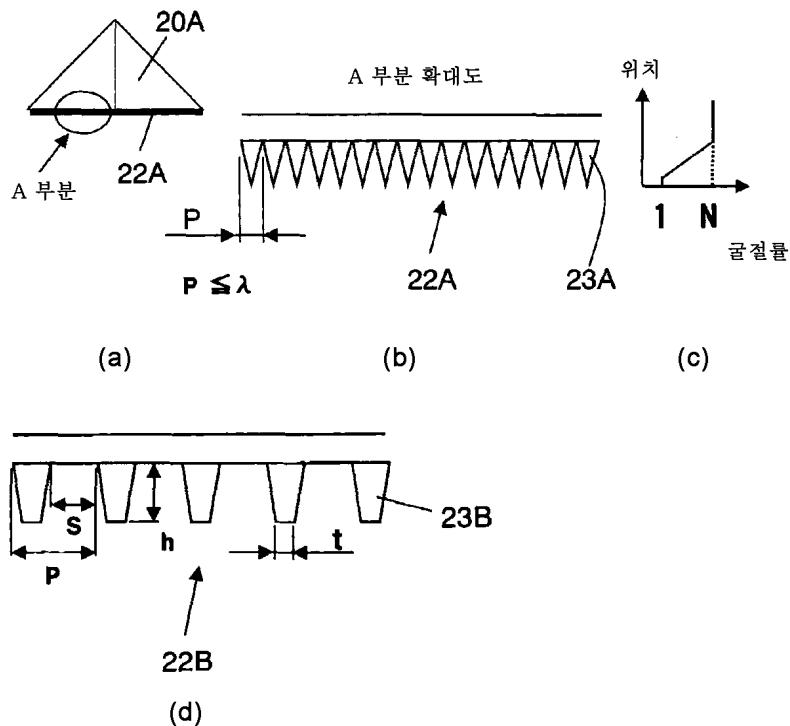
도면2



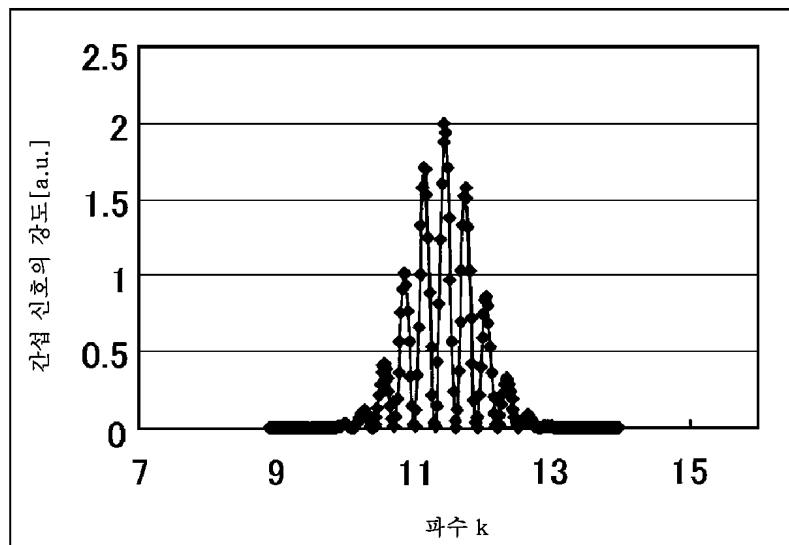
도면3



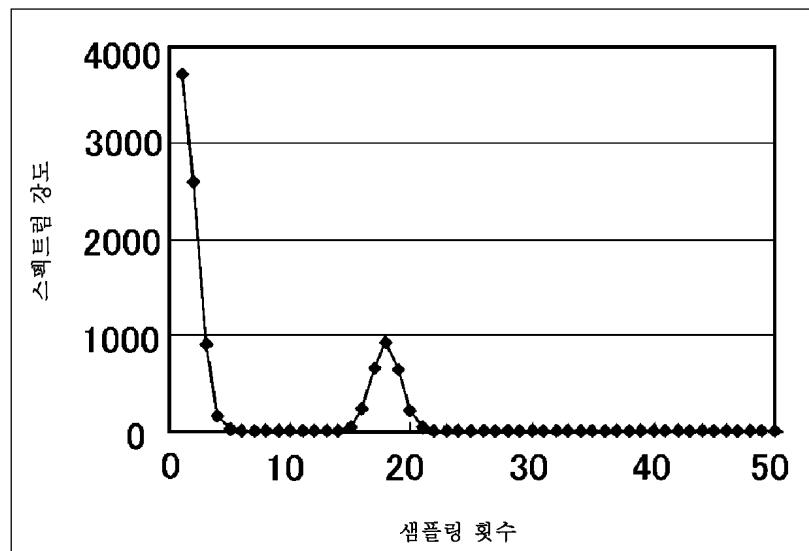
도면4



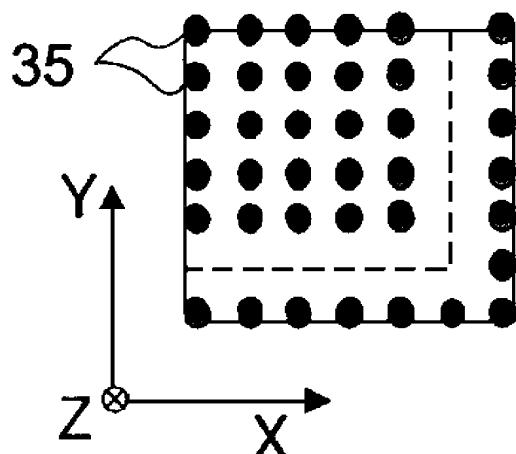
도면5



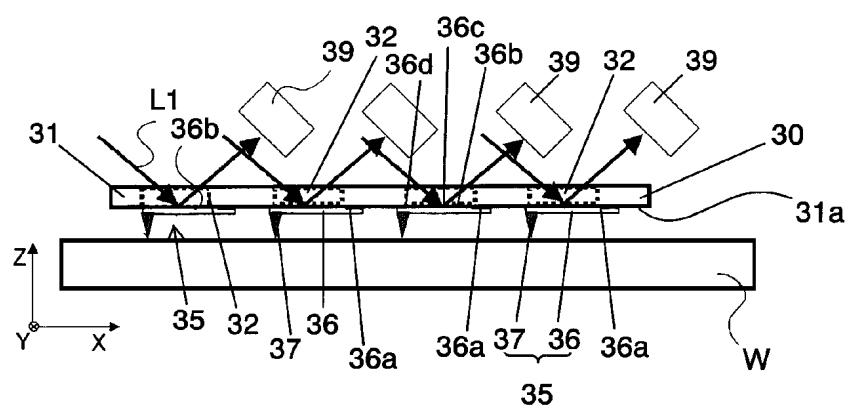
도면6



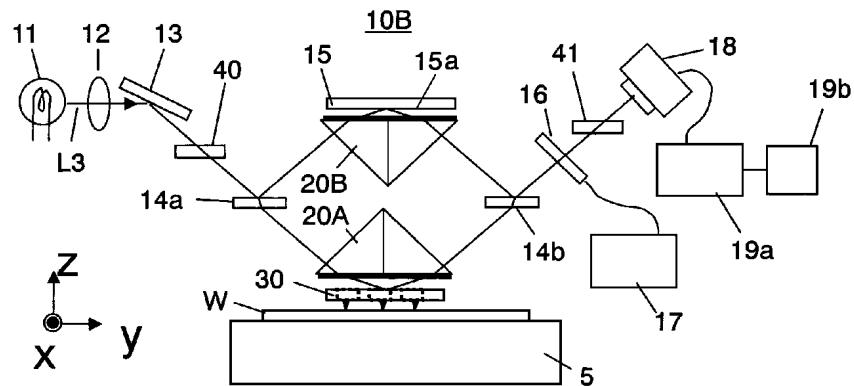
도면7



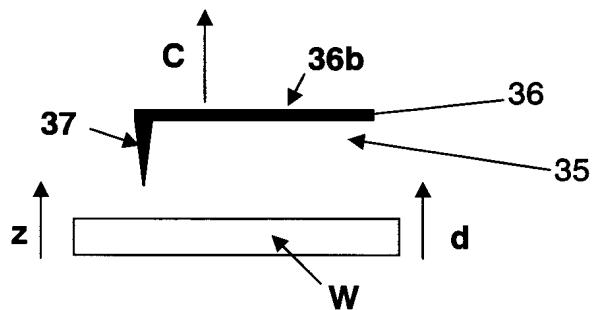
도면8



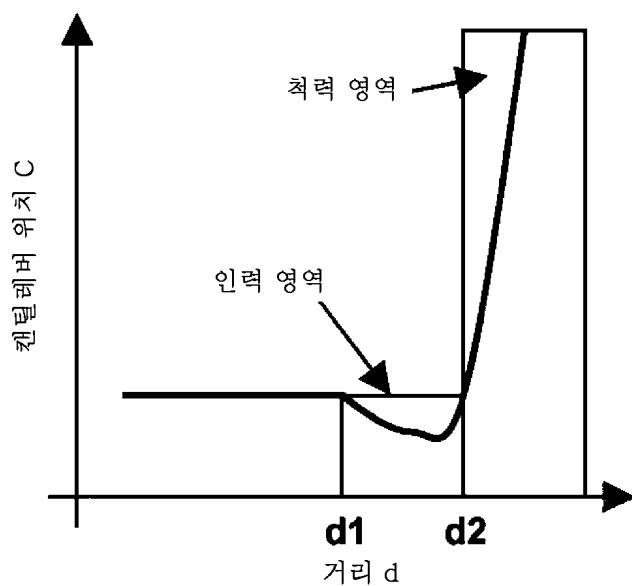
도면9



도면10

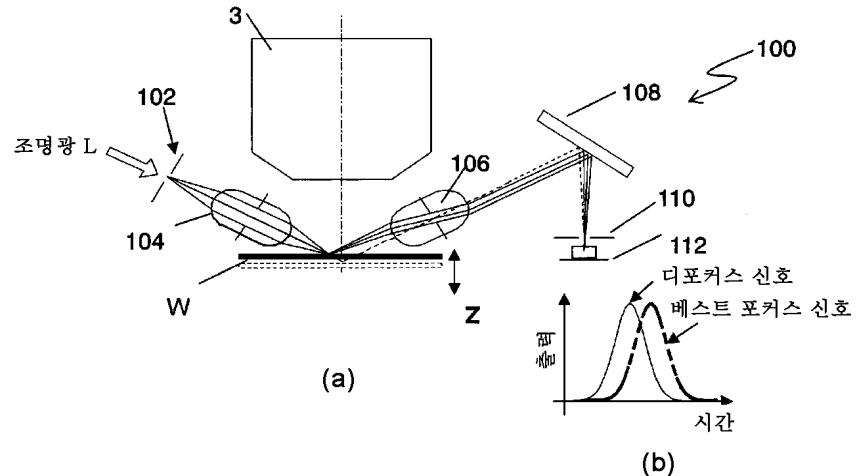


도면11



도면12

(종래 기술)



도면13

(종래 기술)

