



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0133925
(43) 공개일자 2014년11월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/956 (2006.01) G01B 11/30 (2006.01)
H01L 21/66 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7028344
(22) 출원일자(국제) 2013년04월23일
심사청구일자 2014년10월08일
(85) 번역문제출일자 2014년10월08일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2013/061959
(87) 국제공개번호 WO 2013/168557
국제공개일자 2013년11월14일
(30) 우선권주장
JP-P-2012-109021 2012년05월11일 일본(JP)

(71) 출원인
가부시키가이샤 히다치 하이테크놀로지즈
일본국 도쿄도 미나토구 니시신바시 1초메 24-14
(72) 발명자
마츠모토 슌이치
일본국 도쿄도 지요다쿠 마루노우치 1-6-6 가부시
끼가이샤 히다치 세이사꾸쇼 내
혼다 도시후미
일본국 도쿄도 지요다쿠 마루노우치 1-6-6 가부시
끼가이샤 히다치 세이사꾸쇼 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
문두현, 문기상

전체 청구항 수 : 총 12 항

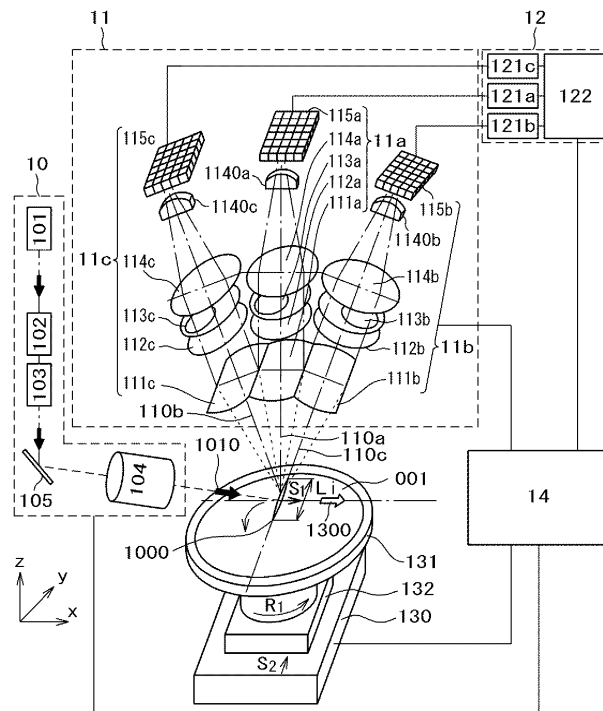
(54) 발명의 명칭 결함 검사 방법 및 결함 검사 장치

(57) 요약

시료 위의 결함을 검사하는 결함 검사 장치에서, 보다 미세한 결함을 검출할 수 있게 하기 위해서, 결함 검사 장치를 시료 표면의 선 형상의 영역에 경사진 방향으로부터 조명광을 조사하는 조명광 조사부와, 선 형상의 영역의 길이 방향에 대해서 거의 직교하는 방향에서 시료 표면의 법선을 포함하는 면 내에 배치되고, 시료의 선 형상의

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



영역으로부터 발생한 산란광을 집광하는 대물 렌즈와 이 대물 렌즈에 의해 집광된 산란광을 검출하는 2차원의 검출기를 갖는 검출 광학계를 복수 구비한 검출 광학계부와, 검출 광학계부에 의해 검출한 신호를 처리해서 시료 위의 결함을 검출하는 신호 처리부를 구비하고, 검출 광학계의 대물 렌즈는, 선 형상의 영역의 길이 방향을 따른 방향과 길이 방향에 거의 직교하는 방향을 따른 방향에서 서로 다른 개구각을 갖고, 검출 광학계는, 선 형상의 영역의 길이 방향의 배율과 선 형상의 영역의 길이 방향에 거의 직교하는 방향의 배율이 서로 다른 상(像)을 2차원의 검출기 위에 형성하도록 구성했다.

(72) 발명자

우라노 유타

일본국 도쿄도 지요다구 마루노우치 1-6-6 가부시
끼가이샤 히다치 세이사꾸쇼 내

진구 다카히로

일본국 도쿄도 미나토구 니시 심바시 1-24-14 가부
시킴가이샤 히다치 하이테크놀로지스 내

특허청구의 범위

청구항 1

평면 내에서 이동 가능한 테이블에 재치(載置)한 시료 표면의 선(線) 형상의 영역에 상기 시료 표면의 법선 방향에 대해서 경사진 방향으로부터 조명광을 조사(照射)하고,

당해 조명광이 조사된 상기 시료로부터 발생한 산란광을 상기 시료 표면의 조명광을 조사한 선 형상의 영역의 길이 방향에 대해서 거의 직교해서 상기 시료 표면의 법선 방향을 포함하는 면 내에 배치한 대물 렌즈를 포함하는 복수의 검출 광학계에 의해 집광(集光)하고,

당해 집광한 산란광을 상기 복수의 검출 광학계 각각에 대응하는 복수의 검출기에 의해 검출하고,

당해 복수의 검출기에 의해 검출해서 얻은 산란광 검출 신호를 처리해서 상기 시료 표면의 결함을 검출하는 결함 검사 방법으로서,

상기 조명광이 조사된 시료로부터 발생한 산란광을, 상기 시료 표면의 조명광을 조사한 선 형상의 영역의 길이 방향에 대한 개구각(開口角)과 상기 길이 방향에 거의 직교하는 방향에 대한 개구각이 서로 다른 상기 대물 렌즈를 포함하는 상기 복수의 광학계에 의해 집광하고,

당해 복수의 광학계 각각의 대물 렌즈에 의해 집광한 상기 산란광에 의해 상기 선 형상의 영역의 길이 방향의 배율과 상기 선 형상의 영역의 길이 방향에 거의 직교하는 방향의 배율이 서로 다른 상(像)을 상기 복수의 검출기에 의해 각각 검출하는 것을 특징으로 하는 결함 검사 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 조명광이 조사된 상기 시료로부터 발생한 산란광 중, 상기 복수의 검출 광학계의 방향과는 다른 방향으로 산란한 산란광의 일부를 집광해서 검출하고, 당해 산란광의 일부를 집광하여 검출해서 얻은 신호와 상기 복수의 검출 광학계에 의해 검출해서 얻은 신호를 사용해서 상기 복수의 검출 광학계 각각의 검출기에서는 포화되게 되는 산란광을 발생시키는 결함을 검출하는 것을 특징으로 하는 결함 검사 방법.

청구항 3

평면 내에서 이동 가능한 테이블에 재치한 시료 표면의 선 형상의 영역에 상기 시료 표면의 법선 방향에 대해서 경사진 방향으로부터 조명광을 조사하고,

당해 조명광이 조사된 상기 시료로부터 발생한 산란광을 상기 시료 표면의 조명광을 조사한 선 형상의 영역의 길이 방향에 대해서 거의 직교해서 상기 시료 표면의 법선 방향을 포함하는 면 내에 배치한 대물 렌즈를 포함하는 복수의 검출 광학계에 의해 집광해서 당해 복수의 검출 광학계 각각에 대응하는 복수의 2차원의 검출기에 의해 검출하고,

상기 조명광이 조사된 상기 시료로부터 발생한 산란광 중 상기 복수의 검출 광학계의 방향과는 다른 방향으로 산란한 산란광의 일부를 집광해서 상기 2차원의 검출기보다 감도가 낮은 검출기에 의해 검출하고,

상기 복수의 2차원의 검출기에 의해 검출해서 얻은 신호를 처리해서 상기 시료 위의 미세한 결함을 검출함과 함께, 상기 2차원의 검출기보다 감도가 낮은 검출기에 의해 검출해서 얻은 신호와 상기 복수의 2차원의 검출기에 의해 검출해서 얻은 신호를 사용해서 상기 복수의 2차원의 검출기에서는 포화되게 되는 산란광을 발생시키는 비교적 큰 결함을 검출하는 것을 특징으로 하는 결함 검사 방법.

청구항 4

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서,

상기 시료로부터 발생한 산란광을, 상기 선 형상의 영역의 길이 방향에 대한 개구각이 상기 길이 방향에 거의 직교하는 방향에 대한 개구각보다 큰 대물 렌즈에 의해 집광하는 것을 특징으로 하는 결함 검사 방법.

청구항 5

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서,

상기 복수의 검출 광학계 각각에 의해, 상기 선 형상의 영역의 길이 방향의 배율에 대해서 상기 선 형상의 영역의 길이 방향에 거의 직교하는 방향의 배율이 큰 상기 산란광에 의한 상기 선 형상의 영역의 상을 상기 복수의 검출 광학계 각각의 검출기 위에 형성하는 것을 특징으로 하는 결합 검사 방법.

청구항 6

시료를 재치해서 평 면내에서 이동 가능한 테이블과,

당해 테이블에 재치한 상기 시료 표면의 선 형상의 영역에 상기 시료 표면의 법선 방향에 대해서 경사진 방향으로부터 조명광을 조사하는 조명광 조사부와,

상기 조명광을 조사한 시료 표면의 선 형상의 영역의 길이 방향에 대해서 거의 직교하는 방향에서 상기 시료 표면의 법선을 포함하는 면 내에 배치되고, 상기 조명광 조사부에 의해 조명광이 조사된 상기 시료 표면의 선 형상의 영역으로부터 발생한 산란광을 집광하는 대물 렌즈와 당해 대물 렌즈에 의해 집광된 산란광을 검출하는 2차원의 검출기를 갖는 검출 광학계를 복수 구비한 검출 광학계부와,

당해 검출 광학계부의 복수의 검출 광학계 각각의 2차원의 검출기에 의해 검출해서 얻은 신호를 처리해서 상기 시료 위의 결함을 검출하는 신호 처리부를 구비한 결합 검사 장치로서,

상기 검출 광학계의 대물 렌즈는, 상기 시료 표면의 조명광을 조사한 선 형상의 영역의 길이 방향을 따른 방향과 상기 길이 방향에 거의 직교하는 방향을 따른 방향에서 서로 다른 개구각을 갖고,

상기 검출 광학계는, 상기 대물 렌즈에 의해 집광한 상기 산란광에 의해 상기 선 형상의 영역의 길이 방향의 배율과 상기 선 형상의 영역의 길이 방향에 거의 직교하는 방향의 배율이 서로 다른 상을 상기 2차원의 검출기 위에 형성하는 것을 특징으로 하는 결합 검사 장치.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 검출 광학계부는, 상기 조명광이 조사된 상기 시료로부터 발생한 산란광 중, 상기 복수의 검출 광학계의 방향과는 다른 방향으로 산란한 산란광의 일부를 집광해서 검출하는 사방(斜方) 검출 광학계를 더 구비하고, 상기 신호 처리부는, 상기 사방 검출 광학계에 의해 상기 산란광의 일부를 집광하여 검출해서 얻은 신호와 상기 복수의 검출 광학계에 의해 검출해서 얻은 신호를 사용해서 상기 복수의 검출 광학계 각각의 2차원의 검출기에서는 포화되게 되는 산란광을 발생시키는 결함을 검출하는 것을 특징으로 하는 결합 검사 장치.

청구항 8

시료를 재치해서 평면 내에서 이동 가능한 테이블과,

당해 테이블에 재치한 상기 시료 표면의 선 형상의 영역에 상기 시료 표면의 법선 방향에 대해서 경사진 방향으로부터 조명광을 조사하는 조명광 조사부와,

상기 조명광을 조사한 시료 표면의 선 형상의 영역의 길이 방향에 대해서 거의 직교하는 방향에서 상기 시료 표면의 법선을 포함하는 면 내에 배치되고, 상기 조명광 조사부에 의해 조명광이 조사된 상기 시료 표면의 선 형상의 영역으로부터 발생한 산란광을 집광하는 대물 렌즈와 당해 대물 렌즈에 의해 집광된 산란광을 검출하는 2차원의 검출기를 갖는 복수의 검출 광학계와 상기 조명광이 조사된 상기 시료로부터 발생한 산란광 중 상기 복수의 검출 광학계의 방향과는 다른 방향으로 산란한 산란광의 일부를 집광해서 검출하는 상기 2차원의 검출기보다 감도가 낮은 검출기를 구비한 검출 광학계부와,

상기 복수의 2차원의 검출기에 의해 검출해서 얻은 신호를 처리해서 상기 시료 위의 미세한 결함을 검출함과 함께, 상기 2차원의 검출기보다 감도가 낮은 검출기에 의해 검출해서 얻은 신호와 상기 복수의 2차원의 검출기에 의해 검출해서 얻은 신호를 사용해서 상기 복수의 2차원의 검출기에서는 포화되게 되는 산란광을 발생시키는 비교적 큰 결함을 검출하는 신호 처리부를 구비한 것을 특징으로 하는 결합 검사 장치.

청구항 9

제 6 항 또는 제 8 항에 있어서,

상기 검출 광학계의 대물 렌즈는, 상기 시료 표면의 조명광을 조사한 선 형상의 영역의 길이 방향을 따른 방향의 개구각이, 상기 길이 방향에 거의 직교하는 방향을 따른 방향의 개구각보다 큰 것을 특징으로 하는 결함 검사 장치.

청구항 10

제 6 항 또는 제 8 항에 있어서,

상기 검출 광학계는 실린드리컬 렌즈(cylindrical lens)를 구비하고, 당해 실린드리컬 렌즈에 의해, 상기 대물 렌즈에 의해 집광한 상기 산란광에 의한 상기 선 형상의 영역의 길이 방향에 거의 직교하는 방향의 상을 확대해서 상기 2차원의 검출기 위에 형성하는 것을 특징으로 하는 결함 검사 장치.

청구항 11

제 6 항 또는 제 8 항에 있어서,

상기 2차원의 검출기는, 상기 조명광 조사부에 의해 조명광이 조사된 상기 시료 표면의 선 형상의 영역으로부터 발생한 산란광 중 상기 대물 렌즈에 의해 집광된 광의 광자수를 계수하는 것을 특징으로 하는 결함 검사 장치.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 2차원의 검출기는, 게이저(Geiger) 모드에서 동작하는 에벌란시 포토다이오드(avalanche photodiode) 소자를 2차원으로 배열해서 구성한 검출기인 것을 특징으로 하는 결함 검사 장치.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 시료 표면에 존재하는 미소한 결함을 검사하고, 결함의 위치·종류 및 치수를 판정해서 출력하는 결함 검사 방법 및 결함 검사 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 반도체 기관이나 박막 기관 등의 제조 라인에서, 제품의 수율을 유지·향상시키기 위해서, 반도체 기관이나 박막 기관 등의 표면에 존재하는 결함의 검사가 행해지고 있다. 결함 검사의 종래 기술로서는, 일본국 특개평 8-304050호 공보(특허문헌 1), 일본국 특개 2008-26814호 공보(특허문헌 2), 일본국 특개 2008-261790호 공보(특허문헌 3) 등이 알려져 있다.

[0003] 특허문헌 1에서는, 선 형상 조명을 행하는 조명 광학계, 피조명 영역을 라인 센서에 의해 분할해서 검출하는 검출 광학계에 의해, 한차례의 검사에서 동일 결함을 복수회 조명하고, 이들의 산란광을 가산(加算)함으로써 검출 감도를 향상시키는 기술이 개시되어 있다.

[0004] 특허문헌 2에서는, 레이저광 밴드에 대응한 2n개의 APD(Avalanche PhotoDiode)가 리니어로 배열되며, 2n개 중 적당한 2개씩을 조합하고, 각 조합의 2개의 APD의 출력 신호의 차분을 각각 산출하여, 반사광에 의한 노이즈를 소거하고, 산란광에 대한 결함 펄스를 출력하는 기술이 개시되어 있다.

[0005] 또한, 특허문헌 3에서는, 원 형상 렌즈를 서로 평행한 2개의 직선에 의해 절단한 형상의 광학 렌즈와 이에 대응하는 검출기를 복수 배치해서, 산란광을 검출하는 기술이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 일본국 특개평 8-304050호 공보

(특허문헌 0002) 일본국 특개 2008-26814호 공보

(특허문헌 0003) 일본국 특개 2008-261790호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 반도체 등의 제조 공정에서 사용되는 결함 검사에는, 미소한 결함을 검출하는 것, 검출한 결함의 치수를 고정밀도로 측정하는 것, 시료를 파괴시키지 않고(예를 들면, 시료를 변질시키지 않고) 검사하는 것, 동일한 시료를 검사한 경우에 예를 들면, 검출 결함의 개수, 위치, 치수, 결함 종류에 관해서 실질적으로 일정한 검사 결과가 얻어지는 것, 일정 시간 내에 다수의 시료를 검사하는 것 등이 요구된다.
- [0008] 상기 특허문헌 1, 2 및 3에 설명된 기술에서는, 특히 예를 들면, 치수 20nm 이하의 미소한 결함에 대해서는, 결함으로부터 발생하는 산란광이 매우 미약해서 시료 표면에서 발생하는 산란광에 의한 노이즈, 검출기의 노이즈, 혹은 검출 회로의 노이즈에 결함 신호가 묻히기 때문에 검출이 불가능하게 된다. 혹은, 이를 피하기 위해서 조명 파워를 올린 경우, 조명광에 의한 시료의 온도 상승이 커져 시료에의 열 손상이 발생한다. 혹은, 이를 피하기 위해서 시료의 주사 속도를 저하시킨 경우, 일정 시간 내에 검사할 수 있는 시료의 면적 혹은 시료의 수가 감소한다. 이상으로부터, 미소한 결함을 고속으로 검출하는 것이 곤란했다.
- [0009] 미약한 광을 검출하는 방법으로서, 광자 계수법이 알려져 있다. 일반적으로, 미약한 광에 대해서는 검출 광자수를 계수하는 광자 계수를 행함으로써, 신호의 SN비가 향상되기 때문에, 고감도·고정밀도이며 안정적인 신호가 얻어진다. 종래부터 알려지는 광자 계수법의 일례로서는, 광전자 증배관(増倍管), 혹은 단일 소자로 이루어지는 APD(Avalanche PhotoDiode)에 대한 광자의 입사에 의해 발생하는 펄스 전류의 발생수를 계수하는 방법이 있다. 이 방식에서는, 짧은 시간 내에 복수개의 광자가 입사해서 복수회의 펄스 전류가 발생한 경우에는 그 회수를 계수할 수 없기 때문에, 광량을 정밀하게 측정할 수 없어, 결함 검사에의 적용은 곤란했다.
- [0010] 다른 광자 계수법의 일례로서는, 복수의 APD 소자를 2차원의 어레이(array) 형상으로 배열해서 구성한 검출기의, 각 소자에의 광자의 입사에 의해 발생하는 펄스 전류의 합계를 측정하는 방법이 알려져 있다. 이 검출기는 Si-PM(Silicon Photomultiplier), PPD(Pixelated Photon Detector), 혹은 MPPC(Multi-Pixel Photon Counter) 등으로 불린다. 이 방법에 따르면, 상술한 광전자 증배관이나, 단일 소자로 이루어지는 APD를 사용한 광자 계수와 달리, 짧은 시간 내에 복수의 광자가 입사한 경우라도, 복수의 APD 소자로부터의 펄스 전류의 합계에 의해 광량을 측정하는 것이 가능해진다. 단 이 경우에서도, 복수의 APD를 배열한 것이 하나의 검출기=「검출 ch」로서 동작하기 때문에, 「검출 ch」를 복수화한 병렬 검출에 의해, 검출 시야를 분할해서 고속·고감도화를 도모하는 결함 검사에서는, 본 방법을 적용하는 것은 곤란했다.
- [0011] 본 발명은, 종래 기술의 과제를 해결하여, 미소한 결함을 고속·고감도로 검출하는 것을 가능하게 하는 결함 검사 방법 및 결함 검사 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상기 과제를 해결하기 위해, 평면 내에서 이동 가능한 테이블에 재치(載置)한 시료 표면의 선 형상의 영역에 시료 표면의 법선 방향에 대해서 경사진 방향으로부터 조명광을 조사(照射)하고, 조명광이 조사된 시료로부터 발생한 산란광을 시료 표면의 조명광을 조사한 선 형상의 영역의 길이 방향에 대해서 거의 직교해서 시료 표면의 법선 방향을 포함하는 면 내에 배치한 대물 렌즈를 포함하는 복수의 검출 광학계에 의해 집광(集光)하고, 이 집광한 산란광을 복수의 검출 광학계 각각에 대응하는 복수의 검출기에 의해 검출하며, 이 복수의 검출기에 의해 검출해서 얻은 산란광 검출 신호를 처리해서 시료 표면의 결함을 검출하는 결함 검사 방법에서, 조명광이 조사된 시료로부터 발생한 산란광을, 시료 표면의 조명광을 조사한 선 형상의 영역의 길이 방향에 대한 개구각과 길이 방향에 거의 직교하는 방향에 대한 개구각이 서로 다른 대물 렌즈를 포함하는 복수의 광학계에 의해 집광하고, 이 복수의 광학계 각각의 대물 렌즈에 의해 집광한 산란광에 의해 선 형상의 영역의 길이 방향의 배율과 선 형상의 영역의 길이 방향에 거의 직교하는 방향의 배율이 서로 다른 상(像)을 복수의 검출기에 의해 각각 검출하도록 했다.
- [0013] 또한, 본 발명에서는, 상기 과제를 해결하기 위해, 평면 내에서 이동 가능한 테이블에 재치한 시료 표면의 선 형상의 영역에 시료 표면의 법선 방향에 대해서 경사진 방향으로부터 조명광을 조사하고, 조명광이 조사된 시료

로부터 발생한 산란광을 시료 표면의 조명광을 조사한 선 형상의 영역의 길이 방향에 대해서 거의 직교해서 시료 표면의 법선 방향을 포함하는 면 내에 배치한 대물 렌즈를 포함하는 복수의 검출 광학계에 의해 집광하고, 이 복수의 검출 광학계 각각에 대응하는 복수의 2차원의 검출기에 의해 검출하며, 조명광이 조사된 시료로부터 발생한 산란광 중 복수의 검출 광학계의 방향과는 다른 방향으로 산란한 산란광의 일부를 집광해서 2차원의 검출기보다 감도가 낮은 검출기에 의해 검출하고, 복수의 2차원의 검출기에 의해 검출해서 얻은 신호를 처리해서 시료 위의 미세한 결함을 검출함과 함께, 2차원의 검출기보다 감도가 낮은 검출기에 의해 검출해서 얻은 신호와 복수의 2차원의 검출기에 의해 검출해서 얻은 신호를 사용해서 복수의 2차원의 검출기에서는 포화되게 되는 산란광을 발생시키는 비교적 큰 결함을 검출하도록 했다.

[0014] 또한, 본 발명에서는, 상기 과제를 해결하기 위해, 결함 검사 장치를, 시료를 재치해서 평면 내에서 이동 가능한 테이블과, 테이블에 재치한 시료 표면의 선 형상의 영역에 시료 표면의 법선 방향에 대해서 경사진 방향으로 부터 조명광을 조사하는 조명광 조사부와, 조명광을 조사한 시료 표면의 선 형상의 영역의 길이 방향에 대해서 거의 직교하는 방향에서 시료 표면의 법선을 포함하는 면 내에 배치되고, 조명광 조사부에 의해 조명광이 조사된 시료 표면의 선 형상의 영역으로부터 발생한 산란광을 집광하는 대물 렌즈와 이 대물 렌즈에 의해 집광된 산란광을 검출하는 2차원의 검출기를 갖는 검출 광학계를 복수 구비한 검출 광학계부와, 검출 광학계부의 복수의 검출 광학계 각각의 2차원의 검출기에 의해 검출해서 얻은 신호를 처리해서 시료 위의 결함을 검출하는 신호 처리부를 구비하여 구성하고, 검출 광학계의 대물 렌즈는, 시료 표면의 조명광을 조사한 선 형상의 영역의 길이 방향을 따른 방향과 길이 방향에 거의 직교하는 방향을 따른 방향에서 서로 다른 개구각을 갖고, 검출 광학계는, 대물 렌즈에 의해 집광한 산란광에 의해 선 형상의 영역의 길이 방향의 배율과 선 형상의 영역의 길이 방향에 거의 직교하는 방향의 배율이 서로 다른 상을 2차원의 검출기 위에 형성하도록 구성했다.

[0015] 또한, 본 발명에서는, 상기 과제를 해결하기 위해, 결함 검사 장치를, 시료를 재치해서 평면 내에서 이동 가능한 테이블과, 테이블에 재치한 시료 표면의 선 형상의 영역에 시료 표면의 법선 방향에 대해서 경사진 방향으로 부터 조명광을 조사하는 조명광 조사부와, 조명광을 조사한 시료 표면의 선 형상의 영역의 길이 방향에 대해서 거의 직교하는 방향에서 시료 표면의 법선을 포함하는 면 내에 배치되고, 조명광 조사부에 의해 조명광이 조사된 시료 표면의 선 형상의 영역으로부터 발생한 산란광을 집광하는 대물 렌즈와 이 대물 렌즈에 의해 집광된 산란광을 검출하는 2차원의 검출기를 갖는 복수의 검출 광학계와 조명광이 조사된 시료로부터 발생한 산란광 중 복수의 검출 광학계의 방향과는 다른 방향으로 산란한 산란광의 일부를 집광해서 검출하는 2차원의 검출기보다 감도가 낮은 검출기를 구비한 검출 광학계부와, 복수의 2차원의 검출기에 의해 검출해서 얻은 신호를 처리해서 시료 위의 미세한 결함을 검출함과 함께, 2차원의 검출기보다 감도가 낮은 검출기에 의해 검출해서 얻은 신호와 복수의 2차원의 검출기에 의해 검출해서 얻은 신호를 사용해서 상기 복수의 2차원의 검출기에서는 포화되게 되는 산란광을 발생시키는 비교적 큰 결함을 검출하는 신호 처리부를 구비하여 구성했다.

발명의 효과

[0016] 본 발명에 따르면, 상기에 설명한 구성으로 함으로써, 고(高)NA(개구율)에서의 복수 방향으로부터의 검출을 가능하게 하고, 병렬형의 광자 계수 검출기에 의해 미세 결함으로부터의 산란광을 유효하게 검출하여, 고감도 검사를 실현하는 효과가 얻어진다.

[0017] 또한, 병렬형의 광자 계수 검출기와 통상의 광학 센서를 조합함으로써, 보다 넓은 다이내믹 레인지(dynamic range)에서 결함을 검출할 수 있게 되었다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 실시예 1에 있어서의 결함 검사 장치의 기본 구성을 나타내는 블록도.

도 2는 본 발명의 실시예 1에 있어서의 타원형 렌즈의 구성을 나타내는 삼면도.

도 3은 본 발명의 실시예 1에 있어서의 검사 장치의 타원형 렌즈의 배치를 설명하는 평면도(상단)와 정면도(하단).

도 4는 본 발명의 실시예 1에 있어서의 타원형 렌즈를 세트 렌즈로 구성한 경우의 구성을 나타내는 정면도.

도 5a는 본 발명의 실시예 1에 있어서의 비교예에서 대물 렌즈를 원형 렌즈로 구성한 경우의 평면도.

도 5b는 본 발명의 실시예 1에서, 대물 렌즈를 타원형 렌즈로 구성한 경우의 평면도.

도 6은 본 발명의 실시예 1에서, 시료 표면 위의 조명 영역 형상과 주사 방향의 관계를 설명하는 시료의

평면도.

도 7은 본 발명의 실시예 1에서, 주사에 의한 조명 스폿의 궤적을 설명하는 시료의 평면도.

도 8은 본 발명의 실시예 1에 있어서의 병렬형 광자 계수 센서의 제 1 예의 평면도.

도 9는 본 발명의 실시예 1에 있어서의 병렬형 광자 계수 센서의 구성 요소의 등가 회로를 나타내는 회로도.

도 10은 본 발명의 실시예 1에 있어서의 신호 처리부의 구성을 나타내는 블록도.

도 11a는 본 발명의 실시예 1에 있어서의 병렬형 광자 계수 센서의 제 2 예를 나타내는 병렬형 광자 계수 센서의 측면도.

도 11b는 본 발명의 실시예 1에 있어서의 병렬형 광자 계수 센서의 제 3 예를 나타내는 병렬형 광자 계수 센서의 측면도.

도 12는 본 발명의 실시예 1에 있어서의 검출 광학계의 렌즈 구성의 제 1 예를 나타내는 광학계의 사시도.

도 13a는 본 발명의 실시예 1에 있어서의 검출 광학계를 이루는 렌즈 구성의 제 2 예를 나타내는 광학계의 측면도.

도 13b는 본 발명의 실시예 1에 있어서의 검출 광학계를 이루는 렌즈 구성의 제 2 예에 있어서의 결상 성능을 나타내는 스폿 다이어그램과 시야 높이의 관계를 나타내는 표.

도 14a는 본 발명의 실시예 1에 있어서의 1축 결상계를 추가한 검출 광학계를 이루는 렌즈 구성의 예를 나타내는 광학계의 측면도.

도 14b는 본 발명의 실시예 1에 있어서의 1축 결상계를 추가한 검출 광학계를 이루는 렌즈 구성의 예에 있어서의 결상 성능을 나타내는 스폿 다이어그램과 시야 높이의 관계를 나타내는 표.

도 15a는 본 발명의 실시예 2에 있어서의 결함 검사 장치의 기본 구성을 나타내는 블록도.

도 15b는 본 발명의 실시예 2에 있어서의 결함 검사 장치의 검출 광학계의 개략의 구성을 나타내는 정면도.

도 15c는 본 발명의 실시예 2에 있어서의 결함 검사 장치의 후방 산란광 검출 유닛의 개략의 구성을 나타내는 블록도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 본 발명은, 반도체 등의 제조 공정에서 사용되는 결함 검사에서, 미소한 결함을 검출하는 것, 검출한 결함의 치수를 고정밀도로 계측하는 것, 시료를 파괴하지 않고(예를 들면, 시료를 변질시키지 않고) 검사하는 것, 동일한 시료를 검사한 경우에 예를 들면, 검출 결함의 개수, 위치, 치수, 결함 종류에 관해서 실질적으로 일정한 검사 결과가 얻어지는 것, 일정 시간 내에 다수의 시료를 검사하는 것을 가능하게 하는 결함 검사 방법 및 결함 검사 장치를 제공하는 것이다.

[0020] 이하에, 본 발명의 실시형태를 도면을 사용하여 설명한다. 또, 본 발명은 이하에 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니라, 여러가지 변형예가 포함된다. 하기에 설명하는 실시예는 본 발명을 이해하기 쉽게 설명하기 위해서 상세하게 설명하는 것이며, 반드시 설명한 모든 구성을 구비하는 것에 한정되는 것은 아니다. 또한, 어느 실시예의 구성의 일부를 다른 실시예로 치환하는 것이 가능하며, 또한 어느 실시예의 구성에 다른 실시예를 추가하는 것도 가능하다. 또한, 각 실시예의 구성의 일부에 대해서, 다른 구성의 추가·삭제·치환을 행하는 것이 가능하다.

[0021] [실시예 1]

[0022] 도 1은, 본 실시예의 결함 검사 장치의 구성의 예를 나타낸다. 본 실시예에 있어서의 결함 검사 장치는, 조명 광학계 유닛(10), 검출 광학계 유닛(11), 신호 처리 유닛(12), 스테이지 유닛(13), 전체 제어부(14)를 구비하여 구성되어 있다.

[0023] 조명 광학계 유닛(10)은 광원(101), 편광 상태 제어 수단(102), 빔 성형 유닛(103) 및 세션(細線) 집광 광학계(104)를 구비하고 있다. 이러한 구성에서, 광원(101)을 사출한 조명은, 편광 상태 제어 수단(102)과 빔 성형 유닛(103)을 통과하고, 미러(105)에 의해 광로가 변환되어 세션 집광 광학계(104)에 도입된다. 이 때, 편광 상태 제어 수단(102)은 1/2 파장판, 1/4 파장판 등의 편광 소자로 구성되며, 조명 광학계의 광축 둘레에서 회전할

수 있는 구동 수단(도시 생략)을 구비하고, 스테이지 유닛(13)에 배치된 웨이퍼(001)를 조명하는 조명광의 편광 상태를 조정하는 수단이다.

[0024] 또한, 빔 성형 유닛(103)은, 나중에 설명하는 세션 조명을 형성하는 광학 유닛이며, 빔 익스팬더(beam expander), 애너모픽 프리즘(anamorphic prism) 등에 의해 구성된다.

[0025] 세션 집광 광학계(104)는 실린드릭 렌즈(cylindrical lens) 등에 의해 구성되고, 세션 형상으로 성형한 조명 광에 의해 웨이퍼(기판)(001)의 세션 형상의 조명 영역(1000)을 조명한다. 본 실시예에서는, 도 1에 나타내는 바와 같이, 세션 조명의 폭 방향(세션 조명 영역(1000)의 길이 방향에 거의 직교하는 방향: 화살표(1300) 방향)을 스테이지 주사 방향(x방향)으로, 세션 조명 영역(1000)의 길이 방향을 y방향으로 하는 것으로 해서 설명한다.

[0026] 또한, 본 실시예에서는 이렇게 조명 영역(1000)을 좁힌 세션 조명을 행하지만, 이는 검사 대상에 대한 조명의 조도(조명의 에너지 밀도)를 높게 함으로써, 검사 스루풋(throughput)의 향상을 도모하는 것이 목적의 하나이다. 이 때문에, 광원(101)에는 직선 편광을 방사하고, 집광성이 좋은 고(高)코히런트(coherent) 광원인 레이저 광원을 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 배경기술에서 설명한 바와 같이, 결함으로부터의 산란광을 증대시키기 위해서도 광원의 단파장화가 유효하며, 본 실시예에서는 광원(101)에는 UV(Ultra Violet) 레이저를 사용한다. 예를 들면, YAG(Yttrium Aluminum Garnet)-THG(third harmonic generation)의 파장 355nm 고체 레이저, 혹은 YAG-FHG(Fourth harmonic generation)의 파장 266nm 고체 레이저, 혹은 YAG-FHG와 YAG 기본파의 합주파에 의한 213nm, 199nm, 193nm 고체 레이저 등 중 어느 하나를 사용한다.

[0027] 조명 광학계 유닛(10)에 의해 세션 조명된 웨이퍼(001)로부터의 산란광은, 검출 광학계 유닛(11)을 통해서 검출된다. 검출 광학계 유닛(11)은, 3개의 검출 유닛(11a~11c)을 구비하고 있다. 본 실시예에서는 검출 광학계(11)는, 3개의 검출 유닛으로 구성하는 예를 나타냈지만, 이 형태에 한정되는 것이 아니라, 2개의 검출 유닛을 사용하여 검출 광학계를 구성해도 되고, 또는, 4개 이상의 검출 유닛을 구비해서 검출 광학계를 구성해도 된다. 이하에, 제 1 검출 유닛(11a)의 구성 요소는 첨자 a를, 제 2 검출 유닛(11b)의 구성 요소는 첨자 b를, 제 3 검출 유닛(11c)의 구성 요소는 첨자 c에 의해 표기의 구별을 행한다.

[0028] 제 1 검출 유닛(11a)은, 대물 렌즈(111a), 공간 필터(112a), 편광 필터(113a), 결상 렌즈(114a), 1축 결상계(예를 들면, 실린드릭 렌즈)(1140a), 병렬형 광자 계수 센서(115a)를 구비하고 있다. 제 2 검출 유닛(11b) 및 제 3 검출 유닛(11c)도 동일한 광학 요소를 구비하여 구성되어 있다. 제 1 검출 유닛(11a)에 대해서 설명하면, 조명 광학계 유닛(10)에 의해 세션 조명된 웨이퍼(001)로부터의 산란광은 대물 렌즈(111a)에 의해 집광되고, 결상 렌즈(114a)와 1축 결상계(1140a)에 의해, 병렬형 광자 계수 센서(115a) 위의 복수의 소자에 걸쳐지도록, 웨이퍼(001) 위의 결함의 산란광상(像)(점상(点像))이 결상된다. 제 2 검출 유닛(11b) 및 제 3 검출 유닛(11c)도 마찬가지로, 각각 대물 렌즈(111b, 111c)에 의해 집광되고, 결상 렌즈(114b, 114c), 1축 결상계(1140b, 1140c)에 의해, 병렬형 광자 계수 센서(115b, 115c) 위의 복수의 소자에 걸쳐지도록, 웨이퍼 위의 결함의 산란광상(점상)이 결상된다. 여기에서 대물 렌즈(111a, 111b, 111c)는 도 1에 나타내는 바와 같이, 원형 렌즈의 좌우를 직선 형상으로 절제해서 좌우 대칭 형상을 갖는 타원형 렌즈로 이루어지도록 구성한다. 그 구성과 효과의 상세에 관해서는 후술한다.

[0029] 검출 광학계 유닛(11)에서, 개구 제어 필터(112a, 112b, 112c)는, 기판 표면의 러프니스(roughness) 등에 의해 발생하는 배경 산란광을 차광함으로써, 검출시의 배경광 노이즈를 저감시켜, 결함 검출 감도를 향상시키는 것이다. 또한, 편광 필터(편광판 등)(113a, 113b, 113c)는, 검출 산란광으로부터 특정의 편광 성분을 필터링함으로써, 배경광 노이즈를 저감시켜, 결함 검출 감도를 향상시키기 위해서 사용하는 것이다. 병렬형 광자 계수 센서(115a, 115b, 115c)는 광전 변환에 의해, 검출된 산란광을 전기 신호로 변환하는 것이며, 복수의 APD 소자를 2차원의 어레이 형상으로 배열해서 구성한 검출기의, 각 소자에의 광자의 입사에 의해 발생하는 펄스 전류의 합계를 측정하는 방법이 알려져 있다. 이 검출기는 Si-PM(Silicon Photomultiplier), PPD(Pixelated Photon Detector), 혹은 MPPC(Multi-Pixel Photon Counter) 등으로 불리는 소자이다.

[0030] 도 8은, 병렬형 광자 계수 센서(115a)의 수광면의 구성의 일례이다. 병렬형 광자 계수 센서(115a)는 단일의 APD 소자(231)를 복수개 2차원으로 배열한 구성을 갖는다. APD 소자(231)는 각각이 가이거(Geiger) 모드(광전자 증배율이 10^5 이상)에서 동작하도록 전압이 인가된다. APD 소자(231)에 하나의 광자가 입사하면, APD 소자의 양자 효율에 따른 확률에 의해 APD 소자(231) 내에 광전자가 발생하고, 가이거 모드 APD의 작용에 의해 증배되어, 펄스 형상의 전기 신호를 출력한다. 도 8에서 점선(232)으로 둘러싸인 안에 있는 APD 소자(231)의 집합을 하나의 단위(ch)로 해서, S1 방향으로 i개, S2 방향으로 j개의 APD 소자 각각에서 발생한 펄스 형상의 전기

신호를 합계해서 출력한다. 이 합계 신호가 광자 계수에 의한 검출 광량에 상당한다. 그리고, 이들 ch를 S2 방향으로 복수 나열함으로써, 검출계의 시야 내의 세션 조명된 영역의 세션의 길이 방향으로 분할된 복수 영역으로부터의 각각의 산란광의 상이, 복수로 나열한 ch의 각각 대응하는 위치에 S1 방향으로 확대되어 투영된다. 이에 따라, 검출계의 시야 내의 복수 영역 각각에 대해서, 동시 병렬적으로 광자 계수에 의한 산란광의 광량 검출을 행하는 것이 가능해진다. 광자 계수에 의한 산란광 검출이기 때문에, 미약광의 검출이 가능하며, 이에 따라 미소 결함의 검출, 즉 결함 검출 감도의 향상을 도모하는 것이 가능해진다.

[0031] 도 9는 1ch를 구성하는 $i \times j$ 개의 APD 소자군과 등가인 회로의 회로도의 예이다. 도면 중 하나의 쿼칭(quenching) 저항(226)과 APD(227)의 세트가, 도 8에서 설명한 하나의 APD 소자(231)에 대응한다. 각 APD(227)에 역전압(V_R)이 인가된다. 역전압(V_R)을 APD(227)의 항복 전압 이상으로 설정함으로써, APD(227)가 가이거 모드에서 동작한다. 도 9에 나타난 회로 구성으로 함으로써, $i \times j$ 개의 APD 소자군으로 이루어지는 병렬형 광자 계수 센서의 1ch의 영역에 입사한 광자수의 합계에 비례한 출력 전기 신호(전압, 전류의 파고값, 혹은 전하량)가 얻어진다. 각 Ch에 대응하는 출력 전기 신호는 아날로그-디지털 변환되어, 시계열의 디지털 신호로서 병렬로 출력된다.

[0032] 각각의 APD 소자는, 짧은 시간에 복수의 광자가 입사해도 하나의 광자가 입사한 경우와 동일한 정도의 펄스 신호만 출력되기 때문에, 각각의 APD 소자에의 단위 시간당의 입사 광자수가 커지면, 하나의 ch의 합계 출력 신호가 입사 광자수에 비례하지 않게 되어, 신호의 선 형성이 손상된다. 또한, 하나의 ch의 모든 APD 소자에 일정량(1소자당 평균 1광자 정도) 이상의 입사광이 들어가면, 출력 신호는 포화된다. S1, S2 방향으로 다수의 APD 소자를 나열하고, 1축 결상계(1140a~1140c)에 의해 병렬형 광자 계수 센서(115)의 수광면 위에 투영되는 산란광의 상이 하나의 ch의 다수의 APD 소자 위에 확대해서 투영되는 구성으로 함으로써, 1화소당 입사 광량을 저감시키는 것이 가능해져, 보다 정확한 광자 계수가 가능해진다. 예를 들면, S1, S2 방향으로 $i \times j$ 개 나열한 1ch의 화소수를 1000화소로 함으로써, APD 소자의 양자 효율이 30%인 경우, 검출의 단위 시간당 1000광자 이하의 광강도에서 충분한 리니어리티(linearity)를 확보할 수 있고, 약 3300광자 정도 이하의 광강도를 포화시키지 않고 검출하는 것이 가능해진다.

[0033] 도 8에 나타난 병렬형 광자 계수 센서의 구성에서는, S1 방향에 대해서 광강도가 균일하지 않고, 센서의 중앙부와 비교해서 단부의 광강도가 약해진다. 실린드릭 렌즈 대신에 S1 방향으로 곡률을 갖는 미소한 실린드릭 렌즈를 S1 방향으로 다수 나열한 렌티큘러 렌즈(lenticular lens), 회절형 광학 소자, 혹은 비구면 렌즈를 사용함으로써, 결함상의 1축 확대상(225)의 S1 방향의 분포를 강도가 균일한 분포로 할 수 있다. 이렇게 함으로써, S1 방향의 APD 소자수를 유지한 상태로, 리니어리티를 확보할 수 있는 광강도 범위, 혹은 포화되지 않는 광강도 범위를 더욱 확대하는 것이 가능해진다.

[0034] 이 때, 앞서 설명한 세션 형상의 조명 영역(1000)은, 조명광의 효율을 향상시키기 위해서(센서의 검출 범위 외를 조명해도 무효이기 때문에) 병렬형 광자 계수 센서(115)의 검출 범위에 한정되도록 기판을 조명한다.

[0035] 또한, 본 실시예의 검출 광학계(11)에서는, 3개의 검출 유닛(11a, 11b, 11c)은 동일한 구조로 구성한다. 이는, 동일한 구조를 복수 배치함으로써 검사 장치의 제조 공수, 제조 비용의 저감을 도모하는 것을 가능하게 하기 위해서이다.

[0036] 스테이지 유닛(13)은, 병진(並進) 스테이지(130), 회전 스테이지(131), 웨이퍼면의 높이 조절을 위한 Z 스테이지(132)를 구비한다. 스테이지 유닛(13)에 의한 웨이퍼 표면의 조작 방법에 관해서 도 6, 도 7에 의해 설명한다.

[0037] 우선, 도 1에 나타난 웨이퍼 조명 광학계 유닛(10)에 의해, 도 6에 나타내는 바와 같이, 웨이퍼(001)의 표면에 형성된 세션 형상의 조명 영역(1000)의 길이 방향을 S2로 하고, S2에 실질적으로 직교하는 방향을 S1로 한다. 회전 스테이지의 회전 운동에 의해, 회전 스테이지의 회전축을 중심으로 한 원의 원주 방향(R1)으로, 병진 스테이지의 병진 운동에 의해 병진 스테이지의 병진 방향(S2)으로 주사된다. 원주 방향(R1)(세션 형상의 조명 영역(1000)에서는 원주의 접선 방향인 S1의 방향)의 주사에 의해 시료를 1회전하는 동안에, 주사 방향(S2)으로 세션 형상의 조명 영역(1000)의 길이 방향의 길이 이하의 거리만큼 주사함으로써, 도 7에 나타내는 바와 같이, 조명 스폿(세션 형상의 조명 영역(1000))이 웨이퍼(001)에 나선 형상의 궤적(T)을 그리고, 이 주사를 웨이퍼(001)의 반경에 세션 형상의 조명 영역(1000)의 길이를 더한 분만큼 행하면, 웨이퍼(001)의 표면의 전체면이 주사되고, 이에 따라 웨이퍼 전체면의 검사를 가능하게 한다.

[0038] 여기에서, 조명 영역(1000)의 길이와, 검출 광학계 유닛(11)의 광학 배율, 병렬형 광자 계수 센서(115)의 치수

의 관계를 설명한다. 고감도·고속 검사를 행하는 경우, 조명 영역(1000)의 길이(Li)는 개략 200 μ m로 설정된다. 병렬형 광자 계수 센서(105)로서, 가이저 모드에서 동작하는 25 μ m각(角)의 APD 소자가, S2 방향에는 20소자, S1 방향에는 160소자가 나열된 유닛을 1ch로 하고, 이를 S2 방향으로 8ch 나열해서 병렬형 광자 계수 센서(115)를 구성한 경우, 병렬형 광자 계수 센서(115)의 S1 방향의 전체 길이는 4mm가 되고, 이와 조명 영역의 길이(Li) 200 μ m를 비교하면, 검출부의 광학 배율은 20배가 되고, 웨이퍼면에 투영되는 검출 ch의 피치는 25 μ m가 된다.

[0039] 이 조건에서, 시료를 회전 속도 2000rpm으로 회전시키고, 1회전에 대한 병진 스테이지의 이송 피치를 12.5 μ m로 한 경우, 직경 300mm의 웨이퍼는 6초에서, 직경 450mm의 웨이퍼는 9초에서 전체면이 주사된다. 여기에서는, 웨이퍼를 회전 주사할 때의 1회전에 대한 병진 스테이지의 이송 피치를 웨이퍼면에 투영되는 검출 ch의 피치 25 μ m의 1/2로 했지만, 반드시 이 값에 한정되는 것은 아니며, 웨이퍼면에 투영되는 검출 ch의 짝수분의 1 혹은 홀수분의 1의 임의의 수, 혹은 정수분의 1에 한정되지 않고 임의로 정해져도 된다.

[0040] 신호 처리 유닛(12)은, 제 1, 제 2 및 제 3 병렬형 광자 계수 센서(115a, 115b, 115c)에 의해 광전 변환된 산란 광 신호에 의거하여 여러가지 결함 종류의 분류나 결함 치수의 추정을 고정밀도로 행한다. 여기에서 신호 처리 유닛(12)의 구체적 구성에 대해서도 10에 의해 설명한다. 신호 처리 유닛(12)은, 필터링 처리부(121a, 121b, 121c)와, 신호 처리·제어부(122)를 구비하고 있다. 신호 처리 유닛(12)은, 실제로는 검출 유닛(11a, 11b, 11c) 각각이 병렬형 광자 검출 센서(115a, 115b, 115c)의 각 ch마다 복수의 신호를 출력한다. 여기에서는 그 중 하나의 ch의 신호에 주목한 설명을 행하지만, 다른 ch에 대해서도 동일한 처리가 병렬해서 행해지는 것은 물론이다.

[0041] 검출 광학계(11a, 11b, 11c) 각각에 구비된 병렬형 광자 계수 센서(115a, 115b, 115c)로부터 출력된 검출 산란 광량에 대응하는 출력 신호는, 필터링 처리부(121a, 121b, 121c)에서, 하이 패스 필터(high pass filter; 604a, 604b, 604c) 각각에 의해 결함 신호(603a, 603b, 603c) 각각이 추출되어, 결함 판정부(605)에 입력된다. 상술한 스테이지 주사에서, 조명 영역(1000)의 폭 방향(웨이퍼의 원주 방향)(S1)으로 주사되기 때문에, 결함 신호의 파형은 조명 영역(1000)의 S1 방향의 조도 분포 프로파일을 확대 축소한 것이 된다. 따라서, 하이 패스 필터(604a, 604b, 604c) 각각에 의해, 결함 신호 파형이 포함되는 주파수 대역을 통과시키고, 노이즈가 상대적으로 많이 포함되는 주파수 대역 및 직류 성분을 컷팅함으로써, 결함 신호(603a, 603b, 603c)의 S/N이 향상된다.

[0042] 각 하이 패스 필터(604a, 604b, 604c)로서는, 특정의 컷오프 주파수를 갖고, 그 주파수 성분 이상의 성분을 차단하도록 설계된 하이 패스 필터, 혹은 밴드 패스 필터(band pass filter), 혹은 조명 영역(1000)의 조도 분포의 형상이 반영된 결함 신호의 파형과 닮은 꼴을 이루는 FIR(Finite Impulse Response) 필터를 사용한다.

[0043] 신호 처리 제어부(122)의 결함 판정부(605)는 하이 패스 필터(604a, 604b, 604c) 각각으로부터 출력된 결함 파형을 포함하는 신호의 입력에 대하여 임계값 처리를 행하여, 결함의 유무를 판정한다. 즉, 결함 판정부(605)에는, 복수의 검출 광학계로부터의 검출 신호에 의거하는 결함 신호가 입력되므로, 결함 판정부(605)는, 복수의 결함 신호의 합이나, 가중 평균에 대하여 임계값 처리를 행하거나, 또는 복수의 결함 신호에 대하여 임계값 처리에 의해 추출된 결함군에 대해서, 웨이퍼의 표면에 설정된 동일 좌표계에서 OR나 AND를 취하는 것 등에 의해, 단일의 결함 신호에 의거하는 결함 검출과 비교해서 고감도의 결함 검사를 행하는 것이 가능해진다.

[0044] 또한, 결함 판정부(605)는, 결함이 존재한다고 판정된 개소에 대해서, 그 결함 파형과 감도 정보 신호에 의거하여 산출되는 웨이퍼 내의 결함 위치를 나타내는 결함 좌표 및 결함 치수의 추정값을 결함 정보로 해서 제어부(53)에 제공하고, 표시부 등에 출력한다. 결함 좌표는 결함 파형의 중심(重心)을 기준으로 해서 산출된다. 결함 치수는 결함 파형의 적분값, 혹은 최대값을 바탕으로 산출된다.

[0045] 또한, 병렬형 광자 계수 센서(115a, 115b, 115c)로부터 출력된 신호는, 신호 처리부(121a, 121b, 121c)를 구성하는 하이 패스 필터(604a, 604b, 604c)에 추가해서, 로우 패스 필터(low pass filter; 601a, 601b, 601c) 각각에 입력되고, 로우 패스 필터(601a, 601b, 601c) 각각에 대해서, 웨이퍼 형상의 조명 영역(1000)에 있어서의 미소 러프니스로부터의 산란광량(헤이즈)에 대응하는 주파수가 낮은 성분 및 직류 성분이 출력된다.

[0046] 이렇게 로우 패스 필터(601a, 601b, 601c) 각각으로부터의 출력 신호(602a, 602b, 602c)는, 신호 처리 제어부(122)의 헤이즈 처리부(606)에 입력되어 헤이즈 정보의 처리가 행해진다. 즉, 헤이즈 처리부(605)는, 로우 패스 필터(601a, 601b, 601c) 각각으로부터 얻어지는 입력 신호(602a, 602b, 602c)의 크기로부터, 웨이퍼(001) 위의 장소마다의 헤이즈의 대소에 대응하는 신호를 헤이즈 신호로서 출력한다.

- [0047] 또한, 미소 러프니스의 공간 주파수 분포에 따라 러프니스로부터의 산란광량의 각도 분포가 바뀌기 때문에, 서로 다른 방향으로 설치된 복수의 검출계(11a, 11b, 11c)로부터의 출력 신호인 헤이즈 신호(602a, 602b, 602c)를 헤이즈 처리부(606)에의 입력으로 함으로써, 헤이즈 처리부(606)로부터는, 이들의 강도비 등으로부터 미소 러프니스의 공간 주파수 분포에 관한 정보를 얻을 수 있다. 이렇게 헤이즈 신호로부터 얻어진 정보의 처리에 의해, 웨이퍼의 표면 상태의 정보도 아울러 얻는 것이 가능해진다.
- [0048] 제어 유닛(14)은 상기 조명 광학계 유닛(10), 검출 광학계 유닛(11), 신호 처리 유닛(12), 스테이지 유닛(13)을 제어한다.
- [0049] 스캔 중에 웨이퍼가 검출 광학계(11)의 초점 범위로부터 벗어나면, 병렬형 광자 계수 센서(115a, 115b, 115c)에 의해 검출되는 미약 산란광의 상태가 변화되어, 결함 검출 감도가 저하된다. 이 때문에 스캔 중에는 Z 스테이지(도시 생략)에 의해 항상 웨이퍼(001)의 표면의 z위치(높이 방향의 위치)가 검출 광학계 유닛(11)의 초점 범위에 있도록 제어된다. 이 웨이퍼(001) 표면의 z위치의 검출은, 도면에 나타내는 얇은 웨이퍼(001) 표면의 z위치 검출 수단에 의해 행해진다.
- [0050] 초점이 맞지 않는 것은, 병렬형 광자 계수 센서(115a, 115b, 115c) 위에 형성되는 결함의 산란광상의 상태에 크게 영향을 주어, 결함 검출 감도를 대폭 저하시키는 요인이 된다. 이를 피하기 위해서 본 실시예에서는, 조명 광학계 유닛(10)과 검출 광학계 유닛(11)을 이하와 같이 구성했다. 즉, 검출 광학계 유닛(11)에서 동일한 구조로 구성된 각 검출 유닛(11a, 11b, 11c)은, 그 광축(110a, 110b, 110c)은 하나의 평면 내(이하, 이 평면을 검출 광축면이라 한다)에 검출 양각을 바꾸어 배치하고 있고, 이 검출 광축면이, 검사 대상면 웨이퍼(001)의 표면의 법선(z방향)과 세선 형상의 조명 영역(1000)의 길이 방향(y방향: S2 방향)이 이루는 평면에 대해서 거의 직교하도록 구성한다. 또한, 검출 유닛의 광축(110a, 110b, 110c)은, 조명 광학계의 광축(1010)과 거의 한점에서 교차하도록 구성한다.
- [0051] 이렇게 구성함으로써, 동일 구성의 검출 광학계(11a, 11b, 11c)를 복수 배치해서 서로 다른 방향으로부터 산란광을 검출하는 경우에 있어서, 검출 광학계 유닛(11)의 병렬형 광자 계수 센서(115a, 115b, 115c)가 검출하는 검사면 위의 검출 범위의 각 점과 각각의 병렬형 광자 계수 센서(115a, 115b, 115c)의 각 검출면의 거리를 동일하게 유지하는 것이 가능해져, 특별한 기구를 설치하지 않고, 병렬형 광자 계수 센서(115a, 115b, 115c)의 검출 영역 전체면에서 합초점에 의해 산란광을 검출하는 것이 가능해진다.
- [0052] 또한, 앞서 설명한 본 실시예의 대물 렌즈(111a, 111b, 111c)는, 원형 렌즈의 좌우를 직선 형상으로 절제해서 좌우 대칭 형상을 갖는 타원형 렌즈를 사용하지만, 절제한 직선부는, 앞서 설명한 검출 광축면에 수직이 되도록 배치한다. 이렇게 함으로써, 복수의 검출 유닛을 배치한 경우, 통상의 원형의 렌즈를 사용한 경우와 비교해서, 검출 개구를 크게 해서 산란광의 포착 효율을 향상시키는 것이 가능해짐과 함께, 병렬형 광자 계수 센서(115a, 115b, 115c)의 검출 영역 전체면에서 합초점에 의해 산란광을 얻는 것을 가능하게 했다. 또한, 광자 계수 센서(115a, 115b, 115c)의 길이 방향과 검출 유닛(11a, 11b, 11c)의 광축이 이루는 평면에 대해서 대칭인 광학계를 구성함으로써 검출 산란광을 광자 계수 센서(115a, 115b, 115c)의 검출 영역 전체면에서 균등하게 하는 것을 가능하게 한다. 이에 따라, 시료 표면으로부터의 산란광의 광자 계수를 병렬적으로 행하여, 결함 검출 감도의 향상과 아울러, 검사 스루풋의 향상을 가능하게 한다.
- [0053] 본 실시예의 타원형 렌즈의 구성에 대해서, 도 2~도 5를 사용하여 설명한다. 도 2는, 타원형 렌즈(111)의 단(單)렌즈 형상을 설명하는 타원형 렌즈의 삼면도이다. 좌측 상방은 타원형 렌즈(111)의 평면도, 우측은 측면도, 아래는 정면도이다. 타원형 렌즈(111)의 평면 형상은 도 2의 좌측 상방의 평면도에 나타내는 바와 같이, 원형 렌즈의 좌우를 2개의 직선 형상의 절단면(1110)에 의해 절제해서 거의 좌우 대칭이 되는 타원형이 되도록 가공한다. 또한, 정면 형상은, 도 2의 하측에 나타내는 바와 같이, 상기 단렌즈를 조합하여 세트 렌즈로서 구성할 때의 검출 개구각(단변 방향)을 $\theta w2$ 로 했을 때, 렌즈 초점면으로부터의 거리(L)에 대해서 렌즈의 반폭(半幅) $W2 \approx L \cdot \tan \theta w2$ 가 되도록 비스듬히 절제한다. 이에 따라, 렌즈의 검출 개구는, 도 2의 우측의 측면도에 나타난 y방향의 개구각($\theta w1$)과 도 2의 하측의 정면도에 나타난 x방향의 개구각($\theta w2$)에서 서로 다른 것으로 되고, $\theta w1 > \theta w2$ 로 되지만, 이를 실제의 장치 위에서 어떻게 배치할지는 다음에 설명한다.
- [0054] 도 3은, 상기 설명한 타원형 렌즈(111)의 검사 장치 위에서의 배치를 설명하는 도면이다. 도 3의 상측은 평면도, 도 3의 하측은 정면도이다. 또, 도 3의 상측의 평면도(xy평면 내)에서 3개의 타원형 대물 렌즈(111a, 111b, 111c)는 모두 동일한 개구를 갖는 것이지만, 대물 렌즈(111b, 111c)는 광축이 경사져 있고, 이를 xy평면 내에서 본 도면으로서 나타내고 있기 때문에, 대물 렌즈(111a)보다 겉보기에 작게 표시되어 있는 것이다. 3개의 타원형 대물 렌즈(111a, 111b, 111c)는, 그 초점 위치를 웨이퍼(001)의 표면의 세선 형상의 조명 영역(100

0)의 위치에 맞추도록 배치한다. 이 때, 웨이퍼(001)의 표면에 대한 법선(1111)과, 세션 형상의 조명 영역(1000)의 길이 방향(y축 방향)이 이루는 면에 대해서 거의 수직인, 검출 광축면(1112)의 동일 평면 내에 타원형 대물 렌즈(111a, 111b, 111c)의 광축을 배치하며, 또한, 이들 광축이 웨이퍼(001)의 표면에 대한 법선(1111)을 중심으로 대칭으로 배치한다. 렌즈 절단면(1110a, 1110b, 1110c)은 가능한 한 근접시켜서 평행하게 배치한다. 또한, 이 때 렌즈 절단면(1110a, 1110b, 1110c)의 방향은 세션 형상의 조명 영역(1000)의 길이 방향과 평행하게 배치되고, 검사시에는 이 방향과 직각인 방향(1300)으로 웨이퍼를 주사한다. 렌즈의 검출 개구는 x방향으로 $\Theta w2$ 이며, y방향으로 $\Theta w1$ 이다. 단독의 렌즈에서만 보면, 개구의 크기는 x방향 < y방향이지만, 복수의 렌즈(111a, 111b, 111c)를 조합함으로써, 전체적으로는 x방향의 개구를 크게 하는 구성이다.

[0055] 도 4는, 실제의 대물 렌즈가 복수의 단렌즈의 조합으로 이루어지는 세트 렌즈인 것을 상정하고, 이를 타원형 렌즈로 구성한 경우의 실시예를 설명하는 도면이다. 도 4에서는 대물 렌즈(111a, 111b, 111c)를 각각 5매의 세트 렌즈로 구성한 예를 나타내고 있다. 이 경우, 반드시 모든 렌즈를 타원형 렌즈로 할 필요는 없다. 웨이퍼(001)로부터의 거리가 멀어짐에 따라 렌즈의 광축 간의 거리도 멀어지기 때문에, 원형 렌즈에서는 렌즈끼리가 간섭을 일으키는 부분만을 타원형 렌즈로 구성하면 된다.

[0056] 본 실시예에서는, 원형 렌즈인 상태로는 렌즈끼리가 간섭하기 때문에, 웨이퍼측에 가까운 4매의 렌즈를 타원형으로 구성한 실시예이다. 절단의 기본적인 상태는 도 2에서 설명한 것과 동일하다. 즉, 대물 렌즈(111a, 111b, 111c)의 선단 4매를 절단면(1110a, 1110b, 1110c)에 의해, 검출 개구각(Θw)이 되도록 절단한 것이다. 렌즈 사이에서 간섭을 일으키지 않는 후방측 1매는 절단이 불필요하기 때문에 절단하고 있지 않다.

[0057] 또한, 도 3에서 설명한 것과 마찬가지로, 3개의 대물 렌즈(111a, 111b, 111c)는, 그 초점 위치를 세션 형상의 조명 영역(1000)의 위치에 초점을 맞추도록 배치한다. 이 때, 웨이퍼(001)의 표면에 대한 법선(1111)과, 세션 형상의 조명 영역(1000)의 길이 방향(y축 방향·도시 생략)이 이루는 면에 대해서 거의 수직인 동일 평면(검출 광축면(1112)에 상당)에 대물 렌즈(111a, 111b, 111c)의 광축을 배치하며, 또한, 이들 광축은 웨이퍼(001)의 표면에 대한 법선(1111)을 중심으로 대칭으로 배치한다. 또한, 렌즈 절단면(1110a, 1110b, 1110c)은 가능한 한 근접시켜서 평행하게 배치한다.

[0058] 도 5a 및 도 5b는, 타원형 렌즈를 채용한 경우의 이점에 대해서 설명하는 도면이다. 도 5a는 동일한 원형 렌즈(111na, 111nb, 111nc)에 의해 서로 다른 3개의 검출 방향으로부터 검출을 행하는 경우의 개구를 나타내는 것이다. 또, 렌즈의 개구는 모두 동일한 크기로 원형이지만, 대물 렌즈(111nb, 111nc)는 광축이 경사져 있고, 이를 xy평면 내에서 본 도면으로서 나타내고 있기 때문에, 대물 렌즈(111na)보다 겹보기에 작게 표시되어 있는 것이다.

[0059] 이 경우, 렌즈의 간섭을 피하기 위해서 렌즈의 개구를 작게 할 필요가 있고, 원형 개구이기 때문에 x방향으로도 y방향으로도 개구는 작게 할 필요가 있다. 본 실시예에서는, 검출 광학계는 결상 광학계에 의해 웨이퍼의 상을 형성하는 것을 전제로 하고 있고, 이를 위한 조건으로서 복수의 대물 렌즈의 광축을 동일 평면 내에 배치하는 것을 상정하고 있기 때문에, 그 전제에서 원형 렌즈를 복수개 배치한 경우, 검출 개구가 매우 제한되어, 특히 y방향의 검출 개구가 작아진다는 지장이 발생한다.

[0060] 한편, 도 5b에 나타내는 바와 같이, 타원형 렌즈(111a, 111b, 111c)를 채용해서, 각각의 대물 렌즈의 x방향과 y방향의 개구를 임의로 설정할 수 있게 하면, 하나의 대물 렌즈는 렌즈가 간섭하는 x방향만의 개구를 작게 해서, 그 만큼 복수개 나열하면 되고, 또한 y방향의 개구는, x방향의 개구와 관계없이 필요한 크기로 설정하는 것이 가능하며, 복수의 검출 광학계에 의해 결상 검출을 행하는 경우라도, 원형 렌즈로 구성한 경우와 비교해서, 결함으로부터 발생하는 미약 산란광의 검출 효율을 향상시켜 결함 검출 감도를 향상시키는 것이 가능해진다.

[0061] 상기 실시예에서는, 검출 광학계 유닛(11)의 3개의 검출 유닛(11a~11c)을 동일한 구성의 광학계로 구성한 예를 설명했지만, 본 발명은 이에 한정되지 않고, 제1 검사 유닛(11a)의 대물 렌즈(111a)를 제 2 및 제 3 검출 유닛(11b 및 11c)의 대물 렌즈(111b 및 111c)보다 크게 해서, 웨이퍼(001)에 대해서 수직 방향 및 그 근방에 산란한 광을 제 1 검사 유닛(11a)의 대물 렌즈(111a)에 의해 보다 많이 집광하여 결상하도록 구성해도 된다. 검출 광학계를 이렇게 구성함으로써, 제 1 검사 유닛(11a)의 NA를 보다 크게 할 수 있어, 제 1 검사 유닛(11a)에 의해 보다 미세한 결함을 검출할 수 있다.

[0062] 도 12에는, 검출 광학계 유닛(11)의 대물 렌즈(111), 제어 개구 필터(112), 편광 필터(113), 결상 렌즈(114), 1축 결상계(1140)와 병렬형 광자 계수 센서(115)의 관계를 나타낸다(검출 광학계 유닛(11)의 3개의 검사 유닛(11a, 11b, 11c)은 동일한 구조이므로, 도 12의 설명에서는, 각 구성 부품의 첨자의 표시를 생략함). 웨이퍼

(001) 위의 결합(111)의 산란광상(점상)은 대물 렌즈(111), 결상 렌즈(114)로 구성되는 결상 광학계에 의해, 웨이퍼면과 공역(共役)의 시료면 공역면(205)에 결상되지만, 이 때, 1축 결상계(1140)에 의해, 결합의 산란광상은 1축 방향(S1의 방향)으로 늘려진 상(225)으로서 결상된다. 병렬형 광자 계수 센서(115)는, 그 센서면을 시료면 공역면과 실질적으로 동일하게 되도록 설치되고, 이에 따라, 결합의 산란광상은 S1의 방향에서 병렬형 광자 계수 센서(115) 위의 복수의 APD 소자(116)(도 8의 APD 소자(231)에 상당)에 걸쳐져서 형성된다.

[0063] 1축 결상계(1140)는, 원주 주사 방향(원주 접선 방향)(S1)에 대응하는 방향만 광을 집광시키는 작용을 갖고, 실린드릭 렌즈 등의 애너모픽 광학 소자에 의해 구성된다. 1축 결상계(1140)의 작용에 의해, 시료 공역면(205) 위, 즉 병렬형 광자 계수 센서(115)의 센서면 위에 형성되는 결합의 산란광상(225)은 원주 주사 방향(S1)에 대응한 방향으로 확대된다. 한편, S1과 직각인 S2의 방향에 대해서 1축 결상계(1140)는 결상에 영향을 주지 않고, 시료면 공역면(205)에 형성되는 상의 S2 방향의 크기는, 결상 렌즈(114)의 조건에 의해 규정된다. 즉, 시료 공역면(205) 위에 있어서의 결합의 산란광상(225)은, S1 방향과 S2 방향에서 서로 다른 확대율의 상이 된다.

[0064] 시료 공역면(205) 위의 결합상(점상)의 크기는, 조명광의 파장보다 작은 미소 결합을 상정하면, 대물 렌즈(111) 및 결상 렌즈(114)의 광학적 해상도에 따라 정해진다. 일반적으로, 현미경 렌즈 등으로 대표되는 광학계의 파면(波面) 수차(收差)가 0.1λ 이하(스트렐비(Strehl ratio) 0.8 이상) 등으로 정의되는, 고정밀도의 광학계인 「무수차 광학계」에서는, 대물 렌즈의 NA(Numerical Aperture)를 NA_0 , 대물 렌즈(111) 및 결상 렌즈(114)로 이루어지는 결상 광학계의 배율을 M, 조명 광원의 파장(λ)에 따라, 상의 크기(W)는, 레일리(Rayleigh)의 결상 이론에 의해 이하의 (수식 1)에 의해 정해진다.

[0065] $W=1.22 \times \lambda / (NA_0/M) \dots$ (수식 1)

[0066] 여기에서, $\lambda=0.355(\mu\text{m})$, $NA_0=0.8$, $M=20$ (배)로 하면, 무수차 광학계를 사용한 경우의, 시료 공역면(205) 위, 즉 병렬형 광자 계수 센서(115)의 센서면 위에 형성되는 결합의 산란광상(225)의, 1축 결상계에 의해 늘려지지 않은 S2 방향의 결합상의 크기(W)는 $10.8\mu\text{m}$ 가 된다. 그러나, 앞서 실시예로서 나타난 병렬형 광자 계수 센서(115)의 APD 소자(116, 231)의 크기 $25\mu\text{m}$ 와 비교해도, 또한 병렬형 광자 계수 센서(115)의 1ch의 S2 방향의 폭 $500\mu\text{m}$ (20소자분)와 비교해도 불필요하게 작은 것이 된다.

[0067] 광자 계수 센서에 의한 광량 측정의 원리에서, 결합의 산란광상(225)의 병진 주사 방향인 S2 방향의 크기는 1ch의 병진 주사 방향인 S2 방향의 폭(20소자)에 상당하는 $500\mu\text{m}$ 로 확대하는 것이 필요하다. 무수차 광학계를 전제로 하면, 병렬형 광자 계수 센서(115)의 센서면을 시료 공역면(205)으로부터 이간해서 설치하고, 초점을 센서면으로부터 벗어나게 함으로써, 산란광상을 확대하는 것도 고려할 수 있지만, 무수차 광학계는 수차 보정을 위해서 렌즈 매수도 많아지고, 이러한 고정밀도의 광학계를 일부러 초점을 맞추지 않고 사용하는 것은, 불필요하게 고정밀도의 광학계를 사용하고 있는 것이 되어, 광학계의 비용을 불필요하게 증대시키는 것이 된다.

[0068] 즉, 본 실시예에 있어서의 결상 광학계는 애초에 무수차 광학계가 필요 없고, 어느 정도의 수차가 허용된다. 상기 실시예에서는, 레일리의 결상 이론으로부터 계산되는 점상($10.8\mu\text{m}$)의 크기의 약 46배의 크기($500\mu\text{m}$)이며, 공역면(205)에 결합의 산란광상을 결상할 수 있으면 된다. 이렇게 광학계의 수차 조건을 완화하는 것의 이점은, 무수차 광학계로 한 경우와 비교해서, 대물 렌즈(111) 및 결상 렌즈(114)의 매수를 줄여, 가공 정밀도, 조립 정밀도의 조건도 완화하는 것이 가능해져, 저비용의 광학계에 의해 고감도 검사를 행하는 것이 가능해지는 것이다.

[0069] 한편, 본 실시예에서의 병렬형 광자 계수 센서(115)는 원주 접선 방향에 상당하는 S1의 방향에는, 각 ch 모두 APD 소자(116, 231)가 160소자 나열된 4mm 의 전체 길이를 갖는다. 이에 관해서는 1축 결상계(1140)에 의해 결합의 산란광상을 병렬형 광자 계수 센서(115)의 S1 방향의 길이와 동등하거나 그 이하가 되도록 늘리도록 한다.

[0070] 광학계를 이상과 같이 구성함으로써, 결합으로부터의 산란광상을 병렬형 광자 계수 센서(115)의 1ch의 크기에 맞추도록 결상하고, 결합으로부터의 산란광의 광자 계수에 의한 광량 측정을 필요한 다이내믹 레인지(결합으로부터의 산란광을 검출하는 APD의 소자수=결합으로부터의 산란광상의 범위 내에 있는 APD의 소자수에 상당)에서 행하는 것이 가능해진다.

[0071] 검출 광학계(11)를 구성하는 대물 렌즈(111), 결상 렌즈(114)의 구성의 실시예에 대해서 도 13a, 도 13b, 및 도 14a, 도 14b를 사용하여 설명한다.

[0072] 도 13a는 검출 광학계(결상 광학계)(11)를 구성하는 렌즈의 전체계를 나타낸다. 또, 본 도면에서는 렌즈를 절

단하지 않은 상태에서의 구성을 나타내고 있다. 111이 대물 렌즈, 114가 결상 렌즈이다. 대물 렌즈는 4매의 렌즈, 결상 렌즈는 2매의 렌즈로 구성되어 있고, 대물 렌즈의 NA는 0.8, 배율은 20배이다. 사용 파장은 355nm를 상정하고 있다. NA 0.8이라는 고NA의 대물 렌즈로 함으로써, 웨이퍼 위의 결함으로부터 발생하는 산란광을 광범위에서 효율적으로 검출하는 것이 가능해진다.

[0073] 도 13b는, 도 13a에 나타난 검출 광학계(결상 광학계)의 결상 성능을 나타내는 스폿 다이어그램이다. 도 13b의 상단은 시야 높이에서 초점이 웨이퍼(001)의 표면에 있었던 상태를 $\pm 0\text{mm}$ 로 하고 있다. 도 13b의 하단은 각각의 시야 높이에서 관찰되는 상을 나타내고 있다. 이는 웨이퍼면 위의 점으로부터의 산란광이 센서면 위에서 결상되는 상태를 나타내는 것이며, 시야 내 전역에서 직경 $500\mu\text{m}$ 정도로 균일하게 점상이 형성되어 있는 것을 나타내는 것이다. 앞에서도 설명한 바와 같이, 현미경의 결상 광학계와 같이 무수차 광학계이면, 스폿 다이어그램은 $10.8\mu\text{m}$ 가 얻어지지만, 본 발명에 있어서의 검출 광학계는 그 정도까지의 수차 성능(분해능)을 필요로 하지 않기 때문에, 매우 적은 렌즈 매수로, 고NA의 광학계를 구성하는 것을 가능하게 하고 있다.

[0074] 도 14a는 도 13a에 나타난 검출 광학계에 1축 결상계(1140)를 추가한 구성이며, 결상 렌즈와 센서면 사이에 실린드릭 렌즈를 설치한 것이다. 도 14b는 도 13b에서 나타난 결함의 산란광상을 1축 결상계(1140)에 의해 늘린 상을 나타내는 스폿 다이어그램이다. 도 14b의 상단은 시야 높이에서 초점이 웨이퍼(001)의 표면에 있었던 상태를 $\pm 0\text{mm}$ 로 하고 있다. 도 14b의 하단은 각각의 시야 높이에서 관찰되는 상을 나타내고 있다. 시야 내 전역에서 균등하게 S1 방향으로 4mm 늘려져 있다. 이러한 광학계 구성을 취함으로써, 병렬형 광자 계수 센서의 각 ch의 각 소자에 대해서, 균등하게 결함의 산란광을 입사시키는 것이 가능해져, 광자 계수에 의한 결함 검출이 가능해진다.

[0075] 병렬형 광자 계수 센서(224)의 변형예 1의 구성도를 도 11a 및 도 11b에 나타낸다. APD 소자를 배열한 병렬형 광자 계수 센서(224)에서, 각각의 APD 소자를 작게 한 경우, APD 소자 사이에 배치되는 배선이나 토크 저항으로 이루어지는 불감대의 면적이, 수광부의 유효 면적에 대해서 상대적으로 커지기 때문에, 병렬형 광자 계수 센서의 개구율이 저하되어, 광검출 효율이 저하되는 문제가 있다. 그래서, 도 11a에 나타내는 바와 같이, 병렬형 광자 계수 센서(234)의 수광면 앞에 마이크로렌즈 어레이(228)를 설치함으로써, 소자 간의 불감대 영역에 입사하는 광의 비율을 저감시켜 실질적인 효율을 향상시킬 수 있다. 마이크로렌즈 어레이(228)는, APD 소자(231)의 배열 피치와 동일한 피치로 미소한 볼록 렌즈가 나열된 것이며, 병렬형 광자 계수 센서(234)에의 입사광의 주광축과 평행한 광선(도 11a의 점선)이 대응하는 APD 소자(231)의 수광면의 중앙 부근에 입사하도록 설치된다.

[0076] 병렬형 광자 계수 센서(224)의 변형예 2의 구성도를 도 11b에 나타낸다. APD 소자(231)는 일반적으로는 실리콘계의 재료를 사용한 디바이스이지만, 실리콘 디바이스는 일반적으로 자외광 영역에서의 양자 효율이 저하된다. 이를 개선하기 위해서는, 질화규소, 질화갈륨계의 재료를 사용한 디바이스로 하거나, 혹은 도 11b에 나타내는 바와 같이, 도 11a에서 설명한 마이크로렌즈 어레이(228)와, 실리콘 프로세스에서 제작된 APD 소자(231) 사이에 파장 변환 재료(신틸레이터(scintillator))(235)를 설치해서, 자외광을 장파장광(가시광 등)으로 변환하고, APD 소자(231)의 수광면에 장파장광을 입사시킴으로써 실질적으로 변환 효율을 높이는 것이 가능해진다.

[0077] [실시예 2]

[0078] 실시예 2로서, 실시예 1에서 설명한 도 1의 구성에, 후방 산란광을 검출하는 광학계를 추가한 구성에 대해서 설명한다. 본 실시예에 의한 검사 장치의 구성을 도 15a 내지 도 15c에 나타낸다. 본 실시예에서, 실시예 1에서 설명한 도 1의 구성과 동일한 구성의 것에 대해서는 동일한 번호를 붙이고 있다.

[0079] 도 15a에 나타난 구성 중, 조명 광학계 유닛(10) 및 검출 광학계 유닛(110)의 제 1~제 3 검출 유닛(11a, 11b, 11c)은, 실시예 1에서 설명한 도 1의 구성과 동일하다. 또한, 스테이지 유닛(13)도 실시예 1에서 설명한 도 1의 구성과 동일하다.

[0080] 검출 광학계 유닛(110)의 후방 산란광 검출 유닛(15)은, 도 15b에 나타내는 바와 같이, 웨이퍼(001)에 대해서 경사지게 부착되어 있고, 조명 광학계 유닛(10)에 의해 조명광이 조사된 웨이퍼(001) 위의 세션 형상의 영역(1000)으로부터 발생한 산란광 중, 후방으로 산란한 광을 검출한다.

[0081] 본 실시예에 의한 검사 장치에서는, 검출 광학계 유닛(110)의 제 1~제 3 검출 유닛(11a, 11b, 11c)에서는 포화되게 되는, 산란광의 광량이 비교적 많은(큰) 결함으로부터의 산란광을 후방 산란광 검출 유닛(15)에 의해 검출함으로써, 결함 검출의 다이내믹 레인지를 확대하는 구성으로 되어 있다.

[0082] 후방 산란광 검출 유닛(15)의 구성을 도 15c에 나타낸다. 후방 산란광 검출 유닛(15)은, 대물 렌즈(151), 개구 제어 필터(152), 편광 필터(153), 집광 렌즈(154), 검출기(156)를 구비하고 있다. 개구 제어 필터(152) 및 편

광 필터(153)의 기능은, 실시예 1에서 설명한 개구 제어 필터(112a~112c) 및 편광 필터(113a~113c)와 동일하다. 검출기(151)는, 광전자 증배관으로 구성되어 있고, 웨이퍼(001) 위의 세션 형상의 영역(1000)으로부터 발생한 산란광 중, 대물 렌즈(151)에 입사하고, 개구 제어 필터(152) 및 편광 필터(153)를 통과한 후에 집광렌즈(154)에 의해 집광된 광을 검출한다.

[0083] 검출기(156)의 감도는, 병렬형 광자 계수 센서(115a~115c)에 비해서 검출 감도는 낮다.

[0084] 여기에서, 후방 산란광 검출 유닛(15)은 결상계가 아니라 집광계로 되어 있으므로, 웨이퍼(001) 위의 결함으로부터의 산란광을 검출해도, 웨이퍼(001) 위의 세션 형상의 영역(1000)에 있어서의 결함의 존재 영역을 특정할 수 없다. 그러나, 후방 산란광 검출 유닛(15)에 의해 검출되는 산란광은 제 1~제 3 검출 유닛(11a, 11b, 11c)에 의해서도 검출된다. 여기에서, 제 1~제 3 검출 유닛(11a, 11b, 11c)은, 실시예 1에서 설명한 바와 같이, 결상계로 구성되어 있기 때문에, 웨이퍼(001) 위의 세션 형상의 영역(1000) 내에서의 산란광의 발생 위치를 특정할 수 있다.

[0085] 따라서, 후방 산란광 검출 유닛(15)에 의해 검출한 산란광의 광량의 정보와 제 1~제 3 검출 유닛(11a, 11b, 11c)에 의해 검출한 산란광 발생 위치 정보를 조합함으로써, 웨이퍼(001) 위의 비교적 큰 결함의 위치와 크기의 정보를 얻을 수 있다.

[0086] 이 처리는, 신호 처리 유닛(120)의 신호 처리부(125)에서 실시한다. 즉, 후방 산란광 검출 유닛(15)에 의해 검출한 산란광 검출 신호는, 신호 처리 유닛(120)의 신호 처리부(123)에 입력해서 노이즈 제거 처리가 실시되고, 다음으로 신호 처리부(125)에 입력한다. 또한, 검출 유닛(11a, 11b, 11c)에 의해 검출한 신호는, 각각 신호 처리부(112a, 112b, 112c)에 입력해서 필터링 처리된 후에 신호 처리·제어부(122)에 의해 처리되어, 미세한 결함이 검출된다. 한편, 검출 유닛(11a, 11b, 11c)에 의해 웨이퍼(001)로부터의 강한 산란광을 수광한 경우에는, 광자 계수 센서(115a, 115b, 115c)는 모두 포화되어 버려, 신호 처리·제어부(122)에는 포화된 일정한 레벨의 신호가 입력된다. 이 포화된 신호를 받은 신호 처리·제어부(122)는, 포화된 신호를 발생시킨 웨이퍼(001) 위의 산란광 발생 위치 정보를 신호 처리부(125)로 보낸다. 신호 처리부(125)에서는, 후방 산란광 검출 유닛(15)에서의 검출 신호의 레벨로부터 결함의 크기를 판정하고, 이 판정 결과와 신호 처리·제어부(122)로부터의 산란광 발생 위치 정보를 통합해서, 웨이퍼(001) 위의 결함의 위치와 크기를 구할 수 있다.

[0087] 또, 본 실시예에서는, 비교적 강한 산란광을 검출하기 위한 광학계로서 후방 산란광 검출 유닛(15)을 설치한 예를 설명했지만, 전방 산란광을 검출하기 위한 광학계나, 양각이 다른 후방 또는 전방 산란광을 검출하기 위한 광학계를 추가해도 된다.

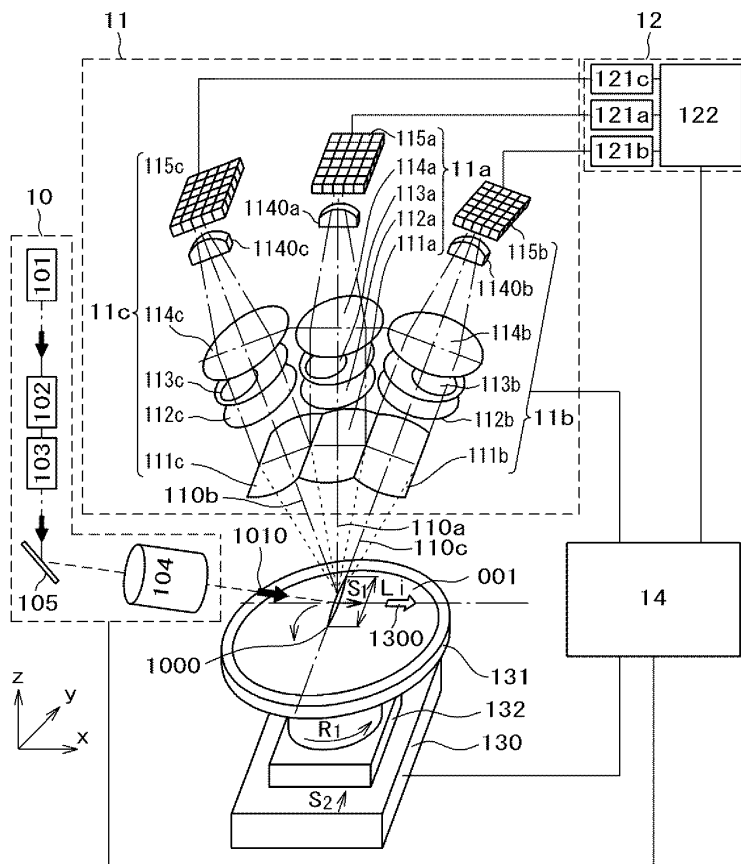
[0088] 본 실시예에 의하면, 광전자 증배관으로 구성된 검출기(151)에 의해 검출할 수 없는 정도의 미소한 결함을 제 1~제 3 검출 유닛(11a, 11b, 11c)에 의해 검출할 수 있으므로, 결함 검출의 다이내믹 레인지를 확대할 수 있다.

부호의 설명

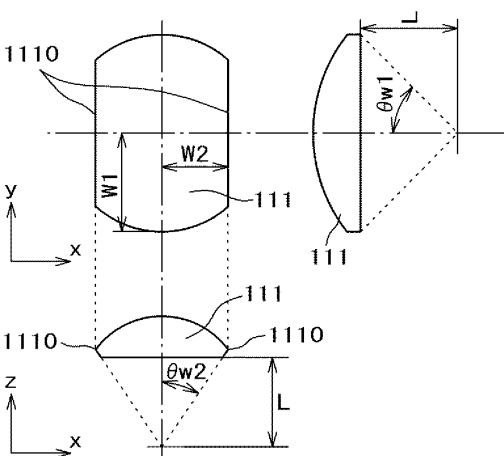
[0089] 001: 웨이퍼, 01: 제어 유닛, 10: 조명 광학계 유닛, 101: 광원, 102: 편광 상태 제어 수단, 103: 빔 성형 유닛, 104: 세션 집광 광학계, 1000: 세션 형상의 조명 영역, 11: 검출 광학계, 11a, 11b, 11c: 검출 광학계 유닛, 111a, 111b, 111c: 대물 렌즈, 112a, 112b, 112c: 개구 제어 필터, 113a, 113b, 113c: 편광 필터, 114a, 114b, 114c: 결상 렌즈, 115a, 115b, 115c: 병렬형 광자 계수 센서, 12, 120: 신호 처리 유닛, 121a, 121b, 121c: 신호 처리부, 13: 스테이지 유닛, 14, 140: 제어 유닛, 15: 후방 산란광 검출 유닛.

도면

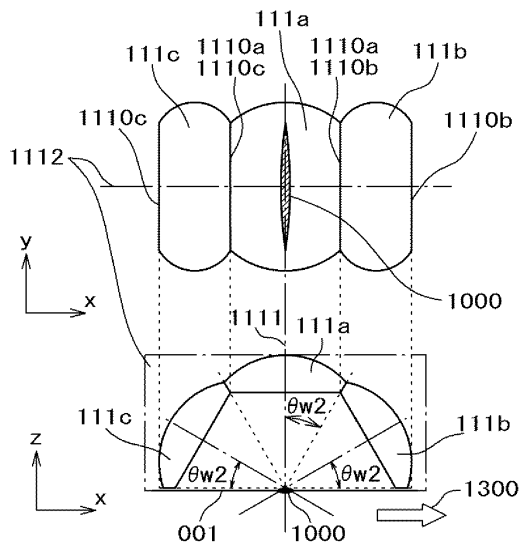
도면1



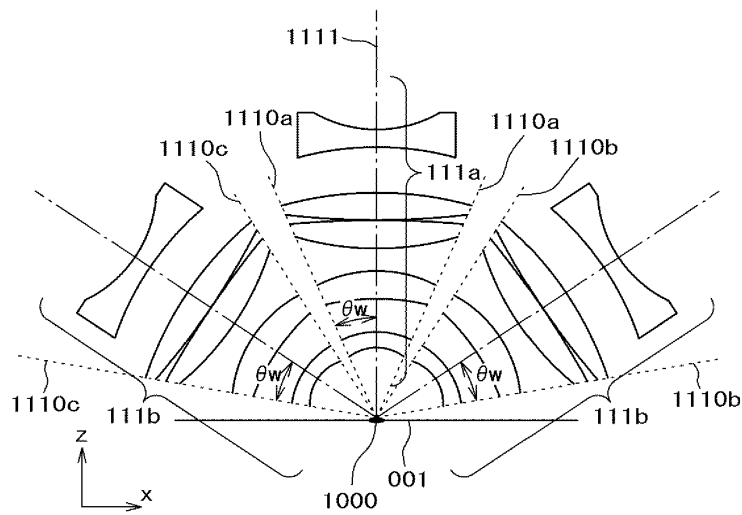
도면2



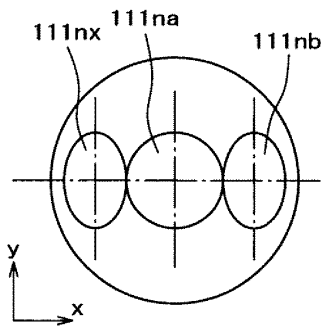
도면3



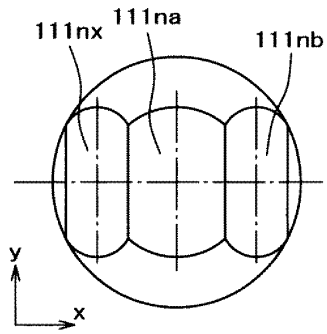
도면4



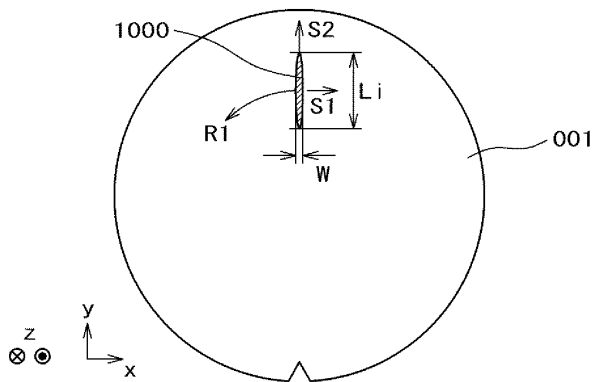
도면5a



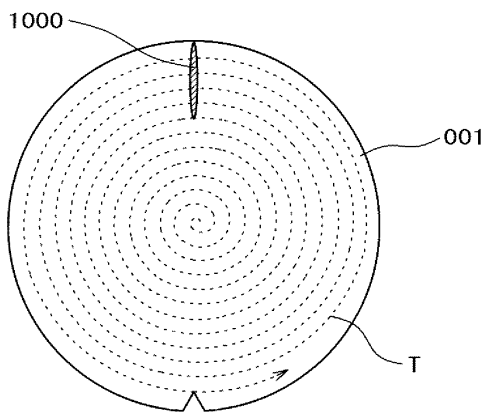
도면5b



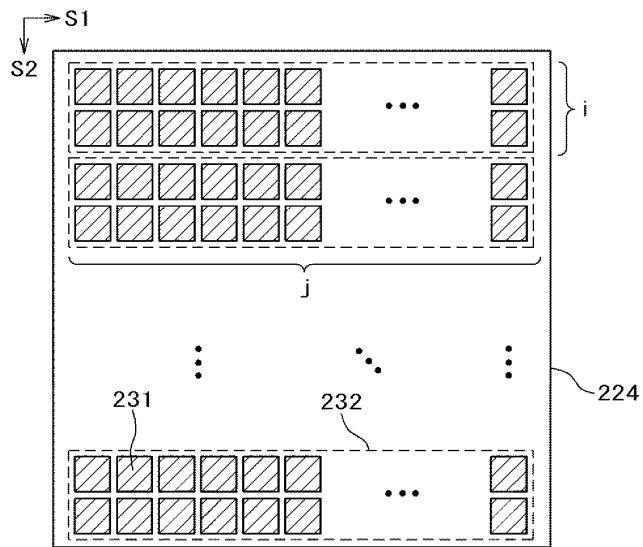
도면6



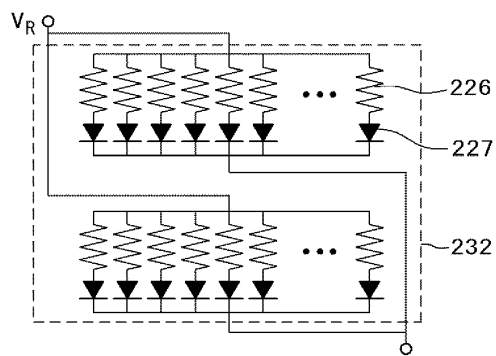
도면7



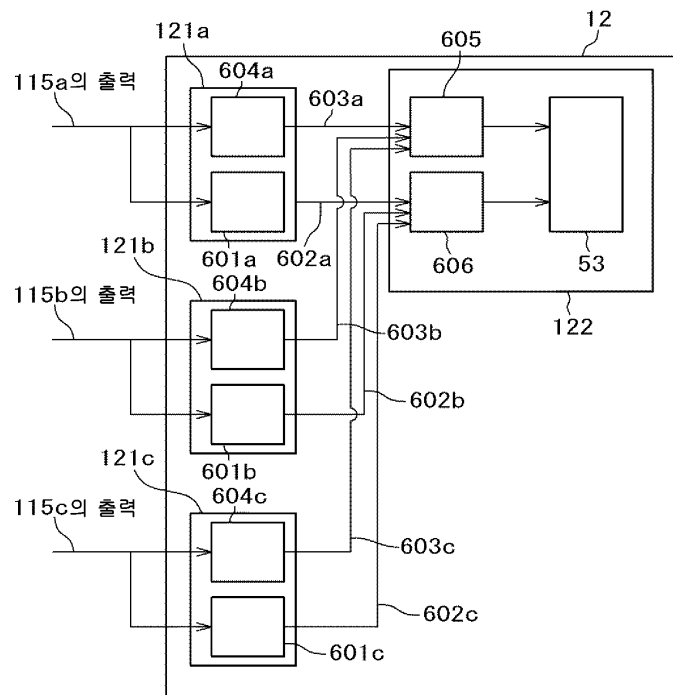
도면8



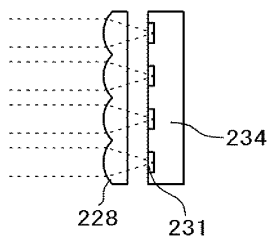
도면9



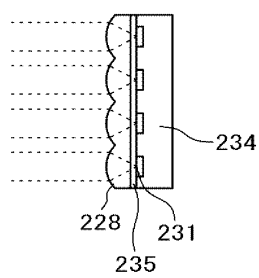
도면10



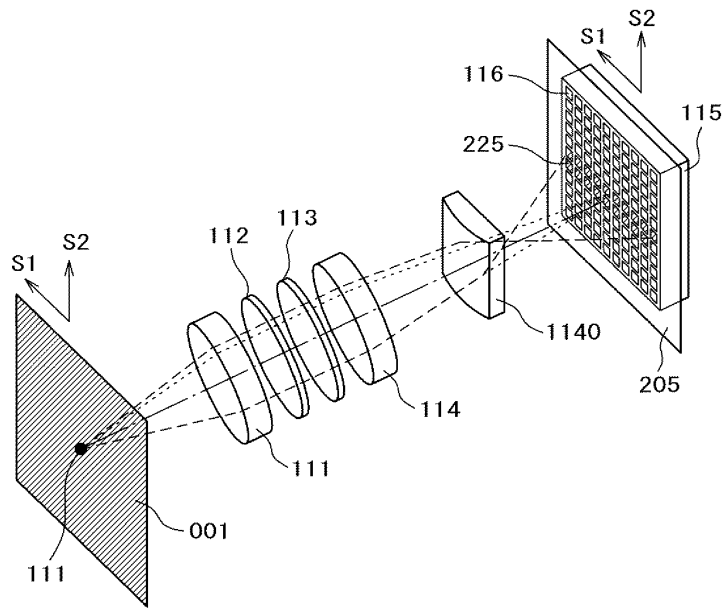
도면11a



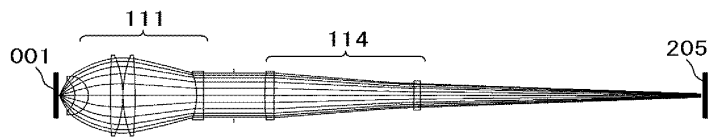
도면11b



도면12



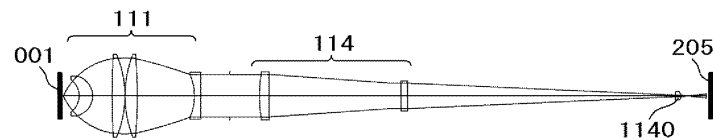
도면13a



도면13b

$\pm 0\text{mm}$ (축상)	$\pm 0.5\text{mm}$	$\pm 1.0\text{mm}$	$\pm 1.5\text{mm}$	$\pm 2.0\text{mm}$
 $\phi 500\mu\text{m}$				

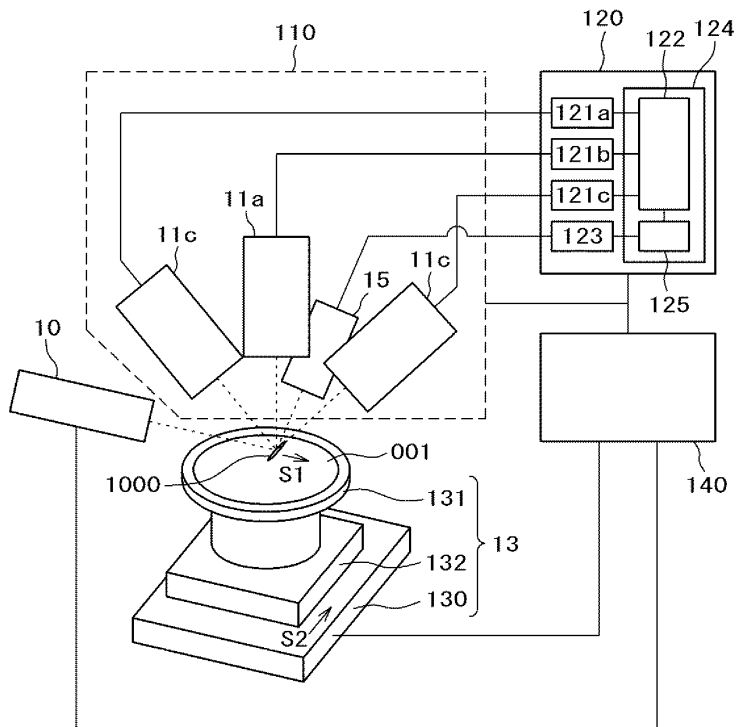
도면14a



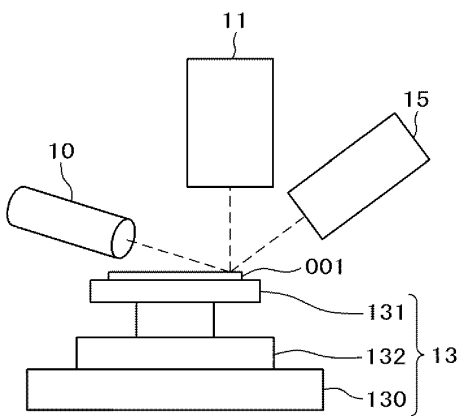
도면14b

$\pm 0\text{mm}$ (축상)	$\pm 0.5\text{mm}$	$\pm 1.0\text{mm}$	$\pm 1.5\text{mm}$	$\pm 2.0\text{mm}$
 4mm				

도면15a



도면15b



도면15c

