



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0136054
(43) 공개일자 2014년11월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/956 (2006.01) G01N 21/47 (2006.01)
G01B 11/30 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7029604
(22) 출원일자(국제) 2013년04월24일
심사청구일자 2014년10월22일
(85) 번역문제출일자 2014년10월22일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2013/062139
(87) 국제공개번호 WO 2013/161912
국제공개일자 2013년10월31일
(30) 우선권주장
JP-P-2012-102819 2012년04월27일 일본(JP)

(71) 출원인
가부시키가이사 히다치 하이테크놀로지즈
일본국 도쿄도 미나토구 니시신바시 1쵸메 24-14
(72) 발명자
혼다, 도시후미
일본 100-8280 도쿄도 지요다구 마루노우찌 1쵸메
6-6 가부시키가이사 히타치세이사쿠쇼 내
우라노, 유타
일본 100-8280 도쿄도 지요다구 마루노우찌 1쵸메
6-6 가부시키가이사 히타치세이사쿠쇼 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
장수길, 이중희

전체 청구항 수 : 총 16 항

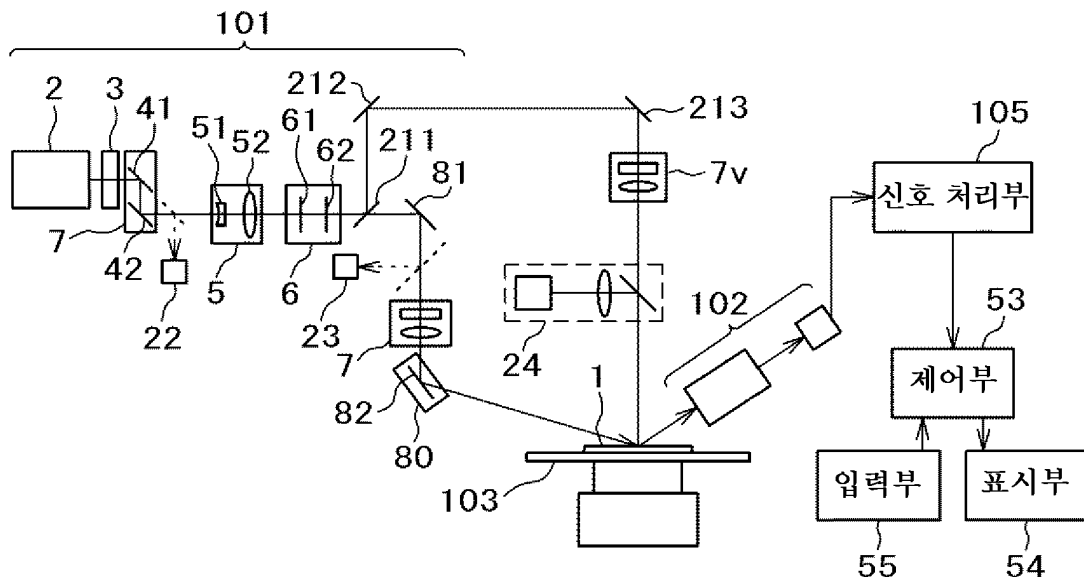
(54) 발명의 명칭 결함 검사 장치 및 결함 검사 방법

(57) 요약

미소한 결함을 검출하고, 검출한 결함의 치수를 고정밀도로 측정하고, 시료를 비파괴로 검사하고, 검출 결함의 개수, 위치, 치수, 결함 종류에 관하여 실질적으로 일정한 검사 결과가 얻어지도록 하고, 일정 시간 내에 다수의 시료를 검사할 수 있도록 하기 위해, 결함 검사 장치를, 시료의 표면에 선 형상의 영역에 조명광을 조사하는 조

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1a



사 수단과, 조사 수단에 의해 시료 위의 광이 조사된 선 형상의 영역으로부터 반사·산란한 광을 검출하는 검출 수단과, 반사·산란한 광을 검출하여 얻은 신호를 처리하여 시료 위의 결함을 검출하는 신호 처리 수단을 구비하여 구성하고, 검출 수단은 시료로부터 반사·산란한 광을 일방향으로 확산시켜서 일방향과 직각인 방향으로 결상시키는 광학계와, 검출 화소를 이차원으로 배치한 어레이 센서를 갖고서 광학계에 의해 일방향으로 확산시켜 일방향과 직각인 방향으로 결상시킨 반사·산란광을 검출하여 반사·산란광을 확산시킨 방향으로 배열하는 각 검출 화소의 출력 신호를 가산하여 출력하는 검출계를 구비하였다.

(72) 발명자

진구, 다카히로

일본 105-8717 도쿄도 미나토구 니시 심바시 1조메
24-14 가부시키키가이샤 히다치 하이테크놀로지즈 내

하마마쯔, 아끼라

일본 100-8280 도쿄도 지요다구 마루노우찌 1조메
6-6 가부시키키가이샤 히타치세이사쿠쇼 내

특허청구의 범위

청구항 1

시료의 표면에 선 형상의 영역에 광을 조사하고,

상기 시료 위의 광이 조사된 선 형상의 영역으로부터 반사·산란한 광을 검출하고,

상기 반사·산란한 광을 검출하여 얻은 신호를 처리하여 상기 시료 위의 결함을 검출하는 시료 위의 결함을 검사하는 방법으로서,

상기 시료로부터 반사·산란한 광을 검출하는 것을,

상기 시료로부터 반사·산란한 광을 일방향으로 확산시켜서 상기 일방향과 직각인 방향으로 결상시키고,

상기 일방향으로 확산시켜서 상기 일방향과 직각인 방향으로 결상시킨 반사·산란광을 검출 화소를 이차원으로 배치한 어레이 센서로 검출하고,

상기 반사·산란광을 검출한 검출 화소를 이차원으로 배치한 어레이 센서로부터의 출력 신호 중 상기 반사·산란광을 확대시킨 방향으로 배열하는 각 검출 화소의 출력 신호를 가산하고,

상기 반사·산란광을 확대시킨 방향으로 배열하는 각 검출 화소의 출력 신호를 가산한 신호를 상기 수렴시킨 일방향으로 차례로 취출하여 처리하는 것을 특징으로 하는, 결함 검사 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 일방향으로 확산시켜서 상기 일방향과 직각인 방향으로 결상시킨 반사·산란광을, 상기 확산시킨 일방향에 대하여 상기 결상시킨 일방향과 직각인 방향으로 긴 치수를 갖는 검출 화소를 이차원으로 배치한 어레이 센서로 검출하는 것을 특징으로 하는, 결함 검사 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 일방향으로 확산시켜서 상기 일방향과 직각인 방향으로 결상시키는 것을, 상기 광을 조사한 선 형상의 영역을 상기 어레이 센서에 투영했을 때에 상기 선 형상의 영역의 길이 방향에 직각인 폭 방향이 상기 확산시키는 일방향이며, 상기 선 형상의 영역의 길이 방향이 상기 일방향과 직각인 결상시키는 방향인 것을 특징으로 하는, 결함 검사 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 확산시키는 것을, 상기 반사·산란광을 상기 일방향으로 확대함으로써 행하는 것을 특징으로 하는, 결함 검사 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 확산시키는 것을, 상기 반사·산란광을 원통형의 플라이아이 렌즈로 상기 일방향으로 확산시킴으로써 행하는 것을 특징으로 하는, 결함 검사 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 시료 위의 광이 조사된 선 형상의 영역으로부터 반사·산란한 광을 복수의 방향에서 검출하고, 상기 복수의 방향에서 검출하여 신호를 각각 처리함으로써 상기 시료 위의 결함을 검출하는 것을 특징으로 하는, 결함 검사 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 시료 위의 광이 조사된 선 형상의 영역으로부터 상기 선 형상의 영역의 길이 방향에 대하여 직각인 방향으로 반사·산란한 광을 일방향으로 확산시켜서 상기 일방향과 직각인 방향으로 결상시켜서 검출하는 것을 특징으로 하는, 결함 검사 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 시료로부터 반사·산란한 광을 검출하는 것은, 상기 시료 위의 광이 조사된 선 형상의 영역으로부터 상기 선 형상의 영역의 길이 방향에 대하여 직각인 방향으로 반사·산란한 광을 일방향으로 확산시켜서 상기 일방향과 직각인 방향으로 결상시켜서 검출 화소를 이차원으로 배치한 어레이 센서로 검출하는 것과, 상기 시료 위의 광이 조사된 선 형상의 영역으로부터 상기 선 형상의 영역의 길이 방향으로 산란한 광을 검출 화소를 이차원으로 배치한 어레이 센서로 검출하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는, 결함 검사 방법.

청구항 9

시료의 표면에 선 형상의 영역에 조명광을 조사하는 조사 수단과,

상기 조사 수단에 의해 상기 시료 위의 광이 조사된 선 형상의 영역으로부터 반사·산란한 광을 검출하는 검출 수단과,

상기 반사·산란한 광을 검출하여 얻은 신호를 처리하여 상기 시료 위의 결함을 검출하는 신호 처리 수단을

을 구비한 결함 검사 장치로서, 상기 검출 수단은,

상기 시료로부터 반사·산란한 광을 일방향으로 확산시켜서 상기 일방향과 직각인 방향으로 결상시키는 광학계와,

검출 화소를 이차원으로 배치한 어레이 센서를 갖고 상기 광학계에 의해 일방향으로 확산시켜서 상기 일방향과 직각인 방향으로 결상시킨 반사·산란광을 검출하여 상기 반사·산란광을 확산시킨 방향으로 배열하는 각 검출 화소의 출력 신호를 가산하여 출력하는 검출계를 구비하는 것을 특징으로 하는, 결함 검사 장치.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 검출계의 어레이 센서의 이차원으로 배치한 검출 화소는, 상기 반사·산란광을 확산시키는 일방향에 대하여 상기 일방향과 직각인 상기 반사·산란광을 결상시키는 방향으로 긴 치수를 갖는 것을 특징으로 하는, 결함 검사 장치.

청구항 11

제9항에 있어서, 상기 검출계는, 상기 시료로부터 반사·산란한 광을 상기 일방향으로 확산시켜서 상기 일방향과 직각인 방향으로 결상시키는 것을, 상기 조사 수단에 의해 광을 조사한 상기 시료 표면의 선 형상의 영역의 상을 상기 어레이 센서에 투영했을 때에 상기 선 형상의 영역의 길이 방향에 직각인 폭 방향이 상기 확산시키는 일방향이며, 상기 선 형상의 영역의 길이 방향이 상기 일방향과 직각인 결상시키는 방향인 것을 특징으로 하는, 결함 검사 장치.

청구항 12

제9항에 있어서, 상기 광학계는 렌즈를 갖고, 상기 시료로부터 반사·산란한 광을 상기 일방향으로 확산시키는 것을, 상기 반사·산란광을 상기 렌즈에 의해 상기 일방향으로 확대함으로써 행하는 것을 특징으로 하는, 결함 검사 장치.

청구항 13

제9항에 있어서, 상기 광학계는 원통형의 플라이아이 렌즈를 갖고, 상기 시료로부터 반사·산란한 광을 상기 일방향으로 확산시키는 것을, 상기 반사·산란광을 상기 원통형의 플라이아이 렌즈로 상기 일방향으로 확산시킴으로써 행하는 것을 특징으로 하는, 결함 검사 장치.

청구항 14

제9항에 있어서, 상기 검출 수단을 복수 구비하고, 상기 복수의 검출 수단에 의해 상기 시료 위의 광이 조사된 선 형상의 영역으로부터 반사·산란한 광을 복수의 방향에서 검출하고, 상기 신호 처리 수단은, 상기 복수의 검출 수단에 의해 복수의 방향에서 검출하여 신호를 각각 처리함으로써 상기 시료 위의 결함을 검출하는 것을 특징으로 하는, 결함 검사 장치.

청구항 15

제9항에 있어서, 상기 검출 수단은 상기 조사 수단으로 광을 조사하는 상기 시료 위의 선 형상의 영역의 길이 방향에 대하여 직각인 방향으로 배치되어 있고, 상기 광학계는 상기 광이 조사된 상기 시료 위의 선 형상의 영역으로부터 반사·산란한 광을 일방향으로 확산시켜서 상기 일방향과 직각인 방향으로 결상시키고, 상기 검출계는, 상기 일방향으로 확산시켜서 상기 일방향과 직각인 방향으로 결상시킨 광을 검출하는 것을 특징으로 하는, 결함 검사 장치.

청구항 16

제9항에 있어서, 상기 검출 수단은, 상기 조사 수단으로 광을 조사하는 상기 시료 위의 선 형상의 영역의 길이 방향에 대하여 직각인 방향으로 배치되어 상기 광이 조사된 상기 시료 위의 선 형상의 영역으로부터 반사·산란한 광을 일방향으로 확산시켜서 상기 일방향과 직각인 방향으로 결상시키는 상기 광학계와, 상기 일방향으로 확산시켜서 상기 일방향과 직각인 방향으로 결상시킨 광을 검출하는 상기 검출계와, 또한 상기 광이 조사된 상기 시료 위의 선 형상의 영역으로부터 상기 선 형상의 영역의 길이 방향으로 산란한 광을 집광하는 집광 광학계와, 상기 집광 광학계에서 집광한 광을 검출하는 집광 검출계를 구비하고 있는 것을 특징으로 하는, 결함 검사 장치.

명세서

기술분야

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

배경기술

[0002] 반도체 기판이나 박막 기판 등의 제조 라인에 있어서, 제품의 수율을 유지·향상하기 위해서, 반도체 기판이나 박막 기판 등의 표면에 존재하는 결함의 검사가 행하여지고 있다. 결함 검사의 종래 기술로서는 일본 특허 공개 평8-304050호 공보(특허문헌 1), 일본 특허 공개 제2008-268140호 공보(특허문헌 2) 등에 기재되어 있는 기술이 알려져 있다.

[0003] 특허문헌 1에서는, 「선 형상 조명을 행하는 조명 광학계, 피조명 영역을 라인 센서로 분할하여 검출하는 검출 광학계에 의해, 한 번의 검사로 동일 결함을 복수 회 조명하고, 그들의 산란광을 가산함으로써 검출 감도를 향상시킨다」라고 기재되어 있다.

[0004] 특허문헌 2에서는, 「레이저광대에 대응한 2n개의 APD가 직선으로 배열되고,」 「2n개 중 적당한 2개씩을 조합하여, 각 조합의 2개의 APD의 출력 신호의 차분을 각각 산출하여, 반사광에 의한 노이즈를 소거하고, 산란광에 대한 결함 펄스를 출력한다」라고 기재되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 평8-304050호 공보
(특허문헌 0002) 일본 특허 공개 제2008-268140호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 반도체 등의 제조 공정에서 사용되는 결함 검사에는, 미소한 결함을 검출하는 것, 검출한 결함의 치수를 고정밀도로 측정하는 것, 시료를 비파괴로(예를 들어 시료를 변질시키는 일 없이) 검사하는 것, 동일한 시료를 검사한 경우에, 예를 들어 검출 결함의 개수, 위치, 치수, 결함 종류에 관하여 실질적으로 일정한 검사 결과가 얻어지는 것, 일정 시간 내에 다수의 시료를 검사하는 것 등이 요구된다.

[0007] 상기 특허문헌 1, 및 특허문헌 2에 설명된 기술에서는, 특히 예를 들어 치수 20nm 이하의 미소한 결함에 대해서는, 결함으로 인해 발생하는 산란광이 매우 미약해져, 시료 표면에서 발생하는 산란광에 의한 노이즈, 검출기의 노이즈, 또는 검출 회로의 노이즈에 결함 신호가 매립되어 버리므로 검출 불가능하게 된다. 또는, 이것을 피하기 위하여 조명 파워를 올린 경우, 조명광에 의한 시료의 온도 상승이 커져, 시료에 열 손상이 발생한다. 또는, 이것을 피하기 위하여 시료의 주사 속도를 저하시킨 경우, 일정 시간 내에 검사할 수 있는 시료의 면적 또는 시료의 수가 감소된다. 이상으로부터, 미소한 결함을 고속으로 검출하는 것이 곤란하였다.

[0008] 미약한 광을 검출하는 방법으로서, 광자 계수법이 알려져 있다. 일반적으로, 미약한 광에 대해서는 검출 광자수를 계수하는 광자 계수를 행함으로써, 신호의 SN비가 향상되기 때문에, 고감도, 고정밀도로 안정된 신호가 얻어진다. 광자 계수법의 일례로서, 광전자 증배관이나 어벌런치 포토 다이오드에 대한 광자의 입사에서 발생하는 펄스 전류의 발생수를 계수하는 방법이 알려져 있다. 그러나, 응답 속도가 느리기 때문에, 짧은 시간 내에 복수 개의 광자가 입사하여 복수 회 펄스 전류가 발생한 경우에 그 횟수를 계수할 수 없으므로, 광량을 고정밀도로 측정할 수 없어, 결함 검사에는 적용할 수 없었다.

[0009] 또한, 다른 광자 계수법의 일례로서, 다수의 어벌런치 포토 다이오드 화소를 배열하여 구성한 검출기의, 각 화소에의 광자의 입사에 의해 발생하는 펄스 전류의 합계를 측정하는 방법이 알려져 있다. 이 검출기는 Si-PM(Silicon Photomultiplier), PPD(Pixelated Photon Detector), 또는 MPPC(Multi-Pixel Photon Counter) 등이라고 불린다. 이 방법에 의하면, 전술한 단일 광전자 증배관이나 어벌런치 포토 다이오드를 사용한 광자 계수와 달리, 응답 속도가 빠르므로 짧은 시간 내에 복수 개의 광자가 입사한 경우도 광량을 측정할 수 있다. 단, 다수의 어벌런치 포토 다이오드를 배열한 것이 하나의 「화소」를 갖는 검출기로서 동작하기 때문에, 복수의 화소의 병렬 검출에 의해 고속 또는 고감도의 결함 검사에 있어서 이 방법을 적용할 수 없었다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기한 과제를 해결하기 위해서, 본 발명에서는, 시료의 표면에 선 형상의 영역에 광을 조사하고, 시료 위의 광이 조사된 선 형상의 영역으로부터 반사·산란한 광을 검출하고, 이 반사·산란한 광을 검출하여 얻은 신호를 처리하여 시료 위의 결함을 검출하는 시료 위의 결함을 검사하는 방법에 있어서, 시료로부터 반사·산란한 광을 검출하는 것을, 시료로부터 반사·산란한 광을 일방향으로 확산시켜서 이 일방향과 직각인 방향으로 결상시키고, 일방향으로 확산시켜서 이 일방향과 직각인 방향으로 결상시킨 반사·산란광을 검출 화소를 이차원으로 배치한 어레이 센서로 검출하고, 이 반사·산란광을 검출한 검출 화소를 이차원으로 배치한 어레이 센서로부터의 출력 신호 중 반사·산란광을 확대시킨 방향으로 배열하는 각 검출 화소의 출력 신호를 가산하고, 이 반사·산란광을 확대시킨 방향으로 배열하는 각 검출 화소의 출력 신호를 가산한 신호를 수렴시킨 일방향으로 차례로 취출하여 처리하도록 하였다.

[0011] 또한, 상기 목적을 달성하기 위해서, 결함 검사 장치를, 시료의 표면에 선 형상의 영역에 조명광을 조사하는 조사 수단과, 이 조사 수단에 의해 시료 위의 광이 조사된 선 형상의 영역으로부터 반사·산란한 광을 검출하는 검출 수단과, 이 반사·산란한 광을 검출하여 얻은 신호를 처리하여 시료 위의 결함을 검출하는 신호 처리 수단을 구비하여 구성하고, 검출 수단은, 시료로부터 반사·산란한 광을 일방향으로 확산시켜서 이 일방향과 직각인 방향으로 결상시키는 광학계와, 검출 화소를 이차원으로 배치한 어레이 센서를 갖고서 광학계에 의해 일방향으로 확산시켜서 이 일방향과 직각인 방향으로 결상시킨 반사·산란광을 검출하여 반사·산란광을 확대시킨 방향으로 배열하는 각 검출 화소의 출력 신호를 가산하여 출력하는 검출계를 구비하여 구성하였다.

발명의 효과

[0012] 본 발명에 따르면, 시료 전체면을 단시간에 주사하고, 시료에 열 손상을 저감하면서 미소한 결함을 검출하는 것, 검출 결함의 치수를 고정밀도로 산출하는 것, 및 안정된 검사 결과를 출력하는 것이 가능하거나 결함 검사 장치 및 검사 방법을 제공할 수 있다.

[0013] 상기 이외의 과제, 구성, 및 효과는, 이하의 실시 형태의 설명에 의해 밝혀진다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1A는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 전체 개략 구성을 도시하는 블록도이다.

도 1B는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 구성을 도시하는 블록도이다.

도 2는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 조명부에 의해 실현되는 조명 강도 분포 형상을 얻기 위

한 조명부의 구성의 제1 예를 도시하는 블록도이다.

도 3은 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 조명부에 의해 실현되는 조명 강도 분포 형상을 얻기 위한 조명부의 구성의 제2 예를 도시하는 블록도이다.

도 4는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 조명부에 의해 실현되는 조명 강도 분포 형상을 얻기 위한 조명부의 구성의 제3 예를 도시하는 블록도이다.

도 5는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 조명부에 의해 실현되는 조명 강도 분포 형상을 얻기 위한 조명부의 구성의 제4 예를 도시하는 블록도이다.

도 6은 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 조명부에 의해 실현되는 조명 강도 분포 형상을 얻기 위한 조명부의 구성의 제5 예를 도시하는 블록도이다.

도 7은 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 조명 강도 분포 제어부가 구비하는 광학 소자의 일례를 나타내는 광학 소자의 측면도이다.

도 8은 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 조명부에 있어서의 조명광의 상태 계측 수단 및 조정 수단의 실시의 일례를 나타내는 조명부의 블록도이다.

도 9는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 조명부에 있어서 광로 분기와 광로 합성에 의해 단일 펄스당의 에너지를 저감하는 수단의 일례를 나타내는 블록도이다.

도 10A는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 조명부에 있어서, 광로 분기와 광로 합성을 행하지 않는 경우에 시료 표면에 조사되는 레이저의 펄스와 에너지의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 10B는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 조명부에 있어서, 광로 분기와 광로 합성을 행한 경우에 시료 표면에 조사되는 레이저의 펄스와 에너지의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 11은 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 조명부에 의한 시료 표면 위의 조명 영역의 형상을 나타내는 시료의 평면도이다.

도 12는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 조명부의 시료 표면 위의 주사에 의한 조명 스폿의 궤적을 나타내는 시료의 본 발명에 관한 평면도이다.

도 13은 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 검출부의 배치 및 검출 방향을 측면으로부터 본 측면도이다.

도 14는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 저각 검출부의 배치 및 검출 방향을 도시하는 평면도이다.

도 15는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 고각 검출부의 배치 및 검출 방향을 도시하는 평면도이다.

도 16은 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 검출 방위각이 90도인 저각 및 고각으로 설치한 검출부(1021s, 1021s', 102hs, 102hs')의 구성을 도시하는 블록도이다.

도 17은 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 저각 및 고각의 전방 및 후방에 설치한 검출부(1021f, 1021f', 1021b, 1021b', 102hf, 102hb)의 구성을 도시하는 블록도이다.

도 18은 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 검출부의 복수 화소 센서를 구비한 검출계의 제1 예를 도시하는 사시도이다.

도 19는 본 발명의 제1 실시예에 관한 검출부에서의 복수 화소 센서를 구비한 검출계의 어레이 센서의 제1 예를 나타내는 센서면의 정면도이다.

도 20은 제1 실시예에 관한 어레이 센서의 구성 요소의 등가 회로를 도시하는 회로도이다.

도 21은 본 발명의 제1 실시예에 관한 신호 처리부의 일 실시 형태를 도시하는 블록도이다.

도 22A는 본 발명의 제1 실시예에 관한 복수 화소 센서를 구비한 검출계에서 어레이 센서와 마이크로렌즈 어레이를 조합한 구성을 나타내는 어레이 센서의 측면도이다.

도 22B는 본 발명의 제1 실시예에 관한 복수 화소 센서를 구비한 검출계에서 어레이 센서와 광 파이버 어레이를

조합한 구성을 나타내는 어레이 센서의 측면도이다. 본 발명에 관한 어레이 센서의 제2 예를 도시하는 도면이다.

도 23A는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 검출부의 복수 화소 센서를 구비한 검출계의 제1 변형예의 구성을 도시하는 사시도이다.

도 23B는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 검출부의 복수 화소 센서를 구비한 검출계의 제2 변형예의 구성을 도시하는 사시도이다.

도 23C는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 검출부의 복수 화소 센서를 구비한 검출계의 제2 변형예의 구성을 도시하는 평면도이다.

도 23D는 본 발명의 제1 실시예에 관한 결함 검사 장치의 검출부의 복수 화소 센서를 구비한 검출계의 제2 변형예의 구성을 도시하는 사시도이다. 본 발명에 관한 검출부의 복수 화소 센서의 제2 예를 도시하는 도면이다.

도 24A는 본 발명의 제1 실시예에 관한 검출부에서의 복수 화소 센서를 구비한 검출계의 어레이 센서의 제1 변형예를 나타내는 센서면의 정면도이다.

도 24B는 본 발명의 제1 실시예에 관한 검출부에서의 복수 화소 센서를 구비한 검출계의 어레이 센서의 제2 변형예를 나타내는 센서면의 정면도이다.

도 25A는 본 발명의 제1 실시예에 관한 검출부에서의 복수 화소 센서를 구비한 검출계의 어레이 센서의 패드와 기관 위의 배선을 와이어 본딩으로 접속한 상태를 나타내는 어레이 센서와 기관의 측면도이다.

도 25B는 본 발명의 제1 실시예에 관한 검출부에서의 복수 화소 센서를 구비한 검출계의 어레이 센서의 패드와 기관 위의 배선을 스루홀로 접속한 상태를 나타내는 어레이 센서와 기관의 측면의 단면도이다.

도 26은 본 발명의 제1 실시예에 관한 검출부에서의 복수 화소 센서를 구비한 검출계의 어레이 센서의 제3 변형예를 나타내는 센서면의 정면도이다.

도 27A는 본 발명의 제1 실시예에 관한 검출부에서의 복수의 검출계를 천구면의 자오선 위에 배치한 상태를 나타내는 시료와 복수의 검출계의 대물 렌즈의 사시도이다.

도 27B는 본 발명의 제1 실시예에 관한 검출부에서의 복수의 검출계의 배치를 천구면의 자오선 위와 전방 산란광을 검출하는 위치에 배치한 상태를 나타내는 시료와 복수의 검출계의 대물 렌즈의 사시도이다.

도 28A는 본 발명의 제1 실시예에 관한 검출부에서 천구면의 자오선 위에 배치한 검출계의 어레이 센서로부터의 출력 파형을 나타내는 그래프이다.

도 28B는 본 발명의 제1 실시예에 관한 검출부에서 천구면의 자오선 위에 배치한 검출계의 어레이 센서로부터의 출력 파형과 전방 산란광을 검출한 어레이 센서로부터의 출력 파형을 겹쳐서 표시한 그래프이다.

도 29A는 조명광을 시료 위에서 나선 형상으로 주사했을 때에, 시료 위의 동일한 회전각의 위치를 본 발명의 제1 실시예에 관한 검출부에서의 천구면의 자오선 위에 배치한 검출계에서 검출했을 때의 어레이 센서로부터의 출력 파형을 나타내는 그래프이다.

도 29B는 조명광을 시료 위에서 나선 형상으로 주사했을 때에, 시료 위의 동일한 회전각의 위치를 본 발명의 제1 실시예에 관한 검출부에서의 천구면의 자오선 위에 배치한 검출계에서 검출했을 때의 어레이 센서로부터의 출력 파형과, 전방 산란광을 검출한 어레이 센서로부터의 출력 파형을 겹쳐서 표시한 그래프이다.

도 30은 본 발명의 제2 실시예에 관한 결함 검사 장치의 전체 개략 구성을 도시하는 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 본 발명은 결함 검출 감도를 향상시키는 동시에, 검출할 수 있는 결함의 범위(다이내믹 레인지)를 확대하고, 보다 고속으로 결함을 검출하는 것을 가능하게 한 결함 검사 장치에 관한 것이다. 이하에 본 발명의 실시예를, 도면을 사용하여 설명한다.

[0016] <제1 실시예>

[0017] 도 1A는 본 실시예에 관한 결함 검사 장치의 개략 구성도의 예이다. 조명부(101), 검출부(102), 시료(W)를 적재 가능한 스테이지부(103), 신호 처리부(105), 제어부(53), 표시부(54), 입력부(55)를 갖는다. 조명부(101)는

레이저 광원(2), 아테네이터(3), 출사광 조정부(4), 빔 익스팬더(5), 편광 제어부(6), 조명 강도 분포 제어부(7)를 적절히 구비한다.

[0018] 레이저 광원(2)으로부터 사출된 레이저광 빔은, 아테네이터(3)에서 원하는 빔 강도로 조정되고, 출사광 조정부(4)에서 원하는 빔 위치, 빔 진행 방향으로 조정되고, 빔 익스팬더(5)에서 원하는 빔 직경으로 조정되고, 편광 제어부(6)에서 원하는 편광 상태로 조정되고, 조명 강도 분포 제어부(7)에서 원하는 강도 분포로 조정되어, 시료 1의 검사 대상 영역에 조명된다.

[0019] 조명부(101)의 광로 중에 배치된 반사 미러(81, 82)의 위치와 각도에 의해 시료 1의 표면에 대한 조명광의 입사각(시료 표면의 법선 방향에 대한 기울기각)이 결정된다. 조명광의 입사각은 미소한 결함의 검출에 적합한 각도로 설정된다. 조명 입사각이 클수록, 즉 조명 양각(시료 표면과 조명광축이 이루는 각)이 작을수록, 시료 1의 표면 상의 미소 이물로부터의 산란광에 대하여 노이즈가 되는 시료 1 표면의 미소 요철로부터의 산란광(헤이즈라고 불림)이 약해지므로, 미소한 결함의 검출에 적합하다. 이로 인해, 시료 1 표면의 미소 요철로부터의 산란광이 미소 결함 검출의 방해가 될 경우에는, 조명광의 입사각은 바람직하게는 75도 이상(양각 15도 이하)으로 설정하는 것이 좋다.

[0020] 한편, 경사 입사 조명에 있어서 조명 입사각이 작을수록 미소 이물로부터의 산란광의 절대량이 커지므로, 결함으로부터의 산란광량의 부족이 미소 결함 검출의 방해가 될 경우에는, 조명광의 입사각은 바람직하게는 60도 이상 75도 이하(양각 15도 이상 30도 이하)로 설정하는 것이 좋다. 또한, 경사 입사 조명을 행할 경우, 조명부(101)의 편광 제어부(6)에 있어서의 편광 제어에 의해, 조명의 편광을 P 편광으로 함으로써, 그 밖의 편광과 비교하여 시료 1의 표면 상의 결함으로부터의 산란광이 증가한다. 또한, 시료 1 표면의 미소 요철로부터의 산란광이 미소 결함 검출의 방해가 될 경우에는, 조명의 편광을 S 편광으로 함으로써, 그 밖의 편광과 비교하여 시료 1 표면의 미소 요철로부터의 산란광이 감소된다.

[0021] 또한, 필요에 따라서, 도 1A에 도시한 바와 같이, 조명부(101)의 광로 중에 도시하지 않은 구동 수단으로 미러(21)를 삽입함으로써 조명광로가 변경되고, 미러(212, 213)에서 차례로 반사되어서 시료면에 대하여 실질적으로 수직인 방향으로부터 조명광이 조사된다(수직 조명). 이때, 시료 1의 면 상의 조명 강도 분포는 조명 강도 분포 제어부(7v)에 의해, 경사 입사 조명과 마찬가지로 제어된다. 미러(21)와 동일한 위치에 빔 스플리터를 삽입함으로써, 경사 입사 조명과 시료면의 오목부 형상의 결함(연마 흠집이나 결정 재료에 있어서의 결정 결함)으로부터의 산란광을 얻기 위해서는, 시료 1의 표면에 실질적으로 수직으로 입사하는 수직 조명이 적합하다. 또한, 도 1A에 나타내는 조명 강도 분포 모니터(24)에 대해서는 이후에 상세하게 설명한다.

[0022] 레이저 광원(2)으로서, 시료 1의 표면 근방의 미소한 결함을 검출하기 위해서는, 시료 1의 내부에 침투하기 어려운 파장으로서, 단파장(파장 355nm 이하)의 자외 또는 진공 자외의 레이저 빔을 발진하고, 또한 출력 2W 이상의 고출력의 것이 사용된다. 출사 빔 직경은 1mm 정도이다. 시료 1의 내부 결함을 검출하기 위해서는, 시료 1의 내부에 침투하기 쉬운 파장으로서, 가시 또는 적외의 레이저 빔을 발진하는 것이 사용된다.

[0023] 아테네이터(3)는, 도 1B에 도시한 바와 같이, 제1 편광판(31)과, 조명광의 광축 주위로 회전 가능한 1/2 파장판(32)과, 제2 편광판(33)을 적절히 구비한다. 아테네이터(3)에 입사한 광은, 제1 편광판(31)에 의해 직선 편광으로 변환되어, 1/2 파장판(32)의 지상축 방위각에 따라서 편광 방향이 임의의 방향으로 회전되어, 제2 편광판(33)을 통과한다. 1/2 파장판(32)의 방위각을 제어함으로써, 광강도가 임의의 비율로 감광된다. 아테네이터(3)에 입사하는 광의 직선 편광도가 충분히 높은 경우에는 제1 편광판(31)은 반드시 필요한 것은 아니다. 아테네이터(3)는 입력 신호와 감광률의 관계가 사전에 교정된 것을 사용한다. 아테네이터(3)로서, 그라데이션 농도 분포를 갖는 ND 필터를 사용하는 것도, 서로 다른 복수의 농도의 ND 필터를 전환하여 사용하는 것도 가능하다.

[0024] 출사광 조정부(4)는 복수 매의 반사 미러(41, 42)를 구비한다. 여기에서는 2매의 반사 미러(41과 42)로 구성된 경우의 실시예를 설명하지만, 이에 한정되는 것은 아니고, 3매 이상의 반사 미러를 적절히 사용해도 상관없다. 여기서, 삼차원의 직교 좌표계(XYZ 좌표)를 임의로 정의하여, 반사 미러에의 입사광이 +X 방향으로 진행되고 있는 것이라 가정한다. 제1 반사 미러(41)는 입사광을 +Y 방향으로 편향되도록 설치되고(XY면 내에서의 입사·반사), 제2 반사 미러(42)는 제1 반사 미러(41)에서 반사된 광을 +Z 방향으로 편향되도록 설치된다(YZ면 내에서의 입사·반사). 각각의 반사 미러(41과 42)는 평행 이동과 틸트각 조정에 의해, 출사광 조정부(4)로부터 출사하는 광의 위치, 진행 방향(각도)이 조정된다. 상기와 같이, 제1 반사 미러(41)의 입사·반사면(XY면)과 제2 반사 미러(42) 입사·반사면(YZ면)이 직교하는 배치로 함으로써, 출사 조정부(4)로부터 출사하는 광(+Z 방향으로 진행)의 XZ면 내의 위치, 각도 조정과, YZ면 내의 위치, 각도 조정을 독립적으로 행할 수 있다.

- [0025] 빔 익스팬더(5)는 2군 이상의 렌즈군(51, 52)을 갖고, 입사하는 평행 광속의 직경을 확대하는 기능을 갖는다. 예를 들어, 오목 렌즈와 볼록 렌즈의 조합을 구비하는 갈릴레오형의 빔 익스팬더가 사용된다. 빔 익스팬더(5)는 도시하지 않은 2축 이상의 병진 스테이지에 설치되고, 소정의 빔 위치와 중심이 일치하도록 위치 조정이 가능하다. 또한, 빔 익스팬더(5)의 광축과 소정의 빔 광축이 일치하도록 빔 익스팬더(5) 전체의 틸트각 조정 기능이 구비된다. 렌즈군(51, 52)의 간격을 조정함으로써, 광속 직경의 확대율을 제어할 수 있다(줌 기구). 빔 익스팬더(5)에 입사하는 광이 평행하지 않을 경우에는, 렌즈군(51, 52)의 간격 조정에 의해, 광속의 직경 확대와 콜리메이트(광속의 준평행광화)가 동시에 행하여진다. 광속의 콜리메이트는 빔 익스팬더(5)의 상류에 빔 익스팬더(5)와 독립적으로 콜리메이트 렌즈를 설치하여 행해도 된다. 빔 익스팬더(5)에 의한 빔 직경의 확대 배율은 5배 내지 10배 정도이며, 광원으로부터 출사한 빔 직경 1mm의 빔이 5mm 내지 10mm 정도로 확대된다.
- [0026] 편광 제어부(6)는 1/2 파장판(61), 1/4 파장판(62)에 의해 구성되어, 조명광의 편광 상태를 임의의 편광 상태로 제어한다. 조명부(101)의 광로 도중에 있어서, 빔 모니터(22)에 의해, 빔 익스팬더(5)로 입사하는 광, 및 조명 강도 분포 제어부(7)로 입사하는 광의 상태가 측정된다.
- [0027] 부호 22와 23은, 각각 빔 모니터이며, 광축 상의 레이저 빔의 강도나 위치를 모니터한다.
- [0028] 도 2 내지 도 6에, 조명부(101)로부터 시료면으로 유도되는 조명광축(120)과 조명 강도 분포 형상의 위치 관계의 모식도를 나타낸다. 또한, 도 2 내지 도 6에 있어서의 조명부(101)의 구성은 조명부(101)의 구성의 일부를 나타낸 것이며, 출사광 조정부(4), 미러(211), 빔 모니터(22, 23) 등은 생략되고 있다.
- [0029] 도 2에, 경사 입사 조명의 입사면(조명광축과 시료 1 표면의 법선을 포함하는 면)의 단면의 모식도를 나타낸다. 경사 입사 조명은 입사면 내에서 시료 1의 표면에 대하여 경사져 있다. 조명부(101)에 의해 입사면 내에서 실질적으로 균일한 조명 강도 분포가 만들어진다. 도 2의 우측의 조명 강도 분포 모식도에 도시한 바와 같이, 선형상으로 조명된 영역에 있어서 조명 강도가 균일한 부분의 길이는, 단위 시간당 넓은 면적을 검사하기 때문에, 100 μ m 내지 4mm 정도이다.
- [0030] 도 3에, 시료 1의 표면 법선을 포함하고 또한 경사 입사 조명의 입사면에 수직인 면의 단면 모식도를 나타낸다. 이 면 내에서, 시료 1의 면 상의 조명 강도 분포는 중심에 대하여 주변 강도가 약한 조명 강도 분포를 이룬다. 보다 구체적으로는, 조명 강도 분포 제어부(7)로 입사하는 광의 강도 분포를 반영한 가우스 분포, 또는 조명 강도 분포 제어부(7)의 개구 형상을 반영한 제1종 제1차의 베셀 함수 또는 sinc 함수에 유사한 강도 분포가 된다. 이 면 내에서의 조명 강도 분포의 길이(최대 조명 강도의 13.5% 이상의 조명 강도를 갖는 영역의 길이)는 시료 1의 표면으로부터 발생하는 헤이즈를 저감하므로, 상기 입사면 내에 있어서의 조명 강도가 균일한 부분의 길이보다 짧아, 2.5 μ m 내지 20 μ m 정도이다. 조명 강도 분포 제어부(7)는, 후술하는 비구면 렌즈, 회절 광학 소자, 원통형 렌즈 어레이, 라이트파이프 등의 광학 소자를 구비한다. 조명 강도 분포 제어부(7)를 구성하는 광학 소자는, 도 2, 도 3에 도시된 바와 같이, 조명광축(120)에 수직으로 설치된다.
- [0031] 도 4는, 도 2에 도시한 구성에 대하여, 조명 강도 분포 제어부(7)를 시료 1의 표면에 평행해지도록 설치한 구성을 나타낸다. 이 경우, 조명 강도 분포 제어부(7)는 조명광축(120)에 대하여 기울어지게 설치된다.
- [0032] 또한, 도 5와 도 6에 나타낸 구성은, 각각 도 3 및 도 2에 도시한 구성으로 조명광축(120)을 시료 1의 표면에 대한 기울기를 교체한 경우의 구성을 나타낸다. 즉, 조명광축(120)의 시료 1의 표면에서의 입사 방향에 대한 시료 1 위의 선형상 조명 영역을, 도 2 및 도 3에서 설명한 경우와 90도 방향을 바꾼 경우의 상태를 나타내고 있다.
- [0033] 도 5에 도시한 구성은, 경사 입사 조명의 입사면(조명광축과 시료 1 표면의 법선을 포함하는 면)의 단면 모식도를 나타내는 것이다. 경사 입사 조명은 입사면 내에서 시료 1의 표면에 대하여 경사져 있다. 이 면 내에서, 시료 1의 면 상의 조명 강도 분포는 중심에 대하여 주변의 강도가 약한 조명 강도 분포를 이룬다. 이에 대해서도 도 6에 나타낸 구성은, 시료 1의 표면 법선을 포함하고 또한 경사 입사 조명의 입사면에 수직인 면의 단면 모식도를 나타낸다. 입사면 내에 있어서 실질적으로 균일한 조명 강도 분포가 만들어진다.
- [0034] 조명 강도 분포 제어부(7)는 입사하는 광의 위상 분포 및 강도 분포에 작용하는 광학 소자를 구비한다. 조명 강도 분포 제어부(7)를 구성하는 광학 소자로서, 회절 광학 소자(71)(DOE: Diffractive Optical Element)가 사용된다(도 7). 회절 광학 소자(71)는 입사광을 투과하는 재질로 이루어지는 기관의 표면에, 광의 파장과 동등 이하의 치수의 미세한 기복 형상을 형성한 것이다. 입사광을 투과하는 재질로서, 자외광용으로는 용융 석영이 사용된다.

- [0035] 회절 광학 소자(71)를 통과하는 것에 의한 광의 감쇠를 억제하기 위해, 반사 방지막에 의한 코팅이 실시된 것을 사용하면 된다. 상기 미세한 기복 형상의 형성에는 리소그래피법이 사용된다. 상기 빔 익스팬더(5)를 통과 후에 준평행광이 된 광을, 회절 광학 소자(71)를 통과시킴으로써, 회절 광학 소자(71)의 기복 형상에 따른 시료면 상 조명 강도 분포가 형성된다. 회절 광학 소자(71)의 기복 형상은, 시료 표면 상에서 형성되는 조명 강도 분포가 상기 입사면 내에 길게 균일한 분포가 되도록, 푸리에 광학 이론을 사용한 계산에 기초하여 구해진 형상으로 설계되어, 제작된다.
- [0036] 조명 강도 분포 제어부(7)에 구비되는 광학 소자는, 입사광의 광축과의 상대 위치, 각도가 조정 가능하게 되도록, 2축 이상의 병진 조정 기구, 및 2축 이상의 회전 조정 기구가 구비된다. 또한, 광축 방향의 이동에 의한 포커스 조정 기구가 설치된다. 상기 회절 광학 소자(71)와 마찬가지로 기능을 갖는 대체 광학 소자로서, 비구면 렌즈, 원통형 렌즈 어레이와 원통형 렌즈의 조합, 라이트 파이프와 결상 렌즈의 조합을 사용해도 된다.
- [0037] 도 1에 도시한 구성에 있어서, 조명부(101)에 있어서의 조명광의 상태가 빔 모니터(22)에 의해 계속된다. 빔 모니터(22)는 출사광 조정부(4)를 통과한 조명광의 위치 및 각도(진행 방향), 또는 조명 강도 분포 제어부(7)에 입사하는 조명광의 위치 및 파면을 계속하여 출력한다. 조명광의 위치 계속은, 조명광의 광 강도의 무게 중심 위치를 계속함으로써 행하여진다. 구체적인 위치 계속 수단으로서, 광 위치 센서(PSD: Position Sensitive Detector), 또는 CCD 센서나 CMOS 센서 등의 이미지 센서가 사용된다. 조명광의 각도 계속은 상기 위치 계속 수단보다 광원으로부터 멀리 떨어진 위치, 또는 콜리메이트 렌즈에 의한 집광 위치에 설치된 광 위치 센서 또는 이미지 센서에 의해 행하여진다. 도 8에 도시한 바와 같이, 빔 모니터(22)로 계속된 조명광 위치, 조명광 각도는 제어부(53)에 입력되고, 표시부(54)에 표시된다. 조명광 위치 또는 각도가 소정의 위치 또는 각도로부터 어긋나 있던 경우에는, 상기 출사광 조정부(4)에 있어서 소정의 위치로 복귀되도록 조정된다.
- [0038] 빔 모니터(22)에 의한 조명광의 파면 계속은, 조명 강도 제어부(7)에 입사하는 광의 평행도를 측정하기 위하여 행하여진다. 시어링 간섭계에 의한 계속, 또는 삭-하트만 파면 센서에 의한 계속이 행하여진다.
- [0039] 시어링 간섭계는, 양면을 평탄하게 연마한 두께 수mm 정도의 광학 유리를 조명광로 중에 비스듬히 경사지게 하여 삽입하고, 표면에 의한 반사광과 이면에 의한 반사광을 스크린에 투영했을 때에 관측되는 간섭 줄무늬의 모양에 의해, 조명광의 발산·수렴 상태를 계속하는 것이며, 시그마 고오키샤 제조 SPUV-25 등이 있다. 스크린 위치에 CCD 센서나 CMOS 센서 등의 이미지 센서를 설치하면 조명광의 발산·수렴 상태의 자동 계속이 가능하다.
- [0040] 삭-하트만 파면 센서는, 세밀한 렌즈 어레이에 의해 파면을 분할하여 CCD 센서 등의 이미지 센서에 투영하고, 투영 위치의 변위로부터 개개의 파면 경사를 계속하는 것이다. 시어링 간섭계와 비교하여, 부분적인 파면의 혼란 등 상세한 파면 계속을 행할 수 있다.
- [0041] 파면 계속에 의해 조명 강도 제어부(7)에 입사하는 광이 준평행광이 아닌, 발산 또는 수렴하고 있는 것이 판명된 경우, 전단의 빔 익스팬더(5)의 렌즈군을 광축 방향으로 변위시킴으로써, 준평행광에 근접시킬 수 있다. 또한, 파면 계속에 의해 조명 강도 제어부(7)에 입사하는 광의 파면이 부분적으로 경사져 있는 것이 판명되었을 경우, 공간 광 변조 소자(SLM: Spatial Light Modulator)의 1종류인 공간광 위상 변조 소자를 조명 강도 제어부(7)의 전단에 삽입하고(도시하지 않음), 파면이 평탄해지도록 광속 단면의 위치마다 적당한 위상차를 부여함으로써, 파면을 평탄에 가깝게 하는, 즉 조명광을 준평행광에 가깝게 할 수 있다. 이상의 파면 정밀도 계속·조정 수단에 의해, 조명 강도 분포 제어부(7)에 입사하는 광의 파면 정밀도[소정의 파면(설계값 또는 초기 상태)으로부터의 어긋남]가 $\lambda/10\text{rms}$ 이하로 억제된다.
- [0042] 조명 강도 분포 제어부(7)에 있어서 조정된 시료면 상의 조명 강도 분포는, 조명 강도 분포 모니터(24)에 의해 계속된다. 또한, 도 1에서 나타낸 바와 같이, 수직 조명을 사용하는 경우에도, 마찬가지로, 조명 강도 분포 제어부(7v)에 있어서 조정된 시료면 상의 조명 강도 분포가 조명 강도 분포 모니터(24)에 의해 계속된다. 조명 강도 분포 모니터(24)는 렌즈를 통하여 시료면을 CCD 센서나 CMOS 센서 등의 이미지 센서 상에 결상하여 화상으로서 검출하는 것이다. 조명 강도 분포 모니터(24)에 의해 검출된 조명 강도 분포의 화상은 제어부(53)에 있어서 처리되고, 강도의 무게 중심 위치, 최대 강도, 최대 강도 위치, 조명 강도 분포의 폭, 길이(소정의 강도 이상 또는 최대 강도값에 대하여 소정의 비율 이상이 되는 조명 강도 분포 영역의 폭, 길이) 등이 산출되어, 표시부(54)에 있어서 조명 강도 분포의 윤곽 형상, 단면 파형 등과 함께 표시된다.
- [0043] 경사 입사 조명을 행할 경우, 시료면의 높이 변위에 의해, 조명 강도 분포의 위치의 변위 및 디포커스에 의한 조명 강도 분포의 혼란이 일어난다. 이것을 억제하기 위해서, 시료면의 높이를 계속하고, 높이가 어긋난 경우에는 조명 강도 분포 제어부(7), 또는 스테이지부(103)의 Z축에 의한 높이 조정에 의해 어긋남을 보정한다. 시

료면의 높이를 계측하기 위한 구성을, 도 8을 사용하여 설명한다.

- [0044] 시료면의 높이 계측은, 광선 사출부(31)와, 광선 사출부(31)로부터 사출하여 시료면에서 반사된 광선을 수광하는 수광부(32)로 이루어진다. 광선 사출부(31)는 반도체 레이저 등의 광원과 투광 렌즈를 구비한다. 수광부(32)는 수광 렌즈와 광 위치 센서를 구비한다. 반도체 실리콘 표면이나 자기 디스크 기판 표면 등 광택이 강한 시료면의 계측을 행하기 위해, 광선 사출부(31)로부터 사출하여 시료면에서 정반사된 광을 수광부(32)에서 검출하도록, 광선 사출부(31)와 수광부(32)가 배치된다. 시료면의 높이 변위는, 삼각측량의 원리에 의해, 수광부(32)의 광 위치 센서에 의해 검출되는 광 스폿의 위치 어긋남으로서 검출된다.
- [0045] 시료면의 높이 변위에 의한, 조명광 조사 위치의 시료면 내 방향의 위치 어긋남의 보정은, 조명 강도 분포 제어부(7)의 하류에 설치되어 조명광을 시료면을 향하게 하는 편향 수단(80)의 편향 각도 조절에 의해 행하여진다. 편향 수단(80)은 조명광을 편향하는 반사 미러(82) 및 반사 미러(82)의 조명광축에 대한 틸트각을 제어하는 피에조 소자(83)를 구비하고, 틸트각을 $\pm 1\text{mrad}$ 정도의 범위에서 400Hz 이상의 주파수로 제어하는 것이다. 높이 변위 계측값과 조명광 입사각으로부터 조명광 조사 위치의 시료면 내 방향의 위치 어긋남량이 구해지고, 이 어긋남을 보정하도록, 편향 수단(80)에 있어서 제어부(53)로부터 출력된 제어 신호를 받아 반사 미러(82)가 제어된다. 또한, 조명광 조사 위치의 시료면 내 방향의 위치 어긋남은, 조명 강도 분포 모니터(24)를 사용하여 조명 강도 분포의 무게 중심 위치 등을 직접 계측함으로써도 가능하다.
- [0046] 시료면의 높이 변위에 의한, 조명광 조사 위치의 시료면 내 방향의 위치 어긋남을 상기 편향 수단(80)에 의해 보정한 경우, 조명 강도 분포 제어부(7)와 시료 1의 표면의 광로 길이가 보정 전과 어긋나기 때문에, 어긋남량에 따라서는 조명 스폿의 디포커스가 일어난다. 광로 길이의 변화량은 높이 변위 계측값과 조명광 입사각으로부터 구해지고, 이에 기초하여, 조명 강도 분포 제어부(7)에 구비되는 광학 소자의 광축 방향의 위치 조정 또는 빔 익스팬더(5)의 발산각 조정 등에 의해 디포커스가 저감된다.
- [0047] 광원(2)으로서, 고출력을 얻기 쉬운 펄스 레이저를 사용할 경우에는, 시료 1에 부여되는 조명의 에너지가, 도 10A에 도시한 바와 같은 펄스가 입사하는 순간에 집중하기 때문에, 펄스의 입사에 의한 순간적인 온도 상승에 기인하여 시료 1에 열 손상이 발생하는 경우가 있다. 이것을 피하기 위해서는, 펄스 레이저의 광로를 분기하고, 분기한 광로 사이에 광로차를 만든 후에 광로를 합성함으로써, 도 10B에 도시한 바와 같이 총 에너지를 유지하면서 1 펄스당의 에너지를 감소시키는 것이 유효하다.
- [0048] 도 9에 상기를 실시하기 위한 광학계 일례를 나타낸다. 빔 익스팬더(5)를 통과한 후의 조명광이, 편광 빔 스플리터(151)에 의해, 편광 빔 스플리터(151)에 의해 반사된 제1 광로(1511)와 편광 빔 스플리터(151)를 투과한 제2 광로(1512)로 분기된다. 제1 광로(1511) 측으로 분기된 조명광은 레트로 리플렉터(152)에 의해 반사되어 편광 빔 스플리터(153) 측으로 복귀하고, 편광 빔 스플리터(153)에서 반사되어, 편광 빔 스플리터(151)를 투과하여 제2 광로(1512) 측으로 분기된 조명광의 광로와 동일한 광로를 진행함으로써, 분기된 2개의 조명광이 합성되어서 편광 제어부(6)로 입사한다.
- [0049] 레트로 리플렉터(152)는 서로 직교하는 2매 이상의 반사 미러를 구비하고, 입력광을 180도 반대인 방향으로 되접는 것이다. 코너 큐브라고도 불린다. 레트로 리플렉터 대신에 독립된 2매 이상의 반사 미러를 사용해도 된다. 편광 빔 스플리터(151)에 의해 반사되는 광 강도와 투과하는 광 강도를 동등하게 하기 위해서, 파장판(150)에 의해, 조명광의 편광이 원 편광 또는 경사 45도의 직선 편광 등으로 조정된다. 제1 광로(1511)와 제2 광로(1512) 사이의 광로차를 L로 하면, 제1 광로를 통과한 광의 펄스와 제2 광로를 통과한 광의 펄스의 시간 간격 $\Delta t_p = L/c$ 가 된다. Δt_p 를, 단일 펄스가 입사했을 때의 온도 상승이 완화되는데 필요로 하는 시간과 동등 이상으로 함으로써, 단일 펄스에 의한 시료의 순간적인 온도 상승 및 복수 펄스에 의한 열의 축적에 의한 온도 상승이 억제된다.
- [0050] 조명부(101)에 의해 시료 1의 표면 상에 형성되는 조도 분포 형상[조명 스폿(20)]과 시료 주사 방법에 대하여 도 11 및 도 12를 사용하여 설명한다. 시료(W)로서 원형의 반도체 실리콘 웨이퍼를 상정한다. 스테이지부(103)는 병진 스테이지, 회전 스테이지, 시료 1의 표면 높이 조절을 위한 Z 스테이지(모두 도시하지 않음)를 구비한다. 조명 스폿(20)은, 전술한 바와 같이 일방향으로 긴 조명 강도 분포(선 형상 조명)를 가지고, 그 길이 방향을 S2로 하고, 길이 방향 S2로 실질적으로 직교하는 방향(선의 폭 방향)을 S1로 한다. 회전 스테이지의 회전 운동에 의해, 회전 스테이지의 회전축을 중심으로 한 원의 원주 방향 S1로, 병진 스테이지의 병진 운동에 의해, 병진 스테이지의 병진 방향 S2로 주사된다. 주사 방향 S1의 주사에 의해 시료를 1 회전하는 동안에, 주사 방향 S2로 조명 스폿(20)의 길이 방향의 길이 이하의 거리만큼 주사함으로써, 조명 스폿이 시료 1 상에서 나선형상의 궤적 T를 그려, 시료 1의 전체면이 주사된다.

- [0051] 검출부(102)는 조명 스폿(20)으로부터 발하는 복수 방향의 산란광을 검출하도록, 복수 배치된다. 검출부(102)의 시료(W) 및 조명 스폿(20)에 대한 배치에 대하여 도 13 내지 도 15를 사용하여 설명한다.
- [0052] 도 13에 검출부(102)의 배치 측면도를 나타낸다. 시료 1의 법선에 대하여, 검출부(102)에 의한 검출 방향(검출 개구의 중심 방향)이 이루는 각을, 검출 천정각이라 정의한다. 검출부(102)는 검출 천정각이 45도 이하인 고각 검출부(102h)와, 검출 천정각이 45도 이상인 저각 검출부(102l)를 적절히 사용하여 구성된다. 고각 검출부(102h), 저각 검출부(102l) 각각은, 각각의 검출 천정각에 있어서 다 방위로 산란하는 산란광을 커버하도록, 복수의 검출부로 이루어진다.
- [0053] 도 14에, 저각 검출부(102l)의 배치의 평면도를 나타낸다. 시료(W)의 표면과 평행한 평면 내에 있어서, 경사 입사 조명의 진행 방향과 검출 방향이 이루는 각을 검출 방위각이라 정의한다. 저각 검출부(102)는 저각 전방 검출부(102lf), 저각 측방 검출부(102ls), 저각 후방 검출부(102lb), 및 그들과 조명 입사면에 관하여 대칭인 위치에 있는 저각 전방 검출부(102lf)', 저각 측방 검출부(102ls'), 저각 후방 검출부(102lb')를 적절히 구비한다. 예를 들어, 저각 전방 검출부(102lf)는 검출 방위각이 0도 이상 60도 이하, 저각 측방 검출부(102ls)는 검출 방위각이 60도 이상 120도 이하, 저각 후방 검출부(102lb)는 검출 방위각이 120도 이상 180도 이하로 설치된다.
- [0054] 도 15에, 고각 검출부(102h)의 배치의 평면도를 나타낸다. 고각 검출부(102)는 고각 전방 검출부(102hf), 고각 측방 검출부(102hs), 고각 후방 검출부(102hb), 및 고각 측방 검출부(102hs)와 조명 입사면에 관하여 대칭인 위치에 있는 고각 측방 검출부(102hs')를 적절히 구비한다. 예를 들어, 고각 전방 검출부(102hf)는 검출 방위각이 0도 이상 45도 이하, 고각 측방 검출부(102hs)는 검출 방위각이 45도 이상 135도 이하, 고각 후방 검출부(102hb)는 검출 방위각이 135도 이상 180도 이하로 설치된다. 또한, 여기에서는 고각 검출부(102h)가 4개, 저각 검출부(102l)가 6개 있는 경우를 나타냈지만 이에 한정되지 않고, 검출부의 수·위치를 적절히 변경해도 된다.
- [0055] 검출부(102)의 구체적인 구성도의 예를 도 16에 나타내었다. 조명 스폿(20)으로부터 발생하는 산란광을 대물 렌즈(201)에 의해 집광하고, 편광 필터(202)를 통과시킨 후, 결상 렌즈(203)에 의해 복수 화소 센서를 구비한 검출계(204)로 유도되고, 후술하는 바와 같은 구성을 구비한 복수 화소 센서를 구비한 검출계(204)에서 조명 스폿(20)으로부터의 산란광상이 검출된다. 산란광을 효율적으로 검출하기 위해서, 대물 렌즈(201)의 검출 NA는 0.3 이상으로 하는 것이 바람직하다. 저각도 검출부의 경우, 대물 렌즈(201)의 하단부가 시료면 W에 간섭하지 않도록, 필요에 따라 대물 렌즈의 하단부를 절결한다. 편광 필터(202)는 편광판 또는 편광 빔 스플리터로 이루어지고, 임의 방향의 직선 편광 성분을 컷하도록 설치된다. 편광판으로서, 투과율 80% 이상의 와이어 그리드 편광판이나 편광 빔 스플리터 등이 사용된다. 타원 편광을 포함하는 임의의 편광 성분을 컷할 경우에는, 파장판과 편광판으로 이루어지는 편광 필터(202)를 설치한다.
- [0056] 도 16에 나타낸 검출부(102)는, 도 14 및 도 15에서 시료 1의 선형상의 조명 스폿(20)의 길이 방향에 대하여 직각인 방향(측방)에 배치한 검출부(102ls, 102ls', 102hs 및 102hs')에 있어서 유효한 구성이다. 그러나, 조명 스폿(20)의 길이 방향에 대하여 기운 방향, 즉 조명 스폿(20)의 전방 또는 후방에 설치된 검출부(102lb, 102lb', 102lf, 102lf', 102hf 및 102hb)의 경우에는, 조명 스폿(20)의 길이 방향의 각 위치로부터 대물 렌즈(201)까지의 거리가 다르기 때문에, 검출계(204)에 조명 스폿(20)으로부터의 산란광상을 형성할 수 없다. 따라서, 조명 스폿(20)의 길이 방향에 대하여 기울어진 방향으로 설치되는 각 검출부에 있어서 검출계(204)에 조명 스폿(20)으로부터의 산란광상을 형성할 수 있도록 한 검출부(102)의 구성에 대해서, 도 17을 사용하여 설명한다.
- [0057] 도 17에 나타낸 검출부(102)의 구성에 있어서, 대물 렌즈(201), 편광 필터(202) 및 결상 렌즈(203)까지의 구성은, 도 16에서 설명한 것과 같다. 도 17에 나타낸 검출부(102)에서는, 결상 렌즈(203)의 후단에 회절격자(206)와 결상계(207)를 설치하여, 검출계(204)에 조명 스폿(20)으로부터의 산란광상을 형성할 수 있도록 하였다.
- [0058] 조명 스폿(20)으로부터 발생하는 산란광을 대물 렌즈(201)에 의해 집광하고, 편광 필터(202)를 통과시킨 후, 결상 렌즈(203)에 의해, 시료면과 공액인 면에 설치된 회절격자(206) 위에 시료면의 상(중간상)이 결상된다. 회절격자(206) 위에 형성된 시료면의 상은, 결상계(207)에 의해 복수 화소 센서(204)의 수광면 위에 투영되고, 검출된다. 복수 화소 센서(204)는 일방향으로 긴 조명 스폿(20)의 형상에 맞추어, 화소의 배열 방향이 조명 스폿(20)의 상의 길이 방향에 일치하도록, 시료면에 공액인 면 내에 설치된다. 회절격자(206)는 결상 렌즈(203)에 의해 유도되어 중간상을 형성하는 광을 회절격자(206)의 표면의 법선 방향으로 회절시키기 위해, 결상 렌즈(203)에 의해 유도되어 중간상을 형성하는 광의 광축을 따른 입사광의 N차 회절광이 회절격자(206)의 표면의 법선 방향을 향하도록, 회절격자 형상이 형성된 것을 사용한다. 회절 효율을 높이기 위해서, 블레이즈 회절격자

가 사용된다.

[0059] 이상의 구성을 취해 시료면에 공액면 면에 복수 화소 센서(204)를 설치함으로써, 시료면 위의 S1 방향에 대해서도 핀트의 어긋남을 저감하여 넓은 범위에서 유효 시야를 확보할 수 있고, 또한 광량 손실을 적어 산란광을 검출할 수 있다.

[0060] 도 18에 복수 화소 센서를 구비한 검출계(204)의 구성을 나타낸다. 도 16에 나타낸 구성의 대물 렌즈(201) 및 결상 렌즈(203)에 의해, 시료면의 상이 시료면과 공액면 시료면 공액면(205)에 결상된다. 도 18에 나타낸 복수 화소 센서를 구비한 검출계(204)는 슬릿판(222), 1축 결상계(223), 어레이 센서(224)를 구비하여 구성되어 있다. 슬릿판(222)은 시료면 공액면(205)에 설치되어 있다. 도 18에 있어서의 결함상(221) 및 결함상의 1축 확대상(225)은 결함이 검출부(102)의 검출 시야의 중앙에 있는 상태의 일례를 모식적으로 나타낸 것이다. 결함상(221)은 시료면 공액면(225) 위에서 일단 결상한 후, 결상 렌즈(203)의 상측의 NA를 따르는 확대각을 가지고, 검출부(102)의 광축 방향으로 진행된다. 이 광이 1축 결상계(223)에 의해, 시료면 공액면(205)에 있어서의 주사 방향 S2에 대응하는 방향에 대하여 결상하고, 어레이 센서(224)의 수광면 위에 상을 잇는다. 시료면 공액면(205)에 있어서의 주사 방향 S1에 대응하는 방향에 관해서는, 상기한 확대각을 가진 채 어레이 센서(224)의 수광면 위에 달한다.

[0061] 1축 결상계(223)는 주사 방향 S1에 대응하는 방향만 광을 집광시키는 작용을 가지고, 원통형 렌즈 또는 원통형 렌즈와 구면 렌즈의 조합에 의해 구성된다. 1축 결상계(223)의 작용에 의해, 결함상(221)은 주사 방향 S1에 대응하는 방향으로 확대된다. 시료 공액면(205) 위의 결함상의 크기는, 조명광의 파장보다 작은 미소 결함의 경우, 검출부(102)의 광학적인 해상도에 의해 결정되고, 구체적으로는 결상 렌즈(203)의 상측의 NA에 의해 결정된다[미소 결함의 상의 크기(점상 확대)= $1.22 \times (\text{파장}) / (\text{상측 NA})$]. 결함상의 1축 확대상(225)의 S1 방향의 길이, 즉 S1 방향의 확대율은, 시료면 공액면(205)과 어레이 센서(224)의 수광면 사이의 광로 길이, 및 결상 렌즈(203)의 상측의 NA에 의해 결정된다. 이 길이는, 어레이 센서(224)의 수광면의 S1 방향의 길이와 실질적으로 동등해지도록 복수 화소 센서를 구비한 검출계(204)가 구성된다. 결함상의 1축 확대상(225)의 S2 방향의 폭은, 1축 결상계(223)의 배율에 의해 결정된다. 이 길이는, 어레이 센서(224)의 수광면의 S2 방향의 길이와 동등하거나 그 이하가 되도록, 복수 화소 센서를 구비한 검출계(204)가 구성된다.

[0062] 시료면 위로부터의 산란광은, 조명 스폿(20)의 위치로부터 발생하고, 검출부(102)에 의해 검출되지만, 광의 파동적 성질에 의해 조명 스폿(20) 밖의 영역에도 상대적으로 약한 강도의 조명이 실질적으로는 조사된다. 이 결과, 조명 스폿(20) 밖의 큰 이물이나 시료면의 단부의 각에서 발생한 산란광의 일부가 어레이 센서(224)의 수광면에 입사하고, 노이즈가 되어서 감도를 저하시키는 경우가 있다. 이것이 문제가 될 경우, 차광 슬릿(222)을 설치함으로써, 이들의 번잡한 산란광을 차광하고, 저감할 수 있다. 차광 슬릿은 시료면 공액면(205)에 있어서의 조명 스폿(20)의 상의 폭보다 넓은 폭의 슬릿 형상의 개구부(광투과부)를 갖고, 슬릿 형상 개구부의 중심이 조명 스폿(20)의 상의 위치와 일치하도록 설치된다. 개구부 이외가 차광되므로, 조명 스폿(20)이 닿은 시료면 위의 영역 이외로부터의 산란광이 저감된다.

[0063] 도 19는 어레이 센서(224)의 수광면의 구성도의 일례이다. 어레이 센서(224)는 복수의 어벌런치 포토 다이오드(APD)를 2차원으로 배열한 구성을 갖는다. 이하, 개개의 APD의 수광부를 APD 화소라 칭한다. APD 화소(231)는 각각이 가이저 모드(광전자 증배율이 10^5 이상)로 동작하도록 전압이 인가된다. APD 화소(231)에 하나의 광자가 입사되면, APD 화소의 양자 효율에 따른 확률로 APD 화소(231) 내에 광전자가 발생하고, 가이저 모드 APD의 작용에 의해 증배되어, 펄스 형상의 전기 신호를 출력한다. S1 방향의 APD 화소행(232)[도 19에서 점선의 사각(232)으로 둘러싸인 중에 있는 APD 화소의 집합]을 하나의 단위로 하고, S1 방향APD 화소행마다, 화소행에 포함되는 APD의 각각에서 발생한 펄스 형상 전기 신호가 배선 패턴(234)을 개재하여 합계되어서 패드(235)로부터 출력된다. S2 방향으로 복수의 APD 화소행이 배열되어 있고, 각 행의 APD 화소의 출력 신호가 병렬로 출력된다.

[0064] 도 20은 하나의 S1 방향 APD 화소행(232)과 등가인 회로의 회로도 예이다. 도면 중 하나의 쿨칭 저항(226)과 APD(227)의 세트가, 하나의 APD 화소(231)에 대응한다. 단자(2351)는 패드(235)에 상당하고, 단자(2352)는 각 APD 화소에 접속하는 단자로, 역전압 V_R 이 인가된다. 역전압 V_R 을 APD의 항복 전압 이상으로 설정함으로써, APD(227)가 가이저 모드로 동작한다. 도 20에 나타낸 회로 구성으로 함으로써, S1 방향 APD 화소행(232)에 입사한 광자수의 합계에 비례한 출력 전기 신호(전압, 전류의 파고값, 또는 전하량)가 얻어진다. S1 방향 APD 화소행(232) 각각에 대응하는 출력 전기 신호(전압, 전류의 파고값, 또는 전하량)는 아날로그-디지털 변환되어, 시계열의 디지털 신호로서 병렬로 출력된다.

- [0065] 개개의 APD 화소는, 짧은 시간 내에 복수의 광자가 입사해도 하나의 광자가 입사한 경우와 동일 정도의 펄스 신호밖에 출력하지 않으므로, 개개의 APD 화소에의 단위 시간당의 입사 광자수가 커지면, APD 화소행의 합계 출력 신호가 입사 광자수에 비례하지 않게 되어, 신호의 선형성이 손상된다. 또한, APD 화소행의 모든 화소에 일정량(하나의 화소당 평균 1 광자 정도) 이상의 입사광이 들어가면, 출력 신호가 포화된다. S1 방향으로 다수의 APD 화소를 배열한 구성으로 함으로써, 하나의 화소당의 입사광량을 저감할 수 있어, 보다 정확한 광자 계수가 가능하게 된다. 예를 들어 S1 방향의 화소수를 1000 화소로 함으로써, APD 화소의 양자 효율이 30%인 경우, 검출의 단위 시간당 약 1000 광자 이하의 광강도로 충분한 리니어리티를 확보할 수 있어, 약 3300 광자 정도 이하의 광강도를 포화하지 않고 검출할 수 있게 된다.
- [0066] 시료면으로부터의 산란광을 수광하여 미소한 결함으로부터 비교적 큰 결함까지를 치수에 따른 신호 레벨로 검출하기 위해서는, 산란광을 검출하는 어레이 센서(224)의 다이내믹 레인지를 확보하는 것이 중요해진다. 어레이 센서(224)의 다이내믹 레인지를 크게 하기 위해서는, 도 19에서 S1 방향으로 배열하는 APD 화소(231)의 수를 증가시키면 되지만, 단순히 수를 증가시키면 S1 방향의 치수가 커지고, 그만큼만 부유 용량이 크게 되어 동작 속도가 저하된다는 문제나, 어레이 센서(224)를 실장하는 스페이스가 크게 되어 버린다고 하는 실장상의 문제가 발생한다.
- [0067] 이에 반해, APD 화소(231)의 치수를 작게 하여 S1 방향의 전체 길이를 바꾸지 않고 S1 방향으로 배열하는 APD 화소(231)의 수를 증가시키는 방법이 고려되지만, APD 화소(231)의 전체적인 치수를 작게 하면 각 APD 소자(231)의 개구율이 저하되어 어레이 센서(224)의 감도가 저하되어 버린다.
- [0068] 따라서, 본 실시예에서는, 도 19에 도시한 바와 같이, APD 화소(231)의 S1 방향의 치수를 작게 하여 S1 방향의 전체 길이를 바꾸지 않고 S1 방향으로 배열하는 APD 화소(231)의 수를 증가시킴으로써 부유 용량을 증가시키지 않고 다이내믹 레인지를 확대하고, S2 방향의 치수를 크게 하여 개개의 APD 화소(231)의 면적을 바꾸지 않도록 하여 개구율이 저하되는 것을 방지하였다. 이에 의해, S1 방향으로 배열하는 APD 화소(231)의 수를 증가시켜도 동작 속도를 저하시키지 않고, 또한 필요한 검출 감도를 확보하여, 다이내믹 레인지를 향상시킬 수 있도록 하였다.
- [0069] 여기서, 도 18에 나타난 복수 화소 센서(224)의 구성에서는, S1 방향에 관하여 광강도 분포를 평균화하기 위한 수단을 특별히 마련하고 있지 않으므로, 시료 공액면(205)에 결상된 결함의 광학상의 S1 방향의 광강도 분포가 그대로 복수 화소 센서(224) 위에 투영된다. 시료로부터의 반사·산란광은, 조명광량의 가우스 분포 특성의 영향을 받아서 광강도가 균일하지 않아, 복수 화소 센서(224)의 S1 방향으로 배열한 중앙에 대하여 단부의 광강도가 약해진다. 이것은 S1 방향의 실효적인 APD 화소수가 감소되는 것을 의미한다. 원통형 렌즈 대신에 S1 방향으로 곡률을 갖는 미소한 원통형 렌즈를 S1 방향으로 다수 배열한 렌티큘러 렌즈, 회절형 광학 소자, 또는 비구면 렌즈를 사용함으로써, 결함상의 1축 확대상(225)의 S1 방향의 분포를 강도가 균일한 분포로 할 수 있다. 이렇게 함으로써, S1 방향의 APD 화소수를 유지한 채, 리니어리티를 확보할 수 있는 광강도 범위 또는 포화하지 않는 광강도 범위를 확대할 수 있다.
- [0070] 이상 설명한 복수 화소 센서(224)의 구성에 의해, 시료면 공액면(205)의 S2 방향의 각 위치마다의 광자수를 동시에 병렬로 계수할 수 있다.
- [0071] 여기서, 조명 스폿(20)의 길이와 검출부(102)의 광학 배율, 복수 화소 센서를 구비한 검출계(204)의 치수와의 관계를 설명한다. 고감도, 고속 검사를 행할 경우, 조명 스폿(20)의 길이는 개략 500 μ m로 설정된다. 복수 화소 센서를 구비한 검출계(204)로서 S2 방향으로 25 μ m 피치로 100 화소가 배열된 것[S1 방향 APD 화소행(232)이 100행 배열된 것]을 설치할 경우, 검출부의 광학 배율은 5배가 되고, 시료면 위에 투영되는 화소의 피치는 5 μ m가 된다.
- [0072] 이 조건으로 시료를 회전 속도 2000rpm으로 회전시킨 경우, 직경 300mm의 원형 시료는 9초이고, 직경 450mm의 원형 시료는 14초로 전체면이 주사된다. 다시 고속으로 검사를 행할 경우, 조명 스폿(20)의 길이는 개략 1000 μ m로 설정된다. 이 경우, 검출부의 광학 배율은 0.4배가 되고, 시료면 위에 투영되는 화소의 피치는 62.5 μ m가 된다. 이 조건으로 시료를 회전 속도 2000rpm으로 회전시킨 경우, 직경 300mm의 원형 시료는 5초에서, 직경 450mm의 원형 시료는 7초에서 전체면이 주사된다.
- [0073] 이어서, 도 21을 사용하여, 넓은 각도 범위를 커버하는 복수의 검출 광학계에 의해 동시에 검출되는 여러 방향의 산란광 강도 검출 신호에 기초하여 여러 가지 결함 종류의 분류나 결함 치수의 추정을 고정밀도로 행하는 신호 처리부(105)에 대하여 설명한다. 여기에서는 간단화를 위하여 복수의 검출부(102) 중 검출부(102a, 102b)

(도시 생략)의 2계통을 구비한 경우의 신호 처리부(105)의 구성에 대하여 설명한다. 또한, 검출부(102a, 102b)의 각각이, APD 화소행마다 신호를 출력한다. 여기에서는 그 중 하나의 화소행의 신호에 착안한 설명을 행하지만, 다른 화소행에 대해서도 마찬가지로 처리가 병렬로 행하여지는 것은 물론이다.

[0074] 검출부(102a, 102b) 각각에 구비된 검출기로부터 출력된, 검출 산란광량에 대응하는 출력 신호(500a, 500b)는, 각각 대역 통과 필터를 내장하는 아날로그 처리부(51a, 51b)를 지나 디지털 처리부(52)에 입력한다. 디지털 처리부(52)에 있어서, 고역 통과 필터(604a, 604b)의 각각에 의해 결합 신호(603a, 603b)의 각각이 추출되고, 결합 판정부(605)에 입력된다. 결합은 조명 스폿(20)에 의해 S1 방향으로 조사되므로, 결합 신호의 파형은 조명 스폿(20)의 S1 방향의 조도 분포 프로파일을 확대 축소한 것이 된다. 따라서, 고역 통과 필터(604a, 604b)의 각각에 의해, 결합 신호 파형이 포함되는 주파수 대역을 통과시키고, 노이즈가 상대적으로 많이 포함되는 주파수 대역 및 직류 성분을 컷함으로써, 결합 신호(603a, 603b)의 S/N이 향상된다. 각 고역 통과 필터(604a, 604b)로서는, 특정한 차단 주파수를 가지고 그 주파수 이상의 성분을 차단하도록 설계된 고역 통과 필터, 또는 대역 통과 필터, 또는 조명 스폿(20)의 형상이 반영된 결합 신호의 파형과 상사형을 이루는 FIR 필터를 사용한다.

[0075] 결합 판정부(605)는 고역 통과 필터(604a, 604b)의 각각으로부터 출력된 결합 파형을 포함하는 신호의 입력에 대하여 임계값 처리를 행하고, 결합의 유무를 판정한다. 즉, 결합 판정부(605)에는, 복수의 검출 광학계로부터의 검출 신호에 기초하는 결합 신호가 입력되므로, 결합 판정부(605)는 복수의 결합 신호의 합이나 가중 평균에 대하여 임계값 처리를 행하거나, 또는 복수의 결합 신호에 대하여 임계값 처리에 의해 추출된 결합군에 대하여 웨이퍼의 표면에 설정된 동일 좌표계에서 OR이나 AND를 취하는 것 등에 의해, 단일 결합 신호에 기초하는 결합 검출과 비교하여 고감도의 결합 검사를 행할 수 있게 된다.

[0076] 또한, 결합 판정부(605)는 결합이 존재한다고 판정된 부위에 대해서, 그 결합 파형과 감도 정보 신호에 기초하여 산출되는 웨이퍼 내의 결합 위치를 나타내는 결합 좌표 및 결합 치수의 추정값을, 결합 정보로서 제어부(53)에 제공하여 표시부(54) 등에 출력한다. 결합 좌표는 결합 파형의 무게 중심을 기준으로 하여 산출된다. 결합 치수는 결합 파형의 적분값 또는 최대값을 바탕으로 산출된다.

[0077] 또한, 아날로그 처리부(51)로부터의 각각의 출력 신호는, 디지털 처리부(52)를 구성하는 고역 통과 필터(604a, 604b)에다가, 저역 통과 필터(601a, 601b)의 각각에 입력되고, 저역 통과 필터(601a, 601b)의 각각에 있어서, 웨이퍼 상의 조명 스폿(20)에 있어서의 미소 조도로부터의 산란광량(헤이즈)에 대응하는 주파수가 낮은 성분 및 직류 성분이 출력된다. 이렇게 저역 통과 필터(601a, 601b)의 각각으로부터의 출력은 헤이즈 처리부(606)에 입력되어서 헤이즈 정보의 처리가 행하여진다. 즉, 헤이즈 처리부(605)는 저역 통과 필터(601a, 601b)의 각각으로부터 얻어지는 입력 신호의 크기로부터 웨이퍼 위의 장소마다 헤이즈의 대소에 대응하는 신호를 헤이즈 신호로서 출력한다. 또한, 미소 조도의 공간 주파수 분포에 따라서 조도로부터의 산란광량의 각도 분포가 바뀌므로, 도 13 내지 도 23에 도시한 바와 같이, 서로 다른 방위, 각도로 설치된 복수의 검출부(102)의 각 검출기로부터의 헤이즈 신호를 헤이즈 처리부(606)로의 입력으로 함으로써, 헤이즈 처리부(606)로부터는 그들의 강도비 등으로부터 미소 조도의 공간 주파수 분포에 관한 정보를 얻을 수 있다.

[0078] 조명부(101)에 의해 시료면 위에 만들어지는 조명 강도 분포의 변형예를 설명한다. 상기한 일방향으로 길게(선형상의), 길이 방향에 관하여 실질적으로 균일한 강도를 갖는 조명 강도 분포의 대체로서, 길이 방향에 관하여 가우스 분포를 갖는 조명 강도 분포를 사용하는 것도 가능하다. 일방향으로 긴 가우스 분포 조명은, 조명 강도 분포 제어부(7)에 구면 렌즈를 갖고, 빔 익스팬더(5)에 의해 일방향으로 긴 타원 빔을 형성하는 구성으로 하는 것, 또는 조명 강도 분포 제어부(7)를 원통형 렌즈를 포함하는 복수의 렌즈로 구성하는 것 등에 의해 형성된다.

[0079] 조명 강도 분포 제어부(7)가 갖는 구면 렌즈 또는 원통형 렌즈의 일부 또는 전부는, 시료면에 대하여 평행하게 설치됨으로써, 시료면 위의 일방향으로 길게, 그에 수직인 방향의 폭이 좁은 조명 강도 분포가 형성된다. 균일한 조명 강도 분포를 만드는 경우에 비해, 조명 강도 분포 제어부(7)에 입사하는 광의 상태 변동에 의한 시료면 위의 조명 강도 분포의 변동이 작고, 조명 강도 분포의 안정성이 높은, 또한 조명 강도 분포 제어부(7)에 회절 광학 소자나 마이크로렌즈 어레이 등을 사용하는 경우와 비교하여 광의 투과율이 높고 효율이 좋다고 하는 특징이 있다.

[0080] 도 18에 나타난 어레이 센서(224)의 변형예의 구성도를 도 22A와 도 22B에 나타내었다. APD 화소를 배열한 어레이 센서(224)에 있어서, 개개의 APD 화소(231)가 작은 경우, APD 화소 간의 불감대 면적이 APD 화소(231)의 수광부의 유효 면적에 대하여 상대적으로 커지기 때문에, 어레이 센서(224)의 개구율이 저하되어, 광 검출 효율이 저하되는 문제가 있다. 따라서, 도 22A에 도시한 바와 같이, 어레이 센서(224)의 수광면 전에 마이크로렌즈

어레이(228)를 설치함으로써, APD 화소(231)의 화소 간의 불감대에 입사하는 광의 비율을 저감하여, 실효적인 개구율을 향상할 수 있다. 마이크로렌즈 어레이(228)는 APD 화소의 배열 피치와 동일한 피치로 미소한 볼록 렌즈가 배열된 것이며, 어레이 센서(224)로의 입사광의 주 광축에 평행한 광선(도 22A의 점선)이 대응하는 APD 화소의 중앙 부근에 입사하도록 설치된다.

[0081] 한편, 도 22B에 나타난 구성은, 도 22A의 마이크로렌즈 어레이(224)를 광 파이버 어레이(2290)로 치환한 경우의 예를 나타낸다.

[0082] 도 23A에 복수 화소 센서를 구비한 검출계(204)의 제1 변형예의 구성도를 나타낸다. 이 제1 변형예에 있어서는, 복수 화소 센서를 구비한 검출계(2041)는 S1 방향의 결상 작용을 갖는 1축 결상계(229)와, S2 방향의 결상 작용을 갖는 1축 결상계(223)를 갖는다. 1축 결상계(229)에 의한 S1 방향의 결상 배율을 1축 결상계(223)에 의한 S2 방향의 결상 배율보다 높게 함으로써, 결합상(221)이 S1 방향으로 확대된다.

[0083] 1축 결상계(229) 및 1축 결상계(223)로서 원통형 렌즈를 사용할 경우, 1축 결상계(229)를 1축 결상계(223)보다도 시료면 공액면(205) 부근에 설치하여 S1 방향의 결상 관계를 만듦으로써, S1 방향의 배율이 S2 방향의 배율보다 높아진다. 전술한 구성(도 18)에서는, 1축 확대상(225)의 S1 방향의 광각도 분포 또는 상의 확대 크기가, 시료면 공액면(205)에 있어서는 산란광의 S1 방향의 각도 분포에 의존하여 변화되는 케이스가 있다. 이에 반해, 본 변형예에서는 결합상(221)의 크기와, 1축 결상계(229) 및 1축 결상계(223)의 구성과 배치에 의해 결정되는 S1 및 S2 방향의 결상 배율에 의해 1축 확대상(2251)의 크기가 결정된다. 미소 결합의 결합상(221)의 크기는, 전술한 바와 같이 검출부(102)의 광학 해상도에 의해 결정되므로, 1축 확대상(2251)의 크기 변화가 작아, 안정된 검사 결과가 얻어진다.

[0084] 어레이 센서(224)를 구성 요소인 어벌런치 포토 다이오드의 대응으로서, 전자 증배율이 높은(10^4 이상) 광전자 증배관을 사용하는 것도 가능하다. 어벌런치 포토 다이오드를 사용한 쪽이, 개개의 화소의 크기를 작게 할 수 있으므로, 검출부(102)의 광학 배율을 낮게 할 수 있는 것, 몇백 화소, 몇천 화소 이상의 집적이 저비용으로 가능한 것, 등의 이점이 있는 것에 반해, 광전자 증배관은 전자 증배율의 온도 의존성이 낮아 안정되어 있다고 하는 이점이 있다.

[0085] 도 23B에는, 복수 화소 센서를 구비한 검출계(204)의 제2 변형예로서, 도 23A에서 설명한 1축 결상계(229)와 223)를, 집광 렌즈(300)와 원통형의 플라이아이 렌즈(301), 및 S2 방향의 1축 방향으로 결상하는 결상 렌즈(302)로 치환한 복수 화소 센서를 구비한 검출계(2042)의 구성을 나타낸다.

[0086] 이 제2 변형예에 있어서는, 시료 공액면(205)의 결합상(221)로부터 발산된 광을 집광 렌즈(300)로 집광하여 원통형의 플라이아이 렌즈(301)에 입사시키면, 도 23C에 도시한 바와 같이 원통형의 플라이아이 렌즈(301)로부터는 S1 방향으로 분할된 복수의 미세한 광속이 출사된다. 이 원통형의 플라이아이 렌즈(301)로부터 출사된 복수의 미세한 광속은, 각각이 확산됨으로써 S1 방향으로 균일성이 향상된 광으로서 1축 방향으로 결상하는 결상 렌즈(302)에 입사하고, S2 방향으로 결상되어 S1 방향으로서는 균일하게 분포하는 광으로서 어레이 센서(224)에 달한다.

[0087] 이러한 구성으로 함으로써, 도 23A에 나타난 제1 변형예의 구성과 비교하여 어레이 센서(224)로 S1 방향의 균일성이 향상된 시료 위의 결합으로부터의 산란광을 검출할 수 있다. 그 결과, 어레이 센서(224)의 다이내믹 레인지를 확대할 수 있다.

[0088] 또한, 복수 화소 센서를 구비한 검출계(204)의 제3 변형예를 도 23D에 나타내었다. 도 23D에 나타난 복수 화소 센서를 구비한 검출계(2043)의 구성에 있어서는, 도 23B에 나타난 제2 변형예의 복수 화소 센서를 구비한 검출계(2042)의 구성에 있어서, 원통형의 플라이아이 렌즈(301)와 어레이 센서(224) 사이에 도 22A에서 설명한 마이크로렌즈 어레이를 삽입한 것이다. 이러한 구성으로 함으로써, 어레이 센서(224)의 실효적인 개구율을 향상시킬 수 있어, 어레이 센서(224)의 다이내믹 레인지를 확대시키는 동시에, 검출 감도를 더욱 향상시킬 수 있다.

[0089] 도 24A에는, 도 19에서 설명한 어레이 센서(224)의 개구율을 더욱 향상시키기 위한 구성으로서, 어레이 센서의 제1 변형예를 나타낸다.

[0090] 한편, 도 24A에 나타난 어레이 센서(2241)는, 도 19에서 설명한 어레이 센서(224)와 같은 형상으로 한 APD 소자에 대해서, 상하 2행으로 배열한 APD 화소(2311과 2331)를 각각 공통된 배선 패턴(2341)에 접속함으로써, 점선(2321)으로 둘러싼 것과 같은 2행의 APD 화소를 하나의 단위로 한다. 이 경우, 센서 어레이(2241)에 투영하는 결합으로부터의 산란광의 상은, 도 23A 또는 도 23B, 도 23D에 도시한 바와 같이, 2행의 APD 화소 형상으로 결

상시키도록 1축 결상계(223 또는 302)를 구성한다.

- [0091] 센서 어레이(2241)를 이와 같이 구성함으로써, 도 19에 나타난 센서 어레이(224)와 비교하면, 분해 능력은 저하되지만, 외관상의 개구율을 향상시킬 수 있어 검출 감도를 향상시킬 수 있다.
- [0092] 또한, 상하 2행으로 배열한 APD 화소(2311과 2331)가 배선 패턴(2341)을 공유함으로써 배선 개수를 저감할 수 있어, 어레이 센서(2241)의 소형화를 도모할 수 있다.
- [0093] 또한, 배선 패턴(2341)을 2 분할하여, 그 양측에 전극 패드(236과 237)를 설치하여 실질적인 배선 패턴 길이를 짧게 함으로써, 배선의 부유 용량을 저감하여 동작 속도를 향상시킬 수 있다. 이 경우, 전극 패드(236과 237)로부터의 신호는, 도 25A에 도시한 바와 같은 와이어 본딩(238, 239)에 의해 기판(241)에 형성된 배선(240)에 접속된다. 또는, 도 25B에 도시한 바와 같이, 전극 패드(236과 237) 부분으로부터 아래로 관통하는 스루홀(242, 243)을 통하여 어레이 센서(224)의 이면에 형성된 배선(244)에 접속된다. 부호 246은 스루홀이고, 배선(244)과 어레이 센서(224)의 표면에 형성된 전극(도시하지 않음)을 접속하기 위한 것이다. 스루홀(242, 243, 246)은 어레이 센서(224)의 구성에 따라서, 그 어느 하나 또는 모두가 형성되어 있다.
- [0094] 도 24B에는, 어레이 센서(224)의 제2 변형예를 나타낸다. 본 예에 나타난 센서 어레이(2242)에서는, 도 24A의 경우와 마찬가지로, 상하 2행으로 배열한 APD 화소(2312과 2332)를 각각 공통된 배선 패턴(2342)에 접속하여 APD 화소의 1 단위(2322)로 하고 있다. 배선 패턴(2342)의 일단부는 트랜스퍼 게이트(2401)에 접속하고 있다. 트랜스퍼 게이트(2401)는 레이저 광원(2)으로부터 발사되는 펄스 레이저의 펄스 발진에 동기한 이네이블(enable) 신호를 받아, 1 단위(2322)의 APD 화소로부터 출력된 검출 신호를 레이저 광원(2)으로부터 발사되는 펄스 레이저의 펄스 발진에 동기시켜서 수직 전송용 CCD(2402)에 입력한다. 수직 전송용 CCD(2402)에 입력한 검출 신호는, 펄스 레이저의 수 펄스분의 시간이 축적되고 나서 소정의 라인레이트로 수평 전송용 CCD(2403)로 전송된다. 수평 전송용 CCD(2403)로 전송된 검출 신호는 연속으로 전하 전압 변환 소자(2404)로 전송되고, 전하 전압 변환 소자(2404)에 의해 전압 신호로 변환되어 연속으로 출력된다.
- [0095] 센서 어레이(2242)를 이와 같이 구성함으로써, 센서 어레이(2242)의 전하 전압 변환 소자(2404)로부터 출력되는 신호를, 1차원의 이미지 센서(CCD 센서)로부터의 출력 신호를 화상 신호로서 취급하는 경우와 마찬가지로 처리할 수 있다.
- [0096] 트랜스퍼 게이트(2401)에 의해, 레이저 광원(2)으로부터 발사되는 펄스 레이저의 펄스 발진에 동기한 이네이블 신호를 받아서 1 단위(2322)의 APD 화소로부터 출력된 검출 신호를 펄스 레이저의 펄스 발진에 동기시켜서 수직 전송용 CCD(2402)에 입력하여 수 펄스분의 신호를 축적하는 구성으로 함으로써, 애프터 펄스나 암전류에 의한 노이즈를 저감할 수 있다. 이에 의해, 미세한 결함으로부터의 미약한 산란광을 검출했을 때의 미소한 검출 신호가 노이즈에 묻혀 버리는 것을 방지할 수 있어, 결함의 검출 감도를 향상시킬 수 있다.
- [0097] 센서 어레이(2242)를 이렇게 구성함으로써, 수평 전송용 CCD(2403) 이후의 회로 소자는 100MHz 부근 고주파 대역에서의 동작 특성을 갖는 것이 아니어도 되어, S2 방향으로 배열하는 APD 화소의 단위(2322)의 수를 증가시켜 다단으로 병렬화하여 처리할 수 있게 된다. 이에 의해, APD 화소의 단위(2322)의 단수가 많은 센서 어레이(2242)를 사용하여, 조명광(20)이 조사하는 시료 위의 S2 방향의 치수를 길게 함으로써, 비교적 큰 영역을 일괄하여 검사할 수 있게 된다.
- [0098] 도 26에는, 도 19에 나타난 어레이 센서(224)의 제3 변형예로서, APD 화소의 단위(2323)에 포함되는 APD 화소의 수를 더욱 증가시킨 어레이 센서(2243)의 예를 나타낸다.
- [0099] 도 26에 나타난 어레이 센서(2243)에서는, 전극 패드(242와 243)가, 각각 도 24A에 나타난 어레이 센서(2241)의 전극 패드(236 및 237)를 위 또는 아래의 전극 패드와 연결시킨 구성으로 되어 있다. 이렇게 구성한 어레이 센서(2243)를 S2 방향으로 복수의 화소가 배열된 1차원의 이미지 센서로서 보았을 때에, 1차원의 이미지 센서의 1 화소분에 상당하는 전극 패드(236 및 237)에 접속하는 APD 화소의 수를 증가시킴으로써, 1차원의 이미지 센서로서의 해상도는 저하되지만, 전극 패드(236 및 237)로부터 출력되는 1 화소분에 상당하는 신호의 다이내믹 레인지를, 더욱 확대할 수 있다.
- [0100] 이에 의해, 나노미터 오더의 보다 미세한 결함으로부터 수 마이크로미터 정도의 비교적 큰 결함에 이르기까지, 비교적 넓은 범위에 걸친 사이즈의 결함을 검출할 수 있다.
- [0101] 도 27A는, 도 13 내지 도 15와는 다른 구성의 검출부(102)의 배치를 모식적으로 도시하는 도면이다. 도 27A에 나타난 구성은, 시료 1에 대하여 화살표 2700으로 나타내는 경사 방향으로부터 도 1에 도시한 조명부(101)에 의

해 시료 1 위의 선 형상의 영역(2705)을 조명하고, 이 선 형상의 영역(2705)의 길이 방향에 대하여 직각인 방향 [시료 1 위의 선 형상의 영역(2705)을 예상하는 천구면의 자오선(2710) 위의 위치]으로 복수의 검출부(102)를 배치한 구성을 나타낸다. 복수의 검출부(102)는 각각 도 16에 도시한 바와 같은 광학계에 검출계(204)로서 도 18 내지 도 26 중 어느 하나에 나타난 구성의 것을 사용하여 구성되어 있다. 도 27A에 있어서, 렌즈(2011 내지 2014)는 도 16에 나타난 검출부(102)의 대물 렌즈(201)에 상당한다. 이하의 설명에 있어서는, 간소화하기 위해서, 도 16의 검출계(204)에 대해서는 도 18에 나타난 구성을 사용하고, 도 18의 어레이 센서(224)에 대해서는 도 19에 나타난 구성의 어레이 센서(224)를 사용한 경우에 대하여 설명하지만, 도 22A 내지 도 26에 도시한 바와 같은 구성에 대해서도 마찬가지로 적용할 수 있다.

[0102] 시료 1 위의 선 형상의 조명 영역(2705)에 대하여 복수의 검출부(102)를, 각각의 대물 렌즈(2011 내지 2014)를 도 27A에 도시한 바와 같은 방향으로 배치함으로써, 시료 1 위의 선 형상의 조명 영역(2705)에 결함이 존재할 경우에, 각 검출부(102)에서 그 결함으로부터의 산란광에 의한 광학상을 어레이 센서(224)의 APD 화소 위에 결상시킬 수 있으므로, 도 18에서 설명한 것과 같은, S1 방향으로서는 비교적 길고, S2 방향으로서는 결상된 산란광을 검출할 수 있다.

[0103] 시료 1 위의 선 형상의 조명 영역(2705)에 결함이 존재하는 경우에 그 결함으로부터의 산란광에 의한 광학상을 이렇게 배치된 각 검출부(102)의 어레이 센서(224)로 검출했을 때에, 각 검출부(102)의 어레이 센서(224)로부터는 각각, 도 28A에 도시한 바와 같은 신호가 출력된다. 도 28A에서, 파형(2801)은 도 19에 나타난 어레이 센서(224)의 APD 화소열(232)에 접속하는 배선(234)과 연결되어 있는 패드부(235)로부터 출력되는 신호의 파형을 나타내고 있다. 파형(2811)은 도 19의 패드부(235n)로부터 출력되는 신호의 파형을 나타내고 있다.

[0104] 어레이 센서(224) 위에서 S2 방향으로 결상된 산란광을 검출하고 있으므로, 도 28A에서 부호 2801의 좌측, 및 부호 2811의 우측 영역에서는 산란광이 검출되지 않는다.

[0105] 도 27B에 나타난 구성은, 도 27A에 나타난 구성에, 시료 1 위의 선 형상의 조명 영역(2705)에 화살표 2700의 방향으로부터 조명광을 조사했을 때의 조명 영역(2705)으로부터의 전방 산란광을 렌즈(2706)로 집광하여 검출하기 위한 검출부를 추가한 것이다. 시료 1이 실리콘(Si)으로 형성되어 있는 경우에는, 일반적으로 전방 산란광에 결함의 정보가 많이 포함된다. 렌즈(2011 내지 2014)는 도 27A에서 설명한 것과 동일하고, 검출부(102)의 대물 렌즈(201)에 상당한다.

[0106] 전방 산란광을 집광하는 렌즈(2706) 앞에는, 화살표(2700)의 방향으로부터 조사된 조명광에 의한 시료 1 위의 선 형상의 조명 영역(2705)으로부터의 정반사광을 차광하기 위한 미러(2707)가 배치되어 있고, 렌즈(2706)에는 시료 1 위의 선 형상의 조명 영역(2705)으로부터의 정반사광이 입사되지 않도록 구성되어 있다. 미러(2707)는 반사된 정반사광이 렌즈(2011 내지 2014) 중 어느 곳으로도 입사되지 않는 방향으로 진행되도록 각도가 설정되어 있다. 미러(2707) 대신에 차광 패턴을 배치해도 된다.

[0107] 도 27B에 도시한 바와 같이 배치한 각 검출부(102)에서 검출한 신호 중, 렌즈(2011 내지 2014)를 통하여 검출했을 때의 어레이 센서(224)로부터 출력되는 신호 파형은 도 27A의 경우와 동일하게 도 28A에 도시한 바와 같은 신호 파형이 된다. 한편, 렌즈(2706)를 통하여 전방 산란광을 검출한 검출부(102)의 어레이 센서(224)로부터 출력되는 신호 파형은, 시료 1 위의 선 형상의 조명 영역(2705)의 길이 방향이 렌즈(2706)에 대하여 거리가 다르기 때문에, 어레이 센서(224) 위에서 S2 방향으로 결상시킬 수 없고 S2 방향으로도 넓어져 버려, 어레이 센서(224)로부터는, 폭넓은 신호가 출력된다.

[0108] 도 28B에는, 도 27B에 나타난 구성으로, 예를 들어 렌즈(2702)를 통하여 어레이 센서(224)로 검출한 신호와 렌즈(2706)를 통하여 어레이 센서(224)로 검출한 신호를 중첩한 신호의 예를 나타낸다. 렌즈(2702)를 통하여 검출된 신호(2801 내지 2811)는 도 28A에 나타난 것과 동일한 신호 파형인 것에 반해, 렌즈(2706)를 통하여 검출된 신호는, S2 방향으로 결상되어 있지 않으므로 S2 방향으로 넓어짐을 가지고, 파선(2812)으로 나타난 것과 같은 폭넓은 신호가 된다.

[0109] 도 29A에는, 도 12에 도시한 바와 같이 시료를 회전시키면서 반경 방향으로 이동시켜서 조명광을 시료 1 위에서 나선 형상으로 조사했을 때, 3 회전했을 때의 동일한 회전 각도 위치에서의 출력 신호 파형의 예를 나타내고 있다. 1 회전마다, 반경 방향의 이송 피치분만큼 반경 방향(R 방향)으로 어긋난 위치로부터의 산란광이 검출되고 있다. 본 예에 있어서는, 기판 1회전마다 반경 방향의 이송 피치는, 조명 영역(2705)(도 11에 부호 20)의 S2 방향의 길이보다도 짧게 하여 시료 1 위의 동일한 부위가 복수 회 검출되도록 하고 있다. 또한, 시료 1의 표면을 어레이 센서(224)에 투영했을 때의 APD 화소(231)의 S2 방향의 APD 화소행 피치의 정수배에 대하여 어긋난

양으로 설정하고 있다.

- [0110] 이와 같이, 시료 1 회전마다 조명 영역(2705)의 이송 피치를 APD 화소(231)의 S2 방향의 피치의 정수배에 대하여 어긋난 양으로 설정함으로써, 예를 들어 도 19에 있어서 최초의 회전 시에는 결함으로부터의 산란광상이 어레이 센서(224)의 APD 화소행(232)과 S2 방향에 인접하는 APD 화소행 사이에 결상되어, 어떠한 화소행이라도 검출되지 않은 경우에도, 시료 1이 1 회전하면, 조명 영역(2705)의 이송 피치가 어레이 센서(224) 위에서 S2 방향의 APD 화소행의 정수배가 아니므로, 결함으로부터의 산란광상은, 어느 하나의 APD 화소행 위에 결상된다. 이 반대의 케이스도 있을 수 있지만, 어떠한 경우에도, 결함 간과의 가능성을 저감할 수 있다.
- [0111] 또한, 조명광을 시료 1 위에서 나선 형상으로 조사하여 시료 1 위의 동일한 부위를 복수 회 검출하는 것은, 시료 1 위의 동일한 부위가 어레이 센서(224) 위의 다른 APD 화소행에서 검출되게 되어, APD 화소행 사이의 검출 감도의 편차를 평균화할 수 있다는 효과도 있다.
- [0112] 일반적으로, 시료 위의 결함으로부터의 산란광은 가우스 분포를 하고 있다고 하는 지식에 기초하여, 이 평균화된 파형으로부터 피크 위치(결함의 중심 위치)를 구할 수 있고, 화소의 정수배 피치 이송을 하는 경우에 비해, 보다 높은 정밀도로 피크 위치를 검출할 수 있다.
- [0113] 도 29B는, 시료 1 위를 회전시켜서 나선 형상으로 조명했을 때에, 도 27B의 구성에 있어서의 예를 들어 렌즈(2012)를 통하여 어레이 센서(224)로 검출한 신호와 렌즈(2706)를 통하여 어레이 센서(224)로 검출한 신호를 겹쳐서 표시한 2개의 신호 파형의 도면이다.
- [0114] 이 경우도, 도 29A와 마찬가지로 이송 피치로 설정함으로써, 도 29A에서 설명한 것과 마찬가지로, 평균화된 파형으로부터 피크 위치(결함의 중심 위치)를 보다 높은 정밀도로 검출할 수 있다.
- [0115] 또한, 결함의 산란 특성으로서 전방 산란광이 강한 정보 및 속보로의 산란광이 약한 결함의 경우, 렌즈(2706)를 통하여 어레이 센서(224)로 전방 산란광을 검출한 신호를 사용함으로써, 도 29A에 도시한 바와 같은 전방 산란광의 검출 신호를 사용하지 않는 경우에 비해 결함을 놓칠 가능성을 저감할 수 있다. 즉, 도 27B에 도시한 바와 같은 전방 산란광을 검출하는 광학계를 마련함으로써, 보다 다양한 결함의 검출에 대응할 수 있게 된다.
- [0116] <제2 실시예>
- [0117] 이어서, 도 30에, 제1 실시예에서 설명한 검출부(102)를, 도 1에 도시한 조명부(101)와는 다른 조명부를 사용한 검사 장치에 적용한 예를 나타낸다.
- [0118] 도 30에는, 조명부(3100), 검출부(3200) 및 렌즈(3210과 3220)를 구비한 검사 장치가 기재되어 있지만, 렌즈(3210과 3220)의 후단에도, 검출부(3200)와 마찬가지로 구성의 광학계를 구비하고 있다. 또한, 도 1에 도시한 것과 유사한 신호 처리부(3500), 제어부(3600), 입력부(3700) 및 표시부(3800)를 구비하고 있다. 도 30에 있어서, 검출부(3200)를 도 23B에 나타난 복수 화소 센서를 구비한 검출계(204)의 제2 변형예의 구성을 채용한 예에서 설명한다. 단, 본 실시예에서는, 검출부(3200) 및 렌즈(3210과 3220)의 후단에 구비한 복수 화소 센서를 구비한 검출계(204)의 구성은, 도 23B에서 설명한 구성에 한정되는 것은 아니고, 도 18, 도 23A 및 도 23D에서 설명한 구성을 채용해도 된다.
- [0119] 도 30에 나타난 구성에 있어서, 부호 3101은 조명광원이고, 제1 실시예의 경우와 마찬가지로, 단파장(파장 355 nm 이하)의 자외 또는 진공 자외의 레이저 빔을 발진한다. 부호 3102는 편광판이고, 조명광원(3101)으로부터 발진된 레이저 빔에 원하는 편광 특성을 부여한다. 부호 3103은 편광 빔 스플리터(Polarized Beam Splitter: PBS)이고, 편광판(3102)에서 원하는 편광 특성이 부여된 레이저 빔을 선택적으로 투과한다. 부호 3104는 복굴절 프리즘이고, PBS(3103)를 투과한 레이저 빔을 2 광속으로 분기하여 2개의 빔으로서 출사한다. 복굴절 프리즘(3104)에서 2개로 분기된 레이저 빔은, 1/2 파장판(3105)에서 편광의 진동 방향이 회전되고, 1/4 파장판(3106)에서 원 편광이 되어, 대물 렌즈(3107)를 투과하여 시료 1 표면의 약간 떨어진 영역(3001과 3002)을 동시에 조사한다.
- [0120] 2개로 분기된 레이저 빔이 조사된 시료 1 표면의 조금 떨어진 영역(3001과 3002)으로부터 상방으로 반사·산란된 광 중 대물 렌즈(3107)로 입사한 광은, 1/4 파장판(3106)을 투과하여 직선 편광이 되고, 1/2 파장판(3105)을 투과한 후, 복굴절 프리즘(노멀 스킵 프리즘)(3106)에 입사하고 합성되어서 1 광속이 된다. 이 하나로 합성된 광속은 PBS(3103)에 입사하고, 시료 1로부터 반사·산란된 광 중 특정한 편광 성분의 광(예를 들어, P 편광 성분)은 PBS(3103)에 의해 검출부(3200) 방향으로 반사된다.
- [0121] 검출부(3200)의 방향으로 반사된 광은, 결상 렌즈(3201)에 입사하고, 대물 렌즈(3107)와 결상 렌즈(3201)에 대

하여 시료 1의 표면과 공액인 면(3202)[도 23B의 시료 공액면(205)에 상당]에 배치된 차광 슬릿(3203)을 통과한다. 차광 슬릿(3203)을 통과한 광은, 도 23B에 나타난 광학계와 동일하게 구성된 집광 렌즈(3204), 원통형의 플라이아이 렌즈(3205), 1축 방향으로 집광하는 1축 결상계(3206)에 의해 어레이 센서(3207) 위에 S2 방향으로 결상되고, S1 방향으로서는 폭을 갖는 광으로서 투영된다. 어레이 센서(3207)는 도 23B에서 설명한 어레이 센서(224)와 동일하다.

[0122] 여기서, 시료 1 표면의 조명광이 조사된 영역(3001)과 영역(3002) 사이에 약간의 단차가 있었을 경우, 영역(3001)에 입사하여 반사된 광과 영역(3002)에 입사하여 반사된 광 사이에는 광로 길이에 차가 발생한다. 이렇게 광로 길이에 차를 가진 광이 복굴절 프리즘(3106)에 의해 합성되면 간섭이 발생한다. 이 간섭한 광에 의한 시료 1로부터의 반사광상이 시료 1의 표면과 공액인 면(3202)에 결상되고, 어레이 센서(3207) 위에 S2 방향으로 결상되고, S1 방향으로서는 폭을 갖는 광으로서 투영된다.

[0123] 이 어레이 센서(3207) 위에 투영된 시료 1의 미분 간섭광의 상을 검출한 신호를 처리함으로써, 시료 1 위의 미소한 단차를 검출할 수 있다.

[0124] 한편, 대물 렌즈(3107)를 통하여 조명된 영역(3001)과 영역(3002)으로부터 대물 렌즈(3210)의 방향으로 산란한 광은, 대물 렌즈(3210)에 의해 집광되어, 대물 렌즈(3210)의 후단에 배치된 도 16에 나타난 검출부(102)와 동일한 구성의 검출 광학계(3211)에서 검출된다. 검출 광학계(3211)의 구성은, 도 16 및 도 23B에 나타난 한 것과 동일하므로, 설명을 생략한다.

[0125] 마찬가지로, 대물 렌즈(3107)를 통하여 조명된 영역(3001)과 영역(3002)으로부터 대물 렌즈(3220)의 방향으로 산란한 광은, 대물 렌즈(3220)에서 집광된 뒤, 대물 렌즈(3220)의 후단에 배치된 도 16에 나타난 검출부(102)와 동일한 구성의 검출 광학계(3221)에서 검출된다. 검출 광학계(3221)의 구성은, 도 16 및 도 23B에 나타난 한 것과 동일하므로, 설명을 생략한다.

[0126] 신호 처리부(3500)에서는, 검출부(3200)의 어레이 센서(3207)로부터 출력된 신호를 받아서 처리하여 시료 1 위의 미세한 단차를 검출한다. 또한, 대물 렌즈(3210)를 통하여 검출 광학계(3211)에서 검출된 산란의 검출 신호와 대물 렌즈(3220)를 통하여 검출 광학계(3221)에서 검출된 산란의 검출 신호는, 각각 신호 처리부(3500)에 입력하여 처리되어, 시료 1 위의 결함이 검출된다.

[0127] 표시부(3800)에는, 신호 처리부(3500)에서 검출한 시료 1의 미소한 단차와 결함의 정보가 웨이퍼 위의 위치 정보와 함께 표시된다.

[0128] 또한, 본 발명은 상기한 실시예에 한정되는 것은 아니며, 여러 가지 변형예가 포함된다. 예를 들어 상기한 실시예에는 본 발명을 이해하기 쉽게 설명하기 위하여 상세하게 설명한 것이며, 반드시 설명한 모든 구성을 구비하는 것에 한정되는 것은 아니다. 또한, 어떤 실시예의 구성의 일부를 다른 실시예의 구성으로 치환하는 것이 가능하고, 또한 어떤 실시예의 구성에 다른 실시예의 구성을 더하는 것도 가능하다. 또한, 각 실시예의 구성 일부에 대해서, 다른 구성의 추가·삭제·치환을 할 수 있다.

부호의 설명

[0129] 2 : 레이저 광원

5 : 빔 익스팬더

6 : 편광 제어부

7 : 조명 강도 분포 제어부

24 : 조명 강도 분포 모니터

53 : 제어부

54 : 표시부

55 : 입력부

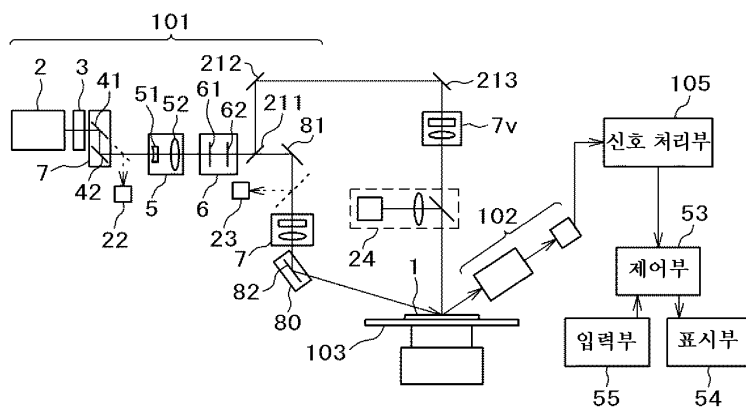
101 : 조명부

102 : 검출부

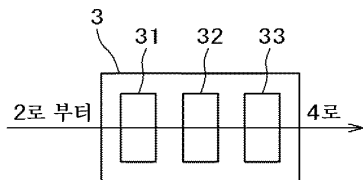
- 103 : 스테이지부
 105 : 신호 처리부
 201 : 대물 렌즈
 202 : 편광 필터
 203 : 결상 렌즈
 204 : 복수 화소 센서를 구비한 검출계
 224, 2241, 2242, 2243 : 어레이 센서

도면

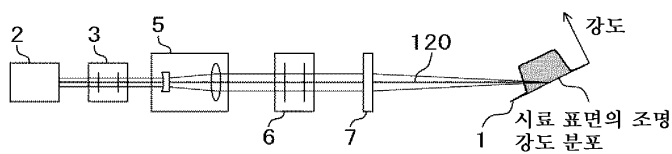
도면1a



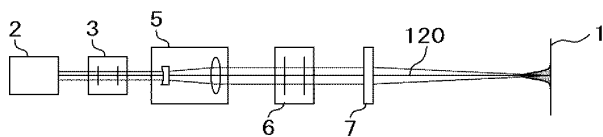
도면1b



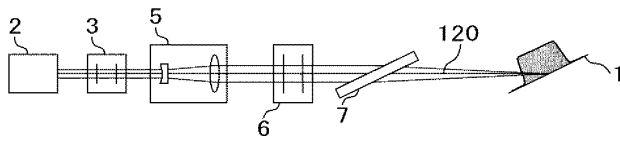
도면2



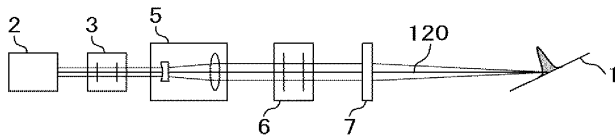
도면3



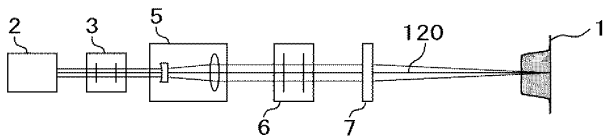
도면4



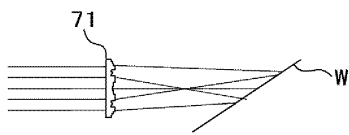
도면5



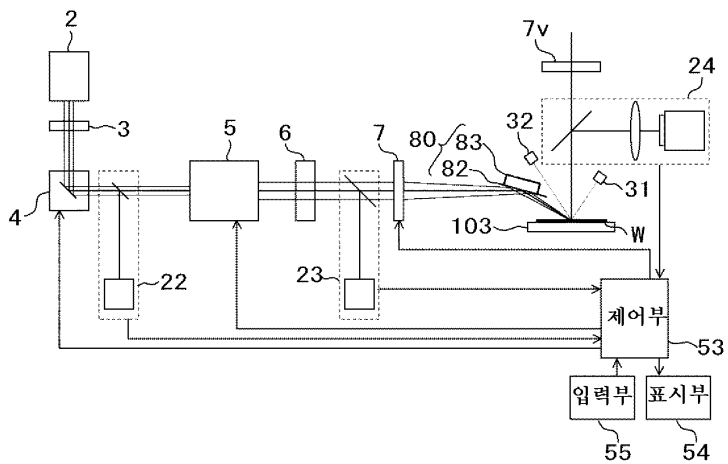
도면6



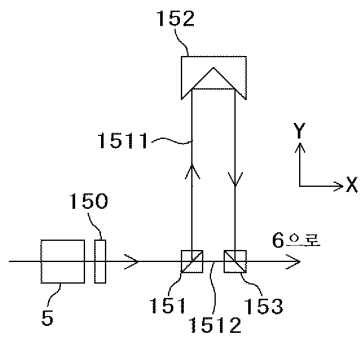
도면7



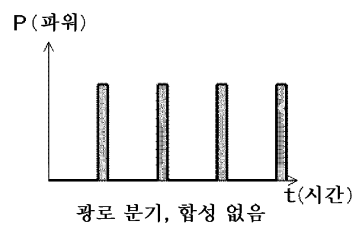
도면8



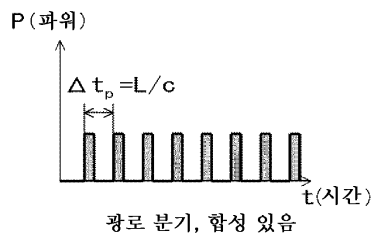
도면9



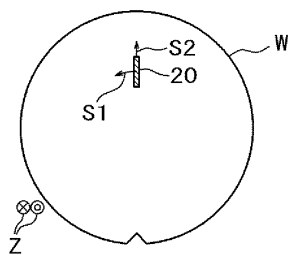
도면10a



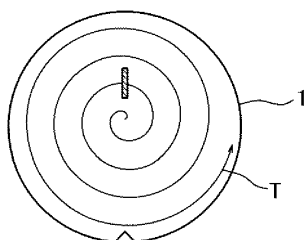
도면10b



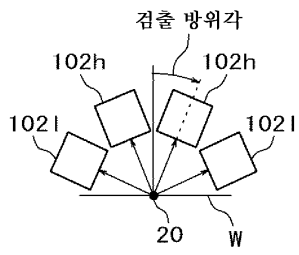
도면11



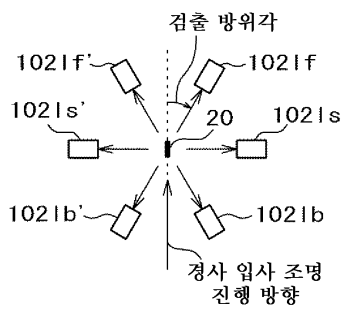
도면12



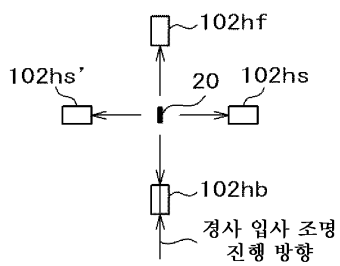
도면13



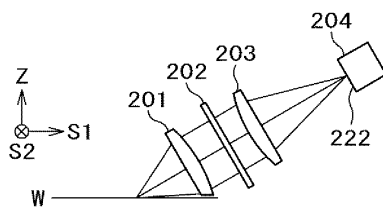
도면14



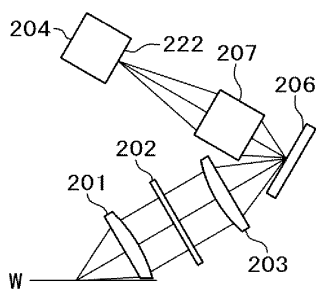
도면15



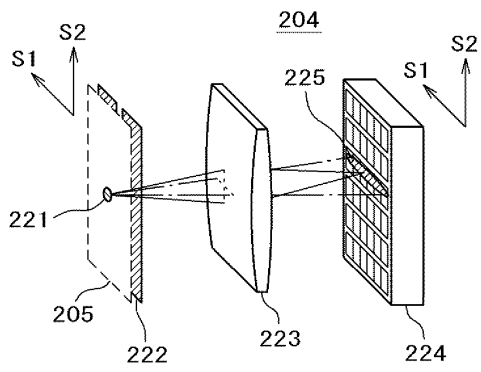
도면16



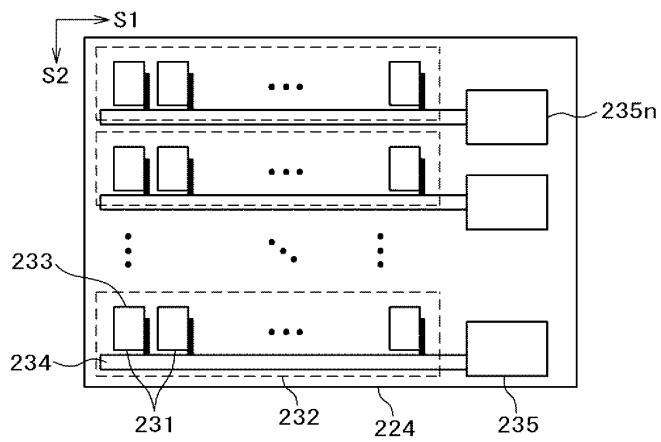
도면17



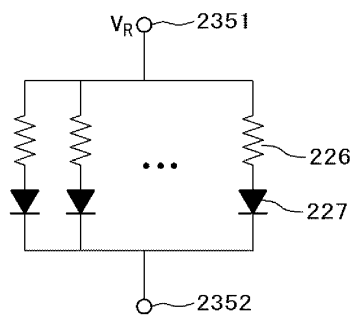
도면18



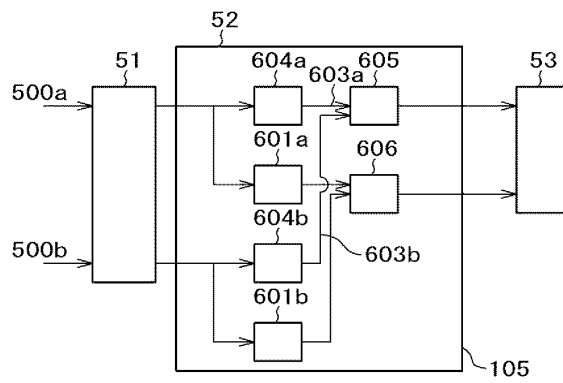
도면19



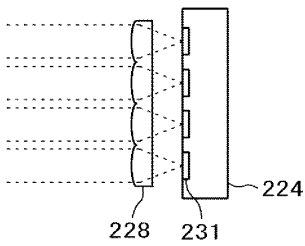
도면20



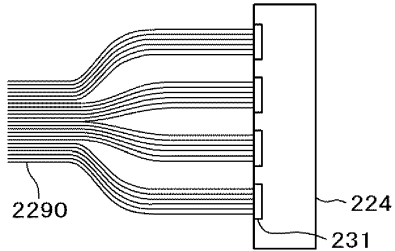
도면21



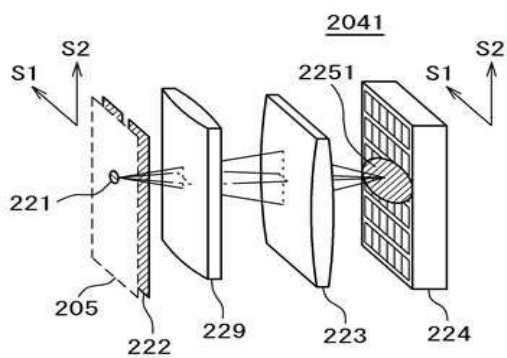
도면22a



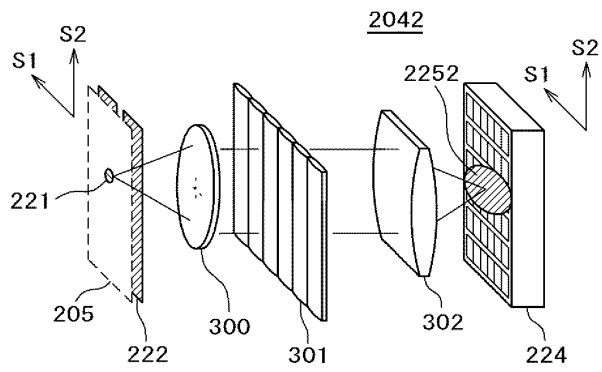
도면22b



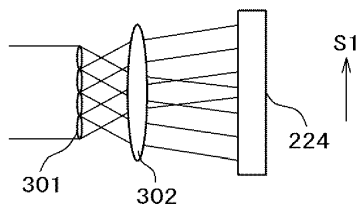
도면23a



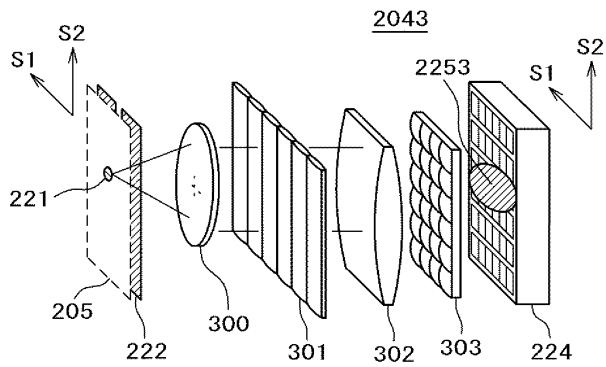
도면23b



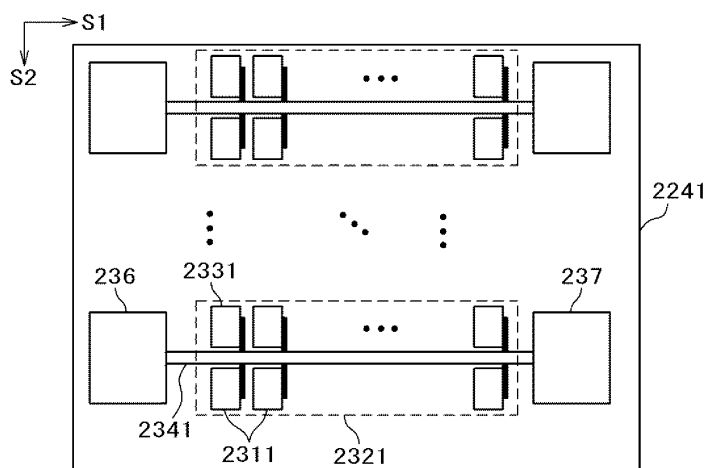
도면23c



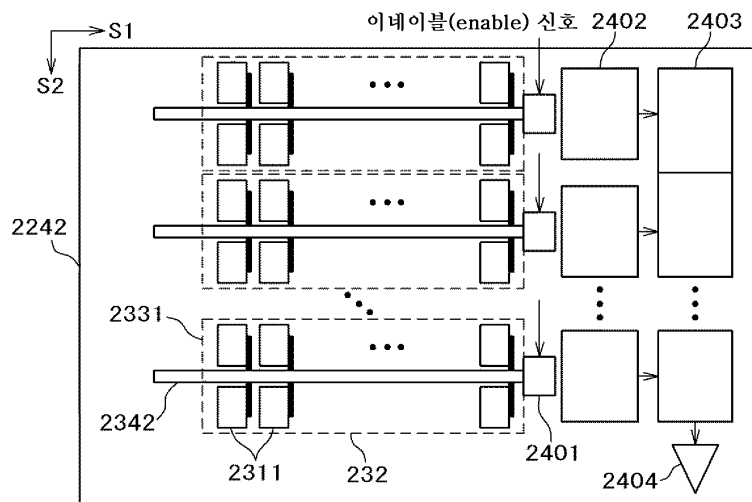
도면23d



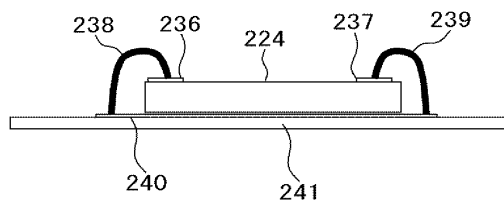
도면24a



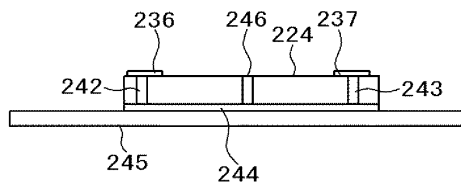
도면24b



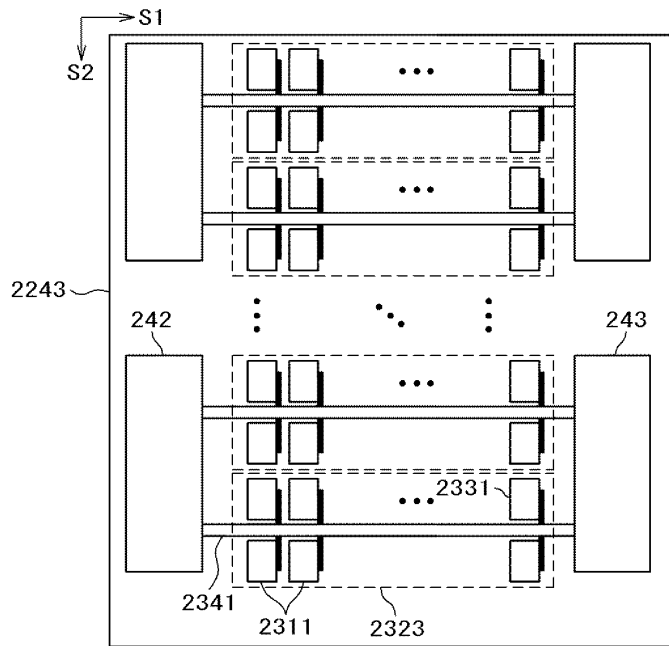
도면25a



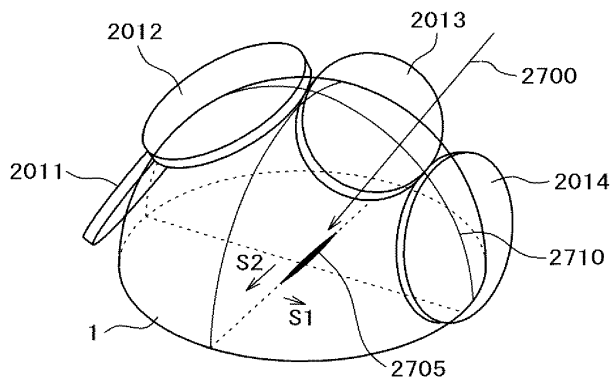
도면25b



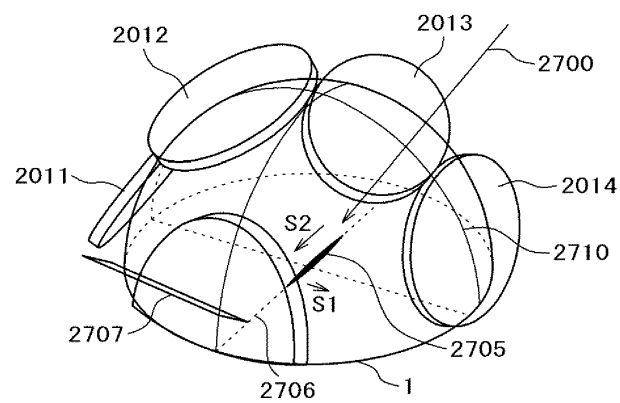
도면26



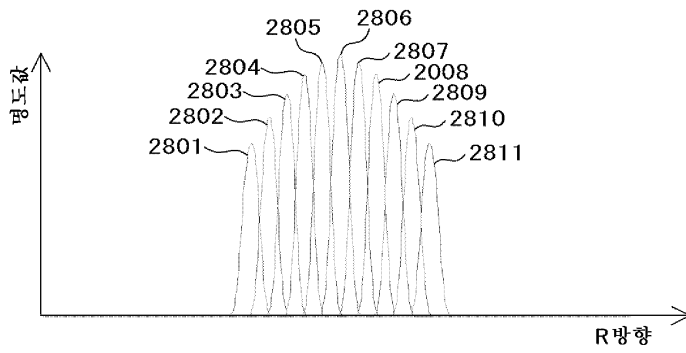
도면27a



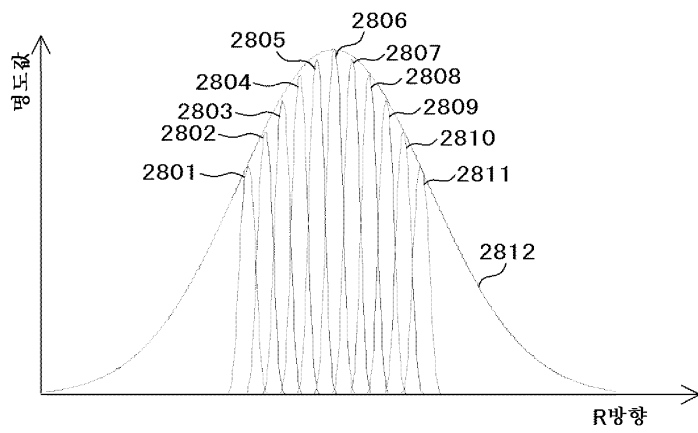
도면27b



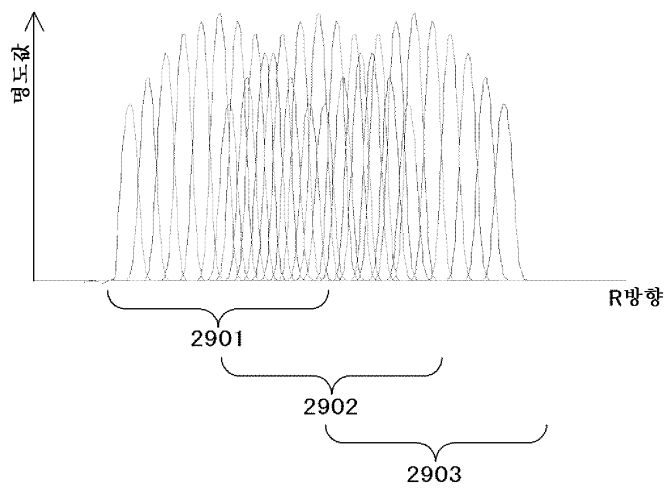
도면28a



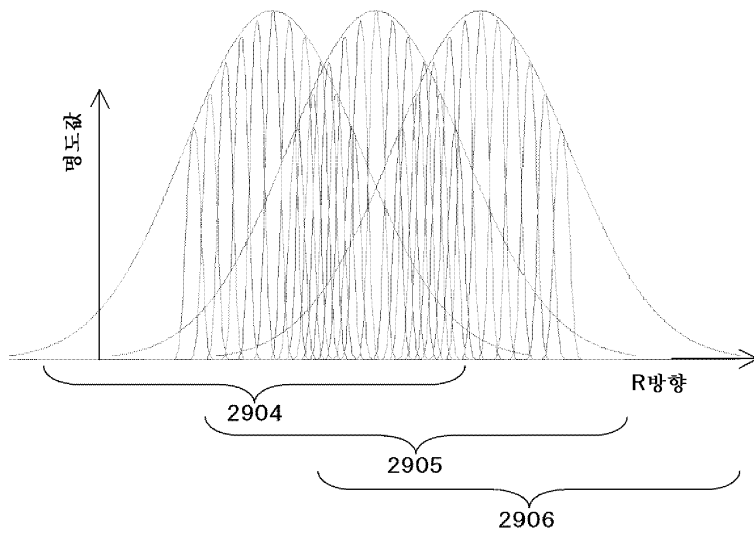
도면28b



도면29a



도면29b



도면30

