(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0090315
(43) 공개일자 2025년06월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/22 (2006.01) *G01N 23/2251* (2018.01)
H01J 37/244 (2006.01) *H01J 37/28* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01J 37/222 (2024.08)
G01N 23/2251 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2025-7015794
(22) 출원일자(국제) 2022년12월15일
심사청구일자 2025년05월14일
(85) 번역문제출일자 2025년05월14일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2022/046201
(87) 국제공개번호 WO 2024/127586
국제공개일자 2024년06월20일

(71) 출원인
주식회사 히타치하이테크
일본국 도쿄토 미나토쿠 토라노몬 1쵸메 17방 1고
(72) 발명자
시라사끼 야스히로
일본 1008280 도꾜 지요다꾸 마루노우찌 1쪼메 6-6 가부시키가이샤 히타치 세이사쿠쇼 내
즈노 나쯔끼
일본 1008280 도꾜 지요다꾸 마루노우찌 1쪼메 6-6 가부시키가이샤 히타치 세이사쿠쇼 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
장수길, 박상돈, 이중희

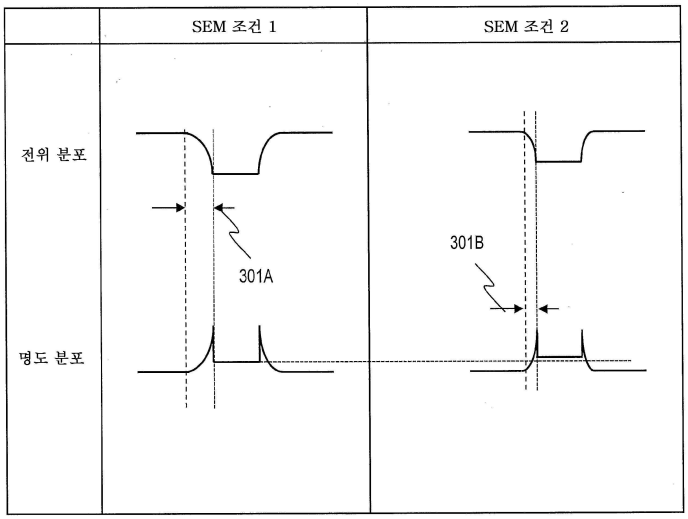
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 **하전 입자선 장치 및 시료의 특성을 추정하는 방법**

(57) 요 약

하전 입자선 장치는, 하전 입자선을 시료에 조사하는 하전 입자원과, 하전 입자선의 조사에 의해 시료로부터 발생하는 2차 전자를 검출하는 검출기와, 하전 입자선을 편향하는 편향기와, 시료에 있어서의 하전 입자선의 조사 위치 정보와 검출기의 검출 강도로부터 화상을 생성하는 화상 처리 장치를 포함한다. 화상 처리 장치는, 시료의 다른 대전 상태에 있어서의 시료의 화상을 취득하고, 취득한 화상 각각에 있어서, 다른 재료의 영역의 경계에 발생하는 특징 형상의 특징량을 측정하고, 특징량에 기초하여 시료의 전기 또는 재료 특성을 추정한다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
H01J 37/244 (2020.05)
H01J 37/28 (2020.05)
H01J 2237/2803 (2013.01)
(72) 발명자
우찌호 미나미
일본 1008280 도꾜 지요다꾸 마루노우찌 1쪼메 6-6
가부시키가이샤 히타치 세이사쿠쇼 내
사까끼바라 마꼬또
일본 1056409 도꾜 미나또꾸 도라노몬 1쪼메 17-1
주식회사 히타치 하이테크 내
야찌 가즈후미
일본 1056409 도꾜 미나또꾸 도라노몬 1쪼메 17-1
주식회사 히타치 하이테크 내

명 세 서

청구범위

청구항 1

하전 입자선을 시료에 조사하는 하전 입자원과,

상기 하전 입자선의 조사에 의해 상기 시료로부터 발생하는 2차 전자를 검출하는 검출기와,

상기 하전 입자선을 편향하는 편향기와,

상기 시료에 있어서의 상기 하전 입자선의 조사 위치 정보와 상기 검출기의 검출 강도로부터 화상을 생성하는 화상 처리 장치

를 포함하고,

상기 화상 처리 장치는,

상기 시료의 다른 대전 상태에 있어서의 상기 시료의 화상을 취득하고,

상기 취득한 화상 각각에 있어서, 다른 재료의 영역의 경계에 발생하는 특징 형상의 특징량을 측정하고,

상기 특징량에 기초하여, 상기 시료의 전기 특성 또는 재료 특성을 추정하는, 하전 입자선 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 취득한 화상은, 상기 하전 입자선의 다른 조사 조건에 있어서의 상기 시료의 화상인, 하전 입자선 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

광을 상기 시료에 조사하는 광원을 더 포함하고,

상기 취득한 화상은, 상기 하전 입자선 및 상기 광의 적어도 한쪽의 조사 조건이 다른, 다른 조사 조건에 있어서의 상기 시료의 화상인, 하전 입자선 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 특징량은, 상기 특징 형상의, 폭, 기울기, 2차 미분, 면적, 진원도 및 피트식의 피트 파라미터 중 적어도 하나를 포함하는, 하전 입자선 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 특징량은 상기 취득한 화상 각각에 있어서의, 복수 특징 형상 간의 거리인, 하전 입자선 장치.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 하전 입자선의 조사 조건은, 상기 시료에 조사하는 상기 하전 입자선의 펄스 주기 및 조사 시간의 적어도 한쪽인, 하전 입자선 장치.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 하전 입자선의 조사 조건은, 상기 시료에 조사하는 상기 하전 입자선의 펄스 주기 및 조사 시간의 적어도 한쪽인, 하전 입자선 장치.

청구항 8

제3항에 있어서,

상기 광의 조사 조건은, 상기 광의 조사의 유무인, 하전 입자선 장치.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 시료의 전기 특성 또는 재료 특성은, 저항값, 용량값, 저항률, 밴드 오프셋, 및 도펀트 농도 중 적어도 하나를 포함하는, 하전 입자선 장치.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 화상 처리 장치는, 유저에 의해 지정된 모델과 상기 특징량과의 비교 결과에 기초하여 상기 시료의 전기 특성 또는 재료 특성을 추정하는, 하전 입자선 장치.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 화상 처리 장치는, 상기 다른 대전 상태 각각의 상기 특징량을 그래프에 있어서 표시하는, 하전 입자선 장치.

청구항 12

다른 재료의 영역을 포함하는 시료의 특성을 추정하는 방법이며,

다른 대전 상태의 시료 위에서 하전 입자선을 주사시킴으로써 발생하는 2차 전자로부터, 상기 다른 대전 상태 각각의 상기 시료의 화상을 생성하고,

상기 화상 각각에 있어서, 다른 재료의 영역의 경계에 발생하는 특징 형상의 특징량을 측정하고,

상기 다른 대전 상태의 상기 화상의 상기 특징량에 기초하여, 상기 시료의 전기 특성 또는 재료 특성을 추정하는, 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 다른 대전 상태의 화상은, 상기 하전 입자선의 다른 조사 조건에서 생성되는, 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 다른 대전 상태의 화상은, 상기 하전 입자선 및 광의 적어도 한쪽의 조사 조건이 다른, 다른 조사 조건에서 생성되는, 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 시료에 대해서 하전 입자 빔을 조사하는 하전 입자선 장치 및 시료의 특성을 추정하는 방법에 관한 것이다. 특히, 시료의 전기 특성 또는 재료 특성을 검사하는 검사 방법 및 하전 입자선 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 하전 입자선 장치, 예를 들어 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscope, 이하 SEM으로 약기함)은 집속한 전자선에 의해 나노미터 오더의 미세 패턴을 식별할 수 있다. SEM의 관찰법의 하나로 전위 콘트라스트법이 있다. 전위 콘트라스트는 시료의 표면의 전위의 차를 반영한 콘트라스트이며, 시료의 도전성을 반영하고 있다. 이 전위 콘트라스트법을 이용한 반도체 디바이스의 전기 특성 불량을 검사하는 기술이 실용화되고 있다. 전기 특성 불량의 검사에서는, SEM 화상 위의 배선이나 플러그 등의 패턴의 명도를 사용하여 불량 개소를 특정한다.

[0003] 명도란 하전 입자선 장치로 취득한 화상 또는 화소의 신호 밝기의 정도임을 나타내고, 휘도라고 하는 경우도 있다. 예를 들어, 도전성이 높은 패턴에서는 전자선 조사 시의 전위가 상대적으로 낮아지기 때문에, 명도는 높아지고, 도전성이 낮은 패턴에서는 전위가 높아지기 때문에, 명도는 낮아진다. 따라서 화상의 명도 차로부터 도전성이 다른 결함부를 검출할 수 있다. 전위 콘트라스트법에 의한 전기 특성 불량을 검사하는 기술로서, 특허문헌 1에는, 전자선을 사용한 검사 장치에 있어서, 검사 특성에 따른 작용 빔 조사 조건화하에서 화상 취득함으로써 치수, 재료 및 전기 특성을 측정하는 방법이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 국제 공개 제2022/059202호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 전위 콘트라스트법을 이용하는 전기 특성 검사에서는, 측정 대상으로 하는 플러그나 배선을 구성하는 도체, 또는 그것들의 층간막을 구성하는 유전체의 전기적 결함이 SEM 관찰 시의 시료 전위에 영향을 미치고 SEM 상(像) 위에서 명도차로 나타날 필요가 있다.

[0006] 그러나, 측정 대상의 저항값이 너무 작은 경우, SEM 관찰 시의 전기적 결함의 유무에 의한 시료 전위의 변화가 작기 때문에 SEM 상 위의 명도 변화로서 검출하는 것이 곤란하다. 또한, 유전막과 같이 반대로 저항값이 너무 큰 경우, SEM 관찰 시의 시료 전위가 높고 SEM 상 위의 명도 변화가 포화되어 버려 검출 감도를 얻지 못한다. 즉, SEM 관찰 시의 시료 전위 변화가 너무 작거나 또는 너무 큰 측정 대상의 경우, 전위 콘트라스트법에서는 전기적 결함에 대한 감도가 낮다. 따라서, 시료의 특성을 고감도로 검사하는 기술이 요망된다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 명세서의 일 형태에 따른 하전 입자선 장치는, 하전 입자선을 시료에 조사하는 하전 입자원과, 상기 하전 입자선의 조사에 의해 상기 시료로부터 발생하는 2차 전자를 검출하는 검출기와, 상기 하전 입자선을 편향하는 편향기와, 상기 시료에 있어서의 상기 하전 입자선의 조사 위치 정보와 상기 검출기의 검출 강도로부터 화상을 생성하는 화상 처리 장치를 포함하고, 상기 화상 처리 장치는, 상기 시료의 다른 대전 상태에 있어서의 상기 시료의 화상을 취득하고, 상기 취득한 화상 각각에 있어서, 다른 재료의 영역의 경계에 발생하는 특징 형상의 특징량을 측정하고, 상기 특징량에 기초하여, 상기 시료의 전기 특성 또는 재료 특성을 추정한다.

발명의 효과

[0008] 본 명세서의 일 실시예에 의하면, 시료의 전기 또는 재료 특성을 고감도로 검사할 수 있다. 그 밖의 과제와 신규한 특징은, 본 명세서의 기술 및 첨부 도면으로부터 밝혀질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 관찰 시료의 패턴 예 및 그 SEM 화상(모식도)이다.

도 2a는 제3 영역이 발생하는 메커니즘을 설명하기 위한 도면이다.

도 2b는 제3 영역이 발생하는 메커니즘을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 도 1의 시료를 2개의 다른 촬상 조건에서 관찰한 경우의 전위 분포와 그에 수반되는 SEM 화상의 명도 분

포이다.

도 4a는 실시예 1의 하전 입자선 장치의 장치 구성예이다.

도 4b는 실시예 1의 하전 입자선 장치의 장치 구성예이다.

도 5는 실시예 1에 있어서의 전기 특성 계측의 일례를 나타내는 흐름도이다.

도 6은 실시예 1의 촬상 조건 설정을 행하는 GUI(Graphical User Interface)의 일례이다.

도 7은 실시예 1에 있어서의 2개의 다른 촬상 조건이다.

도 8a는 실시예 1의 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

도 8b는 실시예 1의 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

도 8c는 실시예 1의 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

도 8d는 실시예 1의 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

도 8e는 실시예 1의 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

도 8f는 실시예 1의 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

도 8g는 실시예 1의 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

도 9a는 SEM 상의 명도 프로파일로부터 형상을 나타내는 특징량의 추출 방법이다.

도 9b는 SEM 상의 명도 프로파일로부터 형상을 나타내는 특징량의 추출 방법이다.

도 10은 실시예 2의 하전 입자선 장치의 장치 구성예이다.

도 11a는 실시예 2의 촬상 조건 설정 및 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

도 11b는 실시예 2의 촬상 조건 설정 및 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

도 12는 반도체와 유전체의 계면의 에너지 오프셋 측정에 사용하는 메커니즘을 설명하기 위한 도면이다.

도 13a는 실시예 3의 촬상 조건 설정 및 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

도 13b는 실시예 3의 촬상 조건 설정 및 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

도 14는 실시예 4에 있어서의 관찰 시료 및 그 SEM 화상(모식도)이다.

도 15a는 실시예 4의 촬상 조건 설정 및 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

도 15b는 실시예 4의 촬상 조건 설정 및 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

도 15c는 실시예 4의 촬상 조건 설정 및 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

도 15d는 실시예 4의 촬상 조건 설정 및 결과를 표시하는 GUI의 일례이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 이하, 실시예에 대하여 도면을 참조하면서 설명한다. 도면에 있어서, 동일한 부분에는 동일한 참조 번호를 부여하고, 그 중복 설명은 적절히 생략한다. 첨부의 도면은, 각각 발명의 설명과 그 이해를 촉구하기 위한 것이며, 각 도면에 있어서의 형상이나 치수, 비 등은 실제의 장치와 다른 개소가 있다는 점에 유의하기 바란다.

[0011] 반도체 디바이스는, 도전성을 갖는 금속이나 반도체의 패턴과 전기적으로 절연된 유전체 영역을 포함하여 구성되어 있다. 금속이나 반도체의 패턴과 접하는 유전체 영역의 경계는 패턴의 전위와 동전위이기 때문에, 유전체 영역에 전위 구배가 발생한다. 즉, 패턴의 전위는, 금속이나 반도체의 패턴과 접하는 유전체 영역에도 반영된다.

[0012] 유전체의 2차 전자 방출량은 전위에 따라서 변화한다는 점에서, 패턴 전위에 의존하는 유전체 영역 내의 전위 구배는, SEM(Scanning Electron Microscope) 상 위의 명도 프로파일로서 계측할 수 있다. 즉, 패턴과 유전체의 경계에 있어서의 SEM 상 위의 명도 프로파일의 형상(특징 형상)을 해석함으로써 패턴의 전위를 산출하고 고감도의 전기 특성 또는 재료 특성의 검사가 가능해진다.

[0013] **실시예 1**

[0014] 이하의 실시예에서는 하전 입자 빔으로서 전자선을 사용하는 예를 나타낸다. 단, 대전을 시료에 형성 가능한 하전 입자 빔이면 전자선으로 한정되지는 않는다. 전자선의 시료에 대한 조사에 의해 시료로부터 신호 전자가 방출된다. SEM은, 전자선을 시료 위에서 주사시켜, 시료로부터의 신호 전자를 검출함으로써 시료 표면을 화상화한다. 이에 의해 얻어지는 화상을 SEM 화상이라 칭한다.

[0015] 도 1에 검사하는 시료(100)의 예를 나타낸다. 도 1은 시료(100)의 단면도, 상면도 및 SEM으로 취득한 SEM 화상이다. 또한, 단면도는 상면도의 AA'선을 따른 단면을 나타내고 있다. 시료(100)는 텅스텐으로 구성된 콘택트 플러그(102)가 SiO_2 등의 유전체가 성막된 층간막(101)에 둘러싸이도록 형성되어 있다.

[0016] 콘택트 플러그(102)와 그 아래의 웨이퍼 기판(103)의 사이에는 얇은 층간막(101)이 있기 때문에, 웨이퍼에 대한 콘택트 플러그(102)의 저항은 층간막(101)의 두께에 따라 >100kΩ의 값이 된다. 이 저항값 R_0에는 사양이 있으며, 예를 들어 1MΩ인 것이 바람직하다. 예를 들어, 저항값 R_0이 사양값과 10% 이상 다른 경우를 불량이라고 판단한다.

[0017] 시료(100)의 SEM 화상(110)에는, 3개의 영역이 존재한다. 제1 영역(111)과 제2 영역(112)은 각각 층간막(101)과 콘택트 플러그(102)에 대응한다. 제3 영역(113)은 제1 영역(111)과 제2 영역(112)의 경계에 존재하고, 경계로부터 제1 영역(111)으로 넓어지는 제1 영역의 일부이다.

[0018] 종래의 전위 콘트라스트법에서는, 제2 영역(112)의 명도로부터 SEM 관찰 시의 전자선 조사에 의해 대전하는 콘택트 플러그(102)의 전위를 추정하고, 웨이퍼 기판(103)에 대한 저항값 R_0을 산출 또는 비교 대상과의 대소를 판단한다. 그러나, 저항값 R_0의 차이에 의한 제2 영역(112)의 명도 변화는 작고 저항값 R_0의 측정 감도가 낮은 경우가 있다. 그 때문에, 더욱 높은 감도로 저항값 R_0을 측정하는 수법이 요망된다. 본 명세서의 일 실시예에서는, 제3 영역(113)이 저항값 R_0에 의존하는 것에 착안하여, 제3 영역(113)의 특징 형상으로부터 저항값 R_0을 산출한다.

[0019] 도 2a 및 도 2b를 이용하여 SEM 화상에 있어서 제3 영역(113)이 발생하는 메커니즘을 설명한다. 도 2a에, 시료(100)의 단면도와 그에 대응한 SEM 촬상 시의 표면의 전위 분포, SEM 화상 위의 명도 분포를 나타낸다. 도 2b에, 전기 회로적인 회로 모델의 예를 나타낸다. 회로 모델은, 시료(100)의 대표적인 위치 6점과 그것들의 전기적인 관계를 나타낸다.

[0020] 위치(201A 내지 204A)는 층간막(101)의 표면, 위치(205A)는 콘택트 플러그(102)의 표면, 위치(206A)는 웨이퍼 기판(103)에 위치한다. 노드(201B 내지 206B)는 위치(201A 내지 206A)에 대응하는 회로의 노드이다. 저항 R_1은 도시한 노드 간의 저항이며, 층간막(101)의 저항률 ρ_1과 위치(201A 내지 204A)의 좌표로부터 산출된다. 층간막(101)의 전기적 특성을 나타내는 데는, 시트 저항을 사용해도 된다. 여기에서는, 노드 간의 절연막의 거리를 일정하게 하고, 노드(201B 내지 205B) 간의 저항은 동일한 값인 저항 R_1이라고 근사하였다. 저항 R_0은, 콘택트 플러그(102)와 웨이퍼 기판(103) 사이의 저항이며, 사이에 끼워진 층간막(101)과 콘택트 플러그(102)의 저항값을 포함한다. 노드(201B 내지 205B)에 접속되어 있는 전류원은 위치(201A 내지 205A)에 전자선을 조사했을 때에 흐르는 전류를 나타내는 것이다.

[0021] 플러그 전위에 대응하는 노드(205B)의 전위에 대하여 노드(203B 및 204B)의 전위는 높고, 콘택트 플러그(102)로부터 먼 노드(201B 및 202B)의 전위는 더욱 높다. 즉, 시료(100)의 표면의 전위는 전위 분포(207)가 되고, 콘택트 플러그(102)의 외측에서 전위가 변화하는 영역이 있다. 전위 분포(207)에 있어서 취득하는 SEM 화상의 명도 분포는 명도 분포(208)가 된다.

[0022] 유전체의 2차 전자 방출량은 도체보다 많기 때문에, 콘택트 플러그(102)에 인접하는 층간막(101)의 명도는 콘택트 플러그(102)의 명도보다 높다. 콘택트 플러그(102)로부터 이격된 위치의 층간막(101)은 저항 R_1에 기초하는 저항에 의해 전위가 높아진다. 유전체는, 전위가 높아지면 2차 전자가 시료로 되돌아가기 때문에, SEM 화상의 명도가 낮아진다. 시료 전위와 2차 전자 검출률의 관계성으로부터, 전위 분포(207)에 대응하는 SEM 화상의 명도 분포는 명도 분포(208)가 된다.

[0023] 콘택트 플러그(102)의 외측의 명도가 밝은 영역이 제3 영역(113)이다. 제3 영역(113)의 명도 및 그 특징 형상

은, 저항값 R_1, 저항값 R_0, SEM의 전자선 전류 등에 의존한다. 저항값 R_1, 전자선 전류, 시료 전위와 SEM 화상의 명도의 관계가 기지이면, 제3 영역(113)의 특징 형상으로부터 저항값 R_0을 추정할 수 있다. 그러나, 종래 SEM과 마찬가지로, 특징 형상은 상기 전기적인 요인뿐만 아니라 콘택트 플러그(102)의 플러그 형상 등의 형상적인 요인에도 의존한다.

[0024] 전기적인 요소만을 추출하기 위해서는 형상적인 요인을 차감할 필요가 있다. 그 때문에, 본 실시예가 목적으로 하는 전기적인 특성을 추출하기 위해서는 2개 이상의 전위 분포(207)에 있어서의 제3 영역(113)의 특징 형상 해석이 필요하다.

[0025] 도 3에 2개의 다른 SEM 촬상 조건에 있어서 발생하는 명도 분포를 나타낸다. SEM 조건 2에서는, SEM 조건 1보다 콘택트 플러그(102)의 대전량이 많이 전위가 높다. 그 결과, SEM 조건 1에 있어서의 제3 영역의 폭(301A)은 SEM 조건 2에 있어서의 제3 영역의 폭(301B)보다 넓다. 이 차분은 시료의 전기 특성을 반영하고 있으며, 도 2의 회로 모델에 기초하여 해석함으로써 저항값 R_0을 산출할 수 있다.

[0026] 또한, 본 실시예에서 나타낸 회로 모델은 간이 모델이기 때문에 시료(100) 표면을 따른 저항값을 하나의 값, 저항값 R_1로 나타내었지만, 시료 형상이나 위치의 선택에 맞춰서 다른 저항값을 이용함으로써 측정 정밀도를 향상시킬 수 있다. 또한, 계산에 사용하는 시료 위의 위치 및 회로 노드는 5개보다 많아도 적어도 된다. 회로 모델에는, 이산적인 위치의 전위가 아니라, 해석식으로 표현되는 연속적인 전위 형상으로서 취급해도 된다.

[0027] 본 실시예에 있어서의 장치 구성의 예를 도 4a에 나타낸다. 하전 입자선 장치(401)는 하전 입자 광학계(전자광학계), 스테이지 기구계, 제어 장치(411) 및 입출력부(412)를 구비하고 있다. 제어 장치(411)는 빔 제어부(414)와 화상 처리부(415)와 기억부(413)를 포함한다.

[0028] 하전 입자 광학계는, 전자원(402), 전자원(402)으로부터의 전자선(406)을 펄스화하는 블랭커(403), 편향기(404), 전자 렌즈(405), 신호 전자 검출기(410)를 포함한다. 스테이지 기구계는 검사 대상인 시료(407)가 적재되는 XY 스테이지(시료 스테이지)(408)를 포함한다. 하전 입자 광학계 및 스테이지 기구계는, 진공 내에 배치되어 있으며, 빔 제어부(414)에 의해 제어되고 있다.

[0029] 도 4b는, 화상 처리부(415)의 구성예를 나타낸다. 화상 처리부(415)는 화상 생성부(416), 영역 보존부(417), 영역 추출부(418), 특징량 추출부(419)를 포함한다. 도 4a로 되돌아가서, 입출력부(412)는 SEM의 관찰 조건 입력이나 결과 표시에 필요한 마우스, 키보드, 디스플레이이다. 입출력부(412)로부터 입력되는 정보나 화상 처리부(415)에 의해 출력되는 정보는 기억부(413)에 의해 보존된다. 입력된 정보에 기초하여 빔 제어부(414)는 하전 입자 광학계를 제어한다.

[0030] 또한, 제어 장치(411)는 프로세서(CPU), 메모리, 보조 기억 장치, 입출력 포트, 네트워크 인터페이스, 버스를 포함할 수 있다. 구성 요소 각각의 수는 임의이다. 프로세서는, 메모리에 로드된 프로그램에 따라서 처리를 실행함으로써, 소정의 기능을 제공하는 빔 제어부(414)나 화상 처리부(415)로서 기능한다. 메모리에는, 예를 들어 DRAM과 같은 휘발성 기억 매체를 사용할 수 있다.

[0031] 보조 기억 장치는, 기억부(413)에서 사용하는 데이터나 프로그램을 저장한다. 보조 기억 장치에는, 예를 들어 HDD(Hard Disk Drive)나 SSD(Solid State Drive)와 같은 불휘발성 기억 매체가 사용된다. 입출력 포트는, 입출력부(412)의 키보드, 포인팅 디바이스, 디스플레이(표시 장치)와 같은 출력 장치와 접속되고, 제어 장치(411)와 입출력부(412) 사이의 신호 교환을 실행한다. 네트워크 인터페이스는, 네트워크를 통해서 다른 정보 처리 장치와 통신을 가능하게 한다. 제어 장치(411)의 이들 구성 요소는 버스에 의해 서로 통신 가능하게 접속되어 있다.

[0032] 다음으로, SEM 화상의 취득 원리에 대하여 설명한다. 전자원(402)으로부터 출사한 전자선(406)은 렌즈(405)에 의해 집속되고, 시료(407)에 조사된다. 시료 위의 조사 위치 및 조사 범위(ex. 배율)는 편향기(404)로 제어한다. 전자선(406)의 가속 전압, 조사 전류나 조사 위치 등은 입출력부(412)로부터 유저가 입력한 정보에 기초하여 빔 제어부(414)에 의해 제어된다.

[0033] 전자선(406)이 시료(407)에 조사됨으로써 발생하는 신호 전자(409)는 검출기(410)에 의해 검출된다. 검출기(410)는 검출한 신호 전자(409)의 양에 따른 전압 신호를 출력한다.

[0034] 화상 처리부(415)의 화상 생성부(416)는 시료(407) 위의 전자선(406)의 조사 위치에 대응하여 검출기(410)의 출력 신호를 2차원 배열함으로써 SEM 화상을 생성한다. SEM 화상의 제3 영역(113)은 영역 보존부(417)에 보존되

어 있는 정보를 기초로 영역 추출부(418)에 의해 SEM 화상으로부터 추출되고, 특징량 추출부(419)에 의해 명도 프로파일로부터 특징 형상 및 그 특징량이 산출된다.

[0035] 영역 보존부(417)가 제3 영역을 판단하기 위해서는, SEM 화상과, 시료의 실험 화상 데이터, 시료의 CAD 데이터, 또는 시료의 패턴 데이터 등을 비교한다. 실험 화상 데이터는, 예를 들어 50eV 이상의 높은 에너지를 갖는 신호 전자(반사 전자, BSE: Backscattered electron)의 검출로 취득하는 BSE 상(像)이다. 2차 전자 상으로 제3 영역(113)을 획정하는 경계가 불명료하더라도, 동일 시야의 BSE 상의 선명한 경계를 사용함으로써 제3 영역(113)을 특정할 수 있다. 출력된 SEM 화상이나 특징량은 기억부(413)에 보존되거나, 입출력부(412)에 의해 표시된다.

[0036] 본 실시예의 구체적인 검사 수순을 설명한다. 도 5는, 검사 수순을 설명하는 흐름도이다. 처음에 스텝 S501에서, 유저는, SEM의 전자선 조건을 설정한다. 유저는, 도 6에 도시한 전자선 조건 설정 GUI(601)를 사용하여, 전자선의 가속 전압, 조사 전류, 주사 속도, 배율 등의 SEM 관찰 조건을 설정한다. 입출력부(412)는 설정 정보를 수취하고, 기억부(413)에 저장한다.

[0037] 다음으로 스텝 S502에서, 유저는, 복수 조건의 SEM 화상을 취득하기 위한 가변 파라미터 설정을 도 6에 도시한 가변 파라미터 설정 GUI(602)로 행한다. 복수의 조건으로부터, 여기에서는 2개만을 도시한다. 입출력부(412)는 설정 정보를 수취하고, 기억부(413)에 저장한다. 본 실시예에서는, 시료가 다른 전위 상태를 만들기 위해서 전자선 변조 조건을 가변 파라미터로 하였다. 전자선 변조 조건에서 설정하는 주기와 조사 시간에 기초하여, 도 4의 블랭커(403)는 전자선(406)을 펄스화하고, 단속적으로 시료(407)에 조사한다.

[0038] 조건 1과 조건 2에 있어서의 전자선의 조사 시퀀스를 도 7에 나타낸다. 시퀀스도(701)는, 조건 1에 있어서의, 전자선 전류의 시간 변화를 나타낸다. 일정 주기 및 일정 조사 시간의 전자선 펄스가, 시료에 조사된다. 시퀀스도(702)는, 조건 2에 있어서의, 전자선 전류의 시간 변화를 나타낸다. 일정 주기 및 일정 조사 시간의 전자선 펄스가, 시료에 조사된다. 조건 1의 주기는, 조건 2의 주기보다 짧고, 조사 시간(각 펄스의 시간 폭)은 공통이다. 다른 주기를 사용함으로써 시료 대전 상태가 다른 SEM 화상을 취득할 수 있다. 또한, 다른 조사 조건간에서, 펄스의 주기와 조사 시간의 어느 한쪽 또는 양쪽이 다르게 되어 있어도 된다. 가변 파라미터는, 전자선의 조사 전류나 주사 속도 등의, 시료 대전 상태를 바꿀 수 있는 다른 파라미터여도 된다.

[0039] 다음으로 스텝 503에서, 유저는, SEM 화상으로부터 추출하는 특징량 설정을 도 6의 특징량 설정 GUI(603)로 행한다. 입출력부(412)는 설정 정보를 수취하고, 기억부(413)에 저장한다. 본 실시예에서는, 추출하는 특징량으로서, 제3 영역의 특징 형상의 폭을 유저가 지정한 Algorithm1에 기초하여 산출하는 에지 폭을 선택하고 있다. 제3 영역의 산출 방법이나 특징 형상을 폭 값으로 환산하는 방법 등은 Algorithm1에 포함된다.

[0040] 스텝 S504에서, 제어 장치(411)는 S501 내지 S502에서 설정한 조건에 기초하여 SEM 화상을 취득한다. 즉, 빔 제어부(414)는 기억부(413)에 보존되어 있는 설정 정보에 따라서 하전 입자 광학계를 제어하고, 화상 처리부(415)의 화상 생성부(416)는 검출기(410)에서의 검출에 따른 SEM 화상을 생성한다. 입출력부(412)는 그 SEM 화상을 표시한다. 도 8a에 SEM 화상을 표시하는 SEM 화상 GUI(801)를 나타낸다. SEM 화상은 도 1에 도시한 시료이고, 시야 내에 복수의 콘택트 플러그(102)가 존재하고 있는 조건이다.

[0041] 다음으로, 스텝 S505에서, 영역 추출부(418)는 영역 보존부(417)의 데이터를 참조하여, 취득한 SEM 화상으로부터 해석 영역 추출을 행한다. 도 8b는, 영역 추출부(418)가 생성되고, 입출력부(412)로 표시되는 SEM 화상 GUI(802)를 나타낸다. SEM 화상 GUI(802)에 있어서, 제3 영역(113)의 특징 형상을 측정하기 위한 해석 영역(803A, 803B)이 표시된다. 복수의 해석 영역 중 2개가 예로서, 부호 803A, 803B로 지시되어 있다.

[0042] 스텝 S506에 있어서, 특징량 추출부(419)는 특징량 해석을 행한다. 특징량 추출부(419)는 이들 해석 영역(803A, 803B)의 SEM 화상의 명도를 나타내는 특징 형상을 추출하고, 입출력부(412)를 통해 해석 프로파일 GUI(803)에 표시한다. 도 8c는, 해석 프로파일 GUI(803)의 예를 나타낸다. 본 예에 있어서, 특징량 추출부(419)는 특징 형상의 폭을 산출하고, 해석 프로파일 GUI(803)에 있어서 제시한다.

[0043] 다음으로, 스텝 S507에서, 특징량 추출부(419)는 산출된 특징량의 가변 파라미터 의존을 산출하고, 도 8d에 도시한 특징량 특성 GUI(804)로 출력한다. 도 8d에 도시한 예에 있어서, 특징량 추출부(419)는 가변 파라미터인 주기와 특징 형상의 폭과의 관계를 나타내는 그래프를 생성하여, 특징량 특성 GUI(804)에 표시한다.

[0044] 마지막으로, 스텝 S508에서, 특징량 추출부(419)는 전기 특성을 산출하여 출력한다. 구체적으로는, 특징량 추출부(419)는 스텝 S507에서 산출된 특징량 특성에, 유저에 의해 지정된 모델을 적용하고, 유저에 입력된 필요한

정보를 이용하여, 전기 특성값을 출력한다.

[0045] 도 8e는, 특성 산출 GUI(805)를 나타낸다. 도 8e의 특성 산출 GUI(805)의 예에서는, 유저는, 도 2b의 회로 모델을 의미하는 「플러그」 모델을 선택하고, 전기 특성의 산출에 필요한 파라미터인 저항률 ρ_1 또는 그것으로부터 환산되는 저항값 R_1을 가정 또는, 별도 측정하고, 입력한다. 특징량 추출부(419)는 모델이 추정하는 특징량 특성이 실험값과 가까워지는 저항값 R_0, 즉 콘택트 플러그(102)와 웨이퍼 기판(103) 사이의 저항을 출력한다. 여기서, 특징량 특성은 SEM 화상의 특징 형상과 SEM 상의 촬상 조건의 관계성으로부터 산출되는 것이 본 실시예의 하나의 특징이다.

[0046] 종래의 전기 특성 검사에 사용하는 전위 콘트라스트법은, SEM 화상의 특정한 픽셀 또는 픽셀 군의 명도를 전기 특성의 산출에 사용한다. 즉, 종래 수법이 횡축 촬상 조건, 종축 명도의 곡선을 해석 대상으로 하는 데 반하여, 본 실시예에서는, 특징 형상의 폭 등의 형상 특징량을 해석 대상(종축의 값)으로 한다.

[0047] 이상에 의해, 복수 조건의 SEM 화상의 제3 영역의 특징 형상으로부터 콘택트 플러그의 전기 특성을 산출할 수 있다. 산출한 전기 특성값에 기초하여 콘택트 플러그 불량의 유무를 판단할 수 있다. 또한, 스텝 S503과 스텝 S504는 순부동이다.

[0048] 상기에서 설명한 콘택트 플러그의 전기 특성값을 반도체 웨이퍼의 면 내에서 다수 측정하면 면 내 분포를 측정할 수 있다. 도 8f는, 저항값의 웨이퍼 내 분포를 나타내는 전기 특성 웨이퍼 맵 GUI(806)의 예를 나타낸다. 저항의 절댓값뿐만 아니라, 웨이퍼 내의 분포에 의해 디바이스 제조에 사용하는 성막이나 가공 장치의 이상을 검지하는 것이 가능하다.

[0049] 실시예 1의 변형예로서, 시료(100)의 유전체의 전기 특성을 산출하는 예에 대하여 설명한다. 스텝 507까지는 전술과 동일하기 때문에 생략한다. 도 8g의 특징량 특성 GUI(807)로 나타낸 바와 같이, 본 예에서는 스텝 S508에서 모델에 콘택트 플러그의 저항값을 입력하고, 유전체의 저항률을 산출한다. 유전체의 저항률은, 절연막의 재료 전기 특성을 나타낸다. 따라서, 입력 조건에 따라서, 콘택트 플러그의 전기 특성뿐만 아니라, 콘택트 플러그 주변의 층간막 재료의 전기 특성을 산출하는 것이 가능하다.

[0050] 또한, 본 실시예에서는, 제3 영역(113)의 특징 형상을 평가하고 추출하는 특징량으로서 특징 형상의 폭을 측정하였다. 그러나, 특징 형상의 특징량은 그것으로 한정되지는 않는다. 도 9a에 다른 특징량 예를 나타낸다. 도 9a는 제3 영역(113)의 특징 형상의 예이다. 특징량은, 폭(901) 외에, 기울기(902)나 2차 미분, 모델식의 피트(903)에 필요한 피트 파라미터여도 된다.

[0051] 예를 들어, 수식 1에 나타내는 지수 함수식을 피트(903)에 사용하여 감쇠 속도를 나타내는 C_1을 특징량으로 해도 된다. 또는, 수식 2에 나타내는 가우스 분포나 수식 3에 나타내는 오차 함수를 명도 프로파일의 감쇠 부분에 피트하여 추출하는 파라미터를 특징량으로 해도 된다. 또는, 거리(904)에 나타내는 2개의 특징적인 특징 형상 사이의 거리를 특징량으로 해도 된다.

[0052] [수 1]

[0053] $$y = A_1 \cdot e^{-(x-B_1)/C_1} + D_1$$

[0054] [수 2]

[0055] $$y = A_2 \cdot e^{-(x-B_2)^2/(2C_2)} + D_2$$

[0056] [수 3]

[0057] $$y = A_3 \cdot erf([x - B_2]/C_3) + D_3$$

[0058] 본 실시예에서는, SEM 화상에서 발생하는 제3 영역의 가로 방향의 특징 형상으로부터 특징량을 평가하였다. 도 9b에 도시한 바와 같이, 가로 방향의 특징 형상(905A)이 아니라, 세로 방향의 특징 형상(905B)이나 경사 방향의 특징 형상(905C)이 사용되어도 되고, 각 제3 영역에서 복수 방향의 특징 형상을 평가해도 된다. 또한, 면적(906)에 나타낸 바와 같이, 특징 형상이 아니라, 제3 영역의 면적이나 진원도를 특징량으로 해도 된다.

[0059] 또한, 본 실시예에서는, 제3 영역(113)의 예로서, 제1 영역(111)과 제2 영역(112)의 경계로부터 제1 영역(111) 측으로 넓어지는 제1 영역(111)의 일부를 사용하였다. 그러나, 이 현상은, 시료(100)의 재료 및 형상에 의존하

기 때문에, 이것으로 한정하는 것은 아니다. 제3 영역(113)은 경계로부터 제2 영역(112)으로 넓어지는 제2 영역(112)의 일부여도 되고, 경계로부터 제1 영역(111)과 제2 영역(112)의 양측으로 넓어지는 영역이어도 된다.

[0060] 또한, 본 실시예에서 사용한 도 2b의 회로 모델은 저항과 전류원만으로 구성되어 있지만, 전자선의 단속적 조사에 기인하는 과도적인 시료 전위 변화를 반영하기 위해서 회로 모델에 용량을 추가해도 된다. 그 경우, 본 실시예의 장치 구성 및 검사 흐름으로부터 산출되는 특징량에 개량된 회로 모델을 피트함으로써 시료의 용량값을 산출할 수 있다.

[0061] 실시예 1을 이용하면, 제1 영역(층간막 등의 유전체 영역)과 제2 영역(콘택트 플러그 등의 도체 또는 반도체 패턴)의 경계 및 그 근방에서 SEM 화상 위에 발생하는 제3 영역의 특징 형상으로부터 특징량을 추출하고, SEM 촬상 조건 의존인 특징량 특성을 산출하고, 모델과 비교함으로써 콘택트 플러그의 전기 특성이나 그 주위의 층간막의 재료 특성을 검사할 수 있다. 재료 특성은, 재료 고유의 성질을 의미하며, 전기적 응답을 나타내는 특성뿐만 아니라, 후술하는 밴드 오프셋 등의 재료 고유의 특성을 포함한다.

[0062] **실시예 2**

[0063] 실시예 1에서는 전자선의 조사 조건을 바꿈으로써 복수의 시료 대전 상태에 있어서의 제3 영역의 특징 형상을 평가하였다. 그러나, 콘택트 플러그의 저항이 높은 경우나 트랩에 의해 층간막이 전하를 저류하기 쉬운 경우 등, 전자선을 조사하면 대전 이력이 남고, 재현 좋게 대전 상태를 제어하는 것이 곤란하다. 이러한 샘플에 있어서도 고정밀도로 제3 영역을 생성하는 방법이 요망된다. 본 실시예에서는, 레이저를 사용하여 시료 전위를 제어하고, 전기 특성을 평가하는 방법을 설명한다.

[0064] 도 10에 본 실시예의 장치 구성을 나타낸다. 도 10은, 도 4의 기본 장치 구성에 레이저(1001)가 가해지고 있다. 레이저(1001)는 그 출력, 파장, 편향, ON/OFF가 빔 제어부(414)에 의해 제어되어 있다. 레이저(1001)로부터 출력된 광(1002)은, 시료(407) 위의 전자선(406)과 동일한 위치에 조사된다. 레이저(1001)는, 예를 들어 파장 400㎚ 이하의 자외광을 출력한다. 자외광은, 전자선에 의해 대전하는 절연막을 제전하여 시료 전위를 안정화하는 것이 알려져 있다. 본 실시예에서는, 레이저(1001)를 사용하여 시료 전위를 제어하고 제3 영역(113)의 평가를 행하고, 콘택트 플러그(102)와 웨이퍼 기판(103) 사이의 저항을 측정한다.

[0065] 본 실시예의 검사 수순에 대하여 설명한다. 검사 수순은 도 5와 스텝 S502만 다르다. 스텝 S502의 가변 파라미터 설정에서는, 도 11a의 가변 파라미터 설정 GUI(1101)에 나타낸 바와 같이 광의 조사 조건을 가변 파라미터로 한다. 복수의 조건 중, 2개가 도시되어 있다. 조건 1의 조사 강도 0㎽(비조사)에 대해서 조건 2는 조사 강도가 100㎽이며, 시료에 대해서 제전 효과가 작용한다.

[0066] 특징량 추출부(419)에 의한, 스텝 S507의 특징량 특성의 산출과 스텝 S508의 전기 특성의 산출 결과를, 도 11b의 특징량 특성 GUI(1102)에 나타낸다. 본 실시예에서 선택하는 모델은, 광조사의 제전 효과를 고려한 회로 모델이다(도시생략). 레이저 강도와 특징 형상의 폭의 관계에 모델을 피트하고, 층간막의 저항률 ρ_1을 입력함으로써 콘택트 플러그(102)와 웨이퍼 기판(103) 사이의 저항값이 산출되어 출력된다.

[0067] 또한, 본 실시예에서는 시료 전위를 제어하는 데 레이저를 사용하고 있지만, 광원은 LED, 백색 광원, 또는 모노크로미터를 사용하여 단색화한 백색광이어도 된다. 실시예 2를 이용하면, 전자선 조사에 의해 대전이 안정되지 않는 시료에 있어서도 전기 특성의 검사가 가능해진다.

[0068] **실시예 3**

[0069] 실시예 1과 2에서는, 시료의 저항값이나 저항률 등의 전기적 및 재료 특성을 산출 및 검사하였다. 본 실시예에서는, 재료 계면의 특성(재료 특성)인 밴드 오프셋을 측정하는 방법에 대하여 설명한다.

[0070] 도 12를 이용하여 밴드 오프셋을 측정하는 원리를 설명한다. 도 12는, 광을 반도체/유전체 계면에 조사함으로써 발생하는 물리 현상과, 그 때에 얻어지는 SEM 화상의 명도 특징 형상을 나타낸다. 시료는 도 1의 시료(100)이다. 밴드 오프셋이란, 재료 계면에 있어서의 2종류의 재료의 에너지 준위의 차이다. 도 12에 있어서는, 밴드 오프셋은, 반도체의 가전자대의 에너지 준위와 유전체의 도전대의 에너지 준위의 차이다. 광을 조사함으로써, 반도체의 가전자대에 존재하는 전자는 광자를 흡수하여 여기된다.

[0071] 광 조건 1에서는, 파장 λ1의 광자에 의해 여기되는 전자의 에너지는 유전체의 전도대의 에너지 준위보다 낮다. 광 조건 2에서 λ1보다 짧은 파장 λ2의 광자에 의해 여기되는 전자의 에너지는 유전체의 전도대의 에너지 준위보다 높다. 즉, 파장 λ2의 광을 시료에 조사함으로써 반도체부터 유전체로 전자의 주입이 가능하다. 이 현상

은 내부 광전자 방출 효과로서 알려져 있다.

[0072] 실시예 1과 같이 유전체가 전자선에 의해 대전하고 있는 경우, λ2의 파장의 광을 조사함으로써 제전하는 것이 가능하다. 그 결과, 제전할 수 없는 광 조건 1에서 취득하는 SEM 화상의 제3 영역(1012A)의 폭보다 제전이 가능한 광 조건 2에서 취득하는 SEM 화상의 제3 영역(1012B)의 폭의 쪽이 넓다. 내부 광전자 방출 효과가 가능한 파장은, 계면의 재료 및 그 막질을 반영한 밴드 오프셋으로 정해진다. 따라서, SEM 화상의 제3 영역과 조사하는 광의 파장 관계로부터 밴드 오프셋을 산출할 수 있다.

[0073] 밴드 오프셋의 산출 수순에 대하여 설명한다. 도 5의 스텝 S502와 스텝 S508만 실시예 1과 다르다. 여기에서는, 차분인 이 2개의 스텝만에 대하여 설명한다. 스텝 S502의 가변 파라미터 설정은, 도 13a의 가변 파라미터 설정 GUI(1301)를 사용하여 행한다. 가변 파라미터를 광조사 조건으로 하고, 조건마다 다른 파장을 설정한다. 본 실시예에서는, 파장 350㎚와 400㎚만을 도시하지만, 파장은 그것으로 한정되지는 않는다.

[0074] 특징량 추출부(419)가 가변 파라미터에 따라서 촬상한 SEM 화상으로부터 특징량 특성을 추출한 예를, 도 13b의 특징량 특성 GUI(1302)에 표시한다. 표시되는 그래프는 횡축이 파장, 종축이 SEM 화상 특징 형상의 폭이다. 장파장 조건이면 폭이 작아지고, 유전막이 제전되지 않은 것을 반영하고 있다. 이 그래프에는, 내부 광전자 방출 효과의 모델식인 「PhotoEmi.」이 선택되고, 특징량 특성에 피트된다. 그 결과, 유전막의 제전이 가능하게 되는 파장, 즉 밴드 오프셋이 정해지고 출력된다.

[0075] 이상, 제3 영역의 특징 형상의 조사광 파장 의존으로부터 계면의 재료 특성인 밴드 오프셋을 산출하였다. 또한, 본 실시예에 사용하는 광원은, 파장이 가변 또는 선택할 수 있으면 LED, 레이저, 모노크로미터를 사용하여 단색화한 백색광 중 어느 것을 사용해도 된다. 실시예 3에 의하면, 밴드 오프셋의 측정으로부터, 콘택트 플러그 또는, 그에 인접하는 유전체의 막질 검사가 가능하다.

[0076] **실시예 4**

[0077] 본 실시예에서는, 반도체의 도펀트 농도를 검사하는 수순에 대하여 설명한다. 도 14에 검사하는 시료(1401)의 예를 나타낸다. 도 14는 시료(1401)의 단면도, 상면도 및 SEM으로 취득한 SEM 화상이다. 또한, 단면도는 상면도의 AA'선을 따른 단면을 나타내고 있다. 시료(1401)는, 유전체(1402)의 위에 도프 농도가 다른 3영역의 Si(1403 내지 1405)가 성막되어 있다. Si(1403)는 n+형, Si(1404)는 진성에 가까운 p형, Si(1405)는 p+형이며, 3개의 반도체의 전기 특성은 다르다.

[0078] 시료(1401)의 SEM 화상은 3개의 다른 명도 영역(1407 내지 1409)을 나타낸다. SEM 화상은, p형이 밝고, n형이 어두운 콘트라스트가 된다. Si(1403)와 Si(1404) 사이의 계면 및 Si(1404)와 Si(1405) 사이의 계면은 반도체 접합이며 그 근방에서는 공핍층이 발생한다. 공핍층 영역은 시료 표면의 전위가 연속적으로 변화하기 때문에, 3개의 명도 영역의 경계는 완만하게 명도가 변화한다. 광을 조사하면 반도체 접합에서는 광 기전류가 발생하고, 반도체의 전위 및 공핍층이 바뀌는 것이 알려져 있다. 본 실시예에서는, 이 현상을 사용하여 반도체의 도펀트 농도를 검사한다. 도펀트 농도는, 영역의 저항에 영향을 미치는 전기 특성의 하나이다.

[0079] 반도체의 도프 농도 검사에 있어서, 실시예 1의 흐름도와의 차이만에 대하여 설명한다. 스텝 S502에서는, 도 15a의 가변 파라미터 설정 GUI(1501)를 사용하여 다른 광조사 조건을 가변 파라미터로서 설정한다. 파장은 Si가 흡수하는 600㎚를 설정하였다. 조건마다 광의 조사 강도를 바꾼다.

[0080] 취득한 SEM 화상 및 스텝 S504의 해석 영역 추출을 행한 결과를, 도 15b의 SEM 화상 GUI(1502)에 나타낸다. 3개의 해석 영역(1503A 내지 1503C)이 도시되어 있다. 그 중 하나인 해석 영역(1503A)의 특징 형상을, 도 15c의 해석 프로파일 GUI(1504)에 나타낸다. 계단형의 특징 형상은, 3개의 영역(1503A 내지 1503C)의 명도를 반영하고 있다. 본 실시예에서는, Si(1404)의 도프 농도를 Si(1403)와 Si(1404) 사이의 계면 위치의 광조사 의존으로부터 산출한다.

[0081] 전술한 바와 같이, 광을 조사함으로써 계면의 공핍층이 변형되고, SEM 화상 위의 명도 영역(1407과 1408) 사이의 위치가 바뀐다. 명도 영역(1407과 1408)의 경계는, 특징 형상에 식 3의 오차 함수(1505)를 피트하여 산출한다. 수식 3의 B2가 경계 위치를 나타내는 파라미터이다.

[0082] 도 15d의 특징량 특성 GUI(1506)에서는, 추출한 파라미터 B2와 촬상 조건인 광 강도의 관계를 표시한다. 유저는 접합 콘트라스트의 모델인 「PN Junc.」를 선택한다. 모델은 도펀트 농도만으로 특징량 특성이 정해지기 때문에, 취득한 특징량 특성에 피트함으로써 Si(1404)의 도펀트 농도가 산출되어 표시된다. 이상, SEM 화상의 특징 형상의 조사광 파장 의존으로부터 반도체의 재료 특성인 도펀트 농도를 산출하였다.

[0083] 실시예 4에 의하면, 도펀트 농도의 측정으로부터, 콘택트 플러그나 트랜지스터의 채널재로서 사용되는 반도체의 품질 검사가 가능하다.

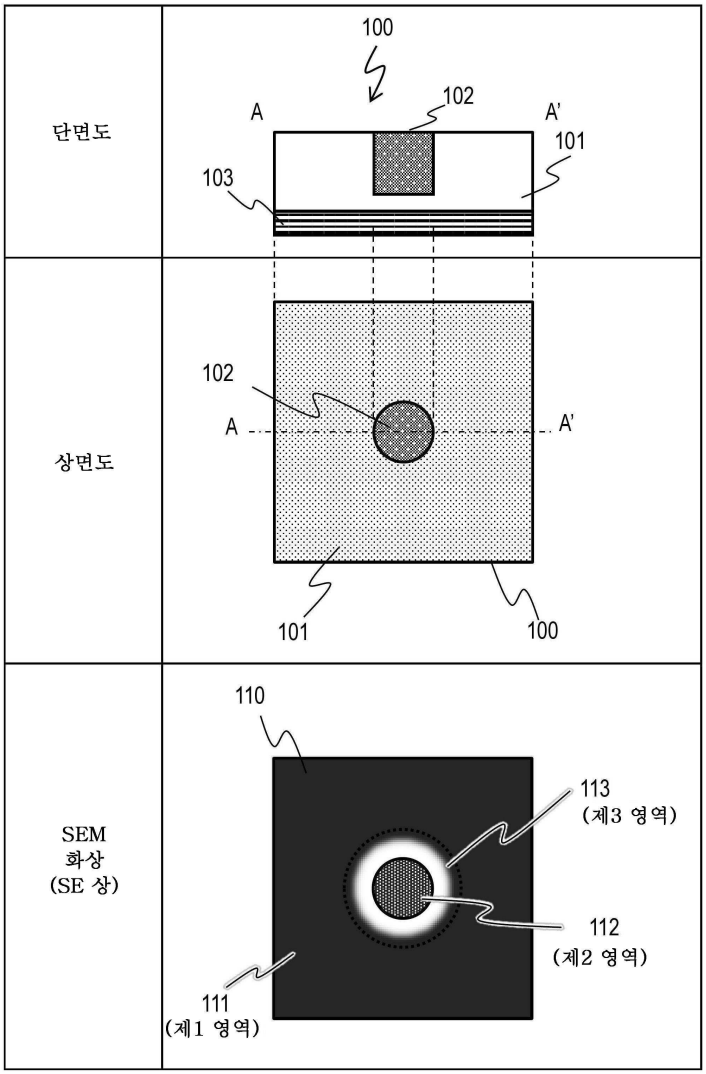
[0084] 또한, 본 발명은 상기한 실시예로 한정되는 것이 아니라, 다양한 변형예가 포함된다. 예를 들어, 상기한 실시예는 본 발명을 알기 쉽게 설명하기 위해서 상세히 설명한 것이며, 반드시 설명한 모든 구성을 구비하는 것으로 한정되는 것은 아니다. 또한, 어떤 실시예의 구성의 일부를 다른 실시예의 구성으로 치환하는 것이 가능하며, 또한 어떤 실시예의 구성에 다른 실시예의 구성을 가하는 것도 가능하다. 또한, 각 실시예의 구성의 일부에 대하여, 다른 구성의 추가·삭제·치환을 하는 것이 가능하다.

[0085] 또한, 상기 각 구성·기능·처리부 등은, 그것들의 일부 또는 전부를, 예를 들어 집적 회로로 설계하는 등에 의해 하드웨어로 실현해도 된다. 또한, 상기 각 구성, 기능 등은, 프로세서가 각각의 기능을 실현하는 프로그램을 해석하고, 실행함으로써 소프트웨어로 실현해도 된다. 각 기능을 실현하는 프로그램, 테이블, 파일 등의 정보는, 메모리나, 하드 디스크, SSD(Solid State Drive) 등의 기록 장치 또는, IC 카드, SD 카드 등의 기록 매체에 둘 수 있다.

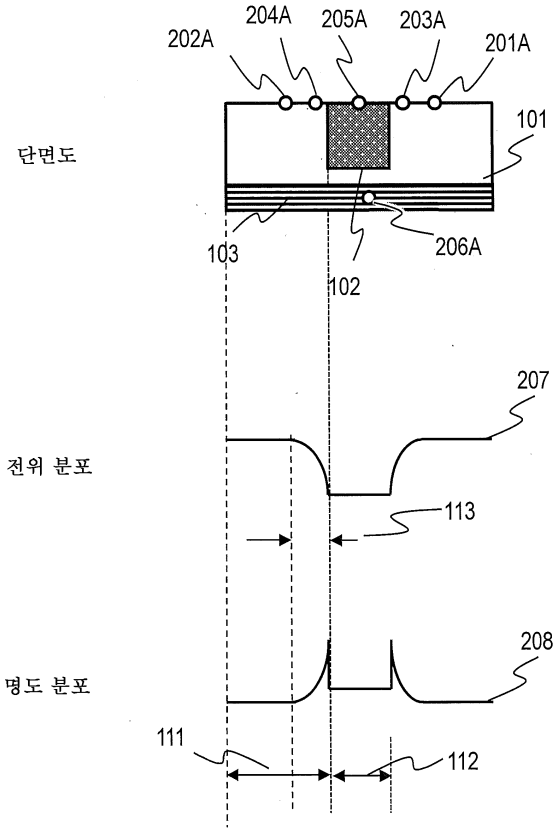
[0086] 또한, 제어선이나 정보선은 설명상 필요하다고 생각되는 것을 나타내고 있으며, 제품상 반드시 모든 제어선이나 정보선을 나타내고 있다고는 할 수 없다. 실제로는 거의 모든 구성이 서로 접속되어 있다고 생각해도 된다.

도면

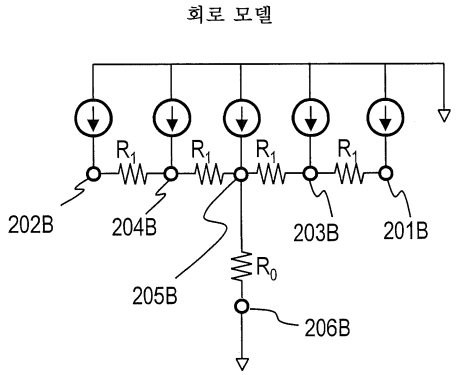
도면1



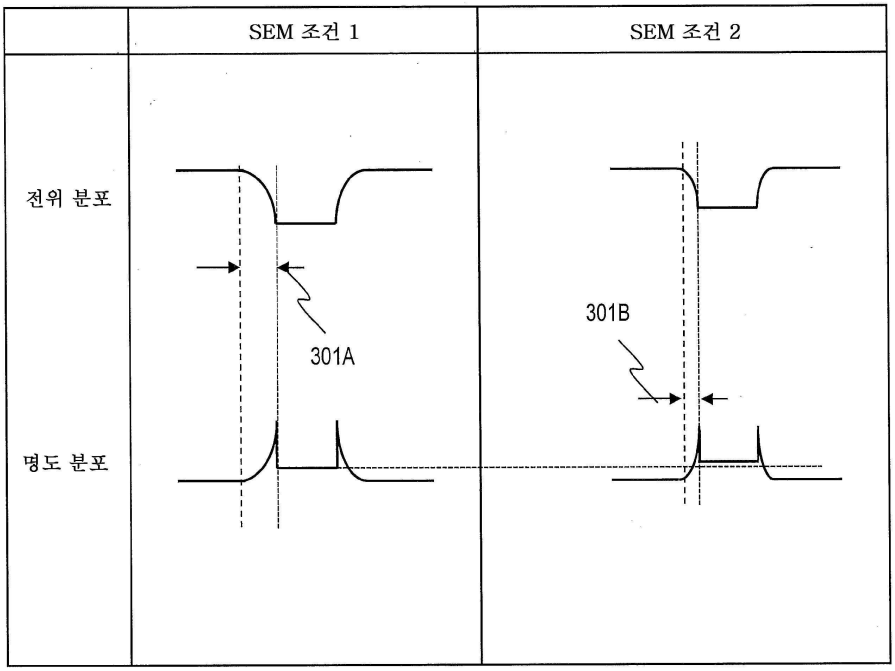
도면2a


202A
204A
205A
203A
201A
101
단면도
103
102
206A
207
전위 분포
113
208
명도 분포
111
112

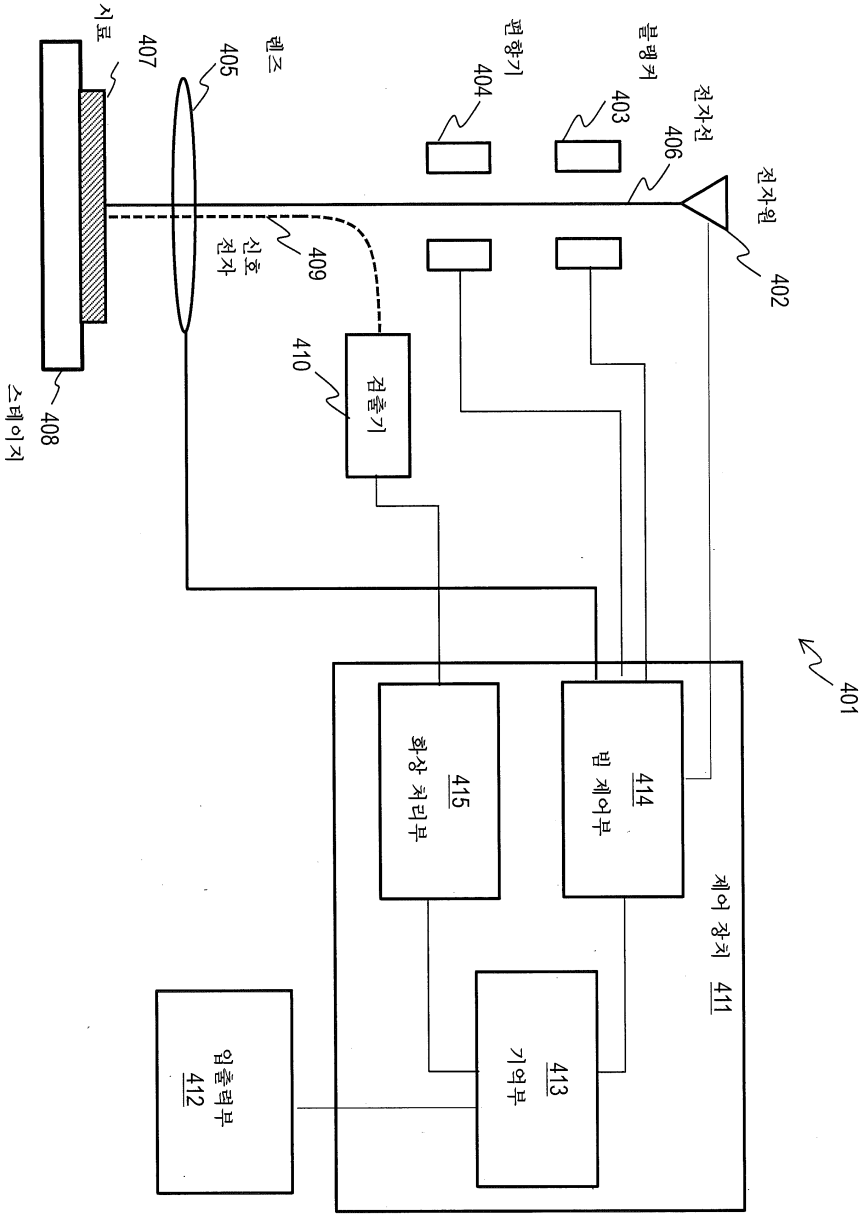
도면2b


회로 모델
R1
R1
R1
R1
202B
204B
203B
201B
R0
205B
206B

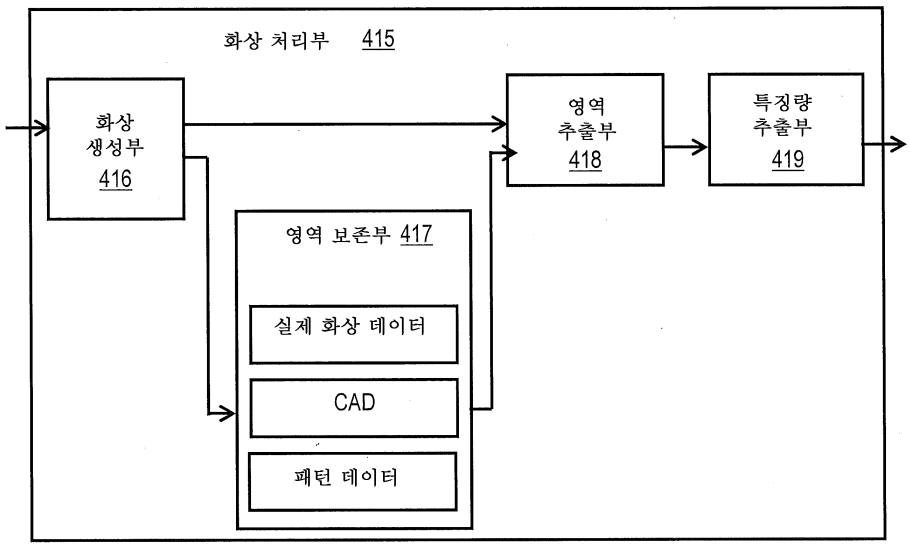
도면3



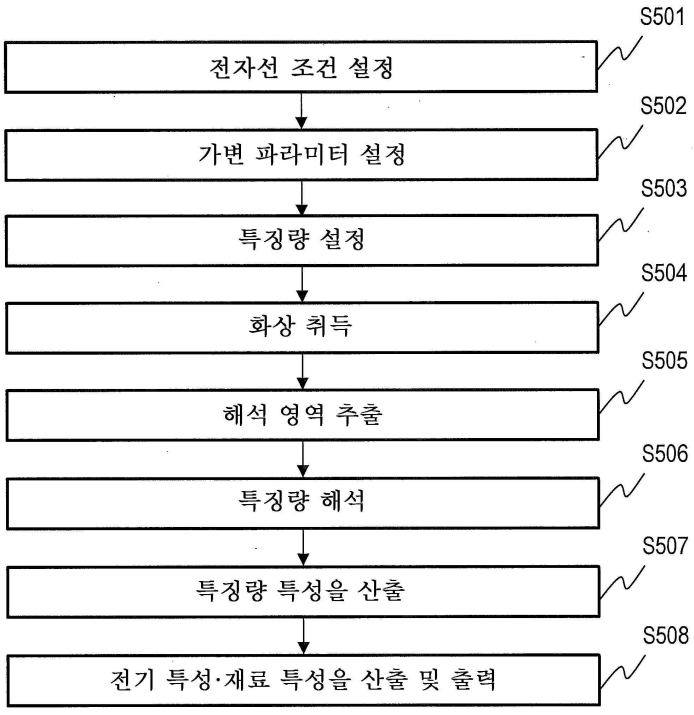
도면4a


시료
407
렌즈
405
편향기
404
블랭커
403
전자선
406
전자원
402
신호 전자
409
410
검출기
스테이지
408
401
414 빔 제어부
415 화상 처리부
413 기억부
입출력부 412
제어 장치 411

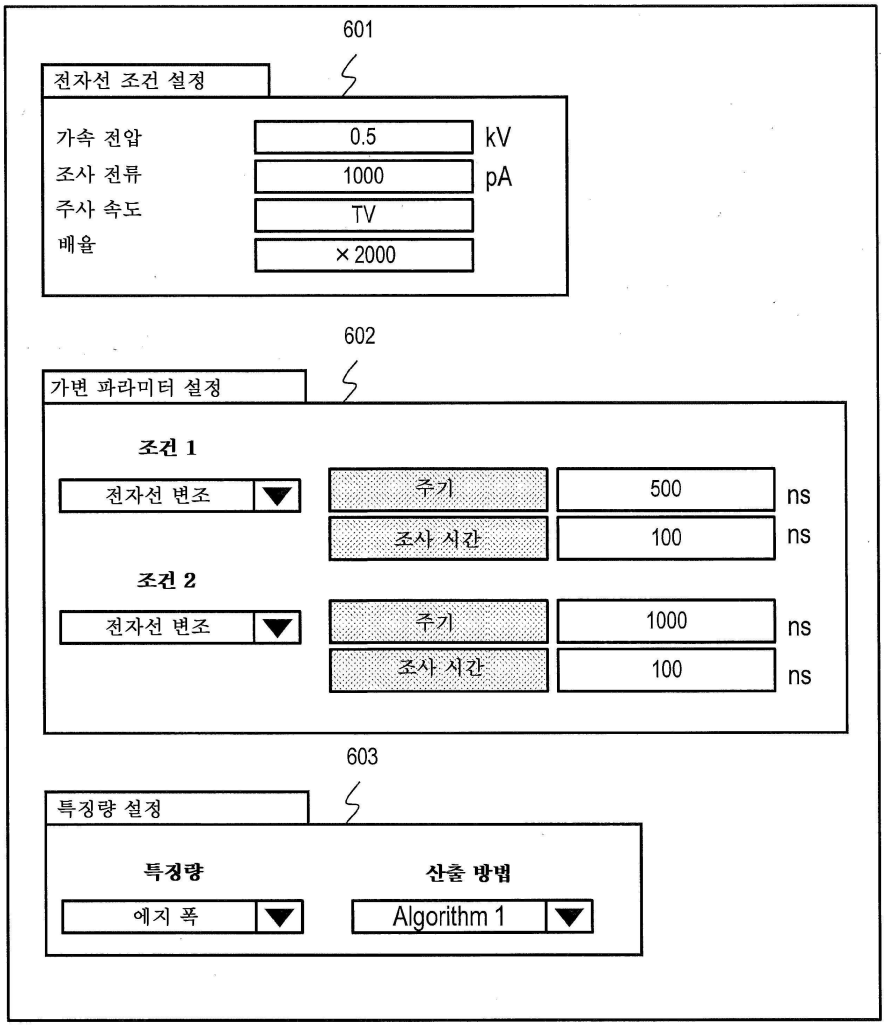
도면4b


화상 처리부 415
화상
생성부
416
영역
추출부
418
특징량
추출부
419
영역 보존부 417
실제 화상 데이터
CAD
패턴 데이터

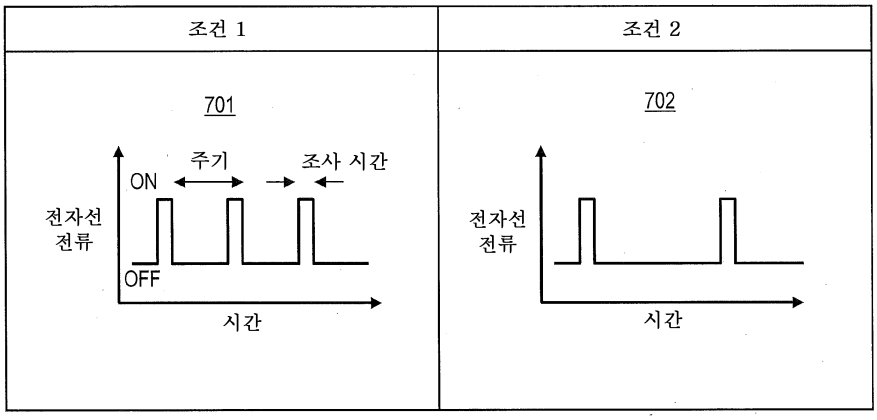
도면5


S501
전자선 조건 설정
S502
가변 파라미터 설정
S503
특징량 설정
S504
화상 취득
S505
해석 영역 추출
S506
특징량 해석
S507
특징량 특성을 산출
S508
전기 특성·재료 특성을 산출 및 출력

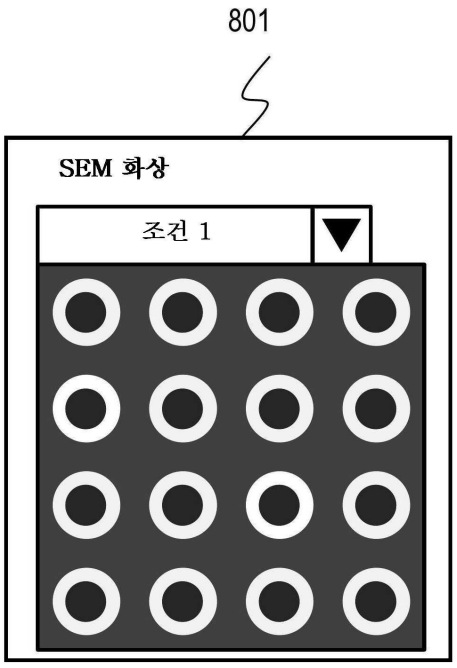
도면6


601
전자선 조건 설정
가속 전압
0.5
kV
조사 전류
1000
pA
주사 속도
TV
배율
×2000
602
가변 파라미터 설정
조건 1
전자선 변조
주기
500
ns
조사 시간
100
ns
조건 2
전자선 변조
주기
1000
ns
조사 시간
100
ns
603
특징량 설정
특징량
에지 폭
산출 방법
Algorithm 1

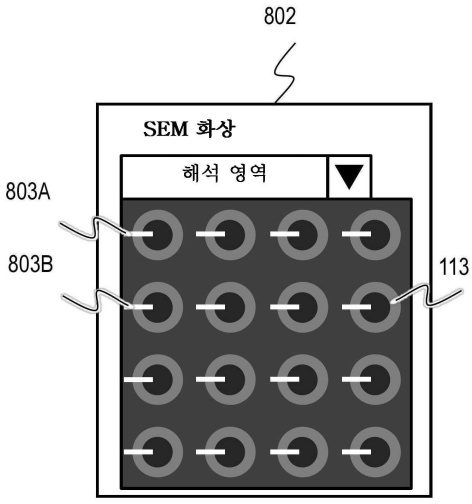
도면7


조건 1
조건 2
701
주기
조사 시간
ON
OFF
전자선 전류
시간
702
전자선 전류
시간

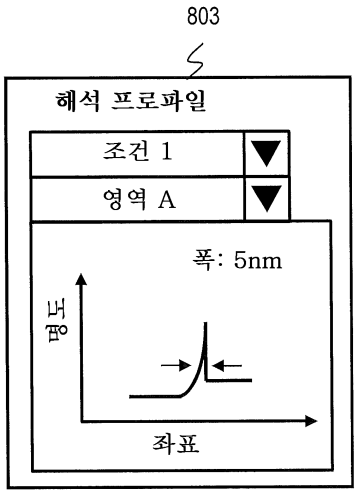
도면8a



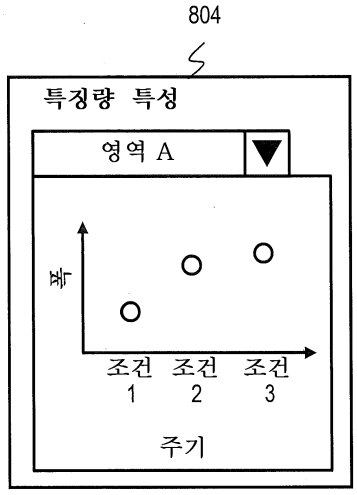
도면8b



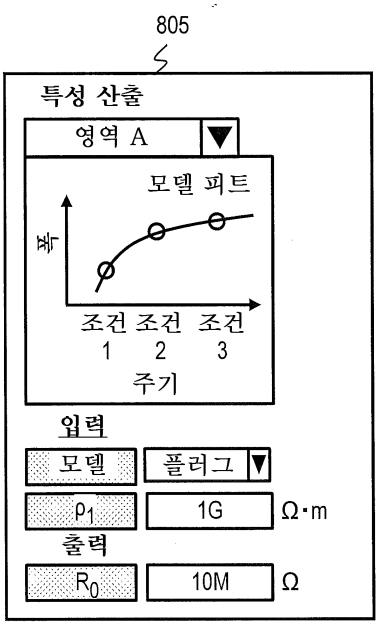
도면8c



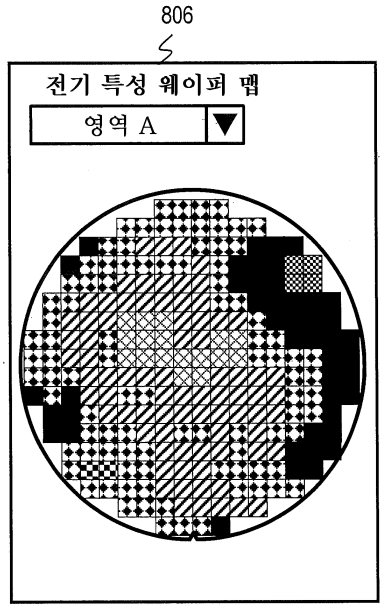
도면8d



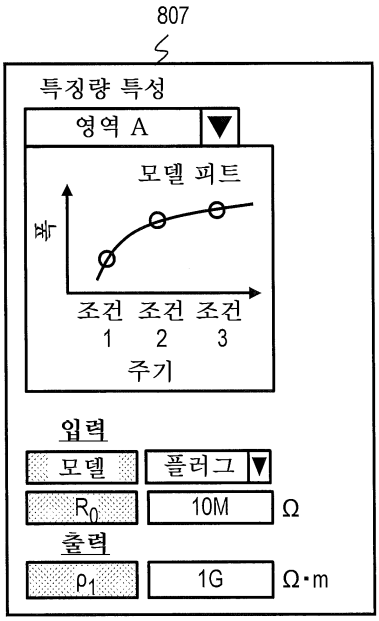
도면8e


805
특성 산출
영역 A
모델 피트
폭
조건 1
조건 2
조건 3
주기
입력
모델
플러그
ρ1
1G
Ω·m
출력
R0
10M
Ω

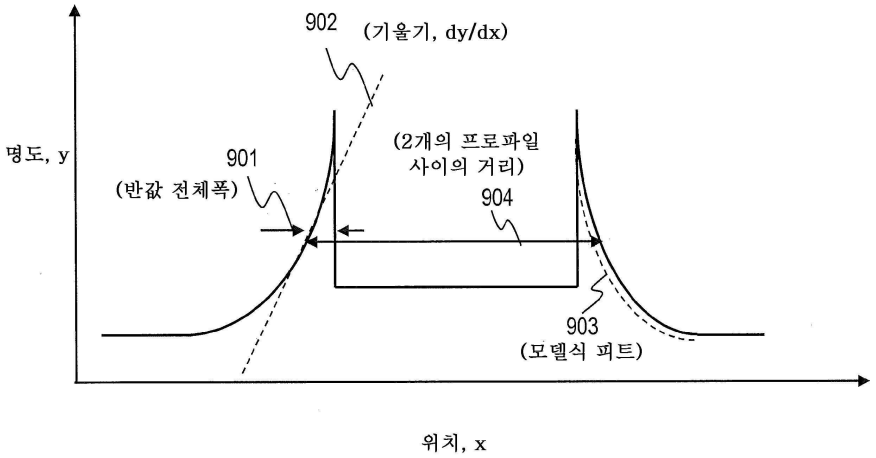
도면8f


806
전기 특성 웨이퍼 맵
영역 A

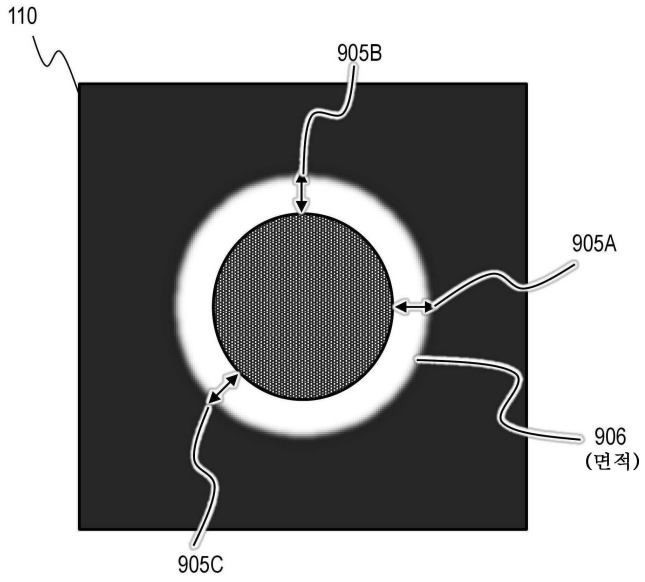
도면8g


807
특징량 특성
영역 A
모델 피트
복
조건 조건 조건
1 2 3
주기
입력
모델
플러그
R_0
10M
Ω
출력
ρ_1
1G
Ω·m

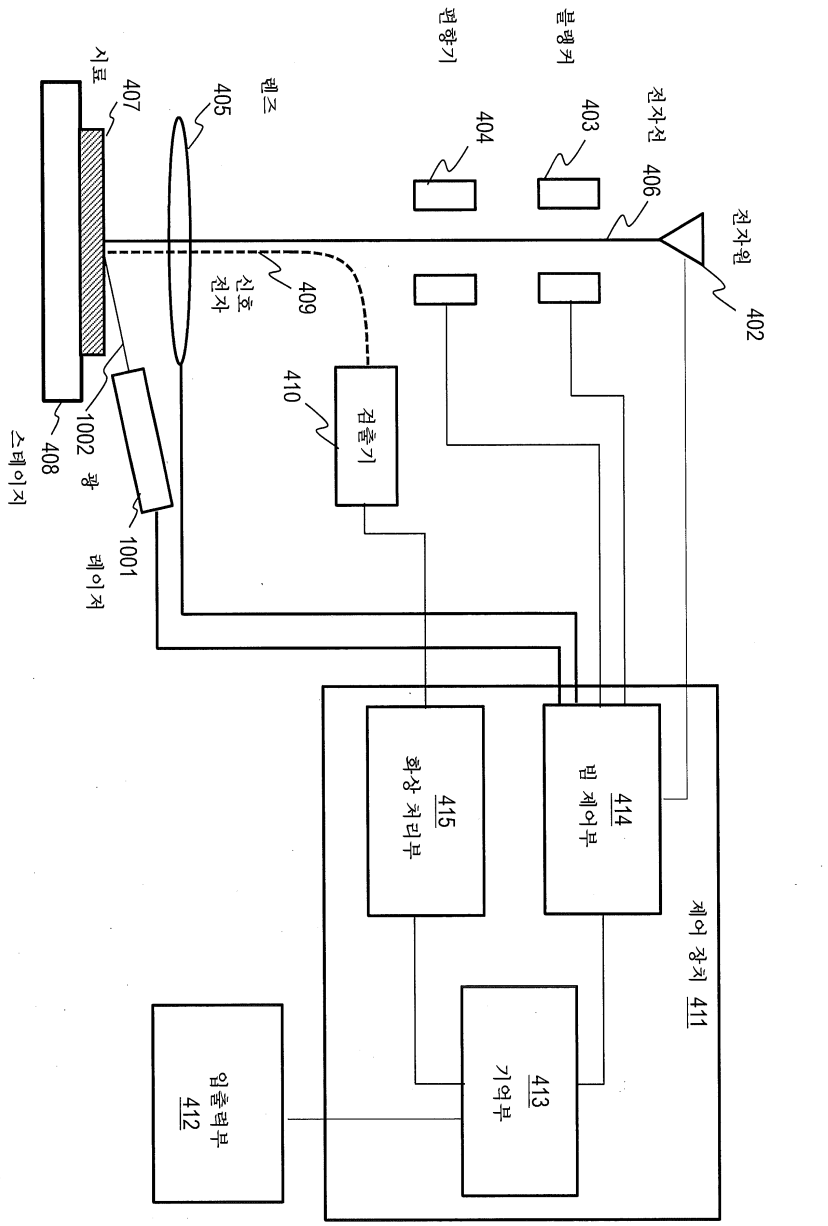
도면9a


902
(기울기, dy/dx)
명도, y
901
(반값 전체폭)
(2개의 프로파일
사이의 거리)
904
903
(모델식 피트)
위치, x

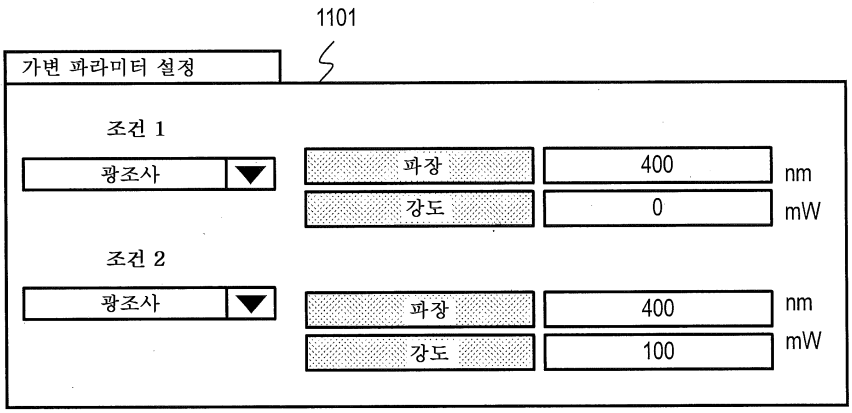
도면9b



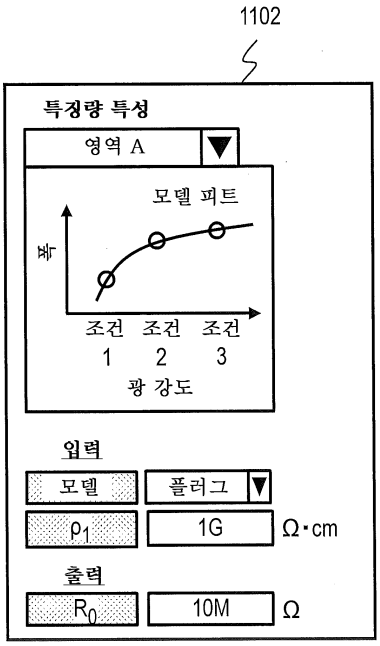
도면10


편향기
블랭커
시료
407
405
렌즈
404
403
전자선
406
전자원
402
신호
전자
409
410
검출기
1002
광
408
스테이지
1001
레이저
415
화상 처리부
414
빔 제어부
제어 장치 411
413
기억부
입출력부
412

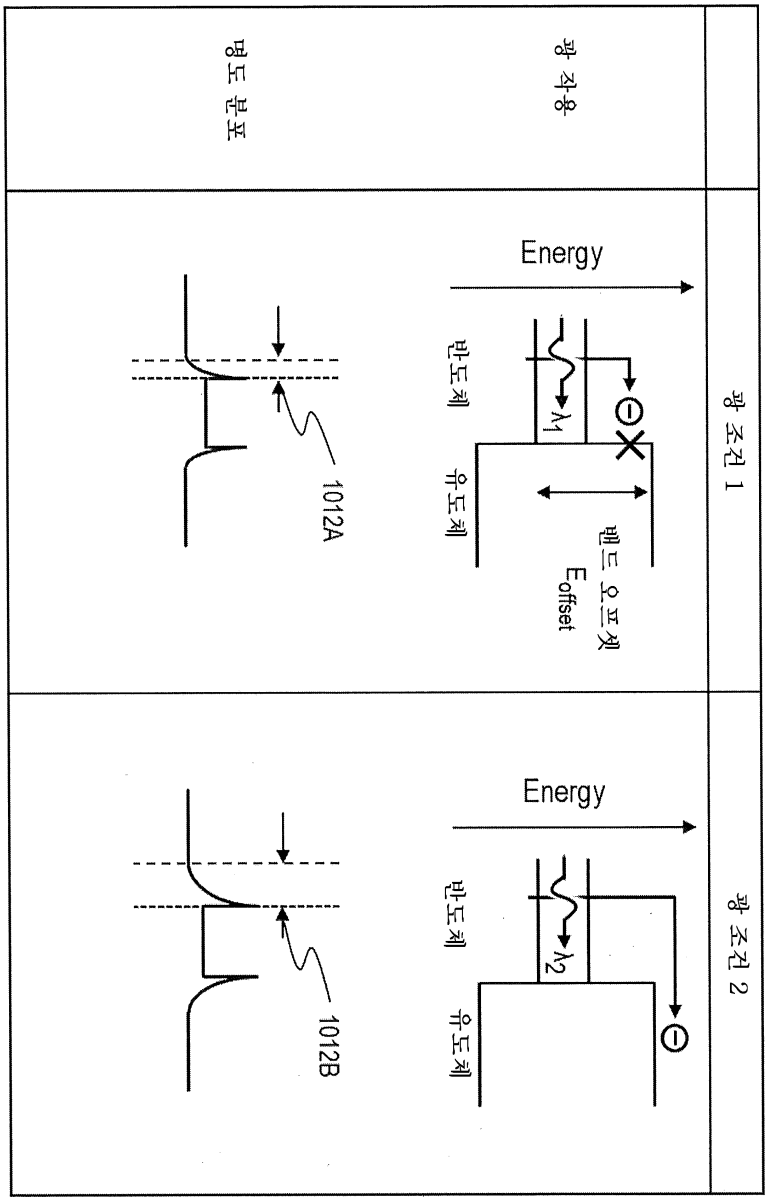
도면11a


1101
가변 파라미터 설정
조건 1
광조사
파장
400
nm
강도
0
mW
조건 2
광조사
파장
400
nm
강도
100
mW

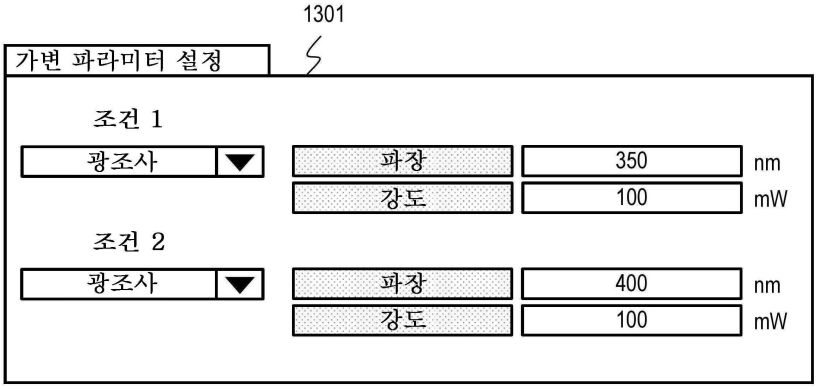
도면11b


1102
특징량 특성
영역 A
모델 피트
복
조건 1
조건 2
조건 3
광 강도
입력
모델
플러그
ρ1
1G
Ω·cm
출력
R0
10M
Ω

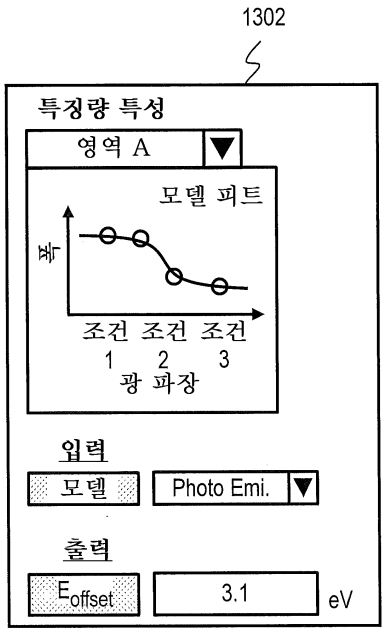
도면12


명도 분포
광 작용
광 조건 1
Energy
반도체
유도체
λ_1
E_{offset}
밴드 오프셋
1012A
광 조건 2
Energy
반도체
유도체
λ_2
1012B

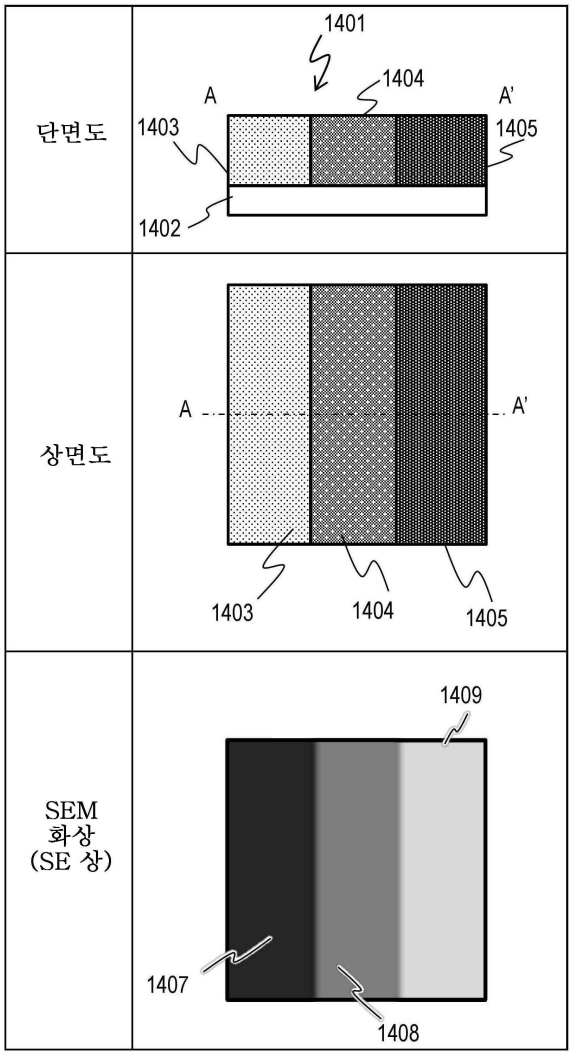
도면13a


1301
가변 파라미터 설정
조건 1
광조사
파장
350
nm
강도
100
mW
조건 2
광조사
파장
400
nm
강도
100
mW

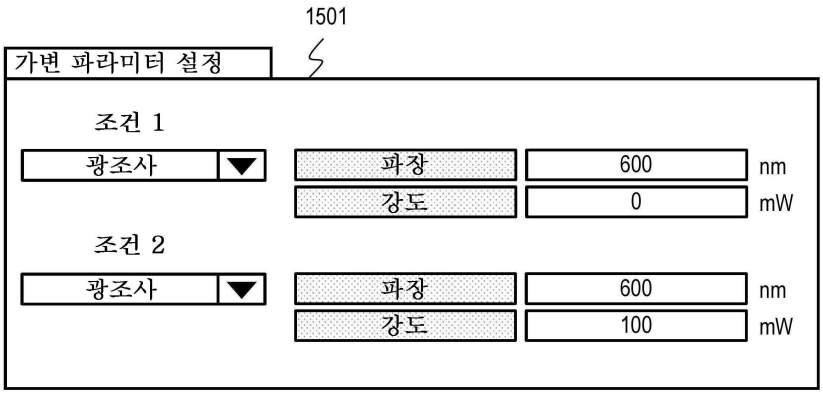
도면13b


1302
특징량 특성
영역 A
모델 피트
복
조건 조건 조건
1 2 3
광 파장
입력
모델
Photo Emi.
출력
Eoffset
3.1
eV

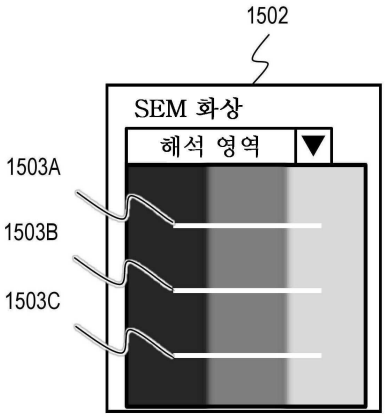
도면14


단면도
1401
1404
A
A'
1403
1405
1402
상면도
A
A'
1403
1404
1405
SEM
화상
(SE 상)
1409
1407
1408

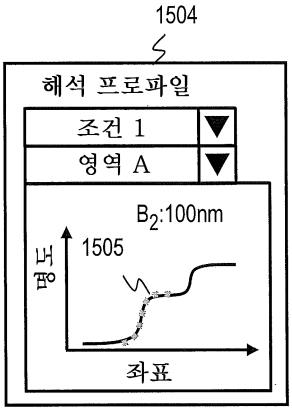
도면15a


1501
가변 파라미터 설정
조건 1
광조사
파장
600
nm
강도
0
mW
조건 2
광조사
파장
600
nm
강도
100
mW

도면15b



도면15c



도면15d

