



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0051644
(43) 공개일자 2016년05월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 23/223 (2006.01) G01B 15/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 23/223 (2013.01)
G01B 15/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0150868
(22) 출원일자 2015년10월29일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
62/072,471 2014년10월30일 미국(US)

(71) 출원인
조르단 벨리 세미컨덕터즈 리미티드
이스라엘 23100 미그달 하에메크 피.오.박스 103
(72) 발명자
워밍톤 매튜
미국 콜로라도 80130 리틀톤 윌트셔 드라이브
9354
마조르 이삭
이스라엘 하이파 헤이그 스트리트 29
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
송봉식, 정삼영

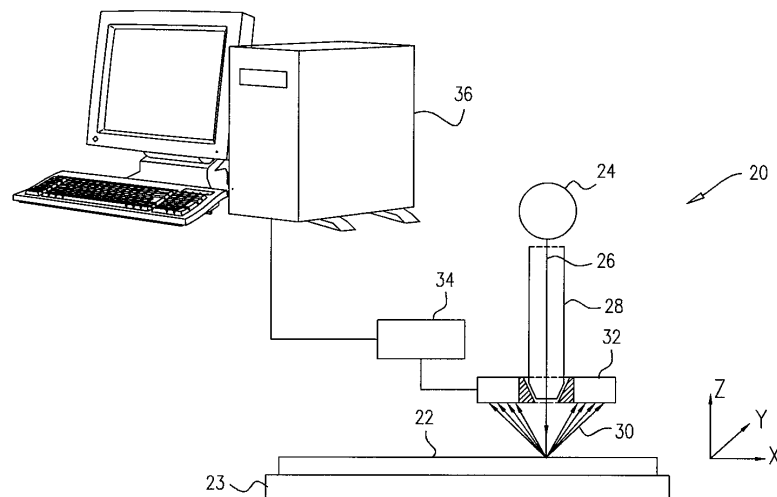
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 XRF를 사용한 작은 특징부의 측정

(57) 요약

엑스선 측정 방법은 교정 시기에서, 제1 빔 프로필을 갖는 제1 엑스선 빔을 교정 시료 위의 관심의 특징부를 가로질러 스캔하고, 상기 특징부로부터 그리고 상기 특징부를 둘러싸는 상기 교정 시료의 배경 에어리어로부터 방출되는 제1 엑스선 형광(XRF)을 측정하는 단계를 포함한다. 상기 제1 XRF 및 상기 제1 빔 프로필에 응답하여, 상대 방출 계수가 계산된다. 검사 시기에서, 검사 시료 위의 상기 관심의 특징부에 조사되도록, 상기 제1 빔 프로필과 상이한 제2 빔 프로필을 갖는 제2 엑스선 빔이 지향되고, 상기 제2 엑스선 빔에 응답하여 상기 검사 시료로부터 방출된 제2 XRF가 측정된다. 상기 검사 시료 위의 관심의 특징부의 특성이 상기 제2 빔 프로필과 함께 상기 상대 방출 계수를 상기 측정된 제2 XRF에 적용함으로써 계산된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 2223/076 (2013.01)
G01N 2223/1016 (2013.01)
G01N 2223/303 (2013.01)
G01N 2223/323 (2013.01)
G01N 2223/6116 (2013.01)

디코폴트세프 알렉스

이스라엘 하이파 주피트 스트리트 17/3

(72) 발명자

토카르 알렉스

이스라엘 하이파 하니타 스트리트 52/52

명세서

청구범위

청구항 1

엑스선 측정 방법으로서,

교정 시기에서, 제1 빔 프로필을 갖는 제1 엑스선 빔을 교정 시료 위의 관심의 특징부를 가로질러 스캔하고, 상기 제1 엑스선 빔에 응답하여, 상기 특징부로부터 그리고 상기 특징부를 둘러싸는 상기 교정 시료의 배경 에어리어로부터 방출되는 제1 엑스선 형광(XRF)을 측정하는 단계;

상기 제1 XRF 및 상기 제1 빔 프로필에 응답하여, 상기 특징부와 상기 특징부를 둘러싸는 배경 에어리어 사이의 XRF 방출 강도의 관계를 나타내는 상대 방출 계수를 계산하는 단계;

검사 시기에서, 검사 시료 위의 상기 관심의 특징부에 조사시키기 위해, 상기 제1 빔 프로필과 상이한 제2 빔 프로필을 갖는 제2 엑스선 빔을 지향시키고, 상기 제2 엑스선 빔에 응답하여 상기 검사 시료로부터 방출된 제2 XRF를 측정하는 단계; 및

상기 제2 빔 프로필과 함께 상기 상대 방출 계수를 상기 측정된 제2 XRF에 적용함으로써 상기 검사 시료 위의 관심의 특징부의 특성을 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 계산된 특성은 상기 특징부의 조성 및 두께로 구성된 특성의 그룹으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 계산하는 단계는,

상기 상대 방출 계수 및 상기 제2 빔 프로필에 기초하여 환경 보정 계수를 계산하는 단계;

상기 환경 보정 계수에 의해 상기 제2 XRF의 측정 강도를 스케일링함으로써 상기 제2 XRF의 보정 강도를 계산하는 단계; 및

계산된 조성 또는 두께를 상기 보정 강도로부터 유도하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 환경 보정 계수는 상기 검사 시료 위의 관심의 특징부를 둘러싸는 배경 에어리어에 입사되는 제2 엑스선 빔의 일부에 의존하고 상기 제2 엑스선 빔의 일부를 보상하는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 상대 방출 계수를 계산하는 단계는 상이한, 각각의 XRF 에너지에서, 상기 관심의 특징부 내의 복수의 상이한 요소에 대해, 제1 XRF를 측정하고 상이한, 각각의 상대 방출 계수를 계산하는 단계를 포함하고,

상기 특성을 계산하는 단계는 상기 측정된 제2 XRF의 에너지에 의존하여 적용할 상기 각각의 상대 방출 계수의 하나 이상을 선택하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 방법.

청구항 6

제1항 내지 제5항중 어느 한 항에 있어서, 상기 교정 시기에서, 상기 제1 빔 프로필을 측정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 제1 빔 프로필을 측정하는 단계는 상기 제1 엑스선 빔의 복수의 상이한 에너지에서 제1 빔의 폭을 측정하는 단계, 상기 폭의 에너지 의존도를 찾는 단계를 포함하고, 상기 상대 방출 계수를 계산하는 단계는, 상기 에너지 의존도에 기초하여, 특정 에너지에서 상기 제1 빔의 폭을 추정하는 단계, 및 상기 상대 방출 계수를 찾을 때 상기 추정된 폭을 적용하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 제1 빔 프로필을 측정하는 단계는 상기 상이한 에너지의 각각에서, 상기 제1 엑스선 빔을 타겟의 에지를 가로질러 스캔하는 단계, 및 상기 제1 엑스선 빔을 스캔하는 동안 상기 타겟으로부터의 XRF의 강도를 측정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 방법.

청구항 9

제6항에 있어서, 상기 검사 시기에서, 상기 제2 빔 프로필을 측정하는 단계를 포함하고, 상기 특성을 계산하는 단계는 상기 특성을 계산할 때 상기 상대 방출 계수와 함께, 상기 측정된 제2 빔 프로필을 적용하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 방법.

청구항 10

제1항 내지 제5항중 어느 한 항에 있어서, 상기 교정 및 검사 시료는 반도체 웨이퍼를 포함하고, 상기 관심의 특징부는 상기 반도체 웨이퍼의 각각 위의 사전규정된 위치에 형성된 금속 패드를 포함하고, 상기 배경 에어리어는 상기 사전규정된 위치 둘레의 반도체 웨이퍼 위에 형성된 다른 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 방법.

청구항 11

엑스선 측정 장치에 있어서,

시료에 조사하기 위해 엑스선 빔을 지향시키도록 구성된 엑스선 빔 소스;

상기 엑스선 빔에 응답하여 상기 시료로부터 방출된 엑스선 형광(XRF)을 감지하도록 구성된 엑스선 검출기;

상기 엑스선 빔이 상기 시료를 가로질러 스캔하도록 구성된 모션 어셈블리; 및

상기 엑스선 빔 소스 및 상기 모션 어셈블리를 제어하고 교정 시기 및 검사 시기에 상기 방출된 XRF에 응답하여 상기 엑스선 검출기로부터 신호를 수신하도록 구성된 프로세서를 포함하고,

상기 교정 시기에, 상기 모션 어셈블리는 제1 빔 프로필을 갖는 제1 엑스선 빔을 교정 시료 위의 관심의 특징부를 가로질러 스캔하고, 상기 프로세서는 상기 제1 엑스선 빔에 응답하여, 상기 특징부 및 상기 특징부를 둘러싸는 교정 시료의 배경 에어리어로부터 방출된 제1 XRF를 측정하고 상기 제1 XRF 및 상기 제1 빔 프로필에 응답하여, 상기 특징부와 상기 특징부를 둘러싸는 배경 에어리어 사이의 XRF 방출 강도의 관계를 나타내는 상대 방출 계수를 계산하고,

상기 검사 시기에서, 상기 엑스선 소스는 검사 시료 위의 관심의 특징부에 충돌시키기 위해, 상기 제1 빔 프로필과 상이한 제2 빔 프로필을 갖는 제2 엑스선 빔을 지향시키고, 상기 프로세서는 상기 제2 엑스선 빔에 응답하여 상기 검사 시료로부터 방출된 제2 XRF를 측정하고, 상기 제2 빔 프로필과 함께 상기 상대 방출 계수를 상기 측정된 제2 XRF에 적용함으로써 상기 검사 시료 위의 관심의 특징부의 특성을 계산하는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 장치.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 계산된 특성은 상기 특징부의 조성 및 두께로 구성된 특성의 그룹으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 장치.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 프로세서는,

상기 상대 방출 계수 및 상기 제2 빔 프로필에 기초하여 환경 보정 계수를 계산하는 단계;

상기 환경 보정 계수에 의해 상기 제2 XRF의 측정 강도를 스케일링함으로써 상기 제2 XRF의 보정 강도를 계산하는 단계; 및

계산된 조성 또는 두께를 상기 보정 강도로부터 유도하는 단계에 의해 상기 특성을 계산하는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 장치.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 환경 보정 계수는 상기 검사 시료 위의 관심의 특징부를 둘러싸는 배경 에어리어에 입사되는 제2 엑스선 빔의 일부에 의존하고 상기 제2 엑스선 빔의 일부를 보상하는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 장치.

청구항 15

제11항에 있어서, 상기 프로세서는 상이한, 각각의 XRF 에너지에서, 상기 관심의 특징부 내의 복수의 상이한 요소에 대해, 제1 XRF를 측정하고, 상이한, 각각의 상대 방출 계수를 계산하고, 상기 측정된 제2 XRF의 에너지에 의존하여 상기 특성 계산에서 적용할 상기 각각의 상대 방출 계수의 하나 이상을 선택하도록 구성된 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 장치.

청구항 16

제11항 내지 제15항중 어느 한 항에 있어서, 상기 프로세서는, 상기 교정 시기에서, 상기 제1 빔 프로필을 측정하도록 구성된 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 장치.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 프로세서는, 상기 제1 엑스선 빔의 복수의 상이한 에너지에서 제1 빔의 폭을 측정하고, 상기 폭의 에너지 의존도를 찾고, 상기 에너지 의존도에 기초하여, 특정 에너지에서 상기 제1 빔의 폭을 추정하고, 상기 상대 방출 계수를 찾을 때 상기 추정된 폭을 적용하도록 구성된 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 장치.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 제1 빔 프로필은, 상기 상이한 에너지의 각각에서, 상기 제1 엑스선 빔을 타겟의 에지를 가로질러 스캔함으로써, 그리고 상기 제1 엑스선 빔을 스캔하는 동안 상기 타겟으로부터의 XRF의 강도를 측정함으로써 측정되는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 장치.

청구항 19

제16항에 있어서, 상기 프로세서는, 상기 검사 시기에서, 상기 제2 빔 프로필을 측정하고, 상기 특성을 계산할 때 상기 상대 방출 계수와 함께, 상기 측정된 제2 빔 프로필을 적용하도록 구성된 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 장치.

청구항 20

제11항 내지 제15항중 어느 한 항에 있어서, 상기 교정 및 검사 시료는 반도체 웨이퍼를 포함하고, 상기 관심의 특징부는 상기 반도체 웨이퍼의 각각 위의 사전규정된 위치에 형성된 금속 패드를 포함하고, 상기 배경 에어리어는 상기 사전규정된 위치 둘레의 반도체 웨이퍼 위에 형성된 다른 구조를 포함하는 것을 특징으로 하는 엑스선 측정 장치.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 일반적으로 엑스선 시스템 및 방법에 관한 것이고, 구체적으로, 엑스선 형광을 사용하여 작은 특징부를 측정하는 것에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 엑스선 형광(XRF) 측정, 구체적으로, 엑스선 마이크로형광(즉, 보통 100 μ m 미만의 작은 직경의 포커싱된 여기 빔을 사용하는 엑스선 형광)은 반도체 웨이퍼를 검사하는데 있어 널리 사용되고 있다. XRF 자체는 시료의 원소 조성 및 두께와 같은 다른 특성을 알아내기 위한 주지된 기술이다. XRF 분석기는 일반적으로 시료 내의 관심의 원소로부터 엑스선 형광을 여기시키기 위해 충분한 에너지로 시료를 조사하는 엑스선 소스 및, 이러한 조사에 응답하여 시료에 의해 방출된 엑스선 형광을 검출하기 위한 엑스선 검출기를 포함하고 있다. 이러한 시료의 각각의 원소는 이러한 원소에 특유한 이산 에너지에서 엑스선 형광을 방출한다. 이렇게 검출된 엑스선 형광은 분석되어 검출된 광자의 에너지 또는, 동등하게, 파장 및, 에너지 또는 파장의 함수로서 방출 광자의 수(강도)를 찾고, 이러한 분석에 기초하여 시료의 질적 및/또는 양적 조성, 두께 및/또는 다른 특성이 결정된다.
- [0003] 예를 들어, 여기에 언급되어 통합된 미국 특허 6,108,398은 시료를 분석하기 위한 XRF 분석기 및 방법을 기술하고 있다. 이러한 분석기는 시료 위의 점에 입사되는 엑스선 빔을 발생시키고 복수의 형광 엑스선 광자를 생성하는 엑스선 빔 발생기를 포함하고 있다. 반도체 검출기의 어레이가 이러한 점 둘레에 배치되어 있어 형광 엑스선 광자를 포착한다. 이러한 분석기는 시료의 분석에 적절한 전기 펄스를 생산한다.
- [0004] 반도체 웨이퍼를 검사하기 위한 엑스선 마이크로형광의 사용은 여기에 언급되어 통합된 미국 특허 6,351,516에 기술되어 있다. 이러한 특허는 시료의 면 위의 오목부 내의 재료의 증착 및/또는 제거를 검사하기 위한 비파괴 방법을 기술하고 있다. 여기 빔은 이러한 오목부의 근방의 시료의 영역 위로 지향되고, 이러한 영역으로부터 방출된 엑스선 형광의 강도가 측정된다. 이러한 오목부 내에 증착된 재료의 양은 이렇게 측정된 강도에 응답하여 결정된다.
- [0005] 여기에 언급되어 통합된 미국 특허 7,653,174는 엑스선 형광을 사용한 작은 특징부의 검사를 위한 방법을 기술하고 있다. 이러한 방법은 시료 위의 타겟 특징부에 상대적인, 조사 엑스선 빔의 다수의 상이한 위치에서 시료로부터의 엑스선 방출 강도의 측정에 기초하고 있다. 상응하는 강도 측정값은 처리되어 특징부의 (두께와 같은) 특성을 보다 정확하게 나타내는 조정된 방출량을 제공한다.
- [0006] 여기에 언급되어 통합된 미국 특허 출원 공개 2013/0089178은 제1 재료를 포함하는 볼륨 및, 이러한 볼륨 위에 형성된, 제1 재료와 상이한 제2 재료로 만들어진 캡을 포함하는, 반도체 웨이퍼 위에 형성된 특징부의 검사를 위한 방법을 기술하고 있다. 이러한 특징부는 포커싱된 빔에 의해 조사되고, 이러한 조사 빔에 응답하여 제1 재료에 의해 방출되고 캡을 통과한 후에 검출기에 충돌하는 엑스선 형광 광자를 검출하도록 특징부에 비교하여 상이한 각도에 위치한 하나 이상의 검출기가 사용된다. 이렇게 검출된 광자에 응답하여 상이한 각도에서 하나 이상의 검출기에 의해 출력된 신호는 캡의 질을 평가하기 위해 처리된다.
- [0007] 여기에 언급되어 통합된 미국 특허 출원 공개 2014/0286473은 시료의 표면 위의 하나 이상의 특징부의 광학 이미지를 포착하는 단계 및 이러한 특징부중 적어도 하나를 포함하는 시료의 에어리어를 엑스선 빔에 의해 조사하는 단계를 포함하는 검사 방법을 기술하고 있다. 이러한 조사 엑스선 빔에 응답하여 시료로부터 방출된 엑스선 형광의 강도가 측정된다. 이러한 광학 이미지는 특징부중 적어도 하나의 기하학 파라미터를 추출하고 이러한 기하학 파라미터에 응답하여 보정 계수(correction factor)를 계산하도록 처리된다. 이러한 보정 계수는 측정 강도에 적용되어 특징부들중 적어도 하나의 특성이 얻어진다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

- [0008] 아래에 기술된 본 발명의 실시예는 엑스선 형광을 사용하여 작은 구조를 조사하기 위한 향상된 방법 및 장치를 제공한다.
- [0009] 따라서, 본 발명의 실시예에 따라, 교정 시기(phase)에서, 제1 빔 프로필을 갖는 제1 엑스선 빔을 교정 시료 위의 관심의 특징부를 가로질러 스캔하고, 상기 제1 엑스선 빔에 응답하여, 상기 특징부로부터 그리고 상기 특징부를 둘러싸는 상기 교정 시료의 배경 에어리어로부터 방출되는 제1 엑스선 형광(XRF)을 측정하는 단계를 포함하는 엑스선 측정 방법이 제공되어 있다. 상기 제1 XRF 및 상기 제1 빔 프로필에 응답하여, 상기 특징부와 상기 특징부를 둘러싸는 배경 에어리어 사이의 XRF 방출 강도의 관계를 나타내는 상대 방출 계수(relative emission factor)가 계산된다. 검사 시기에서, 검사 시료 위의 상기 관심의 특징부에 조사되기 위해, 상기 제1 빔 프로필과 상이한 제2 빔 프로필을 갖는 제2 엑스선 빔이 지향되고, 상기 제2 엑스선 빔에 응답하여 상기 검

사 시료로부터 방출된 제2 XRF가 측정된다. 상기 제2 빔 프로파일과 함께 상기 상대 방출 계수를 상기 측정된 제2 XRF에 적용함으로써 상기 검사 시료 위의 관심의 특징부의 특성이 계산된다.

[0010] 보통, 상기 계산된 특성은 상기 특징부의 조성 및 두께로 구성된 특성의 그룹으로부터 선택된다. 개시된 실시예에서, 상기 계산하는 단계는, 상기 상대 방출 계수 및 상기 제2 빔 프로파일 기초하여 환경 보정 계수(environmental correction factor, ECF)를 계산하는 단계, 상기 환경 보정 계수에 의해 상기 제2 XRF의 측정 강도를 스케일링함으로써 상기 제2 XRF의 보정 강도를 계산하는 단계, 및 계산된 조성 또는 두께를 상기 보정 강도로부터 유도하는 단계를 포함한다. 상기 환경 보정 계수는 상기 검사 시료 위의 관심의 특징부를 둘러싸는 배경 에어리어에 입사되는 제2 엑스선 빔의 일부에 의존하고 상기 제2 엑스선 빔의 일부를 보상한다.

[0011] 일부 실시예에서, 상기 상대 방출 계수를 계산하는 단계는 상이한, 각각의 XRF 에너지에서, 상기 관심의 특징부 내의 복수의 상이한 요소(element)에 대해, 제1 XRF를 측정하고 상이한, 각각의 상대 방출 계수를 계산하는 단계를 포함하고, 상기 특성을 계산하는 단계는 상기 측정된 제2 XRF의 에너지에 의존하여 적용할 상기 각각의 상대 방출 계수의 하나 이상을 선택하는 단계를 포함한다.

[0012] 일부 실시예에서, 상기 교정 시기에서, 상기 제1 빔 프로파일 측정하는 단계를 포함한다. 보통, 상기 제1 빔 프로파일 측정하는 단계는 상기 제1 엑스선 빔의 복수의 상이한 에너지에서 제1 빔의 폭을 측정하는 단계, 상기 폭의 에너지 의존도를 찾는 단계를 포함하고, 상기 상대 방출 계수를 계산하는 단계는, 상기 에너지 의존도에 기초하여, 특정 에너지에서 상기 제1 빔의 폭을 추정하는 단계, 및 상기 상대 방출 계수를 찾을 때 상기 추정된 폭을 적용하는 단계를 포함한다. 개시된 실시예에서, 상기 제1 빔 프로파일 측정하는 단계는 상기 상이한 에너지의 각각에서, 상기 제1 엑스선 빔을 타겟의 에지를 가로질러 스캔하는 단계, 및 상기 제1 엑스선 빔을 스캔하는 동안 상기 타겟으로부터의 XRF의 강도를 측정하는 단계를 포함한다.

[0013] 대안으로 또는 추가로, 상기 방법은, 상기 검사 시기에서, 상기 제2 빔 프로파일 측정하는 단계를 포함하고, 상기 특성을 계산하는 단계는 상기 특성을 계산할 때 상기 상대 방출 계수와 함께, 상기 측정된 제2 빔 프로파일 적용하는 단계를 포함한다.

[0014] 개시된 실시예에서, 상기 교정 및 검사 시료는 반도체 웨이퍼를 포함하고, 상기 관심의 특징부는 상기 반도체 웨이퍼의 각각 위의 사전규정된 위치에 형성된 금속 패드를 포함하고, 상기 배경 에어리어는 상기 사전규정된 위치 둘레의 반도체 웨이퍼 위에 형성된 다른 구조를 포함한다.

[0015] 또한, 본 발명의 실시예에 따라, 시료에 조사하기 위해 엑스선 빔을 지향시키도록 구성된 엑스선 빔 소스, 상기 엑스선 빔에 응답하여 상기 시료로부터 방출된 엑스선 형광(XRF)을 감지하도록 구성된 엑스선 검출기를 포함하는 엑스선 측정 장치가 제공되어 있다. 상기 엑스선 빔이 상기 시료를 가로질러 스캔하도록 모션 어셈블리가 구성되어 있다. 상기 엑스선 빔 소스 및 상기 모션 어셈블리를 제어하고 교정 시기 및 검사 시기에 상기 방출된 XRF에 응답하여 상기 엑스선 검출기로부터 신호를 수신하도록 프로세서가 구성되어 있다. 상기 교정 시기에, 상기 모션 어셈블리는 제1 빔 프로파일 갖는 제1 엑스선 빔을 교정 시료 위의 관심의 특징부를 가로질러 스캔하고, 상기 프로세서는 상기 제1 엑스선 빔에 응답하여, 상기 특징부 및 상기 특징부를 둘러싸는 교정 시료의 배경 에어리어로부터 방출된 제1 XRF를 측정하고 상기 제1 XRF 및 상기 제1 빔 프로파일 응답하여, 상기 특징부와 상기 특징부를 둘러싸는 배경 에어리어 사이의 XRF 방출 강도의 관계를 나타내는 상대 방출 계수를 계산한다. 상기 검사 시기에서, 상기 엑스선 소스는 검사 시료 위의 관심의 특징부에 조사시키기 위해, 상기 제1 빔 프로파일과 상이한 제2 빔 프로파일 갖는 제2 엑스선 빔을 지향시키고, 상기 프로세서는 상기 제2 엑스선 빔에 응답하여 상기 검사 시료로부터 방출된 제2 XRF를 측정하고, 상기 제2 빔 프로파일과 함께 상기 상대 방출 계수를 상기 측정된 제2 XRF에 적용함으로써 상기 검사 시료 위의 관심의 특징부의 특성을 계산한다.

[0016] 본 발명은 다음의 도면과 함께 아래의 실시예의 상세한 설명을 통해 보다 완전히 이해될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 마이크로형광 측정을 위한 시스템의 개략도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른, 웨이퍼 상의 관심의 패드(POI) 위의 엑스선 빔의 파라미터를 도시하는 반도체 웨이퍼 위의 영역의 개략 평면도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른, 웨이퍼 상의 POI 위의 스캔 동안 여기 엑스선 빔의 위치의 함수로서의 엑스선 형광(XRF) 강도의 개략도이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른, 엑스선 빔 크기를 교정하기 위한 방법을 개략적으로 도시하는 순서도이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른, XRF 측정의 분석에 사용되는 상대 방출 계수를 계산하기 위한 방법을 개략적으로 도시하는 순서도이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른, 시료 상의 특징부의 XRF 측정 및 분석을 위한 방법을 개략적으로 도시하는 순서도이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른, 다양한 상이한 검사 조건에 대해 계산되는 환경적 보정 계수를 개략적으로 도시하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 여기에 기술된 본 발명의 실시예는 엑스선 마이크로형광을 사용한 작은 특징부의, 조성 및 두께와 같은 특성의 측정에 관한 것이다. 본 특허 출원에서, "작은"은 보통, 50 μ m 미만인, 시료의 표면 상의 엑스선 스폿의 치수의 직경보다 작거나 비교가능한 치수를 갖는, 반도체 웨이퍼 상의 집적 회로의 영역과 같은, 시료의 특징을 나타낸다. 집적 회로 장치에서, 이러한 파라미터의 값은 이러한 장치의 성능, 신뢰도 및 수율에 상당히 중요할 수 있지만, 이들은 정확하게 그리고 비파괴적으로 측정하는 것이 어렵거나 불가능하다. 아래에 기술된 마이크로-XRF의 방법은 특히, 특성화 또는 계측학의 목적을 위한 웨이퍼 상에 형성된 패드의 특성의 평가에 관한 것이다. 그러나, 본 발명의 원리는 마찬가지로, 반도체 웨이퍼 및 다른 종류의 시료 모두에 대한 다른 종류의 작은 특징부의 조사에 적용될 수 있다.
- [0019] 엑스선 빔이 관심의 패드(POI)에 포커싱될 때, 측정 정확도의 목적을 위해, 엑스선 빔이 이러한 패드의 중심에 맞추어지고 모든 입사 강도가 이러한 패드에만 가해지는 것이 이상적으로 바람직하다. 그러나, 실제로, 이러한 상태는 시료 상의 엑스선 빔 크기가 측정되는 패드에 비교가능하다면 달성될 수 없다. 이러한 경우에, 이러한 빔은 패드를 벗어나 쏟아지는(spill off) 경향이 있다. 즉, 실제로 입사 엑스선 강도의 일부만이 관심의 패드의 형광을 여기시키고, 빔의 나머지는 이웃 에어리어 및 특징부로부터의 배경 형광을 여기시킨다. 이러한 형광 강도는 관심의 패드의 특성의 정확한 측정을 위해 보정될 필요가 있다.
- [0020] 필요한 보정은 POI로부터의 XRF를 여기시키는데 사용되는 엑스선 빔의 강도(프로필)의 공간 분포 및 관심의 XRF 라인에서의 주변 에어리어(여기에서 "배경 에어리어"로도 부른다)의 방출 모두에 의존한다. 주어진 엑스선 빔 프로필 및 POI에 있어서, XRF 방출에 대한 배경 에어리어의 상대적 기여도(contribution)는 미리 보정되고 사용되어 주어진 검사 "레시피(recipe)"에서 이루어진 측정을 보정할 수 있다. 그러나, 빔 프로필이 변하자마자, 예를 들어, 엑스선 광학장치의 조정 또는 엑스선 튜브의 변경으로 인해, POI에 상대적인, XRF 방출에 대한 배경의 기여도는 변할 것이고, 이전에 유도된 교정 계수는 부정확하게 될 것이다.
- [0021] 여기에 기술된 본 발명의 실시예는 레시피의 교정 시기(phase)를 반복할 필요 없이 빔 프로필이 변경되었을 때 도 검사 레시피를 계속 사용할 수 있도록 하는 교정 기술을 제공함으로써, 이러한 문제를 처리한다. 교정(레시피 설정) 시기에서, 엑스선 빔은 후속으로 평가될 검사 시료를 나타내는 교정 시료 상의, POI와 같은, 관심의 특징부를 가로질러 스캔되고, 이러한 엑스선 빔에 응답하여, 특징부 및 이러한 특징부를 둘러싸는 교정 시료의 배경 에어리어로부터 방출된 XRF가 측정된다. XRF 및 XRF 빔의 공지된 프로필에 기초하여, 프로세서는 특징부와 배경 에어리어 사이의 XRF 방출 강도의 관계를 나타내지만 빔 기하학적 구조에 독립적인, 아래에서 "두께 계수(thickness factor)"로 부르는 상대 방출 계수를 계산한다.
- [0022] 교정 시기에서 발견된 파라미터는 보통 임의의 범위의 상이한 엑스선 빔 에너지 및 XRF 방출선에 적용된다. 이러한 엑스선 프로필은 보통 엑스선 빔 에너지의 함수로서 변하고, 상대 방출 계수는 주어진 POI 내의 요소 및 이러한 방출을 유발하는 배경 에어리어에 따라, 상이한 XRF 방출선에 대해 변한다. 교정 시기에서, 이러한 변화를 보상하기 위해, 빔 에너지에 대한 빔 프로필의 의존도 역시 측정되고, 다수의 상대 방출 계수가 POI 내의 상이한 요소에 대해 계산될 수 있다. 빔 에너지 및 XRF 방출선의 범위 및 선택은 레시피마다 다를 수 있다.
- [0023] 교정 시기에 이어지는 검사 시기에서, 레시피는 보통 제조 단계의 반도체 웨이퍼와 같은 다수의 검사 시료에 적용된다. 엑스선 빔은 검사 시료 위의 관심의 특징부에 조사되기 위해 지향되고, 방출된 XRF가 다시 측정된다. 상술된 바와 같이, 이러한 검사 시기에 사용되는 엑스선 빔은 교정 시기에서 사용되는 빔과 상이한 빔 프로필을 가질 수 있다. 이러한 빔 프로필은 전체 레시피 교정 절차를 반복할 필요없이 이러한 단계에서 또는 (예를 들어, 시스템 보수에 이어지는) 재측정이 필요하다고 생각되는 임의의 다른 시점에 재측정될 수 있다. 공지된 빔

프로필 및 교정 시기에서 발견된 적절한 상대 방출 계수를 사용하여, 프로세서는 측정 XRF 강도를 보정하여서 빔 프로필의 변화에 관계없이 검사 시료 위의 관심의 특징부의 특성을 정확하게 계산한다.

[0024] 개시된 실시예에서, 아래에 더 설명되는 바와 같이, 프로세서는 환경 보정 계수(ECF)에 의해 측정 XRF 강도를 스케일링함으로써 보정 XRF 강도를 찾는다. 이러한 계수는 배경 에어리어로부터의 상대 XRF 방출 강도는 물론, 검사 시료 위의 관심의 특징부를 둘러싸는 배경 에어리어에 "손실"된 엑스선 빔의 부분을 보상한다. 따라서, ECF는 XRF를 여기서키도록 사용되는 엑스선 빔의 프로필 및 형광이 측정되는 요소 모두에 의존하고, 따라서, 현재의, 공지된 빔 프로필 및 대상 요소에 적절한 상대 방출 계수를 사용하여 레시피의 각각의 적용에서 계산된다. 이러한 방법은 레시피 재교정에 대한 필요를 피하면서, 상이한 검사 톨에 대한 동일한 레시피의 구현을 포함하는, 주어진 레시피를 사용하여 많은 검사 시료에 대해 이루어지는 측정에서 고도의 정확성 및 유효성을 제공한다.

[0025] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 엑스선 마이크로형광 분석 시스템(20)의 개략도이다. 시스템(20)의 특징은 상술된 미국 특허 6,108,398에 상세하게 기술되어 있다. 시스템(20)은 아래에 기술된 방법을 사용하여, 제조 공정 동안 웨이퍼 상에 형성된 특징부의 특성을 측정하기 위해 반도체 웨이퍼(22)(또는 다른 시료)를 검사하도록 배치되어 있다. 예를 들어, 시스템(20)은 웨이퍼(22) 상의 관심의 패드(POI) 및 기능성 특징부 모두를 형성하는데 있어 적용되는 제조 공정의 적절한 동작을 확인하기 위해, 조성 및 두께를 포함하는, POI의 특성을 측정하고 분석할 수 있다.

[0026] 시스템(20)은 당업계에 공지된 바와 같이, 고전압 전원에 의해 구동되는, 엑스선 튜브(24)와 같은, 여기 소스를 포함하고 있다. 엑스선 튜브(24)는 적절한 에너지 범위 및 전력속을 갖는 엑스선 빔(26)을 방출한다. 광학부는 예를 들어, 폴리카릴리 에레이를 포함할 수 있다. 광학부(28)는 (레이저 및, 가능하게는, 보다 작은 점 크기가 사용될 수 있지만) 보통 직경 5-50 μ m 정도의 점의 작은 영역에 엑스선 빔의 초점을 맞춘다. 조사된 영역은 둘레에 기울어져 배열된 검출기(32)의 어레이에 의해 포착되는 형광 엑스선(30)을 방출한다. 검출기는 입사 엑스선 광자의 에너지에 비례하는 진폭을 갖는 펄스를 발생시키는 Si(Li) (리튬 드리프트형 실리콘) 검출기 또는 실리콘 드리프트형 검출기(SDD)와 같은 임의의 적절한 타입의 엑스선 검출기를 포함할 수 있다. 이렇게 포착된 광자에 응답하여, 검출기(32)는 신호 분석기(34)에 전달되는 전기 신호를 발생시킨다.

[0027] 대안으로, 임의의 적절한 여기 소스, 전원, 포커싱 광학부 및 검출 시스템을 포함하는, 당업계에 공지된 다른 타입의 엑스선 형광 분석기가 여기에 기술된 방법을 구현하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 단일 검출기 및/또는 다른 적절한 포커싱 및 검출 구성이 사용될 수 있다.

[0028] 신호 분석기(34)는 보통 당업계에 알려진 바와 같이, 부분적으로 에너지 분산 펄스 프로세서를 포함하고 있다. 보통, 신호 분석기는 광자 에너지의 함수로서 형광 광자를 계수하는 다채널 분석기(MCA)로서 구성되어 있다. 디지털 프로세서(36)는 신호 분석기(34)에 의해 출력된 카운트에 기초하여 검출기에 의해 포착된 엑스선 광자의 강도 스펙트럼을 계산한다. 대안으로, 검출기(32) 및 신호 분석기(34)는 파장 분산 검출 및 처리 시스템으로서 구성될 수 있다. 프로세서(36)는 보통 적절한 소프트웨어의 제어하에 시스템(20)의 디지털 처리 기능을 실행하는 범용 컴퓨터를 포함하고 있다. 이러한 소프트웨어는 예를 들어, 네트워크를 통해 전자 형태로 프로세서에 다운로드될 수 있거나, 대안으로, 광학, 자기 또는 전자 메모리 매체와 같은 유형, 비임시 매체에 제공될 수 있다.

[0029] 보통, 웨이퍼(22)는 모션 스테이지(23)와 같은 가동 플랫폼에 배치되어 웨이퍼가 엑스선 빔(26) 및 검출기(32)에 대해 이동되고 및/또는 회전될 수 있다. 대안으로, 이러한 웨이퍼는 적절한 고정물에 배치되고 튜브(24), 광학부(28) 및 검출기(32)가 이동되어, 엑스선 빔이 웨이퍼 위의 상이한 위치에 지향될 수 있다. 프로세서(36)는 보통 사전프로그램된 교정 및 검사 레시피에 따라, 시스템 운영자의 명령으로 또는 자동으로, 모션 스테이지(23) 및 시스템(20)의 다른 부재를 제어하도록 결합되어 있다.

[0030] 시스템(20)은 또한, 반사, 회절 및/또는 작은 각도 산란과 같은, 다른 메커니즘에 의해 웨이퍼(22)로부터 산란된 엑스선을 포착하고 처리하도록 구성될 수 있다. 이러한 종류의 다기능 시스템은 예를 들어, 여기에 언급되어 통합된 미국 특허 번호 6,381,303 및 6,895,075 및 7,551,719에 기술되어 있다.

[0031] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른, 웨이퍼 상의 관심의 패드(POI) 위의 엑스선 빔(50)의 교정 스캔의 파라미터를 보여주는 반도체 웨이퍼(22)의 개략 평면도이다. 이러한 예에서, POI(40)는 웨이퍼(22)의 다이(46, 48) 사이의 스크라이브 라인(42)에 위치된 치수 $L_x \times L_y$ 의 직방형 금속 패드이다. 스크라이브 라인(42)은 이웃 특징부(44)를 포함하고 있다. 다이(46, 48)는 도 2에 균일 에어리어로서 묘사되어 있지만, 실제로는 보통 빔(50) 보다

상당히 작은 크기의 특징부를 포함하고 있다.

[0032] 다음의 파생어에서, 이해를 위해, L_X 는 (자주 있는 경우처럼) 충분히 커서 빔(50)은 특징부(44)에 중첩되지 않고 POI(40)에 초점을 맞추어질 수 있다고 가정한다. 동시에, 다이(46, 48) 내의 POI(40)에 인접한 특징부는 충분히 작아서 다이로부터 방출된 XRF 스펙트럼은 이러한 특징부에서 평균화되고 빔(40)의 위치에 따라 변하지 않는다고 가정한다. POI(40)는 실제로, Y 방향으로 어느 한측의 무한, 균일한 영역에 의해 경계지어진, X 방향으로 무한 길이의 선형 특징부로서 처리된다. 대안으로, 다음의 파생어의 원리는 필요한 부분만 약간 수정하여, 원형 및 타원형 패드와 같은 다른 형상의 패드는 물론, X 방향 및 Y 방향 모두에서 빔(50) 보다 작은 직방형 패드에 적용될 수 있다.

[0033] 시스템(20)의 교정 시기에서, 프로세서(36)에 의해 빔(50)은 도 2의 화살표에 의해 표시된 바와 같이, POI(50)를 스캔하고, 각각의 스캔 위치에서 최종 XRF를 측정한다. 빔(50)은 도면의 빔을 나타내는 원에 의해 표현된 바와 같이, 특정 반값 전폭(FWHM)을 갖는 가우스 프로필을 갖는다고 가정한다. 가우스 빔은 당업계에 알려진 바와 같이, FWHM 보다 더 빠른 와이드 테일을 갖는다. POI(50)의 중심(54)으로부터 빔(50)의 중심(52)까지의 거리는 ΔY 로 표시되고 예를 들어, $10\mu\text{m}$ 의 스텝의 작은 스텝으로 진행되고, 프로세서(36)는 각각의 스텝에서 관심의 방출 라인에서 XRF 강도를 측정하고 기록한다.

[0034] 도 2에 도시된 빔 위치에서, 검출기(32)는 스캔의 과정에서 상대 기여도가 변하는 상태로 POI(40) 및 다이(46) 모두로부터 방출된 XRF를 수신할 것이다. 이러한 기여도는, 단위 면적당, 유효 두께, 즉, POI(40)에 대해 F_{CENTER} , 특징부(44) 및 다이(46, 48)에 대해 각각, F_{LEFT} , F_{RIGHT} , F_{UP} 및 F_{DOWN} 로 표현된다. 이러한 유효 두께는 관심의 XRF 방출선에 대해 응답하는 요소의 각각의 에어리어에 대한 상대 집중도에 의해 가중치 부여된, 각각의 위치에서의 웨이퍼(22) 상의 층의 실제, 물리적 두께에 상응한다.

[0035] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른, 도 2에 도시된 POI(40)에 대한 스캔 동안 엑스선 빔(50)의 위치의 함수로서의 XRF 강도의 개략도이다. 점선(60)은 주어진 요소에 대한 유효 두께를 나타내고, 실선(62)은 스캔의 과정에서 측정되는, 주어진 요소의 특정 XRF 방출선에서의 방출 강도를 나타낸다. 스캔 내의 각각의 Y 위치에서, 측정된 XRF 강도는 이러한 위치에서의 빔(50)에 의해 조사된 에어리어로부터의 방출 합에 상응할 것이다.

[0036] 이러한 예에서, POI(40)에서 보다 다이(46, 48)에서 관심의 방출선을 유발하는 요소의 양은 실질적으로 보다 크고, 따라서, 유효 두께 F_{CENTER} 는 F_{UP} 또는 F_{DOWN} 보다 상당히 작다. 따라서, 빔(50)이 POI(40) 위에 완전하게 정렬될 때도, POI 위 아래의 배경 에어리어는 측정된 XRF 신호에 실질적인 기여를 하게 될 것이다. 여기에 기술된 실시예에 의해 프로세서(36)는 이러한 배경 기여도에 대해 보상할 수 있어서 POI(40)의 재료의 기여도만을 나타내는 측정 XRF 값을 추출할 수 있다. 교정 단계 동안 추출되는, 배경 에어리어에 대한 표준 두께 계수 F 는 본 예에서, 즉, POI에 대한 배경 에어리어의 유효 두께의 평균인 것으로 받아들여진다.

$$F = (F_{\text{UP}} + F_{\text{DOWN}}) / 2F_{\text{CENTER}}$$

[0037]

[0038] 웨이퍼(22) 상의 주변 환경 및 POI(40) 내의 상이한 요소는 이들의 방출선에서 상이한 유효 두께 및 상응하는 강도 곡선을 갖게 될 것이다. 따라서, 도 3에 도시된 상황과 대조적으로, 주어진 검사 레시피는 일반적으로(필수는 아니다) 곡선(62)의 F_{CENTER} 및 상응하는 XRF 강도는 다이(46, 48)의 주변 스캔 위치에 대한 것보다 POI를 덮는 스캔 위치에 대해 실질상 보다 큰 적어도 하나의 XRF 방출선의 측정을 수반할 것이다.

[0039] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른, 엑스선 빔(50)의 크기를 교정하기 위한 방법을 개략적으로 설명하는 순서도이다. 이러한 절차는 일반적으로 시스템(20)의 초기 설정 및 정렬에 이어지는, 프로세서(36)에 의해 자동으로 또는 조작자의 제어에 의해 실행된다. 이러한 절차의 목적은 1-40 keV와 같은, 분석에 사용될 엑스선 여기의 에너지 범위에 걸쳐 있는 에너지의 범위에서 엑스선 빔(50)의 빔 프로필 (및 구체적으로 FWHM)을 정확하게 측정하는 것이다. 이러한 절차는 보통 엑스선 튜브(24) 또는 광학부(28)의 교체와 같은, 중요한 보수 및 수정 후에 반복된다. 2개의 상이한 XRF 측정 시스템에 대한 이러한 종류의 빔 교정 절차를 실행함으로써 시스템중 하나에서 개발되고 교정된 레시피를 취하고 이들을 전체 레시피의 재교정 없이 다른 레시피에 사용하는 것이 가능하다.

[0040] 도 4의 방법은 에너지 설정 단계 70에서 엑스선 빔 에너지의 선택으로 시작한다. 일단 엑스선 튜브(24)가 선택

된 에너지에서 동작하도록 설정되면, 빔은 스캔 단계 72에서, 적절한 금속 와이어 또는 에지와 같은 선형 타겟을 가로질러 스캔된다. 검출기(32)는 이러한 금속의 특성 방출선에서 타겟 라인으로부터의 XRF 방출을 측정한다. 이러한 XRF 방출 강도는 임의의 주어진 스캔 위치에서 타겟에 조사되는 엑스선 빔의 일부의 집약 강도에 비례할 것이다. 스캔 측정으로부터 실제 빔 프로필을 추출하기 위해, 프로세서(36)는 피팅(fitting) 단계 74에서, 에지와 같은 경우의 헤비사이드 함수 또는 와이어의 경우의 실크햇(top-hat)와 같은, 금속 특징부에 대한 적절한 형상 함수와 컨볼빙되는 가우스 빔에 대해 예상된 강도의 파라미터 모델로 XRF 강도의 측정 프로필을 피팅한다. 이러한 피팅 공정은 보통 비선형 회귀를 사용하고 현 빔 에너지에 대한 FWHM의 값을 산출한다.

[0041] 단계 70, 72, 74의 절차는 측정 완료 단계 76에서 관심의 전체 에너지 범위가 커버될 때까지 다수의 상이한 엑스선 빔 에너지에 대해 반복된다. 이러한 측정은 이러한 범위 내의 모든 관심의 에너지에서 실제 실행될 필요는 없다. 대신에, 프로세서(36)는 모델링 단계 78에서, 2차 또는 다른 다항식과 같은 모델 함수에 에너지(E)에 대한 FWHM의 측정값을 피팅한다. 보통, 빔 폭의 에너지에 대한 의존도는 단조로워서 FWHM은 (예를 들어, 10keV에서의 25 μ m로부터 30keV에서의 15 μ m으로) 에너지가 증가함에 따라 감소된다. 따라서, 2차식은 실제 빔 폭의 양호한 추정치를 제공할 것이고 FWHM이 중간 에너지 값에서 이러한 모델로부터 계산될 수 있도록 할 것이다. 이러한 2차 표현은 피트 파라미터 w_0 , w_1 , w_2 를 포함하고 다음과 같은 일반적인 형태를 갖고 있다.

$$FWHM(E) = w_0 + w_1 E + w_2 E^2$$

[0042]

[0043] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른, XRF 측정의 분석에 사용되기 위한 상대 방출 계수(여기에서 두께 계수로 부른다)를 계산하기 위한 방법을 개략적으로 설명한 순서도이다. 이러한 상대 방출 계수는 상술된 바와 같이, 심볼 F로 표시된 (표준화된) 두께 계수로서 여기에 부른다. 다시, 도 5의 방법은 프로세서(36)에 의해 자동으로 및/또는 조작자의 제어로 수동으로 수행될 수 있다. 이러한 방법은 주어진 POI 내의 관심의 각각의 요소 또는 방출선에 대해 한 번 실행되는데, 이것은 상이한 요소에 대해 각각 상응하는 다수의 두께 계수가 POI에 대해 유도될 수 있다는 것을 의미한다.

[0044] 적절한 엑스선 빔 에너지는 관심의 요소를 여기시키도록 선택되고, 엑스선 빔 크기(FWHM)는 빔 크기 체크 단계 80에서, 주어진 에너지에 대해 결정된다. 이러한 빔 크기는 보통 상술된 바와 같이, 이전에 추출된 모델로부터 유도되지만, 대안으로, 필요하다면 그리고 필요할 때 직접 교정될 수 있다. 프로세서(36)는 빔 스캔 단계 82에서 POI(40) 위에 엑스선 빔(50)을 스캔하고, 검출기(32)에 의해 수신된 XRF 방출선의 강도를 측정한다. 보통, 측정은 POI(40)의 폭(L_y)의 두배 또는 세배인 범위에서 이루어지고, 이러한 측정은 빔 폭의 10-20%인 ΔY 의 증분에서 이루어진다. 도 2에 도시된 예에서, Y 방향으로만 스캔할 필요가 있지만, 다른 기하학 구조에서, 빔은 X 방향과 Y 방향 모두에서 POI 위에 스캔될 수 있다.

[0045] POI(40) 내의 관심의 각각의 요소에 대해, 프로세서(36)는 모델 피팅 단계 84에서, 스캔 위치의 함수로서의 측정 XRF 강도를 POI 및 주변 배경 에어리어의 모델에 피팅한다. 이러한 모델 파라미터는 POI 및 배경 에어리어의 미지의 상대 기여도와 함께, POI 및 엑스선 빔 폭의 공지된 형상 및 치수를 포함하고 있다. (대안으로, POI 및/또는 엑스선 빔의 FWHM의 크기 및 오프셋 역시 모델의 변수로서 처리될 수 있다.) 단계 84에서 실행된 모델 피팅의 결과는 상술된 바와 같이, POI(40) 내의 관심의 요소에 대한 표준화된 평균 두께 계수 F이다. F는 요소가 다이(46, 48) 내의 POI에 인접한 배경 에어리어로부터 존재하지 않을 때의 제로로부터, 예를 들어, 얇은 검사 패드가 고농도의 주어진 요소를 갖는 보다 두꺼운 배경 에어리어에 의해 둘러싸일 때 일어나는 도 3에 도시된 예에서와 같은, 1 보다 훨씬 더 큰 값까지의 범위를 가질 수 있다.

[0046] 프로세서(36)는 하술되는 바와 같이, POI에 적용되는 검사 레시피와 함께 후속 사용되기 위한 POI(40) 내의 요소에 대해 유도되는 F의 값을 저장한다.

[0047] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른, POI(40)와 같은, 시료 상의 특징부의 XRF 측정 및 분석을 위한 방법을 개략적으로 도시하는 순서도이다. 후속 분석에 사용될 초기 단계로서, 프로세서(36)는 빔 크기 체크 단계 90에서 엑스선 빔(50)의 FWHM을 결정한다. 일반적으로, 프로세서는 이전의 빔 측정의 결과 및 도 4에서 유도된 모델 또는 시스템 보수와 같은 임의의 개재 시간에서 만들어진 재측정값을 사용할 수 있다. 이러한 빔 크기 측정은 교정과 검사 시기 사이의 임의의 시간에 자동으로 또는 수동으로 다시 실시될 수 있다. 따라서, 보통, 레시피가 새로운 톨에 대해 처음으로 구현되고 있거나 엑스선 튜브(24) 또는 광학부(28)에 최근에 변화 또는 조정이 있지 않았다면 단계 90에서 빔 크기를 실제로 측정할 필요가 없다. 어떤 경우에도, 도 6의 측정에 사용된 엑스선 빔의 프로필은 도 5의 교정 절차에서 사용된 빔 프로필과 동일할 필요가 없다.

[0048] 프로세서(36)는 XRF 획득 단계 92에서, 빔(50)이 POI(40) 위에 위치결정되고 XRF 방출선의 스펙트럼을 측정하도록 시스템(20)을 동작시킨다. 프로세서는 강도 측정 단계 94에서 스펙트럼에서 관심의 각각의 요소의 각각의 방출선의 순 강도를 찾기 위해 측정 방출선을 분석한다. "순 강도"는 스펙트럼으로부터 광대역 엑스선 배경 강도를 감함으로써 발견된다. (이러한 광대역 스펙트럼 강도는 POI(40)를 둘러싸는 배경 에어리어의 XRF 기여도로 인한 특정 스펙트럼 라인에서의 강도의 보정과 별개로 관련이 없다.)

[0049] 각각의 요소에 대해, 프로세서(36)는 환경 보정 계수(ECF) 계산 단계 96에서, 공지된 FWHM 및 두께 계수 F를 사용하여, ECF를 계산한다. 이러한 ECF는 검사 웨이퍼 상의 POI(40)를 둘러싸는 다이(46, 48)의 배경 에어리어에 의존하고 이러한 배경 에어리어를 보상한다.

$$ECF^{-1} \equiv \alpha = \left(\iint_{pad} G(x,y) dx dy + F \iint_{env.} G(x,y) dy dy \right)$$

[0050]

[0051] $G(x,y)$ 에서, $G(x,y)$ 는 $\sigma = FWHM/2.35$ 를 갖는 대칭 가우스 함수이다. 상기 식은 다음과 같이 패드 기여도 P(w) 및 배경(환경) 기여도 E(w)의 합으로서 다시 쓸 수 있다.

$$\alpha = [P(w) + E(w)] = \{P(w) + F[1 - P(w)]\}$$

[0052]

[0053] 여기에서, w는 빔 폭이다.

[0054] 도 2에 도시된 특정 기하학 구조에 대해, 패드 기여도는 다음에 의해 주어진다.

$$P(w) = \int_{-L_x/2}^{L_x/2} \int_{-L_y/2}^{L_y/2} \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\sigma^2}\right] dx dy$$

[0055]

[0056] 프로세서(36)는 강도 보정 단계 98에서, 측정 강도를 보정하기 위해 POI(40) 내의 관심의 각각의 요소에 대해 계산된 ECF 값을 적용한다. 구체적으로, 프로세서는 단계 96에서 계산된 상응하는 ECF 값과의 승산에 의해 단계 94에서 측정된 순 강도를 스케일링한다. 이러한 스케일링은 POI 외측에 있는 빔(50)의 부분으로 인해 손실되는 POI(40)로부터의 XRF의 강도의 부분에 대해 그리고 다이(46, 48)로부터의 배경 XRF 방출의 기여도에 대해 보상한다. 이러한 스케일링된 강도는 빔(50)이 POI(40)에 전체가 포함되었다면 얻어질 방출 강도에 거의 가깝다.

[0057] 프로세서(36)는 패드 분석 단계 100에서, 조성 및 두께와 같은, POI(40)의 특성을 계산하는데 있어 이러한 스케일링된 강도를 사용한다. 이러한 목적을 위해, 프로세서는 회귀 등식 또는 기본 파라미터와 같은 당업계에 알려진 양적 분석 기술을 적용할 수 있다. 최종 특성은 POI의 웨이퍼 환경의 영향에 관계없이 근사치에 가깝다.

[0058] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른, 다양한 상이한 검사 조건에 대해 계산된 환경 보정 계수를 개략적으로 도시하는 도면이다. 곡선(102, 104, 106, 108)의 각각은 치수 50 x 50 μm 의 검사 패드에서, 두께 계수 F의 상이한, 각각의 값에 대한 빔(50)의 FWHM의 함수로 ECF의 값을 보여주고 있다. 구체적으로, 두께 계수는 다음의 값을 갖고 있다.

[0059] • 곡선 102 - F = 0

[0060] • 곡선 104 - F = 0.5

[0061] • 곡선 106 - F = 1

[0062] • 곡선 108 - F = 2

[0063] • 곡선 110 - F = 10

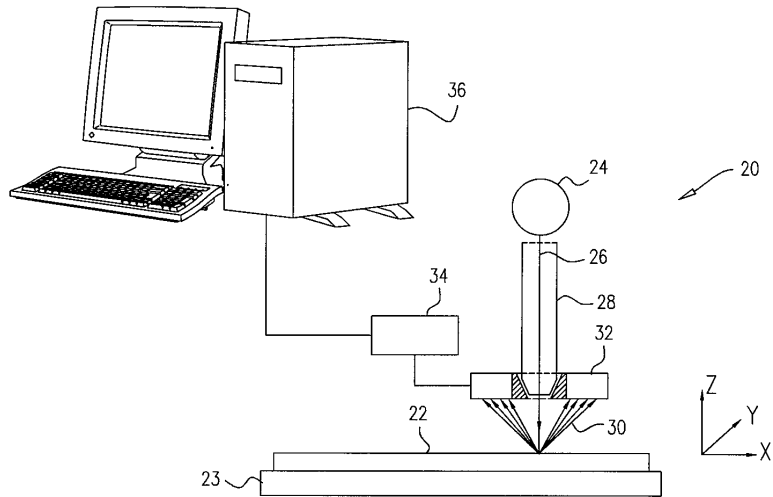
[0064] 곡선 102에서, 배경 에어리어는 XRF 방출 강도에 대해 전혀 기여하지 않아서, ECF는 측정된 강도를 스케일 업하여 POI를 놓친 여기 빔의 부분으로 인한 손실 신호를 보상한다. 한편, 곡선(108, 110)에서, 측정된 XRF 강도는 ECF에 의해 스케일 다운되어 강한 배경 XRF 강도를 보상한다.

[0065]

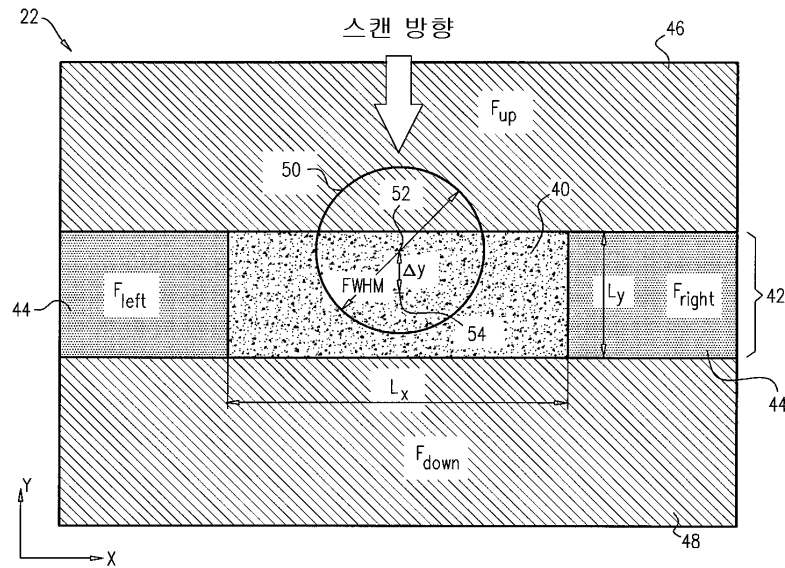
상술된 실시예는 예시이고, 본 발명은 위에 특별히 도시되고 위에 기술된 것에 제한되지 않는다는 것을 이해할 것이다. 오히려, 본 발명의 범위는 종래기술에 개시되지 않고 상기 설명으로부터 당업자에게 가능한 변형 및 수정은 물론 상술된 다양한 특징의 조합 및 부조합 모두를 포함하고 있다.

도면

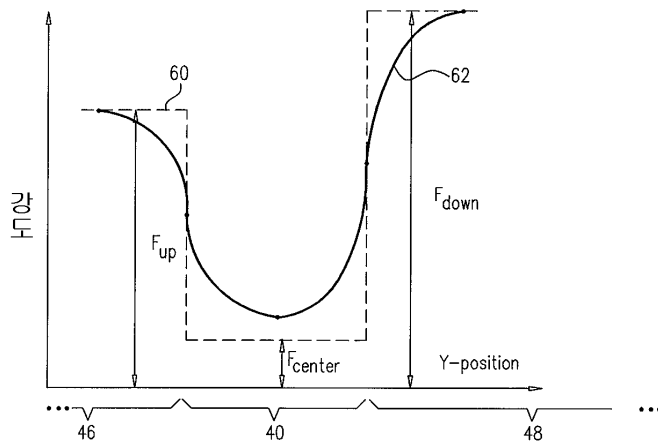
도면1



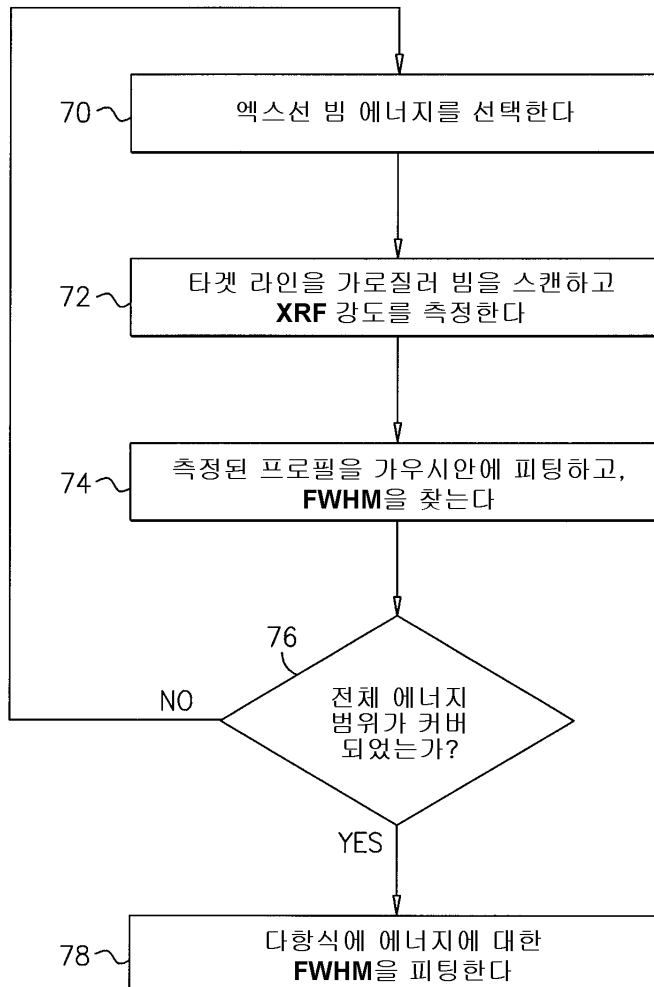
도면2



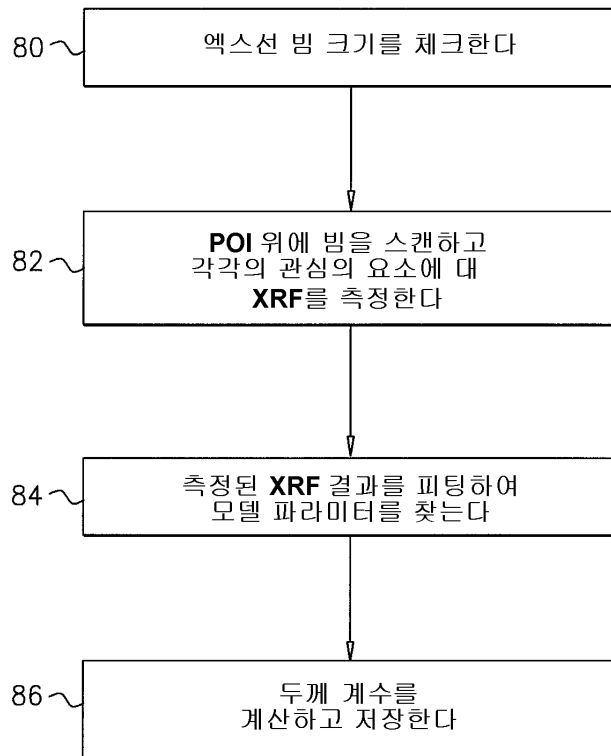
도면3



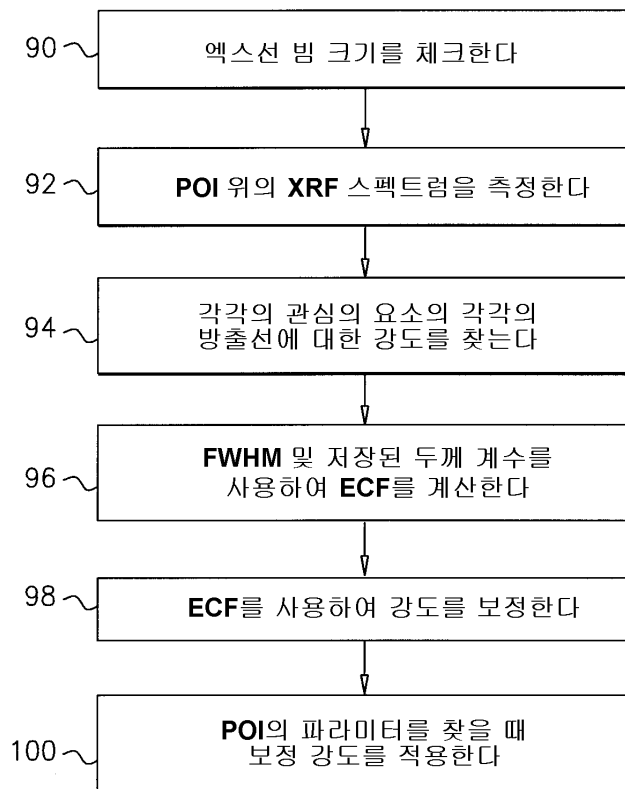
도면4



도면5



도면6



도면7

