



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년07월19일  
(11) 등록번호 10-1166013  
(24) 등록일자 2012년07월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 23/20 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2004-0084157

(22) 출원일자 2004년10월20일

심사청구일자 2009년07월15일

(65) 공개번호 10-2005-0037985

(43) 공개일자 2005년04월25일

(30) 우선권주장

10/689,314 2003년10월20일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US6535575 B2\*

US6507634 B1\*

US20020097837 A1\*

KR1020020057346 A\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

조르단 벨리 세미컨덕터즈 리미티드

이스라엘 미그달 하'에메크 10550 피.오. 박스 1013

(72) 발명자

베르만데이비드

이스라엘 키르야트 티본 하브라딤 스트리트 17

디코폴트세브알렉스

이스라엘 하이파 아파트먼트 3 주피트 스트리트 17

(74) 대리인

송봉식, 정삼영

전체 청구항 수 : 총 42 항

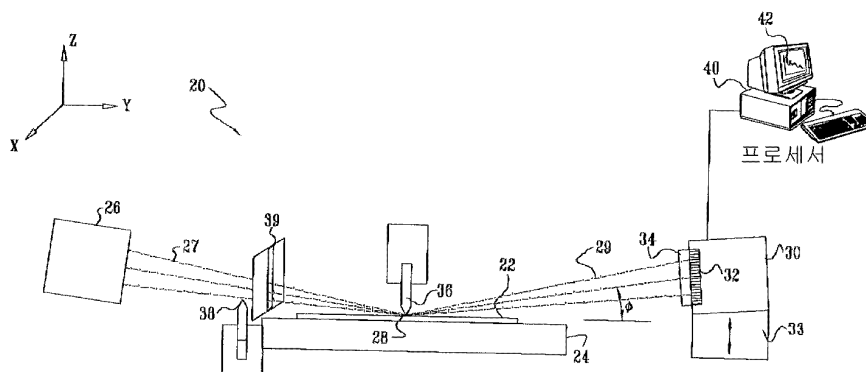
심사관 : 박태욱

(54) 발명의 명칭 증진된 정밀성을 가진 박막층의 X-레이 반사광 측정법

(57) 요약

본 발명은 알려진 반사 특성을 가진 제 1 층 및 이 제 1 층 위에 형성된 제 2 층을 포함하는 샘플을 검사하는 방법에 관한 것이다. 이 방법은 상기 표면에 대한 양각의 함수로서 반사 신호를 발생시키기 위해서 샘플의 표면을 향하여 방사선을 지향시키는 단계 및 상기 표면으로부터 반사된 방사선을 감지하는 단계를 포함하고 있다. 제 1 층으로부터의 방사선의 반사로 인한 특색은 반사 신호 내에서 식별된다. 이 반사 신호는 식별된 특색과 제 1 층의 알려진 반사 특성에 상응하게 보정된다. 보정된 반사 신호는 제 2 층의 특성을 결정하도록 분석된다. 다른 개선된 검사 방법 또한 개시된다.

대표도



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

공지의 반사 특성을 가진 제 1 층 및 제 1 층 위에 형성된 제 2 층을 포함하고 있는 샘플의 검사 방법에 있어서,

샘플의 표면을 향해 방사선을 지향시키는 단계;

표면에 대한 양각의 함수로서 반사신호를 생성하기 위해 표면으로부터 반사된 방사선을 감지하는 단계;

제 1 층으로부터의 방사선의 반사로 인한 반사 신호의 특색으로서, 상기 제 1 층으로부터의 전체 외부 반사에 대한 임계각에 상응하는 반사 신호내의 쇼울더의 위치를 포함하는 상기 특색을 식별하는 단계;

상기 쇼울더의 위치를 상기 제 1 층의 공지의 밀도에 의해 결정되는 상기 임계각의 공지의 값에 비교하여, 상기 쇼울더의 위치 및 상기 임계각의 공지의 값에 기초하여 상기 반사 신호의 각도 스케일에 있어서 제로 각도를 검출함으로써, 제 1 층의 공지의 반사 특성 및 식별된 특색에 응답하여 상기 반사 신호를 보정하는 단계; 및

제 2 층의 특성을 결정하기 위해 상기 보정된 반사 신호를 분석하는 단계;를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서, 방사선은 X선을 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서, 방사선을 감지하는 단계는 표면에 수직인 어레이 축선을 가진 검출기 요소의 어레이에서 방사선을 수신하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

### 청구항 4

제 3 항에 있어서, 방사선을 수신하는 단계는:

적어도 제 1 위치와 제 2 위치 사이의 어레이를 어레이 축선에 평행한 방향을 따라 이동시키는 단계;

제 1 위치 및 제 2 위치에 있는 검출기 요소에 의해 수신된 방사선에 의한 제 1 반사 신호 및 제 2 반사 신호를 생성하는 단계; 및

증강된 반사 신호를 생성하도록 제 1 반사 신호 및 제 2 반사 신호를 결합시키는 단계;를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

### 청구항 5

제 1 항에 있어서, 제 1 층으로부터 반사된 전체 외부 방사선에 대한 임계각은 제 1 임계각이고, 상기 보정된 반사 신호를 분석하는 단계는 제 2 층으로부터 반사된 전체 외부 방사선에 대한 제 2 임계각의 보정 값을 결정하는 단계를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

### 청구항 6

제 5 항에 있어서, 제 1 층 및 제 2 층은 각각 제 1 밀도 및 제 2 밀도를 가지고 있고, 보정된 반사 신호를 분석하는 단계는 제 2 임계각의 보정 값에 기초하여 제 2 밀도를 평가하는 단계를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

### 청구항 7

제 6 항에 있어서, 제 2 밀도는 제 1 밀도보다 작은 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

### 청구항 8

제 7 항에 있어서, 제 1 층은 실리콘을 포함하고, 제 2 층은 다공성 유전체를 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

#### 청구항 9

공지의 반사 특성을 가진 제 1 층 및 제 1 층 위에 형성된 제 2 층을 포함하고 있는 샘플의 검사 장치에 있어서,

샘플의 표면을 향해 X선을 지향시키는 방사선 공급원;

표면에 대한 양각의 함수로서 반사신호를 생성하기 위해 표면으로부터 반사된 방사선을 감지하도록 배열된 검출기 조립체; 및

제 1 층으로부터의 방사선의 반사로 인한 반사 신호 내의 특색으로서, 상기 제 1 층으로부터의 전체 외부 반사에 대한 임계각에 상응하는 반사 신호내의 쇼울더의 위치를 포함하는 상기 특색을 식별하는 단계; 상기 쇼울더의 위치를 상기 제 1 층의 공지의 밀도에 의해 결정되는 상기 임계각의 공지의 값에 비교하여, 상기 쇼울더의 위치 및 상기 임계각의 공지의 값에 기초하여 상기 반사 신호의 각도 스케일에 있어서 제로 각도를 검출함으로써, 제 1 층의 공지의 반사 특성 및 식별된 특색에 응답하여 상기 반사 신호를 보정하는 단계; 및 제 2 층의 특성을 결정하기 위해 상기 보정된 반사 신호를 분석하는 단계;에 의해, 상기 반사 신호를 수신하고 처리하도록 커풀링된 신호 프로세서;를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 장치.

#### 청구항 10

제 9 항에 있어서, 방사선은 X선을 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 장치.

#### 청구항 11

제 9 항에 있어서, 검출기 조립체는 표면에 수직인 어레이 축선을 가진 검출기 요소의 어레이를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 장치.

#### 청구항 12

제 11 항에 있어서, 검출기 조립체는, 어레이가 제 1 위치 및 제 2 위치에 있는 검출기 요소에 의해 수신된 방사선에 의한 제 1 반사 신호 및 제 2 반사 신호를 생성하도록, 적어도 제 1 위치와 제 2 위치 사이의 어레이를 어레이 축선에 평행한 방향을 따라 이동시키는 이동 요소를 포함하고 있고,

신호 프로세서는 증강된 반사 신호를 생성하도록 제 1 반사 신호 및 제 2 반사 신호를 결합시키는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 장치.

#### 청구항 13

제 9 항에 있어서, 제 1 층으로부터 반사된 전체 외부 방사선에 대한 임계각은 제 1 임계각이고, 신호 프로세서는 보정된 반사 신호를 분석함으로써 제 2 층으로부터 반사된 전체 외부 방사선에 대한 제 2 임계각의 보정 값을 결정하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 장치.

#### 청구항 14

제 13 항에 있어서, 제 1 층 및 제 2 층은 각각 제 1 밀도 및 제 2 밀도를 가지고 있고, 신호 프로세서는 제 2 임계각의 보정 값에 기초하여 제 2 밀도를 평가하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 장치.

#### 청구항 15

제 14 항에 있어서, 제 2 밀도는 제 1 밀도 미만인 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 장치.

#### 청구항 16

제 15 항에 있어서, 제 1 층은 실리콘을 포함하고, 제 2 층은 다공성의 유전체 재료를 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 장치.

#### 청구항 17

샘플의 검사 장치에 있어서,

상기 장치는:

샘플의 표면을 향하여 X선을 안내하는 방사선 공급원; 및

검출기 조립체를 포함하고 있고,

상기 검출기 조립체는:

표면에 수직인 어레이 축을 따라 배열되고 사전결정된 피치로 서로 분리되어 있고, 표면으로부터 반사된 X선을 수신하고 수신된 방사선에 응답하여 신호를 발생시키는 검출기 요소 어레이; 및

피치의 정수배가 아닌 증가분만큼 서로 분리된 적어도 제 1 위치와 제 2 위치 사이에서 어레이 축에 평행한 방향으로 검출기 요소 어레이를 이동시키도록 연결된 이동 요소; 및

표면에 대한 양각의 함수로서 표면의 X선 반사율을 결정하기 위하여 적어도 제 1 위치 및 제 2 위치에서 검출기 조립체에 의해 발생된 신호를 결합시키도록 연결된 신호 프로세서를 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 장치.

#### 청구항 18

제 17 항에 있어서, 신호 프로세서는 표면의 X선 반사율을 결정하기 위하여 적어도 제 1 위치 및 제 2 위치에서 검출기 조립체에 의해 발생된 신호를 인터리빙하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 장치.

#### 청구항 19

제 17 항에 있어서, 증가분은 피치의 절반 이하인 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 장치.

#### 청구항 20

제 17 항에 있어서, 어레이는 선형 어레이를 포함하고, 검출기 요소는 어레이의 일피치보다 큰 횡방향 치수를 어레이 축에 대하여 수직으로 가지고 있는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 장치.

#### 청구항 21

제 17 항에 있어서, 어레이는 2차원 매트릭스의 검출기 요소를 포함하고, 검출기 조립체는 어레이 축에 대하여 수직인 방향을 따라 어레이의 각각의 열에 검출기 요소를 저장하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 장치.

#### 청구항 22

샘플의 표면을 향하여 X선을 안내하는 단계;

수용된 방사선을 표면에 수직인 어레이 축을 따라 분해하는(resolving) 동안 표면으로부터 반사된 X선을 수신하기 위하여, 사전결정된 피치로 서로 분리되어 있는 검출기 요소 어레이를 구성하는 단계;

피치의 정수배가 아닌 증가분만큼 서로 분리되어 있는 적어도 제 1 위치와 제 2 위치 사이에서 어레이 축에 대하여 평행한 방향으로 검출기 요소 어레이를 이동시키는 단계;

적어도 제 1 위치 및 제 2 위치 각각에서 수신된 X선에 응답하여 검출기 요소에 의해 발생된 적어도 제 1 신호 및 제 2 신호를 수신하는 단계; 및

표면에 대한 양각의 함수로서 표면의 X선 반사율을 결정하기 위하여 적어도 제 1 신호 및 제 2 신호를 결합시키는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

#### 청구항 23

제 22 항에 있어서, 적어도 제 1 신호 및 제 2 신호를 결합시키는 단계는 이들 신호를 인터리빙하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

#### 청구항 24

제 22 항에 있어서, 증가분은 피치의 절반 이하인 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

## 청구항 25

마이크로 전자장치를 생산하기 위한 클러스터 도구에 있어서,

상기 도구는:

반도체 웨이퍼의 표면위의 하층으로서, 공지의 반사 성질을 가지고 있는 상기 하층 상에 박막층을 증착하는 증착 스테이션; 및

검사 스테이션을 포함하고 있고,

상기 검사 스테이션은:

웨이퍼의 표면을 향하여 X선을 안내하는 방사선 공급원;

표면에 대한 양각의 함수로서 반사 신호를 발생시키기 위하여 표면으로부터 반사된 방사선을 감지하도록 배열된 검출기 조립체; 및

하층으로부터의 방사선의 반사로 인한 반사 신호 내의 특색으로서, 상기 하층으로부터의 전체 외부 반사에 대한 임계각에 상응하는 반사 신호내의 쇼울더의 위치를 포함하는 상기 특색을 식별하는 단계; 상기 반사 신호의 상기 쇼울더의 위치를 상기 하층의 공지의 밀도에 의해 결정되는 상기 임계각의 공지의 값에 비교하여, 상기 쇼울더의 위치 및 상기 임계각의 공지의 값에 기초하여 상기 반사 신호의 각도 스케일에 있어서 제로 각도를 검출함으로써, 하층의 공지의 반사 특성 및 식별된 특색에 응답하여 상기 반사 신호를 보정하는 단계; 및 보정된 반사 신호를 분석하여 상기 증착 스테이션에 의해 증착된 박막층의 특성을 결정하는 단계;에 의해, 상기 반사 신호를 수신하고 처리하도록 커플링된 신호 프로세서;를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 마이크로 전자장치를 생산하기 위한 클러스터 도구.

## 청구항 26

반도체 웨이퍼를 수용하는 생산 챔버;

챔버 내에서, 반도체 웨이퍼의 표면위의 하층으로서, 공지의 반사 성질을 가지고 있는 상기 하층 상에 박막층을 증착하는 증착 장치;

챔버 내에서 반도체 웨이퍼의 표면을 향하여 X선을 안내하는 방사선 공급원;

표면에 대한 양각의 함수로서 반사 신호를 발생시키기 위하여 표면으로부터 반사된 방사선을 감지하도록 배열된 검출기 조립체; 및

하층으로부터의 방사선의 반사로 인한 반사 신호 내의 특색으로서, 상기 하층으로부터의 전체 외부 반사에 대한 임계각에 상응하는 반사 신호내의 쇼울더의 위치를 포함하는 상기 특색을 식별하는 단계; 상기 쇼울더의 위치를 상기 하층의 공지의 밀도에 의해 결정되는 상기 임계각의 공지의 값에 비교하여, 상기 쇼울더의 위치 및 상기 임계각의 공지의 값에 기초하여 상기 반사 신호의 각도 스케일에 있어서 제로 각도를 검출함으로써, 하층의 공지의 반사 특성 및 식별된 특색에 응답하여 상기 반사 신호를 보정하는 단계; 및 보정된 반사 신호를 분석하여 상기 증착 장치에 의해 증착된 박막층의 특성을 결정하는 단계;에 의해, 상기 반사 신호를 수신하고 처리하도록 커플링된 신호 프로세서;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 마이크로 전자장치를 생산하기 위한 장치.

## 청구항 27

마이크로 전자장치를 생산하기 위한 클러스터 도구에 있어서,

상기 도구는:

반도체 웨이퍼의 표면상에 박막층을 증착시키는 증착 스테이션; 및

검사 스테이션을 포함하고 있고,

상기 검사 스테이션은:

웨이퍼의 표면을 향하여 X선을 안내하는 방사선 공급원;

검출기 조립체; 및

표면에 대한 양각의 함수로서 박막층의 X선 반사율을 결정하기 위하여 적어도 제 1 위치 및 제 2 위치에서 검출기 조립체에 의해 발생된 신호를 결합시키도록 연결된 신호 프로세서를 포함하고 있고,

상기 검출기 조립체는:

표면에 수직인 어레이 축을 따라 배열되고 사전결정된 피치로 서로 분리되고, 표면으로부터 반사된 X선을 수신하고 수신된 방사선에 응답하여 신호를 발생시키도록 작동하는 검출기 요소 어레이; 및

피치의 정수배가 아닌 증가분만큼 서로 분리된 적어도 제 1 위치와 제 2 위치 사이에서 어레이 축에 평행한 방향으로 검출기 요소 어레이를 이동시키도록 연결된 이동 요소를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 마이크로 전자장치를 생산하기 위한 클러스터 도구.

## 청구항 28

마이크로 전자장치를 생산하기 위한 장치에 있어서;

상기 장치는:

반도체 웨이퍼를 수용하는 생산 챔버;

챔버 내에서, 반도체 웨이퍼의 표면에 박막층을 증착하는 증착 장치;

챔버 내에서 반도체 웨이퍼의 표면을 향하여 X선을 안내하는 방사선 공급원;

검출기 조립체; 및

표면에 대한 양각의 함수로서 박막층의 X선 반사율을 결정하기 위하여 적어도 제 1 위치 및 제 2 위치에서 검출기 조립체에 의해 발생된 신호를 결합시키도록 연결된 신호 프로세서를 포함하고 있고,

상기 검출기 조립체는:

표면에 수직인 어레이 축을 따라 배열되고 사전결정된 피치로 서로 분리되고, 표면으로부터 반사된 X선을 수신하고 수신된 방사선에 응답하여 신호를 발생시키도록 작동하는 검출기 요소 어레이; 및

피치의 정수배가 아닌 증가분만큼 서로 분리된 적어도 제 1 위치와 제 2 위치 사이에서 어레이 축에 평행한 방향으로 검출기 요소 어레이를 이동시키도록 연결된 이동 요소를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 마이크로 전자장치를 생산하기 위한 장치.

## 청구항 29

제 2 사전결정된 위치에서 방사선 센서를 향하여 제 1 사전결정된 위치의 방사선 공급원으로부터 방사선을 안내하는 단계;

사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하기 위하여 셔터가 위치되는 동안, 양각의 함수로서 제 1 직접 신호를 발생시키기 위하여 방사선 공급원으로부터 방사선 센서상에 직접 입사되는 방사선을 감지하는 단계;

사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하지 않도록 하기 위하여 셔터가 위치되는 동안, 양각의 함수로서 제 2 직접 신호를 발생시키기 위하여 방사선 공급원으로부터 방사선 센서상에 직접 입사되는 방사선을 감지하는 단계;

방사선이 샘플의 표면에 입사하도록, 제 1 사전결정된 위치에서의 방사선 공급원과 제 2 사전결정된 위치에서의 방사선 센서 사이에 샘플을 도입하는 단계;

사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하기 위하여 셔터가 위치되는 동안, 양각의 함수로서 제 1 반사 신호를 발생시키기 위하여 샘플의 표면으로부터 방사선 센서상에 반사되는 방사선을 감지하는 단계;

사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하지 않도록 하기 위하여 셔터가 위치되는 동안, 양각의 함수로서 제 2 반사 신호를 발생시키기 위하여 샘플의 표면으로부터 방사선 센서상에 반사되는 방사선을 감지하는 단계; 및

표면에 대한 접선의 양각을 찾기 위하여 제 1 직접 신호와 제 2 직접 신호 사이의 제 1 비율을 제 1 반사 신호와 제 2 반사 신호 사이의 제 2 비율을 비교하는 단계: 를 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

### 청구항 30

제 29 항에 있어서, 방사선은 X선을 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

### 청구항 31

제 29 항에 있어서, 방사선 센서는 샘플의 표면에 수직인 어레이 축을 가지고 있는 검출기 요소 어레이를 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

### 청구항 32

제 31 항에 있어서, 직접 신호 및 반사 신호를 측정하기 위하여 방사선을 감지하는 단계는:

어레이 축선에 평행한 방향을 따라 적어도 제 1 위치와 제 2 위치 사이에서 어레이를 이동시키는 단계;

적어도 제 1 위치 및 제 2 위치에서 검출기 요소에 의해 수신된 방사선에 기인하는 제 1 및 제 2 신호를 발생시키는 단계;

향상된 신호를 발생시키기 위하여 제 1 및 제 2 신호를 조합하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

### 청구항 33

제 29 항에 있어서, 샘플 표면의 박막층의 특성을 측정하기 위하여 제 1 및 제 2 반사 신호를 분석하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

### 청구항 34

제 29 항에 있어서, 제 1 비율과 제 2 비율을 비교하는 단계는 주어진 값을 제 1 비율이 갖는 제 1 양각 및 주어진 값을 제 2 비율이 갖는 제 2 양각을 찾아내는 단계, 제 1 및 제 2 양각의 평균이 되는 표면에 대한 접선의 양각을 측정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

### 청구항 35

제 34 항에 있어서, 최소 양각 아래에서 셔터가 방사선을 차단하는 상기 최소 양각을 측정하기 위하여 제 1 및 제 2 양각 사이의 차이를 획득하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법.

### 청구항 36

샘플 검사 장치는:

방사선을 발생시키는 제 1 사전결정된 위치의 방사선 공급원;

사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하기 위하여 위치결정 가능한 셔터;

방사선 공급원에 의해 발생하는 방사선이 샘플의 표면에 입사되게 샘플을 위치결정하도록 구성되어 있는 이동 스테이지;

양각의 함수로서 방사선 센서에 입사하는 방사선에 응답하는 신호를 발생시키기 위하여 방사선을 감지하는 제 2 사전결정된 위치의 상기 방사선 센서;

표면에 대한 접선의 양각을 찾아내기 위하여 제 1 직접 신호와 제 2 직접 신호 사이의 제 1 비율과 제 1 반사 신호와 제 2 반사 신호 사이의 제 2 비율을 비교하도록 결합되는 신호 프로세서를 포함하고 있고,

상기 신호는:

셔터가 사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하도록 위치결정되어 있는 동안에 방사선 공급원으로부터 방사선 센서에 직접 입사하는 방사선에 응답하는 제 1 직접 신호;

셔터가 사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하지 않도록 위치결정되어 있는 동안에 방사선 공급원으로부터 방사선 센서에 직접 입사하는 방사선에 응답하는 제 2 직접 신호;

셔터가 사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하도록 위치결정되어 있는 동안에 샘플의 표면으로부터 방사

선 센서에 반사된 방사선에 응답하는 제 1 반사 신호;

서터가 사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하지 않도록 위치결정되어 있는 동안에 샘플의 표면으로부터 방사선 센서에 반사된 방사선에 응답하는 제 2 반사 신호;를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 샘플 검사 장치.

#### 청구항 37

제 36 항에 있어서, 방사선은 X선을 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 샘플 검사 장치.

#### 청구항 38

제 36 항에 있어서, 방사선 센서는 샘플의 표면에 수직인 어레이 축선을 갖는 검출기 요소의 어레이를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 샘플 검사 장치.

#### 청구항 39

제 38 항에 있어서, 방사선 센서는 어레이 축선에 평행한 방향을 따라 적어도 제 1 위치 및 제 2 어레이 위치 사이에서 어레이를 이동시키는 이동 요소를 포함하고 있으므로 어레이가 제 1 위치 및 제 2 어레이 위치에서 검출기 요소에 의해 수신된 방사선에 기인하여 적어도 제 1 및 제 2 신호를 발생시키고,

신호 프로세서는 향상된 신호를 발생시키기 위하여 적어도 제 1 및 제 2 신호를 조합하는 것을 특징으로 하는 샘플 검사 장치.

#### 청구항 40

제 36 항에 있어서, 신호 프로세서는 샘플 표면의 박막층의 특성을 측정하기 위하여 제 1 및 제 2 반사 신호를 분석하는 것을 특징으로 하는 샘플 검사 장치.

#### 청구항 41

제 36 항에 있어서, 신호 프로세서는 주어진 값을 제 1 비율이 갖는 제 1 양각 및 주어진 값을 제 2 비율이 갖는 제 2 양각을 찾아내고, 제 1 및 제 2 양각의 평균을 획득하므로써 표면에 대한 접선의 양각을 측정하는 것을 특징으로 하는 샘플 검사 장치.

#### 청구항 42

제 41 항에 있어서, 신호 프로세서는 그 이하에서 서터가 방사선을 차단하는 최소 양각을 측정하기 위하여 제 1 및 제 2 양각 사이의 차이를 획득하는 것을 특징으로 하는 샘플 검사 장치.

#### 청구항 43

삭제

#### 청구항 44

삭제

#### 청구항 45

삭제

#### 청구항 46

삭제

#### 청구항 47

삭제

#### 청구항 48

삭제



## 명세서

### 발명의 상세한 설명

#### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- [0009] 본 발명은 일반적으로 분석기기에 관한 것이며, 구체적으로는 X-선을 사용하는 박막 분석 기기 및 방법에 관한 것이다.
- [0010] X-선 반사측정(XRR)은 기관 위에 부착된 박막층의 두께, 밀도 및 표면 품질을 측정하기 위한 잘 알려진 기술이다. 종래의 X-선 반사측정기는 많은 회사에 의해 판매되고 있으며, 그 중에 Technos(일본 오사카), Siemens(독일 뮌헨) 그리고 Bede Scientific Instrument(영국 더럼) 등이 있다. 그러한 반사측정기들은 전형적으로, 샘플 재료의 총 외부 반사각에 가깝게, 가깝게 닿는 정도로, 즉 샘플 표면에 대해 적은 각도로 X-선 빔을 샘플에 조사함으로써 작동한다. 각도의 함수로서 샘플로부터 반사된 X-선 강도를 측정하는 것은 간섭무늬의 패턴을 제공하며, 이것을 분석하여 간섭무늬 패턴을 창출해낸 막층의 특성을 결정한다. X-선 강도 측정은 통상 비례 계수기 또는 어레이 검출기, 전형적으로 포토다이오드 어레이나 전하결합소자(CCD) 등의 위치-감응 검출기를 사용하여 행해진다.
- [0011] X-선 데이터를 분석하여 막 두께를 측정하는 방법은, 예를 들어 Komiya 등의 미국특허 No. 5,740,226에 설명되며, 이 명세서가 참고자료로서 본원에 수록된다. 각도의 함수로서 X-선 반사율을 측정한 후에, 평균 반사율 곡선을 간섭무늬 스펙트럼으로 피팅한다. 평균 곡선은 막의 감쇠, 바탕값 및 표면 조도를 나타내는 식을 기초로 한다. 다음에, 피팅된 평균 반사율 곡선은 간섭무늬 스펙트럼의 진동 성분을 추출하는데 사용된다. 이 성분을 푸리에 변환하여 막 두께를 알아 낸다.
- [0012] 본원에 참고자료로서 명세서가 수록된 Koppel의 미국특허 5,619,548은 반사측정에 기초한 X-선 두께 게이지를 설명한다. 곡선 모양의 반사 단색광 장치를 사용하여 샘플의 표면 위에 X-선의 초점을 맞춘다. 포토다이오드 검출기 어레이 같은 위치-감응 검출기는 표면으로부터 반사된 X-선에 감응하며, 반사각의 함수로서 강도 신호를 생성한다. 각도-의존성 신호를 분석하여, 두께, 밀도 및 표면 조도를 포함하는 샘플 위의 박막층의 구조 특성을 결정한다.
- [0013] 본원에 참고자료로서 명세서가 수록된 Barton 등의 미국특허 5,923,720은 또한 곡선 모양의 결정 단색광 장치에 기초한 X-선 분광기를 설명한다. 모노크로미터는 점점 가늘어지는 대수 나선형의 형태를 가지고, 이것은 선행 기술 모노크로미터보다 샘플 표면 위에서 더 미세한 초점 스팟을 달성하는 것으로 기술된다. 샘플 표면으로부터 반사되거나 회절된 X-선은 위치-감지 검출기에 의해 수용된다.
- [0014] 삭제
- [0015] X-선 반사 측정의 또다른 통상적인 방법은 예를 들어, 여기서 참고문헌에 의해 포함되는 문헌 Naudon의, Journal of Applied Crystallography 22 (1989), p.460내의 발명의 명칭 "각-분해된 분산 모드에서 X-선 반사 측정을 그레이징 하기 위한 신규한 장치" 에서 기술된다. X-선의 발산빔은 그레이징 입사에서 샘플의 표면쪽을 향하고, X-선 공급원 반대쪽의 검출기는 반사된 X-선을 수집한다. 나이프 에지는 1차 X-선 빔을 차단하기 위해 측정 위치 바로 위에서 샘플 표면에 가깝게 놓인다. 샘플과 검출기 사이의(미국 특허 5,619, 548에서와 같이, 공급원과 샘플 사이라기 보다는) 모노크로미터는 검출기에 도달되는 반사된 X-선 빔의 파장을 선택한다.
- [0016] XRR은 또한 예를 들어, 전문이 여기서 참고문헌에 의해 포함되는 미국 특허 출원 공보 US 2001/0043668에서 Hayashi 외에 의해 기술된 바와 같이, 반도체 웨이퍼 위에 생산에서 박막층을 검사하기 위해, 부착로 내에서 원위치에서 사용될 수 있다. 로는 그것의 측벽에 X-선 입사 및 추출 윈도우가 제공된다. 그 위에 박막이 부착된 기관은 입사 윈도우를 통해 조사되었고, 기관으로부터 반사된 X-선은 X-선 추출 윈도우를 통해 감지된다.

#### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- [0017] 본 발명의 실시예는 향상된 정밀도를 가진 XRR 측정을 수행하는 방법 및 시스템을 제공한다. 이러한 방법 및 시스템은 박막층을 분석하는 데 유리하고, 특히 실리콘 웨이퍼와 같은 고밀도의 아래에 놓여 있는 층에 증착되어 있는 낮은 k값의 다공성 유전체와 같은 저밀도 물질의 특성을 나타내는 데 유리하다.
- [0018] 본 발명의 몇 가지 실시예에 있어서, 박막층에 의해 발생된 XRR 프린지(fringe) 패턴의 각도 스케일이 아래에 놓여 있는 층의 알려진 반사 특성에 기초하여 보정된다. 프린지 패턴의 구조는 박막의 밀도, 두께 및 다른 특성에 의존하지만, 특히 박막층의 밀도가 아래에 놓여 있는 층의 밀도보다 작을 때 상기 패턴은 아래에 놓여 있는 층으로부터 전체 외부 반사에 대한 임계 각도에서 별개의 쇼울더를 포함할 수도 있다. 이러한 임계 각도는, 차례로, 아래에 놓여 있는 층의 조성 및 밀도에 의해서 결정된다. 아래에 놓여 있는 층의 파라미터가 알려지면(예를 들어, 아래에 놓여 있는 층이 실리콘 웨이퍼 기판인 경우), XRR 프린지 패턴의 각도 스케일이 상기 쇼울더의 위치에 기초하여 정확하게 보정될 수 있다.
- [0019] 본 발명의 다른 실시예에서, X선 검출기 요소의 어레이는 서브-픽셀 해상도로 XRR 프린지 패턴을 측정하기 위하여 사용된다. 이 목적을 위해서, 샘플은 수렴하는 X선 빔에 의해 조사된다. 어레이가 위치결정되고 배향되므로써 어레이의 요소는 샘플의 평면에 수직인 축선을 따라 샘플로부터 반사된 방사선을 분석한다. 다음에 어레이는 어레이의 피치보다 작은 증가량으로 축선을 따라 이동되며, 측정이 반복된다. 바람직하게, 증가량은 어레이의 피치의 분수(피치/n, n은 정수)와 동일하며, 측정은 축선을 따라 어레이의 상이한 위치에서 반복된다. 상이한 위치에서 이루어진 XRR 측정은 향상된 해상도를 갖는 프린지 스펙트럼을 얻기 위하여 일반적으로 상이한 증가량에서 구한 측정을 끼워넣으므로써 조합된다.
- [0020] 비록 여기에 설명되는 본 발명의 실시예는 주로 박막 및 특히 반도체 웨이퍼에 형성된 필름에 대한 향상된 X선 측정에 대한 것이지만, 본 발명의 원리는 X선 반사 및 산란의 다른 응용 뿐만 아니라 다른 형태의 방사선 기반의 분석에 이용될 수 있다.

### 발명의 구성 및 작용

- [0021] 그러므로 본 발명의 실시예에 따르면,
- [0022] 공지의 반사 특성을 가진 제 1 층 및 제 1 층 위에 형성된 제 2 층을 포함하고 있는 샘플의 검사 방법에 있어서,
- [0023] 샘플의 표면을 향해 방사선을 지향시키는 단계;
- [0024] 표면에 대한 양각(elevation angle)의 함수로서 반사신호를 생성하기 위해 표면으로부터 반사된 방사선을 감지하는 단계;
- [0025] 제 1 층으로부터의 방사선의 반사로 인한 반사 신호 내의 특색을 식별하는 단계;
- [0026] 제 1 층의 공지의 반사 특성 및 식별된 특색에 상응하여 반사 신호를 보정하는 단계; 및
- [0027] 보정된 반사 신호를 분석하여 제 2 층의 특성을 결정하는 단계;를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법이 제공된다.
- [0028] 전형적으로, 방사선은 X선을 포함하고, 방사선을 감지하는 단계는 표면에 수직인 어레이 축선을 가진 검출기 요소의 어레이에서 방사선을 수신하는 단계를 포함한다.
- [0029] 개시된 실시예에서, 특색을 식별하는 단계는 제 1 층으로부터의 전체 외부 반사선에 대한 임계각에 대응하는 반사 신호로 쇼울더의 위치를 발견하는 단계를 포함한다. 전형적으로, 반사 신호를 보정하는 단계는 쇼울더의 위치를 제 1 층의 공지의 밀도에 의해 결정되는 임계각의 공지의 값에 대해 비교하는 단계를 포함한다. 반사 신호를 보정하는 단계는 쇼울더의 위치 및 임계각의 공지의 값에 기초하여 반사 신호의 각도 눈금에서 제로 각도를 발견하는 단계를 포함한다.
- [0030] 일부 실시예에서, 제 1 층으로부터의 전체 외부 반사선에 대한 임계각은 제 1 임계각일 때, 보정된 반사 신호를 분석하는 단계는 제 2 층으로부터의 전체 외부 반사선에 대한 제 2 임계각의 보정 값을 결정하는 단계를 포함한다. 전형적으로, 제 1 층 및 제 2 층은 각각 제 1 밀도 및 제 2 밀도를 가지고 있고, 보정된 반사 신호를 분석하는 단계는 제 2 임계각의 보정 값에 기초하여 제 2 밀도를 평가하는 단계를 포함하고, 여기에서 제 2 밀도는 제 1 밀도보다 작은 것을 특징으로 한다. 일실시예에서, 제 1 층은 실리콘을 포함하고, 제 2 층은 다공성 유전체를 포함한다.

- [0031] 본 발명의 실시예에 따르면, 공지의 반사 특성을 가진 제 1 층 및 제 1 층 위에 형성된 제 2 층을 포함하고 있는 샘플의 검사 장치에 있어서, 샘플의 표면을 향해 X선을 지향시키도록 되어 있는 방사선 공급원;
- [0032] 표면에 대한 양각의 함수로서 반사신호를 생성하기 위해 표면으로부터 반사된 방사선을 감지하도록 배열된 검출기 조립체; 및
- [0033] 제 1 층으로부터의 방사선의 반사로 인한 반사 신호의 특색을 식별하고, 제 1 층의 공지의 반사 특성 및 식별된 특색에 상응하여 반사 신호를 보정하고, 보정된 반사 신호를 분석하여 제 2 층의 특성을 결정함으로써, 반사 신호를 수신하고 처리하도록 커플링된 신호 프로세서;를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 장치가 제공된다.
- [0034] 본 발명의 실시예에 따르면, 샘플의 검사를 위한 장치에 있어서,
- [0035] 상기 장치는:
- [0036] 샘플의 표면을 향하여 X선을 안내하기에 적합한 방사선 공급원; 및
- [0037] 검출기 조립체를 포함하고 있고,
- [0038] 상기 검출기 조립체는:
- [0039] 표면에 대체로 수직인 어레이 축을 따라 배열되고 사전결정된 피치로 서로 분리되어 있고, 표면으로부터 반사된 X선을 수신하고 수신된 방사선에 응답하여 신호를 발생시키는 검출기 요소 어레이; 및
- [0040] 피치의 정수배가 아닌 증가분만큼 서로 분리된 적어도 제 1 위치와 제 2 위치 사이에서 어레이 축에 평행한 방향으로 검출기 요소 어레이를 이동시키도록 연결된 이동 요소; 및
- [0041] 표면에 대한 양각의 함수로서 표면의 X선 반사율을 결정하기 위하여 적어도 제 1 위치 및 제 2 위치에서 검출기 조립체에 의해 발생된 신호를 결합시키도록 연결된 신호 프로세서를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치가 제공된다.
- [0042] 전형적으로, 신호 프로세서는 표면의 X선 반사율을 결정하기 위하여 적어도 제 1 위치 및 제 2 위치에서 검출기 조립체에 의해 발생된 신호를 인터리빙(interleave)하기에 적합한 것을 특징으로 하는 장치이다.
- [0043] 개시된 실시예에서, 증가분은 피치의 절반 이하인 것을 특징으로 한다.
- [0044] 전형적으로, 어레이는 선형 어레이를 포함하고, 검출기 요소는 어레이의 일피치보다 큰 횡방향 치수를 어레이 축에 대하여 수직으로 가지고 있는 것을 특징으로 하는 장치이다. 대안으로서, 어레이는 2차원 매트릭스의 검출기 요소를 포함하고, 검출기 조립체는 어레이 축에 대하여 수직인 방향을 따라 어레이의 각각의 열에 검출기 요소를 저장하기에 적합한 것을 특징으로 한다.
- [0045] 본 발명에 따르면,
- [0046] 샘플의 표면을 향하여 X선을 안내하는 단계;
- [0047] 수용된 방사선을 표면에 대체로 수직인 어레이 축을 따라 해상하는 동안 표면으로부터 반사된 X선을 수신하기 위하여, 사전결정된 피치로 서로 분리되어 있는 검출기 요소 어레이를 구성하는 단계;
- [0048] 피치의 정수배가 아닌 증가분만큼 서로 분리되어 있는 적어도 제 1 위치와 제 2 위치 사이에서 어레이 축에 대하여 평행한 방향으로 검출기 요소 어레이를 이동시키는 단계;
- [0049] 수신된 X선에 응답하여 이에 따라 적어도 제 1 위치 및 제 2 위치에 검출기 요소에 의해 발생된 적어도 제 1 신호 및 제 2 신호를 각각 수신하는 단계; 및
- [0050] 표면에 대한 양각의 함수로서 표면의 X선 반사율을 결정하기 위하여 적어도 제 1 신호 및 제 2 신호를 결합시키는 단계: 를 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법이 제공된다.
- [0051] 본 발명에 따르면,
- [0052] 마이크로 전자장치를 생산하기 위한 클러스터 도구에 있어서,
- [0053] 상기 도구는:
- [0054] 반도체 웨이퍼의 표면상에 있어서의, 공지의 반사 성질을 가지고 있는, 아래에 놓여 있는 층 상에 박막층을

증착하기에 적합한 증착 스테이션; 및

- [0055] 검사 스테이션을 포함하고 있고,
- [0056] 상기 검사 스테이션은:
- [0057] 웨이퍼의 표면을 향하여 X선을 안내하기에 적합한 방사선 공급원;
- [0058] 표면에 대한 양각의 함수로서 반사 신호를 발생시키기 위하여 표면으로부터 반사된 방사선을 감지하도록 배열된 검출기 조립체; 및
- [0059] 아래에 놓여 있는 층으로부터의 방사선의 반사에 기인한 반사 신호의 특색을 확인하고 아래에 놓여 있는 층의 확인된 특색 및 공지의 반사 성질에 응답하여 반사 신호를 보정함으로써 반사 신호를 수신하고 처리하고, 증착 스테이션에 의해 증착된 박막층의 특색을 결정하기 위하여 보정된 반사 신호를 분석하도록 연결된 신호 프로세서를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 도구가 제공된다.
- [0060] 본 발명에 따르면,
- [0061] 반도체 웨이퍼를 수용하기에 적합한 생산 챔버;
- [0062] 챔버 내에서, 반도체 웨이퍼의 표면에 있어서의, 공지의 반사 성질을 가지고 있는, 아래에 놓여 있는 층 상에 박막층을 증착하기에 적합한 증착 장치;
- [0063] 챔버 내에서 반도체 웨이퍼의 표면을 향하여 X선을 안내하기에 적합한 방사선 공급원;
- [0064] 표면에 대한 양각의 함수로서 반사 신호를 발생시키기 위하여 표면으로부터 반사된 방사선을 감지하도록 배열된 검출기 조립체; 및
- [0065] 아래에 놓여 있는 층으로부터의 방사선의 반사에 기인한 반사 신호의 특색을 확인하고 아래에 놓여 있는 층의 확인된 특색 및 공지의 반사 성질에 응답하여 반사 신호를 보정함으로써 반사 신호를 수신하고 처리하고, 증착 장치에 의해 증착된 박막층의 특색을 결정하기 위하여 보정된 반사 신호를 분석하도록 연결된 신호 프로세서를 포함하는 것을 특징으로 하는, 마이크로 전자장치를 생산하기 위한 장치가 제공된다.
- [0066] 본 발명에 따르면,
- [0067] 마이크로 전자장치를 생산하기 위한 클러스터 도구에 있어서,
- [0068] 상기 도구는:
- [0069] 반도체 웨이퍼의 표면에 박막층을 증착시키기에 적합한 증착 스테이션; 및
- [0070] 검사 스테이션을 포함하고 있고,
- [0071] 상기 검사 스테이션은:
- [0072] 웨이퍼의 표면을 향하여 X선을 안내하는데 적합한 방사선 공급원;
- [0073] 검출기 조립체; 및
- [0074] 표면에 대한 양각의 함수로서 박막층의 X선 반사율을 결정하기 위하여 적어도 제 1 위치 및 제 2 위치에서 검출기 조립체에 의해 발생된 신호를 결합시키도록 연결된 신호 프로세서를 포함하고 있고,
- [0075] 상기 검출기 조립체는:
- [0076] 표면에 수직인 어레이 축을 따라 배열되고 사전결정된 피치로 서로 분리되고, 표면으로부터 반사된 X선을 수신하고 수신된 방사선에 응답하여 신호를 발생시키도록 작동하는 검출기 요소 어레이; 및
- [0077] 피치의 정수배가 아닌 증가분만큼 서로 분리된 적어도 제 1 위치와 제 2 위치 사이에서 어레이 축에 평행한 방향으로 검출기 요소 어레이를 이동시키도록 연결된 이동 요소를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 도구가 제공된다.
- [0078] 본 발명에 따르면,
- [0079] 마이크로 전자장치를 생산하기 위한 장치에 있어서;
- [0080] 상기 장치는:

- [0081] 반도체 웨이퍼를 수용하기에 적합한 생산 챔버;
- [0082] 챔버 내에서, 반도체 웨이퍼의 표면에 박막층을 증착하기에 적합한 증착 장치;
- [0083] 챔버 내에서 반도체 웨이퍼의 표면을 향하여 X선을 안내하기에 적합한 방사선 공급원;
- [0084] 검출기 조립체; 및
- [0085] 표면에 대한 양각의 함수로서 박막층의 X선 반사율을 결정하기 위하여 적어도 제 1 위치 및 제 2 위치에서 검출기 조립체에 의해 발생된 신호를 결합시키도록 연결된 신호 프로세서를 포함하고 있고,
- [0086] 상기 검출기 조립체는:
- [0087] 표면에 수직인 어레이 축을 따라 배열되고 사전결정된 피치로 서로 분리되고, 표면으로부터 반사된 X선을 수신하고 수신된 방사선에 응답하여 신호를 발생시키도록 작동하는 검출기 요소 어레이; 및
- [0088] 피치의 정수배가 아닌 증가분만큼 서로 분리된 적어도 제 1 위치와 제 2 위치 사이에서 어레이 축에 평행한 방향으로 검출기 요소 어레이를 이동시키도록 연결된 이동 요소를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 장치가 제공된다.
- [0089] 본 발명에 따르면,
- [0090] 제 2 사전결정된 위치에서 방사선 센서를 향하여 제 1 사전결정된 위치로부터의 방사선을 안내하는 단계;
- [0091] 사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하기 위하여 셔터가 위치되는 동안, 양각의 함수로서 제 1 직접 신호를 발생시키기 위하여 방사선 공급원으로부터 방사선 센서상에 직접 입사되는 방사선을 감지하는 단계;
- [0092] 사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하지 않도록 하기 위하여 셔터가 위치되는 동안, 양각의 함수로서 제 2 직접 신호를 발생시키기 위하여 방사선 공급원으로부터 방사선 센서상에 직접 입사되는 방사선을 감지하는 단계;
- [0093] 방사선이 샘플의 표면에 입사하도록, 제 1 사전결정된 위치에서의 방사선 공급원과 제 2 사전결정된 위치에서의 방사선 센서 사이에 샘플을 도입하는 단계;
- [0094] 사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하기 위하여 셔터가 위치되는 동안, 양각의 함수로서 제 1 반사 신호를 발생시키기 위하여 샘플의 표면으로부터 방사선 센서상에 반사되는 방사선을 감지하는 단계;
- [0095] 사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하지 않도록 하기 위하여 셔터가 위치되는 동안, 양각의 함수로서 제 2 반사 신호를 발생시키기 위하여 샘플의 표면으로부터 방사선 센서상에 반사되는 방사선을 감지하는 단계; 및
- [0096] 표면에 대한 접선의 양각을 찾기 위하여 제 1 직접 신호와 제 2 직접 신호 사이의 제 1 비율을 제 1 반사 신호와 제 2 반사 신호 사이의 제 2 비율을 비교하는 단계: 를 포함하는 것을 특징으로 하는 샘플의 검사 방법이 제공된다.
- [0097] 전형적으로, 본 방법은, 샘플 표면의 박막층의 특성을 측정하기 위하여 제 1 및 제 2 반사 신호를 분석하는 단계를 포함한다.
- [0098] 개시된 실시예에서, 제 1 비율과 제 2 비율을 비교하는 단계는 제 1 비율이 주어진 값을 갖는 제 1 양각 및 제 2 비율이 주어진 값을 갖는 제 2 양각을 찾아내는 단계, 제 1 및 제 2 양각의 평균이 되는 표면에 대한 접선의 양각을 측정하는 단계를 포함한다. 대안으로서, 본 방법은 이하에서 셔터가 방사선을 차단하는 최소 양각을 측정하기 위하여 제 1 및 제 2 양각 사이의 차이를 획득하는 단계를 포함한다.
- [0099] 본 발명에 따르면,
- [0100] 샘플 검사 장치에 있어서:
- [0101] 방사선을 발생시키기 적합한 제 1 사전결정된 위치의 방사선 공급원;
- [0102] 사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하기 위하여 위치결정 가능한 셔터;
- [0103] 방사선 공급원에 의해 발생되는 방사선이 샘플의 표면에 입사되게 샘플을 위치결정하도록 구성되어 있는 이동 스테이지;



- [0104] 양각의 함수로서 방사선 센서에 입사하는 방사선에 응답하는 신호를 발생시키기 위하여 방사선을 감지하기 적합한 제 2 사전결정된 위치의 상기 방사선 센서;
- [0105] 표면에 대한 접선의 양각을 찾아내기 위하여 제 1 직접 신호와 제 2 직접 신호 사이의 제 1 비율과 제 1 반사 신호와 제 2 반사 신호 사이의 제 2 비율을 비교하도록 결합되는 신호 프로세서를 포함하고 있고,
- [0106] 상기 신호는:
- [0107] 셔터가 사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하도록 위치결정되어 있는 동안에 방사선 공급원으로부터 방사선 센서에 직접 입사하는 방사선에 응답하는 제 1 직접 신호;
- [0108] 셔터가 사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하지 않도록 위치결정되어 있는 동안에 방사선 공급원으로부터 방사선 센서에 직접 입사하는 방사선에 응답하는 제 2 직접 신호;
- [0109] 셔터가 사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하도록 위치결정되어 있는 동안에 샘플의 표면으로부터 방사선 센서에 반사된 방사선에 응답하는 제 1 반사 신호;
- [0110] 셔터가 사전결정된 차단 각도에서 방사선을 차단하지 않도록 위치결정되어 있는 동안에 샘플의 표면으로부터 방사선 센서에 반사된 방사선에 응답하는 제 2 반사 신호;를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 샘플 검사 장치가 제공된다.
- [0111] 용어 제 1 및 제 2는 의에서 그리고 청구범위에서 임의적으로 사용된다. 따라서, 예를 들면, 이들 용어는 상기한 신호가 수신되는 반드시 실제적인 순서를 반영하지 않는다.
- [0112] 본 발명은 첨부한 도면 및 상세한 설명을 통해 명백하게 될 것이다.
- [0113] (실시예)
- [0114] 이제 본 발명의 구체예에 따르는 X-선 반사측정(XRR)을 위한 시스템(20)의 개략적인 측면도인 도 1을 참조한다. 시스템(20)은 위에서 언급한 미국 특허 6,512,814에서 기술된 XRR 시스템과 유사하며, 여기서 기술된 특징과 능력이 첨가된다.
- [0115] 시스템(20)에 의해 평가될, 반도체 웨이퍼와 같은 샘플(22)은 모션 스테이지(24) 위에 장착되고, 그것의 위치와 방향의 정확한 조절을 허용한다. X-선 공급원(26), 전형적으로는 적절한 모노크로마타이징(monochromatizing) 렌즈를 갖는(도시하지 않음) X-선 튜브는 샘플(22) 위의 작은 영역(28)을 조사한다. 예를 들어, Oxford Instruments(Scotts Valley, California)제 XTF5011 X-선 튜브가 이러한 목적을 위해 사용될 수 있다. 렌즈는 수렴하는 빔(27)으로 X-선 튜브로부터 영역(28) 위로 방사선을 집중시킨다. 공급원(26)에서 사용될 수 있는 많은 다른 광학 구성은 미국 특허 6,381,303에서 기술되고, 그들의 개시는 여기에서 참고 문헌에 의해 포함된다. 예를 들어, 렌즈는 XOS Inc., of Albany, New York제의 Doubly-Bent Focusing Crystal Optic과 같은 만곡 결정 모노크로미터를 포함할 수 있다. 다른 적절한 렌즈는 상기 미국 특허 5,619,548 및 5,923,720에서 기술된다. 더욱 가능한 광학 구성은 당업자들에게 명백할 것이다. 시스템(20)에서 반사측정 및 분산 측정을 위한 전형적인 X-선 에너지는 약 8.05 KeV(CuK $\alpha$ 1)이다. 양자택일로, 5.4 KeV(CrK $\alpha$ 1)와 같은 다른 에너지가 사용될 수 있다.
- [0116] 다이내믹 나이프 에지(36)와 셔터(38)를 사용하여 수직(즉, 샘플(22)의 평면에 수직) 방향으로 X-선의 입사 빔(27)의 각도 범위를 제한하는 반면, 슬릿(39)을 사용하여 빔을 수평으로 제한할 수 있다. 나이프 에지, 셔터 및 슬릿은 함께 빔(27)의 가로방향 치수를 조절하기 위해 셔터 조립체로서 작용한다. 도 1에서의 셔터 조립체의 구성은 예로서 도시되어 있고, 아래에서 기술된 방식으로 빔(27)의 가로방향 치수를 조절하기 위한 X-선 렌즈의 대안적인 배치는 당업자들에게 명백할 것이고 본 발명의 범위내에 있는 것으로 간주된다.
- [0117] XRR 측정에서 나이프 에지(36) 및 셔터(38)의 사용은 미국 특허 6,512,814 에서 상세하게 기술된다. 간략하게는, 0° 에 가까운 저-각 반사의 최적의 검출을 위해, 셔터(38)는 입사빔(27)의 범위 바깥으로 물러나는 반면, 나이프 에지(36)는 영역(28) 위에 위치하고 빔의 효과적인 수직 단면적을 줄이기 위해 낮아진다. 그 결과, 영역(28)위에 입사한 X-선 스팟의 측면 치수는 감소한다. 다른 한편으로는, 더 약한, 고-각 반사의 효과적인 검출을 위해, 나이프 에지(36)는 빔(27)로부터 물러나는 반면, 셔터(38)는 빔의 저-각 부분을 삭제하도록 위치한다. (대안으로서는, 셔터는 반사 빔(29)의 저-각 부분을 삭제하도록 위치할 수 있다.) 이런 식으로, 샘플(22)로부터의 오로지 고-각 반사만이 검출기 어레이에 도달하고, 강한 저-각 반사는 도달하지 않으며, 따라서 고-각 측정의 신호/백그라운드 비를 강화한다. XRR 측정 동안, 슬릿(39)은 수렴하는 선의 전체

원뿔을 허용하고 따라서 반사력 측정의 신호/노이즈 비를 증가시키기 위해, 전형적으로 넓게 열려있다.

[0118] 샘플(22)로부터의 X-선의 반사빔(29)은 검출기 조립체(30)에 의해 수집된다. 전형적으로, XRR을 위해서, 조립체(30)는 전체 외부 반사에 대해 샘플의 임계 각 아래와 위 모두에서, 약  $0^\circ$  내지  $3^\circ$  사이에서 수직(상승- $\Phi$ ) 방향으로 반사 각의 범위에 걸쳐서 반사된 X-선을 수집한다. (명쾌한 도해를 위해, 도 1에서 샘플(22)의 평면 위로 공급원(26) 및 검출기 조립체(30)가 상승되어 있는 것처럼, 도면에 나타난 각은 과장되어 있다.)

[0119] 조립체(30)는 아래에서 기술된 바와 같이 CCD 어레이와 같은 검출기 어레이(32)를 포함한다. 비록 도해의 단순성을 위해, 도면에는 비교적 작은 수의 검출기 요소들과 함께, 오직 단일 열의 검출기 요소들만 도시되지만, 일반적으로 어레이(32)는 선형 어레이 또는 매트릭스(2차원) 어레이 중 어느 것으로 배열된, 더 큰 수의 요소들을 포함한다. 조립체(30)는 샘플(22)에 대해 어레이(32)를 위치이동시키고 일직선으로 정렬시키기 위해, 당업계에 알려진 어떠한 적절한 타입의 이동 요소(33)를 포함할 수 있다. 조립체(30)는 베릴륨과 같은 적절한 X-선 투과성 재료로 만들어진 윈도우(34)를, 어레이와 샘플 사이에서 검출기 어레이 앞에 간격을 유지하여 포함한다. 어레이(32)의 작동의 더욱 상세한 사항은 도 2를 참조하여 아래에 기술된다.

[0120] 신호 프로세서(40)는 주어진 에너지에서 또는 일정 범위의 에너지 상에서 각의 함수로서 샘플(22)로부터 반사된 X-선 광자 흐름의 분포(42)를 결정하기 위하여 어셈블리(30)의 출력을 분석한다. 전형적으로, 샘플(22)은 영역 (28)에서 1 또는 그 이상의 박막 필름과 같은 박막 표면층을 가지고, 그래서 양각의 함수로서 분포(42)는 층 사이의 간섭으로부터 반사된 X-선 파장 속의 간섭 효과에 기인하여 진동하는 구조를 나타낸다. 프로세서(40)는 두께, 밀도 그리고 층의 표면 질과 같은 1 또는 그 이상의 샘플의 표면 층의 특징을 결정하기 위하여 다음에 설명된 분석 방법을 사용하여 각 분포의 특징을 분석한다.

[0121] 도 2는 본 발명의 구체예에 따른 어레이(32)의 정면도이다. 본 도에서 어레이(32)는 샘플(22)의 평면에 수직인 축을 따라 연결된 어레이 축을 가진 단일 줄의 검출기 요소(46)를 포함하는 것으로 보여진다. 요소(46)는 높은 종횡비를 가진다. 즉, 어레이 축을 가로지르는 방향으로 그들의 너비는 실질적으로 축을 따른 그들의 높이보다 크다. 어레이(32)는 어레이 축을 따른 각각의 각 증가를 위하여 비교적 넓은 지역 이상의 X-선 광자를 수집할 수 있기 때문에, 높은 종횡비는 시스템(20)의 신호/노이즈 비를 향상시키는데 유용하다. 그러나, 본 도에서 보여지는 요소(46)의 넓이는 단순히 예시적인 것이고, 본 발명의 원리는 적합한 검출기 장비의 적용 필요성과 이용가능성에 따라 더 작거나 또는 더 큰 종횡비의 요소를 사용하여 적용될 수 있다. 상기에서 지적된 바와 같이, 어레이(32)는 일본 하마마추시의 하마마추에 의하여 생산된 모델 S7032-1008 어레이와 같은 선상 CCD 어레이 또는 매트릭스 어레이 중의 하나를 포함한다. 본 어레이는  $25.4 \times 6$  mm의 전체 크기를 가진  $1044 \times 256$  픽셀을 포함한다. 그것은 하마마추에 의하여 본 목적을 위하여 공급된 특수 하드웨어를 사용하여 선-비닝 방식으로 작동될 수 있고, 그래서 어레이의 각 열에서 다중 검출기 요소가 높은 종횡비를 가진 단일 요소로서 효과적으로 작동한다. 이러한 경우에 있어서, 어레이(32)가 물리적으로 검출기 요소의 2-차원 매트릭스를 포함함에도 불구하고, 도 2에서 보여지는 바와 같이, 기능적으로 어레이는 검출기 요소의 단일 선의 형태를 가진다.

택일적으로, 어레이(32)는 미국 특허 6,389,102(그것의 공개는 참고자료로서 본원에 수록)에서 설명된 바와 같은 통합된 프로세싱 전자공학을 포함하는 것이 가능한 적합한 판독 회로를 가진 PIN 다이오드의 어레이를 포함할 수 있다. 또한 본 특허는 어레이의 다양한 기하학적 상(1- 또는 2-차원)을 포함한 어레이의 택일적인 특징과 어레이의 검출 특성을 향상시키는데 적용할 수 있는 마스킹을 설명한다. 이러한 특징은 또한 본 특허 출원의 어셈블리 (30)에 적용 가능하다. 어떠한 상황에서도, 이러한 검출기 타입은 여기에서 예시적인 것으로 설명되는 것이고, 어떠한 적합한 타입, 넓이 및 수의 검출기가 사용될 수 있음은 당연하다.

[0122] 본 발명의 하나의 관점에 있어서, 예를 들어, 도 2에서 설명되는 어레이(32)는 이동 요소(33)를 사용하여 작은 증가에 의하여 Z-방향으로 이동된다(도 1). 어레이 피치의 1/2이 되는 Z-방향으로의 증분, 즉, 검출기 요소(46)의 중심간 거리의 1/2만큼 이격된 두 수직 위치(45 및 47)가 보여진다. (도 2에서 위치 (45 및 47)가 수평으로 오프셋되는 것으로 보여지더라도, 수평 오프셋은 단지 본 도의 설명을 명확화를 목적으로 사용되고, XRR 측정에서 필수적이거나 원하는 것은 아니다.) 각 위치 (45 및 47)에서, 소스 (26)이 작동되고, 그리고 어셈블리(30)이 양각의 작용으로서 샘플(22)로부터 반사되는 X-선을 포획한다. 어셈블리(30)는 본 방식으로 작동되어 전형적으로 위치 사이에 더 작은 Z-방향 증가를 가지는 두 다른 수평 위치 이상에서 X-선을 포획할 수 있다. 예를 들어, 1/3 어레이 피치에 의하여 분리된 세 다른 위치가 사용될 수도 있다.

[0123] 각 다른 수평 위치에서의 어셈블리(30)에 의하여 생성된 신호는 단일 스펙트럼으로 다른 위치에서 만들어진 판독 신호를 조합하는 프로세서 (40)로 입력된다. 필수적으로, 프로세서는 실질적인 물리적인 어레이(32)보

다 더 정교한 해상도를 가진 "가상 어레이"를 생성한다. 예를 들어, 가상 어레이에서의 신호는 간단하게 다른 어레이 위치에서 만들어지는 판독 신호를 인터리빙함에 의하여 도출될 수 있다. 그러므로, 가상 어레이에서 각 "가상 픽셀"에 대하여, 프로세서(40)는 상이한 측정 위치에서 만들어진 판독 신호중에서 하나의 가상 픽셀로부터 다음의 가상 픽셀로 번갈아가며, 하나의 실질적인 측정의 있어서 상응하는 위치에서 실제 픽셀의 측정 값을 선택한다.

[0124] 다른 용어로, 다음의 리드 픽셀 판독 신호는 어레이의 세 연속적인 위치에서 만들어진다:

[0125] 위치 1: R11, R21, R31, R41, ...

[0126] 위치 2: R12, R22, R32, R42, ...

[0127] 위치 3: R13, R23, R33, R43, ...

[0128] 그 다음에, 실제 어레이 피치의 1/3만큼 분리된 가상 픽셀에서, 결과적인 가상 어레이는, 이하의 값을 포함한다:

[0129] R11, R12, R13, R21, R22, R23, R31, R32, R33, R41, ...

[0130] 대안으로, 상이한 어레이 위치에서 판독된 것의 신호 미분 또는 신호 합과 같은, 기타의 방법이, 결합전에 개별적인, 실제 측정으로부터 XRR정보를 추출하거나, 가상 어레이의 각각의 픽셀에서 사용될 실제 측정 결과를 선택하는데 사용될 수 있다.

[0131] 상기한 해상도 개선 기술은 특히 XRR 스펙트럼이 높은 공간 주파수를 가진 정밀한 구조를 가질때 유용하고, 따라서 프린지 분리(separation)가 어레이 피치와 비교가능하거나 작다. 대안으로, XRR 스펙트럼이 충분히 강하고 프린지가 잘 분리되면, 허용가능한 스펙트럼을 추출하기 위해, 위치(45)와 같은, 단일 수직 위치에서 XRR 신호를 측정하는데 충분할 수 있다.

[0132] 도 3 및 4는 본 발명의 일 실시예에 따른, 시스템(20)을 사용한 XRR 측정의 개요도이다. 상기한 바와 같이, 이러한 종류의 구성은 어레이(32)의 단일 수직 위치에서 수신된 신호를 사용하거나 두개 이상의 수직 위치로부터의 신호를 결합함으로써 발생될 수 있다. 도 3의 구성은, 소스(26)로부터의 Cu K $\alpha$  (8.05KeV)를 사용하여, 양각의 함수로서, 단일 수직 위치에서의 어레이(32)에 의해 수신된 반사된 X선의 강도를 나타낸다. 하기할, 도 4는 어레이의 복수의 상이한 수직 위치에서 포획된 신호를 결합한 결과를 도시한 것이다.

[0133] 상부 곡선(50)은 순수 실리콘 웨이퍼로부터 측정된 반사도를 나타내고, 한편 하부 곡선(52)은, 로우-k 다공질 유전체 필름이 형성된 웨이퍼로부터의 반사도를 나타낸다. 양 곡선은 도면에서, 0.2° 보다 약간 큰  $\phi$ 2로 나타낸 각도에서 쇼울더부를 갖는다. 이 각은 실리콘의 전체 외부 반사도에 대한 임계각과 상응한다. 보다 상세하게는, 밀도가 2.33g/cm<sup>3</sup>인 표준 실리콘 웨이퍼에 대하여, 8.05KeV에서의 임계각은 0.227° 이다. 따라서,  $\phi$ 2에서 쇼울더부의 위치가 발견되면,  $\phi$ 2의 좌측으로 0.227° 만큼 단순히 되돌아감으로써, 도 3의 스펙트럼의 (수평)각 스케일에서 0점이 정확하게 결정될 수 있다. 검출기 요소(46) 마다의 단(段)에 있어서, 각 스케

일의 스케일링 인자는, 
$$\frac{180^\circ}{\pi} \arctan\left(\frac{\text{어레이 피치}}{\text{초점 거리}}\right) \cong \frac{180^\circ}{\pi} \left(\frac{\text{어레이 피치}}{\text{초점 거리}}\right)$$
 로 주어지고, 여기서 초점 거리는 초점 영역(28)에서 어레이(32)까지의 거리이다. 대안으로 또는 부가적으로, 각 스케일은, 상기한 미국 특허 출원 제 10/313,280을 사용하여,  $\phi$ 2에서의 쇼울더부에 기초하여 그러나 어레이 피치 및 초점 거리를 참조하지 않고, 절대적으로 교정될 수 있다.

[0134] 임계각위의, 곡선(52)는 주로 로우-k 필름의 상하부 표면으로부터 반사때문에, 진동하는 구조를 나타낸다. 이러한 진동의 주기 및 진폭은 로우-k 필름 및 가능하다면 웨이퍼상의 그 아래의 기타 박막층의 표면 품질 및 두께를 결정하기 위해 분석될 수 있다. 예컨대, 적절한 진동 특성을 추출하기 위해 고속 푸리에 변환이 사용될 수 있다. 대안으로, 보다 정확한 필름 파라미터를 결정하기 위해 파라메트릭 곡선 피팅법이 사용될 수 있다. 곡선(52)와 같은 XRR신호를 분석하는 방법이 상기한 미국 특허 제 6,512,814호에 보다 상세하게 기술되어 있다.

[0135] 임계각, 및 반사율 곡선의 쇼울더부의 위치는, 주로 X선이 반사되는 물질의 밀도에 의해 결정된다. 웨이퍼에 증착된 다공질의, 로우-k 유전체 층은 실리콘 기판보다 상당히 낮은 밀도를 갖고, 다공질 층의 임계각은 그 아래의 실리콘보다 상당히 작다. 따라서, 또다른 쇼울더부가, 다공질 층의 임계각과 상응하는  $\phi$ 1로서 도면에 마킹된 보다 작은 각으로, 곡선(52)에 나타난다.  $\phi$ 1의 정확한 값은, 알려진  $\phi$ 2의 값을 사용하여, 상기



한 각 스케일의 교정으로부터 결정될 수 있다. 그 다음에 프로세서(40)는, 교정된  $\phi 1$ 의 값을 기초로하여, 보다 정확하게, 다공질 물질의 전체 밀도를 결정할 수 있다. (구멍이 없는) 유전체 물질의 순수 밀도는 전형적으로 알려져 있기 때문에, 다공질 층의 단위 부피당 전체 구멍 밀도는 유전체 물질의 알려진 순수 밀도와, 측정된  $\phi 1$ 의 값에 기초한, 다공질 층의 평가된 전체 밀도간의 차이에 의해 추론될 수 있다.

[0136] 도 4는 어레이의 상이한 수직 위치에서 만들어진 복수의 측정값을 조합한 결과를 도시하는, 양각의 함수로서 어레이(32)에 의해 수신된 반사된 X선의 강도를 도시하고 있다. 이러한 도면에서의 각 스케일은 도 3의 것과 비교하여 확대되어 있다. 미처리된 곡선(54)은 어레이(32)의 단일 수직 위치에서 만들어진 전형적인 측정값을 도시하고 있다. 조합된 곡선(56)은 어레이의 상이한 수직 위치에서 취해진 5개의 측정값에 의해 얻어진 결과값을 도시하고 있는데, 이것은 1/5의 어레이 피치만큼 Z 방향으로 증분되어 서로 오프셋된다. 어레이의 피치는 연속하는 검출기 소자(46) 사이의 벌어진 각이 약  $0.004^\circ$ 가 되도록 이루어져 있다.

[0137] 곡선(56)에서 도시된 바와 같이, 반사된 방사선의 진동 패턴의 피리어드는 약  $0.007^\circ$ 과 약  $0.010^\circ$  사이에서 변하는데, 이것은 어레이(32)의 나이퀴스트 리미트에 가깝다. 따라서, 곡선(54)은 곡선(56)에 나타나는 실제 진동 구조의 일부를 캡처하는데 실패하고, 불량한 충실도를 가진 구조의 다른 부분을 재생하게 된다. 다른 한편, 복수의 측정값이 조합될 때, 곡선(54)내에 손실된 진동 구조의 일부는 다른 측정값에서 성공적으로 캡처된다. 결과적으로, 어레이(32)의 곡선(56)에 도시된 바와 같이, 어레이(32)의 실효 해상도는 향상된다. 이러한 방식으로 얻어진 향상으로 어레이(32)상의 진동 패턴을 캐스팅하는데 사용된 X선 오프셋의 해상도보다 효과적으로 정교한 해상도를 얻을 수 있다. 상기 언급된 바와 같이, 이론적인 모델은 샘플(22)상의 표면층의 표면 품질 및 두께와 같은 파라미터를 결정하기 위해 곡선(56)에 맞추어진다. XRR 신호가 본래 복잡하고 각도의 함수로서 비선형 주파수 변형을 나타내기 때문에, 상기 설명된 방식으로 어레이를 시프팅함으로써 얻어진 추가된 데이터 포인트는 피트를 향상시키고 그래서 표면층 파라미터의 보다 정확한 값을 추출하는데 유용하다.

[0138] 본 발명의 일실시예에 따라, 샘플(22)의 제로 각을 결정하는 방법을 개략적으로 도시하는 도 5A 및 도 5B에 대해 이제부터 언급한다. 도 5A는 상이한 시스템 조건에서 어레이(32)상의 입사각 및 소스(26)에 의해 발생된 X선 빔의 각 스프레드를 도시하는, 시스템(20)의 측부 개략도이다. 이러한 상이한 조건하의 어레이(32)에 의해 검출된 빔의 각 특성은 샘플(22)의 제로 각을 결정하는데 사용된다. 이러한 콘텍스트내의 용어 "제로 각"은 샘플상의 X선 빔의 입사점에서의 샘플(22)의 표면에 대한 접선의 양각을 나타내는데 사용된다. 이러한 제로 각은 도 3에 도시된 스펙트럼내의 상기 언급된 제로 포인트와 등가이다. 그러나, 이러한 스펙트럼내의 제로 포인트를 찾아내기 위한 상기 설명된 방법과는 달리, 도 5A 및 도 5B에 설명된 방법은 샘플(22)상의 임의의 특정 소트의 층 구조에 의존하지 않는다. 제로 각은 샘플(22)로의 접선과 함께 정렬된 어레이(32)의 검출기 소자를 식별함으로써 본 콘텍스트내에서(또는 이러한 접선과 정렬된 수직 픽셀을 찾아냄으로써, 상기 설명된 해상도 향상 기술에 의해 생성된 가상 어레이에서) 발견된다.

[0139] 도 5a는 4개의 상이한 빔 구성을 도시하고 있다.

[0140] · 도면에 도시된 바와 같이, 샘플(22)이 정위치에 있고 셔터(38)가 빔의 로우 각 부분을 컷오프하도록 위치되어 있을 때, 어레이(32)상에 입사되는 내로우 반사된 빔(55).

[0141] · 셔터(38)가 빔으로부터 벗어날 때, 샘플(2)의 제로 각도에 대해 하측으로 넓게 확장하는 광반사빔(57).

[0142] · 셔터(38)가 샘플(22)이 (아무런 반사된 빔이 없도록) X 선 빔 경로로부터 제거되고 빔의 저 각도 부분을 컷오프하도록 다시 한번 위치되어 있는 경우의 어레이(32)상에 입사되는 협직접빔(58).

[0143] · 셔터 및 샘플 모두 X선 빔으로부터 제거될 때, 빔(57)의 제로 각도에 대해 상측으로 확장하고, 보통은 심지어 이러한 제로 각도를 넘어서는 광집적빔(59).

[0144] 제로 각도 근방에, 빔(57)에 의해 어레이(37)에 의해 포착된 신호가 가파른(sharp) 컷오프를 가지지 않고, 완전히 스무드하지는 않지만 점진적으로 증가한다는 것에 주목해야 한다. (단순히 하기 위해, 이러한 점진적인 증가는 도 3에 도시되어 있지 않다.) 따라서, 오직 이러한 신호에 기초하여 제로 각도를 결정하는 것은 곤란하다.

[0145] 도 5b는 빔(55, 57, 58, 59)에 의한 방사선 하에 어레이(32)에 의해 만들어진 측정값의 결과의 개략 플롯도이다. 결과는, 브로드 빔중 상응하는 하나로 인한 값에 대한 내로우 빔중 하나로 인한 픽셀의 강도값의 비, 즉,  $RATIO = I_{NARROW}/I_{BROAD}$ 로서 수평(각) 축상의 각각의 픽셀에 대하여 계산된다. 제로 각 아래의 양각에 대한, 플롯도의 좌측 브랜치(61)는 빔(59)이 입사될 때 측정된 값에 대한 빔(58)이 어레이(32)상에 입사될 때

측정된 각각의 픽셀 값의 비를 계산함으로써 생성된다. 제로 각 상의 양각에 대한, 우측 브랜치(63)는 빔(57)이 입사될 때 측정된 값에 대한 빔(55)이 어레이상에 입사될 때 측정된 각각의 픽셀 값의 비에 의해 주어진다.

[0146] 도 5b에 도시된 바와 같이, 포지티브와 네거티브 각도에 대한 비율은 제로 각근방의 제로인데, 이는 서터(38)가 상기 각도 범위에서 빔(55 및 58)을 커트하기 때문이다. 상기 비율은 커트-온 각도에서 제로 이상으로 증가하고, 서터(38)가 X-선 빔을 인터셉트하는 각도에 대략 대응하고, 각도가 서터 에지로부터 벗어나는 약 1인 값으로 점진적으로 증가한다. 브랜치(61 및 63)는 평탄한 곡선이 되는 경향이 있는 데 이는 내로우 빔에 기인한 강도 값에서의 로컬 변동이 브로드 빔에 기인한 강도 값에서의 대응 변동에 의해 통상적으로 상쇄되기 때문이다. 그러므로, 제로 각도는 50 퍼센트 지점(65)(강도 비율이 0.5가 되는 위치)간의 평균 각도를 취함으로써 정확하게 알 수 있다. 대안으로, 곡선 맞춤 프로시저는 브랜치(61 및 63)에 적용되고, 맞춤 파라미터는 제로 각도를 찾기 위해 이용될 수 있다. 서터(38)의 각도 위치는 지점(65)간의 각도 거리의 반으로 주어진다. 추가 대안으로서, 곡선(63)은 곡선(61)과 오버래핑되도록 수평 축상의 한 지점 주위에 미러링된다. 두 곡선 간에 최량의 오버래핑을 부여하는 미러링 지점은 제로각도로 식별된다.

[0147] 도 5a 및 5b에 의해 예시된 방법은 샘플상의 일정 유형의 표면의 존재 여부 및 샘플의 특성과 무관하게, 샘플(22)의 표면상의 임의의 지점에서 제로 각도를 찾는 데에 사용될 수 있다. 제로 각도를 찾기 위한 이 방법은 예를들어 휨 경향이 있는 반도체 웨이퍼의 X-선 반사계에서 특히 유용하고, 따라서 제로 각도는 웨이퍼의 표면에 걸쳐 변동한다. 이 방법은 입사 X-선 빔이 균등하지 않은 경우에도 유효하고, 또한 반사된 빔(반사도가 각도의 함수로서 연속적으로 변동하는 한)에서의 임의의 각도 변동에도 무관하다. 이 방법은 더욱 큰 정확도로 제로 각도를 결정하기 위해 도2-4를 참조하여 상기한 해상도 향상 방법(여기서 신호는 어레이(32)의 상이한 위치에서 획득됨)과 조합될 수 있다.

[0148] 본 방법의 다른 이점은 실질적으로 측정 프로시저를 인터럽팅하지 않고, 실제 XRR 측정과 협동되어 수행될 수 있다. 다이렉트 빔(58 및 59)에 대한 측정은 샘플(22)이 통상적으로 상이한 샘플의 측정간에, 샘플(22)이 시스템(20)에 없는 경우마다 행해질 수 있다. 예를들어, 샘플의 표면 층 밀도가 약  $1.5\text{g}/\text{cm}^3$  이상인 경우, 약  $0.15^\circ$  와  $4^\circ$  간의 각도 범위는 XRR 측정에 유용하고, 한편  $0^\circ$  와  $0.15^\circ$  간의 각도 범위는 제로 각도 교정에 사용될 수 있다.

[0149] 브랜치(63)를 생성하기 위해 사용된 데이터를 얻기 위해, 예를들어 서터(38)는 약  $0.1$  이하의 X-선 빔의 작은 각도부를 커트시키기 위해 진행되고, 반사 신호는 약 1-2초의 노광 시간에 대해 어레이(32)로부터 획득된다. 서터는 그후 후퇴되고, 추가 반사 신호가 어레이로부터 획득된다. 신호는 두 서터 위치에서의 노광 지속시간의 비율에 비례하여 정규화된다. 정규화된 곡선의 비율이 계산되어 브랜치(63)를 찾는다. 마찬가지로의 프로시저가 브랜치(63)를 생성하기 위해 사용된다.

[0150] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 반도체 디바이스 제조에 사용하기 위한 클러스터 툴(70)의 개략 평면도이다. 클러스터 툴은 복수의 스테이션을 포함하는 데, 이에는 박막을 반도체 웨이퍼(77)에 증착하기 위한 증착 스테이션(72), 검사 스테이션(74), 및 종래기술에서 세정 스테이션으로 알려진 기타 스테이션(76)이 포함된다. 검사 스테이션(74)은 상기한 바와 같은 시스템(20)과 유사한 방식으로 구축되어 동작한다. 로봇트(78)는 시스템 컨트롤러(80)의 제어하에 스테이션(72, 74, 76, ...)들에 웨이퍼(77)를 이송한다. 툴(70)의 동작은 컨트롤러(80)에 연결된 워크스테이션(82)을 이용하여 오퍼레이터에 의해 제어되고 모니터링될 수 있다.

[0151] 검사 스테이션(74)은 툴(72)에서 증착 스테이션(72)과 다른 스테이션에 의해 수행된 생산 프로세스에서 선택된 스텝의 전후에 XRR에 의해 웨이퍼의 X선 검사를 수행하는데 사용된다. 하나의 실시예에서, 증착 스테이션(72)은 웨이퍼(77)에서 다공성 로우-k 디일렉트릭 층과 같은, 다공성 박막을 만드는데 사용된다. 이러한 장치는 제어기(80)와 가능하게 워크스테이션(82)을 사용하여, 웨이퍼 생산에서 프로세스 파라미터의 편리한 보정과 평가 그리고 프로세스 편차의 조기 검출을 가능하게 한다. 제로 각을 찾고 그리고 검출 해결책을 더 강화하는 상기한 기술은 스테이션(74)에서 역시 사용될 수 있다.

[0152] 도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따라서, 반도체 웨이퍼 조립 및 제 위치에서의 검사를 위한 시스템(90)의 개략적인 측면도이다. 시스템(90)은 종래 기술에서 알려진 바와같이, 진공챔버(92), 웨이퍼(77)상에 박막을 만들기 위해, 진공챔버(92)를 포함하고 있고, 증착 장치(94)를 가지고 있다. 웨이퍼는 챔버(92)내에서 모션 스테이지(24)에 장착되어 있다. 챔버는 전형적으로 X선 윈도우(96)를 포함하고 있는데, 이것은 상기한 특허 출원 공보 US 2001/0043668 A1에 개시된 타입이다. 도 1에 도시된 서터, 나이프 에지 및 슬릿은 단순화를 위해서 도 7에는 누락되어 있지만, 전형적으로 이러한 종류의 요소는 챔버(92)내에 또는 소스(26)내에 통합되어

있다.

[0153] 영역(28)으로부터 반사된 X선은 윈도우(96)중 다른 하나를 통해서 검출 조립체(30)에서 어레이에 의해 수신된다. 프로세서(40)는 챔버(92)내에서 제조중인 박막층의 특성을 검사하기 위해서 검출기 조립체(30)로부터 신호를 수신하고 그리고 신호를 프로세스한다. 이러한 검사의 결과는 증착 장치(94)를 제어하는데 사용될 수 있어서 시스템(90)에 의해 생산된 필름은 두께, 밀도 다공성 등과 같은, 원하는 특성을 가진다. 체로 각을 찾고 그리고 검출 해결책을 강화하기 위한 상기 기술은 또한 챔버(92)에서 사용될 수 있다.

[0154] 상기한 실시예가 주로 반도체 웨이퍼에서 로우-k 디일렉트릭 층의 다공성 특성을 주로 판단하지만, 본 발명의 원리는 X선 뿐만 아니라 다른 이온화 방사선 대역을 사용하여, 다른 X선 반사측정 응용분야, 다른 타입의 방사선 기반의 분석에 동일하게 사용될 수 있다. 그러므로, 상기한 실시예는 단지 예시적이며, 본 발명은 여기에 예시하고 도시된 것에 특히 한정되는 것은 아니다. 오히려, 본 발명의 범위는 종래기술에서는 개시되지 않은 것 그리고 당업자가 상기 설명을 이해한 것을 변경하고 수정한 것과 마찬가지로, 상기 설명의 여러가지 특징의 조합 및 서브 조합을 포함한다.

### 발명의 효과

[0155] 본 발명에 따르면, X-선을 사용하는 박막 분석 기기 및 방법이 제공된다.

### 도면의 간단한 설명

[0001] 도 1은 본 발명의 구체예에 따르는 X-선 반사(XRR) 측정을 위한 시스템의 개략적인 측면도이다.

[0002] 도 2는 본 발명의 구체예에 따르는 XRR을 위해 구성된 검출기 어레이의 개략적인 전면도이다.

[0003] 도 3은 본 발명의 구체예에 따르는 XRR 측정의 개략도이다.

[0004] 도 4는 본 발명의 구체예에 따르는, 서브픽셀 해상도를 갖는 XRR 스펙트럼을 얻기 위한 방법을 도시하는 XRR 측정의 개략도이다.

[0005] 도 5a는 본 발명의 구체예에 따르는, 시스템에서 셔터와 샘플의 다른 구성에서 X-선 빔에 의해 범위한정된 각을 보여주는, 도 1의 시스템의 개략적인 측면도이다.

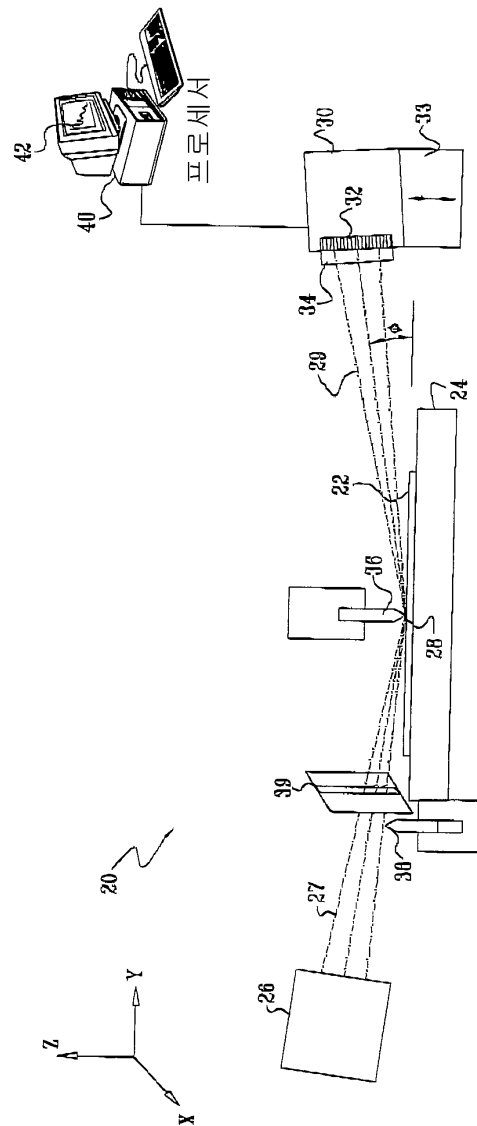
[0006] 도 5b는 본 발명의 구체예에 따르는, 도 5a에 나타난 시스템에서 샘플위에 X-선의 입사에 대해 0 각을 결정하는데 사용된 X-선 측정 결과의 개략도이다.

[0007] 도 6은 본 발명의 구체예에 따르는 정밀검사 스테이션을 포함하는, 반도체 장비 제작을 위한 클러스터 도구의 개략적인 평면도이다.

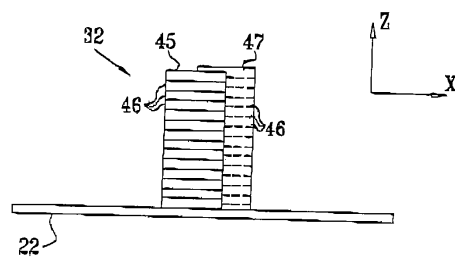
[0008] 도 7은 본 발명의 구체예에 따르는 X-선 정밀검사 능력을 갖는 반도체 프로세싱 챔버의 개략적인 측면도이다.

도면

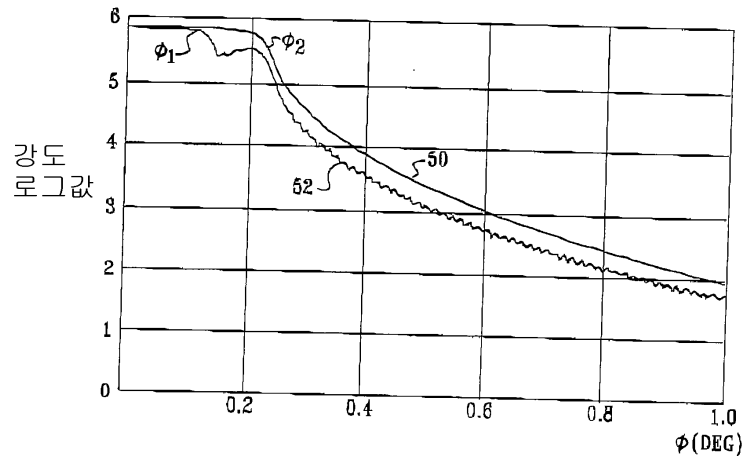
도면1



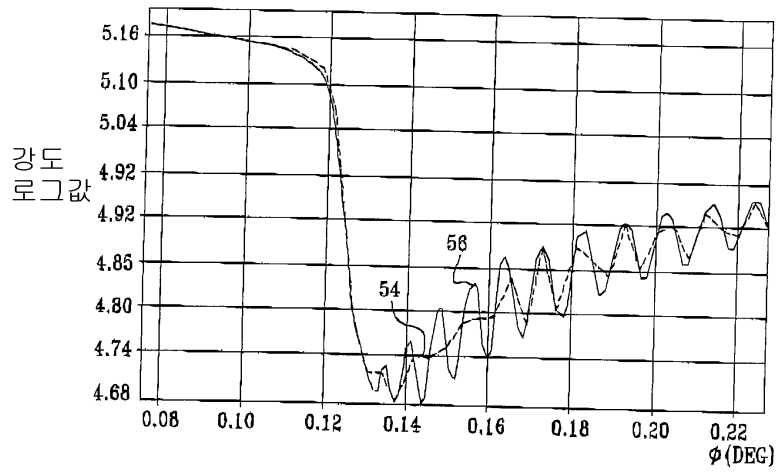
도면2



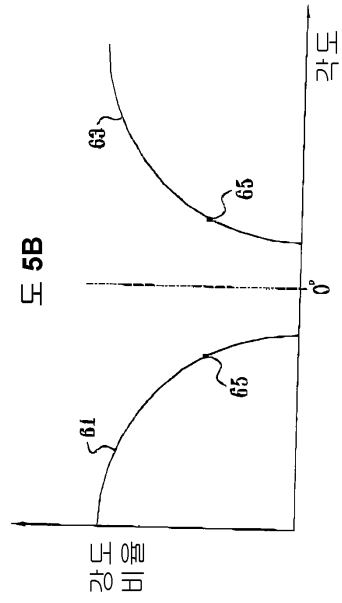
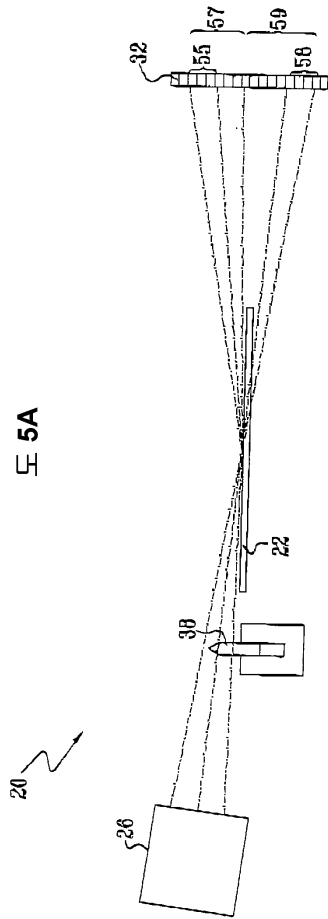
도면3



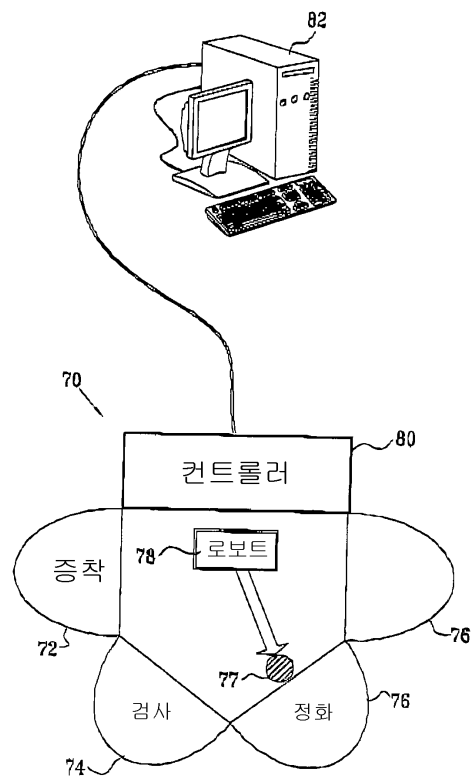
도면4



도면5



도면6



도면7

