



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년03월12일  
(11) 등록번호 10-1242520  
(24) 등록일자 2013년03월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 23/20 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2005-0069238

(22) 출원일자 2005년07월29일

심사청구일자 2010년03월03일

(65) 공개번호 10-2006-0048904

(43) 공개일자 2006년05월18일

(30) 우선권주장

10/902,177 2004년07월30일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US6005915 A

JP2003004670 A

JP2004093521 A

JP05291152 A

전체 청구항 수 : 총 17 항

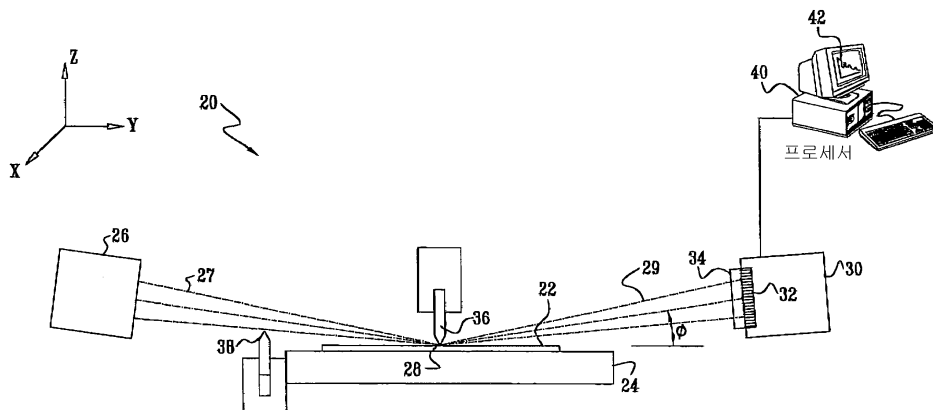
심사관 : 안재열

(54) 발명의 명칭 확산 반사의 측정에 의한 개량된 X선 측정장치 및 측정방법

(57) 요약

본 발명은 표면층을 구비한 시료의 조사 방법에 관한 것이다. 상기 방법은 일직선(collimated)의 X선 빔으로써 시료를 조사하는 동안 시료의 제 1 반사 스펙트럼을 포착하는 단계와, 시료의 확산 반사 특성을 측정하도록 제 1 반사 스펙트럼을 처리하는 단계를 포함한다. 시료의 제 2 반사 스펙트럼은 집속 X선 빔으로써 시료를 조사하면서 포착된다. 제 2 반사 스펙트럼은 시료의 표면층의 특성을 결정하기 위하여 확산 반사 특성을 사용하여 분석된다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

**육힌 보리스**

이스라엘 나스자레쓰 일릿 17000 간눗 스트리트  
7/6

**그비르츠만 아모스**

이스라엘 모샤브 집포리 17910

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

시료의 표면에 대한 각도 범위에 걸쳐서 집속되는 X선의 집속 빔을 시료의 표면으로 향하게 하는 단계;

시료를 조사하는 빔을 일직선화 하기 위하여 슬릿을 집속 빔에 넣는 단계와, 일직선화된 빔으로 시료를 조사하는 동안에 시료의 제 1 반사 스펙트럼을 포착하는 단계;

제 1 반사 스펙트럼을 처리하여 시료의 확산 반사 특성을 측정하는 단계;

빔이 상기 각도 범위에 걸쳐서 시료를 조사하는 것을 허용하기 위해서 빔으로부터 슬릿을 제거하는 단계와, 집속 빔을 시료에 조사하는 동안에 시료의 제 2 반사 스펙트럼을 포착하는 단계; 및

제 1 반사 스펙트럼에 대한 확산 반사 백그라운드를 추산하는 단계;

제 2 반사 스펙트럼에서 상기 확산 반사 백그라운드를 제거하여 정정된 반사 스펙트럼을 제공하는 단계;

시료의 표면층의 특성을 결정하기 위하여 상기 정정된 반사 스펙트럼을 분석하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 방법.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서, 제 1 반사 스펙트럼을 포착하는 단계는 일직선화된 빔으로써 시료를 슬릿의 위치에 의해 결정되는 소정의 입사각으로 조사하는 단계와, 검출기 어레이를 사용하여 양각의 범위에 걸쳐서 X선을 동시에 수신하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 방법.

### 청구항 3

제 2 항에 있어서, 제 2 반사 스펙트럼을 포착하는 단계는 제 1 반사 스펙트럼을 포착하는데 또한 사용되는 검출기 어레이를 사용하여 양각의 범위에 걸쳐서 X선을 동시에 수신하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 방법.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서, 제 1 반사 스펙트럼을 처리하는 단계는 제 1 반사 스펙트럼에서 요네다 원을 검출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 방법.

### 청구항 5

제 4 항에 있어서, 요네다 원을 검출하는 단계는 요네다 원의 각도 위치에 따라 시료로부터의 전반사에 대한 임계각을 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 방법.

### 청구항 6

제 4 항에 있어서, 요네다 원을 검출하는 단계는 요네다 원의 크기에 따른 표면층의 거칠기를 측정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 방법.

### 청구항 7

제 1 항에 있어서, 제 2 반사 스펙트럼을 분석하는 단계는 표면층의 밀도, 두께 및 표면 거칠기 중 적어도 하나를 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 방법.

### 청구항 8

제 1 항에 있어서, 시료는 반도체 웨이퍼를 포함하고, 제 2 반사 스펙트럼을 분석하는 단계는 웨이퍼상에 형성된 박막층의 특성을 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 방법.

### 청구항 9

시료의 표면에 대한 각도 범위에 걸쳐서 집속되는 X선의 집속 빔을 시료의 표면으로 향하도록 맞춰진 방사선원;

장치의 제 1 설정에서 시료를 조사하는 빔을 일직선화 하기 위하여 방사선원에 의해 생성된 집속 빔에 놓여지도록 배치되고, 장치의 제 2 설정에서 집속 빔이 상기 각도 범위에 걸쳐서 시료를 조사하는 것을 허용하기 위해서 빔으로부터 제거되는 수평 슬릿;

상기 각각의 제 1 및 제 2 설정에서 표면과 관련한 경사 각도의 함수로서 제 1 및 제 2 반사 스펙트럼을 생성시키기 위하여 표면으로부터 반사된 X선을 검출하도록 배치된 검출기 어셈블리; 및

제 1 반사 스펙트럼에 대한 확산 반사 백그라운드를 추산하기 위하여 제 1 반사 스펙트럼을 수신하고 처리하도록 연결되고, 제 2 반사 스펙트럼에서 상기 확산 반사 백그라운드를 제거하여 정정된 반사 스펙트럼을 제공하며, 시료의 표면층의 특성을 결정하기 위하여 상기 정정된 반사 스펙트럼을 분석하도록 연결된 신호 프로세서;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 장치.

#### 청구항 10

제 9 항에 있어서, 검출기 어셈블리는 제 1 및 제 2 설정 모두에서 양각의 범위에 걸쳐 반사된 X선을 동시에 수신하도록 형성된 검출기 어레이를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 장치.

#### 청구항 11

제 9 항에 있어서, 신호 프로세서는 제 1 반사 스펙트럼에서 요네다 링을 검출하기 위해 제 1 반사 스펙트럼을 처리할 수 있는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 장치.

#### 청구항 12

제 11 항에 있어서, 신호 프로세서는 요네다 링의 각도 위치에 따라 시료로부터의 전반사에 대한 임계값을 결정할 수 있는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 장치.

#### 청구항 13

제 11 항에 있어서, 신호 프로세서는 요네다 링의 크기에 따라 표면층의 거칠기의 측정을 결정할 수 있는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 장치.

#### 청구항 14

제 9 항에 있어서, 신호 프로세서는 표면층의 밀도, 두께 및 표면 거칠기 중 적어도 하나를 결정하기 위하여 제 2 반사 스펙트럼을 분석할 수 있는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 장치.

#### 청구항 15

제 9 항에 있어서, 시료는 반도체 웨이퍼를 포함하고, 신호 프로세서는 웨이퍼상에 형성된 박막층의 특성을 결정하기 위하여 제 2 반사 스펙트럼을 분석할 수 있는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 표면층을 구비한 시료의 조사 장치.

#### 청구항 16

반도체 웨이퍼의 표면상에 박막층을 증착할 수 있는 증착 스테이션; 및

검사 스테이션;

을 포함하고 있고,

상기 검사 스테이션은:

시료의 표면에 대한 각도 범위에 걸쳐서 집속되는 X선의 집속된 빔을 웨이퍼의 표면으로 향하도록 맞춰진 방사선원;

검사 스테이션의 제 1 설정에서 시료를 조사하는 빔을 일직선화 하기 위하여 방사선원에 의해 생성된 집속 빔에 놓여지도록 배치되고, 검사 스테이션의 제 2 설정에서 집속 빔이 상기 각도 범위에 걸쳐서 시료를 조사하는 것을 허용하기 위해서 빔으로부터 제거되는 수평 슬릿;

상기 각각의 제 1 및 제 2 설정에서 표면과 관련한 양각의 함수로서 제 1 및 제 2 반사 스펙트럼을 생성시키기 위하여 표면으로부터 반사된 X선을 검출하도록 배치된 검출기 어셈블리; 및

제 1 반사 스펙트럼에 대한 확산 반사 백그라운드를 추산하기 위하여 제 1 반사 스펙트럼을 수신하고 처리하도록 연결되고, 제 2 반사 스펙트럼에서 상기 확산 반사 백그라운드를 제거하여 정정된 반사 스펙트럼을 제공하며, 박막층의 특성을 결정하기 위하여 확산 반사 특성을 사용하여 상기 정정된 반사 스펙트럼을 분석하도록 연결된 신호 프로세서;

를 포함하는 마이크로일렉트로닉스 장치를 만들기 위한 클러스터 툴.

#### 청구항 17

반도체 웨이퍼를 수용할 수 있는 생산실;

상기 생산실내에 반도체 웨이퍼의 표면에 박막층을 증착할 수 있는 증착 장치;

표면에 대한 각도 범위에 걸쳐서 집속되는 X선의 집속된 빔을 생산실의 내에 있는 웨이퍼의 표면으로 향하도록 맞춰진 방사선원;

방사선원의 제 1 설정에서 시료를 조사하는 빔을 일직선화 하기 위하여 방사선원에 의해 생성된 집속 빔에 놓여 지도록 배치되고, 방사선원의 제 2 설정에서 집속 빔이 상기 각도 범위에 걸쳐서 시료를 조사하는 것을 허용하기 위해서 빔으로부터 제거되는 수평 슬릿;

상기 각각의 제 1 및 제 2 설정에서 표면과 관련한 양각의 함수로서 제 1 및 제 2 반사 스펙트럼을 생성시키기 위하여 상기 생산실 내의 웨이퍼 표면으로부터 반사된 X선을 검출하도록 배치된 검출기 어셈블리; 및

제 1 반사 스펙트럼에 대한 확산 반사 백그라운드를 추산하기 위하여 제 1 반사 스펙트럼을 수신하고 처리하도록 연결되고, 제 2 반사 스펙트럼에서 상기 확산 반사 백그라운드를 제거하여 정정된 반사 스펙트럼을 제공하며, 박막층의 특성을 결정하기 위하여 상기 정정된 반사 스펙트럼을 분석하도록 연결된 신호 프로세서;

를 포함하는 마이크로일렉트로닉스 장치를 만들기 위한 장치.

#### 청구항 18

삭제

#### 청구항 19

삭제

#### 청구항 20

삭제

#### 청구항 21

삭제

### 명 세 서

#### 발명의 상세한 설명

##### 발명의 목적

##### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

[0007] 본 발명은 대체로 분석 장치에 관한 것으로서, 구체적으로는 X선을 이용한 박막 분석 장치 및 방법에 관한 것이다.

[0008] X선 반사 측정(XRR)은 기관상에 적층된 박막층의 두께, 밀도, 표면의 성질을 측정하기 위한 잘 알려진 기술이다. 종래의 X선 반사 장치는 수많은 회사, 그 중에서 테크노스(Technos)사(일본, 오사카), 지멘스(Siemens)사(독일, 뮌헨) 및 베데 싸이언티픽 인스트루먼트(Bede Scientific Instrument)사(영국, 더럼)에 의해 판매되

고 있다. 이러한 반사 장치는 일반적으로 시료에 스치는 입사각, 다시 말해 시료의 외부 전반사각에 가까운, 시료의 표면에 대해 작은 각도로 X선 빔을 조사함으로써 작동된다. 시료로부터 반사된 X선 강도를 각도의 함수로서 측정하면 간섭 줄무늬 패턴이 주어지고, 이 간섭 줄무늬 패턴은 간섭 줄무늬 패턴을 만드는 원인이 되는 박막층의 특성을 결정하기 위해 분석된다.

- [0009] 박막의 두께를 결정하기 위해 X선 데이터를 분석하는 방법은, 예를 들면, Komiya 등에게 부여된 미국 특허 제 5,740,226호에 개시되어 있다. X선의 반사율을 각도의 함수로서 측정한 후, 평균 반사율 곡선이 간섭 줄무늬 스펙트럼(fringe spectrum)에 적용된다. 이 평균 곡선은 박막의 감쇠, 백그라운드 및 표면 거칠기를 나타내는 식에 근거하고 있다. 이와 같이 적용된 평균 반사율 곡선은 간섭 줄무늬 스펙트럼의 진동하는 성분을 추출하는데 사용된다. 이 성분은 박막의 두께를 판명하기 위해 푸리에 변환된다.
- [0010] Koppel에 부여된 미국 특허 제 5,619,548호에는, 반사율 측정에 근거한 X선 막두께 측정기가 개시되어 있다. 만약 곡면 반사 X선 모노크로메이터(monochromator)는 시료의 표면에 X선의 초점을 맺기 위해 사용된다. 포토 다이오드 검출기 어레이와 같은 위치 검출기는 표면으로부터 반사된 X선을 검출하여 반사각의 함수로서 강도 신호를 발생한다. 이러한 각도에 의존하는 신호는 박막의 두께, 밀도 및 표면 거칠기를 포함한 시료의 박막층의 구조의 특성을 결정하기 위해 분석된다.
- [0011] Barton 등에게 부여된 미국 특허 제 5,923,720호에는 만약 곡면 결정 모노크로메이터에 근거한 X선 반사 장치가 개시되어 있다. 이 모노크로메이터는 점점 가늘어지는 로그함수적인 나선 형상을 하고 있고, 이것은 시료 표면에 종래 기술의 모노크로메이터보다 더 미세한 초점을 실현하는 것으로서 기술되어 있다. 시료의 표면으로부터 반사되거나 또는 회절된 X선은 위치 검출기에 의해 수신된다.
- [0012] Yokhin 등에게 부여된 미국 특허 제 6,512,814호 및 제 6,639,968호에는 시료 상에 X선 입사를 차단하도록 조정이 가능하게 위치결정될 수 있는 동적 셔터(dynamic shutter)를 포함하고 있는 X선 반사 측정 장치를 개시하고 있다. 상기 시스템의 다른 특징과 더불어 상기 동적 셔터는 고정밀의 동적 검출 범위로 XRR 줄무늬 패턴의 검출을 가능하게 한다. 상기 특허 문헌들은 또한 박막의 두께, 밀도 및 표면 거칠기를 포함하는, 박막의 특성을 결정하기 위해 XRR 줄무늬 패턴의 분석을 위한 개선된 방법을 개시하고 있다. 고정밀의 동적 범위로 인해 상기 시스템은 상부 박막층 뿐만 아니라 시료의 표면 상의 하나 이상의 기초층에 대해서도 상기의 특성을 정밀하게 측정할 수 있다.
- [0013] X선 반사 측정의 다른 일반적인 방법은, 예를 들면 Journal of Applied Crystallography 22(1989년 판)라는 잡지의, 460 페이지에 Naudon 등에게 의한, "각도-해석 분산 모드에서의 큰 입사각의 X선 반사 측정을 위한 새로운 장치(New Apparatus for Grazing X-ray Reflectometry in the Angle-Resolved Dispersive Mode)"라는 제목의 논문에서 개시되어 있다. X선의 발산 빔이 큰 입사각으로 시료의 표면을 향해 인도되고, X선 빔 발생원의 반대쪽에 있는 검출기는 반사된 X선을 수집한다. 일차 X선 빔을 차단하기 위해 측정 위치 바로 위에 시료 표면 가까이에 나이프 에지(knife edge)가 놓여 있다. 검출기에 도달할 반사된 X선 빔의 파장은 시료와 검출기의 사이(미국 특허 제 5,619,548호와 같이 X선 발생원과 시료 사이가 아니라)에 놓여진 모노크로메이터가 선택한다.
- [0014] 또한 XRR은 예를 들면, Hayashi 등에게 부여된 미국 특허 공개 공보 제 2001/0043668 A1호에 개시된 바와 같이, 반도체 웨이퍼의 생산에 있어서 박막층을 검사하기 위해, 증착로(deposition furnace) 내의 원래의 위치에서 사용될 수 있다.
- [0015] 상기 증착로는 그 측면 벽부에 X선 입사창 및 추출창을 구비하고 있다. 박막이 적층되어 있는 기판은 입사창을 통하여 조사되고, 상기 기판으로부터 반사된 X선은 X선 추출창을 통하여 감지된다.
- [0016] 상기한 참고 문헌은 경면 X선 반사의 측정에 대한 것인 반면에, 확산 X선 반사(다르게는, 확산 산란이라고도 함)는 표면 정보를 제공할 수도 있다. 확산 X선 산란의 측정은, 예를 들면, Semiconductor International(1998년, 5월 1일자 판)이라는 잡지에, Stommer에 의한 "실리콘 표면으로부터의 X선 산란"이라는 제목의 논문에서 기술되어 있다. 이 논문은 일직선 X선 발생원에 의해 시료가 조사되고, 상기 시료로부터 산란된 X선이 검출기에 의해 수신되는 실험 장치를 개시하고 있다. 상기 검출기는 입사각과 산란각의 합이  $2\theta$ 로 표시되는 전체 각도로 고정되도록 위치되어 있다. 시료는 측각기(goniometer) 상에 장착되어 있고, 이 측각기는 ( $\Omega$ 로 표시된)시료의 경사 각도가 전체 각도( $2\theta$ )를 변경시키지 않고 입사 빔에 대하여 변경되게 허용한다.
- [0017] 이러한 장치에 있어서, 상기 검출기로부터 수신된 산란된 X선 신호는 경사 각도( $\Omega$ )의 함수로 측정된다. 이러한 경면 반사 피크가  $\Omega=\theta$ 에서 관측된다. 또한, 확산 반사 피크가 경면 반사 피크의 양측, 즉,  $\Omega=\phi_c$  각도와  $\Omega=2\theta-\phi_c$  각도에서 관측되고, 여기서  $\phi_c$ 는 시료로부터 외부 전반사의 임계각이다. 이러한 확산 반사 피크

는 Yoneda에 의해서 제일 먼저 발견되었으며, Physical Review 131호(1963년)의 제2010-2013페이지에 Yoneda가 기술한 "X선의 변칙적 표면 반사"라는 제목의 논문에 개시되어 있다. 따라서 상기의 피크값을 통상 "Yoneda wings"이라고 한다. Stommer에 의해 표시된 바와 같이, 확산 산란 곡선의 형상은 시료의 표면 거칠기에 의해 결정되고, 확산 산란 측정은 표면 특성을 결정하기 위해 분석될 수 있다.

### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- [0018] 본 발명의 실시예에 있어서, 시료의 하나 이상의 표면층에 관한 보다 많은, 그리고 보다 정확한 정보를 제공하기 위해 경면 XRR 스펙트럼 및 확산 XRR 스펙트럼이 조합된다. 몇가지 실시예에 있어서, 이러한 측정값은 집속 빔 또는 일직선의 빔으로 시료를 조사하도록 구성될 수 있는 X선 발생원을 포함하는 이중 목적 XRR 시스템을 이용하여 얻는다. 검출기, 대체로 검출기 어레이는 일정한 범위의 각도에 걸쳐서 시료로부터 반사된 X선을 검출한다. (상기한 바와 같이, 본 출원 발명 및 청구항에서 "반사된", "반사", "반사율"이라는 용어는 경면 반사 및 당해 기술 분야에서 확산 산란이라고 알려져 있는 확산 반사를 나타내기 위해 사용된다.)
- [0019] 일직선의 빔 구성에 있어서, 시스템은 확산 반사율 정보를 포함하는 제 1 반사율 스펙트럼을 얻는다. 대체로, 이러한 스펙트럼은 시료의 임계각 및 표면 거칠기를 나타내는 Yoneda 피크값 중의 적어도 하나의 위치 및 크기를 결정하기 위해서 처리된다.
- [0020] 집속 빔 구성에 있어서, 시스템은 경면 반사가 우위를 차지하는 제 2 반사율 스펙트럼을 얻는다. 대체로 이 스펙트럼의 형상은, 시료의 하나 이상의 표면층의 특성을 결정하기 위해서, 상기 스펙트럼을 이론적인 모델에 적용함으로써 분석된다. 상기 특성은 예를 들면, 반도체 웨이퍼의 표면에서 있는 박막의 두께, 밀도 및/또는 표면 거칠기를 포함할 수 있다. 그러나, 표면 거칠기에 좌우되면, 경면 반사율 스펙트럼은 상기 적용의 질을 감소시킬 수 있는 확산 반사로 인한 실질적인 백그라운드(background)를 여전히 포함할 수 있다. 따라서, 상기 적용을 실행하기 전에, 제 2 반사율 스펙트럼이 제 1 스펙트럼에서의 확산 반사율의 측정에 기초한 확산 반사율 백그라운드를 제거하도록 보정될 수 있다. 또한, 제 1 반사율 스펙트럼으로부터 얻어지는 임계각 및/또는 표면 거칠기는 표면층 특성의 정확한 평가를 향상시키기 위해서, 상기 적용에 있어서 파라미터로 사용될 수 있다.
- [0021] 본 명세서에서 기술된 본 발명의 실시예는 주로 박막, 특히 반도체 웨이퍼 상에 형성된 박막 상에서의 X선 측정을 향상시키는 것이지만, 본 발명의 기술 사상은 X선 반사 측정 및 산란의 다른 응용 뿐만 아니라, 다른 타입의 조사에 기초한 분석에서도 마찬가지로 사용될 수 있다.

### 발명의 구성 및 작용

- [0022] 따라서, 본 발명의 실시예에 따라 표면층을 구비한 시료의 조사 방법은:
- [0023] 일직선의 X선 빔으로써 시료를 조사하는 동안에 시료의 제 1 반사 스펙트럼을 포착하는 단계;
- [0024] 시료의 확산 반사 특성을 측정하기 위하여 제 1 반사 스펙트럼을 처리하는 단계;
- [0025] 집속 X선 빔으로써 시료를 조사하는 동안에 시료의 제 2 반사 스펙트럼을 포착하는 단계; 및
- [0026] 시료의 표면층의 특성을 결정하기 위하여 확산 반사 특성을 사용하여 제 2 반사 스펙트럼을 분석하는 단계;를 포함한다.
- [0027] 개시된 실시예에 있어서, 제 1 반사 스펙트럼을 포착하는 단계는 상기 빔을 일직선화하기 위하여 슬릿을 집속 빔에 놓는 단계를 포함한다.
- [0028] 다른 실시예에 있어서, 제 1 반사 스펙트럼을 포착하는 단계는 일직선의 빔으로써 시료를 소정의 입사각으로 조사하는 단계와, 검출기 어레이를 사용하여 양각의 범위에 걸쳐서 X선을 동시에 수신하는 단계를 포함한다. 전형적으로, 제 2 반사 스펙트럼을 포착하는 단계는 제 1 반사 스펙트럼을 포착하는데 또한 사용되는 검출기 어레이를 사용하여 양각의 범위에 걸쳐서 X선을 동시에 수신하는 단계를 포함한다.
- [0029] 본 발명의 한 측면에 있어서, 제 1 반사 스펙트럼을 처리하는 단계는 제 1 반사 스펙트럼에서 요네다 윙을 검출하는 단계를 포함한다. 전형적으로, 요네다 윙을 검출하는 단계는 요네다 윙의 각도 위치에 따라 시료로부터의 전반사에 대한 임계각을 결정하는 단계를 포함한다. 부가적으로 또는 선택적으로, 요네다 윙을 검출하는 단계는 요네다 윙의 크기에 따른 표면층의 거칠기를 측정하는 단계를 포함한다.
- [0030] 다른 실시예에 있어서, 제 2 반사 스펙트럼을 분석하는 단계는 제 1 반사 스펙트럼에 따른 확산 반사 백그라운



드를 추정하는 단계와, 확산 반사 백그라운드를 제 2 반사 스펙트럼에서 제거하는 단계를 포함한다.

- [0031] 전형적으로, 제 2 반사 스펙트럼을 분석하는 단계는 표면층의 밀도, 두께 및 표면 거칠기 중 적어도 하나를 결정하는 단계를 포함한다.
- [0032] 상술된 실시예에 있어서, 시료는 반도체 웨이퍼를 포함하고, 제 2 반사 스펙트럼을 분석하는 단계는 웨이퍼상에 형성된 박막층의 특성을 결정하는 단계를 포함한다.
- [0033] 본 발명의 실시예에 따른 표면층을 갖춘 시료의 검사용 장비는:
- [0034] 장치의 제 1 구성상 일직선의 X선 빔을 시료의 표면 쪽으로 향하게 하고, 그리고 장치의 제 2 구성상 집속 X선 빔을 시료의 표면 쪽으로 향하게 한 방사선원;
- [0035] 상기 제 1 및 제 2 구성상 표면과 관련한 경사 각도의 함수로서 제 1 및 제 2 반사 스펙트럼을 생성시키기 위하여 표면으로부터 반사된 X선을 검출하도록 배치된 검출기 어셈블리; 및
- [0036] 시료의 확산 반사 특성을 측정하기 위하여 제 1 반사 스펙트럼을 수신하고 처리하도록 연결되고, 시료의 표면층의 특성을 결정하기 위하여 확산 반사 특성을 사용하여 제 2 반사 스펙트럼을 분석하도록 연결된 신호 프로세서;를 포함한다.
- [0037] 본 발명의 일 실시예에 따라, 부가적으로 마이크로일렉트로닉 장치를 만들기 위한 클러스터 톨은:
- [0038] 반도체 웨이퍼의 표면에 박막층을 증착할 수 있는 증착 스테이션; 및
- [0039] 검사 스테이션;을 포함하고 있고,
- [0040] 상기 검사 스테이션은:
- [0041] 일직선의 X선 빔을 상기 검사 스테이션의 제 1 구성상 웨이퍼 면쪽으로 향하게 할 수 있고, 집속 X선 빔을 상기 검사 스테이션의 제 2 구성상 웨이퍼 면쪽으로 향하게 할 수 있는 방사선원;
- [0042] 상기 제 1 및 제 2 구성상 표면과 관련한 양각의 함수로서 제 1 및 제 2 반사 스펙트럼을 생성시키기 위하여 표면으로부터 반사된 X선을 검출할 수 있는 검출기 어셈블리; 및
- [0043] 상기 표면의 확산 반사 특성을 측정하기 위하여 제 1 반사 스펙트럼을 수신하고 처리하도록 연결된, 박막층의 특성을 결정하기 위하여 확산 반사 특성을 사용하여 제 2 반사 스펙트럼을 분석하도록 연결된 신호 프로세서;를 포함한다.
- [0044] 본 발명의 일 실시예에 따라, 마이크로일렉트로닉스 장치를 만들기 위한 장치는:
- [0045] 반도체 웨이퍼를 수용할 수 있는 생산실;
- [0046] 상기 생산실내에 반도체 웨이퍼의 표면에 박막층을 증착할 수 있는 증착 장치;
- [0047] 방사선원;
- [0048] 상기 제 1 및 제 2 구성상 각각의 표면과 관련한 양각의 함수로서 제 1 및 제 2 반사 스펙트럼을 생성시키기 위하여 상기 생산실 내의 웨이퍼 표면으로부터 반사된 X선을 검출할 수 있는 검출기 어셈블리; 및
- [0049] 상기 표면의 확산 반사 특성을 측정하기 위하여 제 1 반사 스펙트럼을 수신하고 처리하도록 연결된, 박막층의 특성을 결정하기 위하여 확산 반사 특성을 사용하여 제 2 반사 스펙트럼을 분석하도록 연결된 신호 프로세서;를 포함하고 있고,
- [0050] 상기 방사선원은 일직선의 X선 빔을 상기 방사선원의 제 1 구성상 상기 생산실 내의 웨이퍼 표면쪽으로 향하게 할 수 있고, 집속 X선 빔을 상기 방사선원의 제 2 구성상 상기 생산실 내의 웨이퍼 표면쪽으로 향하게 할 수 있다.
- [0051] (본 발명의 바람직한 실시예)
- [0052] 도 1을 참조하면, 도 1은 본 발명에 따른 X선 반사측정(XRR)을 위한 시스템(20)의 개략적 측면도이다. 도 1에 도시된 구성에서는, 시스템(20)은 시료의 경면 X선 반사율을 측정하기 위해 X선의 집속 빔으로 반도체 웨이퍼와 같은 시료(22)를 조사한다. 이 구성의 시스템(20)은 상술한 미국특허 6,512,814호에 개시된 XRR 시스템과 유사하며, 그것에 여기에 설명되는 특징 및 성능을 부가한 것이다. 시료가 일직선의 X선 빔으로 조사되는 제 2 구



성이 도 2에 도시되어 있다.

- [0053] 시료(22)는 모션 스테이지(24)상에 장착되어, 시료의 위치 및 방향의 정밀 조절을 가능하게 한다. X선 공급원(26), 대표적으로 적합한 단색화 광학소자(도시 안됨)를 구비한 X선관이 시료(22)상의 소영역을 조사하는 집속 빔(27)을 발생시킨다. 예컨대, Oxford Instruments(Scotts valley, California)에 의해 생산된 XTF5011 X선관이 X선 공급원으로서 사용될 수 있다. 시스템(20) 반사율 및 산란 측정을 위한 일반적인 X선 에너지는 약 8.05 keV(CuK $\alpha$ )이다. 선택적으로, 5.4 keV(CuK $\alpha$ )와 같은 다른 에너지가 사용될 수도 있다.
- [0054] 집속 빔(27)을 발생시키기 위해 공급원(26)내에 사용될 수 있는 수많은 다른 광학 구성이, 그 개시된 바가 여기에 참고로 편입되는 미국특허 6,381,303호에 개시되어 있다. 예컨대, 광학소자는 XOS Inc.(Albany, New York)에 의해 생산된 이중 만곡 초점맞춤(Doubly-Bent Focusing Crystal Optic)과 같은 만곡형 결정 모노크로메이터를 포함할 수 있다. 다른 적절한 광학소자는 상술한 미국특허 5,619,548호 및 5,923,720호에 개시되어 있다. 이중 만곡 초점맞춤 크리스탈은 수평방향(X) 및 수직방향(Y) 양방향으로 빔(27)이 집속하도록 하여, 영역(28)내의 지점에 초점맞춘다. 더 큰 또는 더 작은 범위가 사용될 수 있겠지만, 일반적으로 X선은 영역(28)상에 대략 0°에서 4.5°까지의 입사각의 범위에 걸쳐 집속한다. 선택적으로, 빔이 시료 표면상의 선에 집속하도록 원통형 빔(27)을 초점맞춤시키는 광학소자가 사용될 수 있다. 추가의 가능한 광학 구성이 있을 수 있음은 당업자에게 자명한 사실이다.
- [0055] 동적 나이프 에지(36) 및 셔터(38)가 수직방향(즉 시료(22)의 평면에 수직한)에서의 X선의 입사 빔(27)의 각도 범위를 제한하도록 사용될 수 있다. 추가적인 슬릿(도시 안됨)이 수평방향에서의 빔을 제한하도록 사용될 수 있다. XRR 측정에 있어서의 나이프 에지(36) 및 셔터(38)의 사용이 상술한 미국특허 6,512,814호에 개시되어 있다. 요약하면, 0°에 가까운 저각도 반사의 최적 검출을 위해서는, 셔터(38)는 입사 빔(27)의 범위 바깥쪽으로 후퇴되는 한편, 나이프 에지(36)는 영역(28) 위에 위치되어 빔의 유효 수직 단면을 감소시키도록 하강된다. 그 결과, 영역(28)상에 입사된 X선 스폿의 횡방향 치수가 감소된다.
- [0056] 다른 한편, 보다 약한 고각도 반사의 최적 검출을 위해서는, 나이프 에지(36)는 빔(27)으로부터 후퇴되는 한편, 셔터(38)는 빔의 저각도 분을 차단하도록 위치된다. 일반적으로, 셔터는 표면에 대해 0.6°보다 작은 입사 방사선을 차단한다(선택적으로 셔터는 반사 빔(29)의 저각도 분을 차단하도록 위치될 수 있다). 이런 방식으로, 샘플(22)로부터 고각도 반사 방사선만이 검출기 어레이에 도달하고, 강한 저각도 반사 방사선은 검출기 어레이에 도달하지 못하며, 따라서 고각도 측정의 신호/백그라운드 비를 향상시킨다.
- [0057] 시료(22)로부터의 X선의 반사 빔(29)이 검출기 어셈블리(30)에 의해 수집된다. 일반적으로, 어셈블리(30)는 전 반사( $\Phi_c$ )에 대한 시료의 임계각보다 낮고 높은 각인 대략 0°와 3°사이의 양각( $\phi$ )의 함수로서 수직방향에 있어서 반사각의 범위에 걸쳐 반사 X선을 수집한다(명확함을 위해, 도면에 도시된 각도는 도 1에서 시료(22)의 평면 위로의 공급원(26) 및 검출기 어셈블리(30)의 양각과 같이 과장되게 나타내어졌다).
- [0058] 어셈블리(30)는 미국특허 6,512,814호에 개시된 바와 같이 CCD 어레이와 같은 검출기 어레이(32)를 포함하고 있다. 도시의 간략화를 위해 상대적으로 작은 개수의 검출기 소자를 가진 상태로 도면에 검출기 소자의 단일 열만이 도시되어 있지만, 어레이(32)는 일반적으로 선형 어레이 또는 매트릭스(2차원) 어레이와 같이 배열되는 수많은 개수의 소자를 포함한다. 어셈블리(30)는 또한 베릴륨과 같은 적절한 X선 투과 재료로 만들어진 창(34)을 포함하고 있고, 이 창은 검출기 어레이 전방, 어레이와 시료 사이에 배치되어 있다.
- [0059] 신호 프로세서(40)는 주어진 에너지에서의 또는 에너지 영역에 걸쳐서 각도 함수로서 시료(22)로부터 반사된 X선 광자의 플럭스의 분포를 결정하기 위해 어셈블리(30)의 출력을 분석한다. 일반적으로, 시료(22)는 영역(28)에서 얇은 막과 같은 하나 또는 그 이상의 박막 표면층을 가지고 있어, 분포(42)는 양각의 함수로서 층들 사이의 경계면으로부터의 반사 X선 파들 사이의 간섭 효과로 인한 진동 구조를 나타낸다. 프로세서(40)는, 아래에 설명하는 분석 방법을 사용하여, 시료의 하나 또는 그 이상의 표면층의 층의 두께, 밀도 및 표면 성질과 같은 특성을 결정하기 위해 각도 분포의 특성을 분석한다.
- [0060] 도 2는 시료(22)가 일직선의 빔에 의해 조사되는 시스템(20)의 변경된 구성을 도시하고 있다. 이 구성은 확산 X선 반사율의 측정을 위해 사용된다. 다양한 수단이 X선 빔을 일직선화하는데 사용될 수 있다. 도 2에 도시된 예에서는, 좁은 수평의 슬릿(39)이 입사 빔 경로내에 위치되어 있다. 일반적으로, 슬릿은 입사 빔의 집속 각도를 대략 0.03°로 감소시킨다(도 1의 집속 빔의 4.5°의 예시적인 범위와는 대조적으로). 선택적으로, 측정의 각 정밀도에 대해 스루풋(throughput)을 변경하는데 보다 크거나 보다 작은 슬릿 폭이 사용될 수 있다. 슬릿(39)의 위치는 영역(28)상의 일직선의 빔의 입사각( $\theta$ )을 한정한다. 본 발명자는  $\theta=0.8^\circ$ 로 설정하는 것으로

양호한 결과가 얻어진다는 것을 발견하였다. 또한 선택적으로, 괴벨 미러(Goebel mirror)와 같은 다른 형태의 시준기가 확산 반사율 측정을 위해 입사 X선 빔을 일직선화하는데 사용될 수 있다.

[0061] 도 1의 구성에 있어서의 경면 반사 방사선을 수집하는데 사용된 것과 동일한 검출기 어셈블리(30)가 도 2의 구성에 있어서의 확산 반사 방사선을 수집하는데 사용된다. 따라서, 시스템(20)은 경면 반사 측정과 확산 반사 측정 사이에서 용이하게 전환될 수 있다. 확산 반사 방사선이 상대적으로 약하기 때문에, 도 1의 구성에 있어서보다 도 2의 구성에 있어서 더 긴 집적 시간에 걸쳐 X선을 수집하는 것이 필요할 수 있다.

[0062] 도 3은 도 1 및 도 2에 도시된 구성을 각각 사용하여 시스템(20)에 의해 포착된 경면 반사 스펙트럼(50)과 확산 반사 스펙트럼(52)을 도시한 개략적인 플롯이다. 스펙트럼은 반사(또는 산란)의 각도( $\phi$ )에 대해 작성되어 있다.

[0063] 스펙트럼(50)은 임계각( $\Phi_c$ )에서 특성 쇼울더를 가지고, 각도가 증가하면서 진동 패턴으로 하락한다. 보다 뚜렷한 고주파수 진동 패턴을 가진 이 종류의 보다 상세한 XRR 스펙트럼이 예컨대 상술한 미국특허 6,512,814호 및 6,639,968호에 개시되어 있다. 이들 특허에 설명되어 있는 바와 같이, 스펙트럼(50)의 쇼울더의 위치는 임계각 및 그에 따른 시료(22)의 표면층의 밀도를 결정하기 위해 분석될 수 있고, 한편 진동의 주기 및 진폭은 시료의 표면층의 두께 및 표면 거칠기를 나타낸다. XRR 스펙트럼의 신호/백그라운드 비가 크면 클수록, 프로세서(40)는 표면층 특성을 더 정밀하게 결정할 수 있다. 몇몇의 경우에 있어서는, 프로세서는 시료 표면 아래의 하부층의 특성을 결정할 수도 있다. 다른 한편으로, 시료 표면의 거칠기는 XRR 스펙트럼에 있어서의 진동의 진폭을 감소시키고 확산 반사로 인한 백그라운드를 증가시켜, 스펙트럼(50)으로부터 정밀한 측정값을 추출하기가 더 어렵게 된다.

[0064] 확산 반사 스펙트럼(52)은 일직선의 빔의 입사각( $\theta$ )에서 중앙 피크(54)를 그리고 요네다 윙(Yoneda wings)에 해당하는 측부 피크(56, 58)를 가지고 있다. 실질적으로 말하면, 양 피크(56, 58)는 일반적으로 요네다에 의해 사용된 전형적인 경사 측정 장치에서 볼 수 있는 것이지만, 시스템(20)의 지오메트리(geometry)에서는 사실상 피크(56)만이 검출기 어셈블리(30)에 의해 관찰된다. 본 발명의 목적을 위해서는 단일의 피크(56)만으로도 충분하다. 따라서, 피크(54, 56)가 대략 가우시안 형상이 되는 것으로 가정하고, 피크(58)는 무시하면, 스펙트럼(52)은 다음과 같이 모델링될 수 있다:

$$R(\phi, \theta) = r \left( \frac{\theta + \phi}{2} \right) \left[ G(\phi - \theta) + \alpha G(\phi - \Phi_c) + \gamma \right] \quad (1)$$

[0065]

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-x^2/2\sigma^2}$$

[0066] 여기서,  $r$ 은 각도의 함수로서 시료의 측정 경면 반사율이고,  $G(x)$ 이고, 이 때  $\sigma$ 는 피크 폭 특성값이다. 계수  $\alpha$  및  $\gamma$ 는 각각 피크(56)의 진폭 및  $\phi = \theta$ 에서의 경면 피크에 대한 피크와 피크 사이의 확산 백그라운드를 나타낸다. 일반적으로,  $\alpha$ 는 0.01의 위수에 있고 및  $\gamma$ 는 0.001의 위수에 있다.

[0067] 피크(56)의 위치는  $\Phi_c$ 의 정밀한 판독을 제공하고, 많은 경우에 있어 곡선(50)의 쇼울더보다 더 분명하게 형성된다. 피크(56)의 진폭(절대값 또는 피크(54)에 대한 상대값)은 시료 표면의 거칠기의 측정을 제공한다. 스펙트럼(52)의 전체 형상 및 진폭은 스펙트럼(50)에 나타나는 확산 반사 백그라운드를 지시한다. 스펙트럼(52)의 이러한 형태는 스펙트럼(50)의 형태와 함께 아래에 설명하는 방법을 사용하여 시료(22)의 표면층 특성을 결정하는데 이용된다.

[0068] 도 4는 본 발명의 실시예에 따라 시료(22)의 표면층 특성을 결정하기 위한 방법을 개략적으로 도시한 플로 차트이다. 이 방법의 단계들이 개념적인 명료함을 위해 특징의 순서로 기술되지만, 동일 목적을 성취하기 위한 것이고 본 발명의 범위내에 있는 다른 공정 순서가 사용될 수 있음을 당업자는 잘 알 것이다.

[0069] 도 4의 방법을 시작하기 위하여, 확산 반사 포착 단계(60)에서 빔 경로에 슬릿(39)이 삽입된 상태로 시스템(20)은 도 2에 도시된 바와 같이 구성된다. 이러한 구성에서, 경면 피크(54)와 요네다 피크(56) 모두를 포함하는 확산 반사 스펙트럼(52)이 포착된다. 비록 도 3은 단일값의 입사각( $\theta$ )에 대해서만 확산 반사 스펙트럼을 도시하지만, 확산 반사의 모델을 위한 추가적인 데이터 지점을 제공하고 측정의 정확성을 향상시키기 위하여 상이한 입사각에서 복수의 스펙트럼이 포착될 수 있다. 프로세서(40)는 피크 측정 단계(62)에서 피크(54, 56)의 크기와 각도 위치를 포함하는 스펙트럼(52)으로부터 선택된 특성을 추출한다. 대안으로 또는 부가적으로, 단계(60)에서 슬릿(39)은 공지된 페이스로 각도 범위에 걸쳐 연속적으로 스캔되고 검출기 어셈블리(30)에 의해 수신된

확산 백그라운드 방사는 이하에 설명되는 바와 같이 백그라운드 감산에서 사용하기 위하여 전체 범위에 걸쳐 집적된다.

[0070] 표면 모델 단계(64)에서 프로세서는 시료(22)의 표면층의 임계각과 거칠기를 측정하는데 스펙트럼(52)의 특성을 이용한다. 거칠기는 예를 들면 스톱머의 상술한 문헌에 설명된 바와 같이 표면 특성의 수학적 모델에 의해서 결정될 수 있다. 대안으로, 거칠기와 요네다 피크 진폭의 관계는 공지된 거칠기 특성으로 재료의 시료로부터 시스템(20)에서 확산 반사를 측정함으로써 미리 보장될 수 있다. 다른 대안으로, 이하에 설명되는 바와 같이 스펙트럼(52)은 표면 거칠기를 제외한 임계각만을 측정하거나 또는 임계각을 제외한 표면 거칠기만을 측정하는데 사용되거나, 또는 단계(64)가 생략될 수 있고, 단계(60)에서 포착된 확산 스펙트럼이 백그라운드를 빼기 위한 목적으로만 사용될 수 있다.

[0071] 다음에, 슬릿(39)이 제거되고, XRR 단계(66)에서 집속 빔(27)을 사용하는 경면 XRR 스펙트럼(50)을 포착하기 위하여 도 1의 구성에서 시스템(20)이 작동된다. 선택적으로, 단계(60)에서 이루어진 측정에 기초하여 경면 XRR 측정에 대한 확산 반사 기여에 의한 백그라운드는 백그라운드 빼는 단계(68)에서 스펙트럼(50)으로부터 빼진다. 임의의 검출각( $\phi$ )에 대한 전체 확산 반사 백그라운드를 평가하기 위하여, 방정식

$$D(\phi, \theta) = r \left( \frac{\theta + \phi}{2} \right) [\alpha G(\phi - \Phi_c) + \gamma] \quad (1)$$

의 확산 반사 부분은 집속 빔의 입사각( $\theta$ )(임계각 이상)의 전체 범위에 걸쳐 집적된다. 다음에 그 결과는 보정 경면 반사 신호를 제공하기 위하여 측정된 반사율( $r(\phi)$ )로부터 빼진다.

$$r'(\phi) = r(\phi) - \int_{\Phi_c}^{\max} D(\phi, \theta) d\theta \quad (2)$$

[0072]

[0073]  $D(\phi, \theta)$ 의 실제적인 파라메트릭 형태에서의 감산 및 이산 좌표(검출기 어레이(32)의 픽셀의 점에서)로의 변환은 다음과 같은 결과를 부여한다.

$$r'[k] = r[k] - \left( \gamma + \frac{\alpha}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(k - j_c)^2}{2\sigma^2}\right) \right) \sum_{j=j_c}^{\max} r[(k + j)/2] \quad (3)$$

[0074]

[0075] 여기에서  $j_c$ 는 임계각의 픽셀 좌표이다. 상술한 바와 같이, 단계(60)에서 입사각의 범위에 걸쳐 슬릿(39)을 스캔함으로써 동등한 결과가 얻어질 수 있고, 다음에 측정된 반사율( $r(\phi)$ )로부터 검출 각도의 함수로서 얻어진 집적된 백그라운드를 공제한다.

[0076]

다음에 피팅 단계(70)에서 시료의 표면층의 특성을 측정하기 위하여 스펙트럼(50)(백그라운드를 뺀 후)은 경면 반사의 이론적인 모델과 비교된다. 적합한 피팅 절차는 예를 들면 상술한 미국특허 제6,512,814호와 제6,639,968호 및 미국특허 제5,740,226호에 개시되어 있다. 이론적인 모델에 따라, 스펙트럼(50)에서 초기 쇼울더와 스펙트럼(52)에서 피크(56)의 각도 위치는 시료의 최상부 층의 밀도에 의해 결정된다. 스펙트럼(50)에서 프린지의 공간 주파수 또는 주파수는 필름 층의 두께를 나타낸다. 하위 프린지에 대한 상위 프린지의 강도는 주로 시료의 외부 표면의 거칠기에 의해 결정되고, 이차적으로 시료의 필름 층 사이의 인터페이스의 거칠기에 의해 결정된다. 상술한 바와 같이, 임계각과 표면 거칠기는 또한 스펙트럼(56)에서 피크(56)의 위치와 진폭에 기초하여 결정될 수 있다.

[0077]

따라서, 단계(70)의 완료시에 시료의 외부층의 물리적인 성질(밀도, 두께 및 외부 표면 거칠기)은 스펙트럼(50, 52)에 포함된 정보에 기초하여 모두 파악된다. 어떤 경우에는, 하나 또는 하나 이상의 내부층의 성질을 결정하기 위하여 스펙트럼(50)이 더 분석될 수 있다.

[0078]

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 반도체 장치 제조에 사용하기 위한 클러스터 툴(70)의 개략적인 평면도이다. 클러스터 툴은 반도체 웨이퍼(77)에 얇은 막을 증착하기 위한 증착 스테이션(72), 검사 스테이션(74) 및 세정 스테이션과 같은 당해 기술분야에 공지된 다른 스테이션(76)을 포함하는 다수의 스테이션을 포함하고 있다. 검사 스테이션(74)은 상술한 바와 같이 시스템(20)과 유사한 방식으로 구성되고 작동한다. 로봇(78)은 시스템 컨트롤러(80)의 제어하에서 스테이션(72, 74, 76) 사이에 웨이퍼(77)를 전달한다. 툴(70)의 작동은 컨트롤러(80)에 연결된 워크스테이션(82)을 사용하여 오퍼레이터에 의해 제어되고 감시된다.

[0079] 검사 스테이션(74)은 톨(70)의 증착 스테이션(72) 및 다른 스테이션에 의해 실행되는 제조 공정중에 선택된 단계 전후에 경면 측정 또는 확산 측정, 또는 경면 측정과 확산 측정 모두를 포함하는 XRR에 의해서 웨이퍼의 X선 검사를 실행하기 위하여 사용된다. 예시적인 실시예에서, 증착 스테이션(72)을 웨이퍼(77)상에 얇은 막을 생성하기 위하여 이용되고, 검사 스테이션(74)은 웨이퍼의 확산 및 경면 반사 특성을 측정함으로써 상술한 바와 같이 XRR 평가를 실행한다. 이러한 배열은 컨트롤러(80) 및 워크스테이션(82)을 사용하여 공정 이탈의 조기 검출, 간편한 조정 및 제조 웨이퍼에 대한 처리 파라미터의 평가를 허용한다.

[0080] 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 반도체 웨이퍼 제조 및 검사를 위한 시스템(90)의 개략적인 측면도이다. 시스템(90)은 당해 기술분야에 공지된 바와 같이 웨이퍼(77)에 얇은 막을 생성하기 위한 증착 장치(94)를 포함하고 있는 진공 실(92)을 포함하고 있다. 웨이퍼는 상기 진공실(92)내의 이동 스테이지(24)에 장착된다. 일반적으로 상기 진공실은 상술한 특허공개공보 US 2001-0043668 A1에 개시된 타입의 X선 창(96)을 포함하고 있다. X선 공급원(26)은 상술한 방식으로 창(92)을 통하여 웨이퍼(77)의 영역(28)을 조사한다. 도 1에 도시된 셔터, 나이프 에지 및 슬릿은 명료함을 위하여 도 7에 생략되어 있지만, 일반적으로 이런 종류의 구성요소는 공급원(26)에 또는 진공실(92)내에 통합된다.

[0081] 영역(28)으로부터 반사된 X선은 다른 창(96)을 통하여 검출기 어셈블리(30)의 어레이(32)에 의해 수신된다. 상술한 바와 같이, 웨이퍼의 확산 및/또는 경면 반사 특성을 측정함으로써 진공실(92)내에서 제조중에 얇은 막의 특성을 평가하기 위하여 프로세서(40)는 검출기 어셈블리(30)로부터 신호를 수신하고 신호를 처리한다. 이러한 평가 결과는 증착 장치(94)를 제어하는데 이용될 수 있으므로 시스템(90)에 의해 생산된 필름은 두께, 밀도 및 표면 거칠기 등의 원하는 특성을 갖는다.

### 발명의 효과

[0082] 비록 상기 실시예는 주로 반도체 웨이퍼의 표면층 특성을 측정하는 것을 설명하였지만, 또한 본 발명의 원리는 다른 X선 반사측정 분야뿐만 아니라 X선과 다른 이온화된 방사 밴드를 사용하는 다른 종류의 분석에도 사용될 수 있다. 따라서, 상술한 실시예는 단지 예시적인 것이며 본원 발명은 상술한 실시예로 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 범위는 여기에 설명된 다양한 특징의 조합뿐만 아니라 종래기술에 개시되지 않은 상술한 설명을 토대로 당업자에 의해 이루어지는 변경 및 개량을 포함한다.

### 도면의 간단한 설명

[0001] 도 1은 본 발명의 한 실시예에 따른, 집속-빔 구성에 있어서의 X선 반사 측정(XRR)용 시스템의 개략적인 측면도;

[0002] 도 2는 본 발명의 한 실시예에 따른, 일직선-빔 구성에 있어서의 X선 반사 측정(XRR)용 시스템의 개략적인 측면도;

[0003] 도 3은 도 1 및 도 2의 시스템을 이용하여 얻을 수 있는 경면(specular) X선 반사 스펙트럼 및 확산 X선 반사 스펙트럼의 개략적인 그래프;

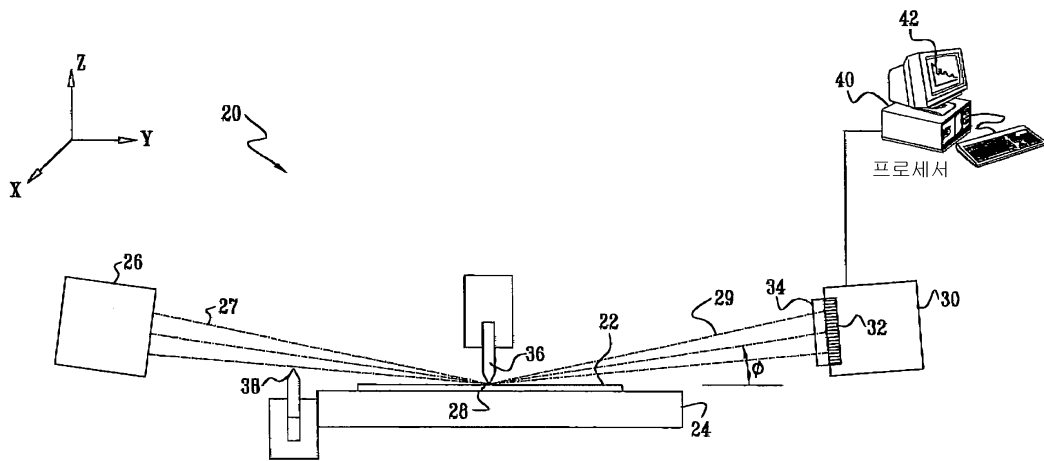
[0004] 도 4는 본 발명의 한 실시예에 따른, X선 반사 스펙트럼을 생성하여 분석하기 위한 방법을 개략적으로 나타내는 플로차트;

[0005] 도 5는 본 발명의 한 실시예에 따른 검사 스테이션을 포함하는, 반도체 장치 제작용 클러스터 톨(cluster tool)의 개략적인 평면도; 그리고

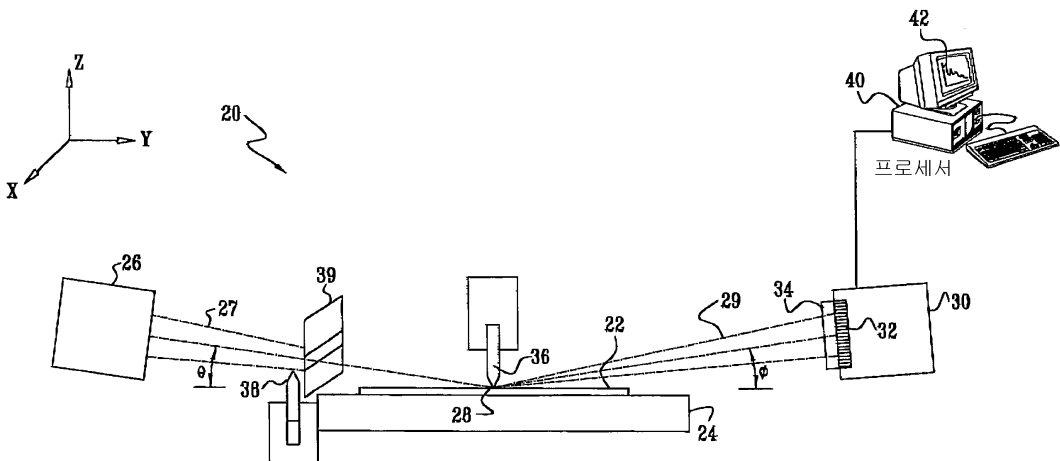
[0006] 도 6은 본 발명의 한 실시예에 따른, X선 검사 능력을 가진 반도체 처리실의 개략적인 측면도이다.

도면

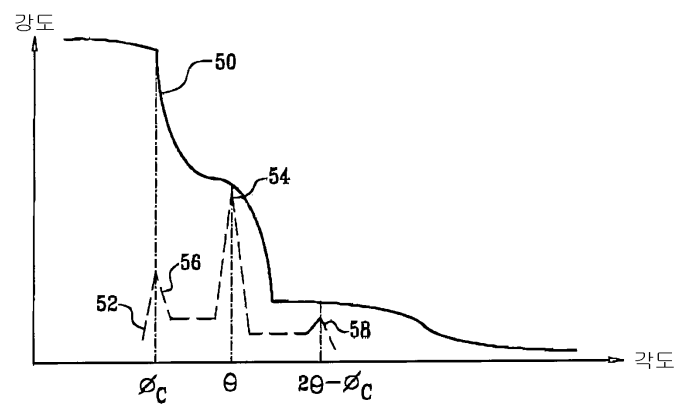
도면1



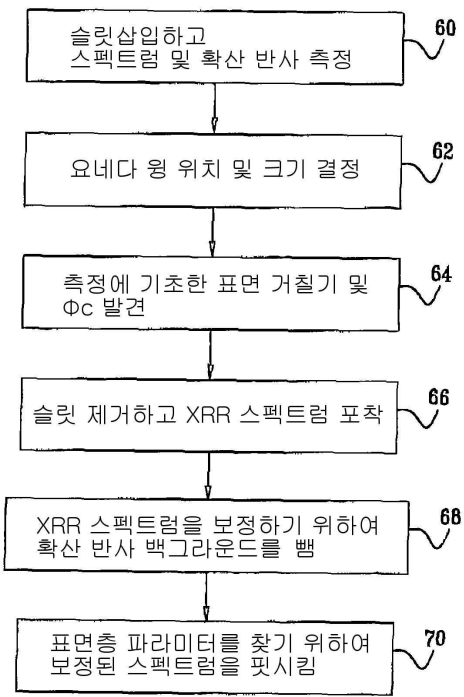
도면2



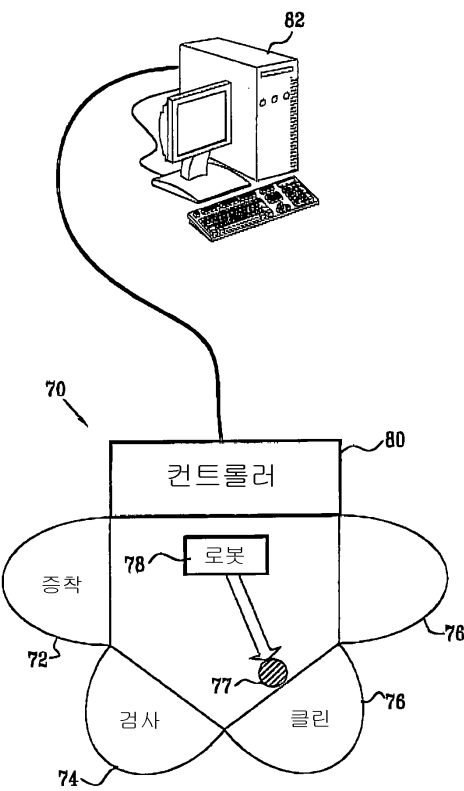
도면3



도면4



도면5



도면6

