



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년12월03일
(11) 등록번호 10-0929768
(24) 등록일자 2009년11월25일

(51) Int. Cl.

H01L 21/66 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0018060

(22) 출원일자 2008년02월28일

심사청구일자 2008년02월28일

(65) 공개번호 10-2008-0082457

(43) 공개일자 2008년09월11일

(30) 우선권주장

11/715,149 2007년03월07일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020050105197 A

WO2006098925 A1

KR1020060007020 A

논문:Materials Science and Engineering

전체 청구항 수 : 총 15 항

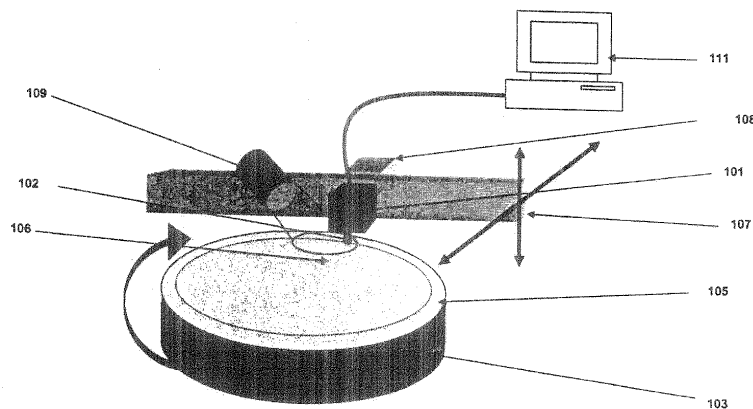
심사관 : 오창석

(54) 비-진동 접촉 전위차 센서와 제어되는 조명을 이용하는반도체 검사 시스템 및 장치

(57) 요약

반도체의 표면 상의, 또는 반도체 내부의 결함, 또는 오염물질을 식별하기 위한 방법 및 시스템이 제공된다. 상기 방법 및 시스템은 반도체 웨이퍼 등의 표면을 갖는 반도체를 제공하는 단계와, 비-진동 접촉 전위차 센서를 제공하는 단계와, 제어가능한 강도, 또는 파장의 분포를 갖는 조명원을 제공하는 단계와, 상기 조명원을 이용하여, 비-진동 접촉 전위 센서 프로브 탐침의 아래, 또는 근방에서 웨이퍼의 표면의 제어된 조명을 제공하는 단계와, 상기 비-진동 접촉 전위차 센서를 이용하여, 제어된 조명 동안 웨이퍼 표면을 스캔하는 단계와, 웨이퍼 표면을 가로질러 접촉 전위차의 변화를 나타내는 데이터를 발생시키는 단계와, 결함, 또는 오염물질의 패턴 특성을 식별하기 위해 데이터를 처리하는 단계를 포함한다.

대표도



(72) 발명자

양, 예유안

미국, 조지아 30068, 마리에타, 리틀 윌리오 로드
1695

슐츠, 마크

미국, 텍사스 78737, 오스틴, 그라나다 힐스 드라
이브 8800

특허청구의 범위

청구항 1

반도체 웨이퍼의 불균일부(non-uniformity)를 검출하기 위한 방법에 있어서, 상기 방법은

웨이퍼 표면을 갖는 웨이퍼를 포함하는 반도체를 제공하는 단계,

프로브 탐침(probe tip)을 갖는 비-진동 접촉 전위차 센서(non-vibrating contact potential difference sensor)를 제공하는 단계,

상기 웨이퍼 표면과 연결되는 조명 에너지를 제공하는 단계,

가변 조명(variable illumination)을 제공하는 수단을 제공하는 단계,

상기 비-진동 접촉 전위차 센서의 프로브 탐침의 인접부에 위치하는 샘플링 영역을 포함하는 웨이퍼 표면의 영역에서 조명 에너지를 검출하는 단계,

반도체의 표면이 조명 에너지에 의해 조명되는 동안, 상기 비-진동 접촉 전위차 센서에 대하여 평행으로 웨이퍼 표면을 연속적으로(continuously) 스캔하는 단계,

센서의 프로브 탐침이 상기 웨이퍼 표면을 가로질러 평행으로 스캔함에 따라, 상기 센서의 프로브 탐침과 웨이퍼 표면 사이의 비-진동 접촉 전위차의 변화를 나타내는 센서 데이터를 생성하는 단계, 그리고

상기 비-진동 접촉 전위차 센서의 데이터를 처리하여, 불균일부를 나타내는 패턴을 검출하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 가변 조명 에너지는 다양한 강도, 다양한 광 파장 스펙트럼, 웨이퍼 표면으로의 다양한 입사의 각도 중 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 조명 에너지는 반도체 웨이퍼의 밴드갭(bandgap)보다 큰 에너지를 갖는 광의 파장을 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 조명 에너지는 반도체의 밴드갭보다 작은 에너지를 갖는 광의 파장을 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 불균일부는, 반도체 도핑 농도의 변화, 반도체에서의 오염물질, 반도체의 웨이퍼 표면상의 금속, 또는 유기 오염물질, 물리적 불균일부, 표면 근방의 충전 구역, 표면 화학물질의 변화 중에서 선택되는 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 비-진동 접촉 전위차 센서의 프로브 탐침은, 조명 에너지의 파장에 대해 투명하도록, 또는 상기 프로브 탐침의 아래의 영역의 조명이 가능하도록, 또는 이 둘 모두이도록 구성되는 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

2회 이상 스캔하는 단계로서, 이때 광 파장 스펙트럼과 조명 에너지의 강도 중 하나 이상이 스캔 별로 변하는 단계,

결함을 나타내는 패턴을 검출하기 위해, 다수의 스캔으로부터의 비-진동 접촉 전위차 센서 데이터를 처리하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서, 상기 비-진동 접촉 전위차 센서 데이터를 처리하는 단계는 하나의 스캔의 결과와 또 다른 스캔의 결과 간의 차이를 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 방법.

청구항 9

삭제

청구항 10

반도체 웨이퍼의 불균일부(non-uniformity)를 검출하기 위한 시스템에 있어서, 상기 시스템은

웨이퍼 표면을 갖는 반도체 웨이퍼를 수용하기 위한 표면을 포함하는 반도체,

프로브 탐침(probe tip)을 가지며, 장착되는 반도체 웨이퍼에 인접하게 위치하는 비-진동 접촉 전위차 센서(non-vibrating contact potential difference sensor)로서, 이때 상기 센서와 반도체 웨이퍼는 서로에 대하여 상대적으로 이동하는 상기 비-진동 접촉 전위차 센서(non-vibrating contact potential difference sensor),

상기 반도체 웨이퍼와 상기 비-진동 접촉 전위차 센서 사이에서 연속적인 횡방향 수평 움직임을 생성하기 위한 시스템,

표면과 연결되는 조명 에너지원으로서, 각도로 통제될 수 있으며, 가변(variable)의 조명 에너지를 제공하는 상기 조명 에너지원, 그리고

웨이퍼 표면 상의 불균일부의 특징화를 가능하게 위해, 불균일부를 나타내는 패턴을 검출하도록, 상기 센서로부터 비-진동 접촉 전위차 센서 데이터를 수신하고, 상기 데이터를 처리하기 위한 프로세서

를 포함하며, 비-진동 접촉 전위차 센서의 프로브 탐침의 인접부에 위치하는 샘플링 영역을 포함하여 웨이퍼 표면의 영역이 조명 에너지원에 의해 조명되는 동안, 비-진동 센서 프로브 탐침이 반도체 표면에 평행하게 연속적으로 스캔함에 따라, 센서는 비-진동 접촉 전위차 데이터를 발생하는 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 시스템.

청구항 11

제 10 항에 있어서, 상기 불균일부는 화학적 불균일부, 또는 물리적 불균일부, 또는 전기적 불균일부, 또는 이들의 조합인 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 시스템.

청구항 12

제 10 항에 있어서, 가변 조명 에너지는 다양한 강도, 다양한 스펙트럼, 웨이퍼 표면으로의 다양한 입사의 각도 중 하나 이상을 갖는 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 시스템.

청구항 13

제 10 항에 있어서, 가변 조명 에너지는, 반도체의 밴드갭보다 큰 에너지를 갖는 광의 파장과, 반도체의 밴드갭보다 작은 에너지를 갖는 광의 파장 중에서 선택되는 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 시스템.

청구항 14

제 10 항에 있어서, 상기 불균일부는, 반도체 도핑 농도의 변화, 반도체의 오염물질, 반도체의 웨이퍼 표면 상의 금속, 또는 유기 오염물질, 표면 화학물질의 변화, 물리적 불균일부, 반도체 웨이퍼의 표면 근방의 충전 구역 중에서 선택되는 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 시스템.

청구항 15

제 10 항에 있어서, 상기 비-진동 접촉 전위차 센서의 프로브 탐침은, 조명 에너지의 파장에 대해 투명하도록, 또는 상기 프로브 탐침의 아래의 영역의 조명이 가능하도록, 또는 이 둘 모두이도록 구성되는 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 시스템.

청구항 16

제 10 항에 있어서, 상기 반도체는 일부, 또는 모든 파장의 조명 에너지에 투명한 커버링 막(covering film)을 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 웨이퍼의 불균일부를 검출하기 위한 시스템.

청구항 17

삭제

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 반도체 및 반도체 표면을 검사하기 위한 방법 및 시스템에 관한 것이다. 더 세부적으로, 본 발명은 웨이퍼 표면의 접촉 전위차를 이미징하고 시각화하기 위해 제어가능한 조명원과 조합되는 비-진동 접촉 전위차 센서를 사용하여 불균일부(non-uniformity)의 특징을 파악(특징화)하기 위한 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 반도체 장치의 기능, 신뢰도 및 성능은 청정하고 균일한 반도체 재료와 표면의 사용에 달려 있다. 반도체 재료를 조립하고 처리하기 위한 시스템 및 공정을 개발하고, 특징화하며, 최적화하기 위해, 수십억 달러와 계산할 수 없는 노동 시간이 소비되어 왔다. 이러한 활동의 주목표는 극도로 청정하면서, 균일한 속성을 갖는(또는, 전체 웨이퍼에 걸쳐 균일하게 변하는) 재료 및 표면의 조립이다. 이러한 공정을 특정화하고 최적화하기 위해, 표면, 또는 벌크의 청정도(cleanliness) 및 균일도(uniformity)를 검사 및 측정할 수 있는 것이 필수이다. 실시간 공정 제어를 위해, 표면을 가로질러서 다수의 측정이 높은 속도로, 그리고 반도체 표면을 손상시키거나 오염시키지 않는 방식으로 이뤄질 수 있는 것이 필수이다. 또한 여러 다른 타입의 불균일부, 또는 오염물질을 검출, 또는 분류할 수 있는 것이 매우 바람직하다.
- <3> 여러 다른 기법 및 시스템이 반도체의 표면, 또는 벌크의 속성을 측정하기 위해, 사용되어왔다. 이들 시스템 중 다수는 특정 벌크(또는 표면)의 특성, 가령 금속속 오염물질에 대해 매우 감도가 뛰어나다. 그러나 이들 시스템은 느리거나, 파괴적이거나, 또는 단지 몇 개의 지점에서의 측정만을 행한다. 또한 이들 시스템은 행할 수 있는 측정의 타입, 또는 검출할 수 있는 결함의 타입에 있어 제한적일 수 있다. 예를 들어, 금속 오염물질을 검출하는 시스템은 유기 오염물질을 검출할 수 없고, 입자(particle)를 검출할 수 있는 시스템은 하위-모노레이어(sub-monolayer) 오염물질을 검출하지 못하고, 웨이퍼 상의 하나, 또는 그 이상의 지점에서 정확한 측정을 행할 수 있는 시스템은 생산 속도로 웨이퍼 상의 모든 지점에서의 측정을 행하기에 충분히 빠르지 않을 수 있다.
- <4> 표면의 상태를 측정하거나 특징화하기 위한 한 가지 알려진 방법으로는 켈빈-지스만 프로브(Kelvin-Zisman probe)라고도 일컬어지는 진동 켈빈 프로브(vibrating Kelvin probe)가 있다. 상기 켈빈 프로브는 접촉 전위차(CPD: Contact Potential Difference)를 측정하는 센서이다. CPD는 전기적으로 연결된 2개의 전도성 재료의 일함수, 또는 표면 전위의 차이이다. 상기 켈빈 센서는 측정될 표면으로 전기적으로 연결된 전도성 프로브로 구성되어 있다. 프로브 탐침과 표면 사이에서 커패시터가 형성되도록 상기 프로브는 표면에 가까이 위치한다. 전위차(전압)는 프로브 탐침과 표면 사이의 CPD로부터 기인된다. 상기 프로브 탐침은 표면의 위쪽 지점에서 위치하여, 상기 프로브 탐침과 표면 사이의 용량이 시간에 따라 변화도록, 표면에 대해 수직으로 진동한다. 이러한 변하는 용량에 의해, 프로브 탐침으로의 시간에 따라 변화하는 전류가 도출되고, 상기 전류는 프로브 탐침과 표면 사이의 전압에 비례한다. 검출이 용이해지도록 이 전류는 증폭되고, 배경 전압(backing voltage)이라고 일컬어지는 가변 바이어스 전압이 상기 프로브로 적용되어, 시간에 따라 변화하는 전류가 0으로 수렴할 수 있다. 전류가 0이 될 때, 상기 바이어스 전압은 CPD와 동일한 값의 반대 부호이다. 따라서 CPD가

판단된다. 켈빈 프로브의 다수의 변형예가 개발되어 왔다. 예를 들어, 프로브 탐침을 진동시키는 대신, 상기 탐침의 앞에 위치하는 셔터(shutter)를 진동시키는 몬로 프로브(Monroe probe)와, 하나의 지점에서 다음 지점으로 스텝핑하거나, 프로브가 진동하는 동안 천천히 이동함으로써 표면을 가로지르는 일련의 지점에서 진동 측정을 행하는 스캐닝 프로브(scanning probe)가 있다. 상대적으로 높은 속도의 스캐닝을 위해, 상기 프로브는 고정된 바이어스 전압, 또는 바이어스 전압 없이 동작할 수 있으며, 프로브 전류의 크기가 고정되어, 표면 전위 값으로 변환될 수 있다. 모든 경우에서, 진동을 이용하여 프로브 탐침과 표면 사이의 용량(capacitance)을 변화시킴으로써, 신호는 발생된다.

<5> 다수의 표면, 예를 들어 반도체 표면을 특징화함에 있어, 켈빈 프로브가 매우 유용하다. 표면의 일함수와, 최종 표면 전위 및 CPD는, 반도체 장치 품질(가령, 오염물질, 표면 화학물, 원자 표면 거칠기 및 표면 대전)에 영향을 미칠 수 있는 넓은 범위의 표면 상태에 대하여 매우 감도가 뛰어나기 때문에, 상기 켈빈 프로브는 유용하다. 그러나 켈빈 프로브는 본질적으로 지점 측정 기법(point measurement technique)이다. 표면 상의 여러 다른 지점에서 다수의 측정이 행해질 수 있거나, 또는 일련의 이웃하는 지점이 연속적으로 측정될 수 있을지라도, 초당 수 개의 지점 이상을 측정하는 것은 어렵다. 전체 반도체 웨이퍼에 대하여 높은 분해능의 이미지를 생성하는 것이 느리고, 시간 소모적인 공정이며, 이는 실시간 공정 제어 적용예에 적합하지 않다.

<6> 반도체를 특징화하는 두 번째 방법은 표면 광전압(SPV: surface photo voltage)을 사용하는 것이다. 반도체 표면의 전기 전위는 종종 특정 주파수의 광을 갖는 조명에 대해 민감하다. 통상적으로 반도체 표면, 또는 반도체와 또 다른 재료와의 경계부는 표면 특이적(또는 경계부 특이적) 전자 에너지 상태를 야기할 것이다. 이러한 상태에 의해, 표면 대전(surface charging)과 표면 근방의 전기장의 형성이 야기된다. 반도체 표면 근방에서의 전기 전위를 변경시키는 이러한 현상이 밴드굽힘(band bending)이라고 알려져 있다. 초-밴드갭(super-bandgap) 파장의 광을 갖는 반도체 표면의 조명과, 이에 따른 캐리어(carrier)의 발생, 표류(drift) 및 재조합이 밴드굽힘의 레벨을 감소시키는 기능을 한다. 서브-밴드갭(sub-bandgap) 조명을 이용한 반도체 표면의 조명이 표면 대전, 밴드굽힘 및 최종 표면 전위에 영향을 미칠 표면 상태의 파플레이션(population) 및 디파플레이션(depoulation)을 야기한다. 반도체 상에서의, 그리고 상기 반도체의 상부 상의 유전체 막 상에서의 넓은 범위의 측정을 행하기 위해, 다양한 SPV 기반의 툴이 개발되었다. 예를 들어, 반도체 표면 및 경계부에서, 도핑 농도들을 검출하거나, 밴드 굽힘의 정도를 특징화하거나, 전자 에너지 상태의 농도 및 포지션을 판단하기 위해 SPV 측정이 사용될 수 있다. 이들 시스템은 유전체 막의 표면으로 전하의 제어된 양을 적용하는 기능을 포함할 수 있다. SPV 시스템이 많은 측정 기능을 갖는 다양한 구성으로 구현되지만, 이들 시스템은 모두, 1) 전하, 또는 조명을 표면에 적용시키고, 그 후, 진동 켈빈 프로브를 이용하여 최종 표면 전위, 또는 표면 전위의 변화를 측정함으로써, 또는 2) 정지상태의 용량성 프로브를 표면 위에 위치시키고, 전하, 또는 조명을 변화시켜서, 시간에 따라 변화하는 신호를 발생시키고, 상기 신호를 용량성 센서가 검출함으로써, 측정이 이뤄진다는 유사성을 갖는다. 다시 말하자면, 프로브-대-표면의 용량, 또는 조명 강도, 또는 표면 상의 전하를 변화시킴으로써, 이들 시스템은 신호를 발생한다. 켈빈 프로브와 마찬가지로, SPV 측정 시스템은 본질적으로 지점 측정 시스템이며, 높은 분해능의, 전체 웨이퍼 이미지를 생산 속도에서 발생하기 위해서는 부적합하다.

<7> 표면을 검사하고 측정하기 위한 세 번째 타입의 시스템은 비-진동 접촉 전위차 센서를 사용한다. 진동 켈빈 프로브와 마찬가지로, 상기 비-진동 접촉 전위차 센서는 반도체 표면으로 전기적으로 연결되는 전도성 프로브로 구성되어 있다. 커패시터를 형성하기 위해 상기 프로브 탐침은 표면에 가까이 위치되고, 일함수, 또는 표면 전위의 차이로 인해서, 상기 프로브 탐침과 표면 사이에서 전위차가 형성된다. 그러나 켈빈 프로브와 달리, 비-진동 접촉 전위차 센서는 표면에 수직으로 진동하지 않는다. 대신, 프로브 탐침이 표면에 대하여 직선운동하거나, 표면이 프로브 아래에서 직선운동한다. 표면 상의 여러 다른 지점에서의 일함수, 또는 표면 전위의 변화에 의해, 표면과 프로브 탐침 사이의 전위의 변화가 도출된다. 이로 인해서, 전류가 프로브 탐침으로 흐를 수 있다. 이 전류는 증폭되고, 샘플링되어, 표면을 가로지르는 전위의 변화를 나타내는 데이터의 연속 스트림을 형성할 수 있다. 비-진동 접촉 전위차 센서는, 진동 켈빈 프로브보다 훨씬 더 높은 속도(rate)로 표면 데이터를 획득할 수 있다. 왜냐하면 프로브의 진동에 의해 신호가 형성되지 않고, 대신 프로브와 표면 사이의 상대적인 스캐닝 움직임에 의해 형성되기 때문이다. 비-진동 접촉 전위차 센서는 초당 100,000개의 샘플 이상의 속도(rate)로 데이터의 연속 스트림을 제공할 수 있다. 높은 데이터 획득 속도에 의해, 높은 분해능의 전체 웨이퍼 이미지가 단지 수 초 동안에 획득될 수 있다.

<8> 비-진동 접촉 전위차 센서는 웨이퍼 표면 전위의 고속 이미징에 적합하지만, 단지 2개의 웨이퍼 표면 특성, 즉, 표면 전위의 변화와 표면 높이의 변화만을 생성한다. 반도체 검사 적용예에서, 센서는 웨이퍼 표면 위에서 프로브의 높이에서 진동을 최소화함으로써, 또는 프로브 탐침과 웨이퍼 표면 사이의 평균 전위를 최소화함

으로써, 높이 신호(height signal)를 최소화하도록 작동하는 것이 일반적이다. 따라서 비-진동 접촉 전위차 센서는 표면의 하나의 특성, 즉, 표면 전위의 변화에 따라 데이터를 생성한다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <9> 추가적인 웨이퍼 특성을 측정하고, 여러 다른 타입의 불균일부를 구별할 수 있도록, 상기 비-진동 접촉 전위 센서의 기능을 확장시키는 것이 바람직할 것이다. 예를 들어, 도핑 균일성(doping uniformity)은 많은 기본적인 핵심적인 반도체 특성에 영향을 미치는 반도체의 중요한 특성이다. 그러나 일함수에 따르는 도핑 농도의 효과는 웨이퍼 표면 근방에서 밴드굽힘을 유도하는 표면, 또는 경계부 상태에 의해 감소되거나, 변경되기 때문에, 접촉 전위차 신호를 이용하여 도핑 농도 변화(doping density variation)를 식별하는 것이 어렵다. 또한, 도핑 농도 변화는 그 밖의 다른 불균일부, 가령 표면 화학물질의 변화와 오염물질로부터 구별되기 어려울 수 있다. 추가적인 반도체 특성, 예를 들면, 도핑 농도의 변화를 검출하고, 여러 다른 표면 및 벌크 사이에서 불균일부를 구별할 수 있도록, 비-진동 접촉 전위차 센서의 기능을 확장시키는 것이 유용할 것이다. 덧붙이자면, 더 작은, 또는 더 포착하기 어려운 불균일부를 검출할 수 있도록, 비-진동 접촉 전위차 센서의 감도를 향상시키는 것이 바람직할 것이다.

과제 해결수단

- <10> 시스템 및 방법이 벌크 반도체의 불균일부를 검출하기 위해, 또는 표면 오염물질을 더욱 쉽게 검출하고 분류하기 위해 센서 데이터가 사용되도록 하는 보강된 비-진동 접촉 전위차 센서 시스템을 제공한다. 본원에서, 본원 발명의 시스템에 의한 검사의 대상인 반도체 물질을 일괄적으로 “웨이퍼”라고 명시할 것이다. 하나의 실시예는 가변 강도, 또는 스펙트럼의 광 출력을 갖는 조명원을 포함한다. 상기 조명원은 스캐닝 동안, 비-진동 접촉 전위차 센서의 프로브 탐침의 아래에서, 또는 근방에서의 영역을 조명하기 위해 사용된다. 하나의 실시예에서, 조명에 대하여 표면 전위의 반응에 영향을 주는 특정 표면, 또는 벌크 웨이퍼의 특성의 검출 및 분류를 위해 최적화된 하나 이상의 조명 상태를 이용하여 표면이 조명될 때, 표면 전위 변화에 따른 정보가 획득된다.
- <11> 본 발명의 장치는, 비-진동 접촉 전위차 센서와, 웨이퍼를 기계적으로 고정하기 위한 시스템과, 상기 웨이퍼 표면 위에서 고정된 간격에서 센서를 위치시키고, 센서 프로브 탐침이 웨이퍼 표면에 대하여 평행하게 움직이도록, 프로브 탐침과 웨이퍼 표면 사이에서 상대적 움직임을 발생시키기 위한 시스템과, 프로브 탐침의 아래에서, 또는 근방에서 반도체 웨이퍼 표면을 조사(irradiate)할 수 있는 가변 강도(또는 스펙트럼)의 광을 갖는 조명원과, 웨이퍼 불균일부를 식별하고 분류하기 위해, 센서로부터 출력 신호를 획득하고 처리하기 위한 시스템으로 구성된다.
- <12> 동작의 하나의 실시예는 다음과 같다. 먼저, 반도체 웨이퍼가 위치되고, 고정기(fixture) 상에서 고정된다. 고정기의 목적은 웨이퍼를 기계적으로 고정하기 위한 것이고, 웨이퍼 표면으로 전기 연결을 제공하기 위한 것이다. 비-진동 접촉 전위차 센서가 표면 전위의 변화를 검출하기 때문에, 이는 시간에 따라 변하는 신호(time-varying signal)가 된다. 따라서 고정기와 웨이퍼 사이의 접촉은 용량성이거나, 저항성이다. 그 후, 비-진동 접촉 전위차 센서의 프로브 탐침이 웨이퍼 표면 위의 고정된 높이에서 위치된다. 프로브 탐침의 아래의, 또는 근방의 웨이퍼 표면이 특정 강도 및 스펙트럼의 광으로 조명되고, 상기 프로브 탐침과 웨이퍼 표면 사이에서 상대적 움직임이 발생되어, 상기 프로브 탐침이 고정된 높이에서 상기 웨이퍼 표면에 평행하게 이동할 수 있다. 프로브 탐침이 여러 다른 표면 전위를 갖는 웨이퍼 표면의 구역 위에서 이동함에 따라서, 프로브 탐침과 표면 변화 사이의 전압에 의해, 프로브 탐침으로, 또는 프로브 탐침 밖으로 흐르는 전류가 도출된다. 이 전류는 증폭되고 샘플링되어, 웨이퍼를 가로지르는 표면 전위의 변화의 표현(representation)을 형성할 수 있다. 선택적으로, 표면 전위의 변화의 추가적인 표현을 형성하기 위해, 서로 다른 강도, 또는 파장의 조명을 이용하여 상기 웨이퍼는 추가로 1회 이상 스캔될 수 있다. 그 후, 하나 이상의 스캔으로부터의 최종 데이터가 처리되어, 웨이퍼 불균일부의 영역이 식별 및 분류될 수 있다.

효 과

- <13> 비-진동 접촉 전위차 센서는 웨이퍼 표면 전위의 고속 이미징에 적합하지만, 단지 2개의 웨이퍼 표면 특성, 즉, 표면 전위의 변화와 표면 높이의 변화만을 생성한다. 반도체 검사 적용예에서, 센서는 웨이퍼 표면 위에서 프로브의 높이에서 진동을 최소화함으로써, 또는 프로브 탐침과 웨이퍼 표면 사이의 평균 전위를 최소화함으로써, 높이 신호(height signal)를 최소화하도록 작동하는 것이 일반적이다. 따라서 비-진동 접촉 전위차 센

서는 표면의 하나의 특성, 즉, 표면 전위의 변화에 따라 데이터를 생성한다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <14> 본 발명은 벌크 반도체의 도핑 농도(doping density)의 변화 등의 불균일부(non-uniformity)를 검출하기 위해 센서 데이터가 사용될 수 있게 하며, 표면 전위가 조명 레벨에 대해 예민하도록 하는 보장된 비-진동 접촉 전위차 센서(non-vibrating contact potential difference sensor, 101) 시스템을 제공한다. 본 발명은 청정한 베어(bare) 표면을 갖는 반도체의 측정으로 제한되지 않는다. 표면의 화학적 상태는 변하거나, 표면 오염물질이 존재할 수 있다. 또한, 웨이퍼 표면은 조명이 아래 위치하는 반도체까지로 투과될 수 있는 코팅물, 또는 막으로 덮일 수 있다. 예를 들어, 실리콘 웨이퍼 표면은 일부 파장의 조명에게 투명한 실리콘 옥사이드 막으로 코팅되는 것이 일반적이다. 본 발명은 막으로 덮인 웨이퍼를 검사하여, 그 아래에 위치하는 반도체에서의 결함, 또는 반도체-막의 경계부에서의 결함을 검출하기 위해 사용될 수 있다. 덧붙이자면, 본 발명은 반도체에서의 밴드 굽힘(band bending)에 영향을 주는 막 내의 결함, 또는 막 상의 결함을 검출, 또는 분류하거나, 조명에 대한 반도체 표면의 반응을 검출, 또는 분류하기 위해 사용될 수 있다.
- <15> 도 1을 참조하여, 장치는, 비-진동 접촉 전위차 센서(101)와, 웨이퍼(105)를 기계적으로 고정하기 위한 시스템(103)과, 웨이퍼 표면(106) 위의 고정된 거리에서 센서(101)를 위치시키고, 센서 프로브 탐침(102)이 상기 웨이퍼 표면(106)에 평행하게 이동하도록 상기 프로브 탐침(102)과 웨이퍼 표면(106) 사이에서 상대적인 움직임을 발생시키기 위한 시스템(107)과, 센서 프로브 탐침(102)의 아래에서, 또는 그 근방에서 반도체 웨이퍼 표면(106)을 조사(irradiate)할 수 있는 가변 강도(또는 스펙트럼)의 광을 갖는 조명원(109)과, 웨이퍼(105)의 불균일부를 식별 및 분류하기 위해 센서(101)로부터의 출력 신호를 획득하고 처리하기 위한 시스템(111)으로 구성된다.
- <16> 하나의 실시예에서, 반도체 웨이퍼(105)는 전도성 웨이퍼 고정기(103) 상에 위치한다. 이는 수동으로, 또는 자동화 공정을 이용하여, 예를 들어, 웨이퍼 핸들링 로봇(그러나 이에 제한받는 것은 아님)을 이용하여 이뤄질 수 있다. 예를 들어, 진공(vacuum)을 이용하여, 웨이퍼(105)는 고정된다. 웨이퍼(105)를 고정하는 대안적 방법으로는, 정전기력 및 에지 그리핑을 포함한다(그러나 이에 제한되지 않는다). 하나의 실시예에서, 상기 고정기(103)는 스핀들(spindle)로 장착되고, 상기 스핀들은 웨이퍼(105)를 자신의 중심에 대하여 회전시킬 수 있다. 비-진동 접촉 전위차 센서(101)는 포지셔닝 시스템(positioning system, 107)으로 부착되는데, 상기 포지셔닝 시스템은, 웨이퍼 표면(106) 위에서의 센서(101)의 높이를 조정할 수 있고, 웨이퍼(105)의 중심으로부터 웨이퍼(105)의 하나의 에지(edge)까지 센서(101)를 방사 방향으로 이동시킬 수 있다. 상기 비-진동 접촉 전위차 센서(101)는 전도성 웨이퍼 고정기(103)를 이용하여 웨이퍼 표면(106)으로 전기적으로 연결된다. 이러한 연결은 저항성이거나 용량성일 수 있다. 하나의 실시예에서, 비-진동 접촉 전위차 센서 프로브 탐침(102)의 높이로 고정된 높이 센서(108)가 또한, 비-진동 CPD 센서(101)와 같이, 상기 포지셔닝 시스템(107) 상으로 장착된다.
- <17> 또한, 조명되는 영역이 최소한 비-진동 접촉 전위차 센서 프로브 탐침(102)의 옆 영역을 포함할 수 있도록, 가변 강도, 또는 가변 파장을 갖는 광원(109)이 상기 포지셔닝 시스템 상으로 일정한 각도를 갖고 장착되며, 이때, 상기 조명되는 영역은 프로브 탐침(102) 아래에서, 프로브 탐침(102)과 웨이퍼(105) 사이의 간격과, 광 빔의 각도에 의해 허용되는 범위까지 뻗어 있다. 상기 광원(109)은 레이저, 또는 백열등, 또는 그 밖의 다른 광원일 수 있다. 광대역 광원은 요망 파장 및 강도의 조명을 선택하기 위한 다양한 광학 필터와 결합될 수 있다. 상기 비-진동 접촉 전위차 센서 프로브 탐침(102) 아래에서의 웨이퍼 표면(106)의 조명을 촉진시키기 위해, 상기 비-진동 접촉 전위차 센서 프로브 탐침(102)은 조명 파장에 대해 투과성일 수 있다. 또는, 프로브 아래에서의 웨이퍼 표면(106)의 조명을 촉진시키도록, 프로브 탐침(102)의 형태가 정해질 수 있다. 비-진동 접촉 전위차 센서(101)가 조명되는 영역을 스캐닝하도록, 조명되는 곳의 정확한 크기와 위치가 설정되며, 웨이퍼 표면(106)의 전부분, 또는 대부분을 포함할 수 있다. 광원(109)이 전체 웨이퍼 표면(106)을 조명하는 경우, 또는 스캐닝 작업 동안 센서 프로브 탐침(102)에 의해 횡단되는 전체 영역을 조명하는 경우, 광원(109)은 포지셔닝 시스템(107) 상이 아니라, 고정 위치로 장착될 수 있다.
- <18> 웨이퍼(105)가 고정기에 고정된 후, 높이 센서(108)가 상기 웨이퍼 표면(106) 상의 하나 이상의 지점 위에 위치되고, 웨이퍼 표면(106)의 높이가 측정된다. 이들 웨이퍼 높이 측정치는 프로브 탐침(102)과 웨이퍼 표면(106) 사이의 요망 간격을 생성할, 비-진동 접촉 전위차 센서(101)의 위치를 계산하기 위해 사용된다. 이 정보가 사용되어, 프로브 탐침(102)을 웨이퍼 표면(106) 위에서 고정된 높이에서 위치시킬 수 있고, 프로브 탐침(102)이 웨이퍼(105)의 외부 에지 위의 지점으로 이동될 수 있다. 조명이 활성화되고, 검사 적용예를 위한

적정한 강도와 파장이 선택된다. 예를 들어, 적용예가 도핑 농도를 검출하는 것일 경우, 높은 강도의 초-밴드갭(super-bandgap) 조명이 선택될 수 있다. 적용예가 표면 오염물질을 검출하는 것일 경우, 존재할 것 같은 오염물질에 대해 적절한 강도 및 파장이 선택된다.

<19> 프로브(101)는 정지상태로 고정되고, 웨이퍼(105)는 스펀들 상에서 회전하여, 프로브 탐침(102)이 웨이퍼(105) 위에서, 웨이퍼(105)의 중심을 중심으로 갖는 원형태의 경로를 따라 이동할 수 있다. 웨이퍼(105)의 한 번의 회전 동안 데이터가 획득된다. 그 후, 상기 센서(101)가 웨이퍼(105)의 반경을 따라 웨이퍼 중심쪽으로 프로그래밍될 수 있는 간격만큼 이동된다. 또 한번의 회전에서, 이 새로운 반경에서의 데이터가 얻어진다. 프로브가 웨이퍼 중심에 도달할 때까지, 상기 프로브 탐침(102)은 웨이퍼(105)의 동심 원형 구역을 계속해서 스텝-앤드-스캔(step and scan)한다. 그 후, 최종 데이터가 웨이퍼(105)에 대한 하나의 이미지로 조합된다. 또는, 랜덤 노이즈의 영향을 감소시키기 위해, 웨이퍼(105)의 각각의 동심원 구역이 여러 번 스캔될 수 있고, 최종 데이터가 평균내어질 수 있다. 이 이미지가 처리되어, 불균일부를 식별하고 분류할 수 있다. 이러한 처리는 여러 가지 형태를 취할 수 있다. 표면 전위가 비교적 빠르게 변하는 웨이퍼 표면(106)의 구역을 검출하기 위해, 신호 값의 임계치를 설정하는 것만큼 단순할 수 있다. 또한, 상대적 표면 전위 값을 나타내는 이미지를 생성하기 위해, 차이 센서 데이터가 통합될 수 있다. 또한 이러한 통합된 이미지가 처리되거나, 임계값이 설정되어, 높은, 또는 낮은 전위의 구역이 식별될 수 있다.

<20> 도 2는 본 발명의 하나의 실시예의 방사 스캐닝(radial scanning)의 다이어그램을 도시한다. 비-진동 접촉 전위차 센서 프로브 탐침(102)이 웨이퍼(105)의 에지 근방의 지점 “A”에서 위치한다. 상기 웨이퍼(105)는 웨이퍼 고정기(103) 상에서 회전하고, 하나의 원형 트랙의 데이터가 스캔된다. 상기 프로브 탐침(102)이 지점 “B”까지 프로그램가능한 간격만큼 웨이퍼(105)의 중심쪽으로 이동하고, 두 번째 원형 트랙의 데이터가 스캔된다. 이러한 프로세스는 프로브 탐침(102)이 웨이퍼(105)의 중심에 도달할 때까지 반복된다. 최종 데이터는 웨이퍼 표면(106)의 이미지로 조합된다. 샘플 이미지가 도 2b에서 도시된다.

<21> 본 발명의 하나의 양태는 도핑 농도의 변화, 또는 반도체의 벌크 오염물질의 검출에 관련되어 있다. 도핑 농도의 변화, 또는 벌크 오염물질은 반도체의 페르미 준위(Fermi level)에 영향을 줄 수 있고, 상기 페르미 준위는 일함수에 직접 영향을 준다. 그러나 반도체의 표면에서의 밴드굽힘(band bending)이 일함수 변화로의 페르미 준위 변화의 영향을 감소시킬 수 있다. 하나의 실시예에서, 이러한 밴드굽힘 효과를 감소시키기 위해, 웨이퍼(105)는 초-밴드갭(super bandgap) 조명을 이용하여 조명될 수 있다. 그 후, 비-진동 접촉 전위차 센서(101)를 이용하여 상기 웨이퍼 표면(106)이 스캐닝되어, 표면 전위와 웨이퍼(105)를 가로지르는 페르미 준위의 변화에 따른 데이터가 획득될 수 있다. 도핑 농도의 변화를 나타내는 이러한 변화를 검출하기 위해, 최종 데이터가 처리된다. 또는, 웨이퍼(105)가 2개의 서로 다른 강도의 초-밴드갭 조명을 이용하여 스캐닝될 수 있는데, 이때, 강도들 중 하나는 0일 수 있고, 두 개의 스캔의 차이가 계산된다. 그 후, 이러한 차이 데이터가 사용되어, 도핑 농도의 변화를 나타내는 서로 다른 레벨의 밴드굽힘을 갖는 영역을 검출할 수 있다. 밴드굽힘에 영향을 주지 않는 그 밖의 다른 타입의 불균일부에 의해 생성되는 상기 비-진동 접촉 전위차 센서의 신호는 조명에 민감하지 않을 것이다. 2개의 서로 다른 조명 강도를 이용하여 발생된 데이터의 차이를 취함으로써, 이러한 타입의 불균일부로부터의 신호는 제거될 것이다.

<22> 본 발명의 두 번째 양태는, 표면 일함수에 미치는 초-밴드갭 조명의 영향을 기반으로 하는 표면 화학물질, 또는 오염물질의 식별, 또는 분류이다. 밴드 굽힘의 정도에 미치는 초-밴드갭의 고정된 강도의 영향과, 이에 따른 일함수로의 영향이 밴드갭 내에 존재하는 표면 전자 에너지 상태의 농도와 분포에 따라 좌우된다. 이들 상태는 표면에서의 반도체 벌크의 종결(termination)에 의해, 또는 웨이퍼 표면(106)으로 화학적으로 접합되는 반도체 표면, 분자, 원자의 재구성에 의해, 또는 상기 웨이퍼 표면(106) 상에 흡착되는 분자, 또는 원자에 의해 만들어진다. 여러 다른 표면 상태(가령 수소 종결(hydrogen termination), 또는 옥사이드 종결(oxide termination)), 또는 여러 다른 표면 오염물질, 또는 흡착된 분자, 또는 웨이퍼의 표면 상에 증착된 유전체 막이 표면 상태의 여러 다른 농도, 또는 분포를 발생시킬 것이다. 표면 상태의 변화에 의해, 표면의 밴드굽힘의 크기가 변화된다. 본 발명에 의해, 비-진동 접촉 전위차 센서(101)를 이용하여 웨이퍼 표면(106)은 측정될 수 있는데, 이때, 초 밴드갭 조명의 강도는 웨이퍼(105)의 오염된 영역과 오염되지 않은 영역의 표면 일함수에서의 차이가 최대화되도록, 또는 2개의 서로 다른 오염물질 간의 표면 일함수의 차이가 최대화되도록 선택되어진다. 덧붙이자면, 오염된 구역, 또는 오염되지 않은 구역에 대한 표면 전위의 변화를 최대화하는, 또는 서로 다른 오염물질을 갖는 구역에 대한 표면 전위의 변화를 최대화하는 여러 다른 강도의 조명을 이용하여, 표면은 2회 이상 측정될 수 있다. 그 후, 이들 측정치의 차이가 사용되어, 오염물질을 검출하거나, 여러 다른 오염물질, 또는 표면 상태가 분류될 수 있다.

- <23> 본 발명의 세 번째 양태는, 표면 일함수에 미치는 서브-밴드갭(sub-bandgap) 조명의 영향을 바탕으로 하는 표면 화학물질, 또는 오염물질의 검출 및 분류이다. 서브-밴드갭 조명은 원자가띠(valence band) 전자가 전도띠(conduction band)로 바로 점프할 수 있게 하는 충분한 에너지를 갖지 못한다. 그러나 이에 따라서, 원자가띠에서 표면 상태로의 이동, 또는 표면 상태에서 전도띠로의 이동이 발생될 수 있다. 다양한 파장의 서브-밴드갭 조명을 이용한 표면의 조명은, 이러한 갭(gap) 상태를 포플레이트(populate)하고, 디포플레이트(depopulate)하기 위해 사용되어, 표면 전위와 일함수의 변화를 이끌어낸다. 다양한 파장의 조명을 이용한 표면 전위의 변화는 표면 상태와 화학물질에 따라 좌우된다. 본 발명에 의해, 웨이퍼(105)의 오염된 구역과 오염되지 않은 구역에 대한 표면의 일함수에서의 차이가 최대화되도록, 또는 2개의 서로 다른 오염물질 간의 표면 일함수의 차이가 최대화되도록 선택된 서브 밴드갭의 파장의 조명을 포함하는 비-진동 접촉 전위차 센서(101)를 이용하여 웨이퍼 표면(106)이 측정될 수 있다. 덧붙여, 오염된, 또는 오염되지 않은 구역에 대한 일함수의 변화를 최대화하는, 또는 서로 다른 오염물질을 갖는 구역에서의 일함수의 차이를 최대화하는 서로 다른 파장의 조명을 이용하여 표면은 2회 이상 측정될 수 있다. 그 후, 이러한 측정치의 차이가 사용되어, 오염물질을 검출하거나, 서로 다른 오염물질, 또는 표면 상태를 분류할 수 있다.
- <24> 웨이퍼(105)는 2회 이상 스캔될 수 있으며, 각각의 스캔에서 조명의 파장, 또는 강도가 변한다. 그 후, 예를 들어, 차이를 취함으로써, 이들 스캔은 조합되고, 최종 데이터가 처리되어, 표면, 또는 벌크 불균일부를 식별하고 분류할 수 있다. 둘 이상의 조명 상태를 이용한 스캐닝은, 하나의 조명 타입을 이용하여 전체 웨이퍼(105)를 스캐닝하고, 그 후, 조명을 변경하여, 전체 웨이퍼(105)를 다시 스캐닝함으로써 이뤄지거나, 또는 하나의 조명 상태를 이용하여 하나의 동심 원형의 데이터 경로를 스캐닝하고, 조명을 변경하여, 상기 새로운 조명 상태를 이용하여 동일한 경로를 재-스캐닝(rescanning)하고, 각각의 반경에서의 모든 원형 경로에 대하여 반복함으로써, 이뤄질 수 있다.
- <25> 덧붙이자면, 스캐닝 작업 동안, 조명의 강도, 또는 파장이 변경될 수 있다. 예를 들어, 변화하는 조명에 의해, 스위칭 주파수(switching frequency)에서의 표면 전위의 변화가 도출되도록, 조명은 스위치-온(switch-on)되고 스위치-오프(switch-off)될 수 있다. 투명과 불투명 특징부의 교대하는 패턴을 갖고, 조명을 스피닝 디스크(spinning disk)를 통해 통과시키는 광학 초퍼(optical chopper)를 이용함으로써, 상기 스위칭 작업이 구현될 수 있다. 스위칭 주파수에서의 신호만을 통과시키는 주파수 밴드패스 필터를 적용함으로써, 조명에 의해 유도된 최종 표면 전위 신호가, 웨이퍼(105)에 대한 비-진동 접촉 전위차 센서(101)의 횡방향 움직임에 의해 생성된 신호로부터 분리될 수 있다.
- <26> 웨이퍼 표면이 유전체 막으로 덮이는 경우, 측정 전에 막 표면이 이온으로 충전될 수 있다. 코로나 방전, 또는 이에 필적하는 그 밖의 다른 방법을 통해 이온이 생성될 수 있다. 막 표면의 충전이 사용되어, 축적(accumulation), 또는 공핍(depletion), 또는 반전(inversion)을 야기하도록 반도체 표면에 바이어스를 적용하기 위해 사용될 수 있다. 이러한 바이어싱 충전(biasing charge)이 적용되고 모든 측정치에 대하여 일정한 레벨로 유지될 수 있거나, 또는 하나의 웨이퍼 표면에서의 순차적인 스캔에서 변경될 수 있다.
- <27> 하나의 실시예에서, 웨이퍼 표면으로의 요망 깊이의 투과를 제공하기 위해, 조명 에너지가 웨이퍼 표면에 접촉하는 각도가 제어될 수 있다.
- <28> **예제**
- <29> 도 3은 웨이퍼(105)의 비-진동 접촉 전위차 이미지를 도시한다. 도 3(a)은 초-밴드갭(super-bandgap) 조명을 사용한 이미지이며, 도 3(b)는 조명을 사용하지 않는 이미지이고, 도 3(c)는 도 3(a)와 도 3(b)에서 도시된 것의 차이이다. 도 3(c)의 패턴이 웨이퍼(105)로 임플랜팅된 봉소이다. 차이 이미지는 강력한 도핑 패턴을 보여 주며, 도 (a)와 (b)에서 나타나는 표면 오염물질로부터의 신호를 최소화한다.
- <30> 도 4는 불균일성의 구역을 식별하기 위한 프로세싱을 이용한 도 3(a)-(c)에서 나타나는 웨이퍼(105)의 비-진동 접촉 전위차 이미지를 도시한다. 임계 값 이상과 이하에 해당되는 이미지의 구역들을 식별함으로써, 이미지가 처리되었다. 도 4(c)에서 불균일부가 선명하게 식별되지만, 도 4(a) 및 4(b)에서의 표면 오염물질과 구별되지는 않는다.
- <31> 앞서 언급된 실시예와 동일한 결과를 이루는 다수의 대안적 기계적 구성과 스캐닝 작업이 존재한다. 예를 들어, 비-진동 접촉 전위차 센서(101)와, 높이 센서(108)와, 조명원(109)이 모두 고정된 위치에 장착될 수 있고, 웨이퍼(105)가 이들 정지상태의 구성요소 아래에서 이동되고 회전될 수 있다. 하나의 반경에서 다음으로 스텝(step)하는 대신, 웨이퍼(105)가 스핀회전하는 동안, 비-진동 접촉 전위차 센서(101)는 웨이퍼(105)의 반

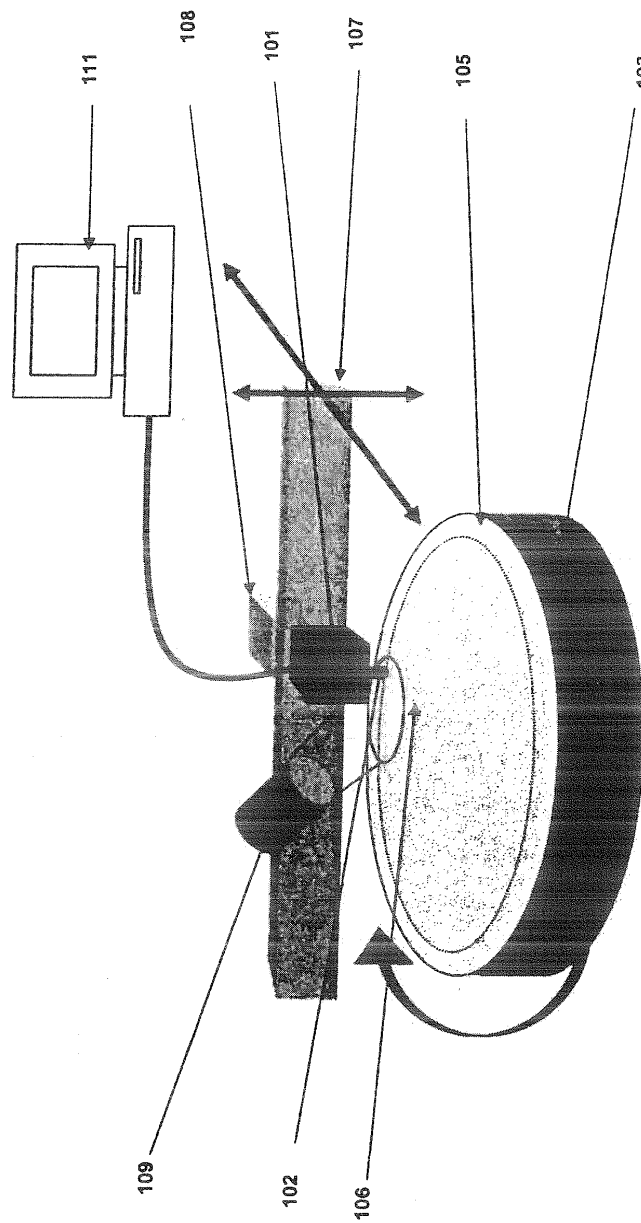
경을 따라 지속적으로 이동하여, 웨이퍼(105)의 전체 표면을 가로질러 소용돌이를 형성하는 데이터의 연속적인 스트림을 생성할 수 있다. 또한, 앞서 설명된 방사 스캐닝 작업 대신, 비-진동 접촉 전위차 센서(101)가 웨이퍼(105)를 가로질러 선형으로, 전·후 방식으로 이동하여, 전체 웨이퍼 표면(106)을 스캔할 수 있다. 또한, 웨이퍼를 측정하기 위해 요구되는 시간을 절약하기 위해, 다수의 측정치가 동시에 획득될 수 있도록, 다수의 비-접촉 전위차 센서 및 조명원이 사용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

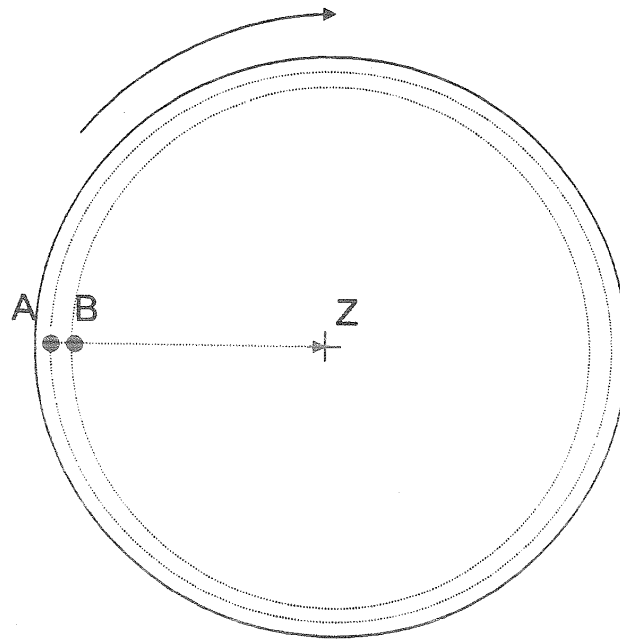
- <32> 도 1은 비-진동 접촉 전위차 센서와 제어되는 조명원을 이용하는 웨이퍼 스캐닝 시스템의 다이어그램이다.
- <33> 도 2a는 방사 스캐닝 동작의 다이어그램이다.
- <34> 도 2b는 방사 스캐닝 동작의 다이어그램으로부터의 샘플 이미지를 도시한다.
- <35> 도 3(a)는 초-밴드갭 조명을 이용하는, 도 3(b)는 조명을 이용하지 않는, 도 3(c)는 도 3(a)와 도 3(b)의 차이를 이용하는, 웨이퍼의 비-진동 접촉 전위차 이미지를 도시한다.
- <36> 도 4(a)-(c)는 불균일부의 구역을 식별하기 위한 처리를 이용한, 도 3(a)-(c)에서 나타나는 웨이퍼의 비-진동 접촉 전위차 이미지를 도시한다.
- <37>

도면

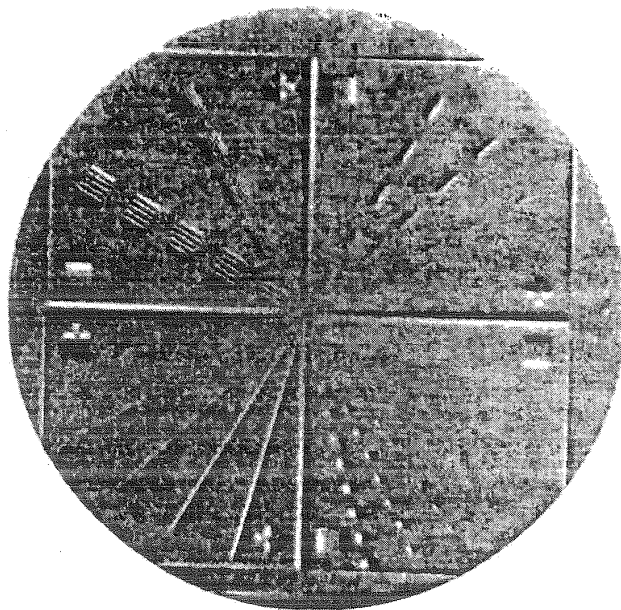
도면1



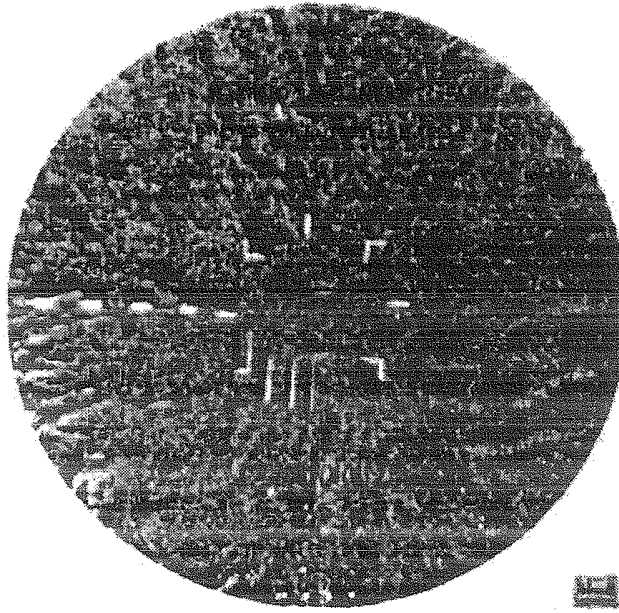
도면2a



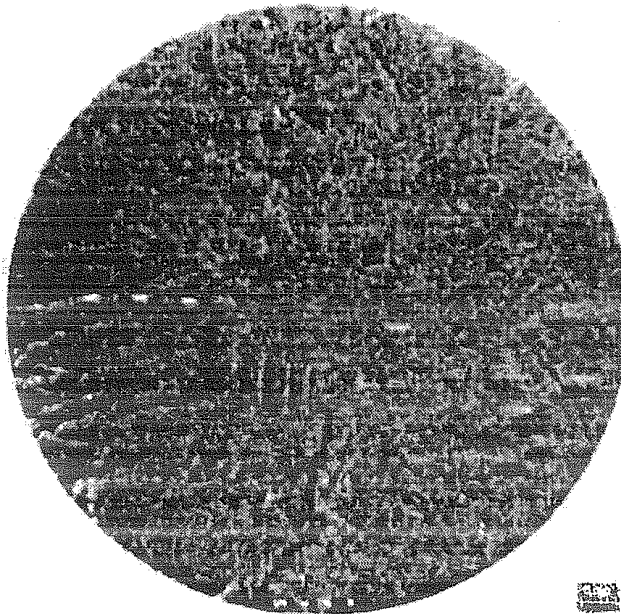
도면2b



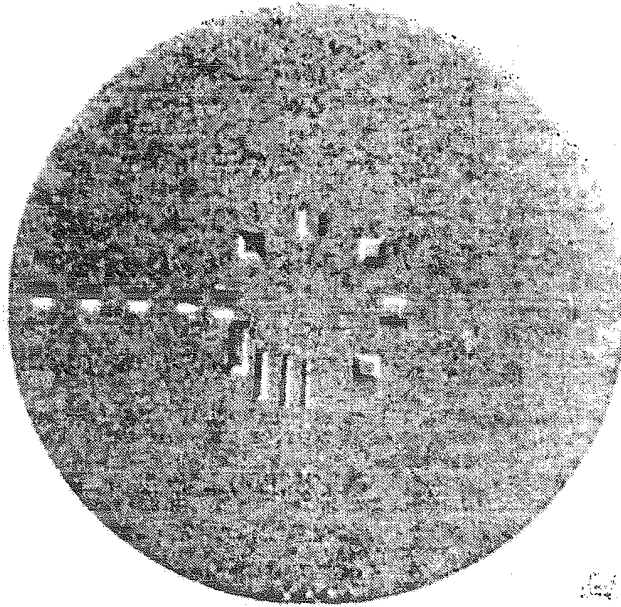
도면3a



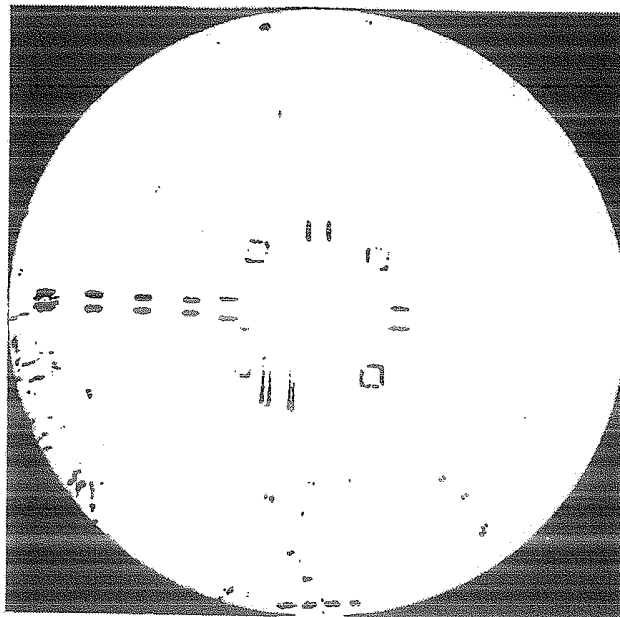
도면3b



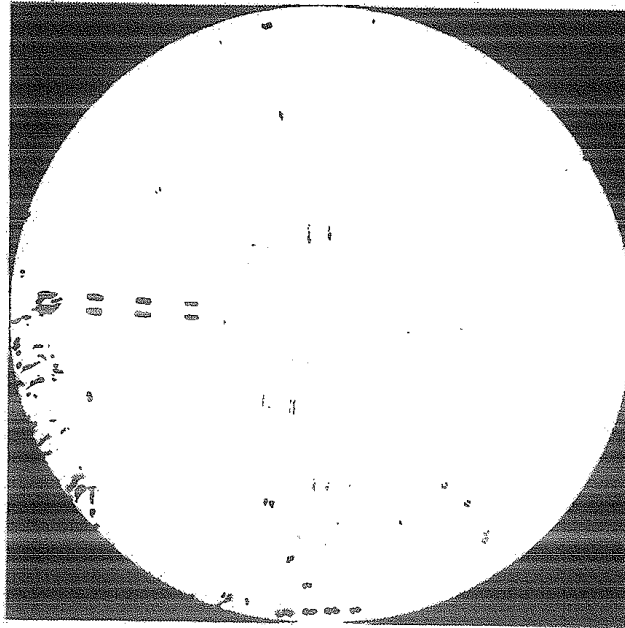
도면3c



도면4a



도면4b



도면4c

