



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년05월28일
(11) 등록번호 10-0831806
(24) 등록일자 2008년05월16일

(51) Int. Cl.

G01B 11/02 (2006.01) G01B 9/02 (2006.01)

G01N 21/55 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-7021653

(22) 출원일자 2006년10월18일

심사청구일자 2006년10월18일

번역문제출일자 2006년10월18일

(65) 공개번호 10-2007-0012674

(43) 공개일자 2007년01월26일

(86) 국제출원번호 PCT/US2005/013257

국제출원일자 2005년04월18일

(87) 국제공개번호 WO 2005/119169

국제공개일자 2005년12월15일

(30) 우선권주장

60/563,725 2004년04월19일 미국(US)

(뒷면에 계속)

(56) 선행기술조사문헌

US20030043375 A1

US5076696 A

US6853455 B1

전체 청구항 수 : 총 61 항

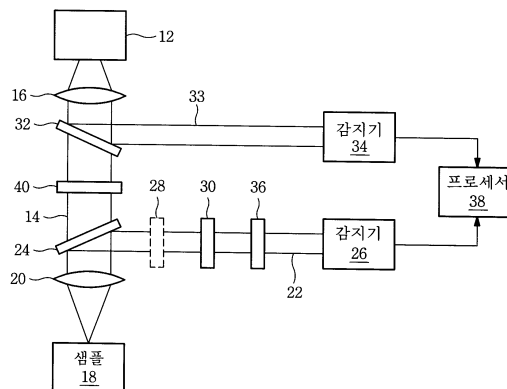
심사관 : 안웅

(54) 박막 및 CD 측정들을 위한 빔 프로파일 복합 반사율시스템 및 방법

(57) 요약

기 알려진 편광 상태로 광빔을 생성하기 위한 광원을 사용하여 복합 반사계수를 측정하기 위한 장치 및 방법은, 집속된 빔 내에 있는 다양한 광선들이 확산된 입사각 θ 을 생성하도록 샘플 표면에 빔을 집속시키기 위한 렌즈, 상기 빔의 어한 한 편광 상태를 지연시키기 위한 파장판, 빔 편광 상태들 사이에서 간섭을 발생시키기 위한 편광자, 및 상기 빔에 대응되는 강도 신호를 생성하기 위한 2차원 배열된 감지기 요소들을 갖는 감지기를 구비하며, 이때 각 감지기 요소는 반사된 빔의 유일한 입사각 θ 및 방위각 ϕ 에 대응된다. 프로세서는 적어도 하나의 입사각 θ 및 상기 적어도 하나의 입사각 θ 내에서 의미있는 푸리에 분석이 가능할 만큼 충분한 다수의 방위각들 ϕ 에 대응되는 상기 강도 신호들을 사용하여 상기 반사된 빔에 대한 크기 및 위상을 계산한다.

대표도 - 도1



(30) 우선권주장

60/568,215	2004년05월03일	미국(US)
60/610,896	2004년09월17일	미국(US)
60/613,040	2004년09월25일	미국(US)
60/624,865	2004년11월01일	미국(US)
60/640,182	2004년12월27일	미국(US)
60/650,937	2005년02월07일	미국(US)

특허청구의 범위

청구항 1

샘플 표면으로부터 반사된 광의 복합 반사율을 측정하기 위한 장치에 있어서,

기 알려진 편광 상태를 갖는 광빔을 생성하기 위한 수단;

집속된 광빔 내의 여러 광선들이 상기 샘플 표면에 대해 입사각 θ 를 형성하도록 상기 샘플 표면 위에 실질적으로 수직하게 상기 광빔을 집속시키는 수단;

상기 광빔의 평행 편광 상태와 수직 편광 상태 사이의 위상에 상대적 지연(relative retardation)을 발생시키기 위한 수단;

상기 반사된 광빔의 평행 편광 상태와 수직 편광 상태 사이에 간섭을 생성시키기 위한 수단;

상기 반사된 광빔의 경로에 위치하며 상기 반사된 광빔을 수신하고 그에 대한 응답으로서 강도 신호를 발생시키기 위한 2차원 배열된 감지기 요소들을 가지며, 상기 각 감지기 요소들은 상기 반사된 광빔의 유일한 입사각 θ 및 방위각 ϕ 에 대응되는 감지 수단; 및

적어도 하나의 입사각 θ 및 상기 적어도 하나의 입사각 θ 내에 있으며 의미있는 푸리에 분석이 가능할 만큼 충분한 복수의 방위각들 ϕ 에 대응되는 상기 강도 신호들을 사용하여 상기 반사된 광빔에 대한 크기 및 위상 값들을 계산하고, 상기 계산들에 근거하여 상기 샘플의 물리적 특성을 결정하기 위한 프로세서 수단을 구비하고,

상기 집속된 광빔은 샘플의 표면으로부터 반사되며

상기 지연 발생 수단 및 간섭 생성 수단은 고정되고 상기 감지 수단으로부터의 신호들이 방위각 2ϕ 에 의존하는 제 1 푸리에 성분 및 상기 제 1 푸리에 성분과 관계없이 방위각 4ϕ 에 의존하는 제 2 푸리에 성분을 가지도록 방향이 정해지는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 광빔은 적어도 하나의 협대역 파장의 광을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 광빔은 다색광을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 광빔 생성 수단은 복수의 서로 다른 파장의 광을 발생시키기 위한 복수의 협대역 레이저들을 구비하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 5

제 3항에 있어서,

상기 광빔 생성 수단은 복수의 서로 다른 파장의 광을 발생시키기 위한 복수의 발광 다이오드를 구비하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 6

제 3항에 있어서,

상기 광빔은 비일치성(incoherent) 광대역 광을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 광빔 생성 수단은 일치성(coherent) 광을 갖는 상기 광빔을 생성하며, 상기 장치는 상기 광빔의 경로에 있으며 상기 광빔에 있는 광이 부분적으로 또는 실질적으로 공간적으로 비일치성이 되도록 해주는 요소를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 기 알려진 편광 상태는 선형 편광인 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 기 알려진 선형 편광 상태를 생성하기 위해 상기 광빔의 경로에 배치되는 선형 편광 요소를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 10

제 8항에 있어서,

지연 발생 수단은 보정기(compensator)인 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 11

제 10항에 있어서,

간섭 생성 수단은 편광 분석기인 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 12

제 10항에 있어서,

상기 보정기는 상기 광빔 생성 수단과 상기 샘플 사이에서 상기 광빔의 경로에 위치하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 13

제 10항에 있어서,

상기 보정기는 상기 샘플과 상기 간섭 생성 수단 사이에서 상기 반사된 광빔의 경로에 위치하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 14

제 1항에 있어서,

상기 지연 발생 수단 및 상기 간섭 생성 수단은 상기 감지기 강도 신호들이 상기 샘플들에 대한 타원편광분석적 파라미터들 $\tan \psi$ 및 δ 에 의존하는 성분들을 갖도록 상기 광빔을 향하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 15

제 1항에 있어서,

상기 감지 수단은 복수의 입사각들 θ 각각에 대해 8개 이상의 독립된 방위각 ϕ 값들로 신호들을 제공하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 16

제 15항에 있어서,

상기 8개 이상의 독립된 방위각 ϕ 값들은 상기 복수의 입사각들 θ 각각에 대해 서로 동일한 간격을 두고 있는

것을 특징으로 하는 장치.

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

제 1항에 있어서,

상기 간섭 생성 수단은 상기 편광 상태에 관하여 $\pi/8$ 또는 그것의 45도 배수로 방향이 정해지는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 21

제 11항에 있어서,

상기 편광 분석기는 상기 선형 편광 상태에 관하여 $\pi/8$ 또는 그것의 45도 배수로 방향이 정해지는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 22

삭제

청구항 23

제 1항에 있어서,

상기 광빔 생성 수단은 서로 다른 파장의 광빔으로 광을 순차적으로 발생시키는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 24

제 3항에 있어서,

상기 감지기가 서로 다른 파장의 광으로 순차적으로 조명되도록 상기 반사된 광빔에서 서로 다른 파장의 광을 선택하기 위한 수단을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 25

제 3항에 있어서,

상기 감지기는 복수의 감지기들을 포함하며,

상기 장치는 상기 복수의 감지기들 중 서로 다른 하나의 감지기를 상기 반사된 광빔으로부터의 서로 다른 파장들의 광으로 동시에 조명하기 위한 수단을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 26

제 3항에 있어서,

상기 감지기는 2차원 감지기들의 선형 배열을 포함하며,

상기 장치는 상기 반사된 광빔을 상기 2차원 감지기들의 선형 배열로 분광적으로 분산시키기 수단을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 27

제 26항에 있어서,

상기 2차원 감지기들 앞에 배치된 복수의 협대역 색상 필터들을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 28

제 1항에 있어서,

상기 광빔 생성 수단은 상기 광빔에서 제 1 및 제 2 파장의 광을 생성하며, 상기 감지기 요소들은 상기 제 2 파장에는 민감하나 상기 제 1 파장에는 민감하지 않은 제 2 요소들 사이에 끼워져 있으며 상기 제 1 파장에 대해서는 민감하나 상기 제 2 파장에 대해서는 민감하지 않은 제 1 요소들을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 29

제 1항에 있어서,

상기 광빔 생성 수단은 상기 광빔에서 적어도 제 1, 제 2 및 제 3의 서로 다른 파장의 광을 생성하며, 상기 감지기 요소들은 상기 제 1 파장에 민감하나 상기 제 2 파장과 상기 제 3 파장에는 민감하지 않은 제 1 요소들, 상기 제 2 파장에는 민감하나 상기 제 1 파장과 상기 제 3 파장에는 민감하지 않은 제 2 요소들 및 상기 제 3 파장에는 민감하나 상기 제 1 파장과 상기 제 2 파장에는 민감하지 않은 제 3 요소들을 포함하며, 상기 감지기 요소들 중 상기 제 1 요소들, 상기 제 2 요소들 및 상기 제 3 요소들은 서로들 사이에서 끼워져 있는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 30

제 1항에 있어서,

상기 물리적 특성은 상기 샘플의 기관상에 형성된 박막의 두께, 굴절률, 및 소광계수 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 31

제 1항에 있어서,

상기 물리적 특성은 상기 샘플의 기관상에 형성된 회로 구조들의 배열 또는 격자의 CD(critical dimensions)들 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 32

제 1항에 있어서,

상기 물리적 특성은 상기 샘플의 기관상에 형성된 단일하게 고립된 회로 구조의 CD들 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 33

제 1항에 있어서,

상기 광빔으로부터 정규화된 광빔을 생성하기 위한 빔 분할 수단; 및

상기 정규화된 광빔의 강도를 측정하기 위한 제 2 감지 수단을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 34

제 1항에 있어서,

상기 프로세서 수단은 모든 방위각 Φ 및 모든 입사각 Θ 에 대응되는 상기 감지 요소들로부터의 상기 강도 신호들을 합산함으로써 수직입사 반사율을 측정하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 35

제 1항에 있어서,

상기 프로세서 수단은 모든 상기 방위각들 Φ 및 0도에서부터 $\sin^{-1}[\text{NA}(\text{eff})]$ 범위에 있는 입사각 Θ 에 대응되는 상기 감지 요소들로부터의 상기 강도 신호들을 합산함으로써 유효 개구수($\text{NA}(\text{eff})$)에서 수직입사 반사율을 측정하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 36

제 1항에 있어서,

파장에 대한 함수로서 샘플 반사율에 대한 독립적인 측정을 획득하기 위해 종래의 수직입사 분광기를 부가적으로 구비하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 37

제 1항에 있어서,

상기 샘플의 파라미터에 대한 독립적 측정을 획득하기 위해 레이저 기반의 비축 회전 편광타원분석기를 부가적으로 더 구비하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 38

제 1항에 있어서,

상기 장치는 상기 샘플 상에 제조 공정을 수행하기 위한 공정 톨로 집적되며, 상기 장치는 상기 공정 톨에 의해 수행되는 제조 공정을 직접 감시 및 제어하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 39

샘플 표면에서 반사된 광의 복합 반사율을 측정하는 방법에 있어서,

기 알려진 편광 상태로 광빔을 생성하는 단계;

집속된 광빔 내의 여러 광선들이 상기 샘플 표면에 대해 입사각 Θ 로 형성되도록 상기 샘플 표면 위에 실질적으로 수직하게 상기 광빔을 집속하는 단계;

상기 광빔의 평행 편광 상태와 수직 편광 상태 사이의 위상에 상대적 지연(relative retardation)을 발생시키는 단계;

상기 반사된 광빔의 평행 편광 상태와 수직 편광 상태 사이에 간섭을 생성하는 단계;

각각이 상기 반사된 광빔의 유일한 입사각 Θ 및 방위각 Φ 에 대응되며 감지기 내에서 2차원 배열되는 감지기 요소들을 사용하여 상기 반사된 광빔을 수신하고 그에 대한 응답으로서 강도 신호를 발생시키는 단계;

적어도 하나의 입사각 Θ 및 상기 적어도 하나의 입사각 Θ 내에 있으며 의미있는 푸리에 분석이 가능할 만큼 충분한 복수의 방위각들 Φ 에 대응되는 상기 강도 신호를 사용하여 상기 반사된 광빔에 대한 크기 및 위상 값을 계산하는 단계; 및

상기 계산에 근거하여 상기 샘플의 물리적 특성을 결정하는 단계를 포함하고,

상기 집속된 광빔은 샘플의 표면으로부터 반사되며,

상기 지연 발생 및 간섭 생성은 상기 감지기로부터의 신호들이 방위각 2Φ 에 의존하는 제 1 푸리에 성분 및 상기 제 1 푸리에 성분과 관계없이 방위각 4Φ 에 의존하는 제 2 푸리에 성분을 가지도록 방향이 정해진 고정된 요소들을 사용하여 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 40

제 39항에 있어서,

상기 광빔은 적어도 하나의 협대역 파장의 광을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 41

제 39항에 있어서,

상기 광빔은 다색광을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 42

제 41항에 있어서,

상기 광빔 생성은 복수의 서로 다른 파장의 광을 발생시키는 복수의 협대역 레이저들에 의해 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 43

제 41항에 있어서,

상기 광빔 생성은 복수의 서로 다른 파장의 광을 발생시키는 복수의 발광 다이오드들에 의해 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 44

제 41항에 있어서,

상기 광빔은 비일치성 광대역 광을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 45

제 39항에 있어서,

상기 광빔은 일치성 광으로서 생성되며,

상기 방법은 상기 일치성 광빔이 부분적으로 또는 실질적으로 공간적으로 비일치성이 되도록 해주는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 46

제 39항에 있어서,

상기 기 알려진 편광 상태는 선형 편광인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 47

제 39항에 있어서,

상기 지연 생성은 상기 광빔이 상기 샘플 표면 상에 집속되기 전에 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 48

제 39항에 있어서,

상기 지연 생성은 상기 광빔이 상기 샘플 표면으로부터 반사된 후에 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 49

제 39항에 있어서,

상기 지연 및 간섭의 발생은 상기 감지기 강도 신호들이 상기 샘플의 편광타원분석적 파라미터들 $\tan \psi$ 및 δ 에 의존하는 성분들을 갖도록 수행되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 50

제 39항에 있어서,

상기 감지기는 적어도 하나의 입사각 θ 에 대해 8개 이상의 독립된 방위각 Φ 값들로 신호들을 제공하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 51

제 50항에 있어서,

상기 8개 이상의 독립된 방위각 Φ 값들은 서로 동일한 간격을 두고 있는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 52

삭제

청구항 53

제 39항에 있어서,

상기 고정된 요소들은 상기 기 알려진 편광 상태에 관하여 $\pi/8$ 또는 그것의 45도 배수로 방향이 정해지는 편광 분석기를 구비하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 54

제 46항에 있어서,

상기 고정된 요소들은 상기 선형 편광 상태에 관하여 $\pi/8$ 또는 그것의 45도 배수로 방향이 정해지는 편광 분석기를 구비하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

제 39항에 있어서,

상기 광빔의 생성은 서로 다른 파장의 광빔으로 광을 순차적으로 발생시키는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 58

제 41항에 있어서,

상기 감지기가 서로 다른 파장의 광으로 순차적으로 조명되도록 상기 반사된 광빔에서 서로 다른 파장의 광을 선택하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 59

제 41항에 있어서,

상기 감지기는 복수의 감지기들을 포함하며,

상기 복수의 감지기들 중 서로 다른 하나의 감지기를 상기 반사된 광빔으로부터의 서로 다른 파장들의 광으로 동시에 조명하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 60

제 41항에 있어서,

상기 감지기는 2차원 감지기들의 선형 배열을 포함하며,

상기 반사된 광빔을 상기 2차원 감지기들의 선형 배열로 분산시키기 것을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 61

제 39항에 있어서,

상기 광빔은 제 1 및 제 2 파장의 광을 포함하며, 상기 감지기 요소들은 상기 제 2 파장에는 민감하나 상기 제 1 파장에는 민감하지 않은 제 2 요소들 사이에 끼워져 있으며 상기 제 1 파장에 대해서는 민감하나 상기 제 2 파장에 대해서는 민감하지 않은 제 1 요소들을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 62

제 39항에 있어서,

상기 광빔은 적어도 제 1, 제 2 및 제 3의 서로 다른 파장의 광을 포함하며, 상기 감지기 요소들은 상기 제 1 파장에 민감하나 상기 제 2 파장과 상기 제 3 파장에는 민감하지 않은 제 1 요소들, 상기 제 2 파장에는 민감하나 상기 제 1 파장과 상기 제 3 파장에는 민감하지 않은 제 2 요소들 및 상기 제 3 파장에는 민감하나 상기 제 1 파장과 상기 제 2 파장에는 민감하지 않은 제 3 요소들을 포함하며, 상기 감지기 요소들 중 상기 제 1 요소들, 상기 제 2 요소들 및 상기 제 3 요소들은 서로들 사이에서 끼워져 있는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 63

제 39항에 있어서,

상기 물리적 특성은 상기 샘플의 기관상에 형성된 박막의 두께, 굴절률, 및 소광계수 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 64

제 39항에 있어서,

상기 물리적 특성은 상기 샘플의 기관상에 형성된 회로 구조들의 배열 또는 격자의 CD들 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 65

제 39항에 있어서,

상기 물리적 특성은 상기 샘플의 기관상에 형성된 단일하게 고립된 회로 구조의 CD들 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 66

제 39항에 있어서,

상기 광빔으로부터 정규화된 광빔을 생성하는 단계; 및

상기 정규화된 광빔의 강도를 측정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 67

제 39항에 있어서,

모든 상기 방위각 Φ 및 모든 입사각 Θ 에 대응되는 상기 감지 요소들로부터의 상기 강도 신호들을 합산하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 68

제 39항에 있어서,

모든 상기 방위각 Φ 및 0 도에서부터 $\sin^{-1}[\text{NA}(\text{eff})]$ 범위에 있는 입사각 Θ 에 대응되는 상기 감지 요소들로부터의 상기 강도 신호들을 합산하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 69

삭제

명세서

기술분야

- <1> 본 출원은 2004년 4월 19일에 출원된 미국 가출원 NO. 60/563,725; 2004년 5월 3일 출원된 미국 가출원 NO. 60/568,215; 2004년 9월 17일에 출원된 미국 가출원 NO. 60/610,896; 2004년 9월 25일에 출원된 미국 가출원 NO. 60/613,040; 2004년 11월 1일에 출원된 미국 가출원 NO. 60/624,865; 2004년 12월 27일에 출원된 미국 가출원 NO. 60/640,182; 및 2005년 2월 7일에 출원된 미국 가출원 NO. 60/650,937에 대한 우선권 이익을 주장한다.
- <2> 본 발명은 반사측정(reflectometry) 및 타원편광분석(ellipsometry)에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 박막 두께, 굴절률, 소광계수(extinction coefficient) 및 CD(critical dimensions) 측정에 있어서 보다 향상된 기술을 위해 반사측정과 타원편광분석을 결합시킨 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경기술

- <3> 광학적 반사측정 및 타원편광분석은 기관 상에 단일하게 또는 다층 스택으로 적층된 박막들의 두께(t)와 광학상수들, 굴절률(n)과 소광계수(k)를 측정하는데 공통적으로 사용된다. 다른 주요 응용(application)으로는 집적 회로들에 있는 라인들, 트랜치들, 비아들(vias) 등과 같이 미세한 기하학적 구조들에 대한 높이, 폭, 두께, 벽 기울기 등과 같은 CD의 측정(CD 측정)이 있다. 반도체 제조에 있어서의 응용들에 대해, 정밀성, 반복성 및 시스템-투-시스템(system-to-system) 매칭에 대한 필요성들이 점점 더 요구되고 있다. 더욱이, 기하학적 구조의 지속적인 축소로 측정 영역이 지속적으로 축소되고 있으며, 이에 따라 지속적으로 작은 측정 스폿들을 필요로 한다. 박막 및 CD 측정을 위한 분광기(spectrometer)들 및 타원편광분석기(ellipsometer)들에 대한 실시예들로는 여기에서 병합되어 참조되어지고 있는 미국특허 3,824,017, 4,293,224, 4,555,766, 5,867,276, 5,963,329 및 5,739,909가 있다. 게다가, 종래의 많은 분광 타원편광분석 시스템에 대한 전체적인 검토는 1988년 북 네덜란드 물리학 출판, "Ellipsometry and Polarized Light"라는 제목으로 R.M.A. Azzam 및 N.M. Bashara에 의해 쓰여진 문서에서 찾아볼 수 있다.
- <4> 이러한 응용 요구들을 처리하기 위해, 전형적으로 반도체 산업에서 사용되고 있는 현재의 박막 및 CD 계측 시스템은 집속된 광학빔들을 사용하는 190 - 900 nm의 범위에서 수직입사하는 DUV-VIS(deep ultraviolet-visible) 분광 반사율 및 비축(off-axis) 회전 분광 타원편광분석을 채용하고 있다. 캘리포니아 프레몬트(Fremont)의 Therna-Wave 사에서 제조된 것과 같은 일부 계측 시스템들 역시 보다 종래의 분광 반사측정 및 분광 타원편광분석 기술에 부가된 레이저 기반의 단파장 빔 프로파일 반사측정(BPR) 및 빔 프로파일 타원편광분석(BPE) 기술들을 포함하고 있다. 박막 및 CD 측정들을 위한 BPR 및 BPE 시스템들에 대한 실시예들로는 병합되어 참조되는 미국특허들 4,999,014, 5,042,951, 5,181,080, 5,412,473, 5,596,411, 6,678,046, 6,654,131, 6,813,034, 6,829,057 및 6,842,259 가 있다.
- <5> 종래의 레이저 기반 BPR 및 BPE 기술들은 보다 나은 신호/잡음비 및 보다 작은 스폿 사이즈들의 장점을 가지고 있으나, 현재에는 단지 단파장 장치에만 적용되며 따라서 분광 기술들과 같은 동일한 성능을 가지고 있지는 않다. 따라서, 이러한 BPR 및 BPE 방법들은 일반적으로 편광자(polarizer)들, 분석기들 또는 보정기(compensator)들과 같은 회전 타원편광분석적 광학소자들을 채용하는 종래의 수직입사 분광기들 및 종래의 비축 분광 타원편광분석기들과 결합되어지고 있다. 게다가, 종래의 BPE 측정들은 환경적으로 민감한 고NA(high-NA) 집광 대물렌즈(objective)의 복굴절로부터 야기되는 위상 변동들을 겪고 있다. 더욱이, 종래의 BPR 및 BPE 시스템들은 복잡해지는 경향이 있으며, 많은 광학적 구성요소들 및 감지기 조립물들을 포함하고 있어, 그에 따라 시스템-투-시스템 변동을 증가시키고 있다. 더욱이, 만약 종래의 분광법과 분광 타원편광분석법 뿐만 아니라 BPR 및 BPE 방법들이 동일한 웨이퍼를 분석하는데 사용되면, 이러한 분리된 시스템들을 웨이퍼 위에 집속시키고 웨이퍼 상에 있는 동일한 스폿을 분석하는 것이 실질적으로 불가능하며, 이는 잡음 및 측정 오차를 증가시키는 결과를 가져오게 된다. 더구나, 이러한 시스템들에 있어서 보정기 또는 분석기의 회전 가공물들과 더불어 집광 대물렌즈로부터의 위상 변동들은 추가적인 신호 잡음 및 측정 오차에 기여한다.
- <6> 이러한 복합 결합 시스템들의 단점을 최소화하면서 분광 반사측정, 분광 타원편광분석 및 레이저 기반의 BPR과 BPE 기술들의 장점들을 결합시키는 분광학적 접근에 대한 필요성이 있다. 새로운 분광학적 BPR + BPE 기술은 서로 다른 방법들의 모든 측정들을 수행할 수 있으며 현재의 방법들을 능가하는 광목할만한 향상을 가져올 것이다.

발명의 상세한 설명

- <7> 본 발명은 광범위한 입사각 및 다수의 방위각들에 걸쳐 동시에 샘플로부터 반사된 광의 크기와 위상을 모두 측정하는 분광학적 측정장치 및 측정 방법을 제공함으로써 상술한 문제들을 해결한다.
- <8> 본 발명은 샘플 표면으로부터 반사된 광의 복합(complex) 반사율을 측정하기 위한 장치로서, 기 알려진 편광 상태를 갖는 광빔을 생성하기 위한 수단; 상기 샘플의 표면으로부터 반사되는 집속된 광빔 내의 여러 광선들이 상기 샘플 표면에 대해 입사각 θ 로 방사되도록 상기 샘플 표면 위에 실질적으로 수직하게 상기 광빔을 집속시키는 수단; 상기 광빔의 평행 편광 상태와 수직 편광 상태 사이의 위상에 상대적 지연(relative retardation)을 발생시키기 위한 수단; 상기 반사된 광빔의 평행 편광 상태와 수직 편광 상태 사이에 간섭을 생성시키기 위한 수단; 상기 반사된 광빔의 경로에 위치하며 상기 반사된 광빔을 수신하고 그에 대한 응답으로서 강도 신호를 발생시키기 위한 2차원 배열된 감지기 요소들을 가지며, 상기 각 감지기 요소들은 상기 반사된 광빔의 유일한 입사각 θ 및 방위각 ϕ 에 대응되는 감지 수단; 및 적어도 하나의 입사각 θ 및 상기 적어도 하나의 입사각 θ 내에 있으며 의미있는 푸리에 분석이 가능할 만큼 충분한 복수의 방위각들 ϕ 에 대응되는 상기 강도 신호들을 사용하여 상기 반사된 광빔에 대한 크기 및 위상 값들을 계산하고, 상기 계산들에 근거하여 상기 샘플의 물리적 특성을 결정하기 위한 프로세서 수단을 포함한다.
- <9> 본 발명의 다른 양태로서, 샘플 표면에서 반사된 광의 복합 반사율을 측정하는 방법은 기 알려진 편광 상태로 광빔을 생성하는 단계; 상기 샘플의 표면으로부터 반사되는 집속된 광빔 내의 여러 광선들이 상기 샘플 표면에 대해 입사각 θ 로 방사되도록 상기 샘플 표면 위에 실질적으로 수직하게 상기 광빔을 집속하는 단계; 상기 광빔의 평행 편광 상태와 수직 편광 상태 사이의 위상에 상대적 지연(relative retardation)을 발생시키는 단계; 상기 반사된 광빔의 평행 편광 상태와 수직 편광 상태 사이에 간섭을 생성하는 단계; 각각이 상기 반사된 광빔의 유일한 입사각 θ 및 방위각 ϕ 에 대응되며 감지기 내에서 2차원 배열되는 감지기 요소들을 사용하여 상기 반사된 광빔을 수신하고 그에 대한 응답으로서 강도 신호를 발생시키는 단계; 적어도 하나의 입사각 θ 및 상기 적어도 하나의 입사각 θ 내에 있으며 의미있는 푸리에 분석이 가능할 만큼 충분한 복수의 방위각들 ϕ 에 대응되는 상기 강도 신호를 사용하여 상기 반사된 광빔에 대한 크기 및 위상 값들을 계산하는 단계; 및 상기 계산에 근거하여 상기 샘플의 물리적 특성을 결정하는 단계를 포함한다.
- <10> 본 발명의 다른 목적들 및 특성들은 명세서, 청구항들 및 첨부된 도면에 대한 재검토를 통해 명확해질 것이다.

실시예

- <12> 본 발명은 기관들 상에 적층된 박막들 및 회로 구조들의 CD들에 대한 두께와 광학 상수들을 측정하기 위한 새로운 개선된 방법과 장치이다. 보다 상세하게는, 본 발명은 샘플 표면으로부터 서로 다른 파장들로 분광학적 복합 반사율을 측정하며, 단일 2차원 감지기를 사용하여 빔 프로파일 반사측정(BPR) 및 빔 프로파일 타원편광분석(BPE) 측정들을 단일 측정장치 및 방법으로 결합시킴으로써 샘플로부터 반사된 광의 크기와 위상이 광범위한 입사각 및 모든 방위각들에 걸쳐 동시에 획득되어진다. 따라서, 다수의 파장들을 사용하는 BPR과 BPE의 결합은 이것이 2차원 빔 프로파일 기술임을 강조하기 위해 분광 BP2 기술로 간주될 수 있다.
- <13> 광 프로브 빔은 샘플 표면에 수직으로 향하고 높은 개구수(NA)의 렌즈를 이용하여 빔틈없이(tightly) 집속된다. 하나의 바람직한 실시예로서, 프로브 빔 파장은 서로 다른 파장의 광빔으로 순차적으로 샘플을 조명함으로써 시간-다중화된다. 다른 바람직한 실시예로서, 프로브 빔은 백색광원 또는 다색광원으로부터 발생되며 분광학적 신호는 적절히 색상-부호화된 감지기 시스템의 사용을 통해 얻어진다. 본 발명은 회전 광학 소자들을 사용할 필요가 없으며, 그것에 의해 측정 오차 및 시스템-투-시스템(system-to-system) 변동의 주된 원인을 제거할 수 있다.
- <14> 본 발명은 결합된 2차원 BPR 및 BPE 기술 즉 분광학적 기술을 채용함으로써 현재의 광학 계측 시스템들의 정밀도 및 반복성을 향상시킨다. BP2 기술인 대상 발명은 BPR과 BPE를 하나의 감지기 서브시스템으로 결합시키며, 그것에 의해 많은 광학적 구성요소들 및 다수의 감지기 조립물들을 제거함으로써 시스템-투-시스템 변동을 감소시키고 시스템-투-시스템 매칭을 향상시킨다. 본 발명의 다른 장점은 전체 복합 반사율을 함께 측정하는 반사측정(BPR) 측정과 타원편광분석(BPE) 측정 모두가 동일한 광경로 및 동일한 감지기를 사용하는 두 개의 측정방법을 가지고 동일한 입사 광빔을 사용하여 웨이퍼 상에 있는 정확하게 동일한 스폿으로 수행되어지며, 그것에 의해 신호 잡음 및 측정 오차의 몇몇 주요한 원인들을 제거하게 된다는 것이다. BP2 기술의 다른 주요한 장점은 빔이 샘플에 수직하게 집속되기 때문에 매우 작은 측정 스폿이 가능하다는 것이다. 이것은 전형적으로 샘플 상에 매우 큰 조명 스폿을 발생시키는 종래의 비축 타원편광기와 대조된다. 큰 스폿은 비축 빔의 높은 입사각

(전형적으로 65°) 및 그러한 높은 입사각을 위해 사용되어야 하는 상대적으로 낮은 NA의 포커싱 렌즈에 의한 결과이다. 수직입사 고NA BP2 기술에서는 분광 강도가 훨씬 크기 때문에 BP2 기술에 의한 작은 스폿은 웨이퍼 상에서 필요한 측정 영역을 줄여주며, 또는 동일한 크기의 측정 영역 내에서 측정을 수행하기 위한 시간을 감소 시켜준다. 또한 본 발명은 집광 대물렌즈로부터의 위상 변동들에 대한 영향을 최소화시켜 줌으로써 BPE 측정의 정밀도 및 반복성을 매우 향상시켜준다. 게다가, 바람직한 실시예는 회전 보정기 또는 회전 분석기를 사용하지 않으며, 그것에 의해 신호 잡음 및 측정 오차의 주된 원인들을 제거시켜준다. 가장 주목할 만한 것은, BP2 기술은 다수의 파장을 사용할 때 현재는 4개의 분리된 기술 즉 분광학적 반사측정, 분광 타원편광분석, BPR 및 BPE에 의해 실시되었던 모든 측정들을 혼자서 수행할 수 있으며, 그것에 의해 측정 시스템을 매우 단순화시킬 수 있으며, 측정 정밀도를 향상시키고, 오차 및 시스템-투-시스템 변동의 원인들을 최소화시켜 준다.

<15> 도 1에 보여진 것과 같이, 본 발명의 BP2 측정 시스템(10)은 렌즈(16)에 의해 평행하게 되고 고NA 대물렌즈(20)에 의해 샘플(18) 상으로 수직입사되게 집속되는 광(radiation)의 프로브 빔을 생성하는 광원(12)을 포함한다. 만약 프로브 빔이 레이저로부터 나온다면, 프로브 빔(14)의 고출력밀도(high power density)는 높은 신호/잡음비를 가져오며 그 빔은 대략 1 마이크로 직경의 스폿($1/e$ 점들)으로 집속된다. 그러나, 레이저 빔의 큰 공간 간섭성(spatial coherence) 때문에, 1 마이크로미터의 가우시안(Gaussian) 레이저 빔을 가지는 유효 측정 스폿은 가우시안 테일(tail)로부터의 간섭 효과 때문에 여전히 20 - 30 마이크로미터가 된다. 프로브 빔이 비간섭성(incoherent) 빔 일 때, 분광 강도는 낮아지며 집속 스폿은 커지게 되나, 공간 간섭성 효과로부터의 약간의 간섭이 존재하기 때문에 유효 측정 스폿은 여전히 20 - 30 마이크로미터가 된다. 만약 누군가 공간 간섭성을 줄일 수 있다면 광원으로서 레이저를 사용할 수 있으며 보다 작은 측정 영역을 취하는 것도 가능하다. 이것은 만약 레이저 빔의 간섭성이 줄어들었다면 즉 누군가 레이저 빔을 부분적으로 비간섭적으로 만든다면 가능하다. 레이저 빔의 간섭성을 감소시키기 위한 다양한 방법들로는 1) 프로브 빔을 고정되거나 회전하는 그라운드 글라스(ground glass) 또는 오펜 글라스(opal glass)를 통해 투과시키는 것, 2) 레이저 빔을 전송하는 광섬유의 음향 또는 초음파 진동을 채용하는 것, 또는 3) 다이오드 레이저 소스의 파장에 대한 전자적 모듈화가 있다. 레이저 빔의 간섭성이 감소할 수록, 가우시안 테일들로부터의 엠티 효과들이 감소할 수록 동시에 공칭 $1/e$ 집속 스폿 사이즈는 증가하게 된다는 것을 주목하여야 한다. 그럼에도 불구하고, 부분적으로 비간섭성의 레이저 빔들을 채용함으로써, 단지 몇 마이크로미터의 집속된 스폿 크기 $1/e$ 를 유지하면서 측정 장치의 크기는 10 마이크로미터 이하로 줄일 수 있다.

<16> 간섭성 및 비간섭성 빔 둘 다에 대해, 입사 광빔(14)은 빈틈없이 집속되어지고, 이것은 0° 에서부터 $\theta_{\max} = \sin^{-1}(NA)$ 까지의 범위를 입사각으로 하는 광선들을 포함한다. 따라서 NA가 0.90인 포커싱 렌즈에 대해서는, θ_{\max} 는 근사적으로 64° ($\theta_{\max}(64^\circ)$)가 되며, NA가 0.95인 포커싱 렌즈에 대해서는, θ_{\max} 는 근사적으로 72° ($\theta_{\max}(72^\circ)$)가 된다. 샘플에 의해 반사된 광은 광범위한 입사각에 대해 샘플에 의해 생성된 복합 반사계수(크기 및 위상)에 관한 정보를 가지는 반사된 프로브 빔(22)을 구성한다. 이러한 정보는 반사된 프로브 빔(22)을 구성하는 모든 광선들의 크기 및 위상을 분석함으로써 입수될 수 있다. 이는 빔 스플리터(24)를 사용하여 반사된 빔(22)을 감지기(26)로 향하도록 함으로써 행해진다. 렌즈의 후 초점(back focal) 또는 퓨리에 평면에 형성된 반사된 빔(22)의 단면적 프로파일 내에 있는 어느 광선의 입사각과 그 광선의 방사 위치 사이에는 일대일 대응성이 있기 때문에, BPR 분석은 샘플 표면으로부터 S(입사면에 수직한 편광) 반사율과 P(입사면에 수평한 편광) 반사율의 크기($|R_s|$ 및 $|R_p|$)에 관한 정보를 제공하며, BPE 분석은 입사각에 대한 함수로서 R_s 와 R_p 사이의 위상차에 관한 정보를 제공한다.

<17> 바람직하게는, 광원(12)은 하나의 백색광빔 또는 몇개의 서로 다른 파장들로 구성된 광빔(14)을 발생시키게 된다. 광원(12)은 모두가 넓은 분광 범위에 걸쳐 광을 제공할 수 있는 Xe 아크 램프, Xe 아크와 듀테륨(deuterium) 아크 램프가 합쳐진 결합, 또는 텅스텐(tungsten) 램프일 수 있다. 광원(12)은 또한 그 빔들이 순차적으로 또는 동시에 샘플 상에 입사되는 빔들인 다수의 협대역 광원들(예컨대, 레이저 또는 LED 소자들)을 포함할 수 있다. 굴절, 반사 또는 반사굴절(catadioptric)될 수 있는 적절한 고NA 포커싱 대물렌즈(20)를 사용하여 가능한 넓은 분광 범위를 커버할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

<18> 하나의 바람직한 실시예로서, 입사 프로브 빔으로 서로 다른 광 파장들이 순차적으로 이용되며, 즉 샘플(18)은 단색화장치(monochromator) 또는 적절한 색필터들을 사용하여 한번에 한 파장(또는 매우 작은 파장대)의 광에 의해 조명된다. 만약 입사 프로브 빔(14)이 백색광이거나 다파장이면, 그 다음에 반사된 프로브 빔(22)은 임의의 협대역통과 광학필터(28) 또는 단색화장치를 사용함으로써 순차적으로 또는 적절한 색상-부호화 감지기 시스템

템으로 동시에 분광학적 형태로 분석된다.

<19> 입사 빔(14)은 기 알려진 편광 형태를 가질 것이 요구된다. 이러한 개시의 목적을 위해, 편광 상태는 선형 편광인 것으로 가정한다. 선형 편광은 광원으로부터 직접적으로 발생될 수 있으며(예컨대, 레이저 소스의 특성), 또는 임의의 선형 편광자 소자(40)를 사용하여 생성될 수 있다. 다른 편광 상태는 원형 편광 또는 다른 형태의 타원형 편광들을 포함할 수 있다. 그러나, 선형적으로 편광된 입사 빔이 이하에서 설명된 방정식(equation)들(그리고 그에 따른 분석)을 아주 단순화시켜 주기 때문에, 선형적으로 편광된 입사 빔(14)이 바람직하다. 빔(14)의 파워를 감지하기 위해 입사 프로브 빔(14)의 일부는 빔 스플리터(32)에 의해 분할되어 정규화된 빔(33)으로 생성되어 파워 감지기(34)로 향하게 된다. 파워 감지기(34)는 광파워 파동에 대한 측정, 교정 및/또는 보정을 위한 정규화된 신호를 발생시키기 위해 사용될 수 있다.

<20> 반사된 빔(22)은 다른 편광 상태에 관하여 그 빔의 편광 상태들 중 어느 하나를 지연시키는 방향으로 향하도록 설정되는 1/4 파장판(30)과 같은 파장판(waveplate) 또는 보정기(compensator)를 통해 전달된다. 보정기(30)를 입사 프로브 빔(14) 내에 위치시키는 것도 가능하다. 빔이 감지기(26)에 도달하기 전에, 그 빔은 반사된 프로브 빔(22)의 두 편광 상태들이 서로 간섭되도록 하는 방향으로 설정된 선형 분석기(36)를 통과한다. 감지기(26)는 반사된 프로브 빔 내에서의 위치 함수로서 반사된 프로브 빔(22)의 광파워를 측정하기 위한 CCD 배열 또는 카메라와 같은 2차원 배열 감지기이다. 감지기(26)는 각각이 반사된 프로브 빔(22)의 서로 다른 단면 세그먼트(cross-sectional segment)의 강도를 측정하도록 위치하며 측정된 강도를 반영하여 개개의 신호를 발생시키는 복수의 감지기 요소들(픽셀들)을 포함한다. 각 감지기 요소들은 반사된 빔의 유일하고 독립적인 세그먼트를 측정하며, 각 빔 세그먼트는 별개의 입사각과 방위각으로 샘플 상에 입사되는 개개의 광선들에 차례로 대응된다. 분석에 있어서 2차원 배열된 충분한 수의 감지기 요소들 또는 CCD 카메라의 사용은 회전 보정기 또는 회전 분석기에 대한 필요성을 제거시켜주는 정보를 제공해주며, 그것에 의해 신호 잡음 및 측정 오차의 중요한 원인들을 제거시켜준다. 더욱이, 근본적으로 단지 하나의 입사각만을 채용하고 회전 보정기 또는 분석기를 사용하는 종래의 타원편광분석 장치들, 또는 단지 방위각들의 범위에 걸쳐 결합되거나 또는 회전 보정기 또는 분석기와 관련된 두개의 직교 축들을 따르는 방향으로 설정된 감지기 요소들을 사용하는 이전의 BPE 장치들과는 상반되게, 반사된 빔(22)에 의해 조명된 모든 또는 실질적으로 모든 2차원 배열된 감지기 요소들을 사용(즉, 빔 프로파일의 상당한 부분을 측정하기 위해 감지기 요소들을 사용)함으로써 샘플에 관한 추가적인 정보가 수집되어진다.

<21> 프로세서(38)는 감지기들(26, 34)과 연결되어 감지기(34)에 의해 측정된 정규화된 정보(프로브 빔(14)에 대한) 및 2차원 배열된 픽셀들/카메라(26)에 의해 측정된 정보(반사된 프로브 빔(22)에 대한)를 수집한다. 프로세서는 이하에서 설명된 방정식들에 따라 계산하여 샘플(18)의 기관 상에 단일 또는 다층 스택들로 적층된 박막들 또는 샘플(18)의 기관 상에 있는 회로 구조들의 CD의 물리적 특성(예컨대, 두께, 굴절율 및 소광 계수)을 결정한다.

<22> 이어지는 검토의 목적을 위해, 프로브 빔(14)의 편광 상태는 선형 편광으로 가정되어 진다. 대물렌즈(20) 또는 다른 가공물들의 복굴절로부터 일어나는 어떠한 편광 이동은 지금은 고려하지 않고, 감지기(26)의 어느 주어진 감지기 요소에 기록된 신호(각도들(θ , ϕ))에 대응되며, 여기에서 θ 는 입사각이며 ϕ 는 입사된 빔 편광의 축 예컨대 만약 이용되었다면 선형 편광자(40)의 축으로부터 측정되었을 때 방위각임)는 또한 보정기(30)의 축에 대한 방위각 ω 및 분석기(36)의 방위각 α 에 대한 함수이다(입사된 빔 편광의 축으로부터 측정되었을 때도 마찬가지로). $\omega=0$ 의 공통 방향에 대해,

수학식 1

$$S(\theta, \phi) = \frac{1}{8} I_i(r, \phi) R_s(\theta)^2 \left\{ \begin{aligned} & \left(\tan^2 \psi(\theta) + 1 \right) (2 + \cos 2\alpha) + 2 \tan \psi(\theta) \cos \delta(\theta) \cos 2\alpha \\ & + 2 \left(\tan^2 \psi(\theta) - 1 \right) (1 + \cos 2\alpha) \cos 2\phi \\ & + 4 \tan \psi(\theta) \sin \delta(\theta) \sin 2\alpha \sin 2\phi \\ & + \left(\tan^2 \psi(\theta) + 1 - 2 \tan \psi(\theta) \cos \delta(\theta) \right) \cos 2\alpha \cos 4\phi \end{aligned} \right\}$$

<23> 여기에서 $I_i(r, \phi)$ 는 프로브 빔의 중심으로부터의 거리, $r=\sin\theta$, 및 방위각 ϕ 에 대한 함수로서 입사된 프로브 빔 프로파일 강도를 나타낸다. 복합 반사율 $R_s(\theta)$ (입사면에 대해 수직한 편광) 및 $R_p(\theta)$ (입사면에 대해 평행한 편광)은 잘 알려진 프레넬(Fresnel) 반사 방정식에 의해 주어지며 단지 입사각 θ 에 대한 함수이다. 이러한

<24>

프레넬 방정식은 당업계에 이미 잘 알려져 있으며, 여기에서는 더 상세하게 설명하지 않는다. 두 복합 반사율에 대한 절대크기들의 비를 나타내는 타원편광분석 파라미터 $\tan\psi$ 와 이 두 복합 반사율 사이의 상호간 위상 차를 나타내는 δ 는 다음과 같이 주어진다.

수학식 2

$$\frac{R_p(\theta)}{R_s(\theta)} = \frac{|R_p(\theta)|}{|R_s(\theta)|} e^{i\delta(\theta)} = \tan\psi(\theta) e^{i\delta(\theta)}$$

<25>

<26>

수학식 1로부터, BP2 데이터 세트 $S(\theta, \phi)$ 에 대한 분석이 서로 다른 입사각 θ 에 대한 두 타원편광분석 파라미터들 $\tan\psi$ 와 δ 에 관한 정보를 제공할 것이라는 것을 알 수 있다. 수학식 1에서 BP2 신호 $S(\theta, \phi)$ 는 2ϕ 및 4ϕ 로 주기적이며, 따라서 ϕ 에 대한 푸리에 성분들로 분석될 수 있다. BP2 신호에 대한 푸리에 분석은 회전 편광자, 분석기 또는 보정기를 채용한 종래의 비축 타원편광분석기에서 조화 항(harmonic terms)을 얻기 위한 푸리에 분석과 동일함을 바로 알 수 있다.

<27>

$\alpha = \pi/4$ 일때, 신호 $S(\theta, \phi)$ 는

수학식 3

$$S(\theta, \phi) = \frac{1}{4} I_i(r, \phi) |R_s(\theta)|^2 \left\{ \begin{aligned} & \tan^2\psi(\theta) + 1 + [\tan^2\psi(\theta) - 1] \cos 2\phi \\ & + 2 \tan\psi(\theta) \sin \delta(\theta) \sin 2\phi \end{aligned} \right\}$$

<28>

<29>

이 된다.

<30>

수학식 3은 2개의 푸리에 성분들을 가지는데, 하나는 $\cos 2\phi$ 이며 다른 하나는 $\sin 2\phi$ 이다. 또한 단지 $\sin \delta(\theta)$ 만이 존재하는 것을 알 수 있다. $\alpha = 0$ 인 경우에도 유사한 상황이 유지된다. 다시 한번 2개의 푸리에 성분들을 가지나, 지금은 단지 $\cos \delta(\theta)$ 만이 존재한다. 이러한 상황은 회전 편광기 또는 회전 분석기를 갖는 종래의 비축 타원편광분석기의 경우와 유사하다. 단지 $\cos \delta(\theta)$ 만을 갖는 신호는 δ 가 작을 때 δ 에 덜 민감한 반면에, 단지 $\sin \delta(\theta)$ 만을 갖는 신호는 δ 가 클 때 타원편광분석적 위상 δ 에 있어서의 변화에 덜 민감하게 될 것이기 때문에 많은 경우에 있어서 그러한 상황은 복잡한 샘플 분석에 대해서는 불충분하다. 이상적으로는, 신호 $S(\theta, \phi)$ 가 $\sin \delta(\theta)$ 항 및 $\cos \delta(\theta)$ 항 모두를 포함하도록 하는 것이다. 이것은 $\alpha = \pi/8$ 일 때 가능하며, 이때 신호는 다음과 같다.

수학식 4

$$S(\theta, \phi) = \frac{1}{16} I_i(r, \phi) |R_s(\theta)|^2 \left\{ \begin{aligned} & (4 + \sqrt{2})(\tan^2\psi(\theta) + 1) + 2\sqrt{2} \tan\psi(\theta) \cos \delta(\theta) \\ & + (4 + \sqrt{2})(\tan^2\psi(\theta) - 1) \cos 2\phi \\ & + 4\sqrt{2} \tan\psi(\theta) \sin \delta(\theta) \sin 2\phi \\ & + \sqrt{2}(\tan^2\psi(\theta) + 1 - 2 \tan\psi(\theta) \cos \delta(\theta)) \cos 4\phi \end{aligned} \right\}$$

<31>

<32>

수학식 4를 수학식 3과 비교함으로써, $\sin \delta$ 푸리에 항의 크기는 $\alpha = \pi/4$ 인 경우와 비교하여 단지 30%까지 감소되었으며, $\cos \delta$ 푸리에 항은 $\sin \delta$ 항의 크기의 1/2가 되었음을 알 수 있다. 따라서, $\alpha = \pi/8 (22.5^\circ)$ 로의 설정은 좋은 절충안이 된다. 다른 방안으로, 선택적으로 $\sin \delta$ 항을 최대화하고자 할 때는 분석기(36)를 $\alpha = \pi/4$ 로 회전시킬 수 있으며 다음에 $\cos \delta$ 항을 최대화하고자 할 때는 $\alpha = 0$ 또는 $\pi/2$ 로 회전시킬 수 있다. 그러나, 최적의 α 설정들로부터 $\pi/8$ 로 고정된 α 설정까지 움직일 때 이러한 두 항들의 크기들은 단지 30%까지 감소되기 때문에, 심지어 한 세트의 회전은 부가적인 측정 오차 및 시스템-투-시스템 변동을 야기시킬 수 있기 때문에, 고정된 설정도 바람직할 수 있다. 따라서 분석기(36)의 각도 α 를 $\pi/8$ 로 설정하는 것은 $\cos \delta$ 및 $\sin \delta$ 모두에 관한 정보를 제공하게 되며 그것에 의해 그것의 실제 크기와 상관없이 위상 $\delta(\theta)$ 에서의 작은 변화들을 측정할 수 있는 능력을 괄목할만하게 향상시킨다. 결국, 이것은 박막 및 CD 측정들을 수행하기 위한 BP2 기술의 능력을 향상시킨다.

<33>

일부 응용들에 대해서는 $\sin \delta$ 항 및 $\cos \delta$ 항을 따로따로 최대화시키기 위해 두 개의 분석기 각도들 $\pi/4$ 와

0(또는 $\pi/2$) 사이에서 선택할 수 있도록 하는 것이 바람직하며, 다른 응용에 대해서는 두 개의 각도들 이상으로 측정들을 수행할 수 있는 장점이 될 수 있다는 것을 주목해야 한다. 이것은 고정된 보정기 각도 ω 를 유지하고 두 개 이상의 분석기 각도들 α 를 사용함으로써, 또는 선택적으로 고정된 α 를 유지하고 두 개 이상의 보정기 각도들 ω 를 사용함으로써 행해질 수 있다. 이것을 성취하기 위한 가장 일반적인 방법은 분석기 또는 보정기를 실제로 완전히 돌리는 것이다. 이때 푸리에 계수들은 방위각 Φ 및 분석기 각도 α 또는 보정기 각도 ω 에 의존하게 된다. 또한 고정된 보정기 및 분석기의 각도들을 유지시키는 반면에 편광자 각도를 회전시킬 수 있다. 심지어 세개의 각도들 중 두 개를 회전시킬 수 있다. BP2에서의 회전은 상술된 기본적인 BP2 구성(고정된 각도들을 사용)의 회전보다 훨씬 복잡한 상황을 야기시키게 되나, 이러한 개량은 어떤 응용들에 대해서는 이익이 될 수 있다.

<34> $\sin \delta(\theta)$ 항 및 $\cos \delta(\theta)$ 항 모두를 갖는 것에 덧붙여, 수학식 4는 또한 세 개의 푸리에 성분들, $\sin 2\Phi$, $\cos 2\Phi$ 및 $\cos 4\Phi$ 를 가짐을 알 수 있다. 이러한 상황은 회전 보정기를 갖는 종래의 비축 타원편광분석기의 경우와 유사하다. 따라서, $\alpha = \pi/8$ 인 경우의 다른 장점은 단지 2개의 푸리에 성분들의 경우에서 보다 훨씬 많은 독립적인 정보를 제공하는 3개의 푸리에 성분들이 존재한다는 것이다. 이는 물질 분석 및 시스템 가공물을 다루는데 있어서 도움을 준다.

<35> 또한 푸리에 성분들의 최대수 4를 가질 수 있는 구성이 있는데, 이는 보정기 각도 ω 를 $\pi/8$ 로 그리고 보정기 각도 α 를 0으로 설정하는 경우이다. 이러한 구성으로, BP2 신호는 다음과 같이 된다.

수학식 5

$$S(\theta, \phi) = \frac{1}{16} I_i(r, \phi) |R_s(\theta)|^2 \left\{ \begin{array}{l} 5(\tan^2 \psi(\theta) + 1) + 2 \tan \psi(\theta) \cos \delta(\theta) \\ + 6(\tan^2 \psi(\theta) - 1) \cos 2\phi \\ + 2(\tan^2 \psi(\theta) - 1 - 2\sqrt{2} \tan \psi(\theta) \sin \delta(\theta)) \sin 2\phi \\ + (\tan^2 \psi(\theta) + 1 - 2 \tan \psi(\theta) \cos \delta(\theta)) \cos 4\phi \\ + (\tan^2 \psi(\theta) + 1 - 2 \tan \psi(\theta) \cos \delta(\theta)) \sin 4\phi \end{array} \right\}$$

<36> 수학식 5로부터, $\omega = \pi/8$ 및 $\alpha = 0$ 인 구성은 모두 4개의 가능한 푸리에 성분들 $\cos 2\Phi$, $\sin 2\Phi$, $\cos 4\Phi$ 및 $\sin 4\Phi$ 를 제공하며, 그것에 의해 대부분의 정보를 제공할 수 있다는 것을 알 수 있다.

<38> 수학식 1, 3, 4 및 5가 어떤 값의 보정기 각도 ω 및 분석기 각도 α 에 대해 얻어진다면 하더라도, 유사한 수식들 및 결론들은 다른 등가의 각도들을 사용하여 도출되어질 수 있다. 또한, 유사한 수식들 및 결론들은 보정기가 입사 경로상에 있는 경우에 대해서 도출되어질 수 있다.

<39> 수학식 1의 일반적인 경우에 있어서, $S(\theta, \Phi)$ 는 2Φ 및 4Φ 모두에 대해 주기적이다. 또한 순수한 크기(BPR) 신호들은 어떠한 각도 α 에 대해 $\Phi = 0$ 및 $\pi/2$ 에서 발생될 것이라는 것을 알 수 있다. 각도 $\Phi = 0^\circ$ 에서:

수학식 6

$$S(\theta, 0) = \frac{1}{2} I_i(r, \theta) |R_P(\theta)|^2 (1 + \cos 2\alpha)$$

<40> 그리고, $\Phi = \pi/2$ 에서:

수학식 7

$$S(\theta, \pi/2) = \frac{1}{2} I_i(r, \theta) |R_S(\theta)|^2 (1 + \cos 2\alpha)$$

<42> 따라서 BP2 신호 $S(\theta, \Phi)$ 는 크기(BPR) 및 위상(BPE) 정보를 모두 포함하며, 그에 따라 샘플 표면으로부터의 S 및 P 복합 반사율들에 대한 전체적인 설명을 제공한다. 이러한 복합 반사율 시스템은 단순히 타원편광분석기가 아니라 실제로 크기와 위상($\Phi \neq 0, \pi/2$)을 측정하는 타원편광분석기와 크기($\Phi = 0, \pi/2$)만을 측정하는 반사측정기의 집적된 결합이라는 것을 주목해야 한다.

<44> 실리콘 상의 SiO_2 와 같이 이미 알려진 막의 정확하게 알려진 두께를 가지는 캘리브레이션 샘플을 사용함으로써,

각 감지기 요소가 어떤 알려진 (θ, ϕ) 지정을 가지도록 모든 2차원 감지기 배열의 감지기 요소들을 매핑하기 위해 BP2 신호 $S(\theta, \phi)$ 에 대한 상기 수식을 사용할 수 있다. 다음에 $S(\theta, \phi)$ 데이터 세트에 대한 적절한 최소제곱 적합도(least-squares fitting) 알고리즘 및 푸리에 분석을 사용하여 입사각 θ 에 대한 함수로서 $|R_s(\theta)|$, $|R_p(\theta)|=|R_s(\theta)|\tan\psi(\theta)$, 및 $\delta(\theta)$ 를 얻기 위해 미지의 샘플을 분석한다. 다음에 $|R_s(\theta)|$, $|R_p(\theta)|$ 및 $\delta(\theta)$ 로부터 복합 반사율들 $R_s(\theta)$, $R_p(\theta)$ 을 얻을 수 있다. 다음에, 프레스넬(Fresnel) 방정식들을 사용하여, 미지의 막 또는 막들의 두께 t 및 광학 상수들 n 과 k 을 얻을 수 있으며, 또는 부가적인 회절 이론의 도움으로 회로 구조의 CD들을 얻을 수 있다.

<45> 데이터 세트 $S(\theta, \phi)$ 이 미지의 변수들의 수보다 훨씬 크기 때문에 측정 결과들은 심지어 여러 막들로 이루어진 샘플 스택들에 대해서도 높은 정밀도 및 반복성을 가지게 될 것이며, 그것에 의해 확고한 데이터 맞춤을 보장할 수 있게 된다. 맞춤 과정은 각각의 서로 다른 과장들에 대해 반복될 수 있다. 이것은 두께 측정들에 대한 정밀도를 향상시키고, 광학 상수들 n 및 k 에 근거하여 분광 정보를 제공하게 될 것이며, 그것에 의해 다층막 스택들 또는 복합막들을 분석할 때 불명료한 것들이 제거된다.

<46> $\delta(\theta)$ 측정들은 BPE 측정들인 반면에 $|R_s(\theta)|$ 및 $|R_p(\theta)|$ 측정들은 BPR 측정들이라는 것을 주목해야 한다. 따라서 완전한 2차원적 빔 프로파일에 대해 크기 및 위상에 대한 분석을 제공함으로써 BP2 기술인 본 발명은 사실상 회전 광학적 구성요소들을 갖지 않는 단일 감지기 시스템을 사용하는 결합된 BPR + BPE 기술이 된다.

<47> 위에서 언급했듯이, 본 발명은 또한 포커싱 대물 렌즈(20)로부터의 위상 파동의 영향을 최소화함으로써 BPE 측정의 정밀성과 반복성을 개선한다. 이것은 포커싱 대물 렌즈(20)의 복굴절에 의한 위상 이동이 일반적으로 입사각 θ 에 의존하지 않고, 일반적으로 $S(\theta, \phi)$ 의 대칭 의존성과는 다를 수 있는 ϕ 에 대한 대칭 의존성을 가질 것이라는 사실의 결과이다. 다음에 이것은 예컨대, 2ϕ 및 4ϕ 로 주기적인 항을 분리하기 위해 $S(\theta, \phi)$ 데이터 세트에 대한 푸리에 분석을 수행함으로써 대물 복굴절 신호로부터 샘플 신호를 분리해내기 위한 기회를 제공한다. 그러한 푸리에 분석은 회전 보정기(편광자 또는 분석기) 시스템으로부터 조화항(harmonic terms)을 얻어내는 것과 유사하다는 것을 다시 한번 언급한다.

<48> 본 발명의 부가적인 장점은 반사된 빔(22)에 대한 분리된 풀 파워(full power) 감지기가 필요 없다는 것이다. 풀 파워 측정은 아주 얇은 막들에 대한 측정을 위한 정밀도를 증가시키는데 도움을 준다. 본 발명에 있어서, 이러한 풀 파워 측정은 동일한 2차원 감지기 어레이(26)에 의해 모든 감지기 요소들로부터의 신호들을 단순히 가산함으로써 수행된다. 모든 방위각들에 걸친 합산은 모든 위상 정보를 제거하게 되며, 단지 반사율 크기 정보 또는 수직입사 반사율만이 남겨지게 된다.

<49> BP2 기술의 다른 주요 장점은 빔이 샘플에 수직으로 입사되기 때문에 매우 작은 측정 스폿이 가능하다는 것이다. 이것은 전형적으로 샘플 상에 매우 큰 조명 스폿을 발생시키는 종래의 비축 타원편광분석기와 대조적이다. 큰 스폿은 비축 빔의 높은 입사각(전형적으로 65°) 및 그러한 높은 입사각과 함께 사용되어야 하는 상대적으로 낮은 NA 포커싱 렌즈의 결과이다. BP2 기술로 가능한 작은 스폿은 웨이퍼 상에서 필요한 측정 면적을 줄여주며, 또는 수직입사 고NA BP2 기술에서는 분광 강도가 매우 높기 때문에 같은 크기의 측정 영역 내에서의 측정 시간을 줄여준다.

<50> 이러한 분광 BP2 기술이 박막 및 CD 측정들에 대해 아주 강력하다 할지라도, 어떤 응용에 대해서는 BP2 기술을 상술된 시스템(10)과 관련되어 사용될 수 있는 종래의 DUV-VIS(190 - 840 nm) 분광기와 결합시키는 것이 유용할 수 있다. 분광기는 과장 함수로서 수직입사 반사율을 측정한다. 일반적으로 분광 정보는 반사된 빔이 선형 감지기 배열의 전역에 걸쳐 분산되도록 하기 위한 프리즘 또는 분광 격자와 같은 분산 요소를 사용함으로써 얻어진다. 이것은 최저 190 nm 까지 또는 그보다 더 낮은 복합 반사율의 크기를 측정할 수 있도록 해줄 것이다. 그러나, 분광기는 위상 측정들은 제공하지 못한다. 그런 까닭에 BP2 기술을 가능하면 UV와 멀리 떨어지게 동작 시키기는 바람직하다. 이것은 DUV 광원들 및 적절한 고NA 반사 또는 반사굴절 렌즈들의 사용을 필요로 한다. 만약 BP2 기술을 DUV로 확장시킬 수 있다면, 원리적으로 BP2 감지기는 분광기가 제공하는 것과 동일한 반사율 정보를 제공할 수 있기 때문에, DUV-VIS 분광기의 사용을 완전히 제거할 수 있게 된다. 2차원 감지기에서의 모든 픽셀 정보들을 단순히 합산함으로써, 수직입사 반사율의 크기를 얻을 수 있다. 게다가, 반사율 측정의 유효 NA 즉 NA_{eff} 는 $\theta=0^\circ$ 에서부터 $\theta=\sin^{-1}[NA_{eff}]$ 로 설정된 원하는 최대 입사각까지 픽셀 합계를 설정함으로써 용이하게 제어된다. 따라서 완전한 분광학적 BP2 기술은 현재 사용되고 있는 모든 4개 기술들 즉 회전 분광 타원편광분석기, 수직입사 분광기 및 종래의 레이저 기반 BPR과 BPE 시스템들로부터 얻어지는 모든 측정들을 제공할 수 있다. 이것은 측정 시스템의 중요한 단순화를 나타낸다.

- <51> 게다가, 일부 응용들은 또한 BP2 기술을 초박막들을 측정하기 위한 고정밀도의 비축 레이저 타원편광분석기와 결합시킴으로써 이룰 수 있다. 그러한 시스템은 빈틈없이 집속(전형적으로 둘레 10 마이크로)되지 않는 높은 입사각(전형적으로 65°)으로 샘플상에 입사되는 빔을 발생시키는 레이저를 포함한다. 이 고정밀도 레이저 타원편광분석기는 게이트 필름들과 같은 초박막들에 유용하다. 만약 막이 단순한 단일 레이어라면 단일 파장 타원편광분석 시스템들이 적당하다. 그러나, 새로운 게이트 막들은 보다 복잡적이고 하나 이상의 레이어들로 이루어져 있다. 본 발명으로, 서로 다른 레이저 파장들이 분광 SP2 기술에 사용되어 진다면 그와 동일한 레이저들 역시 레이저 분광타원분석기에 사용될 수 있다. 이는 레이저 타원편광분석 시스템을 분광학적으로 만들며 따라서 보다 복잡한 게이트 막들을 측정하기 위한 능력을 아주 향상시키게 된다.
- <52> 본 발명의 바람직한 일 실시예는 파장에 대한 시간 다중화를 사용한다. 그러나, 파장 조명 및 분석을 동시에 수행하는 것이 전체 측정 시간을 감소시켜줄 수 있다. 만약 원한다면, 모든 원하는 파장들에 의한 동시 조명 및 각 파장에서 빔 프로파일들의 동시 감지가 허용될 수 있도록 상술된 장치를 개조시킬 수 있다. 함께 다중화된 복수의 협대역 광원들 또는 단일 다색광원 중 어느 하나를 사용하여 파장 조명과 감지를 동시에 성취할 수 있는 적어도 두가지 방법이 있다. 첫 번째 방법은 하나 이상의 파장을 동시에 측정할 수 있는 단일 색상 부호화된 2차원 감지기(26) 사용을 포함한다. 그러한 색상 부호화된 감지기의 공통 버전(version)은 적색(R), 녹색(G) 또는 청색(B)을 통과하도록 코팅된 RGB 픽셀들의 끼워진 형태를 갖는 종래의 컬러 CCD 카메라이다. 인접한 R, G 및 B 픽셀들 사이의 입사각 및 방위각 모두에서의 변동이 매우 작기 때문에, 그러한 RGB 감지기는 분광 BP2 응용들에 대해 잘 동작할 것이다. 보다 정밀한 측정을 위해, 또한 서로 다른 파장들에서 감지기를 위한 분리된 (θ, ϕ) 맵을 얻을 수 있다. RGB 2차원 감지기들은 쉽게 가능하다. RGB 2차원 감지기 또는 카메라는 세 가지 색상들 즉 적색, 녹색 및 청색으로 제한적이다. 그러나, 개별적인 픽셀들 상에 적당한 광학 코팅을 채용함으로써 자외선을 포함하는 많은 수의 서로 다른 파장들(예컨대, 필요하다면 3개 이상)을 커버하는 몇몇의 인터리브 색상 코드들(고객 선택적 색상들을 포함)을 가질 수 있다. 그러한 다중색상 2차원 감지기 또는 카메라는 분광학적 이미징 또는 측정들에서 많은 유용한 응용들을 발견하게 될 것이다.
- <53> 파장 조명과 감지를 동시에 성취할 수 있는 두 번째 방법으로는 반사된 빔이 분석기를 투과한 이후 협대역 필터들 및 반사기들을 사용하여 고분산(high-dispersion) 격자 또는 프리즘을 부가하거나 파장들을 분리하는 것이다. 적절한 빔 조정 장치들(예컨대, 빔 스피리터들)은 각 1차 파장 또는 파장 대역이 분리된 2차원 감지기들로 향하도록 한다(즉, 분리된 빔 프로파일 분석들을 동시에 수행하기 위해 각 파장 성분들에 대해 분리된 2차원 감지기를 필요로 한다). 그러한 배열이 전체 측정 시간을 감소시킬 것이라 하더라도, 광학적 구성요소들 및 감지기 조립물이 증가하게 되어 추가적인 노이즈 및 시스템-투-시스템 변동 원인을 야기시키게 된다는 것을 알아야 한다. 그와 같이, 단일의 색상 부호화된 2차원 감지기는 파장 조명 및 감지의 동시 수행에 바람직하다.
- <54> 분리된 복수의 감지기들에 대한 비용과 복잡성을 최소화하기 위한 다른 방법은 파장 분산 방향을 따라 선형으로 배열되는 이러한 2차원 감지기들을 개개의 소형 2차원 감지기들에 대한 맞춤형 단일 선형 배열로 구성하는 것이다. 따라서 각 2차원 감지기는 서로 다른 파장에서 신호를 기록하게 된다. 이러한 2차원 감지기들의 선형 배열은 단일 감지기들의 선형 배열과 유사하나, 여기에서 각 단일 감지기들은 2차원 감지기로 대체된다. 선형 배열을 따라 배열된 그러한 2차원 감지기들이 최고 8 또는 16 까지 있을 수 있기 때문에, 128×128 픽셀 감지기들과 같이 상당히 작은 2차원 감지기들이 사용되어야 한다. 게다가, 각 2차원 감지기는 파장 분산 방향에 수직하게 되도록 그 방향을 따라 멀리 확장되기 때문에, 적절한 협대역 분광 필터들은 인접한 파장들로부터의 간섭을 방지하기 위해 각 2차원 감지기 앞에 놓여야 한다.
- <55> 기관 상에 적층된 박막들의 두께 및 광학 상수들을 측정하기 위한 상술된 새롭고 향상된 방법 및 장치는 집적 회로들에 있는 라인들, 트렌치들, 비아들 등과 같은 미세한 기하학적 구조들의 높이, 폭, 두께 비기울기 등과 같은 CD의 측정(CD 측정들)에도 적용될 수 있다. CD 측정들은 종래의 분광학적 반사측정기 및 타원편광분석기에서 감지된 신호들 상의 원방 회절 효과를 분석함으로써 이러한 미세한 기하학적 구조들의 격자 또는 다른 배열들 상에서 수행되어질 수 있다는 것은 이미 알려져 있다. 유사한 회절 효과는 또한 위에서 개시된 분광 BP2 방법 및 장치들의 2차원 빔 프로파일 신호들에 존재한다.
- <56> 본 발명으로 CD 측정들을 수행하는 것에는 수 많은 장점들이 있다. 첫 번째로, 빔이 샘플에 수직으로 입사되기 때문에 작은 측정 스폿이 가능하다. 이것은 전형적으로 샘플 상에 훨씬 큰 조명 스폿을 발생시키는 종래의 비축 타원편광분석기와 대조적이다. 그 큰 스폿은 비축 빔의 높은 입사각(전형적으로 65°) 및 그러한 높은 입사각을 위해 사용되어야 하는 상대적으로 낮은 NA 포커싱 렌즈의 결과이다. 수직입사 고NA(high NA) BP2 기술에서는 분광 강도가 보다 크기 때문에 BP2 기술로 가능한 작은 스폿은 동일한 웨이퍼 상에서 필요한 측정 영역을 감소시켜 주며, 또한 선택적으로 동일한 크기의 측정 영역 내에서 측정을 수행하는데 소요되는 시간을

줄여준다. 두 번째로, 복합 반사장에 덧붙여 회절 정보는 0° 에서부터 $\sin^{-1}(NA)$ 까지의 모든 입사각들 θ 에 대해 복합 회절장(크기 및 위상)에 관한 동시발생 정보를 제공해주기 때문에, 2차원 빔 프로파일 분석에서는 꽤 많은 회절 정보가 이용가능하다(즉, 반사된 빔 프로파일의 대부분을 측정하기 위해 2차원 배열된 감지기 요소들을 사용). 세 번째로, 편광이 구조물의 세로축에 대해 각각 수직 및 수평인 TE 및 TM 모드들을 모두 포함하는 모든 방위각들 ϕ 에 대한 동시 측정들이 가능하다. 따라서, 웨이퍼를 회전시킬 필요가 없다. 게다가, 위에 개시된 BP2 방법은 웨이퍼 상에서 정확히 동일한 측정 스폿으로부터 복합 회절장에 관한 이 모든 정보를 획득하게 되며 단지 하나의 광경로와 하나의 감지기만을 사용하기 때문에 신호 잡음 및 측정 오차에 대한 몇몇 주요한 원인들이 제거된다.

<57> 본 발명의 다른 주요한 장점은 레이저 빔을 사용할 때 집속된 레이저 빔의 작은 스폿 사이즈(대략 1 마이크로)는 단일 고립 특성(single isolated feature) 상에서 CD 측정들을 수행할 수 있도록 해준다는 것이다. 예컨대, 단지 100 nm 폭의 단일한 선은 여전히 집속된 빔의 대략 10%와 상호작용하게 되며 그것에 의해 꽤 강한 회절 신호를 제공한다. 좋은 신호/잡음으로 단일 특성들을 측정하는 능력은 종래의 반사 및 타원편광분석적 기술들을 가지고는 매우 어려운 것이기 때문에, 좋은 신호/잡음으로 단일 특성들을 측정하는 능력은 본 발명의 BP2 기술의 유일한 장점이 된다. 이러한 능력은 현재 사용되고 있는 특정 측정 격자들 및 배열들을 생성하기 위한 필요성을 제거하여 생산 비용을 줄여줌으로써 산업에 매우 중요할 수 있다.

<58> 박막 측정들에 대해 상술한 바와 같이, CD 측정들은 또한 보다 많은 정보를 제공하고 데이터 분석에 있어서의 불명료함을 제거하기 위해 분광학적 형태로 수행될 수 있다.

<59> 집적 시스템으로서 알려진, 보다 단순하고 보다 전문적인 계측 시스템은 칩전, 에칭, 화학기계적 연마 및 광감성 코팅과 스트리핑(stripping)과 같은 공정들을 감시 및 제어하기 위한 공정 제작 톨로서 공통적으로 사용되어지고 있다. 이러한 계측 시스템들은 웨이퍼 처리 톨들의 필수적인 성분이다. 집적 시스템의 주된 필요조건들은 그것들이 작고, 빠르며 저렴해야 한다는 것이다. 대상 발명은 이상적으로 그러한 응용에 적합하다. 공정 제어 응용에서 측정되는 미지의 변수들의 수는 일반적으로 아주 제한적이며, 복합 반사율의 크기 및 위상이 광범위한 입사각에 대해 획득되기 때문에, BP2 기술은 대부분의 응용들에 대해 그 자체로 충분하게 된다. 더욱이, 대부분의 응용들은 아마도 단지 하나 또는 소수의 파장들을 필요로하게 된다. 그러한 시스템은 집적된 계측 시스템에서 요구되는 대부분의 박막 및 CD 응용들에 대해 충분하다는 것을 입증해준다. 집적된 계측 응용들에 대한 보다 많은 요구는 본 발명의 BP2 시스템 및 방법과 함께 사용되어 질 DUV-VIS 분광기의 추가 또는 상술된 것과 같은 완전한 분광학적 BP2 시스템의 사용을 요구한다.

<60> 상술된 장치 및 방법들로부터 의미있는 결과를 얻기 위해 감지기(26)에 있는 감지기 요소들의 수는 의미있는 퓨리에 분석이 가능할 만큼 충분해야 한다는 것을 명심해야 한다. 그러므로, 이러한 개시의 목적으로서, 의미있는 퓨리에 분석은 개개의 감지기 요소들로부터 데이터를 취득하고 방위각 ϕ 및 다수의 ϕ (최고 적어도 2ϕ 까지)에 관한 퓨리에 항을 얻는 것이다. 그러한 분석은 각 입사각 θ (즉, 특정 θ 를 나타내는 감지기 요소들의 중심원을 따르는 다수의 ϕ 의 입사각)에 대해 행해진다. 단일 퓨리에 분석을 위해 하나 이상의 θ 를 필요로 하지 않더라도, 다수의 방위각들 ϕ 를 필요로 한다. 예컨대, 신뢰할 수 있는 2ϕ 퓨리에 성분을 얻기 위해 완전한 데이터(즉, 노이즈가 없는)와 대등한 적어도 8개의 적절하게 간격을 두고 있는 ϕ 의 값들을 필요로 한다. 노이즈가 존재하는 상황에서는, 신뢰할 수 있는 결과를 위해 요구되는 방위각들의 수가 증가한다. 유사하게, 신뢰할 수 있는 4ϕ 퓨리에 성분들을 얻기 위해서, 16개 이상의 적절하게 간격을 두고 있는 ϕ 의 값들을 필요로 한다. 따라서, 감지기(26)는 각 θ 에 대해 8개 이상의 동일한 간격을 두고 있는 ϕ 값들(즉, 8개 이상의 동일한 간격을 두고 있는 감지기 요소들)을 가져야 한다고 일반적으로 일컬어지고 있다. 일반적으로, 의미있는 퓨리에 분석을 수행하기 위해 ϕ 에 대한 전체 2π 범위를 커버할 수 있는 가능한 많은 ϕ 값들을 갖는 것이 바람직하다. 또한 타원편광분석적 파라미터들에 대한 신뢰할 수 있는 값들을 얻기 위해 가능한 많은 θ 값들을 갖는 것이 바람직하다.

<61> 본 발명은 위에서 설명되고 거기에서 묘사된 실시예들에 한정되지 않으나, 첨부된 청구항들의 범위 내에서 어떠한 모든 변형들을 포함한다. 예컨대, 상술된 재질들, 공정들 및 많은 예시들은 단지 실시예일 뿐이며, 청구항들을 제한하는 것으로 간주되어서는 아니 된다. 더욱이, 청구항들 및 명세서로부터 명백한 것과 같이, 모든 방법 단계들은 묘사되거나 청구된 정확한 순서로 실행되어 질 필요는 없으며 본 발명의 적절한 광빔 형성, 샘플 상호작용, 및 반사된 빔 감지를 허용하는 어떠한 순서로 실행되면 된다.

산업상 이용 가능성

<62> 상술한 바와 같이 본 발명은 광범위한 입사각 및 다수의 방위각들에 걸쳐 동시에 샘플로부터 반사된 광의 크기와 위상을 모두 측정하는 분광학적 측정장치 및 측정 방법을 제공한다.

도면의 간단한 설명

<11> 도 1은 본 발명의 복합 반사율 측정장치의 평면도.

도면

도면1

