



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년07월02일
(11) 등록번호 10-1281212
(24) 등록일자 2013년06월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01B 11/14 (2006.01) G01B 11/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2005-7001156
(22) 출원일자(국제) 2003년07월25일
심사청구일자 2008년07월22일
(85) 번역문제출일자 2005년01월21일
(65) 공개번호 10-2005-0021549
(43) 공개일자 2005년03월07일
(86) 국제출원번호 PCT/US2003/023281
(87) 국제공개번호 WO 2004/013723
국제공개일자 2004년02월12일
(30) 우선권주장
10/206,491 2002년07월25일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
W02002023231 A2*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
팀버 테크놀로지스, 인코포레이티드
미국 캘리포니아 산타 클라라 스위트 301 벙커 힐
레인 2953 (우:95054)
(72) 발명자
보웅, 비
미국 94555 캘리포니아 프레몬트 던스뮤어 커먼
5048
드레지, 엠마뉴엘
미국 95134 캘리포니아 산호세 데스칸소 드라이브
#3308 60
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
강승욱, 송승필

전체 청구항 수 : 총 52 항

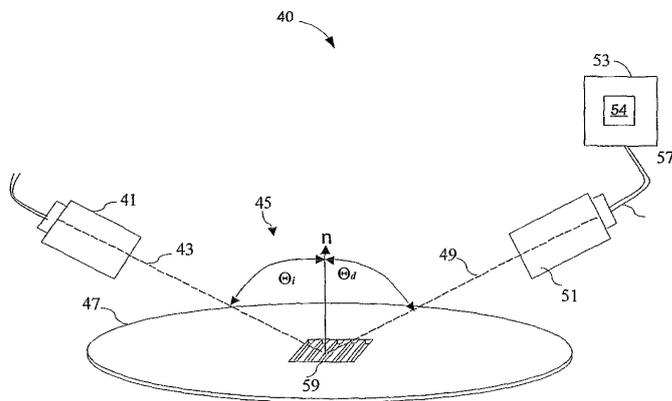
심사관 : 이병걸

(54) 발명의 명칭 광학 계측을 위한 모델 및 파라미터 선택

(57) 요약

웨이퍼(47)의 구조물들(59)의 광학 계측시 사용하기 위한 프로파일 모델이 선택되고, 상기 프로파일 모델은 상기 구조물(59)의 치수들과 관련된 기하학적 파라미터들의 세트를 포함한다. 최적화 파라미터들의 세트가 하나 이상의 입력 회절 신호들 및 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 사용하여 상기 프로파일 모델에 대해 선택된다. 상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 최적화 파라미터들의 세트는 하나 이상의 종료 기준에 대해 테스트된다. 프로파일 모델을 선택하고, 최적화 파라미터들의 세트를 선택하고, 상기 선택된 프로파일 모델 및 최적화 파라미터들의 세트는 상기 하나 이상의 종료 기준이 충족될 때까지 수행된다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

바오, 쥘웨이

미국 94085 캘리포니아 쉐니베일 #3050 레이크사이드 드라이브 1249

두디, 스리니바스

미국 94539 캘리포니아 프레몬트 엔. 모레이 스트리트 43838

니우, 쥘후이

미국 94022 캘리포니아 로스 알토스 더블유. 포트오라 애브 뉴 493

자카트다르, 닉힐

미국 94022 캘리포니아 로스 알토스 린코나다 코트 425

특허청구의 범위

청구항 1

웨이퍼의 구조물의 광학 계측에서 사용하기 위한 프로파일 모델 및 상기 프로파일 모델의 파라미터들을 선택하는 방법으로서,

- a) 하나 이상의 종료 기준을 설정하는 단계;
- b) 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 설정하는 단계;
- c) 웨이퍼의 구조물의 광학 계측에서 사용하기 위한 프로파일 모델을 선택하는 단계로서, 상기 프로파일 모델은 상기 구조물의 치수들과 관련된 기하학적 파라미터들의 세트를 가지는 단계;
- d) 하나 이상의 입력 회절 신호들 및 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 사용하여 상기 프로파일 모델에 대한 최적화 파라미터들의 세트를 선택하는 단계로서, 상기 최적화 파라미터들의 세트는 상기 기하학적 파라미터들의 세트로부터 변환되고, 상기 최적화 파라미터들의 세트 내의 최적화 파라미터의 수는 상기 기하학적 파라미터들의 세트 내의 기하학적 파라미터의 수보다 적은 것을 특징으로 하는 단계;
- e) 상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 최적화 파라미터들의 세트를 상기 하나 이상의 종료 기준에 대해 테스트하는 단계; 및
- f) 상기 하나 이상의 종료 기준을 충족시킬 때까지, 상기 단계 c, 단계 d 및 단계 e를 수행하는 단계를 포함하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 최적화 파라미터들의 세트를 상기 하나 이상의 종료 기준에 대해 테스트하는 단계는, 시뮬레이션된 회절 신호 비용 함수 값이 미리 설정된 비용 함수 값 이하인지 여부를 테스트하는 단계를 포함하며,

상기 시뮬레이션된 회절 신호 비용 함수 값은 최적화된 시뮬레이션된 회절 신호를 측정된 회절 신호와 비교함으로써 계산되는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 최적화 파라미터들의 세트를 상기 하나 이상의 종료 기준에 대해 테스트하는 단계는, 시뮬레이션된 회절 신호 적합도(goodness of fit) 값이 미리 설정된 적합도 값 이상인지 여부를 테스트하는 단계를 포함하며,

상기 시뮬레이션된 회절 신호의 적합도 값은 최적화된 시뮬레이션된 회절 신호를 측정된 회절 신호와 비교함으로써 계산되는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 최적화 파라미터들의 세트를 상기 하나 이상의 종료 기준에 대해 테스트하는 단계는, 하나 이상의 계산된 신뢰 구간 값들이 대응하는 미리 설정된 신뢰 구간 값들 이하인지 여부를 테스트하는 단계를 포함하며,

상기 신뢰 구간은 최적화 파라미터의 값들의 범위이고, 상기 범위 이내에서 실제 값은 특정 확률로 감소될 것이 예상되는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 최적화 파라미터들의 세트를 상기 하나 이상의 종료 기준에 대해 테스트하는 단계는,

시뮬레이션된 회절 신호 비용 함수 값이 미리 설정된 비용 함수 값 이하인지 여부를 테스트하는 단계로서, 상기 시뮬레이션된 회절 신호 비용 함수 값은 최적화된 시뮬레이션된 회절 신호를 측정된 회절 신호와 비교함으로써 계산되는 단계; 및

시뮬레이션된 회절 신호 적합도 값이 미리 설정된 적합도 값 이상인지의 여부를 테스트하는 단계로서, 상기 시뮬레이션된 회절 신호 적합도 값은 최상의 매칭의 시뮬레이션된 회절 신호를 상기 측정된 회절 신호와 비교함으로써 계산되는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 최적화 파라미터들의 세트를 상기 하나 이상의 종료 기준에 대해 테스트하는 단계는, 하나 이상의 계산된 신뢰 구간 값들이 대응하는 미리 설정된 신뢰 구간 값들 이하인지 여부를 테스트하는 단계를 더 포함하며,

상기 신뢰 구간은 최적화 파라미터의 값들의 범위이며, 상기 범위 이내에서 실제 값은 특정 확률로 감소될 것이 예상되는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준은 상관 컷오프(cutoff)를 포함하며, 상기 상관 컷오프는 상기 프로파일 모델의 최적화 파라미터 및 다른 최적화 파라미터 사이의 상관 계수인 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준은 최적화 파라미터의 감도 임계치를 포함하고, 상기 감도 임계치는 모든 최적화 파라미터들에 대한 공칭값들을 사용하여 계산되는 제 1 시뮬레이션된 회절 신호를 모든 다른 최적화 파라미터들에 대한 공칭값들 및 조정된 상기 최적화 파라미터의 값을 사용하여 계산되는 제 2 시뮬레이션된 회절 신호와 비교한 제곱합-에러(sum-squared-error)이고, 상기 조정된 파라미터의 값은 상기 공칭값들의 플러스 또는 마이너스 증가분인 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준은 최적화 파라미터의 신뢰 구간 임계치를 포함하며, 상기 신뢰 구간 임계치는 상기 시뮬레이션된 회절 신호에서, 상기 최적화 파라미터에 대해 측정된 또는 시뮬레이션된 잡음 레벨보다 더 큰 변화를 초래하는 상기 최적화 파라미터의 공칭값의 변화량이고, 상기 최적화 파라미터들의 나머지는 개별적인 공칭값들로 일정하게 유지되는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준은,

상기 프로파일 모델의 최적화 파라미터와 다른 최적화 파라미터 간의 상관 계수인 상관 컷오프;

최적화 파라미터의 감도 임계치로서, 상기 감도 임계치는 모든 최적화 파라미터들에 대한 공칭값들을 사용하여 계산되는 제 1 시뮬레이션된 회절 신호를 모든 다른 최적화 파라미터들에 대한 공칭값들 및 조정된 상기 최적화

파라미터 값을 사용하여 계산되는 제 2 시뮬레이션된 회절 신호와 비교한 제곱합-에러이며, 상기 조정된 최적화 파라미터의 값은 상기 공칭값들의 플러스 또는 마이너스 증가분인 감도 임계치; 및

최적화 파라미터의 신뢰 구간 임계치로서, 상기 신뢰 구간 임계치는 상기 시뮬레이션된 회절 신호에서, 상기 최적화 파라미터에 대해 측정된 또는 시뮬레이션된 잡음 레벨보다 더 큰 변화를 초래하는 상기 최적화 파라미터의 공칭값의 변화량이며, 상기 최적화 파라미터들의 나머지는 개별적인 공칭값들로 일정하게 유지되는 신뢰 구간 임계치

를 포함하는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 웨이퍼의 구조물의 광학 계측에서 사용하기 위한 프로파일 모델을 선택하는 단계는,

구조물 특성을 획득하는 단계;

프로파일 모델 및 파라미터 처리를 위한 측정된 회절 신호들을 선택하는 단계; 및

상기 구조물 특성을 사용하여 상기 구조물의 프로파일 모델을 생성하는 단계

를 더 포함하고, 상기 구조물은 하나 이상의 층들을 갖는 층 스택을 갖고, 상기 구조물 특성은 상기 구조물에 대한 층 스택 정보를 포함하며, 각각의 층 스택 정보는 층의 물질, 반복되는 구조물들의 피치, 반복되는 구조물들의 라인-대-공간 비율, 및 광학 현미경 데이터를 포함하는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 프로파일 모델 및 파라미터 처리를 위한 측정된 회절 신호들을 선택하는 단계는,

입력 측정된 회절 신호들을 그룹들로 분류하는 단계; 및

상기 분류된 입력 측정된 회절 신호들의 각각의 그룹으로부터 대표적인 측정된 회절 신호를 선택하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 입력 측정된 회절 신호들을 그룹들로 분류하는 단계는 클러스터링 및 상관 기술(correlation techniques) 중 적어도 하나를 수반하는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 구조물 특성을 사용하여 상기 구조물의 프로파일 모델을 생성하는 단계는,

상기 층 스택의 각각의 물질들에 대해 하나 이상의 기하학적 형상의 타입들을 결정하는 단계;

상기 층 스택의 모든 층들에 대해 각각의 기하학적 형상들에 대한 기하학적 형상의 타입들 및 관련된 기하학적 파라미터들을 생성하는 단계;

상기 기하학적 파라미터들의 공칭값들 및 범위들을 획득하는 단계로서, 상기 기하학적 파라미터들의 범위들은 상기 기하학적 파라미터들의 예상되는(probable) 낮은 값 및 높은 값인 단계;

상기 기하학적 파라미터들의 종속성들을 정의하는 단계; 및

상기 기하학적 파라미터들을 최적화 파라미터들로 변환하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 기하학적 형상들은 직사각형 및 사다리꼴 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 16

제 14 항에 있어서,

상기 기하학적 파라미터들의 종속성들을 정의하는 단계는, 상기 기하학적 파라미터를 다른 기하학적 파라미터의 함수, 변수의 함수, 상수로 표현하거나, 다른 기하학적 파라미터 및 변수의 플러스나 마이너스 오프셋 중 적어도 하나의 함수로서 표현하는 단계를 포함하고,

상기 오프셋은 상수 또는 다른 변수일 수 있는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 17

제 14 항에 있어서,

상기 기하학적 파라미터들을 최적화 파라미터들로 변환하는 단계는,

상기 기하학적 파라미터들의 종속성들을 방정식들로 해석하는 단계; 및

독립 변수들의 개수를 감소시키는 방정식 상에서 수학적 연산들을 수행하는 단계를 포함하고,

상기 독립 변수들은 상기 파라미터 선택 프로세스에 대해 사용되는 최적화 파라미터들인 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 18

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 입력 회절 신호들 및 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 사용하여 프로파일 모델에 대한 최적화 파라미터들의 세트를 선택하는 단계는,

광학 계측을 위한 파장들을 선택하는 단계;

상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준의 값들을 계산하는 단계;

상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 충족시키는 최적화 파라미터들을 선택하는 단계; 및

상기 프로파일 모델의 상기 선택된 최적화 파라미터들을 사용하여 측정된 회절 신호에 대응하는 최적화된 시뮬레이션 회절 신호를 결정하기 위한 과정을 수행하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 광학 계측을 위한 파장들을 선택하는 단계는,

잡음 레벨 기준을 충족시키는 파장들을 선택하는 단계로서, 상기 잡음 레벨은 웨이퍼에서 동일한 지점으로부터의 회절 신호들의 표준 편차인 단계; 및

다른 파장들의 회절 신호들과 비교하여 낮은 상관 관계의 회절 신호들을 갖는 파장들을 선택하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 20

제 18 항에 있어서,

상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 충족시키는 최적화 파라미터들을 선택하는 단계는 상관 컷오프를 충족

시키는 최적화 파라미터들을 선택하는 단계를 포함하고,

상기 상관 컷오프는 상기 프로파일 모델의 최적화 파라미터와 다른 최적화 파라미터 간에 시뮬레이션된 회절 신호들의 미리 설정된 상관 계수값인 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 21

제 18 항에 있어서,

상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 충족시키는 최적화 파라미터들을 선택하는 단계는 상기 최적화 파라미터의 감도 임계치를 충족시키는 최적화 파라미터들을 선택하는 단계를 포함하고,

상기 감도 임계치는 모든 최적화 파라미터들에 대한 공칭값들을 사용하여 계산되는 제 1 시뮬레이션된 회절 신호를 모든 다른 최적화 파라미터들에 대한 공칭값들 및 조정된 상기 최적화 파라미터의 값을 사용하여 계산되는 제 2 시뮬레이션된 회절 신호와 비교한 제곱합-에러이고, 상기 조정된 최적화 파라미터의 값은 상기 공칭값들의 플러스 또는 마이너스 증가분인 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 22

제 18 항에 있어서,

상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 충족시키는 최적화 파라미터들을 선택하는 단계는 상기 신뢰 구간 임계치를 충족시키는 최적화 파라미터들을 선택하는 단계를 포함하고,

상기 신뢰 구간 임계치는 상기 시뮬레이션된 회절 신호에서 상기 최적화 파라미터에 대한 측정된 또는 시뮬레이션된 잡음 레벨보다 더 큰 변화를 초래하는 상기 최적화 파라미터의 공칭값으로부터의 변화량이고, 상기 최적화 파라미터들의 나머지는 개별적인 공칭값들로 일정하게 유지되는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 23

제 18 항에 있어서,

상기 프로파일 모델의 상기 선택된 최적화 파라미터들을 사용하여 측정된 회절 신호에 대응하는 최적화된 시뮬레이션 회절 신호를 결정하기 위한 과정을 수행하는 단계는, 상기 측정된 회절 신호와 비교하여, 최소 에러를 산출하는 시뮬레이션 회절 신호를 찾기 위한 최적화 과정을 이용하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 24

제 23 항에 있어서,

상기 최적화 과정은 분기 한정 기술(branch-and-bound technique), 시뮬레이션된 어닐링, 유전적 알고리즘, 다 른 범용 최적화 기술 또는 하이브리드 범용 및 로컬 최적화 기술을 포함하는 하나 이상의 범용 최적화 기술들을 이용하는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 25

제 1 항에 있어서,

상기 구조물, 웨이퍼, 및 종료 기준, 하나 이상의 파라미터 선택 기준 및 선택된 최적화 파라미터들에 대한 선택된 모델 및 데이터와 관련된 식별 데이터를 데이터 저장소에 저장하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 프로파일 모델 및 파라미터들 선택 방법.

청구항 26

광학 계측을 이용하여 임계 치수들, 프로파일 형상, 및 막 두께를 갖는 웨이퍼 구조물을 결정하는 방법으로서,

- a) 하나 이상의 종료 기준을 설정하는 단계;
- b) 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 설정하는 단계;

- c) 웨이퍼의 구조물의 광학 계측에서 사용하기 위한 프로파일 모델을 선택하는 단계로서, 상기 프로파일 모델은 상기 구조물의 치수들과 관련된 기하학적 파라미터들의 세트, 임계 치수들, 프로파일 형상 및 막 두께를 가지는 단계;
- d) 하나 이상의 입력 회절 신호들 및 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 사용하여 프로파일 모델의 최적화 파라미터들의 세트를 선택하는 단계로서, 상기 최적화 파라미터들의 세트는 기하학적 파라미터들의 세트로부터 변환되고, 상기 최적화 파라미터들의 세트 내의 최적화 파라미터의 수는 상기 기하학적 파라미터들의 세트 내의 기하학적 파라미터의 수보다 적은 것을 특징으로 하는 단계;
- e) 상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 최적화 파라미터들의 세트를 하나 이상의 종료 기준에 대해 테스트하는 단계;
- f) 상기 하나 이상의 종료 기준이 충족될 때까지, 상기 단계 c, 단계 d 및 단계 e를 수행하는 단계; 및
- g) 상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 선택된 프로파일 모델의 선택된 최적화 파라미터들과 관련된 임계 치수들, 프로파일 형상, 및 막 두께를 평가하는 단계를 포함하는 웨이퍼 구조물 결정 방법.

청구항 27

제 26 항에 있어서,

상기 하나 이상의 회절 신호들과 관련된 임계 치수들, 프로파일 형상, 및 막 두께를 디스플레이하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 웨이퍼 구조물 결정 방법.

청구항 28

웨이퍼의 구조물들에 대한 광학 계측 신호들 및 관련된 프로파일들의 라이브러리를 생성하는 방법으로서,

- a) 하나 이상의 종료 기준을 설정하는 단계;
- b) 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 설정하는 단계;
- c) 웨이퍼의 구조물의 광학 계측에서 사용하기 위한 프로파일 모델을 선택하는 단계로서, 상기 프로파일 모델은 상기 구조물과 관련된 기하학적 파라미터들의 세트, 임계 치수들, 프로파일 형상, 및 막 두께를 가지는 단계;
- d) 하나 이상의 입력 회절 신호들 및 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 사용하여 상기 프로파일 모델에 대해 최적화 파라미터들의 세트를 선택하는 단계로서, 상기 최적화 파라미터들의 세트는 기하학적 파라미터들의 세트로부터 변환되고, 상기 최적화 파라미터들의 세트 내의 최적화 파라미터의 수는 상기 기하학적 파라미터들의 세트 내의 기하학적 파라미터의 수보다 적은 것을 특징으로 하는 단계;
- e) 상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 최적화 파라미터들의 세트를 상기 하나 이상의 종료 기준에 대해 테스트하는 단계;
- f) 상기 하나 이상의 종료 기준이 충족될 때까지, 상기 단계 c, 단계 d 및 단계 e를 수행하는 단계;
- g) 상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 선택된 프로파일 모델의 선택된 최적화 파라미터들과 관련된 임계 치수들, 프로파일 형상들, 및 막 두께를 평가하는 단계; 및
- h) 상기 선택된 프로파일 모델의 상기 선택된 최적화 파라미터들을 사용하여 회절 신호들 및 관련된 프로파일 데이터의 라이브러리를 생성하는 단계를 포함하는 라이브러리 생성 방법.

청구항 29

웨이퍼 구조물들에 대한 광학 계측 데이터를 처리하는 시스템으로서,

상기 구조물의 특성들을 이용하여 웨이퍼의 구조물에 대한 프로파일 모델을 생성하고, 하나 이상의 종료 기준 및 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 처리하도록 구성된 모델 생성기;

시뮬레이션된 회절 신호를 계산하기 위해 상기 프로파일 모델 및 선택된 최적화 파라미터 값들을 사용하도록 구

성된 광학 계측 시뮬레이터;

하나 이상의 파라미터 선택 기준 값들의 계산들을 수행하고, 상기 계산된 하나 이상의 파라미터 선택 기준 값들을 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준과 비교하며, 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 충족시키는 최적화 파라미터들을 선택하도록 구성되며, 상기 최적화 파라미터들의 세트는 기하학적 파라미터들의 세트로부터 변환되고, 상기 최적화 파라미터들의 세트 내의 최적화 파라미터의 수는 상기 기하학적 파라미터들의 세트 내의 기하학적 파라미터의 수보다 적은 것을 특징으로 하며, 상기 모델 생성기 및 상기 광학 계측 시뮬레이터에 결합된 파라미터 선택기; 및

종료 값들의 계산을 수행하고, 상기 계산된 종료 값들을 상기 하나 이상의 종료 기준과 비교하며, 상기 하나 이상의 종료 기준이 충족되지 않으면 상기 프로파일 모델을 조정하도록 구성되고, 상기 파라미터 선택기에 결합된 프로파일 모델 테스트기

를 포함하는 광학 계측 데이터 처리 시스템.

청구항 30

제 29 항에 있어서,

상기 웨이퍼 구조물의 특성들, 웨이퍼 제조 공정, 웨이퍼 층 스택, 웨이퍼 구조물의 설계 공칭 치수들, 및 상기 웨이퍼 구조물들의 치수들의 예상 범위들을 포함하는 입력 데이터를 처리하도록 구성되고, 상기 광학 계측 시뮬레이터, 상기 모델 생성기, 및 상기 프로파일 모델 테스트기에 결합된 프로파일 컴파일러를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 광학 계측 데이터 처리 시스템.

청구항 31

제 29 항에 있어서,

상기 종료 기준, 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준, 및 상기 선택된 최적화 파라미터들에 대한 상기 선택된 모델 및 데이터, 상기 구조물, 및 상기 웨이퍼와 관련된 식별 데이터를 저장하도록 구성되고, 상기 프로파일 모델 테스트기에 결합된 데이터 저장소를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 광학 계측 데이터 처리 시스템.

청구항 32

제 29 항에 있어서,

상기 프로파일 모델 테스트기로부터의 구조물 프로파일 데이터를 이용하고, 상기 시뮬레이션된 회절 신호들을 계산하도록 상기 광학 계측 시뮬레이터를 호출하도록 구성되고, 상기 프로파일 모델 테스트기 및 상기 광학 계측 시뮬레이터에 결합된 라이브러리 생성기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 광학 계측 데이터 처리 시스템.

청구항 33

제 32 항에 있어서,

상기 회절 신호들 및 관련된 구조물 프로파일 데이터를 포함하도록 구성되고, 상기 라이브러리 생성기에 결합된 라이브러리를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 광학 계측 데이터 처리 시스템.

청구항 34

제 29 항에 있어서,

상기 프로파일 모델 테스트기는, 분기 한정(branch-and-bound) 기술, 시뮬레이션된 어닐링, 유전적 알고리즘, 다른 범용 최적화 기술 또는 하이브리드 범용 및 로컬 최적화 기술을 포함하는 하나 이상의 범용 최적화 알고리즘들을 이용하도록 구성된 하나 이상의 최적화 엔진들을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 광학 계측 데이터 처리 시스템.

청구항 35

제 29 항에 있어서,

상기 웨이퍼 구조물의 특성들, 웨이퍼 제조 공정, 웨이퍼 층 스택, 상기 웨이퍼 구조물의 설계 공칭 치수들, 상

기 웨이퍼 구조물들의 치수들의 예상 범위들을 포함하는 입력 데이터를 수용하고, 프로파일 모델들에 대한 기하학적 형상들의 상세 사항 및 상기 기하학적 형상들의 파라미터들의 종속성들을 수용하도록 구성되고, 상기 프로파일 컴파일러 및 상기 모델 생성기에 결합된 단말기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 광학 계측 데이터 처리 시스템.

청구항 36

제 35 항에 있어서,

상기 측정된 회절 신호들에 대응하는 임계 치수들, 구조물 프로파일, 및 막 두께를 포함하는 구조물 데이터를 디스플레이하도록 구성되고, 상기 파라미터 선택기에 결합된 임계 치수 서버를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 광학 계측 데이터 처리 시스템.

청구항 37

제 36 항에 있어서,

상기 임계 치수 서버는 하나 이상의 원격 컴퓨터 장치들을 포함하는 것을 특징으로 하는 광학 계측 데이터 처리 시스템.

청구항 38

제 36 항에 있어서,

상기 단말기 및 상기 임계 치수 서버는 단일 원격 컴퓨터 시스템에 위치하는 것을 특징으로 하는 광학 계측 데이터 처리 시스템.

청구항 39

웨이퍼 구조물 임계 치수 서버 시스템으로서,

a) 하나 이상의 종료 기준을 설정하고;

b) 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 설정하고;

c) 웨이퍼의 구조물의 광학 계측에 이용하기 위한 프로파일 모델을 선택하며, 상기 프로파일 모델은 상기 구조물의 치수들과 관련된 기하학적 파라미터들의 세트를 가지고;

d) 하나 이상의 입력 회절 신호들 및 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 사용하여 상기 프로파일 모델에 대한 최적화 파라미터들의 세트를 선택하며, 상기 최적화 파라미터들의 세트는 상기 기하학적 파라미터들의 세트로부터 변환되고, 상기 최적화 파라미터들의 세트 내의 최적화 파라미터의 수는 상기 기하학적 파라미터들의 세트 내의 기하학적 파라미터의 수보다 적은 것을 특징으로 하고;

e) 상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 최적화 파라미터들의 세트를 상기 하나 이상의 종료 기준에 대해 테스트하며;

f) 상기 하나 이상의 종료 기준이 충족될 때까지, 상기 단계 c, 단계 d 및 단계 e를 수행

하도록 구성된 계측 모델 최적화기; 및

a) 웨이퍼 구조물 프로파일들, 계측 모델 상세 사항들, 상기 하나 이상의 종료 기준, 및 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준에 관한 입력을 수신하며;

b) 상기 웨이퍼 구조물들의 임계 치수들, 프로파일 형상, 및 막 두께를 포함하는 출력 정보를 디스플레이

하도록 구성되고, 상기 계측 모델 최적화기에 연결된 프로파일러 워크스테이션

을 포함하는, 웨이퍼 구조물 임계 치수 서버 시스템.

청구항 40

제 39 항에 있어서,

상기 프로파일러 워크스테이션은 원격 위치들에서 하나 이상의 컴퓨터 시스템들을 포함하는 것을 특징으로 하는 웨이퍼 구조물 임계 치수 서버 시스템.

청구항 41

제 39 항에 있어서,

상기 계측 모델 최적화기는,

g) 상기 선택된 프로파일 모델의 선택된 최적화 파라미터들을 사용하여 회절 신호들 및 관련된 프로파일 데이터의 라이브러리를 생성하도록 추가로 구성되는 것을 특징으로 하는 웨이퍼 구조물 임계 치수 서버 시스템.

청구항 42

웨이퍼 구조물들의 프로파일 데이터 실시간 결정 시스템으로서,

웨이퍼 구조물들로부터의 회절 신호들을 측정하도록 구성된 광학 계측 시스템;

상기 광학 계측 시스템에 결합되는 계측 모델 최적화기;

상기 계측 모델 최적화기에 결합된 프로파일러 워크스테이션; 및

프로파일 모델 테스트기에 결합된 데이터 저장소를 포함하며,

상기 계측 모델 최적화기는,

웨이퍼 구조물 프로파일들의 특성, 계측 모델 상세 사항들, 하나 이상의 종료 기준, 및 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 처리하고,

상기 웨이퍼 구조물들의 하나 이상의 프로파일 모델들을 생성하며, 상기 프로파일 모델들은 상기 웨이퍼 구조물들의 치수들과 관련된 기하학적 파라미터들의 세트를 가지고,

상기 프로파일 모델의 최적화 파라미터들의 세트를 선택하며, 상기 선택된 최적화 파라미터들은 상기 하나 이상의 선택 기준을 충족시키며, 상기 최적화 파라미터들의 세트는 상기 기하학적 파라미터들의 세트로부터 변환되고, 상기 최적화 파라미터들의 세트 내의 최적화 파라미터의 수는 상기 기하학적 파라미터들의 세트 내의 기하학적 파라미터의 수보다 적은 것을 특징으로 하고,

상기 하나 이상의 프로파일 모델들의 생성 및 상기 모델의 최적화 파라미터들의 선택을 수행하도록 구성되며, 상기 선택된 최적화 파라미터들은 상기 하나 이상의 종료 기준이 충족될 때까지 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 충족시키고;

상기 프로파일러 워크스테이션은,

상기 웨이퍼 구조물 프로파일들, 상기 계측 모델 상세 사항들, 상기 하나 이상의 종료 기준, 및 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준에 관한 입력을 수신하고,

상기 웨이퍼 구조물들의 임계 치수들, 프로파일 형상, 및 막 두께를 포함하는 출력 정보를 디스플레이 하도록 구성되고;

상기 데이터 저장소는,

상기 종료 기준, 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준, 및 상기 선택된 최적화 파라미터들에 대한 데이터 및 상기 선택된 모델, 상기 구조물, 및 상기 웨이퍼와 관련된 식별 데이터를 저장하도록 구성된 것인,

웨이퍼 구조물들의 프로파일 데이터 실시간 결정 시스템.

청구항 43

제 42 항에 있어서,

상기 웨이퍼들 및 웨이퍼 구조물들의 제조에 있어 하나 이상의 공정들을 수행하도록 구성되고, 상기 광학 계측 시스템 및 상기 계측 모델 최적화기에 결합된 제조 클러스터를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 웨이퍼 구조물들의 프로파일 데이터 실시간 결정 시스템.

청구항 44

- a) 하나 이상의 종료 기준을 설정하는 단계;
 - b) 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 설정하는 단계;
 - c) 웨이퍼의 구조물의 광학 계측에 사용하기 위한 프로파일 모델을 선택하는 단계로서, 상기 프로파일 모델은 상기 구조물의 치수들과 관련된 기하학적 파라미터들의 세트를 가지는 단계;
 - d) 하나 이상의 입력 회절 신호들 및 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 사용하여 프로파일 모델에 대한 최적화 파라미터들의 세트를 선택하는 단계로서, 상기 최적화 파라미터들의 세트는 상기 기하학적 파라미터들의 세트로부터 변환되고, 상기 최적화 파라미터들의 세트 내의 최적화 파라미터의 수는 상기 기하학적 파라미터들의 세트 내의 기하학적 파라미터의 수보다 적은 것을 특징으로 하는 단계;
 - e) 상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 최적화 파라미터들의 세트를 상기 하나 이상의 종료 기준에 대해 테스트하는 단계; 및
 - f) 상기 하나 이상의 종료 기준을 충족시킬 때까지, 상기 단계 c, 단계 d 및 단계 e를 수행하는 단계
- 를 수행하도록 컴퓨터에게 지시함으로써, 집적 회로 광학 계측에 사용하기 위한 프로파일 모델을 선택하는, 컴퓨터 실행 가능 코드를 포함하는 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 45

제 44 항에 있어서,
 상기 웨이퍼의 구조물의 광학 계측에 사용하기 위한 프로파일 모델을 선택하는 단계는,
 구조물 특성을 획득하는 단계; 및
 상기 구조물 특성을 사용하여 상기 구조물의 프로파일 모델을 생성하는 단계

를 더 포함하고,
 상기 구조물 특성은 상기 구조물에 대한 층 스택의 정보를 포함하며, 상기 층 스택의 각각의 층은 물질, 반복되는 구조물들의 피치, 반복되는 구조물들의 라인-대-공간 비율, 및 광학 계측 데이터를 포함하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 46

제 45 항에 있어서,
 상기 구조물 특성을 사용하여 상기 구조물의 프로파일 모델을 생성하는 단계는,
 상기 층 스택의 각각의 물질에 대한 하나 이상의 기하학적 형상의 타입들을 결정하는 단계;
 상기 층 스택의 모든 층들에 대해 각각의 기하학적 형상에 대한 기하학적 형상들의 타입들 및 관련된 기하학적 파라미터들을 생성하는 단계;

상기 기하학적 파라미터들의 공칭 값들 및 범위들을 획득하는 단계로서, 상기 기하학적 파라미터들의 범위들은 상기 기하학적 파라미터들의 예상되는 낮은 값 및 높은 값들인 단계;

상기 기하학적 파라미터들의 종속성들을 정의하는 단계; 및

상기 기하학적 파라미터들을 최적화 파라미터들로 변환하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 47

제 44 항에 있어서,
 상기 하나 이상의 입력 회절 신호들 및 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 사용하여 프로파일 모델에 대한 파라미터들의 세트를 선택하는 단계는,

광학 계측을 위한 파라미터들을 선택하는 단계;

상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준의 값들을 계산하는 단계;

상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 충족시키는 최적화 파라미터들을 선택하는 단계; 및

상기 프로파일 모델의 상기 선택된 최적화 파라미터들을 사용하여, 측정된 회절 신호에 대응하는 최적화된 시뮬레이션 회절 신호를 결정하는 과정을 수행하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 48

제 47 항에 있어서,

상기 프로파일 모델의 상기 선택된 최적화 파라미터들을 사용하여 측정된 회절 신호에 대응하는 최적화된 시뮬레이션 회절 신호를 결정하는 과정을 수행하는 단계는, 상기 측정된 회절 신호와 비교하여 최소의 에러를 산출하는 시뮬레이션 회절 신호를 찾기 위해 최적화 과정을 이용하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 49

제 44 항에 있어서,

상기 종료 기준, 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준, 및 상기 선택된 최적화 파라미터들에 대한 데이터와, 상기 구조물 및 상기 웨이퍼와 관련된 식별 데이터를 데이터 저장소에 저장하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 50

a) 하나 이상의 종료 기준을 설정하는 단계;

b) 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 설정하는 단계;

c) 웨이퍼의 구조물의 광학 계측에 사용하기 위한 프로파일 모델을 선택하는 단계로서, 상기 프로파일 모델은 상기 구조물의 치수들과 관련된 기하학적 파라미터들의 세트, 임계 치수들, 프로파일 형상, 및 막 두께를 가지는 단계;

d) 하나 이상의 입력 회절 신호들 및 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 사용하여 프로파일 모델에 대한 최적화 파라미터들의 세트를 선택하는 단계로서, 상기 최적화 파라미터들의 세트는 상기 기하학적 파라미터들의 세트로부터 변환되고, 상기 최적화 파라미터들의 세트 내의 최적화 파라미터의 수는 상기 기하학적 파라미터들의 세트 내의 기하학적 파라미터의 수보다 적은 것을 특징으로 하는 단계;

e) 상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 최적화 파라미터들의 세트를 상기 하나 이상의 종료 기준에 대해 테스트하는 단계;

f) 상기 하나 이상의 종료 기준을 충족시킬 때까지, 상기 단계 c, 단계 d 및 단계 e를 수행하는 단계; 및

g) 선택된 프로파일 모델 및 상기 선택된 프로파일 모델의 선택된 최적화 파라미터들과 관련된 임계 치수들, 프로파일 형상, 및 막 두께를 평가하는 단계

를 수행하도록 컴퓨터에게 지시함으로써, 집적 회로 광학 계측에 사용하기 위한 프로파일 모델을 선택하는 컴퓨터 실행 가능 코드를 포함하는 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 51

a) 하나 이상의 종료 기준을 설정하는 단계;

b) 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 설정하는 단계;

c) 웨이퍼의 구조물의 광학 계측시 사용하기 위한 프로파일 모델을 선택하는 단계로서, 상기 프로파일 모델은 상기 구조물의 치수들과 관련된 기하학적 파라미터들의 세트를 포함하고, 임계 치수들, 프로파일 형상, 및 막 두께를 가지는 단계;

d) 하나 이상의 입력 회절 신호들 및 상기 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 사용하여 프로파일 모델에 대한 최적화 파라미터들의 세트를 선택하는 단계로서, 상기 최적화 파라미터들의 세트는 상기 기하학적 파라미터들의 세트로부터 변환되고, 상기 최적화 파라미터들의 세트 내의 최적화 파라미터의 수는 상기 기하학적 파라미터들의 세트 내의 기하학적 파라미터의 수보다 적은 것을 특징으로 하는 단계;

e) 상기 선택된 프로파일 모델 및 상기 최적화 파라미터들의 세트를 상기 하나 이상의 종료 기준에 대해 테스트하는 단계;

f) 상기 하나 이상의 종료 기준을 충족시킬 때까지, 상기 단계 c, 단계 d 및 단계 e를 수행하는 단계;

g) 선택된 프로파일 모델 및 상기 선택된 프로파일 모델의 선택된 최적화 파라미터들과 관련된 임계 치수들, 프로파일 형상, 및 막 두께를 평가하는 단계; 및

h) 상기 선택된 프로파일 모델의 선택된 최적화 파라미터들을 사용하여 회절 신호들 및 관련된 프로파일 데이터의 라이브러리를 생성하는 단계

를 수행하도록 컴퓨터에게 지시함으로써, 집적 회로 광학 계측시 사용하기 위한 프로파일 모델을 선택하는 컴퓨터 실행 가능 코드를 포함하는 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 52

제 51 항에 있어서,

구조물, 웨이퍼, 프로파일 모델과 관련된 식별 데이터;

종료 기준 데이터;

하나 이상의 파라미터 선택 기준; 및

웨이퍼의 구조물의 광학 계측시 사용하기 위한 프로파일 모델 및 상기 프로파일 모델의 파라미터들을 선택하기 위한 시스템의 선택된 최적화 파라미터들을 포함하는 저장된 데이터를 더 포함하는 컴퓨터-판독가능 저장 매체.

명세서

기술분야

[0001] 본 출원은 2000년 11월 28일 Jakatdar 등에 의해 출원된 계류중인 미국 특허 출원(출원 번호: 09/727,530, 제목: 그레이팅 프로파일들의 실시간 라이브러리 생성을 위한 시스템 및 방법), 2001년 7월 16일 Niu 등에 의해 출원된 계류중인 미국 특허 출원(출원 번호: 09/907,488, 제목: 주기적 그레이팅 회절 신호들의 라이브러리 생성), 2000년 12월 14일 Doddi 등에 의해 출원된 계류중인 미국 특허 출원(출원 번호: 09/737,705, 제목: 그레이팅 프로파일 분류를 위한 시스템 및 방법), 2000년 1월 26일 Niu 등에 의해 출원된 계류중인 미국 특허 출원(출원 번호: 09/770,997, 제목: 신속 정밀한 이중-파 분석을 위한 층 내부 계산의 캐싱), 2002년 6월 3일 Doddi 등에 의해 출원된 계류중인 미국 특허 출원(출원 번호: 할당 예정, 제목: 집적 회로 광학 계측법을 위한 파장들의 선택)에 관한 것으로서, 상기 모든 출원들은 본 출원건의 대리인에게 권리가 있고, 여기에서 참조로써 병합된다.

[0002] 본 발명은 집적 회로(IC) 계측법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 광학 계측법을 위한 구조물 모델 및 파라미터들의 선택에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] IC 디바이스들의 기하학적 배열이 더 작아지는 현재 경향과 함께, 피쳐들의 크기가 더 작아짐에 따라 IC 디바이스 피쳐들의 측정은 점점 더 어렵다. 상기 피쳐들을 측정하는 한 방법은 웨이퍼 상의 디바이스들 또는 회로들 가까이 또는 그 내부에 있는, 상기 웨이퍼의 테스트 영역에 형성된 그레이팅들 또는 주기적 구조물들의 사용하는 것이다. 상기 그레이팅들 또는 주기적 구조물들의 치수 인식은, 상기 구조물들의 치수들이 수용 가능한 범위인지 여부, 및 예를 들어 특정 제조 공정이 상기 피쳐들의 측벽의 테이퍼화, 수직형화, 상부의 T 모양화, 하부 절단화를 유도하는지의 여부 또는 상기 피쳐들의 측벽이 푸팅들(footings)을 갖는지의 여부를 결정하기 위해 필수적이다.

[0004] 주기적 구조물 피쳐들의 측정은 주사형 전자 현미경(SEM) 또는 샘플이 부착되어 검사되는 유사한 장치로 수행될

수 있다. 횡단면 SEM 방법은 전형적으로 느리고, 고비용이며, 파괴적이고, 일반적으로 피처의 상부에서 보여지는 하나의 측정 개수만을 제공한다.

[0005] 다른 측정 기술은 산란 계측법을 사용한다. 산란 계측법에서, 분광 반사 측정법 및 타원 편광법, 다중 입사각(MAI: multiple-angle-of-incidence) 장치들, 및 혼합 설계 시스템들이 상기 구조물 상에 광을 비추고 반사광을 측정하기 위해 일반적으로 사용된다. 실험적 산란 계측법은 기본적으로, 라이브러리 생성을 위해 사용되는, 구조물의 피쳐들의 알려진 너비들, 회절 신호들의 쌍 및 구조물 너비들에 대해 회절 신호들이 측정되는 방식을 사용한다. 구조물 치수들의 제한된 라이브러리 및 관련된 회절 신호들에 대해서는, 라이브러리 생성을 위한 실험적 산란 계측법 기술은 시간이 많이 걸리고 비용이 많이 든다. 상기 구조물 치수의 분해도가 증가함에 따라, 라이브러리의 크기는 증가하는 동시에 상기 라이브러리를 생성하고 사용하는 시간은 상당히 증가한다.

[0006] 다른 측정 기술에서, 회절 신호들 및 프로파일 데이터의 라이브러리 사용 대신에, 측정된 회절 신호로부터 프로파일 데이터를 결정하기 위해 회귀(regression)가 사용된다. 회귀를 사용하여, 하나 이상의 최적화 기술들이 상기 측정된 회절 신호로부터 프로파일 데이터를 결정하기 위해 사용될 수 있다.

[0007] 라이브러리 생성 또는 회귀 결과 수렴시키기에 필요한 시간 길이는 회절 신호 계산의 프로파일 모델을 나타내기 위해 사용된 파라미터들의 개수 및 사용된 프로파일 모델에 따라 변화한다. 전형적으로, 프로파일 모델이 복잡할수록 더 많은 파라미터들이 사용되고, 더 많은 시간 및/또는 연산 자원들이 측정으로부터 원하는 정보를 검색하는데 필요하다.

발명의 상세한 설명

[0008] 예시적 실시예에서, 웨이퍼의 구조물의 광학 계측에서 사용하기 위한 프로파일 모델이 선택되고, 상기 프로파일 모델은 상기 구조물의 치수와 관련된 기하학적 파라미터들의 세트를 갖는다. 최적화 파라미터들의 세트는 하나 이상의 입력 회절 신호들 및 하나 이상의 파라미터 선택 기준을 사용하여 프로파일 모델에 대해 선택된다. 선택된 프로파일 모델 및 최적화 파라미터들의 세트는 하나 이상의 종료 기준에 대해 테스트된다. 프로파일 모델 선택, 최적화 파라미터들의 세트 선택, 및 선택된 프로파일 모델 및 최적화 파라미터들의 세트의 테스트 프로세스는 상기 하나 이상의 종료 기준에 일치될 때까지 수행된다.

실시예

[0034] 본 발명의 설명을 용이하게 하기 위해, 타원 편광 또는 반사 측정의 광학 계측 시스템이 특정 개념 및 원리 설명을 위해 사용된다. 예를 들어, $\cos(\Delta)$ 및 $\tan(\Psi)$ 와 같이 타원계를 사용하는 웨이퍼 구조물들을 벗어난 회절 신호들 그래프들은 특정 예시적 실시예들을 설명하기 위해 이용될 것인 반면 반사 측정 반사율 그래프들은 다른것을 설명하기 위해 이용될 것이다. 동일한 개념들 및 원리들이 타원 측정, 반사 측정, 또는 다른 광학 계측 시스템들에 동일하게 적용된다.

[0035] 도 1은 웨이퍼 상에 패턴화된 구조물들을 벗어난 회절 신호들을 측정하기 위해 광학 계측법의 사용을 도시하는 아키텍처 다이어그램이다. 광학 계측법 시스템(40)은 웨이퍼(47)의 타겟 구조물(59)에 빔(43)을 투사하는 계측 빔 소스(41)를 포함한다. 상기 계측 빔(43)은 상기 타겟 구조물(59)를 향해 입사각(θ_i)으로 투사되고 회절각(θ_d)으로 회절된다. 상기 회절빔(49)은 계측 빔 수신기(51)에 의해 측정된다. 회절 빔 데이터(57)는 프로파일 애플리케이션 서버(53)에 전송된다. 상기 프로파일 애플리케이션 서버(53)는 측정된 회절 빔 데이터(57)를, 타겟 구조물의 임계 치수들 및 상기 임계 치수들의 분해의 조합 변화를 나타내는 계산된 회절 빔 데이터의 라이브러리(54)와 비교한다. 일실시예에서, 상기 측정된 회절 빔 데이터(57)와 가장 매칭되는, 라이브러리(54)의 라이브러리 인스턴스가 선택된다. 상기 선택된 라이브러리 인스턴스의 프로파일 및 관련된 임계 치수들은 그레이팅 구조물의 2차원 또는 3차원 표현을 제공할 수 있다. 상기 광학 계측 시스템(40)은 회절 빔 또는 신호를 측정하기 위해 반사계, 타원계, 또는 다른 광학 계측 장치를 사용할 수 있다. 광학 계측 시스템은 2000년 11월 28일 Jakatdar 등에 의해 출원된 계류중인 미국 특허 출원(출원 번호: 09/727,530, 제목: 그레이팅 프로파일들의 실시간 라이브러리 생성을 위한 시스템 및 방법)에서 설명되고, 여기에서는 그 전체가 참조로써 병합된다.

[0036] 도 2는 웨이퍼 구조물들의 광학 계측에 대한 모델 및 파라미터 선택을 위한 전체 프로세스의 예시적 흐름도이다. 단계 310에서, 구조물 프로파일 모델의 선택을 위한 하나 이상의 종료 기준이 결정된다. 종료 기준은 상기 선택 프로세스에 대해 어떤 결과가 측정되는지에 대한 척도이다. 상기 종료 기준은 측정되는 파라미터들의 신뢰 구간들 뿐만 아니라, 비용 함수값, 적합도 값, 및/또는 다른 곡선 적합 계량(curve fitting

metrics)을 포함할 수 있다.

[0037] 예를 들어, 측정된 신호와 비교되고, 프로파일 모델 파라미터들을 사용하는, 구조물을 벗어난 시뮬레이션된 신호 사이의 비용 함수는 종료 기준으로써 사용될 수 있다. 하나의 비용 함수 비교가 아래의 방정식들에 의해 도시되는데, V1 및 V2는 두 개의, 크기가 n인 벡터들이고, V2에 대한 V1의 비용 함수는 다음과 같다:

$$Cost(V_1, V_2) = \left(\sum_{i=1}^n (V_{1i} - V_{2i})^p \right)^{1/p} \quad (1.00)$$

[0038]

[0039] 여기서 i는 벡터의 i 번째 항을 나타내고, p는 매트릭과 관련된 임의의 수이다. 제 1 벡터는 사용되는 계측 장치에 대한 측정 지점들에서 신호 값들의 세트이고, 제 2 벡터는 동일한 상기 지점들에서 대응하는 시뮬레이션된 신호 값들의 세트이다. 비용 함수 종료 기준은 예를 들어 0.25와 같이 특정한 수로 설정될 수 있다. 다른 종료 기준은 측정된 신호 값들 및 시뮬레이션된 신호 값들의 그래프 사이의 적합도(GOF)일 수 있다. GOF는 값들의 두개 세트들의 근접성 측정이다. 예를 들어, 타원 측정이 사용될 때, GOF는 tan Ψ 및 cos Δ에 대한 값들에 기초하고, 여기서 tan Ψ 및 cos Δ는 n차원의 단일 벡터로 표현된다:

$$S = [\tan \Psi_1 \tan \Psi_2 \dots \tan \Psi_{n/2} \cos \Delta_1 \cos \Delta_2 \dots \cos \Delta_n] \quad (1.10)$$

[0041] 시뮬레이션된 신호 S_s에 비교되는 측정된 신호 S_m 사이의 GOF에 대해 통상 사용되는 하나의 공식은 다음과 같다:

$$GOF = 1 - \frac{\sum_i^n (S_s(i) - S_m(i))^2}{\sum_i^n (S_m(i) - \bar{S}_m)^2} \quad (2.00)$$

[0042]

$$\bar{S}_m = \frac{\sum_i^n S_m(i)}{n} \quad (2.10)$$

[0043] 여기서,

[0044] 여기서 i는 광학 계측 장치에 대해 i 번째 측정을 나타내고, n은 상기 광학 계측 장치에 대한 측정의 총 개수이다.

[0045] 다른 종료 기준은 최적화 파라미터들에 대한 신뢰 구간 컷오프 값이다. 최적화 파라미터들 및 신뢰 구간들은 아래에서 더 자세하게 설명된다. 기하학적 파라미터들의 세트는 프로파일 모델과 관련된다. 최적화 파라미터들은 상기 프로파일 모델의 기하학적 파라미터들에서 유도된다. 상기 기하학적 파라미터들로부터 최적화 파라미터들을 유도하는 프로세스는 또한 도 4에서 자세히 논의된다. 신뢰 구간은 최적화 파라미터들의 값들의 범위로서, 상기 범위 이내에서 실제 값은 특정 확률로 감소되는 것이 예상된다. 예시으로써, 20nm의 최적화 파라미터 x1의 3-시그마 신뢰 구간이라는 것은, x1의 실제 값이 + 또는 - 20nm 이내일 확률이 99.7% 라는 것을 의미한다. 상기 신뢰 구간의 양은 최적화 파라미터의 공칭 값의 변화량으로 설정될 수 있고, 이 때 회절 신호들의 변화는 미리 설정된 값보다 더 크다. 상기 미리 설정된 값은 일반적으로 nm 로 표시되는, 시스템 잡음 레벨 또는 인공 잡음 레벨에 대한 값일 수 있다. 예를 들어, 구조물의 중간 CD에 대해서는 2.0nm의 신뢰 구간 컷오프 및 하측 CD 파라미터에 대해서는 2.5nm가 규정될 수 있다. 프로파일 모델의 선택은, 상기 중간 및 하측 CD에 대한 신뢰 구간 컷오프가 일치될 때까지 계속된다.

[0046] 단계 320에서, 프로파일 모델 파라미터들의 선택에 대한 하나 이상의 기준이 결정된다. 프로파일 선택 기준은 특정한 상관 계수 또는 프로파일 파라미터의 감도를 포함할 수 있다. 예를 들어, 0.99 상관 컷오프가 파라미터들을 선택하기 위해 사용될 수 있다. 대안으로써, 신호의 특정 변화(ΔS)가 프로파일 파라미터의 각각의 증가성 변화(ΔP)에 대해 요구될 수 있는데, 여기서 ΔS/ΔP 는 파라미터의 감도의 측정이다. 파라미터 선택 기준은 도 5에서 좀 더 자세하게 설명될 것이다.

[0047] 여전히 도 2를 참조하여, 단계 330에서 웨이퍼 구조물의 특성이 획득된다. 횡단면-SEM 또는 X-SEM 이미지와 같은, 기준 계측 기구로부터의 구조물 이미지는 상기 구조물의 프로파일을 특성화하기 위한 기초로써 사용될 수 있다. 예를 들어, 상기 구조물의 상측-라운딩, 언더컷, T 형상의 상측, 푸팅(footing), 노칭(notching), 오목형, 볼록형, 및 유사한 특성들의 표시가 획득될 수 있다. 웨이퍼 제조 100정 설계 데이터가 사용될 수 있다.

상기 구조물 이미지와 함께 공칭 CD 및 높이에 대한 정보가 상기 구조물 프로파일을 특성화하기 위해 사용될 수 있다. 웨이퍼 구조물의 특성을 얻는 하나의 예시적 프로세스와 관련된 단계들의 설명에 대해서는 도 3의 설명을 참고하시오.

[0048] 단계 340에서, 구조물 특성이 프로파일 모델로 변환된다. 프로파일 모델은 직사각형의 높이와 너비를 표시하는 두 개의 파라미터들을 갖는 단순한 직사각형일 수 있다. 도 9A에서, 직사각형 형상(920)에는 각각 높이 및 너비를 표시하는 두 개의 파라미터들(a_0 , a_1)이 도시된다. 프로파일을 위한 다른 모델은 인스턴스의 하측 CD, 상측 CD, 및 높이를 나타내는 세 개의 파라미터들을 갖는 사다리꼴일 수 있다. 도 9b는 두 개의 사다리꼴들(925)을 갖는 모델을 나타내는데, 그 중 하나는 나머지 하나의 상부에 있다. 두 개의 사다리꼴 프로파일 모델(925)은 5개의 파라미터들을 사용하여 설명될 수 있는데, a_0 는 상측 사다리꼴의 상측 CD를 나타내고, a_1 은 상측 및 하측 사다리꼴들의 공통 CD를 나타내고, a_2 는 하측 사다리꼴의 하측 CD를 나타내고, a_3 는 상측 및 하측 사다리꼴들의 총 두께를 나타내며, a_4 는 상측 사다리꼴의 두께를 나타낸다. 좀 더 복잡한 프로파일 모델은 두 개의 다른 막들을 나타내는 두 개의 직사각형 블록들(942, 944)로써 도 9c에 도시되는데, 서로 다른 물질들로 형성된 푸팅형의 두 개의 직사각형 블록들(938, 936), 노치형 구조물을 나타내는 얇은 직사각형 블록(934), 및 구조물의 상부의 어느 정도의 라운딩을 나타내는 상측 사다리꼴(932)을 갖는 패턴화된 구조물의 하측을 나타내는 사다리꼴(940)을 말한다.

[0049] 도 9c에서 도시된 바와 같이, 프로파일 모델은 구조물의 실제 프로파일의 양호한 근사치를 얻기 위해 다수의 상이한 기하학적 형상들을 포함할 수 있다. 일반적으로, 모델이 복잡할수록 더 많은 수의 파라미터들이 상기 모델을 표시하기 위해 필요하다. 더 많은 파라미터들은 구조물의 광학 계측 시뮬레이션을 수행하는 시간 길이 및 복잡도를 증가시킨다. 가상 구조물을 벗어난 회절 신호들의 시뮬레이션 설명에 대해서는, 2000년 1월 26일 Niu 등에 의해 출원된 계류중인 미국 특허 출원(출원 번호: 09/770,997, 제목: 신속 정밀한 이중-과 분석을 위한 층 내부 계산의 개선)을 참고하고, 그것의 전부가 여기에서 참조로써 병합된다. 도 5에서 설명될 바와 같이, 주어진 프로파일 모델에 대해서는 파라미터들의 개수는 여전히 종료 기준에 부합하는 파라미터들의 최소 개수를 선택하기 위해 최적화될 수 있다.

[0050] 도 2의 단계 350에서, 프로파일 모델 최적화 파라미터들은 하나 이상의 선택 기준에 기초하여 선택된다. 도 5에서 좀 더 자세히 설명될 바와 같이, 최적화 파라미터의 선택은 다른 파라미터들과의 상관, 상기 최적화 파라미터의 변화에 대한 시뮬레이션된 신호의 감도, 검출될 수 있는 파라미터 변화의 신뢰 구간, 및 다른 고려 사항들에 기초한다. 즉, 배타적 원칙의 예로써, 만일 최적화 파라미터(A)가 다른 파라미터(B)에 높게 상관되어 있고 시뮬레이션된 신호가 상기 파라미터(A)의 변화들에 무감각하다면, 상기 최적화 파라미터(A)는 배타적일 수 있다.

[0051] 단계 360에서, 시뮬레이션 계산은 시뮬레이션 연산 속도와 연산된 신호의 정확성의 균형에 의해 최적화된다. 예를 들어, 사용되는 회절 파장들의 개수 또는 범위 및 고려되는 회절 차수들의 개수와 같은 변수들은 시뮬레이션 변수들의 최소 개수 및 연산된 신호의 최고 정확성을 산출하도록 최적화된다.

[0052] 단계 370에서, 종료 기준에 부합되는지를 알기 위해 테스트가 수행된다. 예를 들어, 상기 종료 기준 중의 하나가 2.50 과 동일하거나 미만인 비용함수 값이면, 선택된 모델의 선택된 파라미터들을 사용하는 시뮬레이션된 신호의 비용 함수 값은 대응하는 측정된 신호와 비교된다. 만일 비용 함수 값이 2.20 이면, 그 때 이러한 기준이 부합된다. 추가로, 제 2 종료 기준이 0.9990 또는 그 이상의 GOF 일 수 있다. X-축 상의 파장 함수로서 Y-축 상의 반사율 그래프(982)인, 도 11b를 참조하여, 측정된 반사율 곡선(984)은 시뮬레이션된 반사율 곡선(986)과 비교되는데, 상기 시뮬레이션은 도 11a에 도시된 바와 같이 이중 사다리꼴 프로파일을 사용한다. GOF 공식을 사용하여, 계산된 GOF 는 도 11c에 도시된 바와 같이 0.9994이다. 그러나, 도 11c의 동일한 테이블(988)에서, 최적화 파라미터들에 대한 최고 3-시그마 신뢰 구간은 x_1 에 대해 17.92이다. 언급한 바와 같이, 신뢰 구간은 최적화 파라미터들의 값들의 범위로서, 상기 범위 이내에서 실제 값은 특정 확률로 감소되는 것이 예상된다. 예시에서처럼, 20nm의 최적화 파라미터 x_1 의 3-시그마 신뢰 구간이라는 것은, x_1 의 실제 값이 + 또는 - 20nm 내에 존재하는 확률이 99.7% 라는 것을 의미한다.

[0053] X 축 상의 파장의 함수로써 Y 축 상의 반사율의 그래프(960)인 도 10b를 참조하면, 측정된 반사율 곡선(962)은 시뮬레이션된 반사율 곡선(964)과 비교되고, 도 10a에 도시된 바와 같이 상기 시뮬레이션은 단일 사다리꼴 프로파일을 사용한다. GOF 공식을 사용하여, 도 10c에 도시된 바와 같이, 계산된 GOF 는 0.9990이다. 도 11c의 테이블(965)에서, 최적화 파라미터들에 대해 최고 3-시그마 신뢰 구간은 x_0 에 대해 1.99nm 이다. 이하에서 더욱 자세히 설명될 바와 같이, 도 11a의 두개의 사다리꼴 모델과 비교되는 도 10a의 단일 사다리꼴 모델의 더 낮은

3-시그마 신뢰 구간은, 0.9990의 GOF 기준에 또한 충족된다는 가정에서, 10a의 단일 사다리꼴 모델이 선택될 것이라는 것을 의미한다.

[0054] 도 2를 참조하면, 종료 조건이 충족되지 않을때, 프로세스는 단계 375로 진행하고, 이때 프로파일 선택 기준 및 /또는 프로파일 모델이 조정되고, 단계들(350, 360 및 370)이 반복된다. 파라미터 선택 기준 변화들의 예들은 파라미터를 선택 또는 배제하기 위한 상관 컷오프 조정일 수 있다. 대안으로써, 예로써 제곱합-에러(sum-squared-error) 값들로 표현되는 감도 컷오프가 조정될 수 있다. 프로파일 모델 조정의 예는 구조물 프로파일을 표현하기 위해 두 개의 사다리꼴 대신에 세 개의 사다리꼴을 이용하거나 구조물의 패턴화된 영역을 모델링하기 위해 두 개의 사다리꼴 대신에 하나의 사다리꼴을 이용하는 것이다. 일례에서, 프로파일 모델은 구조물의 광 현미경 이미지를 따르기 위해 더 많은 도는 상이한 기하학적 형상들을 포함하도록 변경될 수 있다. 다른 예에서, 프로파일 모델은 여러개의 사다리꼴들 대신에 하나의 사다리꼴만을 사용하는 것과 같이 더 간단하게 이루어질 수 있다.

[0055] 단계 380에서는, 종료 기준이 충족될 때, 제조, 웨이퍼 지점, 및 계측 장치에 관한 식별 데이터, 프로파일 모델, 선택된 프로파일 파라미터들, 파라미터 선택 기준, 및 종료 기준이 데이터 저장소에 저장된다.

[0056] 모델 및 파라미터 선택의 결과들은 다수의 방법으로 이용될 수 있다. 단계 390에서는, 시뮬레이션된 신호들 및 관련된 프로파일 데이터의 라이브러리는 선택된 모델의 선택된 파라미터들의 범위 및 분해를 사용하여 생성된다. 파라미터들의 범위 및 분해를 사용하여 라이브러리를 생성하는 프로세스에 대한 설명에 대해서는, 2000년 11월 28일 Jakatdar 등에 의해 출원된 계류중인 미국 특허 출원(출원 번호: 09/727,530, 제목: 그레이팅 프로파일들의 실시간 라이브러리 생성을 위한 시스템 및 방법)에서 설명되고, 여기에서는 그 전체가 참조로써 병합된다. 대안으로써, 단계 395에서는, 모델 및 파라미터 선택들의 결과들이 디스플레이된다. 일실시예에서, 임계 치수들, 프로파일 형상, 및 막 두께의 값들은 하나 이상의 종료 기준이 충족되자마자 이용 가능하게 된다. 다른 실시예에서, 단계 390에서는, 저장되는 모든 데이터 또는 일부 데이터가 디스플레이된다. 여전히 다른 실시예에서, 프로파일 모델 및 파라미터 선택의 결과들은 제조 클러스터 피드-포워드 또는 피드-백워드 제어 루프에 이용된다. 이러한 실시예는 도 6c에서 자세히 논의된다.

[0057] 언급된 바와 같이, 도 3의 설명은 웨이퍼 구조물의 특성을 획득하고 처리하는 전체 흐름도 단계에 관해 자세히 설명한다. 다음의 단계들에서 설명되는 프로세스는 웨이퍼 구조물의 특성을 얻는 단지 하나의 기술일 뿐이라는 것이 이해된다. 다른 기술들은 집적 회로 제조 프로세스 또는 집적 회로 장치 시뮬레이션 소프트웨어로부터 얻은 구조물 특성을 포함할 수 있다.

[0058] 도 3을 참조하면, 단계 410에서는, 하나 이상의 데이터 수집 기준이 설정된다. 데이터-수집 기준은 구조물에 대한 충분한 데이터가 모델 및 파라미터 선택을 수행하기 위해 이용 가능한지 여부를 테스트하기 위해 사용된다. 데이터 수집 기준의 예들은 모델 및 파라미터 선택에서 사용되는 종료 기준과 유사한 비용 함수 값 또는 GOF 일 수 있다. 그러나, 비용 함수 값 또는 GOF는 종료 기준에 대해 규정된 것들과 다를수 있는데, 일반적으로 더 낮다. 다른 데이터 수집 기준은 웨이퍼의 동일 지점에 대해 측정된 회절 신호들의 3-시그마 너비와 같은 측정된 회절 신호들의 수용 가능한 변이 범위를 포함할 수 있다. 예를 들어, 만일 웨이퍼의 동일한 지점에 대해 측정된 회절 신호들이 더 큰 표준 편차를 갖는다면, 상기 웨이퍼 구조물의 추가의 회절 신호들 측정이 필요할 수 있다. 대안으로써, 데이터 수집 기준은 시뮬레이션으로부터 유도된 구조물 프로파일을 X-SEM 이미지에 비유할 수 있다.

[0059] 여전히 도 3을 참조하면, 단계 420에서는, 층 스택, 비패턴화 층의 두께, 굴절률 계수(n), 흡광 계수(k), 및 기타 층 프로퍼티들이 획득된다. 특성은 각각의 층에서 사용된 물질의 유형을 포함한다. 단계 430에서는, 패턴화된 구조물의 피치, 라인 대 공간 비율, 패턴화된 구조물의 광 특성, 및 패턴화된 구조물 프로파일의 다른 특성이 획득된다. 상기 패턴화된 구조물 프로파일의 다른 특성은 상측 라운딩, 언더컷, 푸팅, 노치, 또는 프로파일 에 예상되는 다른 변형들에 대한 데이터를 포함한다.

[0060] 단계 440에서는, 측정된 광학 계측 회절 신호들이 입력 측정된 회절들로부터 선택된다. 데이터의 유형 및 분량은 타원계, 반사계, 또는 다른 산란 계측 장치가 사용되는지의 여부, 및 상기 장치들의 제조자에 따라 변화한다. 측정된 회절 신호들의 선택은 클러스터링, 상관 관계, 및 그와 같은 선택 기술들을 사용하여 적은 수의 대표 회절 신호들을 테스트하기 위해 설계된 여러 단계들을 포함한다. 상기 측정된 회절 신호들은 위에서 나열한 하나 이상의 선택 기술들을 사용하여 그룹들로 분류된다. 광학 계측의 클러스터링에 대해서는, 2000년 12월 14일 Doddi 등에 의해 출원된 계류중인 미국 특허 출원(출원 번호: 09/737,705, 제목: 그레이팅 프로파일 분류를 위한 시스템 및 방법)을 참고하고, 그 전체 내용이 여기에서 참조로써 병합된다. 높게 상관된 측정된

회절 신호의 각각의 클러스터 또는 그룹 대표들이 모델 및 파라미터 선택 프로세스에서 사용하기 위해 식별되고 선택된다.

[0061] 단계 450에서는, 구조물을 벗어난 신호는 프로파일 특성으로부터 전개된 층 스택 및 구조물 프로파일을 이용하여 시뮬레이션된다. 가상의 구조물을 떠난 회절 신호들의 시뮬레이션에 대해서는, 2000년 1월 26일 Niu 등에 의해 출원된 계류중인 미국 특허 출원(출원 번호: 09/770,997, 제목: 신속 정밀한 이중-파 분석을 위한 층 내부 계산의 개선)을 참고하고, 그 전체 내용이 여기에서 참조로써 병합된다.

[0062] 도 3의 단계 460에서는, 하나 이상의 데이터 수집 기준에 충족되지 않는 여부를 알기 위해 테스트가 수행된다. 예를 들어, 만일 시뮬레이션된 신호 및 측정된 회절 사이의 GOF가 0.950 이고, 데이터 수집 기준이 0.950 또는 그보다 낮은 GOF 라면, 상기 데이터 수집 기준에 충족된다. 다른 예에서, 데이터 수집 기준은 스택의 각각의 층의 시뮬레이션된 두께이고, 상기 두께는 사용자에게 의해 제공된 특성 데이터의 주어진 퍼센트 이내이거나 동일하다. 상기 스택의 층 두께가 100nm으로 주어지고 그 층에 대해 시뮬레이션된 두께가 102nm 이라고 가정할 때, 하나의 데이터 수집 기준이 층 두께 상에서 2 퍼센트 이내의 분산이라고 가정하면 데이터 수집 기준이 충족된다.

[0063] 여전히 도 3을 참조하면, 단계 480에서는, 데이터 수집 기준, 웨이퍼 및 구조물 특성, 및 계측 장치 식별 데이터가 저장된다. 만일 상기 데이터 수집 기준이 충족되지 않는다면, 단계 470에서는, 추가의 특성 데이터가 획득되거나 데이터 수집 기준이 조정된다. 예를 들어, 만일 상기 데이터 수집 기준으로써 상기 시뮬레이션된 신호 및 측정된 신호의 비용 함수 값이 3.50 또는 더 양호한 값이라고 하고 연산된 비용 함수 값이 7.00이라면, 데이터 수집 기준이 충족되지 않는다. 기본적인 특성 데이터가 빗나갈 수도 있다. 예를 들어, 만일 구조물의 피치가 부정확하게 규정되거나 프로파일 특성이 상당히 부정확하다면, 비용 함수 값이 상당히 높을 수 있다. 시스템에서의 이러한 특성들의 입력의 정확성 및 특성 데이터를 검토하는 것은 문제의 원인을 식별하기 위해 사용될 수 있다. 대안으로써, 만일 데이터 수집 기준이 부정확하게 설정된 것이 발견되면, 상기 기준은 조정될 수 있다.

[0064] 위에서 언급한 바와 같이, 도 4에 대한 이후의 설명은 웨이퍼 구조물의 특성을 모델 및 관련된 파라미터들로 변환하는 전체적 흐름도 단계에 관해서 좀 더 자세히 다룬다. 단계 510에서는, 각각의 스택 물질에 대한 기하학적 형상들의 유형들이 결정된다. 예를 들어, 하나의 물질만이 스택에 존재할 때 전체 프로파일 모델을 표현하기 위해 하나의 기하학적 형상이 선택될 수 있다. 도 8에서, 구조물(900)가 하나의 물질로 형성되었다고 가정하면, 치수들이 변하는 직사각형 형상들의 세트(902, 904, 906, 908, 및 910)가 구조물(900)의 프로파일 모델을 표현하기 위해 사용된다. 도 9a에서는 비패턴화 막에 대해서 직사각형 형상이 사용되는 반면, 도 9b에서는 두 개의 사다리꼴 형상들이 사용된다. 도 9c의 프로파일은 직사각형 및 사다리꼴 형상들을 사용한다.

[0065] 도 4를 참조하면, 단계 520에서는, 구조물의 스택의 기하학적 형상들 및 파라미터들이 생성된다. 예를 들어, 만일 비패턴화된 스택의 제 1 층이 도 9a의 직사각형 형상(920)로 표시된다면, 기하학적 파라미터는 상기 제 1 층의 두께(a1)인데, 이는 비패턴화된 층의 너비가 회절 시뮬레이션 용도로 무한하다고 가정될 수 있기 때문이다.

[0066] 만일 층에 대한 기하학적 형상이 사다리꼴이라면, 제 개의 기하학적 파라미터들이 사용될 수 있는데, 즉, 사다리꼴의 상측 너비, 하측 너비, 및 높이가 되겠다. 만일 이중-사다리꼴(925)이 도 9b에서처럼 사용된다면, 다섯 개의 기하학적 파라미터들이 사용될 수 있고, 즉, 상측 사다리꼴의 상측 너비(a0), 하측 사다리꼴의 상측 너비인 상측 사다리꼴의 하측 너비(a1), 하측 사다리꼴의 하측 너비(a2), 구조물 모델의 총 두께(a3), 및 상측 사다리꼴의 두께(a4)가 되겠다.

[0067] 도 9c의 프로파일 모델은 복잡한 프로파일 모델을 도시하는데, 이때 상기 모델은 직사각형 형상들(936, 938, 942 및 944), 구조물의 노치형을 도시하기 위한 직사각형(934), 구조물의 라운딩 및 구조물의 하측 푸팅을 각각 도시하기 위한 사다리꼴 형상들(932, 940)을 포함한다. 기하학적 파라미터들은 개별 기하학적 형상들의 개별 기하학적 파라미터들의 합이다. 도 9c의 복잡한 프로파일 모델(930)에 대해, 기하학적 파라미터들의 수치는 크다. 일반적으로, 기하학적 형상들이 많을수록 기하학적 파라미터들의 수치도 크다. 더욱이, 프로파일 모델의 기하학적 파라미터들의 더 높은 수치는 시뮬레이션된 회절 신호들을 결정하기 위한 더 장시간의 시뮬레이션 프로세스를 초래한다. 앞서 설명하였듯이, 더 장시간의 회절 시뮬레이션 프로세스는 상당히 장시간의 라이브러리 생성 시간 또는 회귀 시간을 초래할 수 있다.

[0068] 도 4의 단계 530에서는, 기하학적 파라미터들의 공칭 값들 및 범위들이 획득된다. 이러한 값들 및 범위들은 전

형적으로 제조 공정 또는 제조 방식에 대한 기왕(historical) 또는 테스트 데이터로부터 획득된다. 예를 들어, 상측 너비 또는 상측 CD는 200nm 공칭 값 및 120 내지 280 nm의 범위를 가질 수 있다.

[0069] 단계 540에서는, 기하학적 파라미터들의 종속성들이 정의된다. 다시, 상기 기하학적 파라미터들의 종속성들이 특정 제조 공정 방식에 대한 기왕 또는 테스트 결과들에 기초한다. 예를 들어, 질화 실리콘 캡 및 실리콘 트렌치를 갖는 얇은 트렌치 절연(STI : shallow trench isolation) 구조물에서, 상기 질화 캡은 일반적으로 상기 실리콘 트렌치의 상측 너비의 CD를 결정한다. 이러한 경우에 있어서, 독립적인 기하학적 파라미터들은 상기 질화 캡 하측 CD이다. 상기 질화 캡의 상측 CD 및 상기 실리콘 트렌치의 상측 너비는 상기 질화 캡의 하측 CD에 관련된다.

[0070] 예와 같이 도 9b의 이중-사다리꼴 모델(925)를 사용하여, 상측 사다리꼴의 상측 너비(a0)는 상측 사다리꼴의 하측 너비(a1) 함수일 수 있고; a0는 a1에 대해 선형 관계식을 가질 수 있다; 예를 들어, a0는 a1 + 상수와 동일할 수 있거나 고정된 수와 곱하여진 a1일 수 있다. 기하학적 파라미터에 대한 다른 기하학적 파라미터의 관계식은 간단한 일차 함수, 이차 함수, 다항 함수 또는 그와 같은 함수로 특성화될 수 있다. 프로파일의 기하학적 파라미터들의 종속성은, 기하학적 파라미터가 독립 파라미터인지 여부, 다른 파라미터들로부터의 고정된 오프셋을 갖는지 여부, 다른 파라미터들로부터 가변 오프셋을 갖는지의 여부, 또는 고정된 값을 갖는지의 여부에 기초하여 정의된다. 도시를 위해, 5개의 기하학적 파라미터들을 갖는 도 9b의 이중 사다리꼴을 고려해보자. 제조법을 갖는 설계 또는 사전 경험으로부터 a0는 독립 파라미터로써 공지될 수 있다. 또한 이전의 제조 데이터로부터, a1은 a0로부터 10nm의 상수 오프셋을 갖고, a2는 a0로부터의 변수 오프셋이고, a3는 상수이고, a4는 2배의 a0이다.

[0071] 여전히 도 4를 참조하면, 단계 550에서, 기하학적 파라미터들이 최적화 파라미터들(x)로 변환된다. 기하학적 파라미터들을 최적화 파라미터들로 변환하는 이유들은 최적화된 시뮬레이션 회절 신호(나중에 도 5에서 논의됨)를 결정하기 위해 회귀를 위한 탐색 공간의 감소를 포함한다. 기하학적 파라미터들을 최적화 파라미터로 변환하는 다른 이유는 파라미터의 다른 파라미터들에 대한 상관 관계의 감소를 들 수 있다.

[0072] 상기 변환의 결과는 최적화 파라미터 x_i 에 관한 방정식이다. 예를 들어, 위에서 설명된 종속성을 갖는, 도 9b에 도시된 이중 사다리꼴의 각각의 기하학적 파라미터(a_i)에 대한 방정식은 다음과 같다:

[0073] $a_0=x_0$,

[0074] $a_1=x_0+10$,

[0075] $a_2=x_0+x_1$,

[0076] $a_3=50$,

[0077] $a_4=2x_0$,

[0078] 여기서 a0, a1, a2, a3 및 a4는 위에서 정의된 바와 같이, nm로 표시되는, 프로파일 모델의 기하학적 파라미터들이고, x0 및 x1은 프로파일 모델의 최적화 파라미터들이다. 5개의 기하학적 파라미터들은 두 개의 최적화 파라미터들로 변환됨이 주지된다. 만일 좀 더 복잡한 프로파일 모델들은 전형적으로 더 많은 기하학적 파라미터들을 필요로 할 수 있고 일반적으로는 더 높은 수치의 대응하는 최적화 파라미터들을 필요로 할 수 있음이 주지되어야 한다. 최적화 파라미터들에 대한 기하학적 파라미터들의 종속성을 표현하는 다른 등가의 방법이 사용될 수 있음은 해당 분야의 당업자에게는 이해될 것이다.

[0079] 위에서 언급한 바와 같이, 뒤이은 도 5의 설명은 하나 이상의 선택 기준에 기초하여 모델의 파라미터들을 선택하는 전체적 흐름도 단계에 대해 좀더 자세히 제공한다. 도 5를 참조하면, 단계 810에서는, 프로파일 모델에 대한 광학 계측 파장들 또는 파장들의 범위가 선택된다. 파장들을 선택하는 프로세스에 대한 설명에 대해서는, 2002년 6월 3일 Doddi 등에 의해 출원된 계류중인 미국 특허 출원(출원 번호: 10/162,516, 제목: 집적 회로 광학 계측법을 위한 파장들의 선택)을 참고하고 여기에서는 그 전체가 참조로써 병합된다. 최적화 파라미터가 선택되어야 하는지 배제되어야 하는지 여부에 대해 정보를 제공하기 위해 여러개의 작업들이 동시에 또는 연속적으로 수행될 수 있다.

[0080] 단계 820에서는, 최적화 파라미터들 사이의 상관 관계가 결정된다. 전형적으로, 두 개의 최적화 파라미터들 사이의 상관 계수(r)는 다음의 식을 이용하여 계산된다:

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.60)$$

[0081]

[0082] 여기서 x_i 및 y_i 는 최적화 파라미터 쌍이고, \bar{x} 는 x_i 의 평균이고 \bar{y} 는 y_i 의 평균이다. r 값은 -1에서 +1까지 사이에 존재한다. +1 상관 계수 값은 완전한 양의 상관에 대응할 수 있고 -1의 값은 완전한 음의 상관에 대응할 수 있다. 0에 가까운 r 값은 상관되지 않는 x 및 y 최적화 파라미터들에 대응할 수 있다.

[0083] 도 12a를 참조하여, 상관 계수들의 테이블(996)은 5개의 최적화 파라미터들을 도시하는데, 즉, 레지스트 상측 CD를 나타내는 x_0 , 레지스트 하측 CD를 나타내는 x_1 , 레지스트 두께를 나타내는 x_2 , 반사 방지 코팅 막을 나타내는 x_3 , 및 이산화 실리콘 두께를 나타내는 x_4 가 그것이다. 상관 계수 테이블(996)은, Y축 및 X축이 도시된 바와 같은 파라미터 개수들을 갖도록 구성된다. 교차점 및 셀은 다른 파라미터에 대한 파라미터의 상관 계수를 나타낸다. 예를 들어, 파라미터(x_0, x_4)의 교차점에서, 셀(997)의 상관 계수는 0.47이다. 상관 계수는 방정식 2.60에서 x_i 대신 x_0 , y_i 대신 x_4 의 입력 측정된 값들로 대체하여 계산된다. 낮은 상관 계수값은, 파라미터 x_0 및 x_4 가 높게 상관되지 않았다는 것을 의미한다. 반대로, 파라미터(x_3, x_4)의 교차점에서, 셀(998)의 상관 계수는 1.00이고, 이는 x_3 와 x_4 사이의 완전한 양의 상관을 의미한다. 도 12b에서 알수 있는 바와 같이, 파라미터(x_3)의 파장에 대한 반사율 차이 그래프인 그래프(992)는 파라미터(x_4)의 파장에 대한 반사율 차이 그래프인 그래프(994)와 완전한 양의 상관을 갖는다. 최적화 파라미터 선택에 대해, 파라미터 x_3 및 x_4 중 하나만이 포함될 필요가 있는데, 이는 x_3 또는 x_4 에 의해 기인되는 회절 신호들의 변이는 나머지 하나의 변이로부터 결정될 수 있기 때문이다.

[0084] 도 5의 단계 830에서는, 각각의 최적화 파라미터의 신뢰 구간이 결정된다. 이전에 명시된 바와 같이, 신뢰 구간은 회절 신호의 변화가 잡음 레벨보다 더 큰, 최적 파라미터의 공칭값의 변화량으로 설정될 수 있다. 회절 신호에서의 잡음은 시스템 잡음, 예를 들어 측정 장치들로부터의 잡음으로 인해서일 수 있고, 또는 상기 잡음은 시뮬레이션될 수 있다. 상기 신뢰 구간은 일반적으로 최적화 파라미터와 표준 편차 시그마(σ)의 곱으로 표현된다. 최적화 파라미터에 대한 표준 편차는 다음 식을 사용하여, 최적화 파라미터의 측정된 값들로부터 계산된다:

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{N-1}\right) * (x_i - x_{av})^2} \quad (2.70)$$

[0085]

[0086] 여기서 N 은 측정 개수이고, x_i 는 최적화 파라미터(x)의 i 번째 값이고, x_{av} 는 최적화 파라미터(x)의 평균 값이다.

[0087] 신뢰 구간은 전형적으로 웨이퍼 구조물을 벗어난 실제 측정을 나타내는 샘플 입력 데이터의 주어진 세트로부터 계산된다. 상기 신뢰 구간은 또한 최적화 파라미터에 대한 측정 데이터에서 유도되는 시뮬레이션된 랜덤 잡음을 사용하여 계산될 수 있다.

[0088] 도 10a를 참조하면, 하부에 놓이는 막의 단일 층을 갖는 구조물을 나타내는 직사각형 형상(953)가 상부 상의 단일 사다리꼴(951)을 사용하는 구조물 프로파일 모델(950)은 네 개의 최적화 파라미터들을 갖는데, 즉, 구조물의 상측 CD를 나타내는 x_0 , 구조물의 하측 CD를 나타내는 x_1 , 구조물의 너비를 나타내는 x_2 , 하부에 놓이는 막의 너비를 나타내는 x_3 가 그것이다. 도 10c를 참조하면, 테이블(965)에서는 네 개의 최적화 파라미터들에 대한 3-시그마 신뢰 구간이 도시된다. 예를 들어, 최적화 파라미터(x_0)는 1.99nm의 신뢰 구간을 갖는데, 이는 x_0 측정이 1.99nm 이내에서 가시적이 되거나 민감하게 될 확률이 99.7%라는 의미이다. 대안으로써, 만일 x_0 의 변화가 1.99nm 미만이라면, 상기 변화가 신호에 나타나지 않을 확률이 99.7% 존재한다. 유사하게, x_1 은 1.95nm의 3-시그마 신뢰 구간을 갖는다. 파라미터(x_3)는 0.30nm의 3-시그마 신뢰 구간을 갖는데, 이는 상기 파라미터(x_3)가 0.30nm보다 더 큰 변화에 민감하다는 의미이다.

[0089] 도 10a에서 논의된 바와 것과 동일한 구조물도 도 11a의 프로파일 모델(970)에서처럼 직사각형 형상(974)의 상부 상에 두 개의 사다리꼴들(972)을 사용하여 모델링된다. 이중-사다리꼴 프로파일 모델(970)은 6개의 최적화 파라미터들을 갖는데, 즉, 상측 사다리꼴(976)의 상측 CD를 나타내는 x_0 , 하측 사다리꼴(978)의 중간 CD를 나타

내는 x1, 하측 사다리꼴(978)의 하측 CD를 나타내는 x2, 이중 사다리꼴(972)의 너비를 나타내는 x3, 변곡점 (inflection point)에서의 비율을 나타내는 것으로써 이중 사다리꼴(972)의 너비에 대한 상측 사다리꼴(976)의 너비(h1) 비율과 동일한 x4, 하부에 놓이는 막의 너비를 나타내는 x5가 그것이다. 도 11c를 참조하여, 테이블 (988)에는 여섯 개의 최적화 파라미터들에 대한 3-시그마 신뢰 구간이 도시된다. 예를 들어, 최적화 파라미터 (x0)는 6.81nm의 신뢰 구간을 갖는데, 이는 x0의 측정이 6.81nm 이내에서 가시적이거나 민감하게 되는 확률이 99.7%라는 것을 의미한다. 대안으로써, 만일 x0의 변화가 6.81nm 미만이라면, x0의 변화가 신호에 나타나지 않는 확률이 99.7% 존재한다. 이후에 단계 870에서 논의되는 바와 같이, 각각의 파라미터에 대해 계산되는 전체 데이터 수집은 최적화 파라미터를 포함할지 배제할지의 여부에 대한 결정 단계에 병합될 수 있다.

[0090] 도 5의 단계 840에서는, 시뮬레이션된 신호의 하나 이상의 파라미터들의 변화들에 대한 감도가 결정된다. 전형적으로, 이러한 결정은 하나의 최적화 파라미터를 작은량 변화시키고 다른 최적화 파라미터들은 일정하게 유지 시킴으로써 이루어진다. 예를 들어, 하나의 사다리꼴을 사용하는 도 10a의 프로파일 모델에서, 파라미터(x0)의 감도는 x1, x2 및 x3를 공칭값으로 유지시키고 신호를 시뮬레이션하면서 공칭 값에 1 nm를 더함으로써 테스트될 수 있다. 만일 (공칭값 + 1 nm 에서) x0의 그래프 또는 신호 매트릭스에서 뚜렷한 변화가 존재하지 않으면, x0는 낮은 감도를 갖는다. 다른 최적화 파라미터들은 각각의 최적화 파라미터의 감도를 테스트하기 위해 나머지 상수를 유지하면서 유사하게 변화될 수 있다.

[0091] 최적화 파라미터의 감도는 공칭값들을 사용하는 신호와 비교되는 변화된 신호의 제곱합-에러(SSE : sum-squared-error)를 계산하여 양적으로 표현될 수 있다. 상기 SSE 식은 다음과 같다:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (S_o(i) - S_1(i))^2 \quad (3.00)$$

[0092]

[0093] 여기서 i는 전형적으로 미리 설정된 파장에서 신호 시뮬레이션 지점이고, n은 신호 시뮬레이션 지점들의 개수이고, S₀는 최적화 파라미터들의 공칭값들을 사용하는 시뮬레이션된 신호 값이고, S₁은 공칭 값 더하기 최적화 파라미터들 중 하나의 변화를 사용하는 시뮬레이션된 신호 값이다.

[0094] 도 5의 단계 870에서는, 최적화 파라미터들의 최종 선택이 하나 이상의 선택 기준에 기초하여 이루어진다. 예를 들어, 파라미터 선택 기준은 상관 계수의 컷오프 지점일 수 있다. 모든 다른 파라미터들에 관해 0.50보다 낮은 상관 계수를 갖는 파라미터들이 선택될 수 있다. 대안으로써, 어떤 파라미터가 선택되는지 또는 어떤 파라미터가 배제되는지를 결정하기 위해 0.98의 상관 계수를 갖는 파라미터 쌍이 감도에 대해 더 테스트될 수 있다. SSE 임계치는 최적화 파라미터들을 선택하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 0.01의 SSE 임계치는 파라미터 변화에 상대적으로 둔감한 최적화 파라미터들을 필터링하기 위해 사용될 수 있다. 3-시그마 신뢰 구간에 대한 특정 컷오프는 또한 이러한 기준을 충족시키지 않는 최적화 파라미터들을 가려내기 위해 또는 IC 설계에서 중요한 주요 파라미터들의 적절한 감도를 산출하지 않는 프로파일 모델들을 표시하기 위해 사용될 수 있다. 언급된 기준의 조합이 사용될 수 있다. 해당 분야 당업자에게 공지된 다른 등가의 기준이 사용될 수 있다. 만일 최적화 파라미터가 선택되지 않는다면, 최적화 파라미터는 고정된 값으로 설정되는데, 상기 고정된 값은 제조상의 데이터 또는 방식에 따른 이전의 경험으로부터 결정된다.

[0095] 단계 890에서는, 선택된 프로파일 모델의 선택된 최적화된 파라미터들을 사용하는 측정된 신호에 대해 최적화된 시뮬레이션 회절 신호를 결정하는 과정이 수행된다. 일실시예는 최적화된 시뮬레이션 신호에 이르기 위해 회귀 기술을 사용한다. 하나 이상의 회귀 유형들이 사용될 수 있다.

[0096] 도 7을 참조하면, 프로파일 모델 테스트기(1400)는 선택된 프로파일 모델, 선택된 최적화 파라미터들, 및 측정된 회절 신호들(1402)을 수신한다. 상기 프로파일 모델 테스트기(1400)는 입력 데이터를 처리하고, 분기 한정 기술(1420), 시뮬레이션된 어닐링(1430), 유전적 알고리즘(1440), 다른 범용 최적화 기술(1450), 또는 하이브리드 범용/로컬 최적화 기술(1460)과 같은 하나 이상의 최적 엔진들을 활성화시킨다. 상기 최적 엔진들은 시뮬레이션된 신호 및 측정된 신호 사이의 범용 최소 차이에 도달한다. 상기 범용 최소와 대응하는 상기 시뮬레이션된 신호는 상기 선택된 프로파일 모델의 최적화 파라미터들의 값들의 세트에 차례로 대응하고, 프로파일 모델 테스트기(1400)는 출력(1404)으로써 역할을 한다.

[0097] 도 6a는 예시적 실시예에서 모델 및 파라미터 선택을 위한 시스템을 설명하는 아키텍처 다이어그램이다. 현 실시예에서, 단말기(1800)는 구조물 프로파일을 특성화하기 위해, 스택, n 및 k값, 공칭 프로파일 파라미터 값들

및 범위들, 너비 공칭 값들 및 범위들, 웨이퍼의 다수의 지점들을 벗어난 측정된 회절된 신호들, 및 구조물 이미지 데이터를 포함하는 웨이퍼 제조 공정 설계 데이터를 입력하는데 사용된다. 종료 및 최적화 파라미터 선택 기준의 선정은 상기 단말기(1800) 상에서 입력될 수 있고 입력(1801)으로써 프로파일 컴파일러(1810)에 전송될 수 있다. 상기 프로파일 컴파일러(1810)는 입력 데이터(1801)를 편집하고, 프로파일 모델(2000)의 기하학적 파라미터들의 규정된 공칭 값들로 신호를 시뮬레이션하기 위해 광학 계측 시뮬레이터(1860)를 호출한다. 상기 광학 계측 시뮬레이터(1860)는 시뮬레이션된 회절 신호(2001)를 프로파일 컴파일러(1810)에 전송한다. 위에서 언급한 바와 같이, 가상의 구조물을 벗어난 회절 신호들의 시뮬레이션에 대한 설명은 2000년 1월 26일 Niu 등에 의해 출원된 계류중인 미국 특허 출원(출원 번호: 09/770,997, 제목: 신속 정밀한 이중-파 분석을 위한 층 내부 계산의 개성)을 참고하고, 상기 내용의 전체가 여기에서 참고로써 병합된다. 프로파일 컴파일러(1810)는 입력 데이터(1801)의 성질 및 충분성에 대해 단말기(1800)에 데이터를 보내면서, 시뮬레이션된 신호(2001)를 입력(1810)으로부터의 측정된 신호와 비교하는 작업을 수행한다. 상기 프로파일 컴파일러(1810)는 또한 프로파일 모델 테스트기(1840)로부터의 조정된 프로파일 모델 데이터(2012)를 처리할 수 있다.

[0098] 도 6a를 참조하면, 프로파일 컴파일러(1810)는 편집된 특성 데이터 및 측정된 회절 신호들(1811)을 모델 생성기(1820)로 전송한다. 상기 모델 생성기(1820)는 기하학적 형상들을 포함하는 구조물의 프로파일 모델을 생성한다. 기하학적 형상들은 기하학적 파라미터들의 항들로 표현되고, 파라미터 선택기(1830)로 전송되는 최적화 파라미터들(1821)로 변환된다. 상기 파라미터 선택기(1830)는, 어떤 최적화 파라미터들이 고객으로부터의 상관 계수 컷오프, 감도 임계치 및/또는 신뢰 구간 요구사항들을 충족시키는지 선택하기 위해 최적화 파라미터 선택 기준을 이용한다. 상기 파라미터 선택기(1830)는 프로파일 파라미터 데이터(2004)를 갖는 회절 신호들의 시뮬레이션을 수행하기 위해 광학 계측 시뮬레이터(1860)를 호출한다. 차례로, 상기 광학 계측 시뮬레이터(1860)는 상기 회절 신호의 시뮬레이션을 수행하고 상기 시뮬레이션된 회절 신호들(2005)을 파라미터 선택기(1830)로 전송한다.

[0099] 파라미터 선택기(1830) 기능의 일부는 도 7에서 논의된 하나 이상의 최적 엔진들을 호출하면서, 각각의 측정된 신호에 대해 최적화된 시뮬레이션된 신호를 결정하기 위한 과정을 수행하는 것이다. 최적화 프로세스 이후에, 프로파일, CD, 및 막 두께를 포함하는 최적화된 프로파일 데이터는 출력(2006)으로써 임계 치수 서버(1870)로 전송된다. 파라미터 선택기(1830)는 상기 선택된 최적화 파라미터들을 프로파일 모델 테스트기(1840)로 전송하는데, 상기 테스트기에서는 비용 함수값, GOF, 및/또는 다른 종료 기준과 같은 종료 기준이 테스트된다. 만일 상기 종료 기준이 충족되지 않으면, 상기 프로파일 모델 테스트기(1840)는 프로파일 모델을 조정하는데, 예를 들어 두 개의 사다리꼴 모델을 단일 사다리꼴 모델로 교환하거나 단순한 기하학적 모델을 프로파일 모델에 좀 더 가까운 더 많은 기하학적 형상들을 사용하는 모델로 교환함으로써 조정될 수 있다. 조정된 프로파일 모델(2012)은 프로파일 컴파일러(1810)에 전송된다. 대안으로써, 만일 종료 기준이 충족되면, 상기 프로파일 모델 테스트기(1840)는 프로파일 모델 종료 기준, 최적화 파라미터 선택 기준, 제조 공정, 웨이퍼 지점, 광학 계측 장치 식별 데이터, 및 선택된 최적화 파라미터들(2012)을 데이터 저장소(1850)에 저장한다. 프로파일 모델 테스트기(1840)는 최적화 파라미터들(1841)을 라이브러리 생성기(1880)에 전송하는데, 상기 라이브러리 생성기는 선택된 최적화 파라미터들의 범위들 및 분해를 사용하여 회절 신호들 및 관련된 프로파일 데이터(1881)를 포함하는 라이브러리(1890)를 생성한다.

[0100] 도 6b는 예시적 실시예에서 모델 및 파라미터 선택을 위한 시스템을 설명하는 아키텍처 다이어그램이다. 계측 모델 최적화기(1900)는 프로파일러 워크스테이션(1910)으로부터 상기 측정된 회절 신호들의 임계 치수들, 프로파일들 및 막 두께에 대한 요청들(1902)을 수신한다. 이러한 요청(1902), 및 웨이퍼 상의 주요 구조물을 특성화하는 다른 입력 데이터(미도시)에 기초하여, 계측 모델 최적화기(1900)는 도 6a에서 설명된 것과 유사한 프로세스들로 모델 및 파라미터들을 선택한다. 계측 모델 최적화기(1900)는 측정된 회절 신호들과 관련된 요청된 임계 치수들, 프로파일들, 및 막 두께를 생성하여 이러한 결과들(1901)을 프로파일러 워크스테이션(1910)으로 재전송한다. 상기 프로파일러 워크스테이션(1910)은 원격의 사용자 측에 위치될 수 있다. 계측 모델 최적화기(1900)로의 접근은 사설 네트워크 또는 인터넷 같은 공중 네트워크를 통해 이루어질 수 있다.

[0101] 도 6c는 예시적 실시예에서 계측 모델 최적화기의 아키텍처 다이어그램이다. 시스템 구성은, 프로파일러 워크스테이션(1925)으로부터의 임계 치수 데이터(1924)에 대한 요청을 배타적으로 처리하는 대신에, 동일한 데이터에 대한 일렬(in-line) 요청(1931)이 광학 계측 시스템(1930)으로부터 전송된다. 상기 광학 계측 시스템(1930)은 세정 트랙 유닛, 리소그래피 기계, 에칭 머신 또는 조합된 리소그래피-및-에칭 유닛일 수 있는 제조 클러스터(1940)에 연결된다. 웨이퍼(미도시)가 제조 공정 단계를 완료할 때, 웨이퍼 상의 구조물들은 계측 모델 최적화기(1920)에 전송되는 측정된 회절 신호들(1931)을 생성하는 광학 계측 시스템(1930)에 의해 측정된다. 상

기 프로파일러 워크스테이션(1925)으로 전송되는 임계 치수 데이터(1924)에 추가하여, 동일한 데이터는 진보된 공정 제어 사용을 위한 제조 클러스터(1940)에 전송된다. 임계 치수 데이터(1924)는 제조 공정의 공정 변수들을 조정하기 위해 제조 클러스터(1940)에 의해 사용될 수 있다. 프로파일러 워크스테이션(1925)은 측정된 회절 신호들의 임계 치수들, 프로파일들, 및 막 두께, 및 웨이퍼 및 계층 모델 최적화기(1920)에 저장된 유사한 데이터의 위치 상의 구조물들을 특성화하는 다른 입력 데이터(미도시)에 대한 요청들(1926)을 전달한다. 광학 계측 시스템(1930)은 하나 이상의 제조 공정들의 완료에 대해 제조 클러스터(1940)으로부터 전송된 데이터(1941)를 수신한다. 웨이퍼 상의 구조물들의 측정들을 완료한 이후에, 상기 광학 계측 시스템은 광학 계측 측정의 완료를 표시하기 위해 제조 센터(1940)로 신호들(1941)을 전송한다.

[0102] 도 13a, 13b, 13c 및 13d는 상이한 프로파일 모델들을 사용하는 예시적 구조물 프로파일들이다. 도 13a는 단일 사다리꼴(T1)로 모델링된 구조물을 도시하는 반면, 도 13b는 두 개의 사다리꼴들(T1 및 T2)로 모델링된 동일한 구조물을 도시한다. 유사한 방식으로, 도 13c는 세 개의 사다리꼴들(T1, T2 및 T3)로 모델링된 동일한 구조물을 도시하는 반면, 도 13d는 네 개의 사다리꼴들(T1, T2, T3 및 T4)로 모델링된 동일한 구조물을 도시한다.

[0103] 도 13a 및 도 13b에서 알 수 있는 바와 같이, 구조물 형상과 모델의 일치가 도 13a에서는 근접하지 않지만, 두 개의 사다리꼴들을 갖는 도 13b는 모델과 구조물 형상 사이의 일치에 있어서 급격한 증가를 보여준다. 사용되는 사다리꼴의 개수가 세 개 및 네 개로 증가함에 따라 구조물과 일치하는 모델들에 있어서 더욱 그러나 소폭 개선된다.

[0104] 도 13e는 시뮬레이션된 회절 신호들의 비용 함수 및 GOF 대 프로파일 모델에서 사용된 기하학적 형상들의 개수의 함수로서의 측정된 신호들의 예시적 그래프를 도시한다. 그래프(1000)는, 비용 함수 및 GOF가 프로파일 모델에서 사용되는 사다리꼴들의 개수가 증가함에 따라 어떻게 변화하는지를 도시한다. 비용 함수 그래프(1004)에서 알 수 있는 바와 같이, 하나의 사다리꼴을 갖는 도 13a에서 설명된 구조물을 모델링하는 비용 함수 값은 3.0으로 상대적으로 높다. 좌측의 Y-축을 사용하는 비용함수 그래프(1004)는 두개의 사다리꼴에서는 약 1.5로 급격히 떨어지고, 사다리꼴의 개수가 두개에서 세개로 그리고 세개에서 네개로 증가함에 따라 더 소폭으로 떨어진다. 우측 Y-축을 사용하는 GOF 그래프(1002)는 사다리꼴의 개수가 하나에서 두개로 증가할 때 약 0.920의 GOF에서 0.97의 GOF로 급격히 증가하고, 사다리꼴의 개수가 두개에서 세개로 그리고 세개에서 네개로 증가함에 따라 더 소폭으로 증가된다. 이전에 논의된 바와 같이, 프로파일 모델 선택은 비용 함수 값 및/또는 GOF 값일 수 있는 종료 기준에 충족하거나 초과하는, 프로파일 모델에서 기하학적 형상들의 가장 간단한 조합을 결정한다. 역시 위에서 언급된 바와 같이, 프로파일 모델은 기하학적 형상들의 상이한 유형들의 조합일 수 있고, 이때 사다리꼴은 사용될 수 있는 단지 하나의 가능한 형상일 뿐이다.

[0105] 도 14는 시뮬레이션된 회절 신호들의 비용 함수 및 GOF 대 프로파일 모델에서 사용되는 파라미터의 개수의 함수로서의 측정된 신호들의 예시적 그래프이다. 그래프(1100)는, 프로파일 모델에서 사용되는 파라미터들의 개수가 증가함에 따라 어떻게 비용 함수 및 GOF가 변화하는지를 도시한다. 비용 함수 그래프(1104)에서 알 수 있는 것처럼, 가상의 구조물을 세개의 사다리꼴들로 모델링하는 비용은 2.9로 상대적으로 높다. 좌측의 Y-축을 사용하는 비용함수 그래프(1104)는 다섯개의 파라미터들에서는 약 1.6으로 급격히 떨어지고, 파라미터들의 개수가 다섯개에서 여섯개로 그리고 여섯개에서 일곱개로 증가함에 따라 더 소폭으로 떨어진다. 우측 Y-축을 사용하는 GOF 그래프(1102)는 파라미터들의 개수가 세개에서 다섯개로 증가할 때 약 0.915의 GOF에서 0.965의 GOF로 급격히 증가하고, 파라미터들의 개수가 다섯개에서 여섯개로 그리고 여섯개에서 일곱개로 증가함에 따라 더 소폭으로 증가된다.

[0106] 이전에 논의된 바와 같이, 최적화 파라미터 선택은 상관되지 않고, 높은 감도를 가지며, 애플리케이션에 의해 요구되는 파라미터 크기의 변화 검출을 허용하는 파라미터들을 선택한다. 프로파일 모델의 선택된 최적화 파라미터들은 상이한 프로파일 치수들에 대한 회절 신호들을 시뮬레이션하기 위해 사용되고, 상기 시뮬레이션된 회절 신호는 비용함수 및 GOF를 계산하기 위해, 대응하는 측정된 신호들과 비교된다. 일단 선택되는 프로파일 모델 및 상기 선택된 프로파일 모델의 선택된 최적화 파라미터들이 종료 기준을 충족시키거나 초과하는 시뮬레이션된 회절 신호들 결과들을 제공하면, 선택 프로세스의 완료된다. 위에서 언급한 바와 같이, 도 6a의 파라미터 선택기(1830)로부터의 CD들, 막 두께, 및 프로파일은 방식 또는 제조 공정을 정밀 조정(fine-tune)하기 위해 시스템 사용자에게 의해 사용될 수 있다. 대안으로써, 회귀 결과는 제조 공정의 변수들 및/또는 물리적 제어들을 조정하기 위해 사용될 수 있다. 역시 위에서 논의된 바와 같이, 선택되는 프로파일 모델 및 최적화 파라미터들은 시뮬레이션된 신호들 및 관련된 프로파일 데이터의 라이브러리를 생성하기 위해 사용될 수 있다.

[0107] 도 15는 예시적 실시예에서 데이터 저장 레이아웃의 저장소 레이아웃이다. 선택된 모델 및 파라미터들에 대한

데이터 저장 포맷(1200)은 제조 공정, 웨이퍼 지점, 구조물, 및 광학 계측 장치 식별 데이터(1210)을 포함한다. 데이터 저장 포맷(1200)은 하나 이상의 데이터 세그먼트들을 포함할 수 있고, 각각의 데이터 세그먼트는 종료 기준(1220), 선택된 모델 식별(1230) 및 최적화 파라미터 선택 기준(1240), 및 선택된 최적화 파라미터들(1, 2, ..., 1250)을 포함한다. 예를 들어, 모델 식별은 얇은 트렌치 분리 단일 사다리꼴 모델(Shallow Trench Isolation Single Trapezoid Model)일 수 있고, 종료 기준은 1.5의 비용 함수 및 0.995의 GOF를 포함할 수 있고, 최적화 파라미터 선택 기준은 0.50의 상관 계수 및 0.01 SSE의 감도일 수 있으며, 선택된 최적화 파라미터들은 레지스트 상측 CD, 레지스트 하측 CD, 레지스트 두께, 반사 방지 코팅 두께, 및 질화 실리콘 두께일 수 있다.

[0108] 여기서 설명된 예시적 실시예들의 기능적 구현은 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어, 및/또는 다른 이용 가능한 기능적 컴포넌트 또는 빌딩 블록으로 등가로 구현될 수 있음이 고찰된다. 다른 변형들 및 실시예들이 언급된 개시 내용의 관점에서 가능하므로, 본 발명의 범위는 상세한 설명에 의해 제한되지 않음이 의도된다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 웨이퍼 주기적 구조물들을 벗어난 회절 신호들을 측정하기 위해 광학 계측법의 사용을 도시하는 아키텍처 다이어그램.

[0010] 도 2는 집적 회로 구조물들의 광학 계측을 위한 모델 및 파라미터 선택에 대한 전체적 프로세스의 예시적 흐름도.

[0011] 도 3은 상기 웨이퍼 구조물의 특성을 프로세싱하기 위한 예시적 흐름도.

[0012] 도 4는 상기 웨이퍼 구조물의 특성을 모델 및 관련된 파라미터들로 변환하는 예시적 흐름도.

[0013] 도 5는 하나 이상의 선택 기준에 기초하여 상기 모델의 파라미터들을 선택하기 위한 예시적 흐름도.

[0014] 도 6a는 예시적 실시예에서 모델 및 파라미터 선택을 위한 시스템을 설명하는 아키텍처 다이어그램.

[0015] 도 6b는 예시적 실시예에서 계측 모델 최적화기의 아키텍처 다이어그램.

[0016] 도 6c는 웨이퍼 제조 클러스터와 일체 형성된 계측 모델 최적화기의 아키텍처 다이어그램.

[0017] 도 7은 예시적 실시예에서 최적 엔진들의 사용을 설명하는 아키텍처 다이어그램.

[0018] 도 8은 웨이퍼 구조물의 프로파일의 기하학적 모델의 예시적 아키텍처 다이어그램.

[0019] 도 9a는 웨이퍼 구조물의 프로파일 모델을 생성하기 위해 사용되는 예시적 기하학적 형상.

[0020] 도 9b는 웨이퍼 구조물의 프로파일 모델을 생성하기 위해 사용되는 기하학적 형상들의 예시적 조합.

[0021] 도 9c는 웨이퍼 구조물의 프로파일 모델에 따라 기하학적 형상들의 조합을 사용하는 예시적 복합 구조물.

[0022] 도 10a는 직사각형 및 하나의 사다리꼴을 사용하는 웨이퍼 구조물 모델의 예시적 다이어그램.

[0023] 도 10b는 직사각형 및 하나의 사다리꼴을 사용하는 웨이퍼 구조물 모델의 두 개의 크게 상관된 파라미터들의 예시적 반사율 그래프.

[0024] 도 10c는 직사각형 및 하나의 사다리꼴을 사용하는 모델의 각각의 파라미터의 적합도(GOF: goodness of fit) 및 신뢰 구간을 도시하는 테이블.

[0025] 도 11a는 직사각형 및 두개의 사다리꼴을 사용하는 웨이퍼 구조물 모델의 예시적 다이어그램.

[0026] 도 11b는 직사각형 및 두개의 사다리꼴을 사용하는 웨이퍼 구조물 모델의 두 개의 크게 상관된 파라미터들의 예시적 반사율 그래프.

[0027] 도 11c는 직사각형 및 두개의 사다리꼴을 사용하는 모델의 각각의 파라미터의 적합도 및 신뢰 구간을 도시하는 테이블.

[0028] 도 12a는 웨이퍼 구조물 프로파일 모델의 파라미터들의 상관 계수들의 예시적 테이블.

[0029] 도 12b는 완전한 상관을 갖는, 프로파일 모델의 두 개의 파라미터들의 예시적 반사율 차이 그래프.

[0030] 도 13a 내지 도 13d는 웨이퍼 구조물들 모델링하기 위해 하나 내지 네 개의 사다리꼴들을 사용하는 예시적 프로

파일 모델들.

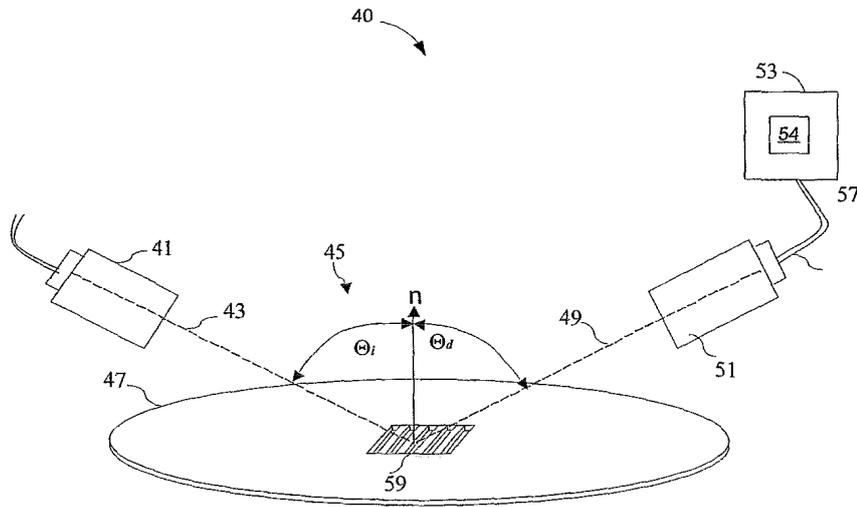
[0031] 도 13e는 프로파일 모델에서 사용된 사다리꼴의 개수 함수로서 측정된 신호 대 시뮬레이션된 신호의 비용 함수 및 GOF의 예시적 그래프.

[0032] 도 14는 프로파일 모델에서 사용된 파라미터들의 개수 함수로서 측정된 신호 대 시뮬레이션된 신호의 비용 함수 및 GOF의 예시적 그래프.

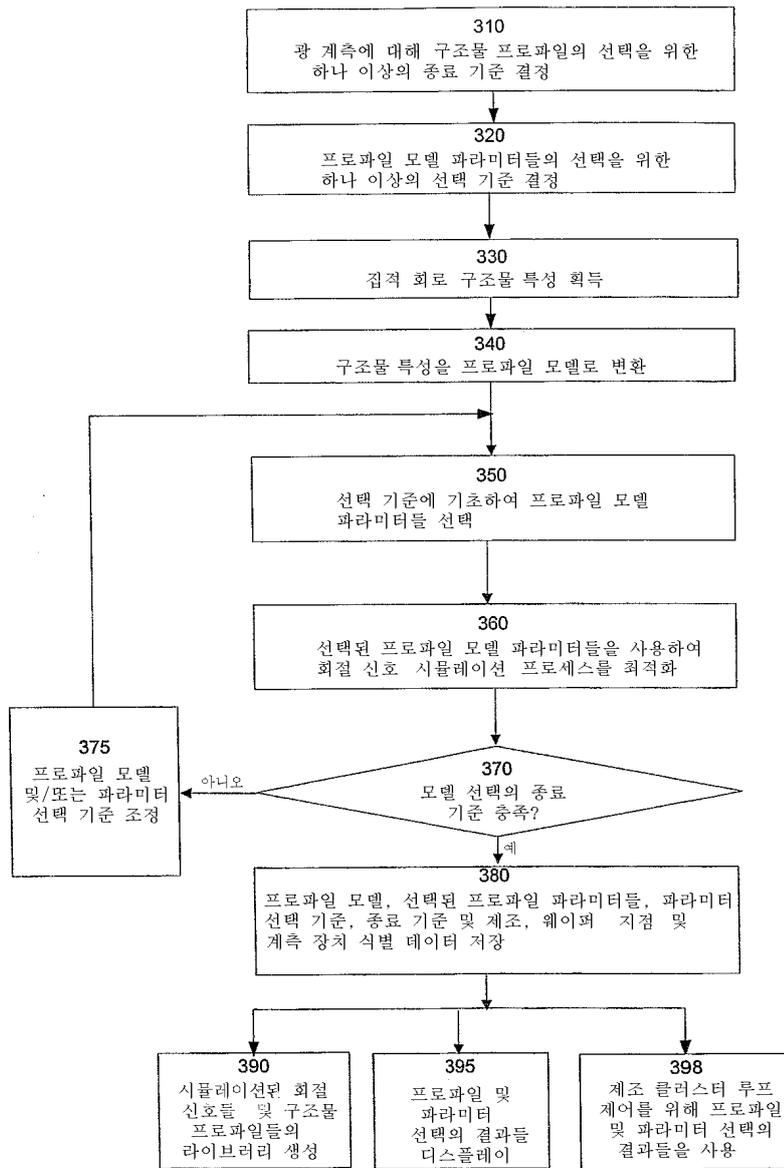
[0033] 도 15는 예시적 실시예에서 모델 및 파라미터 선택 데이터 저장 레이아웃.

도면

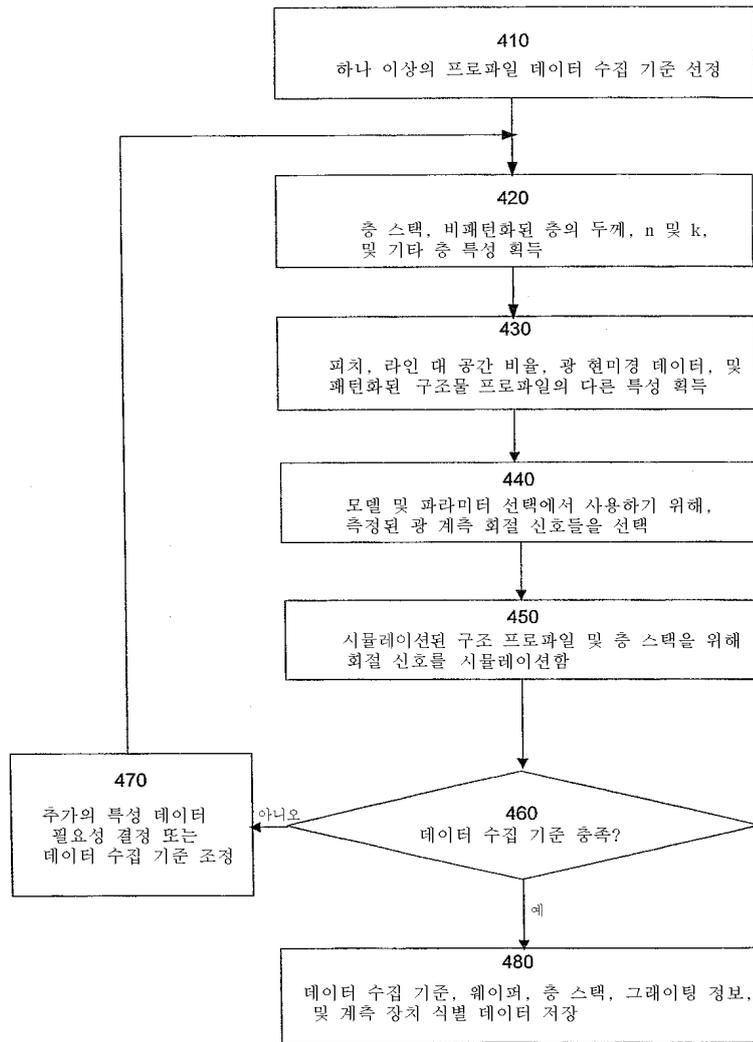
도면1



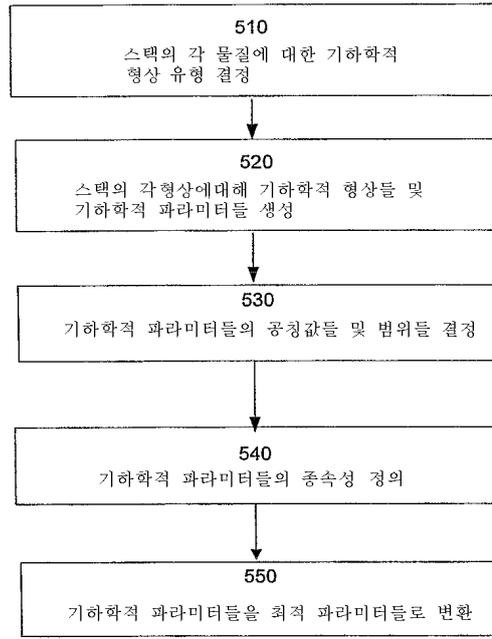
도면2



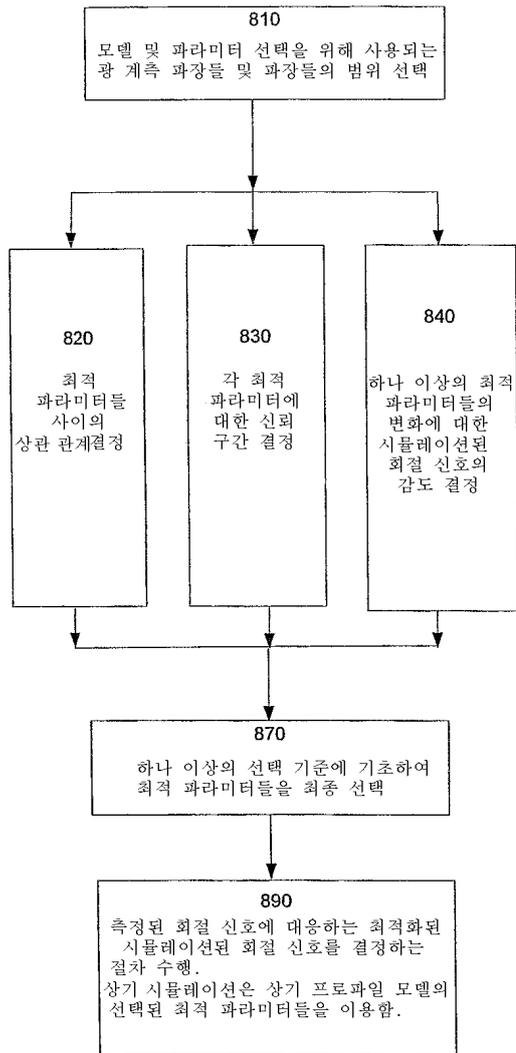
도면3



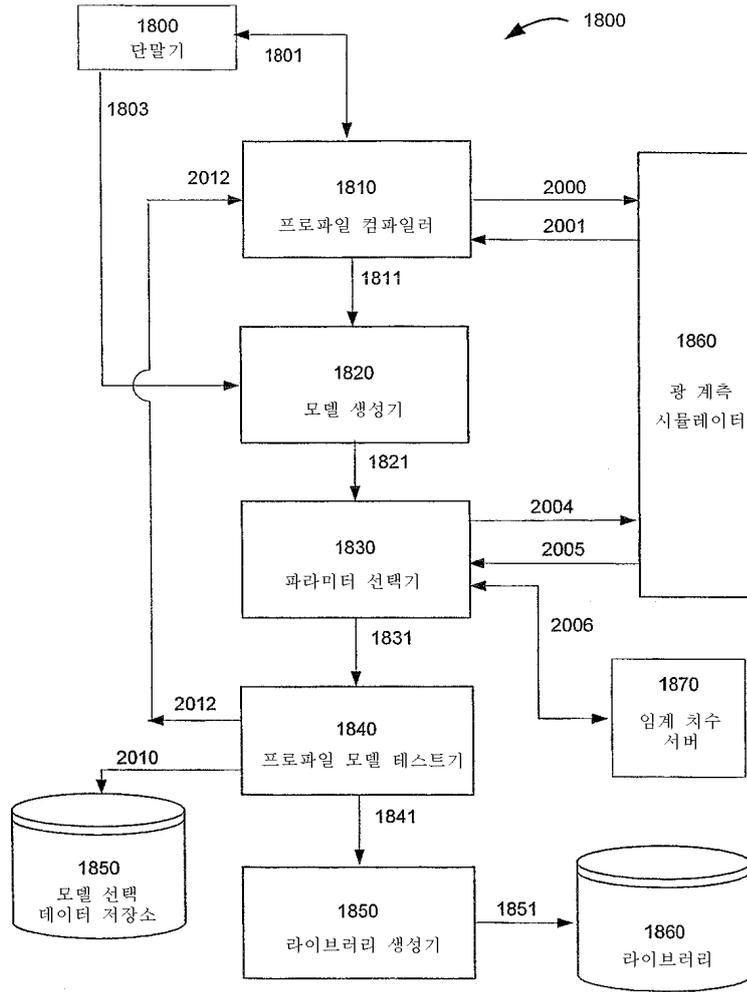
도면4



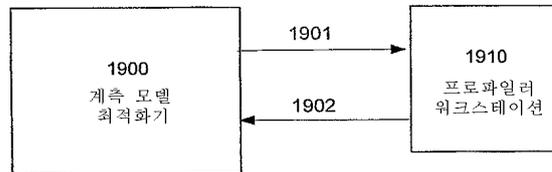
도면5



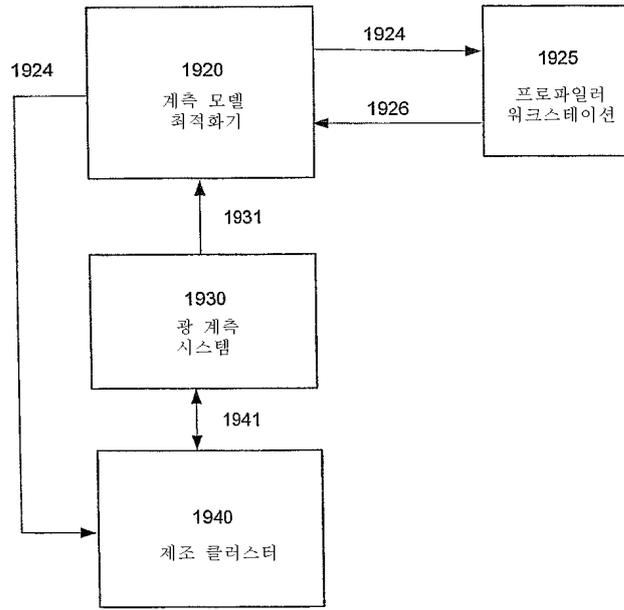
도면6a



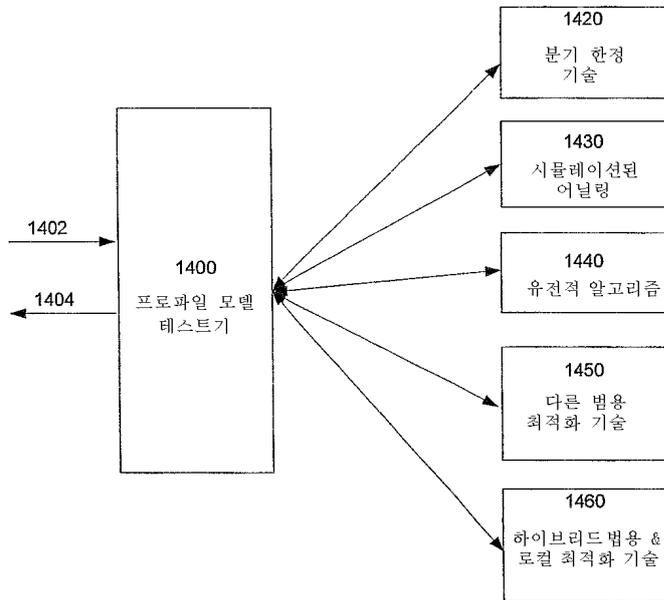
도면6b



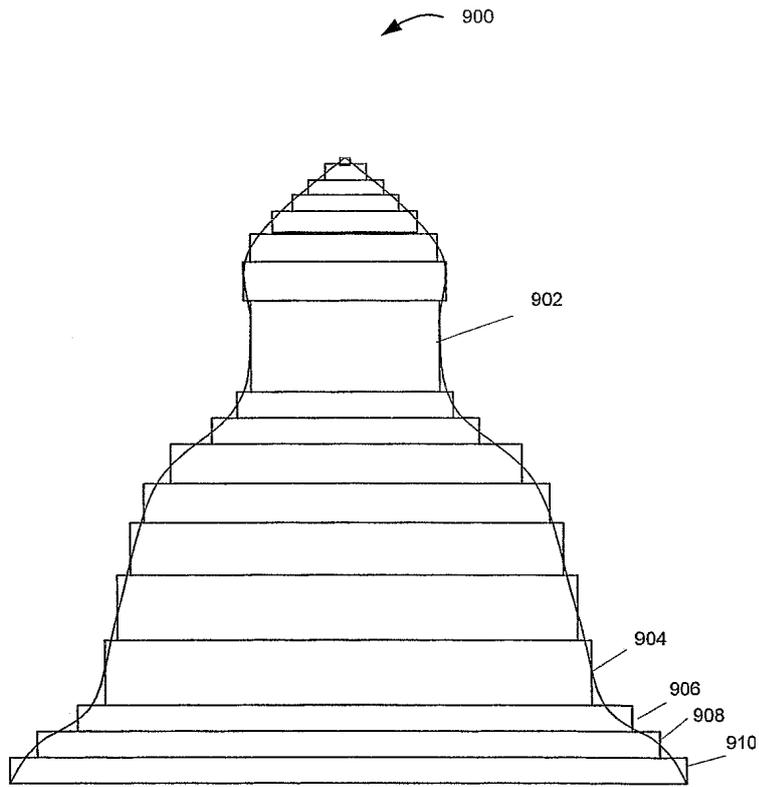
도면6c



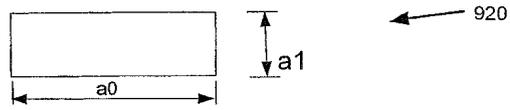
도면7



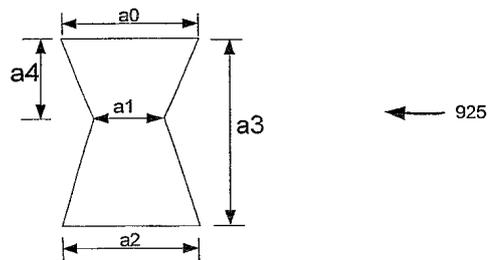
도면8



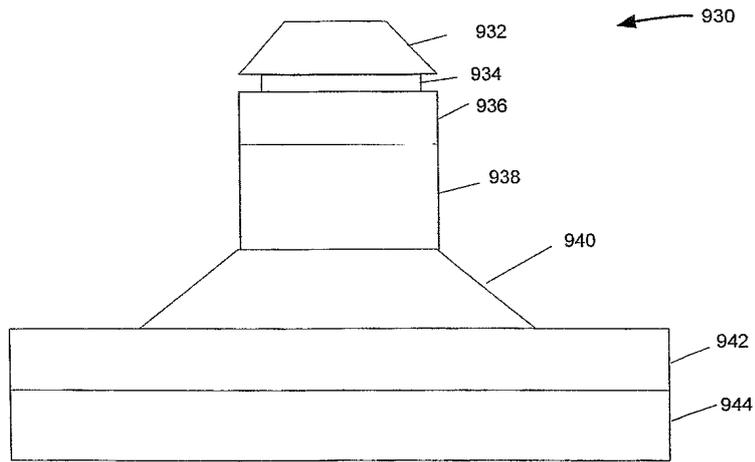
도면9a



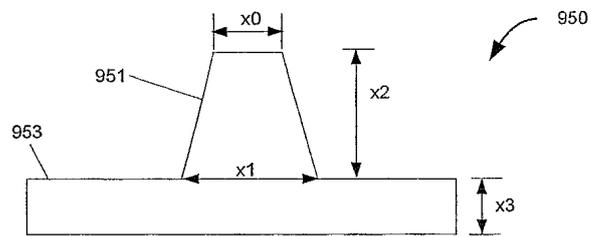
도면9b



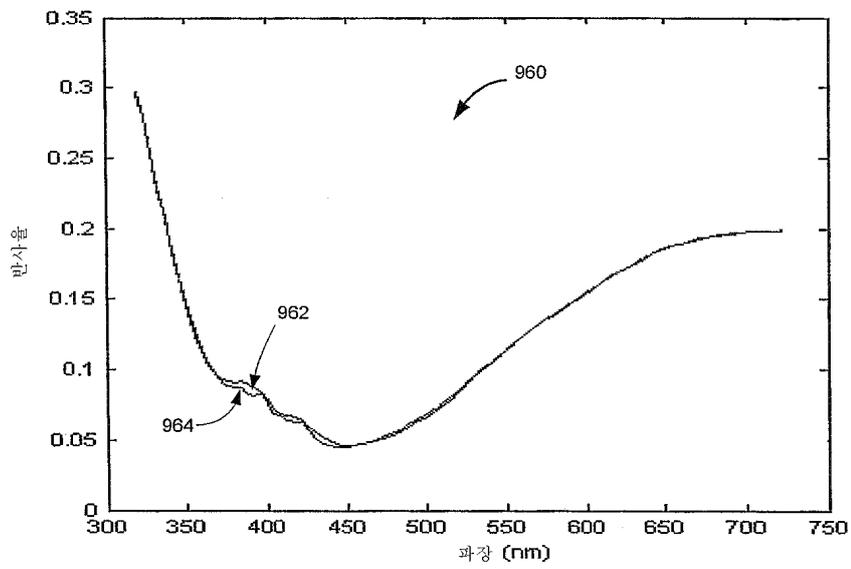
도면9c



도면10a



도면10b



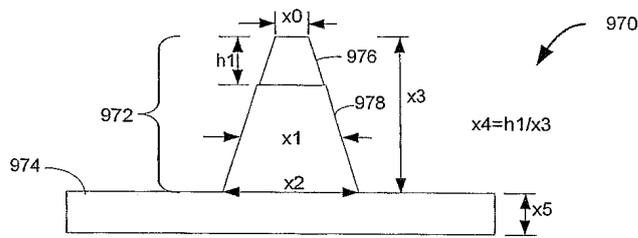
도면10c

3 시그마 신뢰 구간			
X0	X1	X2	X3
1.99	1.95	0.89	0.30

GOF = 0.9990

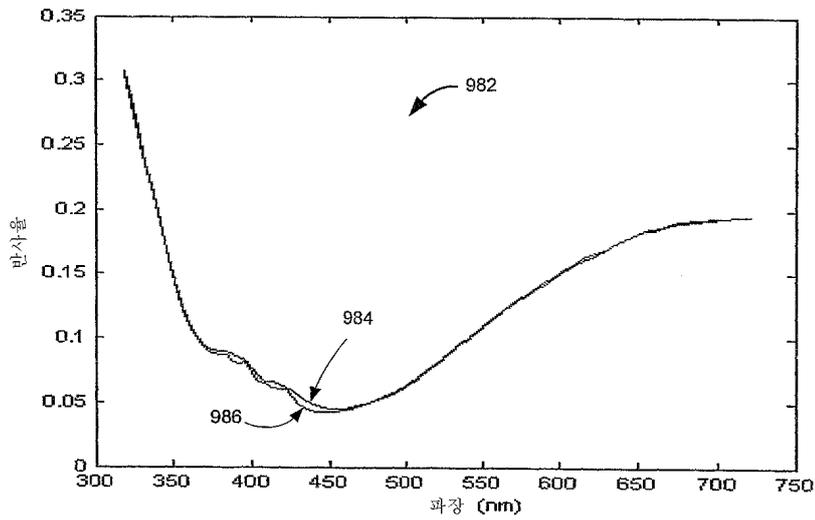
965

도면11a



970

도면11b



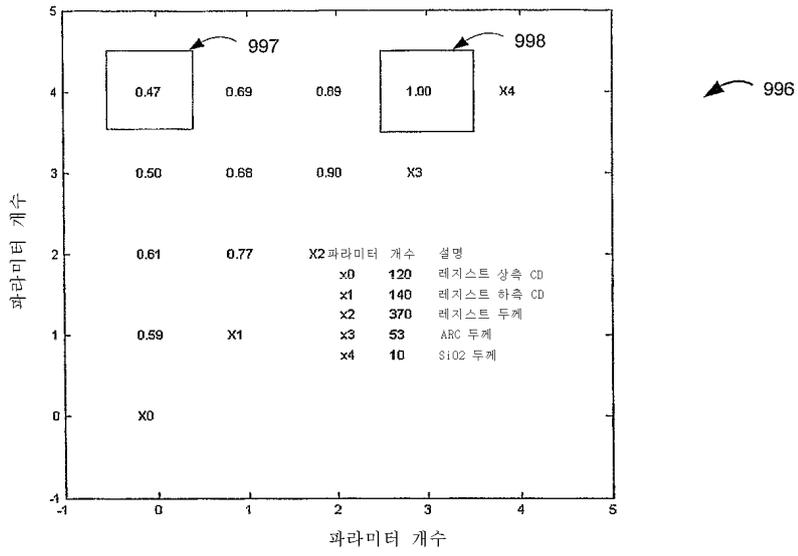
도면11c

3 시그마 신뢰 구간					
X0	X1	X2	X3	X4	X5
6.81	17.92	2.54	0.55	17.26	0.09

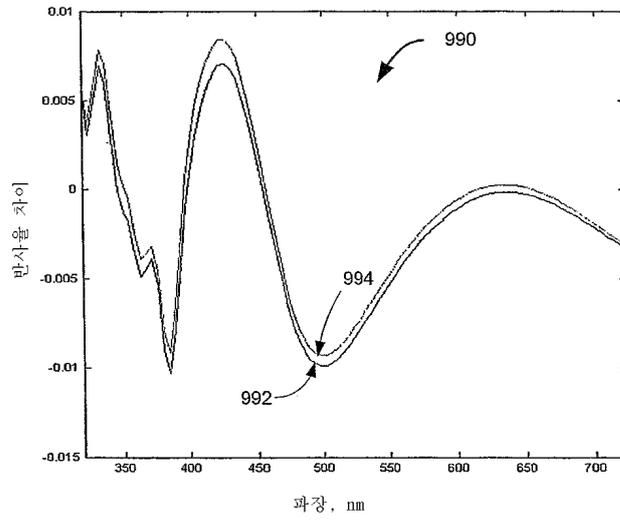
GOF = 0.9994

988

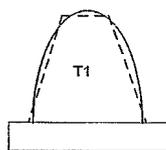
도면12a



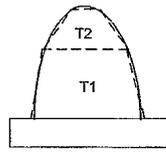
도면12b



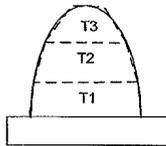
도면13a



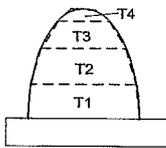
도면13b



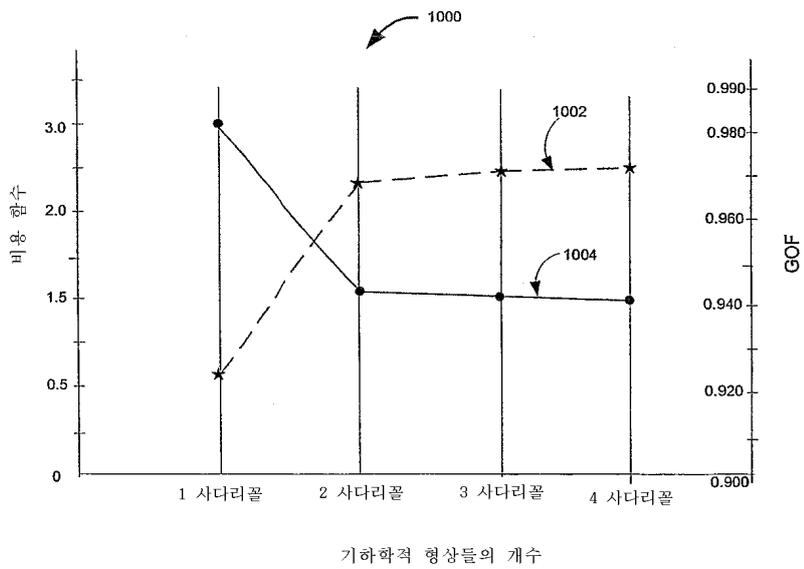
도면13c



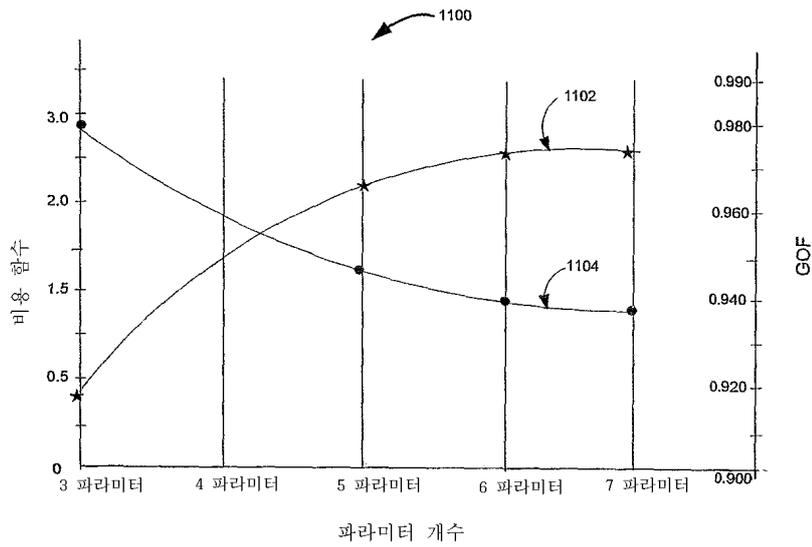
도면13d



도면13e



도면14



도면15

