(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0025487
(43) 공개일자 2014년03월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/66 (2006.01) *H01L 21/304* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-7030987
(22) 출원일자(국제) 2012년04월18일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2013년11월21일
(86) 국제출원번호 PCT/US2012/034109
(87) 국제공개번호 WO 2012/145418
국제공개일자 2012년10월26일
(30) 우선권주장
13/091,965 2011년04월21일 미국(US)

(71) 출원인
어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050
(72) 발명자
데이비드, 제프리 드루
미국 95125 캘리포니아주 산 호세 마르케스 애비뉴 2208
(74) 대리인
백만기, 양영준

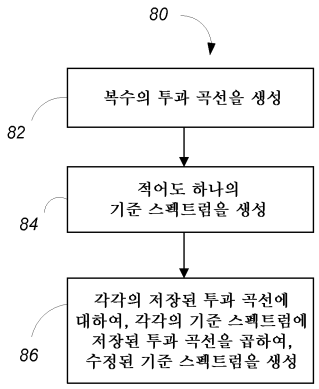
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 **환경적 영향으로 변동들을 갖는 기준 스펙트럼들의 구성**

(57) 요 약

기준 스펙트럼들의 라이브러리를 생성하는 방법은 적어도 하나의 기준 스펙트럼을 저장하는 단계; 복수의 상이한 투과 곡선을 저장하는 단계; 및 복수의 상이한 투과 곡선 중의 적어도 2개의 투과 곡선에 대하여, 기준 스펙트럼 및 투과 곡선으로부터 수정된 기준 스펙트럼을 계산하여, 복수의 수정된 기준 스펙트럼을 생성하는 단계를 포함한다. 투과 곡선들은 기판 표면 이전의 광학 경로 내의 컴포넌트들에서의 변동들로 인해 도입되는 스펙트럼에 대한 왜곡을 표현한다.

대 표 도 - 도5a



특허청구의 범위

청구항 1

기준 스펙트럼들의 라이브러리를 생성하는 방법으로서,

적어도 하나의 기준 스펙트럼을 저장하는 단계;

복수의 상이한 투과 곡선(transmission curves)을 저장하는 단계 - 상기 투과 곡선들은 기판 표면 이전의 광학 경로 내의 컴포넌트들에서의 변동들(variations)로 인해 유도되는 스펙트럼에 대한 왜곡을 표현함 - ; 및

상기 복수의 상이한 투과 곡선 중의 적어도 2개의 투과 곡선에 대하여, 상기 기준 스펙트럼 및 상기 투과 곡선으로부터 수정된 기준 스펙트럼을 계산하여, 복수의 수정된 기준 스펙트럼을 생성하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 상이한 투과 곡선들은 하나 이상의 윈도우의 투과(transmission)에 있어서의 변동을 표현하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 상이한 투과 곡선들은 연마 패드의 윈도우의 상이한 에이지들(ages)에서의 스펙트럼에 대한 왜곡을 표현하는 방법.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 상이한 투과 곡선들은 상이한 윈도우들을 표현하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 상이한 투과 곡선들은 광원으로부터의 전구의 상이한 에이지들에서의 스펙트럼에 대한 왜곡을 표현하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 복수의 상이한 투과 곡선을 생성하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 복수의 상이한 투과 곡선을 생성하는 단계는, 인-시튜 광학 모니터링 시스템(in-situ optical monitoring system)을 이용하여 테스트 기판으로부터의 베이스 스펙트럼(base spectrum)을 측정하고, 상이한 시간들에서 상기 인-시튜 광학 모니터링 시스템을 이용하여 동일한 테스트 기판 또는 동일 재료의 다른 테스트 기판으로부터 하나 이상의 추가 스펙트럼을 측정하고, 상기 베이스 스펙트럼 및 상기 하나 이상의 추가 스펙트럼으로부터 상기 투과 곡선들을 계산하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 투과 곡선들을 계산하는 단계는 상기 추가 스펙트럼이 분자에 있고 상기 베이스 스펙트럼이 분모에 있는 나눗셈 연산을 포함하는 방법.

청구항 9

제7항에 있어서, 상기 베이스 스펙트럼과 동일한 에이지의 윈도우에서 제1 다크 스펙트럼(dark spectrum)을 측정하고, 상기 추가 스펙트럼과 동일한 에이지의 윈도우에서 제2 다크 스펙트럼을 측정하는 단계를 더 포함하며, 상기 투과 곡선들을 계산하는 단계는

$$T = \frac{A - D_A}{B - D_B}$$

를 계산하는 단계를 포함하고,

A는 상기 추가 스펙트럼이고, D_A는 상기 제2 다크 스펙트럼이고, B는 상기 베이스 스펙트럼이고, D_B는 상기 제1 다크 스펙트럼인 방법.

청구항 10

제7항에 있어서, 상기 테스트 기판은 베어 실리콘 웨이퍼(bare silicon wafer)를 포함하는 방법.

청구항 11

제6항에 있어서, 상기 복수의 상이한 투과 곡선을 생성하는 단계는 광학 모델로부터 상기 투과 곡선들을 계산하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 수정된 기준 스펙트럼을 계산하는 단계는 상기 기준 스펙트럼에 상기 투과 곡선을 곱하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 투과 곡선은 파장의 함수로서 0과 1 사이의 비(ratio)로서 저장되는 방법.

청구항 14

연마를 제어하는 방법으로서,

제1항의 방법에 따라 기준 스펙트럼들의 라이브러리를 생성하는 단계;

기판을 연마하는 단계;

연마 동안 상기 기판으로부터의 광의 스펙트럼들의 시퀀스를 측정하는 단계;

상기 스펙트럼들의 시퀀스의 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여, 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼(best matching reference spectrum)을 찾아서, 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼들의 시퀀스를 생성하는 단계; 및

상기 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼들의 시퀀스에 기초하여 연마율에 대한 조절 또는 연마 종료점 중 적어도 하나를 결정하는 단계

를 포함하는 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 명세서는 예를 들어 기판의 화학적 기계적 연마 동안의 광학 모니터링에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 집적 회로는 통상적으로 실리콘 웨이퍼 상에 전도체, 반도체 또는 절연체 층들을 순차적으로 퇴적(deposition)함으로써 기판 상에 형성된다. 한 제조 단계는 비-평면 표면(non-planar surface) 위에 필러층(filler layer)을 퇴적하고 그 필러층을 평탄화하는 것을 포함한다. 특정 응용들에 있어서, 필러층은 패터닝된 층의 최상부면이 노출될 때까지 평탄화된다. 예를 들어, 전도성 필러층이 패터닝된 절연체 층 상에 퇴적되어, 절연체 층 내의 트렌치 또는 홀을 채울 수 있다. 평탄화 후에, 절연체 층의 상승된 패턴 사이에 남아있는 전도체 층의 부분들은, 기판 상의 박막 회로들 사이의 전도성 경로를 제공하는 비아, 플러그 및 라인을 형성한다. 산화물 연마와 같은 다른 응용에 있어서, 필러층은 비-평면 표면 위에 미리 결정된 두께가 남을 때까지 평탄화된다. 추가로, 통상적으로 포토리소그래피를 위해서는 기판 표면의 평탄화가 요구된다.

[0003] 화학적 기계적 연마(CMP: chemical mechanical polishing)는 일반적으로 인정되는 평탄화 방법 중 하나이다. 이 평탄화 방법은 통상적으로 기판이 캐리어 헤드 상에 탑재될 것을 요구한다. 기판의 노출된 표면은 통상적으로 회전 연마 패드에 맞닿아 놓인다(placed against a rotating polishing pad). 캐리어 헤드는 기판 상에 제어가능한 로드를 제공하여, 기판을 연마 패드 쪽으로 민다(push the substrate against the polishing pad). 통상적으로, 연마 입자들(abrasive particles)을 갖는 슬러리와 같은 연마 액체(polishing liquid)가 연마 패드의 표면에 공급된다.

[0004] CMP에 있어서의 한가지 문제점은 연마 프로세스가 완료되었는지의 여부, 즉 기판 층이 원하는 평탄도(flatness) 또는 두께로까지 평탄화되었는지의 여부, 또는 원하는 양의 재료가 제거된 시기를 판정하는 것이다. 기판 층의 초기 두께, 슬러리 조성물, 연마 패드 상태, 연마 패드와 기판 간의 상대 속도, 및 기판 상의 로드의 변동(variation)은 재료 제거율에 변동을 유발할 수 있다. 이러한 변동은 연마 종료점에 도달하는 데에 필요한 시간의 변동을 야기한다. 그러므로, 연마 종료점을 단지 연마 시간에 대한 함수로서 결정하는 것이 가능하지 않을 수 있다.

[0005] 일부 시스템들에서, 기판은 연마 동안 광학적으로 인-시튜 모니터링, 예를 들어 연마 패드 내의 윈도우를 통해 모니터링된다. 그러나, 기존의 광학 모니터링 기법들은 반도체 장치 제조자들의 증가하는 요구를 만족시키지 못할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 소정의 광학 모니터링 프로세스에서, 예를 들어 연마 프로세스 동안 인-시튜(in-situ) 측정된 스펙트럼이 기준 스펙트럼들(reference spectra)의 라이브러리와 비교되어, 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼(best matching reference spectrum)을 찾는다. 잠재적인 문제점 중 하나는 기판 표면 이전의 광학 경로 에서의 하나 이상의 컴포넌트의 광학 속성이다. 예를 들어, 연마 패드 내의 윈도우의 투과(transmission)는 패드가 노화함에 따라 변화할 수 있고, 광학 속성은 패드마다 다를 수 있다. 광학 모니터링 시스템은 윈도우를 통과하는 광을 수신하기 때문에, 이러한 변화는 (예를 들어, 광학 모니터링 시스템이 "새로운" 윈도우에 대해 측정한 것에 비해) 스펙트럼 내의 왜곡을 야기한다. 이러한 왜곡은 종료점 검출 시스템의 정확성을 감소시킬 수 있다. 뿐만 아니라, 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼이 라이브러리로부터 선택되는 경우, (예를 들어, "새로운" 윈도우에 대해서는 올바른 기준 스펙트럼이 선택될 것이라는 가정 하에서) 왜곡은 올바르지 않은 기준 스펙트럼이 최상의 매칭(best match)으로 선택될 가능성을 증가시킨다. 다른 예로서, 광원 내의 전구(bulb)의 스펙트럼 강도는 전구가 노화함에 따라 변화할 수 있고, 또는 전구마다 다를 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기법 중 하나는 기판 표면 이전의 광학 경로 내의 컴포넌트들의 변동에 의해 유발되는 왜곡을 통합한 기준 스펙트럼들의 하나 이상의 라이브러리를 구축하는 것이다. 예를 들어, 라이브러리는 복수의 기준 스펙트럼을 포함할 수 있으며, 상이한 기준 스펙트럼들은 상이한 양의 왜곡을 포함한다.

과제의 해결 수단

[0007] 일 양태에서, 기준 스펙트럼들의 라이브러리를 생성하는 방법은 적어도 하나의 기준 스펙트럼을 저장하는 단계; 복수의 상이한 투과 곡선(transmission curves)을 저장하는 단계; 및 복수의 상이한 투과 곡선 중의 적어도 2개의 투과 곡선에 대하여, 기준 스펙트럼 및 투과 곡선으로부터 수정된 기준 스펙트럼을 계산하여, 복수의 수정된 기준 스펙트럼을 생성하는 단계를 포함한다. 투과 곡선들은 기판 표면 이전의 광학 경로 내의 컴포넌트들에서의 변동들로 인해 유도되는 스펙트럼에 대한 왜곡을 표현한다.

[0008] 구현들은 이하의 특징들 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 상이한 투과 곡선들은 상이한 윈도우들 간의 투과에 있어서의 변동 또는 연마 패드의 윈도우의 상이한 에이지들(ages)에서의 스펙트럼에 대한 왜곡과 같은 하나 이상의 윈도우의 투과에 있어서의 변동을 표현할 수 있다. 상이한 투과 곡선들은 광원으로부터의 전구의 상이한 에이지들에서의 스펙트럼에 대한 왜곡을 표현할 수 있다. 복수의 상이한 투과 곡선으로부터 적어도 2개의 투과 곡선을 식별하는 사용자 입력이 수신될 수 있다. 복수의 상이한 투과 곡선이 생성될 수 있다. 복수의 상이한 투과 곡선을 생성하는 단계는, 인-시튜 광학 모니터링 시스템(in-situ optical monitoring system)을 이용하여 테스트 기판으로부터의 베이스 스펙트럼(base spectrum)을 측정하고, 상이한 시간들에서 인-시튜 광학 모니터링 시스템을 이용하여 동일한 테스트 기판 또는 동일 재료의 다른 테스트 기판으로부터의 하나 이상의 추가 스펙트럼을 측정하고, 베이스 스펙트럼 및 하나 이상의 추가 스펙트럼으로부터 투과 곡선들을 계산하는 단계를 포함할

수 있다. 상이한 시간들은 테스트 기판과 인-시튜 광학 모니터링 시스템의 광원 또는 검출기 사이의 광학 경로 내의 연마 패드의 윈도우의 상이한 에이지들일 수 있다. 상이한 시간들은 인-시튜 광학 모니터링 시스템의 광원의 전구의 상이한 에이지들일 수 있다. 투과 곡선들을 계산하는 단계는 추가 스펙트럼이 분자에 있고 베이스 스펙트럼이 분모에 있는 나눗셈 연산을 포함할 수 있다. 베이스 스펙트럼과 동일한 윈도우 에이지에서의 제1 다크 스펙트럼(dark spectrum)과, 추가 스펙트럼과 동일한 윈도우 에이지에서의 제2 다크 스펙트럼이 측정될 수 있다. 투과 곡선들을 계산하는 단계는 $T=(A-D_A)/(B-D_B)$를 계산하는 단계를 포함할 수 있고, 여기에서 A는 추가 스펙트럼이고, D_A는 제2 다크 스펙트럼이고, B는 베이스 스펙트럼이고, D_B는 제1 다크 스펙트럼이다. 테스트 기판은 베어 실리콘 웨이퍼(bare silicon wafer)일 수 있다. 복수의 상이한 투과 곡선을 생성하는 단계는 광학 모델로부터 투과 곡선들을 계산하는 단계를 포함할 수 있다. 수정된 기준 스펙트럼을 계산하는 단계는 기준 스펙트럼에 투과 곡선을 곱하는 단계를 포함할 수 있다. 투과 곡선은 파장의 함수로서 0과 1 사이의 비(ratio)로서 저장될 수 있다. 적어도 하나의 기준 스펙트럼은 예를 들어 광학 모니터링 시스템을 이용하여 연마 동작 동안 테스트 기판을 측정하거나, 광학 모델로부터 기준 스펙트럼을 계산하는 것에 의해 생성될 수 있다.

[0009] 다른 양태에서, 연마를 제어하는 방법은, 앞의 방법에 따라 기준 스펙트럼들의 라이브러리를 생성하는 단계; 기판을 연마하는 단계; 연마 동안 기판으로부터의 광의 스펙트럼들의 시퀀스를 측정하는 단계; 스펙트럼들의 시퀀스의 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여, 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼을 찾아서, 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼들의 시퀀스를 생성하는 단계; 및 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼들의 시퀀스에 기초하여 연마율에 대한 조절 또는 연마 종료점 중 적어도 하나를 결정하는 단계를 포함한다.

[0010] 다른 양태에서, 머신 판독가능한 저장 장치 내에 유형으로(tangibly) 구현되는 컴퓨터 프로그램 제품은 방법을 수행하기 위한 명령어들을 포함한다.

발명의 효과

[0011] 구현들은 이하의 이점들 중 하나 이상을 선택적으로 포함할 수 있다. 윈도우가 광에 영향을 미칠 가능성이 있는 범위에 걸친 기준 스펙트럼들의 라이브러리는 광학 모델로부터, 또는 경험적으로(empirically) 수집된 스펙트럼들로부터 계산될 수 있다. 결과적인 기준 스펙트럼들의 라이브러리는 윈도우의 투과에 변동이 있을 때 매칭 알고리즘(matching algorithm)이 신뢰가능하게 유지될 수 있게 한다. 따라서, 원하는 연마 종료점을 검출하기 위한 종료점 시스템의 신뢰도가 개선될 수 있고, 웨이퍼-내 두께 비균일성(within-wafer thickness non-uniformity, WIWNU) 및 웨이퍼-간 두께 비균일성(wafer-to-wafer thickness non-uniformity, WTWNU)이 감소될 수 있다.

[0012] 하나 이상의 실시예의 상세가 이하의 첨부 도면 및 설명에 제시된다. 다른 특징, 양태 및 이점은 설명, 도면 및 청구항들로부터 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 연마 패드의 노화에 따른 측정된 스펙트럼들에서의 왜곡을 도시한다.

도 2는 연마 장치의 일례의 개략적 단면도를 도시한다.

도 3은 복수의 구역을 갖는 기판의 개략적인 상부도를 도시한다.

도 4는 연마 패드의 상부도를 도시하며, 기판 상에서 인-시튜 측정이 행해지는 위치들을 보여준다.

도 5a는 기준 스펙트럼들을 생성하는 방법의 흐름도이다.

도 5b는 투과 곡선들을 생성하는 방법의 흐름도이다.

도 6a는 인-시튜 광학 모니터링 시스템으로부터의 측정된 스펙트럼을 도시한다.

도 6b는 기준 스펙트럼들의 라이브러리를 도시한다.

도 7은 인덱스 트레이스(index trace)를 도시한다.

도 8은 위에 놓인 층의 소거(clearance)가 검출된 후에 수집된 인덱스 값들에 피팅되는 선형 함수를 갖는 인덱스 트레이스를 도시한다.

도 9는 기판을 제조하고 연마 종료점을 검출하기 위한 예시적인 프로세스의 흐름도이다.

도 10은 복수의 인덱스 트레이스를 도시한다.

도 11은 기준 구역의 인덱스 트레이스가 타겟 인덱스에 도달한 시간에 기초하여 복수의 조정가능한 구역에 대한 복수의 원하는 기울기를 계산하는 것을 도시한다.

도 12는 기준 구역의 인덱스 트레이스가 타겟 인덱스에 도달한 시간에 기초하여 종료점을 계산하는 것을 도시한다.

도 13은 복수의 구역이 타겟 시간에서 거의 동일한 두께를 갖도록 복수의 기판 내의 복수의 구역의 연마율을 조절하는 예시적인 프로세스의 흐름도이다.

다양한 도면들 내의 유사한 참조 번호 및 명칭은 유사한 구성요소를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 광학 모니터링 기법 중 하나는 연마 동안 기판으로부터 반사된 광의 스펙트럼들을 측정하는 것이다. 이들 측정된 스펙트럼들은 연마 종료점 또는 연마율에 대한 조절을 결정하기 위해 이용될 수 있는 값들의 시퀀스를 생성하는 데에 이용될 수 있다. 일부 구현들에서, 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여 라이브러리로부터의 매칭되는 기준 스펙트럼이 선택되고, 각각의 기준 스펙트럼에 연관된 값으로부터 값들의 시퀀스가 생성된다.

[0015] 위에서 언급된 바와 같이, 연마 패드 내의 윈도우의 투과는 패드가 노화함에 따라 변화할 수 있고, 투과는 패드마다 다를 수 있다. 투과의 변화는 파장의 함수로서 일정하지 않다. 일반적으로, 연마 패드가 노화함에 따라, 광의 투과는 짧은 파장들에 관해서 감소하며, 예를 들면 윈도우가 노화하고 마모되거나 변형됨에 따라, 윈도우는 청색 광을 덜 투과시키게 된다. 임의의 특정한 이론에 한정되지 않고, 투과에서의 변화는 패드 윈도우를 UV 광에 노출시키는 것에 의해, 높은 온도에 의해, 기판 또는 연마 잔해로 인한 스크래치에 의해, 또는 윈도우와 기판 사이에 고여있는 연마 액체의 양을 증가시키는 윈도우의 기계적 변형에 의해 유발될 수 있다.

[0016] 더욱이, 광학 모니터링 시스템 내의 광원, 예를 들어 제논 전구(xenon bulb)의 노화는 광학 모니터링 시스템에 의해 측정되는 스펙트럼에서의 변화를 유발할 수 있다. 예를 들어, 전구가 노화함에 따라, 전구는 더 적은 청색 광을 방출할 수 있다.

[0017] 기판 표면 이전의 광학 경로 내의 컴포넌트들의 변동에 의해 유발되는 왜곡을 통합한 기준 스펙트럼들의 하나 이상의 라이브러리가 구성되고 저장될 수 있다. "기판 표면 이전의(before the substrate surface)" 광학 경로는 광학 모니터링 시스템의 광원, 검출기, 및 기판 표면과 광원 및/또는 검출기 사이의 컴포넌트들, 예를 들어 연마 패드 내의 윈도우를 포함하지만, 기판 표면 자체를 반드시 포함하지는 않는다.

[0018] 도 1은 측정된 스펙트럼 내의 왜곡을 파장의 함수로서, 소정의 사용 기간 후의 측정 강도와 "새로운" 윈도우(예를 들어, 미사용이거나 1분 미만으로 사용됨)에 대한 강도의 비에 관하여 개략적으로 도시한 그래프(50)이다. 곡선(52a)은 패드를 5분 이용한 후의 비를 도시하고, 곡선(52b)은 패드를 4시간 이용한 후의 비를 도시하고, 곡선(52c)은 패드를 8시간 이용한 후의 비를 도시하고, 곡선(52d)은 패드를 12시간 이용한 후의 비를 도시하고, 곡선(52e)은 패드를 16시간 이용한 후의 비를 도시한다.

[0019] 파장의 함수로서의 강도의 변화는 올바르지 않은 기준 스펙트럼이 최상의 매칭(best match)으로서 선택될 가능성을 증가시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기법 중 하나는 연마 패드가 노화됨에 따라 누적되는 왜곡을 통합한 기준 스펙트럼들의 라이브러리를 구축하는 것이다. 예를 들어, 하나의 라이브러리가 복수의 기준 스펙트럼을 포함할 수 있고, 상이한 기준 스펙트럼들이 상이한 양의 왜곡을 통합하며, 다르게는 복수의 상이한 라이브러리가 상이한 양의 왜곡을 통합한 기준 스펙트럼들을 포함할 수 있다.

[0020] 기판은 반도체 층 상에 배치된 단일 유전체 층처럼 단순할 수도 있고, 현저히 더 복잡한 층 스택을 가질 수도 있다. 예를 들어, 기판은 제1 층, 및 제1 층 위에 배치된 제2 층을 포함할 수 있다. 제1 층은 유전체, 예컨대 이산화 규소와 같은 산화물, 또는 탄소 도핑된 이산화 규소와 같은 로우 k 재료, 예컨대 Applied Materials, Inc.의 Black Diamond™ 또는 Novellus Systems, Inc.의 Coral™일 수 있다. 제2 층은 제1 층과는 다른 조성물의 배리어 층일 수 있다. 예를 들어, 배리어 층은 금속 또는 금속 질화물, 예컨대 탄탈 질화물(tantalum nitride) 또는 티타늄 질화물(titanium nitride)일 수 있다. 선택적으로, 하나 이상의 추가 층, 예컨대 로우 k 캡핑 재료(low-k capping material), 예컨대 TEOS(tetraethyl orthosilicate)로 형성된 재료가 제1 층과 제2 층 사이에 배치된다. 제1 층 및 제2 층 둘 다 적어도 반투명하다. 제1 층 및 (존재한다면) 하나 이상의 추가 층이 함께 모여 제2 층 아래의 층 스택을 제공한다.

[0021] 화학적 기계적 연마는 제2 층이 노출될 때까지 기판을 평탄화하기 위해 이용될 수 있다. 예를 들어, 불투명한 전도성 재료가 존재하는 경우, 그것은 제2 층, 예를 들어 배리어 층이 노출될 때까지 연마될 수 있다. 다음으로, 제1 층 위에 남아있는 제2 층의 부분이 제거되고, 기판은 제1 층, 예를 들어 유전체 층이 노출될 때까지 연마된다. 추가로, 때로는 타겟 두께가 남을 때까지, 또는 타겟량의 재료가 제거될 때까지 제1 층, 예를 들어 유전체 층을 연마하는 것이 요구된다.

[0022] 도 2는 연마 장치(100)의 예를 도시한다. 연마 장치(100)는 연마 패드(110)가 놓이는 회전식 디스크 형상의 플래튼(platen; 120)을 포함한다. 플래튼은 축(125)에 대하여 회전하도록 동작가능하다. 예를 들어, 모터(121)는 플래튼(120)을 회전시키기 위해 구동 축(124)을 돌릴 수 있다. 연마 패드(110)는 외측 연마 층(112) 및 더 연성인 후면 층(backing layer)(114)을 갖는 2층 연마 패드일 수 있다.

[0023] 연마 장치(100)는 슬러리와 같은 연마 액체(132)를 연마 패드(110) 상에 디스펜스(dispense)하기 위한 패드를 향한 포트(130)를 포함할 수 있다. 연마 장치는 또한 연마 패드(110)를 일관된 연마 상태로 유지하기 위해 연마 패드(110)를 연삭하기 위한 연마 패드 컨디셔너를 포함할 수 있다.

[0024] 연마 장치(100)는 하나 이상의 캐리어 헤드(140)를 포함한다. 각각의 캐리어 헤드(140)는 기판(10)을 연마 패드(110)에 대고 유지(hold against)하도록 동작할 수 있다. 각각의 캐리어 헤드(140)는 각각의 해당 기판에 관련된 연마 파라미터들, 예를 들어 압력의 독립적인 제어를 가질 수 있다.

[0025] 특히, 각각의 캐리어 헤드(140)는 가요성 멤브레인(flexible membrane; 144) 아래에 기판(10)을 유지하기 위해 리테이닝 링(retaining ring)(142)을 포함할 수 있다. 각각의 캐리어 헤드(140)는 또한 멤브레인에 의해 정의되는 복수의 독립 제어가능한 가압 챔버, 예를 들어 3개의 챔버(146a-146c)를 포함하는데, 이것은 가요성 멤브레인(144) 상의, 그리고 그에 따른 기판(10) 상의 관련 구역들(148a-148c)에 독립적으로 제어가능한 압력들을 가할 수 있다(도 3 참조). 도 2를 참조하면, 중심 구역(148a)은 실질적으로 원형일 수 있고, 나머지 구역들(148b-148c)은 중심 구역(148a) 주위의 동심 환상 구역(concentric annular zones)일 수 있다. 도시의 편의를 위해, 도 2 및 도 3에는 3개의 챔버만이 도시되어 있지만, 1개 또는 2개의 챔버, 또는 4개 이상의 챔버, 예를 들어 5개의 챔버가 있을 수 있다.

[0026] 도 2를 참조하면, 각각의 캐리어 헤드(140)는 지지 구조물(150), 예를 들어 캐러셀(carousel)에 매달려서, 구동 축(152)에 의해 캐리어 헤드 회전 모터(154)에 접속되므로, 캐리어 헤드는 축(155)에 대하여 회전할 수 있다. 선택적으로, 각각의 캐리어 헤드(140)는 측방향으로(laterally), 예를 들어 캐러셀(150) 상의 슬라이더 상에서, 또는 캐러셀 자체의 회전 진동에 의해 진동할 수 있다. 동작 시에, 플래튼은 자신의 중심 축(125)에 대하여 회전되며, 각각의 캐리어 헤드는 자신의 중심 축(155)에 대하여 회전되고, 연마 패드의 최상부면을 가로질러 측방향으로 병진된다.

[0027] 하나의 캐리어 헤드(140)만이 도시되어 있지만, 연마 패드(110)의 표면적이 효율적으로 사용될 수 있도록 추가의 기판들을 보유하기 위해, 더 많은 캐리어 헤드가 제공될 수 있다. 따라서, 동시적인 연마 프로세스를 위해 기판들을 유지하도록 되어 있는 캐리어 헤드 어셈블리의 수는 적어도 부분적으로는 연마 패드(110)의 표면적에 기초할 수 있다.

[0028] 연마 장치는 또한 이하에 논의되는 바와 같이 연마율을 조절할지의 여부, 또는 연마율에 대한 조절을 결정하기 위해 이용될 수 있는 인-시튜 광학 모니터링 시스템(160), 예컨대 분광사진 모니터링 시스템(spectrographic monitoring system)을 포함한다. 연마 패드를 통한 광학 액세스(optical access)는 애퍼처(aperture)(즉, 패드를 통하여 이어지는 홀(hole)) 또는 솔리드 윈도우(solid window)(118)를 포함하는 것에 의해 제공된다. 솔리드 윈도우(118)는 예를 들어 연마 패드 내의 애퍼처를 채우는 플러그로서 연마 패드(110)에 고정될 수 있고, 예를 들면 연마 패드에 몰딩되거나 접착제로 고정되지만, 일부 구현들에서, 솔리드 윈도우는 플래튼(120) 상에 지지되고 연마 패드 내의 애퍼처 내로 돌출할 수 있다.

[0029] 광학 모니터링 시스템(160)은 광원(162), 광 검출기(164), 및 원격 제어기(190), 예를 들어 컴퓨터와 광원(162) 및 광 검출기(164) 사이에서 신호를 송수신하기 위한 회로망(166)을 포함할 수 있다. 광원(162)으로부터의 광을 연마 패드 내의 광학 액세스에 보내고 기판(10)으로부터 반사된 광을 검출기(164)에 보내기 위해, 하나 이상의 광 섬유가 이용될 수 있다. 예를 들어, 광원(162)으로부터의 광을 기판(10)에 보내고 다시 검출기(164)로 보내기 위해, 두 갈래로 나누어진 광 섬유(bifurcated optical fiber)(170)가 이용될 수 있다. 두 갈래로 나누어진 광섬유는 광학 액세스에 근접하여 위치된 트렁크(172), 및 광원(162) 및 검출기(164)에 각각 접속된 2개의 브랜치(174 및 176)를 포함할 수 있다.

[0030] 일부 구현들에서, 플래튼의 최상부면은 두 갈래로 나누어진 섬유의 트렁크(172)의 한 단부를 유지하는 광학 헤드(168)가 들어맞는 리세스(128)를 포함할 수 있다. 광학 헤드(168)는 트렁크(172)의 최상부와 솔리드 윈도우(118) 사이의 수직 거리를 조절하기 위한 메커니즘을 포함할 수 있다.

[0031] 회로망(166)의 출력은 구동 축(124) 내의 로터리 커플러(129), 예를 들어 슬립 링(slip ring)을 통해 광학 모니터링 시스템을 위한 제어기(190)로 가는 디지털 전자 신호일 수 있다. 마찬가지로, 광원은 제어기(190)로부터 로터리 커플러(129)를 지나 광학 모니터링 시스템(160)으로 가는 디지털 전자 신호 내의 제어 커맨드들에 응답하여 턴온 또는 턴오프될 수 있다. 대안적으로, 회로망(166)은 무선 신호로 제어기(190)와 통신할 수 있다.

[0032] 광원(162)은 백색 광을 방출하도록 동작가능할 수 있다. 일 구현에서, 방출되는 백색 광은 200-800 나노미터의 파장을 갖는 광을 포함한다. 적절한 광원은 제논 램프, 또는 제논-수은 램프이다.

[0033] 광 검출기(164)는 분광계(spectrometer)일 수 있다. 분광계는 전자기 스펙트럼의 일부분에 걸쳐 광의 강도를 측정하기 위한 광학 기구이다. 적절한 분광계는 격자 분광계(grating spectrometer)이다. 분광계를 위한 통상적인 출력은 파장(또는 주파수)의 함수로서의 광 강도이다.

[0034] 위에서 언급된 바와 같이, 광원(162) 및 광 검출기(164)는 그들의 동작을 제어하고 그들의 신호를 수신하도록 동작가능한 컴퓨팅 장치, 예를 들어 제어기(190)에 접속될 수 있다. 컴퓨팅 장치는 연마 장치 부근에 놓인 마이크로프로세서, 예를 들어 프로그램가능 컴퓨터를 포함할 수 있다. 제어에 관련하여, 컴퓨팅 장치는 예를 들어 광원의 기동을 플래튼(120)의 회전과 동기화할 수 있다.

[0035] 일부 구현들에서, 인-시튜 모니터링 시스템(160)의 광원(162) 및 검출기(164)는 플래튼(120) 내에 설치되어 플래튼과 함께 회전한다. 이 경우, 플래튼의 움직임은 센서가 각각의 기판을 가로질러 스캔하게 할 것이다. 구체적으로, 플래튼(120)이 회전할 때, 제어기(190)는 광원(162)으로 하여금 광학 액세스가 기판(10) 아래를 지나가기 직전에 시작하여 지나간 직후에 종료하는 일련의 섬광을 방출하게 할 수 있다. 대안적으로, 컴퓨팅 장치는 광원(162)으로 하여금 각각의 기판(10)이 광학 액세스 위를 지나가기 직전에 시작하여 지나간 직후에 종료하도록 연속적으로 광을 방출하게 할 수 있다. 어느 경우에서든, 검출기로부터의 신호가 샘플링 기간 동안 적분되어(integrated), 샘플링 주파수에서의 스펙트럼 측정들을 생성할 수 있다.

[0036] 동작 시에, 제어기(190)는 예를 들어 광원의 특정 섬광 또는 검출기의 시간 프레임에 대해 광 검출기에 의해 수신된 광의 스펙트럼을 기술하는 정보를 반송하는 신호를 수신할 수 있다. 따라서, 이 스펙트럼은 연마 동안 인-시튜 측정된 스펙트럼이다.

[0037] 도 4에 도시된 바와 같이, 검출기가 플래튼 내에 설치되는 경우에는, 플래튼의 회전으로 인해(화살표(204)에 의해 나타나 있음), 윈도우(108)가 캐리어 헤드 아래를 이동할 때, 샘플링 주파수에서 스펙트럼 측정을 행하는 광학 모니터링 시스템은 기판(10)을 횡단하는 호(arc) 내의 위치들(201)에서 스펙트럼 측정이 행해지게 할 것이다. 예를 들어, 포인트들(201a-201k) 각각은 모니터링 시스템에 의한 스펙트럼 측정의 위치를 표현한다(포인트의 개수는 예시적인 것이며, 샘플링 주파수에 따라, 도시된 것보다 더 많거나 더 적은 측정이 행해질 수 있다). 샘플링 주파수는 윈도우(108)의 스윕 당 5 내지 20개의 스펙트럼이 수집되도록 선택될 수 있다. 예를 들어, 샘플링 기간은 3 내지 100 밀리초일 수 있다.

[0038] 도시된 바와 같이, 플래튼의 1회의 회전 동안, 기판(10) 상의 상이한 반경들로부터 스펙트럼들이 획득된다. 즉, 일부 스펙트럼들은 기판(10)의 중심에 더 가까운 위치들로부터 획득되고, 일부는 에지에 더 가깝다. 따라서, 기판을 가로지르는 광학 모니터링 시스템의 임의의 주어진 스캔에 대하여, 제어기(190)는 타이밍, 모터 인코더 정보, 및 기판 및/또는 리테이닝 링의 에지의 광학 검출에 기초하여, 그 스캔으로부터의 각각의 측정된 스펙트럼을 위한 (스캔되고 있는 기판의 중심에 대한) 방사상 위치를 계산할 수 있다. 연마 시스템은 또한 로터리 위치 센서, 예를 들어 정지 광학 인터럽터(stationary optical interrupter)를 통과할 플래튼의 에지에 부착된 플랜지(flange)를 포함하여, 어느 기판인지 및 측정된 스펙트럼의 기판 상의 위치를 결정하기 위한 추가 데이터를 제공할 수 있다. 따라서, 제어기는 다양한 측정된 스펙트럼들을 기판들(10a 및 10b) 상의 제어가능한 구역들(148b-148c)(도 3 참조)과 연관시킬 수 있다. 일부 구현들에서는, 스펙트럼의 측정 시간은 방사상 위치의 정확한 계산을 대신하여 이용될 수 있다.

[0039] 플래튼의 다수의 회전 동안, 각각의 구역에 대하여 스펙트럼들의 시퀀스가 시간의 경과에 따라 획득될 수 있다. 임의의 특정한 이론에 한정되지 않고, 기판(10)으로부터 반사된 광의 스펙트럼은 연마가 진행함에 따라(예를 들어, 기판을 가로지른 단일 스윕 동안이 아니라, 플래튼의 복수의 회전 동안) 최외부층의 두께에서의 변화로 인해 서서히 변하며, 그에 따라 시변 스펙트럼들의 시퀀스를 산출해낸다. 게다가, 층 스택의 특정 두께들은 특정

스펙트럼들을 보인다.

[0040] 일부 구현들에서, 제어기, 예를 들어 컴퓨팅 장치는 측정된 스펙트럼을 복수의 기준 스펙트럼과 비교하고, 어느 기준 스펙트럼이 최상의 매칭을 제공하는지를 결정하도록 프로그램될 수 있다. 구체적으로, 제어기는 각각의 구역으로부터의 측정된 스펙트럼들의 시퀀스 중의 각각의 스펙트럼을 복수의 기준 스펙트럼과 비교하여, 각각의 구역에 대한 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼들의 시퀀스를 생성하도록 프로그램될 수 있다.

[0041] 여기에서 이용될 때, 기준 스펙트럼은 기판의 연마 이전에 생성된 미리 정의된 스펙트럼이다. 기준 스펙트럼은 실제 연마율(actual polishing rate)이 기대 연마율(expected polishing rate)을 따른다고 가정할 때 연마 프로세스 내에서 스펙트럼이 나타날 것으로 기대되는 시간을 나타내는 값과의 미리 정의된 연관(association), 즉 연마 동작 이전에 정의된 연관을 가질 수 있다. 대안적으로, 또는 그에 더하여, 기준 스펙트럼은 최외부층의 두께와 같은 기판 속성의 값과의 미리 정의된 연관을 가질 수 있다.

[0042] 기준 스펙트럼은 경험적으로, 예를 들어 테스트 기판, 예컨대 알려진 초기 층 두께를 갖는 테스트 기판으로부터의 스펙트럼들을 측정하는 것에 의해 생성될 수 있다. 예를 들어, 복수의 기준 스펙트럼을 생성하기 위해, 장치 웨이퍼들의 연마 동안 이용되었을 동일 연마 파라미터들을 이용하여 셋업 기판이 연마되는 한편, 스펙트럼들의 시퀀스가 수집된다. 각각의 스펙트럼에 대하여, 연마 프로세스 내에서 그 스펙트럼이 수집되었던 시간을 표현하는 값이 기록된다. 예를 들어, 값은 경과 시간, 또는 플래튼 회전의 수일 수 있다. 타겟 두께가 달성된 때에 기판으로부터 반사되는 광의 스펙트럼이 획득될 수 있도록, 기판은 과다 연마(overpolishing), 즉 원하는 두께를 지나 연마될 수 있다.

[0043] 각각의 스펙트럼을 기판 속성의 값, 예를 들어 최외부층의 두께와 연관시키기 위해, 제품 기판과 동일 패턴을 갖는 "셋업" 기판의 초기 스펙트럼들 및 속성이 연마 전에(pre-polish) 계측 스테이션(metrology station)에서 측정될 수 있다. 또한, 최종 스펙트럼 및 속성은 연마 후에(post-polish) 동일한 계측 스테이션 또는 다른 계측 스테이션에서 측정될 수 있다. 초기 스펙트럼들과 최종 스펙트럼들 간의 스펙트럼들에 대한 속성은 내삽(interpolation), 예를 들어 테스트 기판의 스펙트럼들이 측정된 경과 시간에 기초한 선형 내삽에 의해 결정될 수 있다.

[0044] 경험적으로 결정되는 것에 더하여, 기준 스펙트럼들 중 일부 또는 전부는 예를 들어 기판 층들의 광학 모델을 이용하여 이론에 의해 계산될 수 있다. 예를 들어, 주어진 외부층 두께 D에 대한 기준 스펙트럼을 계산하기 위해 광학 모델이 이용될 수 있다. 예를 들어 외부층이 균일한 연마율로 제거된다고 가정함으로써, 연마 프로세스 내에서 기준 스펙트럼이 수집된 시간을 표현하는 값이 계산될 수 있다. 예를 들어, 특정 기준 스펙트럼에 대한 시간 Ts는 단순히 시작 두께 D0 및 균일한 연마율 R을 가정함으로써 계산될 수 있다(Ts=(D0-D)/R). 다른 예로서, 광학 모델에 대해 이용되는 두께 D에 기초한 연마-전(pre-polish) 및 연마-후(post-polish) 두께 D1, D2(또는 계측 스테이션에서 측정된 다른 두께들)에 대한 측정 시간 T1, T2 사이에서의 선형 내삽이 수행될 수 있다(Ts=T2-T1*(D1-D)/(D1-D2)).

[0045] 일부 구현들에서, 소프트웨어는 복수의 기준 스펙트럼을 자동으로 계산하기 위해 이용될 수 있다. 들어오는 기판들의 기저층들의 두께에 변동이 있으므로, 제조자는 기저층들 중 적어도 하나에 대해, 예컨대 복수의 기저층에 대해 두께 범위 및 두께 증분(thickness increment)을 입력할 수 있다. 소프트웨어는 기저층들의 두께들의 각 조합에 대해 기준 스펙트럼을 계산할 것이다. 위에 놓인 층의 각각의 두께에 대해 복수의 기준 스펙트럼이 계산될 수 있다.

[0046] 기준 스펙트럼들을 계산하기 위해, 이하의 광학 모델이 이용될 수 있다. 박막 스택의 최상부층 p의 반사율 R_{STACK}은 아래와 같이 계산될 수 있다:

[0047]
$$R_{STACK} = \left|\frac{E_p^-}{E_p^+}\right|^2$$

[0048] 여기에서, E_p^+는 입사 광 빔의 전자기장 강도를 나타내고, E_p^-는 출사 광 빔의 전자기장 강도를 나타낸다.

[0049] 값 E_p^+ 및 E_p^-는 아래와 같이 계산될 수 있다:

[0050] $$E_p^+ = (E_p + H_p/\mu_p)/2 \qquad E_p^- = (E_p - H_p/\mu_p)/2$$

[0051] 임의의 층 j에서의 필드 E 및 H는 전달 행렬법(transfer-matrix methods)을 이용하여 기저층 내의 필드 E 및 H로부터 계산될 수 있다. 따라서, 층들 0, 1, ..., p-1, p의 스택 내에서(층 0은 최하부층이고 층 p는 최외부층임), 주어진 층 j>0에 대하여, E_j 및 H_j는 아래와 같이 계산될 수 있다:

[0052] $$\begin{bmatrix} E_j \\ H_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos g_j & \frac{i}{u_j} \sin g_j \\ i\mu_j \sin g_j & \cos g_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{j-1} \\ H_{j-1} \end{bmatrix}$$

[0053] $\mu_j = (n_j - ik_j)\cdot\cos\phi_j$ 및 $g_j = 2\pi(n_j - ik_j)\cdot t_j\cdot\cos\phi_j/\lambda$이고, 여기에서 n_j는 층 j의 굴절률이고, k_j는 층 j의 소광 계수(extinction coefficient)이고, t_j는 층 j의 두께이고, ϕ_j는 층 j에 대한 광의 입사각이고, λ는 파장이다. 스택 내의 최하부층에 대하여, 즉 층 j=0에 대하여, $E_0 = 1$이고, $H_0 = \mu_0 = (n_0 - ik_0)\cdot\cos\phi_0$이다. 각 층에 대한 굴절률 n 및 소광 계수 k는 학술 문헌으로부터 결정될 수 있으며, 파장의 함수일 수 있다. 입사각 ϕ는 스넬의 법칙에 의해 계산될 수 있다.

[0054] 층의 두께 t는 그 층에 대하여 사용자에 의해 입력된 두께 범위 및 두께 증분으로부터 계산될 수 있는데, 예를 들면 $t_j \le T_{MAXj}$에 대하여 $t_j = T_{MINj} + k*T_{INCj}$ (k = 0, 1,...)이고, 여기에서 T_{MINj} 및 T_{MAXj}는 층 j에 대한 두께 범위의 하부 및 상부 경계이고, T_{INCj}는 층 j에 대한 두께 증분이다. 층들의 두께 값들의 각 조합에 대하여 계산이 반복될 수 있다.

[0055] 이러한 기법의 잠재적인 이점은 기판 상의 층들의 두께들의 상이한 조합들에 대응할 수 있는 상당히 많은 수의 기준 스펙트럼을 신속하게 생성하고, 그에 의해 잘 매칭되는 기준 스펙트럼들을 찾을 가능성을 증가시키고, 광학 모니터링 시스템의 정확도 및 신뢰도를 개선한다는 것이다.

[0056] 층 두께의 변동에 더하여, 광학 모델은 금속 층의 스펙트럼 기여(spectral contribution)에서의 변동을 포함할 수 있다. 즉, 제조 중인 다이 상의 패턴에 따라, 일부 스펙트럼 측정은 금속의 농도가 높은 영역에서(예를 들어, 트렌치 내의 금속 재료(28)로부터) 행해질 수 있는 반면에, 다른 스펙트럼 측정은 금속의 농도가 낮은 영역에서 행해질 수 있다.

[0057] 라이브러리에 추가되는 스펙트럼 $R_{LIBRARY}$는 아래와 같이 계산될 수 있다:

[0058] $$R_{LIBRARY} = \frac{R_{STACK}}{R_{BASELINE}}(1 - X) + X * R_{Metal}$$

[0059] 여기에서, $R_{BASELINE}$은 광학 스택의 최하부에서의 재료, 예를 들면, 예컨대 FEOL 프로세스(front-end-of-line process)에서의 기판을 위한 베어 반도체(bare semiconductor), 또는 예컨대 BEOL 프로세스(back-end-of-line process)에서의 기판에 대한 베어 메탈(bare metal)의 스펙트럼 반사율(spectral reflectance)이다. 베어 반도체는 무반사 베어 실리콘일 수 있고; 베어 메탈은 구리일 수 있다(The bare semiconductor can be the reflectance off of bare silicon; the bare metal can be copper). X는 금속, 예컨대 구리의 스펙트럼에 대한 기여 비율(percentage contribution)이고, R_{Metal}은 금속, 예컨대 구리로부터의 반사율 스펙트럼(reflectance spectrum)이다. 일부 구현들에서, 예를 들어 금속층(14) 및 금속 재료(28)가 동일 재료, 예컨대 구리라면, $R_{BASELINE}$ 및 R_{Metal}은 동일 스펙트럼, 예컨대 구리에 대한 스펙트럼이다. 스펙트럼 $R_{LIBRARY}$의 계산은 X에 대한 복수의 값에 걸쳐 반복될 수 있다. 예를 들어, X는 0.0과 1.0 사이에서 0.2 간격으로 변할 수 있다. 이러한 기법의 잠재적인 이점은 기판 상의 측정 지점에서의 금속의 상이한 농도들에 대응할 수 있는 기준 스펙트럼들을 생성하고, 그에 의해 잘 매칭되는 기준 스펙트럼들을 찾을 가능성을 증가시키고, 광학 모니터링 시스템의 정확도 및 신뢰도를 개선한다는 것이다.

[0060] 경험적으로 생성되든 이론에 의해 계산되든, 적어도 하나의 기준 스펙트럼이 컴퓨터 시스템에 저장된다. 이 컴퓨터 시스템은 제어기(190), 또는 다른 컴퓨터 시스템일 수 있다.

[0061] 일부 유형의 기판들, 예를 들어 일부 층 구조들 및 다이 패턴들에 대해서는, 광학 모델에 기초한 기준 스펙트럼들의 라이브러리의 생성에 대하여 전술한 기법들이 충분할 수 있다. 그러나, 일부 유형의 기판들에 대해서는, 이러한 광학 모델에 기초한 기준 스펙트럼들이 경험적으로 측정된 스펙트럼들에 대응하지 않는다. 임의의 특정 이론에 한정되지 않고, 추가의 층들이 기판 상의 스택에 추가됨에 따라, 예를 들어 기판 상의 상이한 패터닝된 금속층들로부터 광의 산란이 증가한다. 요약하면, 금속층의 수가 증가함에 따라, 기판 상의 하부층들로부터의 광이 다시 반사되어 광 섬유로 들어가서 검출기에 도달할 가능성이 적어진다.

[0062] 일부 구현들에서, 금속층의 수를 증가시킴으로써 유발되는 산란을 시뮬레이션하기 위해, 기준 스펙트럼들의 계산을 위한 광학 모델에서, 수정된 소광 계수가 이용될 수 있다. 수정된 소광 계수는 층의 재료에 대한 자연적인 소광 계수보다 크다. 소광 계수에 더해지는 양은 웨이퍼에 가까운 층일수록 더 클 수 있다.

[0063] 예를 들어, 위의 수학식들에서, 항 μ_j 및 g_j는 각각 μ'_j 및 g'_j로 치환될 수 있으며, μ'_j 및 g'_j는 아래와 같이 계산될 수 있다:

[0064] $$\mu'_j = (n_j - i(k_j + m_j)) \cdot \cos\phi_j \qquad g'_j = 2\pi(n_j - i(k_j + m_j)) \cdot t_j \cdot \cos\phi_j / \lambda$$

[0065] 여기에서, m_j는 층 j의 소광 계수를 증가시킬 양이다. 일반적으로, m_j는 0 이상이고, 최대 1일 수 있다. 스택의 최상부에 가까운 층들에 대해서는, m_j가 작을 수 있는데, 예를 들면 0일 수 있다. 더 깊은 층들에 대해서는 m_j가 더 클 수 있는데, 예를 들면 0.2, 0.4 또는 0.6일 수 있다. 양 m_j는 j가 감소함에 따라 단조 증가할 수 있다. 양 m_j는 파장의 함수일 수 있으며, 예를 들어 특정 층에 대하여, m_j는 더 긴 파장에서 더 클 수 있고, 아니면 더 짧은 파장에서 더 클 수 있다.

[0066] 도 5a는 예를 들어 하나 이상의 라이브러리를 생성하기 위해 복수의 기준 스펙트럼을 구성하는 방법(80)을 보여준다.

[0067] 위에서 언급된 바와 같이, 연마 패드가 노화함에 따라 연마 패드(110)(도 2 참조) 내의 윈도우(116)의 투과가 변화할 수 있고, 광원 내의 전구가 노화함에 따라, 광원(162)에 의해 방출되는 광이 변화할 수 있다. 복수의 투과 곡선이 생성된다(단계(82)). 투과 곡선들은 기판 표면 이전의 광학 경로 내의 컴포넌트들의 변동들로 인해 유도되는 스펙트럼에 대한 왜곡을 표현한다. 예를 들어, 상이한 투과 곡선들은 예를 들어 연마 패드 및/또는 광원의 전구의 수명 내의 상이한 시간들에서 연마 시스템의 컴포넌트들의 노화에 의해 도입되는 왜곡을 표현할 수 있다. 다른 예로서, 상이한 투과 곡선들은 연마 시스템의 컴포넌트들 간의 차, 예를 들어 윈도우-간 차(window-to-window difference) 및/또는 전구-간 차(bulb-to-bulb difference)에 의해 도입되는 왜곡을 표현할 수 있다. 복수의 상이한 투과 곡선은 컴퓨터 시스템 내에 저장될 수 있다. 투과 곡선은 파장의 함수로서 0과 1 사이의 비로서 저장될 수 있다.

[0068] 투과 곡선을 생성하는 접근방식 중 하나는 경험적인 것이다. 특히, 도 5b를 참조하면, 베이스 스펙트럼은 인-시튜 광학 모니터링 시스템을 이용하여, 테스트 기판, 예컨대 블랭크 기판(blank substrate), 예컨대 베어 실리콘 또는 베어 구리 기판으로부터 획득된다(단계(90)). 베이스 스펙트럼은 연마 패드(110) 및 광원(162)의 전구의 수명의 시작에서 획득될 수 있다. 하나 이상의 추가 스펙트럼은 마찬가지로 인-시튜 광학 모니터링 시스템을 이용하여, 그리고 동일한 재료의 테스트 기판(또는 동일한 테스트 기판)을 이용하되, 연마 패드(110) 및/또는 전구의 수명 동안의 상이한 시간들에서 획득된다(단계(92)). 예를 들어, 스펙트럼들은 패드를 5분 이용한 후, 패드를 4시간 이용한 후, 패드를 8시간 이용한 후, 패드를 12시간 이용한 후, 및 패드를 16시간 이용한 후에 테스트 기판을 측정함으로써 획득될 수 있다.

[0069] 선택적으로, 스펙트럼은 또한 암 조건 하에서(즉, 인-시튜 모니터링 시스템에 의해 기판이 측정되고 있지 않을 때), 패드 수명 내에서 베이스 스펙트럼 및 각각의 추가 스펙트럼이 측정된 것과 동일한 시간에서 인-시튜 모니터링 시스템에 의해 측정될 수 있다.

[0070] 다음으로, 투과 곡선이 베이스 스펙트럼 및 추가 스펙트럼으로부터 계산될 수 있다(단계(94)). 예를 들어, 투과 곡선은 각각의 추가 스펙트럼에 대해 계산될 수 있다. 투과 곡선은 추가 스펙트럼이 분자에 있고 베이스 스펙트럼이 분모에 있는 나눗셈 연산에 의해 계산될 수 있다. 특히, 투과 곡선 T는 아래와 같이 계산될 수 있다:

[0071] $$T = \frac{A - D_A}{B - D_B}$$

[0072] 여기에서, A는 추가 스펙트럼이고, D_A는 패드 수명 내에서 추가 스펙트럼과 동일한 시간에서 암 조건 하에서 인-시튜 모니터링 시스템에 의해 수신된 스펙트럼이고, B는 베이스 스펙트럼이고, D_B는 패드 수명 내에서 베이스 스펙트럼과 동일한 시간에서 암 조건 하에서 인-시튜 모니터링 시스템에 의해 수신된 스펙트럼이다.

[0073] 투과 곡선들 중 적어도 일부가 저장된다. 그러나, 계산된 투과 곡선들 T 전부를 저장할 필요는 없을 수 있다. 예를 들어, 기존의 투과 곡선들과 실질적으로 유사한 일부 투과 곡선들은 폐기될 수 있다.

[0074] 대안적으로, 경험적으로 생성된 투과 곡선들을 저장하기 보다는, 모델로부터 투과 곡선들이 생성될 수 있다. 예를 들어, 투과 곡선을 모델링하기 위해, 코시 방정식(Cauchy equation) 또는 3차 다항식이 이용될 수 있다. 코시 방정식 또는 3차 다항식이 경험적으로 생성된 투과 곡선을 따르도록, 다항식 계수들은 예를 들어 피팅 절차(fitting procedure)를 이용하여 선택될 수 있다.

[0075] 적어도 하나의 기준 스펙트럼이 위에서 논의된 바와 같이 예를 들어 경험적으로 또는 이론에 의해 생성된다(단계(84)). 투과 곡선들이 생성되기 전 또는 후에 적어도 하나의 기준 스펙트럼이 생성될 수 있다.

[0076] 다음으로, 복수의 상이한 투과 곡선 중의 적어도 2개의 투과 곡선에 대하여, 컴퓨터 시스템 내에서 기준 스펙트럼 및 투과 곡선으로부터 수정된 기준 스펙트럼이 계산되어, 복수의 수정된 기준 스펙트럼이 생성된다. 일부 구현들에서, 컴퓨터 시스템은 복수의 상이한 투과 곡선 중의 적어도 2개의 투과 곡선을 식별하는 사용자 입력을 수신할 수 있다. 계산이 수행되는 컴퓨터는 적어도 하나의 기준 스펙트럼이 생성된 것과 동일한 컴퓨터, 또는 투과 곡선들이 생성된 것과 동일한 컴퓨터일 필요가 없으며; 적어도 하나의 기준 스펙트럼 및/또는 투과 곡선들은 전자적으로 수신될 수 있다.

[0077] 일부 구현들에서, 각각의 저장된 투과 곡선에 대하여, 적어도 하나의 기준 스펙트럼에 저장된 투과 곡선이 곱해져서 복수의 수정된 기준 스펙트럼이 생성되며(단계(86)), 이들은 본래의 적어도 하나의 기준 스펙트럼과 동일한 라이브러리 또는 다른 라이브러리에 추가될 수 있다. 다음으로, 이러한 수정된 기준 스펙트럼들은 광학 모니터링 절차에서 이용될 기준 스펙트럼들로서, 예를 들어 제어기(190) 내에 저장된다. 수정된 기준 스펙트럼들이 적어도 하나의 기준 스펙트럼과 동일한 라이브러리에 추가된다고 가정하면, 이것은 투과 곡선의 개수 배만큼 라이브러리의 크기를 증가시킬 것이다. 예를 들어, 본래의 라이브러리가 100개의 기준 스펙트럼을 포함하고 있었고, 투과 곡선의 개수가 3개라면, 새로운 라이브러리 크기는 이제 400 스펙트럼(100개의 본래의 스펙트럼에 300개의 정규화된 스펙트럼을 더한 것)일 것이다.

[0078] 도 6a 및 도 6b를 참조하면, 측정된 스펙트럼(300)(도 6a 참조)은 하나 이상의 라이브러리(310)로부터의 기준 스펙트럼들(320)에 비교될 수 있다(도 6b 참조). 여기에서 이용될 때, 기준 스펙트럼들의 라이브러리는 공통의 속성을 공유하는 기판들을 표현하는 기준 스펙트럼들의 컬렉션이다. 그러나, 단일 라이브러리 내에서 공통으로 공유되는 속성은 기준 스펙트럼들의 복수의 라이브러리에 걸쳐서 달라질 수 있다. 예를 들어, 2개의 상이한 라이브러리는 2개의 상이한 기저 두께를 갖는 기판들을 표현하는 기준 스펙트럼들을 포함할 수 있다. 기준 스펙트럼들의 주어진 라이브러리에 대하여, 다른 인자들(예를 들어, 웨이퍼 패턴, 기저 층 두께, 또는 층 조성물의 차)보다도, 상부 층 두께의 변동이 스펙트럼 강도 차의 주된 원인일 수 있다. 일부 구현들에서, 기준 스펙트럼들의 주어진 라이브러리에 대하여, 스펙트럼 강도 차는 상부 층 두께의 변동 및 기준 스펙트럼들을 생성하는 데에 이용되는 투과 곡선의 변동으로 인한 것일 수 있다. 일부 구현들에서, 기준 스펙트럼들의 주어진 라이브러리에 대하여, 스펙트럼 강도 차는 주로 기준 스펙트럼들을 생성하는 데에 이용되는 투과 곡선의 변동으로 인한 것일 수 있다.

[0079] 복수의 스펙트럼은 윈도우의 가능한 영향 범위에 걸쳐 있으므로, 적절한 매칭이 찾아질 가능성이 더 높다. 따라서, 기준 스펙트럼들의 결과적인 라이브러리 또는 라이브러리들은 윈도우의 투과에 변동이 있을 때 매칭 알고리즘이 신뢰가능하게 남아있을 수 있게 한다. 따라서, 원하는 연마 종료점을 검출하기 위한 종료점 시스템의 신뢰도가 개선될 수 있고, 웨이퍼-내 및 웨이퍼-간 두께 비균일성(WIWNU 및 WTWNU)이 감소될 수 있다.

[0080] 상이한 라이브러리들(310)에 대한 기준 스펙트럼들(320)은 위에서 논의된 바와 같이 상이한 기판 속성들(예를 들어, 기저 층 두께 또는 층 조성물)을 갖는 복수의 "셋업" 기판을 연마하고 스펙트럼들을 수집함으로써 생성될 수 있고; 하나의 셋업 기판으로부터의 스펙트럼들은 제1 라이브러리를 제공할 수 있고, 상이한 기저 층 두께를

갖는 다른 기판으로부터의 스펙트럼들은 제2 라이브러리를 제공할 수 있다. 대안적으로, 또는 그에 더하여, 상이한 라이브러리들에 대한 기준 스펙트럼들이 이론에 의해 계산될 수 있고, 예를 들면 제1 라이브러리를 위한 스펙트럼들은 제1 두께를 갖는 기저 층을 갖는 광학 모델을 이용하여 계산될 수 있고, 제2 라이브러리를 위한 스펙트럼들은 상이한 하나의 두께를 갖는 기저 층을 갖는 광학 모델을 이용하여 계산될 수 있다.

[0081] 일부 구현들에서, 각각의 기준 스펙트럼(320)에 인덱스 값(330)이 할당된다. 일반적으로, 각각의 라이브러리(310)는 기판의 기대 연마 시간 동안의 각각의 플래튼 회전에 대하여, 다수의 기준 스펙트럼(320), 예를 들어 하나 이상의, 예를 들어 정확하게 하나의 기준 스펙트럼을 포함할 수 있다. 이 인덱스 값(330)은 연마 프로세스 내에서 기준 스펙트럼(320)이 관측될 것으로 기대되는 시간을 표현하는 값, 예를 들어 숫자일 수 있다. 특정 라이브러리 내의 각각의 스펙트럼이 고유의 인덱스 값을 갖도록 스펙트럼들이 인덱싱(indexing)될 수 있다. 인덱싱은 테스트 기판의 스펙트럼들이 측정된 순서로 인덱스 값들이 순서화되도록 구현될 수 있다. 인덱스 값은 연마가 진행함에 따라 단조 변화하도록, 예를 들어 증가하거나 감소하도록 선택될 수 있다. 특히, 기준 스펙트럼들의 인덱스 값들은 시간 또는 플래튼 회전의 수의 선형 함수를 형성하도록 선택될 수 있다(연마율이 라이브러리 내의 기준 스펙트럼들을 생성하는 데에 이용된 모델 또는 테스트 기판의 연마율을 따른다고 가정함). 예를 들어, 인덱스 값은 기준 스펙트럼들이 테스트 기판에 대하여 측정되었거나 광학 모델 내에 나타났을 플래튼 회전의 수에 비례할 수 있고, 예를 들면 그와 동일할 수 있다. 따라서, 각각의 인덱스 값은 정수(whole number)일 수 있다. 인덱스 번호는 관련 스펙트럼이 나타날 기대 플래튼 회전(expected platen rotation)을 표현할 수 있다.

[0082] 기준 스펙트럼들 및 그들의 관련 인덱스 값들은 기준 라이브러리 내에 저장될 수 있다. 예를 들어, 각각의 기준 스펙트럼(320) 및 그것의 관련 인덱스 값(330)은 데이터베이스(350)의 레코드(340) 내에 저장될 수 있다. 기준 스펙트럼들의 기준 라이브러리들의 데이터베이스(350)는 연마 장치의 컴퓨팅 장치의 메모리 내에 구현될 수 있다.

[0083] 위에서 언급된 바와 같이, 각각의 기판의 각각의 구역에 대하여, 측정된 스펙트럼들의 시퀀스 또는 그 구역 및 기판에 기초하여, 제어기(190)는 가장 잘 매칭되는 스펙트럼들의 시퀀스를 생성하도록 프로그램될 수 있다. 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼은 측정된 스펙트럼을 특정 라이브러리로부터의 기준 스펙트럼들에 비교함으로써 결정될 수 있다.

[0084] 일부 구현들에서, 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼은 각각의 기준 스펙트럼에 대하여, 측정된 스펙트럼과 기준 스펙트럼 간의 제곱 차들의 합산(sum of squared differences)을 계산함으로써 결정될 수 있다. 제곱 차들의 합산이 가장 낮은 기준 스펙트럼이 가장 양호한 적합도(fit)를 갖는다. 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼을 찾기 위한 다른 기법들, 예를 들어 절대 차들의 최저 합산도 가능하다.

[0085] 일부 구현들에서, 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼은 제곱 차들의 합산 외의 매칭 기법을 이용하여 결정될 수 있다. 일 구현에서, 각각의 기준 스펙트럼에 대하여, 측정된 스펙트럼과 기준 스펙트럼 간의 교차 상관(cross-correlation)이 계산되고, 가장 큰 상관을 갖는 기준 스펙트럼이 매칭되는 기준 스펙트럼으로서 선택된다. 교차 상관의 잠재적인 이점은 스펙트럼의 측방향 시프트(lateral shift)에 덜 민감하며, 따라서 기저 두께 변동에 덜 민감할 수 있다는 것이다. 교차 상관을 수행하기 위해, 측정된 스펙트럼의 선두(leading) 및 후미(trailing) 단부가 "제로"로 패딩되어(padded), 기준 스펙트럼이 측정된 스펙트럼에 대하여 시프트될 때 기준 스펙트럼에 대조할 데이터를 제공할 수 있다. 대안적으로, 측정된 스펙트럼의 선두 단부는 측정된 스펙트럼의 선두 에지에서의 값과 동일한 값들로 패딩될 수 있고, 측정된 스펙트럼의 후미 단부는 측정된 스펙트럼의 후미 에지에서의 값과 동일한 값들로 패딩될 수 있다. 매칭 기법의 실시간 적용을 위해 교차 상관의 계산 속도를 증가시키기 위해, 고속 푸리에 변환이 이용될 수 있다.

[0086] 다른 구현에서, 유클리드 벡터 거리의 합산(sum of enclidean vector distances)은 예를 들어 $D = 1/(\lambda a - \lambda b) \cdot [\ \Sigma_{\lambda=\lambda a \text{ to } \lambda b} \mid I_M(\lambda)^2 - I_R(\lambda)^2 \mid\ ]$이 계산되는데, 여기에서 λa to λb는 합산되는 파장이고, $I_M(\lambda)$는 측정된 스펙트럼이고, $I_R(\lambda)$는 기준 스펙트럼이다. 다른 구현에서는, 각각의 기준 스펙트럼에 대하여, 도함수 차의 합산(sum of derivative differences)은 예를 들어 $D = 1/(\lambda a - \lambda b) \cdot [\ \Sigma_{\lambda=\lambda a \text{ to } \lambda b} \mid dI_M(\lambda)/d\lambda - dI_R(\lambda)/d\lambda \mid\ ]$이고, 최저 합산을 갖는 기준 스펙트럼이 매칭되는 기준 스펙트럼으로서 선택된다.

[0087] 컴퓨터 처리를 감소시키기 위해 적용될 수 있는 방법은 매칭되는 스펙트럼들을 찾아볼 라이브러리의 부분을 한정하는 것이다. 통상적으로, 라이브러리는 기판을 연마하는 동안 획득될 것보다 더 넓은 범위의 스펙트럼을 포

함한다. 기판 연마 동안, 라이브러리 탐색은 라이브러리 스펙트럼들 중 미리 결정된 범위로 한정된다. 일부 실시예들에서, 연마 중인 기판의 현재 회전 인덱스 N이 결정된다. 예를 들어, 초기 플래튼 회전에서, N은 라이브러리의 기준 스펙트럼들 전부를 탐색함으로써 결정될 수 있다. 후속 회전 동안 획득된 스펙트럼들에 대하여, 라이브러리는 N의 프리덤의 범위(a range of freedom of N) 내에서 탐색된다. 즉, 한 회전 동안 인덱스 번호가 N인 것으로 밝혀지면, X 회전 후의 후속 회전 동안, 프리덤이 Y인 경우에, 탐색될 범위는 (N + X) - Y 내지 (N + X) + Y이다.

[0088] 단일 기판의 단일 구역에 대해서만 결과들을 도시하고 있는 도 7을 참조하면, 시퀀스 내의 가장 잘 매칭되는 스펙트럼들 각각의 인덱스 값이 결정되어, 인덱스 값들(212)의 시변 시퀀스가 생성될 수 있다. 이러한 인덱스 값들의 시퀀스는 인덱스 트레이스(210)라고 지칭될 수 있다. 일부 구현들에서, 인덱스 트레이스는 각각의 측정된 스펙트럼을 정확히 하나의 라이브러리로부터의 기준 스펙트럼들에 비교함으로써 생성된다. 일반적으로, 인덱스 트레이스(210)는 기판 아래에서의 광학 모니터링 시스템의 스윕 당 하나 이상의 인덱스 값, 예를 들어 정확히 하나의 인덱스 값을 포함할 수 있다.

[0089] 주어진 인덱스 트레이스(210)에 대하여, 광학 모니터링 시스템의 단일 스윕에서 특정 구역에 대해 측정된 복수의 스펙트럼("현재 스펙트럼들"이라고 지칭됨)이 존재하는 경우, 현재 스펙트럼들 각각과 하나 이상, 예컨대 정확히 하나의 라이브러리의 기준 스펙트럼들 간에서 최상의 매칭이 결정될 수 있다. 일부 구현들에서, 각각의 선택된 현재 스펙트럼은 선택된 라이브러리 또는 라이브러리들의 각각의 기준 스펙트럼들에 대조된다. 현재 스펙트럼들 e, f 및 g와 기준 스펙트럼들 E, F 및 G가 주어지면, 예를 들어 현재 스펙트럼들 및 기준 스펙트럼들의 이하의 조합들: e와 E, e와 F, e와 G, f와 E, f와 F, f와 G, g와 E, g와 F, 및 g와 G 각각에 대하여 매칭 계수(matching coefficient)가 계산될 수 있다. 어느 것이든 매칭 계수가 최상의 매칭을 나타내는 것, 예를 들면 가장 작은 것이 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼을 결정하며, 그에 의해 인덱스 값을 결정한다. 대안적으로, 일부 구현들에서, 현재 스펙트럼들이 결합될 수 있고, 예를 들면 평균이 구해질 수 있으며, 결과적인 결합된 스펙트럼이 기준 스펙트럼에 대해 대조되어, 최상의 매칭이 결정되고, 그에 따라 인덱스 값이 결정된다.

[0090] 일부 구현들에서, 일부 기판들의 적어도 일부의 구역들에 대하여, 복수의 인덱스 트레이스가 생성될 수 있다. 주어진 기판의 주어진 구역에 대하여, 관심있는 각각의 기준 라이브러리에 대하여 인덱스 트레이스가 생성될 수 있다. 즉, 주어진 기판의 주어진 구역에 대한 관심있는 각각의 기준 라이브러리에 대하여, 측정된 스펙트럼들의 시퀀스 내의 각각의 측정된 스펙트럼이 주어진 라이브러리로부터의 기준 스펙트럼들에 비교되고, 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼들의 시퀀스가 결정되고, 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼들의 시퀀스의 인덱스 값들이 주어진 라이브러리에 대한 인덱스 트레이스를 제공한다.

[0091] 요약하면, 각각의 인덱스 트레이스는 인덱스 값들(212)의 시퀀스(210)를 포함하고, 시퀀스의 각각의 특정 인덱스 값(212)은 측정된 스펙트럼에 가장 가깝게 피팅되는 주어진 라이브러리로부터의 기준 스펙트럼의 인덱스를 선택함으로써 생성된다. 인덱스 트레이스(210)의 각각의 인덱스에 대한 시간 값은 측정된 스펙트럼이 측정되었던 시간과 동일할 수 있다.

[0092] 위에 놓인 제2 층이 존재하는 경우, 제2 층의 소거(clearing) 및 기저 층 또는 층 구조의 노출을 검출하기 위해 인-시튜 모니터링 기법이 이용될 수 있다. 예를 들어, 시간 TC에서의 제1 층의 노출은 기판으로부터 반사된 광의 전체 강도 또는 모터 토크에서의 갑작스러운 변화에 의해, 또는 이하에 더 상세하게 논의되는 바와 같은 수집된 스펙트럼들의 분산(dispersion)으로부터 검출될 수 있다.

[0093] 도 8에 보여진 바와 같이, 함수, 예컨대 알려진 차수의 다항식 함수, 예컨대 1차 함수(예를 들어 라인(214))는 예를 들어 로버스트 라인 피팅(robust line fitting)을 이용하여, 스펙트럼들의 인덱스 값들, 예를 들어 시간 TC 이후에 수집된 인덱스 값들의 시퀀스에 피팅된다. 시간 TC 전에 수집되는 스펙트럼들에 대한 인덱스 값들은 함수를 인덱스 값들의 시퀀스에 피팅할 때에 무시될 수 있다. 다른 함수들, 예를 들어 2차 다항식 함수가 이용될 수 있지만, 라인은 계산의 편의를 제공한다. 연마는 라인(214)이 타겟 인덱스 IT를 건너는 종료점 시간 TE에서 중지될 수 있다.

[0094] 도 9는 제품 기판을 연마하는 방법(900)의 흐름도를 보여준다. 제품 기판은 적어도, 라이브러리의 기준 스펙트럼들을 생성하는 데에 이용된 테스트 기판들과 동일한 층 구조(층 두께가 반드시 동일해야 하는 것은 아님) 및 동일한 패턴을 가질 수 있다.

[0095] 연마 동안, 예를 들어 전술한 인-시튜 모니터링 시스템을 이용하여, 측정된 스펙트럼들의 시퀀스가 수집된다(단

계(902)).

[0096] 측정된 스펙트럼들이 분석되어 값들의 시퀀스가 생성되고, 함수는 값들의 시퀀스에 피팅될 수 있다. 특히, 측정된 스펙트럼들의 시퀀스 내의 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여, 복수의 기준 스펙트럼 중 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼이 찾아진다(단계(904)). 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼에 관련된 값이 결정된다(단계(906)). 측정된 스펙트럼들의 시퀀스가 존재하므로, 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼들의 시퀀스가 존재하고, 따라서 값들의 시퀀스가 존재한다. 함수, 예를 들어 선형 함수, 또는 2차 또는 더 높은 차수의 다항식 함수가 값들의 시퀀스에 피팅된다(단계(912)). 일부 구현들에서, 시간 TC, 예를 들어 제2 층의 소거가 검출된 시간 이전에 수집된 값들은 함수의 계산에 이용되지 않는다.

[0097] 값(예를 들어, 값들의 시퀀스에 피팅된 함수로부터 생성된 계산된 값)이 타겟 값에 도달하고 나면, 연마가 중지될 수 있다(단계(914)). 타겟 값 IT는 연마 동작 전에 사용자에 의해 설정되어 저장될 수 있다. 대안적으로, 제거할 타겟량은 사용자에 의해 설정될 수 있고, 타겟 값 IT는 제거할 타겟량으로부터 계산될 수 있다. 예를 들어, 차 ID는 제거할 타겟량으로부터, 예를 들어 경험적으로 결정된 값에 대한 제거량의 비(empirically determined ratio of amount removed to the value)(예를 들어, 연마율)로부터 계산될 수 있고, 차 ID를 위에 놓인 층의 소거가 검출되는 시간 TC에서의 인덱스 값 IC에 더한다(도 8 참조).

[0098] 연마 파라미터들을 조절하기 위해, 예를 들어 연마 균일성을 개선하기 위해 기판 상의 하나 이상의 구역의 연마율을 조절하기 위해, 인덱스 값들에 피팅되는 함수를 이용하는 것도 가능하다. 대안적으로, 일부 구현들에서, 어떠한 함수도 시퀀스에 피팅되지 않고, 값들은 그 자체가 예를 들어 타겟 값과의 비교에 의해 연마 종료점을 검출하는 데에 이용된다.

[0099] 도 10을 참조하면, 복수의 인덱스 트레이스가 도시된다. 위에서 논의된 바와 같이, 각각의 구역에 대하여 인덱스 트레이스가 생성될 수 있다. 예를 들어, 인덱스 값들(212)의 제1 시퀀스(210)(속이 빈 원들로 표시됨)가 제1 구역에 대하여 생성될 수 있고, 인덱스 값들(222)의 제2 시퀀스(220)(속이 빈 사각형들로 표시됨)가 제2 구역에 대하여 생성될 수 있고, 인덱스 값들(232)의 제3 시퀀스(230)(속이 빈 삼각형들로 표시됨)가 제3 구역에 대하여 생성될 수 있다. 3개의 구역이 도시되어 있지만, 2개의 구역 또는 4개 이상의 구역이 있을 수 있다. 구역들 전부가 동일 기판 상에 있을 수 있거나, 구역들 중 일부는 동일 플래튼 상에서 동시에 연마되고 있는 상이한 기판들로부터 온 것일 수 있다.

[0100] 위에서 논의된 바와 같이, 제2 층의 소거 및 기저 층 또는 층 구조의 노출을 검출하기 위해 인-시튜 모니터링 기법이 이용될 수 있다. 예를 들어, 시간 TC에서의 제1 층의 노출은 기판으로부터 반사된 광의 전체 강도 또는 모터 토크에서의 갑작스러운 변화에 의해, 또는 이하에 더 상세하게 논의되는 바와 같은 수집된 스펙트럼들의 분산으로부터 검출될 수 있다.

[0101] 각각의 기판 인덱스 트레이스에 대하여, 알려진 차수의 다항식 함수, 예를 들어 1차 함수(예를 들어 라인)가 예를 들어 로버스트 라인 피팅을 이용하여, 관련 구역에 대한 스펙트럼들의 인덱스 값들의 시퀀스(선택적으로는, 시간 TC 이후에 수집된 값들로 한정될 수 있음)에 피팅된다. 예를 들어, 제1 라인(214)은 제1 구역에 대한 인덱스 값들(212)에 피팅될 수 있고, 제2 라인(224)은 제2 구역의 인덱스 값들(222)에 피팅될 수 있고, 제3 라인(234)은 제3 구역의 인덱스 값들(232)에 피팅될 수 있다. 라인을 인덱스 값들에 피팅하는 것은 라인의 기울기 S, 및 라인이 시작 인덱스 값, 예컨대 0과 교차하는 x축 교차 시간(x-axis intersection time) T의 계산을 포함할 수 있다. 함수는 $I(t) = S \cdot (t-T)$의 형태로 표현될 수 있고, 여기에서 t는 시간이다. x축 교차 시간 T는 기판 층의 시작 두께가 기대보다 작음을 나타내는 음의 값(negative value)을 가질 수 있다. 따라서, 제1 라인(214)은 제1 기울기 S1 및 제1 x축 교차 시간 T1을 가질 수 있고, 제2 라인(224)은 제2 기울기 S2 및 제2 x축 교차 시간 T2를 가질 수 있고, 제3 라인(234)은 제3 기울기 S3 및 제3 x축 교차 시간 T3를 가질 수 있다.

[0102] 연마 프로세스 동안의 일부에서, 예를 들어 시간 T0에서, 기판의 구역에 대한 연마율을 조절하기 위해 적어도 하나의 구역에 대한 연마 파라미터가 조절되어, 연마 종료점 시간에서, 그러한 조절이 없었을 때에 비해 복수의 구역이 그들의 타겟 두께에 더 가깝게 한다. 일부 실시예들에서, 각각의 구역은 종료점 시간에서 거의 동일한 두께를 가질 수 있다.

[0103] 도 11을 참조하면, 일부 구현들에서, 하나의 구역이 기준 구역으로서 선택되고, 기준 구역이 타겟 인덱스 IT에 도달할 예상 종료점 시간(projected endpoint time) TE가 결정된다. 예를 들면 도 11에 도시된 바와 같이, 제1 구역이 기준 구역으로서 선택되지만, 다른 구역 및/또는 다른 기판이 선택될 수 있다. 타겟 두께 IT는 연마 동작 전에 사용자에 의해 설정되어 저장된다. 대안적으로, 제거할 타겟량 TR은 사용자에 의해 설정될 수 있고,

타겟 인덱스 IT는 제거할 타겟량 TR로부터 계산될 수 있다. 예를 들어, 인덱스 차 ID는 제거할 타겟량으로부터, 예를 들어 경험적으로 결정된 인덱스에 대한 제거량의 비(예를 들어, 연마율)로부터 계산될 수 있고, 인덱스 차 ID를 위에 놓인 층의 소거가 검출되는 시간 TC에서의 인덱스 값 IC에 더한다.

[0104] 기준 구역이 타겟 인덱스에 도달할 예상 시간을 결정하기 위해, 기준 구역의 라인, 예컨대 라인(214)과 타겟 인덱스 IT의 교점이 계산될 수 있다. 나머지 연마 프로세스 전체에서 연마율이 기대 연마율을 벗어나지 않는다고 가정하면, 인덱스 값들의 시퀀스는 실질적으로 선형인 진행(substantially linear progression)을 유지해야 한다. 따라서, 기대 종료점 시간 TE는 타겟 인덱스 IT까지의 라인의 단순한 선형 내삽으로서 계산될 수 있는데, 예를 들면 IT=S·(TE-T)이다. 따라서, 제1 구역이 기준 구역으로서 선택되는 도 11의 예에서, 관련 제1 라인(214)을 이용하면, IT=S1·(TE-T1), 즉 TE = IT/S1-T1이다.

[0105] 기준 구역 외의 하나 이상의 구역, 예를 들어 모든 구역(다른 기판들 상의 구역을 포함함)은 조절가능한 구역으로서 정의될 수 있다. 조절가능한 구역들에 대한 라인들이 기대 종료점 시간 TE를 만나는 곳은 조절가능한 구역들에 대한 예상 종료점을 정의한다. 따라서, 각각의 조절가능한 구역의 선형 함수, 예를 들어 도 11의 라인들(224 및 234)은 관련 구역에 대하여 기대 종료점 시간 ET에서 달성될 인덱스, 예를 들어 EI2 및 EI3를 외삽(extrapolate)하기 위해 이용될 수 있다. 예를 들어, 제2 라인(224)은 제2 구역에 대한 기대 종료점 시간 ET에서 기대 인덱스 EI2를 외삽하기 위해 이용될 수 있고, 제3 라인(234)은 제3 구역에 대한 기대 종료점 시간 ET에서 기대 인덱스 EI3를 외삽하기 위해 이용될 수 있다.

[0106] 도 11에 도시된 바와 같이, 시간 T0 이후에 구역들 중 어느 것에 대해서도 연마율의 조절이 행해지지 않는다면, 종료점이 모든 구역들에 대해 동시에 강제되는 경우, 각각의 구역은 상이한 두께를 가질 수 있다(이는 결함 및 수율의 손실을 야기할 수 있으므로 바람직하지 않음).

[0107] 상이한 구역들에 대해 상이한 시간들에서 타겟 인덱스가 도달될 것인 경우(또는 동등하게, 조절가능한 구역들이 기준 구역의 예상 종료점 시간에서 상이한 기대 인덱스들을 가질 것인 경우), 연마율은 상향 또는 하향 조절될 수 있고, 그에 의해, 구역들은 그러한 조절이 없는 경우에 비해 더 동시에 가깝게, 예컨대 거의 동시에 타겟 인덱스에 도달할 것이고(그에 따라 타겟 두께에 도달할 것이고), 다르게는 그러한 조절이 없는 경우에 비해, 타겟 시간에서 동일한 인덱스 값에 더 가깝게(그에 따라 동일한 두께에 더 가깝게), 예를 들어 거의 동일한 인덱스 값을 가질 것이다(따라서 거의 동일한 두께를 가질 것이다).

[0108] 따라서, 도 11의 예에서, 시간 T0에서 시작하여, 제2 구역에 대한 적어도 하나의 연마 파라미터는 그 구역의 연마율이 증가되도록(그리고, 결과적으로 인덱스 트레이스(220)의 기울기가 증가되도록) 수정된다. 또한, 본 예에서, 제3 구역에 대한 적어도 하나의 연마 파라미터는 제3 구역의 연마율이 감소되도록(그리고, 결과적으로 인덱스 트레이스(230)의 기울기가 감소되도록) 수정된다. 그 결과, 구역들은 거의 동시에 타겟 인덱스에(그리고 그에 따라 타겟 두께에) 도달할 것이다(또는, 구역들에 대한 압력이 동시에 중지되는 경우, 구역들은 거의 동일한 두께로 종료될 것이다).

[0109] 일부 구현들에서, 기대 종료점 시간 ET에서의 예상 인덱스가 기판의 구역이 타겟 두께의 미리 정의된 범위 내에 있음을 나타내는 경우, 그 구역에 대해서는 조절이 요구되지 않을 수 있다. 범위는 타겟 인덱스의 2%, 예를 들면 1% 이내일 수 있다.

[0110] 조절가능한 구역들에 대한 연마율들이 조절될 수 있고, 그에 의해 구역들 전부는 그러한 조절이 없을 때에 비해 기대 종료점 시간에서 타겟 인덱스에 더 가깝게 된다. 예를 들어, 기준 기판의 기준 구역이 선택될 수 있고, 구역들 전부가 대략적으로 기준 기판의 예상 시간에서 종료점을 갖도록 다른 구역 전부에 대한 처리 파라미터들이 조절될 수 있다. 기준 구역은 예를 들어 미리 정해진 구역, 예를 들어 중심 구역(148a) 또는 중심 구역을 직접 둘러싸고 있는 구역(148b), 기판들 중 임의의 기판의 구역들 중 임의의 구역 중의 가장 이른 또는 가장 늦은 예상 종료점 시간을 갖는 구역, 또는 원하는 예상 종료점을 갖는 기판의 구역일 수 있다. 연마가 동시에 중지되는 경우, 가장 이른 시간(the earliest time)은 가장 얇은 기판과 동등하다. 마찬가지로, 연마가 동시에 중지되는 경우, 가장 늦은 시간(the latest time)은 가장 두꺼운 기판과 동등하다. 기준 기판은 예를 들어 미리 결정된 기판, 즉 기판들 중 가장 이른 또는 가장 늦은 예상 종료점 시간을 갖는 구역을 갖는 기판일 수 있다. 연마가 동시에 중지되는 경우, 가장 이른 시간은 가장 얇은 구역과 동등하다. 마찬가지로, 연마가 동시에 중지되는 경우, 가장 늦은 시간은 가장 두꺼운 구역과 동등하다.

[0111] 조절가능한 구역들 각각에 대하여, 조절가능한 구역이 기준 구역과 동시에 타겟 인덱스에 도달하도록, 인덱스 트레이스에 대한 원하는 기울기가 계산될 수 있다. 예를 들어, 원하는 기울기 SD는 (IT-I)=SD*(TE-T0)로부터

계산될 수 있고, 여기에서 I는 연마 파라미터가 변화될 시간 T0에서의 인덱스 값(인덱스 값들의 시퀀스에 피팅되는 선형 함수로부터 계산됨)이고, IT는 타겟 인덱스이고, TE는 계산된 기대 종료점 시간이다. 도 11의 예에서, 제2 구역에 대해서는 원하는 기울기 SD2가 (IT-I2)=SD2*(TE-T0)로부터 계산될 수 있고, 제3 구역에 대해서는 원하는 기울기 SD3가 (IT-I3)=SD3*(TE-T0)로부터 계산될 수 있다.

[0112] 대안적으로, 일부 구현들에서, 기준 구역은 존재하지 않고, 기대 종료점 시간은 예를 들어 연마 프로세스 전에 사용자에 의해 설정된 미리 결정된 시간일 수 있거나, 하나 이상의 기판으로부터의 둘 이상의 구역의 기대 종료점 시간들(다양한 구역들에 대한 라인들을 타겟 인덱스까지 추계(projecting)함으로써 계산됨)의 평균 또는 다른 조합으로부터 계산될 수 있다. 이러한 구현에서, 원하는 기울기들은 실질적으로 위에서 논의된 바와 같이 계산되지만, 제1 기판의 제1 구역에 대한 원하는 기울기 또한 반드시 계산되어야 하는데, 예를 들면 원하는 기울기 SD1은 (IT-I1)=SD1*(TE'-T0)로부터 계산될 수 있다.

[0113] 대안적으로, 일부 구현들에서, 상이한 구역들에 대하여 상이한 타겟 인덱스들이 존재한다. 이것은 신중하지만 제어가능한 불균일한 두께 프로파일을 기판 상에 생성하는 것을 허용한다. 타겟 인덱스들은 예를 들어 제어기 상의 입력 장치를 이용하여, 사용자에 의해 입력될 수 있다. 예를 들어, 기판의 제1 구역은 제1 타겟 인덱스를 가질 수 있고, 기판의 제2 구역은 제2 타겟 인덱스를 가질 수 있고, 기판의 제3 구역은 제3 타겟 인덱스를 가질 수 있다.

[0114] 전술한 상기 방법들 중 임의의 것에 대하여, 연마율이 조절되어, 인덱스 트레이스의 기울기가 원하는 기울기에 더 가까워지게 한다. 연마율들은 예를 들어 캐리어 헤드의 대응 챔버 내의 압력을 증가시키거나 감소시킴으로써 조절될 수 있다. 연마율에서의 변화는 압력에서의 변화에 직접 비례하는 것으로, 예를 들어 단순 프레스토니안(Prestonian) 모델로 가정될 수 있다. 예를 들어, 각각의 기판의 각각의 구역에 대하여, 구역이 시간 T0 이전에 압력 Pold로 연마된 경우, 시간 T0 이후에 인가할 새로운 압력 Pnew는 Pnew = Pold*(SD/S)로서 계산될 수 있고, 여기에서 S는 시간 T0 이전의 라인의 기울기이고, SD는 원하는 기울기이다.

[0115] 예를 들어, 압력 Pold1이 기판의 제1 구역에 인가되었고, 압력 Pold2가 기판의 제2 구역에 인가되었고, 압력 Pold3가 기판의 제3 구역에 인가되었다면, 기판의 제2 구역에 대한 새로운 압력 Pnew2는 Pnew2=Pold2*(SD2/S2)로서 계산될 수 있고, 기판의 제3 구역에 대한 새로운 압력 Pnew3는 Pnew3=Pold3*(SD3/S3)로서 계산될 수 있다.

[0116] 기판들이 타겟 두께에 도달한 예상 시간을 결정하고 연마율들을 조절하는 프로세스는 연마 프로세스 동안 단 한 번만, 예를 들어 특정 시간에서, 예를 들어 기대 연마 시간 전체의 40 내지 60%에서 수행될 수 있거나, 연마 프로세스 동안 여러 회, 예를 들어 30 내지 60초마다 수행될 수 있다. 연마 프로세스 동안의 후속 시간에서, 적절하다면 연마율들이 다시 조절될 수 있다. 연마 프로세스 동안, 연마율들의 변화는 4회, 3회, 2회 또는 단 1회와 같이, 몇 회만 행해질 수 있다. 조절은 연마 프로세스의 시작 부근에서, 중간에서, 또는 종료 근처에서 행해질 수 있다.

[0117] 연마율들이 조절된 후에, 예를 들어 시간 T0후에 연마가 계속되고, 광학 모니터링 시스템은 계속하여, 적어도 기준 구역에 대하여 스펙트럼들을 수집하며, 기준 구역에 대한 인덱스 값들을 결정한다. 일부 구현들에서, 광학 모니터링 시스템은 스펙트럼들을 수집하고, 각 구역에 대한 인덱스 값들을 결정하는 것을 계속한다. 기준 구역의 인덱스 트레이스가 타겟 인덱스에 도달하고 나면, 종료점이 선언되고, 연마 동작이 중단된다.

[0118] 예를 들어, 도 12에 도시된 바와 같이, 시간 T0 이후에, 광학 모니터링 시스템은 계속하여 기준 구역에 대하여 스펙트럼들을 수집하고 기준 구역에 대한 인덱스 값들(312)을 결정한다. 기준 구역에 대한 압력이 변화하지 않은 경우(예를 들어, 도 11의 구현에서와 같이), 갱신된 선형 함수(314)를 제공하기 위해, 선형 함수는 T0 이전(TC 이전은 아님)과 T0 이후 둘 다로부터의 데이터 포인트들을 이용하여 계산될 수 있고, 선형 함수(314)가 타겟 인덱스 IT에 도달하는 시간이 연마 종료점 시간을 나타낸다. 한편, 기준 구역에 대한 압력이 시간 T0에서 변화한 경우, 기울기 S'를 갖는 새로운 선형 함수(314)는 시간 T0 이후의 인덱스 값들(312)의 시퀀스로부터 계산될 수 있고, 새로운 선형 함수(314)가 타겟 인덱스 IT에 도달하는 시간이 연마 종료점 시간을 나타낸다. 종료점을 결정하기 위해 이용되는 기준 구역은 기대 종료점 시간을 계산하기 위해 전술한 바와 같이 이용된 것과 동일한 기준 구역, 또는 다른 구역일 수 있다(다르게는, 도 11을 참조하여 설명된 바와 같이 구역들 전부가 조절된 경우, 기준 구역이 종료점 결정을 목적으로 선택될 수 있음). 새로운 선형 함수(314)가 본래의 선형 함수(214)로부터 계산된 예상된 시간보다 약간 늦게(도 12에 도시된 바와 같이) 또는 약간 이르게 타겟 인덱스 IT에 도달하는 경우, 구역들 중 하나 이상은 각각 약간 과다 연마되거나(overpolished) 과소 연마될 수 있다(underpolished). 그러나, 기대 종료점 시간과 실제 연마 시간 사이의 차는 몇 초보다 작아야 하므로, 이것이

연마 균일성에 심각한 영향을 줄 필요는 없다.

[0119] 일부 구현들에서, 예를 들어 구리 연마에 대하여, 기판을 위한 종료점의 검출 후에, 기판은 예를 들어 구리 잔류물을 제거하기 위해 과다 연마 프로세스에 곧바로 종속된다. 과다 연마 프로세스는 기판의 모든 구역들에 대하여 균일한 압력에서, 예를 들어 1 내지 1.5psi에서 있을 수 있다. 과다 연마 프로세스는 미리 설정된 지속기간, 예를 들어 10 내지 15초를 가질 수 있다.

[0120] 특정 구역에 대해 복수의 인덱스 트레이스가 생성되는 경우, 예를 들어 특정 구역에 대해 관심있는 각각의 라이브러리에 대해 하나의 인덱스 트레이스가 생성되는 경우, 그 특정 구역에 대한 종료점 또는 압력 제어 알고리즘에서 사용되도록 인덱스 트레이스들 중 하나가 선택될 수 있다. 예를 들어, 동일 구역에 대해 생성되는 각각의 인덱스 트레이스에 대하여, 제어기(190)는 선형 함수를 그 인덱스 트레이스의 인덱스 값들에 피팅할 수 있으며, 인덱스 값들의 시퀀스에 대한 그 선형 함수의 피팅 양호도(goodness of fit)를 결정할 수 있다. 자기 자신의 인덱스 값들과의 최상의 피팅 양호도를 갖는 라인을 갖는 생성된 인덱스 트레이스가 그 특정 구역 및 기판을 위한 인덱스 트레이스로서 선택될 수 있다. 예를 들어, 예컨대 시간 T0에서 조절가능한 구역들의 연마율들을 어떻게 조절할지를 결정할 때, 최상의 피팅 양호도를 갖는 선형 함수가 계산에서 이용될 수 있다. 다른 예로서, 최상의 피팅 양호도를 갖는 라인에 대한 계산된 인덱스(인덱스 값들의 시퀀스에 피팅된 선형 함수로부터 계산된 것)가 타겟 인덱스와 일치하거나 그를 초과할 때, 종료점이 선언될 수 있다. 또한, 선형 함수로부터 인덱스 값을 계산하기 보다는, 인덱스값들 자체가 타겟 인덱스와 비교되어 종료점이 결정될 수 있다.

[0121] 스펙트럼 라이브러리에 관련된 인덱스 트레이스가 라이브러리에 관련된 선형 함수에 대해 최상의 피팅 양호도를 갖는지를 판정하는 것은, 관련 스펙트럼 라이브러리의 인덱스 트레이스가, 다른 라이브러리에 관련된 인덱스 트레이스 및 관련 로버스트 라인으로부터의 차들에 비교하여 상대적으로 관련 로버스트 라인으로부터의 최소량의 차를 갖는지, 예를 들어 최저의 표준 편차, 최대의 상관 또는 다른 변이(variance) 척도를 갖는지를 판정하는 것을 포함할 수 있다. 일 구현에서, 피팅 양호도는 인덱스 데이터 포인트들과 선형 함수 간의 제곱 차들의 합산을 계산함으로써 결정되고, 제곱 차들의 합산이 최저인 라이브러리가 최상의 피팅을 갖는다.

[0122] 도 13을 참조하면, 간략한 흐름도(1300)가 도시된다. 전술한 바와 같이, 기판의 복수의 구역이 연마 장치 내에서 동일한 연마 패드로 동시에 연마된다(단계(1302)). 이러한 연마 동작 동안, 각각의 구역은 독립적으로 변경가능한 연마 파라미터, 예를 들어 특정 구역 위의 캐리어 헤드 내의 챔버에 의해 가해지는 압력에 의해 다른 기판들에 독립적으로 제어가능한 자신의 연마율을 갖는다. 연마 동작 동안, 기판은 예를 들어 각각의 구역으로부터 획득된 측정 스펙트럼들의 시퀀스로, 전술한 바와 같이 모니터링된다(단계(1304)). 시퀀스 내의 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여, 최상의 매칭인 기준 스펙트럼이 결정된다(단계(1306)). 최상의 피팅인 각각의 기준 스펙트럼에 대한 인덱스 값이 결정되어, 인덱스 값들의 시퀀스가 생성된다(단계(1308)).

[0123] 제2 층의 소거가 검출된다(단계(1310)). 각각의 구역에 대하여, 제2 층의 소거가 검출된 후에 수집된 스펙트럼들에 대한 인덱스 값들의 시퀀스에 선형 함수가 피팅된다(단계(1312)). 일 구현에서, 기준 구역에 대한 선형 함수가 타겟 인덱스 값에 도달할 기대 종료점 시간이 예를 들어 선형 함수의 선형 내삽에 의해 결정된다(단계(1314)). 다른 구현들에서, 복수의 구역의 기대 종료점 시간들의 조합으로서, 기대 종료점 시간이 미리 결정되거나 계산된다. 필요하다면, 복수의 구역이 거의 동시에 타겟 두께에 도달하도록, 또는 복수의 구역이 타겟 시간에서 거의 동일한 두께(또는 타겟 두께)를 갖도록 그 기판의 연마율을 조절하기 위해, 다른 구역들에 대한 연마 파라미터들이 조절된다(단계(1316)). 파라미터들이 조절된 후에 연마가 계속되고, 각각의 구역에 대해, 스펙트럼을 측정하고, 라이브러리로부터 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼을 결정하고, 연마 파라미터가 조절된 후의 기간 동안의 인덱스 값들의 새로운 시퀀스를 생성하기 위해 가장 잘 매칭되는 스펙트럼에 대한 인덱스 값을 결정하고, 선형 함수를 인덱스 값들에 피팅한다(단계(1318)). 기준 구역에 대한 인덱스 값(예를 들어, 인덱스 값들의 새로운 시퀀스에 피팅된 선형 함수로부터 생성된 계산된 인덱스 값)이 타겟 인덱스에 도달하고 나면, 연마가 중지될 수 있다(단계(1330)).

[0124] 일부 구현들에서, 인덱스 값들의 시퀀스는 기판의 하나 이상의 구역의 연마율을 조절하기 위해 이용되지만, 연마 종료점을 검출하기 위해 다른 인-시튜 모니터링 시스템 또는 기법이 이용된다.

[0125] 상기의 논의는 플래튼 내에 설치된 광학 종료점 모니터를 갖는 회전 플래튼을 가정하지만, 시스템은 모니터링 시스템과 기판 간의 다른 유형의 상대적 움직임에 적용가능할 수 있다. 예를 들어, 일부 구현들에서, 예를 들어 궤도 움직임에서, 광원은 기판 상의 상이한 위치들을 횡단하지만, 기판의 에지를 건너지는 않는다. 그러한 경우들에서, 수집된 스펙트럼들은 여전히 그룹화될 수 있는데, 예를 들면 스펙트럼들은 소정 주파수에서 수집될 수 있고, 기간 내에 수집된 스펙트럼들이 그룹의 부분으로 고려될 수 있다. 기간은 각각의 그룹에 대하여 5개

내지 20개의 스펙트럼이 수집될 정도로 충분히 길어야 한다.

[0126] 본 명세서에서 사용될 때, 기판이라는 용어는 예를 들어 제품 기판(예를 들어 복수의 메모리 또는 프로세서 다이를 포함하는 것), 테스트 기판, 베어 기판(bare substrate) 또는 게이팅 기판(gating substrate)을 포함할 수 있다. 기판은 집적 회로 제조의 다양한 스테이지에 있을 수 있는데, 예를 들면 기판은 베어 웨이퍼일 수 있거나, 하나 이상의 퇴적된 및/또는 패터닝된 층을 포함할 수 있다. 기판이라는 용어는 원형 디스크 및 직사각형 시트를 포함할 수 있다.

[0127] 본 명세서에 설명된 실시예들 및 기능적 동작들 전부는 본 명세서에 개시된 구조적 수단들 및 그들의 구조적 등가물을 포함하는 컴퓨터 소프트웨어, 펌웨어 또는 하드웨어로, 또는 디지털 전자 회로로, 또는 그들의 조합으로 구현될 수 있다. 실시예들은 하나 이상의 컴퓨터 프로그램 제품으로서, 즉 데이터 처리 장치, 예를 들어, 프로그램가능 프로세서, 컴퓨터, 또는 다수의 프로세서나 컴퓨터에 의해 실행되거나 그것의 동작을 제어하기 위해, 머신 판독가능한 저장 매체에 유형으로(tangibly) 구현되는 하나 이상의 컴퓨터 프로그램으로서 구현될 수 있다. 컴퓨터 프로그램(프로그램, 소프트웨어, 소프트웨어 애플리케이션 또는 코드로도 알려져 있음)은 컴파일 또는 해석된 언어를 포함하는 임의의 형태의 프로그래밍 언어로 작성될 수 있고, 독립형 프로그램이나 모듈, 컴포넌트, 서브루틴, 또는 컴퓨팅 환경에서 이용하기에 적합한 다른 유닛을 포함하는 임의의 형태로 배치될 수 있다. 컴퓨터 프로그램이 반드시 파일에 대응하지는 않는다. 프로그램은 다른 프로그램 또는 데이터를 유지하는 파일의 일부분 내에, 해당 프로그램에 전용인 단일 파일 내에, 또는 복수의 코디네이트된 파일(예를 들어, 하나 이상의 모듈, 서브 프로그램 또는 코드의 일부분을 저장하는 파일) 내에 저장될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 하나의 컴퓨터 상에, 또는 한 장소에 있거나 복수의 장소에 걸쳐 분산되어 통신 네트워크에 의해 상호접속되는 복수의 컴퓨터 상에서 실행되도록 배치될 수 있다.

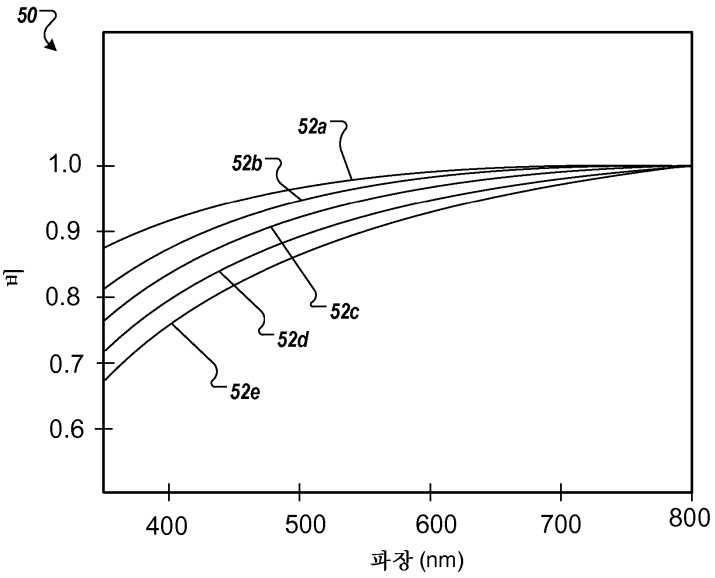
[0128] 본 명세서에 설명된 프로세스 및 논리 흐름은 입력 데이터에 작용하여 출력을 생성함으로써 기능을 수행하기 위해 하나 이상의 컴퓨터 시스템 내에서 하나 이상의 컴퓨터 프로그램을 실행하는 하나 이상의 프로그램가능한 프로세서에 의해 수행될 수 있다. 프로세스 및 논리 흐름은 또한 특수 목적의 논리 회로, 예를 들어 FPGA(field programmable gate array) 또는 ASIC(application-specific integrated circuit)에 의해 수행될 수 있으며, 장치 또한 그들로서 구현될 수 있다.

[0129] 전술한 연마 장치 및 방법은 다양한 연마 시스템에서 적용될 수 있다. 연마 패드 또는 캐리어 헤드, 또는 둘 다가 연마 표면과 기판 사이의 상대적인 움직임을 제공하기 위해 이동할 수 있다. 예를 들어, 플래튼은 회전이 아니라 궤도를 그리며 돌 수 있다. 연마 패드는 플래튼에 고정된 원형(또는 소정의 다른 형상)의 패드일 수 있다. 종료점 검출 시스템의 일부 양태들은, 예를 들면 연마 패드가 선형으로 이동하는 연속적 또는 릴-투-릴(reel-to-reel) 벨트인, 선형 연마 시스템에 적용가능할 수 있다. 연마 층은 표준(예를 들어, 필러를 갖거나 갖지 않는 폴리우레탄) 연마 재료, 연성 재료, 또는 고정식 연마 재료(fixed-abrasive material)일 수 있다. 상대적 위치의 용어들이 이용되는데, 연마 표면과 기판은 수직 배향 또는 소정의 다른 배향으로 유지될 수 있음을 이해해야 한다.

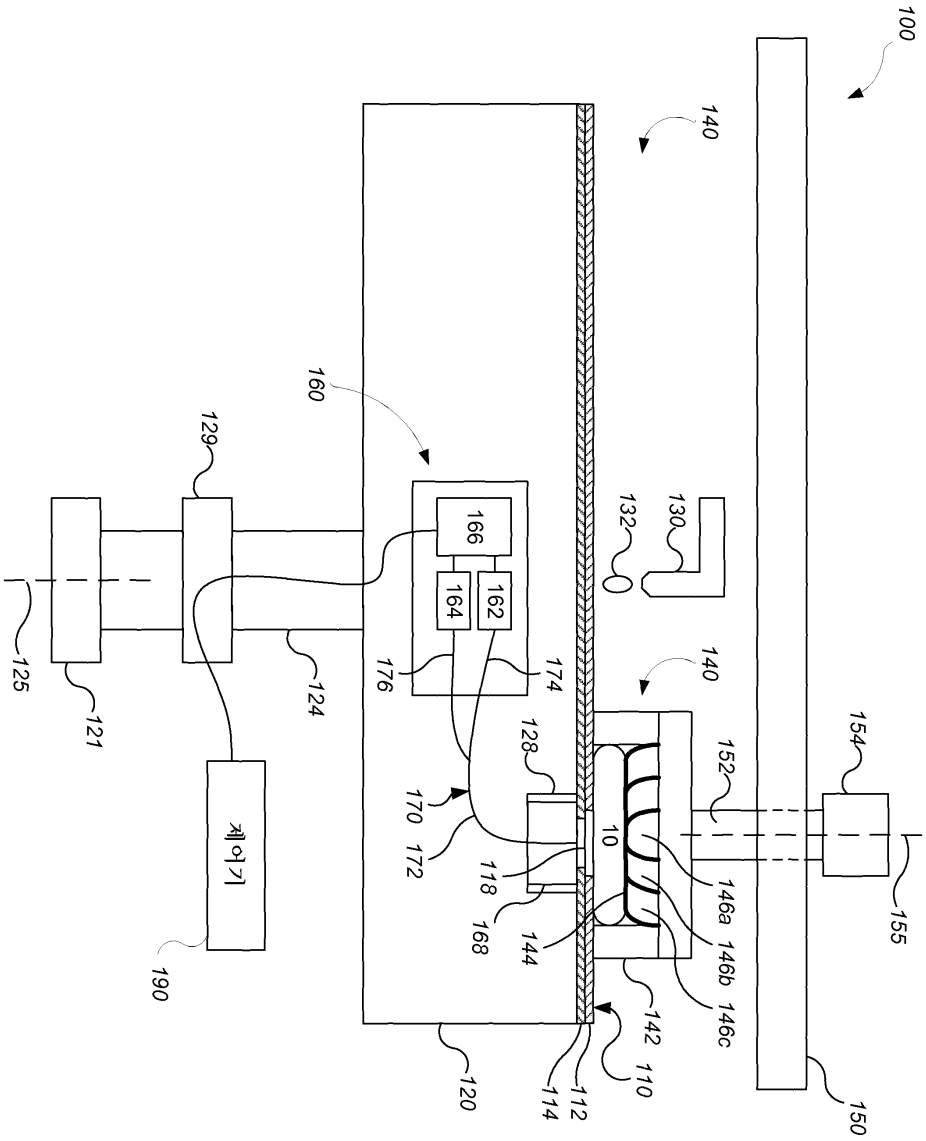
[0130] 본 발명의 구체적인 실시예들이 설명되었다. 다른 실시예들은 이하의 청구항들의 범위 내에 있다.

도면

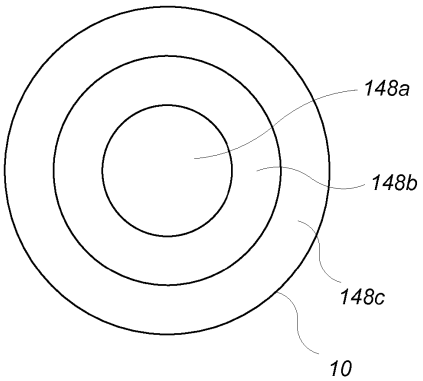
도면1



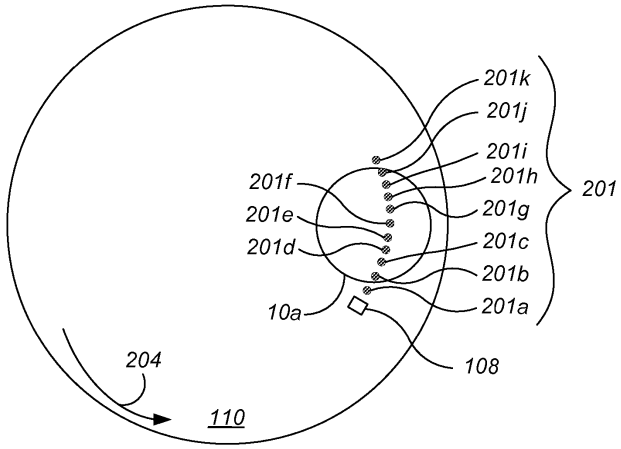
도면2


100
140
160
129
166
164
162
132
130
125
121
124
176
174
140
128
152
154
170
172
10
118
168
144
146a
146b
146c
155
제어기
190
142
110
120
112
114
150

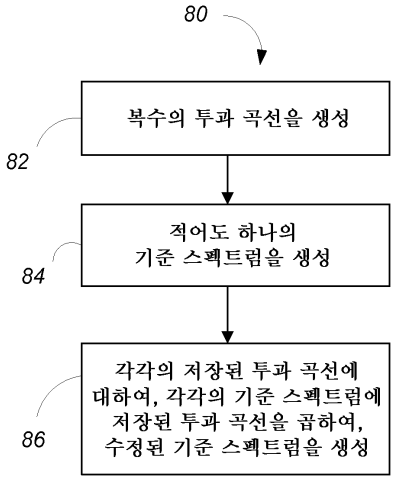
도면3


148a
148b
148c
10

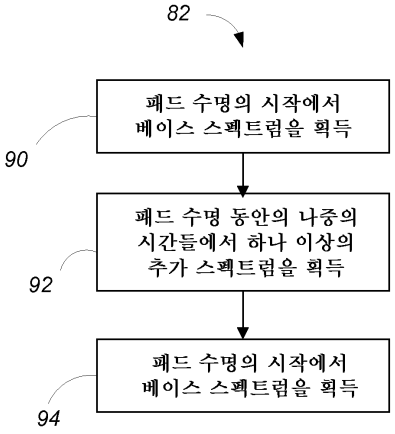
도면4



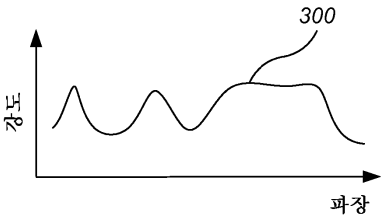
도면5a



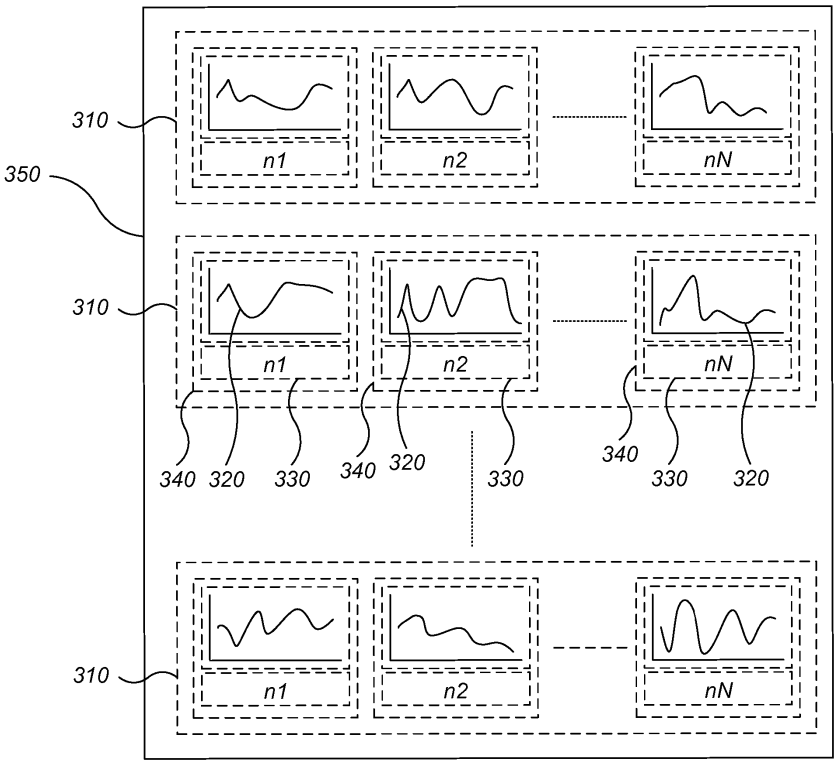
도면5b



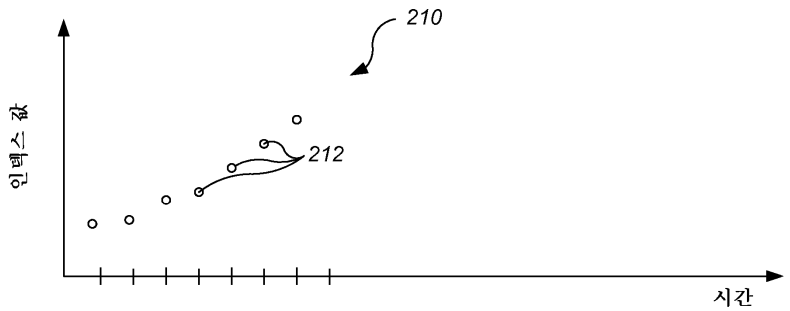
도면6a



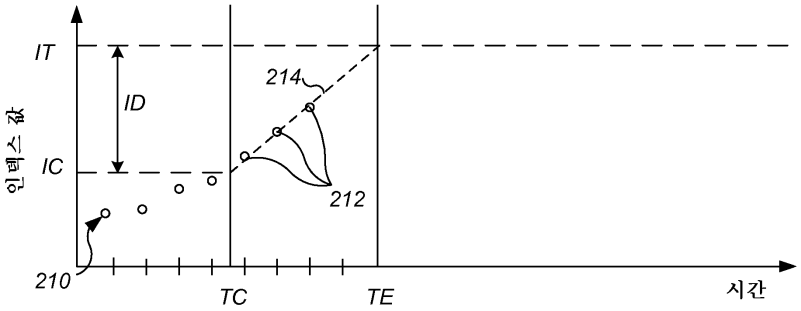
도면6b



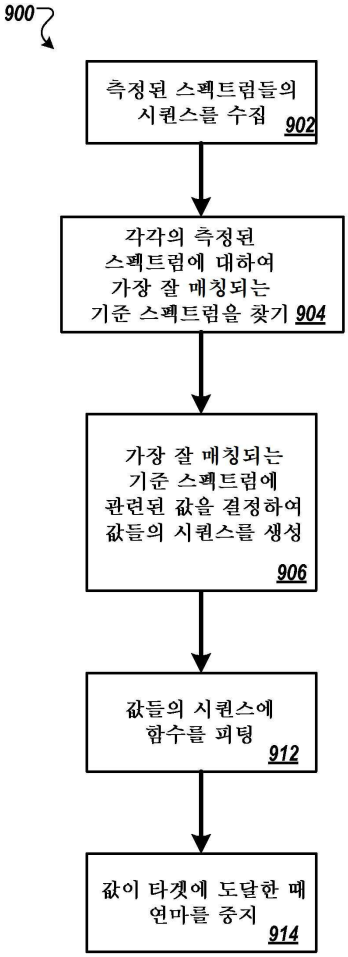
도면7



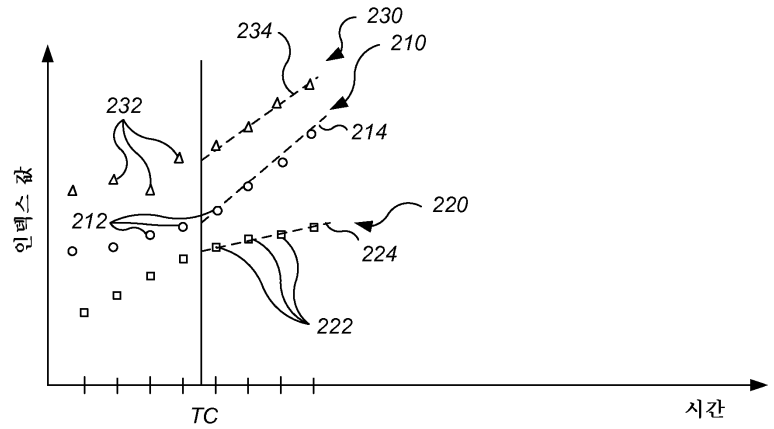
도면8


IT
ID
IC
인덱스 값
214
212
210
TC
TE
시간

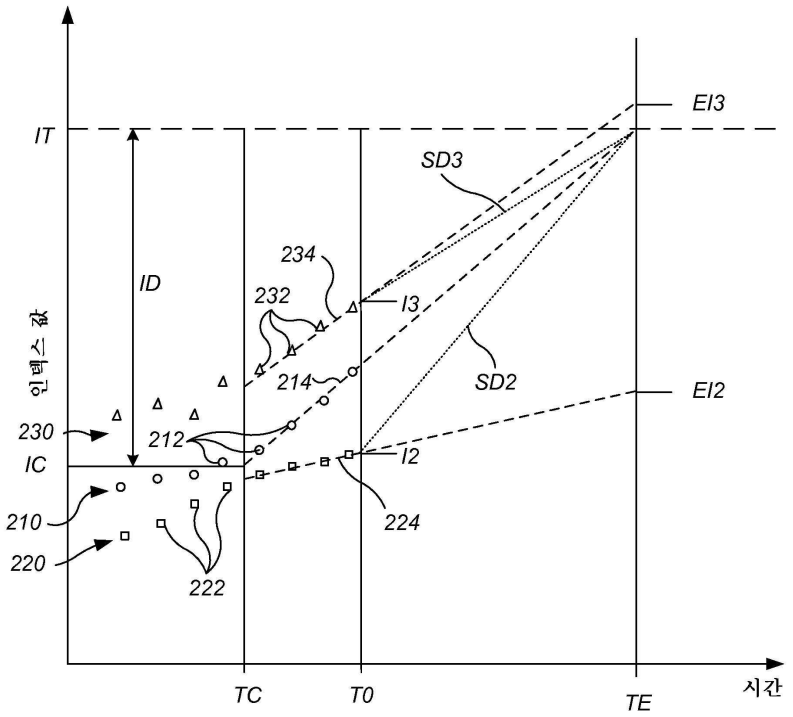
도면9


900
측정된 스펙트럼들의 시퀀스를 수집 902
각각의 측정된 스펙트럼에 대하여 가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼을 찾기 904
가장 잘 매칭되는 기준 스펙트럼에 관련된 값을 결정하여 값들의 시퀀스를 생성 906
값들의 시퀀스에 함수를 피팅 912
값이 타겟에 도달한 때 연마를 중지 914

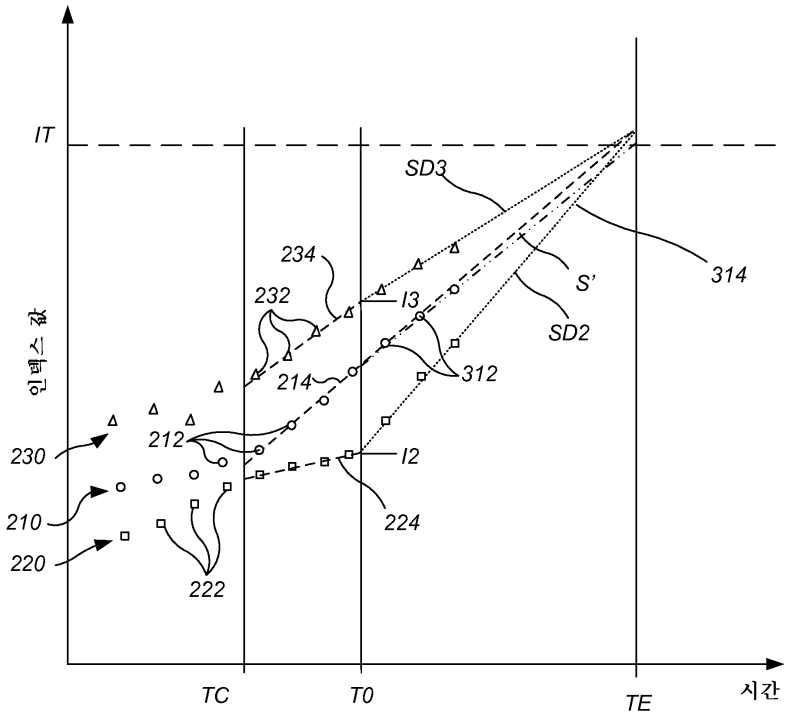
도면10


234
230
210
232
214
220
212
224
222
인덱스 값
TC
시간

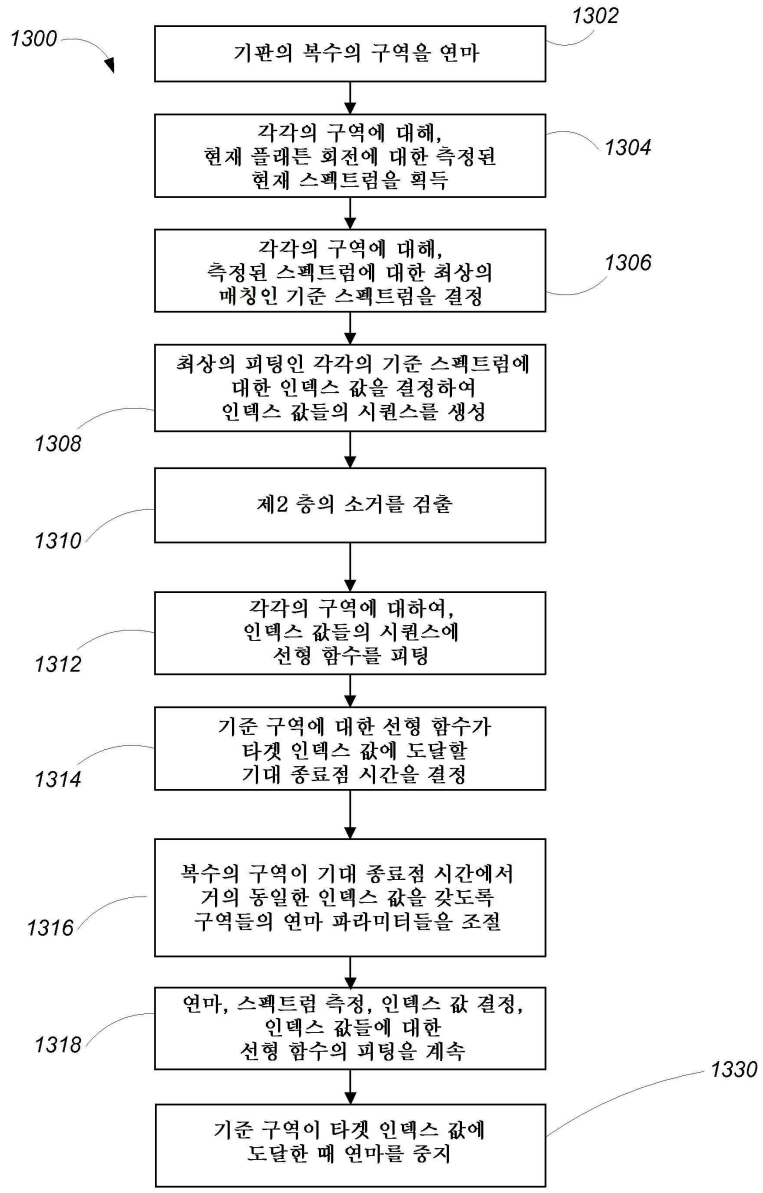
도면11


EI3
IT
SD3
ID
234
232
I3
214
SD2
EI2
230
212
IC
I2
224
210
220
222
인덱스 값
TC
T0
TE
시간

도면12


IT
SD3
234
232
I3
S'
314
SD2
214
312
212
I2
230
210
224
220
222
인덱스 값
TC
T0
TE
시간

도면13


1300
기판의 복수의 구역을 연마
1302
각각의 구역에 대해,
현재 플래튼 회전에 대한 측정된
현재 스펙트럼을 획득
1304
각각의 구역에 대해,
측정된 스펙트럼에 대한 최상의
매칭인 기준 스펙트럼을 결정
1306
최상의 피팅인 각각의 기준 스펙트럼에
대한 인덱스 값을 결정하여
인덱스 값들의 시퀀스를 생성
1308
제2 층의 소거를 검출
1310
각각의 구역에 대하여,
인덱스 값들의 시퀀스에
선형 함수를 피팅
1312
기준 구역에 대한 선형 함수가
타겟 인덱스 값에 도달할
기대 종료점 시간을 결정
1314
복수의 구역이 기대 종료점 시간에서
거의 동일한 인덱스 값을 갖도록
구역들의 연마 파라미터들을 조절
1316
연마, 스펙트럼 측정, 인덱스 값 결정,
인덱스 값들에 대한
선형 함수의 피팅을 계속
1318
기준 구역이 타겟 인덱스 값에
도달한 때 연마를 중지
1330