



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년01월31일
 (11) 등록번호 10-1944325
 (24) 등록일자 2019년01월25일

- | | |
|---|---|
| (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/304 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 21/304 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-7005672(분할)
(22) 출원일자(국제) 2009년09월03일
심사청구일자 2018년02월26일
(85) 번역문제출일자 2018년02월26일
(65) 공개번호 10-2018-0030209
(43) 공개일자 2018년03월21일
(62) 원출원 특허 10-2016-7028827
원출원일자(국제) 2009년09월03일
심사청구일자 2016년10월17일
(86) 국제출원번호 PCT/US2009/055935
(87) 국제공개번호 WO 2010/028180
국제공개일자 2010년03월11일
(30) 우선권주장
61/094,379 2008년09월04일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2005217139 A
JP2006328543 A
KR1020080042895 A | (73) 특허권자
어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050
(72) 발명자
킨, 준
미국 94087 캘리포니아 써니베일 더블린 웨이 575
단다파니, 시바쿠말
미국 95136 캘리포니아 샌어제이 화이트 차펠 애브뉴 494
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 남앤남 |
|---|---|

전체 청구항 수 : 총 15 항

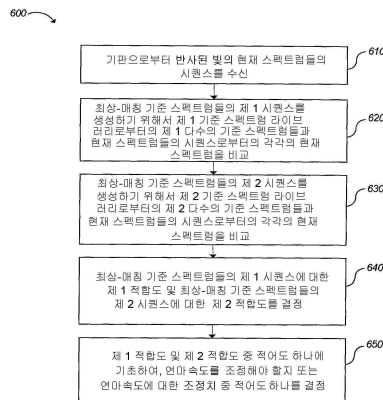
심사관 : 김진우

(54) 발명의 명칭 **다중 스펙트럼들을 이용한 화학 기계적 연마에서의 종료점 검출**

(57) 요약

컴퓨터 구현되는 방법은 기관으로부터 반사된 빛의 현재 스펙트럼들의 시퀀스를 수신하는 단계; 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스를 생성하기 위해 상기 현재 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 각각의 현재 스펙트럼을 기준 스펙트럼 라이브러리로부터의 다수의 기준 스펙트럼들과 비교하는 단계; 상기 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스에 대한 적합도를 결정하는 단계; 및 상기 적합도에 기초하여, 연마 속도를 조정해야 할지 여부 또는 상기 연마 속도에 대한 조정치 중 적어도 하나를 결정하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도6



(72) 발명자

리, 해리, 큐.

미국 94024 캘리포니아 로스 알토스 벤 로이 드라
이브 1501

오스터헬드, 토마스, 에이치.

미국 94040 캘리포니아 마운틴 뷰 바바라 애브뉴
1195

츄, 자이즈

미국 95014 캘리포니아 쿠파티노 테리 웨이 #3
10282

명세서

청구범위

청구항 1

컴퓨터로 구현되는 방법으로서,

인-시튜 광학 모니터링 시스템으로 적어도 하나의 현재 스펙트럼을 획득하는 단계 - 상기 현재 스펙트럼은 연마를 받고 있는 최외곽 층 및 적어도 하나의 하부 층을 갖는 기판으로부터 반사된 광의 스펙트럼임 -;

복수의 상이한 기준 스펙트럼들로부터 상기 현재 스펙트럼에 가장 잘 맞는 최적합 기준 스펙트럼(best-fitting reference spectrum)을 찾는 단계 - 상기 복수의 기준 스펙트럼들은, 상이한 두께를 가지는 최외곽 층들을 갖는 기판들로부터 반사된 광의 스펙트럼들을 나타내는 일부 기준 스펙트럼들을 포함하고, 동일한 두께를 가지는 최외곽 층들 및 상이한 두께들을 가지는 하부 층들을 갖는 기판들로부터 반사된 광의 스펙트럼들을 나타내는 일부 기준 스펙트럼들을 포함함 -; 및

상기 최적합 기준 스펙트럼에 기초하여 연마를 받고 있는 상기 최외곽 층을 갖는 상기 기판에 대해 연마 종료점이 달성되었는지 여부를 결정하는 단계

를 포함하는,

컴퓨터로 구현되는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 기준 스펙트럼들은 경험적(empirically)으로 생성되는,

컴퓨터로 구현되는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 기준 스펙트럼들은 이론(theory)으로부터 생성되는,

컴퓨터로 구현되는 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 최적합 기준 스펙트럼의 인덱스 값을 결정하는 단계

를 포함하는,

컴퓨터로 구현되는 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 인덱스 값은 상기 기준 스펙트럼이 나타날 예상된 플래튼 회전(expected platen rotation)을 나타내는,

컴퓨터로 구현되는 방법.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상이한 시간들에서의 복수의 현재 스펙트럼들을 수신하는 단계;

상기 복수의 현재 스펙트럼들의 각각의 현재 스펙트럼에 대하여 상기 복수의 상이한 기준 스펙트럼들로부터 최적합 기준 스펙트럼을 찾는 단계; 및

시간에 따라 복수의 인덱스 값들을 생성하기 위해 각 최적합 기준 스펙트럼의 인덱스 값을 결정하는 단계를 포함하는,

컴퓨터로 구현되는 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 복수의 현재 스펙트럼들은 상기 기관을 가로지르는 상기 인-시튜 광학 모니터링 시스템의 복수의 스윕(sweep)들로부터의 일련의 현재 스펙트럼들을 포함하는,

컴퓨터로 구현되는 방법.

청구항 8

데이터 프로세싱 장치로 하여금 동작들을 수행하게 하는 명령들을 포함하는 컴퓨터-판독가능 저장 매체로서,

상기 동작들은,

인-시튜 광학 모니터링 시스템으로부터 적어도 하나의 현재 스펙트럼을 수신하는 동작 - 상기 현재 스펙트럼은 연마를 받고 있는 최외곽 층 및 적어도 하나의 하부 층을 갖는 기관으로부터 반사된 광의 스펙트럼임 -;

복수의 상이한 기준 스펙트럼들로부터 상기 현재 스펙트럼에 가장 잘 맞는 최적합 기준 스펙트럼을 찾는 동작 - 상기 복수의 기준 스펙트럼들은, 상이한 두께를 가지는 최외곽 층들을 갖는 기관들로부터 반사된 광의 스펙트럼들을 나타내는 일부 기준 스펙트럼들을 포함하고, 동일한 두께를 가지는 최외곽 층들 및 상이한 두께들을 가지는 하부 층들을 갖는 기관들로부터 반사된 광의 스펙트럼들을 나타내는 일부 기준 스펙트럼들을 포함함 -;

상기 최적합 기준 스펙트럼에 기초하여 연마를 받고 있는 상기 최외곽 층을 갖는 상기 기관에 대해 연마 종료점이 달성되었는지 여부를 결정하는 동작

을 포함하는,

컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 동작들은,

상기 최적합 기준 스펙트럼의 인덱스 값을 결정하는 동작을 포함하는,

컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 연마 종료점이 달성되었는지 여부를 결정하는 동작은 상기 최적합 기준 스펙트럼을 타겟 인덱스(target index)와 비교하는 동작을 포함하는,

컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

상기 동작들은,

상이한 시간들에서의 복수의 현재 스펙트럼들을 수신하는 동작;

상기 복수의 현재 스펙트럼들의 각각의 현재 스펙트럼에 대하여 상기 복수의 상이한 기준 스펙트럼들로부터 최적합 기준 스펙트럼을 찾는 동작; 및

시간에 따라 복수의 인덱스 값들을 생성하기 위해 각 최적합 기준 스펙트럼의 인덱스 값을 결정하는 동작을 포함하는,

컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 동작들은,

선(line)을 상기 복수의 인덱스 값들에 피팅(fitting)시키는 동작

을 포함하는,

컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 동작들은,

상기 선이 타겟 인덱스와 만나(meet) 시간 또는 플래튼 회전을 결정함으로써 종료점을 결정하는 동작

을 포함하는,

컴퓨터-판독가능 저장 매체.

청구항 14

연마 시스템으로서,

연마 패드에 대한 지지대;

상기 연마 패드와 접촉된 기관을 홀딩(hold)하기 위한 캐리어 헤드;

상기 연마 패드에 의해 연마되는 최외곽 층 및 적어도 하나의 하부 층을 갖는 기관으로부터 반사된 광의 현재 스펙트럼을 측정하도록 구성되는 인-시튜 광학 모니터링 시스템; 및

동작들을 수행하도록 구성되는 제어기를 포함하며,

상기 동작들은,

인-시튜 광학 모니터링 시스템으로부터 적어도 하나의 현재 스펙트럼을 수신하는 동작;

복수의 상이한 기준 스펙트럼들로부터 상기 현재 스펙트럼에 가장 잘 맞는 최적합 기준 스펙트럼을 찾는 동작

- 상기 복수의 기준 스펙트럼들은, 상이한 두께를 가지는 최외곽 층들을 갖는 기관들로부터 반사된 광의 스펙트럼들을 나타내는 일부 기준 스펙트럼들을 포함하고, 동일한 두께를 가지는 최외곽 층들 및 상이한 두께들을 가지는 하부 층들을 갖는 기관들로부터 반사된 광의 스펙트럼들을 나타내는 일부 기준 스펙트럼들을 포함함 -; 및

상기 최적합 기준 스펙트럼에 기초하여 연마를 받고 있는 상기 최외곽 층을 갖는 상기 기관에 대해 연마 종료점이 달성되었는지 여부를 결정하는 동작

을 포함하는,

연마 시스템.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 동작들은 상기 최적화 기준 스펙트럼의 인덱스 값을 결정하는 동작을 포함하는,
연마 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 화학 기계적 연마 동안 기판의 분광 모니터링에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 집적 회로는 전형적으로 실리콘 웨이퍼 상에 도전성 층, 반도체 층, 또는 절연 층의 순차적인 증착에 의해 기판 상에 형성된다. 하나의 제조 단계는 비-평면(non-planar) 표면 위에 필러 층을 증착하고 필러 층을 평탄화(planarize)하는 것을 포함한다. 몇몇 응용들에 대해, 필러 층은 패터닝된 층의 상부 표면(top surface)이 노출될 때까지 평탄화된다. 예를 들어, 도전성 필러 층은 절연 층 내의 트렌치들 또는 홈들을 충전(fill)하기 위해 패터닝된 절연 층 상에 증착될 수 있다. 평탄화 이후, 절연 층의 상승된(raised) 패턴 사이에 잔존하는 도전성 층의 부분들은 기판 상의 박막 회로들 사이에 도전성 경로들을 제공하는 라인들, 플러그들, 및 비아들을 형성한다. 산화물 연마(polish)와 같은 다른 응용들에 대해, 필러 층은 비 평면 표면 위에 미리 결정된 두께가 남을 때까지 평탄화된다. 추가적으로, 기판 표면의 평탄화는 보통 포토리소그래피를 위해 요구된다.

[0003] 화학 기계적 연마(CMP)는 하나의 인정되는 평탄화 방법이다. 이러한 평탄화 방법은 전형적으로 기판이 캐리어 또는 연마 헤드 상에 장착(mount)될 것을 요구한다. 기판의 노출된 표면은 전형적으로 회전 연마 디스크 패드 또는 벨트 패드에 대하여(against) 배치된다. 연마 패드는 표준 패드 또는 고정된 마모(abrasive) 패드일 수 있다. 표준 패드는 내구성 있는 거칠어진 표면을 가지는 반면에, 고정된 마모 패드는 격납 매체(containment media) 내에 유지되는 마모 입자들을 가진다. 캐리어 헤드는 연마 패드에 대하여 기판을 밀어주기 위해 기판 상에 제어가능한 부하를 제공한다. 마모 입자들을 갖는 슬러리와 같은 연마액은 연마 패드의 표면에 전형적으로 공급된다.

[0004] CMP의 한가지 문제는 바람직한 웨이퍼 프로파일(예를 들어, 요구되는 평탄도(flatness) 또는 두께로 평탄화된, 또는 요구되는 양의 물질이 제거된 기판 층을 포함하는 웨이퍼)을 달성하기 위해 적절한 연마 속도(polishing rate)를 사용하는 것이다. 도전성 층 또는 막의 과연마(너무 많이 제거)는 회로 저항을 증가시킨다. 한편, 도전성 층의 부족연마(너무 적게 제거)는 전기적 단락을 유발한다. 기판 층의 초기 두께, 슬러리 조성, 연마 패드 조건, 연마 패드와 기판 간의 상대 속도(speed), 및 기판 상의 부하에 있어서의 변화들은 물질 제거 속도의 변화들을 유발할 수 있다. 보다 일반적으로, 실제 연마 속도는 예상 연마 속도와 다를 수 있다. 그러므로, 연마 종료점은 단지 연마 시간의 함수로서만 결정될 수는 없다.

발명의 내용

[0005] 일반적으로, 본 명세서에 기술되는 주제의 일 양상은 기판으로부터 반사된 빛의 현재 스펙트럼들의 시퀀스를 수신하는 단계를 포함하는 컴퓨터-구현 방법으로 구현될 수 있다. 현재 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 각 현재 스펙트럼은 최상-매칭(best-match) 기준 스펙트럼들의 시퀀스를 생성하기 위해서 기준 스펙트럼 라이브러리로부터의 다수의 기준 스펙트럼들과 비교될 수 있다. 적합도(goodness of fit)는 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스에 대해 결정될 수 있고, 연마 속도를 조정해야 할지 여부 또는 연마 속도에 대한 조정치 중 적어도 하나가 이러한 적합도에 기초하여 결정될 수 있다. 이러한 양상의 다른 실시예들은 대응하는 시스템들, 장치, 및 컴퓨터 프로그램 물건(computer program product)들을 포함한다.

[0006] 이러한 실시예들 및 다른 실시예들은 선택적으로 다음 특징들 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 적합도는 임계값보다 작거나 또는 임계값과 동일할 수 있고 연마 속도는 조정될 수 있다. 적합도는 임계값보다 클 수 있고 연마 속도는 유지될 수 있다. 상기 방법은 연마 속도에 대한 조정치를 이용하여 캐리어 헤드에서의 압력을 수정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0007] 현재 스펙트럼들의 시퀀스는 기판 상의 다수의 방사형 구역(radial zone)들로부터의 스펙트럼들을 포함할 수 있

고, 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스를 생성하는 것은 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 다수의 시퀀스들을 생성하는 것을 포함할 수 있으며, 각 구역은 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 연관된 시퀀스를 가진다. 조정치를 결정하는 것은 각 특정 구역과 연관된 현재 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 최상-매칭 기준 스펙트럼들에 기초하여 각 특정 구역에 대한 연마 속도를 계산하는 것을 포함할 수 있다.

[0008] 추가적으로, 조정치를 결정하는 것은 전체 기관이 거의 동시에 목표 두께에 도달하도록 적어도 하나의 구역에 대해 수정된 연마 속도를 계산하는 것을 포함할 수 있다. 조정치를 결정하는 것은 수정된 연마 속도를 제공하기 위해 수정된 연마 파라미터를 계산하는 것을 더 포함할 수 있고, 상기 방법은 연마 파라미터를 수정함으로써 연마 속도를 조정하는 것을 더 포함할 수 있다.

[0009] 적합도를 결정하는 것은 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스에 대응하는 기준 스펙트럼 라이브러리로부터 인덱스들의 시퀀스를 결정하는 것, 및 이러한 인덱스들의 시퀀스를 함수에 피팅(fitting)하는 것을 포함할 수 있다. 상기 함수는 직선(line)을 생성할 수 있다. 적합도는 인덱스들의 시퀀스가 상기 함수와 차이가 나는(vary from) 양에 기초할 수 있다. 상기 방법은 인덱스들의 시퀀스와 상기 함수 간의 제공된 차들의 합을 이용하여 상기 양을 계산하는 것을 더 포함할 수 있다. 상기 방법은 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스 및 상기 적합도에 기초하여 연마 종료점을 결정하는 것을 더 포함할 수 있다.

[0010] 일반적으로, 본 명세서에서 기술되는 주제의 또 다른 양상은 기관으로부터 반사된 빛의 현재 스펙트럼들의 시퀀스를 수신하는 단계를 포함하는 컴퓨터-구현 방법으로 구현될 수 있다. 현재 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 각 현재 스펙트럼은 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 제 1 시퀀스를 생성하기 위해서 제 1 기준 스펙트럼 라이브러리로부터의 제 1 다수의 기준 스펙트럼들과 비교될 수 있다. 현재 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 각 현재 스펙트럼은 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 제 2 시퀀스를 생성하기 위해서 제 2 기준 스펙트럼 라이브러리로부터의 제 2 다수의 기준 스펙트럼들과 비교될 수 있다. 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 제 1 시퀀스에 대한 제 1 적합도 및 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 제 2 시퀀스에 대한 제 2 적합도가 결정될 수 있다. 연마 속도를 조정해야 할지 여부 또는 연마 속도에 대한 조정치 중 적어도 하나가 제 1 적합도 및 제 2 적합도 중 적어도 하나에 기초하여 결정될 수 있다. 이러한 양상의 다른 실시예들은 대응하는 시스템들, 장치, 및 컴퓨터 프로그램 물건들을 포함한다.

[0011] 이러한 실시예들 및 다른 실시예들은 선택적으로 다음 특징들 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 제 1 적합도 및 제 2 적합도 중 적어도 하나는 임계값보다 작거나 또는 임계값과 동일할 수 있고 연마 속도는 조정될 수 있다. 제 1 적합도를 결정하는 것은 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 제 1 시퀀스에 대응하는 제 1 기준 스펙트럼 라이브러리로부터 인덱스들의 제 1 시퀀스를 결정하는 것, 및 이러한 인덱스들의 제 1 시퀀스를 제 1 함수에 피팅하는 것을 포함할 수 있다. 제 2 적합도를 결정하는 것은 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 제 2 시퀀스에 대응하는 제 2 기준 스펙트럼 라이브러리로부터 인덱스들의 제 2 시퀀스를 결정하는 것, 및 이러한 인덱스들의 제 2 시퀀스를 제 2 함수에 피팅하는 것을 포함할 수 있다.

[0012] 제 1 함수 및 제 2 함수는 각각 직선을 생성할 수 있다. 제 1 적합도는 인덱스들의 제 1 시퀀스가 상기 제 1 함수와 차이가 나는 제 1 양에 기초할 수 있고, 제 2 적합도는 인덱스들의 제 2 시퀀스가 상기 제 2 함수와 차이가 나는 제 2 양에 기초할 수 있다. 상기 방법은 인덱스들의 제 1 시퀀스와 상기 제 1 함수 간의 제공된 차들의 합을 이용하여 상기 제 1 양을 계산하는 것과, 인덱스들의 제 2 시퀀스와 상기 제 2 함수 간의 제공된 차들의 합을 이용하여 상기 제 2 양을 계산하는 것을 더 포함할 수 있다. 상기 방법은 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 제 1 시퀀스 및 제 1 적합도, 및 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 제 2 시퀀스 및 제 2 적합도 중 적어도 하나에 기초하여 연마 종료점을 결정하는 것을 더 포함할 수 있다.

[0013] 일반적으로, 본 명세서에서 기술되는 주제의 또 다른 양상은 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스를 생성하기 위해서 기관으로부터 반사된 빛의 현재 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 각각의 현재 스펙트럼을 하나 이상의 기준 스펙트럼 라이브러리들로부터의 다수의 기준 스펙트럼들과 비교하고, 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스에 대한 적합도를 결정하는 비교 모듈을 포함하는 제어기로 구현될 수 있다. 상기 제어기는 또한 이러한 적합도에 기초하여 연마 속도를 조정해야 할지 여부 또는 연마 속도에 대한 조정치 중 적어도 하나를 결정하는 조정 모듈을 포함할 수 있다. 이러한 양상의 다른 실시예들은 대응하는 시스템들, 장치, 및 컴퓨터 프로그램 물건들을 포함한다.

[0014] 일반적으로, 본 명세서에서 기술되는 주제의 또 다른 양상은 광원, 기관으로부터 반사된 빛을 검출하고 이러한 빛으로부터 현재 스펙트럼들의 시퀀스를 결정하는 검출기, 및 제어기를 포함하는 시스템으로 구현될 수 있다. 상기 제어기는 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스를 생성하기 위해서 현재 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 각각

의 현재 스펙트럼을 하나 이상의 기준 스펙트럼 라이브러리들로부터의 다수의 기준 스펙트럼들과 비교하고, 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스에 대한 적합도를 결정하는 비교 모듈; 및 이러한 적합도에 기초하여 연마 속도를 조정해야 할지 여부 또는 연마 속도에 대한 조정치 중 적어도 하나를 결정하는 조정 모듈을 포함할 수 있다. 이러한 양상의 다른 실시예들은 대응하는 시스템들, 장치, 및 컴퓨터 프로그램 물건들을 포함한다.

[0015] 본 명세서에서 사용될 때, 용어 기관은 예를 들어, 제품(product) 기관(예를 들어, 다수의 메모리 또는 프로세서 다이들을 포함할 수 있음), 테스트 기관, 베어(bare) 기관, 및 게이팅 기관을 포함할 수 있다. 상기 기관은 집적 회로 제조의 다양한 스테이지들에 있을 수 있고, 예를 들면 기관은 베어 웨이퍼일 수 있거나 또는 하나 이상의 증착 그리고/또는 패터닝된 층들을 포함할 수 있다. 용어 기관은 원형 디스크들 및 직사각형 시트들을 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명의 구현들의 가능한 장점들은 다음을 포함할 수 있다. 연마 프로세스는 잡음, 교란(disturbance)들, 및 다른 변화들에 덜 민감할 수 있고, 따라서 적절한 연마 속도를 사용하여 연마 프로세스의 신뢰도가 개선될 수 있다. 그 결과, 개별 웨이퍼를 요구되는 두께로 연마하는 정확도 및/또는 정밀도와 웨이퍼 간(wafer to wafer) 균일성이 개선될 수 있다.

[0017] 본 발명의 하나 이상의 실시예들의 세부사항들이 첨부된 도면들 및 이하의 설명에서 제시된다. 본 발명의 다른 특징들, 양상들, 및 장점들은 상세한 설명, 도면들, 및 청구항들로부터 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 연마 장치의 예를 도시한다.
 - 도 2는 예시적인 회전 플래튼(platen)의 오버헤드 뷰(view)이고, 인-시튜(in situ) 측정들이 수행될 수 있는 위치들을 도시한다.
 - 도 3은 양호한 데이터 적합도를 보여주는 분광 모니터링 시스템으로부터의 예시적인 인덱스 트레이스를 도시한다.
 - 도 4는 보다 불량한 데이터 적합도를 보여주는 분광 모니터링 시스템으로부터의 예시적인 인덱스 트레이스를 도시한다.
 - 도 5는 연마 속도를 조정하기 위한 예시적인 프로세스의 흐름도이다.
 - 도 6은 연마 속도를 조정하기 위한 또 다른 예시적인 프로세스의 흐름도이다.
 - 도 7은 요구되는 프로파일을 달성하기 위해 구역들에서 연마 속도를 조정하기 위한 예시적인 프로세스의 흐름도이다.
 - 도 8은 연마 속도들이 조정되는 프로세스에 대한 연마 진행 대 시간의 예시적인 그래프를 도시한다.
- 다양한 도면들에서 유사한 참조 번호들 및 지정들이 유사한 요소들을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 도 1은 연마 장치(20)의 예를 도시한다. 연마 장치(20)는 회전가능한 디스크-형상 플래튼(24)을 포함하고, 이러한 회전가능한 디스크-형상 플래튼(24) 상에 연마 패드(30)가 배치된다. 이러한 플래튼은 축(25) 주위를 회전하도록 동작가능하다. 예를 들어, 플래튼(24)을 회전시키기 위해 모터가 구동축(22)을 회전시킬 수 있다.
- [0020] 연마 패드를 통한 광학적 액세스(36)가 개구부(aperture)(즉, 패드를 통과하는 홀) 또는 솔리드 윈도우(solid window)를 포함함으로써 제공된다. 몇몇 구현들에서 솔리드 윈도우가 플래튼(24) 상에 지지될 수 있고 연마 패드 내의 개구부 내로 돌출(project)될 수 있더라도, 솔리드 윈도우는 연마 패드에 고정(secured)될 수 있다. 연마 패드(30)는 보통 개구부 또는 윈도우가 플래튼(24)의 리세스(26)에 배치된 광학적 헤드(53) 위에 놓이도록 플래튼(24) 상에 배치된다. 광학적 헤드(53)는 결과적으로 개구부 또는 윈도우를 통해 연마되는 기관에 대한 광학적 액세스를 갖는다. 광학적 헤드는 아래에서 추가적으로 기술된다.
- [0021] 연마 장치(20)는 결합된 슬러리/린스 암(39)을 포함한다. 연마 동안, 암(39)은 슬러리와 같은 연마액(38)을 분사시키도록 동작가능하다. 대안적으로, 연마 장치는 연마 패드(30) 상으로 슬러리를 분사시키도록 동작가능한 슬러리 포트를 포함한다.

- [0022] 연마 장치(20)는 연마 패드(30)에 대하여서 기관(10)을 지탱하도록 동작가능한 캐리어 헤드(70)를 포함한다. 캐리어 헤드(70)는 지지 구조(72), 예를 들어 캐로셀(carousel)에 서스펜딩(suspend)되고, 캐리어 헤드(70)가 축(71) 주위를 회전할 수 있도록 캐리어 구동축(74)에 의해 캐리어 헤드 회전 모터(76)에 연결된다. 추가적으로, 캐리어 헤드(70)는 지지 구조(72)에 형성된 반경 슬롯에서 측방향으로 진동(oscillate)할 수 있다. 동작 시에, 플래튼은 자신의 중심축(25)에 대하여 회전되고, 캐리어 헤드는 자신의 중심축(71)에 대하여 회전되며 연마 패드의 상부 표면에 걸쳐 측방향으로 병진(translate)된다.
- [0023] 연마 장치는 또한 광학적 모니터링 시스템을 포함하고, 광학적 모니터링 시스템은 이하 기술되는 것처럼 연마 속도를 조정해야 할지 여부 또는 연마 속도에 대한 조정을 결정하는데 이용될 수 있다. 광학적 모니터링 시스템은 광원(51) 및 광 검출기(52)를 포함한다. 빛은 광원(51)으로부터 전달되어 연마 패드(30)에서의 광학적 액세스(36)를 통해 기관(10)과 충돌하고 기관(10)으로부터 반사되어 다시 광학적 액세스(36)를 통해 광 검출기(52)로 전달된다.
- [0024] 분기된(bifurcated) 광학 케이블(54)이 광원(51)으로부터의 빛을 광학적 액세스(36)에 전송하고 다시 광학적 액세스(36)로부터 광 검출기(52)로 전송하는데 이용될 수 있다. 분기된 광학 케이블(54)은 "트렁크"(55) 및 2개의 "브랜치들"(56 및 58)을 포함할 수 있다.
- [0025] 위에서 언급된 것처럼, 플래튼(24)은 리세스(26)를 포함하고, 리세스(26)에 광학적 헤드(53)가 배치된다. 광학적 헤드(53)는 분기된 섬유 케이블(54)의 트렁크(55)의 일 단부를 지탱하고, 이는 연마되는 기관 표면으로 그리고 이러한 기관 표면으로부터 빛을 전달하도록 구성된다. 광학적 헤드(53)는 분기된 섬유 케이블(54)의 단부 위에 놓여 있는 윈도우 또는 하나 이상의 렌즈들을 포함할 수 있다. 대안적으로, 광학적 헤드(53)는 단지 연마 패드에서 솔리드 윈도우에 인접하는 트렁크(55)의 단부를 지탱할 수 있다.
- [0026] 플래튼은 제거가능한 인-시튜 모니터링 모듈(50)을 포함한다. 인-시튜 모니터링 모듈(50)은 다음 중 하나 이상을 포함할 수 있다: 광원(51), 광 검출기(52), 및 광원(51) 및 광 검출기(52)로 신호들을 전송하고 이들로부터 신호들을 수신하기 위한 회로. 예를 들어, 광 검출기(52)의 출력은 구동축(22) 내의 로터리 커플러, 예를 들어 슬립 링을 통과하여 광학적 모니터링 시스템에 대한, 컴퓨터와 같은 제어기(60)로 전달되는 디지털 전자 신호일 수 있다. 유사하게, 광원은 제어기로부터 로터리 커플러를 통과하여 모듈(50)로 전달되는 디지털 전자 신호들에서의 제어 명령들에 응답하여 턴온 또는 턴오프될 수 있다.
- [0027] 인-시튜 모니터링 모듈은 또한 분기된 광학 케이블(54)의 브랜치 부분들(56 및 58)의 각 단부들을 지탱할 수 있다. 광원은 빛을 송신하도록 동작가능하고, 이러한 빛은 브랜치(56)를 통해 광학적 헤드(53)에 위치한 트렁크(55)의 단부 밖으로 전달되어 연마되는 기관에 충돌한다. 기관으로부터 반사된 빛은 광학적 헤드(53)에 위치한 트렁크(55)의 단부에서 수신되고 브랜치(58)를 통해 광 검출기(52)로 전달된다.
- [0028] 광원(51)은 백색광을 방출하도록 동작가능하다. 일 구현에서, 방출된 백색광은 200-800 나노미터의 파장들을 갖는 빛을 포함한다. 적합한 광원은 제논 램프 또는 제논 수은 램프이다.
- [0029] 광 검출기(52)는 분광기(spectrometer)일 수 있다. 분광기는 기본적으로 전자기 스펙트럼의 일부에 걸친 빛의 세기를 측정하기 위한 광학적 기구이다. 적합한 분광기는 회절격자(grating) 분광기이다. 분광기에 대한 전형적인 출력은 파장(또는 주파수)의 함수로서의 빛의 세기이다.
- [0030] 광원(51) 및 광 검출기(52)는 이들의 동작을 제어하고 이들의 신호들을 수신하도록 동작가능한 컴퓨팅 디바이스, 예를 들어 제어기(60)에 연결된다. 컴퓨팅 디바이스는 연마 장치 근처에 배치된 마이크로프로세서, 예를 들어 개인용 컴퓨터를 포함할 수 있다. 제어에 관하여, 컴퓨팅 디바이스는 예를 들어 플래튼(24)의 회전과 광원(51)의 활성화(activation)를 동기화할 수 있다.
- [0031] 도 2에 도시된 것처럼, 플래튼이 회전할 때, 컴퓨팅 디바이스는 광원(51)으로 하여금 기관(10)이 인-시튜 모니터링 모듈 위로 통과하기 직전에 시작하여 통과한 직후 종료하는 일련의 플래시들을 방출하게 할 수 있다(도시된 각각의 점들(201-211)은 인-시튜 모니터링 모듈로부터의 빛이 충돌하고 반사하는 위치를 나타냄). 대안적으로, 컴퓨팅 디바이스는 광원(51)으로 하여금 기관(10)이 인-시튜 모니터링 모듈 위로 통과하기 직전에 시작하여 통과한 직후에 종료하는 빛을 연속적으로 방출하게 할 수 있다. 어느 경우든, 검출기로부터의 신호는 샘플링 주파수로 스펙트럼 측정들을 생성하기 위해 샘플링 기간에 걸쳐 통합(integrate)될 수 있다. 도시되지 않았지만, 기관(10)이 모니터링 모듈 위를 통과할 때마다, 모니터링 모듈과 기관의 정렬은 이전의 통과에서와는 상이할 수 있다. 플래튼의 일 회전을 통해, 기관 상의 상이한 반경들로부터 스펙트럼들이 획득된다. 즉, 몇몇 스펙트럼들은 기관의 중심에 더 가까운 위치들로부터 획득되고 몇몇은 에지(edge)에 더 가까운 위치들로부터 획득

된다. 추가적으로, 플래튼의 다수의 회전들을 통해서, 스펙트럼들의 시퀀스가 시간에 걸쳐 획득될 수 있다.

- [0032] 동작 시에, 컴퓨팅 디바이스는 예를 들어 검출기의 시간 프레임 또는 광원의 특정 플래시에 대해 광 검출기(52)에 의해 수신된 빛의 스펙트럼을 기술하는 정보를 전달하는 신호를 수신할 수 있다. 따라서, 이러한 스펙트럼은 연마 동안 인-시튜 측정된 스펙트럼이다.
- [0033] 어떠한 특정 이론으로 제한됨이 없이, 기관(10)으로부터 반사된 빛의 스펙트럼은 최외곽 층 두께의 변화들에 기인하여 연마가 진행됨에 따라 발생(evolve)되어, 그리하여 시변(time-varying) 스펙트럼들의 시퀀스를 산출한다. 또한, 특정 스펙트럼들이 층 스택의 특정 두께에 의해 표시된다.
- [0034] 컴퓨팅 디바이스는 연마 속도를 조정해야 할지 여부 또는 연마 속도에 대한 조정치 중 적어도 하나를 결정하기 위해 상기 신호를 프로세싱할 수 있다. 특히 컴퓨팅 디바이스는, (아래에서 보다 상세히 기술될) 적합도에 기초하여, 연마 속도를 조정해야 할지 여부 또는 연마 속도에 대한 조정치를 결정하는 로직을 실행할 수 있다.
- [0035] 몇몇 구현들에서, 컴퓨팅 디바이스는 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스를 생성하기 위해서 측정된 스펙트럼들을 다수의 기준 스펙트럼들과 비교하고 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스에 대한 적합도를 결정하는 비교 모듈을 포함할 수 있다. 컴퓨팅 디바이스는 또한 적합도에 기초하여, 연마 속도를 조정해야 할지 여부 또는 연마 속도에 대한 조정치 중 적어도 하나를 결정하는 조정 모듈을 포함할 수 있다.
- [0036] 본원에서 사용될 때, 기준 스펙트럼은 기관의 연마 이전에 생성된, 미리규정된 스펙트럼이다. 기준 스펙트럼은 최외곽 층의 두께와 같은 기관 특성의 값과 미리-규정된 연관, 즉 연마 동작 이전에 규정된 연관을 가질 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 실제 연마 속도가 예상되는 연마 속도를 따를 것이라 가정하면, 기준 스펙트럼은 스펙트럼이 나타날 것이라고 예상되는 연마 프로세스에서의 시간을 나타내는 값과 미리-규정된 연관을 가질 수 있다.
- [0037] 기준 스펙트럼은 경험적으로, 예를 들어 알려진 층 두께를 갖는 테스트 기관으로부터 스펙트럼을 측정함으로써 생성될 수 있거나, 또는 이론으로부터 생성될 수 있다. 예를 들어, 기준 스펙트럼을 결정하기 위해, 제품 기관과 동일한 패턴을 갖는 "셋-업" 기관의 스펙트럼이 계측 스테이션(metrology station)에서 연마-이전에(pre-polish) 측정될 수 있다. 기관 특성, 예를 들어 최외곽 층의 두께는 또한 동일한 계측 스테이션 또는 상이한 계측 스테이션을 이용하여 연마-이전에 측정될 수 있다. 그 후 셋-업 기관이 연마되면서 스펙트럼들이 수집된다. 각 스펙트럼에 대해, 스펙트럼이 수집된 연마 프로세스에서의 시간을 나타내는 값이 기록된다. 예를 들어, 이러한 값은 경과된 시간, 또는 플래튼 회전들의 횟수일 수 있다. 목표 두께가 달성될 때 기관으로부터 반사된 빛의 스펙트럼이 획득될 수 있도록 기관은 과연마, 즉 요구되는 두께를 넘어서 연마될 수 있다. 셋-업 기관의 스펙트럼 및 특성, 예를 들어 최외곽 층의 두께는 그 후 계측 스테이션에서 연마-이후에(post-polish) 측정될 수 있다.
- [0038] 선택적으로, 셋-업 기관은 연마 시스템으로부터 주기적으로 제거될 수 있고, 연마로 복귀되기 전에 그것의 특성들 및/또는 스펙트럼이 계측 스테이션에서 측정될 수 있다. 계측 스테이션에서 스펙트럼이 측정되는 연마 프로세스에서의 시간을 나타내는 값 또한 기록될 수 있다.
- [0039] 기준 스펙트럼들은 라이브러리에 저장된다. 라이브러리의 기준 스펙트럼들은 외곽 층에서 다양한 상이한 두께들을 갖는 기관들을 나타낸다.
- [0040] 다수의 라이브러리들은 최외곽 층의 두께 이외의 특성들에 있어서 차이가 있는, 예를 들어 하부(underlying) 층 두께, 하부 층 패턴, 또는 외곽 또는 하부 층 조성(composition)에 있어서 차이가 있는, 상이한 셋-업 기관들로부터 생성될 수 있다.
- [0041] 측정된 두께들 및 수집된 스펙트럼들은, 기관이 관심 있는 두께를 가질 때 기관에 의해 나타내도록 결정된 하나 이상의 스펙트럼들을, 수집된 스펙트럼들 중에서 선택하는데 이용된다. 특히, 목표 두께가 달성될 때의 시간 및 이때 나타나는 대응하는 스펙트럼을 결정하기 위해서 연마 이전 측정된 막 두께 및 연마 이후 기관 두께들(또는 계측 스테이션에서 측정된 다른 두께들)를 이용하여 선형 보간이 수행될 수 있다. 목표 두께가 달성될 때 나타나도록 결정된 스펙트럼 또는 스펙트럼들은 목표 스펙트럼 또는 목표 스펙트럼들로 지정된다.
- [0042] 추가적으로, 균일한 연마 속도를 가정하면, 측정된 스펙트럼들의 시간 엔트리들 및 스펙트럼이 수집된 시간에 기초하여 연마 이전 측정된 막 두께와 연마 이후 기관 두께들(또는 계측 스테이션에서 측정된 다른 두께들) 간의 선형 보간을 이용하여 인-시튜 수집된 각 스펙트럼에 대해 최외곽 층의 두께가 계산될 수 있다.
- [0043] 경험적으로 결정되는 것에 부가하여, 기준 스펙트럼들 중 몇몇 또는 이들 모두는 이론으로부터, 예를 들어 기관

층들의 광학적 모델을 이용하여 계산될 수 있다. 예를 들어, 주어진 외곽 층 두께 D에 대한 스펙트럼을 계산하는데 광학적 모델이 이용될 수 있다. 스펙트럼이 수집될 연마 프로세스에 있어서의 시간을 나타내는 값이, 예를 들어 외곽 층이 균일한 연마 속도로 제거된다고 가정함으로써, 계산될 수 있다. 예를 들어, 특정 스펙트럼에 대한 시간 T_s 는 단순히 시작 두께 D_0 및 균일한 연마 속도 $R(T_s=(D_0-D)/R)$ 을 가정함으로써 계산될 수 있다. 또 다른 예로서, 광학적 모델을 위해 이용되는 두께 D에 기초하여 연마-이전 및 연마-이후 두께들 D_1, D_2 (또는 계층 스테이션에서 측정된 다른 두께들)에 대해 측정 시간들 T_1, T_2 간의 선형 보간이 수행될 수 있다($T_s=T_2-T_1*(D_1-D)/(D_1-D_2)$).

[0044] 본원에서 사용될 때, 기준 스펙트럼들의 라이브러리는 (외곽 층 두께 이외의) 특성을 공통으로 공유하는 기관들을 나타내는 기준 스펙트럼들의 집합이다. 그러나, 하나의 라이브러리에서 공통으로 공유되는 특성은 기준 스펙트럼들의 다수의 라이브러리들에 걸쳐 변할 수 있다. 예를 들어, 2개의 상이한 라이브러리들은 2개의 상이한 하부 두께들을 갖는 기관들을 나타내는 기준 스펙트럼들을 포함할 수 있다.

[0045] 상이한 라이브러리들에 대한 스펙트럼들은 위에서 논의된 것처럼 상이한 기관 특성들(예를 들어, 하부 층 두께, 또는 층 조성)을 가진 다수의 "셋-업" 기관들을 연마하고 스펙트럼들을 수집함으로써 생성될 수 있다; 하나의 셋-업 기관으로부터의 스펙트럼들은 제 1 라이브러리를 제공할 수 있고 상이한 하부 층 두께를 가진 다른 기관으로부터의 스펙트럼들은 제 2 라이브러리를 제공할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 상이한 라이브러리들에 대한 기준 스펙트럼들은 이론으로부터 계산될 수 있고, 예를 들어 제 1 라이브러리에 대한 스펙트럼들은 하부층이 제 1 두께를 갖는 광학적 모델을 이용하여 계산될 수 있고, 제 2 라이브러리에 대한 스펙트럼들은 하부 층이 상이한 하나의 두께를 갖는 광학적 모델을 이용하여 계산될 수 있다.

[0046] 몇몇 구현들에서, 각 기준 스펙트럼에 인덱스 값이 할당된다. 이러한 인덱스는 기준 스펙트럼이 관찰될 것으로 예상되는 연마 프로세스에 있어서의 시간을 나타내는 값일 수 있다. 스펙트럼들은 특정 라이브러리의 각 스펙트럼이 고유한 인덱스 값을 가지도록 인덱싱될 수 있다. 이러한 인덱싱은 스펙트럼들이 측정된 순서로 인덱스 값들이 시퀀스되도록 구현될 수 있다. 인덱스 값은 연마가 진행됨에 따라 단조적으로 변화, 예를 들어 증가 또는 감소하도록 선택될 수 있다. 특히, 기준 스펙트럼들의 인덱스 값들은 이들이 플래튼 회전들의 수 또는 시간의 선형 함수를 형성하도록 선택될 수 있다. 예를 들어, 인덱스 값들은 플래튼 회전들의 수에 비례할 수 있다. 따라서, 각 인덱스 번호는 정수(whole number)일 수 있고, 인덱스 번호는 연관된 스펙트럼이 나타날 것이라 예상된 플래튼 회전을 나타낼 수 있다.

[0047] 기준 스펙트럼들 및 이들의 연관된 인덱스들은 라이브러리에 저장될 수 있다. 라이브러리는 연마 장치의 컴퓨팅 디바이스의 메모리 내에 구현될 수 있다. 목표 스펙트럼의 인덱스는 목표 인덱스로서 지정될 수 있다.

[0048] 연마 동안, 인덱스 트레이스가 각 라이브러리에 대해 생성될 수 있다. 각 인덱스 트레이스는 이러한 트레이스를 형성하는 인덱스들의 시퀀스를 포함하고, 시퀀스의 각각의 특정 인덱스는 특정한 측정된 스펙트럼과 연관된다. 주어진 라이브러리의 인덱스 트레이스에 대해, 시퀀스 내의 특정 인덱스는, 특정한 측정된 스펙트럼에 가장 근접하게 들어맞는(fit) 주어진 라이브러리로부터 기준 스펙트럼의 인덱스를 선택함으로써 생성된다.

[0049] 도 3에 도시된 것처럼, 각각의 측정된 스펙트럼에 대응하는 인덱스들은 시간 또는 플래튼 회전에 따라 플로팅(plotted)될 수 있다. 알려진 차수의 다항 함수, 예를 들어 1차 함수(즉, 직선)가, 예를 들어 확고한 직선 핏팅(robust line fitting)을 이용하여, 플로팅된 인덱스 번호들에 핏팅된다. 상기 직선이 목표 인덱스를 만나는 곳이 종료점 시간 또는 회전을 규정한다. 예를 들어, 1차 함수는 도 3에 도시된 것과 같은 데이터 점들로 핏팅된다.

[0050] 임의의 특정한 이론으로 제한되지 않고, 인덱스들의 몇몇 시퀀스들은 다른 것들보다 다항 함수에 매칭될 수 있다. 적합도(예를 들어, 인덱스 트레이스가 다항 함수와 차이가 나는 양을 나타내는 값)가 매칭의 품질을 정량화(quantify)하는데 이용될 수 있다. 예를 들어, 도 3은 양호한 데이터 적합도를 보여주는 분광 모니터링 시스템으로부터의 예시적인 인덱스 트레이스를 도시한다. 비교하면, 도 4는 보다 불량한 데이터 적합도를 보여주는 분광 모니터링 시스템으로부터의 예시적인 인덱스 트레이스를 도시한다. 특히, 도 3에 플로팅된 인덱스 번호들과 연관된 인덱스 트레이스 및 연관된 확고한 직선과의 차이들과 비교하여, 상대적으로 도 4에 플로팅된 인덱스 번호들은 연관된 확고한 직선과 보다 큰 양의 차이를 가진다. 연관된 확고한 직선과의 차이의 양을 정량화 및 정질화(qualify)하는 것이 이하 보다 상세하게 기술될 것이다.

[0051] 각각의 기준 스펙트럼(및 이들의 연관된 인덱스)은 기관의 층 두께에 대응할 수 있기 때문에, 보다 불량한 적합도는 스펙트럼 측정들을 생성하는데 이용되는 신호의 품질이 신뢰가능하지 않을 수 있음을 나타낼 수 있다. 몇

몇 구현들에서, 잡음 및 다른 교란들이 신호의 품질에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 연마 장치로부터의 잡음은 신호에 변화들을 유입시킬 수 있다. 몇몇 구현들에서, 연마 프로세스에 있어서의 변화들은 인덱스 트레이스의 선형성에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 기관 층의 최초 두께, 슬러리 조성, 및 연마 패드 윈도우 조건에 있어서의 변화들은 반사된 스펙트럼에 있어서의 변화를 유발할 수 있다. 그 결과, 이러한 변화들에 종속되는 측정된 스펙트럼들은 부정확한 기준 스펙트럼들에 매칭될 수 있다. 따라서, 현재 연마 속도가 인덱스들의 직선 피팅된 시퀀스에 기초하여 계산되는 경우, 계산된 현재 연마 속도는 신뢰가능하지 않을 수 있고, 현재 연마 속도에 기초하여 연마 속도를 조정하려는 결정 또한 신뢰가능하지 않을 수 있다. 그러나, 이러한 부적당한 매칭이 발생하는 경우, 인덱스들의 시퀀스에 대한 직선의 적합도는 더 불량해야 할 것이다. 따라서, 적합도에 기초하여 연마 속도를 조정하는 것은, 기준 스펙트럼들에 대한 측정된 스펙트럼들의 부적당한 매칭에 기초하여 조정을 수행하는 것을 피할 수 있고, 이는 연마 프로세스의 정확도 및/또는 정밀도를 높일 수 있다.

[0052] 도 5는 연마 속도를 조정하기 위한 예시적인 프로세스(500)의 흐름도이다. 기관으로부터 반사된 빛의 현재 스펙트럼들의 시퀀스가 수신된다(단계 510). 예를 들어, 제어기(60)는 현재 스펙트럼들의 시퀀스를 수신할 수 있다. 현재 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 각각의 현재 스펙트럼은 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스를 생성하기 위해서 기준 스펙트럼 라이브러리로부터의 다수의 기준 스펙트럼들과 비교된다(단계 520). 보다 일반적으로, 각각의 현재 스펙트럼에 대해, 현재 스펙트럼에 최상으로 매칭되는 기준 스펙트럼이 결정된다. 적합도가 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스에 대해 결정된다(단계 530). 예를 들어, 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스는 직선에 들어맞을 수 있고, 이러한 직선으로부터의 분산(variance)이 계산될 수 있다. 연마 속도를 조정해야 할지 여부 또는 연마 속도에 대한 조정치 중 적어도 하나가 적합도에 기초하여 결정된다(단계 540).

[0053] 선형 함수에 대한 인덱스 트레이스의 적합도를 결정하는 것은 인덱스 트레이스 및 연관된 확고한 직선 간의 차이의 양, 예를 들어 표준 편차, 상관계수, 또는 분산의 다른 측정치를 결정하는 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, 0의 적합도는 모든 인덱스 데이터 점들이 연관된 확고한 직선에 들어맞음(fit), 예를 들어 분산이 0임을 나타낼 수 있다. 몇몇 구현들에서, 적합도는 인덱스 데이터 점들과 선형 함수 간의 제공된 차들의 합을 계산함으로써 결정된다. 적합도에 대한 다른 척도들이 가능하다.

[0054] 몇몇 구현들에서, 적합도가 (예를 들어, 신호가 신뢰할만함을 나타내는) 임계값보다 작거나 같은 경우, 그 후에 연마 속도는 조정될 수 있다. 임계값은 사용자-정의된 값일 수 있다. 대안적으로, 적합도가 (예를 들어, 신호가 신뢰할만하지 못함을 나타내는) 임계값보다 큰 경우, 연마 속도는 유지될 수 있다.

[0055] 추가적으로, 조정치는 적합도에 기초하여 결정될 수 있다. 특히, 보다 낮은 적합도는 더 양호한 신호 품질, 및 스펙트럼 측정들의 보다 큰 신뢰도를 나타낼 수 있다. 그러므로 몇몇 구현들에서, 조정의 크기는 적합도에 반비례할 수 있다. 캐리어 헤드에서의 압력은 연마 속도에 대한 조정을 이용하여 수정될 수 있다. 몇몇 구현들에서, 연마 종료점은 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스 및 적합도에 기초하여 결정될 수 있다.

[0056] 단지 하나의 인덱스 트레이스가 위에서 논의되었지만, 이러한 개념은 다수의 인덱스 트레이스들에 적용가능하다. 몇몇 구현들에서, 적합도는 다수의 기준 라이브러리들로부터 생성된 다수의 인덱스 트레이스들 각각에 대해 결정될 수 있다. 이러한 개념은 연마 속도를 조정해야 할지 여부 및 연마 속도에 대한 조정치를 추가로 결정하기 위해 어느 기준 라이브러리를 이용해야 할지 결정하는데 이용될 수 있다. 예를 들어, 시스템은 연마 속도를 조정해야 할지 여부 또는 연마 속도에 대한 조정치를 결정하기 위해 최상의 매칭을 생성하는 기준 라이브러리를 이용할 수 있다. 특히, 인덱스 트레이스들 중 적어도 하나가 임계값보다 작거나 또는 임계값과 같은 적합도를 가지는 경우, 그 후에 연마 속도는 이러한 특정 적합도에 기초하여 조정될 수 있다. 대안적으로, 인덱스 트레이스들 중 어느 것도 임계값보다 작거나 또는 임계값과 같은 적합도를 가지지 않는 경우, 그 후에 연마 속도는 유지될 수 있다.

[0057] 도 6은 연마 속도를 조정하기 위한 또 다른 예시적인 프로세스(600)의 흐름도이다. 기관으로부터 반사된 빛의 현재 스펙트럼들의 시퀀스가 수신된다(단계 610). 현재 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 각각의 현재 스펙트럼은 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 제 1 시퀀스를 생성하기 위해서 제 1 기준 스펙트럼 라이브러리로부터의 제 1 다수의 기준 스펙트럼들과 비교된다(단계 620). 현재 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 각각의 현재 스펙트럼은 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 제 2 시퀀스를 생성하기 위해서 제 2 기준 스펙트럼 라이브러리로부터의 제 2 다수의 기준 스펙트럼들과 비교된다(단계 630). 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 제 1 시퀀스에 대한 제 1 적합도 및 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 제 2 시퀀스에 대한 제 2 적합도가 결정된다(단계 640). 제 1 적합도 및 제 2 적합도 중 적어도 하나에 기초하여, 연마 속도에 대한 조정치가 결정된다(단계 650). 예를 들어, 제 1 적합도는 제

2 적합도와 비교될 수 있고, 더 양호한 매칭을 나타내는 적합도가 연마 속도를 결정하는데 이용될 수 있다.

[0058] 현재 스펙트럼들 각각과 기준 스펙트럼들 각각 간의 차를 결정하는 것(단계 520, 620 또는 630)은 이러한 차를 일정 범위의 파장들에 걸친 세기들에서의 차들의 합으로서 계산하는 것을 포함할 수 있다. 즉,

$$[0059] \quad \bar{\text{차}} = \sum_{\lambda=a}^b abs(I_{\text{현재}}(\lambda) - I_{\text{기준}}(\lambda))$$

[0060] 여기서 a 및 b는 각각 스펙트럼 파장들의 범위의 하한 및 상한이고, $I_{\text{현재}}(\lambda)$ 및 $I_{\text{기준}}(\lambda)$ 은 각각 주어진 파장에 대한 현재 스펙트럼들의 세기 및 기준 스펙트럼들의 세기이다. 대안적으로, 이러한 차는 평균 제곱 오차로서 계산될 수 있고, 즉:

$$[0061] \quad \bar{\text{차}} = \sum_{\lambda=a}^b (I_{\text{현재}}(\lambda) - I_{\text{기준}}(\lambda))^2$$

[0062] 다수의 현재 스펙트럼들이 있는 경우, 최상 매칭은 주어진 라이브러리의 기준 스펙트럼들 각각 및 현재 스펙트럼들 각각 간에 결정될 수 있다. 각각의 선택된 현재 스펙트럼들은 각각의 기준 스펙트럼들에 대해 비교된다. 예를 들어, 현재 스펙트럼들 e, f, 및 g 및 기준 스펙트럼들 E, F, 및 G가 주어지면, 매칭 계수는 다음의 현재 및 기준 스펙트럼들의 조합들 각각에 대해 계산될 수 있다: e 및 E, e 및 F, e 및 G, f 및 E, f 및 F, f 및 G, g 및 E, g 및 F, 및 g 및 G. 어느 매칭 계수가 최상 매칭을 나타내건(예를 들어 최소이건), 이는 기준 스펙트럼을 결정하고 따라서 인덱스를 결정한다.

[0063] 스펙트럼 라이브러리와 연관된 확고한 직선에 대한, 상기 스펙트럼 라이브러리와 연관된 인덱스 트레이스의 적합도를 결정하는 것(단계 530 및 640)은 인덱스 트레이스를 포함하는 데이터 점들과 상기 스펙트럼 라이브러리와 연관된 것에 들어맞는 확고한 직선 간의 제공된 차들의 최소 합을 결정하는 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 3 및 도 4에 표시된 것과 같은 데이터 점들과 이들의 개별적인 연관된 확고한 직선들 간의 제공된 차들의 최소합이다.

[0064] 몇몇 구현들에서, 스펙트럼은 기관의 하나보다 많은 반경 위치에서 획득된다. 각각의 스펙트럼 측정에 대해, 기관 상의 반경 위치가 결정될 수 있고, 스펙트럼 측정들은 이들의 반경 위치들에 기초한 구역들(예를 들어, 방사형 구역들)에 비닝(binned)될 수 있다. 기관은 중심 구역, 중간 구역 및 에지 구역과 같은 다수의 구역들을 가질 수 있다. 예를 들어, 300mm 웨이퍼 상에서, 중심 구역은 중심으로부터 50mm 반경까지 연장될 수 있고, 중간 구역은 50mm 반경으로부터 약 100mm까지 연장될 수 있으며 에지는 약 100mm부터 약 150mm까지 연장될 수 있다. 몇몇 구현들에서, 기관은 언급된 3개보다 더 많거나 더 적은 구역들을 가진다. 스펙트럼들이 획득되는 위치는 예를 들어 미국 특허 제7,097,537호 또는 제 7,018,271호에 기술된 방법을 이용함으로써 결정될 수 있고, 이들은 모든 목적들을 위해 참조에 의해 본원에 통합된다.

[0065] 몇몇 구현들에서, 현재 스펙트럼들의 시퀀스는 기관 상의 다수의 방사형 구역들로부터의 스펙트럼들을 포함할 수 있다. 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스를 생성하는 것은 각 구역에 대한 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 다수의 시퀀스들을 생성하는 것을 포함할 수 있다. 최상-매칭 기준 스펙트럼들의 다수의 시퀀스들은 적합도에 기초하여 연마 속도를 조정해야 할지 여부 또는 연마 속도에 대한 조정치 중 적어도 하나를 결정하는데 이용될 수 있다. 연마 속도는 각각의 특정 구역과 연관된 현재 스펙트럼들의 시퀀스로부터 최상-매칭 기준 스펙트럼들에 기초하여 각각의 특정 구역에 대해 계산될 수 있다. 몇몇 구현들에서, 전체 기관이 대략적으로 동시에 목표 두께에 도달하도록 적어도 하나의 구역에 대한 수정된 연마 속도가 계산될 수 있다. 수정된 연마 파라미터는 수정된 연마 속도를 제공하기 위해 계산될 수 있고, 연마 속도는 연마 파라미터를 수정함으로써 조정될 수 있다.

[0066] 각 구역으로부터 측정된 스펙트럼들(또는 각 구역에 대해, 기관을 통한 센서의 1회 스위프(single sweep)으로부터 획득된, 상기 구역 내로부터의 스펙트럼들의 평균)은 위에서 기술된 것처럼 기준 스펙트럼 라이브러리의 기준 스펙트럼들과 비교되고, 스펙트럼 라이브러리와 비교로부터 대응되는 인덱스 번호는 각 구역에 대해 결정된다. 각 구역에 대한 대응하는 인덱스 번호들은 인덱스 트레이스를 생성하는데 이용될 수 있고, 인덱스 트레이스는 적합도를 결정하는데 이용될 수 있다.

- [0067] 적합도가 스펙트럼 측정들이 신뢰할만하다고 나타내는 경우(예를 들어, 적합도가 임계값보다 작거나 또는 임계값과 같은 경우), 구역들에서의 연마 속도들은 각 구역에서의 최종 인덱스 번호가 요구되는 최종 인덱스 번호와 동일하도록 피드백 루프를 이용하여 조정될 수 있다. 도 7은 요구되는 프로파일을 달성하기 위해 구역들에서 연마 속도를 조정하기 위한 예시적인 프로세스(700)의 흐름도이다. 예상되는 종료점 시간에서의 요구되는 인덱스 번호는 기관 상의 각 구역에 대해 결정된다(단계 702). 연마는 시작되고(단계 704) 인덱스 트레이스가 기관 상의 각 구역에 대해 결정되도록 기관이 위에서 기술된 것처럼 광학적으로 모니터링된다(단계 706). 연마 프로세스가 안정화되도록 하는 최초 지연 시간 이후, 시간에 따른 인덱스의 변화율(rate of change)이 계산된다(플래튼 회전들의 수가 시간을 나타내는 것으로 사용될 수 있다)(단계 708). 인덱스의 변화율은 단순히, 2개의 상이한 시간들에서의 인덱스들의 차를 이러한 상이한 시간들에서 인덱스들을 생성한 스펙트럼 측정들 간의 경과된 플래튼 회전들의 수로 나눔으로써 계산될 수 있다. 인덱스 번호의 변화율은 연마 속도를 나타낸다.
- [0068] 각 구역에 대한 인덱스의 변화율은 연관된 구역에 대한 예상된 종료점 시간에서 달성될 인덱스 번호를 결정하기 위해 인덱스 트레이스를 외삽(extrapolate)하는데 이용된다(단계 712). 예상된 종료점 시간에서, 요구되는 인덱스 번호를 지나치거나 또는 상기 요구되는 인덱스 번호에 아직 도달되지 않고 적합도가 스펙트럼 측정들이 신뢰할만하다고 나타내는 경우, 연마 속도는 요구되는 대로 상향 또는 하향 조정될 수 있다(단계 720). 예상된 종료점 시간에서 요구되는 인덱스 번호에 도달한 경우, 어떠한 조정도 요구되지 않을 수 있다. 하나보다 많은 외삽 및 조정이 수행되어야 하는지 여부에 대한 결정이 연마 시퀀스에 걸쳐 발생할 수 있다. 연마 속도의 조정이 적절한지 여부를 결정하는 것은 적합도가 스펙트럼 측정들이 신뢰할만하다고 나타내는지 여부를 결정하는 것, 및 연마 종료점이 발생할 때 요구되는 인덱스 번호가 달성될지 여부를 결정하는 것 또는 최종 인덱스가 요구되는 최종 인덱스 번호로부터 수용가능한 범위 내에 있다고 결정하는 것을 포함할 수 있다.
- [0069] 몇몇 구현들에서, 예상된 종료점 시간은 중심 구역과 같은 한 구역에 대해 결정된다. 그 다음에, 적절하다면, 다른 구역들 내의 연마 속도들이 선택된 구역, 예를 들어 중심 구역에 대한 예상된 종료점 시간과 동시에 이들의 요구되는 종료점들을 달성하도록 조정된다. 연마 속도들은 예를 들어 캐리어 헤드에서 대응하는 구역의 압력을 증가 또는 감소시킴으로써 조정될 수 있다. 미국 공개 번호 제2005-0211377호에 기술된 캐리어 헤드와 같은 몇몇 캐리어 헤드들에서, 캐리어 헤드는 조정가능한 압력 구역들을 가진다. 연마 속도의 변화는 압력의 변화에 정비례하는 것으로(예를 들어, 단순한 프리스토니언(Prestonian) 모델로) 가정될 수 있다. 추가적으로, 플래튼 또는 헤드 회전 속력의 영향들, 상이한 헤드 압력 조합들의 2차 영향들, 연마 온도, 슬러리 유량, 또는 연마 속도에 영향을 미치는 다른 파라미터들을 고려하는 기관들을 연마하기 위한 제어 모델이 발전(develope)될 수 있다.
- [0070] 도 8을 참조하면, 기관 표면에 걸친 균일한 두께와 같은 특정 프로파일이 요구되는 경우, 시간에 따른 인덱스 번호들의 변화에 의해 표시되는 것과 같은, 연마 속도의 기울기(slope)는 모니터링될 수 있고 인덱스 트레이스의 적합도가 스펙트럼 측정들이 신뢰할만하다고 나타내는 경우 연마 속도는 조정될 수 있다. 연마 안정화 기간(805) 이후, 스펙트럼이 중심 구역(810), 에지 구역(815) 및 그 사이의 중간 구역(820)에서 획득된다. 여기서 구역들은 원형 또는 환형 구역들이다. 각 스펙트럼은 자신의 개별 인덱스에 상관된다. 이러한 프로세스는 다수의 플래튼 회전들에 걸쳐, 또는 시간에 걸쳐 반복되고, 중심 구역(810), 중간 구역(820) 및 에지 구역(815)의 각각에서 연마 속도가 결정된다. 연마 속도는 회전들의 수(835)(x-축)에 따라 인덱스(830)(y-축)를 플로팅함으로써 획득되는 직선의 기울기에 의해 표시된다. 이러한 연마 속도들 중 임의의 연마 속도가 다른 것들보다 더 빠르거나 또는 더 느린 것으로 계산되면, 인덱스 트레이스의 적합도가 스펙트럼 측정들이 신뢰할만하다고 나타내는 경우에 구역의 연마 속도가 조정될 수 있다. 여기서, 이러한 조정은 중심 구역(810)의 종료점 C_c 에 기초한다. 몇몇 구현들에 대해, 연마 속도들이 수용가능한 마진(margin) 이내에 있다면, 어떠한 조정도 수행될 필요가 없다. 대략적인 연마 종료점 EDP는, 유사한 연마 파라미터들을 이용하여 유사한 기관들을 연마하는 것로부터 또는 위에서 기술된 차(difference) 방법을 이용하는 것으로부터 알려진다. 연마 프로세스 동안 제 1 연마 시간 T_1 에서, 중간 구역(820)에서의 연마 속도는 감소되고 에지 구역에서의 연마 속도는 증가된다. 중간 구역(820)에서 연마 속도를 조정하지 않는다면, M_0 의 과연마 속도(overpolish rate)로 연마되는 중간 구역은 기관의 나머지보다 빠르게 연마될 것이다. 에지 구역(815)에 대해 T_1 에서 연마 속도를 조정하지 않는다면, 에지 구역(815)은 E_0 의 속도로 부족연마(underpolish)될 것이다.
- [0071] 연마 프로세스 동안 후속하는 시간(T_2)에서, 이러한 속도들은 적절한 경우 다시 조정될 수 있다. 이러한 연마 프로세스의 목표는 기관이 평탄한 표면을 가지거나, 또는 비교적 평평한 표면을 통해 산화물 층을 가질 때 연마

를 종료하는 것이다. 연마 속도를 조정할 양을 결정하는 한가지 방법은 중심, 중간 및 에지 구역들의 각각의 인덱스가 대략적인 연마 종료점 EDP에서 동일하도록 속도들을 조정하는 것이다. 따라서, 중심 및 중간 구역들이 T_2 이전과 동일한 속도로 연마되는 동안 에지 구역에서의 연마 속도는 조정될 필요가 있다. EDP가 대략적인 경우, 연마는 각 구역에서의 인덱스가 요구되는 위치에 있을 때, 즉 각 위치가 동일한 인덱스를 가질 때 중단될 수 있다.

[0072] 연마 프로세스 동안, 단지 연마 속도들을 몇 번, 예를 들어 4, 3, 2 또는 단지 1회 변화시키는 것이 선호된다. 조정은 연마 프로세스의 시작 근처에서, 중간에서 또는 종료 가까이 수행될 수 있다. 인덱스 번호와 스펙트럼들을 연관시키는 것은 구역들 각각에서의 연마에 대한 선형 비교를 생성하고, 연마 프로세스를 어떻게 제어할지를 결정하기 위해 요구되는 계산들을 단순화하고 복잡한 소프트웨어 또는 프로세싱 단계들을 생략할 수 있다.

[0073] 연마 프로세스 동안 적용될 수 있는 방법은 매칭 스펙트럼들에 대해 탐색되는 라이브러리의 부분을 제한하는 것이다. 이러한 라이브러리는 전형적으로 기관을 연마하는 동안 획득될 것보다 더 넓은 범위의 스펙트럼들을 포함한다. 보다 넓은 범위는 보다 두꺼운 시작 최외곽 층으로부터 획득된 스펙트럼들 및 과연마 이후 획득된 스펙트럼들을 설명한다(account for). 기관 연마 동안, 라이브러리 탐색은 미리 결정된 범위의 라이브러리 스펙트럼들로 제한된다. 몇몇 실시예들에서, 연마되는 기관의 현재 회전 인덱스 N 이 결정된다. N 은 라이브러리 스펙트럼들 모두를 탐색함으로써 결정될 수 있다. 후속하는 회전 동안 획득된 스펙트럼들에 대해서, 라이브러리는 N 의 자유도 범위 내에서 탐색된다. 즉, 1회 회전 동안 인덱스 번호가 N 임이 발견되는 경우, 자유도가 Y 인, 이후 X 회 회전들인 후속하는 회전 동안 탐색될 범위는 $(N+X)-Y$ 로부터 $(N+X)+Y$ 이다. 예를 들어, 기관의 제 1 연마 회전에서 매칭되는 인덱스가 8임이 발견되고 자유도가 5로 선택되는 경우, 제 2 회전 동안 획득된 스펙트럼들에 대해 인덱스 번호들 9 ± 5 에 대응하는 스펙트럼들만이 매칭을 위해 검사된다. 이러한 방법이 적용될 때, 동일한 방법이 종료점 검출 프로세스에서 현재 이용되는 라이브러리들 모두에 독립적으로 적용될 수 있다.

[0074] 본 명세서에서 기술된 본 발명의 실시예들 및 기능적 동작들 모두는 디지털 전자 회로에서, 또는 본 명세서에서 개시된 구조적 수단 및 이들의 구조적 균등물들을 포함하여, 컴퓨터 소프트웨어, 펌웨어, 또는 하드웨어에서, 또는 이들의 조합들에서 구현될 수 있다. 본 발명의 실시예들은 데이터 처리 장치, 예를 들어 프로그래밍 가능한 프로세서, 컴퓨터, 또는 다수의 프로세서들 또는 컴퓨터들에 의해 실행되기 위한 또는 이러한 장치의 동작을 제어하기 위한, 하나 이상의 컴퓨터 프로그램 물건들, 즉 정보 캐리어에, 예를 들어 기계-판독가능 저장 매체 내에 또는 전파되는 신호로, 유형적으로(tangibly) 구현된 하나 이상의 컴퓨터 프로그램들로서 구현될 수 있다. 컴퓨터 프로그램(또한 프로그램, 소프트웨어, 소프트웨어 애플리케이션, 또는 코드로도 알려짐)은 컴파일되거나 인터프리팅된 언어들을 포함하여 임의의 형태의 프로그래밍 언어로 기록될 수 있고, 컴퓨터 프로그램은 독립형(stand-alone) 프로그램 또는 모듈, 컴포넌트, 서브루틴, 또는 컴퓨팅 환경에서 이용되기에 적합한 다른 유닛을 포함하는 임의의 형태로 배치될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 반드시 파일에 대응되지는 않는다. 프로그램은 다른 프로그램들 또는 데이터를 보유하는 파일의 일부에, 또는 문제되는(in question)프로그램에 전용화된 단일 파일에, 또는 다수의 통합된(coordinated) 파일들(예를 들어, 하나 이상의 모듈들, 서브-프로그램들, 또는 코드의 부분들을 저장하는 파일들)에 저장될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 하나의 컴퓨터 상에서, 또는 하나의 사이트에서 또는 다수의 사이트들을 통해 분산되고 통신 네트워크에 의해 상호연결된 다수의 컴퓨터들 상에서 실행 되도록 배치될 수 있다.

[0075] 본 명세서에서 기술된 프로세스들 및 논리 플로우들은 입력 데이터에 대해 동작하고 출력을 생성함으로써 기능들을 수행하기 위한 하나 이상의 컴퓨터 프로그램들을 실행하는 하나 이상의 프로그래밍 가능한 프로세서들에 의해 수행될 수 있다. 프로세스들 및 논리 플로우들은 또한 특정 목적 로직 회로, 예를 들어 FPGA(필드 프로그래밍 가능한 게이트 어레이) 또는 ASIC(애플리케이션-특정 집적 회로)에 의해 수행될 수 있고, 장치 또한 이들로서 구현될 수 있다.

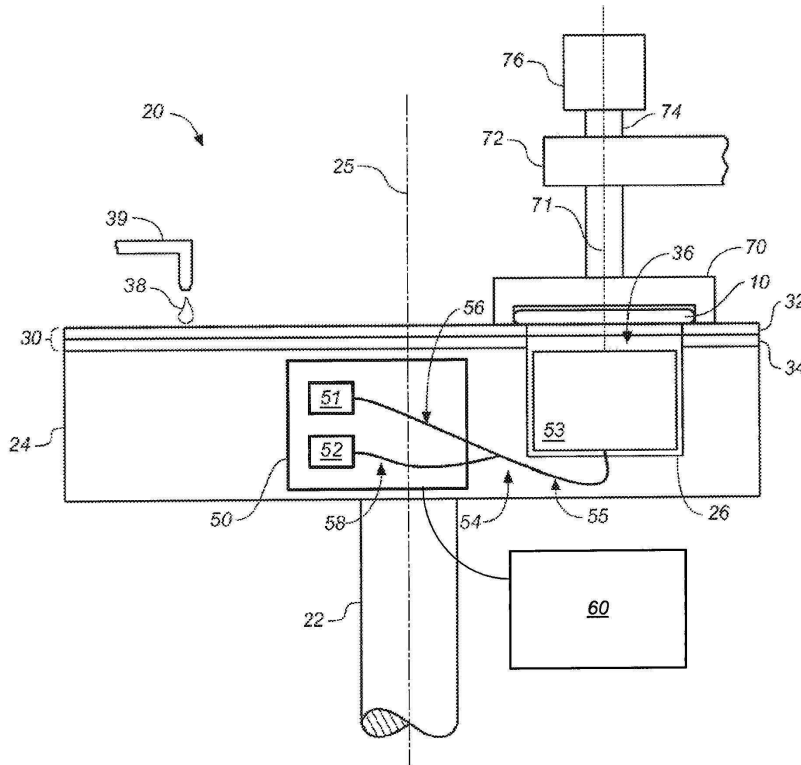
[0076] 위에서 기술된 연마 장치 및 방법들은 다양한 연마 시스템들에서 적용될 수 있다. 연마 패드, 또는 캐리어 헤드, 또는 양자 모두는 연마 표면과 기관 간의 상대적 이동을 제공하도록 움직일 수 있다. 예를 들어, 플래튼은 회전하기 보다는 궤도를 그리며 돌 수 있다. 연마 패드는 플래튼에 고정된 원형(또는 어떤 다른 형상) 패드일 수 있다. 종료점 검출 시스템의 몇몇 양상들은 선형 연마 시스템들, 예를 들어 연마 패드가 선형으로 움직이는 연속적이거나 또는 릴-대-릴(reel-to-reel) 벨트인 연마 시스템들에 적용될 수 있다. 연마 층은 표준(예를 들어, 필러들이 있거나 또는 없는 폴리우레탄) 연마 물질, 소프트 물질, 또는 고정-마모 물질일 수 있다. 상대적 포지셔닝의 용어들이 사용된다; 연마 표면 및 기관이 수직 배향 또는 어떤 다른 배향으로 지탱될 수 있음이 이해되어야 한다.

[0077]

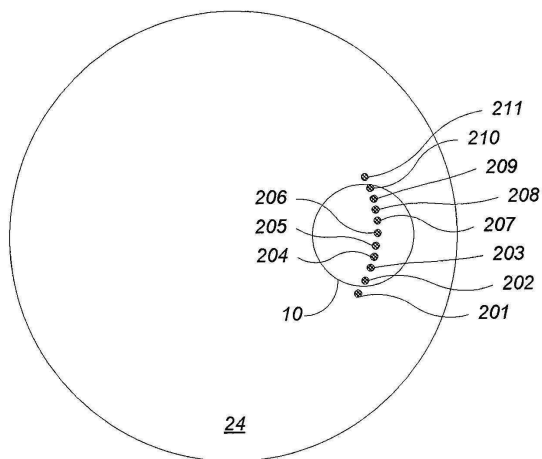
본 발명의 특정 실시예들이 기술되었다. 다른 실시예들은 다음의 청구항들의 범위 내에 있다. 예를 들어, 청구항들에서 기술되는 동작들은 상이한 순서로 수행될 수 있고 여전히 바람직한 결과들을 달성할 수 있다.

도면

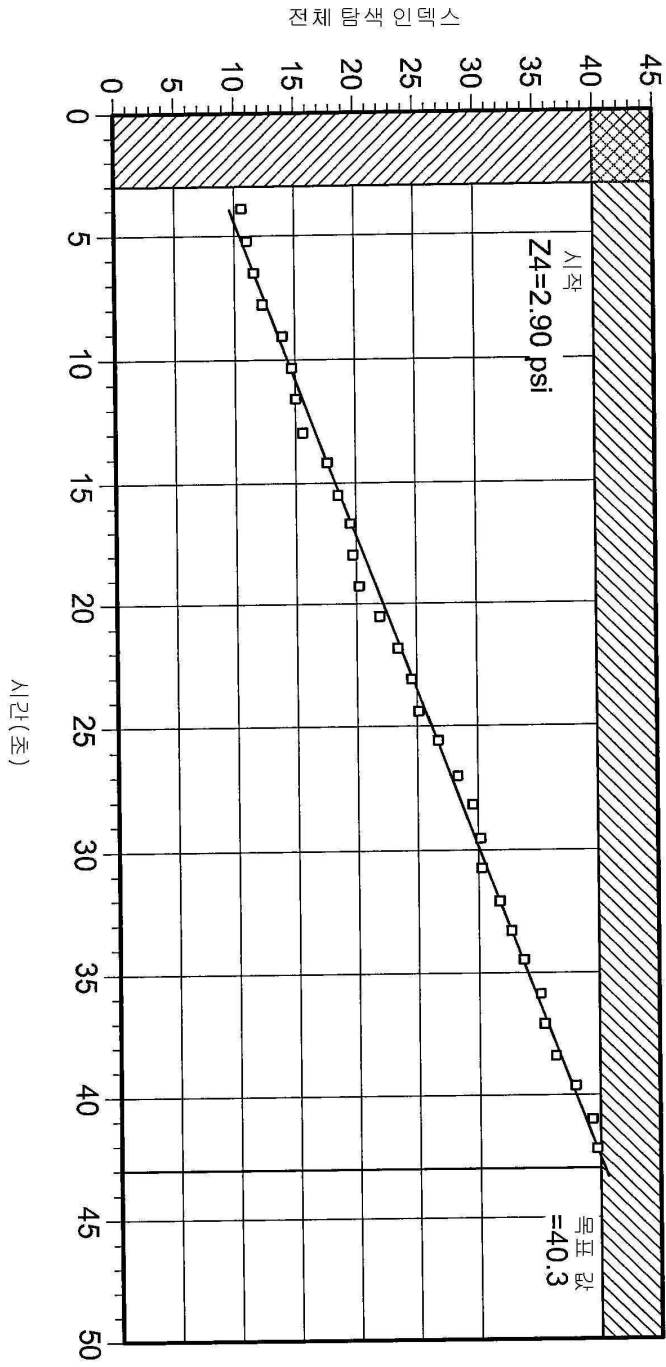
도면1



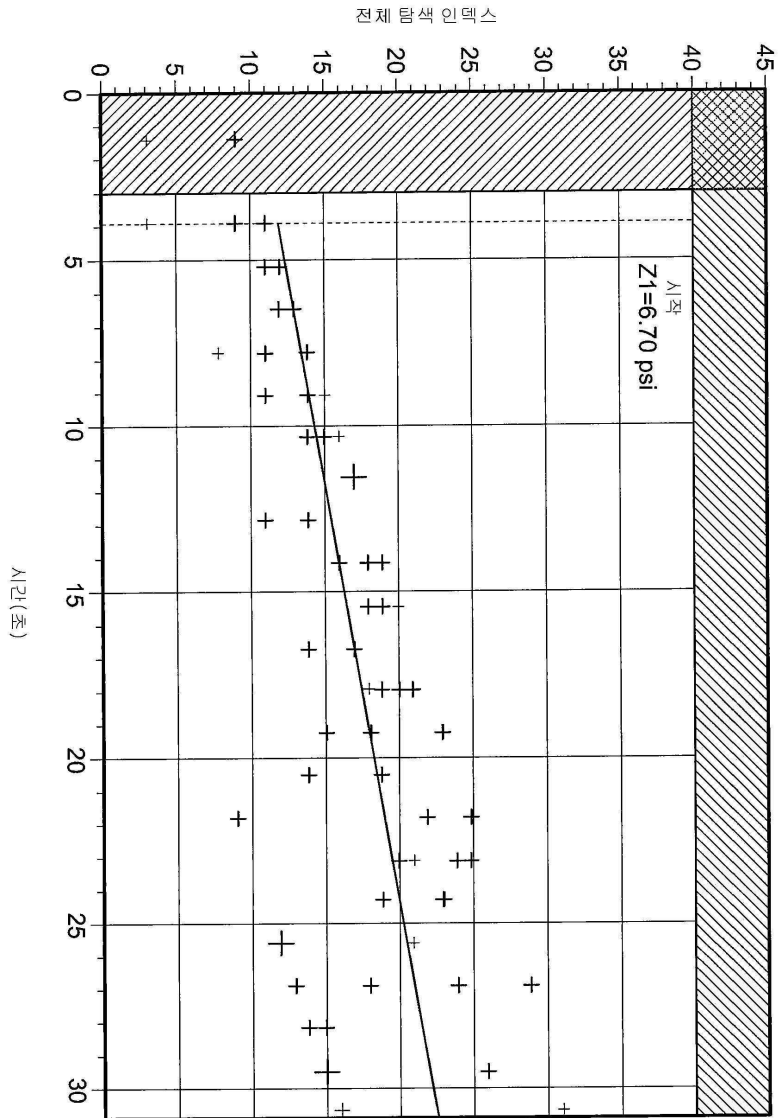
도면2



도면3

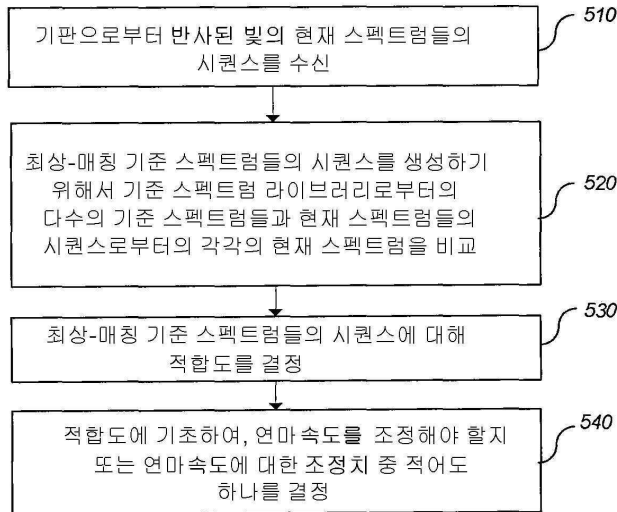


도면4



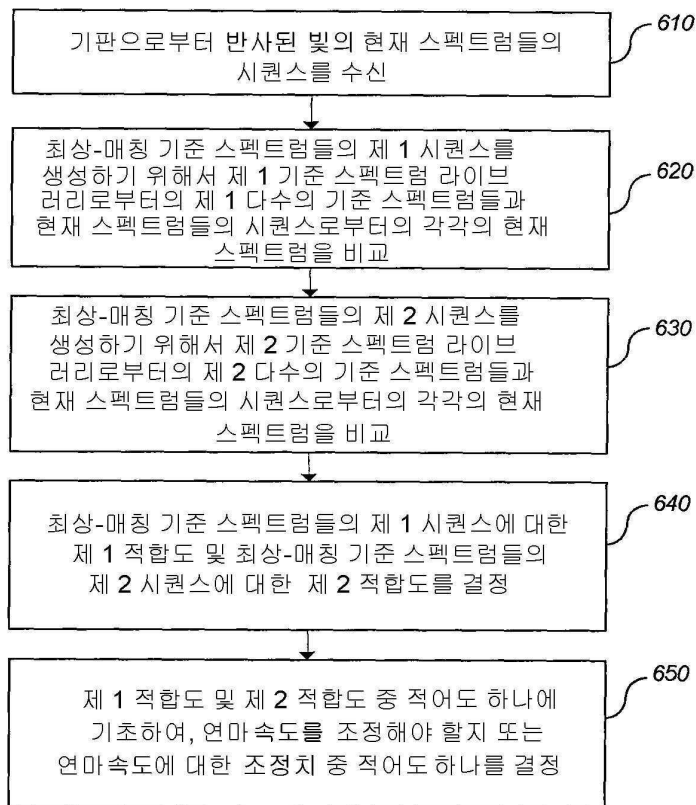
도면5

500

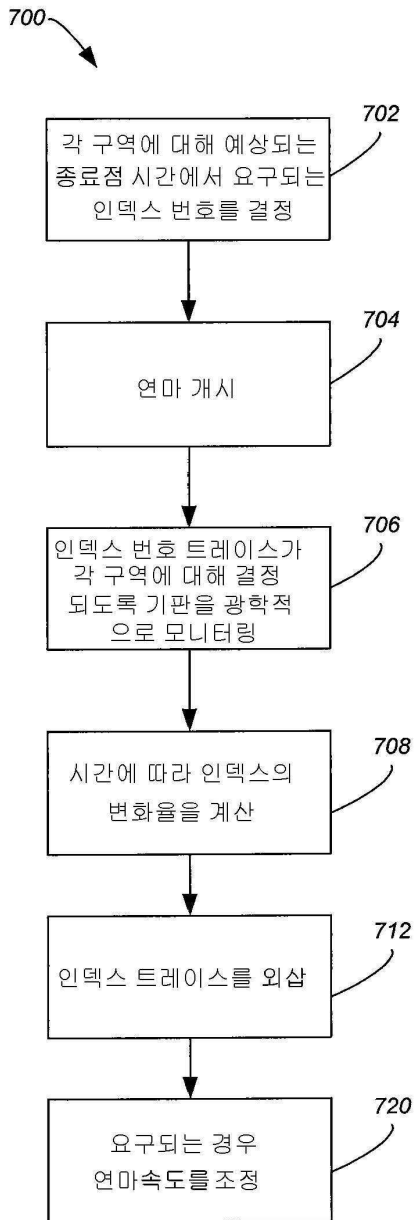


도면6

600



도면7



도면8

